การลดของเสียจากกระบวนการรีดขึ้นรูปเย็นในอุตสาหกรรมท่อสเตนเลส เกรด 304

นายอุรคินทร์ พลนิกร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE REDUCTION OF DEFECTS IN COLD ROLLED PROCESS OF STAINLESS STEEL PIPE

Mr.Urakin Polnikorn

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 2007

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดของเสียจากกระบวนการรีดขึ้นรูปเย็นในอุตสาหกรรม ท่อสเตนเลส เกรด 304
โดย	นายอุรคินทร์ พลนิกร
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา)

.... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์)

.... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาล)

.... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การลดของเสียจากกระบวนการรีดขึ้นรูปเย็นในอุตสาหกรรมท่อสเตนเลส เกรด 304 (THE REDUCTION OF DEFECTS IN COLD ROLLED PROCESS OF STAINLESS STEEL PIPE) อาจารย์ที่ปรึกษา: รศ.จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อวิเคราะห์และลดของเสียของกระบวนการรีดขึ้นรูปเย็นในอุตสาหกรรมท่อสเตนเลส เกรด 304L โดยอาศัยการดำเนินงานตามแบบอย่างของซิกซ์ซิกม่า คือ แบ่งเป็น เฟสต่างๆ 5 เฟสด้วยกัน ในการวิเคราะห์จะใช้หลักการของการออกแบบการทดลอง (Design and Analysis of Experiment: D.O.E.) มาใช้วิเคราะห์และลดของเสียของโรงงานตัวอย่าง

จากการศึกษาระบบการผลิตตลอดจนจนศึกษาและรวบรวมข้อมูลของเสียเพื่อวิเคราะห์ พบว่าของเสียส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการเชื่อมหลังจากที่ท่อเหล็กผ่านการรีดขึ้นรูปด้วยลูกรีดมาแล้ว ซึ่งของเสียส่วนมากที่เกิดจากกระบวนการนี้คือ การเชื่อมแล้วท่อเกิดการทะลุ หรือรอยเชื่อมทะลุเป็นแนวยาว ทำให้ไม่ผ่านมาตรฐานที่กำหนดไม่สามารถนำไปแก้ไขได้ ถัดมาเป็นของเสียที่เกิดจากกระบวนการรีดขึ้นรูปเย็น คือเกิดรอยนูนบริเวณรอยต่อชน และท่อไม่กลมไม่ตรงตามมาตรฐาน

งานวิจัยนี้จึงเริ่มจากการศึกษากระบวนการผลิตท่อสเตนเลส ตั้งแต่วัตถุดิบที่เป็นเหล็กแผ่นม้วน(Coil) จากนั้นจึงนำเข้าสู่ขั้นตอนของการรีดเย็นด้วยลูกรีดเพื่อให้ได้ความกลมและขนาดตามที่ต้องการ จากนั้นจึงนำเข้าสู่กระบวนการเชื่อมแบบ Tungsten Inert Gas: TIG สุดท้ายเป็นกระบวนการขัดเงาด้วยลูกกลิ้งขัดเงา โดยทั้งหมดนี้เป็นกระบวนการกึ่งอัตโนมัติ และเป็นแบบต่อเนื่อง จากนั้นจึงวิเคราะห์หาปัญหาด้วยการระดมสมองและอาศัยแผนภาพแสดงเหตุและผล เพื่อค้นหาปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการ ใช้เทคนิค F.M.E.A. เข้ามาช่วยในการกรองปัจจัยเบื้องต้น จากนั้นจึงใช้การออกแบบการทดลองเข้ามาวิเคราะห์ผลของปัจจัยที่ส่งผลต่อรอยเชื่อมทะลุ

ในส่วนของทางด้านการรีดขึ้นรูปที่เกิดปัญหาท่อที่ผ่านการรีดไม่กลม เกิดรอยนูนบริเวณรอยต่อ ซึ่งจากการระดมสมองและวิเคราะห์ด้วยแผนภาพเหตุและผลพบว่า เกิดจากการเตรียมรอยต่อของการเชื่อมไม่ต่อชนกันสนิทพอดี ซึ่งเกิดจากตั้งระยะการรีดที่ไม่ถูกต้อง จึงอาศัยเทคนิคเข้ามาช่วยในการปรับตั้ง

ปัญหารอยเชื่อมทะลุเกิดจากการปรับตั้งปัจจัยที่ใช้ในการเชื่อมไม่เหมาะสม จึงได้ทดลองหาระดับการปรับตั้งใหม่เป็นดังนี้

- การปรับกระแสที่ใช้ในการเชื่อม คือ 80 แอมป์แปร์
- การปรับระยะเวลาในการเชื่อม คือ 170 วินาทีต่อเส้น(6 เมตร)
- การปรับระยะในการอาร์ค คือ 1 มิลลิเมตร

ของเสียทั้งหมดจากกระบวนการเดิมอยู่ที่ประมาณ 8.2% หลังจากที่ปรับปรุงทั้งสองปัญหาดังกล่าวแล้วสามารถลดของเสียลงเหลือ 1.6% สามารถลดต้นทุนลงได้ 108.75 ล้านบาท

ภาควิชา............วิศวกรรมอุตสาหการ.......ลายมือชื่อนิสิต..

สาขาวิชา..........วิศวกรรมอุตสาหการ........ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..................................

ปีการศึกษา..............2550.......................ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม...............................

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

##4770685121: MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORD: TUNGSTEN INERT GAS WELDING/DESIGN AND ANALYSIS OF EXPERIMENT

URAKIN POLNIKORN: THE REDUCTION OF DEFECTS IN COLD ROLLED PROCESS OF STAINLESS STEEL PIPE.

THESIS ADVISOR: ASSOCIATE PROF. JIRAPAT NGAOPRASERTWONG

This thesis has the objective for analyze and reduce defect from cold rolled process of stainless steel pipe 304L grade by follow up Six Sigma way. There are 5 phase to operation. In the analysis phase will use the principle of design of experiment (Design and Analysis of Experiment: D.O.E.) come to use analyze and reduce defect of example factory.

From production system education including study and collect defect for analyze. Meet that defect majority matter in welding process after from cold rolled process. So, it has problem around welding zone according to the joint through in long rows. That makes it reach lower the standard and can not rework or correct. Next defect is about cold rolled process. So, it is a trace swells joint area and not round pipe for standard.

These researches then begin from procedure education since preparing raw material by steel plate coils. After that it time to roll steel plate to be round pipe. Use Tungsten Inert Gas welding (TIG) to joint and polishes with paper sand at last the procedure. This is a semi automatic procedure. After that analyze by brainstorming and used cause and effect diagram for seek the factor that affect to make defect. Use F.M.E.A. techniques to screen factor that not significant. Analyze by design of experiment techniques to analyze the influence of the factor that affects to weld zone defect.

In the part of cold rolled process problem that make pipe not round be not good preparing weld joint area enough. Which from the brainstorming and analyze with cause and effect diagram meet that be born from joint preparation. So, it not correct rolling gap.

In the welding problem case can find the condition of welding factor is,

- Welding amp is 80 ampere.
- Welding speed is 170 second/6 meter.
- Arc gap is 1 millimeter.

Defect from original procedure is 8.2% and after improvement 2 problems (welding and rolling procedure) is 1.6% it can save cost amount of 108.75 million baths.

Department........Industrial Engineering........Student's Signature...[signature]

Field of Study......Industrial Engineering......Advisor's Signature...[signature]

Academic Year........2007........................Co-Advisor's Signature............................

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งนอกจากจะคอยให้คำปรึกษาคำแนะนำในเรื่องต่างๆเกี่ยวกับวิทยานิพนธ์แล้ว ยังคอยติดตามความคืบหน้าของการดำเนินงานอย่างสม่ำเสมอ รวมถึงการตรวจสอบข้อบกพร่องต่างๆ ที่ได้รับการชี้แนะจากประธานและคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบไปด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน และอาจารย์ ดร. สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ ที่ได้ช่วยขัดเกลาให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ทางผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างสูง ไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ส่วนหนึ่งของความสำเร็จนี้ได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากทางบริษัท เกรทเซ็นทรัล อินเตอร์เนชั่นแนล จัด ซึ่งได้รับความร่วมมือจากบุคคลที่อยู่ในโรงงานทั้งในเรื่องข้อมูลและในเรื่องการปฏิบัติงาน อีกทั้งยังให้ความรู้และข้อแนะนำบางอย่างที่เป็นความรู้ทางเทคนิค ซึ่งทางผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายที่สุดนี้ทางผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณทางครอบครัวที่ให้การสนับสนุนมาโดยตลอด อีกทั้งเพื่อนผู้คอยให้กำลังใจและคำปรึกษา ทางผู้วิจัยหวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จักเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจเพื่อนำไปเป็นแนวทางในการพัฒนา และใช้งานต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.......... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.......... ข
กิตติกรรมประกาศ.......... ค
สารบัญ.......... ง
สารบัญตาราง.......... ฉ
สารบัญรูปภาพ.......... ช
บทที่
1. บทนำ.......... 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.......... 2
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.......... 2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.......... 2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.......... 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.......... 3
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.......... 5
2.1 ทฤษฎีความรู้พื้นฐานทางสถิติ.......... 5
2.2 ทฤษฎีการวิเคราะห์ระบบการวัด.......... 12
2.3 ทฤษฎีการออกแบบการทดลอง.......... 16
2.4 ทฤษฎีเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel).......... 21
2.5 ทฤษฎีการเชื่อมแบบ TIG (Gas Tungsten Arc Welding).......... 26
2.6 ทฤษฎีการบริหารคุณภาพด้วยแนวทางซิกซ์ซิกม่า.......... 38
2.7 งานวิจัยและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.......... 41
3. การศึกษาการดำเนินงานและข้อมูลทั่วไปของโรงงาน.......... 44
3.1 ประวัติโรงงานโรงงาน.......... 44
3.2 สภาพทั่วไปของโรงงาน.......... 44
3.3 ผังโรงงาน.......... 45
3.4 ลักษณะผลิตภัณฑ์.......... 46
3.5 กระบวนการผลิตท่อสเตนเลส.......... 48
3.6 อัตรากำลังคนและรอบเวลาการผลิต.......... 52

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4. การดำเนินงานวิจัย..53
4.1 Define Phase..53
4.2 Measure Phase..69
4.3 Analyze Phase..77
4.4 Improve Phase..87
4.5 Control Phase..89
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..93
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน..93
5.2 ข้อเสนอแนะ..97
เอกสารอ้างอิง..106
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก คู่มือในการทำ F.M.E.A..108
ภาคผนวก ข มาตรฐานการทำงาน..112
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..121

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย....4
ตารางที่ 2.1 แสดงข้อคำแนะนำสำหรับการเชื่อมสเตนเลสด้วยวิธี TIG.... 37
ตารางที่ 2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทำซิกซ์ซิกม่าในเฟสต่างๆ.... 41
ตารางที่ 3.1 แสดงปริมาณความต้องการ ปริมาณการนำเข้า และกำลังการผลิตของบริษัท... 46
ตารางที่ 3.2 แสดงขบวนการผลิตวัตถุดิบ.... 47
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในองค์กร....53
ตารางที่ 4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์ของความสูญเปล่า 8 ประการคิดเป็นจำนวนเงินที่สูญเสียไป.... 54
ตารางที่ 4.3 แสดงรายได้ช่วงเดือน พ.ค.-ต.ค. 2549 จากท่อสเตนเลสขนาด
เส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 มิลลิเมตร....57
ตารางที่ 4.4 เกณฑ์การยอมรับสินค้าของบริษัท เกรทเซ็นทรัล (อินเตอร์เนชั่นแนล) จำกัด.... 58
ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องของท่อสเตนเลสขนาด
เส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 มิลลิเมตร (พ.ค.-ต.ค. 2549).... 59
ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงข้อมูลของ F.M.E.A.... 65
ตารางที่ 4.7 แสดงข้อมูลของผลิตภัณฑ์บกพร่องที่เครื่องเชื่อมต่างๆ.... 68
ตารางที่ 4.8 แสดงข้อมูลของผลิตภัณฑ์บกพร่องที่วัตถุดิบล็อตต่างๆ....68
ตารางที่ 4.9 แผนการทดลองในการวิเคราะห์ระบบการวัดรอยเชื่อมนูน และท่อไม่กลม.... 70
ตารางที่ 4.10 แผนการทดลองในการวิเคราะห์ระบบการวัดรอยเชื่อมทะลุ....71
ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองวิเคราะห์ระบบการวัดรอยเชื่อมนูนและท่อไม่กลม....73
ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองวิเคราะห์ระบบการวัดรอยเชื่อมทะลุ.... 74
ตารางที่ 4.13 แสดงการกำหนดระดับของปัจจัย....78
ตารางที่ 4.14 แสดงตารางการเก็บข้อมูลของการทดลอง 2^3 factorial
with center point 2 replicate.... 79
ตารางที่ 4.15 แสดงผลิตภัณฑ์บกพร่องจากการผลิตจริงที่ปัจจัยที่กำหนด
เทียบกับจากการทดลอง....86
ตารางที่ 4.16 แสดงเปอร์เซ็นต์ของชิ้นงานเชื่อมที่เกิดข้อบกพร่องที่เงื่อนไขต่างๆ....87
ตารางที่ 4.17 ตารางแสดงปริมาณการผลิตและสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่อง....88
ตารางที่ 4.18 มาตรการการควบคุมประเภทของเสียรอยเชื่อมทะลุ....90
ตารางที่ 4.19 มาตรการการควบคุมประเภทของเสียท่อไม่กลมและรอยเชื่อมนูน.... 91
ตารางที่ 5.1 แสดงปัจจัยและระดับที่เหมาะสมในการเชื่อม.... 95

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 ลักษณะของแผนภาพพาเรโต.. 8
รูปที่ 2.2 โครงสร้างแผนภาพสาเหตุและผล... 9
รูปที่ 2.3 ลักษณะกราฟทดสอบการแจกแจงแบบปกติ... 10
รูปที่ 2.4 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย..17
รูปที่ 2.5 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล (ไม่มีอันตรกิริยา)...18
รูปที่ 2.6 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล (มีอันตรกิริยา).. 18
รูปที่ 2.7 แสดงส่วนผสมและช่วงอุณหภูมิต่างๆของสเตนเลส... 21
รูปที่ 2.8 แสดง Phase Diagram ของสเตนเลส...22
รูปที่ 2.9 แสดงชนิดของเหล็กสเตนเลสและเหล็กทนความร้อน......................................23
รูปที่ 2.10 การเชื่อมแบบ TIG (Gas Tungsten Arc Welding).....................................26
รูปที่ 2.11 แสดงอุปกรณ์ที่สำคัญของกระบวนการเชื่อม TIG....................................... 26
รูปที่ 2.12 เครื่องเชื่อม TIG..27
รูปที่ 2.13 แสดงด้านหลังของเครื่องเชื่อม TIG...27
รูปที่ 2.14 แสดงอุปกรณ์สำหรับหัวเชื่อม TIG...28
รูปที่ 2.15 แสดงส่วนประกอบต่างๆของหัวเชื่อม (Torch)..28
รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะและการใช้งานของลวดเชื่อม..28
รูปที่ 2.17 แสดงตัววัดอัตราการไหลของแก๊สสำหรับปกคลุมแนวเชื่อมและตัวควบคุม........... 29
รูปที่ 2.18 แสดงลักษณะการปกคลุมแนวเชื่อมของอาร์กอนและฮีเลี่ยม............................29
รูปที่ 2.19 แสดงวงจรน้ำหล่อเย็นภายในหัวเชื่อม... 30
รูปที่ 2.20 แสดงภาพการซึมลึกของรอยเชื่อมระหว่างกระแสสลับกับกระแสตรง.................31
รูปที่ 2.21 แสดงลักษณะของขั้วบนชิ้นงานและบนหัวเชื่อม..31
รูปที่ 2.22 แสดงลักษณะรอยเชื่อมแบบรอยเชื่อมต่อชน (Square edge butt joint).............. 32
รูปที่ 2.23 แสดงเครื่องเชื่อม TIG...33
รูปที่ 2.24 แสดงระยะยื่นของปลายทังสเตนที่โผล่ออกมานอกหัวเชื่อม............................ 34
รูปที่ 2.25 แสดงลักษณะปลายทังสเตนที่เหมาะสมของการเชื่อมสเตนเลสด้วย TIG............34
รูปที่ 2.26 แสดงระยะปลายแหลมของทังสเตนที่เหมาะสมในการเชื่อม............................35
รูปที่ 2.27 แสดงวงจรการไหลของแก๊สปกคลุมแนวเชื่อม... 36
รูปที่ 2.28 แสดงองศาของการอาร์คสำหรับการเชื่อม TIG.. 36
รูปที่ 3.1 แสดงผังโรงงาน...45

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของผลิตภัณฑ์ท่อสเตนเลส……………………………………………46

รูปที่ 3.3 แผนภาพการไหลแสดงกระบวนการผลิตท่อสเตนเลส……………………………….. 48

รูปที่ 3.4 แสดงกระบวนการผลิตท่อสเตนเลส…………………………………………………….. 49

รูปที่ 4.1 แผนภูมิพาเรโตแสดงความสูญเสียทั้ง 8 ประการ……………………………………..55

รูปที่ 4.2 แสดงกราฟเปรียบเทียบยอดขายของท่อสเตนเลสแต่ละขนาด………………………55

รูปที่ 4.3 แสดงสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องที่เกิดขึ้นของแต่ละขนาดในแต่ละเดือน…………….56

รูปที่ 4.4 แผนภูมิแสดงปริมาณวัตถุดิบเปรียบเทียบกับปริมาณของเสีย……………………… 57

รูปที่ 4.5 (ก-จ) แสดงตัวอย่างข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์………………………………………59

รูปที่ 4.6 แผนภาพพาเรโตแสดงอาการบกพร่องของท่อสเตนเลส
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 มิลลิเมตร…………………………………………… 60

รูปที่ 4.7 แสดงเปอร์เซ็นต์ของอาการผลิตภัณฑ์บกพร่อง………………………………………61

รูปที่ 4.8 แสดงแผนภาพก้างปลาวิเคราะห์สาเหตุของปัญหารอยเชื่อมทะลุ……………………63

รูปที่ 4.9 แสดงแผนภาพก้างปลาวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาท่อไม่กลม,
ท่อไม่ได้ขนาด, รอยเชื่อมนูน………………………………………………………….. 64

รูปที่ 4.10 แผนภาพพาเรโตของปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหารอยเชื่อมทะลุ………………………...67

รูปที่ 4.11 แสดง Process Capability ของกระบวนการ……………………………………… 77

รูปที่ 4.12 แสดงผลจากการวิเคราะห์การทดลอง………………………………………………82

รูปที่ 4.13 แสดงผลการวิเคราะห์ความเป็นปกติของข้อมูล……………………………………..83

รูปที่ 4.14 แสดงผลการวิเคราะห์ความคงที่ของปัจจัย…………………………………………84

รูปที่ 4.15 แสดงผลของปัจจัยระยะอาร์คที่ใช้ในการเชื่อมต่อสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่อง……..84

รูปที่ 4.16 แสดงผลของปัจจัยระยะเวลาที่ใช้ในการเชื่อมต่อสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่อง………85

รูปที่ 4.17 แสดงผลของปัจจัยกระแสที่ใช้ในการเชื่อมต่อสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่อง………… 85

รูปที่ 4.18 แสดงอันตรกิริยาร่วมของปัจจัย…………………………………………………...86

รูปที่ 4.19 แสดงตัวอย่างเกจที่ใช้ในการปรับตั้งระยะลูกรีด…………………………………… 85

รูปที่ 5.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์บกพร่องก่อนและหลังการปรับปรุง………………………96

รูปที่ 5.2 แสดงรายได้จากการขายผลิตภัณฑ์ที่สมบูรณ์ก่อนและหลังการปรับปรุง…………….96

รูปที่ ก.1 แสดงเกณฑ์การประเมินความรุนแรง (S)……………………………………………101

รูปที่ ก.2 แสดงเกณฑ์การประเมินความถี่ในการเกิด (O)……………………………………....102

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ ก.3 แสดงเกณฑ์การประเมินความเป็นไปได้ในการตรวจพบ (D)……………………….103

รูปที่ ข.1 แสดงแบบฟอร์ม Welding Procedure Specification……………………………........105

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

1.1 บทนำ

ในการทำธุรกิจในปัจจุบันนี้ไม่มีที่ว่างสำหรับบริษัทที่ส่งมอบสินค้าที่เกิดความผิดพลาดให้แก่ลูกค้า โดยบริษัทจำเป็นที่จะต้องผลิตสินค้าและบริการที่มอบความพึงพอใจให้แก่ลูกค้า ทั้งในแง่ตอบสนองต่อความต้องการ และความคาดหมายของลูกค้า ซึ่งบริษัทจำเป็นต้องใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำ เพื่อความอยู่รอดของบริษัท โดยการลดต้นทุนที่ไม่สร้างคุณภาพต่อสินค้าออกจากกระบวนการผลิต

บริษัท เกรทเซ็นทรัล จำกัด เป็นบริษัทที่ผลิตท่อสเตนเลสเพื่อส่งสินค้าทั่วประเทศ จึงจำเป็นที่จะต้องผลิตสินค้าเพื่อให้ตอบสนองความต้องการของลูกค้า โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและรอยเชื่อมของท่อสเตนเลสเป็นส่วนที่มีความสำคัญยิ่งต่อคุณภาพ เนื่องจากท่อสเตนเลสจะมีความเรียบ เงางาม ได้ขนาดตามต้องการ รอยเชื่อมติดกันดี เป็นสิ่งที่ส่งผลต่อความแข็งแรงและทนทานต่อการใช้งาน โดยหากรอยเชื่อมไม่ได้มาตรฐานจะส่งผลให้ลูกค้าไม่รับสินค้าและเกิดความไม่พึงพอใจ

จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าประสิทธิภาพของกระบวนการยังอยู่ในขั้นที่ทางโรงงานไม่พึงพอใจนัก ของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการยังมีพอสมควร ถึงแม้ว่าจะไม่ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ แต่ต้นทุนส่วนใหญ่ของผลิตภัณฑ์อยู่ที่วัตถุดิบ เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้เป็นสเตนเลส ซึ่งมีราคาสูงมาก ปริมาณของเสียจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ทางโรงงานคำนึงถึง อีกทั้งปัจจุบันความต้องการใช้งานของสเตนเลสมีเพิ่มมากขึ้นทุกปี แม้ปัจจุบันทางโรงงานจะทำงานตลอด 24 ชั่วโมงแล้วก็ตาม แต่ก็ยังยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด สิ่งหนึ่งที่โรงงานต้องการคือใช้วัตถุดิบ และเครื่องจักรเท่าที่มีอยู่ปัจจุบันให้เกิดประโยชน์สูงสุดเสียก่อน ก่อนที่จะทำการเพิ่มเครื่องจักร เพิ่มคนงานหรืออื่นๆ ซึ่งล้วนแล้วแต่มีค่าใช้จ่ายที่สูงมาก อีกทั้งยังต้องคำนึงถึงความคุ้มค่าอีกด้วย

ในการทำงานวิจัยครั้งนี้จะมุ่งเน้นไปที่การลดปริมาณของเสียจากกระบวนการรีดขึ้นรูปสเตนเลสแผ่นแบบม้วน (Coil) เพื่อทำให้เป็นท่อสเตนเลสกลม โดยในการแก้ปัญหาจะใช้การคิดและทำอย่างเป็นระบบ เช่นเดียวกับแนวคิดของซิกซ์ซิกม่า (Six Sigma) นั่นคือ เน้นที่การลดความแปรปรวนของกระบวนการ มีการศึกษาเพื่อหาปัญหา ทำการศึกษาระบบการวัดและความสามารถของกระบวนการ เมื่อได้ปัจจัยที่น่าจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการแล้วจึงใช้ เทคนิคและเครื่องทางวิศวกรรมอุตสาหการเข้ามาวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหาอย่างมีนัยสำคัญ จากนั้นจึงทำการปรับปรุงและทดลองให้ทางโรงงานนำไปปรับปรุงจริง สุดท้ายยังต้องออกแบบ ควบคุมเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาเดิมซ้ำอีก โดยอาจเป็นการใช้เครื่องมือจับยึดเข้ามาช่วยสร้างตัวกันโง่ หรือออกแบบวิธีการทำงานเป็นการควบคุมให้ประสิทธิภาพตามต้องการต่อเนื่อง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณของเสียจากกระบวนการรีดขึ้นรูปเย็นท่อสเตนเลส
2. สามารถลดของเสียจากกระบวนการรีดขึ้นรูปเย็นท่อสเตนเลสได้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาถึงกระบวนการผลิตตั้งแต่การเตรียมวัตถุดิบ เครื่องมือเครื่องจักร อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต และวิธีการทำงานของคนงาน
2. เงื่อนไขในการปรับตั้งเครื่องเชื่อม TIG เป็นเงื่อนไขที่เป็นไปได้ในการปรับตั้งจริงที่โรงงานจะทำได้ในปัจจุบัน โดยไม่มีการเปลี่ยนเครื่องเชื่อมใหม่
3. งานวิจัยครั้งนี้จะมีระบบการวิจัยโดยอาศัยแนวทางเช่นเดียวกับ ซิกซ์ซิกม่า คือมี DMAIC แต่จะใช้ผู้วิจัยเป็นผู้ปฏิบัติงานร่วมกับวิศวกรและคนงานหน้างานในการทำงานเท่านั้น
4. เนื่องจากปริมาณของเสียอยู่ในรูปจำนวนนับ จึงต้องทำการแปลงจากจำนวนนับไปเป็นจำนวนวัดก่อนการทำการวิเคราะห์ด้วยหลักการของการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม
5. จัดทำมาตรฐานการปฏิบัติงาน เช่นการปรับตั้งเครื่องจักรที่ถูกต้อง(WI), Check List, Etc.

1.4 ขั้นตอน การดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาและทำความเข้าใจ หลักการ แนวคิด รวมถึงเครื่องมือทางสถิติที่จำเป็น
2. ศึกษาสภาพปัจจุบันและปัญหาในสายการผลิตของผลิตภัณฑ์ท่อสเตนเลสชนิดกลม ขัดเงา
3. กำหนดเป้าหมายและ ตัวชี้วัดของงานวิจัย หรือเรียกว่า ขั้นตอนการกำหนดปัญหา (Define phase)
4. หาปัจจัยที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดปัญหาและตรวจสอบระบบการวัดที่ใช้วัดตัวชี้วัดของโครงการ หรือเรียกว่าขั้นตอนการวัดผล(Measure phase)
5. กลั่นกรองปัจจัยทั้งหมดด้วยวิธีทางสถิติ จนกระทั่งได้ปัจจัยที่มีผลต่อตัวชี้วัดของโครงการอย่างมีนัยสำคัญเท่านั้น หรือเรียกว่าขั้นตอนการวิเคราะห์(Analyze phase)
6. หาค่าที่เหมาะสมสำหรับแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อตัวชี้วัดของโครงการ เพื่อให้ได้ผลตามเป้าหมายที่ตั้งไว้หรือ เรียกว่าขั้นตอนการปรับปรุง(Improve phase)

7. การควบคุมสภาวะของแต่ละปัจจัยให้ได้ตามที่ออกแบบทดลองไว้ และคอยเฝ้าดูเพื่อให้มั่นใจว่าปัญหาจะไม่เกิดขึ้นด้วยสาเหตุเดิมอีก หรือเรียกว่าขั้นตอนการควบคุม(Control phase)
8. วัดผลการแก้ปัญหาโดยการบันทึกประสิทธิภาพของกระบวนการที่สามารถเพิ่มขึ้นได้ ค่าใช้จ่ายที่สามารถลดลงได้ สรุปผลการดำเนินโครงการ และจัดทำข้อเสนอแนะ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ทำให้เข้าใจถึงหลักการของการรีดขึ้นรูปเย็นท่อสเตนเลส
2. ทำให้ทราบถึงปัจจัยที่ส่งอิทธิพลต่อปริมาณของเสียจากกระบวนการ
3. ทำให้สามารถลดของเสียที่เกิดจากกระบวนการรีดขึ้นรูปเย็นท่อสเตนเลสเกรด 304 ได้
4. สามารถกำหนดแนวทางการปฏิบัติงาน เพื่อเป็นมาตรฐานให้ทางโรงงาน
5. เป็นแนวทางในการทำซิกซ์ซิกม่าของทางโรงงานในอนาคต

1.6 แผนการดำเนินงานวิจัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	มิ.ย.		ก.ค.		ส.ค.		ก.ย.		ต.ค.		พ.ย.		ธ.ค.		ม.ค.		ก.พ.		มี.ค.	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1. ศึกษาถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวของกับการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต การปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยการลดของเสียที่เกิดขึ้น																				
2. ศึกษากระบวนการรีดขึ้นรูปเย็นของการผลิตท่อสเตนเลส สภาพโรงงานในปัจจุบัน กำหนดความต้องการร่วมกับทางโรงงาน																				
3. กำหนดปัญหาที่จะแก้ไขและตัวชี้วัดของโครงการร่วมกับทางโรงงาน																				
4. รวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการวิจัย																				
5. วิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น หาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวชี้วัด																				
6. ใช้เครื่องมือทางสถิติและหลักการทางการปรับปรุงกระบวนการเข้ามาช่วยในการปรับปรุงประสิทธิภาพ																				
7. นำการปรับปรุงเข้าไปใช้กับโรงงานจริงเพื่อดูผลการปรับปรุง																				
8. ติดตามผลการปรับปรุง																				
9. วางมาตรการป้องกันปัญหาที่จะเกิดขึ้นในอนาคตให้กับทางโรงงาน																				
10. สรุปผลการปฏิบัติงาน จัดทำข้อเสนอแนะ																				
11. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์และนำเสนอผลงานกับทางโรงงาน																				

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้พื้นฐานทางสถิติ

2.1.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการตัดสินใจ มีความจำเป็นต้องทราบถึงวิธีการทางสถิติเพื่อการดำเนินการตัดสินให้อย่างเหมาะสมสมภายใต้จุดประสงค์ที่กำหนดไว้ ทั้งนี้เพื่อลดอัตราความเสี่ยงในการตัดสินใจ โดยต้องเข้าใจถึงพื้นฐานทางสถิติเรื่องข้อมูลก่อน

ข้อมูล (Data) หมายถึง สิ่งที่รวบรวมไว้ซึ่งข้อเท็จจริง (Fact) และถือเป็นสิ่งที่มีความสำคัญมากในวิธีทางสถิติ สำหรับในสถิติเชิงพรรณนานั้น ข้อมูลอาจจะได้มาจากการวัดหรือการนับสมาชิกของประชากรโดยตรง หรือได้มาจากสิ่งตัวอย่าง (Sample) ที่ได้มาจากการชักสิ่งตัวอย่าง (Sampling) จากประชากรก็ได้ แต่สำหรับในสถิติเชิงอนุมานแล้ว ข้อมูลจะต้องได้มาจากการวัดหรือการนับสมาชิกของสิ่งตัวอย่างเท่านั้น

ข้อมูลในทางสถิติสำหรับงานวิศวกรรม อาจจำแนกออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ

ข้อมูลจากการแจงนับ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้มาจากการนับสมาชิกประชากร หรือสิ่งตัวอย่าง โดยปกติแล้วจะมีลักษณะแบบช่วง (Discrete Data) และข้อมูลประเภทนี้สามารถใช้ได้กับพารามิเตอร์แบบ แอตทริบิวส์ (Attributes) และแบบผันแปร (Variable)

ข้อมูลจากการวัด ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการวัดสมาชิกแต่ละตัวของประชากร หรือสิ่งตัวอย่าง โดยปกติแล้วจะมีลักษณะแบบต่อเนื่อง (Continuous Data) และข้อมูลประเภทนี้ใช้ได้เฉพาะพารามิเตอร์แบบผันแปรเท่านั้น

นอกจากนี้แล้ว ในการรวบรวมข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์และตัดสินใจทางวิศวกรรมนั้น มีความจำเป็นที่จะต้องจัดระบบการรวบรวมข้อมูลให้สอดคล้องกับลักษณะสมบัติ 4 ประการ คือ

ข้อมูลจะต้องมีความถูกต้องค่อนข้างสูง (ด้วยความมั่นใจมากกว่า 95%)

ข้อมูลทุกตัวจะต้องสามารถสอบย้อนกลับได้ (Traceability) ทั้งนี้ด้วยการออกแบบใบรวบรวมข้อมูลที่ระบุแหล่งความผันแปรต่างๆ

ประเภทของข้อมูลที่ถูกต้องตามจุดประสงค์ของการรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์

ระบบการรวบรวมข้อมูลจะต้องจัดให้ครอบคลุมทุกจุดปฏิบัติการและทันเวลา

ในการรวบรวมข้อมูล หากมิได้มีการรวบรวมจากสมาชิกทั้งหมดของประชากรแล้ว ก็มีความจำเป็นต้องรวบรวมจากการชักสิ่งตัวอย่างจากประชากร โดยลักษณะสมบัติของข้อมูล

จะต้องเป็นค่าไม่เท่ากัน แต่มีอิสระต่อกัน โดยมีแนวโน้มเข้าหาค่าค่าหนึ่งที่ควรจะเป็น ด้วยตัวแบบที่คงที่เสมอตามสมการข้างล่าง

$$Y_i = \mu + \varepsilon_j$$

เมื่อ Y_i = ค่าของข้อมูล

μ = ค่าเฉลี่ยของประชากร ภายใต้ค่าตัวแปรที่สามารถควบคุมได้

ε_j = ค่าความคลาดเคลื่อนในข้อมูล

2.1.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

จากที่กล่าวตามข้อ 3.1 พบว่าสารสนเทศเพื่อการตัดสินใจที่ผู้วิเคราะห์ต้องการสรุปจากข้อมูล ได้แก่ ค่าที่ควรจะเป็น ทั้งนี้เนื่องจากค่าดังกล่าวแปรเปลี่ยนไปจากสาเหตุปัจจัยที่ควบคุมได้ ซึ่งต้องวิเคราะห์ดำเนินการปฏิบัติการกับกระบวนการ และค่าที่ควรจะเป็น จะเป็นค่าที่ข้อมูลมีแนวโน้มลู่เข้าหา ดังนั้น เรียกลักษณะสมบัติประเภทนี้ของข้อมูลว่า “ค่าแนวโน้มสู่ศูนย์กลาง (Central Tendency) ซึ่งสามารถวัดได้ด้วยตัวสถิติ (Statistic) ได้แก่ มัชฌิม (Mean) หรือค่าเฉลี่ย, ค่ามัธยฐาน (Median) และค่าฐานนิยม (Mode)

ในการวิเคราะห์ความมีคุณภาพของข้อมูลนั้น จะพิจารณาถึงขนาดของความเบี่ยงเบนที่เรียกว่า “การกระจาย (Dispersion)” โดยสามารถวัดได้ด้วยตัวสถิติ อาทิ พิสัย (Range) ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ความแปรปรวน (Variance) นอกจากนี้ยังการวิเคราะห์รูปทรงได้แก่ ความเบ้ (Skew ness) และค่าความโด่ง (Kurtosis) ของข้อมูล

2.1.3 การวิเคราะห์ค่าการกระจายของข้อมูล

การวิเคราะห์ค่าการกระจายของข้อมูลสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีขึ้นกับแนวคิดและบทบาทในการประยุกต์ใช้ที่แตกต่างกัน จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้อ่านต้องแยกแยะให้ออก

ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : S)

ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นตัวสถิติที่อธิบายถึงการกระจายตัวของข้อมูล รอบค่าค่าหนึ่งโดยใช้

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

ค่าการกระจายตัวของข้อมูลตัวอย่างมาทำการประมาณ

เมื่อ S = ค่าความผันแปรของข้อมูลรอบค่าศูนย์กลาง

X_i = ค่าที่ตรวจวัดได้ของข้อมูล

$\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยของข้อมูล

n = จำนวนข้อมูล

2.1.4 การวิเคราะห์ค่าแนวโน้มสู่ศูนย์กลางของข้อมูล

ค่าแนวโน้มสู่ศูนย์กลางของข้อมูล หมายถึง ค่าที่ควรจะเป็นของข้อมูล ซึ่งจะสะท้อนให้ทราบถึงผลจากปัจจัยที่ได้รับการควบคุมในขณะรวบรวมข้อมูล และหมายความถึงผลจากปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ในกระบวนการ และมักจะถือค่านี้เป็นสารสนเทศที่ใช้ในการตัดสินใจนิยามปัญหาเพื่อการปฏิบัติการแก้ไข

ค่ามัชฌิม (Mean) หรือค่าเฉลี่ย (Average)

ค่าเฉลี่ย หมายถึง ค่าที่ได้จากการกำจัดทิ้งหรือการเฉลี่ยออก (Average out) ผลของตัวแปรที่มิได้รับการควบคุม (Uncontrolled Effect) ในขณะรวบรวมข้อมูล โดยข้อมูลต้องมีการกระจายแบบปกติและต้องเป็นข้อมูลที่รวบรวมมาจากประชากรที่มีขนาดเบี่ยงเบนคงที่ด้วย โดยจะเรียกค่าที่ได้นี้ว่า ค่าเฉลี่ย ซึ่งต้องการย้ำถึง การเฉลี่ยออก (Average Out) ผลของตัวแปรที่มิได้รับการควบคุม ซึ่งปกติมักแทนด้วย y bar ดังนั้น รูปแบบทั่วไปของ y bar คือ

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n}$$

เมื่อ X_i = ค่าที่ตรวจวัดได้ของข้อมูล

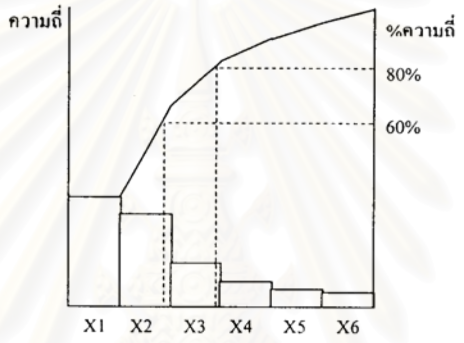
$\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยของข้อมูล

n = จำนวนข้อมูล

2.1.5 วิธีการทางกราฟในการนำเสนอข้อมูล

2.1.5.1 แผนภาพพาเรโต (Pareto Diagram)

แผนภูมิพาเรโต เป็นกราฟแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุของปัญหากับปริมาณของปัญหา(หัวข้อของข้อมูลกับปริมาณของข้อมูล)นั้นๆ ใช้สำหรับวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของข้อมูลแบบหลายพวก ตลอดจนใช้ในการพิจารณาถึงการจำแนกประเภทของข้อมูล (Stratification) เพื่อประกอบการวิเคราะห์โดยมีประเด็นสำคัญในการตรวจสอบความมีเสถียรภาพของข้อมูล คือจะต้องทำการเก็บรวบรวมข้อมูลในรูปค่าสะสมตามเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงไปเสมอ โดยแผนภาพดังกล่าวนี้จะอาศัยหลักการพาเรโต (Pareto Principle) ที่ว่า "สิ่งที่มีความสำคัญมากมีจำนวนเล็กน้อย (The Vital Few) และสิ่งที่มีความสำคัญน้อยมีจำนวนมาก (The Trivial Many)" ซึ่งตัวเลขประมาณการที่นิยมใช้ในการตัดสินใจคือ 80-20 หรือ 70-30 โดยลักษณะของแผนภาพพาเรโตแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลักษณะของแผนภาพพาเรโต

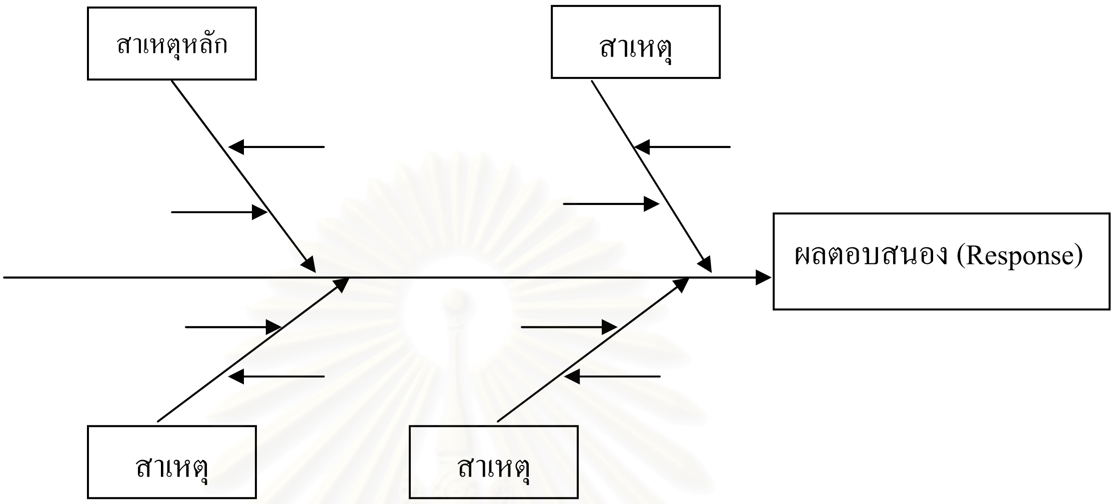
2.1.5.2 แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

แผนภาพสาเหตุและผลหรือแผนภาพก้างปลา (Fish Bone Diagram) เป็นแผนภาพที่ใช้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลของปัญหาที่พิจารณา โดยแผนภาพดังกล่าวจะได้มาจากการกำหนดหัวข้อของปัญหาที่ชัดเจนแล้วจึงทำการระดมสมองเพื่อหาสาเหตุอย่างเป็นระบบ แผนภาพสาเหตุและผลจำแนกได้เป็น 3 ประเภท คือ การวิเคราะห์ความผันแปร (Dispersion Analysis) การจำแนกตามกระบวนการ (Process Classification) และการกำหนดรายการสาเหตุ (Cause Enumeration) แต่เนื่องจากปัญหาที่นำมาดำเนินการแก้ไขในโครงงานวิจัยนี้เป็นปัญหาเรื้อรัง (Chronic Problem) ซึ่งต้องใช้ความรู้ทางเทคโนโลยีเฉพาะด้าน (Intrinsic Technology) มาช่วยในการระดมสมอง จึงขออธิบายเฉพาะแผนภาพสาเหตุและผลประเภทกำหนดรายการสาเหตุ ดังนี้

- มีลักษณะคล้ายกับแผนภาพสาเหตุและผลประเภทวิเคราะห์ความผันแปร ซึ่งกล่าวถึงอาการหรือสาเหตุของปัญหา ในขณะที่แผนภาพสาเหตุและผลประเภทการกำหนดรายการจะมุ่งสู่รายการสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา ดังแสดงในรูปที่ 2.2

