# การเพิ่มประสิทธิภาพและการแก้ไขจุดบกพร่องในงานเชื่อม $Co_2$

โดย
นายนครินทร์ แสงทอง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ
มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2567
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

# การเพิ่มประสิทธิภาพและการแก้ไขจุดบกพร่องในงานเชื่อม $Co_2$

โดย
นายนครินทร์ แสงทอง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ
มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2567
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

# ENHANCING EFFICIENCY AND RECTIFYING WEAKNESSES IN $CO_2$ WELDING PROCESSES

By

MR. Nakkarin SAENGTHONG

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Engineering ENGINEERING MANAGEMENT

Department of INDUSTRIAL ENGINEERING AND MANAGEMENT

Academic Year 2024

Copyright of Silpakorn University

| | |
|---|---|
| หัวข้อ | การเพิ่มประสิทธิภาพและการแก้ไขจุดบกพร่องในงานเชื่อม $Co_2$ |
| โดย | นายนครินทร์ แสงทอง |
| สาขาวิชา | การจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต |
| อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก | รองศาสตราจารย์ ดร. ประจวบ กล่อมจิตร |

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์และ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรุณศรี ลีจีรจำเนียร) เทคโนโลยีอุตสาหกรรม

พิจารณาเห็นชอบโดย

.....ประธานกรรมการ
(ดร. สิทธิชัย แซ่เหล่ม)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประจวบ กล่อมจิตร)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(รองศาสตราจารย์ ดร. ระพี กาญจนะ)

มหาวิทยาลัยศิลปากร

640920053 : การจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต

นาย นครินทร์ แสงทอง: การเพิ่มประสิทธิภาพและการแก้ไขจุดบกพร่องในงานเชื่อม $Co_2$
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รองศาสตราจารย์ ดร. ประจวบ กล่อมจิตร

งานวิจัยนี้จัดขึ้นเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดใช้ในงานเชื่อมชิ้นส่วนของอุปกรณ์ต่อพ่วงรถไถที่เรียกว่าใบแซะดิน(Scapper) ซึ่งเกิดปัญหาแนวเชื่อมไม่ซึมลึกผสมผสานไปกับเนื้อเหล็กทำให้เกิดปัญหาของเสียตามและส่งผลต่อคุณภาพซึ่งปัญหาหลักที่ส่งผลกระทบมากที่สุดคือค่าพารามิเตอร์ไม่สมดุลกันและเกิดค่าใช้จ่ายในการแก้ไขปัญหา ผู้ทำการทดลองจึงคัดกรองปัจจัยเบื้องต้นมา 3 ปัจจัย คือ กระแสไฟฟ้า ความเร็วขณะเชื่อม และปริมาณแก๊สที่ปกคลุม โดยใช้เครื่องมือคือโปรแกรม Minitab ช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าที่เหมาะสม

ผลของการทดลองรั้งนี้ผู้ทำการทดลองคัดกรองปัจจัยเบื้องต้นมา 3 ปัจจัยและนำมาวิเคราะห์โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)ด้วยโปรแกรมMinitab เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดผลของการทดลองพบว่าหลังจากนำค่าพารามิเตอร์ไปปรับใช้งานจริงแล้วทำให้ยอดของเสียเทียบระหว่าง 1 ปีเดือนกุมภาพันธ์ 2566 กับหลังการปรับปรุงทำให้ลดของเสียเดิมจากเดือนกุมภาพันธ์ 2567 ลดจากของเสีย 20% เหลือเพียง 3% เดือนต่อมาเทียบระหว่าง 1 ปีเดือนมีนาคม 2566 กับหลังการปรับปรุงทำให้ลดของเสียเดิมจากเดือนมีนาคม 2567 ลดจากของเสีย 12% เหลือ 2.5% และถัดมาเดือนต่อมาเทียบระหว่าง 1 ปีเดือนเมษายน 2566 กับหลังการปรับปรุงทำให้ลดของเสียเดิมจากเดือนเมษายน 2567 ลดจากของเสีย 12% เหลือ 2.5% เช่นกัน ซึ่งผลที่ออกมาทำให้องค์กรลดค่าใช้จ่ายได้มากขึ้นงานที่ออกมามีคุณภาพมากขึ้น

640920053 : Major ENGINEERING MANAGEMENT
Keyword : Rectify errors, parameter, : Design of Experiment, welding

MR. Nakkarin SAENGTHONG : Enhancing Efficiency and Rectifying Weaknesses in $CO_2$ Welding Processes Thesis advisor : Associate Professor Prachuab Klomjit, Ph.D.

This research was conducted to find the best parameters for welding parts of tractor attachments called scrapers, which have problems with the weld line not penetrating deeply and mixing with the steel, causing problems. It damages and affects the quality. The main problem that has the greatest impact is the unbalanced parameter values and the cost to fix the problem. The experimenter therefore screened 3 basic factors, namely electric current. Speed while welding and the amount of gas covered Using the Minitab program to help analyze data to find appropriate values.

The results of this experiment, the experimenter screened 3 preliminary factors and analyzed them using the principles of experimental design (Design of Experiment) with the program Minitab. To find the best parameters, the results of the experiment found that after applying the parameters for actual use, the amount of waste was compared between 1 year, February 2023, and after the improvement, reducing the original waste from February 2024, reducing from Wasted 20% to only 3% the next month, comparing between 1 year in March 2023 and after improvements made it reduce the original waste from March 2024, reducing from 12% waste to 2.5% and the next month, comparing between 1 year and 2 months. April 2023 and after improvements made the original waste reduced from April 2024, reduced

# กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในครั้งนี้เป็นงานวิจัยที่ผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยเสร็จสิ้นสมบูรณ์โดยผู้ที่ช่วยสนับสนุนให้สำเร็จลุล่วงผ่านไปด้วยดี ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยศิลปากรที่เป็นแหล่งองค์ความรู้ที่สำคัญและให้โอกาสในการแสดงออก การทำงานเป็นทีม การมีมนุษย์สัมพันธ์ที่ดี ต่อมาเป็นคณะอาจารย์ที่ปรึกษาที่ช่วยให้ผู้ทำวิจัยทำผ่านไปได้ด้วยดีคือท่านอาจารย์ รศ.ดร.ประจวบ กล่อมจิตร ที่ช่วยให้คำปรึกษาแนวทางปฏิบัตรรวมถึงคณะกรรมการสอบครั้งนี้คือท่านอาจารย์ ดร. สิทธิชัย แซ่เหล่ม และท่านอาจารย์ รศ.ดร. ระพี กาญจนะ ที่ช่วยให้คำปรึกษาคำแนะนำเพิ่มเติมอย่างละเอียด และเจ้าหน้าที่วิศวกรรมศาสตร์สาขาการจัดการอุตสาหกรรมที่ช่วยสนับสนุนที่ดีตลอดมาตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงจบการศึกษา ขอขอบคุณเพื่อนๆในห้องเรียนและการสอบทำวิจัยครั้งนี้ซึ่งเป็นผู้ที่คอยสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้ให้สามารถสอบจบการศึกษาพร้อมๆกันได้ ขอขอบคุณสถานที่โรงงานที่ใช้สำหรับการทดลองงานวิจัยครั้งนี้และให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีทำให้การเก็บผลการทดลองเป็นไปได้ดี

ทั้งนี้สุดท้ายต้องขอขอบคุณครอบครัวที่อยู่เคียงข้างซึ่งเป็นกำลังใจหลักและสิ่งสำคัญในการศึกษาเรียนต่อและการทำงานวิจัยซึ่งจะไม่สำเร็จลุล่วงสำเร็จได้ถ้าขาดกำลังใจหลักและเงินทุนในการศึกษา ต่อมากำลังใจจากเพื่อน แฟน และพี่ๆน้องๆคนอื่นที่สำคัญ หวังว่าในงานวิจัยครั้งนี้สารมารถเป็นตัวอย่างที่เป็นประโยชน์ต่อผู้อื่นและสังคมในอนาคต สุดท้ายอยากจะขอบคุณทุกๆคนที่เข้ามามีส่วนร่วมทั้งหมดในการทำวิจัยครั้งนี้ด้วย

นครินทร์ แสงทอง

มหาวิทยาลัยศิลปากร

# สารบัญ

**หน้า**


บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฏ

บทที่ 1 ..... 1

บทนำ ..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ ..... 2

1.3 ขอบเขตงานวิจัย ..... 2

1.4 กรอบแนวคิดการวิจัย ..... 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ..... 3

บทที่ 2 ..... 4

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 4

2.1 การเชื่อมMIGโดยใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ปกคลุม ..... 4

2.2 หุ่นยนต์อุตสาหกรรม ..... 5

2.3 เหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ..... 9

2.4 หลักการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) ..... 10

2.5 การทดลองแบบ Factorial Design ..... 13

2.6 วิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA ..... 17

2.7 เครื่องมือคุณภาพ7อย่าง ..... 20

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 27
บทที่ 3 ..... 29
วิธีการดำเนินงานวิจัย ..... 29
3.1ขั้นตอนการดำเนินงาน ..... 30
3.2 ศึกษาข้อมูลทั่วไป ..... 31
3.3 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ..... 36
3.4 กำหนดปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของการเชื่อม ..... 38
3.5 การตั้งสมมติฐาน ..... 40
3.6 คุณสมบัติของปัจจัยที่จะนำไปทดลอง ..... 42
3.7 การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ..... 42
3.8 ทำการทดลองวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลข้อมูล ..... 44
บทที่ 4 ..... 45
ผลการทดลอง ..... 45
4.1 การดำเนินการทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ 2k Full Factorial Design ..... 45
4.2 ตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากการทดลอง2k Full Factorial Design ..... 47
4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ..... 49
4.4หาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการ Response Optimization ..... 53
4.5การเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุง ..... 55
บทที่ 5 ..... 59
สรุปผลและข้อเสนอแนะ ..... 59
5.1 สรุปผลการวิจัย ..... 59
5.2 ปัญหาและอุปสรรค ..... 60
5.3 ข้อเสนอแนะ ..... 60
รายการอ้างอิง ..... 61

ประวัติผู้เขียน ..... 63

# สารบัญตาราง

**หน้า**


ตารางที่ 1 แสดงปัจจัยตอนต้นและปัจจัยตาม ..... 3

ตารางที่ 2 แสดงผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย ..... 13

ตารางที่ 3 แสดงถึงปัจจัยและค่าที่เปลี่ยนแปลงไปกรณีที่มีปัจจัย 2 ระดับ ..... 14

ตารางที่ 4 แสดงจำนวนรอบการทดลองกรณีที่มีปัจจัย2ระดับ ..... 14

ตารางที่ 5 แสดงจำนวนรอบการทดลองกรณีที่มีปัจจัย2ระดับ ..... 15

ตารางที่ 6 แสดงจำนวนรอบการทดลองกรณีที่มีปัจจัย3ระดับ ..... 16

ตารางที่ 7 แทนค่าของปัจจัยและ Interaction ด้วยรหัส ..... 17

ตารางที่ 8 แสดงถึงยอดการผลิตชิ้นงานตัวอย่างที่เกิดของเสียในระบบ ..... 32

ตารางที่ 9 แผนภูมิแสดงอัตราการผลิตและของเสียที่สามารถยอมรับได้ ..... 33

ตารางที่ 10 การวิเคราะห์ 4 M เพื่อหาสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา ..... 37

ตารางที่ 11 แสดงตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม ..... 38

ตารางที่ 12 กำหนดปัจจัยและตัวแปร ..... 40

ตารางที่ 13 แสดงลำดับการทดลอง 2 ระดับ ..... 43

ตารางที่ 14 แสดงจำนวนชิ้นงานในการออกแบบการทดลองแบบ $2^k$ Full Factorial Design ..... 45

ตารางที่ 15 บันทึกการทดลอง ..... 45

ตารางที่ 16 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความแปรปรวนของข้อมูล ..... 49

ตารางที่ 17 ตารางสรุปผล Model ..... 50

ตารางที่ 18 แสดงลำดับอิทธิพลที่มีผลต่อการทดลองแบบละเอียด ..... 51

ตารางที่ 19 ผลการวิเคราะห์ Output Optimize Point ..... 54

ตารางที่ 20 ตารางสรุปค่าพารามิเตอร์ ..... 54

ตารางที่ 21 อัตราการผลิตต่อของเสียก่อนปรับปรุง ..... 57

ตารางที่ 22 อัตราการผลิตต่อของเสียหลังปรับปรุง ..... 57

# สารบัญภาพ

**หน้า**


ภาพที่ 1 ตัวอย่างชิ้นงานของเสียที่เกิดจากกระบวนการเชื่อม ..... 1

ภาพที่ 2 แผนภูมิแสดงอัตราการผลิต/ของเสียที่เกิดขึ้น ..... 2

ภาพที่ 3 แสดงการเชื่อมฟลักซ์คอร์และแก๊ส ..... 5

ภาพที่ 4 หุ่นยนต์อเนกประสงค์ ..... 6

ภาพที่ 5 หุ่นยนต์เชื่อม ..... 7

ภาพที่ 6 หุ่นยนต์จัดเรียงสินค้าและวัสดุ ..... 7

ภาพที่ 7 หุ่นยนต์ตรวจสอบความปลอดภัย ..... 8

ภาพที่ 8 หุ่นยนต์ขึ้นรูปพลาสติก ..... 8

ภาพที่ 9 เหล็กแผ่นดำ SS400 ..... 9

ภาพที่ 10 แสดงเห็นการทดลองเปรียบเทียบกันระหว่าง 2 ตัวแปร ..... 11

ภาพที่ 11 องค์ประกอบของ DOE ..... 12

ภาพที่ 12 ตัวอย่างใบตรวจสอบ (Check sheet) ..... 21

ภาพที่ 13 ตัวอย่าง แผนผังพาเรโต (Pareto Diagram) ..... 22

ภาพที่ 14 ตัวอย่างแผนผังก้างปลา ..... 23

ภาพที่ 15 ตัวอย่างกราฟแผนภูมิกราฟ ..... 24

ภาพที่ 16 ตัวอย่างกราฟแผนภูมิวงกลม ..... 25

ภาพที่ 17 ตัวอย่างแผนผังการกระจาย ..... 25

ภาพที่ 18 ตัวอย่างแผนผังฮิสโตแกรม ..... 26

ภาพที่ 19 ตัวอย่างแผนภูมิควบคุม ..... 27

ภาพที่ 20 ภาพแสดงโมเดลชิ้นงานที่สนใจเพื่อนำมาปรับปรุง ..... 29

ภาพที่ 21 ใบแซะดิน ..... 29

ภาพที่ 22 ตัวอย่างใบแซะดินที่เป็นของเสียในระบบ ..... 32
ภาพที่ 23 แสดงให้เห็นถึงหน้าที่ของใบแซะดิน ..... 33
ภาพที่ 24 ตัวอย่างชิ้นงานที่น้ำลวดเชื่อมไม่ซึมผสานกับเนื้อชิ้นงาน ..... 34
ภาพที่ 25 แสดงขั้นตอนของการทำงานในกระบวนการเชื่อมใบแซะดิน ..... 34
ภาพที่ 26 แผนผังก้างปลาแสดงปัญหาในกระบวนการเชื่อมใบแซะดิน ..... 36
ภาพที่ 27 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้งานปัจจุบัน ..... 39
ภาพที่ 28 เกจปรับแรงดันที่ใช้อยู่ในระดับในปัจจุบัน ..... 40
ภาพที่ 29 แสดงกราฟตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติ(Normal Distribution) ..... 47
ภาพที่ 30 กราฟแสดงเห็นการทดลองแบบสุ่มแบบการกระจายตัวแบบอิสระ ..... 48
ภาพที่ 31 ภาพแสดงความสเถียรของข้อมูล ..... 48
ภาพที่ 32 ลำดับปัจจัยที่มีผลกระทบต่อชิ้นงาน ..... 50
ภาพที่ 33 กราฟความชันของแต่ละปัจจัย ..... 52
ภาพที่ 34 Interaction ที่มีผลกระทบร่วม ..... 52
ภาพที่ 35 ระดับผลที่เหมาะสม ..... 53
ภาพที่ 36 แสดงแนวเชื่อมหลังปรับปรุงแนวที่ 1 ..... 55
ภาพที่ 37 แสดงแนวเชื่อมหลังปรับปรุงแนวที่ 2 และ 3 ..... 55
ภาพที่ 38 ภาพตัดขวางของ Welding cut check แนวที่ 1 ..... 56
ภาพที่ 39 ภาพตัดขวางของ Welding cut check แนวที่ 2 ..... 56

# บทที่ 1

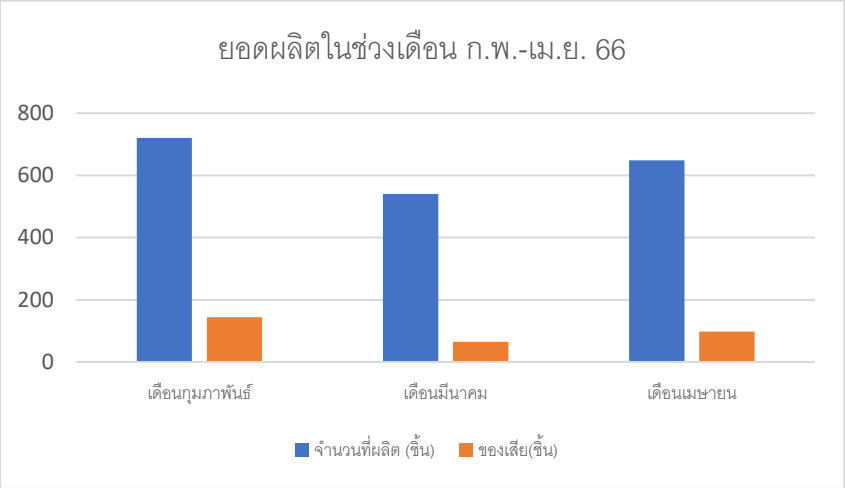
# บทนำ

## 1.1 ที่มาและความสำคัญ

กระบวนการเชื่อมโลหะหรือ Welding คือกระบวนการต่อวัสดุเข้าด้วยกันทั้งวัสดุที่เป็นโลหะและเทอร์โมพลาสติกโดยเนื้อวัสดุจะรวมตัวเข้าด้วยกันโดยปกติจะใช้วิธีสร้างบ่อหลอมละลายโดยให้ความร้อนแก่ชิ้นงานและทำการเติมเนื้อวัสดุ(ที่มีความสามารถรวมตัวเข้ากันได้)เข้าไปในบ่อหลอมนั้น เมื่อเย็นตัวแล้วชิ้นงานที่นำมาต่อกันก็จะติดกันการเชื่อมโลหะด้วยวิธีMIGการเชื่อมมิกซ์ $CO_2$ เป็นกระบวนการเชื่อมโดยการอาร์กแบบหนึ่งซึ่งได้รับความร้อนจากการอาร์กระหว่างลวดเชื่อมแบบต่อเนื่องกับชิ้นงานและมีแก๊สจากแหล่งภายนอกถูกจัดให้จ่ายออกมาเป็นเกราะปกคลุมแนวเชื่อมขณะอาร์กเพื่อป้องกันการรวมตัวจากบรรยากาศกระบวนการเชื่อมแบบนี้MIGเป็นการเชื่อมโดยใช้แก๊สเฉื่อยบริสุทธิ์เป็นเกราะป้องกันในการเชื่อมโลหะจำพวกที่ไม่ใช่เหล็ก MICROWIRE เป็นการเชื่อมแบบป้อนลวดเชื่อมในลักษณะลัดวงจร (Metal Transfer) หรือ Short Circuiting Transfer โดยสามารถเชื่อมได้ทุกท่าเชื่อมในอุตสาหกรรมมีการเชื่อมในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันและชนิดของความไม่สมบูรณ์มีมากมายแต่ที่จะพบเห็นได้บ่อยๆนั้นเช่นการเกิดฟองอากาศสารมลทินฝังในการหลอมละลายที่ไม่สมบูรณ์เกิดรอยแตก เป็นต้น ทำให้ในกระบวนการผลิตเกิดผลิตภัณฑ์ที่เสียหายหรือนำไปใช้ทำให้เกิดผลกระทบในภายหลังได้

ภาพที่ 1 ตัวอย่างชิ้นงานของเสียที่เกิดจากกระบวนการเชื่อม

ดังนั้นจึงเป็นปัญหาที่อาจจะนำไปสู่ความเสียหายอีกหลายประการจึงจะต้องทำการวิจัยหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตในอุตสาหกรรมและลดปัญหาของเสียและข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตต่อไป โดยเริ่มจากศึกษากระบวนการเชื่อมขั้นตอนการเชื่อมและปัจจัยต่างๆที่ทำให้เกิดการ Arc กันระหว่างลวดเชื่อมและวัสดุที่ต้องการทดลอง




ภาพที่ 2 แผนภูมิแสดงอัตราการผลิต/ของเสียที่เกิดขึ้น

**1.2 วัตถุประสงค์**

1. หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในงานเชื่อมด้วยแก๊ส $CO_2$

2. ลดของเสียที่จะเกิดขึ้นในกระบวนการเชื่อม

**1.3 ขอบเขตงานวิจัย**

1. เครื่องมือสำหรับวัดผลการวิจัยหุ่นยนต์อุตสาหกรรม Panasonic G3/WG3 Controller (TM Series)

2. วัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนSS400 และใช้ลวดเชื่อม Flux Core ขนาด 1.2 mm

3. ใช้กระบวนการเชื่อม MIG กระแสไฟ AC และใช้แก๊ส $CO_2$ ปกคลุมโดยเดินแนวเชื่อมต่อเนื่องแบบอัติโนมัติ

4. ตัวแปรในงานเชื่อมประกอบไปด้วย 3 ตัวแปร คือ กระแสไฟฟ้า ความเร็วขณะเชื่อม อัตราปริมาณแก๊สของ $CO_2$ ที่ปกคลุม

5. ให้วัสดุที่ทดลองเย็นตัวลงเพื่อดูแนวเชื่อมและนำไปผ่าครึ่งเพื่อเช็คการซึมลึกของรอยเชื่อม