- มีประโยชน์คือทำให้ทราบถึงรายการของสาเหตุทั้งหมดเพื่อทำการพิสูจน์หาสาเหตุ

- ต้องทำการทบทวนอยู่เสมอว่าสภาพปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงไปจากที่ศึกษาในตอนแรกหรือไม่เพื่อให้มั่นใจได้ว่าสาเหตุหลักๆ มิได้ถูกละเลย



รูปที่ 2.2 โครงสร้างแผนภาพสาเหตุและผล

2.1.5.3 กราฟ (Graph)

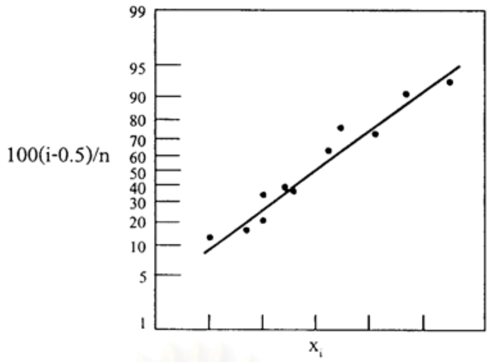
กราฟ หมายถึง แผนภาพที่แสดงถึงตัวเลขผลการวิเคราะห์ทางสถิติ ซึ่งสามารถทำให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ โดยการพิจารณาด้วยตาเปล่าได้

กราฟมีประโยชน์อย่างมากในการวิเคราะห์ทางสถิติวิศวกรรม ดังกรณีต่อไปนี้

1. การอธิบาย เช่น อัตราส่วนของข้อบกพร่อง ผลิตภาพ
2. การสร้างความเข้าใจ โดยการวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลในปัจจุบันกับข้อมูลในอดีต
3. การควบคุม เช่น การควบคุมอุณหภูมิ การควบคุมค่าผลได้ (Yield)
4. การวางแผน เช่น การวางแผนผลิตประจำวัน
5. การคำนวณ เช่น การคำนวณเส้นพิกัดควบคุม

2.1.5.4 กราฟทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Probability Paper : NOPP) กราฟทดสอบการแจกแจงแบบปกติเป็นกราฟที่พล็อตระหว่างข้อมูลที่นำมาพิจารณากับความถี่สะสมในสเกลของการแจกแจงปกติและนำมาใช้ตรวจสอบความเป็นปกติ(Normal) ของข้อมูลโดยเฉพาะ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



<u>รูปที่ 2.3</u> ลักษณะกราฟทดสอบการแจกแจงแบบปกติ

2.1.6 **การทดสอบสมมติฐาน**

2.1.6.1 การทดสอบสมมุติฐาน (Test of Hypothesis)

เป็นกระบวนการตัดสินใจเพื่อยืนยันความเชื่ออย่างใดอย่างหนึ่งเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่อธิบายสภาวะที่เกิดขึ้นจริง และเรียกข้อความที่แสดงถึงการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มที่หมายถึงสภาวะที่เกิดขึ้นจริงว่า สมมติฐานเชิงสถิติ (Statistical Hypothesis) ได้แก่ สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis ; H_0) และสมมุติฐานอื่น (Alternative Hypothesis ; H_1) โดยสมมุติฐานหลัก คือ สมมุติฐานที่เชื่อว่าเป็นสภาวะที่เกิดขึ้นจริงและต้องทำการทดสอบเพื่อที่จะปฏิเสธสมมุติฐานนี้

การตัดสินใจแบบทดสอบสมมุติฐานนี้มีโอกาสในการผิดพลาดได้ 2 ชนิด คือ

- ความผิดพลาดแบบที่ 1 (Type I Error) : การปฏิเสธสมมุติฐานหลักทั้งที่ในความเป็นจริงสมมุติฐานหลักถูกต้องอยู่แล้ว เรียกว่าระดับนัยสำคัญ(Significant Level) แทนด้วยสัญลักษณ์ α
- ความผิดพลาดแบบที่ 2 (Type II Error) : การไม่ปฏิเสธสมมุติฐานหลักทั้งที่ในความเป็นจริงสมมติฐานหลักไม่ถูกต้องแทนด้วยสัญลักษณ์ β และ 1-β คืออำนาจในการทดสอบ (Power of Test)

ในการทดสอบสมมติฐานนั้นต้องออกแบบวิธีการตัดสินใจให้มีระดับนัยสำคัญคงที่และมีค่าต่ำๆ เช่น 0.05 หรือ 0.1 และให้อำนาจในการทดสอบมีค่าสูงที่สุด ทั้งนี้เพื่อให้การตัดสินใจเลือก H_1 ต้องกระทำอย่างมีเหตุผลรองรับที่ชัดเจนจริงๆ ซึ่งเรียกว่า การตัดสินใจแบบยืนยัน (Strong Conclusion) โดยการทดสอบสมมติฐานสามารถดำเนินการ ดังต่อไปนี้

a. ตั้งสมมติฐานตามสิ่งที่ต้องการทดสอบ อาจเป็นสมมติฐานแบบสองด้าน หรือด้านเดียว

b. กำหนดวิธีการตัดสินใจ ,d [X] ด้วยการพิจารณาถึงตัวสถิติสำหรับการทดสอบพารามิเตอร์ แล้วพิจารณาถึงการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวสถิติด้วยทฤษฎีการแจกแจงของสิ่งตัวอย่าง ซึ่งอธิบายถึงขนาดความผันแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ในระหว่างเงื่อนไขของการทดลอง จากนั้นกำหนดช่วงแห่งการปฏิเสธภายใต้ค่า α ที่กำหนด

c. ออกแบบการทดลอง ด้วยการกำหนดค่า n

d. ดำเนินการทดลองตามที่ออกแบบไว้

e. ตัดสินใจตามวิธีการตัดสินใจที่กำหนดไว้ คือ ถ้าหากค่าตัวสถิติอยู่ภายในช่วงการยอมรับ ให้ยอมรับสมมติฐาน หรือสรุปว่าไม่มีเหตุผลในการปฏิเสธสมมติฐาน แต่ถ้าหากค่าของตัวสถิติอยู่ในบริเวณแห่งการปฏิเสธให้ทำการปฏิเสธสมมติฐาน และยืนยันว่าสมมติฐานที่กำหนดไว้ไม่ถูกต้อง

2.1.6.2 การพิจารณาค่า P-Value ในการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Test)

P-Value คือ ความน่าจะเป็นที่ตัวสถิติทดสอบจะมีค่าเท่ากับค่าสังเกต (Observed Value) ที่เป็นไปได้น้อยที่สุดเมื่อสมมติฐานหลักเป็นจริง โดยทั่วในโปรแกรม MiniTab แสดง ค่า P-Value ไว้ ดังนั้นในการดำเนินโครงงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ P-Value เท่ากับ 0.05 ในการทดสอบสมมติฐาน

2.1.7 **การแปลงข้อมูล** (Data Transformation)

เป็นเทคนิคทางสถิติของการแปลงข้อมูลจากการกระจายตัวแบบไบโนเมียล (Binomial Distribution) ไปสู่กระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) ด้วยวิธีการแปลงค่าผ่านการแปลงข้อมูลด้วยวิธี Freeman & Turkey Transform (Angular Transformation)

$$\textit{Transform Data} = \textit{Arcsine}\ (\sqrt{\text{Proportion}}\ )$$

โดย - Response อยู่ในรูปของจำนวนเสีย (defect)

- Trial คือ จำนวนทดลองในแต่ละรัน

- Proportion คือ Respond/Trial

2. 2 การวิเคราะห์ระบบการวัด

2.2.1 แนวความคิดในการวิเคราะห์ระบบการวัด

จุดประสงค์สำคัญในการวิเคราะห์ถึงแหล่งของความคลาดเคลื่อนในระบบการวัด ด้วยการจำแนกสาเหตุออก และเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของค่าวัดมีทั้งปริมาณที่สามารถกำจัดได้

และกำจัดไม่ได้ จึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการกำจัดปริมาณที่สามารถควบคุมได้ก่อน อันได้แก่ความคลาดเคลื่อนจากความผิดพลาดทั้งนี้ด้วยการดำเนินการทำให้ระบบการวัดเป็นมาตรฐานเดียวกัน

จากนั้นให้ดำเนินการสอบเทียบเครื่องมือเพื่อการกำจัดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ โดยการสอบเทียบนี้หมายถึง กระบวนการวิธีในการถ่ายค่ามาตรฐานของค่าวัดจากมาตรฐานที่สูงกว่ามาตรฐานที่ต่ำกว่า โดยระบบการสอบเทียบดังกล่าวนี้ต้องสามารถสอบกลับได้ (Traceability) โดยการสอบกลับได้ จะมีความหมายถึง ความสามารถต่อการกำหนดความสัมพันธ์ของค่าวัดแต่ละค่ากับมาตรฐานแห่งชาติหรือมาตรฐานระหว่างประเทศที่ได้รับการยอมรับ

ความคลาดเคลื่อนของค่าวัดแบ่งเป็น 3 ประเภทคือ

1. ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความผิดพลาด (Gross Error) เป็นความคลาดเคลื่อนจากสาเหตุความผิดพลาดของระบบการวัด ส่วนมากเกิดจากการขาดความรู้ความเข้าใจ เกี่ยวกับเครื่องมือวัด และวิธีการวัดของพนักงานที่ทำการวัด กรณีนี้ไม่สามารถคาดการณ์ได้ แต่สามารถแก้ไขด้วยการทำระบบการวัดให้เป็นมาตรฐาน คือ กำหนดขั้นตอนและวิธีการที่แน่นอน การฝึกอบรมพนักงานวัด การทำมาตรฐานของสิ่งที่ได้รับการวัด และการบำรุงรักษาเครื่องมือวัดอย่างถูกต้องแล้วดำเนินการประเมินผล

2. ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (Systematic Error) หมายถึงความคลาดเคลื่อนที่ค่าควรจะเป็น (Expected Value) จากค่าวัดได้ซึ่งมาจากการเฉลี่ยออกความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มซึ่งเบี่ยงเบนไปจากค่าจริงของสิ่งที่ได้รับจากการวัด

3. ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม หมายถึงความผันแปรของข้อมูลสอบค่าที่ควรเป็นของค่าวัด ซึ่งจะมีลักษณะเป็นตัวแปรสุ่ม โดยมีสาเหตุจากสาเหตุธรรมชาติ (Common Cause) ของระบบการวัด และไม่สามารถกำจัดทิ้งได้แต่สามารถปรับค่าให้ลดลงได้ด้วยการกำหนดการแก้ไขระบบการวัด

2.2.2 คุณภาพของข้อมูลจากระบบการวัด

คุณภาพของข้อมูลจากระบบการวัดถือเป็นเงื่อนไขจำเป็นสำหรับการนำข้อมูลจากระบบการวัดหนึ่งๆ ไปประเมินผลระบบการวัด ซึ่งประกอบด้วยคุณสมบัติหลัก 2 ประการคือ ความสามารถในการแยกความแตกต่าง (Discrimination) และคุณสมบัติด้านความสุ่มของข้อมูลวัด ในการประเมินผลระบบการวัดนี้ มีความจำเป็นต้องดำเนินการทดสอบคุณสมบัติสองประการดังกล่าวแล้วดำเนินการแก้ไขให้เรียบร้อยก่อนการประเมินผลระบบการวัด

2.2.3 การวิเคราะห์ความถูกต้องของระบบการวัด

ในการวิเคราะห์ระบบการวัดทางด้านความถูกต้อง โดยมีการพิจารณา 3 ประเด็นคือ คุณสมบัติด้านไบอัส คุณสมบัติด้านมีความเสถียรภาพของระบบการวัด และคุณสมบัติเชิงเส้นตรง โดยการวิเคราะห์คุณสมบัติทั้งสามประการนี้จำเป็นต้องกำหนดค่าอ้างอิงหรือค่ามาสเตอร์ให้กับงานมาตรฐาน ด้วยการวัดซ้ำภายใต้สภาวะควบคุม แล้วทำการเฉลี่ยออกความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติ เพื่อกำหนดให้เป็นค่ามาตรฐานเพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์

2.2.4 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด

การวิเคราะห์ความแม่นยำ มุ่งพิจารณา 2 ประเด็นหลัก คือ คุณสมบัติเชิงสถิติของค่าวัดมีความไวต่อเทคนิคของพนักงานวัดหรืออุปกรณ์การวัดหรือไม่ และระบบการวัดที่พิจารณามีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของผลิตภัณฑ์ที่แสดงถึงความผันแปรของกระบวนการผลิตหรือไม่

คุณสมบัติแม่นยำ จำแนก 2 ประเภท ได้แก่

1. รีพีททะบิลิตี้ (Repeatability) หมายถึง ความแตกต่างของระบบการวัดภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน
2. รีโปรดิวซิบิลิตี้ (Reproducibility) หมายถึง ความแตกต่างของระบบการวัดที่เงื่อนไขแตกต่าง

2.2.5 การประเมินผลกระบวนการวัดแบบข้อมูลนับในระยะสั้น

หัวข้อนี้เป็นการประเมินความสามารถของระบบการวัดเมื่อข้อมูลได้มาจากการนับ ซึ่งเป็นการประเมินผลข้อมูลเชิงคุณลักษณะเชิงคุณภาพ (Attribute Characteristic) เช่น รสชาติ ความเรียบร้อย สวยงาน ฯลฯ หรือ gage ผ่าน/ไม่ผ่าน

ในการศึกษาความสามารถของระบบการวัดนี้ สามารถแบ่งเป็น 2 วิธี คือ วิธีการประเมินผลในระยะสั้น (Short Method) และวิธีการประเมินผลในระยะยาว (Long Method) โดยงานวิจัยนี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะวิธีการประเมินผลในระยะสั้นโดยแนวความคิดของวิธีการประเมินผลในระยะสั้นจะอาศัยการจำแนกชิ้นสิ่งตัวอย่าง งานที่มีทั้งลักษณะดี ไม่ดีและก้ำกึ่งในจำนวนที่เหมาะสม แล้วให้พนักงานที่สุ่มมาหรือกำหนดไว้ล่วงหน้าทำการตรวจสอบ เพื่อจำแนกผลการตรวจสอบเป็นผ่านและไม่ผ่าน จากนั้น จะพิจารณาว่าผลการตรวจสอบซ้ำมีคุณภาพตรงกับคุณภาพที่แท้จริงของสิ่งตัวอย่างหรือไม่ ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะบ่งบอกถึง “ ความถูกต้อง” ในการตรวจสอบ

ขั้นตอนการประเมินผลแบบระยะสั้น มีวิธีการดังนี้

1. ทำการเลือกสิ่งตัวอย่างงานจากกระบวนการผลิตประมาณ 20 – 30 ชิ้น โดยพยายามให้สิ่งตัวอย่างดังกล่าว ประกอบด้วย สิ่งตัวอย่างที่มีคุณภาพดี สิ่งตัวอย่างที่มีคุณภาพไม่ดี และสิ่งตัวอย่างที่มีคุณภาพก้ำกึ่ง ในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน
2. ทำการเลือกพนักงานวัดหรือพนักงานตรวจสอบงานมา 2 – 4 คน โดยพนักงานที่เลือกจะต้องเป็นพนักงานที่มีหน้าที่ประจำในการตรวจสอบคุณภาพ และได้ผ่านการฝึก อบรมมาเป็นอย่างดีและผ่านการสอบประเมินผล
3. ทำการเลือกพนักงานขึ้นมาก่อนหนึ่งคนแล้วให้ตรวจสอบสิ่งตัวอย่างงานอย่างสุ่ม เพื่อประเมินคุณภาพงานว่า “ผ่าน” หรือ “ไม่ผ่าน” พร้อมบันทึกผลลงในตารางทดสอบและในการประเมินผลของพนักงานแต่ละคนนี้มีความจำเป็นต้องทำการตรวจสอบ “ซ้ำ” อย่างน้อยชิ้นงานละ 2-3 ครั้ง
4. ทำการเลือกพนักงานคนที่สองขึ้นมาแล้วดำเนินการตรวจสอบสิ่งตัวอย่างงานอย่างสุ่มเหมือนข้อ 3 และทำเช่นนี้กับพนักงานคนอื่น ๆ อีกจนครบทุกคนตามที่ได้วางแผนไว้
5. ดำเนินการประเมินผลด้วยดัชนีต่าง ๆ

$$\%\text{รีพีททะบิลิตี้ของพนักงานตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ทำการตรวจสอบเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}}$$

$$\%\text{ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ทำการตรวจสอบได้เหมือนและถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}}$$

$$\%\text{ประสิทธิภาพด้านรีพีททะบิลิตี้การตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ทำการตรวจสอบได้เหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}}$$

$$\%\text{ประสิทธิผลด้านไบอัสของการตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ตรวจสอบได้เหมือนและถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}}$$

6. ดำเนินการตัดสินใจเพื่อปฏิบัติการแก้ไขจากดัชนีที่คำนวณได้จากดัชนีตามสมการ โดยที่ว่าถ้าเปอร์เซ็นต์รีพีททะบิลิตี้ของพนักวานตรวจสอบ มีคะแนนต่ำกว่า 100 % แล้ว มีความจำเป็นต้องทำการฝึกอบรมพนักงานใหม่ รวมทั้งมีการประเมินผลพนักงานใหม่ เพื่อปรับปรุงให้รีพีททะบิลิตี้ดีขึ้น แต่ถ้าหาก เปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ มีค่าต่ำกว่า 100 % แล้ว มีความจำเป็นต้องปรับปรุงการตรวจสอบเสียใหม่ หรือมิฉะนั้นก็จำเป็นต้องมีการตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญเฉพาะ

การประเมินผลในกรณีนี้จะพิจารณาทั้งความถูกต้องของการตรวจสอบ โดยการพิจารณาค่าดัชนีความไม่ไบอัสของการตรวจสอบของพนักงาน และรีพีททะบิลิตี้ของพนักงานตรวจสอบ ตลอดจนค่าดัชนีแสดงผล ซึ่งเกณฑ์การตัดสินใจโดยทั่วไปแล้วมักต้องการให้การตรวจสอบมีค่าดัชนีทุกค่าเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น ถ้าดัชนีตัวใดมีค่าไม่ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ แล้วก็มีความจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุแล้วดำเนินการแก้ไขให้ถูกต้องด้วยการทบทวนวิธีการตรวจสอบและมีการอบรมพนักงานใหม่ตามสาเหตุในแต่ละกรณี

2.3. การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

2.3.1 ความหมายและวัตถุประสงค์

การทดลอง หมายถึง การทดสอบหรือชุดของการทดสอบที่มีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรป้อนเข้า (Input Variables) ของกระบวนการหรือระบบเพื่อสังเกตผลและชี้บ่งสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงในผลลัพธ์ (Output Response) ที่ได้ ส่วนการทดลองเชิงสถิติ (Statistical Design of Experiment) หมายถึง กระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสม สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติและสามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุผลได้ โดยวัตถุประสงค์ของการทดลองอาจจะเกี่ยวข้องกับประเด็นต่างๆ ดังนี้

1. การหาตัวแปรที่มีผลมากที่สุดต่อค่าตัวแปรตอบสนอง (Response)
2. การหาวิธีการตั้งค่าของปัจจัยนำเข้า (Input) ที่มีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนองเพื่อทำให้ได้ตัวแปรตอบสนองที่มีค่าตามที่ต้องการ
3. การหาวิธีการตั้งค่าของปัจจัยนำเข้า ที่มีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนองเพื่อทำให้ความผันแปรของค่าตัวแปรตอบสนองมีค่าน้อยที่สุด
4. การหาวิธีการตั้งค่าของปัจจัยนำเข้า ที่มีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนองเพื่อให้ผลของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้มีค่าน้อยที่สุด

2.3.2 หลักการพื้นฐานของการออกแบบการทดลอง

หลักการพื้นฐาน 3 ประการ สำหรับการออกแบบการทดลอง มีดังนี้

2.3.2.1 การทำซ้ำ (Replication)

การทำซ้ำ หมายถึง การทำการทดลองซ้ำ ซึ่งมีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการ คือ ประการแรก Replication ทำให้สามารถหาความผันแปรอันเนื่องมาจากปัจจัยที่ไม่ได้รับการควบคุม (Experimental Error) ในการทดลองได้ โดยตัวประมาณค่าความผันแปรนี้เป็นหน่วยของการวัดขั้นพื้นฐานสำหรับพิจารณาว่าความแตกต่างสำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีความ

แตกต่างกันในเชิงสถิติหรือไม่ และประการที่สอง คือ Replication ทำให้สามารถหาตัวประมาณค่าที่ถูกต้องยิ่งขึ้นของค่าเฉลี่ยจากข้อมูลในการทดลอง

2.3.2.2 การสุ่ม (Randomization)

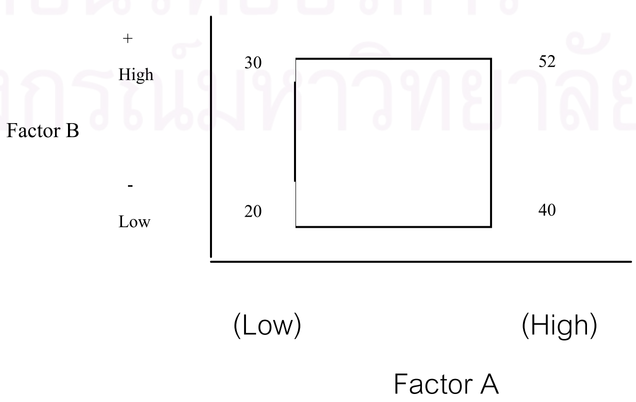
การสุ่ม หมายถึง การทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลองและลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม ซึ่งเป็นพื้นฐานหลักในการใช้วิธีการเชิงสถิติที่กำหนด ข้อมูลจะต้องเป็นตัวแปรสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระทั้งนี้เพื่อเป็นการลดผลกระทบจากปัจจัยภายนอกที่อาจเกิดขึ้นในการทดลอง

2.3.3 **การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล**

คำนิยามและหลักการ

การทดลองส่วนมากในทางปฏิบัติจะเกี่ยวข้องกับการศึกษาถึงผลของปัจจัย (Factor) ตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป ในกรณีเช่นนี้ การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Design) จะเป็นวิธีการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล หมายถึง การทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับ (Level) ของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น ตัวอย่างเช่น กรณี 2 ปัจจัย ถ้าปัจจัย A ประกอบด้วย a ระดับ และปัจจัย B ประกอบด้วย b ระดับ ในการทดลอง 1 เรพลิเคต (Replicate) จะประกอบด้วยการทดลองทั้งหมด ab การทดลอง และเมื่อปัจจัยที่เกี่ยวข้องถูกนำมาจัดให้อยู่ในรูปแบบของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล จะระบุว่าปัจจัยมีการไขว้ (Crossed) ซึ่งกันและกัน

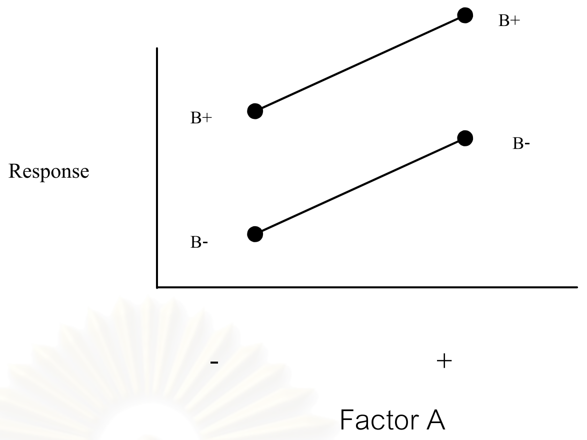
ผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่ง หมายถึง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลตอบ (Response) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยนั้นๆ เรียกว่า ผลหลัก (Main Effect) เนื่องจากว่ามันเกี่ยวข้องกับปัจจัยเบื้องต้นของการทดลอง ตัวอย่างเช่น รูปที่ 2.4-2.6 ซึ่งเป็นการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยจะประกอบด้วย 2 ระดับ คือ ระดับ “ต่ำ” และ “สูง” ซึ่งจะแทนระดับทั้งสองด้วยเครื่องหมาย “-“ และ “+” ตามลำดับ



รูปที่ 2.4 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย

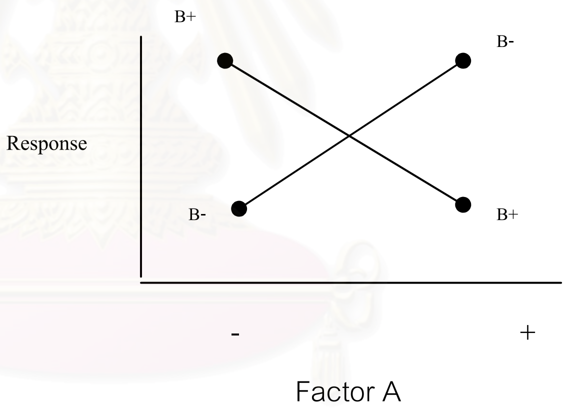
ตัวอย่างกราฟกรณี

"ไม่มีอันตรกิริยา"



รูปที่ 2.5 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล (ไม่มีอันตรกิริยา)

"มีอันตรกิริยา"



รูปที่ 2.6 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล (มีอันตรกิริยา)

2.3.4 **การออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลแบบ 2^k**

บทนำ

การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลมีความสำคัญมากที่สุดคือ กรณีที่มีปัจจัย k ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ ระดับเหล่านี้อาจจะเกิดจากข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น อุณหภูมิ ความดัน หรือเวลา เป็นต้น หรืออาจจะเกิดจากข้อมูลเชิงคุณภาพ เช่น เครื่องจักร หรือคนงาน เป็นต้น และใน 2 ระดับที่กล่าวถึงนี้จะแทนระดับ "สูง" หรือ "ต่ำ" ของปัจจัยหนึ่งๆ หรือการ "มี" หรือ "ไม่มี" ของปัจจัยนั้นๆ ก็ได้ ใน 1 เรพลิเคตที่บริบูรณ์สำหรับการออกแบบเช่นนี้จะ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประกอบด้วยข้อมูลทั้งสิ้น 2x2x2x…x2 = 2^k ข้อมูล และเรียกว่าการออกแบบลักษณะว่า การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k

การออกแบบ 2^k มีประโยชน์มากต่องานทดลองในช่วงเริ่มแรก เมื่อมีปัจจัยเป็นจำนวนมากที่ต้องการตรวจสอบ การออกแบบเช่นนี้จะทำให้เกิดการทดลองจำนวนน้อยที่สุดที่สามารถจะทำได้เพื่อศึกษาถึงผลของปัจจัยทั้ง k ชนิดได้อย่างบริบูรณ์โดยใช้ออกแบบเชิงแฟกทอเรียล การออกแบบ 2^k แบบ 1 แรพลิเคต

สำหรับการทดลองที่จำนวนของปัจจัย จำนวนทั้งหมดของการทดลองร่วมปัจจัยของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k จะมีขนาดใหญ่ ตัวอย่างเช่น การออกแบบ 25 จะประกอบไปด้วย 32 การทดลองร่วมปัจจัย การออกแบบ 26 จะประกอบไปด้วย 64 การทดลองร่วมปัจจัย และเป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ เนื่องจากความจำกัดของทรัพยากร ทำให้จำนวนของเรพลิเคตที่จะเกิดขึ้นในการทดลองนั้นๆ อาจจะมีค่าจำกัด สำหรับกรณีเช่นนี้ ผู้ทำการทดลองจะต้องตั้งสมมติฐานไว้ก่อนหน้าที่แล้วว่า ความผิดพลาดแบบสุ่ม (สิ่งรบกวน) ที่เกิดขึ้นขณะทำการทดลองนั้นมีค่าน้อยพอสมควร

บางครั้งเราเรียก การทดลอง 2^k แบบ 1 เรพลิเคต ว่า แฟกทอเรียลแบบไม่มีเรพลิเคต เมื่อทำการทดลองเพียง 1 เรพลิเคต เราจะไม่สามารถหาค่าประมาณสำหรับความผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้ วิธีการหนึ่งที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์แฟกทอเรียลแบบไม่มีเรพลิเคตก็คือ การสมมติให้อันตรกิริยาที่อยู่ในขั้นสูง (High Order) มีค่าน้อยและตัดทิ้งได้ และรวมกำลังสองเฉลี่ยของพวกอันตรกิริยาพวกนี้จากปัจจัยน้อย (Scarcity of Effects) กล่าวคือ ผลที่มีต่อระบบส่วนมากจะเป็นผลที่มาจากผลหลักและอันตรกิริยาที่อยู่ในขั้นต่ำ และอันตรกิริยาที่อยู่ในขั้นสูงจะมีค่าน้อยและสามารถตัดทิ้งได้

ในบางครั้งเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลจากการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบไม่มีเรพลิเคต อาจจะพบว่าอันตรกิริยาที่อยู่ในขั้นสูงมีผล การใช้วิธีการดังกล่าวไม่เหมาะสมสำหรับกรณีเช่นนี้ ดังนั้น เราจะใช้วิธีการตรวจสอบกราฟ การพล็อตความน่าจะเป็นแบบปกติของค่าประมาณของผลแทนและผลที่สามารถตัดทิ้งได้จะมีการกระจายแบบปกติ ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และความแปรปรวน σ^2 และค่าเหล่านี้จะเรียงตัวอยู่บนเส้นตรงของกราฟที่สร้างขึ้นมา และในแบบจำลองเบื้องต้นที่สร้างขึ้นมาควรจะประกอบด้วยปัจจัยที่มีค่าเฉลี่ยไม่เท่ากับศูนย์ โดยดูจากกราฟการพล็อตความน่าจะเป็นแบบปกติและผลที่ไม่มีผลจะถูกนำมารวมกันเพื่อใช้เป็นตัวประมาณค่าของความผิดพลาด

2.3.5 ขั้นตอนการดำเนินงานออกแบบการทดลอง

แนวทางการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1. การทำความเข้าใจถึงปัญหา (Problem Recognition & Statement)

ในการกำหนดหัวข้อของปัญหา ผู้ทดลองต้องทำความเข้าใจต่อสภาพของปัญหาและวัตถุประสงค์ของการทดลองทั้งนี้เพื่อให้เกิดความชัดเจนในการวางแผนและดำเนินการทดลองต่อไป

2. การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Choice of Response Variable)

ในการเลือกตัวแปรตอบสนอง ผู้ทดลองต้องแน่ใจว่าตัวแปรตอบสนองนี้ให้สารสนเทศที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่ ทั้งนี้ต้องแน่ใจว่าระบบการวัดที่ใช้วัดตัวแปรตอบสนองต้องมีคุณภาพเพื่อให้ความผันแปรที่เกิดขึ้นมาจากกระบวนการผลิตเพียงอย่างเดียว

3. การเลือกปัจจัย ระดับ และขอบเขตของปัจจัย (Choice of Factors and Levels)

ขั้นตอนนี้เป็นการใช้ความรู้ทางเทคโนโลยีเฉพาะด้าน(Intrinsic Technology) เกี่ยวกับกระบวนการ ซึ่งอาจมาจากประสบการณ์หรือความรู้ทางทฤษฎีเพื่อนำมาตัดสินใจเลือกปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ต้องทำการปรับในการทดลอง

4. การเลือกการออกแบบการทดลอง (Choice of Experimental Design)

การเลือกการออกแบบเกี่ยวข้องกับการกำหนดขนาดของสิ่งตัวอย่าง(Replications) การเลือกลำดับที่เหมาะสมของการทดลองที่จะใช้ในการเก็บข้อมูล การเลือกว่าจะใช้หลักการพื้นฐานใดบ้างในการออกแบบ ซึ่งในการเลือกการออกแบบจำเป็นต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองตลอดเวลา

5. การดำเนินการทดลอง (Performing the Experiment)

การดำเนินการทดลองเป็นการทำตามแผนการทดลองที่ออกแบบ ซึ่งจำเป็นต้องติดตามกระบวนการดำเนินการอย่างระมัดระวัง เนื่องจากหากมีสิ่งผิดพลาดเกิดขึ้นจะทำให้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นไม่สามารถนำไปวิเคราะห์ต่อได้

6. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ (Statistical Analysis)

ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะมีการนำวิธีการทางสถิติมาใช้ เพื่อพิจารณาว่าผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลองหรือไม่ ทั้งนี้ในการวิเคราะห์ควรใช้ความรู้ทางวิศวกรรมหรือความรู้เกี่ยวกับกระบวนการที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่มีเหตุผล

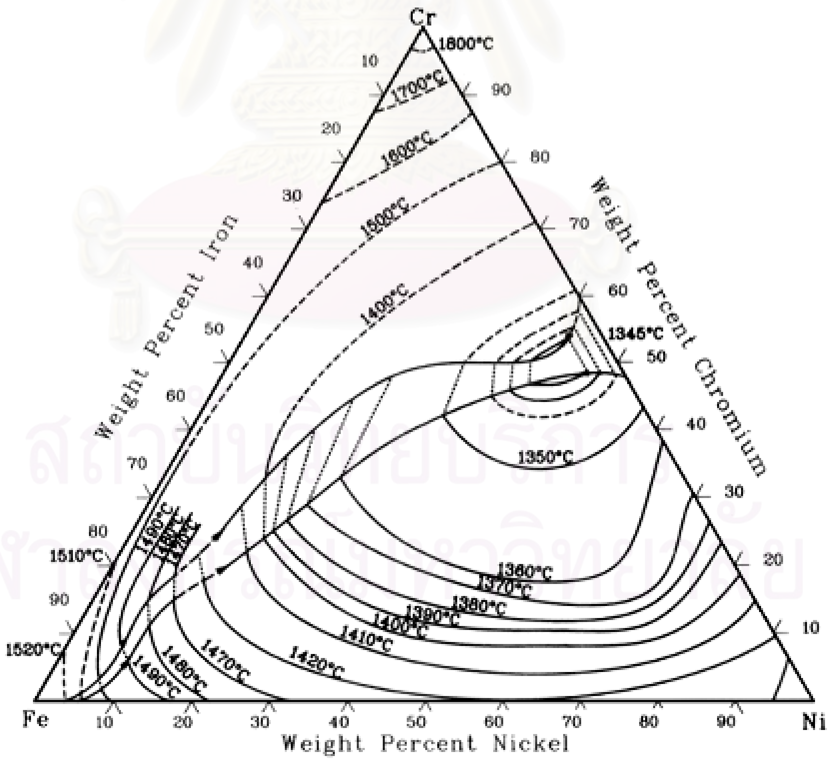
7. การสรุปผลและข้อเสนอแนะ (Conclusion and Suggestion)

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ผู้ทดลองต้องหาข้อสรุปในทางปฏิบัติของกระบวนการที่เกิดขึ้น ในขั้นตอนนี้ควรนำเอาวิธีการทางกราฟเข้ามาช่วยในการนำเสนอข้อมูล

2.4. **เหล็กกล้าไร้สนิม** (Stainless Steel)

เหล็กกล้าไร้สนิมตามมาตรฐาน AISI

เหล็กกล้าไร้สนิมโครเมียมจัดอยู่ในตระกูล 400 และโครเมียม-นิกเกิลจัดอยู่ในตระกูล 300 ดังนั้นชนิด 18-8 จึงเรียกชื่อใหม่เป็น 302 และชนิด โครเมียม 17% เรียกชื่อใหม่เป็น 430 นอกจากนั้นยังแบ่งเป็นเกรดย่อยตามส่วนผสมและลักษณะพิเศษ โดยเติมปัจจัยเป็นตัวอักษรตามหลังตัวเลขตระกูล เช่น 304 และ 306 ที่มีคาร์บอนต่ำ ตั้งชื่อเป็น 304L และ 306L ฯลฯ

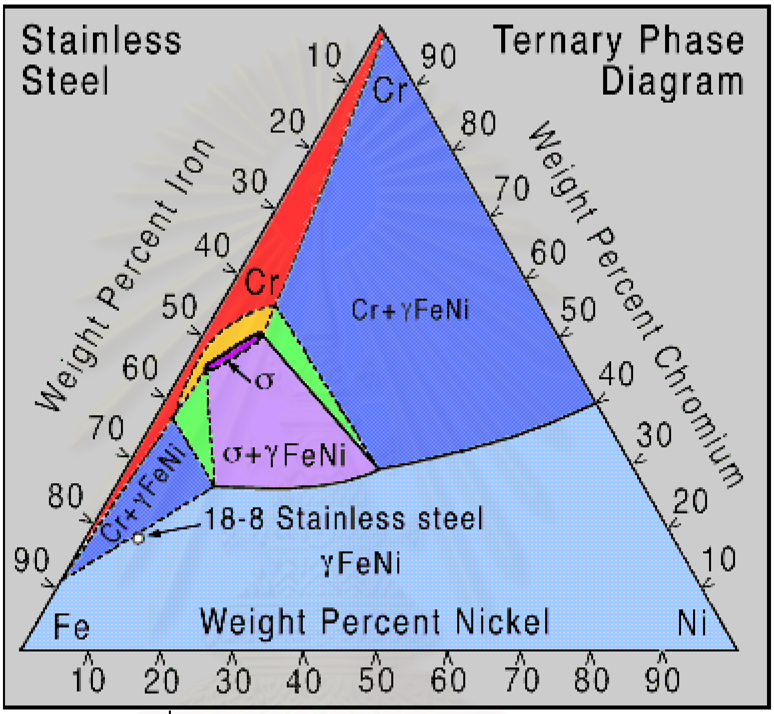


<u>รูปที่ 2.7</u> แสดงส่วนผสมและช่วงอุณหภูมิต่างๆของสเตนเลส

2.4.1 **ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิม**

โครเมียมเป็นธาตุที่ทำให้เหล็กกล้าชนิดนี้ปราศจากสนิมหรือผุกร่อนช้ากว่าเหล็กชนิดอื่น เหล็กกล้าไร้สนิมเป็นโลหะผสมระหว่าง เหล็ก-โครเมียม ที่มีปริมาณโครเมียมอย่างน้อย 11% ส่วนมากมีคาร์บอนต่ำ โครเมียม 11% เป็นปริมาณต่ำสุดที่ทำให้ทนการกัดกร่อน นอกจากนี้ยังเติมธาตุผสมชนิดอื่นๆลงไปเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลและกายภาพ

ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กเกรด 304L มี (C - 0.02, Cr – 18.4, Ni – 9.3)



<u>รูปที่ 2.8</u> แสดง Phase Diagram ของสเตนเลส

2.4.2 **เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนไนติก**

เป็นชนิดที่ผลิตออกมาใช้งานมากที่สุด ธาตุผสมที่สำคัญคือ โครเมียม-นิกเกิล จัดอยู่ในตระกูล 200 และ 300 ซึ่งโครเมียมมากกว่า 17% และนิกเกิลมากกว่า 7% ลักษณะสำคัญของเหล็กชนิดนี้คือ สามารถดำรงโครงสร้างให้เป็นออสเทนไนต์ได้ขณะเย็นตัวจากอุณหภูมิสูงจนถึงอุณหภูมิห้อง เหล็กกล้าไร้สนิมทีความเหนียวสูง ความต้านทานการล้าต่ำ และความแข็งประลัยสูง จึงเหมาะกับงานปั๊มขึ้นรูป ปกติอบชุบแข็งไม่ได้ เหล็กกล้าไร้สนิมสภาพอ่อนจะไม่เป็นแม่เหล็ก เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนไนติกมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนสูงกว่าเหล็กกล้าไร้สนิมตระกูลอื่น โดยเฉพาะอยู่ในสภาพอบอ่อนเพื่อสลายคาร์ไบด์ แล้วชุบน้ำทันทีเพื่อให้คาร์บอนคงอยู่ในสารละลายของแข็งเช่นเดิม

Steel type	Typical composition %	Applications	Standard product forms
302 (austenitic)	C 0.55, Cr 18.4, Ni 8.9	Water tubing, sinks, exhaust parts, trim, etc.	Sheet, coil, precision strip
304 (austenitic)	C 0.05, Cr 18.4, Ni 9.5	Food and dairy processing equipment, catering equipment, hollow-ware, sinks, etc.	Sheet, coil, precision strip, plate
304L (austenitic)	C 0.02, Cr 18.4, Ni 9.3	Fabricated components for road tankers and process plant, storage tanks	Sheet, coil, precision strip, plate
316 (austenitic)	C 0.55, Cr 17.0, Ni 11.9, Mo 2.5	Process plant parts, pulp and paper equipment, architectural sections	Sheet, coil, precision strip, plate
316L (austenitic)	C 0.02, Cr 17.0, Ni 11.9, Mo 2.5	Process plant parts especially in thick sections	Sheet, coil, precision strip, plate
321 (austenitic)	C 0.05, Cr 17.6, Ni 9.4, Ti 0.4	Heater element tubes, aircraft parts, process plant parts, furnace parts	Sheet, coil, precision strip, plate
347 (austenitic)	C 0.05, Cr 17.6, Ni 9.4, Nb 0.7	Process plant vessels and tubing, aircraft parts	Plate, precision strip
405 (ferritic)	C 0.05, Cr 13.0, Al 0.2	Chemical plant parts, petroleum cracking installations	Plate, precision strip
430 (ferritic)	C 0.55, Cr 16.5	Decorative household and vehicle trim, flatware, interior architectural sections	Sheet, coil, precision strip, plate
410 (martensitic heat treatable)	C 0.12, Cr 12.0	General engineering components pump and gas turbine parts	Precision strip
310 (austenitic)	C 0.55, Cr 24.5, Ni 20.0	Furnace parts, annealing covers heat exchangers, electrical parts	Plate

รูปที่ 2.9 แสดงชนิดของเหล็กสเตนเลสและเหล็กทนความร้อน

การรีดขึ้นรูป คือ การบังคับให้วัสดุเคลื่อนที่ผ่านลูกกลิ้งที่มีขนาดต่างกัน จนในที่สุดวัสดุดังกล่าวมีรูปร่างเหมือนดังลูกกลิ้งที่เราออกแบบไว้ โดยจะมี 2 แบบ คือ การขึ้นรูปร้อนและการขึ้นรูปเย็น ซึ่งโดยทั่วไปแล้วโลหะที่ถูกขึ้นรูปเย็นจะทำให้เกรนภายในเกิดการบิดเบี้ยวและมีความเค้นสูง ยากต่อการนำไปขึ้นรูปต่อด้วยวิธีการใดได้อีก ลักษณะเช่นนี้เราเรียกว่า “Work Hardening” ภายหลังจากที่โลหะเกิด Work Hardening นั้น คุณสมบัติและโครงสร้างภายในจะเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยพบว่าเมื่ออัตราการขึ้นรูปสูงขึ้น ความแข็งก็สูงขึ้นด้วย ส่วนความเหนียวจะ

ลดลง จึงต้องทำการลดความเค้นที่ตกค้างภายในด้วย การอบอ่อน ซึ่งจะทำให้เกรนภายในที่บิดเบี้ยว คลายตัว โครงสร้างเกิดการเรียงตัวใหม่ ความแข็งจะลดลง สามารถขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น

2.4.3 การเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม

เหล็กกล้าไร้สนิมสามารถเชื่อมได้ทุกท่าและทุกวิธีการ ทั่วไปนิยม Gas Tungsten Arced Welding (GTAW) กระแสไฟเป็นแบบ DCEN รอยเชื่อมจะซึมลึกและมีบริเวณกระทบร้อนแคบๆ ป้องกันการเกิดเฟสบางเฟส โดยในการเชื่อม Tungsten Inert Gas (TIG) ที่ให้ความร้อนน้อยกว่าทั่วไป ส่งผลให้เกิดการบิดตัวน้อย ลดการแตกร้าวขณะแข็งตัว

แก๊สที่ใช้ปกคลุมแนวเชื่อม คือแก๊สเฉื่อยที่จะช่วยป้องกันอากาศภายนอก ความชื้น และความสกปรกเข้ามาทำปฏิกิริยากับโลหะหลอม

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเชื่อมมีดังนี้

- เวลาในการเย็นตัว
- พลังงานที่ใช้ในการอาร์ค (kj/mm)

Arc Power (kj/mm) = VA / (T x 1000)

โดย V คือ ความต่างศักย์ (โวลต์)

A คือ กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)

T คือ มิลลิเมตรต่อวินาที

- การทำ Preheat
- การทำ Post weld
- การควบคุมอุณหภูมิระหว่างเชื่อม
- ก๊าซรองแนวเชื่อม
- โลหะป้อนเติม เป็นต้น

ความสามารถในการเชื่อมมีส่วนเกี่ยวข้องกับทั้งคุณสมบัติเชิงกลและลักษณะทางเคมีซึ่งมีผลต่อความต้านทานการกัดกร่อน ดังนั้นจึงสามารถเลือกวิธีการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมได้ในวงจำกัด เพราะบางวิธีโครเมียมอาจทำปฏิกิริยากับคาร์บอนและออกซิเจนที่อุณหภูมิเชื่อม ดังนั้นจึงมีการแก้ไขและป้องกันปัญหาคาร์ไบด์ตกผลึก อีกวิธีหนึ่งได้แก่ การใช้ลวดเชื่อมคาร์บอนต่ำและตัวชิ้นงานที่มีคาร์บอนต่ำ โดยปกติจะมีคาร์บอนประมาณ 0.08% (304) แต่ถ้าลดลงเป็น 0.02% (304L) จะสามารถลดปริมาณคาร์ไบด์ตกผลึกได้อย่างมีประสิทธิภาพและยังมีผู้ผลิตลวดเชื่อมคาร์บอนต่ำจำหน่ายอีกด้วย ด้วยเหตุนี้จึงมักใช้เหล็กกล้าไร้สนิมตระกูล 304L มาใช้ในการเชื่อม

การเชื่อมจะทำให้งานได้รับอุณหภูมิแตกต่างกัน โดยปริมาณแนวเชื่อมจะร้อนถึงจุดหลอมเหลว ข้างๆแนวเชื่อมจะอยู่ในช่วงอุณหภูมิวิกฤติพอดี และถัดออกมามีอุณหภูมิต่ำกว่าช่วงวิกฤติ ดังนั้นแนวเชื่อม (HAZ) จึงมีคาร์ไบด์ตกผลึกมากกว่าบริเวณอื่นและผุกร่อนง่ายกว่าเขตอื่น การควบคุมคาร์ไบด์ทำได้โดยทำให้งานเชื่อมเย็นตัวโดยเร็ว เพื่อให้ผ่านช่วงอุณหภูมิวิกฤติเป็นระยะเวลาสั้นที่สุดเท่าที่ทำได้ การอบอ่อนจะช่วยขจัดผลึกได้เช่นกัน แต่ค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงจึงไม่นิยม

กฎเกณฑ์การเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม

ความสะอาด งานต้องสะอาดและแห้งสนิทจึงจะได้รอยเชื่อมที่มีคุณภาพสูง โดยควรทำดังนี้

1. ไล่ความชื้นโดยการอบหรือเป่าด้วยลมแห้ง
2. ขจัดสารมลทินอินทรีย์ เช่น สี จารบี รอยหมายงาน กาว สบู่ และอื่นๆ
3. การบากงานด้วยเปลวไฟแก๊ส และเครื่องมือกลอาจมีสารมลทินตกค้างอยู่หรืออาจเกิดฟิล์มออกไซด์ปกคลุมผิวชิ้นงาน ต้องขจัดออกก่อนการเชื่อม
4. แปรงหรือเครื่องมือที่ใช้กับเหล็กเคลือบสังกะสีมาแล้ว ไม่ควรนำมาใช้กับเหล็กกล้าไร้สนิมเพื่อหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนของสังกะสี

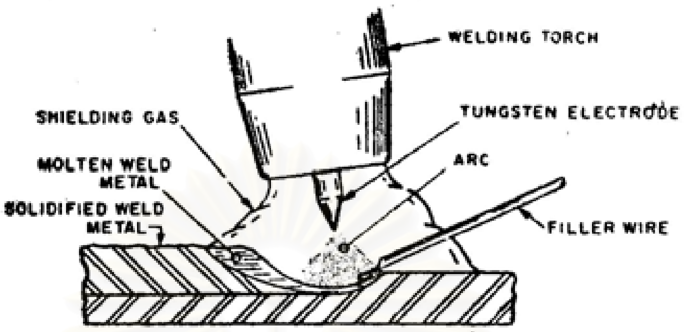
การออกแบบรอยต่อ การเชื่อมเหล็กกล้าไรสนิมให้มีคุณภาพดีและไม่บิดตัวหรือบิดตัวน้อยที่สุด ต้องเตรียมรอยต่อให้ดี

การควบคุมและป้องกันการบิดตัว สามารถกระทำได้โดย

- ใช้กระแสต่ำโดยที่ยังซึมลึกเพื่อลด Heat Input
- ใช้กลวิธีการเชื่อมแบบ Stringer Bead และความเร็วสูงแทนที่จะเชื่อมช้าๆเป็นรอยกว้าง
- ถ้าต้องการส่ายลวดเชื่อมให้ส่ายเป็นระยะ 2 ½ เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางลวดเชื่อม
- ตรึงงานเชื่อมให้ตรงแนวและหนาแน่นขณะเชื่อม
- ใส่ทุ่นเย็นใกล้รอยเชื่อมหรือประกับหลังบริเวณที่จะเชื่อมเพื่อให้งานเย็นตัวเร็ว
- วางขั้นตอนการเชื่อมให้เหมาะสม โดยอาจใช้กลวิธี Skip และ Back Step Welding

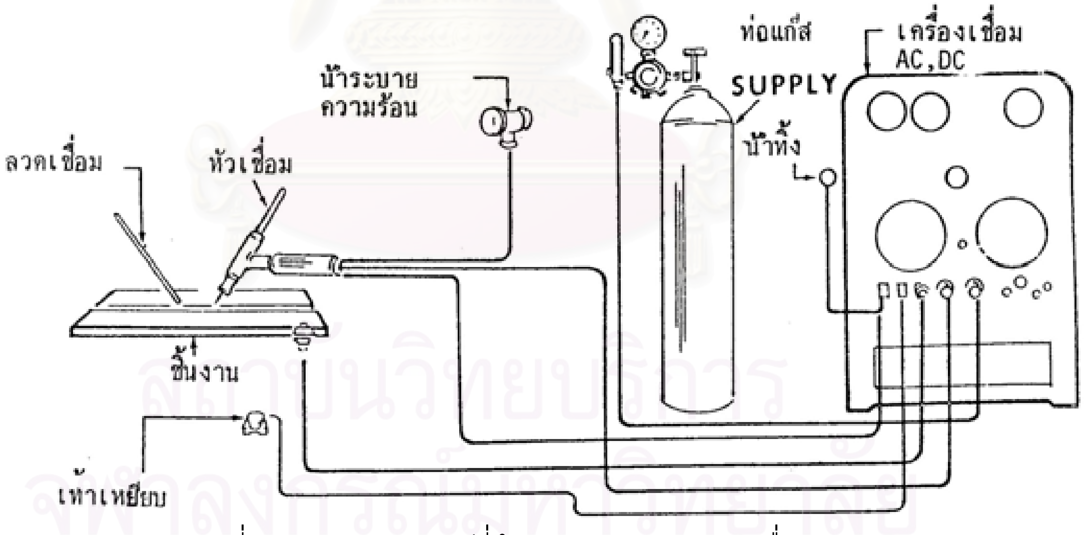
2.5. การเชื่อมแบบ TIG (Gas Tungsten Arc Welding)

เป็นกระบวนการเชื่อมที่ใช้แก๊สเฉื่อยปกคลุมบริเวณแนวเชื่อม เพื่อป้องกันมิให้อากาศเข้าไปรวมตัวกับแนวเชื่อม ความร้อนที่ใช้ในการเชื่อมได้จากการอาร์คของกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างแท่งทังสเตนกับชิ้นงานดังรูป



รูปที่ 2.10 การเชื่อมแบบ TIG (Gas Tungsten Arc Welding)

ในทางทฤษฎีเชื่อว่าแท่งทังสเตนไม่มีการหลอมละลาย มีหน้าที่ทำให้เกิดการอาร์คเพื่อให้เกิดความร้อนไปหลอมละลายชิ้นงานกับลวดเชื่อมเท่านั้น โดยมีแก๊สเฉื่อยทำหน้าที่เป็นตัวปกคลุมแนวเชื่อมมิให้อากาศเข้าไปรวมตัวเกิดปฏิกิริยาเคมีกับแนวเชื่อม ดังนั้นกระบวนการนี้จะต่างไปจากการเชื่อมด้วยแก๊สและการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อม

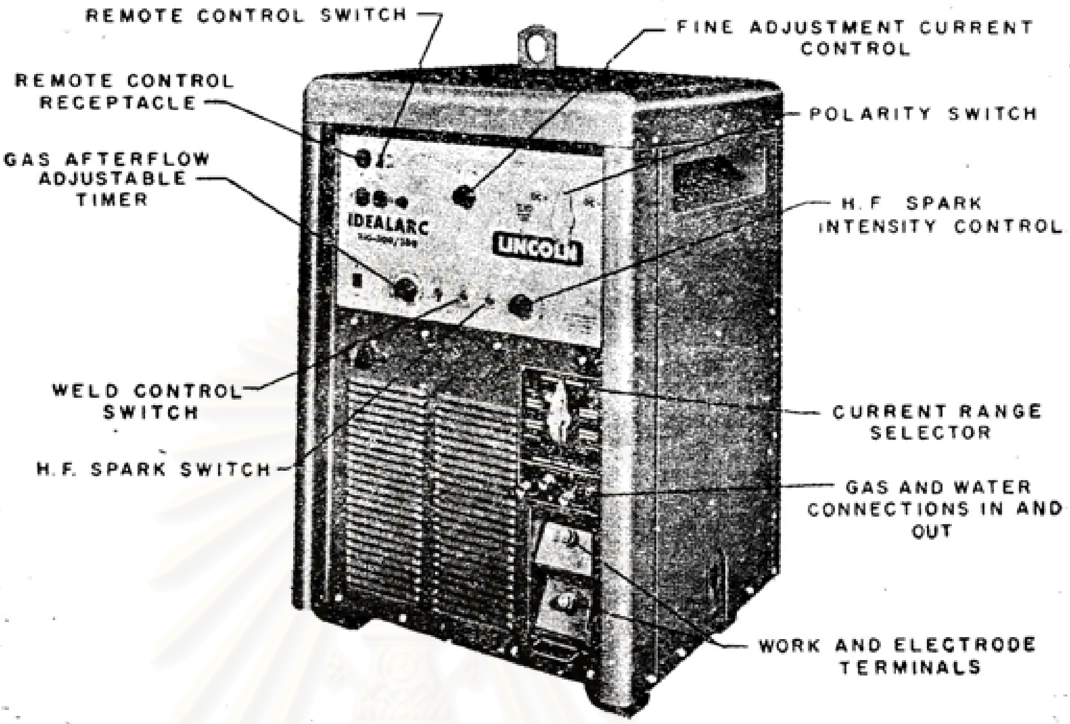


รูปที่ 2.11 แสดงอุปกรณ์ที่สำคัญของกระบวนการเชื่อม TIG

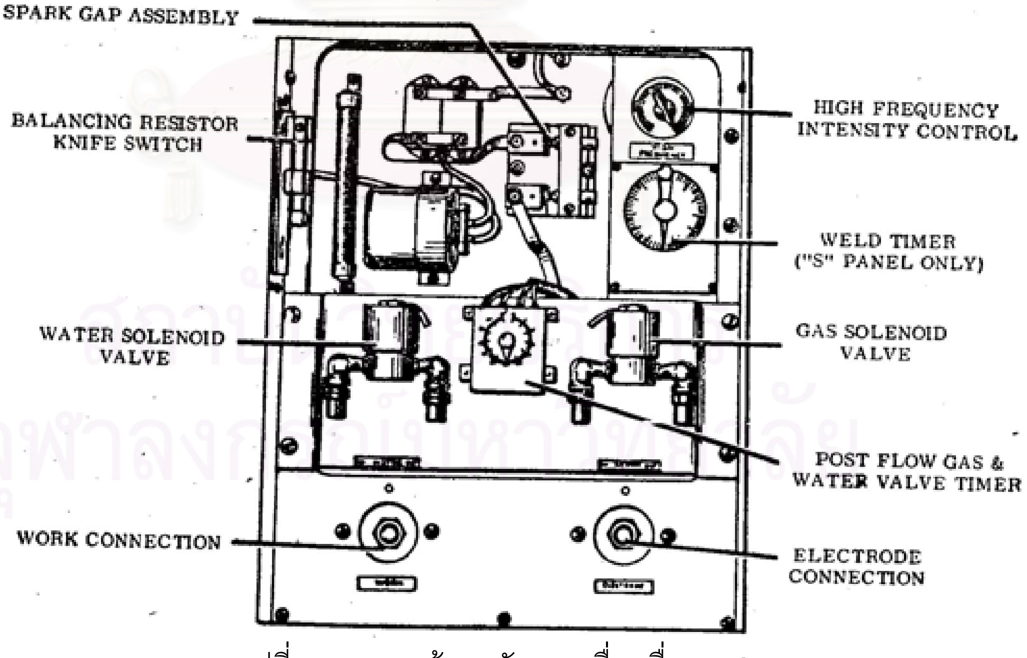
จากรูปจะแสดงอุปกรณ์ที่สำคัญของกระบวนการ ซึ่งได้แก่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. เครื่องเชื่อม จะเป็น AC หรือ DC ก็ได้

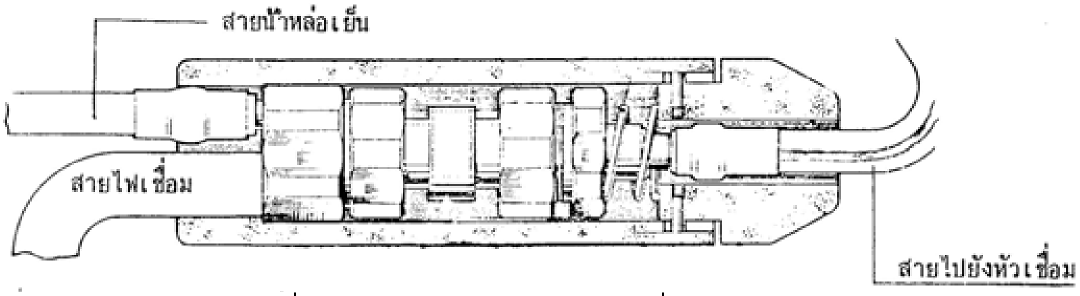


รูปที่ 2.12 เครื่องเชื่อม TIG

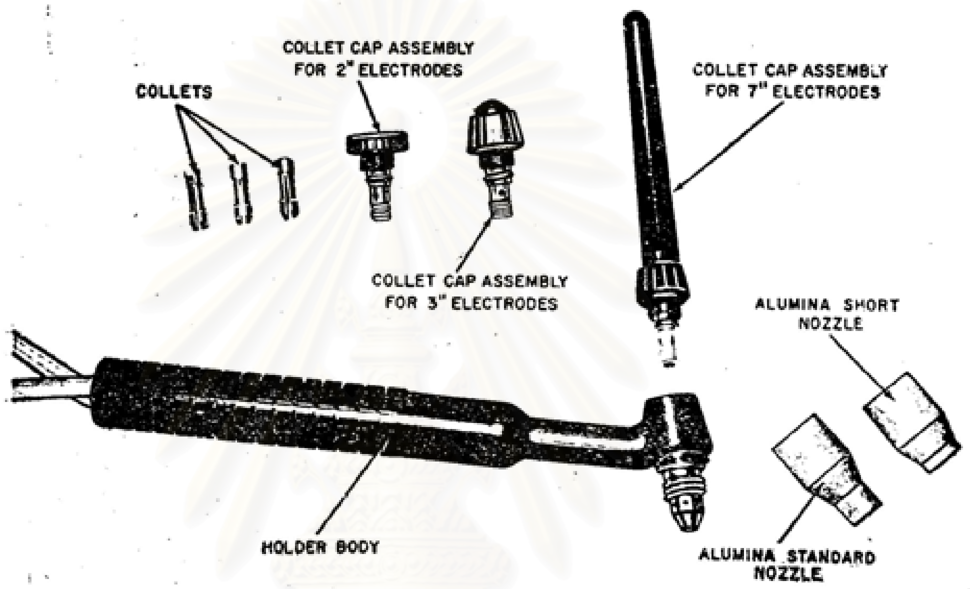


รูปที่ 2.13 แสดงด้านหลังของเครื่องเชื่อม TIG

2. TIG Torch และ Tungsten Electrodes

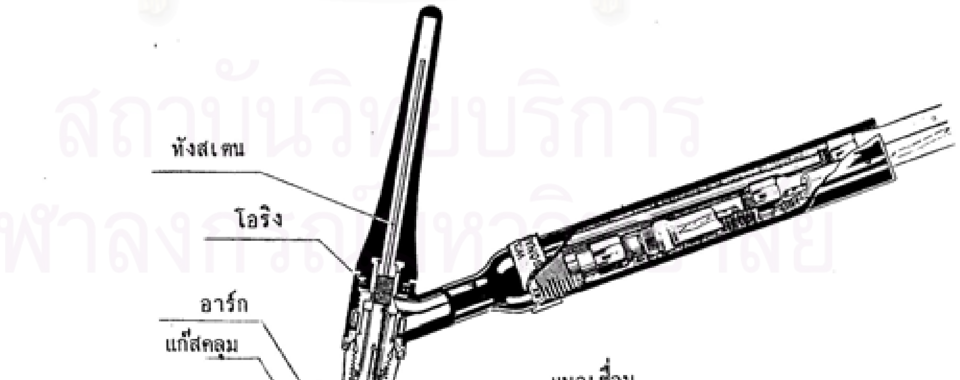


<u>รูปที่ 2.14</u> แสดงอุปกรณ์สำหรับหัวเชื่อม TIG



<u>รูปที่ 2.15</u> แสดงส่วนประกอบต่างๆของหัวเชื่อม (Torch)

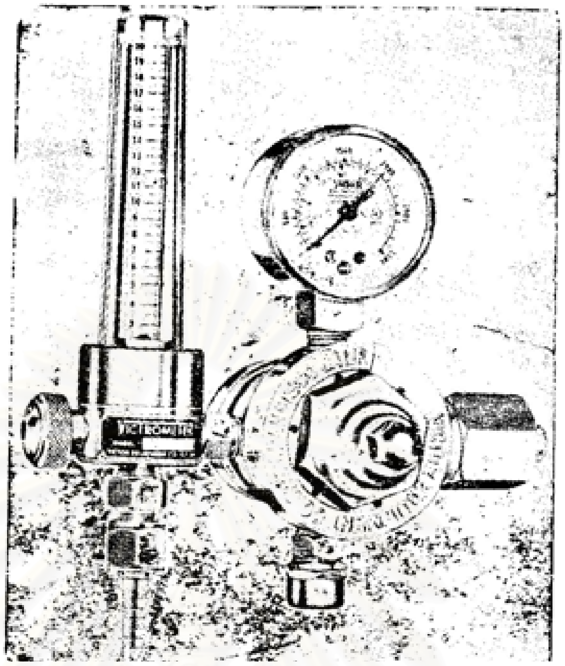
3. ลวดเชื่อม (Filler Rod)



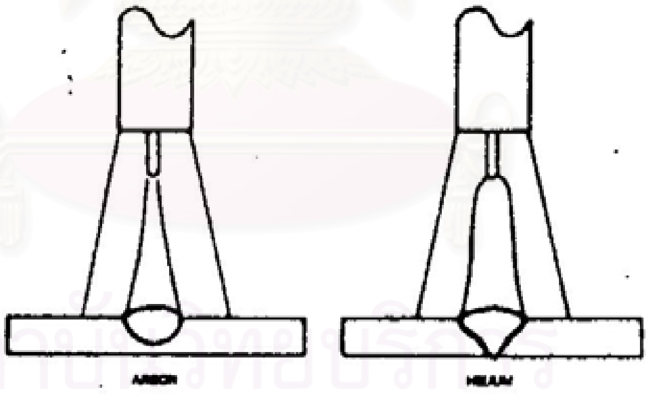
<u>รูปที่ 2.16</u> แสดงลักษณะและการใช้งานของลวดเชื่อม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. แก๊สสำหรับปกคลุมแนวเชื่อมและตัวควบคุม (Shielding Gas and Controls)



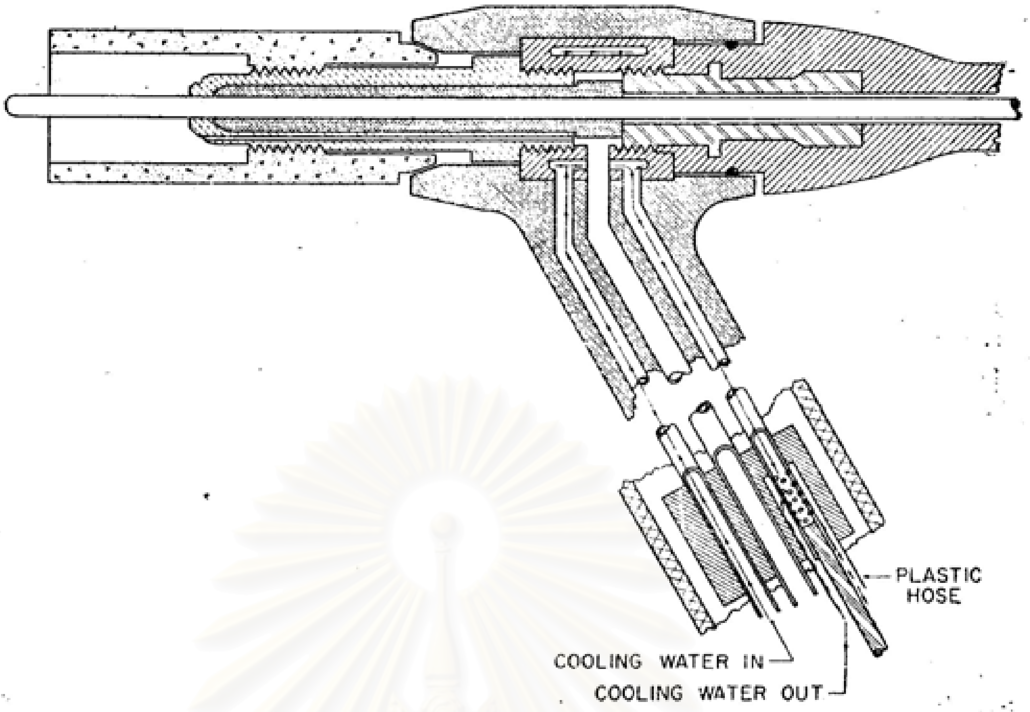
<u>รูปที่ 2.17</u> แสดงตัววัดอัตราการไหลของแก๊สสำหรับปกคลุมแนวเชื่อมและตัวควบคุม



<u>รูปที่ 2.18</u> แสดงลักษณะการปกคลุมแนวเชื่อมของอาร์กอนและฮีเลี่ยม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ประกอบอีกหลายอย่าง อาทิเช่น ตัวควบคุมกระแสขณะทำการเชื่อม ระบบระบายความร้อนภายใน Torch ตัวควบคุมเวลา



รูปที่ 2.19 แสดงวงจรน้ำหล่อเย็นภายในหัวเชื่อม

ในกระบวนการเชื่อมใดๆก็ตาม แนวเชื่อมที่ดีที่สุดต้องมีคุณสมบัติทางเคมี ทางกล และทางโลหะวิทยาเหมือนกับคุณสมบัติของชิ้นงานทุกประการ ดังนั้นการใช้แก๊สเฉื่อยปกคลุมแนวเชื่อม จึงเป็นการป้องกันมิให้อากาศซึ่งมีทั้ง ออกซิเจน ไนโตรเจน ตลอดจนแก๊สอื่นๆ เข้าไปรวมตัวกับโลหะที่กำลังหลอมละลาย อันเป็นสาเหตุที่ทำให้แนวเชื่อมเกิดรูพรุนหรือสูญเสียความแข็งแรง

แก๊สเฉื่อยที่นิยมใช้คือ อาร์กอน เพราะสามารถใช้กับโลหะได้แทบทุกชนิด และมีอัตราการไหลต่ำจึงทำให้ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการเชื่อมถูกกว่า

2.5.1 **ข้อดีของการเชื่อมแบบ** TIG

1. สามารถเชื่อมโลหะได้ทุกชนิด ตลอดจนโลหะต่างชนิดกัน
2. ปราศจากควัน ประกาย และการแตกกระเด็นของเม็ดน้ำโลหะ (Spatter)
3. ไม่จำเป็นต้องใช้ Fluxes ดังนั้นหลังจากการเชื่อมจึงไม่ต้องเสียเวลาในการทำความสะอาด
4. ใช้เชื่อมรอยต่อได้เกือบทุกแบบและทุกท่าเชื่อม
5. ไม่ทำให้แนวเชื่อมเกิดการกัดกร่อน อันเนื่องมาจากฟลักซ์เข้าไปฝังตัวอยู่ภายใน จึงทำให้งานมีคุณภาพดี มีความแข็งแรงสูง
6. ขณะปฏิบัติงานสามารถมองเห็นการหลอมละลายได้ชัดเจน ทำให้การควบคุมแนวเชื่อมเป็นไปได้ง่ายและสะดวกรวดเร็วกว่า

2.5.2 กระแสไฟฟ้าของการเชื่อมแบบ TIG

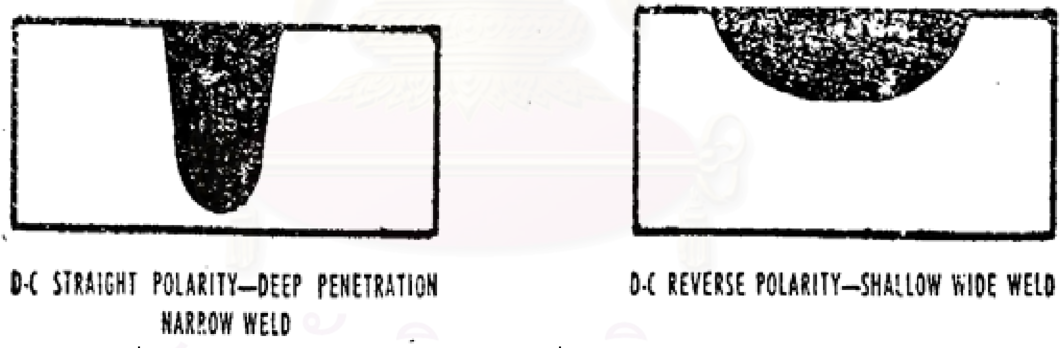
การเชื่อมแบบ TIG สามารถแบ่งออกเป็น กระแสตรง และกระแสสลับ ดังนี้

1. การเชื่อมด้วยกระแสตรง ยังสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ

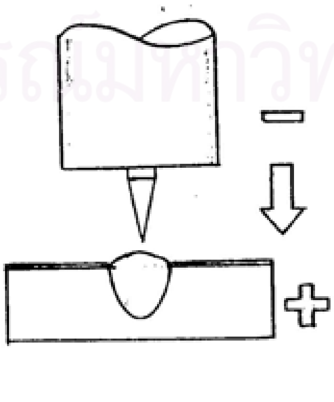
- กระแสตรงขั้วตรง (DC.SP) เป็นการต่อโดยใช้ Electrode เป็นขั้วลบ ชิ้นงานเป็นขั้วบวก การต่อแบบนี้จะทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานมากกว่าที่ Electrode กล่าวได้ว่าประมาณสองในสามของความร้อนที่เกิดขึ้นทั้งหมด ทำให้เกิดการซึมลึกแต่แคบของรอยเชื่อม
- กระแสตรงกลับขั้ว (DC.RP) เป็นการต่อโดยใช้ Electrode เป็นขั้วบวก ชิ้นงานเป็นขั้วลบ การต่อแบบนี้จะทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นกับ Electrode มากกว่าที่ชิ้นงาน กล่าวได้ว่าประมาณสองในสามของความร้อนที่เกิดขึ้นทั้งหมด ทำให้ไม่เกิดการซึมลึกแต่รอยเชื่อมกว้าง

2. การเชื่อมด้วยกระแสสลับ

ในทางทฤษฎีถือว่าเป็นการรวมเอาลักษณะของกระแสตรงทั้งสองแบบเข้าด้วยกัน ซึ่งจำเป็นต้องเพิ่ม High Frequency เข้าไปในเครื่องเชื่อมแบบกระแสสลับเพื่อให้เริ่มต้นการอาร์คได้ง่าย สม่ำเสมอ อายุการใช้งานของทังสเตนนานขึ้น



รูปที่ 2.20 แสดงภาพการซึมลึกของรอยเชื่อมระหว่างกระแสสลับกับกระแสตรง



รูปที่ 2.21 แสดงลักษณะของขั้วบนชิ้นงานและบนหัวเชื่อม

2.5.3 การกำหนดรอยต่อ (Joint Design)

แบบหรือชนิดของรอยต่อที่สำคัญมีอยู่ 5 แบบ คือ ต่อชน (Butt Joint), ต่อเกย (Lap Joint), ต่อมุม (Corner Joint), ต่อขอบ (Edge Joint) และต่อเป็นรูปตัวที (T-Joint) ซึ่งการเลือกเป็นแบบใดเพื่อให้เหมาะสมกับชิ้นงาน ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบดังนี้

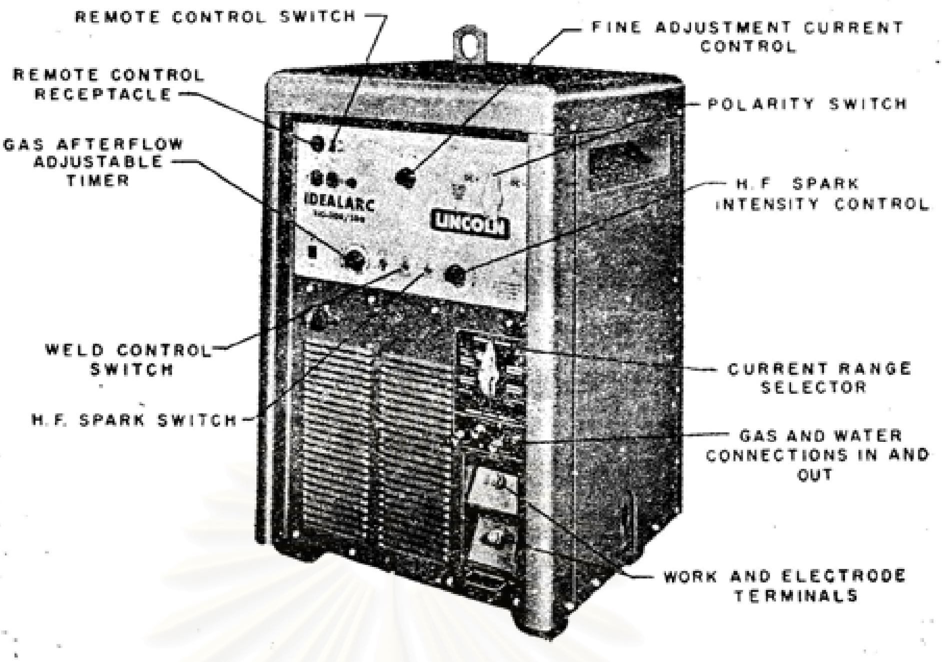
1. คุณสมบัติทางกลของแนวเชื่อม
2. ค่าใช้จ่ายสำหรับการเตรียมรอยต่อ และค่าใช้จ่ายในการเชื่อม
3. ชนิดของโลหะที่จะเชื่อม
4. ขนาด รูปร่าง และลักษณะของการประกอบงานเพื่อทำการเชื่อม

รูปที่ 2.22 แสดงลักษณะรอยเชื่อมแบบรอยเชื่อมต่อชน (Square edge butt joint)

ในที่นี้จะกล่าวถึงการต่อแบบต่อชนโดยไม่บากงาน(Square Edge Butt Joint) ซึ่งเป็นการเตรียมงานที่ง่ายที่สุด จะเชื่อมโดยเติมหรือไม่เติมลวดเชื่อมก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนาของงานที่จะเชื่อม ระยะห่างของงานจะต้องเหมาะสม เพื่อให้แนวเชื่อมเกิดการหลอมละลายได้ดีและมีการซึมลึก (Penetration) ที่สมบูรณ์ โดยทั่วไปถ้าชิ้นงานมีความหนาไม่เกิน 1/8 นิ้ว จะเชื่อมเพียงแนวเดียวก็เพียงพอ แต่ถ้าเป็นการเชื่อมงานบางต้องระวังอย่าให้งานได้รับความร้อนมากเกินไปจนทะลุ

2.5.4 เครื่องเชื่อมที่นิยมใช้กับการเชื่อมแบบ TIG

เครื่องเชื่อมที่นิยมใช้กับการเชื่อมแบบ TIG จะเป็นเครื่องเชื่อมที่ออกแบบพิเศษสามารถใช้ได้ทั้ง DC.SP, DC.RP และ AC.HF โดยใช้สวิทซ์เป็นตัวควบคุม ในกรณีที่ใช้กระแสตรง ตัวความถี่สูง (HF) จะถูกนำมาใช้ในตอนเริ่มต้นเท่านั้น แต่ถ้าใช้กระแสสลับแล้ว HF จะต้องทำงานอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นการทำงานจะต้องเปิดตัวควบคุมให้ถูกต้องกับชนิดของกระแส



รูปที่ 2.23 แสดงเครื่องเชื่อม TIG

2.5.5 **หัวเชื่อมแบบ** TIG (TIG Welding Torch)

หัวเชื่อมที่นิยมใช้กันอยู่มี 2 ชนิดคือ ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ และระบายความร้อนด้วยอากาศ โดยแบบระบายความร้อนด้วยน้ำนิยมใช้มากกว่าเพราะสามารถใช้งานได้กว้างขวางกว่าและมีความทนทานต่อสภาพการใช้งานมากกว่า ซึ่งหน้าที่ของหัวเชื่อมมีดังนี้

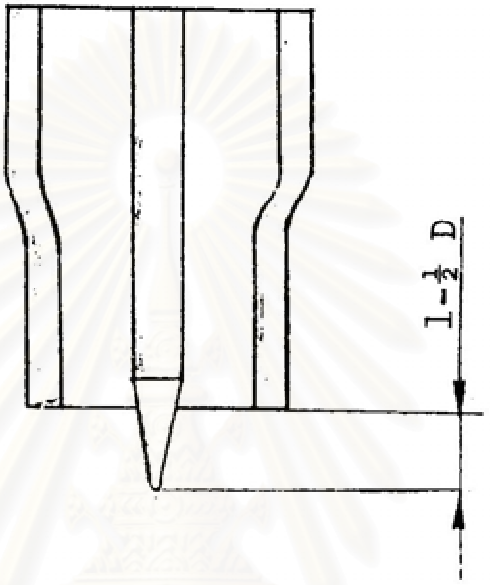
1. เป็นที่สำหรับจับเมื่อทำการเชื่อม
2. ทำหน้าที่เป็นตัวจับยึด Electrode
3. เป็นตัวนำไฟฟ้าไปสู่บริเวณของการอาร์ค
4. เป็นตัวกลางสำหรับลำเลียงแก๊สปกคลุมไปสู่บริเวณการอาร์ค
5. มีระบบลำเลียงน้ำเพื่อไประบายความร้อนที่หัวเชื่อม

2.5.6 **ทังสเตนอิเล็คโทรด** (Tungsten Electrode)

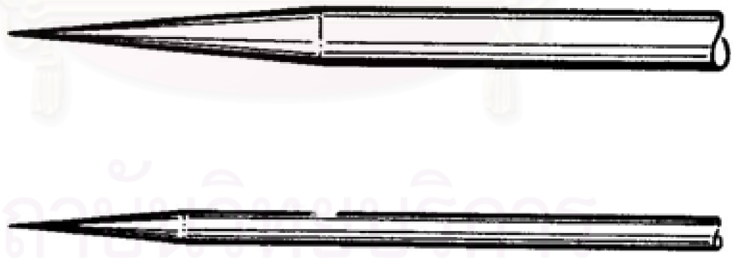
ในที่นี้หมายถึง ทังสเตนอิเล็คโทรด ซึ่งทำหน้าที่ก่อให้เกิดการอาร์คในการเชื่อมเท่านั้น โดยในการเชื่อมแบบ TIG จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.010 - 0.250 นิ้ว มีความยาวตั้งแต่ 3 – 24 นิ้ว โดยมีด้วยกัน 3 ชนิด

1. ทังสเตนบริสุทธิ์ มีสัญลักษณ์ (EWP สีเขียว) มีความบริสุทธิ์อย่างน้อย 99.7% มีความสามารถในการนำกระแสไฟฟ้าได้สูง สูญเสียเนื่องจากการหลอมละลายน้อย ราคาถูก ควรแต่งปลายให้มนเล็กน้อยเพื่อให้การอาร์คคงที่สม่ำเสมอ แนวเชื่อมจะปราศจากสิ่งสกปรก

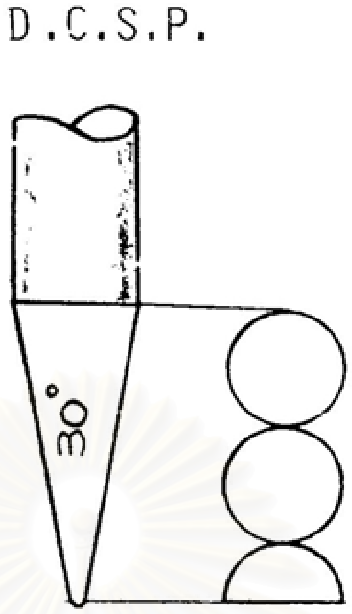
2. Thoriated Tungsten มี Thorium (EPTh สีเหลืองและสีแดง) เป็นส่วนผสมอยู่ด้วย 1% หรือ 2% ซึ่งเพิ่มคุณสมบัติด้านอายุการใช้งาน เริ่มต้นอาร์คง่าย การอาร์คคงที่สม่ำเสมอ และความสามารถในการนำกระแสสูงกว่า
3. Zirconated Tungsten มี Zirconium (EPZr สีน้ำตาล) เป็นส่วนผสมอยู่ 0.3-0.5% ซึ่งคุณสมบัติทั่วไปดีกว่า ทังสเตนบริสุทธิ์แต่ด้อยกว่า Thoriated Tungsten



รูปที่ 2.24 แสดงระยะยื่นของปลายทังสเตนที่โผล่ออกมานอกหัวเชื่อม



รูปที่ 2.25 แสดงลักษณะปลายทังสเตนที่เหมาะสมของการเชื่อมสเตนเลสด้วย TIG



<u>รูปที่ 2.26</u> แสดงระยะปลายแหลมของทังสเตนที่เหมาะสมในการเชื่อม

2.5.7 แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม (Shielding Gas)

ในบรรดาแก๊สเฉื่อยทั้งหลายสามารถนำมาใช้สำหรับปกคลุมแนวเชื่อมได้แทบทั้งสิ้น แต่ที่แพร่หลายที่สุดได้แก่ อาร์กอน และ ฮีเลี่ยม และแก๊สผสมระหว่าง อาร์กอนกับฮีเลี่ยม

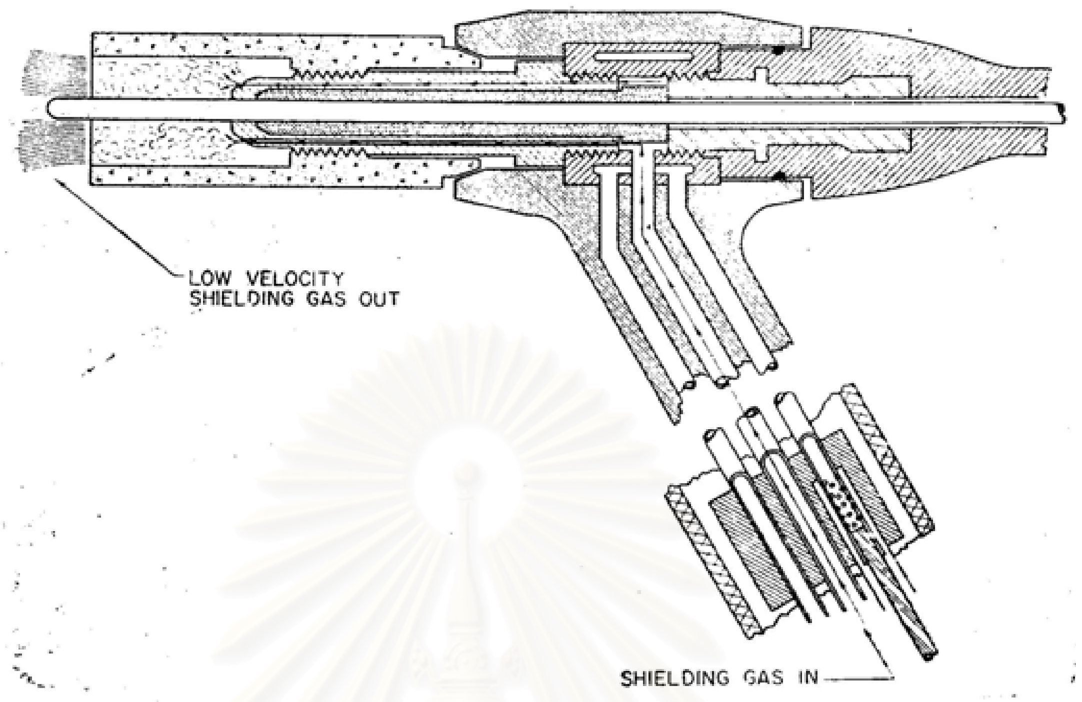
อาร์กอนที่ใช้ควรจะมีความบริสุทธิ์ถึง 99.996% สภาพของการเก็บจะเป็นของเหลวหรืออัดแก๊สก็ได้