**1.4 กรอบแนวคิดการวิจัย**

งานวิจัยนี้ถือเป็นการศึกษาวิจัยต่างๆสามารถอธิบายด้วยปัจจัยได้ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงปัจจัยตอนต้นและปัจจัยตาม

| ปัจจัยตอนต้น | เครื่องมือ | ปัจจัยตาม |
|---|---|---|
| 1. กระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อม<br>2. ความเร็วขณะเชื่อม<br>3. อุปกรณ์ที่ใช้เชื่อม<br>4. ผู้ควบคุมกระบวนการเชื่อม | 1. เครื่องมือคุณภาพ7อย่าง (7QC Tools)<br>2. หลักการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)<br>3. โปรแกรม Minitab | 1. ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้งาน<br>2. ลดของเสียในกระบวนการผลิต |

**1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

1. ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมนำไปใช้ในกระบวนการผลิตได้โดยเป็นการสร้างมาตรฐานและสามารถอ้างอิงได้

2. ลดของเสียจากการทำงานและลดความเสียหายหลังนำไปใช้งานได้

3. องค์ความรู้งานวิจัยสามารถเป็นพื้นฐานของการต่อยอดได้

มหาวิทยาลัยศิลปากร

# บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้ผู้เขียนได้รวบรวมแนวคิดงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อสามารถมาวิเคราะห์ปัญหาและประยุกต์ใช้ในหัวข้องานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงดีโดยผู้จัดทำได้รวบรวมดังนี้

2.1 การเชื่อม MIG โดยใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ปกคลุม

2.2 หุ่นยนต์อุตสาหกรรม

2.3 เหล็กกล้าคาร์บอน SS400

2.4 หลักการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

2.5 การทดลองแบบ Factorial Design

2.6 วิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA

2.7 เครื่องมือคุณภาพ 7 อย่าง

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 การเชื่อมMIGโดยใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ปกคลุม

การเชื่อม MIG (Metal Inert Gas) เป็นกระบวนการเชื่อมที่ใช้แก๊สปกคลุมเพื่อป้องกันไม่ให้อากาศภายนอกเข้ามาทำปฏิกิริยากับโลหะที่กำลังหลอมละลาย โดยเฉพาะก๊าซออกซิเจนและไนโตรเจนที่มีอยู่ในอากาศ การเชื่อม MIG ที่ใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ($CO_2$) ปกคลุมเป็นกระบวนการที่นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท มีคุณลักษณะและข้อดีหลายประการ ดังนี้

ข้อดีของการใช้แก๊ส $CO_2$ ในการเชื่อม MIG

1. ราคาถูก แก๊ส $CO_2$ มีราคาถูกกว่าแก๊สอื่น ๆ เช่น อาร์กอน จึงช่วยลดต้นทุนในการเชื่อมได้

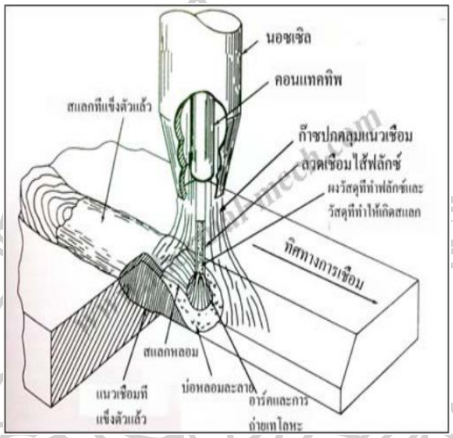
2.การแทรกซึมที่ดี การใช้ $CO_2$ ช่วยให้การแทรกซึมของรอยเชื่อมดีขึ้น ทำให้รอยเชื่อมแข็งแรงและทนทาน

3.ความสะดวกในการใช้งาน กระบวนการเชื่อม MIG ด้วย $CO_2$ เป็นกระบวนการที่สามารถทำได้ง่ายและรวดเร็ว

ข้อเสียของการใช้แก๊ส $CO_2$

1.เกิดสแปลเตอร์มาก  การเชื่อมด้วย $CO_2$ จะเกิดสแปลเตอร์ (Spatter) หรือเศษโลหะที่กระเด็นออกมาจำนวนมาก ซึ่งต้องใช้เวลาในการทำความสะอาดหลังจากการเชื่อม

2.ความคุมคุณภาพยาก  การเชื่อมด้วย $CO_2$ อาจทำให้เกิดปัญหาในคุณภาพของรอยเชื่อม เช่น รอยแตก หรือการเกิดโพรงอากาศในรอยเชื่อม




ภาพที่ 3 แสดงการเชื่อมฟลักซ์คอร์และแก๊ส
ที่มา : https://thermal-mech.com

การเชื่อม MIG โดยใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ปกคลุมเป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมหลายประเภท เพราะมีข้อดีหลายประการ ทั้งในด้านความประหยัดและประสิทธิภาพของกระบวนการเชื่อม แม้จะมีข้อเสียอยู่บ้างแต่ก็สามารถปรับปรุงและควบคุมได้หากมีการเตรียมงานและควบคุมกระบวนการที่ดี

**2.2 หุ่นยนต์อุตสาหกรรม**

หุ่นยนต์ในโรงงานอุตสาหกรรมนั้นถือเป็นเทคโนโลยีสำคัญที่ทำให้กระบวนการในการผลิตต่างๆเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ในอุตสาหกรรมที่มีการทำงานซ้ำซ้อนงานเสี่ยงอันตรายหรืองานที่ต้องการความแม่นยำสูงซึ่งหุ่นยนต์ถือเป็นเทคโนโลยีที่เข้ามาเติมเต็มในส่วนงานนี้ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากหุ่นยนต์ถือเป็นเทคโนโลยีที่มีความแม่นยำสูงทำงานได้อย่างต่อเนื่องและรวดเร็วรวมถึงยังมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมหุ่นยนต์จึงถูกนำเข้ามาใช้งานมากขึ้นเรื่อยๆ โดยที่มนุษย์มีหน้าที่เป็นผู้ควบคุมโดยในภาพรวมของการลงทุนในอุตสาหกรรมที่มีความเกี่ยวเนื่องกับหุ่นยนต์นั้น ถือว่ามีสูงขึ้นทั้งการสั่งซื้อหุ่นยนต์และการจ้างบุคลากรที่มีความสามารถด้านหุ่นยนต์ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความ

ต้องการของตลาดที่มีเพิ่มมากขึ้นรวมถึงยิ่งนวัตกรรมและความสามารถของหุ่นยนต์มีเพิ่มมากขึ้นเท่าไหร่ความต้องการในการนำเอาหุ่นยนต์ไปใช้ยิ่งมีเพิ่มมากขึ้นเท่านั้นเพราะหมายถึงการที่ผู้ประกอบการสามารถที่จะผลิตชิ้นงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็วยิ่งขึ้นนวัตกรรมหุ่นยนต์ที่ใช้ในโรงงานโดยเราจะเห็นได้ว่าปัจจุบันนี้มีการนำเอาหุ่นยนต์มาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมอยู่หลายรูปแบบโดยสามารถจำแนกประเภทได้ดังนี้

2.2.1. หุ่นยนต์อเนกประสงค์

เป็นหุ่นยนต์หุ่นยนต์ที่ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นแขนกลที่หยิบจับส่งต่องานได้อย่างไหลลื่นและยังอาจจะมีการติดตั้งอุปกรณ์พิเศษเพื่องานในบางลักษณะเช่นการประกอบชิ้นงานที่มีความละเอียดงานด้านการตรวจสอบต่างๆซึ่งโดยปกติแล้วหุ่นยนต์อเนกประสงค์นั้นจะมีลักษณะที่สามารถทำงานในพื้นที่จำกัดได้ดีน้ำหนักเบาและมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อม สามารถติดตั้งโดยใช้พื้นที่น้อยสามารถทำงานได้ในที่แคมและทำงานได้อย่างรวดเร็วยืดหยุ่นรวมถึงตัวเครื่องมีความสามารถในการป้องกันฝุ่น หยดน้ำรวมถึงยังสามารถที่จะรองรับการทำงานในระบบ Automation อีกด้วย

ภาพที่ 4 หุ่นยนต์อเนกประสงค์

ที่มา : เว็ปไซต์ www.nachi-fujikoshi.co.jp สืบค้นเมื่อ มกราคม พ.ศ.2566

2.2.2. หุ่นยนต์เชื่อม

ถือเป็นหุ่นยนต์มีความสำคัญในภาคอุตสาหกรรมการผลิตของประเทศไทยเป็นอย่างยิ่งเพราะถือเป็นหุ่นยนต์ที่มีการนำเอาไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตยานยนต์ โดยหุ่นยนต์นี้มีลักษณะเป็นแขนกลและมีส่วนปลายแขนที่เป็นหัวเชื่อมเหล็กซึ่งสามารถทำงานร่วมกับระบบสายพานที่จะลำเลียงวัสดุ

เข้ามาให้แขนกลนี้ทำการเชื่อมวัสดุในจุดต่างๆตามโปรแกรมที่มีการตั้งค่าเอาไว้โดยอัตโนมัติ ซึ่งถือเป็นการทำงานที่รวดเร็วและมีความแม่นยำสูงกว่าการใช้แรงงานมนุษย์

ภาพที่ 5 หุ่นยนต์เชื่อม
ที่มา : เว็ปไซต์ www robotiq.com สืบค้นเมื่อ มกราคม พ.ศ.2566/

2.2.3. หุ่นยนต์จัดเรียงสินค้าและวัสดุ

เป็นหุ่นยนต์ที่ได้รับความนิยมถูกนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมและโกดังต่างๆ โดยมีความสามารถในงานที่หลากหลายและแตกต่างตามความต้องการของโรงงานหรือโกดังนั้นๆ เช่น จัดเรียงสินค้าลงกล่อง, จัดทำ Packaging สินค้าซึ่งลักษณะเด่นของหุ่นยนต์ประเภทนี้คือความสามารถในการเคลื่อนตัวที่อิสระบนพื้นที่ทำงานไม่ว่าจะเป็นในโรงงานหรือโกดังเพื่อทำหน้าที่ในการส่งต่อวัสดุต่างๆในกระบวนการผลิตรวมถึงในการจัดเก็บวัสดุต่างๆ เข้าที่ โดยในปัจจุบันนอกจากเราจะเห็นหุ่นยนต์ประเภทนี้เคลื่อนที่บนพื้นแล้วยังมีการพัฒนาหุ่นยนต์ประเภทนี้ในลักษณะของโดรนอีกด้วย

ภาพที่ 6 หุ่นยนต์จัดเรียงสินค้าและวัสดุ
ที่มา : เว็ปไซต์ www.siamscales.co.th/ สืบค้นเมื่อ มกราคม พ.ศ.2566

2.2.4. หุ่นยนต์ตรวจสอบความปลอดภัย

ถือเป็นหุ่นยนต์ที่มีการพัฒนาขึ้นเพื่อรองรับงานที่มีความเสี่ยงเกินกว่าที่จะให้มนุษย์เป็นผู้ดำเนินการได้ เช่น การตรวจสอบสารพิษที่รั่วไหลในโรงงาน, ตรวจสอบระบบไฟฟ้า, ตรวจสอบปล่องควันหรือที่สูง เป็น

ภาพที่ 7 หุ่นยนต์ตรวจสอบความปลอดภัย
ที่มา : เว็ปไซต์ www.scg.com สืบค้นเมื่อ มกราคม พ.ศ.2566

2.2.5. หุ่นยนต์ขึ้นรูปพลาสติก

เป็นหุ่นยนต์ที่มีหน้าที่ในการหยิบจับและฉีดขึ้นรูปพลาสติกให้ออกมาเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปต่างๆซึ่งทำได้อย่างรวดเร็วและเป็นจำนวนมากนอกจากนี้ยังมีความสามารถในการทำงานแบบอัตโนมัติตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการไปจนสิ้นสุดกระบวนการการผลิตโดยมีความแม่นยำสูงใช้พื้นที่น้อยเพราะระบบจะเห็นสายพานและแขนกลในการจับส่งวัสดุต่างๆ

ภาพที่ 8 หุ่นยนต์ขึ้นรูปพลาสติก
ที่มา : เว็ปไซต์ www.universal-robots.com สืบค้นเมื่อ มกราคม พ.ศ.2566

วัตถุประสงค์หลักของการพัฒนาหุ่นยนต์ในโรงงานอุตสาหกรรมก็เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตและลดต้นทุนทั้งในด้านเวลาและค่าใช้จ่ายซึ่งถือเป็นรูปแบบการทำงานที่เน้นประสิทธิภาพและความรวดเร็วโดยเฉพาะในยุคอนาคตที่จะถึงอีกไม่นานนี้ เมื่อ Ai และ Iot ได้เข้ามามีบทบาทต่อการพัฒนาหุ่นยนต์ หุ่นยนต์ในโรงงานจะมีความสามารถมากยิ่งขึ้นกว่าเดิมทั้งในแง่ของการบริหารจัดการที่ทำได้ง่ายขึ้น และในแง่ของความฉลาดที่หุ่นยนต์สามารถเรียนรู้การทำงานใหม่ๆได้อย่างไม่มีขีดจำกัด

**2.3 เหล็กกล้าคาร์บอน SS400**

SS400 คือเกรดเหล็กมาตราฐานที่ประเทศไทยนิยมนำมาใช้งานในหมวดเหล็กดำโครงสร้าง เหล็กดำรูปพรรรณ เหล็กดำต่างๆ เหล็กดำเกรด SS400 คือวัตถุดิบหลังที่นำมาผลิตเหล็กโครงสร้างรีดร้อนต่างๆ เช่น ไอบีม ไวแฟรค์ เอชบีม ฉาก เหล็กรางน้ำ เหล็กแบน แผ่นเหล็กต่างๆที่นำมาทำโครงสร้างสะพานงานวิศวกรรมต่างๆหรือแม้กระทั่งโครงสร้างของเครื่องจักรขนาดใหญ่

ภาพที่ 9 เหล็กแผ่นดำ SS400
ที่มา : https://www.csteelindia.com/ss-400-plates-supplier-exporter.html

SS400 ชื่อและเกรดวัสดุที่ระบุไว้มีความหมายดังนี้ S ตัวแรก คือ STEEL S ตัวที่สอง คือ STRUCTURE 400 คือ ค่า Tensile Strength หรือความเค้นดึงสูงสุดที่ชิ้นงานทดสอบรับได้จนชิ้นงานเกิดการขาดหรือบิดงอมีหน่วยเป็น MPa ดังนั้นค่า Tensile Strength คือ ≥ 400 MPa ส่วนประกอบของเหล็กดำ SS400 Carbon (C)  Phosphorus (P) Sulfur (S) content

คุณสมบัติทั่วไปของเหล็ก SS400

Density = 7860 kg/m3 ความหนาแน่น

Young’s Modulus = 190-210 GPA ยังส์โมดุลัส หรือบางครั้งเรียกว่าโมดุลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) คือ อัตราส่วนความเค้นต่อความเครียดในส่วนที่กราฟเป็นเส้นตรง

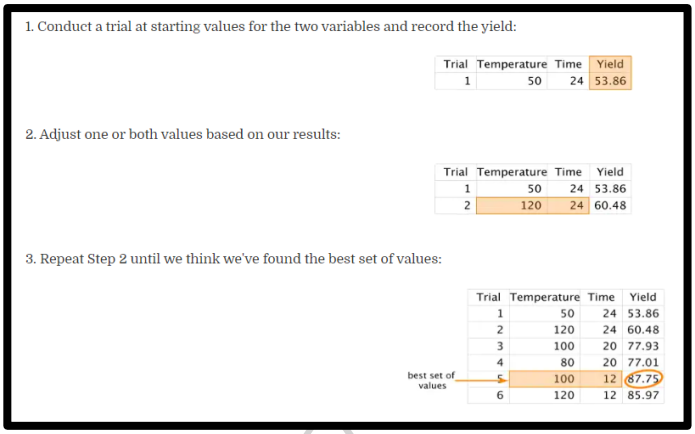
Tensile Strength = 400 - 510 MPa ค่าต้านทานแรงดึงหรือบางครั้งเรียกว่าจุดประลัย (Ultimate Strength) คือค่าความเค้นสูงสุด ณ จุดที่วัสดุขาดหรือรูปร่างเสียหาย

Yield Strength = 205-245 MPa

ค่าต้านแรงดึงจุดคราดจุดที่วัสดุจะยืดออกมากที่สุดโดยการใส่แรงเข้าไปเล็กน้อยหรือไม่ใส่เลย ค่าความแข็ง = 160 HB เป็นการทดสอบโดย Brinell Hardness Test คือการวัดความแข็งโดยอาศัยแรงกดคงที่กระทำกับลูกบอลเหล็กกล้าชุบแข็งลงบนผิวชิ้นงานทดสอบ ค่าความแข็งจะคำนวณจากแรงกดที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวโดยพื้นที่ผิวมีลักษณะเป็นผิวโค้ง

**2.4 หลักการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)**

Design of Experiment (DOE) มีจุดประสงค์ที่จะควบคุมการเปลี่ยนแปลงตัวแปรอิสระซึ่งต่อไปนี้ จะเรียกว่าปัจจัย (factors) ของกระบวนการใดกระบวนการหนึ่ง แล้วดูผลที่เกิดขึ้นกับตัวแปรตอบสนอง (Response) ของกระบวนการนั้นกระบวนการ (Process) คือการทำงานรวมกันผสมผสานกันของเครื่องจักร (Machine) วัตถุดิบ (Material) มนุษย์ (People) กรรมวิธีการทำงาน (Methods) สภาพแวดล้อมในการทำงาน (Environment) และกระบวนการวัดค่า (Measurement) การออกแบบการทดลองเราจะเรียกตัวแปรเหล่านี้ว่า Noise แต่ตัวแปรบางตัวเราไม่สามารถปล่อยให้เปลี่ยนไปตามธรรมชาติของมันได้ เพราะมีผลต่อกระบวนการมากกว่าตัวแปร Noise เราจึงต้องดูตัวแปรเหล่านี้ให้เปลี่ยนแปลงอยู่ในตำแหน่งและช่วงใดช่วงหนึ่งที่มีผลเสียต่อกระบวนการน้อยที่สุดเรียกตัวแปรเหล่านี้ว่า Key Process Input Variable ในขณะเดียวกันจะรู้ประสิทธิภาพโดยการวัดด้วยตัวชี้วัด เช่นเดียวกันกระบวนการหนึ่งๆอาจจะวัดด้วยตัวชี้วัดเพียงตัวเดียวหรือมากกว่า 1 ตัวก็เป็นได้ ซึ่งวิธีวัดสามารถมีได้ทั้งวัดด้วยเครื่องมือวัดซึ่งจะได้ค่าเป็นค่าต่อเนื่องหรือเรียกว่าตัวแปรเชิงปริมาณ ถ้าวัดได้ด้วยการนับการสังเกตุจะได้ค่าเป็นค่าไม่ต่อเนื่องหรือเรียกว่าตัวแปรเชิงคุณภาพ แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นจะไม่สามารถวัดตัวแปร Output ของกระบวนการได้ทุกตัว จึงจำเป็นจะต้องวัดเฉพาะตัวแปรที่เห็นว่าสื่อถึงประสิทธิภาพหรือผลที่เกิดขึ้นในกระบวนการได้ดีที่สุดหรือมากที่สุดเท่านั้นเรียกตัวแปรที่คัดเลือกมานี้ว่า Key Process Output Variable หรือ KPOV



1. Conduct a trial at starting values for the two variables and record the yield:

| Trial | Temperature | Time | Yield |
|---|---|---|---|
| 1 | 50 | 24 | 53.86 |

2. Adjust one or both values based on our results:

| Trial | Temperature | Time | Yield |
|---|---|---|---|
| 1 | 50 | 24 | 53.86 |
| 2 | 120 | 24 | 60.48 |

3. Repeat Step 2 until we think we've found the best set of values:

| Trial | Temperature | Time | Yield |
|---|---|---|---|
| 1 | 50 | 24 | 53.86 |
| 2 | 120 | 24 | 60.48 |
| 3 | 100 | 20 | 77.93 |
| 4 | 80 | 20 | 77.01 |
| 5 | 100 | 12 | 87.75 |
| 6 | 120 | 12 | 85.97 |

best set of values

ภาพที่ 10 แสดงเห็นการทดลองเปรียบเทียบกันระหว่าง 2 ตัวแปร

ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง

1. กำหนดหัวข้อปัญหา (Problem statement) จะต้องชัดเจน เข้าใจได้ง่ายและเป็นรูปธรรม ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 อย่าง อะไรที่กำลังเป็นเป็นปัญหา (What) ลักษณะของปัญหาเป็นเช่นไรขนาดไหน (How) และพบปัญหานั้นที่ไหนช่วงเวลาใด (Where)

2. การเลือกปัจจัย (Factor) และการกำหนดระดับของปัจจัย (Treatment) จำเป็นที่จะต้องเลือกปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการอย่างแท้จริง ซึ่งสามารถเลือกจากกรรมวิธีคัดกรองโดยเครื่องมือทางสถิติ จำพวก Univariate เช่น T-Test เป็นต้น ผู้ที่มีความรู้หรือเชี่ยวชาญในกระบวนการนั้นๆจะเป็นผู้ที่สามารถให้คำแนะนำที่ดีในการเลือกปัจจัยและการกำหนดระดับของปัจจัยด้วย