ฮีเลี่ยมที่ใช้ควรจะมีความบริสุทธิ์อย่างน้อย 99.99% เนื่องจากมีค่าการนำความร้อนสูงกว่าอาร์กอน ดังนั้น Arc Voltage และ พลังงานที่ใส่เข้าไปจึงมากกว่าการใช้อาร์กอน ด้วยเหตุนี้ทำให้ฮีเลี่ยมเหมาะสำหรับการเชื่อมงานที่มีความหนามากๆได้ดีกว่าอาร์กอน

ข้อดีของอาร์กอนเมื่อเปรียบเทียบกับฮีเลี่ยม มีดังนี้

1. ลักษณะของการ อาร์คเรียบกว่าและเงียบกว่า
2. การเริ่มต้นอาร์คง่ายกว่า
3. อัตราการไหลต่ำกว่า
4. อาร์ค Voltage ต่ำกว่า
5. งานเชื่อมมีความสะอาดกว่า
6. ราคาถูกกว่า ใช้งานได้กว้างขวางกว่า

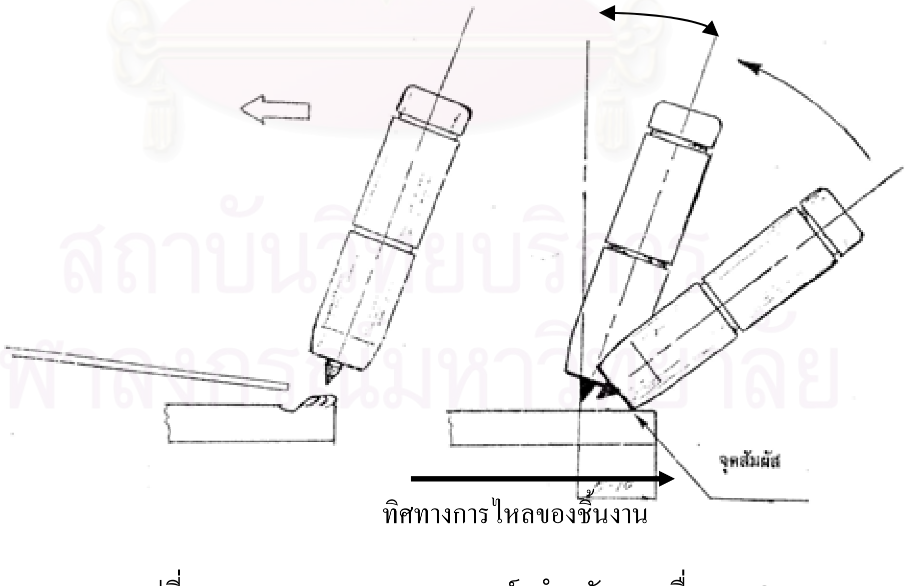
ในการเชื่อมสเตนเลสทั้งแบบอัตโนมัติและเชื่อมด้วยมือสามารถใช้ได้ทั้งอาร์กอนและฮีเลี่ยม แต่นิยมใช้อาร์กอนเพราะป้องกันการเกิด Undercut และทำให้เกิดรูปร่างของรอยเชื่อมตามต้องการแม้ค่ากระแสไฟฟ้าจะต่ำก็ตาม อีกทั้งสามารถเชื่อมงานบางได้โดยไม่ทะลุ



รูปที่ 2.27 แสดงวงจรการไหลของแก๊สปกคลุมแนวเชื่อม

2.5.8 **องศาการอาร์ค** (Arc Angle)

องศาการอาร์คที่แนะนำคือ 15-20 องศาจากแนวดิ่ง และตั้งฉากกับแนวระนาบ



รูปที่ 2.28 แสดงองศาของการอาร์คสำหรับการเชื่อม TIG

2.5.9 **คำแนะนำสำหรับการเชื่อมสเตนเลสด้วยวิธี TIG**

ตารางที่ 2.1 แสดงข้อคำแนะนำเบื้องต้นสำหรับการเชื่อมสเตนเลสด้วยวิธี TIG

Parameter Condition

ความหนาของชิ้นงาน (มิลลิเมตร)	กระแสไฟเชื่อม DC.SP (แอมแปร์)	ขนาดทังสเตนอิเลคโทรด (มิลลิเมตร)	ปริมาณการไหลของอาร์กอน		ขนาดของลวดเชื่อม (มิลลิเมตร)	ความเร็วในการเชื่อม (เมตร/นาที)
			ลบ.ฟุต/ช.ม.	ลิตร/นาที		
น้อยกว่าถึง 1.6	80-100	1.6	10	4.7	1.6	0.30
2.4	100-120	1.6	10	4.7	1.6	0.30

Procedure Condition

แก๊สที่ใช้	อาร์กอน หรือ อาร์กอนผสมฮีเลี่ยม
ทังสเตนอิเล็คโทรด	EWTh
การอุ่นชิ้นงาน	ไม่ต้องในกรณีงานบาง
ลักษณะของปลายอิเล็คโทรด	ปลายแหลมมนเล็กน้อย โดยตัดออก $\frac{1}{64}$ นิ้ว
ระยะต่อชน	น้อยกว่า 0.1เท่าของความหนาชิ้นงาน
ระยะอาร์ค	0.5 - 1.5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางทังสเตน
มุมเอียงของหัวเชื่อม	ประมาณ 30 องศาจากแนวดิ่ง
ความยาวของปลายแหลมอิเล็คโทรด	$2\frac{1}{2}$ ถึง 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางอิเล็คโทรด
ระยะยื่นของปลายลวดทังสเตน	1-2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางอิเล็คโทรด
ท่าเชื่อม	ท่าราบ
จำนวนแนวเชื่อม	แนวเดียว

2.6 การบริหารคุณภาพด้วยแนวทางซิกซ์ซิกม่า

จากการที่ธุรกิจในปัจจุบันมีการแข่งขันที่สูงมาก ทำให้ผู้ผลิตจะต้องสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้าอย่างเบ็ดเสร็จ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในขั้นต้นนั้นทำให้บริษัทโมโตโรล่า โดย มิเคล แฮร์รี่ (Mikel Harry) ได้คิดค้นแนวความคิดในการบริหารคุณภาพแนวทางใหม่เพื่อตอบสนองถึงการพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงแต่ใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำ อีกทั้งยังเป็นแนวคิดที่ใช้เวลาในการปฏิบัติน้อย เพื่อให้ทันกับการแข่งขันทางธุรกิจตลอดจนเพิ่มความพึงพอใจให้กับลูกค้าอีกด้วย ซึ่งแนวความคิดที่ตอบสนองต่อความต้องการข้างต้นนี้เรียกว่า “การบริหารคุณภาพด้วยแนวทางซิกซ์ซิกม่า”

2.6.1 หลักการของซิกซ์ซิกม่า

วิธีการทางซิกซ์ซิกม่านี้จะเป็นการจัดการกับต้นทุนคุณภาพต่ำ (Cost of poor quality : COPQ) ซึ่งหมายถึงต้นทุนความเสียหายภายใน ต้นทุนความเสียหายภายนอก ต้นทุนการประเมินผลและต้นทุนการป้องกันต่างๆ นอกจากนี้ต้นทุนคุณภาพต่ำยังรวมไปถึงงานที่ต้องนำไปทำลายทิ้ง (Scrap) และงานที่ต้องทำการซ่อมแซมใหม่ (Rework) ซึ่งวิธีการทางซิกซ์ซิกม่านี้จะเป็นการใช้เครื่องมือทางสถิติอย่างมีระบบเพื่อให้ได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์และบริการที่มีคุณสมบัติที่ดีกว่า รวดเร็วกว่า และมีราคาถูกกว่าในการแข่งขัน

2.6.2 ความหมายของซิกซ์ซิกม่า

ในทางสถิติ ซิกม่า (σ) เป็นสัญลักษณ์ภาษากรีก ซึ่งใช้ในการอธิบายถึงความผันแปรในกระบวนการ แสดงถึงการวัดค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการกระจายตัวของข้อมูลที่เบี่ยงเบนไปจากค่ากลางของข้อมูล ซึ่งค่าความผันแปรนี้จะทำการเปรียบเทียบกับข้อกำหนดเฉพาะ (Specification Limits) ของผลิตภัณฑ์ ถ้าข้อมูลของผลิตภัณฑ์ชิ้นใดมีค่าออกนอกข้อกำหนดเฉพาะนี้ก็จะถือว่าผลิตภัณฑ์นั้นเป็นผลิตภัณฑ์บกพร่อง (Defect) ซึ่งถ้ากระบวนการใดมีความสามารถของกระบวนการอยู่ที่ 6 ซิกม่านั่นจะหมายถึง ระยะห่างระหว่างค่าเซตติ้งของกระบวนการและข้อกำหนดเฉพาะในแต่ละข้างจะมีค่าเป็น 6 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งถ้าค่าเซตติ้งของกระบวนการมีการเลื่อนไปจากเดิม $\pm 1.5\sigma$ กระบวนการนั้นจะมีโอกาสในการสร้างผลิตภัณฑ์บกพร่องเพียง 3.4 ppm (ppm: Part per million) เท่านั้น

2.6.3 วิสัยทัศน์ ปรัชญา และกลยุทธ์

2.6.3.1 วิสัยทัศน์ของซิกซ์ซิกม่า (Six Sigma Vision)

วิสัยทัศน์ของซิกซ์ซิกม่า คือ การสร้างความประทับใจต่อลูกค้าโดยการส่งมอบผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพระดับโลกให้กับลูกค้าผ่านการดำเนินงานที่มีสมรรถนะระดับซิกซ์ซิกม่า ในทุกๆสิ่งที่เราทำ

2.6.3.2 ปรัชญาของซิกซ์ซิกม่า (Six Sigma Philosophy)

ปรัชญาซิกซ์ซิกม่าคือการประยุกต์แนวทางที่มีระบบและมีโครงสร้างเพื่อการปรับปรุงอย่างผลิกโฉมหน้า (Breakthrough) ในทุกๆส่วนของการดำเนินธุรกิจของเรา

2.6.3.3 กลยุทธ์ของซิกซ์ซิกม่า (Six Sigma Strategy)

กลยุทธ์ของซิกซ์ซิกม่าคือการปรับปรุงแบบผลิกโฉมหน้า (Breakthrough Improvement) ซึ่งการปรับปรุงนี้จะมีอยู่ 4 ขั้นตอนคือ การวัด (Measure Phase) การวิเคราะห์ (Analyze Phase) การปรับปรุง (Improve Phase) และการควบคุม (Control Phase)

2.6.4 เป้าหมายของซิกซ์ซิกม่า

ในกระบวนการผลิตทั่วๆไป ลักษณะของผลิตภัณฑ์มักจะมีการกระจายตัวแบบปกติ คือ มีระดับของความเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ระดับ $\pm 3\sigma$ ซึ่งสามารถคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่จะได้รับการยอมรับเท่ากับ 99.73% ซึ่งที่ระดับความเบี่ยงเบนมาตรฐานนี้จะทำให้โอกาสที่จะเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องถึง 2700 ppm ซึ่งยังถือว่ายังไม่เป็นที่พอใจของลูกค้า เพราะลูกค้าต้องการให้ผลิตภัณฑ์บกพร่องใกล้เคียงศูนย์มากที่สุด ดังนั้นการบริหารโดยแนวทางซิกซ์ซิกม่า จึงได้นำมาใช้ในกระบวนการผลิตโดยมีเป้าหมายอยู่ที่ระดับความเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ระดับ $\pm 6\sigma$ ซึ่งถ้าพิจารณาจากค่าความสามารถของกระบวนการในระยะสั้น (Cp) นั้นจะได้ค่าเท่ากับ 2 ความหมายคือ มีโอกาสในการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องเพียงแค่ 0.002 ppm แต่เมื่อมาพิจารณาจากค่าความสามารถของกระบวนการในระยะยาวนั้น จะพบว่าในกระบวนการใดๆ ค่ากลางของข้อมูลมักมีการเปลี่ยนแปลงไปจากค่าที่ตั้งไว้ในตอนแรก (Setting Value) ซึ่งมักจะเปลี่ยนแปลงเท่ากับ $\pm 1.5\sigma$ โดยปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “Shifts and Drifts” ซึ่งเมื่อกระบวนการได้มีการปรับปรุงคุณภาพโดยใช้แนวทางซิกซ์ซิกม่าแล้ว จะทำให้มีโอกาสในการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องเท่ากับ 3.4 ppm ซึ่งจะเห็นว่าโอกาสในการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องนั้นน้อยมาก

2.6.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนในการดำเนินงานจะมุ่งเน้นที่การแก้ปัญหาในกระบวนการเป็นหลัก โดยผู้ที่มีบทบาทสำคัญในการดำเนินงานนี้คือ แบลคเบลและคณะผู้ทำงานที่เกี่ยวข้อง โดยก่อนจะเข้าสู่

กระบวนการใน 4 เฟสหลักนั้นจะต้องทำการนิยามถึงปัญหาที่ต้องการจะนำมาปรับปรุงเสียก่อน โดยควรเลือกปัญหาที่เป็นปัญหาสำคัญ เป็นต้นเหตุที่ทำให้ลูกค้าไม่พอใจและส่งผลกระทบที่รุนแรงต่อกระบวนการ หรือเป็นปัญหาที่เห็นสิ่งที่ควรปรับปรุงอย่างชัดเจนมาทำการแก้ปัญหาก่อน จากนั้นทำการเลือกลักษณะของตัวแปรตอบสนอง (Respond Variable) เพื่อมาทำการศึกษาและเป็นตัววัดผลในการปรับปรุง จากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการในเฟสต่างๆดังต่อไปนี้

2.6.5.1 การวัด (Measure Phase)

ในเฟสนี้จะทำการวิเคราะห์หาปัจจัยที่ความว่าน่าจะมีผลต่อการเกิดปัญหา ที่ได้ทำการนิยามมาก่อนหน้านี้ โดยก่อนอื่นจะต้องทำการศึกษาและวิเคราะห์ถึงระบบการวัดที่ใช้เสียก่อนเพื่อวัดความผันแปรที่เกิดจากการวัด หากความผันแปรที่เกิดขึ้นมีค่ามากเกินกว่าที่กำหนดจะต้องทำการปรับปรุงระบบการวัดให้ดีขึ้นเสียก่อน จากนั้นจะต้องทำการศึกษาถึงความสามารถของกระบวนการ เพื่อศึกษาว่าความสามารถของกระบวนการที่แท้จริงเป็นเท่าใดและควรจะตั้งเป้าหมายในการปรับปรุงไว้เท่าใด จากนั้นจึงทำการศึกษาถึงขั้นตอนการทำงานในกระบวนการ และดำเนินการค้นหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่ทำให้เกิดปัญหา เมื่อทำเฟสการวัดแล้วผลที่ได้คือปัจจัยต่างๆที่คาดว่ามีผลทำให้เกิดปัญหา จากนั้นจึงค่อยดำเนินการหาปัจจัยที่มีผลแท้จริงในการเกิดปัญหาในเฟสต่อไป

2.6.5.2 การวิเคราะห์ (Analyze Phase)

ปัจจัยต่างๆที่คาดว่าจะมีผลที่ค้าหามาได้จากเฟสการวัด จะถูกนำมาทำการวิเคราะห์ โดยใช้วิธีทดสอบทางสถิติเชิงอนุมาน เพื่อค้นหาว่าปัจจัยใดที่มีผลอย่างแท้จริงในการเกิดปัญหา และมีผลต่อกระบวนการอย่างมีนัยสำคัญจะถูกทำในเฟสนี้ ปัจจัยแต่ละปัจจัยจะถูกนำมาทดสอบสมมติฐานทีละปัจจัย ผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะได้ปัจจัยที่มีผลอย่างแท้จริงในการก่อให้เกิดปัญหาและจะนำปัจจัยนี้ไปดำเนินการหาแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขที่เหมาะสมในขั้นต่อไป

2.6.5.3 การปรับปรุง (Improve Phase)

เมื่อได้ปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาแล้วจะนำปัจจัยนั้นมาทำการวิเคราะห์ผ่านการออกแบบการทดลองทางสถิติ เพื่อทำการทดลองหาความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่างตัวแปรตอบสนอง และจะทำการปรับปรุงแก้ไขเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ผลที่ได้จากเฟสนี้คือ แนวทางที่เหมาะสมในการปรับปรุงแก้ไขจนได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดปัญหานั้นๆ ที่ทำให้ค่าของตัวแปรตอบสนองที่สุด

2.6.5.4 การควบคุม (Control Phase)

ในเฟสนี้จะเป็นการนำผลของการปรับปรุงมารักษาและควบคุมปัจจัยให้มีผลเป็นไปตามที่เรากำหนด โดยจะมีการออกแบบวิธีการควบคุมต่างปัจจัยๆ เพื่อให้พนักงานหน้างานสามารถควบคุมได้ด้วยตนเอง หลังจากนั้นจึงทำการประเมินความสามารถของกระบวนการอีกครั้งเพื่อเปรียบเทียบว่าการปรับปรุงนี้ได้บรรลุเป้าหมายหรือไม่ หากยังไม่บรรลุเป้าหมายก็ต้องย้อนกลับไปดำเนินการตามเฟสก่อนหน้าที่ได้กล่าวไว้แล้วเพื่อทำการแก้ไขปรับปรุงใหม่

2.6.6 ตัวชี้วัด (Metric) พื้นฐานสำหรับวัดความสามารถของกระบวนการ

ในกระบวนการผลิตและบริการใดๆนั้นเป้าหมายสำคัญที่ผู้ผลิตมุ่งหวัง คือ ต้องการให้การผลิตปราศจากข้อบกพร่อง หรือมุ่งไปสู่การผลิตที่มีผลิตภัณฑ์บกพร่องเป็นศูนย์ ดังนั้นจึงต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับโอกาสในการเกิดข้อบกพร่อง และวัดค่าของข้อบกพร่องเสียก่อน

2.6.6.1 ข้อบกพร่องต่อหน่วยการผลิต

ข้อบกพร่องต่อหน่วยการผลิต หมายถึง สัดส่วนของจำนวนข้อบกพร่องต่อหน่วยการผลิตทั้งหมด

2.6.7 เครื่องมือที่ใช้ในการทำซิกซ์ซิกม่าในเฟสต่าง ๆ

<u>ตารางที่ 2.2</u> เครื่องมือที่ใช้ในการทำซิกซ์ซิกม่าในเฟสต่างๆ

ขั้นตอน	กิจกรรม	เครื่องมือ
การเลือกปัญหา (Define)	1.จัดหาผู้รับผิดชอบ 2.ระบุถึงการสนับสนุนและทรัพยากร 3.การดำเนินงานก่อนเริ่มโครงการ	Project Definition Form SIPOC Diagram เป็นต้น
การวิเคราะห์ (Analysis)	7.หากำลังและความสามารถในการผลิต 8.หาที่มาที่ทำให้เกิดความแปรปรวน และคอขวด	Scatter Plots, ANOVA, Time Trap Analysis, FMEA, Regression , Box Pots เป็นต้น
การปรับปรุง (Improve)	9.ระดมความคิด 10.ทำการทดลอง 11.ทำแบบจำลอง 12.พัฒนาแผนการปฏิบัติการ	Brainstorming, Pull System, Setup Reduction, TPM, DOE, Process Flow, Benchmarking, Hypothesis, Process mapping,

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	13.ทำการปรับปรุง สนับสนุน ส่งเสริม	Tree Diagram, Gantt Charts, FMEA เป็นต้น
ขั้นตอนการควบคุม (Control)	14.พัฒนาแผนการควบคุม 15.ติดตามการปฏิบัติงาน 16.กระบวนการป้องกันความผิดพลาด Mistake-Proof	Run charts/control charts, Check sheets, Pareto charts, Histograms, Poka-Yoke เป็นต้น

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิชัย รวิพัน ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อแรงดึงเทป และหาค่าของปัจจัยที่ทำให้แรงดึงใกล้เคียงกับ 70 grams ตามความต้องการของลูกค้า โดยอาศัยหลักการการออกแบบการทดลองมาทำการทดลองแบบแฟคทอเรียลดีไซน์ เพื่อศึกษา 3 ปัจจัย ได้แก่ ความหนาของใบมีด ความดันหรือแรงกดของใบมีด และอุณหภูมิ จากการทดลองพบว่าทั้ง 3 ปัจจัยมีผลต่อแรงดึง จากการวิเคราะห์การถดถอยของแบบจำลองความสัมพันธ์ของแรงดึงเทป พร้อมทั้งหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม (2540, วิชัย)

Gunn ได้ทำการศึกษาความสามารถในการเชื่อมและสมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิม พบว่าพลังงานในการ Arc อยู่ในช่วง 0.5-2.0 kj/mm ทำให้แนวเชื่อมมีความต้านทานการกัดกร่อนสูงที่สุด ในขณะที่ไม่จะเป็นต้องทำการ Preheat และ Post Weld โดยมีอุณหภูมิสูงสุดระหว่างแนวเชื่อมไม่เกิน 225 องศาเซลเซียส (Gunn, 2003)

บริษัท AlliedSignal ได้ใช้หลักการพื้นฐานในการปรับปรุงแบบพลิกโฉมหน้า คือการเลือกโปรเจคที่ถูกต้อง เลือกคนที่ถูกต้อง และวิธีการและเครื่องมือที่ถูกต้อง ซึ่งการเลือกโปรเจคจะต้องใช้ตัววัดในการเลือก 3 ตัว คือ Rolled throughput yield, Cost of poor quality และ Capacity Productivity ในเรื่องของการเลือกคนนั้นจะต้องมีการอบรมคนก่อนโดยแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ โปรแกรมการอบรมสำหรับวิศวกร, โปรแกรมการอบรมสำหรับช่างเทคนิคและ โปรแกรมการอบรมสำหรับซุปเปอร์ไวเซอร์ และนอกจากนั้นการเลือกวิธีการและเครื่องมือที่ถูกต้องโดยใช้พื้นฐานของซิกซ์ซิกม่า ซึ่งแบ่งเป็นขั้นตอนการวัด โดยใช้เครื่องมือ Process Map และการวิเคราะห์ความสามารถ, ขั้นตอนการวิเคราะห์ เครื่องมือที่ใช้ FMEA, Multi-Vary study, ขั้นตอนการปรับปรุงโดยเครื่องมือที่ใช้ Screening experiment และ Respond Surface และขั้นตอน

สุดท้ายคือขั้นตอนการควบคุม โดยเครื่องมือที่ใช้คือ การวางแผนควบคุมและการศึกษาความสามารถของกระบวนการในระยะยาว (Zinkgraf, 1998)

ในปี ค.ศ. 1999 บริษัท LG Chemical ซึ่งผลิตงานด้วยพีวีซี ได้เริ่มนำเอาซิกซ์ซิกม่าเข้ามาใช้ในการแก้ปัญหาในกระบวนการผลิตพีวีซี โดยสามารถสรุปเป็นกิจกรรมในการปรับปรุงได้ดังนี้ เฟสระบุปัญหา (Define phase) ผลจากการสัมภาษณ์ลูกค้าพบว่า 59% ของข้อผิดพลาดที่พบเป็นปัญหา Fish Eyes ในงาน Soft transparent sheets เฟสการวัด (Measure phase) ทางบริษัทพบว่าสาเหตุของความผันแปรที่เกิดขึ้นเป็น 2 สาเหตุใหญ่คือ Special cause และ common cause โดยทางบริษัทได้เริ่มทำการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจากสาเหตุครั้งคราวก่อน และจึงเริ่มทำการวัดค่าและทำ Process mapping เพื่อหาว่าตรงตำแหน่งไหนของสายการผลิตที่ก่อให้เกิดปัญหาและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยว่า ปัจจัยตัวใดที่มีผลต่อ Fish Eyes เฟสวิเคราะห์และปรับปรุง (Analyze and Improve phase) ในเฟสนี้เริ่มทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล และดำเนินการแก้ไขปรับปรุง เฟสควบคุม (Control Phase) หลังจากที่ควบคุมได้แล้วก็มีการรักษาไว้โดยใช้ ระบบการควบคุมกระบวนการที่ทางบริษัทกำหนด (Quality Congress, 2002)

ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1969 บริษัท Samsung Electric Co. (SEC) ได้ใช้เครื่องมือทางคุณภาพและเทคนิคการปรับปรุงกระบวนการและผลิตภัณฑ์เข้ามาใช้ แต่ซิกซ์ซิกม่าเป็นเทคนิคที่เพิ่งเข้ามาใหม่เพื่อปรับปรุงความสามารถในการแข่งขันทางธุรกิจในตลาดโลก โดย SEC มองไปที่การนำแหล่งทรัพยากรในบริษัทเข้ามาพัฒนาด้านการออกแบบ การผลิตและการตลาดของผลิตภัณฑ์และการเติบโตของลูกจ้าง หลังจากนำซิกซ์ซิกม่ามาใช้เพียง 2 ปีในการทำโปรเจค โดยเฉลี่ยแล้วสามารถลดข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ได้ถึง 50% และยังทำให้ SEC มีการเจริญเติบโตของบริษัทมากขึ้น โดยตัวอย่างที่ SEC แสดงจะเป็นการนำเอาซิกซ์ซิกม่ามาใช้ในกระบวนการผลิต และกิจกรรมทางธุรกิจ (Yun, 2002)

พรชัย เทพพันธุ์กุลงาม ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับโลหะวิทยาแนวเชื่อมจากกระบวนการเชื่อม TIG ของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 โดยอาศัยการเชื่อมหลายแนว ทำการเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ส่งผลให้ระดับเฟส austenite ในเนื้อสเตนเลสมีปริมาณที่แตกต่างกันไป ซึ่งในการเชื่อม TIG นั้นพบว่ากระแสไฟที่ใช้เชื่อมและระยะเวลาในการเชื่อม อีกทั้งการเย็นตัวหลังจากการเชื่อม (Post Weld) ส่งผลที่แตกต่างกันออกไป โดยเมื่อมีการเย็นตัวนานที่สุดจะทำให้เกิดเฟส Austenitic มากที่สุด ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกลด้านการต้านทานการสึกกร่อน และเป็นสนิม โดยการใช้กระแสเชื่อม

100 แอมแปร์ กับระยะเวลาในการเชื่อม 6 เมตรต่อนาที และทำการ Post Weld 10 วินาที ส่งผลต่อแนวเชื่อมที่จะเป็น austenitic เฟสมากที่สุด (พรชัย เทพพันธุ์กุลงาม, 2547)

วัสพล นันทประยูร ได้ทำการศึกษาการควบคุมตัวแปรสำคัญในการเชื่อม TIG ของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 เนื่องจากการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมด้วย TIG นั้นจะทำให้เกิดคาร์ไบด์บริเวณแนวเชื่อม ซึ่งส่งผลให้คุณสมบัติเชิงกลลดลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเกิดสนิม เนื่องจากธาตุผสมโครเมี่ยมที่เป็นตัวป้องกันการเกิดสนิมเกิดการจับตัวกับคาร์บอน เกิดเป็นคาร์ไบด์บริเวณ Welding Zone จะทำให้เกิดสนิมบริเวณดังกล่าว ซึ่งการควบคุมปัจจัยในการเชื่อมที่พบนั้นต้องใช้การป้อนเติมลวดเชื่อมโดยใช้ลวดที่มีคาร์บอนต่ำสำหรับงานเชื่อมสเตนเลสโดยเฉพาะ และการอุ่นชิ้นงานหลังการเชื่อม และต้องมีการควบคุมแก๊สที่ใช้ในการปกคลุมแนวเชื่อมระหว่างเชื่อมมีอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที (วัสพล นันทประยูร, 2543)

มนัสวี ตันเจริญ ได้ทำการศึกษาสาเหตุ และปรับปรุงกระบวนการผลิตหัวอ่านฮาร์ดดิสก์รุ่นซีไดร์ฟเพื่อลดการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องเนื่องจากการคายประจุของไฟฟ้าสถิตในกระบวนการผลิต และได้ใช้หลักการทางสถิติในการเก็บข้อมูล และวิเคราะห์ขอมูล โดยใช้แผนภาพสาเหตุและผล และแบบสอบถามสาเหตุและผล การวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องจากลักษณะข้อบกพร่องและการยืนยันสาเหตุของปัญหาได้ใช้การออกแบบการทดลองแบบ 2^k Factorial Design หลงจากนั้นจึงทำการออกแบบการทดลองแบบ 2^k Factorial With Center Point เพื่อทดสอบความเป็นเชิงเส้น บริเวณที่ทำการศึกษาก่อนที่จะดำเนินการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเพื่อทำการปรับปรุงซึ่งผลของการ ปรับปรุงกระบวนการผลิตสามารถลดปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องเนื่องจากการคายประจุของไฟฟ้าสถิตในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์รุ่นซีไดร์ฟสายการผลิต ลงได้เป็น 3,565PPMของการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่อง (มนัสวี ตันเจริญ, 2541)

เฉลิมพล ลีลาผาติกุล, หัวข้อ การวิเคราะห์และควบคุมปัจจัยที่มีผลกระทบทางคุณภาพสำหรับอุตสาหกรรมผลิตยางรถยนต์, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัญฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดและควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของยางรถยนต์โดยใช้การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบในกระบวนการผลิต (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA) มาใช้วิเคราะห์และควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิตยางรถยนต์ โดยเริ่มจากการศึกษากระบวนการผลิตและค้นหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อข้อบกพร่องทุกขั้นตอนการผลิต โดยอาศัยแผนภาพแสดงเหตุและผล แผนภาพความสัมพันธ์และแผนภาพต้นไม้ เป็นเครื่องมือช่วยในการค้นหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ

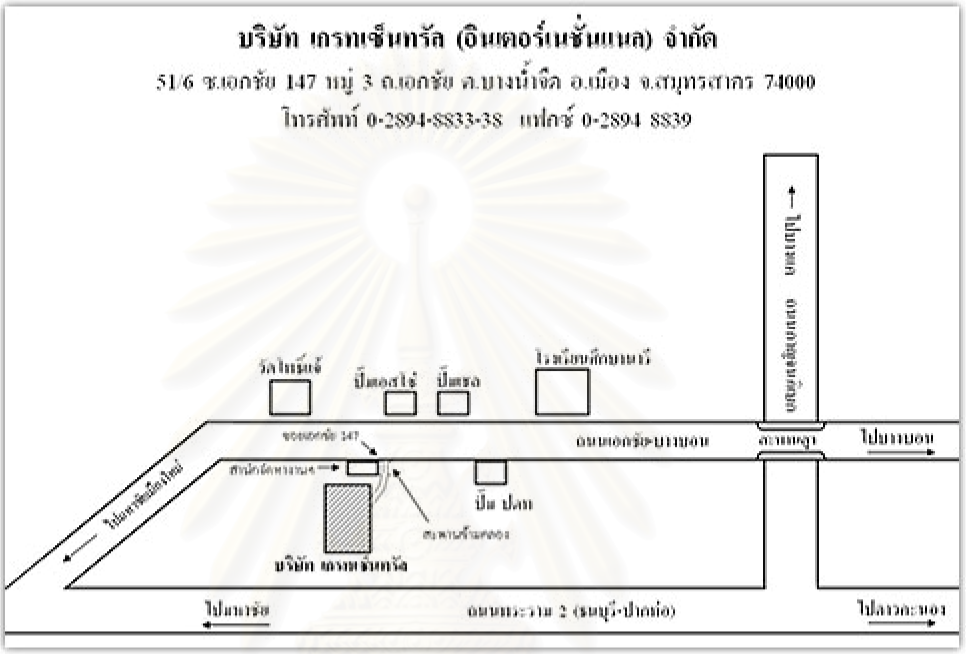
ข้อบกพร่องเหล่านั้น จากนั้นให้ผู้เชี่ยวชาญการผลิตนั้นมาวิเคราะห์เพื่อประเมินค่าความรุนแรงของข้อบกพร่อง การเกิดข้อบกพร่อง และการควบคุมกระบวนการ เพื่อคำนวณหาค่าด้ชนี (Risk Priority Number หรือ RPN) ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงความเสี่ยงที่เกิดข้อบกพร่อง โดยค่า RPN ยิ่งมากจะหมายถึงมีความเสี่ยงที่เกิดข้อบกพร่องสูง โดยภายหลังจากการดำเนินงาน ทำให้จำนวนของยางเสียลดลง (เฉลิมพล ลีลาผาติกุล,2540)

ปราโมทย์ เลิศโกวิทย์ ได้ศึกษาถึงวิธีการลดปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องในกระบวนการหล่อขึ้นรูปของมิเตอร์น้ำ GMK 15 จึงดำเนินการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้วิธีการทางสถิติ ในลำดับแรกนั้นมุ่งพิจารณาในส่วนของเครื่องจักรที่มีผลกระทบกับการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องโดยตรงทำให้ทราบถึงตัวแปรต่างๆ ที่มีผลกระทบกับการเกิดปัญหาชิ้นงานหล่อขึ้นรูปไม่เต็ม จากนั้นทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยด้วยการใช้การทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียลที่มีจุดเซ็นเตอร์ พบว่าควรปรับตั้งค่าของปริมาณReturn Scrap เท่ากับ 70%, อุณหภูมิเทน้ำโลหะเท่ากับ1250 $^{\circ}$C, ปริมาณคิวโปฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.6% เกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภท ชิ้นงานหล่อขึ้นรูปไม่เต็มน้อยที่สุด และจากการปรับตั้งพารามิเตอร์ทั้งสามในสภาวะดังกล่าว พบว่ากระบวนการผลิตเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องเท่ากับ 2.36% ซึ่งน้อยกว่าค่าที่ตั้งเป้าไว้ คือ 8% หลังจากนั้นจึงจัดทำเป็นมาตรฐานการทำงานต่อไป (ปราโมทย์ เลิศโกวิทย, 2539)

บทที่ 3
ข้อมูลทั่วไปของโรงงาน

3.1 ประวัติโรงงาน

บริษัท เกรท เซ็นทรัล (อินเตอร์เนชั่นแนล) จำกัด ตั้งอยู่ที่ 51/6 หมู่ 3 ถ.เอกชัย ต.บางน้ำจืด อ.เมืองฯ จ.สมุทรสาคร 74000 โทร 0-2894-8833-38 แฟกซ์ 0-2894-8839



ซึ่งได้เริ่มดำเนินกิจการและเพิ่มกำลังการผลิตดังนี้

ปี 2536 เริ่มดำเนินกิจการ

ปี 2539 เพิ่มเครื่องจักร และเพิ่มกำลังการผลิต

ปี 2540 ก่อสร้างอาคารโรงงานหลังที่ 3

ปี 2541 ติดตั้งเครื่องสลิท ติดตั้งเครื่องขัด และผลิตท่อ

ปี 2542 ติดตั้งเครื่องตัดแผ่น ติดดั้งเครื่องตัดแบนสเตนเลส เริ่มขายสเตนเลสแบบแผ่น

ปี 2543 ติดตั้งเครื่องผลิต เกรท 1 เกรท 2 และเริ่มขายเกรท 1 และ เกรท 2 (เป็นท่อสเตนเลสที่มีลวดลายเฉพาะที่บริษัทฯ คิดเอง ไว้สำหรับทำรั้ว ประตูสเตนเลส)

ปี 2544 ติดตั้งเครื่องขัดแป๊ป และผลิตแป๊ป

ปี 2545 ติดตั้งเครื่องตัดแผ่น (ตัดแผ่นหนา 12 มม.)

ปี 2546 เริ่มผลิตท่อ NB ขนาด 6 นิ้ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บริษัทฯ ได้ทำการก่อสร้างอาคารโรงงานเพิ่มเป็นหลังที่ 2 ในพื้นที่ติดกับโรงงานเดิม เนื่องจากโรงงานปัจจุบันใช้เต็มกำลังการผลิตแล้ว โรงงานนี้จะมีพื้นที่ 6,000 ตร.ม. ซึ่งดำเนินการครบหมดแล้ว

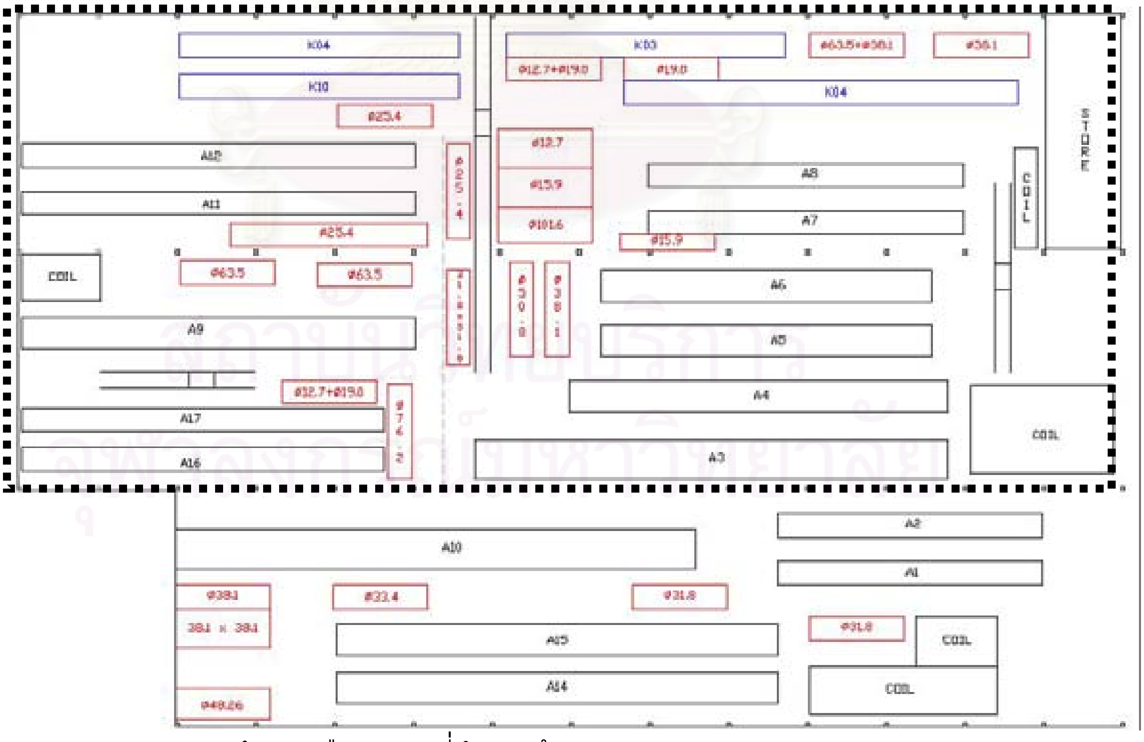
บริษัท เกรทเซ็นทรัล (อินเตอร์เนชั่นแนล) จำกัด ฯ เริ่มดำเนินธุรกิจตั้งแต่ปี 2536 ด้วยทุนจดทะเบียน 20.0 ล้านบาท

บริหารงานโดยนายอดิศักดิ์ แจ่มจิราศัย ซึ่งมีประสบการณ์ในธุรกิจมานานกว่า 20 ปี ปัจจุบันได้มีการเพิ่มทุนจดทะเบียนชำระแล้วเป็น 200.0 ล้านบาท เมื่อวันที่ 13 ธ.ค. 2548

3.2 **สภาพทั่วไปของโรงงาน**

ดำเนินธุรกิจผลิตและจำหน่ายท่อสเตนเลส แผ่น ฉาก และแบนสเตนเลส ทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยทางบริษัทฯ จะซื้อวัตถุดิบม้วนสเตนเลสรีดเย็น เกือบ 100 % หรือประมาณ 28,800 ตันต่อปี จาก บมจ.ไทยน๊อคซ์ สเตนเลส บริษัทเป็นลูกค้ารายใหญ่อันดับ 2 ของบมจ. ไทยน็อกซ์ และก็สั่งซื้อจากต่างประเทศ บริษัทฯ จำหน่ายสินค้าให้แก่ลูกค้ายี่ปั๊วประมาณ 500 ราย โดยไม่เน้นลูกค้ารายใดรายหนึ่งเป็นพิเศษ

3.3 **ผังโรงงาน** (Plant Layout)



หมายเหตุ - บริเวณเส้นประคือบริเวณที่ทำการศึกษา

<u>รูปที่ 3.1</u> แสดงผังโรงงาน

3.4 กำลังการผลิต

ปัจจุบันบริษัทฯ มีกำลังการผลิตท่อสเตนเลส 2,400 ตัน/เดือนหรือคิดเป็น 28,800 ตัน/ปี ตลาดในประเทศไทยยังสามารถขยายได้อีก เนื่องจากประเทศไทย มีการบริโภคสเตนเลสอยู่ในเกณฑ์ต่ำคือเพียง 2.1 กก./คน/ปีเท่านั้น ในขณะที่ประเทศสหรัฐอเมริกา อยู่ที่ อยู่ที่ 4.8 กก./คน/ปี ไต้หวัน อยู่ที่ 17.7 กก./คน/ปี และการบริโภคสเตนเลสโลกเฉลี่ยที่ประมาณ 10 กก./คน/ปี โดยปริมาณสเตนเลสที่บริโภคนี้ เป็นท่อสูงถึง 35% ประเทศไทยมี Growth rate ของการบริโภคสเตนเลสย้อนหลัง 3 ปีที่ประมาณ 6%

กำลังการผลิตท่อสเตนเลสประมาณ 28,800 ตัน/ปี โดยบริษัทฯ ซื้อเครื่องจักรมือสองพร้อมอะไหล่บางส่วน จาก บจก.Nippon Metal ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งยังดำเนินการผลิตอยู่ และมีการบำรุงรักษาอย่างดี และบริษัทจะมีการ revamping เครื่องจักรบางส่วนเพื่อให้มีอายุการใช้งานที่ดีและยาวชึ้น เทคโนโลยีในการผลิต Cold Rolled ไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก การใช้เครื่องจักรเก่า จึงจะทำให้บริษัทฯ ใช้เงินลงทุนไม่มากนัก และเครื่องจักรหลังจากมีการปรับเปลี่ยนและดัดแปลงบางส่วน (Revamping) แล้วจะมีอายุการใช้งานอย่างต่ำอีก 20 ปี

การบริโภคสเตนเลสในประเทศไทยอยู่ที่ 2.1 กก/คน/ปี หรือประมาณ 180,000 ตัน/ปี ในปี 2548 และมีอัตราการเติบโตเฉลี่ย อยู่ที่ 6% ข้อมูลย้อนหลัง 3 ปีล่าสุดจาก

<u>ตารางที่ 3.1</u> แสดงปริมาณความต้องการ ปริมาณการนำเข้า และ กำลังการผลิตของบริษัท

(หน่วย : ตัน/ปี)	ปี 2547	ปี 2548	ปี 2549	ปี 2550	ปี 2551
Demand Stainless Steel	146,000	154,760	164,045	173,888	184,321
Demand ท่อสเตนเลส	51,000	54,166	57,418	60,861	64,512
สถิติการนำเข้าท่อสเตนเลส	5,620.5	6,665.8	N.A.	N.A.	N.A.
กำลังการผลิตท่อสเตนเลสของบริษัทฯ	19,200	28,800	28,800	30,000	36,000

ที่มา : website ของกรมศุลกากร สมาคมพัฒนาสเตนเลสไทย

3.5 ลักษณะผลิตภัณฑ์

เหล็กกล้าไร้สนิม หรือสเตนเลส เป็นเหล็กในกลุ่มที่มีความต้านทานการกัดกร่อน โดยจะส่วนผสมของ โครเมี่ยม อย่างน้อย 16.5% ซึ่งโครเมี่ยมจะสร้างฟิล์มปกป้องป้องที่เหมือนเกราะป้องกันการกัดกร่อนและป้องกันการเกิดสนิม สเตนเลสที่บริษัทฯ ผลิต แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1. ชนิดออสเตนิติก มีส่วนผสมของนิกเกิ้ล 8-20% และโครเมี่ยม 16-25%

คุณสมบัติ -มีความต้านทานการกัดกร่อนสูง มีความยืดหยุ่น ทำความสะอาดง่าย ทนความร้อน-เย็น เนื่องจากนิกเกิ้ลเป็นส่วนผสมมากจึงมีราคาผันผวนมากกว่าชนิดเฟอร์ริติก

2. ชนิดเฟอร์ริติก เป็นสเตนเลสที่ไม่มีนิกเกิ้ล และมีโครเมี่ยม 13-17%

คุณสมบัติ – ทนทานต่อการกัดกร่อนพอประมาณในสภาพอากาศที่ไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงมาก

การผลิต- เป็นการผลิตแผ่นสเตนเลสรีดเย็น เพื่อนำมาผลิตต่อเป็นท่อสแตน

โดยบริษัทมีผลิตภัณฑ์อยู่หลายประเภทโดยสามารถแบ่งออกได้เป็นกลุ่มดังนี้

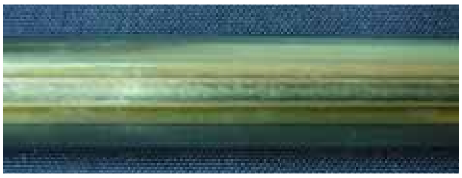
<u>ตารางที่ 3.2</u> แสดงประเภทของผลิตภัณฑ์และยอดขาย (ปี 2549)

ลักษณะ	ยอดขาย (ล้านบาท)	สัดส่วน (%)
ท่อกลม	1,677.60	90%
ท่อเหลี่ยม	74,56	4%
สเตนเลสแผ่น	37.28	2%
ท่อมีลวดลาย	74.56	4%
รวม	1,864.00	100%

เมื่อดูจากประเภทของผลิตภัณฑ์แล้วจะพบว่าส่วนใหญ่แล้วบริษัทจะผลิตท่อกลมเป็นหลัก โดยคิดเป็นสัดส่วนถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้เลือกที่จะทำการศึกษากระบวนการผลิตท่อกลมเป็นหลัก และเมื่อศึกษาถึงท่อกลมจะพบว่าสามารถแบ่งออกได้เป็น

<u>ตารางที่ 3.3</u> ตารางแสดงผลิตภัณฑ์ท่อสเตนเลสแบบกลมของบริษัท

No.	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร.)	ความหนา (มิลลิเมตร)
1.	12.7	1
2.	15.9	1
3.	19.0	1
4.	22.2	1
5.	25.4	1
6.	31.8	1
7.	38.1	1
8.	51.8	1



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของผลิตภัณฑ์ท่อสเตนเลสแบบกลม

3.6 ราคาสเตนเลส

ราคาขายของท่อสเตนเลส เฉลี่ยในปี 2549 คือ 137.51 บาท/กก. โดยราคาขายจะแปรผันตามราคาขายของตลาดโลก และการตั้งราคาขายจะบวกอีกประมาณ 10% จากน้ำหนักสเตนเลสและของเสียขายแบบชั่งกิโล กิโลกรัมละ 60 บาท

3.7 ขบวนการการผลิตวัตถุดิบ [8]

นำแผ่นสเตนเลสรีดร้อน (Hot Rolled) ชนิด Black coil มาผ่านกระบวนการข้างต้นต่าง ๆ ดังนี้

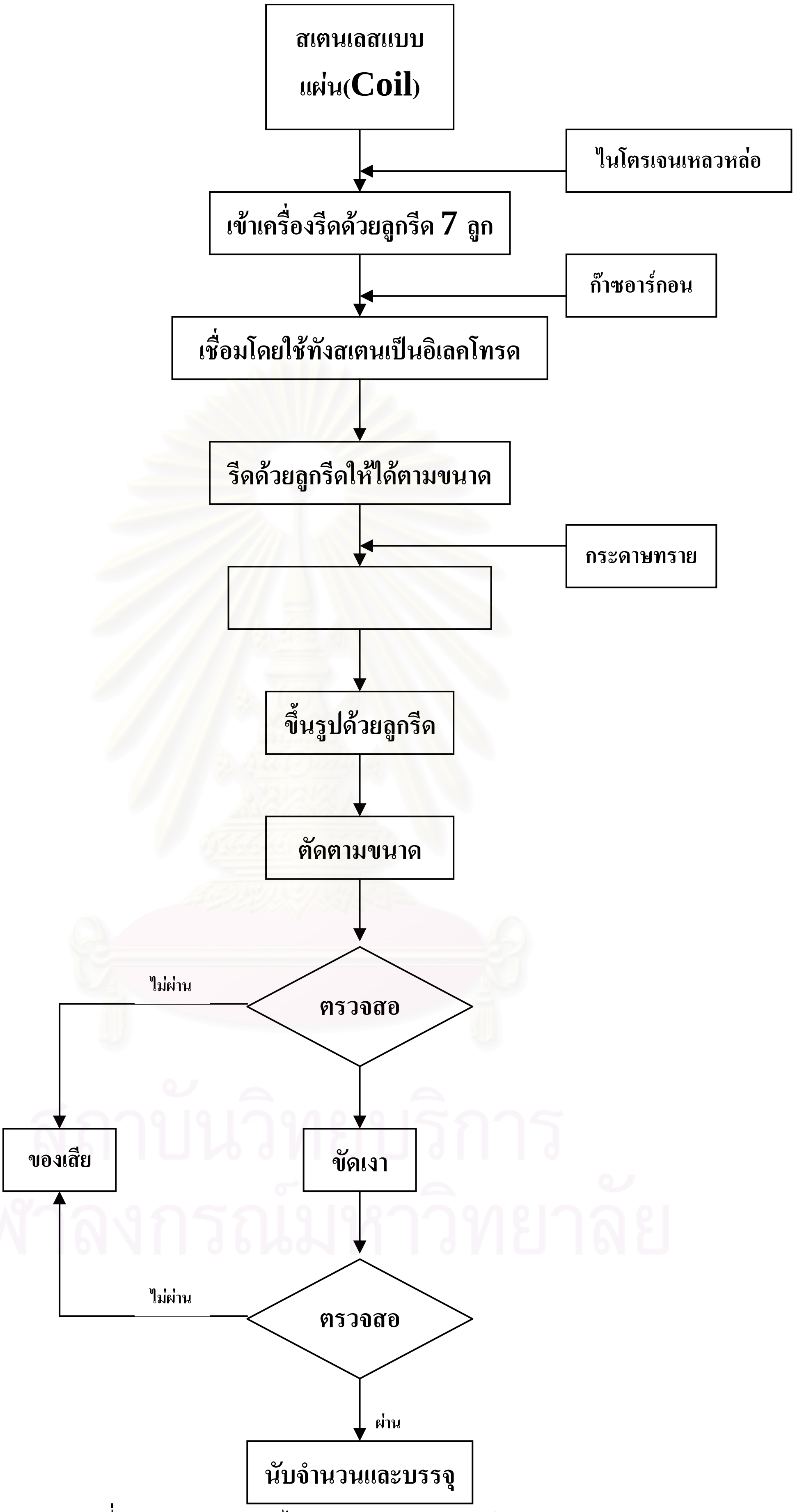
ตารางที่ 3.4 แสดงขบวนการผลิตวัตถุดิบ

<table>
<tr><th>ชนิดเฟอร์ริติก</th><th>ชนิดออสเตนิติก</th></tr>
<tr><td>1. เตาอบแบ็ช แอนนีลลิ่ง</td><td>1. กระบวนการอบอ่อนและขจัดออกไซด์ (ที่ผิวหน้าเหล็กสำหรับวัตถุดิบ) (APR Line)</td></tr>
<tr><td>2. ขจัดออกไซด์</td><td>2. -</td></tr>
<tr><td colspan="2">3. การซ่อมผิวและขัดมัน</td></tr>
<tr><td colspan="2">4. กระบวนการรีดเย็น</td></tr>
<tr><td>5. กระบวนการอบอ่อนและขจัดออกไซด์ (APL Line)</td><td>5. กระบวนการอบอ่อนสำหรับผิวมันเงา</td></tr>
<tr><td colspan="2">6. ขั้นตอนการปรับความเรียบผิวหน้าเหล็ก</td></tr>
<tr><td>7. การตัดเป็นแผ่น</td><td>7. การตัดเป็นแถบ</td></tr>
<tr><td>8. แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมรีดเย็น</td><td>8. – ม้วนเหล็กกล้าไร้สนิมรีดเย็น
- ม้วนเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดแผ่นแถบ</td></tr>
</table>

3.8 กระบวนการผลิตท่อสเตนเลส

หลังจากที่ผ่านกระบวนการข้างต้นแล้วจึงนำมาผ่านกระบวนการรีดขึ้นรูปที่ 3.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



<u>รูปที่ 3.3</u> แผนภาพการไหลของกระบวนการผลิตท่อสเตนเลส

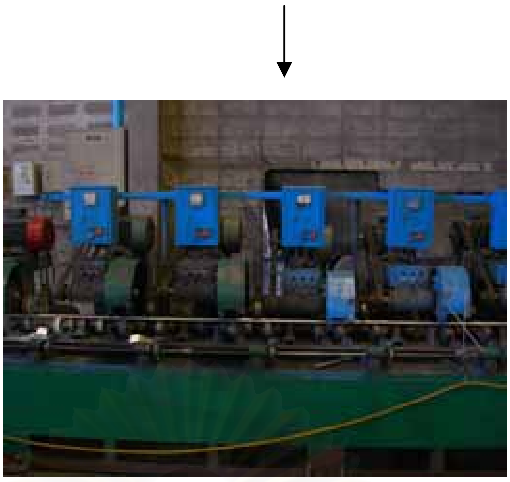
↓

↓

↓

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.4 รูปกระบวนการผลิตท่อสเตนเลสแบบท่อกลม

3.8 พนักงาน

คนงานที่ใช้ในการควบคุมการผลิตของสายการผลิตท่อแบบกลมนี้มี 70 คนต่อกะ ไม่รวมขนส่งภายใน โดยแบ่งเป็น

1. พนักงานคุมเครื่องรีด 25 คน
2. พนักงานขัด 20 คน
3. พนักงานบรรจุ 25 คน

โดยเวลาปฏิบัติงาน บริษัททำงานวันละ 24 ชั่วโมง โดยแบ่งเป็น 2 กะๆละ 12 ชั่วโมง

3.9 รอบเวลาในการผลิต เครื่องรีดสามารถปรับความเร็วลูกรีดได้ โดยปัจจุบันอยู่ที่ 300 – 450 เมตรต่อชั่วโมง ทำให้รอบเวลาในการผลิตโดยประมาณเป็น 2.30 นาทีต่อเส้น ผลิตได้ชั่วโมงละ 24 เส้นโดยประมาณ (ขึ้นอยู่กับการปรับความเร็วในการเชื่อม)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
การดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยจะอาศัยแนวทางของซิกซ์ซิกม่าเข้ามาใช้ โดยจะสามารถแบ่งออกเป็นเฟส ต่างๆ 5 เฟส ดังนี้

4.1 Define Phase

เป็นเฟสของการวิเคราะห์สภาพปัญหาเพื่อระบุปัญหาที่แท้จริงและถูกต้อง เพื่อการแก้ปัญหาที่ตรงกับสาเหตุของปัญหาที่แท้จริง การแก้ปัญหาต้องดูว่าปัญหาที่เกิดขึ้นแบ่งออกได้เป็นหลายด้าน ต้องเลือกปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อองค์กรสูงที่สุดก่อน

4.1.1 การหาปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อองค์กร

โดยปัจจัยที่จะนำมาพิจารณาคือปัจจัยด้านค่าใช้จ่ายเป็นหลัก โดยสามารถบางออกได้เป็นดังนี้

<u>ตารางที่ 4.1</u> แสดงค่าใช้จ่ายโดยประมาณที่เกิดขึ้นในองค์กร

ค่าใช้จ่าย	เปอร์เซ็นต์(%)
วัตถุดิบ	70
ค่าแรง	15
ค่าวัสดุทางอ้อม	15
ค่าแรงงานทางอ้อม	
ค่าสาธารณูปโภค	
ค่าใช้จ่ายเบ็ดเตล็ดและอื่นๆ	
ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรและทรัพสินย์อื่นๆ	
ค่าซ่อมแซมเครื่องจักร เครื่องมือ อุปกรณ์การผลิต	
ค่าเบี้ยประกันภัยทรัพย์สิน	
ค่าสวัสดิการ	
อื่นๆ	
รวม	100

จากข้อมูลเบื้องต้นสามารถสรุปได้ว่าค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นของโรงงานแบ่งง่ายๆได้สามส่วนด้วยกัน โดยแบ่งเป็นทางด้านของวัตถุดิบ คิดเป็น 70 เปอร์เซ็นต์ โดยประมาณ ซึ่งถือเป็นส่วนที่มากที่สุด จากนั้นจึงพิจารณาถึงความสูญเสียที่เกิดขึ้น โดยเกิดความสูญเปล่า(Waste)ทั้ง 8 ประการ [7] คือ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. การผลิตที่มากเกินไป (Over Production)
2. การเสียเวลารอคอย (Waiting)
3. สินค้าคงคลังและวัตถุดิบระหว่างกระบวนการผลิต (Inventory and Work in Process)
4. การสูญเปล่าของกระบวนการผลิต (Processing Waste)
5. ความสูญเปล่าจากการขนส่ง (Transportation)
6. การสูญเปล่าจากการเคลื่อนไหว (Motion)
7. การสูญเปล่าจากการผลิตของเสีย (Making defective product)
8. การสูญเปล่าจากการใช้ทรัพยากรมนุษย์ (Underutilize People)

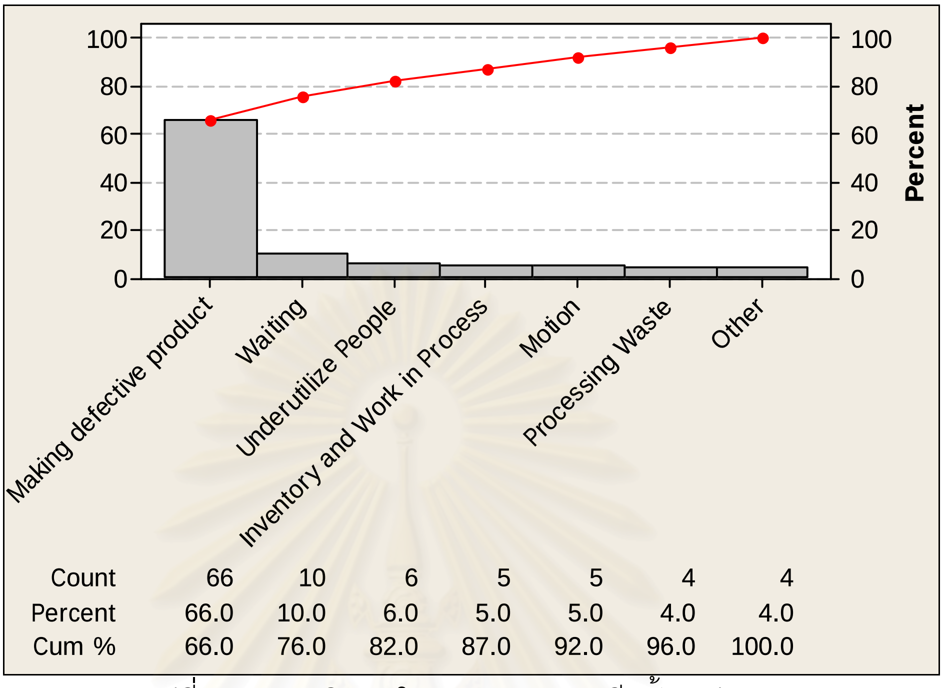
ตารางที่ 4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์ของความสูญเปล่าทั้ง 8 ประการ และคิดเป็นจำนวนเงินที่สูญเสียไป

ความสูญเปล่า	เปอร์เซ็นต์(%)	จำนวนเงิน(บาท)
การผลิตที่มาก	2	2,640,000
การเสียเวลารอคอย	10	13,200,000
สินค้าคงคลังและวัตถุดิบระหว่างกระบวนการผลิต	5	6,600,000
การสูญเปล่าของกระบวนการผลิต	4	5,280,000
ความสูญเปล่าจากการขนส่ง	2	2,640,000
การสูญเปล่าจากการเคลื่อนไหว	5	6,600,000
การสูญเปล่าจากการผลิตผลิตภัณฑ์บกพร่อง	66	87,120,000
การสูญเปล่าจากการใช้ทรัพยากรมนุษย์	6	7,920,000
รวม	100	132,000,0000

หมายเหตุ : เป็นข้อมูลที่ทางโรงงานได้มีการสำรวจและเก็บไว้เบื้องต้นแล้ว (ปี 2549)

จากตารางที่ 4.1 และ 4.2 ทำให้สามารถสรุปได้ว่าค่าใช้จ่ายที่เกิดเป็นส่วนของวัตถุดิบถึง 70 เปอร์เซ็นต์ และเกิดจากความสูญเสียด้านการผลิตผลิตภัณฑ์บกพร่องถึง 66 เปอร์เซ็นต์ โดยคิดเป็น 87,120,000 บาทต่อปี ซึ่งเป็นปัญหาใหญ่ขององค์กร เนื่องจากทางบริษัทคิดกำไรเพิ่มจากต้นทุนประมาณ 10% เพราะราคาสเตนเลสในตลาดโลกมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาและมีการแข่งขันในเรื่องราคากันค่อนข้างสูง ไม่สามารถตั้งราคาสูงมาก โดยในบางครั้งต้องมีการตรึงราคาเอาไว้จนทำให้ในบางล็อตการผลิตนั้นมีกำไรไม่ถึง 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถ้าเกิดของเสียเป็นจำนวนมากนั่นเท่ากับว่ากำไรของบริษัทก็จะลดลงจนบางครั้งอาจถึงขั้นขาดทุนถ้าเปอร์เซ็นต์ของ

เสียเท่ากับหรือมากกว่ากำไรที่ทางบริษัทบวกเข้าไปในการตั้งราคาขาย ผู้วิจัยและบริษัทจึงได้เลือกที่จะแก้ปัญหาการผลิตของเสียเป็นอันดับแรก



รูปที่ 4.1 แผนภูมิพาเรโตแสดงความสูญเสียทั้ง 8 ประการ

จากพาเรโตจะเห็นว่าความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นด้านการผลิตของเสียควรได้รับการแก้ไขเป็นอันดับแรกเนื่องจากส่งผลกระทบต่อรายได้ขององค์กรเป็นหลัก

เมื่อได้ปัญหาหลักขององค์กรว่าเกิดจากการผลิตของเสียมากเกินไปแล้วนั้น จึงได้ทำการศึกษาถึงผลิตภัณฑ์ที่ทางบริษัทผลิตว่ามีผลิตภัณฑ์แบบใดบ้าง และจากข้อมูลเบื้องต้นพบว่าทางบริษัทผลิตท่อสเตนเลสแบบกลมเป็นหลัก (90 เปอร์เซ็นต์)

ตารางที่ 4.3 แสดงสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องของผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท

ลักษณะ	ยอดขาย (ล้านบาท)	สัดส่วนยอดขาย (เปอร์เซ็นต์)	ของเสีย (ล้านบาท)	สัดส่วนของเสียของแต่ละชนิด (เปอร์เซ็นต์)
ท่อกลม	1,485	90%	121	8.2
ท่อเหลี่ยม	66	4%	4	6.2
สเตนเลสแผ่น	33	2%	2	4.9
ท่อมีลวดลาย	66	4%	5.	7.6
รวม	1,650	100%	132	8%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

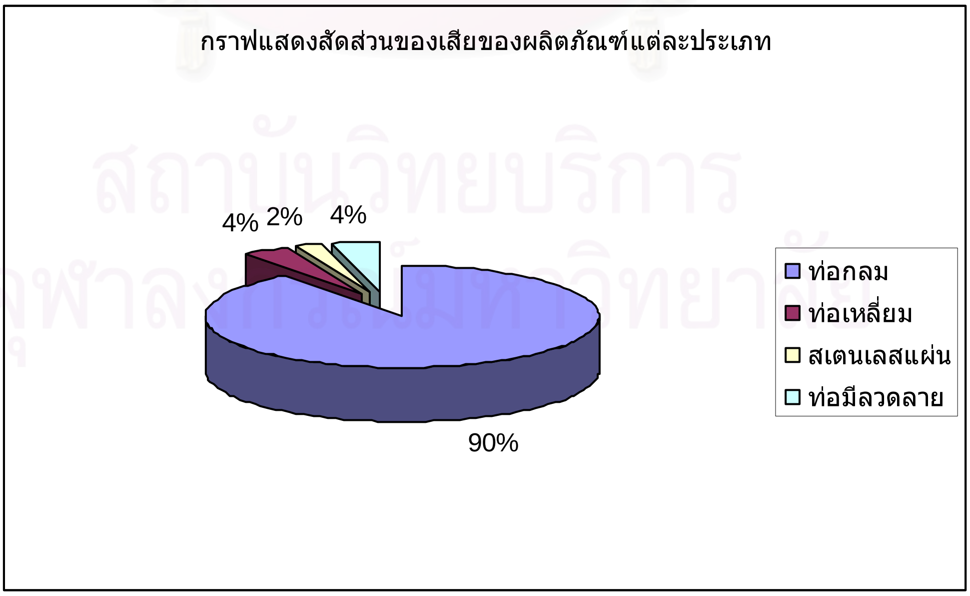
และเมื่อศึกษาต่อไปจะพบว่าสามารถแบ่งผลิตภัณฑ์ท่อสเตนเลสแบบกลมออกเป็นกลุ่มได้ 2 กลุ่มคือ

- ความหนาคือ 1 มิลลิเมตร
- เส้นผ่านศูนย์กลาง มี 8 ขนาด ดังตาราง

ตารางที่ 4.4 แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาผลิตภัณฑ์ท่อสเตนเลสแบบกลม

เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร.)	ความหนา (มิลลิเมตร)
12.7	1
15.9	1
19.0	1
22.2	1
25.4	1
31.8	1
38.1	1
51.8	1

จากนั้นจึงมาพิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับองค์กรในกรณีที่ผลิตผลิตภัณฑ์บกพร่อง โดยจากตารางที่ 4.3 พบว่าผลจากการผลิตของเสียทำให้ทางบริษัทต้องสูญเสียรายได้จำนวน 87.1 ล้านบาทต่อปี โดยแบ่งเป็นจากการผลิตท่อสเตนเลสแบบกลม 78.3 ล้านบาทหรือคิดเป็น 90.00% จากของเสียทั้งหมด 87.1 ล้านบาท



รูปที่ 4.2 กราฟวงกลมแสดงสัดส่วนของเสียของท่อแต่ละประเภท

ซึ่งถ้าสามารถลดของเสียจากกระบวนการผลิตท่อสเตนเลสแบบกลมลงได้ 80% จะทำให้ทางบริษัทมีกำไรเพิ่มขึ้น 8 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นรายได้ 62.64 ล้านบาทต่อปี

จากการสอบถามถึงเกณฑ์การตั้งราคาขายแบบคร่าวๆ พบว่าทางบริษัทจะทำการบวกกำไรจากการผลิตไปอีก 10 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเมื่อเราผลิตของเสียก็จะเป็นการลดกำไรที่เกิดขึ้นลงจาก 10 เปอร์เซ็นต์นั่นเอง ซึ่งถ้าทำการผลิตของเสียจำนวน 8 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับว่าทางบริษัทมีกำไรเพียง 2 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ซึ่งเมื่อคิดถึงความไม่แน่นอนของราคาสเตนเลสโลกแล้ว อีกทั้งปัจจัยภายนอกที่ไม่สามารถควบคุมได้อีกหลายประการ ทำให้ทางบริษัทเล็งเห็นถึงความสำคัญของการแก้ปัญหาของเสียเป็นอย่างยิ่ง

เมื่อเลือกที่จะทำการลดของเสียของกระบวนการขึ้นรูปท่อสเตนเลสกลมแล้วนั้น ต้องทำการศึกษาถึงของเสียที่เกิดขึ้นว่ามาจากกระบวนการใดและเป็นของเสียประเภทใดเพื่อให้สามารถแก้ไขปัญหาได้ถูกต้อง โดยการเก็บข้อมูลนั้นไม่มีการแบ่งแยกออกเป็นท่อขนาดและความหนาต่างๆ เนื่องจากท่อกลมแต่ละขนาดมีสัดส่วนของเสียที่ใกล้เคียงกัน โดยในการเก็บข้อมูลนั้นจะเก็บข้อมูลของเสียโดยยึดเกณฑ์การยอมรับสินค้าของลูกค้าเป็นหลัก ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นดังนี้

4.1.2 การหาข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น

ข้อบกพร่องต่างๆที่เกิดขึ้นสามารถแบ่งออกเป็นหลายด้านโดยการพิจารณาว่าบกพร่องหรือไม่นั้นจะใช้เกณฑ์ในการยอมรับของลูกค้าเป็นหลักดังนี้

ตารางที่ 4.5 เกณฑ์การยอมรับสินค้าของลูกค้าบริษัท เกรท เซ็นทรัล (อินเตอร์เนชั่นแนล) จำกัด

ประเภท	รายละเอียด
ความกลมของท่อ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อต้องเท่ากันทุกจุด
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อได้มาตรฐาน	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อต้องเท่ากับขนาดมาตรฐาน โดยยอมให้คลาดเคลื่อน±0.1 มิลลิเมตร
ผิวของท่อ	ผิวของท่อต้องไม่มีตำหนิรอยขีดข่วนใดๆ และผิวต้องเป็นมันเงา
รอยเชื่อมของท่อ	รอยเชื่อมของท่อต้องติดสนิทไม่แตกออกจากกันเมื่อนำไปใช้งาน
ความยาวของท่อ	ขนาดความยาวของท่อต้องเท่ากับ 6 เมตร โดยยอมให้คลาดเคลื่อน ± 5 มิลลิเมตร
ความหนาของท่อ	ขนาดความหนาของท่อต้องตรงตามต้องการโดยยอมให้น้อยกว่าความหนามาตรฐานไม่เกิน 0.1 มิลลิเมตร

ความตรงของท่อ	ปลายสองด้านของท่อต้องมีจุดศูนย์กลางของปากท่อตรงกัน

หลังจากที่ทราบเกณฑ์การยอมรับสินค้าจึงทำการเก็บข้อมูลสินค้าว่าปัญหาที่เกิดขึ้นเกิดจากข้อใดบ้างและแบ่งออกเป็นปริมาณเท่าใด เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดได้ถูกต้อง โดยจะทำการเก็บข้อมูลของปัญหาที่ตรงกับเกณฑ์การยอมรับของลูกค้าเป็นหลัก ได้ผลดังตารางที่ 4.6

<u>ตารางที่ 4.6</u> แสดงปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องของท่อสเตนเลส (พค. ถึง ตค. 2549)

อาการของความบกพร่อง	**จำนวน(เส้น)**	**คิดเป็นร้อยละ**
ท่อไม่กลม	272	16.06
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่ได้ขนาดมาตรฐาน	150	8.85
มีรอยตามด	111	6.55
มีรอยขีดข่วนลึก	50	2.95
มีรอยเชื่อมหลงเหลือหลังการขัด	86	5.08
รอยเชื่อมนูน	380	22.43
รอยเชื่อมทะลุ	562	33.18
ความยาวของท่อไม่ได้ขนาดมาตรฐาน	4	0.24
ความหนาของท่อไม่ได้ขนาดมาตรฐาน	36	2.12
ท่อคด, งอ	43	2.54
รวม	1,694	100

ภาพแสดงปัญหาหลักๆของทางบริษัทโดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆได้คือ

1. ปัญหาที่เกิดจากการเชื่อม เช่น รอยเชื่อมทะลุ เป็นต้น
2. ปัญหาที่เกิดจากการขึ้นรูป เช่น ท่อไม่กลม เส้นผ่านศูนย์กลางไม่ได้ตามมาตรฐาน รอยเชื่อมนูน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก) ท่อไม่กลม

(ข) ขัดแล้วรอยเชื่อมออกไม่หมด

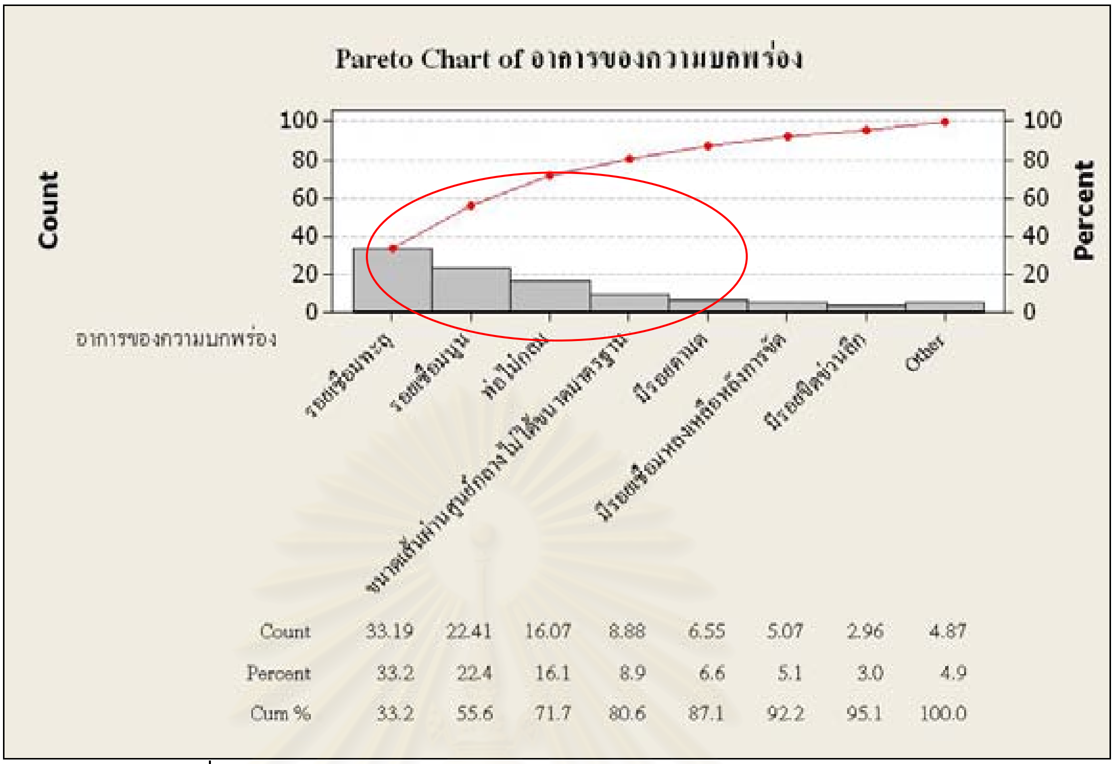
(ค) รอยขีดข่วนลึก

(ง)รอยเชื่อมทะลุ

(จ) รอยเชื่อมทะลุ

รูปที่ 4.3 (ก-จ) แสดงตัวอย่างข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์

จากนั้นนำข้อมูลเปอร์เซ็นต์ของอาการความบกพร่องมาวิเคราะห์ผ่านแผนภาพพาเรโตเพื่อเลือกถึงอาการของผลิตภัณฑ์บกพร่องหลักๆที่เกิดขึ้นพบว่า



รูปที่ 4.4 แผนภาพพาเรโตแสดงอาการบกพร่องของท่อสเตนเลสกลม

จากแผนภาพพาเรโตพบว่าเกิดปัญหาหลักๆ 4 เรื่องด้วยกันซึ่งได้แก่

- รอยเชื่อมทะลุ
- รอยเชื่อมนูน
- ท่อไม่กลม
- เส้นผ่านศูนย์กลางไม่ได้ขนาด

เมื่อได้ปัญหาที่จะทำการแก้ไขแล้วจะต้องทำการกำหนดเป้าหมายที่จะทำการแก้ไข โดยทางผู้วิจัยจะเลือกทำการแก้ปัญหาทั้ง 4 เรื่องไปพร้อมๆกัน แต่จะเน้นไปที่การแก้ปัญหารอยเชื่อมทะลุเป็นหลักก่อน จากนั้นจึงทำการแก้ปัญหารอยเชื่อมนูน ท่อไม่กลมและเส้นผ่านศูนย์กลางไม่ได้ขนาดตามมาในภายหลัง

4.1.3 การตั้งเป้าหมายในการลดจำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่อง

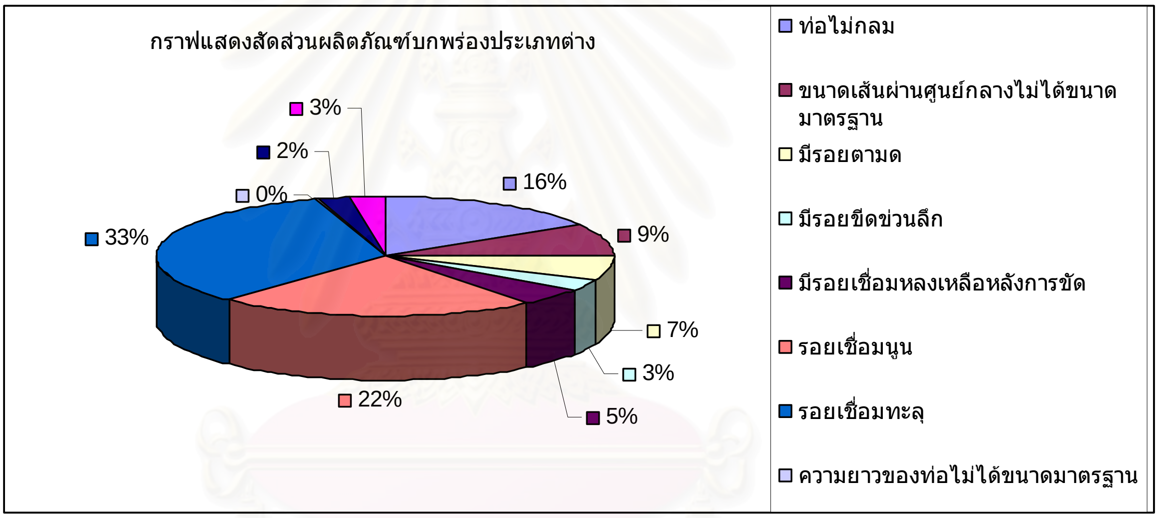
ทางผู้วิจัยได้สอบถามเป้าหมายการลดปริมาณผลิตภัณฑ์ของทางบริษัทผ่านทางผู้จัดการฝ่ายผลิต ได้ความว่า ทางบริษัทต้องการควบคุมปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องให้ได้ต่ำกว่าร้อยละ 2 จากการผลิตท่อสเตนเลสแบบกลม จึงต้องทำการลดอาการบกพร่องที่มีเปอร์เซ็นต์มากที่สุดให้เหลือน้อยลงเพื่อให้ส่งผลต่อสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องโดยรวมของท่อสเตนเลสกลม

ยอดขายรวม = 1,650,000,000 บาท

ของเสียรวม	=	87,800,000	บาท
ของเสียคิดเป็น	=	8.2	%
เป้าหมายของเสีย	=	2	%

ดังนั้นต้องทำการลดของเสียดังนี้

- ของเสียจากการเชื่อมทะลุ	=	33.38	%
- ของเสียจากรอยเชื่อมนูน	=	22.43	%
- ของเสียจากท่อไม่กลม	=	16.06	%
- ของเสียจากเส้นผ่านศูนย์กลางไม่ได้ขนาด	=	8.85	%
รวม	=	80.52	%
ทำให้ของเสียลดลง	=	6.6	%
เหลือของเสีย	=	1.6	%(เป้า2%)



รูปที่ 4.5 แสดงสัดส่วนของเสียประเภทต่างๆ

ดังนั้นถ้าต้องการให้เปอร์เซ็นต์ของเสียของการผลิตท่อสเตนเลสกลมต่ำกว่า 2% ต้องทำการแก้ปัญหา

- รอยเชื่อมทะลุ
- รอยเชื่อมนูน
- ท่อไม่กลม
- เส้นผ่านศูนย์กลางไม่ได้ขนาด

โดยจะทำให้เปอร์เซ็นต์ของเสียลดลง 6.6% เหลือ 1.6% (ต่ำกว่าเป้าหมาย 2%)

ในการแก้ปัญหาจะแบ่งปัญหาออกเป็น 2 กลุ่มคือ

1. ปัญหารอยเชื่อมทะลุ ซึ่งเกิดจากการเชื่อม

2. ปัญหาการขึ้นรูป ซึ่งได้แก่ รอยเชื่อมนูน ท่อไม่กลม และเส้นผ่านศูนย์กลางไม่ได้ขนาด

โดยจะแยกกันวิเคราะห์และแก้ปัญหาทั้งหมดดังนี้

4.1.4 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

4.1.4.1 การใช้แผนภาพก้างปลาวิเคราะห์สาเหตุของปัญหารอยเชื่อมทะลุ

โดยทำการระดมสมองร่วมกันระหว่าง พนักงานหน้างานและวิศวกรผู้ควบคุมการผลิต และได้อาศัยการศึกษาถึงปัจจัยในการเชื่อมจาก Welding Procedure Specification(WPS) ที่เป็นมาตรฐานในการปฏิบัติงานของการเชื่อม ซึ่งใน WPS จะกล่าวถึงปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องในการเชื่อมทั้งหมด ซึ่งมีจำนวนมาก และแบ่งเป็นปัจจัยที่คงที่ต้องควบคุมและปัจจัยที่ไม่คงที่มีการปรับเปลี่ยนได้ขึ้นอยู่กับลักษณะงาน และอื่นๆ โดยอ้างอิงไว้ในภาคผนวก ข. พบว่าสาเหตุของปัญหาเกิดจากปัจจัยที่ใช้ในการเชื่อมไม่เหมาะสม ซึ่งพบว่าปัจจัยในการเชื่อมมีหลายปัจจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์ต่อไป เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปัญหารอยเชื่อมทะลุอย่างแท้จริง ทำให้สามารถกำหนดและควบคุมปัจจัยได้ถูกต้องเหมาะสม โดยใช้การออกแบบการทดลองเข้ามาช่วยในการแก้ปัญหา และจะต้องกำหนดระดับของปัจจัยที่เหมาะสมในการเชื่อมเป็นมาตรฐานในการผลิตสำหรับท่อสเตนกลม และกำหนดปัจจัยที่ต้องควบคุมต่างๆให้ครบถ้วน

4.1.4.2 การใช้แผนภาพก้างปลาวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาท่อไม่กลมและรอยเชื่อมนูน

ซึ่งปัญหาดังกล่าวเป็นปัญหาที่เกิดจากสาเหตุเดียวกัน จึงได้ทำการรวมเอาปัญหาดังกล่าวไปวิเคราะห์ร่วมกัน พบว่าเกิดจากปัญหาด้านการเตรียมรอยเชื่อมที่ไม่ถูกต้อง โดยปัญหาดังกล่าวจะได้ทำการแก้ไขด้วยเทคนิคในการเตรียมวัตถุดิบและการปรับตั้งต่อไป ซึ่งจะได้กล่าวต่อไปในส่วนของการดำเนินงานหลักจากที่ทำการแก้ปัญหารอยเชื่อมแล้ว และจะได้กล่าวอีกครั้งในส่วนของสรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์เบื้องต้นด้วยแผนภาพก้างปลาพบว่ามีปัจจัยหลายตัวที่น่าจะมีผลต่อการเชื่อม จึงได้ทำการคัดกรองปัจจัยออกเบื้องต้นก่อนที่จะนำไปทำการทดลองต่อไป

4.1.5 การกรองปัจจัยด้วย F.M.E.A.