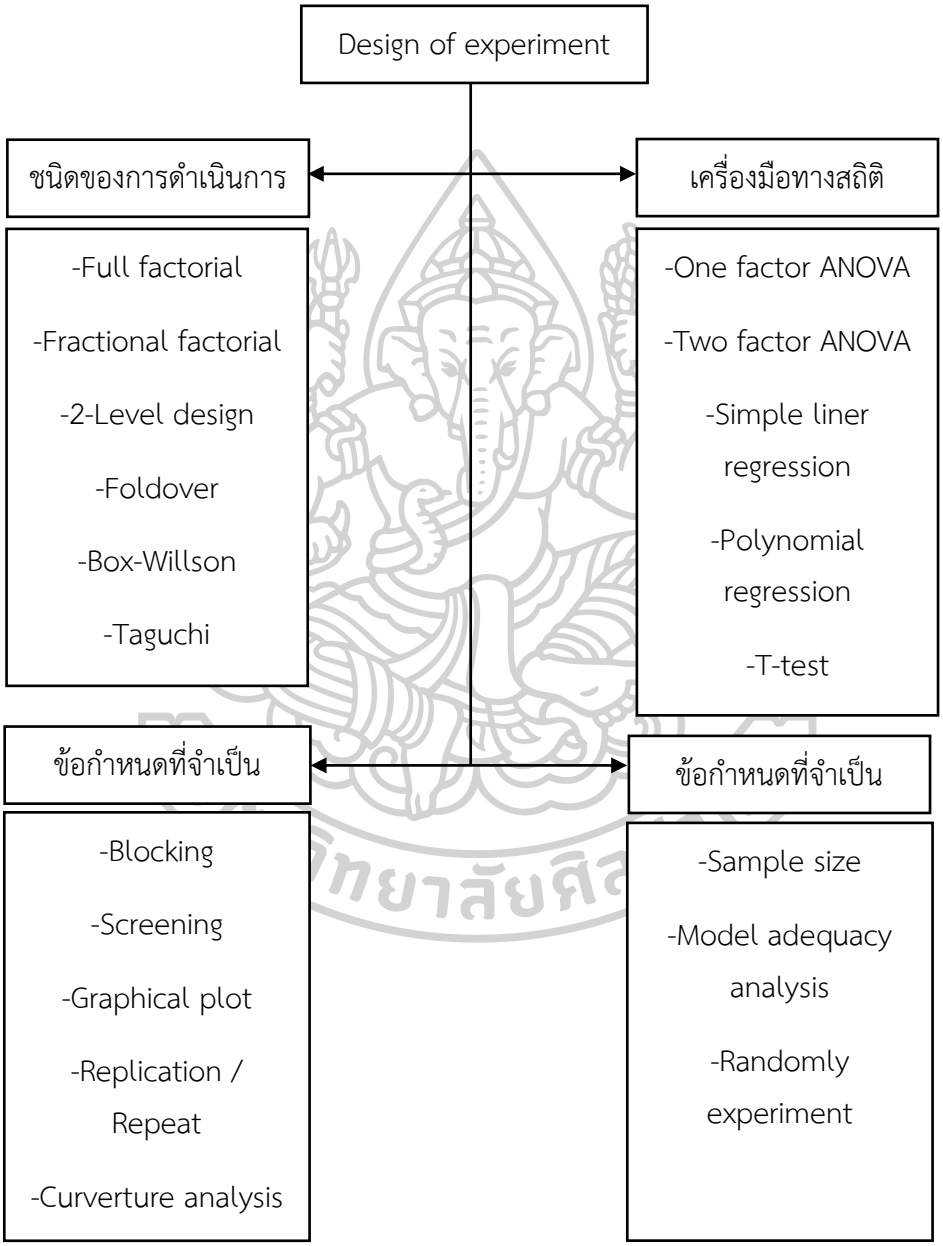
3. การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response) จะต้องเน้นตัวแปรที่สามารถวัดได้ทั้งที่วัดด้วยเครื่องมือวัดและวัดด้วยกระบวนการวัดอื่นๆ เช่น การนับและจะต้องเป็นตัวแปรที่สื่อถึงกระบวนการที่เราต้องการศึกษานั้นได้ดีด้วย

4. เลือกแบบทดลอง (Experiment design) เช่น การกำหนดจำนวนสิ่งตัวอย่าง วิธีการเลือกสิ่งตัวอย่าง วางแผนการทำการทดลอง วิธีการบันทึกผลการทดลอง และการกำหนดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ เป็นต้น

5. ดำเนินการทดลอง (Perform the Experiment) ให้เป็นไปตามแผนการทั้งวิธีการดำเนินการความถูกต้องในการวัดการควบคุมตัวแปรในการทดลองและเก็บผลการทดลอง

6. การวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis) ไม่ใช่แค่การ Run computer program เพื่อให้ได้ผลออกมาเท่านั้นแต่รวมถึงการตรวจสอบลักษณะและคุณภาพของข้อมูลที่ได้จากการทดลองการพิสูจน์ทราบความถูกต้องของ Model ที่ได้ด้วย

7. สรุปผลการทดลองและให้คำแนะนำผู้ดำเนินการทดลองจะเป็นผู้ที่เข้าใจที่ไปที่มาของข้อมูลดีและมองออกว่าผลที่ได้เป็นเช่นนั้นเพราะอะไร การดำเนินการมีข้อบกพร่องตรงไหน มีสาระสำคัญอะไรที่ผู้อ่านรายงานควรจะได้รับรู้




ภาพที่ 11 องค์ประกอบของ DOE

1. ชนิดของการดำเนินการ (Design type) หมายถึงรูปแบบมาตรฐานที่จะใช้ในการดำเนินการผู้ทำการทดลองจะต้องตัดสินใจเลือกตั้งแต่อยู่ในขั้นตอนวางแผนเพราะDesignจะนำไปสู่วิธีการดำเนินการทดลองวิธีเก็บบันทึกข้อมูลและเครื่องมือทางสถิติที่จะใช้ในการวิเคราะห์ในที่สุดการจะตัดสินใจเลือก Design ใดนั้นมีองค์ประกอบคือผลหรือเป้าหมายที่ต้องการได้รับ ความซับซ้อนของการทำการทดลองและข้อจำกัดของทรัพยากรต่างๆ นักสถิติในยุคที่ผ่านๆมาได้คิดค้น Design ต่างๆไว้มากมาย จำเป็นที่ผู้ต้องการใช้จะต้องศึกษารายละเอียดของแต่ละ Design เพิ่มเติมด้วย

2. เครื่องมือทางสถิติ (Statistical tools) หมายถึง กรรมวิธีในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้เช่นเดียวกันที่ผู้ทำการทดลองจะต้องเลือกตั้งแต่อยู่ในขั้นตอนการวางแผนการทดลองและที่สำคัญผู้ใช้จะต้องเข้าใจ Tool เหล่านี้ให้ดีพอ เมื่อผลการวิเคราะห์ปรากฏบนหน้าจอคอมพิวเตอร์แล้วจะแปลความหมายอย่างไร มีข้อผิดพลาดจะรู้ได้อย่างไรและจะตรวจได้ที่ใด

3. เทคนิคหรือกลยุทธ์ (Technique) หมายถึง วิธีการที่จะทำให้การดำเนินการทดลองง่ายสะดวกและประหยัดทรัพยากรมากขึ้นโดยที่ผลการวิเคราะห์ยังเป็นที่ยอมรับได้เช่นเดียวกันผู้ทำการทดลองจะต้องกำหนดเทคนิคหรือกลยุทธ์พร้อมกับการเลือกDesign เพราะบาง Design ก็มีข้อห้ามข้อกำหนดหรือข้อยืดหยุ่นที่แตกต่างกันไป

4. ข้อกำหนดที่จำเป็น (Fundamental procedure) เป็นสิ่งพื้นฐานที่ผู้ทำการทดลองจะต้องคำนึงถึงอยู่เสมอ หาไม่แล้วผลการวิเคราะห์และข้อสรุปที่ได้ก็อาจจะไร้ความหมาย หากปราศจากสิ่งเหล่านี้

ทั้ง 4 องค์ประกอบนี้ในบางครั้งผู้ที่กำลังจะเริ่มใช้ Design of experiment อาจจะไม่ค่อยใส่ใจหรือแยกแยะว่าที่ตัวเองกำลังพูดถึงอยู่นั้นจัดเป็นส่วนใดของ DOE เหนืออื่นใดสิ่งที่ผู้เขียนระบุในแผนภาพนั้นเป็นเพียงตัวอย่างเท่านั้น

**2.5 การทดลองแบบ Factorial Design**

Full Factorial Design หมายถึง วิธีการทดลองที่ผู้ทำการทดลองจะต้องทำการทดลองให้ครบทุกเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าของทุกปัจจัย และจะต้องวิเคราะห์ผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองทุกกรณี ดังตัวอย่างตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2 แสดงผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย

| Main Effects | 2-Way Interaction | 3-Way interaction |
|---|---|---|
| A | AB | ABC |
| B | AC | |
| C | BC | |

2-Level Full factorial design หมายถึงเมื่อใช้ Full factorial โดยแต่ละปัจจัยเปลี่ยนแปลงได้ 2 ระดับ เราจะต้องทำการทดลองทั้งหมดเท่ากับ $2^k$ โดยที่ k คือจำนวนปัจจัยหรือ Maineffect ตัวอย่างที่ 1 ในการทดลองมี 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมีเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าดังตาราง

ตารางที่ 3 แสดงถึงปัจจัยและค่าที่เปลี่ยนแปลงไปกรณีที่มีปัจจัย 2 ระดับ

| ปัจจัย (Main Effects) | ค่าที่เปลี่ยนแปลงไป (Condition) | |
|---|---|---|
| A | $A_L$ = 1.25 | $A_H$ = 3.25 |
| B | $B_L$ = 20 | $B_H$ = 40 |
| C | $C_L$ = 2300 | $C_H$ = 2500 |

ในการทดลองนี้จะต้องมีจำนวนรอบการทดลองหรือ Run = $2^3$ = 8 ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4 แสดงจำนวนรอบการทดลองกรณีที่มีปัจจัย2ระดับ

| Run | A | B | C |
|---|---|---|---|
| 1 | 1.25 | 20 | 2300 |
| 2 | 1.25 | 20 | 2500 |
| 3 | 1.25 | 40 | 2300 |
| 4 | 1.25 | 40 | 2500 |
| 5 | 3.25 | 20 | 2300 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 6 | 3.25 | 20 | 2500 |
| 7 | 3.25 | 40 | 2300 |
| 8 | 3.25 | 40 | 2500 |

จากตารางที่ 4 หมายความว่า ผู้ทำการทดลองจะต้องปรับเปลี่ยนค่าของปัจจัยทั้งสามคือ A,B และ C ให้เป็นไปตามตารางที่ 3 โดย 1 รอบการทดลอง จะต้องมีการบันทึกค่าตัวแปรตอบสนอง 1 ครั้ง แล้วจึงค่อยปรับเปลี่ยนค่าของปัจจัยให้เป็นตาม Run ที่ 2 และวัดค่าตัวแปรตอบสนองอีกครั้งทำเช่นนี้ไปจนกว่าจะครบทุก Run 3-Level Full factorial design หมายถึงเมื่อใช้ Full factorial โดยแต่ละปัจจัยเปลี่ยนแปลงได้ 3 ระดับเราจะต้องทำการทดลองทั้งหมดเท่ากับ $3^k$

ตัวอย่างที่ 2 ในการทดลองมี 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมีเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 5 แสดงจำนวนรอบการทดลองกรณีที่มีปัจจัย2ระดับ

| ปัจจัย (Main Effects) | ค่าที่เปลี่ยนแปลงไป (Condition) |
|---|---|
| A | $A_L$ = 1.25 $A_M$ =2.25 $A_H$ = 3.25 |
| B | $B_L$ = 20 $B_M$ =30 $B_H$ = 40 |
| C | $C_L$ = 2300 $C_M$ = 2400 $C_H$ = 2500 |

จากตารางที่ 5 จะเห็นว่ามีผลกระทบร่วมเพิ่มขึ้นมาของแต่ละปัจจัยซึ่งจะทำให้จำนวนการทดลองเพิ่มขึ้นเป็นจำนวน k การทดลอง

ในการทดลองนี้จะต้องมีจำนวนรอบการทดลองหรือ Run = $3^3$ = 27 ดังตารางนี้

ตารางที่ 6 แสดงจำนวนรอบการทดลองกรณีที่มีปัจจัย3ระดับ

| Run | A | B | C |
|---|---|---|---|
| 1 | 1.25 | 20 | 2300 |
| 2 | 1.25 | 20 | 2400 |
| 3 | 1.25 | 20 | 2500 |
| 4 | 1.25 | 30 | 2300 |
| 5 | 1.25 | 30 | 2400 |
| 6 | 1.25 | 30 | 2500 |
| 7 | 1.25 | 40 | 2300 |
| 8 | 1.25 | 40 | 2400 |
| 9 | 1.25 | 40 | 2500 |
| 10 | 2.25 | 20 | 2300 |
| 11 | 2.25 | 20 | 2400 |
| 12 | 2.25 | 20 | 2500 |
| 13 | 2.25 | 30 | 2300 |
| 14 | 2.25 | 30 | 2400 |
| 15 | 2.25 | 30 | 2500 |
| 16 | 2.25 | 40 | 2300 |
| 17 | 2.25 | 40 | 2400 |
| 18 | 2.25 | 40 | 2500 |
| 19 | 3.25 | 20 | 2300 |
| 20 | 3.25 | 20 | 2400 |
| 21 | 3.25 | 20 | 2500 |
| 22 | 3.25 | 30 | 2300 |
| 23 | 3.25 | 30 | 2400 |
| 24 | 3.25 | 30 | 2500 |
| 25 | 3.25 | 40 | 2300 |
| 26 | 3.25 | 40 | 2400 |
| 27 | 3.25 | 40 | 2500 |

การใช้รหัส (Coded) เป็นการปรับเปลี่ยนหน่วยสเกลของแต่ละปัจจัยให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐาน (Standardize) เพื่อให้ง่ายในการออกแบบและวิเคราะห์ เพราะหากใส่ค่าจริงแล้วจะเสียเวลา และยุ่งยากในการเขียนโดยเฉพาะ Interaction อย่างมากโดยกำหนดให้ -1 แทนกรณีที่ตั้ง

ค่าปัจจัยนั้นเป็น Low และให้ 1 แทนกรณีที่ตั้งค่าปัจจัยนั้นเป็น High ดังภาพที่ 17 ที่ใช้ค่าจากตาราง ต่อไปนี้โดยแทนค่าของทุกปัจจัยด้วยรหัส

ตารางที่ 7 แทนค่าของปัจจัยและ Interaction ด้วยรหัส

| Run | A | B | C | AB | AC | BC | ABC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 |
| 2 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 |
| 3 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 1 |
| 4 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 |
| 5 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 |
| 6 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 |
| 7 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

จากตารางที่ 7

A = - 1 หมายถึง ค่าของ A = 1.25 และ A = 1 หมายถึง ค่าของ A = 3.25

AB หมายถึงเอารหัสของ A คูณกับ B ได้ซึ่งก็จะได้รหัสของ Interaction ทันที

ข้อดีของ Full factorial design

1. ไม่มีการเกิด Alias

2. สามารถวิเคราะห์ Main factor และ Interaction ได้ทั้งหมด

ข้อเสียของ Full factorial design

1. ต้องทำการทดลองให้ครบทุก Run ทำให้ต้องสิ้นเปลืองทรัพยากรมากใช้เวลา

2. เมื่อจำนวน Run มากๆอาจจะประสบปัญหาในการป้องกันความคลาดเคลื่อนของการปรับเปลี่ยนค่าของปัจจัยใดๆได้

**2.6 วิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA**

ในการทดสอบสมมตฐานเกี่ยวกับคาเฉลยของประชากร 1 กลุ่ม และ 2 กลุ่ม ตัวสถิติทดสอบที่ใช้ คือ Z หรือ T โดยการเลือกใช้ตัวสถิติทดสอบใดขึ้นอยู่กับว่าทราบความแปรปรวนของข้อมูลในประชากรนั้นหรือไม่ ตัวอย่างมีขนาดใหญ่หรือเล็กแต่ในกรณีที่ทำการศึกษาประชากรมากกว่า 2 กลุ่ม และต้องการทดสอบสมมุติฐานว่าค่าเฉลยของประชากรแต่ละกลุ่มนั้นแตกต่างกันหรือไม่จะต้องทดสอบ

สมมุติฐานทีละคู่ เช่น ในการทดสอบสมมตฐานเกี่ยวกับค่าเฉลยของประชากร 3 กลุ่มจะต้องทำการทดสอบสมมุติฐานทีละคำจำนวน 3 ครั้ง ดังนี้ μ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 \quad H_0 : \mu_1 = \mu_3 \quad H_0 : \mu_2 = \mu_3$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \quad H_1 : \mu_1 \neq \mu_3 \quad H_1 : \mu_2 \neq \mu_3$$

ซึ่งจะทำให้เสียเวลาในการทดสอบสมมุติฐานที่ซ้ำซ้อนเป็นอย่างมากและประการสำคัญคือ เป็นการทำค่าระดับนัยสำคัญมีค่ามากเกินไปดังนั้นจึงมีการนำเทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบสมมุติฐานเกี่ยวกับความแตกตางของค่าเฉลยกรณีประชากรมากกว่า 2 กลุ่ม (k กลม) โดยทำการทดสอบเพียงครั้งเดียว เช่นกรณีประชากร 3 กลุ่ม สมมุติฐานเชิงสถิติเป็นดังนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \text{ อย่างน้อย 1 คู่}$$

ถ้าผลการทดสอบสมมติฐานปฏิเสธ H0 หมายความว่า ค่าเฉลยอย่างน้อย 1 คู่ที่มีค่าแตกต่างกัน ซึ่งอาจจะเป็น $\mu_1 \neq \mu_2$หรือ 31 $\mu_1 \neq \mu_3$ หรือ $\mu_2 \neq \mu_3$ หรือ $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ ก็ได้ ซึ่งการทดสอบว่าค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มใดไม่เท่ากันนั้นเรียกว่าการเปรียบเทียบเชิงพหุ (Multiple Comparison) ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดต่อไปการวิเคราะห์ความแปรปรวนมีด้วยกันหลายประเภทในที่นี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพียง 2 แบบ คือ

1. การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA)
2. การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-way ANOVA)

หลักการของการวิเคราะห์ความแปรปรวน

หลักเกณฑ์ที่สำคัญในการวิเคราะห์ความแปรปรวน คือ แบ่งความแปรปรวนของข้อมูลทั้งหมดออกตามสาเหตุที่ทำให้ข้อมูลแตกต่างกัน คือความแปรปรวนภายในกลุ่มและความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม โดยที่

ความแปรปรวนรวม = ความแปรปรวนในกลุ่ม + ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม

การวิเคราะห์จึงแบ่งความแปรปรวนของข้อมูลเป็น ดังนี้

1. ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (Between Groups Sum of Square) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ SSB เป็นการวิเคราะห์แปรปรวนที่เกิดจากการที่ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างการทดลองในแต่ละกลุ่มแตกต่างจากค่าเฉลี่ยรวมโดยที่

$$SSB = \sum_{i=1}^{k} n^{i} \, (\overline{x_{i}} - \overline{x} \,)^{2}$$

2. ความแปรปรวนภายในกลุ่ม (Within Group Sum of Square) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ SSE เป็นการพิจารณาความแปรปรวนที่เกิดขึ้นภายในกลุ่มแต่ละกลุ่ม ซึ่งไม่ทราบสาเหตุว่าเป็นความแปรปรวนที่เกิดจากสาเหตุใดในบางครั้งจึงเรียกว่าความคลาดเคลื่อน (Error Sum of Square) โดยที่

$$SSE = \sum_{i=1}^{k} \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \overline{x_i} \,)^{2}$$

3. ความแปรปรวนรวม (Total Sum of Square) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ SST เป็นการพิจารณาความแปรปรวนที่เกิดจากค่าสังเกตแต่ละค่าแตกต่างจากค่าเฉลี่ยรวม โดยที่

$SST = \sum_{i=1}^{k} \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \overline{x_i} \,)^{2}$ และ SST = SSB+SSE

การคำนวณ Sum of Square นอกจากจะคำนวณจากวิธีการข้างต้นแล้วยังมีวิธีการคำนวณที่ปรับให้ง่ายขึ้นดังนี้

$$\text{CM (corrected of Mean)} = \frac{(\sum\sum x_{ij})^{2}}{n}$$

$$\text{SST} = \sum\sum (x_{ij} - \overline{x})^{2}$$

$$= \sum\sum {x_{ij}}^{2} - CM$$

$$\text{SSB} = \sum_{i=1}^{k} n^{i} \, (\overline{x_{i}} - \overline{x} \,)^{2}$$

$$= \sum \left( \frac{(\sum x_{i})^{2}}{n_{i}} \right) - CM$$

SSE = SST-SSB

เงื่อนไขของการวิเคราะห์ความแปรปรวนในการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากร k กลุ่มด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวนมีเงื่อนไขดังนี้

1 ประชากร k กลุ่มมีการแจกแจงแบบปกติ

2 ความแปรปรวนของแต่ละประชากรเท่ากัน

3 ตัวอย่างสุ่มจากแต่ละประชากรเป็นอิสระต่อกัน

สมมติฐานในการทดสอบ

กำหนด $\mu_1$ แทนค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มที่ 1

$\mu_2$ แทนค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มที่ 2

$\mu_k$ แทนค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มที่k สมมติฐานเชิงสถิติ

$H_0 : \mu1 = \mu2 = \mu3 = ...= \mu_k$

$H_1 : \mu1 \neq \mu2 \neq \mu3 \neq ...\neq \mu_k$

**2.7 เครื่องมือคุณภาพ7อย่าง**

ในการควบคุมคุณภาพต้องอาศัยการควบคุมกระบวนการผลิตเป็นเครื่องมือที่ใช้แก้ปัญหาอย่างต่อเนื่องให้กระบวนการผลิตไม่เปลี่ยนแปลงและมีประสิทธิภาพดีขึ้นแต่ในความเป็นจริงไม่มีสิ่งใดในโลกที่จะเหมือนกันทุกประการแม้แต่กระบวนการผลิตในโรงงานก็จะพบว่าชิ้นงานที่ผลิตตามกันออกจากเครื่องจักรเครื่องเดียวกันใช้คนคนเดียวกัน และในเวลาไล่เลี่ยกันก็จะไม่มีชิ้นงานใดที่มีขนาดหรือคุณสมบัติเหมือนกันทุกประการชิ้นงานทีมีคุณสมบัติ ผิดจากมาตรฐานที่กำหนดก็จะถูกคัดออกไปเป็นของเสียและชิ้นงานที่อยู่ในค่าพิกัดความเผื่อหรือข้อกำหนดทางเทคนิคตามมาตรฐานก็จะถูกจัดว่าเป็นของดีสาเหตุคือการแปรผัน (Variation) ในกระบวนการผลิตซึ่งมีสาเหตุมาจากปัจจัยสำคัญ 6 อย่างคือ

1. ความบกพร่องที่เกิดจากการกระทำของบุคคล (Man-Made Error) เกิดจากการขาดความชำนาญซึ่งสามารถแก้ไขความบกพร่องดังกล่าวได้ด้วยการส่งพนักงานเข้ารับการฝึกอบรม

2. เครื่องจักรกล (Machinery) เกิดจากการสึกหลอเนื่องจากการใช้งานแก้ไขโดยการซ่อมบำรุง