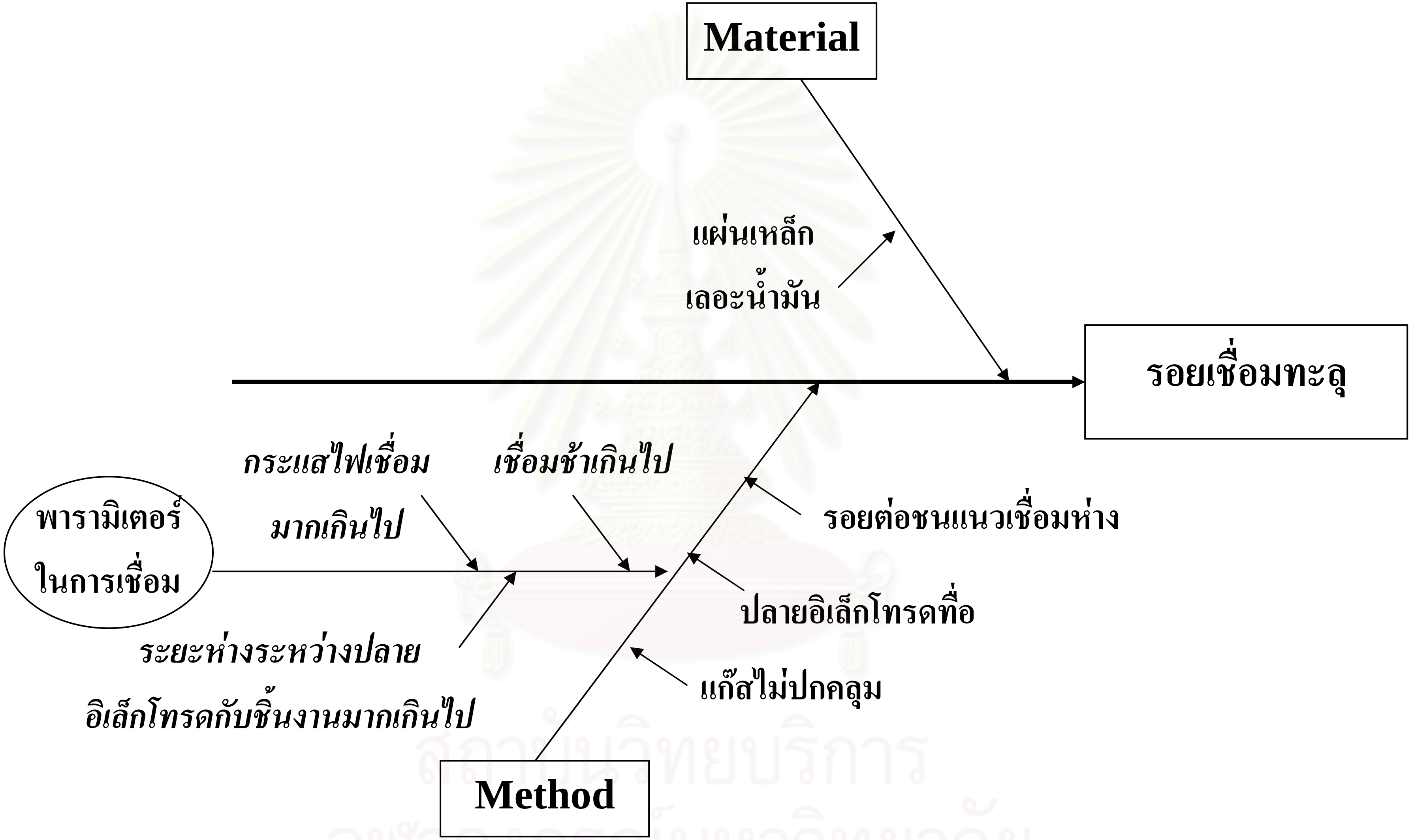
เนื่องจากปัจจัยที่เกิดขึ้นจากการใช้แผนภาพก้างปลามีนั้นมีหลายปัจจัย จึงได้ทำการกรองปัจจัยที่ไม่น่าจะส่งผลต่อปัญหารอยเชื่อมทะลุออกไปเบื้องต้น ก่อนที่จะนำไปทำการแก้ปัญหาด้วยการออกแบบการทดลอง (Design and Analysis of Experiment) ต่อไป

ในการทำ F.M.E.A. ได้กำหนดให้มีผู้ร่วมประเมิน 12 คนด้วยกันคือ

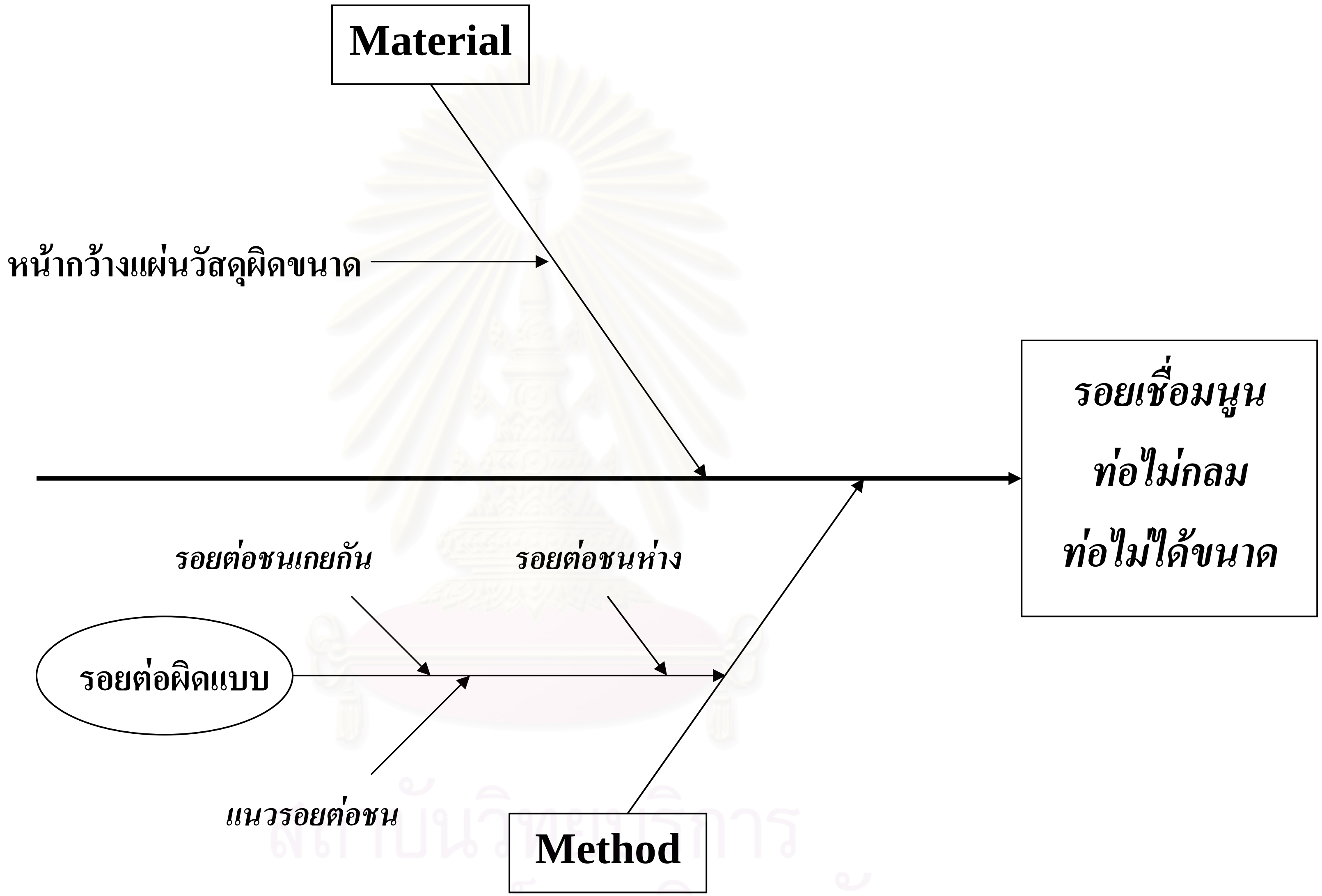
- วิศวกรผู้ควบคุมการผลิต
- พนักงานหน้างาน จำนวน 10 คน (กะละ 5 คน)
- ผู้ดำเนินงานวิจัย

ในการทำจะทำการอบรมถึงความเข้าใจในการทำ F.M.E.A รวมถึงวิธีการและเกณฑ์การให้คะแนนต่างๆซึ่งผู้ที่ทำการให้คะแนนนั้นเป็นผู้ที่มีความรู้ในเรื่องที่ทำการวิเคราะห์เป็นอย่างดี ทั้งวิศวกรหน้างานและพนักงานหน้างานที่ปฏิบัติงานมาเป็นระยะเวลานาน อีกทั้งในการระดมสมองยังนำเอา Welding Procedure Specification (WPS) ซึ่งเป็นมาตรฐานในงานเชื่อมที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลกเข้ามาช่วยในการพิจารณาถึงปัจจัยต่างทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมอีกด้วย โดยให้ทุกคนระดมสมองเพื่อให้คะแนนออกมา โดยดูจากเกณฑ์การให้คะแนนที่แนบมาด้วย (อยู่ในภาคผนวก ก.) ว่าควรจะให้เลขใดเมื่อพบว่าตรงกับเกณฑ์ดังกล่าว พบว่าได้ดังตารางที่ 4.7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



<u>รูปที่ 4.6</u> แสดงแผนภาพก้างปลาวิเคราะห์สาเหตุของปัญหารอยเชื่อมทะลุ



รูปที่ 4.7 แสดงแผนภาพก้างปลาวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาท่อไม่กลม, ท่อไม่ได้ขนาด, รอยเชื่อมนูน

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงข้อมูลของ F.M.E.A.

Process Step	KPI	Failure Mode	Failure Effect	SEV	Potential Cause	OCC	Current Process Control Detection	DET	RPN
เชื่อม	1. ลักษณะของปลาย อิเล็กโทรดรด	ปลายอิเล็กโทรดที่อ	การกระจายความร้อนกว้างชิ้นงานไม่หลอม	9	การลับปลายอิเล็กโทรดไม่ถูกต้อง	5	ใช้เครื่องลับปลายอิเล็กโทรดเพื่อให้ได้มุมที่เหมาะสม	2	90
	2. กระแสไฟเชื่อม	รอยเชื่อมรับความร้อนมากเกินไป เกิดการซึมลึกมาก	รอยเชื่อมทะลุ	10	การตั้งไฟเชื่อมสูงเกินไป	8	ไม่มีมาตรฐานในการปรับตั้ง	8	640
	3. ความเร็วในการเชื่อม	ระยะเวลาหลอมรอยเชื่อมนานเกินไป	รอยเชื่อมทะลุ	10	การเชื่อมช้าเกินไป	8	ไม่มีมาตรฐานในการปรับตั้ง	8	640
	4. ระยะห่างระหว่างท่อกับอิเล็กโทรด (ความต่างศักย์)	รับความร้อนมากเกินไป รอยเชื่อมหลอมเป็นบริเวณกว้างมาก	รอยเชื่อมทะลุ	10	ระยะห่างระหว่างท่อกับอิเล็กโทรดห่างเกินไป	8	ไม่มีมาตรฐานในการปรับตั้ง	9	720

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	5. แถบเหล็กเลอะน้ำมัน	รอยเชื่อมทะลุเป็นช่วงๆ	รอยเชื่อมบริเวณเลอะน้ำมันไม่ติด	9	เปลวไฟไม่สามารถผ่านน้ำมันได้	4	มีการเช็ดน้ำมันก่อนเชื่อม และตรวจแผ่นเหล็กสม่ำเสมอ	2	72

<u>ตารางที่ 4.7</u> ตารางแสดงข้อมูลของ F.M.E.A.(ต่อ)

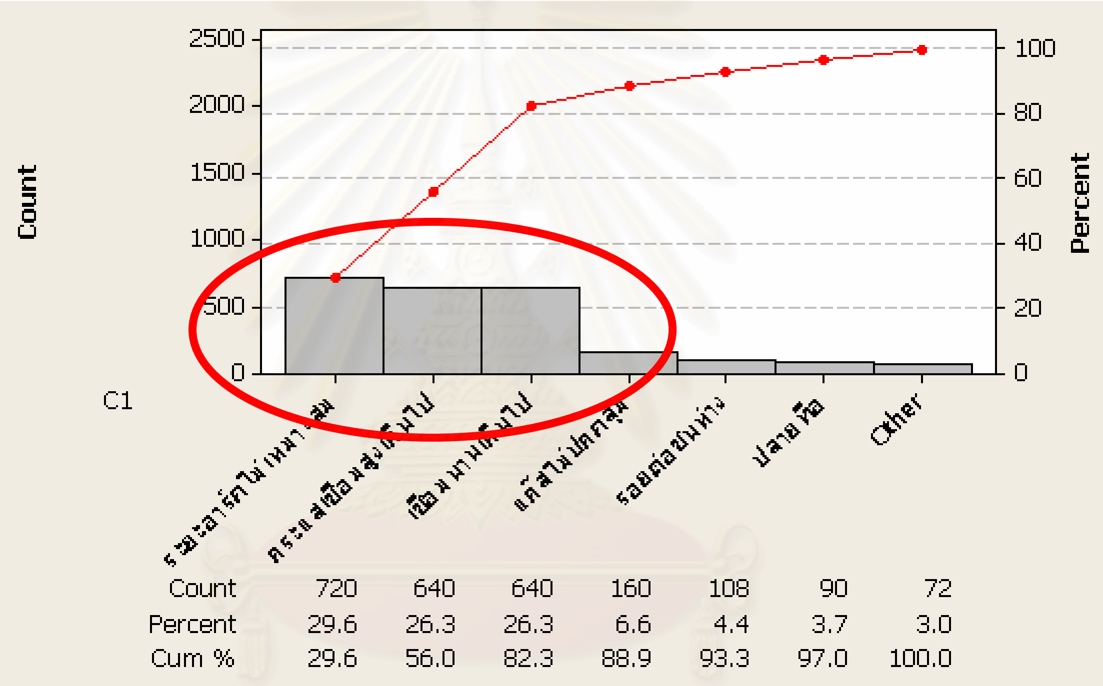
Process Step	KPI	Failure Mode	Failure Effect	SEV	Potential Cause	OCC	Current Process Control Detection	DET	RPN
เชื่อม	6. ระยะห่างรอยต่อชนรอยเชื่อม	แนวเชื่อมห่าง	รอยเชื่อมห่างเป็นแนวยาว	9	ตั้งระยะลูกรีดก่อนเชื่อมห่างเกินไป	4	ปรับระยะห่างลูกรีดคงที่ ตรวจสม่ำเสมอ	3	108
	7. แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม	แก๊สไม่ปกคลุมแนวเชื่อม	รอยเชื่อมทะลุ	10	ท่อส่งแก๊สตัน แก๊สหมด	4	ทำความสะอาดและตรวจดูปริมาณแก๊สสม่ำเสมอ	4	160

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หลังจากได้ข้อมูลจากตาราง F.M.E.A.แล้วจึงนำมาวิเคราะห์ปัจจัยที่น่าจะส่งกระทบต่อปัญหารอยเชื่อมทะลุ ด้วยแผนภาพพาเรโต พบว่ามี 3 ปัจจัยหลักๆที่น่าน่าจะส่งกระทบต่อปัญหารอยเชื่อมทะลุดังนี้

- ระยะของการอาร์คไม่เหมาะสม
- กระแสที่ใช้ในการเชื่อมสูงเกินไป
- ระยะเวลาในการเชื่อมนานเกินไป

หลังจากได้ 3 ปัจจัยแล้วจึงได้ทำการทดลองต่อด้วย การออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยและแนวโน้มของปัจจัยที่แท้จริงต่อไป



รูปที่ 4.8 แผนภาพพาเรโตของปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหารอยเชื่อมทะลุ

4.1.6 การตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องจักรและล๊อตของวัตถุดิบในการผลิต

จากการศึกษาพบว่าในการผลิตท่อสเตนเลสกลม ไม่ได้มีการกำหนดเครื่องเชื่อมให้ตายตัวว่าผลิตที่เครื่องใด แต่จะทำการผลิตเมื่อเครื่องใดเครื่องหนึ่งเกิดการว่าง เพราะท่อกลมดังกล่าวเป็นท่อที่ต้องการสูงที่สุด ทางผู้วิจัยจึงทำการเก็บข้อมูลของแต่ละเครื่องที่ผลิตเพื่อเป็นการยืนยันว่าเครื่องจักรแต่ละเครื่องมีประสิทธิภาพเท่าเทียมกัน หมายถึงของเสียที่เกิดขึ้นไม่ได้มาจากประสิทธิภาพของเครื่องจักร อีกทั้งในการผลิตใช้วัตถุดิบที่สั่งมาเป็นม้วน ทีละม้วนจึงต้อง

ตรวจสอบว่าของเสียที่เกิดจากแต่ละม้วนมีสัดส่วนที่ใกล้เคียงกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเป็นการยืนยันว่าวัตถุดิบมีคุณภาพเท่าเทียมกันในทุกล๊อต

4.1.6.1 ทดสอบว่าเครื่องเชื่อมทุกเครื่องมีประสิทธิภาพเท่าเทียมกัน ไม่มีผลต่อข้อบกพร่อง

<u>ตารางที่ 4.8</u> แสดงข้อมูลของผลิตภัณฑ์บกพร่องที่เครื่องเชื่อมต่างๆ

เครื่องเชื่อม (เครื่อง)	จำนวนตรวจสอบ(เส้น)	ผลิตภัณฑ์บกพร่อง(เส้น)
1	200	7
2	200	6

H_0 : เครื่องเชื่อมแต่ละเครื่อง ไม่มีผลต่อรอยเชื่อมทะลุ

H_1 : เครื่องเชื่อมแต่ละเครื่อง มีผลต่อรอยเชื่อมทะลุ

H_0 : PX = PY

H_1 : PX $\neq$ PY

Test and CI for Two Proportions

Sample X N Sample p

1 7 200 0.060000

2 6 200 0.055000

Difference = p (1) - p (2)

Estimate for difference: 0.005

95% CI for difference: (-0.0406245, 0.0506245)

Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = -0.26 **P-Value = 0.792** (มากกว่า 0.05)

<u>สรุปว่า</u>ปัจจัยเครื่องเชื่อมไม่มีผลต่อความบกพร่องต่อชิ้นงาน (รอยเชื่อมทะลุ)

4.1.6.2 ทดสอบว่าล็อตของวัตถุดิบไม่มีผลต่อข้อบกพร่อง

<u>ตารางที่ 4.9</u> แสดงข้อมูลของผลิตภัณฑ์บกพร่องที่วัตถุดิบล็อตต่างๆ

ล็อตของวัตถุดิบ (ล็อต)	จำนวนตรวจสอบ(เส้น)	ผลิตภัณฑ์บกพร่อง(เส้น)
1	200	4
2	200	5

H0 : ล็อตของวัตถุดิบ ไม่มีผลต่อรอยเชื่อมทะลุ

H1 : ล็อตของวัตถุดิบ มีผลต่อรอยเชื่อมทะลุ

H0 : PX = PY

H1 : PX $\neq$ PY

Test and CI for Two Proportions

Sample X N Sample p

1 4 200 0.035000

2 5 200 0.040000

Difference = p (1) - p (2)

Estimate for difference: -0.005

95% CI for difference: (-0.0422329, 0.0322329)

Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = -0.26 **P-Value = 0.792 (มากกว่า 0.05)**

สรุปว่าปัจจัยล็อตของวัตถุดิบไม่มีผลต่อความบกพร่องต่อชิ้นงาน (รอยเชื่อมทะลุ)

4.2 Measure Phase

4.2.1 การวิเคราะห์ระบบการวัด

เนื่องจากระบบการวัดเป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งก่อให้เกิดความผันแปรของระบบการผลิต ดังนั้นการที่จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติ โดยใช้ข้อมูลจากระบบนั้น จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์และปรับปรุงระบบการวัดให้มีประสิทธิภาพเพียงพอแก่การยอมรับทางสถิติเสียก่อน เพื่อลดความผันแปรของระบบให้มีสาเหตุมาจากกระบวนการผลิตเท่านั้น จึงสามารถทำการวิเคราะห์ทดสอบกระบวนการได้

การตรวจสอบและลงบันทึกของปัญหาการเชื่อมจะมีการพิจารณาปัญหาดังนี้

- ปัญหางานรอยเชื่อมทะลุ
- รอยเชื่อมนูน

จากปัญหาดังกล่าวจะใช้สายตา (Visual Inspection) เป็นหลัก และเนื่องจากข้อมูลของปัญหาเป็นข้อมูลนับ ดังนั้นจึงเลือกการทดสอบระบบการวัดแบบข้อมูลนับ (Gauge Repeatability and Reproducibility for Attribute Data) โดยมีข้อกำหนดดังต่อไปนี้

1. ทำการเลือกสิ่งตัวอย่างงาน

กรณีที่ 1 “รอยเชื่อมนูน” โดยนำรอยเชื่อมที่อยู่ในสภาพที่ดี และ รอยเชื่อมที่อยู่ในสภาพที่ไม่ดี ในสัดส่วน เท่ากับ 9:11 หน่วย (ท่อ)

กรณีที่2 "รอยเชื่อมทะลุ" โดยนำรอยเชื่อมที่อยู่ในสภาพดี และรอยเชื่อมที่อยู่ในสภาพที่ไม่ดี ในสัดส่วน เท่ากับ 9:11 หน่วย (ท่อ)

2. เลือกพนักงานตรวจสอบ มา 2 คน โดยพนักงานได้ผ่านการฝึกอบรมและผ่านการประเมิน (การดูรอยเชื่อมที่ดีและไม่ดี คือ นูน และไม่นูน กับ ต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง)

3. วางแผนการทดลองในการวิเคราะห์ระบบการวัดรอยเชื่อมนูน และรอยเชื่อมทะลุ ดังนี้

ตารางที่ 4.10 แผนการทดลองในการวิเคราะห์ระบบการวัดรอยเชื่อมนูน และท่อไม่กลม

ลำดับการทดลอง	หมายเลขชิ้นงาน	พนักงาน	ลำดับการทดลอง	หมายเลขชิ้นงาน	พนักงาน
1	13	บุญมี	41	15	บุญมี
2	17	เสน่ห์	42	13	เสน่ห์
3	1	บุญมี	43	3	บุญมี
4	5	เสน่ห์	44	10	บุญมี
5	12	เสน่ห์	45	18	เสน่ห์
6	2	บุญมี	46	6	เสน่ห์
7	18	บุญมี	47	7	บุญมี
8	2	เสน่ห์	48	1	เสน่ห์
9	14	บุญมี	49	8	บุญมี
10	19	เสน่ห์	50	13	เสน่ห์
11	7	เสน่ห์	51	1	เสน่ห์
12	14	บุญมี	52	17	บุญมี
13	19	เสน่ห์	53	8	บุญมี
14	12	เสน่ห์	54	1	บุญมี
15	10	บุญมี	55	3	เสน่ห์
16	14	เสน่ห์	56	11	เสน่ห์
17	4	เสน่ห์	57	15	เสน่ห์
18	3	บุญมี	58	16	บุญมี
19	11	เสน่ห์	59	16	เสน่ห์
20	6	บุญมี	60	20	เสน่ห์
21	5	เสน่ห์	61	20	เสน่ห์
22	16	บุญมี	62	13	บุญมี

23	4	เสน่ห์	63	16	เสน่ห์
24	6	บุญมี	64	15	เสน่ห์
ลำดับการทดลอง	หมายเลขชิ้นงาน	พนักงาน	ลำดับการทดลอง	หมายเลขชิ้นงาน	พนักงาน
25	17	เสน่ห์	65	9	บุญมี
26	14	เสน่ห์	66	10	เสน่ห์
27	7	บุญมี	67	9	บุญมี
28	7	เสน่ห์	68	6	เสน่ห์
29	11	บุญมี	69	5	บุญมี
30	17	บุญมี	70	2	บุญมี
31	8	เสน่ห์	71	15	บุญมี
32	12	บุญมี	72	10	เสน่ห์
33	9	เสน่ห์	73	20	บุญมี
34	18	เสน่ห์	74	5	บุญมี
35	19	บุญมี	75	2	เสน่ห์
36	3	เสน่ห์	76	12	บุญมี
37	19	บุญมี	77	18	บุญมี
38	4	บุญมี	78	9	เสน่ห์
39	8	เสน่ห์	79	20	บุญมี
40	11	บุญมี	80	4	บุญมี

ตารางที่ 4.11 แผนการทดลองในการวิเคราะห์ระบบการวัดรอยเชื่อมทะลุ

ลำดับการทดลอง	หมายเลขชิ้นงาน	พนักงาน	ลำดับการทดลอง	หมายเลขชิ้นงาน	พนักงาน
1	13	บุญมี	41	15	บุญมี
2	17	เสน่ห์	42	13	เสน่ห์
3	1	บุญมี	43	3	บุญมี
4	5	เสน่ห์	44	10	บุญมี
5	12	เสน่ห์	45	18	เสน่ห์
6	2	บุญมี	46	6	เสน่ห์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7	18	บุญมี	47	7	บุญมี
8	2	เสน่ห์	48	1	เสน่ห์
ลำดับการทดลอง	หมายเลขชิ้นงาน	พนักงาน	ลำดับการทดลอง	หมายเลขชิ้นงาน	พนักงาน
9	14	บุญมี	49	8	บุญมี
10	19	เสน่ห์	50	13	เสน่ห์
11	7	เสน่ห์	51	1	เสน่ห์
12	14	บุญมี	52	17	บุญมี
13	19	เสน่ห์	53	8	บุญมี
14	12	เสน่ห์	54	1	บุญมี
15	10	บุญมี	55	3	เสน่ห์
16	14	เสน่ห์	56	11	เสน่ห์
17	4	เสน่ห์	57	15	เสน่ห์
18	3	บุญมี	58	16	บุญมี
19	11	เสน่ห์	59	16	เสน่ห์
20	6	บุญมี	60	20	เสน่ห์
21	5	เสน่ห์	61	20	เสน่ห์
22	16	บุญมี	62	13	บุญมี
23	4	เสน่ห์	63	16	เสน่ห์
24	6	บุญมี	64	15	เสน่ห์
25	17	เสน่ห์	65	9	บุญมี
26	14	เสน่ห์	66	10	เสน่ห์
27	7	บุญมี	67	9	บุญมี
28	7	เสน่ห์	68	6	เสน่ห์
29	11	บุญมี	69	5	บุญมี
30	17	บุญมี	70	2	บุญมี
31	8	เสน่ห์	71	15	บุญมี
32	12	บุญมี	72	10	เสน่ห์
33	9	เสน่ห์	73	20	บุญมี
34	18	เสน่ห์	74	5	บุญมี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

35	19	บุญมี	75	2	เสน่ห์
36	3	เสน่ห์	76	12	บุญมี
ลำดับการทดลอง	หมายเลขชิ้นงาน	พนักงาน	ลำดับการทดลอง	หมายเลขชิ้นงาน	พนักงาน
37	19	บุญมี	77	18	บุญมี
38	4	บุญมี	78	9	เสน่ห์
39	8	เสน่ห์	79	20	บุญมี
40	11	บุญมี	80	4	บุญมี

4. ทำการเลือกพนักงานให้ตรวจสอบสิ่งตัวอย่างงานอย่างสุ่ม พร้อมบันทึกผลลงตารางทดสอบและตรวจสอบซ้ำอีก 1 ครั้ง

<u>ตารางที่ 4.12</u> ผลการทดลองวิเคราะห์ระบบการวัดรอยเชื่อมนูน

สิ่งตัวอย่างที่	คุณภาพงานแท้จริง	นายเสน่ห์ สมพันธ์		นายบุญมี กุลสุวรรณ	
		1	2	1	2
1	NG	NG	NG	NG	NG
2	NG	NG	NG	NG	NG
3	NG	NG	NG	NG	NG
4	G	G	G	G	G
5	G	G	G	G	G
6	G	G	G	G	G
7	NG	NG	NG	NG	NG
8	NG	NG	NG	NG	NG
9	G	G	G	G	G
10	NG	NG	NG	NG	NG
11	G	G	G	G	G
12	NG	NG	NG	NG	NG
13	NG	NG	NG	NG	NG
14	G	G	G	G	G
15	NG	NG	NG	NG	NG
16	G	G	G	G	G
17	NG	NG	NG	NG	NG
18	NG	NG	NG	NG	NG

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

19	G	G	G	G	G
20	G	G	G	G	G

ตารางที่ 4.13 ผลการทดลองวิเคราะห์ระบบการวัดรอยเชื่อมทะลุ

สิ่งตัวอย่างที่	คุณภาพงานแท้จริง	นายเสน่ห์ สมพันธ์		นายบุญมี กุลสุวรรณ	
		1	2	1	2
1	G	G	G	G	G
2	NG	NG	NG	NG	NG
3	G	G	G	G	G
4	NG	NG	NG	NG	NG
5	G	G	G	G	G
6	NG	NG	NG	NG	NG
7	G	G	G	G	G
8	NG	NG	NG	NG	NG
9	G	G	G	G	G
10	G	G	G	G	G
11	NG	NG	NG	NG	NG
12	G	G	G	G	G
13	NG	NG	NG	NG	NG
14	G	G	G	G	G
15	G	G	G	G	G
16	G	G	G	G	G
17	NG	NG	NG	NG	NG
18	G	G	G	G	G
19	NG	NG	NG	NG	NG
20	NG	NG	NG	NG	NG

5. พนักงานคนที่สองดำเนินการตรวจสอบอย่างสุ่มเหมือนข้อ (3) จนครบตามแผนที่วางไว้

6. ดำเนินการประเมินผลด้วยดัชนีต่างๆ ดังนี้

กรณีที่ 1 "รอยเชื่อมนูน"

% รีพีททะบิลีตี้ของพนักงานตรวจสอบคนที่ 1 = <u>จำนวนครั้งที่ตรวจสอบเหมือนกัน</u>

จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ

= (20/20) x 100%

= 100%

และ

% รีพีททะบิลีตี้ของพนักงานตรวจสอบคนที่ 2 = จำนวนครั้งที่ตรวจสอบเหมือนกัน / จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ

= (20/20) x 100%

= 100%

% ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบคนที่ 1 = จำนวนครั้งที่ตรวจสอบเหมือนและถูกต้อง / จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ

= (20/20) x 100%

= 100%

และ

% ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบคนที่ 2 = จำนวนครั้งที่ตรวจสอบเหมือนและถูกต้อง / จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ

= (20/20) x 100%

= 100%

กรณีที่2 “รอยเชื่อมไม่ต่อเนื่อง”

% รีพีททะบิลีตี้ของพนักงานตรวจสอบคนที่ 1 = จำนวนครั้งที่ตรวจสอบเหมือนกัน / จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ

= (20/20) x 100%

= 100%

และ

% รีพีททะบิลีตี้ของพนักงานตรวจสอบคนที่ 2 = จำนวนครั้งที่ตรวจสอบเหมือนกัน / จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ

= (20/20) x 100%

= 100%

% ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบคนที่ 1 = จำนวนครั้งที่ตรวจสอบเหมือนและถูกต้อง / จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ

= (20/20) x 100%

= 100%

และ

% ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบคนที่ 2 = $\frac{\text{จำนวนครั้งที่ตรวจสอบเหมือนและถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}}$

= (20/20) x 100%

= 100%

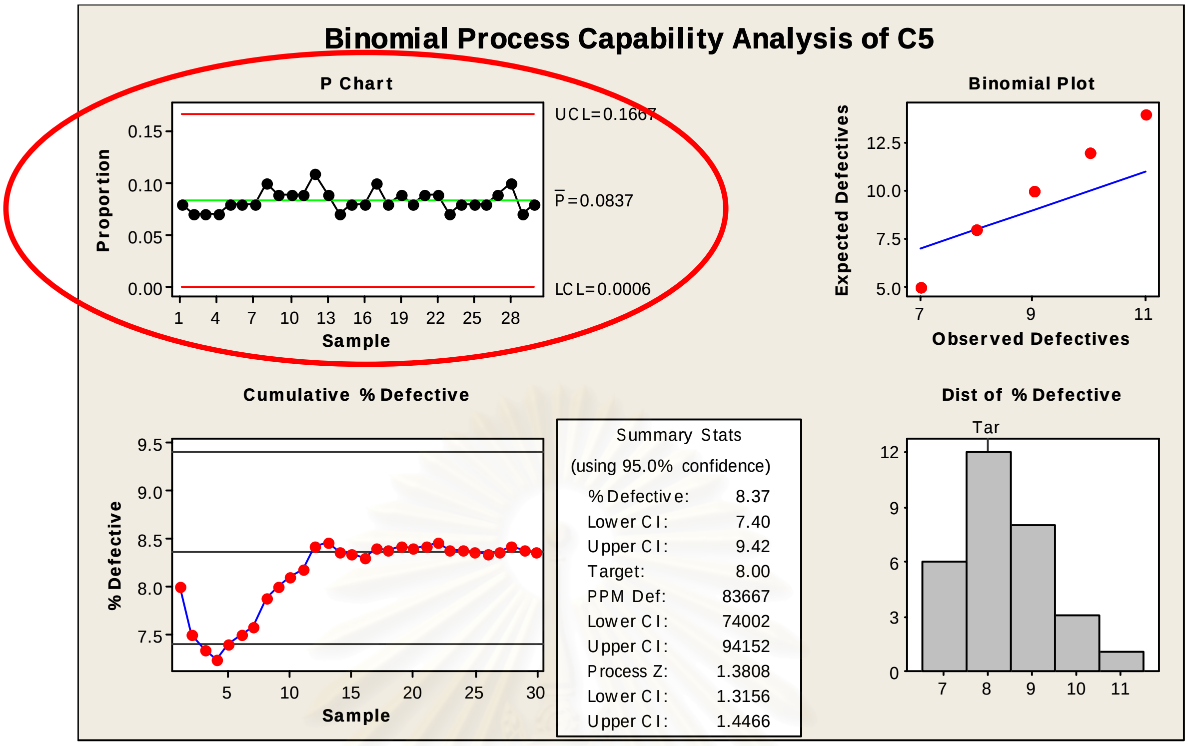
หมายเหตุ	พนักงานตรวจสอบคนที่ 1	นายเสน่ห์	สมพันธ์
	พนักงานตรวจสอบคนที่ 2	นายบุญมี	กุลสุวรรณ
	ผู้ฝึกอบรม(วิศวกร)	นายสกนธ์	แจ่มจิราศัย

7. คำนวณค่ารีพีททะบิลีตี้ของพนักงานตรวจสอบ และ ค่าความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ ผลมีคะแนน 100% แสดงว่าพนักงานตรวจสอบผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

8. หลังจากที่ได้มีการวิเคราะห์ระบบการวัด พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์รีพีททะบิลิตี้ และเปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบทั้ง 2 คนมีค่าเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะส่งผลทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพทางด้านรีพีททะบิลิตี้และเปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลทางด้านไบอัสของระบบการตรวจสอบจะมีค่าเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ด้วย สรุปผลว่าการระบบการวัดมีความถูกต้อง

4.2.2 การทดลองความสม่ำเสมอของกระบวนการ

ในการแก้ปัญหาจะต้องทำการตรวจดูสภาพของปัจจุบันว่ามีความสม่ำเสมอ หรือไม่และปัญหามีสเถียรภาพหรือไม่ เนื่องจากก่อนที่จะทำการแก้ปัญหาต้องทราบสภาพปัจจุบันที่แน่นอนและสม่ำเสมอเสียก่อน ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่ากระบวนการมีความสม่ำเสมอโดยสังเกตได้จาก P Chart จะพบว่าไม่มีค่าใดออกนอกช่วง UCL และ LCL และปัญหามีสเถียรภาพโดยสังเกตจาก Accumulative VS Percent Defect Chart คือเกิดข้อบกพร่องประมาณ 8.37% โดยมีช่วง LCI อยู่ที่ 7.40% และ UCI อยู่ที่ 9.42% จากนั้นเมื่อทราบว่ากระบวนการมีสเถียรภาพและมีความสามารถของกระบวนการเท่าใดแล้วจึงทำการวิเคราะห์ต่อไปโดยอาศัยการออกแบบการทดลองมาช่วยในการวิเคราะห์ปัจจัยและหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม



รูปที่ 4.9 แสดง Process Capability ของกระบวนการ

4.3 Analyze Phase

ในการวิเคราะห์จะเลือกใช้จากออกแบบการทดลองแบบ 2^k with center point [1] เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่ได้จากการกรองเบื้องต้นมาแล้วนั้นจำนวน 3 ปัจจัย แต่มีการพิจารณาถึงปัจจัยเพิ่มเติมโดยดูจากมาตรฐานงานเชื่อมว่ามีปัจจัยทั้งหมดที่เกี่ยวกับงานเชื่อมเป็นเช่นใด ต้องควบคุมปัจจัยใดบ้างในการทดลอง ปัจจัยใดต้องควบคุมให้คงที่ พบว่า

ปัจจัยที่เกี่ยวกับงานเชื่อมตาม Welding Procedure Specification (WPS) [9] ได้แก่

1. กระบวนการเชื่อม ซึ่งคือ การเชื่อม TIG แบบอัตโนมัติ
2. การออกแบบรอยต่อ ในที่นี้เป็นแบบต่อชนพอดีไม่มีระยะห่าง
3. วัตถุดิบที่ใช้เชื่อม คือ สเตนเลส
4. วัสดุป้อนเติม หรือลวดเชื่อม ซึ่งในที่นี้เป็นการเชื่อมแบบไม่ป้อนเติม
5. ท่าเชื่อม เป็นการเชื่อมท่าราบ
6. การอุ่นชิ้นงาน ไม่มีการอุ่นงานก่อนการเชื่อม
7. การอุ่นงานหลังการเชื่อม ไม่มีการอุ่นงานหลังการเชื่อม
8. แก๊สปกคลุม คือ อาร์กอน อัตราการไหล 4.7 ลิตรต่อนาที
9. คุณลักษณะทางไฟฟ้า

- ***กระแสที่ใช้ในการเชื่อม 75-100 แอมแปร์***

- กระแสตรงขั้วตรง DC.SP
- ทังสเตนเป็นแบบ Thoriated Tungsten
- ขนาดทังสเตน 1.6 มิลลิเมตร
- ***ระยะอาร์ค 0.5 -1.5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางทังสเตน***
- ลักษณะของปลายอิเล็คโทรด มีปลายแหลมมนเล็กน้อย โดยตัดออก $\frac{1}{64}$ นิ้ว

10. เทคนิคการเชื่อม

- ไม่มีการส่ายระหว่างเชื่อม
- การเชื่อมเป็นแบบลากตรง
- แนวเชื่อมแนวเดียว
- หัวเชื่อม 1 หัว
- มุมเอียงหัวเชื่อม 30 องศาจากแนวดิ่ง
- ระยะยื่นของทังสเตนเป็น 1.5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางทังสเตน
- ความยาวของปลายแหลมทังสเตนเป็น $2\frac{1}{2}$ เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางทังสเตน
- ***ความเร็วในการเชื่อม 150 - 180 วินาทีต่อเส้น (6 เมตร)***
- ขนาด nozzle 12.7 เซนติเมตร

โดยมีปัจจัย 3 ตัวที่นำมาทดลองซึ่งได้แก่

- กระแสที่ใช้เชื่อม (แอมแปร์)
- ระยะอาร์ค (มิลลิเมตร)
- ความเร็วในการเชื่อมนาทีต่อเส้น (6 เมตร)

ปัจจัยอื่นๆนอกจากนี้เป็นปัจจัยควบคุมที่คงที่

<u>ตารางที่ 4.14</u> แสดงการกำหนดระดับของปัจจัยในการทดลอง

ปัจจัย	Low(-)	Center(0)	High(+)
กระแสเชื่อม (แอมแปร์)	80	90	100
ระยะอาร์ค (มิลลิเมตร)	1	1.50	2.0
ความเร็วในการเชื่อม (วินาทีต่อ 6 เมตร)	150	160	170

ทำการทดลองจำนวน 2^3 factorial with center point (2 Replicate) โดยมี ตัวแปรตอบสนองคือ จำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทรอยเชื่อมทะลุ ได้การทดลองทั้งหมด 21 การทดลอง

ตารางที่ 4.15 แสดงตารางการเก็บข้อมูลของการทดลอง 2^3 factorial with center point 2 replicate

Std	Run	CenterPt	Blocks	Ampere	Time	Gap	Trial	Respond	Prop	Transform
1	1	1	1	80	150	1.00	200	9	0.045	0.219079
3	2	1	1	80	170	1.00	200	1	0.005	0.085255
13	3	1	1	80	150	2.00	200	20	0.100	0.325031
10	4	1	1	100	150	1.00	200	21	0.105	0.333165
17	5	0	1	90	160	1.50	200	14	0.070	0.271888
16	6	1	1	100	170	2.00	200	14	0.070	0.271888
9	7	1	1	80	150	1.00	200	10	0.050	0.230533
18	8	0	1	90	160	1.50	200	18	0.090	0.308212
7	9	1	1	80	170	2.00	200	12	0.060	0.251989
11	10	1	1	80	170	1.00	200	2	0.010	0.111196
14	11	1	1	100	170	2.00	200	29	0.145	0.393138
8	12	1	1	100	170	2.00	200	16	0.080	0.290554
5	13	1	1	80	150	2.00	200	18	0.090	0.308212
2	14	1	1	100	150	1.00	200	22	0.110	0.341135
4	15	1	1	100	170	1.00	200	12	0.060	0.251989
20	16	0	1	90	160	1.50	200	16	0.080	0.290554
15	17	1	1	80	170	2.00	200	11	0.055	0.241481
19	18	0	1	90	160	1.50	200	18	0.090	0.308212
21	19	0	1	90	160	1.50	200	17	0.085	0.299497
12	20	1	1	100	170	1.00	200	15	0.075	0.281359
6	21	1	1	100	150	2.00	200	30	0.150	0.400120

จากนั้นนำค่า Proportion ที่ได้ไปทำการ Transform ด้วยวิธี Freeman & Turkey Transformation
(Arcsine Transform) เมื่อได้ค่าจากการทดลองตามลำดับที่ได้ออกแบบไว้แล้ว จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์พบว่า

4.3.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Estimated Effects and Coefficients for Respond (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant	15.250	0.3400	44.85	0.000	
Ampere	9.250	4.625	0.3400	13.60	*0.000*
Time	-9.250	-4.625	0.3400	-13.60	*0.000*
Gap	7.000	3.500	0.3400	10.29	*0.000*
Ampere*Time	-2.000	-1.000	0.3400	-2.94	*0.012*
Ampere*Gap	-2.250	-1.125	0.3400	-3.31	*0.006*
Time*Gap	-1.750	-0.875	0.3400	-2.57	*0.024*
Ampere*Time*Gap	-1.500	-0.750	0.3400	-2.21	*0.048*
Ct Pt		1.350	0.6969	1.94	0.077

S = 1.36015   R-Sq = 87.70%   R-Sq(adj) = 86.17%

Analysis of Variance for Respond (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	880.500	880.500	293.500	158.65	0.000
2-Way Interactions	3	48.500	48.500	16.167	8.74	0.002
3-Way Interactions	1	9.000	9.000	9.000	4.86	0.048
Curvature	1	6.943	6.943	6.943	3.75	0.077
Residual Error	12	22.200	22.200	1.850		
Pure Error	12	22.200	22.200	1.850		
Total	20	967.143				

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

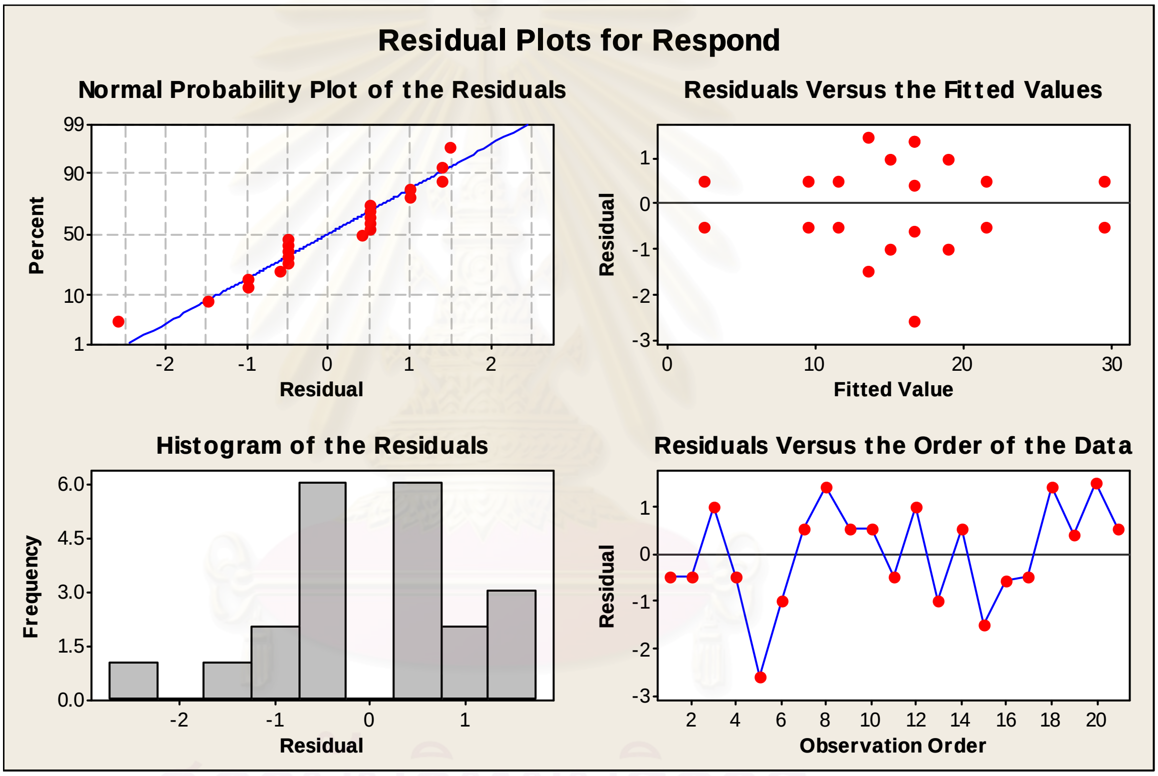
Unusual Observations for Respond

Obs	StdOrder	Respond	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
5	17	14.0000	16.6000	0.6083	-2.6000	-2.14R

Estimated Coefficients for Respond using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	1770.90

Ampere	-12.8000
Time	-15.2300
Gap	-2503.62
Ampere*Time	0.110000
Ampere*Gap	19.1250
Time*Gap	19.8250
Ampere*Time*Gap	-0.150000
Ct Pt	1.35000

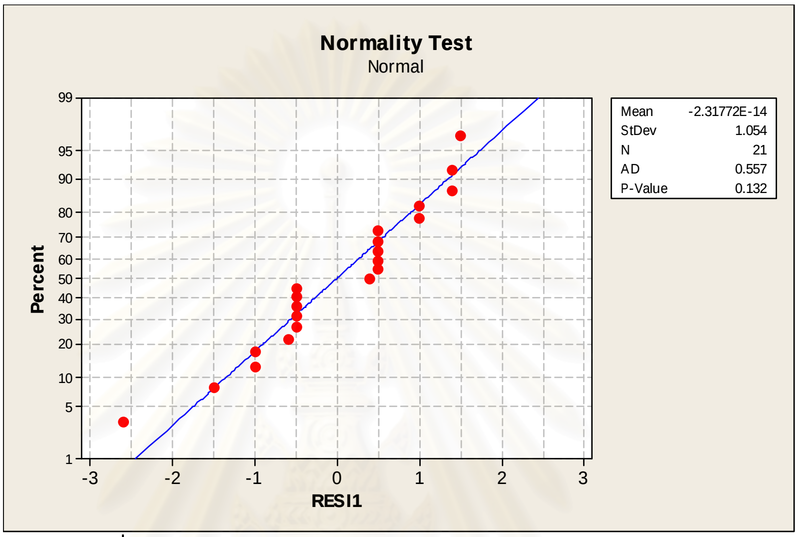


รูปที่ 4.10 แสดงผลจากการวิเคราะห์การทดลอง

สรุปผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

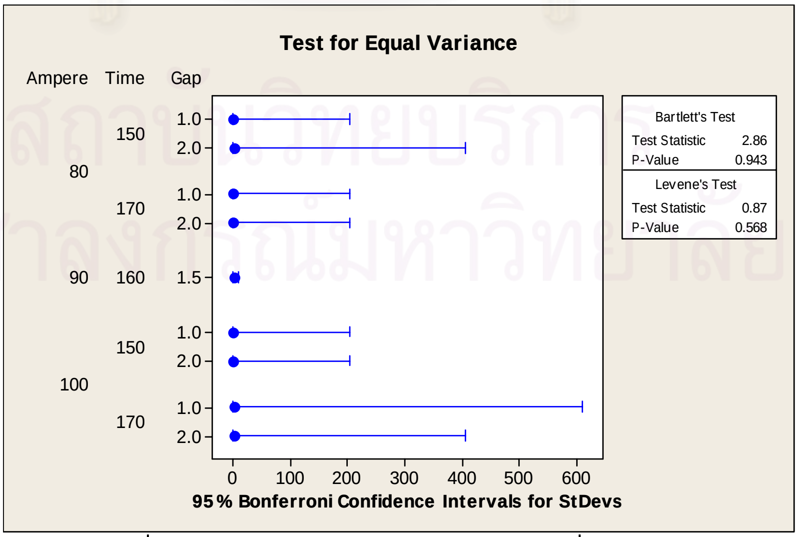
- จากค่า R^2 พบว่าความผันแปรของข้อมูล 100 หน่วยสามารถอธิบายได้ว่ามาจากปัจจัย 87.70 หน่วย ส่วนที่เหลืออีก 12.30 หน่วยไม่สามารถอธิบายได้ว่ามากจากสาเหตุใด ซึ่งถือว่าการออกแบบการทดลองเหมาะสมแล้ว (มากกว่า 80%)
- จากค่า R^2 (adj) พบว่ามีค่าเท่ากับ 86.17 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่า R^2 แสดงว่าจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการทดลองเพียงพอต่อการวิเคราะห์

- ค่า P-Value ของทั้ง Main Effect และ 2-Way Interaction Effect และ 3-Way Interaction Effect มีค่าน้อยกว่า 0.05 ซึ่งแสดงว่า ทั้งหมดมีผลต่อรอยเชื่อมทะลุอย่างมีนัยสำคัญ ไม่สามารถตัดทิ้งได้ ต้องพิจารณาทั้ง 3 ปัจจัยพร้อมกัน
- จากการตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูลพบว่า P-Value เท่ากับ 0.132 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่า ข้อมูลมีความเป็นปกติ



รูปที่ 4.11 แสดงผลการวิเคราะห์ความเป็นปกติของข้อมูล

- จากการตรวจสอบความสุ่มของข้อมูลพบว่าข้อมูลมีความสุ่มอย่างสมบูรณ์
- จากการตรวจสอบค่าความแปรปรวนของข้อมูลพบว่ามีค่า P-Value เท่ากับ 0.943 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าความแปรปรวนมีค่าคงที่

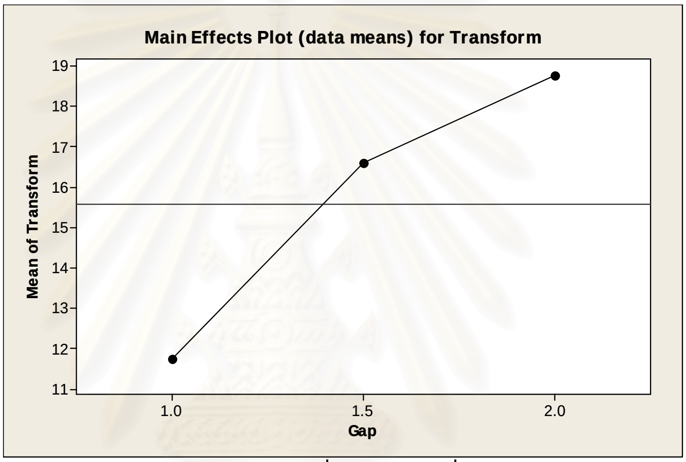


รูปที่ 4.12 แสดงผลการวิเคราะห์ความคงที่ของปัจจัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

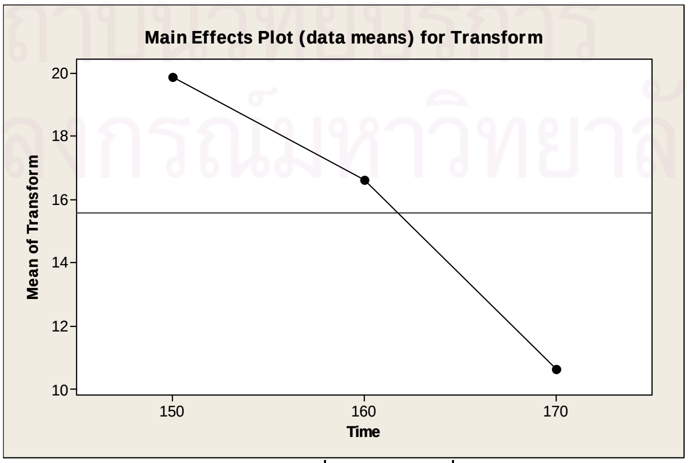
- ค่า P-Value ของ Curvature มีค่าเท่ากับ 0.077 ซึ่งถือว่ามากกว่า 0.05 แสดงว่า Curvature ไม่มีผล สรุปได้ว่า สมการเป็นระนาบตรงที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
- สมการของการทดลองคือ

  Respond = 1770.90 – 12.80(Ampere) – 15.23(Time) – 2503.62(Gap) + 0.11(Ampere*Time) + 19.125(Ampere*Gap) + 19.825(Time*Gap) - 0.15(Ampere*Time*Gap)
- ผลของปัจจัยหลัก ปัจจัยระยะอาร์ค พบว่าเมื่อระยะอาร์คเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์บกพร่องเพิ่มมากขึ้นด้วย



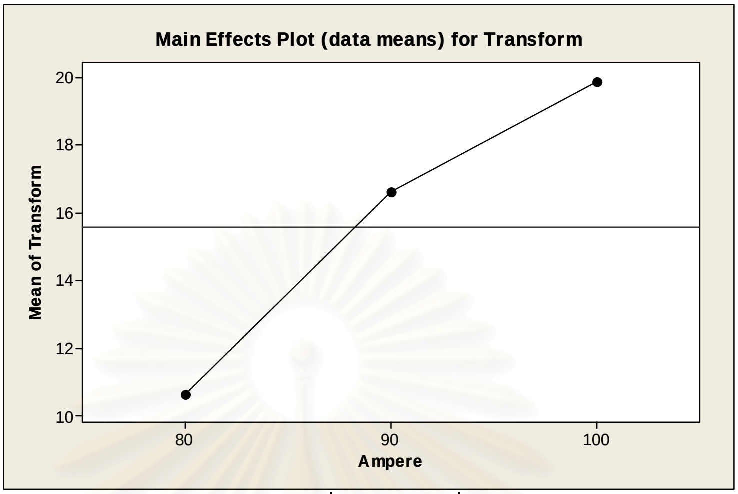
รูปที่ 4.13 แสดงผลของปัจจัยระยะอาร์คที่ใช้ในการเชื่อมต่อสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่อง

- ผลของปัจจัยหลัก ปัจจัยระยะเวลาในการเชื่อม พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเชื่อมเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์บกพร่องเพิ่มมากขึ้นด้วย



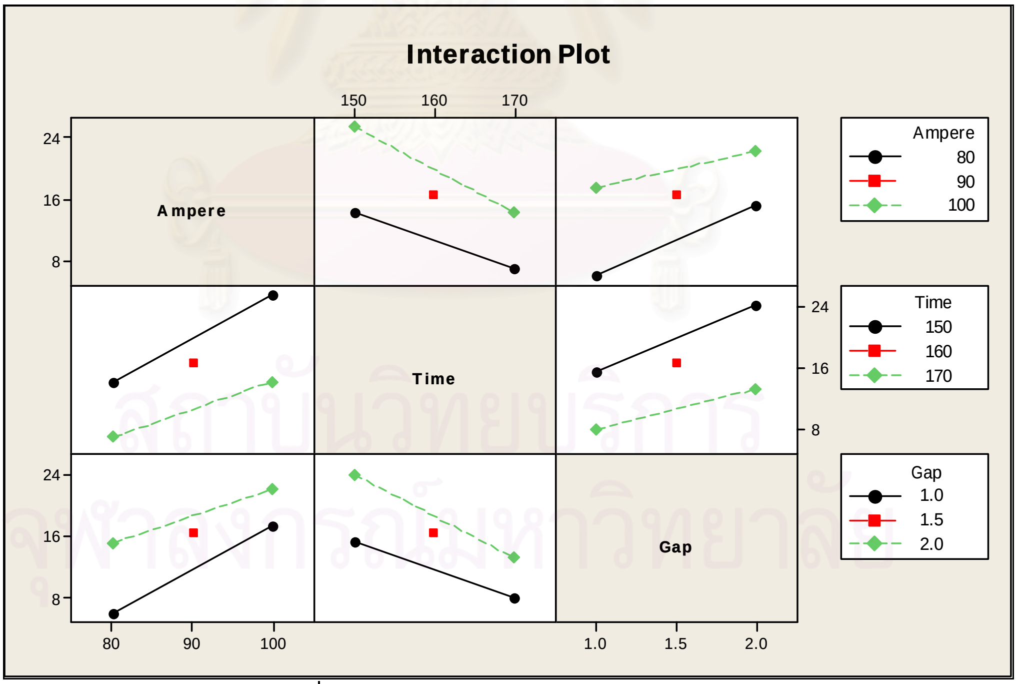
รูปที่ 4.14 แสดงผลของปัจจัยระยะเวลาที่ใช้ในการเชื่อมต่อสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่อง

- ผลของปัจจัยหลัก ปัจจัยกระแสที่ใช้ในการเชื่อม พบว่าเมื่อกระแสที่ใช้ในการเชื่อมเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์บกพร่องเพิ่มมากขึ้นด้วย



รูปที่ 4.15 แสดงผลของปัจจัยกระแสที่ใช้ในการเชื่อมต่อสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่อง

- ผลของอันตรกิริยาร่วมของปัจจัยทั้ง 3 ตัวส่งผลแก่กันทำให้ต้องพิจารณาทั้ง 3 ปัจจัยพร้อมกันไม่สามารถตัดปัจจัยใดออกได้



รูปที่ 4.16 แสดงอันตรกิริยาร่วมของปัจจัย

จากผลการวิเคราะห์พบว่าระดับของปัจจัยที่ทำให้เกิดสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องน้อยที่สุด คือ

- กระแสที่ใช้ในการเชื่อม คือ 80 แอมแปร์

- ระยะเวลาที่ใช้ในการเชื่อม คือ 170 วินาที/เส้น(6เมตร)
- ระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับทังสเตน คือ 1 มิลลิเมตร

4.3.2 การตรวจสอบเพื่อยืนยันผลการวิเคราะห์ปัจจัย

ทดลองผลิตจริงที่ปัจจัยต่างๆดังนี้

- กระแสที่ใช้ในการเชื่อม คือ 80 แอมแปร์
- ระยะเวลาที่ใช้ในการเชื่อม คือ 170 วินาที/6เมตร
- ระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับทังสเตน คือ 1 มิลลิเมตร

สมมติฐาน

H_0 : สัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องจากสมการ = สัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องจากการผลิตจริง

H_1 : สัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องจากสมการ $\neq$ สัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องจากการผลิตจริง

ตารางที่ 4.16 แสดงผลิตภัณฑ์บกพร่องจากการผลิตจริงที่ปัจจัยที่กำหนดเทียบกับจากการทดลอง

	ผลิต	บกพร่อง
จากสมการ	200	2
จากการผลิตจริง	200	3

Sample	X	N	Sample p
1	2	500	0.004000
2	3	500	0.006000

Difference = p (1) - p (2)

Estimate for difference: -0.002

95% CI for difference: (-0.0107424, 0.00674241)

Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = -0.45 P-Value = 0.654

จากค่า P-Value พบว่า มากกว่า 0.05 จึงยอมรับ H_0 (สัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องจากสมการกับสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องจากการผลิตจริงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ)

หลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์ปัญหาของการเชื่อมไปแล้วนั้น จะได้ทำการวิเคราะห์ปัญหาของรอยเชื่อมนูนและท่อไม่กลมต่อ โดยจากแผนภาพก้างปลาข้างต้นและการระดมสมองพบว่าเป็นปัญหาด้านเทคนิคในการปรับตั้งลูกรีด โดยการปรับตั้งระยะห่างของลูกรีดจะส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความกลมของท่อ โดยแบ่งเป็น 2 ประเด็นดังนี้

1. การปรับตั้งระยะลูกรีดห่างเกินไป จะส่งผลให้

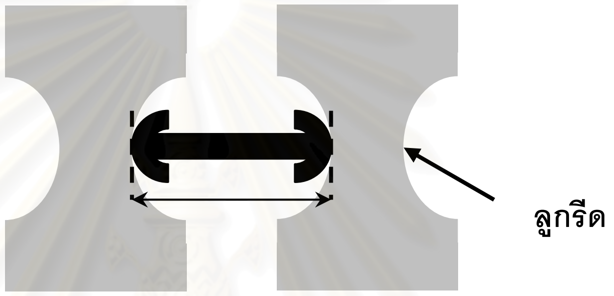
- รอยต่อชนแนวเชื่อมไม่สนิทกันอาจส่งผลให้รอยเชื่อมไม่สวยสมบูรณ์แบบ

- ท่อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่ามาตรฐาน
- ท่อมีลักษณะไม่กลมเป็นวงกลม (ท่อเป็นวงรี)

2. การปรับตั้งระยะห่างลูกรีดใกล้เกินไป จะส่งผลให้

- รอยต่อชนแนวเชื่อมชนกันทำให้รอยเชื่อมนูนขึ้นมา
- ท่อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่ามาตรฐาน
- ท่อมีลักษณะไม่กลมเป็นวงกลม (ท่อเป็นวงรี)

สรุปว่าการปรับตั้งจะต้องมีระยะห่างที่แน่นอน โดยต้องมีระยะห่างอยู่ที่ เส้นผ่านศูนย์กลางที่ต้องการ ± 0.1 มิลลิเมตร โดยจะต้องอาศัยเครื่องมือช่วยในการปรับตั้งระยะ เช่นเกจ และสังเกตด้วยสายตาที่รอยเชื่อมต่อชนต้องชนกันสนิทพอดี ไม่เกยกันจนนูน หรือห่างกันเกิดช่องว่าง



<u>รูปที่ 4.17</u> แสดงตัวอย่างเกจที่ใช้ในการปรับตั้งระยะลูกรีด

4.4 Improve Phase

4.4.1 การหาเงื่อนไขการปรับตั้งในการเชื่อมนอกช่วงที่ทำการทดลอง

ทำการทดลองปรับตั้งค่าของปัจจัยนอกช่วงที่ทฤษฎีระบุเพื่อทดสอบว่าเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องเป็นเท่าใด เพื่อเป็นการยืนยันว่าค่าของปัจจัยที่ได้จากการทดลอง และเป็นการหาค่าที่เหมาะสมในกรณีที่อยู่นอกช่วงที่ทำการทดลองข้างต้น โดยปรับตั้งปัจจัยดังนี้

- กระแสที่ใช้ในการเชื่อม คือ 70,60 แอมแปร์
- ระยะเวลาที่ใช้ในการเชื่อม คือ 175,180 วินาที/6เมตร
- ระยะอาร์ค คือ 1 มิลลิเมตร (จากการทดลองที่ระยะอาร์ค ต่ำกว่า 1 มิลลิเมตร พบว่าไม่สามารถเชื่อมได้จึงตัดปัจจัยนี้ออกไปโดยกำหนดให้เป็น 1 มิลลิเมตรคงที่)

<u>ตารางที่ 4.17</u> แสดงเปอร์เซ็นต์ของชิ้นงานเชื่อมที่เกิดข้อบกพร่องที่เงื่อนไขต่างๆ

	ระยะเวลาในการเชื่อม(วินาที)	
	175	180
	ระยะห่างระหว่างทังสเตนถึงชิ้นงาน(มิลลิเมตร)	ระยะห่างระหว่างทังสเตนถึงชิ้นงาน(มิลลิเมตร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

		1		1	
กระแสไฟเชื่อม (แอมแปร์)	70	>10%	ไม่สามารถเชื่อมได้	ไม่สามารถเชื่อมได้	ไม่สามารถเชื่อมได้
	60	ไม่สามารถเชื่อมได้	ไม่สามารถเชื่อมได้	ไม่สามารถเชื่อมได้	ไม่สามารถเชื่อมได้

จากตารางแสดงให้เห็นว่าสัดส่วนของเสียสูงขึ้นเมื่อเทียบกับการปรับตั้งค่าของปัจจัยที่ได้จากการออกแบบการทดลอง จึงเลือกใช้ค่าในการเชื่อมดังที่หาได้จากการทดลอง

- ***กระแสที่ใช้ในการเชื่อม คือ 80 แอมแปร์***
- ***ระยะเวลาที่ใช้ในการเชื่อม คือ 170 วินาที/6เมตร***
- ***ระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับทังสเตน คือ 1 มิลลิเมตร***

4.4.2 การกำหนดมาตรการแก้ไข

- กำหนดให้พนักงานต้องทำการปรับตั้งกระแสที่ใช้ในการเชื่อมสำหรับ การผลิตท่อสเตนเลสกลมทุกๆเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร ไปที่ 80 แอมแปร์คงที่สำหรับการผลิตท่อขนาดดังกล่าวเท่านั้น ซึ่งที่เครื่องเชื่อมมีความสามารถในการปรับตั้งที่ค่าดังกล่าวได้
- กำหนดให้พนักงานต้องทำการปรับตั้งระยะเวลาที่ใช้ในการเชื่อมสำหรับ การผลิตท่อสเตนเลสกลมทุกๆเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร ไปที่ 170 วินาทีต่อ 6 เมตร คือ เมตรละ 28 วินาทีคงที่สำหรับการผลิตท่อขนาดดังกล่าวเท่านั้น ซึ่งเครื่องควบคุมความเร็วสามารถปรับตั้งได้
- กำหนดให้พนักงานต้องทำการปรับตั้งระยะอาร์คที่ใช้ในการเชื่อมสำหรับ การผลิตท่อสเตนเลสกลมทุกๆเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร ไปที่ 1 มิลลิเมตรคงที่สำหรับการผลิตท่อขนาดดังกล่าวเท่านั้น โดยจะมีแผ่นเหล็กที่มีความหนา 1 มิลลิเมตรเป็นเกจช่วยในการปรับตั้ง ซึ่งที่เครื่องเชื่อมมีความสามารถในการปรับตั้งที่ค่าดังกล่าวได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.3 ทำการผลิตจริง เป็นการติดตามการแก้ปัญหาของปัจจัย

ทำการผลิตด้วยปัจจัยที่กำหนดโดยแบ่งการเก็บข้อมูลออกเป็น 10 ครั้ง โดยเก็บข้อมูลครั้งละ 200 ชิ้น พบว่า

ตารางที่ 4.18 ตารางแสดงปริมาณการผลิตและสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่อง

ครั้งที่	ผลิตภัณฑ์บกพร่อง
1	2
2	3
3	2
4	3
5	2
6	3
7	2
8	2
9	2
10	2

จากตารางข้างต้นทำการทดสอบว่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องแต่ละครั้งไม่แตกต่างกัน

Test and CI for One Proportion: C1

Test of p = 0.5 vs p not = 0.5

Variable	X	N	Sample p	95% CI	P-Value
C1	2	10	0.200000	(0.025211, 0.556095)	0.109

พบว่าค่า P-Value = 0.109 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าไม่แตกต่างกัน

สรุปว่าสามารถผลิตได้จริงโดยเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องในระดับที่ต้องการและสามารถควบคุมได้ให้คงที่ ดังที่ได้จากการออกแบบการทดลอง และจะพบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นนั้นจากการผลิต 200 ชิ้นพบ 2 ชิ้น เนื่องจากเป็นรอยต่อระหว่างม้วนวัตถุดิบแต่ละล๊อต ซึ่งไม่สามารถแก้ไขได้แต่จะพบว่าไม่เกิดปัญหารอยเชื่อมทะลุขึ้นอีก

4.4.4 การปรับปรุงในกระบวนการ

นั้นจึงได้ทำการลงไปปรับปรุงกระบวนการ โดยเริ่มจากการอบรมพนักงานหัวหน้างาน (Foreman) จำนวน 2 คน และพนักงานหน้างาน (Operator) จำนวน 25 คน ร่วมกับวิศวกรควบคุมกระบวนการ (Process Engineer) โดยเน้นไปที่การปรับพารามิเตอร์ในกระบวนการ 3 ปัจจัย ให้คงที่ทั้ง 3 ปัจจัยในการเชื่อมท่อกลม ในทุกๆเส้นผ่านศูนย์กลาง โดยท่อมีความหนา 1 มิลลิเมตร ซึ่งหัวข้อของการฝึกอบรมแบ่งเป็นช่วงต่างๆดังตาราง

ตารางที่ 4.19 ตารางระดับปัจจัยที่ใช้ในการเชื่อม

ปัจจัย	ระดับปัจจัยก่อนปรับปรุง	ระดับปัจจัยหลังปรับปรุง
กระแสที่ใช้เชื่อม	90 แอมแปร์	80 แอมแปร์
ระยะเวลาในการเชื่อม/เส้น (6 เมตร)	150 วินาที	170 วินาที
ระยะอาร์ค	2 มิลลิเมตร	1 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.20 ตารางการปรับปรุง

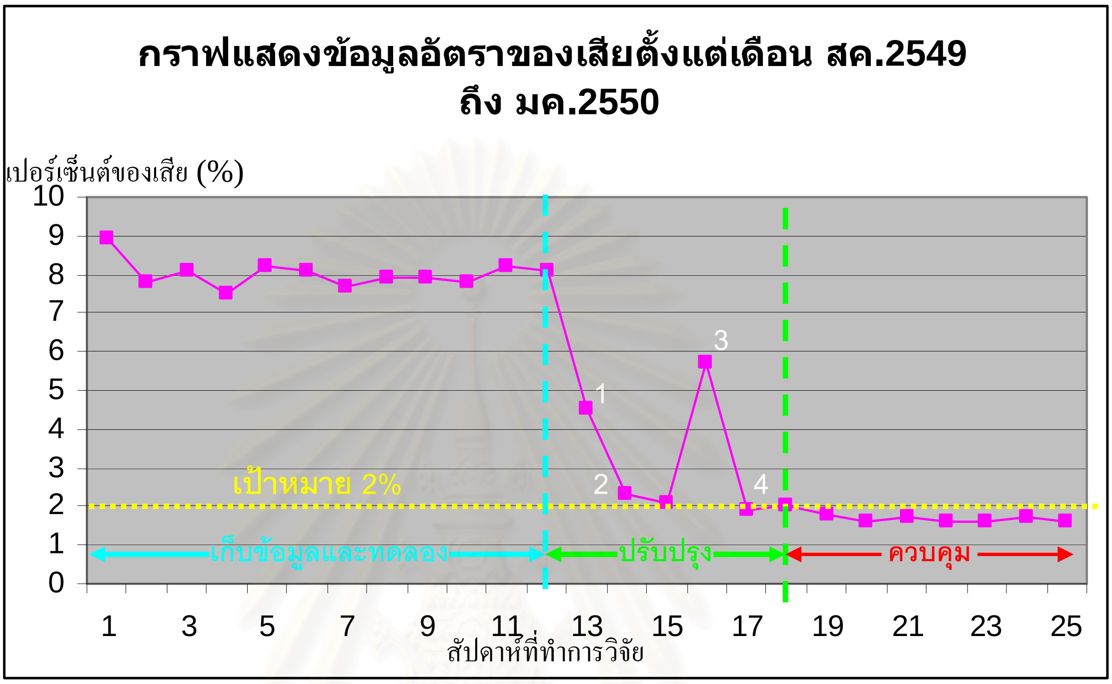
ก่อนปรับปรุง	ระหว่างปรับปรุง	หลังปรับปรุง
• ทำการเก็บข้อมูลของเสียที่เกิดจากกระบวนการ ซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากปัญหารอยเชื่อม พบว่าเกิดของเสียประมาณ 8.2%	ในช่วงของปรับปรุงนั้นอัตราของเสียยังไม่คงที่และยังไม่อยู่ในระดับที่ต้องการ เนื่องจากประสบปัญหาหลายประการดังนี้ • ในช่วงสัปดาห์แรกของการปรับปรุงนั้น อัตราของเสียยังอยู่ที่ 4.5% อยู่ พบว่าพนักงานหน้างานส่วนหนึ่งที่เข้าฝึกอบรมยังไม่ให้ความร่วมมือและไม่สนในในเรื่องที่ให้การอบรม อีกทั้งยังต่อต้านการเปลี่ยนแปลง โดยพบว่าข้อมูลที่กรอกลงไปใน Check List นั้นไม่เป็นความจริง ซึ่งพนักงานไม่ได้ทำการตรวจสอบพารามิเตอร์ที่ใช้จริง ซึ่งในเรื่องของปัญหาดังกล่าวนั้น ทาง วิศวกรควบคุมกระบวนการและ Foreman ได้ทำการแก้ไขโดยให้ทาง Foreman เป็นผู้ทำการกรอก Check List เอง และทำความเข้าใจกับพนักงานถึงข้อดีในการปฏิบัติตามคำแนะนำเพื่อแก้ปัญหาของเสีย ทำให้ในสัปดาห์ต่อมานั้นมีอัตราของเสียลดลงเกือบต่ำกว่า 2% • สัปดาห์ที่ 4 นั้นพบว่าอัตราของเสียเพิ่มขึ้นมาเป็น 4.5% เนื่องจากปัญหาของการขาดการควบคุมที่ต่อเนื่อง โดย Foreman นั้นไปให้ความสนใจในเรื่องของยอดการผลิตปลายเดือนที่กำลังจะตกเป้า ทำให้ไม่มีการเก็บข้อมูล Check List ที่ถูกต้องแต่ใช้การกรอกรายงาน	หลังการปรับปรุงเริ่มตั้งแต่สัปดาห์ที่ 18 เป็นต้นไป ซึ่งพบว่าของเสียที่เกิดสามารถควบคุมได้ให้อยู่ในสัดส่วนไม่เกิน 2% ดังนั้นการแก้ปัจจัยที่ใช้ในการเชื่อมสามารถแก้ปัญหารอยเชื่อมทะลุได้ โดยการควบคุมนั้นมีเอกสารต่างๆดังนี้ • คู่มือการปฏิบัติงานสำหรับการปรับตั้งเครื่องเชื่อม (Work Instruction) ใช้เพื่อฝึกอบรมพนักงานหน้างานและหัวหน้างานทุกคนและเมื่อรับพนักงานใหม่เข้ามาปฏิบัติงาน2. Process Control Checklist for Welding Process ให้พนักงานหน้างานทุกคนเป็นคนกรอกข้อมูลก่อนเริ่มงานทุกๆกะ โดยเมื่อพบว่าไม่ตรงตามที่กำหนดใน Control Plan ให้แจ้งหัวหน้างานทราบเพื่อรายงานวิศวกรและหาทางแก้ไข(Action Plan)ต่อไป • Process Control Checklist for Rolling

	ครั้งเดียวปลายสัปดาห์เลย โดยไม่มีข้อมูลจริง ● ในสัปดาห์ที่ 5 จึงต้องทำการควบคุมให้เข้มงวดเหมือนดังเดิม และออกบทลงโทษที่ชัดเจนด้วยการออกใบเตือนเมื่อพบว่าพนักงานไม่กรอกข้อมูลด้วยความเป็นจริง โดยวิศวกรผู้ควบคุมกระบวนการจะเป็นผู้ลงไปสุ่มตรวจด้วยตัวเอง ทำให้อัตราของเสียนั้นลงมาอยู่ที่ 2% ตามเป้าหมาย ● หลังจากที่ทุกฝ่ายเอาจริงเอาจังกับการแก้ปัญหาของเสียแล้วนั้นพบว่าสัปดาห์ที่ 6 ในช่วงของการปรับปรุงนั้นอัตราของเสียอยู่ต่ำกว่า 2% จึงเข้าสู่ช่วงของการควบคุมโดยต้องควบคุมให้คงที่ต่ำกว่า 2% โดยมีการ Audit โดยวิศวกรฝ่ายผลิต (PD) แผนกอื่นๆ และ QA และวิศวกรควบคุมกระบวนการแผนกอื่นๆ (PE) ทุกๆ สัปดาห์ในเดือนแรก โดยมีหัวข้อในการ Audit ตาม Check List และ Work Instruction ว่าพนักงานเข้าใจและปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัดหรือไม่อย่างไร เมื่อพบปัญหาจะต้องแจ้งให้ผู้รับผิดชอบแก้ไขปรับปรุงและจะกำหนดการ Re Audit อีกครั้ง ในสัปดาห์นั้นเพื่อดูว่ามีมาตรการแก้ไขอย่างไรและได้ผลอย่างไร ● จากการ Audit และเฝ้าติดตามของวิศวกรผู้ควบคุมกระบวนการนั้นพบว่าในช่วงของการเฝ้าติดตามในช่วงแรกนั้นไม่พบปัญหาในการ	Process ให้พนักงานหน้างานทุกคนเป็นคนกรอกข้อมูลก่อนเริ่มงานทุกๆกะ โดยเมื่อพบว่าไม่ตรงตามที่กำหนดใน Control Plan ให้แจ้งหัวหน้างานทราบเพื่อรายงานวิศวกรและหาทางแก้ไข(Action Plan)ต่อไป ● Defect Inspection Log Book ให้พนักงานหน้างานทำหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพ เมื่อเกิดของเสียขึ้นโดยให้ระบุลงในเอกสารว่าอาการของเสียที่พบคืออะไร ในทุกๆกะงาน ● Output Monthly Report ให้เก็บข้อมูลทุกๆวัน โดยระบุว่าผลิตจำนวนเท่าไรต่อวัน และของเสียที่พบเป็นจำนวนเท่าไรต่อกะ และเมื่อพบของเสียให้ระบุอาการลงใน Defect Inspection Log Book ด้วย ● Log Book การเปลี่ยน Tungsten ในทุกๆครั้งที่มีการเปลี่ยนทังสเตนจะต้องมีการระบุรายละเอียด และเหตุผล อีกทั้งต้องปรับตั้งระยะอาร์คให้ถูกต้องตาม Check List ด้วย

	ปฏิบัติงานแต่อย่างใด จึงเปลี่ยนระยะเวลามาเป็นทำการ Audit ทุกๆ เดือน โดยมีทีมงาน Cross Function Team ประกอบไปด้วย PD, QA, PE, MTN เป็นผู้ทำหน้าในการ Audit ● ในส่วนของการควบคุมนั้นเริ่มตั้งแต่สัปดาห์ที่ 18 เป็นต้นไป พบว่าอัตราของเสียอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าเป้าหมายคืออยู่ที่ 1.6% - 1.7% ดังนั้นการแก้ปัญหาด้วยการปรับตั้งปัจจัยที่ใช้ในการเชื่อมให้เหมาะสมนั้นสามารถทำได้จริงและสามารถควบคุมให้อัตราของเสียคงที่ได้ตามเป้าหมาย ซึ่งสามารถนำเอาไปเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาของเสียกับท่อแบนและท่อที่มีลวดลายต่อไปได้ในอนาคต ในกรณีเกิดปัญหาที่กระบวนการเชื่อมเช่นเดียวกัน ซึ่งสิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือความหนาของท่อที่เชื่อม ถ้ามีความหนาเดียวกันสามารถทดลองใช้ระดับปัจจัยที่ทดลองได้เหมือนกัน ● ช่วงการดำเนินงานและปัญหาต่างๆรวมทั้งเปอร์เซ็นต์ของเสียแสดงดังรูปที่ 4.20 ที่แนบมาด้วย	● โดยให้หัวหน้างาน (Foreman) เป็นผู้เก็บรวบรวมเอกสารมาให้วิศวกรควบคุมกระบวนการ (Process Engineer) เป็นผู้วิเคราะห์ โดยจะพิจารณาถึง อัตราส่วนของเสีย โดยมีเป้าหมายอยู่ที่ต่ำกว่า 2% และเมื่อเกิดปัญหาต้องมีการจัดทำ Action Plan เพื่อแก้ไขและป้องกันการเกิดปัญหาซ้ำขึ้นอีกในอนาคต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลย้อนหลัง การทำการทดลอง การนำลงไปใช้งานจริง และการควบคุมกระบวนการให้คงที่ ระยะเวลารวมของการวิจัยอยู่ที่ 6 เดือน ซึ่งอัตราของเสียของกระบวนการที่ช่วงระยะเวลาต่างๆเป็นดังกราฟ



รูปที่ 4.20 แสดงอัตราของเสียในช่วงทำการวิจัย

4.5 Control Phase

กำหนดให้เป็นมาตรการควบคุม ซึ่งปัจจัยดังกล่าวประกอบไปด้วย

- แผนควบคุมกระแสที่ใช้ในการเชื่อม
- แผนควบคุมระยะอาร์คที่ใช้ในการเชื่อม
- แผนควบคุมระยะเวลาที่ใช้ในการเชื่อม
- แผนการควบคุมระยะการปรับตั้งลูกรีด

1. ใช้ WPS และจัดทำ Work Instruction ขึ้นมาใช้อบรมพนักงานในการปรับพารามิเตอร์ต่างๆ (ภาคผนวก ข)

2. จัดทำ Log Book ของเสียและประเภทเพื่อจัดทำ Control Chart (ของเสีย ไม่เกิน 1.1%) ในทุกๆกะ (ภาคผนวก ข)

3. กำหนดให้พนักงานกรอกข้อมูลลงใน Checklist และให้ทำการตรวจสอบทุกวัน (ภาคผนวก ข)

4. จัดทำ Log Book การเปลี่ยน Tungsten ในการเชื่อม และตรวจสอบทุกกะ

4.6 สรุปผลการดำเนินงานเบื้องต้น

จากผลการดำเนินงานพบว่าสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. ปัญหารอยเชื่อมทะลุ
2. ปัญหาท่อไม่กลมและรอยเชื่อมนูน และเส้นผ่านศูนย์กลางไม่ได้ขนาด

ซึ่งจากการแก้ปัญหาพบว่า

4.6.1 การแก้ปัญหารอยเชื่อมทะลุ พบว่าสามารถแก้ปัญหารอยเชื่อมทะลุได้โดยสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องลงลงตามเป้าหมายที่กำหนด

4.6.2 การแก้ปัญหารอยเชื่อมนูนและท่อไม่กลม พบว่าสามารถแก้ปัญหาได้โดยสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องลงลงตามเป้าหมายที่กำหนด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.21 มาตรการการควบคุมประเภทของเสียรอยเชื่อมทะลุ

หัวข้อการตรวจสอบ	ปัจจัยที่ตรวจสอบ	ผลต่อคุณภาพ	มาตรฐานที่กำหนด	วิธีการตรวจสอบ	กลุ่ม	กำหนดการตรวจสอบ	ผู้รับผิดชอบ	การลงบันทึก	มาตรการการแก้ไข
การควบคุมระดับของเสีย	ระดับของเสีย	B	สัดส่วนของเสียต้องอยู่ใน Limit	Control Chart	ข้อมูล 1 กะงาน	วันละ 2 ครั้ง	Engineer	ใบบันทึกการผลิต	หากจำนวนของเสียเกินขีดจำกัดให้รายงานเพื่อทำการหาสาเหตุและลงบันทึกเป็นกรณีพิเศษ
การควบคุมกระแสเชื่อม	กระแสเชื่อม	A	กระแสเชื่อมต้องอยู่ที่ค่า 80 แอมแปร์	ตรวจสอบด้วยตาที่เกจวัด	กะงาน	ทุกๆครั้งที่มีการเปลี่ยนกะ	พนักงานหน้างาน	WPS และ Check List	หากพบว่าไม่ตรงตามที่กำหนดให้รายงานและปรับตั้งให้ตรงตามกำหนด
การควบคุมระยะอาร์ค	ระยะอาร์ค	A	ระยะอาร์คต้องอยู่ที่ 1 มิลลิเมตร	ตรวจสอบด้วยตาที่เกจวัด	กะงาน	ทุกๆครั้งที่มีการเปลี่ยนทังสเตน	พนักงานหน้างาน	WPS และ Check List	หากพบว่าไม่ตรงตามที่กำหนดให้รายงานและปรับตั้งให้ตรงตามกำหนด
การควบคุมระยะเวลาการเชื่อม	ระยะเวลาเชื่อม	A	ระยะเวลาในการเชื่อมต้องอยู่ที่ 170 วินาที	ตรวจสอบด้วยตาที่เกจวัด	กะงาน	ทุกๆครั้งที่มีการเปลี่ยนกะ	พนักงานหน้างาน	WPS และ Check List	หากพบว่าไม่ตรงตามที่กำหนดให้รายงานและปรับตั้งให้ตรงตามกำหนด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.22 มาตรการการควบคุมประเภทของเสียท่อไม่กลมและรอยเชื่อมนูน

หัวข้อการตรวจสอบ	ปัจจัยที่ตรวจสอบ	ผลต่อคุณภาพ	มาตรฐานที่กำหนด	วิธีการตรวจสอบ	กลุ่ม	กำหนดการตรวจสอบ	ผู้รับผิดชอบ	การลงบันทึก	มาตรการการแก้ไข
การควบคุมระดับของเสีย	ระดับของเสีย	B	สัดส่วนของเสียต้องอยู่ใน Limit	Control Chart	ข้อมูล 1 กะงาน	วันละ 2 ครั้ง	Engineer	ใบบันทึกการผลิต	หากจำนวนของเสียเกินขีดจำกัดให้รายงานเพื่อทำการหาสาเหตุและลงบันทึกเป็นกรณีพิเศษ
การควบคุมรอยต่อในการเชื่อม	รอยต่อชน	A	รอยต่อชนต้องต่อชนพอดีไม่เกิดรอยห่างหรือเบียดกัน	ตรวจสอบด้วยตาและใช้เกจวัดระยะห่างรอยต่อ	กะงาน	ทุกๆครั้งที่มีการเปลี่ยนกะหรือเปลี่ยน ขนาดท่อที่ผลิต	พนักงานหน้างาน	Check List	หากพบว่าไม่ตรงตามที่กำหนดให้รายงานและปรับตั้งให้ตรงตามกำหนด