3. วิธีการทำงาน (Method of Work) ภายใต้กระบวนการผลิตเหมือนกันแต่มีขั้นตอนการปฏิบัติงานต่างกันแก้ไขโยการสร้างมาตรฐานการปฏิบัติงาน

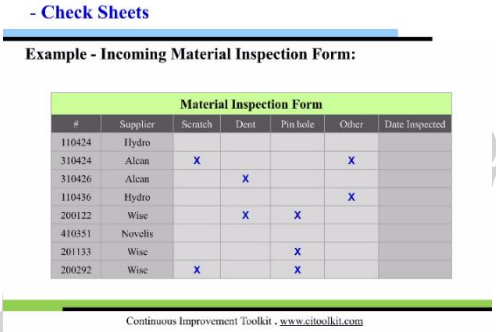
4. วัตถุดิบ (Material) แตกต่างกันเพราะมาจากต้นตอที่แตกต่างกันแก้ไขโดยการควบคุมคุณภาพวัตถุดิบ

5. เครื่องมือวัด (Measurements) เกิดความคลาดเคลื่อนแก้ไขโดยการสอบเทียบเครื่องมือ

6. สภาพสิ่งแวดล้อมในกระบวนการผลิต (Environment) ไม่คงที่แก้ไขโดยการควบคุม เช่น อุณหภูมิไม่คงที่แก้ไขได้โดยการติดตั้งระบบปรับอากาศ หรือความชื้นสูงแก้ไขได้โดยการติดตั้งเครื่องควบคุมความชื้น เป็นต้น

การแปรผัน (Variation) ในกระบวนการผลิตมีทั้งที่เราสามารถควบคุมได้และควบคุมไม่ได้ ซึ่งในสิ่งที่เราสามารถควบคุมได้เพื่อให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพตามที่ต้องการซึ่งเป็นหลักการของการควบคุมคุณภาพ (Quality Control) และเพื่อให้ของเสียหรือข้อบกพร่องลดลงซึ่งมีเครื่องมือที่จะช่วยในการควบคุมคุณภาพอยู่ 7 อย่าง 7 QC Tool ดังต่อไปนี้

1.ใบตรวจสอบ (Check Sheet) เป็นเครื่องมือทางคุณภาพที่ใช้ในการรวบรวมและจัดระเบียบข้อมูลในลักษณะที่ง่ายต่อการวิเคราะห์และการตีความ โดยมักจะใช้ในกระบวนการควบคุมคุณภาพและการปรับปรุงกระบวนการต่างๆ การออกแบบใบตรวจสอบสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความต้องการของแต่ละงาน เพื่อให้เหมาะสมกับข้อมูลที่ต้องการรวบรวม



- Check Sheets

Example - Incoming Material Inspection Form:

Material Inspection Form

| # | Supplier | Scratch | Dent | Pin hole | Other | Date Inspected |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 110424 | Hydro | | | | | |
| 310424 | Alcan | X | | | X | |
| 310426 | Alcan | | X | | | |
| 110436 | Hydro | | | | X | |
| 200122 | Wise | | X | X | | |
| 410351 | Novelis | | | | | |
| 201133 | Wise | | | X | | |
| 200292 | Wise | X | | X | | |

Continuous Improvement Toolkit , www.citoolkit.com

ภาพที่ 12 ตัวอย่างใบตรวจสอบ (Check sheet)

ที่มา : CL Toolkid , Reviewed by Amman, Jordan Global

สืบค้นเมื่อ มกราคม พ.ศ.2566

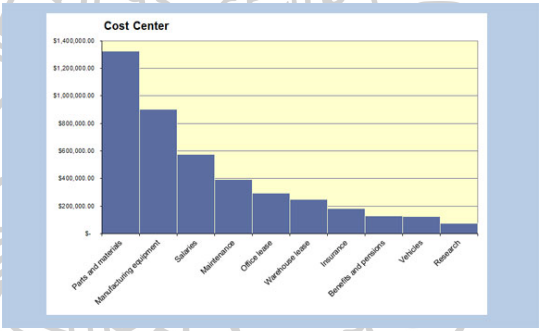
2. แผนผังพาเรโต (Pareto Diagram) แผนภูมิพาเรโต้ (Pareto) เป็นเครื่องมือหนึ่งที่ใช้แสดงรายละเอียดของสิ่งที่เราสนใจในรูปแบบของกราฟผสมระหว่างกราฟแท่งกับกราฟเส้นโดยเรียงลำดับของรายละเอียดในแต่ละหัวข้อตามลำดับความถี่มากไปหาถี่ที่น้อยกว่าตามหลักของกฎ 80 : 20 หรือกฎของเพลโต ที่ว่า สาเหตุหลัก 20% ส่งผลทำให้เกิดผลลัพธ์ 80% เช่น ปัญหางานแตกเกิดจากการขนย้ายซึ่งเป็นปัญหาหลักถ้าเราแก้ไขปัญหาการขนย้ายได้โอกาสที่ของเสียจะลดลงถึง 80% ดังนั้นเราต้องหาสาเหตุหรือต้นตอของปัญหาหลักให้เจอและแก้ไขโดยเร็วที่สุดสำหรับรายละเอียดส่วนใหญ่ที่นำเสนอมีหลายประเภท เช่น ปริมาณของเสีย คุณภาพสินค้า อุบัติเหตุ ความปลอดภัย การส่งมอบ ค่าใช้จ่าย ซึ่งหัวข้อเหล่านี้จะนำไปสู่การแก้ไขปัญหาหรือวางแผนการดำเนินงานต่อไปและพาเรโต้นี้ยังนิยมใช้ประกอบการดำเนินกิจกรรมคิวซีซีเป็นอย่างมากสำหรับประโยชน์ที่ได้รับของพาเรโต้มีหลายประการ อาทิเช่นทำให้ทราบถึงหัวข้อที่มีความถี่สูงสุด เช่น ปัญหาที่มีความสูญเสียมากที่สุด ชนิดของ

ปัญหาที่มีความถี่มากที่สุด ทำให้ทราบอัตราส่วนของปัญหาที่เกิดขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับปัญหาอื่นๆ หรือทำให้ทราบลำดับและความสำคัญของปัญหา เป็นต้น

2.1 สิ่งที่สำคัญจะมีเพียง 20% และที่เหลือจะเป็นสิ่งที่ไม่สำคัญอีก 80% และจำนวนเปอร์เซ็นต์ไม่จำเป็นต้อง 20/80 เสมอไปอาจแตกต่างได้แต่ให้สนใจสิ่งสำคัญเป็นหลัก

2.2 การนำกฎพาเรโต้ไปประยุกต์ใช้ในองค์กรจะเป็นลักษณะทำน้อยแต่ได้ผลลัพธ์มาก และ ทำให้เราสามารถเรียงลำดับความสำคัญว่าสิ่งไหนควรจะต้องพัฒนาก่อนหรือหลัง จะช่วยให้ผู้บริหาร รวมถึงพนักงานสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2.3 เป็นสิ่งที่สามารถพบเห็นทั่วไปในชีวิตประจำวันในองค์กรกระบวนการผลิตหรือทำงาน จนไปถึงงานในระดับประเทศ




ภาพที่ 13 ตัวอย่าง แผนผังพาเรโต (Pareto Diagram)
ที่มา : เว็ปไซต์ www.homeapp.com สืบค้นเมื่อ มกราคม พ.ศ.2566

3. แผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram) คือ เครื่องมือในการค้นหาสาเหตุและผลกระทบที่เกิดขึ้น ช่วยให้คุณสามารถหาสาเหตุของข้อบกพร่องและความล้มเหลวในกระบวนการต่างๆ ในภาษาไทยนิยมเรียกสองแบบคือ แผนภูมิก้างปลาและผังก้างปลา แผนภูมิก้างปลาเป็นหนึ่งในเครื่องมือที่ช่วยวิเคราะห์สาเหตุที่แท้จริงของปัญหา เป็นกระบวนการที่มีโครงสร้างช่วยในการช่วยระบุปัจจัยพื้นฐานหรือสาเหตุของเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์การทำความเข้าใจถึงปัจจัยต่างๆที่เอื้อต่อการทำงานที่เป็นสาเหตุของความล้มเหลวของระบบสามารถช่วยพัฒนาการดำเนินการที่สนับสนุนการแก้ไขได้

ผังก้างปลาตามชื่อเป็นแผนภาพที่เลียนแบบโครงกระดูกปลาปัญหาพื้นฐานถูกวางไว้ในหัวของปลา (หันหน้าไปทางขวา) และสาเหตุจะขยายไปทางซ้ายเช่นเดียวกับโครงกระดูก ก้างปลาแต่ละก้างแสดงถึงสาเหตุสำคัญในขณะที่ก้างย่อยแสดงถึงสาเหตุของแต่ละสาเหตุสำคัญโครงสร้างของผัง

ก้างปลาสามารถแตกแขนงออกไปได้หลายระดับตามความจำเป็นเพื่อหาสาเหตุของปัญหาเหตุผลหลัก 4 ประการในการใช้ผังก้างปลา

1. การแสดงความสัมพันธ์ ผังก้างปลาจะรวบรวมความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลกระทบ ที่เป็นไปได้โดยแสดงในลักษณะของแผนภาพที่เข้าใจได้ง่าย

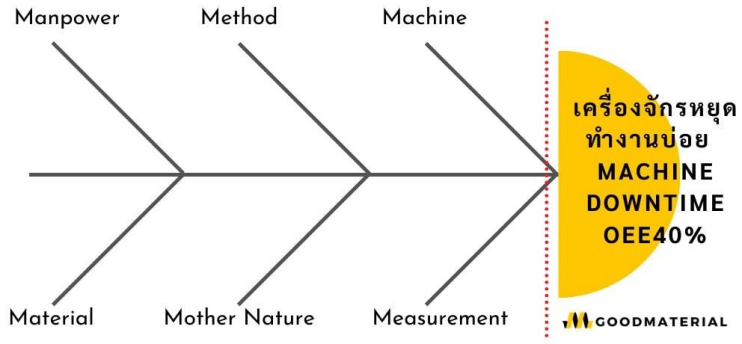
2. แสดงสาเหตุทั้งหมดพร้อมกัน สาเหตุหรือห่วงโซ่สาเหตุใดๆ ที่แสดงอยู่บนผังก้างปลาอาจ ทำให้เห็นถึงสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมดและง่ายต่อการนำเสนอปัญหาต่อผู้มีส่วนร่วม

3. อำนวนความสะดวกในการระดมความคิด ผังก้างปลาเป็นวิธีการที่ยอดเยี่ยมด้วยความที่โครงสร้างเอื้อให้ทุกคนในทีมช่วยกันระดมความคิด การดูผังก้างปลาอาจกระตุ้นให้ทีมของคุณค้นหาวิธีแก้ปัญหาที่เป็นไปได้

4. ช่วยรักษาโฟกัส ผังก้างปลาช่วยให้ทีมของคุณมีสมาธิในขณะที่คุณหารือเกี่ยวกับข้อมูลที่คุณต้องรวบรวม ช่วยให้มั่นใจได้ว่าทีมของคุณรวบรวมข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีประโยชน์สูงสุดไม่มีการเสียเวลาไปกับการไล่ตามปัญหาที่ไม่มีอยู่จริง

สำหรับตัวอย่างโรงงานผลิตเหล็กมีประเด็น 4 ที่ควรพิจารณาได้แก่

1. Machine คือ เครื่องจักร
2. Manpower คือ กำลังคน
3. Mother Nature คือ สภาพแวดล้อม
4. Material คือ วัสดุ




ภาพที่ 14 ตัวอย่างแผนผังก้างปลา

ที่มา : เว็ปไซต์ www.goodmaterial .com สืบค้นเมื่อ มกราคม พ.ศ.2566

4. แผนภูมิ (Graph) หรือแผนภูมิคือการนำข้อมูลตัวเลขข้อมูลที่เก็บในเวิร์คชีตมานำเสนอในลักษณะของกราฟิก เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงสถิติเพื่อเปรียบเทียบค่าออกมาเป็นกราฟิกทำให้เรามองเห็นความต่างของชุดข้อมูล เช่น การเปรียบเทียบสัดส่วนมากหรือน้อยของข้อมูลแต่ละชุด แนวโน้มของตัวเลขที่ขึ้นๆลงๆหรือวิเคราะห์ให้เป็นภาพทำให้มองภาพรวมของข้อมูลได้เด่นชัดและสื่อความหมายได้ดีกว่าการมานั่งอ่านแต่ตัวเลขการสร้างกราฟใน Microsoft office Excel เป็นเรื่องง่าย เพราะจะมีคำสั่งให้สร้างและจัดรูปแบบและได้แบบมืออาชีพโดยเฉพาะ Excel 2013 ที่ได้ปรับปรุงคำสั่งในการจัดการกับกราฟได้ง่ายสะดวก รวดเร็ว และสวยงามยิ่งขึ้น

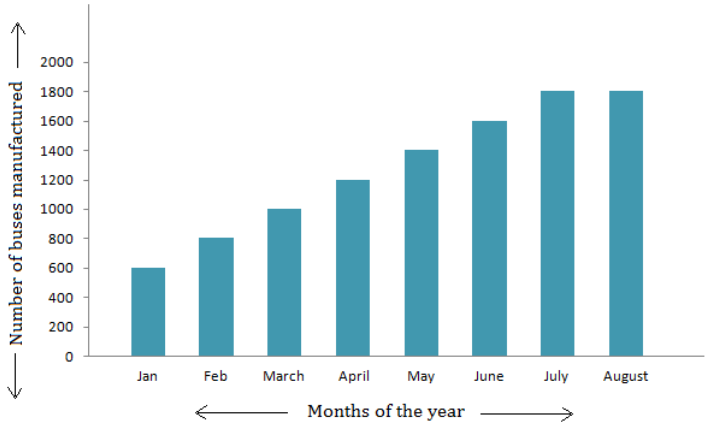
ขั้นตอนของการทำกราฟ มีดังนี้

1. Think คิดวัตถุประสงค์ของการนำเสนอกราฟ และผลลัพธ์สุดท้ายที่อยากได้

2. Prepare เตรียมข้อมูล (เช่น สรุปข้อมูลจาก Data ดิบ)

3. Create สร้างกราฟ

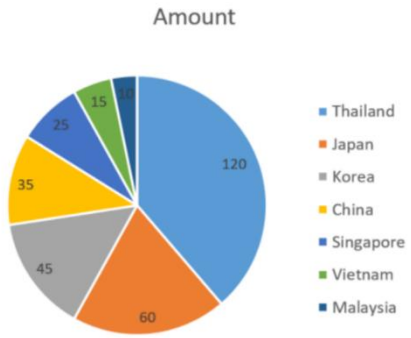
4. Customize ปรับแต่งกราฟ




ภาพที่ 15 ตัวอย่างกราฟแผนภูมิกราฟ

ที่มา : เว็ปไซต์ www. preply.com สืบค้นเมื่อ มกราคม พ.ศ.2566

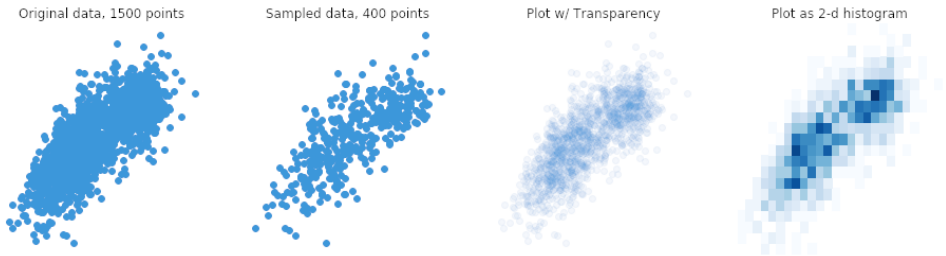
5. แผนภูมิรูปวงกลม (Pie chart) คือ แผนภูมิที่แสดงด้วยรูปวงกลมโดยแบ่งวงกลมออกเป็นส่วนๆ จากจุดศูนย์กลางของวงกลมเป็นการนำเสนอที่ต้องการเปรียบเทียบปริมาณของข้อมูล ซึ่งพื้นที่ในวงกลมแทนปริมาณของข้อมูลต่างๆนิยมคิดข้อมูลให้อยู่ในรูปร้อยละแผนภูมิรูปวงกลม นิยมใช้เมื่อต้องการเปรียบเทียบจำนวนย่อยๆกับจำนวนทั้งหมด พร้อมกับเปรียบเทียบจำนวนย่อยๆด้วยกันเอง เหมาะแก่การนำเสนอข้อมูลจำนวนร้อยละ ( เปอร์เซ็นต์ ) มากกว่าแผนภูมิแบบอื่นๆ




ภาพที่ 16 ตัวอย่างกราฟแผนภูมิวงกลม

ที่มา : เว็ปไซต์ www.reportingenginnering .com สืบค้นเมื่อมกราคม พ.ศ.2566

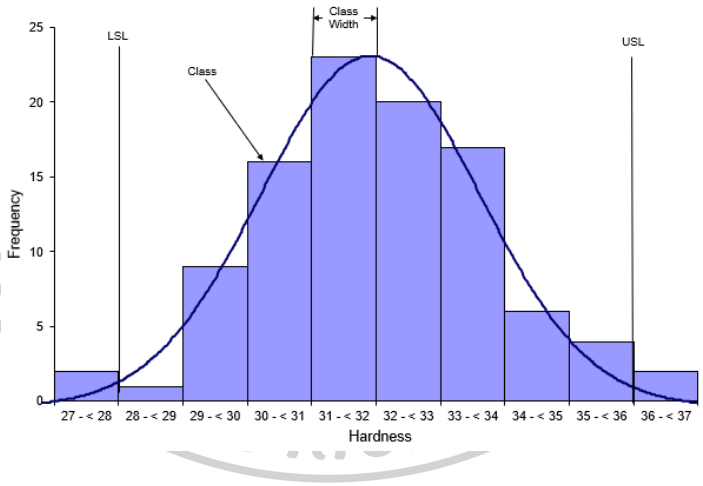
6. แผนผังการกระจาย (Scatter Diagram) หรือ แผนภาพการกระจาย เป็นเครื่องมือทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัว โดยการวาดกราฟแสดงค่าของตัวแปรหนึ่งบนแกนนอน (แกน X) และค่าของตัวแปรอีกตัวหนึ่งบนแกนตั้ง (แกน Y) จุดที่แสดงบนกราฟจะบ่งบอกถึงค่าของตัวแปรทั้งสองตัวสำหรับข้อมูลแต่ละชุด




ภาพที่ 17 ตัวอย่างแผนผังการกระจาย

ที่มา : เว็ปไซต์ www.chartio.com. สืบค้นเมื่อ มกราคม พ.ศ.2566

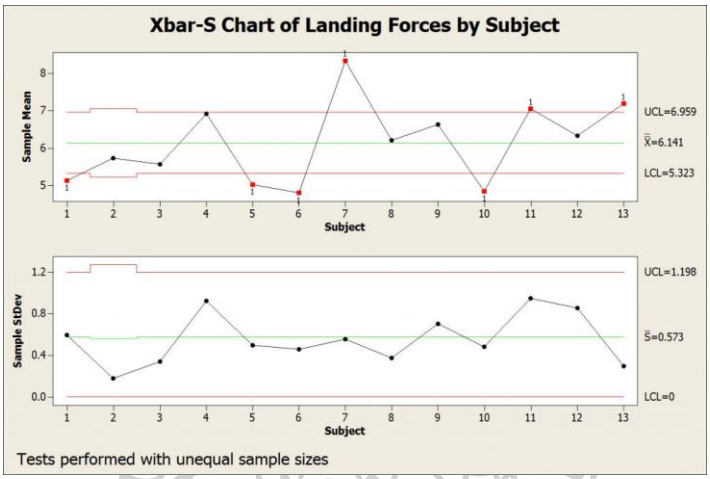
7. ฮิสโตแกรม (Histogram) คือ กราฟแท่งแบบเฉพาะที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเป็นหมวดหมู่ที่เรียกว่าชั้นข้อมูลกับความถี่ของข้อมูลเพื่อดูการกระจายของข้อมูล ลักษณะของข้อมูลที่เป็นหมวดหมู่จะเรียงลำดับจากน้อยไปหามากโดยจำนวนหมวดหมู่ของข้อมูลจะจัดตามความเหมาะสม โดยแกนตั้งจะเป็นตัวเลขแสดง“ความถี่”และแกนนอนจะเป็นข้อมูลคุณสมบัติของสิ่งที่เราสนใจ แท่งกราฟแต่ละแท่งจะมีความกว้างเท่ากันซึ่งเท่ากับกว้างของชั้นข้อมูลส่วนความสูงของกราฟแต่ละแท่งนั้นจะสูงเท่ากับจำนวนความถี่ของแต่ละชั้นข้อมูล ในอุตสาหกรรมเรามักจะมีการใช้เครื่องมือฮิสโตแกรม (Histogram) ในการวิเคราะห์ข้อมูลของผลิตภัณฑ์อยู่เป็นประจำ เพื่อวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการว่าเป็นไปตามแผนที่วางไว้หรือไม่ การวิเคราะห์ฮิสโตแกรม (Histogram) ที่ลึกซึ้งจะช่วยให้เราเข้าใจธรรมชาติของผลิตภัณฑ์และกระบวนการ นอกจากนี้ยังจะช่วยให้เราหาแนวทางการวิเคราะห์ข้อมูลและแนวทางการปรับปรุงงานที่เหมาะสมในขั้นตอนต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ข้อมูลที่ถูกเลือกมาจากกระบวนการผลิตในแต่ละวันไม่ว่าจะมาจากสายงานการผลิตหรือมาจากสินค้าที่บรรจุเป็นลอตย่อมจะมีความแตกต่างกันในค่าคุณสมบัติที่วัดได้




ภาพที่ 18 ตัวอย่างแผนผังฮิสโตแกรม

ที่มา : เว็ปไซต์ www.spcforexcel.comสืบค้นเมื่อ มกราคม พ.ศ.2566

8. แผนภูมิควบคุม (Control chart) แผนภูมิควบคุมเป็นเครื่องมือทางสถิติที่ใช้ควบคุมคุณภาพการผลิตมีหลักการทางสถิติที่ว่าข้อมูลที่ได้จากกระบวนการผลิตมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) จะมีพารามิเตอร์เข้ามาเกี่ยวข้อง 2 ค่า คือ ค่าเฉลี่ย (m) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (s)




ภาพที่ 19 ตัวอย่างแผนภูมิควบคุม

ที่มา : เว็ปไซต์ www.solutioncenterminitab.com สืบค้นเมื่อ มกราคม พ.ศ.2566

## 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธรเดชา คำแพงนนท์ (2556) ได้ศึกษาต้นทุนรวมของการเชื่อมท่อกลมด้วยไฟฟ้าฟลั๊กซ์และกระบวนการเชื่อมใต้ฟลั๊กซ์และวิเคราะห์หาท่าเชื่อมที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อม โดยใช้วิธีทางเศรษศาสตร์วิศวกรรมโดยในการวิจัยครั้งนี้แบ่งจำแนกต้นทุนออกเป็น 4 ส่วนคือ ต้นทุนลวดเชื่อม, ต้นทุนค่าแรงงาน, ต้นทุนค่าพลังงาน, และต้นทุนค่าเสื่อมราคาซึ่งจะพบว่าสำหรับท่าเชื่อม 1G ในกระบวนการเชื่อมแบบ SMAW นั้นเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ต้นทุนรวมของกระบวนการเชื่อมเพิ่มขึ้นโดยจะพบว่าต้นทุนรวมของกระบวนการเชื่อมแบบ SMAW จะมีค่าสูงกว่าต้นทุนรวมของกระบวนการเชื่อมแบบSAWโดยจะศึกษาข้อมูลที่แปรผันตามกันไปของแต่ละปัจจัยและตัวแปรที่แตกต่างกัน

นาย อดิศักดิ์วงศ์ดียิ่ง (2559) ได้ศึกษาการลดของเสียในกระบวนการฉีดท่อพีวีซีเพื่อวัตถุประสงค์คือการลดของเสียจากการผลิตท่อพีวีซีโดยใช้วิธีการ ออกแบบการทดลอง (Design and Analysis of Experiment: DOE) โดยได้ศึกษากระบวนการผลิต ท่อพีวีซีของบริษัทกรณีศึกษา พบว่าปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อการผลิตท่อพีวีซีมากที่สุดคือ ปัญหา ชิ้นงานมีรอยไหม้จึงใช้หลักการ 4M1E

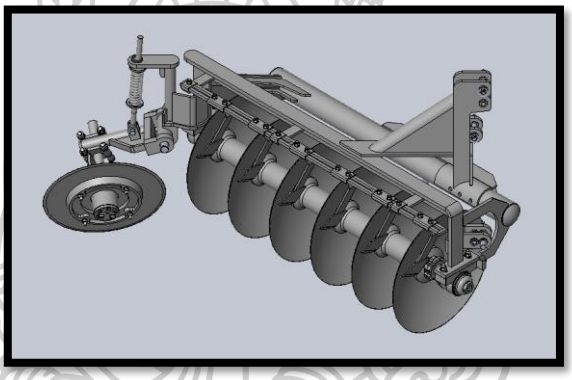
จำแนกสาเหตุของ ปัญหาที่มีอิทธิพลกับของเสีย พบว่าปัญหา เกิดในส่วนของ ขั้นตอนการปรับตั้งค่าปัจจัยการให้ความร้อนในการผลิตซึ่งปัจจัยทั้งหมดมี 4 ปัจจัยคือ 1. อุณหภูมิในการอุ่นเม็ดพลาสติก 2. อุณหภูมิในการเริ่มหลอมเม็ดพลาสติก 3. อุณหภูมิในการหลอมเม็ดพลาสติก 4. อุณหภูมิในการฉีดพลาสติกเหลว ดังนั้นจึงใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบเต็ม รูปแบบ 2 ระดับ (2k Full Factorial Design) เพื่อศึกษาอิทธิพลที่เกิดกับของเสียของทั้ง 4 ปัจจัย และวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสม โดยใช้หลักการ Response Optimization เพื่อหาระดับปัจจัยที่ เหมาะสมที่สุดในการผลิต ซึ่งการปรับตั้งค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสามารถลดของเสียจากรอยไหม้ลง 63.9% คิดเป็นมูลค่า 86,460 บาทต่อเดือน หรือ 1,037,520 บาทต่อปี

นางสาว จิดาภา เบ้าบัวเงิน (2562) ได้ทำการพัฒนาประสิทธิภาพการผลิตในกระบวนการเชื่อม โดยลดปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องจากกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ด้วยกระบวนการเชื่อมต้านทานแบบปุ่ม (Resistance Projection Welding) โดยศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพชิ้นงานและระดับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเครื่องจักร ด้วยการประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม (Design of Experiment: DOE) กับกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์กรณีศึกษาแห่งหนึ่ง ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลผลิตภัณฑ์บกพร่ องของงานเชื่อมนัทขนาด M4x ซึ่งมีสัดส่วนปริมาณของเสียมากที่สุด คิดเป็น 9.52% โดยใช้แผนภูมิสาเหตุและผลเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาและหาสาเหตุพบว่าเกิดจากการตั้งค่าระดับปัจจัยที่ใช้ในเครื่องจักรไม่เหมาะสมซึ่งมีทั้งหมด 3 ปัจจัย ได้แก่ เวลาในกระบวนการเชื่อม กระแสไฟในการเชื่อมและแรงดันหัวทิปของเครื่องจักร ผู้วิจัยออกแบบการทดลองแบบ 2 ระดับ สำหรับคัดกรองปัจจัยที่ไม่ส่งผลต่อกระบวนการผลิตและใช้การออกแบบการทดลอง 3 ระดับ สำหรับวิเคราะห์ระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด ผลการวิจัยพบว่าปัจจัยที่ส่งผลคือเวลาในกระบวนการเชื่อมและกระแสไฟในการเชื่อมโดยมีระดับปัจจัยเท่ากับ 8 Cycle หรือ 1.76 วินาทีและ 10,500 mA ตามลำดับ เมื่อนำระดับปัจจัยมาปรับตั้งในกระบวนการผลิตทำให้สามารถลดปริมาณผลิตภัณฑ์ภัณฑ์บกพร่องของปัญหานี้ได้ถึง 59.14% จากที่ตั้งเป้าหมายไว้ 20%

# บทที่ 3

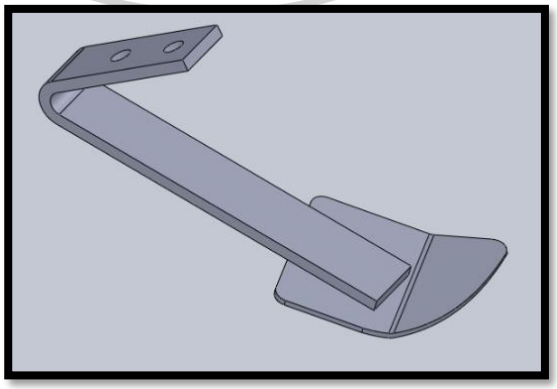
## วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้ผู้ทำการทดลองจะแสดงถึงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย โดยผู้ทำการทดลองจะใช้หลักการออกแบบการทดลองคือ วิธีการเชิงสถิติ (DOE) โดยมีเป้าหมายคัดกรองหาค่าที่เหมาะในการเชื่อมมีตัวแปร 3 ตัวแปรคือ กระแสไฟฟ้า (Amperage), ความเร็วขณะเชื่อม (Welding speed), ปริมาณแก๊สที่ปกคลุม (Gas volume) ทดลองกับเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 โดยได้นำใบแซะดินซึ่งเป็นส่วนประกอบของผานพรวนดิน ดังภาพที่ 20 มาเพื่อปรับปรุงรอยเชื่อมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเพื่อที่จะนำไปปรับปรุงกระบวนการผลิตการเชื่อมในโรงงานกรณีศึกษาแห่งหนึ่งเพื่อให้สอดคล้องกับงานวิจัย



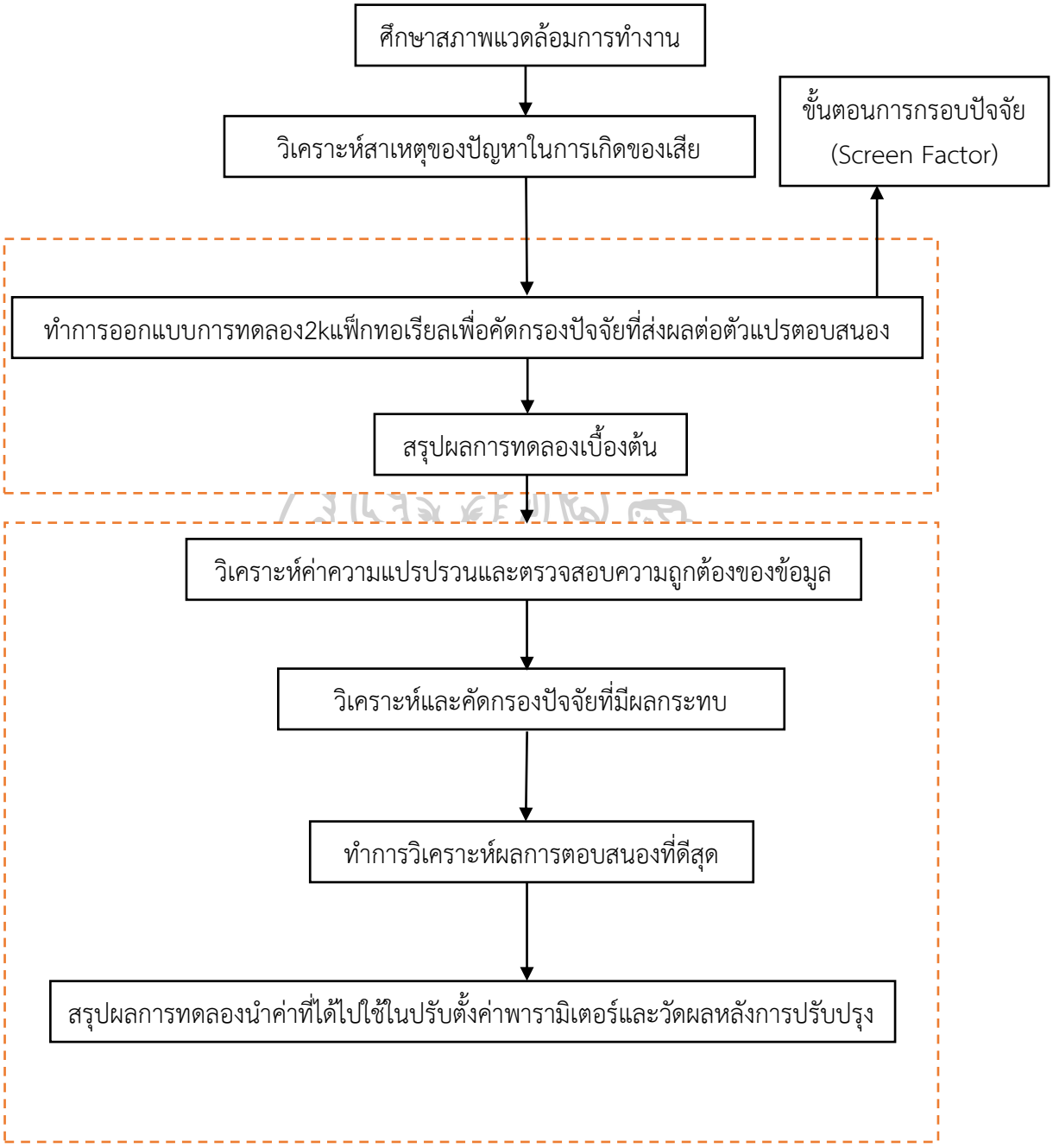
ภาพที่ 20 ภาพแสดงโมเดลชิ้นงานที่สนใจเพื่อนำมาปรับปรุง

โดยชิ้นงานที่เราสนใจที่ต้องปรับปรุงจะเป็นชิ้นส่วนของโมเดลที่กล่าวมาข้างต้นซึ่งมีหน้าที่แซะดินในขณะที่ทำการไถซึ่งมีชื่อว่า ใบแซะดิน ซึ่งแสดงดังรูปภาพที่ 21



ภาพที่ 21 ใบแซะดิน

**3.1ขั้นตอนการดำเนินงาน**

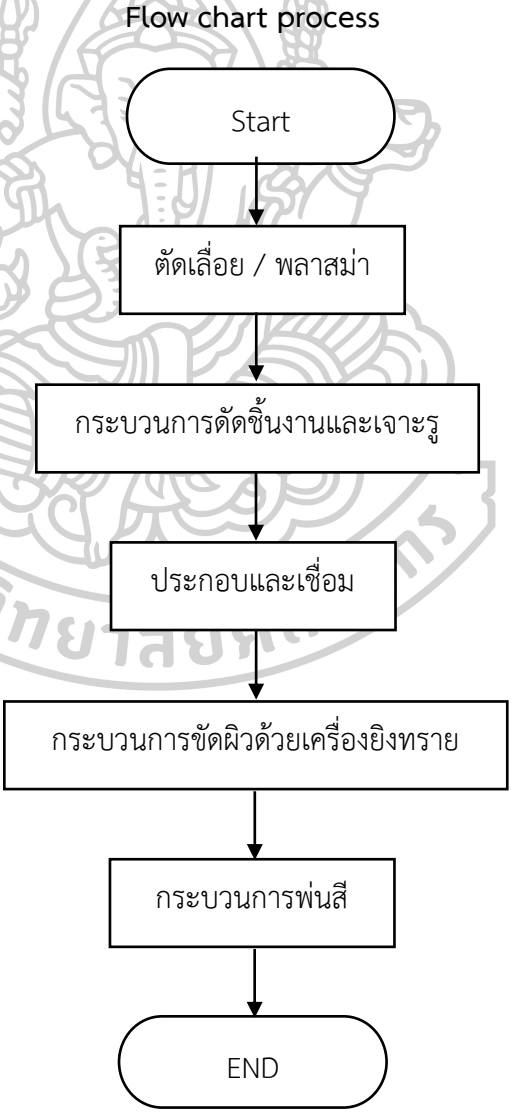



ในขั้นตอนแรกสุดผู้ทำการทดลองหาสาเหตุของปัญหาตั้งแต่ต้นทางเริ่มจากวิเคราะห์กระบวนการไหลของเพื่อจะได้เก็บข้อมูลว่าเกิดข้อผิดพลาดตั้งแต่กระบวนการไหนเมื่อผู้ทดลองได้ข้อมูลมาแล้วจะเป็นการกำหนดปัจจัยที่มีผลกระทบทั้งหมดเพื่อนำไปใส่ค่าตัวแปรลงในโปรแกรม Minitab และเลือกทดลองแบบสุ่มเพื่อหาค่าที่เหมาะสม ซึ่งในขั้นตอนแรกนั้นเราจะให้อยู่ในระดับ $2^k$ เพื่อแยกแยะเพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบตอบสนองต่อต่อแปรโดยตรง ต่อมาเมื่อทำการทดลองแล้วผู้ทำการทดลอง

ทำการออกแบบการทดลองแฟ็กทอเรียลแบบสมบูรณ์ ซึ่งจะได้ข้อสรุปผลที่คัดกรองสมบูรณ์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการเชื่อมอย่างแท้จริง โดยทั้งสองครั้งนั้นจะใช้โปรแกรม Minitab ช่วยในการวิเคราะห์เหมือนกันทั้งหมด เมื่อได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดแล้วให้นำมาพร็อตกราฟเพื่อสรุปผลการทดลองและทำการปรับปรุงแก้ไขต่อไป

**3.2 ศึกษาข้อมูลทั่วไป**

3.2.1 ข้อมูลกระบวนการผลิตศึกษาเก็บข้อมูลตั้งแต่ต้นทางระหว่างกระบวนการ และปลายทางเพื่อศึกษาว่าอาจจะมีปัจจัยภายนอกเข้ามาเกี่ยวข้องหรือไม่ซึ่งผู้ทำการทดลองได้สรุปออกมาดังนี้



เมื่อศึกษากระบวนการไหลแล้วทำให้ผู้ทดลองได้เข้าใจสภาพการทำงานของแต่ละสถานีมากขึ้นและได้ตรวจสอบทุกกระบวนการทำให้รู้ว่าปัญหานั้นส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่กระบวนการประกอบและเชื่อมเป็นหลักซึ่งข้อผิดพลาดนั้นอาจจะเกิดจากกระบวนการวางชิ้นงานขณะประกอบความชำนาญของผู้ที่รับผิดชอบในกระบวนการนั้นๆด้วย

ภาพที่ 22 ตัวอย่างใบแซะดินที่เป็นของเสียในระบบ

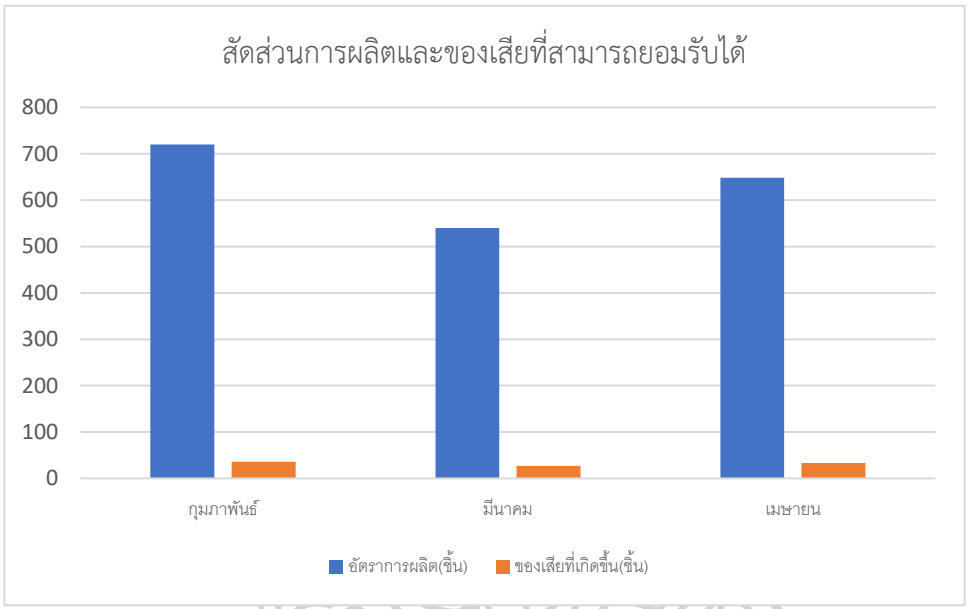
แต่ปัจจัยที่สำคัญที่ผู้ทดลองสนใจจะปรับปรุงคือค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการเชื่อมซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดและปัญหาส่วนใหญ่ที่เกิดคือแนวซึมลึกของแนวเชื่อมโดยผู้ทดลองได้เก็บข้อมูลในแต่ละเดือนย้อนหลังจึงทราบว่าของเสียที่เกิดจากกระบวนการเชื่อมมีดังนี้คือ

ตารางที่ 8 แสดงถึงยอดการผลิตชิ้นงานตัวอย่างที่เกิดของเสียในระบบ

| **เดือน** | **จำนวนที่ผลิต** | **ของเสีย** | **สัดส่วนของเสีย (%)** |
|---|---|---|---|
| มีนาคม 2566 | 720 | 144 | 20 |
| เมษายน 2566 | 540 | 65 | 12 |
| พฤษภาคม 2566 | 840 | 98 | 12 |

โดยในกระบวนการเชื่อมด้วยหุ่นยนต์เชื่อมอุตสาหกรรมครั้งนี้ผู้ทำการทดลองต้องหารให้ของเสียที่เกิดขึ้นนั้นต้องไม่มากเกินกว่า 5% ของกระบวนการทำงานตามที่บริษัทกำหนดไว้เนื่องจากเห็นว่ากระบวนการนี้เป็นกระบวนการเชื่อมอัตโนมัติซึ่งไม่ควรที่จะเกิดของเสียเกินค่าที่กำหนดไว้

ตารางที่ 9 แผนภูมิแสดงอัตราการผลิตและของเสียที่สามารถยอมรับได้




3.2.2 ศึกษาสภาพการทำงานของชิ้นงานที่นำมาทำการวิจัย

3.2.2.1 ในกระบวนการผลิตผานพรวนที่ใช้สำหรับขุดร่องหน้าดินก่อนที่จะทำการเพาะปลูกซึ่งใน ผลิตภัณฑ์นี้ที่ทำหน้าที่แซะดินให้ออกจากแผ่นจานไถ

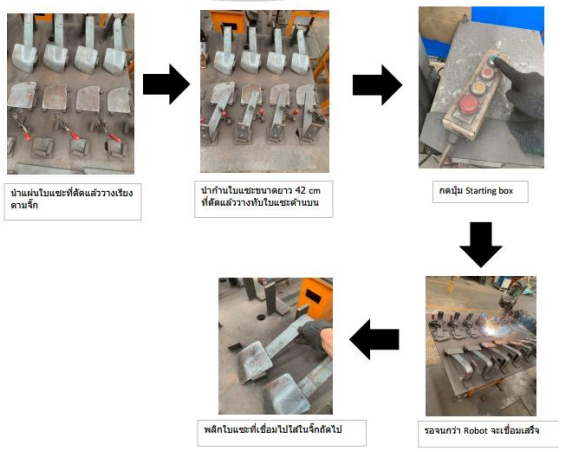
ภาพที่ 23 แสดงให้เห็นถึงหน้าที่ของใบแซะดิน

ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนนั้นผู้ทดลองได้ศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับวัสดุที่ใช้คือเหล็กแบนขนาดความกว้าง 2 นิ้ว หนา 3 หุน และยาว 42 เซนติเมตร โดยลักษณะเป็นไปตามดังภาพที่ 23 ที่ปรากฏในข้างต้นซึ่งรับมาจากกระบวนการดัดเสร็จสิ้นเรียบร้อยและชิ้นงานอีกชิ้นที่เรียนว่าแผ่นใบแซะดินซึ่งมีขนาดความหนา 6 มิลลิเมตรโดยที่ทั้งหมดจะต้องเชื่อมประสานแนวกัน

3.2.2.2 อธิบายลักษณะของเสียที่เกิดจากการเชื่อมโดยไม่มีค่าที่เหมาะสมนั้นน้ำลวดเชื่อมไม่ซึมเข้ากับเนื้อชิ้นงานอีกชิ้นอย่างเหมาะสมเกิดฟองอากาศภายในชิ้นงาน ชิ้นงานทะลุเนื่องจากกระแสไฟที่มากเกินไปซึ่งปัญหาทั้งหมดผู้ทำการทดลองได้เก็บข้อมูลมาจากการใช้งานจริงจึงทราบว่าเกิดจากมีค่าพารามิเตอร์ที่แตกต่างไป

ภาพที่ 24 ตัวอย่างชิ้นงานที่น้ำลวดเชื่อมไม่ซึมผสานกับเนื้อชิ้นงาน

3.2.2.3 กระบวนการผลิตที่มีหลายขั้นตอนนั้นมีโอกาสเกิดข้อผิดพลาดได้ง่ายกว่าซึ่งหนึ่งในกระบวนการที่มีข้อผิดพลาดมากนั่นคือการเชื่อมโดยมีการแสดงขั้นตอนดังต่อไปนี้




ภาพที่ 25 แสดงขั้นตอนของการทำงานในกระบวนการเชื่อมใบแซะดิน

3.2.2.4 อธิบายขั้นตอนการเชื่อมอย่างละเอียด

3.2.2.4.1 นำแผ่นใบแซะขนาด 4.5 มิลลิเมตรวางบน Jig เชื่อมในแนบเข้าตาม Jig และนำเหล็กแบนที่มีขนาด 3 หุนวางบนแผ่นใบแซะ

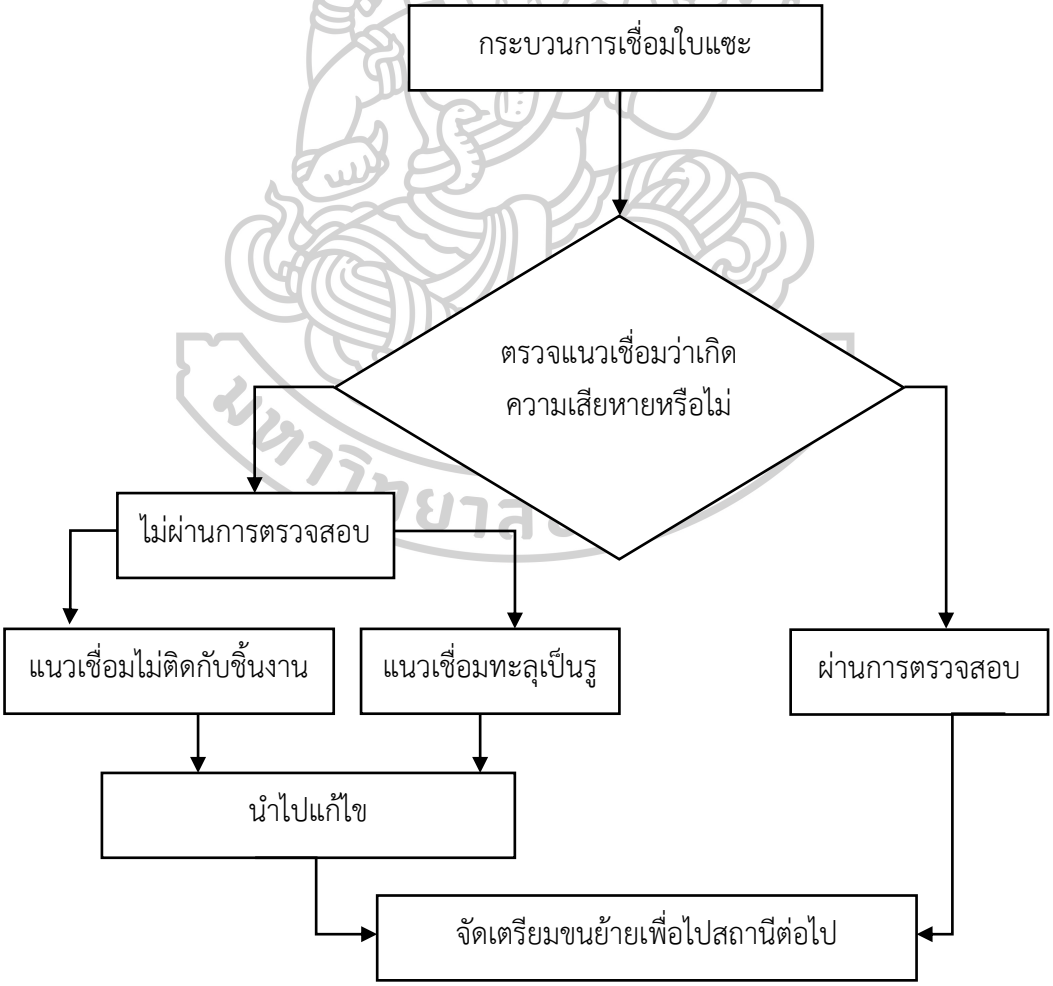
3.2.2.4.2 ตรวจสอบการวางพร้อมทั้งกดแคมป์ล็อคชิ้นงานให้เสมอ

3.2.2.4.3 กดปุ่ม Starting box ซึ่งเป็นอุปกรณ์ของแขนกลเชื่อมเพื่อเชื่อมและรอจนกว่าจะเชื่อมเสร็จ

3.2.2.4.4 พลิกใบแซะดินเพื่อเชื่อมด้านอีกฝั่ง

3.2.2.4.5 เมื่อเสร็จแล้วจะได้ใบแซะดินที่เชื่อมเสร็จรอบด้านและนำไปสถานีต่อไป

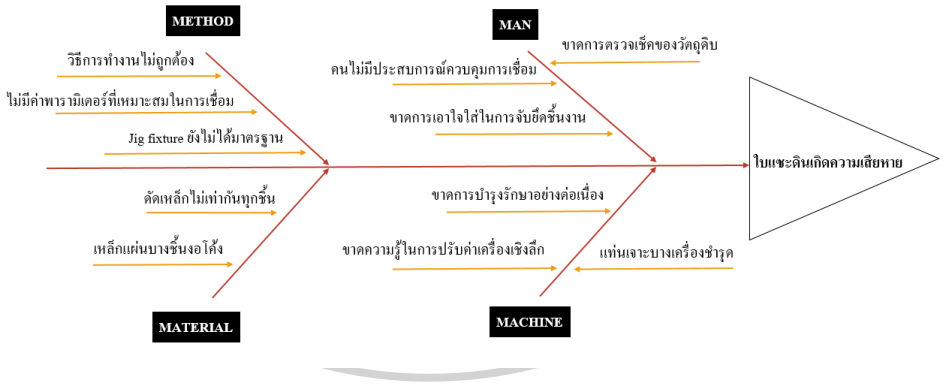
ขั้นตอนการคัดกรองชิ้นงานในกระบวนการ



### 3.3 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

3.3.1 ปัญหาพบของเสียในระบบซึ่งสาเหตุหลักนั้นมาจากกระบวนการเชื่อมดังนั้นผู้ทำการทดลองจึงรวบรวมปัญหาต่างๆโดยเครื่องมือที่อ้างอิงคือ แผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram or Cause and Effect) มาช่วยในการวิเคราะห์เพื่อค้นหาปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการเกิดของเสีย

3.3.2 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเพื่อทำการแก้ไขจากหลักการ 4 M ที่นำไปสู่การระบุปัจจัยในการออกแบบการทดลอง ได้แก่ คน (Man), วัตถุดิบ (Material), วิธีการ (Method), เครื่องจักร (Machine) ซึ่งในการวิเคราะห์เพื่อค้นหาปัจจัยที่เป็นสาเหตุผู้วิจัยได้ทำการระดมความคิดจากผู้เชี่ยวชาญจากฝ่ายวิศวกรรมการผลิตวิเคราะห์ปัญหาตามหลักการบนข้อเท็จจริงเพื่อหาปัจจัยหลักที่จะใช้ในการออกแบบการทดลอง โดยวิเคราะห์ในกระบวนการผลิตเริ่มจากการจากการปฏิบัติงานของพนักงาน วัตถุดิบที่ใช้และเครื่องจักรที่ใช้ รวมถึงขั้นตอนและชิ้นงานที่เกิดปัญหาของเสียตามลำดับสามารถวิเคราะห์สาเหตุได้ดังนี้ภาพที่แผนผังก้างปลาสรุปสาเหตุต่างๆที่เกี่ยวข้องทั้งหมด




ภาพที่ 26 แผนผังก้างปลาแสดงปัญหาในกระบวนการเชื่อมใบแซะดิน

ตารางที่ 10 การวิเคราะห์ 4 M เพื่อหาสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา

| ปัญหา 4 M | | | |
|---|---|---|---|
| ปัจจัย | ปัญหา | ผลกระทบ | การแก้ไข |
| คน | • คนไม่มีประสบการณ์ควบคุมการเชื่อม<br>• ขาดการเอาใจใส่ในการจับยึดชิ้นงาน | • ชิ้นงานเกิดความเสียหายจากการวางใส่ jig ไม่เรียบร้อย | • มีกิจกรรมเข้าฝึกอบรมในการปฏิบัตรงาน<br>• คัดพนักงานที่มีความสามารถเฉพาะด้านมาควบคุม |
| วัตถุดิบ | • เหล็กแผ่นบางชิ้นงอโค้ง<br>• เหล็กแผ่นบางรอบสั่งมาไม่เท่ากันทุกครั้ง | • ไม่มีผลกระทบที่ทำให้เกิดของเสีย | • ตรววจเช็คก่อนตัดชิ้นงานทุกครั้ง |
| เครื่องจักร | • ขาดการบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่อง<br>• ขาดความรู้ในการปรับค่าเครื่องเชิงลึก<br>• แท่นเจาะบางเครื่องชำรุด<br>• | • ชิ้นงานต้นทางอาจจะเข้า Jig อาจจะประกอบไม่ได้<br>• ชิ้นงานเกิดความเสียหาย | • หมั่นตรวจสอบเช็คเครื่องจักร<br>• ทำ check list ประวัติการซ่อมบำรุงอยู่เสมอ |
| วิธีการ | • วิธีการทำงานไม่ถูกต้อง<br>• ไม่มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการเชื่อม<br>• Jig fixture ยังไม่ได้มาตรฐาน | • งานที่ออกมาไม่ได้คุณภาพ<br>• รอยเชื่อมไม่ซึมลึกผสานด้วยกัน<br>• ชิ้นงายเสียหาย | • กำหนดปัจจัยต่างๆที่มีผลกระทบต่อชิ้นงานและทำการแก้ไข |

หลังจากวิเคราะห์ปัญหาทั้งหมดจะสรุปได้ว่าวิธีการเป็นปัญหาสำคัญที่มีผลกระทบมากที่สุดของระบบนี้ คือมีตัวแปรที่สำคัญคือ กระแสไฟฟ้า ความเร็วขณะเชื่อม และปริมาณแก๊สที่ปกคลุม จึงนำมาเป็นปัจจัยในการทดลองในลำดับถัดไป

### 3.4 กำหนดปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของการเชื่อม

การออกแบบการทดลอง 2 ระดับ ($2^k$ Factorial Experiment) จะใช้การเปลี่ยนแปลงตัวแปรในระดับที่แตกต่างกันเพื่อทดสอบการเปลี่ยนไปของผลลัพธ์ต่างๆที่เราสนใจใช้ตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม

ตารางที่ 11 แสดงตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม

| ตัวแปรอิสระ | ตัวแปรตาม |
|---|---|
| 1. กระแสไฟฟ้า<br>2. ความเร็วขณะเชื่อม<br>3. ปริมาณแก๊สที่ปกคลุม | 1. ค่าที่เหมาะสมที่สุดในการเชื่อมโดยทดสอบจากการดึงหรือ tensile test (% Yield) |

ในกระบวนการผลิตชิ้นงานเชื่อมมีปัจจัยหลายอย่างที่ส่งผลต่อชิ้นงานเชื่อมอื่นๆอีกด้วย เช่น ขนาดของลวดเชื่อม ระยะหัวอาร์คกับชิ้นงาน อัตราความเร็วของลวดที่ป้อนให้กับชิ้นงาน เป็นต้น แต่ผู้ทำการทดลองจะตั้งค่าปัจจัยนี้ให้เท่ากันและจะกำหนดให้ใช้แรงดันไฟเท่ากับ **25 Volt** และเหตุผลที่เลือกบางตัวแปรมีดังนี้

1. การเลือกตัวแปรที่มีผลกระทบต่อผลลัพธ์โดยตรง การเลือกตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ตรงๆกับผลลัพธ์ที่สนใจ เช่น ขนาดของลวดเชื่อมอาจมีผลต่อความแข็งแรงของการเชื่อม

2. ความสำคัญของตัวแปรผู้ทำการทดลองสนใจในตัวแปรที่มีความสำคัญมากกว่าตัวแปรอื่นเหล่านี้อาจถูกเลือกเป็นตัวแปรที่สำคัญในการทดลองหรือวิจัย

3. ความเที่ยงตรงของหุ่นยนต์เชื่อมสามารถช่วยให้การเลือกตัวแปรที่มีนัยสำคัญง่ายขึ้น

4. การควบคุมตัวแปรอื่นผู้ทดลองอาจต้องการควบคุมตัวแปรอื่นๆเพื่อให้สามารถวิเคราะห์ผลของตัวแปรที่สนใจได้แม่นยำดังนั้นผู้ทำการทดลองได้ทำการกำหนดตัวแปรไว้ 3 ตัวแปรที่สำคัญในกระบวนการเชื่อม คือ

3.4.1 กระแสไฟฟ้า

ผู้ทดลองกำหนดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้คือ 170 A เนื่องจากต้องการให้สอดคล้องกับการทำงานจริง ดังภาพที่ 27 โดยให้ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดคือ 200 A เป็นค่าที่แผ่นเหล็กขนาดความหนา 4.5 mm จะไม่เกิดการทะลุซึ่งจะทำให้มีผลต่อการใช้งาน

ภาพที่ 27 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้งานปัจจุบัน

3.4.2 ความเร็วขณะเชื่อม

ความเร็วของการเดินเชื่อมกำหนดให้มีความเร็วระหว่าง 0.35 m/min และ 0.45 m/min ซึ่งเป็นความเร็วมาตฐานในการทำงานปัจจุบันเพราะสัมพันธ์กับอัตราการป้อนของลวดเชื่อมที่หุ่นยนต์เชื่อมใช้งานอยู่ผู้ทำการทดลองจึงคัดมาพิจารณาเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

3.4.3 ปริมาณแก๊สที่ปกคลุม

ผู้ทำการทดลองได้ข้อมูลพิจารณาคัดเลือกระดับปริมาณแก๊สที่ปกคลุมโดยค่ามาตฐานการเชื่อมด้วยวิธีการMIG มีตั้งแต่ 15 L/min ถึง 20 L/min ปรับค่าใช้งานขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม

ภาพที่ 28 เกจปรับแรงดันที่ใช้อยู่ในระดับในปัจจุบัน

โดยจะนำความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรนำค่าพารามิเตอร์มาใส่ลงในโปรแกรม Minitab เพื่อเป็นตัวช่วยทดลองในส่วนของการออกแบบการทดลอง DOE (Design of Experiment) โดยกำหนดให้ความสัมพันธ์โดยที่ค่าที่ใช้งานในปัจจุบันคือ 170 A และ 200 A ความเร็วขณะเชื่อมที่ใช้ปัจจุบันคือ 0.35 m/min และ 0.45 m/min ใช้ปริมาณแก๊สที่ปกคลุมที่ 15 L/min และ 20 L/min

ตารางที่ 12 กำหนดปัจจัยและตัวแปร

| Factor | สัญลักษณ์ | Number of Factor | | หน่วย |
|---|---|---|---|---|
| | | ระดับต่ำ (+) | ระดับสูง (-) | |
| 1. กระแสไฟฟ้า | A | 170 | 200 | A |
| 2. ความเร็วขณะเชื่อม | B | 0.35 | 0.45 | m/min |
| 3. ปริมาณแก๊สปกคลุม | C | 15 | 20 | l/min |

ผู้ทำการทดลองแบ่งระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลองจากนั้น ผู้ทำการทดลองตั้งสมมติฐานที่ใช้ในการทดลองดังนี้

**3.5 การตั้งสมมติฐาน**

โดยมีตัวแปรดังนี้

$\alpha$ คือ กระแสไฟฟ้า

$\beta$ คือ ความเร็วขณะเชื่อม

$\gamma$ คือ ปริมาณแก๊สที่ปกคลุม

โดยที่ I, j, k และ l คือระดับปัจจัยของ $\alpha$ $\beta$ $\gamma$ ตามลำดับ และมีระดับดังนี้คือ i=1,2,...,a j=1,2,...,b k=1,2,...,c และ l=1,2,...,d

**สมมติฐานที่ 1** ค่าของกระแสไฟฟ้า (A) มีผลต่อความซึมลึกของแนวเชื่อม

H0: $\alpha_i = 0$ i = 1,2,...,a H1 : $\alpha_i \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับ 0

**สมมติฐานที่ 2** ค่าของความเร็วขณะเชื่อม (B) มีผลต่อความซึมลึกของแนวเชื่อม

H0: $\beta_j = 0$ j = 1,2,...,b H1: $\beta_j \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับ 0

**สมมติฐานที่ 3** ค่าของปริมาณแก๊สที่ปกคลุม (C) มีผลต่อความซึมลึกของแนวเชื่อม

H0: $\gamma_k = 0$ k = 1,2,...,c H1: $\gamma_k \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับ 0

**สมมติฐานที่ 4** ผลกระทบร่วมระหว่างค่าของกระแสไฟฟ้า (A) และค่าของความเร็วขณะเชื่อม (B) มีผลต่อความซึมลึกของแนวเชื่อม

H0: $(\alpha\beta)_{ij} = 0$ H1: $(\alpha\beta)_{ij} \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับ 0

**สมมติฐานที่ 5** ผลกระทบร่วมระหว่างค่าของกระแสไฟฟ้า (A) และค่าของปริมาณแก๊สที่ปกคลุม (C) มีผลต่อความซึมลึกของแนวเชื่อม

H0: $(\alpha\gamma)_{i\,k} = 0$ H1: $(\alpha\gamma)_{ik} \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับ 0

**สมมติฐานที่ 6** ผลกระทบร่วมระหว่างค่าของความเร็วขณะเชื่อม (B) และค่าของปริมาณแก๊สที่ปกคลุม (C) มีผลต่อความซึมลึกของแนวเชื่อม

H0: $(\beta\gamma)_{j\,k} = 0$ H1: $(\beta\gamma)_{j\,k} \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับ 0

**สมมติฐานที่ 7** ผลกระทบร่วมระหว่างค่าของกระแสไฟฟ้า (A) **6** ผลกระทบร่วมระหว่างค่าของความเร็วขณะเชื่อม (B) และค่าของปริมาณแก๊สที่ปกคลุม(C) มีผลต่อความซึมลึกของแนวเชื่อม

H0: $(\alpha\beta\gamma)_{i\,j\,k} = 0$ H1: $(\alpha\beta\gamma)_{i\,j\,k} \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับ 0

**3.6 คุณสมบัติของปัจจัยที่จะนำไปทดลอง**

การทดลองครั้งนี้ ผู้ทดลองได้ศึกษาหาคุณสมบัติของแต่ละตัวแปรที่นำเข้ามาเป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อม คือ กระแสไฟฟ้า ความเร็วในการเดินเชื่อม ปริมาณแก๊สที่ปกคลุม

3.4.1 กระแสไฟฟ้า (Electric Current) คือการไหลของประจุไฟฟ้าผ่านตัวนำไฟฟ้า เช่น สายไฟ หรือวัสดุที่มีความสามารถในการนำไฟฟ้าอื่นๆ กระแสไฟฟ้ามีความสำคัญอย่างยิ่งในชีวิตประจำวันและในงานอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นพลังงานที่ใช้ในการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ

หลักการพื้นฐานของกระแสไฟฟ้า

1.ประจุไฟฟ้า (Electric Charge):

2.การไหลของประจุไฟฟ้า

3.หน่วยของกระแสไฟฟ้า

หน่วยที่ใช้วัดกระแสไฟฟ้าคือ แอมแปร์ (Ampere, A) ซึ่งระบุจำนวนประจุไฟฟ้าที่ผ่านจุดหนึ่งในตัวนำไฟฟ้าต่อวินาที

3.4.2 ความเร็วขณะเชื่อม ในขณะจะต้องควบคุมความเร็วของการเชื่อมให้เหมาะสมกับระยะอาร์คและแรงดันไฟฟ้าที่ใช้เชื่อมเพื่อให้ได้แนวเชื่อมที่ถูกต้องสมบูรณ์และมีคุณภาพ การใช้ความเร็วในการเชื่อมสูงหรือต่ำมีผลต่อรูปร่างของแนวเชื่อม เพราะถ้ามีการเดินแนวที่เร็วเกินไปอาจจะทำให้น้ำลวดเชื่อมทองแดงยังไม่ทันหลอมละลายไปกับเนื้อเหล็กหรือถ้าเดินแนวเชื่อมที่ช้าอาจจะทำให้น้ำลวดเชื่อมทองแดงอาจจะเกาะตัวมีแนวที่ไม่สวยงามได้หรือในบางกรณีนั้นชิ้นงานเกิดความเสียหายทะลุได้

3.4.3 ปริมาณแก๊สที่ปกคลุม อีกปัจจัยที่มีความสำคัญในกระบวนการเชื่อมนี้ คือ การใช้ปริมาณของแก๊สที่เหมาะสมที่สุดในการปกคลุมแนวเชื่อมและแก๊สที่ใช้ในการทดลองคือแก๊ส $CO_2$ ซึ่งช่วยปกคลุมในกระบวนการอาร์คและป้องกันการรวมตัวกันของบรรยากาศรอบๆ ซึ่งจะไม่มีแก๊ส $O_2$ ในกระบวนการนี้และต้องเติมแก๊ส $CO_2$ ตลอดเวลาในขณะเชื่อมด้วย ตามหลักการแล้วการเชื่อมที่ใช้แก๊ส $CO_2$ ควรจะเรียกว่าการเชื่อมแบบ MAG (Metal Active Gas)

**3.7 การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม**

ในการหาข้อเท็จจริงและเพื่อเก็บสถิติของแต่ละค่าพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันออกไป ผู้ทดลองได้ใช้โปรแกรม Minitab เข้ามาเป็นเครื่องมือช่วยในการทดลองครั้งนี้โดยที่ใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบเต็มรูปแบบ 2 ระดับ (2 k Full Factorial Experiment) เพื่อกรองเอาปัจจัยที่ไม่มี

อิทธิพลออก (Screen Factor) โดยระดับปัจจัย มี 2 ระดับ คือ “ต่ำ”และ“สูง” โดยทำการทดลองแบบสุ่ม (Random) ตามข้อบังคับของการทดลอง จากนั้นทำการทดลองผลการตอบสนอง โดยให้ผลตอบสนองของการทดลองเป็นสัดส่วนของเสียต่อปริมาณการผลิต ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($\alpha$ = 0.005) ซึ่งมีรูปแบบการทดลอง $2^k$ ทั้งหมด 3 ปัจจัย ซึ่งก็จะเท่ากับ 8 และกำหนดการทดลองซ้ำๆกัน 3 ครั้ง (3 Replicate) เพื่อลดข้อผิดพลาดในการทดลอง ดังนั้นจะต้องทำการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 24 การทดลอง โดยสุ่มการทดลองรูปแบบการจัดลำดับการทดลองที่ได้จะแสดงดังตาราง

ตารางที่ 13 แสดงลำดับการทดลอง 2 ระดับ

| StdOrder | RunOrder | กระแสไฟฟ้า | ความเร็วขณะเชื่อม | ปริมาณแก๊สปกคลุม |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 170 | 0.35 | 15 |
| 2 | 2 | 170 | 0.35 | 20 |
| 3 | 3 | 170 | 0.45 | 15 |
| 4 | 4 | 170 | 0.45 | 20 |
| 5 | 5 | 200 | 0.35 | 15 |
| 6 | 6 | 200 | 0.35 | 20 |
| 7 | 7 | 200 | 0.45 | 15 |
| 8 | 8 | 200 | 0.45 | 20 |
| 9 | 9 | 170 | 0.35 | 15 |
| 10 | 10 | 170 | 0.35 | 20 |
| 11 | 11 | 170 | 0.45 | 15 |
| 12 | 12 | 170 | 0.45 | 20 |
| 13 | 13 | 200 | 0.35 | 15 |
| 14 | 14 | 200 | 0.35 | 20 |
| 16 | 16 | 200 | 0.45 | 20 |
| 17 | 17 | 170 | 0.35 | 15 |
| 18 | 18 | 170 | 0.35 | 20 |
| 19 | 19 | 170 | 0.45 | 15 |
| 20 | 20 | 170 | 0.45 | 20 |
| 21 | 21 | 200 | 0.35 | 15 |
| 22 | 22 | 200 | 0.35 | 20 |
| 23 | 23 | 200 | 0.45 | 15 |
| 24 | 24 | 200 | 0.45 | 20 |

**3.8 ทำการทดลองวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลข้อมูล**

เมื่อในการทดลองมีปัจจัยที่สนใจศึกษาหลายปัจจัยและทราบว่าปัจจัยเหล่านั้นเป็นอิสระกันหรือมีปฏิสัมพันธ์กัน การตอบปัญหานี้ต้องดูว่าการรวมกันของระดับของปัจจัยใดที่ให้ผลดีและที่ให้ผลไม่ดีเมื่อได้ผลการทดลองแล้วผู้วิจัยจะใช้โปรแกรม Minitab เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ความแปรปรวนและสรุปผล โดยจะทำการการวิเคราะห์ดังนี้

1. การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง (Model Adequacy Checking)

2. การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของเสียปัญหาชิ้นงานรอยเชื่อมไม่แข็งแรงซึ่งจะสามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยใดที่มีอิทธิพลกับการเกิดของเสียอย่างมีนัยสำคัญ

3. การวิเคราะห์ผลการตอบสนองที่ดีสุด (Response Optimization) โดยขั้นตอนนี้เป็นการนำเอาค่าตอบสนอง (Response) ที่ได้จากการทำการทดลองมาวิเคราะห์ต่อเพื่อยืนยันผลของการทดลอง โดยใช้หลักการ Response Optimization เพื่อทำการหาค่าที่เหมาะสมจากนั้นทำการสรุปผลและนำค่าที่ได้ไปใช้ในปรับตั้งค่าต่อไป

มหาวิทยาลัยศิลปากร

# บทที่ 4

## ผลการทดลอง

### 4.1 การดำเนินการทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ 2k Full Factorial Design

เริ่มต้นการกรองปัจจัยด้วยวิธี $2^k$ Full Factorial Design โดยผู้วิจัยได้ทำการทดลองให้ครบทุกเงื่อนไข โดยผู้วิจัยได้นำ 3 ปัจจัย ซึ่งปัจจัยแต่ละชนิดประกอบไปด้วย 2 ระดับ ดังนั้นการทดลองครั้งนี้แบ่งได้เป็น $2^3$ = 8 การทดลองและทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ดังนั้นการทดลองนี้จะต้องทดลอง 24 ครั้งโดยการทดลองนี้จะลำดับการทดลองแบบสุ่มเพื่อเป็นการลดข้อผิดพลาดของการวิเคราะห์ผลการทดลอง ในการทดลองจะต้องวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรทั้งหมดเพื่อจะคัดกรองว่าปัจจัยใดบ้างที่มีอิทธิพลมากที่สุด การออกแบบการทดลองแบบ 2 ระดับนี้เพื่อคัดกรองปัจจัยที่มีผลกระทบในกระบวนการผลิตเชื่อมที่ส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน โดยตัวแปรตอบสนองนั้น (Response) ของชิ้นงาน คือ ค่า Yield ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการทดสอบการดึง จากการวิเคราะห์พบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อมระหว่างก้านใบแซะและใบแซะซึ่งดูได้จากในตาราง

ตารางที่ 14 แสดงจำนวนชิ้นงานในการออกแบบการทดลองแบบ $2^k$ Full Factorial Design

| จำนวนการทดลอง | ทดลองซ้ำ | การทดลองทั้งหมด |
|---|---|---|
| 8 | 3 | 24 |

ตารางที่ 15 บันทึกการทดลอง

| StdOrder | กระแสไฟฟ้า | ความเร็วขณะเชื่อม | ปริมาณแก๊สปกคลุม | Yields % |
|---|---|---|---|---|
| 9 | 170 | 0.35 | 15 | 78 |
| 12 | 170 | 0.45 | 20 | 59 |
| 13 | 200 | 0.35 | 15 | 93 |
| 2 | 170 | 0.35 | 20 | 67 |
| 16 | 200 | 0.45 | 20 | 71 |
| 1 | 170 | 0.35 | 15 | 82 |
| 23 | 200 | 0.45 | 15 | 85 |
| 5 | 200 | 0.35 | 15 | 91 |
| 7 | 200 | 0.45 | 15 | 75 |

ตารางที่ 15 บันทึกลการทดลอง (ต่อ)

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 19 | 170 | 0.45 | 15 | 51 |
| 11 | 170 | 0.45 | 15 | 65 |
| 4 | 170 | 0.45 | 20 | 67 |
| 10 | 170 | 0.35 | 20 | 70 |
| 20 | 170 | 0.45 | 20 | 71 |
| 3 | 170 | 0.45 | 15 | 64 |
| 8 | 200 | 0.45 | 20 | 80 |
| 14 | 200 | 0.35 | 20 | 95 |
| 17 | 170 | 0.35 | 15 | 80 |
| 24 | 200 | 0.45 | 20 | 79 |
| 18 | 170 | 0.35 | 20 | 66 |
| 22 | 200 | 0.35 | 20 | 90 |
| 6 | 200 | 0.35 | 20 | 91 |
| 15 | 200 | 0.45 | 15 | 82 |
| 21 | 200 | 0.35 | 15 | 87 |

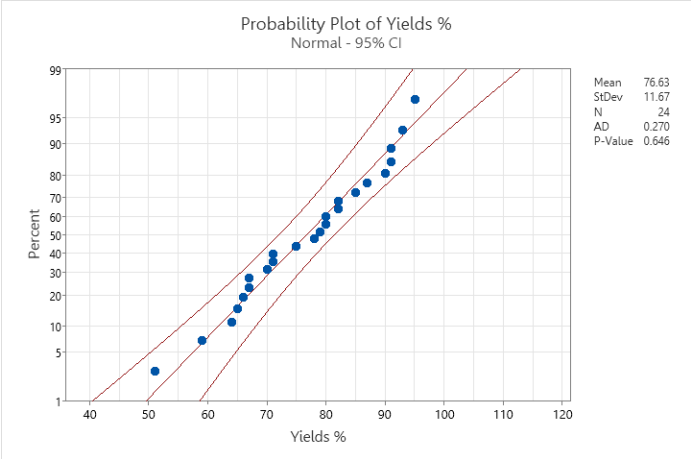
มหาวิทยาลัยศิลปากร

**4.2 ตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากการทดลอง2k Full Factorial Design**

เมื่อผู้ทำการทดลองได้ผลการทดลองแล้วต่อมาทำการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลองนี้จากดังตารางที่ 15 โดยนำค่าได้มาวิเคราะห์เราจะใช้โปรแกรมMinitabเป็นเครื่องมือช่วยในการตรวจสอบความถูกต้องนี้ ดังนี้

4.2.1 ตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution)

การตรวจสอบการกระจายตัวปกติสามารถตรวจสอบได้จากการพิจารณาการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residual)

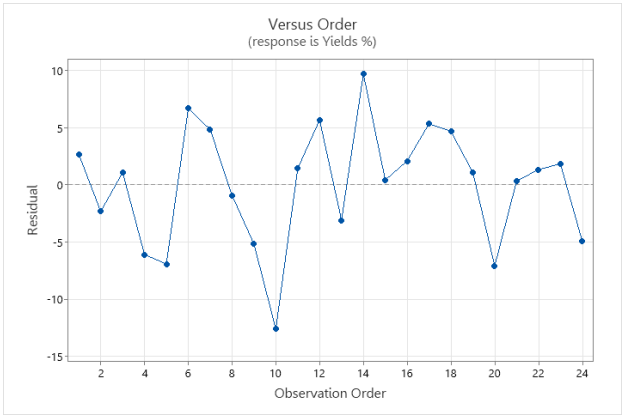



ภาพที่ 29 แสดงกราฟตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติ(Normal Distribution)

จากภาพที่ 29 แสดงส่วนตกค้าง (Residual) เพื่อทดสอบการแจกแจงปกติในระดับความเชื่อมั่น 95% ($\alpha$=0.05) โดยค่าที่ได้ออกมาจะเท่ากับ 0.646 ดังนั้นจึงไม่ปฏิเสธสมมุติฐานหลัก แสดงว่าการแจกแจงของค่าส่วนตกค้างเป็นแบบปกติ

4.2.2 การทดสอบความเป็นอิสระ (Independent) ของส่วนตกค้าง (Residual)

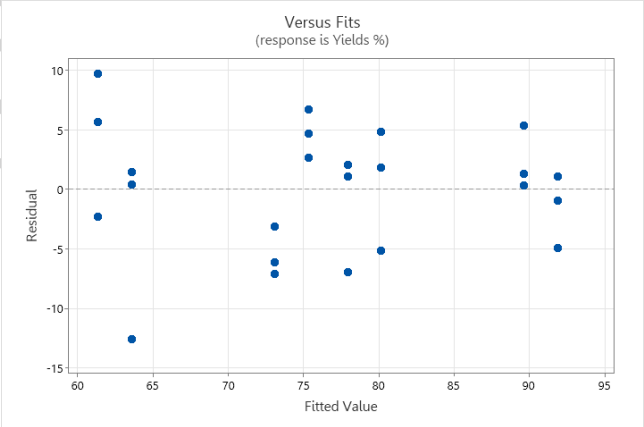
จากการตรวจสอบค่าพบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างไม่เป็นแนวโน้มสามารถตรวจสอบ ได้จากค่ากราฟที่เป็นอิสระเกิดการสุ่มกระจายทั่วไปทั้งกราฟซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าส่วนตกค้างเป็นแบบสุ่มหรือเป็นอิสระจากปัจจัยในการทดลอง จึงสามารถสรุปได้ว่า ค่าส่วนตกค้าง (Residual) เป็นอิสระต่อกัน (Independent)




ภาพที่ 30 กราฟแสดงเห็นการทดลองแบบสุ่มแบบการกระจายตัวแบบอิสระ

4.2.3 การตรวจสอบความเสถียรของ $\sigma^2$ (Variance Stability)

มีรูปแบบของค่าส่วนตกค้าง (Residual) ที่ได้จากข้อมูลการทดลองจะเห็นได้ว่าการกระจายตัวค่าส่วนตกค้างพบว่าข้อมูลไม่มีลักษณะที่มีรูปแบบเป็นแนวโน้มหรือการกระจายตัวที่เป็นรูปทรงระฆังหรือทรงของกราฟพาลาโบล่า จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรดั้งนั้นสรุปได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองชุดนี้มีความถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือและสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไปได้




ภาพที่ 31 ภาพแสดงความสเถียรของข้อมูล

**4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)**

จากผลที่ได้มาจากการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลโดยการออกแบบการทดลองนั้น สรุปว่าไม่พบความผิดปกติของชุดข้อมูลและผลลัพธ์ซึ่งเป็นไปตามนัยสำคัญทั้งหมดทำให้เราทราบว่าข้อมูลนั้นมีความน่าเชื่อถือ ผู้วิจัยจึงได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนเพื่อศึกษาอิทธิพลใดบ้างที่มีผลกระทบต่อคุณภาพกับชิ้นงานเชื่อม โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่น 95% ($\alpha$=0.05) การวิเคราะห์ผลจากโปรแกรม Minitab ดังนี้

ตารางที่ 16 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความแปรปรวนของข้อมูล

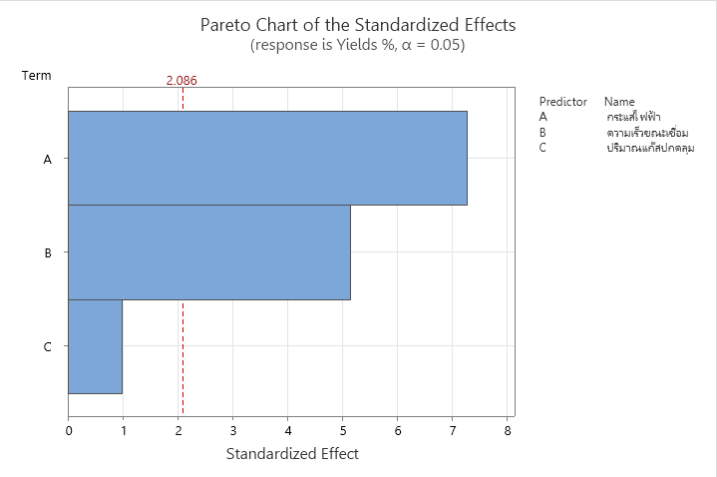
| Analysis of Variance | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
| Model | 7 | 2786.29 | 398.04 | 18.34 | 0 |
| Linear | 3 | 2508.79 | 836.26 | 38.52 | 0 |
| A | 1 | 1650.04 | 1650.04 | 76.01 | 0 |
| B | 1 | 828.37 | 828.37 | 38.16 | 0 |
| C | 1 | 30.37 | 30.37 | 1.4 | 0.254 |
| 2-Way Interactions | 3 | 67.46 | 22.49 | 1.04 | 0.403 |
| A*B | 1 | 3.37 | 3.37 | 0.16 | 0.699 |
| A*C | 1 | 7.04 | 7.04 | 0.32 | 0.577 |
| B*C | 1 | 57.04 | 57.04 | 2.63 | 0.125 |
| 3-Way Interactions | 1 | 210.04 | 210.04 | 9.68 | 0.007 |
| A*B*C | 1 | 210.04 | 210.04 | 9.68 | 0.007 |
| Error | 16 | 347.33 | 21.71 | | |
| Total | 23 | 3133.63 | | | |

จากผลที่ได้ซึ่งที่นำมาวิเคราะห์ข้อมูลความแปรปรวนนั้นผู้ทดลองได้ปัจจัยที่มีอิทธิพลผลกระทบต่อชิ้นงานด้วยกันจำนวน 2 ปัจจัยและมีอิทธิพลร่วมกัน 1 ปัจจัย (P-value < 0.05) ดังนี้คือ กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อมและความเร็วขณะเชื่อม ส่วนปัจจัยร่วมกันมี 1 ปัจจัยดังนี้คือ กระแสไฟฟ้า, ความเร็วขณะเชื่อม, ปริมาณแก๊สที่ปกคลุม และจะไม่พิจารณาปัจจัยหลัก ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าความผิดพลาดมีการแจกแจงปกติ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์โดยมีความแปรปรวนคงที่และเป็นอิสระต่อกัน

ตารางที่ 17 ตารางสรุปผล Model

| Model Summary | | | |
|---|---|---|---|
| S | R-sq | R-sq(adj) | R-sq(pred) |
| 4.65922 | 88.92% | 84.07% | 75.06% |

จากตารางนี้ผู้ทำการทดลองได้ค่า R-sq = 88.92% ซึ่งยังถือว่าอยู่ในระดับที่สูงและเป็นที่ยอมรับได้และต่อมาค่า R-sq (adj) ซึ่งได้ค่าไม่ห่างกันเยอะเมื่อเทียบกับค่า R-sq โดยรวมเฉลี่ยถือว่าการทดลองนี้มีความแม่นยำค่อนข้างสูงและสามารถยอมรับได้




ภาพที่ 32 ลำดับปัจจัยที่มีผลกระทบต่อชิ้นงาน

จากภาพนี้แสดงให้เห็นว่ามี 3 ปัจจัยที่เป็นนัยสำคัญต่อคุณภาพชิ้นงานโดยกราฟที่ตัดผ่านเส้น Key Value นั้นคือเส้นที่บ่งบอกว่าเป็นไปตามกำหนดระดับความเชื่อมั่น 95% ($\alpha$=0.05) ซึ่งผู้ทดลองจะต้องนำ 3 ปัจจัยนี้ไปหาค่าที่ดีที่สุดในงานเชื่อม

ตารางที่ 18 แสดงลำดับอิทธิพลที่มีผลต่อการทดลองแบบละเอียด

| Response Table for Means | | | |
|---|---|---|---|
| Level | กระแสไฟฟ้า | ความเร็วขณะเชื่อม | ปริมาณแก๊สปกคลุม |
| 1 | 68.33 | 82.5 | 77.75 |
| 2 | 84.92 | 70.75 | 75.5 |
| Delta | 16.58 | 11.75 | 2.25 |
| Rank | 1 | 2 | 3 |

ตาราง Response Table for Means สามารถอธิบายได้ดังนี้

ค่าเฉลี่ยระดับ Level 1 และ Level 2

กระแสไฟฟ้า ระดับ 1= 68.33 และ ระดับ 2= 84.92

ความเร็วขณะเชื่อม ระดับ 1= 82.5 และ ระดับ 2= 70.75

ปริมาณแก๊สปกคลุม ระดับ 1= 77.75 และ ระดับ 2= 75.5

Delta คือการวัดขนาดของผลกระทบโดยการหาความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยลักษณะที่สูงที่สุดและต่ำที่สุด ดังนี้

กระแสไฟฟ้า Delta = 84.92 - 68.33 = 16.58

ความเร็วขณะเชื่อม Delta = 82.5 - 70.75 = 11.75

ปริมาณแก๊สปกคลุม Delta = 77.75 - 75.5 = 2.25

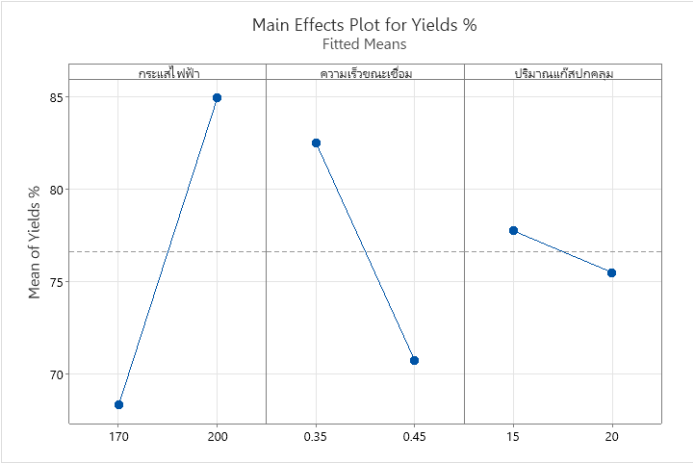
โดยจัดลำดับปัจจัยตามขนาดของ Delta โดยค่า Delta ที่ใหญ่ที่สุดจะถูกจัดเป็นอันดับ1

กระแสไฟฟ้า=Rank 1 Delta = 16.58

ความเร็วขณะเชื่อม=Rank 2 Delta = 11.75

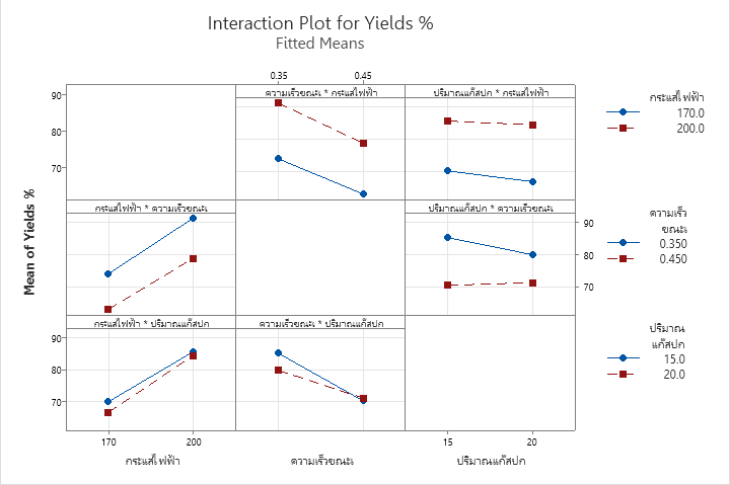
ปริมาณแก๊สปกคลุม=Rank 3 Delta = 2.25

จากตารางนี้เราสามารถเห็นได้ว่ากระแสไฟฟ้ามีผลกระทบมากที่สุดต่อกระบวนการนี้ ตามมาด้วยความเร็วขณะเชื่อมและสุดท้ายคือปริมาณแก๊สปกคลุม




ภาพที่ 33 กราฟความชันของแต่ละปัจจัย

ซึ่งจากกราฟนี้แสดงให้เห็นว่าปัจจัยแต่ละปัจจัยนั้นมีอิทธิพลต่อชิ้นงานในลำดับที่ต่างกันโดยที่กราฟกระแสไฟฟ้ากราฟจะมีความชันที่มากที่สุดแสดงให้เห็นว่ามีอิทธิพลสูงสุด ต่อมากราฟความเร็วขณะเชื่อมนั้นก็มีอิทธิพลที่สูงเช่นกันส่วนกราฟปริมาณแก๊สปกคลุมมีอิทธิพลต่ำสุด



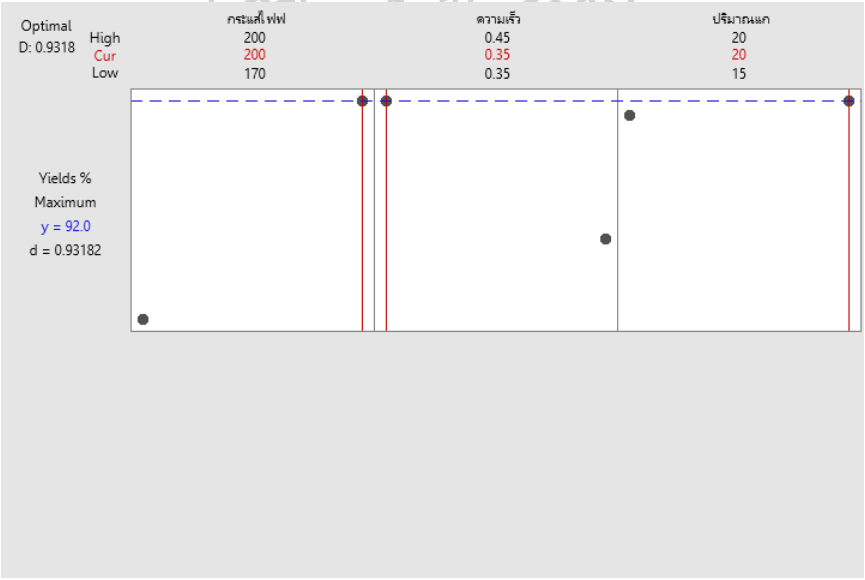

ภาพที่ 34 Interaction ที่มีผลกระทบร่วม

สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลกระทบร่วมโดยจะแสดงเส้นกราฟที่ตัดกันที่เรียกว่า Crossing Interaction กระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้น 200 A มักจะช่วยเพิ่มผลผลิตเมื่อใช้ร่วมกับปริมาณแก๊สปกคลุมที่สูง เมื่อพิจารณาความเร็วขณะเชื่อม ความเร็วขณะเชื่อมที่ต่ำ 0.35 m/min

มักจะให้ผลที่ดีกว่า และปริมาณแก๊สปกคลุมที่มากขึ้น 20 L/min มักจะมีผลดีต่อผลผลิตเมื่อใช้กระแสไฟฟ้าสูง แต่ไม่ดีเมื่อความเร็วขณะเชื่อมสูง

**4.4หาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการ Response Optimization**

หลังจากทดลองซึ่งได้กรองปัจจัยมาเบื้องต้นแล้ว (Screening) ทำให้ทราบว่าปัจจัยใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียของปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็ม จากนั้นผู้ทำการทดลองต้องหาค่าพารามิเตอร์เชื่อมที่ดีที่สุดซึ่งจะกำหนดค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อใช้ในกระบวนการเชื่อมเพื่อลดจำนวนของเสียจากปัญหาชิ้นงานออกมาไม่มีคุณภาพ โดยจะทำการทดลองเพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมด้วยวิธีการ Response Optimization ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ Response โดยกำหนดให้ต้องการได้ค่า Yield เฉลี่ยจากการทดลองออกมาเป็นค่าที่มากที่สุดจึงกำหนดตั้งค่าเป็น % Yield Maximum ผลออกมาจะได้ค่าออกมาดังรูปที่ 35 ดังนี้




ภาพที่ 35 ระดับผลที่เหมาะสม

ตารางที่ 19 ผลการวิเคราะห์ Output Optimize Point

| Response Optimization | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Parameters | | | | | |
| Respond | Goal | Lower | Upper | Weight | Import |
| | Minimize | 51 | 94 | 1 | 1 |
| A= 200 | | | | | |
| B= 0.35 | | | | | |
| C= 20 | | | | | |
| Predicted Response | | | Composite Desirability = 0.93873 | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Response = 91.833 | | | Desirability = 0.93870 | | |

หลังจากหาค่าผลลัพธ์ที่ดีที่สุดแล้วผู้ทำการทดลองจะได้ค่าดังต่อไปนี้คือจะกำหนดให้กระแสไฟฟ้าใช้ที่ 200 A ปัจจัยต่อมาความเร็วขณะเดินเชื่อมเท่ากับ 0.35 m/min และปริมาณแก๊สที่ปกคลุมให้จะเท่ากับ 20 L/min

ตารางที่ 20 ตารางสรุปค่าพารามิเตอร์

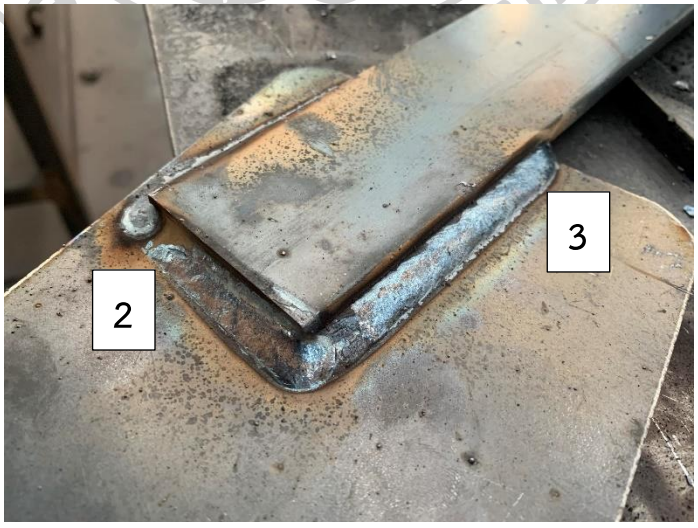
| ปัจจัย | ค่าพารามิเตอร์ | หน่วย |
|---|---|---|
| กระแสไฟฟ้า | 200 | A |
| ความเร็วขณะเชื่อม | 0.35 | m/min |
| ปริมาณแก๊สปกคลุม | 20 | L/min |

ซึ่งการใช้ค่าพารามิเตอร์นี้สามารช่วยให้ช่วยลดค่าของเสียลงได้และชิ้นงานมีคุณภาพในลำดับต่อไปผู้ทดลองจะเปรียบเทียบข้อมูลก่อนการใช้งานและหลังปรับใช้งาน

**4.5การเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุง**

หลังจากหาค่า Response Optimization เสร็จแล้วผู้ทำการทดลองได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดในการเชื่อมตามตารางที่ 20 เพื่อเป็นการยืนยันผลของการทดลองที่ออกมาได้ค่าที่ดีที่สุดสามารถลดของเสียได้และทำให้งานออกมามีคุณภาพ ผู้ทำการทดลองจึงได้นำค่าไปปรับใช้ซึ่งได้ผลลัพธ์ที่ออกมาได้อย่างน่าพอใจ

ภาพที่ 36 แสดงแนวเชื่อมหลังปรับปรุงแนวที่ 1




ภาพที่ 37 แสดงแนวเชื่อมหลังปรับปรุงแนวที่ 2 และ 3

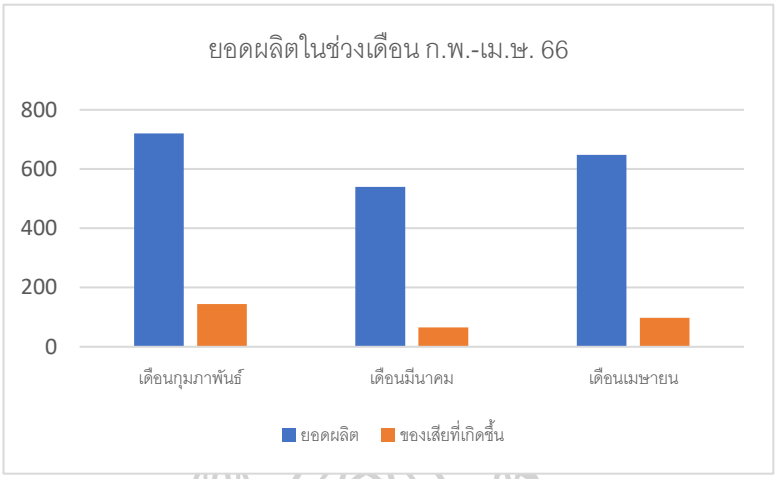
ซึ่งแนวเชื่อมที่ได้ออกมาน้ำของลวดเชื่อมมีความเรียบไม่ขรุขระซึ่งความกว้างของแนวเชื่อมอยู่ในเกณฑ์ที่ได้มาตรฐานโดยกำหนดไม่เกิน 1 cm และไม่ต่ำกว่า 0.5cm ในขณะที่ขอบแนวเชื่อมไม่เกิดฟองอากาศ โดยน้ำลวดเชื่อมไม่เกิดการกองกับพื้นซึมลึกติดผสมผสานกับผิวชิ้นงาน

ภาพที่ 38 ภาพตัดขวางของ Welding cut check แนวที่ 1

ภาพที่ 39 ภาพตัดขวางของ Welding cut check แนวที่ 2

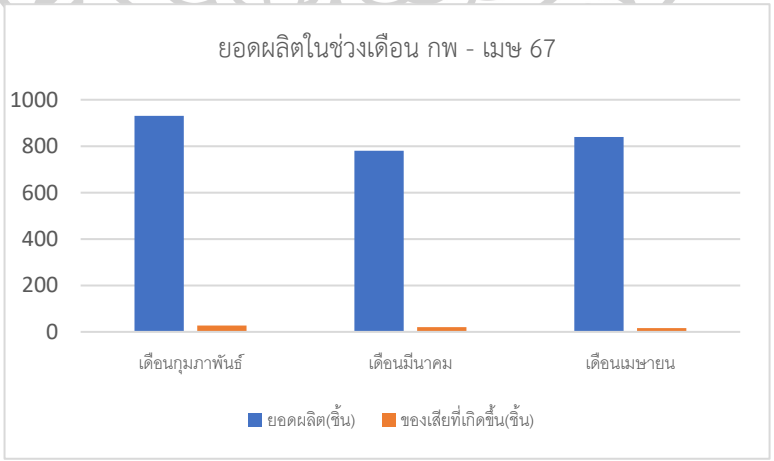
จากภาพทั้งสองภาพ ผู้ทำการทดลองได้นำใบแซะที่ผ่านการปรับปรุงแล้วทดสอบวิธีการ Welding cut check เพื่อดูปริมาณการซึมลึกของน้ำลวดเชื่อมว่าผสมผสานกับเหล็กชิ้นงานหรือไม่ โดยผลออกมาผู้ทดลองมีความพึงพอใจและสามารถยืนยันได้ว่าการทดลองนี้สามารถนำปรับมาใช้ในการทำงานได้ ต่อมาผู้ทำการทดลองจะเปรียบเทียบผลก่อนเปลี่ยนแปลงและหลังการเปลี่ยนแปลงดังนี้ตามตาราง

ตารางที่ 21 อัตราการผลิตต่อของเสียก่อนปรับปรุง




จากกราฟที่ 21 ยอดผลิตในเดือนกุมภาพันธ์มียอดผลิตเท่ากับ 720 ชิ้นซึ่งเกิดของเสียในระบบจำนวน 144 ชิ้นหรือคิดเป็น 20% ในเดือนมีนาคมมียอดผลิต 540 ชิ้นเกิดของเสียขึ้นในระบบ 65 ชิ้นหรือคิดเป็น 12% ต่อมาในเดือนเมษายนมียอดผลิต 840 เกิดของเสียขึ้นในระบบ 98 ชิ้นหรือคิดเป็น 12% ซึ่งในกระบวนการผลิตนี้ถือว่าเป็นตัวเลขที่ค่อนข้างสูงและหลังทำค่าที่ได้จากการทดลองแล้วทำให้สามารถลดของเสียที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

ตารางที่ 22 อัตราการผลิตต่อของเสียหลังปรับปรุง



หลังจากใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้วิธีการออกแบบการทดลองผลที่ได้ทำให้คุณภาพชิ้นงานที่เกิดจากการเชื่อมนั้นเพิ่มมากขึ้นและลดของเสียในกระบวนการผลิตได้ดีเมื่อเทียบกับก่อนการปรับปรุง ผู้ทำการทดลองสรุปได้ดังนี้คือในเดือนกุมภาพันธ์ปี 2567 มียอดผลิตจำนวนทั้งสิน 930 ชิ้นเกิดของเสียในระบบจำนวน 28 ชิ้นหรือคิดเป็น 3% ต่อมาในเดือนมีนาคมมียอดการผลิตจำนวน 780 ชิ้นเกิดของเสียในระบบจำนวน 20 ชิ้นหรือคิดเป็น 2.5 %ถัดมาในเดือนเมษายนมียอดการผลิต 840 ชิ้นเกิดของเสียในระบบ 16 ชิ้นหรือคิดเป็น 2.5% ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ออกมาผู้ทำการทดลองค่อนข้างที่จะพึงพอใจในการทดลองครั้งนี้สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายขององค์กรได้และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของกระบวนการผลิตได้เช่นกัน ซึ่งของเสียในส่วนที่เหลือจะเกิดจาก Human error ซึ่งอาจจะขาดประสบการณ์ในการคุมเครื่องจักร หรืออาจจะเกิดจากเครื่องจักรมีปัญหาเนื่องจากขาดการซ่อมบำรุงรักษาและอีกประการอื่นๆ

# บทที่ 5

# สรุปผลและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการวิจัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้คือการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในงานเชื่อมและลดของเสียที่เกิดขึ้นในระบบของโรงงานผลิตอุปกรณ์เกี่ยวกับการเกษตรโดยผู้วิจัยได้นำชิ้นงานที่มีปัญหาในโรงงานมาทำการทดลองคือชิ้นส่วนของผานพรวนดินมีชื่อเรียกว่าใบแซะดินซึ่งมีหน้าที่แซะดินขณะทำการไถ โดยปัญหาที่เกิดขึ้นคือแนวเชื่อมระหว่างก้านใบแซะและใบแซะนั้นไม่ซึมลึกผสมผสานเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งมีผลต่อคุณภาพการใช้งาน ผู้วิจัยจึงสนใจปัญหานี้โดยได้ทำการออกแบบการทดลอง Design of Experiment ที่ระดับความเชื่อมัน 95% ($\alpha$=0.05) ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ตามเป้าหมาย

5.1.1 ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดชิ้นงานออกมาเสียและไม่มีคุณภาพ

จากการวิเคราะห์เพื่อค้นหาปัจจัยมีปัจจัยเกี่ยวข้อง 3 ตัวแปรคือ กระแสไฟฟ้า ความเร็วขณะเชื่อม และปริมาณแก๊สปกคลุม จึงได้ทำการทดลองนำค่าปัจจัยนี้มาหาค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดโดยการคัดกรองปัจจัยเบื้องต้น โดยทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน ทำการวิเคราะห์ความถูกต้องของข้อมูล จึงพบว่ามีปัจจัย 2 อย่างที่มีนัยสำคัญคือกระแสไฟฟ้าและความเร็วขณะเชื่อม มีปัจจัยร่วมมคือ กระแสไฟฟ้า ความเร็วขณะเชื่อม และปริมาณแก๊สปกคุลม

5.1.2 ระดับค่าปัจจัยที่เหมาะสมในงานเชื่อม

จากการได้วิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลและปัจจัยร่วมแล้วผู้ทดลองได้นำข้อมูลนี้ไปหาค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดโดยใช้เหลักการ Response Optimization เพื่อเอาค่าตอบสนองช่วยในการหาค่าที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ต่อเพื่อยืนยันผลการทดลอง โดยจะได้ระดับปัจจัยที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยคือ กระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อมคือ 200 A , ความเร็วขณะเชื่อมคือ 0.35 m/min,ปริมาณแก๊สปกคลุมคือ 20 L/min

5.1.3 ผลที่ได้หลังการปรับปรุง

หลังจากที่ได้นำค่าพารามิเตอร์นี้ไปปรับใช้จากการทำงานทำให้ประสิทธิภาพของงานนั้นเพิ่มขึ้นจากเดิมเมื่อเทียบกับเดือนเดียวกันต่อปีถัดมาคือเดือนกุมภาพันธ์จากเกิดของเสียในระบบเท่ากับ 20% ลดลงเหลือของเสียในระบบ 3% ของเสียในเดือนมีนาคมจากเกิดของเสียในระบบ 12%

ลดลงเหลือของเสียในระบบ 2.5% และในเดือนเมษายนเกิดของเสียในระบบ 15% ลดลงเหลือของเสียในระบบ 2.5% ซึ่งการลดของเสียทั้งหมดนี้จะช่วยให้องค์กรมีกำไรจากการไม่ใช้งบไปกับการแก้ไขชิ้นงานหรือทำลาย และยังช่วยเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์นั้นๆอีกด้วย

**5.2 ปัญหาและอุปสรรค**

1. ปัญหาในการทดสอบแรงดึงที่ต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการทดสอบและค่าเดินทาง โดยเป็นอุปสรรคของผู้ทำการทดลองครั้งนี้

2. ช่วงเวลาในการทดสอบเก็บผลการทดลองไม่ต่อเนื่องเพราะต้องใช้เวลาหลังจากเลิกงานประจำเท่านั้น ซึ่งไม่สามารถทดสอบได้รวดเดียวกัน

3. ผู้ทำการทดลองใช้โปรแกรม Minitab แบบทดลองใช้ ซึ่งเป็นอุปสรรคในการติดตั้งและใช้งาน ผู้ใช้งานต้องศึกษาวิธีใช้โปแกรมอย่างถูกต้อง

**5.3 ข้อเสนอแนะ**

1. งานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นตัวอย่างในแบบวัสดุเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน ซึ่งไม่สามารถจะเทียบกับวัสดุที่มีคุณสมบัติต่างๆอื่นออกไปได้

2. ค่าปัจจัยของงานวิจัยครั้งนี้ซึ่งมีปัจจัยต่างๆอีกเช่น ระยะอาร์ค มุมองศาในการเชื่อม ความเร็วการฟีดของลวด แต่ซึ่งผู้วิจัยสนใจและได้หยิบยกค่าพารามิเตอร์นี้ที่มีผลกระทบหลักที่สนใจเท่านั้นซึ่งถ้านำไปขยายผลงานทางงานวิจัย ควรคำนึงถึงหลักตรงนี้

3. สำหรับการทดลองครั้งนี้เป็นการทดลองโดยใช้หุ่นเชื่อมอัตโนมัติ ไม่สามารถอ้างอิงกับงานเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมได้

# รายการอ้างอิง

กาญจนแสงทอง, ธ. (2555). การศึกษาผลกระทบของการเชื่อมอาร์คไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมพอกผิวแข็งต่อคุณสมบัติความแข็งในเหล็กเครื่องมืองานเย็น เกรด SKD 11 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ, โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ชลิตต์มธุรสมนตรี ปราโมทย์ พูนนายม , ก. จ. (2544). กระบวนการผลิต (Manufacturing Processes). สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมอาชีวะ, กรุงเทพฯ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

เดช เหมือนขาว , ย. ด., ชัยยุทธ มีงาม, วรวิทย์ ศรีวิทยากูล (2565). "การศึกษาสมบัติทางกลและโครงสร้างทางโลหะวิทยาของรอยเชื่อมเหล็กกล้าโครงสร้าง SS400." การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ.

ธีระ สรรพอาษา , ก. ท., เกียรติศักดิ์ แก้วบริสุทธิ์และชานนท์มูลวรรณ, (2561). "การออกแบบการทดลองงานเชื่อมท่อโลหะต่างชนิดเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลด้วยโปรแกรมทางสถิต." การประชุมวิชาการนวัตกรรมด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีเพื่อเศรษฐกิจและสังคม ครั้งที่ 2.

เบ้าบัวเงิน, จ. (2563). การพัฒนาประสิทธิภาพการผลิตในกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบปุ่มโดยวิธีการ ออกแบบการทดลอง กรณีโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์แห่งหนึ่ง, มหาวิทยาลัยศิลปากร. ปริญญามหาบัณฑิต.

ปริญญ์ สายจันทร์, ไ. ว., บัณฑิต สุขสวัสดิ์ (2016). "การเปรียบเทียบรูปแบบการเชื่อมมุม Box Column ผนังหนาด้วยกระบวน SAW Comparison of SAW Pass Scheme for Joining Thick Skin Plates Box Column Corner " การประชุมสามัญประจำปีของสถาบันการเชื่อมสากล IIW Annual Assembly 6-12.

ยุทธณรงค์ จงจนัทร์, ณ. ค. แ. เ. (2554). การลดของเสียในกระบวนการผลิต เตาเหล็กหล่อ. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี และ วิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

ระวังวงศ์, ณ. (2562). การลดของเสียในการผลิตถุงมือยางด้วยการออกแบบการทดลองเชิงสถิติ. สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วันแต่ง, ธ. (2554). การต่อวัสดุ(Materials Joining). สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและการจัดการ, มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.

ศรีธร, จ. (2558). การศึกษาผลกระทบของกระบวนการเชื่อมต่อสมบัติทางกลของการเชื่อมพอก ผิวแข็งเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยทังสเตนคาร์ไบด์หลอมเหลว. สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ. สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

อมรศักดิ์ มาใหญ่, ก. ก., ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ, มาโนช ริทินโย, จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร (2559). "อิทธิพลของความเร็วเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมที่มีผลต่อความแข็งแรงดึงแรงเฉือนของ รอยต่อเกยระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304." การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2559 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อยุธยา, ป. ป. ณ. (2561). การออกแบบการทดลองเพื่อลดของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติกของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์, มหาวิทยาลัยศิลปากร. ปริญญามหาบัณฑิต.

# ประวัติผู้เขียน

**ชื่อ-สกุล** นครินทร์ แสงทอง

**วุฒิการศึกษา** พ.ศ.2553-2559
ระดับมัธยม: โรงเรียนสารสิทพิทยาลัย อ.บ้านโป่ง จ.ราชบุรี

พ.ศ.2559-2563
ระดับอุดมศึกษา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี

**ผลงานตีพิมพ์** การออกแบบและสร้างเครื่องตัดฟางข้าว DESIGN AND FABRICATION OF STRAW CUTTING MACHINE