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

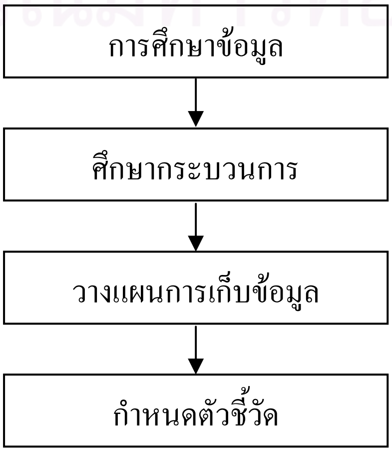
การวิจัยในครั้งนี้จะมุ่งเน้นไปที่การแก้ปัญหาของเสียที่เกิดจากการผลิตท่อสเตนเลส เกรด 304 เป็นท่อสเตนเลสแบบกลม เนื่องจากเป็นท่อกลมเป็นท่อที่ทางโรงงานผลิตมากที่สุด และเกิดของเสียมากที่สุดด้วยเช่นกัน โดยสภาพปัจจุบันทางโรงงานได้มีการกำหนดการตั้งราคาขายคร่าวๆไว้ที่บวกอีก 10% จากต้นทุน ดังนั้นในขณะที่ทางโรงงานผลิตของเสียออกมาในสัดส่วนประมาณ 8% ดังนั้นจึงทำให้ทางโรงงานเหลือกำไรเพียง 2% ซึ่งทางโรงงานต้องการจะลดของเสียลงให้ได้มากที่สุด โดยเบื้องต้นของการเข้ามาทำวิจัยทางโรงงานตั้งเป้าไว้ที่ต่ำกว่า 2% ด้วยเหตุผลที่ว่าราคาขายของท่อส่วนใหญ่อยู่ที่ต้นทุนของวัตถุดิบเป็นหลัก เกือบ 70-80% อีกทั้งราคาขายของวัตถุดิบในตลาดโลกยังมีความผันผวนอยู่พอสมควร การผลิตของเสียบวกกับราคาวัตถุดิบที่ผันผวนอาจส่งผลให้บางช่วงเวลาทาง โรงงานไม่ได้กำไรหรือบางครั้งถึงขั้นขาดทุนเลยทีเดียว แต่ทางโรงงานก็ยังต้องรักษาลูกค้าเอาไว้ไม่สามารถขึ้นราคาได้เฉียบพลัน

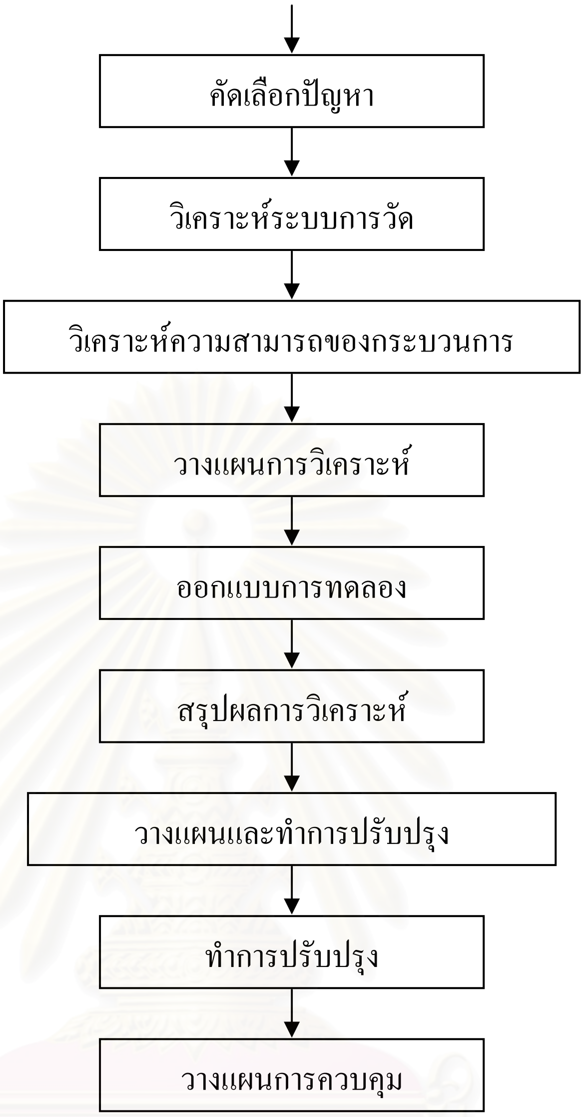
ทางผู้วิจัยได้อาศัยแนวทางของซิกซ์ซิกม่าทั้ง 5 เฟสการดำเนินงานเข้ามาช่วยบวกกับการออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมทำให้เกิดการเชื่อมแล้วชิ้นงานเรียบร้อยสมบูรณ์ไม่เกิดปัญหารอยเชื่อมทะลุ ในส่วนของปัญหารองลงมาคือเรื่องของการปรับระยะลูกรีดที่ไม่ได้ระยะส่งผลให้เกิดท่อไม่กลมและไม่ได้ขนาด จึงได้อาศัยเทคนิคในการปรับตั้งโดยมี เกจวัดความพอดีของรอยต่อชนประกอบกับการสังเกตด้วยสายตาเข้ามาช่วย ทำให้แก้ปัญหานี้ได้ สุดท้ายทางผู้วิจัยได้จัดทำแผนควบคุมเพื่อป้องกันการเกิดปัญหาดังกล่าวขึ้นอีกในอนาคต เป็นการป้องกันและเฝ้าระวังโดยมีแผนที่ชัดเจนและมีผู้รับผิดที่ชัดเจน

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

พบว่าการดำเนินงานเป็นไปตามแนวทางของซิกซ์ซิกม่าดังที่วางไว้เบื้องต้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





5.1.1 ผลจากการดำเนินงานวิเคราะห์และแก้ไขปัญหารอยเชื่อมทะลุพบว่า

1. ปัจจัยหลักคือ กระแสไฟฟ้า (Ampere) มีผลต่อรอยเชื่อมทะลุ
2. ปัจจัยหลักคือ ระยะเวลาในการเชื่อม (Time) มีผลต่อรอยเชื่อมทะลุ
3. ปัจจัยหลักคือ ระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็คโทรด (Gap) มีผลต่อรอยเชื่อมทะลุ
4. อิทธิพลของปัจจัยร่วม ระหว่าง กระแสไฟฟ้า (Ampere) กับ ระยะเวลาในการเชื่อม (Time) มีผลต่อรอยเชื่อมทะลุ
5. อิทธิพลของปัจจัยร่วม ระหว่าง กระแสไฟฟ้า (Ampere) กับ ระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็คโทรด (Gap) มีผลต่อรอยเชื่อมทะลุ
6. อิทธิพลของปัจจัยร่วม ระหว่าง ระยะเวลาในการเชื่อม (Time) กับ ระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็คโทรด (Gap) มีผลต่อรอยเชื่อมทะลุ

7. อิทธิพลของปัจจัยร่วม 3 ปัจจัย ระหว่าง กระแสไฟฟ้า (Ampere) กับ ระยะเวลาในการเชื่อม (Time) และ ระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็คโทรด (Gap) มีผลต่อรอยเชื่อมทะลุ
8. จากผลการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่า การแก้ปัญหารอยเชื่อมทะลุจำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัยทั้งสามปัจจัย โดยไม่สามารถตัดปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งทิ้งได้
9. จากกราฟอิทธิพลหลักพบว่า ถ้ากระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดชิ้นงานทะลุมากขึ้น
10. จากกราฟอิทธิพลหลักพบว่า ถ้าระยะเวลาในการเชื่อมเพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดชิ้นงานทะลุลดลง
11. จากกราฟอิทธิพลหลักพบว่า ถ้าระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็คโทรดเพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดชิ้นงานทะลุมากขึ้น
12. จากกราฟอิทธิพลของปัจจัยร่วม ระหว่าง กระแสไฟฟ้า (Ampere) กับ ระยะเวลาในการเชื่อม (Time) และ ระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็คโทรด (Gap) พบว่า รอยเชื่อมจะทะลุมากขึ้นเมื่อ เพิ่มกระแสไฟฟ้า และ ลดระยะเวลาในการเชื่อม และ เพิ่มระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็คโทรด
13. จากกราฟอิทธิพลร่วมสามปัจจัยพบว่าถ้าต้องการให้รอยเชื่อมทะลุลดลงต้องปรับตั้งปัจจัยทั้งสามตัวไว้ที่ กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม 80 แอมแปร์ และ ระยะเวลาในการเชื่อม 170 วินาที และ ระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็คโทรดเท่ากับ 1 มิลลิเมตร จะทำให้เกิดรอยเชื่อมทะลุน้อยที่สุดคือเชื่อม 200 ชิ้น พบปัญหารอยเชื่อมทะลุไม่เกิน 3 ชิ้น

ตารางที่ 5.1 แสดงปัจจัยและระดับที่เหมาะสมในการเชื่อม

ปัจจัย	ค่าที่กำหนด
กระแสที่ใช้ในการเชื่อม	80 แอมป์แปร์
ระยะเวลาที่ใช้ในการเชื่อม	170 วินาที ต่อ 6 เมตร
ระยะอาร์ค	1 มิลลิเมตร

5.1.2 ผลการดำเนินงานวิเคราะห์และแก้ไขปัญหารอยเชื่อมนูนและท่อไม่กลม เส้นผ่านศูนย์กลางไม่ได้ขนาด

1. เกิดจากรอยเชื่อมต่อชนที่ไม่ถูกต้อง คือเกิดระยะห่างไม่ต่อชนสนิทพอดี ส่งผลให้เกิดท่อไม่กลม
2. เกิดจากรอยเชื่อมต่อชนที่ไม่ถูกต้อง คือเกิดการเกยกันของรอยต่อชนไม่ต่อชนสนิทพอดี ส่งผลให้เกิดรอยนูนบริเวณรอยเชื่อมต่อชน

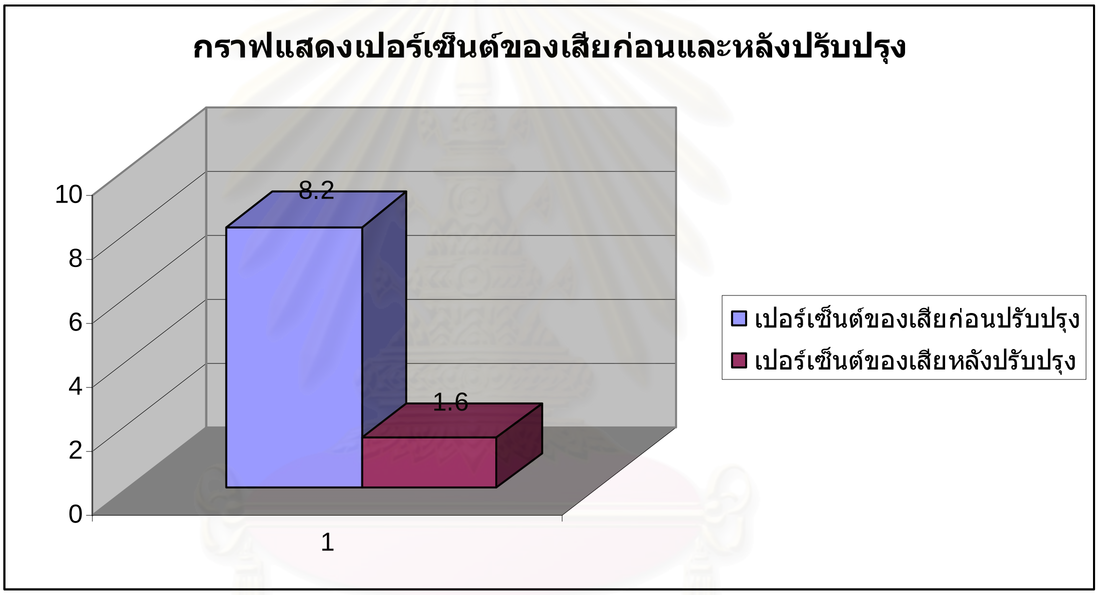
3. แก้ปัญหาโดยทำการปรับตั้งระยะห่างของลูกรีดให้พบดี โดยมีเกจเป็นตัววัดและใช้สายตาในการตรวจสอบประกอบด้วย

5.1.3 ผลที่ได้จากการแก้ปัญหา

ผลิตภัณฑ์บกพร่องจากกระบวนการลดลงเหลือ 1.6 เปอร์เซ็นต์ ลดลงต่ำกว่าเป้าหมายคือ 2 เปอร์เซ็นต์ โดยแบ่งเป็นการลด

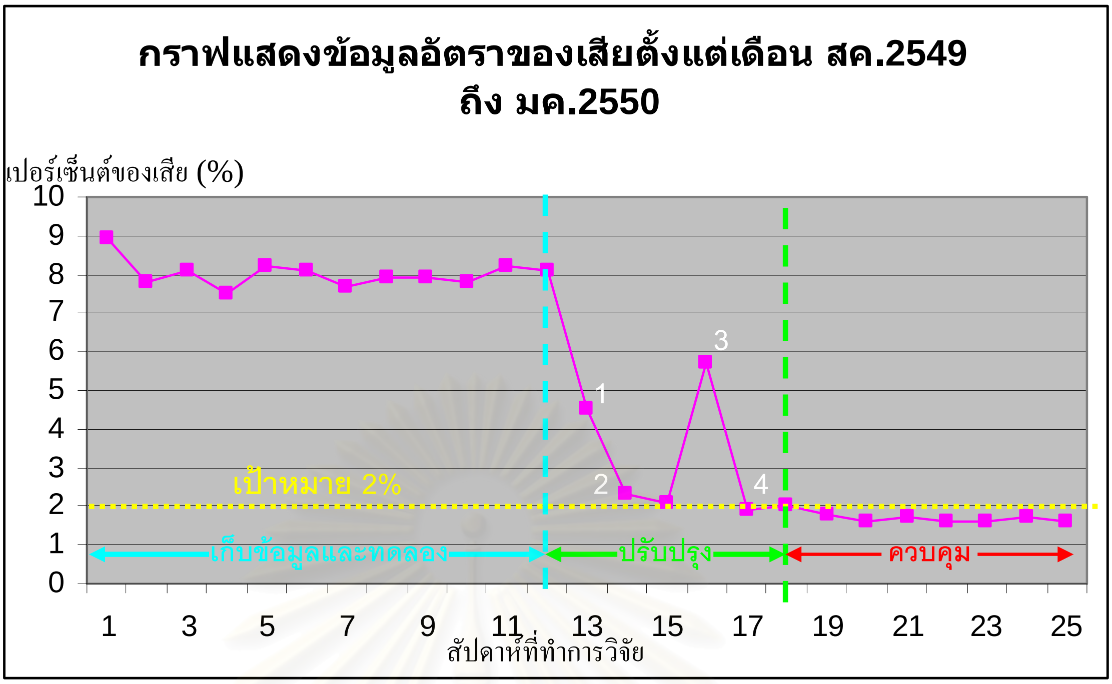
- ของเสียจากการเชื่อมทะลุ
- ของเสียจากรอยเชื่อมนูน
- ของเสียจากท่อไม่กลม
- ของเสียจากเส้นผ่านศูนย์กลางไม่ได้ขนาด

รวม 6.6% จากเดิม 8.2%



รูปที่ 5.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์บกพร่องก่อนและหลังการปรับปรุง

จากการสรุปผลพบว่าสามารถเพิ่มรายได้จากการลดของเสียลงได้ 6.6% คิดเป็นรายได้ที่เพิ่มขึ้น 62.64 ล้านบาท



<u>รูปที่ 5.2</u> แสดงอัตราของเสียในช่วงทำการวิจัย

สรุปว่า การลดของเสียจากกระบวนการรีดขึ้นรูปท่อสเตนเลสกลมจากเดิม 8.2% เหลืออยู่ที่ 1.6% ซึ่งคิดเป็นค่าใช้จ่ายที่สามารถลดลงได้ 62.64 ล้านบาท

5.2 ปัญหาอุปสรรค ข้อเสนอแนะ และข้อจำกัดในการทำวิจัย

5.2.1 ปัญหาอุปสรรค

(1) เนื่องจากในการทดลองนั้นวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองเป็นวัตถุดิบที่มีราคาพอสมควร ดังนั้นในการทดลองจึงต้องมีการออกแบบที่เหมาะสม ซึ่งทางโรงงานอาจไม่เข้าใจถึงวัตถุประสงค์ในการทดลอง ก่อนปรับปรุง ,สียวัตถุดิบไป หลังปรับปรุง งต้องทำการอธิบายและทำความเข้าใจรวมถึงขอความร่วมมือในการทดลอง

(2) พนักงานที่ทำงานมีการเข้าออกบ่อยครั้ง จึงมีปัญหาทางด้านการฝึกอบรม และอาจขาดความชำนาญในการปฏิบัติงาน

(3) เนื่องจากในประเทศไทยยังไม่ค่อยมีโรงงานที่ผลิตเช่นเดียวกันนี้มากนัก อีกทั้งเครื่องมือเครื่องจักรและกระบวนการผลิตเป็นความรู้ที่ไม่ยินยอมให้นำออกมาถ่ายทอดมากนัก เนื่องจากทางโรงงานยังเป็นบริษัทจำกัด ทางเจ้าของโรงงานจึงไม่อนุญาตให้นำเอกสารต่างๆที่โรงงานใช้ออกนอกโรงงาน เว้นแต่ได้รับอนุญาตเป็นกรณีไป อีกทั้งการถ่ายภาพประกอบการวิจัยก็อนุญาตอยู่ในวงที่จำกัดพอสมควร

5.2.2 ข้อเสนอแนะ

(1) สามารถนำแนวทางการกปัญหาดังกล่าวไปใช้กับท่อสเตนเลสขนาดต่างๆได้ โดยปัญหาด้านการปรับตั้งระดับของปัจจัยในการเชื่อมที่ไม่เหมาะสม โดยอาจเหลือปัจจัยที่พิจารณานำมาทำการทดลองเพียง กระแสที่ใช้ในการเชื่อม และ ระยะเวลาที่ใช้ในการเชื่อมเท่านั้น เนื่องจากระยะอาร์ค ที่ต่ำกว่า 1 มิลลิเมตรไม่สามารถเชื่อมได้ อีกทั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทังสเตนยังเท่ากันเสมอ

(2) สามารถนำแนวทางการกปัญหาดังกล่าวไปใช้กับท่อสเตนเลสขนาดต่างๆได้ โดยปัญหาท่อไม่กลม และรอยเชื่อมนูนสามารถแก้ปัญหาได้ด้วยแนวทางเดียวกัน

(3) จัดซื้อเครื่องลับปลายทังสเตนอิเล็คโทรด หรืออาจจัดทำ JIG ในการลัดปลายขึ้นเอง เพื่อให้ปลายทังสเตนเท่ากันเป็นมาตรฐานเพื่อการอาร์คที่สมบูรณ์

(4) ทางโรงงานสามารถนำแนวทางการแก้ปัญหาดังกล่าวไปใช้เป็นตัวอย่างในการแก้ปัญหาอื่นๆในโรงงานได้

5.2.3 ข้อจำกัดในการทำวิจัย

(1) ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาข้อมูลของเสียที่เป็นจำนวนนับแล้วนำมาทำการทดลอง โดยการทดลองจะต้องแปลงข้อมูลเพื่อให้มีการกระจายตัวแบบปกติเสียก่อน ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยส่วนใหญ่ที่ใช้การทดลองเก็บข้อมูลที่เป็นจำนวนวัด ซึ่งไม่ต้องทำการแปลงข้อมูล โดยในการผลิตจริงนั้นงานเชื่อมค่อนข้างมีความยุ่งยากในการวัด อาจต้องมีเครื่องมือเข้ามาช่วยส่งผลต่ออัตราการผลิต อีกทั้งชิ้นงานจะเน้นไปที่ความสวยงาม ไม่ได้เน้นไปที่คุณสมบัติเชิงกลต่างๆของท่อ เพราะเอาไปใช้ในงานประดับตกแต่งทั่วไป จึงใช้การตรวจสอบด้วยสายตามาใช้ในการจำแนกของดีและของเสีย ซึ่งพนักงานจำเป็นต้องผ่านการฝึกอบรมเพื่อให้สามารถจำแนกได้ถูกต้อง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

หนังสือภาษาไทย

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ FMEA. ส. เอเชียเพรส, 2547.

กิติศักดิ์ พลอยพาณิชเจริญ, ระบบการควบคุมคุณภาพที่หน้างาน คิวซีเซอร์เคิล. บริษัท เทคนิคอล แอพโพรช เคาน์เซลลิ่งแอนด์ เทรนนิ่ง จำกัด, 2543.

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, สถิติสำหรับงานวิศวกรรมเล่ม 1 และ 2, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2542.

ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย. การควบคุมคุณภาพ สำหรับนักบริหารและกรณีศึกษา. QC for Executive And cases study. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ เอ็ม แอนด์ อี, 2540.

ประนิธิ กาวารี, การศึกษากระบวนการถ่ายแบบกรณีหลายผลตอบสนอง, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2545.

ปารเมศ ชุติมา, การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2545.

พรชัย เทพพันธุ์กุลงาม, โลหะวิทยาแนวเชื่อมจากกระบวนการเชื่อม TIG ของเหล็กกล้าไร้สนิม 304, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมการเชื่อม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2547.

นิพนธ์ ชวนะปราณี, การประยุกต์ใช้เทคนิค FMEA และ FTA ในงานการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์สายไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัญฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

มนัสวี ตันเจริญ, การเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องเนื่องจากการคายประจุของไฟฟ้าสถิตในกระบวนการผลิตหัวอ่านฮาร์ดดิสก์รุ่นซีไดรฟ์, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

วันชัย ริจิรวนิช. การเพิ่มผลผลิตในอุตสาหกรรม เทคนิคและกรณีศึกษา. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

วัสพล นันทประยูร, การศึกษาการควบคุมตัวแปรสำคัญในการเชื่อม TIG ของเหล็กกล้าไร้สนิม 304, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

สิทธิศักดิ์ พฤกษ์ปิติกุล, การพัฒนาคุณภาพแบบก้าวกระโดดด้วยวิธี Six Sigma, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, 2546.

เสรี ยูนิพันธ์, จรูญ มหิทธาฟองกุล และดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย. เทคนิคการควบคุมคุณภาพ. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528.

หนังสือภาษาอังกฤษ

Daimler Chrysler Corporation, Ford Motor Company,General Motors Corporation. Potential Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Reference Manual.Third Edition, July, 2001.

Len Griffing, Welding handbook section 4, metals and their weldability, American Welding Society(AWS), Miami, c1972.

Ostwald, Phillip F and Jairo Munoz, Manufacturing processes and systems, John Wiley, NY.,1997.

Russell, R.S. and Taylor, B.W. III. , Operation Management. 4 th ed., Upper Saddle River, Pretice Hall, NJ. , 2003.

Website

www.custom.go.th (กรมศุลกากรแห่งประเทศไทย)

www.isit.or.th (สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย)

www.tssda.com (สมาคมพัฒนาสเตนเลสไทย)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

(คู่มือประกอบการทำ F.M.E.A.)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลกระทบ	เกณฑ์: ความรุนแรงของผลกระทบ การจัดระดับนี้จะใช้เมื่อแนวโน้มความล้มเหลวที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องต่อลูกค้าหรือในการผลิต/ประกอบของลูกค้า กรณีที่เกิดเหตุการณ์ได้ทั้ง2ลักษณะ ให้เลือกใช้ค่าความรุนแรงที่มากกว่า (ผลกระทบต่อลูกค้า)	เกณฑ์: ความรุนแรงของผลกระทบ การจัดระดับนี้จะใช้เมื่อแนวโน้มความล้มเหลวที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องต่อลูกค้าหรือในการผลิต/ประกอบของลูกค้า กรณีที่เกิดเหตุการณ์ได้ทั้ง2ลักษณะ ให้เลือกใช้ค่าความรุนแรงที่มากกว่า (ผลกระทบต่อการผลิต/ประกอบ)	ระดับคะแนน
อันตรายร้ายแรงโดยไม่มีการเตือนล่วงหน้า	อันดับความรุนแรงสูงมาก เมื่อแนวโน้มความล้มเหลวส่งผลกระทบต่อความปลอดภัย การทำงานของยานยนต์ และ/หรือไม่สอดคล้องกับกฎระเบียบของรัฐโดยไม่มีการเตือน	หรืออาจส่งผลอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน (เครื่องจักร, การประกอบ) โดยไม่มีการเตือน	10
อันตรายร้ายแรงแต่มีการเตือนล่วงหน้า	อันดับความรุนแรงสูงมาก เมื่อแนวโน้มความล้มเหลวส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยในการทำงานของยานยนต์ และ/ หรือไม่สอดคล้องกับกฎระเบียบของรัฐโดยมีการเตือน	หรืออาจส่งผลอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน (เครื่องจักร, การประกอบ) โดยมีการเตือน	9
สูงมาก	ความบกพร่องซึ่งทำให้ยานยนต์/ส่วนประกอบไม่สามารถใช้งานได้ (สูญเสียความสามารถในการทำงานตามจุดประสงค์พื้นฐาน)	หรือ ผลิตภัณฑ์ต้องถูกกำจัดทิ้ง (100%) หรือยานยนต์/ส่วนประกอบต้องถูกซ่อมในหน่วยงาน ซ่อมด้วยระยะเวลาเกิน 1 ชั่วโมง	8
สูง	ความบกพร่องซึ่งทำให้ยานยนต์/ส่วนประกอบสมรรถนะการทำงานที่ลดลง แต่ยังใช้งานได้ ทำให้ลูกค้าไม่พอใจอย่างมาก	หรือ อาจต้องมีการคัดแยกผลิตภัณฑ์ และ บางส่วนต้องถูกกำจัดทิ้ง (น้อยกว่า 100%) หรือยานยนต์/ส่วนประกอบต้องถูกซ่อมในหน่วยงานซ่อม	7
ปานกลาง	ความบกพร่องซึ่งยานยนต์/ส่วนประกอบทำงานได้ แต่ส่วนประกอบที่เกี่ยวกับความสะดวกสบายไม่สามารถใช้งานได้ ทำให้ลูกค้าไม่พอใจ	หรือ ส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์ (น้อยกว่า100%) อาจต้องถูกกำจัดทิ้ง โดยไม่ต้องคัดแยก หรือยานยนต์/ส่วนประกอบ ต้องถูกซ่อมในหน่วยงานซ่อมด้วยระยะเวลาไม่เกินครึ่งชั่วโมง	6
ต่ำ	ความบกพร่องซึ่งยานยนต์/ส่วนประกอบทำงานได้ แต่ส่วนประกอบที่เกี่ยวกับความสะดวกสบายมีสมรรถนะการทำงานที่ลดลง แต่ใช้งานได้	หรือ ผลิตภัณฑ์ (100%) อาจถูกแก้ไข, หรือยานยนต์/ส่วนประกอบถูกซ่อมนอกสายการผลิต โดยไม่ต้องส่งไปยังหน่วยงานซ่อม	5
ต่ำมาก	ส่วนประกอบมีความไม่สอดคล้องในด้านความพอดี, การตกแต่ง, เสียงสั่นดัง ลูกค้าส่วนใหญ่ (มากกว่า 75%) สังเกตได้	หรือ ผลิตภัณฑ์อาจถูกคัดแยก และบางส่วน (น้อยกว่า100%) ถูกแก้ไขได้โดยไม่ต้องกำจัดทิ้ง	4
เล็กน้อย	ส่วนประกอบมีความไม่สอดคล้องในด้านความพอดี, การตกแต่ง, เสียงสั่นดัง ลูกค้าส่วนหนึ่ง (มากกว่า 50%) สังเกตได้	หรือผลิตภัณฑ์บางส่วน (น้อยกว่า 100%) ถูกแก้ไขโดยไม่มีการกำจัดทิ้ง, โดยการแก้ไขกระทำในสายการผลิตแต่นอกหน่วยผลิต	3
เล็กน้อยมาก	ส่วนประกอบมีความไม่สอดคล้องในด้านความพอดี, การตกแต่ง, เสียงสั่นดัง ลูกค้าส่วนน้อย (น้อยกว่า 25%) สังเกตได้	หรือ ผลิตภัณฑ์บางส่วน (น้อยกว่า 100%) ถูกแก้ไขโดยไม่มีการกำจัดทิ้ง, โดยการแก้ไขกระทำในสายการผลิตและในหน่วยผลิต	2
ไม่มีเลย	ไม่มีผลใดๆ	หรือ เกิดความไม่สะดวกต่อกระบวนการ, ผู้ปฏิบัติงาน หรือไม่มีผลกระทบ	1

รูปที่ ก.1 แสดงเกณฑ์การประเมินความรุนแรง (S)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความน่าจะเป็นของการเกิดความล้มเหลว	โอกาสการเกิด	ระดับ
สูงมาก: เกิดความล้มเหลวบ่อยมาก	> 100 ครั้ง ต่อ1,000 ชิ้น	10
	50 ครั้ง ต่อ1,000 ชิ้น	9
สูง: เกิดความล้มเหลวถี่	20 ครั้ง ต่อ 1,000 ชิ้น	8
	10 ครั้ง ต่อ 1,000 ชิ้น	7
ปานกลาง: เกิดความล้มเหลวเป็นครั้งคราว	5 ครั้ง ต่อ 1,000 ชิ้น	6
	2 ครั้ง ต่อ 1,000 ชิ้น	5
	1 ครั้ง ต่อ 1,000 ชิ้น	4
ต่ำ: เกิดความล้มเหลวน้อยครั้ง	0.5ครั้ง ต่อ 1,000 ชิ้น	3
	0.1 ครั้ง ต่อ 1,000 ชิ้น	2
แทบไม่เกิด: ความล้มเหลวไม่น่าจะเกิดขึ้นเลย	< 0.01 ครั้ง ต่อ 1,000 ชิ้น	1

รูปที่ ก.2 แสดงเกณฑ์การประเมินความถี่ในการเกิด (O)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การตรวจพบ	เกณฑ์	ประเภทของการตรวจสอบ			การควบคุมที่ใช้เพื่อให้ตรวจพบ	ระดับ
		A	B	C		
แทบเป็นไปไม่ได้	ไม่สามารถตรวจพบได้			X	ไม่สามารถตรวจพบหรือไม่มีการตรวจ	10
เป็นไปได้ยากมาก	เป็นไปได้ยากมากที่การควบคุมจะตรวจพบ			X	การควบคุมมีเพียงการตรวจสอบทางอ้อม หรือการสุ่มตรวจสอบเท่านั้น	9
เป็นไปได้ยาก	เป็นไปได้ยากที่การควบคุมจะตรวจพบ			X	การควบคุมมีเพียงการตรวจสอบด้วยสายตาเท่านั้น	8
ต่ำมาก	เป็นไปได้ยากที่การควบคุมจะตรวจพบ			X	การควบคุมมีเพียงการตรวจสอบด้วยสายตา 2 ครั้งเท่านั้น	7
ต่ำ	การควบคุมอาจตรวจพบได้		X	X	การควบคุมมีการใช้ผังควบคุม เช่น SPC (การควบคุมกระบวนการด้วยกลวิธีทางสถิติ)	6
ปานกลาง	การควบคุมอาจตรวจพบได้		X		มีการใช้เกจต่างๆ ตรวจสอบหลังจากชิ้นงานออกจากหน่วยผลิต หรือมีการใช้ Go/No Go เกจตรวจสอบ 100%สำหรับชิ้นงานที่ออกจากหน่วยผลิต	5
ปานกลางถึงค่อนข้างสูง	การควบคุมมีโอกาสสูงที่จะตรวจพบ	X	X		ตรวจสอบข้อบกพร่องในกระบวนการย่อยต่างๆ ได้ หรือใช้เกจตรวจสอบการตั้งเครื่องและชิ้นงานแรก (สำหรับการตั้งเครื่องเท่านั้น)	4
สูง	การควบคุมมีโอกาสสูงที่จะตรวจพบ	X	X		ตรวจสอบข้อบกพร่องในจุดปฏิบัติงานหรือตรวจพบในกระบวนการย่อยต่างๆ ได้ โดยมีการกรองเพื่อยอมรับในหลายระดับ: การจัดหา, คัดเลือก, ติดตั้ง, ทวนสอบ โดยไม่มีการยอมรับชิ้นงานบกพร่อง	3
สูงมาก	การควบคุมมีโอกาสค่อนข้างแน่นอนที่จะตรวจพบ	X	X		ตรวจพบข้อบกพร่องในจุดปฏิบัติงาน (มีการใช้เกจอัตโนมัติร่วมกับการหยุดอัตโนมัติ) ไม่สามารถที่จะส่งต่อชิ้นงานเสียได้	2
สูงมาก	การควบคุมแน่นอนที่จะตรวจพบ	X			ไม่สามารถเกิดชิ้นงานที่บกพร่องได้ เนื่องจากมีการป้องกันความผิดพลาดโดยกระบวนการและการออกแบบผลิตภัณฑ์	1

<u>รูปที่ ก.3</u> แสดงเกณฑ์การประเมินความเป็นไปได้ในการตรวจพบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

มาตรฐานการทำงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Front Page

Welding Procedure Specification (WPS)

(AWS- D1.9, ASME Tube and Piping)

Company Name____________________ By____________________

Welding Procedure Specification No. __________ Date__________ Supporting PQR NO.__________

Revision No. __________ Date__________

Welding Process (es)____________________ Type ____________________

(Automatic, Manual, Machine or Semi-automatic)

JOINT — Details

Joint Design __________

Backing (Yes)__________ (No) __________

Backing Material (Type) __________

{ } Metal { } Nonfusing Metal

{ } Nonmetallic { } Other

Sketches, Production Drawings, Weld Symbols or Written Descriptions Should show the general arrangement of the parts to be welded. Where applicable, The root spacing and the detail of weld groove may be specified.

BASE METALS

P-No. ______ Group No. ______ to P-No.______ Group No. ______

OR

Specification Type and Grade __________

To Specification Type and Grade __________

OR

Chem. Analysis and Mech. Prop. __________

To Chem. Analysis and Mech. Prop. __________

Thickness Range:

Base Metal: Groove__________ Fillet __________

Other__________

FILLER METALS

Spec. No. (SFA) __________

AWS No. (Class) __________

F-No. __________

A-No. __________

Size of Filler Metals __________

Weld Metal

Thickness Range :

Groove __________

Fillet __________

Electrode-Flux (Class) __________

Flux Trade Name __________

Consumable Insert __________

Other __________

*Each base metal-filler metal combination should be recorded individually.

<u>รูปที่ ข.1</u> แสดงแบบฟอร์ม Welding Procedure Specification

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

WPS No. ____________ Rev. ____________

POSITION Position(s) of groove ____________ Welding Progression : Up ________ Down ________ Position(s) of Fillet ____________	**POSTWELD HEAT TREATMENT** Temperature Range ____________ Time Range ____________
PREHEAT Preheat Temp. Min. ____________ Interpass Temp. Max. ____________ Preheat Maintenance ____________ (Continuous or special heating, where applicable, should be record)	**GAS** Percent Composition Gas(es) (Mixture) Flow Rate Shielding ______ ______ ______ Trailing ______ ______ ______ Backing ______ ______ ______

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Current AC or DC ____________ Polarity ____________

Amp (Range) ____________ Volts (Range) ____________

(Amps and volts range should be recorded for each electrode size, Position, and thickness, etc. This information may be listed in a tabular form similar to that shown below.)

Tungsten Electrode Size and Type ____________

Mode of Metal Transfer for GMAW ____________

Electrode Wire feed speed range ____________

TECHNIQUE

String or Weave Bead ____________

Orifice or Gas Cup Size ____________

Initial and Interpass Cleaning (Brushing, Grinding, etc.) ____________

____

Method of Backing Gouging ____________

Oscillation ____________

Contact Tube to Work Distance ____________

Multiple or Single Pass (per side) ____________

Multiple or Single Electrodes ____________

Travel Speed (Range) ____________

Peening ____________

Other ____________

____

____

Weld Layer(s)	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Travel Speed Range	Other (e.g., Remarks, comments, Hot Wire Addition, Technique, Torch Angle, etc.)	
	Process	Class	Diameter	Type Polarity	Amp Range				

รูปที่ ข.1 แสดงแบบฟอร์ม Welding Procedure Specification (ต่อ)

	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Work Instruction)	**เอกสารเลขที่ WI-0001-02-07**
หัวข้อ การปรับตั้งเครื่องเชื่อม ท่อกลมทุกๆ ∅ ที่หนา 1 ม.ม.		**หน้า 1 จาก 1 Rev No. 01**

<u>เป้าหมาย</u>

เพื่อปรับตั้งพารามิเตอร์ในการเชื่อมได้ตรงตามมาตรฐานที่ทางโรงงานกำหนด โดยมีพารามิเตอร์ 3 ตัว ที่ต้องควบคุม ดังนี้ กระแส(แอมแปร์) ระยะอาร์ค(มิลลิเมตร) และ ระยะเวลาที่ใช้เชื่อม(วินาที/6เมตร)

<u>ตำแหน่งงานที่ทำ</u>

พนักงานคุมเครื่องเชื่อมท่อกลมทุกๆ ∅ ที่มีความหนาหนา 1 ม.ม.

<u>อุปกรณ์ที่ใช้</u>

1. แผ่นเหล็กหนา 1 มิลิเมตร
2. นาฬิกา

<u>ขั้นตอนการทำงาน</u>

1. การปรับตั้งกระแสที่ใช้ในการเชื่อม โดยดูจากหน้าปัดเครื่องเชื่อมให้เข็มของตัวปรับกระแสหมุนไปตรงกับเลข 80 แอมแปร์ พอดี
2. การปรับตั้งระยะเวลาที่ใช้ในการเชื่อม โดยดูจากหน้าปัดเครื่องควบคุมความเร็วในการเชื่อมให้เข็มหมุนไปตรงกับ 28 วินาที/เมตร (170 วินาที/6 เมตร)
3. การปรับตั้งระยะอาร์คระหว่างท่อสเตนเลสกับทังสเคนอิเล็คโทรด มีขั้นตอนดังนี้

ใช้แผ่นเหล็กที่มีความหนา 1 มิลิเมตร เป็นเกจในการปรับตั้ง

สอดแผ่นเหล็กเข้าไประหว่างท่อสเตนเลสกับแท่งทังสเตน

ปรับระยะแท่งทังสเตนลงจนกระทั่งแท่งทังสเตนชนแผ่นเหล็กที่ใช้เป็นเกจพอดี

ดึงแผ่นเหล็กออก จะได้ระยะห่างระหว่างแท่งทังสเตนกับท่อสเตนเลสเป็น 1 ม.ม.

4. ลงรายงานผลในใบรายงานผลการผลิต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แก้ไขครั้งที่ : 1	อนุมัติโดย :

ใบรายงานผลการผลิต

วันที่_______________________________ เก็บข้อมูลโดย________________

เวลา_______________________________ ตรวจโดย__________________

ขนาด ∅ ท่อ		ความหนาท่อ		เกรด	
กระแสเชื่อม		ระยะเวลาเชื่อม		ระยะอาร์ค	
ครั้งที่ 1		ผลิต		เสีย	
ครั้งที่ 2		ผลิต		เสีย	
ครั้งที่ 3		ผลิต		เสีย	
ครั้งที่ 4		ผลิต		เสีย	
ครั้งที่ 5		ผลิต		เสีย	
ครั้งที่ 6		ผลิต		เสีย	
ครั้งที่ 7		ผลิต		เสีย	
ครั้งที่ 8		ผลิต		เสีย	
ครั้งที่ 9		ผลิต		เสีย	
ครั้งที่ 10		ผลิต		เสีย	
ครั้งที่ 11		ผลิต		เสีย	
ครั้งที่ 12		ผลิต		เสีย	
ครั้งที่ 13		ผลิต		เสีย	
ครั้งที่ 14		ผลิต		เสีย	
ครั้งที่ 15		ผลิต		เสีย	
ครั้งที่ 16		ผลิต		เสีย	
ครั้งที่ 17		ผลิต		เสีย	
ครั้งที่ 18		ผลิต		เสีย	
ครั้งที่ 19		ผลิต		เสีย	
ครั้งที่ 20		ผลิต		เสีย	
ครั้งที่ 24		ผลิต		เสีย	
ครั้งที่ 22		ผลิต		เสีย	

หมายเหตุ :

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Process Control Checklist for Welding Process

	Process Control Checklist	Page 1 of 1 Rev : 01
Process : Tungsten Inert Gas Welding (TIG)	Date_____/_____/_____	Time ______________

Item No.	Description (Operation & Parameter)	M/C Tooling Test Equipment	Control Spec	Tolerance Spec.	Monitoring			Corrective Action	By
					Actual	Accept	Reject		
No.1	Ampere	Ampere Gauge	80 Ampere	± 2 Ampere					
No.2	Speed	Speed Gauge	29 m/min	± 1 m/min					
No.3	Gap (Tungsten to Pipe)	Gauge	1 mm.	± 0.1 mm.					

Check List - 01	Operator : ______________________	Foreman PD : ______________________	Engineer : ______________________

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Process Control Checklist for Rolling Process

		Process Control Checklist						Page 1 of 1 Rev : 01	
Process : Rolling Pipe					Date_____/_____/_____			Time ______________	
Item No.	Description (Operation & Parameter)	M/C Tooling Test Equipment	Control Spec	Tolerance Spec.	Monitoring			Corrective Action	By
					Actual	Accept	Reject		
No.1	Rolling Speed	Speed Gauge	29 m/min	± 1 m/min					
No.2	Distance Between Roller	Gauge	12.7 mm.	± 0.1 mm.					
		Gauge	15.9 mm.	± 0.1 mm					
		Gauge	19.0 mm.	± 0.1 mm					
		Gauge	22.2 mm.	± 0.1 mm					
		Gauge	25.4 mm.	± 0.1 mm					
		Gauge	31.8 mm.	± 0.1 mm					
		Gauge	38.1 mm.	± 0.1 mm					
		Gauge	51.8 mm.	± 0.1 mm					
Check List - 02		Operator : ______________________ Foreman PD : ______________________ Engineer : ______________________							

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Log Book การเปลี่ยน Tungsten

	Log Book การเปลี่ยน Tungsten				
Date	Lot.	Time	Operator	เหตุผลการเปลี่ยน	Remark
Log Book - 01	Foreman : ____________________			Engineer : ______________________	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Defect Inspection Log Book

	Defect Inspection Log Book												
Date	Shift	Qty.	Time	Operator	P/N	Lot.	Defect Type						Remark
							A	B	C	D	E	F	
Total													
Log Book - 02		Foreman : ________					Engineer : ________						

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอุรคินทร์ พลนิกร เกิดวันที่ 25 กรกฎาคม พ.ศ. 2523 จบการศึกษาในระดับปริญญาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ได้เข้ารับการศึกษาในระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปี พ.ศ. 2547

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย