

การกำหนดค่าที่เหมาะสมในสายการผลิตกึ่งอัตโนมัติ  
กรณีศึกษา

ชัยพงศ์ โชติภัทร์เดชารัตน์

TNI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

บัณฑิตวิทยาลัย สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ปีการศึกษา 2563

SETTING MACHINE PARAMETER OF LINE SEMI-AUTO  
A CASE STUDY

Chaiyaphong Chotiphatdecharat

TNI

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements  
For The Degree of Master Engineering Program in Engineering Technology  
Graduate School  
Thai-Nichi Institute of Technology  
Academic Year 2020

|                   |                                                   |
|-------------------|---------------------------------------------------|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การกำหนดค่าที่เหมาะสมในสายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติ |
| โดย               | นายชัยพงศ์ โชติภักดิ์เดชารัตน์                    |
| สาขาวิชา          | เทคโนโลยีวิศวกรรม                                 |
| อาจารย์ที่ปรึกษา  | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดำรงเกียรติ รัตนอมรพิน     |

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น อนุมัติให้แนบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร. พิชิต สุขเจริญพงษ์)  
วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิสุทธิ สุพิทักษ์)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวดี วงษ์สุวรรณ)

..... กรรมการ  
(ดร. วชิรินทร์ หนูทอง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดำรงเกียรติ รัตนอมรพิน)

ชัยพงศ์ โชติภัทร์เดชารัตน์: การกำหนดค่าที่เหมาะสมในสายการผลิตกึ่งอัตโนมัติ  
กรณีศึกษา. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดำรงเกียรติ  
รัตนอมรพิน, 137 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพและประสิทธิผลของสายการผลิต  
ส่วนประกอบมอเตอร์พัดลมเครื่องปรับอากาศให้สามารถรองรับความต้องการที่เพิ่มขึ้นของลูกค้า ด้วย  
การพัฒนาสายการผลิตแบบผลิตด้วยมือสู่สายการผลิตกึ่งอัตโนมัติ การดำเนินการวิจัยเริ่มจากการ  
เก็บรวบรวมรายละเอียด ข้อมูลความต้องการ และรอบเวลาผลิตของลูกค้า ได้ออกแบบหลักการ  
เบื้องต้นของเครื่อง โดยประเมินผลด้วยค่าลำดับความเสี่ยง และประเมินประสิทธิภาพโดยรวมของ  
เครื่องจักร จากนั้นพัฒนาปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยกำหนดค่าตั้งต่างๆ ที่เหมาะสม ของ  
Controller Oil และ Controller Ultrasonic เพื่อให้สามารถผลิตชิ้นงานได้ตามมาตรฐานที่กำหนด  
ด้วยเครื่องมือการออกแบบการทดลอง และการวิเคราะห์การถดถอย ได้ติดตั้ง ดำเนินการทดสอบการ  
ใช้งานของระบบ และพัฒนากระบวนการของไลน์การผลิตให้สามารถรองรับความต้องการของ  
ลูกค้า ทั้งปริมาณและคุณภาพ ลดทรัพยากรด้านแรงงานจาก 4 คน เป็น 2 คน ได้ประสิทธิผลโดยรวม  
ของเครื่องจักร ร้อยละ 81.15

คำหลัก การวิเคราะห์ความล้มเหลวและผลกระทบ, การวัดประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร, การ  
วิเคราะห์การถดถอย, การออกแบบการทดลอง, การผลิตกึ่งอัตโนมัติ

TNI

บัณฑิตวิทยาลัย  
สาขาวิชา เทคโนโลยีวิศวกรรม  
ปีการศึกษา 2563

ลายมือชื่อนักศึกษา .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....



CHAIYAPHONG CHOTIPHATDECHARAT; SETTING MACHINE PARAMETER OF LINE SEMI-AUTO A CASE STUDY. ADVISOR: ASSISTANT PROFESSOR DR. DUMRONGKIAT RATANA-AMORNPIN, 137 PP.

The aim of the research is to develop the efficiency and effectiveness of an Air conditioner fan motor components assembly line for absorbing the expansion of customer demand by developing a semi-auto line to replacing with the existing manual line. We conduct a conceptual design accordingly to the collected details, information, and cycle time from the customer, by evaluating the Risk Priority Number and the Overall Equipment Effectiveness. The semi-auto machine line was constructed, install, and commissioning by setting the appropriate parameters for all the processes, such as lubricant and ultrasonic controller. The processes were developed to achieve the required quantity and quality by using design of experiment and regression analysis. We find out upon this new machine development that the manpower reduced from 4 to 2 persons and the overall equipment effectiveness to become 81.15%.

Keywords Failure Modes and Effects Analysis, Overall Equipment Efficiency, Linear Regression, Design of Experiment, Semi-Auto Production Line

TNI

Graduate School

Field of Engineering of Technology

Academic Year 2020

Student's Signature .....

Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความเมตตาและเสียสละจากอาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์หลักนี้ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดำรงเกียรติ รัตนอมรพิน ที่ให้คำแนะนำ แนวทางที่ถูกต้อง ติดตามการดำเนินงานวิจัย และแก้ไขข้อบกพร่องให้กับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูงใน ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ประธานกรรมการสอบ อาจารย์กรรมการสอบและ อาจารย์กรรมการสอบ ภายนอก ที่สละเวลาพิจารณา ให้คำแนะนำและแนะนำแนวทางการแก้ไขให้กับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณโรงงานกรณีศึกษาและบริษัท Nittoku (Thailand) จำกัด สำหรับความกรุณาให้ทำการศึกษาและโอกาสในการทำงานรวมถึงความร่วมมือในการจัดคณะทำงาน ระดมสมองแสดงข้อคิดเห็นต่างๆ ร่วมการทำงานทดลอง และอำนวยความสะดวกในด้านเครื่องมือและอุปกรณ์

ขอขอบพระคุณรณชัย ยศสุธรรม และ คุณนพพล ใจจันทร์ ฝ่ายซ่อมบำรุงเครื่องจักร คุณ และคุณสุกิจ จันท์แจ่มแจ้ง และคุณอนุชา สุขคำ ฝ่ายออกแบบเครื่องจักร คุณฉัตรชัย สีนสวาท และคุณธวัช จันมัต ฝ่ายประกอบเครื่องจักร และคุณอัสนี เจริญโต ฝ่ายออกแบบวงจรไฟฟ้า ที่ให้ความช่วยเหลือให้ด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการติดต่อประสานงาน การใช้เครื่องมือ อำนวยความสะดวก สนับสนุนข้อมูล การทดลองและเก็บข้อมูล เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่คอยเป็นกำลังใจ ครูบาอาจารย์ที่คอยเตือนสติ ให้ความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้กับผู้วิจัย จนทำให้ประสบความสำเร็จในการทำงานวิจัย ฉบับนี้

ชัยพงศ์ โชติภัทร์เดชารัตน์

## สารบัญ

หน้า

|                         |   |
|-------------------------|---|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....    | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ.....    | ฉ |
| สารบัญ.....             | ช |
| สารบัญตาราง.....        | ฉ |
| สารบัญรูป.....          | ท |

บทที่

|   |                                                                                             |    |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | บทนำ.....                                                                                   | 1  |
|   | 1.1 ที่มาและความสำคัญ.....                                                                  | 1  |
|   | 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....                                                            | 1  |
|   | 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....                                                                  | 2  |
|   | 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....                                                          | 2  |
| 2 | ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....                                                          | 3  |
|   | 2.1 ทฤษฎี.....                                                                              | 3  |
|   | 2.1.1 การแจกแจงค่าเฉลี่ยตัวอย่าง.....                                                       | 3  |
|   | 2.1.2 การวิเคราะห์รูปแบบความล้มเหลวและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA)..... | 4  |
|   | 2.1.3 สมการถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear regression).....                                        | 5  |
|   | 2.1.4 หลักสถิติ.....                                                                        | 6  |
|   | 2.1.5 การวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Efficiency: OEE).....         | 13 |
|   | 2.2 วิจัยที่เกี่ยวข้อง.....                                                                 | 14 |
| 3 | วิธีการดำเนินงาน.....                                                                       | 19 |
|   | 3.1 วัสดุ อุปกรณ์ วิธีการที่ใช้.....                                                        | 19 |

## สารบัญ (ต่อ)

| บทที่ | หน้า                                                                                                |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3     | 3.2 แผนงานการดำเนินงานวิจัย และพัฒนาเครื่องจักรสายการผลิตกึ่งอัตโนมัติ .... 20                      |
|       | 3.3 ระยะเวลาการดำเนินการแผนงาน..... 21                                                              |
|       | 3.4 การศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาเครื่องจักรประกอบส่วนประกอบมอเตอร์พัดลม<br>ของเครื่องปรับอากาศ..... 21 |
|       | 3.4.1 ส่วนประกอบมอเตอร์พัดลมของเครื่องปรับอากาศ..... 21                                             |
|       | 3.4.2 เครื่องจักรสายการผลิตแบบผลิตด้วยมือ ..... 23                                                  |
|       | 3.4.3 เครื่องจักรสายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติ ..... 24                                                |
|       | 3.5 มาตรฐานข้อกำหนดของชิ้นงาน ..... 26                                                              |
|       | 3.5.1 การตัด Thrust board..... 27                                                                   |
|       | 3.5.2 น้ำหนักน้ำมัน ..... 27                                                                        |
|       | 3.5.3 Ultrasonic Welding ..... 29                                                                   |
|       | 3.6 ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร..... 31                                                         |
|       | 3.7 มาตรฐานการทดสอบเครื่องจักรสายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติ ..... 35                                   |
| 4     | ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... 36                                                                        |
|       | 4.1 กระบวนการการตัด Thrust board ..... 36                                                           |
|       | 4.2 กระบวนการฉีदनํ้ามัน ..... 36                                                                    |
|       | 4.3 กระบวนการ Ultrasonic Welding..... 37                                                            |
|       | 4.4 เพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมให้กับเครื่องจักรสายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติ ..... 40                      |
| 5     | บทสรุป ข้อเสนอแนะ บทวิจารณ์..... 42                                                                 |
|       | 5.1. รอบเวลาผลิต..... 42                                                                            |
|       | 5.2 มาตรฐานข้อกำหนดของชิ้นงาน ..... 43                                                              |
|       | 5.2.1 กระบวนการตัด Thrust Board ..... 43                                                            |
|       | 5.2.2 กระบวนการฉีदनํ้ามัน ..... 43                                                                  |
|       | 5.2.3 กระบวนการ Ultrasonic Welding..... 43                                                          |
|       | 5.3 ประสิทธิภาพโดยรวมของไลน์เครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติและคุณภาพของชิ้นงาน..... 43                     |

## สารบัญ (ต่อ)

| บทที่ | หน้า                                                                     |
|-------|--------------------------------------------------------------------------|
| 5     | 5.4 Payback period ..... 45                                              |
|       | 5.5 ข้อเสนอแนะ ..... 45                                                  |
|       | บรรณานุกรม..... 46                                                       |
|       | ภาคผนวก..... 49                                                          |
|       | ภาคผนวก ก. การทดสอบค่าปัจจัยเบื้องต้นเครื่อง Ultrasonic..... 50          |
|       | ก.1 การเลือกค่า Controller ของ Ultrasonic ..... 51                       |
|       | ก.2 การทดสอบเบื้องต้น ทดลองกับโหมด Distance ..... 52                     |
|       | ก.3 การทดลองกับโหมด Pres. LV ..... 54                                    |
|       | ก.4 การทดลองปรับค่าปัจจัย EXP Start..... 56                              |
|       | ภาคผนวก ข. ค่าลำดับคะแนนความเสี่ยง (RPN)..... 58                         |
|       | ข.1 การคัดเลือกหัวข้อของปัญหาด้วยค่าลำดับความเสี่ยง ..... 59             |
|       | ข.2 ประเมินค่าลำดับความเสี่ยงหลังปรับปรุงกระบวนการประกอบ ..... 65        |
|       | ภาคผนวก ค. กระบวนการตัด Thrust Board..... 69                             |
|       | ค.1 การทดลองการตัด Thrust board..... 70                                  |
|       | ภาคผนวก ง. กระบวนการฉีดน้ำมัน ..... 73                                   |
|       | ง.1 วิเคราะห์ความสัมพันธ์น้ำหนักน้ำมัน ..... 74                          |
|       | ง.2 การคำนวณหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องฉีดน้ำมัน ..... 80      |
|       | ภาคผนวก จ. การทดลอง DOE ครั้งที่ 1..... 82                               |
|       | จ.1 วิเคราะห์ลักษณะของข้อมูลการทดลองครั้งที่ 1 ..... 88                  |
|       | จ.2 วิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนองการทดลองครั้งที่ 1 ..... 89  |
|       | จ.3 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าตอบสนอง การทดลองครั้งที่ 1 ..... 94        |
|       | จ.4 หาค่าปัจจัยที่เหมาะสม การทดลองครั้งที่ 1 ..... 97                    |
|       | ภาคผนวก ฉ. การทดลอง DOE ครั้งที่ 2..... 100                              |
|       | ฉ.1 วิเคราะห์ลักษณะของข้อมูลการทดลองครั้งที่ 2 ..... 104                 |
|       | ฉ.2 วิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนองการทดลองครั้งที่ 2 ..... 105 |

## สารบัญ (ต่อ)

| บทที่                                                                | หน้า |
|----------------------------------------------------------------------|------|
| ฉ.3 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าตอบสนอง การทดลองครั้งที่ 2.....        | 107  |
| ฉ.4 หาค่าปัจจัยที่เหมาะสมด้วย การทดลองครั้งที่ 2 .....               | 110  |
| ภาคผนวก ข. การทดลอง DOE ครั้งที่ 3.....                              | 112  |
| ข.1 วิเคราะห์ลักษณะของข้อมูลการทดลองครั้งที่ 3 .....                 | 115  |
| ข.2 วิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนองการทดลองครั้งที่ 3 ..... | 116  |
| ข.3 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าตอบสนอง การทดลองครั้งที่ 3.....        | 117  |
| ข.4 หาค่าปัจจัยที่เหมาะสมด้วย การทดลองครั้งที่ 3 .....               | 118  |
| ภาคผนวก ข. ยืนยันผลการทดลอง DOE .....                                | 119  |
| ข.1 ยืนยันผลการทดลอง DOE.....                                        | 120  |
| ภาคผนวก ฉ. ปรับปรุงแก้ไขกระบวนการประกอบ .....                        | 124  |
| ฉ.1 Load in Station .....                                            | 125  |
| ฉ.2 Ball Station .....                                               | 127  |
| ฉ.3 Spring Station.....                                              | 128  |
| ฉ.4 Cover Station .....                                              | 131  |
| ฉ.5 Ultrasonic Station.....                                          | 133  |
| ฉ.6 Load out Station .....                                           | 136  |
| ประวัติย่อผู้วิจัย .....                                             | 137  |

TNI

## สารบัญตาราง

| ตาราง                                                                         | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว.....                                      | 8    |
| 2.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง .....                                       | 9    |
| 2.3 เปรียบเทียบรูปแบบการทดลอง DOE .....                                       | 12   |
| 3.1 น้ำหนักน้ำมันที่รวบรวมได้ .....                                           | 29   |
| 3.2 เก็บบันทึกผลปัญหาของเครื่องจักรก่อนปรับปรุง.....                          | 32   |
| 3.3 เวลาปรับตั้งเครื่องจักร .....                                             | 33   |
| 4.1 ค่าเฉลี่ยของผลการเก็บบันทึกโดยใช้ค่าปัจจัยที่เหมาะสมจากการทดลอง DOE ..... | 39   |
| 4.2 ผลการทดสอบกระบวนการหลังปรับปรุง .....                                     | 41   |
| 5.1 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพโดยรวมเครื่องจักรก่อนและหลังปรับปรุง.....        | 44   |
| ก.1 ผลการเก็บบันทึกทดสอบเบื้องต้นโมเดล A.....                                 | 52   |
| ก.2 ผลการเก็บบันทึกทดสอบเบื้องต้นโมเดล B.....                                 | 53   |
| ก.3 ผลการทดลองเพื่อคัดเลือกปัจจัย ครั้งที่ 2 โมเดล A.....                     | 54   |
| ก.4 ผลการทดลองเพื่อคัดเลือกปัจจัย ครั้งที่ 2 โมเดล B.....                     | 55   |
| ก.5 ผลการทดลองเพื่อคัดเลือกระดับค่าปัจจัย EXP. Start ของโมเดล A.....          | 56   |
| ก.6 ผลการทดลองเพื่อคัดเลือกระดับค่าปัจจัย EXP. Start ของโมเดล B.....          | 57   |
| ข.1 เกณฑ์คะแนน S ประเมินผลกระทบที่ทำให้กระบวนการหยุดการผลิต .....             | 59   |
| ข.2 เกณฑ์คะแนน O ประเมินความถี่จากข้อผิดพลาดที่ทำให้กระบวนการหยุดการผลิต..... | 60   |
| ข.3 เกณฑ์คะแนน D ประเมินความเป็นไปได้ที่ทำให้เกิดการทำให้ซ้ำและงานเสีย.....   | 60   |
| ข.4 ค่าคะแนนลำดับความเสี่ยงก่อนทำการปรับปรุง .....                            | 62   |
| ข.5 ค่าคะแนนลำดับความเสี่ยงหลังทำการปรับปรุง.....                             | 66   |
| ค.1 ค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ Thrust board จากตัวอย่าง 30 ชิ้น .....         | 71   |
| ง.1 บันทึกผลการทดลองความยาวของกระบอกกลมโมเดล A.....                           | 75   |
| ง.2 บันทึกผลการทดลองความยาวของกระบอกกลมโมเดล B.....                           | 76   |
| ง.3 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์น้ำหนักน้ำมันโมเดล A.....                       | 78   |
| ง.4 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์น้ำหนักน้ำมันโมเดล B.....                       | 79   |
| ง.5 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์น้ำหนักน้ำมันโมเดล B.....                       | 80   |
| ง.6 ผลการทดลองน้ำหนักน้ำมันโมเดล A และโมเดล B ด้วยค่าปัจจัยที่เหมาะสม .....   | 81   |



## สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตาราง | หน้า                                                                    |
|-------|-------------------------------------------------------------------------|
| จ.1   | ค่าระดับปัจจัยนำเข้าของการทดลองครั้งที่ 1 ..... 83                      |
| จ.2   | ผลของการทดลองครั้งที่ 1 โมเดล A..... 84                                 |
| จ.3   | ผลของการทดลองครั้งที่ 1 โมเดล B..... 86                                 |
| จ.4   | ค่า Coded Coefficients การทดลองครั้งที่ 1 โมเดล A ..... 90              |
| จ.5   | สรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนองการทดลองครั้งที่ 1 โมเดล A..... 91   |
| จ.6   | ค่า Coded Coefficients การทดลองครั้งที่ 1 โมเดล B ..... 92              |
| จ.7   | สรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนองการทดลองครั้งที่ 1 โมเดล B ..... 93  |
| จ.8   | Model Summary การทดลองครั้งที่ 1 โมเดล A..... 95                        |
| จ.9   | Model Summary การทดลองครั้งที่ 1 โมเดล B ..... 97                       |
| ฉ.1   | ค่าระดับปัจจัยนำเข้าของการทดลองครั้งที่ 2 ..... 101                     |
| ฉ.2   | ผลของการทดลองครั้งที่ 2 โมเดล A ..... 102                               |
| ฉ.3   | ผลของการทดลองครั้งที่ 2 โมเดล B..... 103                                |
| ฉ.4   | ค่า Coded Coefficients การทดลองครั้งที่ 2 โมเดล A ..... 105             |
| ฉ.5   | สรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนองการทดลองครั้งที่ 2 โมเดล A..... 105  |
| ฉ.6   | ค่า Coded Coefficients การทดลองครั้งที่ 2 โมเดล B ..... 106             |
| ฉ.7   | สรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนองการทดลองครั้งที่ 2 โมเดล B ..... 106 |
| ฉ.8   | Model Summary การทดลองครั้งที่ 2 โมเดล A..... 108                       |
| ฉ.9   | Model Summary การทดลองครั้งที่ 2 โมเดล B ..... 109                      |
| ช.1   | ค่าระดับปัจจัยนำเข้าของการทดลองครั้งที่ 3 ..... 113                     |
| ช.2   | ผลของการทดลองครั้งที่ 3 โมเดล A (AMP 70%)..... 113                      |
| ช.3   | ผลของการทดลองครั้งที่ 3 โมเดล A (AMP 75%)..... 113                      |
| ช.4   | ผลของการทดลองครั้งที่ 3 โมเดล B..... 114                                |
| ช.5   | ค่า Coded Coefficients การทดลองครั้งที่ 3 โมเดล B ..... 116             |
| ช.6   | สรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนองการทดลองครั้งที่ 3 โมเดล B ..... 116 |
| ช.7   | Model Summary การทดลองครั้งที่ 3 โมเดล B ..... 117                      |
| ช.1   | ค่าปัจจัยที่เหมาะสมจากการทดลอง DOE..... 120                             |
| ช.2   | ผลการทดสอบค่าปัจจัยที่เหมาะสมโมเดล A ..... 121                          |



## สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตาราง |                                           | หน้า |
|-------|-------------------------------------------|------|
| ช.3   | ผลการทดสอบค่าปัจจัยที่เหมาะสมโมเดล B..... | 122  |
| ฉ.1   | หัวข้อของปัญหา Load in Station .....      | 125  |
| ฉ.2   | สาเหตุของปัญหา Ball Station .....         | 127  |
| ฉ.3   | สาเหตุของปัญหา Spring Station.....        | 128  |
| ฉ.4   | สาเหตุของปัญหา Cover Station .....        | 131  |
| ฉ.5   | สาเหตุของปัญหา Ultrasonic Station.....    | 133  |
| ฉ.6   | สาเหตุของปัญหา Load out Station .....     | 136  |

TNI

THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

## สารบัญรูป

| รูป  | หน้า                                                                         |
|------|------------------------------------------------------------------------------|
| 2.1  | ระดับความรุนแรงของปัญหา .....4                                               |
| 2.2  | กราฟสมการถดถอยเชิงเส้น .....6                                                |
| 2.3  | รูปแบบการทดลอง DOE..... 11                                                   |
| 3.1  | การดำเนินงานวิจัย..... 20                                                    |
| 3.2  | แผนดำเนินงาน ..... 21                                                        |
| 3.3  | ชิ้นส่วนประกอบมอเตอร์พัดลมของเครื่องปรับอากาศทั้ง 2 โมเดล ..... 22           |
| 3.4  | แผนผังเครื่องจักรสายการผลิตแบบผลิตด้วยมือ ..... 23                           |
| 3.5  | กระบวนการประกอบเครื่องจักรสายการผลิตแบบผลิตด้วยมือ..... 24                   |
| 3.6  | เครื่องจักรสายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติ ..... 24                               |
| 3.7  | แผนผังเครื่องจักรสายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติ ..... 25                         |
| 3.8  | กระบวนการประกอบเครื่องจักรสายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติ ..... 26                |
| 3.9  | เครื่องซึ่งใช้วัตน้ำหนัมน้ำมัน ..... 27                                      |
| 3.10 | Controller ใช้น้ำมัน ..... 28                                                |
| 3.11 | จุดวัดความสูงของชิ้นงาน ..... 29                                             |
| 3.12 | งานเสียจากรอยแตก รอยไหม้ และเศษ Bari..... 30                                 |
| 3.13 | แผนภูมิ Why-Why Analysis เครื่องจักรสายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติ..... 35       |
| 4.1  | แผนภูมิการทดลองกระบวนการ Ultrasonic Welding ..... 38                         |
| 5.1  | รอบเวลาผลิตเครื่องจักรส่วนประกอบมอเตอร์พัดลมของเครื่องปรับอากาศ ..... 42     |
| 5.2  | เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพโดยรวมเครื่องจักรก่อนและหลังปรับปรุง ..... 44       |
| ข.1  | แผนภูมิ Pareto ค่าลำดับความเสี่ยง (RPN) ก่อนปรับปรุงกระบวนการประกอบ ..... 61 |
| ข.2  | แผนภูมิ Pareto ค่าลำดับความเสี่ยง (RPN) หลังปรับปรุงกระบวนการประกอบ..... 65  |
| ค.1  | Normal Distribution ค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง Thrust board..... 72             |
| ค.2  | การวัดเส้นผ่าศูนย์กลาง Thrust board..... 72                                  |
| ง.1  | กราฟผลการทดลองความยาวของกระบอกลมโมเดล A..... 77                              |
| ง.2  | กราฟผลการทดลองความยาวของกระบอกลมโมเดล B..... 77                              |
| ง.3  | Normal Distribution ค่าน้ำหนักน้ำมัน โมเดล A และโมเดล B..... 81              |
| จ.1  | กราฟคุณสมบัติของข้อมูลการทดลองครั้งที่ 1 โมเดล A ..... 88                    |

## สารบัญรูป (ต่อ)

| รูป  | หน้า                                                           |
|------|----------------------------------------------------------------|
| จ.2  | กราฟคุณสมบัติของข้อมูลการทดลองครั้งที่ 1 โมเดล B..... 88       |
| จ.3  | Optimal โมเดล A การทดลองครั้งที่ 1..... 98                     |
| จ.4  | Optimal โมเดล B การทดลองครั้งที่ 1..... 98                     |
| ฉ.1  | กราฟคุณสมบัติของข้อมูลการทดลองครั้งที่ 2 โมเดล A..... 104      |
| ฉ.2  | กราฟคุณสมบัติของข้อมูลการทดลองครั้งที่ 2 โมเดล B..... 104      |
| ฉ.3  | Optimal โมเดล A การทดลองครั้งที่ 2..... 110                    |
| ฉ.4  | Optimal โมเดล B การทดลองครั้งที่ 2..... 110                    |
| ช.1  | กราฟคุณสมบัติของข้อมูลการทดลองครั้งที่ 3 โมเดล B..... 115      |
| ช.2  | Optimal โมเดล B การทดลองครั้งที่ 3..... 118                    |
| ซ.1  | Normal Distribution ค่าความสูงของชิ้นงาน โมเดล A..... 120      |
| ซ.2  | Normal Distribution ค่าความสูงของชิ้นงาน โมเดล B..... 121      |
| ฌ.1  | กระบวนการทำงาน Part Feeder Load in ..... 126                   |
| ฌ.2  | กระบวนการทำงาน Part Feeder Load in ก่อนปรับปรุง ..... 126      |
| ฌ.3  | กระบวนการทำงาน Part Feeder Load in หลังปรับปรุง..... 126       |
| ฌ.4  | ส่วนประกอบ Ball Unit ..... 127                                 |
| ฌ.5  | ชิ้นส่วน Pick up Hold Spring ก่อนปรับปรุง..... 129             |
| ฌ.6  | ชิ้นส่วน Pick up Hold Spring หลังปรับปรุง ..... 129            |
| ฌ.7  | Jig Transfer Unit ..... 130                                    |
| ฌ.8  | กระบวนการทำงาน Part Feeder Cover ก่อนปรับปรุง ..... 132        |
| ฌ.9  | กระบวนการทำงาน Part Feeder Cover หลังปรับปรุง..... 132         |
| ฌ.10 | กระบวนการทำงาน Part Feeder Cover ..... 134                     |
| ฌ.11 | Gripper Transfer Unit หลังปรับปรุง (เพิ่มตัวกด Cover)..... 134 |
| ฌ.12 | Gripper Transfer Unit ก่อนปรับปรุง ..... 135                   |
| ฌ.13 | Gripper Transfer Unit หลังปรับปรุง..... 135                    |
| ฌ.14 | การปรับปรุง Jig Transfer Unit ..... 135                        |
| ฌ.15 | การปรับปรุง Gripper Load out ..... 136                         |

## บทที่ 1 บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันในอุตสาหกรรมเริ่มนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในด้านการผลิตมากขึ้น โดยเปลี่ยนแปลงเป็นสายการผลิตแบบอัตโนมัติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผล และลดการใช้ทรัพยากรบุคลากร ในเวลาเดียวกันความต้องการหรืออุปสงค์มีเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นกระบวนการผลิตที่ใช้ในปัจจุบันเป็นสายการผลิตแบบผลิตด้วยมือ (Manual) มีผลผลิตน้อยกว่าความต้องการของลูกค้า จึงมีความจำเป็นต้องปรับปรุงกระบวนการผลิตรวดเร็วขึ้น ผลิตผลเพิ่มขึ้นเพื่อรองรับความต้องการของลูกค้า โดยเพิ่มกำลังการผลิต ทดแทนการทำงานของคน และป้องกันข้อผิดพลาดต่างๆ ที่เกิดจากคน เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าที่เพิ่มมากขึ้น จึงนำไปสู่การผลิตเครื่องจักรสายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติ

ปัจจุบันมอเตอร์พัดลมของเครื่องปรับอากาศ มีความต้องการที่เพิ่มมากขึ้นอย่างมาก จำเป็นต้องเพิ่มขีดความสามารถในการผลิตและรองรับความต้องการของลูกค้าที่เพิ่มมากขึ้น จึงมีแนวคิดในการปรับปรุงและพัฒนาสายการผลิตแบบผลิตด้วยมือไปสู่สายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติ เพื่อลดความสูญเสียในด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นความสูญเสียจากการหยุดการผลิต ความสูญเสียจากการทำซ้ำและแก้ไข ความสูญเสียจากความผิดพลาดจากคน ความสูญเสียจากงานเสีย และเพิ่มผลผลิตในการผลิต โดยเริ่มตั้งแต่การออกแบบกระบวนการผลิต การปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม และหาค่าปัจจัยที่ทำให้งานได้ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ของเครื่องจักรสายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติ

### 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพิ่มประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) สายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติให้มีค่าเกิน 85%
- 1.2.2 เวลารอบผลิตของลูกค้า (TAKT Time) 8.93 วินาทีต่อชิ้น
- 1.2.3 เพิ่มคุณภาพในการผลิตของเครื่องจักรสายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติให้มีค่าเกิน 95%

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษากระบวนการเครื่องจักรสายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติและวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่ทำให้กระบวนการผลิตหยุดชะงักและเกิดของเสีย

1.3.2 วิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำมันและความสูงของชิ้นงานโดยจะพิจารณาปัจจัยที่ควบคุมได้

1.3.3 วิเคราะห์ พัฒนา กระบวนการประกอบรุ่นที่ใช้เป็นกรณีศึกษามอเตอร์พัดลมของเครื่องปรับอากาศของสายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติในปัจจุบันเท่านั้น

1.3.4 ได้รับค่าปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องจักรสายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติให้คุณภาพของชิ้นงานอยู่ในช่วงค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เพิ่มขีดความสามารถในการผลิตส่วนประกอบมอเตอร์พัดลมของเครื่องปรับอากาศเพื่อรองรับความต้องการของลูกค้าที่เพิ่มขึ้น

1.4.2 หลักการและรูปแบบการตั้งค่าระดับพารามิเตอร์สำหรับเครื่องจักรสายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติที่เหมาะสม สามารถใช้เป็นแนวทางการกำหนด สำหรับเครื่องจักรที่มีลักษณะใกล้เคียงกันได้

1.4.3 เป็นแนวทางการปฏิบัติการ เพื่อปรับปรุงกระบวนการประกอบจากสายการผลิตแบบผลิตด้วยมือ พัฒนาเป็นสายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยเฉพาะสายการประกอบ

1.4.4 สามารถใช้หลักการจากการลดความสูญเปล่า ลดจำนวนครั้งและเวลาในการหยุดการผลิตเล็กๆ น้อยๆ ของเครื่องจักรสายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติ จากสาเหตุพารามิเตอร์ไม่เหมาะสม

1.4.5 สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้า ทั้งกำลังการผลิตและคุณภาพ พัฒนามาตามเป้าหมายที่ลูกค้ากำหนด ทั้ง OEE, TAKT time และคุณภาพ

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎี

##### 2.1.1 การแจกแจงค่าเฉลี่ยตัวอย่าง

พิศุทธิ์ พงษ์ยศ [1] กล่าวถึง การแจกแจงค่าเฉลี่ยตัวอย่างใช้สำหรับการสุ่มตัวอย่างเป็นตัวแทนของกลุ่มประชากร เนื่องจากการเก็บข้อมูลของประชากรทั้งหมดนั้นเป็นไปได้ยาก การเก็บข้อมูลการใช้ค่าเฉลี่ยตัวอย่าง ( $\bar{x}$  เขียนแทนด้วย  $\mu_{\bar{x}}$ ) เป็นตัวประมาณค่าที่ดีที่สุดของค่าเฉลี่ยตัวอย่าง ( $\mu_x$ ) ซึ่งจะมีค่าเท่ากับกันจึงเขียนสมการได้ดังนี้

$$\mu_{\bar{x}} = \frac{\sum x}{n} \quad (2.1)$$

เนื่องจากการหาความเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรนั้นเป็นสิ่งที่ทำได้ยากมากจึงใช้ความเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่าง  $S$  แทน ซึ่งเป็นตัวประมาณค่านั่นเอง

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2.2)$$

รูปการแจกแจงค่าเฉลี่ยตัวอย่างนั้นจะมีการแจกแจงแบบไม่ปกติและแจกแจงแบบปกติ ซึ่งการแจกแจงแบบไม่ปกติจะมีลักษณะผสมกันกับการแจกแจงแบบปกติ สัดส่วนของการแจกแจงแบบปกติจะมากขึ้นเรื่อยๆ ตามขนาดตัวอย่างที่ถูกสุ่มเพิ่มขึ้น ตามทฤษฎีแนวนอนเข้าสู่ศูนย์กลาง (Central Limit Theorem) คือถ้าทำการเก็บตัวอย่างในจำนวนที่มากพอ การกระจายของค่าตัวอย่างจะมีแนวนอนใกล้เคียงกับการกระจายแบบปกติเสมอ ซึ่งโดยทั่วไปขนาดตัวอย่างที่ทำให้การแจกแจงเป็นแบบปกติหรือใกล้เคียง ตัวอย่างจะมีขนาด  $n \geq 30$  จะสามารถนำตัวอย่างนี้ไปหาค่าความน่าจะเป็นด้วยวิธีการเดียวกันกับการแจกแจงแบบปกติ กำหนดให้  $T$  เป็นตัวแปรสุ่มของการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเท่ากับ  $T$  โดยสามารถแปลงตัวสถิติ  $\bar{x}$  ให้เป็นตัวแปรสุ่ม  $T$  ได้ดังสมการต่อไปนี้

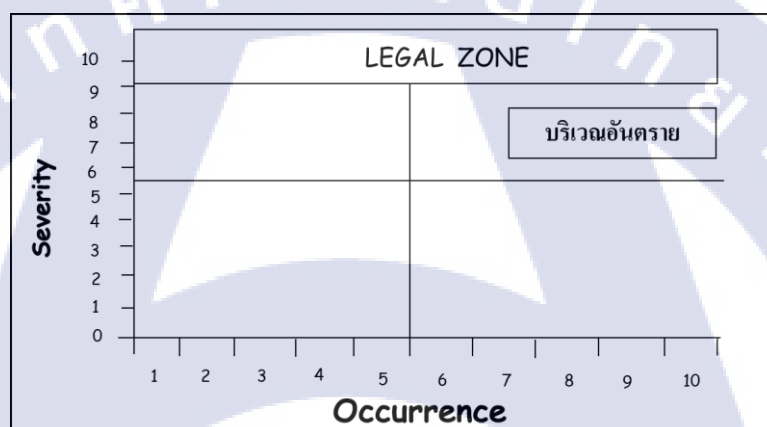
$$T = \frac{\bar{x} - \mu}{s} \quad (2.3)$$

### 2.1.2 การวิเคราะห์รูปแบบความล้มเหลวและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA)

เรวัตร์ ชาตรีวิชญ์ [2] กล่าวถึง การวิเคราะห์รูปแบบความล้มเหลวและผลกระทบ (FMEA) เพื่อลดอัตราข้อบกพร่องของการผลิตในระยะเริ่มแรกและระยะการใช้งานปกติ โดยเน้นการคาดการณ์ปัญหาหรือลักษณะข้อบกพร่อง

#### 1. จุดมุ่งหมายของ FMEA

1. พิจารณาปัญหาและสาเหตุที่เกิดขึ้นที่เกี่ยวข้องกับการผลิต
2. หาแนวทางการแก้ไขลดความเสี่ยงหรือโอกาสให้น้อยที่สุด
3. เก็บบันทึกข้อมูล



รูปที่ 2.1 ระดับความรุนแรงของปัญหา [2]

#### 2. ชนิดของ FMEA

1. FMEACA (Failure Mode Effect and Criticality Analysis)
2. Design FMEA ใช้สำหรับกิจกรรมในการออกแบบเพื่อพิจารณาคุณสมบัติของสินค้าความสามารถในการผลิต ค่าใช้จ่ายและบรรจุภัณฑ์
3. Process FMEA ใช้สำหรับกิจกรรมในกระบวนการผลิตเพื่อลดปัจจัยเสี่ยงที่สามารถควบคุมได้ (ไม่ได้เกิดขึ้นตามธรรมชาติ) ให้มั่นใจว่าสินค้าผลิตในภายใต้ข้อกำหนด
4. Service FMEA ใช้สำหรับกิจกรรมการบริการลูกค้าเพื่อลดปัจจัยเสี่ยงในด้านต่างๆที่เกิดจากลูกค้าหรือพนักงานโดยคิดถึงลูกค้าเป็นหลัก

#### 3. ขั้นตอนการทำ FMEA

1. กำหนดลำดับขั้นตอนการวิเคราะห์



2. ศึกษาขั้นตอนของกระบวนการ/ออกแบบ/บริการ
3. อธิบายลักษณะงานหรือหน้าที่ของแต่ละกระบวนการ
4. ระบุข้อบกพร่องที่มีโอกาสที่จะเกิดขึ้น
5. ระบุผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากข้อบกพร่อง
6. ระบุสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง
7. ระบุวิธีการป้องกัน
8. ให้คะแนนความรุนแรง (S) โอกาสที่จะเกิด (O) ความสามารถในการตรวจจับ (D) โดยใช้ตารางการให้คะแนนที่ได้จากการระดมสมองและประชุมตกลงกันในแต่ละฝ่าย
9. คำนวณค่าลำดับความเสี่ยง (Risk Risk Priority Number: RPN) สูตรคือ

$$RPN = S \times O \times D \quad (2.4)$$

10. กำหนดระดับค่า RPN ที่ต้องแก้ไข
11. ระบุวิธีการแก้ไขปรับปรุง ผู้รับผิดชอบ
12. คำนวณค่า RPN หลังการแก้ไขปรับปรุง

### 2.1.3 สมการถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear regression)

ฉลอง สีแก้วสัว [3] กล่าวถึง ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงเป็นการใช้สมการถดถอยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปรและทำนายค่าตัวแปรตัวหนึ่งเมื่ออีกตัวแปรหนึ่งเปลี่ยนแปลงไป โดยแนวคิดการสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์จะเป็นแบบเชิงเส้นระหว่าง 2 ตัวแปรจากสมการดังนี้

$$\hat{y}_i = mx_i + c \quad (2.5)$$

y = ตัวแปรตาม

x = ตัวแปรอิสระ

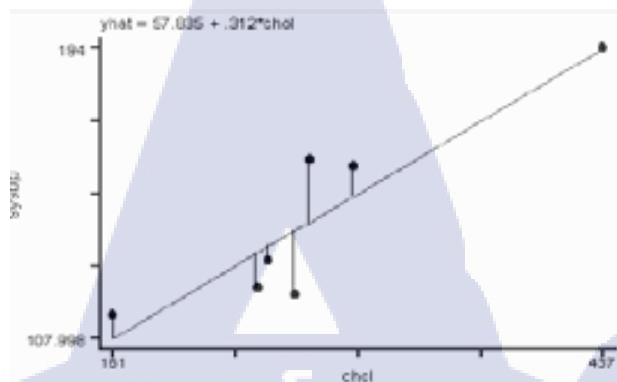
m = ค่า Slope หรือค่าความลาดเอียงของเส้นกราฟ

c = ค่า Y interception หรือจุดตัดแกน Y เมื่อ x = 0

$$m = (\sum xy - (\frac{\sum x \sum y}{n})) / (\sum x^2 - n(\bar{x}^2)) \quad (2.6)$$



$$c = \bar{y} - m\bar{x} \quad (2.7)$$



รูปที่ 2.2 กราฟสมการถดถอยเชิงเส้น [3]

หลักการคำนวณคือการทำให้ระยะห่างระหว่างจุด (x) กับ เส้นตรงน้อยที่สุดโดยหลัก ประเมินสมการถดถอยจะพิจารณาจากค่า Coefficient of determination ( $r^2$ ) หรือ R-Squared ค่า  $r^2$  จะมีค่าแค่ 0 ถึง 1 โดยค่า  $r^2$  เท่ากับ 0 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามไม่สามารถอธิบายความแปรปรวนของโมเดลที่ตัวแปรส่งผลต่อกันได้ และ ค่า  $r^2$  เท่ากับ 1 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนของโมเดลที่ตัวแปรส่งผลต่อกันได้ดี

$$r^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 / \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}) \quad (2.8)$$

$$\text{หรือ} \quad r^2 = m^2 (SS_{xx} / SS_{yy}) \quad (2.9)$$

$$SS_{xx} = \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2 / n \quad (2.10)$$

$$SS_{yy} = \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2 / n \quad (2.11)$$

#### 2.1.4 หลักสถิติ

ปารเมศ ชูติมา [4] กล่าวถึง สถิติคือการเก็บรวบรวมข้อมูล การบริหารจัดการ การวิเคราะห์และการตีความข้อมูล เพื่อช่วยในการตัดสินใจหรือหาข้อสรุป

##### 1. การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลทำให้ข้อมูลแตกต่างกันเพียงปัจจัยเดียว โดยที่ปัจจัยนั้นอาจมีหลายๆ ระดับเรียกระดับต่างๆ ของปัจจัยว่าทรีทเมนต์ (treatment) ดังนั้นจึงเป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลในระดับต่างๆ ของปัจจัย ซึ่งเรียกข้อมูลว่าค่าสังเกตและหน่วยงานนับที่ให้อข้อมูลว่าหน่วยทดลอง (experimental unit) เนื่องจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวเป็นการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยเดียวที่มีผลทำให้ค่าสังเกตแตกต่างกัน นั่นคือข้อมูลมีความแตกต่างเนื่องจากกลุ่มที่แตกต่างเท่านั้น ดังนั้นการวิเคราะห์จึงแบ่งความแปรปรวนของข้อมูลเป็นดังนี้

1. ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (Between Groups Sum of Square) แทนด้วย SSB เป็นการพิจารณาความแปรปรวนที่เกิดจากการที่ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างในแต่ละกลุ่มแตกต่างจากค่าเฉลี่ยรวม
2. ความแปรปรวนภายในกลุ่ม (Within Group Sum of Square) แทนด้วย SSE เป็นการพิจารณาความแปรปรวนที่เกิดขึ้นภายในกลุ่มแต่ละกลุ่ม ซึ่งไม่ทราบสาเหตุ ในบางครั้งจึงเรียกว่าความคลาดเคลื่อน (Error Sum of Square)
3. ความแปรปรวนรวม (Total Sum of Square) แทนด้วย SST เป็นการพิจารณาความแปรปรวนที่เกิดจากค่าสังเกตแต่ละค่าแตกต่างจากค่าเฉลี่ยรวม

มีเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความแปรปรวนในการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากร  $k$  กลุ่ม ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวน มีเงื่อนไขคือ ประชากรมีการแจกแจงแบบปกติ ความแปรปรวนของแต่ละประชากรเท่ากัน และตัวอย่างสุ่มจากแต่ละประชากรเป็นอิสระต่อกัน

การทดสอบสมมติฐานในการทดสอบ กำหนดให้

$H_0$ : ค่าเฉลี่ยของประชากร  $k$  กลุ่มไม่แตกต่างกัน

$H_1$ : ค่าเฉลี่ยของประชากร  $k$  กลุ่มแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

ซึ่งในการคำนวณสถิติ มีค่าวิกฤตคือ  $f_{1-\alpha, k-1, n-k}$  และจะปฏิเสธ  $H_0$  เมื่อค่าสถิติทดสอบ  $F$  มากกว่าค่าวิกฤต

ตารางที่ 2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

| Source of Variance | Degree of freedom (df)          | Sum square ผลรวมของค่าเบี่ยงเบนกำลังสอง                                   | ความแปรปรวน (Mean Square, MS) | ค่าสถิติ F-ratio      |
|--------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| ระหว่างกลุ่ม       | k-1<br>k = จำนวนกลุ่ม           | $SSB = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2$                          | $MSA = \frac{SSB}{k-1}$       | $F = \frac{MSB}{MSE}$ |
| ภายในกลุ่ม         | n-k<br>n = จำนวนตัวอย่างทั้งหมด | $SSE = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2$<br>และ $SSE = SST - SSA$ | $MSE = \frac{SSE}{n-k}$       |                       |
| รวมทั้งหมด         | n-1                             | $SST = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x})^2$                |                               |                       |

## 2. การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-way ANOVA)

มีแตกต่างจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวคือ ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวหน่วยตัวอย่างภายในกลุ่มเดียวกันจะต้องมีความแตกต่างกันน้อยมาก เพื่อที่จะมั่นใจได้ว่าเมื่อเกิดความแปรปรวนในการทดลอง จะนำไปสู่ข้อสรุปได้ชัดเจนว่าเป็นความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม แต่ในทางปฏิบัติอาจพบว่าการใช้หน่วยตัวอย่างที่มีความคล้ายคลึงกันจะเป็นไปได้ยากมาก อาจมีการแบ่งหน่วยทดลองออกเป็นกลุ่ม ๆ เรียกว่า บล็อก (block) โดยให้ภายในแต่ละบล็อกประกอบไปด้วยหน่วยตัวอย่างที่มีความคล้ายคลึงกัน ส่วนในต่างบล็อกก็จะเป็นหน่วยตัวอย่างที่แตกต่างกัน และจำนวนหน่วยทดลองภายในแต่ละบล็อกจะได้รับทรีทเมนต์ต่าง ๆ ครบชุด แยกแหล่งความแปรปรวนออกได้เป็น ความแปรปรวนรวม ความแปรปรวนระหว่างทรีทเมนต์ ความแปรปรวนระหว่างบล็อก และความแปรปรวนอื่นๆ โดยเริ่มต้นจากการคำนวณ Corrected of Mean (CM)

$$CM = (\sum \sum x_{ij})^2 / n \quad (2.12)$$

การทดสอบสมมติฐานในการทดสอบ กำหนดให้

$H_0$ : ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในบล็อกแต่ละบล็อกไม่แตกต่างกัน

$H_1$ : ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในบล็อกแต่ละบล็อกแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

ซึ่งในการคำนวณสถิติ ค่าวิกฤตในการทดสอบอทิพของทรีทเมนต์คือ  $f_{1-\alpha, c-1, (c-1)(r-1)}$  ค่าวิกฤตในการทดสอบอทิพของบล็อกคือ  $f_{1-\alpha, r-1, (c-1)(r-1)}$  และจะปฏิเสธ  $H_0$  เมื่อค่าสถิติทดสอบ F มากกว่าค่าวิกฤต

ตารางที่ 2.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง

| Source of Variance | Degree of freedom (df) | Sum square ผลรวมของค่าเบี่ยงเบนกำลังสอง     | ความแปรปรวน (Mean Square, MS)  | F-ratio               |
|--------------------|------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| ระหว่างทรีทเมนต์   | $r-1$                  | $SSA = \sum_{j=1}^c \frac{T_j^2}{n_j} - CM$ | $MSA = \frac{SSA}{c-1}$        | $F = \frac{MSA}{MSE}$ |
| ระหว่างบล็อก       | $c-1$                  | $SSB = \sum_{i=1}^r \frac{T_i^2}{n_i} - CM$ | $MSB = \frac{SSB}{r-1}$        | $F = \frac{MSB}{MSE}$ |
| ความคลาดเคลื่อน    | $(r-1)(c-1)$           | $SSE = SST - SSA - SSB$                     | $MSE = \frac{SSE}{(c-1)(r-1)}$ |                       |
| รวม                | $n-1$                  | $SST = SSA + SSB + SSE$                     |                                |                       |

### 3. การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE)

#### 1. ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

1. กำหนดหัวข้อปัญหา ต้องชัดเจนเข้าใจง่ายและเป็นรูปธรรมโดยใช้ What, Where, How ในการถามตอบเพื่อกำหนดหัวข้อ
2. การเลือกปัจจัย กำหนดระดับของปัจจัย ซึ่งต้องเลือกปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการ อาจใช้เครื่องมือทางสถิติ Univariate Analysis วิเคราะห์ตัวแปรเพียงหนึ่งตัว
3. การเลือกตัวตอบสนอง สามารถวัดได้โดยเครื่องมือหรือกระบวนการอื่นๆ
4. เลือกตัวแบบการทดลอง การกำหนดจำนวนสิ่งตัวอย่าง วิธีการเลือกวางแผน ทำการทดลอง วิธีเก็บผลการทดลอง และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน
5. ดำเนินการทดลอง ตรวจสอบให้เป็นไปตามแผน วิธีการ การควบคุมตัวแปร ความถูกต้องในการวัด และเก็บผลการทดลอง

6. การวิเคราะห์ข้อมูล ตรวจสอบลักษณะคุณภาพของข้อมูลที่ได้จากการทดลองหาค่าระดับนัยสำคัญของอิทธิพลของแต่ละปัจจัย อาจใช้ ANOVA ในการช่วยวิเคราะห์ข้อมูลนั้นๆ

7. สรุปผลการทดลอง

2. การดำเนินการออกแบบการทดลอง

ในการกำหนดเป้าหมายควรทำให้ข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนให้น้อยที่สุดได้สาระสำคัญของตัวปัจจัยที่กำลังพิจารณาให้ได้มากที่สุด กลยุทธ์และวิธีการจะเริ่มหลังจากที่เข้าใจสภาพของปัญหา

1. การสุ่ม การกระทำกับปัจจัยต้องมีความเป็นอิสระ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นอิสระต่อกัน และต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นที่ไม่สามารถควบคุมได้

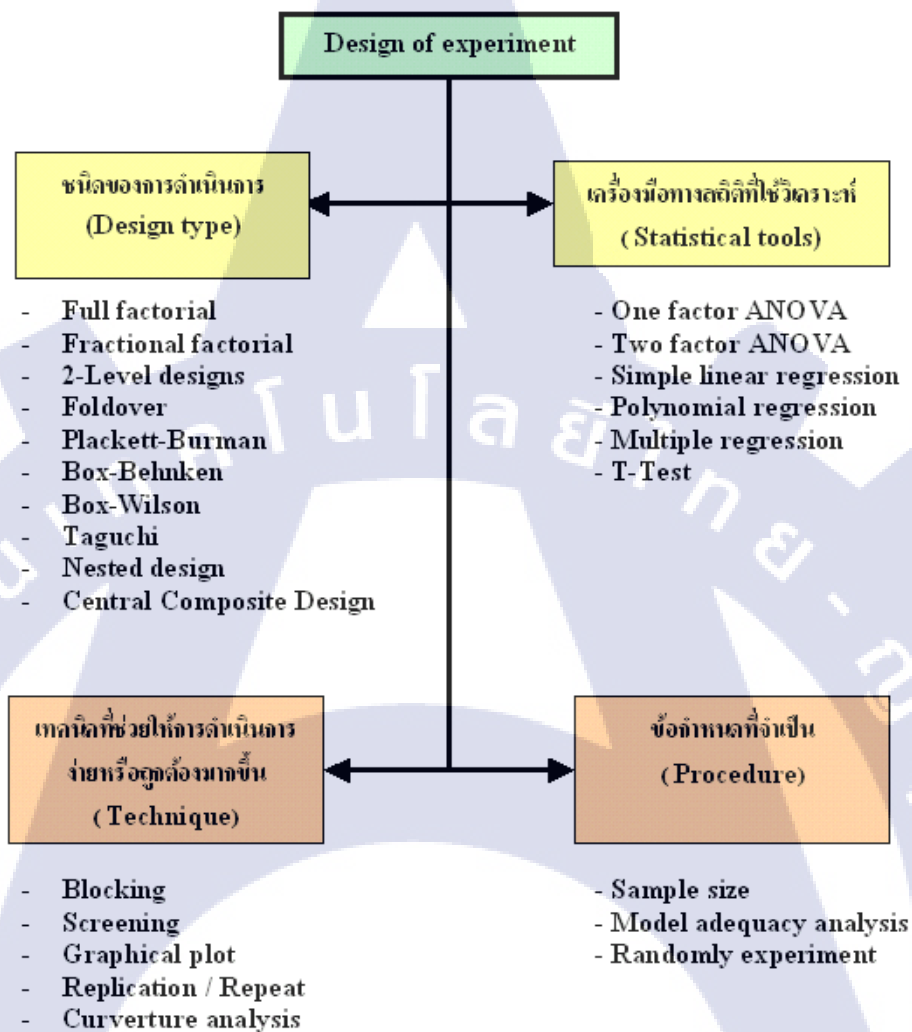
2. การทำซ้ำ การทำการทดลองซ้ำเพื่อให้เห็นและประเมินค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง แล้วนำมาประเมินว่าปัจจัยใดมีผลต่อกระบวนการใดบ้าง และกำจัดหรือลดค่าความคลาดเคลื่อนให้น้อยที่สุด

3. การบล็อก เทคนิคการเพิ่มความแม่นยำของการทดลอง อาจมีปัจจัยบางตัวที่ไม่สามารถควบคุมได้ซึ่งมีอิทธิพลต่อการทำให้เกิดการแปรผันข้อมูล โดยจำเป็นต้องกำจัดอิทธิพลของปัจจัยที่ไม่ต้องการออกไป

TNI

TAHTI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

### 3. องค์ประกอบของ Design of experiment



รูปที่ 2.3 รูปแบบการทดลอง DOE [4]

4. รูปแบบการทดลอง ชนิดของรูปแบบการทดลองนั้นมีหลากหลายรูปแบบ โดยการเลือกรูปแบบที่เหมาะสมกับผู้ทดลอง เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์ปัญหา



ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบรูปแบบการทดลอง DOE

| รูปแบบการทดลอง   | ลักษณะการทดลอง                                                                         | เวลาในการวิเคราะห์ | ความถูกต้อง | งบประมาณ |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------|----------|
| Single Factor    | การทดลองสำหรับหนึ่งปัจจัย ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบมากที่สุด                          | รวดเร็ว            | ปานกลาง     | น้อย     |
| Factorial Design | การทดลองที่มีปัจจัยมากกว่าหนึ่งและเป็นการทดลองเต็มรูปแบบ                               | นาน                | มากที่สุด   | มาก      |
| $2^k$ Design     | การทดลองที่มีปัจจัยมากกว่าหนึ่งและเป็นการทดลองเต็มรูปแบบ โดยกำหนดระดับปัจจัยละ 2 ระดับ | ปานกลาง            | ปานกลาง     | ปานกลาง  |
| $2^{k-p}$ Design | การทดลองที่มีปัจจัยมากกว่าหนึ่งและเป็นการทดลองแบบไม่เต็มรูปแบบ                         | รวดเร็ว            | น้อย        | น้อย     |

#### 5. การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ

ในการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ ( $2^k$  factorial) จะใช้กับการทดลองหลายปัจจัยที่จะกำหนดระดับของแต่ละปัจจัยเพียงแค่ 2 ระดับ เท่านั้น ระดับเหล่านี้ อาจเกิดจากข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น อุณหภูมิความดันหรืออาจเกิดจากข้อมูลเชิงคุณภาพและใน 2 ระดับ ที่กล่าวถึงนี้จะแทนระดับ “สูง” หรือ “ต่ำ” ของปัจจัยนั้น การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับนั้น เป็นประโยชน์อย่างมากต่อการเริ่มต้นการทดลอง โดยการออกแบบนี้ ทำให้เกิดการทดลองจำนวนน้อยที่สุดที่สามารถทำได้ เพื่อศึกษาผลของปัจจัยทั้งหมด ได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นการออกแบบการทดลองชนิดนี้จะทำให้สามารถ เลือกปัจจัยที่มีอยู่จำนวนมากให้น้อยลงได้ กรณีที่มีปัจจัยทั้งหมด 2 ปัจจัย คือ ปัจจัย A และปัจจัย B ในแต่ละปัจจัยจะมีสองระดับคือสูงกับต่ำ ทำให้เกิดการทดลองขึ้น 4 การทดลองโดยสัญลักษณ์ มาตรฐานนั้นจะใช้กรณีที่วิธีการปฏิบัติกำหนด ปัจจัยใดๆ ให้อยู่ในระดับสูงจะแทนด้วยตัวอักษรเล็กของปัจจัยนั้น เช่น ปัจจัย A แทนด้วย a และเมื่อ กำหนดปัจจัยใดๆ อยู่ในระดับต่ำจะไม่มีการแสดงเป็นตัวอักษรแต่จะอยู่ในรูปของตัวเลขแทน ซึ่งในการทดลองจะเกิดอิทธิพลหลักหรือตัวแปรต้น และการกระทำร่วมกันหรือตัวแปรตาม ระหว่างปัจจัย ซึ่งตัวแปรต้น คือ ปัจจัย A และปัจจัย B คือตัวแปรตาม คือ ปัจจัย AB อิทธิพลหลักของปัจจัย A คือ ค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของผลตอบสนองของปัจจัย A เมื่อเปลี่ยนแปลงระดับปัจจัย A จากต่ำไปสูง



อิทธิพลหลักของปัจจัย B คือค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของผลตอบสนองของปัจจัย A เมื่อเปลี่ยนแปลงระดับปัจจัย B จากต่ำไปสูง การกระทำร่วมกันระหว่างปัจจัย A และ B คือค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของผลตอบสนองของปัจจัย A เมื่อปัจจัย B อยู่ในระดับสูงและค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของผลตอบสนองของปัจจัย A เมื่อ ปัจจัย B อยู่ในระดับ ต่ำโดยถ้าค่าจากอิทธิพลหลักเป็นบวกจะแสดงว่าการเพิ่มระดับจากต่ำไปสูง จะส่งผลตอบสนองที่เพิ่มขึ้นแต่ถ้าค่าจากอิทธิพลหลักเป็นลบจะแสดงว่า การส่งผลตอบสนองลดลงด้วยซึ่งในการทดสอบการมีนัยสำคัญ ของปัจจัยหลักการกระทำร่วมกันนั้นจะใช้ตาราง การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ

#### 2.1.5 การวัดประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Efficiency: OEE)

P. Muchiri [5] กล่าวถึง การวัดประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรใช้เพื่อระบุกิจกรรมที่ทำให้เกิดการสูญเสียหรือสูญเสียที่ไม่สร้างมูลค่า โดยจัดความสูญเสียนี้ออกเป็น 6 อย่าง คือ ความสูญเสียจากการที่ขัดข้องของเครื่องจักร ความสูญเสียจากการปรับตั้งเครื่อง ความสูญเสียจากการสูญเสียความเร็ว ความสูญเสียจากการหยุดเล็กๆ น้อยๆ ความสูญเสียจากการแก้ไขงาน และ ความสูญเสียจากการเริ่มต้นผลิต ซึ่งความสูญเสียทั้ง 6 อย่างนี้วัดผลด้วย

##### 1. ค่าอัตราการเดินเครื่อง (Availability)

$$\frac{\text{เท่ากับเวลางาน} - \text{เวลาที่หยุดเครื่อง/เวลางาน}}{\text{เวลาเดินเครื่อง}} \quad (2.13)$$

##### 2. ค่าประสิทธิภาพการเดินเครื่อง (Performance Efficiency)

$$\frac{\text{เวลามาตรฐาน} \times \text{จำนวนชิ้นงานที่ผลิต/เวลาเดินเครื่อง}}{\text{เวลาเดินเครื่อง}} \quad (2.14)$$

##### 3. อัตราคุณภาพ (Quality Rate)

$$\frac{\text{จำนวนงานดี/จำนวนชิ้นงานที่ผลิต}}{\text{จำนวนชิ้นงานที่ผลิต}} \quad (2.15)$$

ดังนั้น ค่า OEE จะประกอบด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$\text{OEE} = \text{Availability} \times \text{Performance Efficiency} \times \text{Quality Rate} \quad (2.16)$$

## 2.2 วิจัยที่เกี่ยวข้อง

บุญชัย แซ่ลิว และณัฐธยาน์ โสกุล [6] ได้ศึกษาการลดของเสียในขั้นตอนกระบวนการบรรจุ โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบทดลอง กรณีศึกษาบริษัทผลิตขนมขบเคี้ยว เป็นการลดของเสียในกระบวนการบรรจุภัณฑ์สินค้าจากอาการรั่วของบรรจุภัณฑ์ โดยใช้การออกแบบทดลองเชิงแฟคทอเรียล ในการออกแบบการทดลอง ซึ่งจากการวิเคราะห์ปัจจัยหลัก 4 ปัจจัย คือ 1. ความเร็วรอบ 2. อุณหภูมิ 3. แรงกด 4. เวลาในการซีล โดยทดลองซ้ำแบบละ 3 ครั้ง และมีทั้งสิ้น 48 การทดลอง ผลการทดลองในการทดลองในครั้งนี้นำไปปรับตั้งค่าเครื่องจักรตามค่าที่เหมาะสมจากผลการทดลอง ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 157 องศาเซลเซียส แรงกด 6 bar และ เวลาในการซีล 0.5 วินาที ซึ่งทำให้ลดค่าใช้จ่ายของเสียจากกระบวนการบรรจุภัณฑ์สินค้าจากอาการรั่วลง เดิม 855,571.72 บาท เหลือ 596,482.21 บาท

ชีวิน จันท์สุนทร [7] ได้ศึกษาการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของภาพพิมพ์ กรณีศึกษาการทดสอบขั้นสุดท้ายของการผลิตเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ท ในการผลิตเครื่องพิมพ์จำนวน 2,685,662 เครื่อง จากโรงงานพบว่ามียอดราจำนวนของเสียที่ไม่ผ่านคุณภาพจำนวน 2,723 เครื่อง คิดเป็นร้อยละ 0.1 หรือ เฉลี่ย 452 เครื่องต่อเดือน ซึ่งจะต้องทำการส่งกลับไปแก้ไขที่โรงงานใหม่หรือทำซ้ำ เกิดเป็นค่าใช้จ่าย 45,578 บาท หรือ 7,596 บาทต่อเดือนโดยเฉลี่ย จึงได้ทำการศึกษาการทดสอบเครื่องพิมพ์ภาพ ซึ่งเป็นการทดสอบสุดท้ายก่อนบรรจุภัณฑ์แล้วส่งมอบให้กับลูกค้า พบว่าปัจจัยหลักที่ทำให้คุณภาพของเครื่องพิมพ์ไม่ได้คุณภาพมี 3 ปัจจัยหลัก คือ ลักษณะของล้อยาง ลักษณะของล้อรหัส และแรงสั่นสะเทือน แล้วนำไปออกแบบการทดลอง โดยใช้ Program Minitab ในการสุ่มลำดับ เลือกการทดลองแบบ  $2^3$  แบบ Full Factorial แล้วอ่านผลการวิเคราะห์ Anova และนำผลจากการวิเคราะห์มาปรับปรุงแก้ไขกระบวนการทดสอบ ทำให้ลดอัตราการเกิดของเสียร้อยละ 50 ต่อเดือนหรือ 197 เครื่องต่อเดือน คิดเป็นเงิน 3,300 บาท ต่อเดือน

อดุลย์ จิตรอารี และคณะ [8] ได้ศึกษาการออกแบบการทดลองเพื่อการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเสียรูปในการจำลองกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก วิเคราะห์ปัจจัยต่างๆที่ทำให้เกิดการเสียรูปในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก ABS โดยใช้โปรแกรม Moldex 3D ในการศึกษา ซึ่งเบื้องต้นมีปัจจัยที่วิเคราะห์ที่ทำให้เกิดการเสียรูป 8 ปัจจัย 1. อัตราการฉีด 2. แรงดันฉีด 3. ระยะการเปลี่ยนฉีดอัดย้า 4. เวลาฉีดอัดย้า 5. แรงดันฉีดอัดย้า 6. อุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติก 7. อุณหภูมิแม่พิมพ์ 8. เวลาในการหล่อเย็น โดยออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลบางส่วน ให้อิทธิพลของปัจจัย 2 ระดับ แล้วนำไปทดลองในโปรแกรม Moldex 3D

จากการทดลองโดยให้ปัจจัยหลักคือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานการโก่งงอ ค่าเฉลี่ยการโก่งงอ และค่าโก่งงอสูงสุด ซึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปัจจัยหลักมีดังนี้ เวลาในการหล่อเย็น อุณหภูมิหลอมเหลว เวลาการฉีดย้า มีผลต่อ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานการโก่งงอ ค่าเฉลี่ยการโก่งงอ และ เวลาในการหล่อ

เย็น อุณหภูมิหลอมเหลว เวลาการฉีดเข้า และอัตราฉีดเข้า มีผลต่อค่าโก่งงอสูงสุด โดยใช้แผนภูมิพาเรโตในการวิเคราะห์ ซึ่งนำผลการวิเคราะห์นี้ออกแบบทดลอง Central Composite Designs โดยจำลองในโปรแกรม Moldex 3D เหมือนเดิมในการทดสอบผลลัพธ์ที่ได้คือ ได้ค่าการเสียรูปสูงสุดของชิ้นส่วนเท่ากับ 4.19 มิลลิเมตร ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.22 มิลลิเมตร และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.95 เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาทำการทดลองฉีดขึ้นชิ้นจริงเพื่อเปรียบเทียบผลการทดลอง พบว่าผลลัพธ์ที่ได้ไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยได้ค่าการเสียรูปสูงสุดของชิ้นส่วนเฉลี่ยเท่ากับ 4.2 มิลลิเมตร

เกียรติวิทย์ สมทอง และพิพัฒน์ แก้วมุงคุณ [9] ได้ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใส่กรอกอีสาน ด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง ให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง ซึ่งการออกแบบส่วนผสมจะใช้เทคนิค Mixture design แบบ Extreme Vertices แล้วนำสูตรที่ได้ไปทำแบบทดสอบโดยการสุ่ม ด้วยโปรแกรม Excel และการให้คะแนนแบบ 9-Point Hedonic Scale Test และนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วย Minitab โดยตั้งสมมติฐาน 3 สมมติฐานคือ 1. ระดับความชอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมของใส่กรอกอีสานสูตรที่ 1 ถึงสูตรที่ 7 มีคะแนนทดสอบไม่แตกต่างกัน 2. ระดับความชอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมของผู้ทดสอบที่ 1 ถึงคนที่ 30 มีคะแนนทดสอบไม่แตกต่างกัน 3. ระดับความชอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมของใส่กรอกอีสานสูตรที่ 1 ถึงสูตรที่ 7 มีคะแนนทดสอบแตกต่างกัน และ 4. ระดับความชอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมของผู้ทดสอบคนที่ 1 ถึงคนที่ 30 มีคะแนนทดสอบแตกต่างกัน ให้ระดับค่าความเชื่อมั่นที่ 0.05 จากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์โดยใช้แบบจำลองการถดถอย และการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี Randomized Complete Block Design ได้ค่า P-Value ในส่วนของสูตรส่วนผสมน้อยกว่า 0.001 และในส่วนของผู้ที่เข้าทดสอบเป็น 0.888 จึงสรุปได้ว่าส่วนผสมของวัตถุดิบหลักมีผลต่อระดับคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมของใส่กรอกอีสาน แต่ผู้เข้าทดสอบไม่มีผลต่อระดับคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมของใส่กรอกอีสาน เมื่อวิเคราะห์สูตรส่วนผสมที่มีระดับคะแนนมากที่สุดของสูตรผสมใหม่ (สูตรที่ 3) มาเปรียบเทียบกับระดับคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมของสูตรดั้งเดิม (สูตรที่ 2) โดยใช้วิธี Paired T-Test เพื่อหาความสัมพันธ์ ผลที่ได้จากการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมของใส่กรอกอีสานนั้นจะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบหลักที่สูตร 3 ส่วนผสมเนื้อหมูต่อมันหมูที่ 40:40:20 ค่าคะแนนความชอบที่ 6.43

สมศักดิ์ แก้วพลอย และกุลยุทธ บุญแข็ง [10] ได้ศึกษาการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าสถานะที่เหมาะสมในกระบวนการอบไม้ยางพารา เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ยางพาราโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล ระดับปัจจัยองศาที่ 2 ระดับ จำนวนวันในการอบ 3 ระดับ และเปิด-ปิดกล่องระบายทุกๆ 1 ชั่วโมง 2 ระดับ ทำซ้ำ 3 ครั้ง ทดลองทั้งหมด 36

การทดลอง โดยใช้โปรแกรม Minitab สุ่มแบบการทดลอง ผลการทดลองเบื้องต้นพบว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อความชื้นไม่อย่างพารา คืออุณหภูมิในการอบ โดยมีแนวโน้มว่าเมื่อเพิ่มปริมาณอุณหภูมิจาก 65 องศาเซลเซียสเป็น 70 องศาเซลเซียส ค่าความชื้นจะลดลงเมื่อปรับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นและเวลาในการอบเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความชื้นลดลงด้วย และพบว่าปัจจัยร่วมอื่นๆ ไม่ส่งผลกระทบต่อความชื้น จากการทดลองเบื้องต้น จึงได้มีการออกแบบการทดลองโดยใช้การทดลองแบบบล็อกซ์-เบท์เคน เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของอุณหภูมิ เวลาในการอบและเวลาการเปิด-ปิดปล่อยระบายอีกครั้ง

มีการกำหนดระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง 3 ระดับ อุณหภูมิในการอบ (ปัจจัย A) ศึกษาที่ 65 องศาเซลเซียส 70 องศาเซลเซียส และ 75 องศาเซลเซียส เวลาในการอบ (ปัจจัย B) ศึกษาที่ 8 วัน 10 วัน และ 12 วัน เวลาการเปิด-ปิดปล่อยระบายในทุกๆ 1 ชั่วโมง (ปัจจัย C) ศึกษาที่ เปิด 2 นาที ปิด 6 นาที เปิด 3 นาที ปิด 6 นาที และเปิด 4 นาที ปิด 6 นาที แล้วนำมาวิเคราะห์การถดถอยแบบพื้นผิวผลตอบสนองโดยการลดรูป การอบไม่อย่างพาราด้วยสมการถดถอยคือ เปอร์เซ็นต์ความชื้น =  $343.640 - 0.788A - 42.464B + 1.339B^2 + 0.053AB$  ซึ่งเป็นสมการที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้และกำหนดค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นอยู่ในช่วง 8-12%

ธานี อะโอสต์ [11] ได้ศึกษาการออกแบบการทดลองเพื่อให้ได้ค่า พี ไอ ดี ที่เหมาะสมในกระบวนการควบคุม วิเคราะห์หาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการควบคุมระดับน้ำ ในถังพร้อมทั้งหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้สามารถควบคุมระดับน้ำ ในถังไม่ให้คลาดเคลื่อนจากค่าเป้าหมายมากเกินไปที่ยอมรับ ไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต และลดปริมาณการทำงานของวาล์วควบคุม (Control valve) ซึ่งส่งผลให้อายุการใช้งานของวาล์วควบคุมนานขึ้นโดยการประยุกต์ใช้หลักการของการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง ในการศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อกระบวนการควบคุมระดับน้ำในถัง ซึ่งผู้วิจัยได้ตั้งสมมติฐานไว้ว่าการปรับเปลี่ยนระดับปัจจัย จะมีผลต่อกระบวนการควบคุมระดับน้ำ ในถังแตกต่างกัน ซึ่งหากมีการศึกษาและควบคุมระดับปัจจัยให้ได้ในระดับที่เหมาะสม จะทำให้กระบวนการควบคุมระดับน้ำ ในถังอยู่ในค่าที่เหมาะสม คือ 0-0.25 ตารางหน่วยต่อนาที หรือ  $\pm 0.125\%$  ของค่าเป้าหมาย

การวิเคราะห์สาเหตุเบื้องต้นของปัญหา เพื่อศึกษาอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของปัจจัย อัตราขยายสัดส่วน (P) อัตราขยายปริพันธ์ (I) และอัตราขยายอนุพันธ์ (D) โดยการจัดการทดลองแบบสุ่มโดยกำหนดแต่ละปัจจัยเป็น 2 ระดับ จึงเลือกการออกแบบ การทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ  $2^k$  สามารถออกแบบการทดลองได้เป็นการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 23 แฟคทอเรียล กำหนดให้มีการทดลองซ้ำ 10 ครั้ง จุดกึ่งกลาง จำนวน 10 การทดลองรวมทั้งสิ้น 90 การทดลอง และวิเคราะห์แบบการทดลองวิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology, RSM) ด้วยการทดลองแบบ Central composite design (CCD) โดยการทดลอง



แบบ CCD จะประกอบไปด้วย 3 ส่วน ได้แก่กำหนดค่า Alpha เท่ากับ Face centered หรือ Alpha =  $\pm 1$  (Code) เนื่องจากระดับปัจจัยค่าต่ำไม่สามารถใส่ค่าน้อยกว่า 0 ได้

Second order model:  $Y = 0.335237 + 0.110188 X_1 - 0.004487 X_2 + 0.435226 X_3 - 0.024559 X_{12} + 0.000011 X_{22} - 0.464951 X_{32} + 0.000063 X_1 X_2 + 0.015220 X_1 X_3$

ค่า Optimal ที่ได้จากการ Second order model ค่า P ที่เหมาะสม คือ 3.94949 วินาที I ที่เหมาะสม คือ 143.202 วินาที และ D ที่เหมาะสม คือ 0.0086023 วินาที

วิวัฒน์ ยิ่งสุทธิพันธุ์ [12] ได้ศึกษาการวิเคราะห์ค่าตัวแปรที่มีผลต่อค่าความผันแปรของความต้านทานในกระบวนการขัดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เพื่อลดความผันแปรของความต้านทานในกระบวนการขัดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งจากการคัดเลือกปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าความผันแปรของความต้านทานมากที่สุด โดยใช้แผนภาพเหตุและผลมี 3 ปัจจัย คือ 1. ค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด 2. ค่าแรงยึดจับของตัวจับยึด 3. ค่าการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่าน ที่มีค่าน้ำหนักสูงเกิน 100 คะแนน และนำปัจจัยหลักออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล โดยให้ระดับปัจจัย 2 ระดับ ซึ่งตัวแปรการตอบสนอง คือค่าความผันแปรของความต้านทานไม่เกิน 4 นาโนเมตร ทำการทดลอง 27 แบบ ทำซ้ำ 3 ครั้ง แล้วนำผลการทดลองมาวิเคราะห์แบบ Design – Expert จากผลการได้ค่าปัจจัยหลักหนึ่งค่าที่มีผลในเชิงบวก (ค่าความผันแปรของความต้านทานที่ต่ำ) และอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance pressure) กับค่าแรงยึดจับของตัวจับยึด (Clamp pressure) รวมทั้งอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance pressure) กับค่าการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่าน (Oscillation) ซึ่งมีผลในเชิงบวก

จากผลทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance pressure) ที่ระดับสูงจะให้ค่าความผันแปรของความต้านทานที่ต่ำและทำการผันแปรค่าแรงยึดจับของตัวจับยึด (Clamp pressure) และค่าการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่าน (Oscillation) นั้นสามารถนำไปออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสม 9 แบบทดลอง โดยให้ค่าปัจจัย 3 ระดับ (สูง กลาง และต่ำ) ทำให้ได้ค่าที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่อง คือค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance pressure) ที่ระดับสูง (3.XX pound) ค่าแรงยึดจับของตัวจับยึด (Clamp pressure) ที่ระดับต่ำ (1XX psi) และค่าการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่าน (Oscillation) ที่ระดับต่ำ (3.X mils) จะทำให้ได้ค่าความผันแปรของความต้านทานที่ต่ำที่สุด (3.64 นาโนเมตร)

สิริชัย สุรัตน์ชัยการ และอรรณกร เก่งพล [13] ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรมในการเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องบรรจุยาเม็ด เพื่อทำการเพิ่มประสิทธิภาพ ลดเวลาการทำงาน เครื่องบรรจุไม่สามารถเพิ่มความเร็วได้เพราะจะทำให้ยาเกิดฟองล้นขวดออกมา มีปัจจัย 4 ปัจจัยที่ทำให้เกิดฟองล้นขวดออกมา คือ ระดับยาในถังพัก ความเร็วใบพัด ความเร็วในการบรรจุ และขนาดของหัวบรรจุ จึงทำการทดลองแบบแฟคทอเรียล ทำซ้ำ 3 ครั้ง ทดลอง 48 การทดลอง โดย

ใช้ปัจจัย 2 ระดับ แล้ววิเคราะห์ผลจาก โปรแกรม Minitab และหาค่าที่เหมาะสมจากฟังก์ชัน Response Optimization คือ รอบของใบพัดปั่นยา (Speed M) = 280 รอบ ระดับของยาในถัง (LOC Level) = ระดับสูงขนาดของเข็มบรรจุ (Dim) = 8 มม. และความเร็วบรรจุ (Speed F) = 48 ขวด/นาที

จากผลการทดลองนี้จึงทำให้ความเร็วในการบรรจุจาก 54 เป็น 48 ขวด/นาที พบว่าเกิด ฟองล้นขวดในขณะทำการบรรจุเพียงเล็กน้อย คิดเป็น 0.087%

ปารเมศ ชุตินา และภาณุ ชุตเจ็จจิน [14] ได้ศึกษาการประยุกต์ชิกซ์ ชิกมา เพื่อลดของเสีย จากการปนสีรองพื้นในกระบวนการผลิตกล่องนาฬิการาคาแพง เพื่อลดของเสียประเภทฟองและรูลึก ในการปนสีรองพื้นของกระบวนการผลิตกล่องนาฬิการาคาแพงในโรงงานจากการพิจารณาแผนภูมิ ควบคุมสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสีย (P Chart) ซึ่งมีของเสีย 19,615 DDPM แล้วหาสาเหตุและผลกระทบ ของกระบวนการด้วยผังก้างปลา (Cause & Effect Diagram) และแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของ สาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) ซึ่งมี 34 ปัจจัย จึงใช้แผนผังพาเรโตและข้อบกพร่องและ ผลกระทบ (Failure Mode & Effect Analysis: FMEA) คัดเลือกปัจจัยที่สำคัญออกมาได้ 4 ปัจจัย คือ ความหนืดของสารเคมีในการปนสีรองพื้น จำนวนรอบในการปนสีรองพื้น รูปแบบการปนสีรองพื้น และการตรวจสอบคุณภาพส่วนผสมสีก่อนเข้าการผลิต จากปัจจัยทั้ง 4 นี้ไปทดสอบสมมติฐาน Two Proportions สรุปได้ว่ามี 3 ปัจจัย คือ ความหนืดของสารเคมีในการปนสีรองพื้น จำนวนรอบในการ ปนสีรองพื้น และ รูปแบบการปนสีรองพื้น แล้วนำไปออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล ระดับ 4,3,2 ตามลำดับ โดยใช้โปรแกรม Minitab ในการออกแบบการทดลอง ซึ่งผลจากการทดลองหาค่าที่ เหมาะสม คือ ความหนืดของสารเคมีในการปนสีรองพื้น 30 วินาที จำนวนรอบในการปนสีรองพื้น 6 รอบ และ รูปแบบการปนสีรองพื้นเดียว ทำให้ลดของเสียลงได้ 67%

ภูริป อินทรักษ์ [15] ได้ศึกษาการลดเวลาสูญเสียในกระบวนการติดฉลาก ซึ่งกระบวนการ ติดฉลาก มีของเสียอยู่ 3 ประเภทที่มีสัดส่วนจากของเสียทั้งหมด 70% คือ ลักษณะข้อบกพร่องของ ผลิตภัณฑ์ประเภทฉลากพับ ลักษณะข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ประเภทฉลากเหลื่อม ลักษณะ ข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ประเภทฉลากโลโก้ฉลากไม่ตรงกัน จากนั้นทำการวิเคราะห์ด้วยแผนผัง ก้างปลา สรุปได้ว่าเกิดจากการที่ปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ไม่เหมาะสม โดยมีปัจจัยดังนี้ ระยะห่างจาก ขวดในทิศทาง เข้า-ออก ของ Labeling station ระยะห่างจากขวดในทิศทางซ้ายขวาของ Labeling station ความหนาของกาวบน Glue roller อัตราการจ่ายกาวจากปั๊มกาว และความดันลมเป่าฉลาก

โดยนำปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัย นี้ไปทดลองเชิงแฟคทอเรียลซึ่งทุกปัจจัยที่ทดลองนั้นส่งผลอย่าง มีนัยสำคัญตอบสนองกับทั้ง 3 ปัจจัยหลัก จึงนำไปทดลอง CCD โดยใช้ desirability function ใน การหาค่าตอบ ทำให้ลด Breakdown เครื่องจักรได้จาก 11 เหลือ 3 ครั้งต่อเดือนและเวลาสูญเสีย จาก 695 นาทีต่อเดือนเหลือ 415 นาทีต่อเดือน

## บทที่ 3

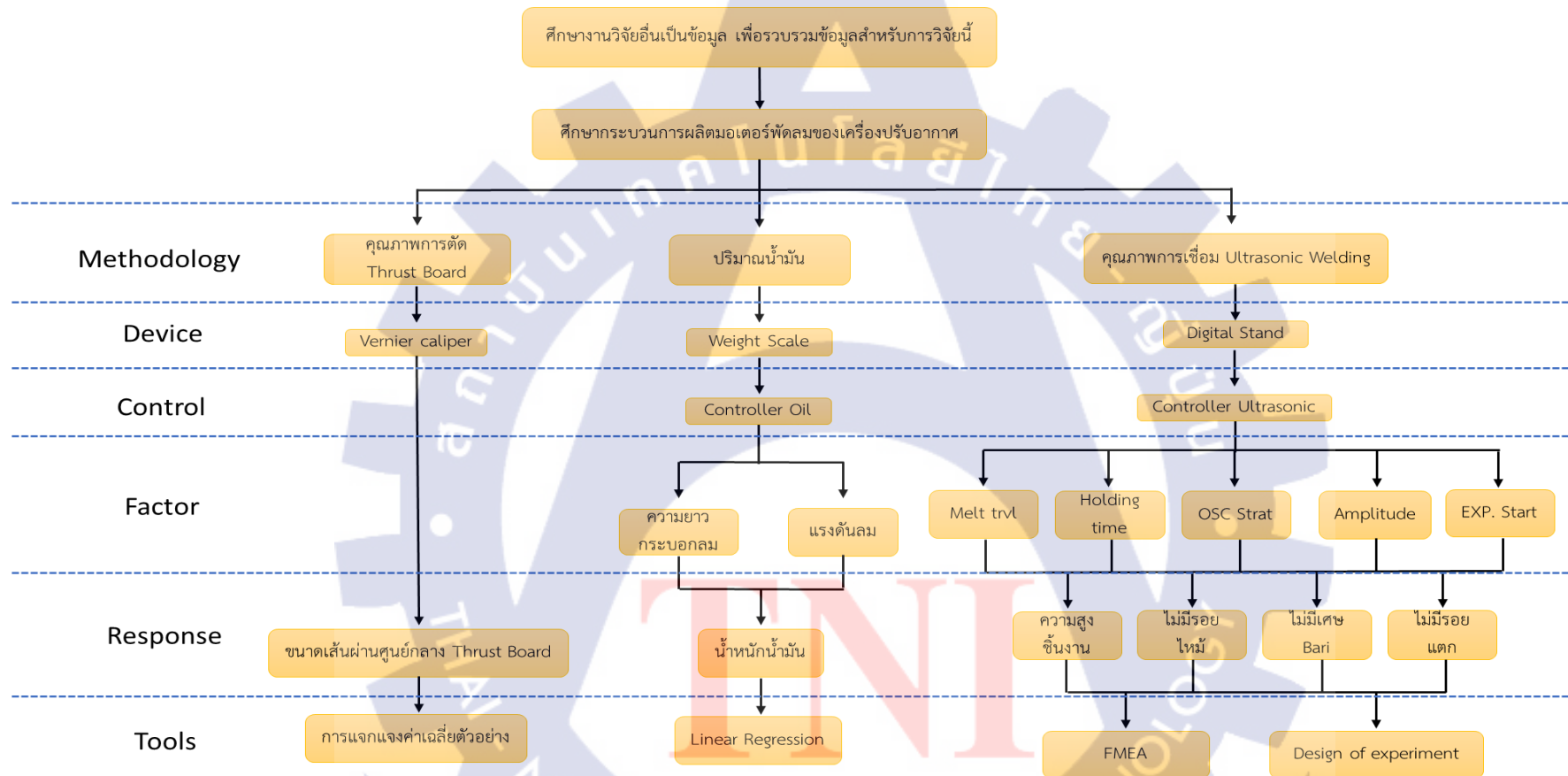
### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 วัสดุ อุปกรณ์ วิธีการที่ใช้

1. การวัดประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness: OEE)
2. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear regression)
3. การวิเคราะห์รูปแบบความล้มเหลวและผลกระทบ (FMEA)
4. การแจกแจงค่าเฉลี่ยตัวอย่าง
5. การออกแบบการทดลอง (Design of experiment: DOE) มีขั้นตอนดังนี้
  1. การศึกษาการทำงานของเครื่องจักร
  2. กำหนดปัญหา
  3. เลือกตัวแปรที่ใช้ชี้วัด
  4. ออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล
  5. ทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลทางสถิติ
  6. ปรับปรุงกระบวนการประกอบ
  7. วิเคราะห์ข้อมูล และเปรียบเทียบผล



### 3.2 แผนงานการดำเนินงานวิจัย และพัฒนาเครื่องจักรสายการผลิตกึ่งอัตโนมัติ



รูปที่ 3.1 การดำเนินงานวิจัย

### 3.3 ระยะเวลาการดำเนินการและแผนงาน

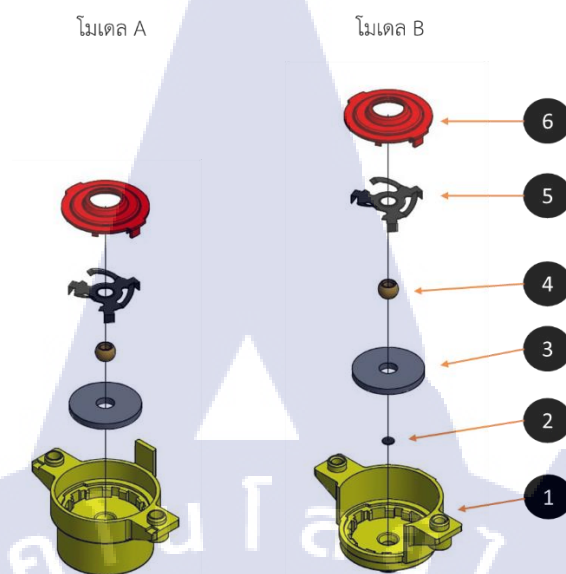
| No.            | Object                            | Plan/<br>Actual | Month  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
|----------------|-----------------------------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
|                |                                   |                 | OCT'19 | NOV'19 | DEC'19 | JAN'20 | FEB'20 | MAR'20 | APR'20 | MAY'20 | JUN'20 | JUL'20 | AUG'20 |  |
| 1              | Concept Design                    | Plan            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                |                                   | Actual          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 2              | Order part machine and electrical | Plan            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                |                                   | Actual          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 3              | Drawing check                     | Plan            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                |                                   | Actual          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Mechanical     |                                   |                 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 4              | Machine Design                    | Plan            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                |                                   | Actual          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 5              | Assembly machine                  | Plan            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                |                                   | Actual          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 6              | Adjust and alignment              | Plan            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                |                                   | Actual          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Electrical     |                                   |                 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 7              | Electrical design                 | Plan            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                |                                   | Actual          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 8              | Control box wiring                | Plan            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                |                                   | Actual          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 9              | Machine wiring                    | Plan            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                |                                   | Actual          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Program design |                                   |                 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 10             | PLC ladder design                 | Plan            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                |                                   | Actual          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 11             | PLC motion design                 | Plan            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                |                                   | Actual          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 12             | Touch screen design               | Plan            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                |                                   | Actual          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 13             | Test run                          | Plan            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
|                |                                   | Actual          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |

รูปที่ 3.2 แผนดำเนินงาน

### 3.4 การศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาเครื่องจักรประกอบส่วนประกอบมอเตอร์พัดลมของเครื่องปรับอากาศ

#### 3.4.1 ส่วนประกอบมอเตอร์พัดลมของเครื่องปรับอากาศ

มอเตอร์พัดลมของเครื่องปรับอากาศของสายการผลิตการประกอบชิ้นงานนี้แบ่งออกเป็น 2 โมเดล คือโมเดล A และโมเดล B ซึ่งวัสดุของ Frame



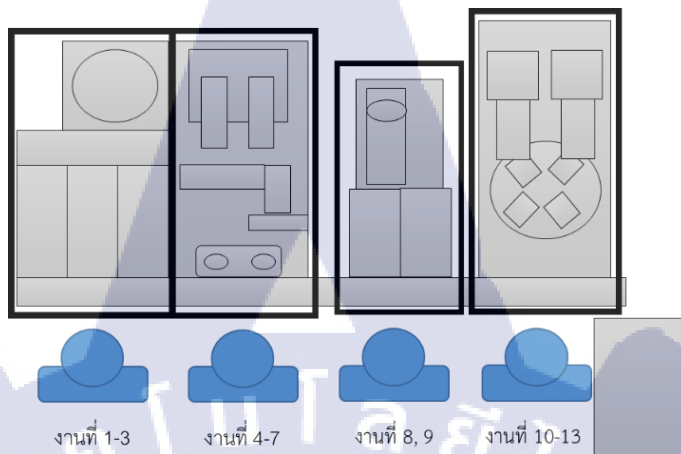
รูปที่ 3.3 ชิ้นส่วนประกอบมอเตอร์พัฒน์ของเครื่องปรับอากาศทั้ง 2 โมเดล

โดยแต่ละโมเดลมีส่วนประกอบดังนี้

1. Frame
2. Thrust board (เฉพาะ Frame B เท่านั้น)
3. Felt
4. Ball metal
5. Hold spring
6. Frame Cover

TNI

### 3.4.2 เครื่องจักรสายการผลิตแบบผลิตด้วยมือ



รูปที่ 3.4 แผนผังเครื่องจักรสายการผลิตแบบผลิตด้วยมือ

ในเครื่องจักรสายการผลิตแบบผลิตด้วยมือใช้พนักงานผลิตทั้งหมด 4 คน ดังรูปที่ 3.4 โดยแบ่งงานออกเป็น 13 กระบวนการ ดังนี้

1. นำ Frame ของโมเดล A, B ใส่ลงบนราง Shooter
2. ใส่ Thrust Board ลงในโมเดล B เท่านั้น
3. ใส่ Felt ลงในโมเดล A, B
4. นำโมเดล A, B ใส่ในเครื่องจักรฉีดน้ำมันและกดปั๊ม
5. เครื่องจักรฉีดน้ำมันลงในงาน
6. ใส่ Hold Spring ลงในโมเดล A, B
7. นำชิ้นงานออกจากเครื่องฉีดน้ำมันมายัง Shooter
8. ใส่ Ball Metal ลงในโมเดล A, B (ใช้ WIP)
9. ใส่ Frame Cover ลงในโมเดล A, B (ใช้ WIP)
10. นำชิ้นงานใส่ในเครื่องจักร Ultrasonic และกดปั๊ม
11. เครื่องจักร Ultrasonic เชื่อมชิ้นงาน
12. ใส่ชิ้นงานลงในถาดและตรวจสอบบอล
13. นำชิ้นงานออกจากเครื่อง

แล้วจับเวลามาตรฐานในการทำงานเพื่อคำนวณรอบผลิตของพนักงานแต่ละคน

| Takt time       |              |                                                 | 10.97 sec. |        | Unit/Shift | 3500 pcs. |      | Manual            | Automatic | Walking | Waiting |   |   |   |   |   |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
|-----------------|--------------|-------------------------------------------------|------------|--------|------------|-----------|------|-------------------|-----------|---------|---------|---|---|---|---|---|----|----|----|--|--|--|--|--|--|
| Manual line     |              |                                                 | 11.72 sec. |        |            |           |      |                   |           |         |         |   |   |   |   |   |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
|                 |              |                                                 |            |        |            |           |      |                   |           |         |         |   |   |   |   |   |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
| Time (sec.)     |              |                                                 |            |        |            |           |      |                   |           |         |         |   |   |   |   |   |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
| Operator        | Element work | Description                                     |            | Manual | Auto       | Wait      | Walk | Cycle Time (Sec.) |           |         |         |   |   |   |   |   |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
|                 |              |                                                 |            |        |            |           |      | 1                 | 2         | 3       | 4       | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |  |  |  |  |  |  |
| Manual line     |              |                                                 |            |        |            |           |      |                   |           |         |         |   |   |   |   |   |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
| พนักงาน คนที่ 1 | 1            | นำ Frame ของ โมเดล A, B ใส่ลงบนราง Shooter      |            | 3.21   |            |           |      |                   |           |         |         |   |   |   |   |   |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
|                 | 2            | ใส่ Thrust Board ลงในโมเดล B เท่านั้น           |            | 4.51   |            |           |      |                   |           |         |         |   |   |   |   |   |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
|                 | 3            | ใส่ Felt ลงในโมเดล A, B                         |            | 2.52   |            |           |      |                   |           |         |         |   |   |   |   |   |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
| พนักงาน คนที่ 2 | 4            | นำโมเดล A, B ใส่ในเครื่องจักรฉีดน้ำมันและกดปุ่ม |            | 4.36   |            |           |      |                   |           |         |         |   |   |   |   |   |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
|                 | 5            | เครื่องจักรฉีดน้ำมันลงในชิ้นงาน                 |            |        |            |           | 4.22 |                   |           |         |         |   |   |   |   |   |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
|                 | 6            | ใส่ Hold Spring ลงในโมเดล A, B                  |            | 4.71   |            |           |      |                   |           |         |         |   |   |   |   |   |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
| พนักงาน คนที่ 3 | 7            | นำชิ้นงานออกจากเครื่องฉีดน้ำมันมายัง Shooter    |            | 2.65   |            |           |      |                   |           |         |         |   |   |   |   |   |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
|                 | 8            | ใส่ Ball Metal ลงในโมเดล A, B (ใช้ WIP)         |            | 4.43   |            |           |      |                   |           |         |         |   |   |   |   |   |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
|                 | 9            | ใส่ Frame Cover ลงในโมเดล A, B (ใช้ WIP)        |            | 4.5    |            |           |      |                   |           |         |         |   |   |   |   |   |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
| พนักงาน คนที่ 4 | 10           | นำชิ้นงานใส่ในเครื่องจักร Ultrasonic และกดปุ่ม  |            | 3.14   |            |           |      |                   |           |         |         |   |   |   |   |   |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
|                 | 11           | เครื่องจักร Ultrasonic เชื่อมชิ้นงาน            |            |        | 4.61       |           |      |                   |           |         |         |   |   |   |   |   |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
|                 | 12           | ใส่ชิ้นงานลงในถาดและตรวจสอบบอล                  |            | 2.59   |            |           | 2.35 |                   |           |         |         |   |   |   |   |   |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
|                 | 13           | นำชิ้นงานออกจากเครื่อง                          |            | 1.47   |            |           |      |                   |           |         |         |   |   |   |   |   |    |    |    |  |  |  |  |  |  |

รูปที่ 3.5 กระบวนการประกอบเครื่องจักรสายการผลิตแบบผลิตด้วยมือ

เครื่องจักรสายการผลิตแบบผลิตด้วยมือมีรอบเวลาผลิต (Cycle time) 11.72 วินาทีต่อชิ้น โดยงานของพนักงานคนที่ 2 เป็นคอขวดของกระบวนการประกอบดังรูปที่ 3.5 ในแต่ละวันทำการผลิต 12 ชั่วโมง พักกลางวัน 1 ชั่วโมง และพักชั่วคราว 20 นาที โดยมีความต้องการผลิตต่อวัน 3,500 ชิ้น แล้วนำเวลาทั้งหมดนี้คำนวณรอบเวลาผลิตของลูกค้ายของกระบวนการคือ  $38,400/3,500 = 10.97$  วินาทีต่อชิ้น ซึ่งกระบวนการประกอบไม่สามารถรองรับความต้องการของลูกค้าได้ การแก้ไขปัญหานี้เฉพาะหน้า จึงต้องมีการทำล่วงเวลาเพื่อให้ทันต่อความต้องการ

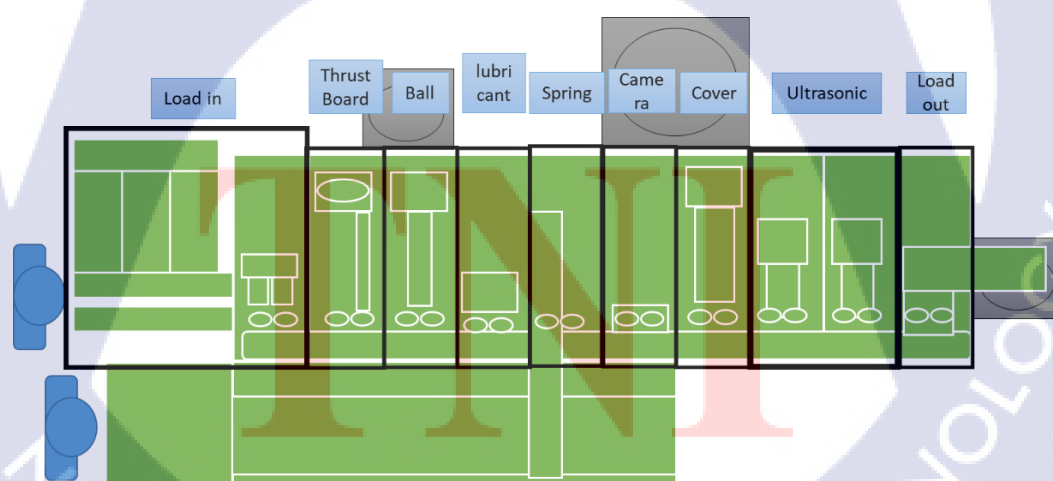
#### 3.4.3 เครื่องจักรสายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติ



รูปที่ 3.6 เครื่องจักรสายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติ

การพัฒนาเครื่องจักรสายการประกอบส่วนประกอบมอเตอร์พัดลมของเครื่องปรับอากาศ เพื่อให้สามารถรองรับความต้องการที่เพิ่มขึ้นต่อวัน 3,500 ชิ้นเพิ่มขึ้นเป็น 4,300 ชิ้น ซึ่งแนวคิดในการออกแบบมาจากฝ่าย Production Engineer เป็นผู้หาความสูญเสียต่างๆ ในกระบวนการประกอบด้วยมือ โดยกระบวนการประกอบเครื่องจักรสายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติจะถูกแบ่งออกเป็น 12 กระบวนการดังนี้

1. ใส่ Felt แล้วนำ Frame A B ใส่ราง Feeder
2. Load in Frame เข้าสู่กระบวนการ
3. ประกอบ Thrust board
4. ประกอบ Ball metal
5. ฉีด lubricant ลงในชิ้นงาน
6. ใส่ Hold Spring ลงใน Pallet
7. ประกอบ Hold Spring
8. ตรวจสอบชิ้นงานด้วยกล้อง
9. ประกอบ Frame Cover
10. เชื่อมชิ้นงานด้วย Ultrasonic โมเดล A
11. เชื่อมชิ้นงานด้วย Ultrasonic โมเดล B
12. Load out ชิ้นงานออกไปที่ Stocker



รูปที่ 3.7 แผนผังเครื่องจักรสายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติ



เครื่องจักรสายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติใช้พนักงานในการเติมงาน กระบวนการ Load in 1 คน และกระบวนการใส่ Hold Spring ลงใน Pallet 1 คน สายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติใหม่นี้ ใช้พนักงานในการผลิตเพียง 2 คน ดังในรูป 3.7 ซึ่งการนำงานออกจาก Stocker ใช้พนักงานส่งส่วนประกอบต่างๆ และเก็บชิ้นงานออกเรียกว่า แมลงน้ำหรือ MizuMuchi

| Takt time      |              | 8.93 sec.                               | Unit/Shift | 4300 pcs. |      |      |                   | Manual | Automatic | Walking | Waiting |   |   |   |   |    |    |    |
|----------------|--------------|-----------------------------------------|------------|-----------|------|------|-------------------|--------|-----------|---------|---------|---|---|---|---|----|----|----|
| Semi-Auto line |              | 5.94 sec.                               |            |           |      |      |                   |        |           |         |         |   |   |   |   |    |    |    |
|                |              |                                         |            |           |      |      |                   |        |           |         |         |   |   |   |   |    |    |    |
|                |              | Time                                    |            |           |      |      |                   |        |           |         |         |   |   |   |   |    |    |    |
| Operator       | Element work | Description                             | Manual     | Auto      | Wait | Walk | Cycle Time (Sec.) |        |           |         |         |   |   |   |   |    |    |    |
|                |              |                                         |            |           |      |      | 1                 | 2      | 3         | 4       | 5       | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Semi-Auto line |              |                                         |            |           |      |      |                   |        |           |         |         |   |   |   |   |    |    |    |
| พนักงานคนที่ 1 | 1            | ใส่ Felt แล้วนำ Frame A B ใส่ราง Feeder | 4.75       |           |      |      |                   |        |           |         |         |   |   |   |   |    |    |    |
|                | 2            | Load in Frame เข้าสู่กระบวนการ          |            | 4.2       |      |      |                   |        |           |         |         |   |   |   |   |    |    |    |
|                | 3            | ประกอบ Thrust board                     |            | 5.06      |      |      |                   |        |           |         |         |   |   |   |   |    |    |    |
|                | 4            | ประกอบ Ball Metal                       |            | 4.58      |      |      |                   |        |           |         |         |   |   |   |   |    |    |    |
|                | 5            | ฉีด lubricant ลงในชิ้นงาน               |            | 4.14      |      |      |                   |        |           |         |         |   |   |   |   |    |    |    |
| พนักงานคนที่ 2 | 6            | ใส่ Hold Spring ลงใน Pallet             | 2.87       |           |      |      |                   |        |           |         |         |   |   |   |   |    |    |    |
|                | 7            | ประกอบ Hold Spring                      |            | 5.94      |      |      |                   |        |           |         |         |   |   |   |   |    |    |    |
|                | 8            | ตรวจสอบชิ้นงานด้วยกล้อง                 |            | 3.48      |      |      |                   |        |           |         |         |   |   |   |   |    |    |    |
|                | 9            | ประกอบ Frame Cover                      |            | 5.39      |      |      |                   |        |           |         |         |   |   |   |   |    |    |    |
|                | 10           | เชื่อมชิ้นงานด้วย Ultrasonic โมเดล A    |            | 4.16      |      |      |                   |        |           |         |         |   |   |   |   |    |    |    |
|                | 11           | เชื่อมชิ้นงานด้วย Ultrasonic โมเดล B    |            | 4.17      |      |      |                   |        |           |         |         |   |   |   |   |    |    |    |
|                | 12           | Load out ชิ้นงานออกไปที่ Stocker        |            | 4.77      |      |      |                   |        |           |         |         |   |   |   |   |    |    |    |

รูปที่ 3.8 กระบวนการประกอบเครื่องจักรสายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติ

เครื่องจักรสายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติมีรอบเวลาผลิต 5.94 วินาทีต่อชิ้น โดยกระบวนการประกอบ Hold Spring ของเครื่องจักรเป็นคอขวด คำนวณรอบเวลาผลิตของลูกค้าของกระบวนการประกอบคือ  $38,400/4,300 = 8.93$  วินาทีต่อชิ้น จากการพัฒนากระบวนการประกอบทำให้สามารถรองรับความต้องการของลูกค้า

### 3.5 มาตรฐานข้อกำหนดของชิ้นงาน

กระบวนการประกอบส่วนประกอบมอเตอร์พัดลมของเครื่องปรับอากาศถูกกำหนดให้มีการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงาน 3 เรื่องคือ

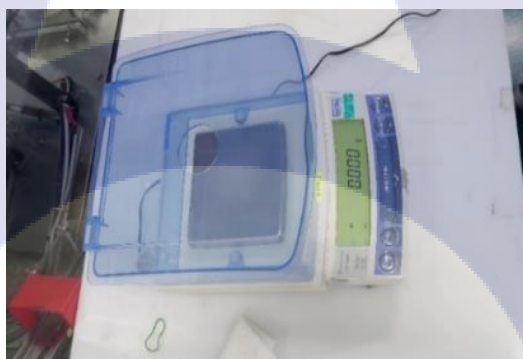
1. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Thrust board
2. ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นที่ฉีดเข้าไปใน Frame
3. Ultrasonic Welding โดยควบคุมความสูงของชิ้นงาน 4 ตำแหน่งและชิ้นงานต้องไม่มีรอยไหม้ เศษ Bari และรอยแตก

### 3.5.1 การตัด Thrust board

Thrust board นั้นจะเป็นส่วนประกอบใน Frame B เท่านั้นโดยการสวมเพลลาของมอเตอร์แทงทะลุผ่าน Frame A เข้าไปยัง Frame B จึงมีส่วนประกอบ Thrust board เพื่อลดการเสียดสีระหว่างเพลลาของมอเตอร์กับ Frame มีการวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ Thrust board ด้วย Vernier caliper แบบดิจิตอล ค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้คือ  $3.6 \pm 0.15$  mm (3.45-3.7 mm) และทำการสุ่มวัดขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลาง Thrust board 30 ครั้ง [1] เพื่อให้การแจกแจงเป็นแบบปกติ ค่าเฉลี่ยจากการสุ่มวัดคือ 3.65 mm ซึ่งอยู่ในช่วงค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ จึงใช้เครื่องมือการแจกแจงค่าเฉลี่ยตัวอย่าง เพื่อยอมรับความสามารถของกระบวนการ

### 3.5.2 น้ำหนักน้ำมัน

การควบคุมปริมาณน้ำมันหล่อลื่น เพื่อเพิ่มคุณภาพของชิ้นงานและป้องกันการเกิดงานเสียของกระบวนการผลิตถัดไป เนื่องจากเมื่อมีปริมาณน้ำมันมากเกินไปจะทำให้น้ำมันไหลออกจากชิ้นงาน และมีปริมาณน้อยเกินไปจะทำให้อายุของมอเตอร์สั้นลง



รูปที่ 3.9 เครื่องชั่งใช้วัดน้ำหนักน้ำมัน

การวัดปริมาณน้ำมันจะใช้วิธีการชั่งด้วยเครื่องชั่งดังรูปที่ 3.9 โดยชั่งน้ำหนัก Frame ก่อนเข้าสู่กระบวนการและหลังจากกระบวนการฉีดน้ำมัน แล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้งเพื่อเปรียบเทียบ ค่าน้ำหนัก ได้กำหนดค่ามาตรฐานน้ำหนักน้ำมันใน Frame กำหนดไว้คือ  $0.308 \pm 0.069$  กรัม (0.239-0.377 กรัม) จากรูปที่ 3.10 การฉีดน้ำมันของกระบวนการใช้ Controller ควบคุมปริมาณน้ำมันที่ฉีดเข้าไปใน Frame



รูปที่ 3.10 Controller ฉีดน้ำมัน

มีปัจจัยที่ต้องควบคุมคือ ความยาวของกระบอกลมสามารถปรับความยาวได้ด้วย ไมโครมิเตอร์ และแรงดันลมควบคุมด้วย Regulator จากการเก็บบันทึกผลการทดสอบเบื้องต้นจาก ขึ้นงาน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 3.1 สรุปได้ว่า ค่าความยาวของกระบอกลมสำหรับ โมเดล A: 5.5 mm และ โมเดล B: 4.5 mm โดยใช้แรงดันลมที่ 4 bar มีค่าน้ำหนักน้ำมันเฉลี่ยคือ โมเดล A: 0.405 กรัม และ โมเดล B: 0.397 กรัม ซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐาน และทดสอบปรับแรงดันลมเหลือ 2 bar พบว่าค่าน้ำหนักน้ำมันเปลี่ยนแปลงไปไม่ถึงหรือน้อยกว่า 0.005 กรัม จึงตัดปัจจัยแรงดันลมออก แล้วเลือกใช้เครื่องมือ Linear Regression Analysis เพื่อหาค่าความยาวของกระบอกลมที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่อง Controller น้ำมัน

TNI

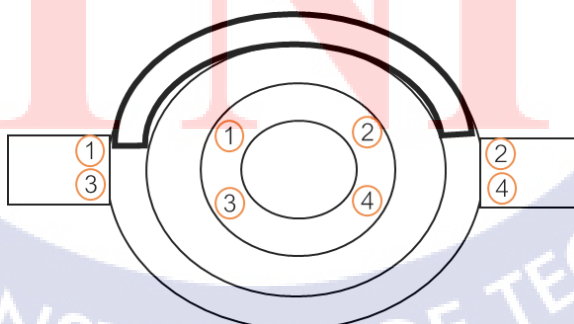
THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

ตารางที่ 3.1 น้ำหนักน้ำมันที่รวบรวมได้

| No | โมเดล A                 |                         |                             | โมเดล B                 |                         |                             |
|----|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|
|    | ก่อนฉีดน้ำมัน<br>(กรัม) | หลังฉีดน้ำมัน<br>(กรัม) | น้ำหนัก<br>น้ำมัน<br>(กรัม) | ก่อนฉีดน้ำมัน<br>(กรัม) | หลังฉีดน้ำมัน<br>(กรัม) | น้ำหนัก<br>น้ำมัน<br>(กรัม) |
| 1  | 13.192                  | 13.574                  | 0.382                       | 6.821                   | 7.214                   | 0.393                       |
| 2  | 13.194                  | 13.588                  | 0.394                       | 6.823                   | 7.221                   | 0.398                       |
| 3  | 13.195                  | 13.597                  | 0.402                       | 6.845                   | 7.237                   | 0.392                       |
| 4  | 13.201                  | 13.601                  | 0.4                         | 6.829                   | 7.239                   | 0.41                        |
| 5  | 13.198                  | 13.606                  | 0.408                       | 6.831                   | 7.233                   | 0.402                       |
| 6  | 13.192                  | 13.612                  | 0.42                        | 6.84                    | 7.242                   | 0.402                       |
| 7  | 13.197                  | 13.611                  | 0.414                       | 6.825                   | 7.221                   | 0.396                       |
| 8  | 13.193                  | 13.598                  | 0.405                       | 6.833                   | 7.216                   | 0.383                       |
| 9  | 13.199                  | 13.613                  | 0.414                       | 6.829                   | 7.222                   | 0.393                       |
| 10 | 13.201                  | 13.612                  | 0.411                       | 6.835                   | 7.234                   | 0.399                       |

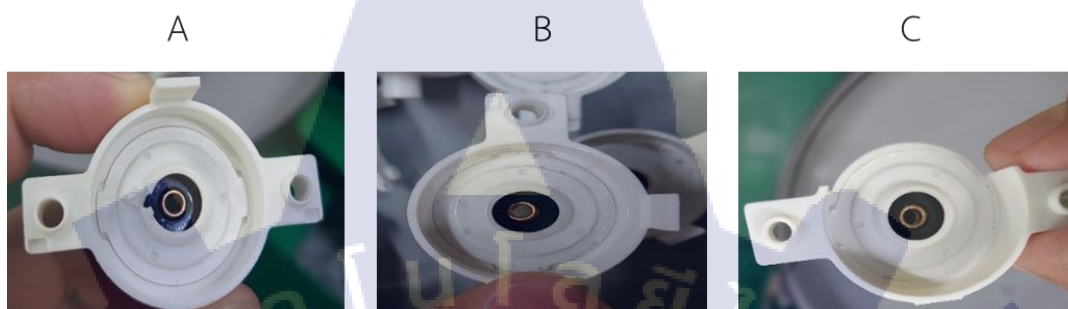
### 3.5.3 Ultrasonic Welding

การ Welding เป็นกระบวนการที่ทำให้ Frame Cover ยึดติดกับ Frame ซึ่งการตรวจสอบระดับความสูงจะวัดจากฐานจนถึงส่วนบนสุดของ Frame Cover และวัดจากฐานจนถึงส่วนบนสุดของ Frame แล้วนำค่าความสูงที่วัดทั้ง 2 จุดมาเปรียบเทียบกับ โดยวัดทั้ง 4 จุดของชิ้นงาน ดังรูปที่ 3.11 ด้วยเครื่อง Digital Stand การควบคุมระดับความสูงการ Welding เพื่อให้ Hold Spring กด Ball ไม่ให้เคลื่อนที่ได้มากเกินไป



รูปที่ 3.11 จุดวัดความสูงของชิ้นงาน

ค่าความสูงตามมาตรฐานที่กำหนดคือโมเดล A:  $5.6 \pm 0.15$  (5.45-5.65 mm), และโมเดล B:  $10.8 \pm 0.15$  (10.65-10.85 mm) และตรวจสอบชิ้นงานดังรูปที่ 3.12 ต้องไม่มีลักษณะงานมีรอยแตก (A) รอยไหม้ (B) และมีเศษ Bari (C)



รูปที่ 3.12 งานเสียจากรอยแตก รอยไหม้ และเศษ Bari

ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง Controller ของ Ultrasonic ได้วิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการประกอบ รายละเอียดการวิเคราะห์อ้างอิงได้ในภาคผนวก ก. โดยปัจจัยที่ต้องควบคุมมี 5 ปัจจัย คือ Melt. Trvl. (mm.), Holding Time (sec.), OSC. Start mode, Amplitude (%) และ EXP. Start (LV0, 1, 2) นอกจากนั้น ปัจจัย OSC. Start ดังกล่าวข้างต้น ประกอบด้วย โหมด Pres. LV และ โหมด Distance การวิเคราะห์ได้ชี้ชัดว่า โหมด Distance มีผลเสียต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัย ผลจากการทดลอง จึงได้คัดออก โหมด Distance คงเหลือโหมด Pres. LV เพื่อใช้เป็นปัจจัยการทดลองต่อไป รายละเอียดการวิเคราะห์อ้างอิงได้ในภาคผนวก ก.2 และ ก.3

จากนั้น ด้วยวิธีเดียวกันนี้ ได้คัดออก EXP. Start LV 0 รายละเอียดการวิเคราะห์อ้างอิงได้ในภาคผนวก ก.4

ดังนั้น ปัจจัยคงเหลือ ทั้ง 4 ปัจจัย คือ 1. Melt. Trvl. (Travel) 2. Holding Time (Time) 3. OSC. Start mode (เฉพาะ Press โหมด) 4. Amplitude (AMP) เพื่อใช้หาค่าปัจจัยที่เหมาะสมต่อไป ด้วยเครื่องมือ ออกแบบการทดลอง (DOE) โดยใช้วิธีการออกแบบทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ แล้ววิเคราะห์ด้วย Response Optimization

### 3.6 ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร

เพื่อพัฒนา OEE ให้เพิ่มมากขึ้น มีความจำเป็นต้องวิเคราะห์ส่วนประกอบของ OEE ได้แก่ ค่าอัตราการเดินเครื่อง (Availability: A) ค่าประสิทธิภาพการเดินเครื่อง (Performance Efficiency: P) อัตราคุณภาพ (Quality Rate: Q) ดังได้กล่าวแล้วในบทที่ 2 ส่วนประกอบของ A, P และ Q นั้นมีความเกี่ยวพันอย่างใกล้ชิดมาก เช่น การหยุดเล็กๆ น้อยๆ เป็นปัญหาของ A แต่บ่อยครั้งจะเกี่ยวพันถึงปัญหาของ P และนำไปถึงปัญหาของ Q

ได้ทดสอบเดินเครื่องจักรโดยใช้มาตรฐานตามที่บริษัทลูกค้าเป็นผู้กำหนด คือ ทำการเก็บบันทึกผลครั้งละ 100 ชิ้น จำนวน 5 รอบ ได้เก็บบันทึกจำนวนงานเสีย จำนวนครั้งที่หยุดกระบวนการประกอบ ปัญหาที่เกิดขึ้น เวลาที่เครื่องหยุดการผลิต และเวลาปรับตั้งเครื่องจักร จึงมุ่งเน้นแก้ปัญหาให้ครบถ้วนมากที่สุด ได้ผลตามตารางที่ 3.2 และตารางที่ 3.3 เวลาในการปรับตั้งเครื่องจักร สามารถเตรียม Ball Metal, Frame Cover และ Hold Spring และถอดใส่งานให้เป็นงานปรับตั้งภายนอกได้ จึงหักออกจากเวลาปรับตั้งเครื่องจักร ลดลงเหลือ 925 วินาทีและใช้เครื่องมือ OEE [5] แล้วคำนวณค่า OEE ตามสูตร (2.13-2.16) สรุปได้ว่า

|                                        |          |        |
|----------------------------------------|----------|--------|
| เวลาในการเดินเครื่องทั้งหมด            | 1,079.26 | วินาที |
| เวลาเครื่องทำงาน                       | 599.66   | วินาที |
| เวลาปรับตั้งเครื่องจักรก่อนเริ่มประกอบ | 925      | วินาที |
| เวลามาตรฐาน                            | 5.94     | วินาที |
| ความต้องการต่อวัน                      | 4,300    | ชิ้น   |
| เวลาทำงานทั้งหมดต่อวัน                 | 38,400   | วินาที |
| งานเสีย                                | 74       | ชิ้น   |

|                                                      |                                                    |
|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| OEE ก่อนปรับปรุงกระบวนการประกอบของเครื่องจักรเท่ากับ |                                                    |
| อัตราการเดินเครื่อง (A)                              | $= 599.66 - 21.51 / 1079.26$<br>$= 53.57\%$        |
| ประสิทธิภาพการเดินเครื่องจักร (P)                    | $= 100 / (1079.26 - 21.51 / 5.94)$<br>$= 56.16\%$  |
| อัตราคุณภาพ (Q)                                      | $= 100 - 73 / 100$<br>$= 26\%$                     |
| ค่าประสิทธิภาพโดยรวม (OEE)                           | $= 0.5357 \times 0.5616 \times 0.27$<br>$= 7.82\%$ |



ตารางที่ 3.2 เก็บบันทึกผลปัญหาของเครื่องจักรก่อนปรับปรุง

| No                       | หัวข้อของปัญหา                                                                             | เวลา<br>หยุดชะงัก<br>(วินาที) | จำนวนครั้งการ<br>หยุด | จำนวนชิ้นงาน<br>เสีย |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|----------------------|
| 1                        | แจ้งเตือน Welding NG A                                                                     | 72.51                         | 10                    | 10                   |
| 2                        | แจ้งเตือน Welding NG B                                                                     | 74.24                         | 11                    | 11                   |
| 3                        | Frame Cover กระดกขึ้นมาบน Jig                                                              | 90.21                         | 14                    | 0                    |
| 4                        | Frame Cover เคลื่อนที่ถอยหลังเมื่อ<br>Part Feeder หยุดสั้น                                 | 55.82                         | 12                    | 0                    |
| 5                        | การไหลของ Frame Cover ติดหน้าราง<br>Part Feeder                                            | 70.16                         | 5                     | 0                    |
| 6                        | Part Feeder ที่กระบวนการ Load in<br>Frame ดันมาซ้อนกัน และ Frame ดัน<br>มายังไม่ถึงจุด Jig | 34.14                         | 9                     | 0                    |
| 7                        | Pick up Frame Cover ดูด Frame<br>Cover ไม่ขึ้น                                             | 40.87                         | 18                    | 0                    |
| 8                        | กระบวนการ Load out Gripper หนีบ<br>ชิ้นงานหลุด                                             | 20.14                         | 8                     | 0                    |
| 9                        | มีรอยไหม้รอบๆ นอก Frame หลังการ<br>Welding                                                 | 0                             | 20                    | 20                   |
| การตรวจสอบงานด้วย Camera |                                                                                            |                               |                       |                      |
| 10                       | Ball NG                                                                                    | 0                             | 15                    | 15                   |
| 11                       | Hold Spring NG                                                                             | 0                             | 17                    | 17                   |
| 12                       | Felt NG                                                                                    | 0                             | 0                     | 0                    |
| 13                       | Thrust Board NG                                                                            | 0                             | 1                     | 1                    |
| Total                    |                                                                                            | 458.09                        | 140                   | 74                   |

ตารางที่ 3.3 เวลาปรับตั้งเครื่องจักร

| No.   | Object                                         | Time (Sec.) |
|-------|------------------------------------------------|-------------|
| 1     | เปลี่ยน Program running ที่จอ Touch screen     | 30          |
| 2     | เปลี่ยนน้ำมันและขันน้ำมันเกาออก                | 308         |
| 3     | จัดเตรียม Frame model ใหม่และ Felt ลงในถาด     | 114         |
| 4     | ตั้งค่า Controller Ultrasonic                  | 473         |
| 5     | เตรียม Ball Metal, Frame Cover และ Hold Spring | 372         |
| 6     | เตรียมถาดใส่ชิ้นงาน                            | 145         |
| Total |                                                | 1442        |

ในการวิเคราะห์ปัญหาต่างๆ จากการทดสอบเครื่องจักรสายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติใช้เครื่องมือ Why-Why Analysis เพื่อหาสาเหตุรากเหง้าของปัญหาในแต่ละหัวข้อ ดังรูปที่ 3.13 มีรายละเอียดดังนี้

1. แจ้งเตือน Welding NG A, B เกิดจากการวาง Frame Cover ไม่ตรงร่อง Frame ทำให้การ Welding ระหว่าง Frame Cover กับ Frame ไม่ได้ค่าที่กำหนดไว้ จึงเกิดการแจ้งเตือนขึ้น ซึ่งปัจจัยต่างๆ ของการวางไม่ตรงคือ

1. ตำแหน่งการวาง Frame ของ Gripper จากการเคลื่อนย้ายระหว่างกระบวนการไม่ตรงกับ Pin Jig ส่งผลให้เกิดการสัมผัสเทียม ทำให้ Frame Cover เคลื่อนที่ได้

2. Pin Jig ที่รับ Frame มีขนาดเล็กเกินไปทำให้ Frame ให้ตัวได้มาก

3. ปรับตั้งหัวดูด Pick up Frame Cover ได้ไม่ดี ทำให้ขณะหยิบ Frame Cover เคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งเดิม เมื่อนำมาวางที่ Frame ตำแหน่งของ Frame Cover จึงไม่ตรงร่อง Frame

2. Frame Cover กระดกขึ้นบน Jig เกิดจาก Stopper ที่ใช้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 mm มีขนาดเล็กกว่าความหนาของ Frame Cover เมื่อเกิดการสั่นทำให้ Frame Cover ปีนขึ้นบน Jig

3. Frame Cover เคลื่อนที่ถอยหลังเมื่อ Part Feeder หยุดสั้น เกิดจาก Frame Cover เป็นเพราะระนาบวาง Part Feeder กับ Jig รับ Cover อยู่ในระนาบเดียวกันจึงมีโอกาสทำให้ Frame Cover เคลื่อนที่ถอยหลังได้

4. การไหลของ Frame Cover ติดหน้าวาง Part Feeder เกิดจากการปรับตั้งระหว่าง Feeder กับ Jig รับ Cover ไม่เหมาะสมหรือไม่ตรงกัน

5. Part Feeder ที่กระบวนการ Load in Frame ดันมาซ้อนกันเกิดจากและ Frame ดันมาไม่ถึง Jig

1. โปรแกรมไม่มีการหน่วงเวลาเมื่อ Frame วิ่งมาถึง Sensor แล้ว Cylinder ดันขึ้นทันที โดยที่ไม่รอให้ Part Feeder หยุดสั่น ทำให้ Frame สั่นและมีการดันจาก Frame ตัวที่ 2

2. การปรับตั้งรางระหว่าง Part Feeder กับ Jig รับ Frame ได้ไม่เหมาะสมทำให้ Frame ไหลเข้าไปที่ Jig ได้เข้าเกินไป

3. ตำแหน่งตรวจสอบของ Sensor อยู่ก่อนที่ Frame จะถูกดันมาถึง Jig

6. Pick up Frame Cover ดูด Frame Cover ไม่ขึ้น เกิดจากหัวดูดมีวัสดุเป็น Stainless จึงไม่มีความยืดหยุ่นและ Cover ไม่เรียบ ทำให้มีลมรั่วออก

7. กระบวนการ Load out Gripper หนีบชิ้นงานหลุด เกิดจาก Frame B มีพื้นที่ในการหนีบฝั่งหน้า Frame น้อย เมื่อเจอแรงหนีบมากเกินไป จึงทำให้งานหลุดออกจาก Gripper ซึ่งการออกแบบไม่มี Stopper ไว้ปรับแรงการหนีบ

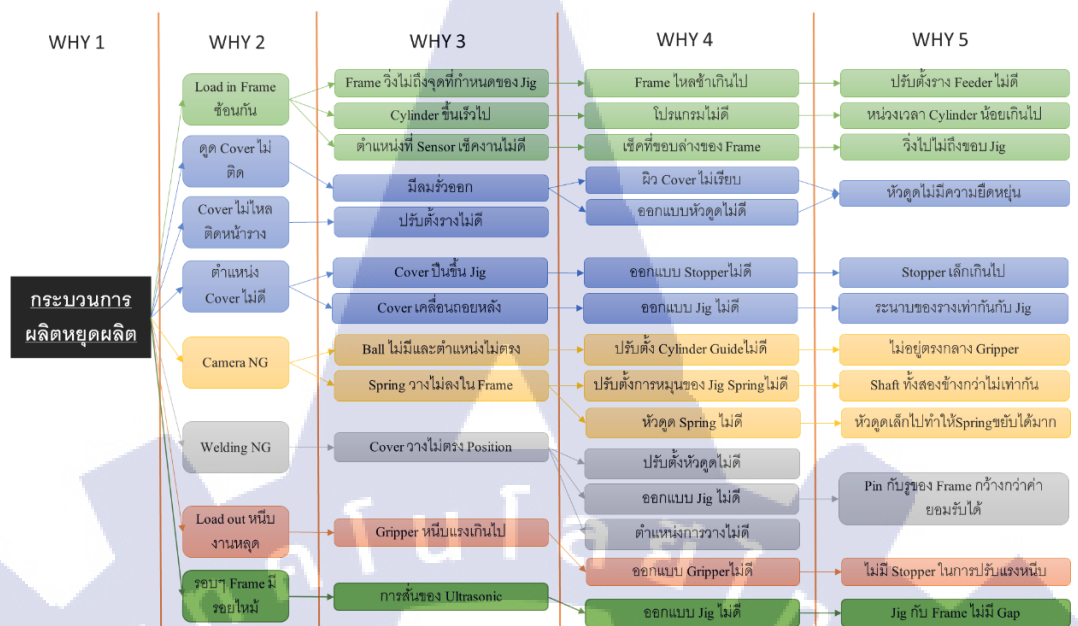
8. มีรอยไหม้รอบๆ นอก Frame หลังการ Welding เกิดจาก Jig มีการออกแบบให้ฐานชิดกับ Frame ทำให้เวลาที่ Ultrasonic สั่นเพื่อ Welding Frame จึงสั่นไปมากับ Jig จึงเกิดรอยไหม้ขึ้น

9. Camera NG มี 3 สาเหตุคือ

1. Ball NG เกิดจาก Ball Metal วางไม่ตรงตำแหน่งที่ดี มีการพลิกขึ้นลงทำให้การตรวจสอบเทียบกับภาพ Master ไม่เหมือนกัน ซึ่งจากการตรวจสอบด้วยสายตา Guide ที่แท่งขึ้นมา รับ Ball Metal ไม่อยู่ตรงกลาง Gripper ทำให้แรงหนีบซ้ายขวาไม่เท่ากัน Ball Metal จึงเกิดการพลิก และฐานของ Guide มีระนาบไม่เท่ากันเกิดจากการปรับตั้งไม่เหมาะสม

2. Spring NG เกิดจากการวาง Hold Spring ไม่ล่งร่องของ Frame ทำให้การตรวจสอบเทียบกับภาพ Master ไม่เหมือนกัน ซึ่งจากการตรวจสอบชิ้นส่วน Pick up Hold Spring มีค่า Gap จาก Shaft ระหว่างด้านซ้ายและด้านขวามีความกว้างไม่เท่ากัน จึงทำให้การหมุนของชิ้นส่วน Pick up Hold Spring ไม่เป็นวงกลม วัดด้วย Dial Gauge มีค่า 250 ไมครอน ซึ่งเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ ซึ่งค่าควบคุมคือ 50 ไมครอน และหัวดูดมีขนาดเล็กกว่าพื้นที่ของ Hold Spring มากเกินไป ทำให้การวาง Hold Spring ไม่ล่งร่องของ Frame

3. Thrust Board NG เกิดจากกระบวนการดูด Thrust Board ขึ้นไม่ตรงกับหัวดูด จึงทำให้กระบวนการเป่า Thrust Board ลงใน Frame ไม่ล่งไปตรงๆ หลุดออกจากตำแหน่งที่ต้องการ



รูปที่ 3.13 แผนภูมิ Why-Why Analysis เครื่องจักรสายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติ

แล้ววิเคราะห์เพื่อประเมินความเสี่ยงด้านต่างๆ เพื่อนำคัดเลือกหัวข้อของปัญหาไปปรับปรุงแก้ไข รายละเอียดการวิเคราะห์ที่อ้างอิงได้ในภาคผนวก ข.1 หลังจากทำการปรับปรุงกระบวนการประกอบ แล้วทดสอบอีกครั้งโดยใช้หลักเกณฑ์เดิม เพื่อนำค่า OEE เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง

### 3.7 มาตรฐานการทดสอบเครื่องจักรสายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติ

นำค่าปัจจัยที่ได้มาจากการทดลองทดสอบผลและเปรียบเทียบผลก่อนหลัง ซึ่งค่าที่ยอมรับได้จากมาตรฐานที่กำหนด

1. ค่าประสิทธิภาพเครื่องจักร OEE 85%
2. คุณภาพชิ้นงาน Yield 95%
3. รอบเวลาผลิตน้อยกว่า 8.93 วินาที

เมื่อเครื่องจักรผ่านการทดสอบจะทำการส่งมอบเครื่องจักรให้ลูกค้าแล้วทำการติดตามผลเป็นระยะ

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

#### 4.1 กระบวนการการตัด Thrust board

จากการสุ่มวัดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง Thrust board 30 ครั้ง พบว่าค่าเฉลี่ยตัวอย่าง ( $\bar{x}$ ) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Thrust board คือ 3.65 mm ซึ่งอยู่ในช่วงค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ คือ 3.45-3.7 mm จึงหาความเป็นไปได้กระบวนการตัด Thrust board มีค่าขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลาง อยู่ในช่วงค่ามาตรฐาน รายละเอียดการวิเคราะห์อ้างอิงได้ในภาคผนวก ค. สรุปได้ว่า ที่ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของการตัด Thrust board จะมีโอกาสที่ค่าออกนอกช่วงมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้น้อยกว่า 0.0001

#### 4.2 กระบวนการฉีดน้ำมัน

กระบวนการฉีดน้ำมันมีการแยกกระบอกลมเป็นของแต่ละโมเดล จึงจำเป็นต้องหาค่าความยาวของกระบอกลมที่เหมาะสมทั้ง 2 โมเดล ซึ่งการชั่งน้ำหนักน้ำมัน มีค่ามาตรฐานกำหนดไว้ทั้งโมเดล A และ โมเดล B คือ 0.239-0.377 กรัม ดังรายละเอียดการวิเคราะห์อ้างอิงได้ในภาคผนวก ข. สรุปการทดลองทำให้ได้สมการถดถอยเชิงเส้นตรงคือ โมเดล A:  $y = 0.0676(x) + 0.0354$  และ โมเดล B:  $y = 0.071(x) + 0.0853$  และแทนค่าน้ำหนักน้ำมันที่ต้องการ ซึ่งค่าที่เหมาะสมความยาวของกระบอกลมคือ โมเดล A: 4.36 mm และ โมเดล B: 3.72 mm และยืนยันผลการทดลองโดยใช้ค่าที่เหมาะสมจากการ พบว่าค่าเฉลี่ยคือ โมเดล A: 0.331 กรัม และโมเดล B: 0.349 กรัม ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง อยู่ในช่วงค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ จึงสรุปว่าค่าจากการทดลองเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการปรับตั้ง Controller น้ำมัน

### 4.3 กระบวนการ Ultrasonic Welding

จากดำเนินการตะแกรงร่อน (Screening) เพื่อคัดเลือกปัจจัย ทำให้สามารถเลือกปัจจัย OSC. Start เป็นโหมด Pres. LV และ EXP Start ใช้ระดับ LV 0 จึงมีปัจจัยนำเข้าสำหรับการทดลอง DOE คือ

1. Melt. Trvl. (Travel)
2. Holding Time (Time)
3. OSC. Start mode (Press)
4. Amplitude (AMP)

และการทดลอง DOE มีค่าตอบสนองดังนี้

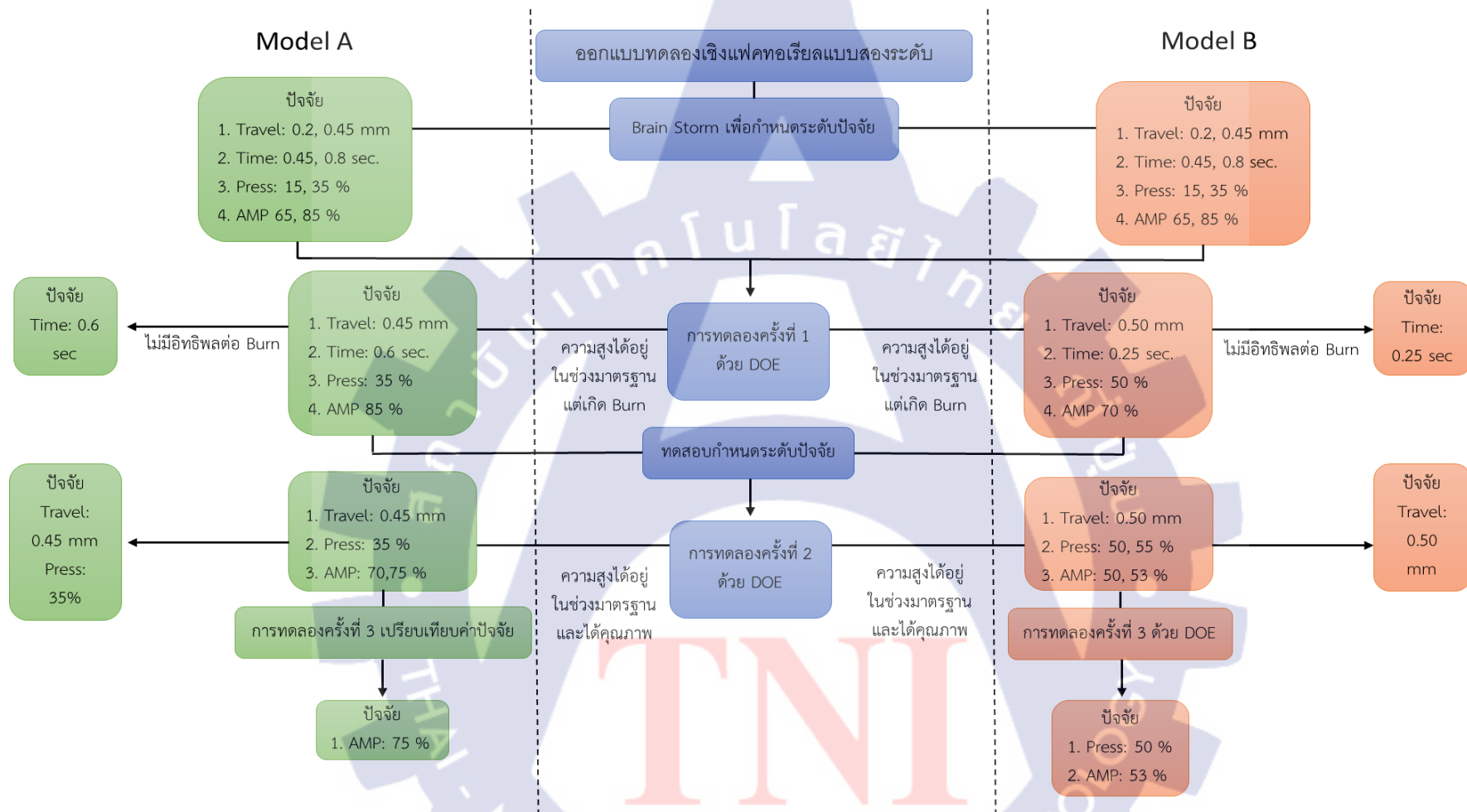
1. ความสูงของชิ้นงาน (POS1, POS2, POS3, POS4)
2. รอยไหม้ (Burn)
3. รอยแตก (Crack)
4. เศษ Bari (Bari)

นำปัจจัยไปออกแบบการทดลองโดยใช้ Factorial Design แบบ Full Factorial  $2^k$  และทำซ้ำ 2 ครั้ง กำหนดค่าระดับของปัจจัย (ต่ำ และสูง) ทั้ง 4 ปัจจัย (Travel, Time, Press, AMP) เพื่อหาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนอง (POS1, POS2, POS3, POS4, Burn, Bari และ Crack) และวิเคราะห์หาค่าปัจจัยเหมาะสมที่ทำให้ความสูงของชิ้นงานมีค่าอยู่ในช่วงค่ามาตรฐาน โมเดล A: 5.45-5.65 mm และโมเดล B: 10.65-10.85 mm (เป็นค่าตอบสนองเชิงปริมาณ) ซึ่งค่าปัจจัยที่เหมาะสมคือ ไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ และต้องไม่ส่งผลกระทบให้เกิดลักษณะงานเสีย (Burn, Bari และ Crack เป็นค่าตอบสนองเชิงคุณภาพ) ซึ่งวิธีการทำการทดลอง DOE มีดังนี้

1. วิเคราะห์ลักษณะของข้อมูล
2. วิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนอง
3. วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าตอบสนองต่อค่าปัจจัย
4. หาค่าปัจจัยที่เหมาะสมด้วย Response Optimization

โดยงานวิจัยนี้เกิดการทดลอง 3 ครั้งด้วยกัน เพื่อหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมดังรูปที่ 4.1





รูปที่ 4.1 แผนภูมิการทดลองกระบวนการ Ultrasonic Welding

การทดลองครั้งที่ 1 รายละเอียดการวิเคราะห์อ้างอิงได้ในภาคผนวก ง. จากการวิเคราะห์ด้วย DOE ได้ผล Response Optimization พบว่าค่าปัจจัยที่ทำให้ค่าตอบสนองความสูงอยู่ในช่วงค่ามาตรฐาน แต่ส่งผลให้เกิดค่าตอบสนอง Burn ที่เป็นค่าตอบสนองเชิงคุณภาพที่ยอมรับไม่ได้ จึงนำไปสู่การทดลองครั้งที่ 2 และพบว่าผลการทดลองครั้งที่ 1 สามารถระบุค่าปัจจัยที่เหมาะสมของค่าปัจจัย Time คือ โมเดล A: 0.60 วินาที และโมเดล B: 0.25 วินาที เป็นค่าปรับตั้งเครื่อง Ultrasonic แล้วทำการทดลอง DOE ครั้งที่ 2 ปัจจัยนำเข้าที่เหลืออีก 3 ปัจจัย (Travel, Press และ AMP)

การทดลองครั้งที่ 2 รายละเอียดการวิเคราะห์อ้างอิงได้ในภาคผนวก จ. จากการวิเคราะห์ด้วย DOE ได้ผล Response Optimization โมเดล A ค้นพบว่าค่าปัจจัยคือ Travel: 0.45 mm, Press: 35%, AMP: 70% และ 75% และโมเดล B ค้นพบว่าค่าปัจจัยคือ Travel: 0.50 mm, Press: 50% และ 55%, AMP: 50% และ 53% เป็นค่าปัจจัยที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่อง Ultrasonic แล้วทำการทดลองครั้งที่ 3 เพื่อเลือกค่าปัจจัยที่เหมาะสมมากที่สุด

การทดลองครั้งที่ 3 รายละเอียดการวิเคราะห์อ้างอิงได้ในภาคผนวก ฉ. จากการวิเคราะห์โดยทดลองขึ้นงาน 5 ชิ้น ของโมเดล A เพื่อเลือกค่าปัจจัย AMP ที่เหมาะสมมากขึ้น ค้นพบว่าค่าปัจจัย AMP 75% เป็นค่าที่เหมาะสมมากกว่าค่า AMP ที่ 70% เพราะมีค่าตอบสนองความสูงที่มากกว่าและไม่มีค่าตอบสนองเชิงคุณภาพที่ใช้ไม่ได้

ส่วนโมเดล B เพื่อเลือกค่าปัจจัย Press และ AMP ที่เหมาะสม จากการวิเคราะห์ด้วย DOE ได้ผล Response Optimization ค้นพบว่าค่าปัจจัย Press: 50% และ AMP: 53% เป็นค่าปัจจัยที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่อง Ultrasonic เพราะมีค่าตอบสนองความสูงที่มากกว่า และไม่มีค่าตอบสนองเชิงคุณภาพที่ใช้ไม่ได้ แล้วนำค่าปัจจัยที่ได้จากการทดลอง DOE ไปทำการยืนยันผลการทดลอง

จากการทดสอบ หลังจากได้ค่าปัจจัยที่เหมาะสม ซึ่งการทดสอบครั้งนี้ต้องการยืนยันค่าปัจจัยที่วิเคราะห์จากการทดลอง DOE เป็นค่าที่เหมาะสมจริงหรือไม่ รายละเอียดการวิเคราะห์อ้างอิงได้ในภาคผนวก ช. พบว่าค่าเฉลี่ยความสูงทั้ง 4 มุมของชิ้นงาน โมเดล A: 5.540 mm และ โมเดล B: 10.681 mm ซึ่งอยู่ในช่วงค่ามาตรฐานที่กำหนด ดังตารางที่ 4.1 จึงสรุปว่าค่าปัจจัยที่ได้จากการทดลอง DOE เป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการปรับตั้งเครื่อง Ultrasonic

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยของผลการเก็บบันทึกโดยใช้ค่าปัจจัยที่เหมาะสมจากการทดลอง DOE

| โมเดล | POS1    | POS2    | POS3    | POS4    | Burn | Bari | รอยแตก |
|-------|---------|---------|---------|---------|------|------|--------|
| A     | 5.5399  | 5.5394  | 5.5399  | 5.5396  | 0    | 0    | 0      |
| B     | 10.6806 | 10.6807 | 10.6804 | 10.6802 | 0    | 0    | 0      |

#### 4.4 เพิ่มประสิทธิผลโดยรวมให้กับเครื่องจักรสายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติ

จากหัวข้อของปัญหาจากการทดสอบเครื่องจักรสายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติ ได้หัวข้อของปัญหา 13 หัวข้อ แล้วหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมตามข้อกำหนดการตรวจสอบคุณภาพดังที่กล่าวไว้ข้างต้น และทำการปรับปรุงกระบวนการประกอบตามสาเหตุรากเหง้าของปัญหา รายละเอียดการปรับปรุงอ้างอิงได้ในภาคผนวก ข. แล้วทำการคำนวณเปรียบเทียบค่าลำดับความเสี่ยง รายละเอียดการประเมินอ้างอิงได้ในภาคผนวก ข.2 และประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรหรือค่า OEE จากผลเก็บบันทึกผลการทดสอบประกอบชิ้นงาน 100 ชิ้น จำนวน 5 รอบ ดังตารางที่ 4.2 ตามมาตรฐานการทดสอบเครื่องจักร

ผลการทดลองหลังปรับปรุงกระบวนการประกอบ เวลาของปัญหาที่ทำให้กระบวนการหยุดการประกอบ 54.25 วินาที และจำนวนชิ้นงานเสีย 2 ชิ้นนำผลเก็บบันทึกที่ได้มาคำนวณค่า OEE เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพและประสิทธิผลของกระบวนการผลิต ซึ่งเวลาปรับตั้งเครื่องจักรก่อนเริ่มประกอบไม่มีการปรับปรุง

|                                        |               |
|----------------------------------------|---------------|
| เวลาในการเดินเครื่องทั้งหมด            | 672.95 วินาที |
| เวลาเครื่องทำงาน                       | 632.70 วินาที |
| เวลาปรับตั้งเครื่องจักรก่อนเริ่มประกอบ | 925 วินาที    |
| ความต้องการต่อวัน                      | 4,300 ชิ้น    |
| เวลาทำงานทั้งหมดต่อวัน                 | 38,400 วินาที |
| งานเสีย                                | 2 ชิ้น        |

OEE หลังปรับปรุงกระบวนการประกอบของเครื่องจักรเท่ากับ

$$\begin{aligned}\text{อัตราการเดินเครื่อง (A)} &= 632.70 - 21.51 / 672.95 \\ &= 90.82\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ประสิทธิภาพการเดินเครื่องจักร (P)} &= 100 / (672.95 - 21.51 / 5.94) \\ &= 91.18\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{อัตราคุณภาพ (Q)} &= 100 - 2 / 100 \\ &= 98\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ค่าประสิทธิผลโดยรวม (OEE)} &= 0.9082 \times 0.9118 \times 0.98 \\ &= 81.15\%\end{aligned}$$

จากการปรับปรุงกระบวนการประกอบของเครื่องจักรสายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติ ซึ่งก่อนการปรับปรุงกระบวนการ มีค่าลำดับความเสี่ยงรวม 1005 คะแนน และ ค่า OEE: 7.82% หลังจาก

ปรับปรุงด้วยวิธีต่างๆ ข้างต้นที่กล่าวไว้ ทำให้ค่าลำดับความเสี่ยงรวมลดลงเหลือ 71 คะแนน ค่า OEE เพิ่มขึ้นเป็น 81.15% ซึ่งเป็นผลการดำเนินงานของงานวิจัยการกำหนดค่าที่เหมาะสมในกระบวนการประกอบสายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติ

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบกระบวนการหลังปรับปรุง

| No                       | หัวข้อของปัญหา                                                                            | เวลาหยุดชะงัก<br>(วินาที) | จำนวนครั้งการ<br>หยุด | จำนวนชิ้นงาน<br>เสีย |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|
| 1                        | แฉ่งเดือน Welding NG A                                                                    | 0                         | 0                     | 0                    |
| 2                        | แฉ่งเดือน Welding NG B                                                                    | 22.56                     | 3                     | 0                    |
| 3                        | Frame Cover กระดกขึ้นมาบน Jig                                                             | 0                         | 0                     | 0                    |
| 4                        | Frame Cover เคลื่อนที่ถอยหลัง<br>เมื่อ Part Feeder หยุดสั้น                               | 0                         | 0                     | 0                    |
| 5                        | การไหลของ Frame Cover ติด<br>หน้าราง Part Feeder                                          | 24.14                     | 2                     | 0                    |
| 6                        | Part Feeder ที่กระบวนการ Load<br>in Frame ดันมาซ้อนกัน และ<br>Frame ดันมายังไม่ถึงสุด Jig | 7.55                      | 2                     | 0                    |
| 7                        | Pick up Frame Cover ดูด<br>Frame Cover ไม่ขึ้น                                            | 0                         | 0                     | 0                    |
| 8                        | กระบวนการ Load out Gripper<br>หนีบชิ้นงานหลุด                                             | 0                         | 0                     | 0                    |
| 9                        | มีรอยไหม้รอบๆ Frame หลังการ<br>Welding                                                    | 0                         | 0                     | 0                    |
| การตรวจสอบงานด้วย Camera |                                                                                           |                           |                       |                      |
| 10                       | Ball NG                                                                                   | 0                         | 1                     | 1                    |
| 11                       | Spring NG                                                                                 | 0                         | 0                     | 0                    |
| 12                       | Felt NG                                                                                   | 0                         | 1                     | 1                    |
| 13                       | Thrust Board NG                                                                           | 0                         | 0                     | 0                    |
| Total                    |                                                                                           | 54.25                     | 9                     | 2                    |

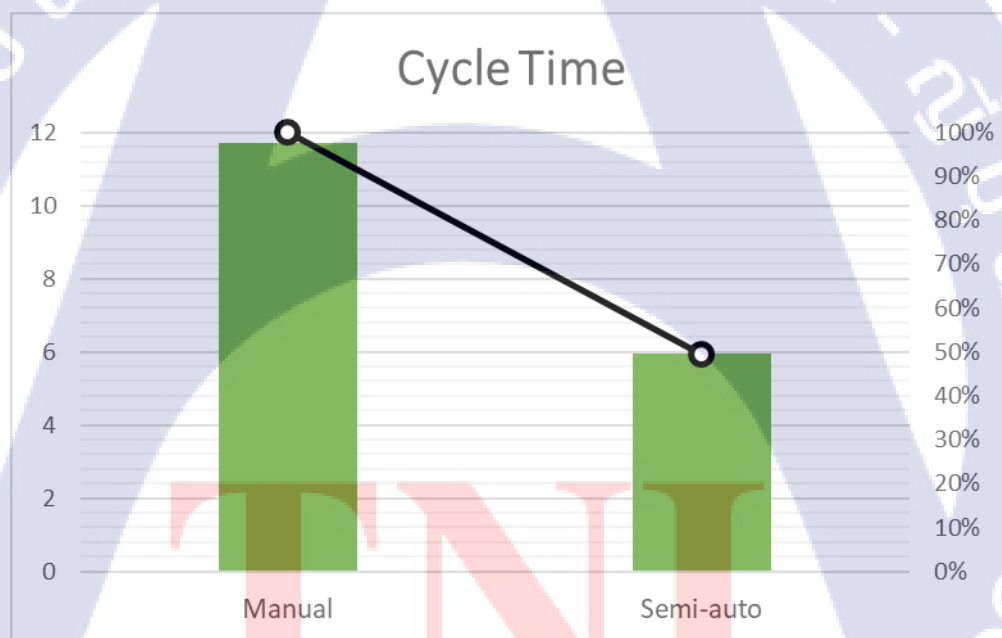
## บทที่ 5

### บทสรุป ข้อเสนอแนะ บทวิจารณ์

การพัฒนาเครื่องจักรสายการผลิตจากแบบผลิตด้วยมือเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ เพื่อเพิ่มผลิตผลให้สามารถรองรับความต้องการของลูกค้าที่เพิ่มขึ้นจากเดิม 3,500 ชิ้นต่อวันเป็น 4,300 ชิ้นต่อวัน

#### 5.1. รอบเวลาผลิต

รอบเวลาผลิตเปรียบเทียบจากเครื่องจักรสายการผลิตแบบผลิตด้วยมือ มีรอบเวลาผลิต 11.72 วินาที และเครื่องจักรสายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติ มีรอบเวลาผลิต 5.94 วินาที ลดลง 5.78 วินาทีคิดเป็นร้อยละ 49.32%



รูปที่ 5.1 รอบเวลาผลิตเครื่องจักรส่วนประกอบมอเตอร์พัดลมของเครื่องปรับอากาศ

## 5.2 มาตรฐานข้อกำหนดของชิ้นงาน

### 5.2.1 กระบวนการตัด Thrust Board

ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของ Thrust board เครื่องมือที่ใช้การวิจัยคือ การแจกแจงค่าเฉลี่ยตัวอย่างเพื่อการยอมรับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ Thrust board มีโอกาสที่ค่าออกนอกช่วงมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้น้อยกว่า 0.0001 โดยมีค่าเฉลี่ย 3.65 mm (3.45-3.7 mm)

### 5.2.2 กระบวนการฉีดน้ำมัน

ปริมาณในการฉีดน้ำมันควบคุมด้วย Controller เครื่องมือที่ใช้การวิจัยคือ Linear Regression เพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการปรับตั้งความยาวของกระบอกลมคือ โมเดล A: 4.36 mm และ โมเดล B: 3.72 mm มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักน้ำมันคือโมเดล A: 0.331 กรัม และโมเดล B: 0.349 กรัม (0.239-0.377 กรัม)

### 5.2.3 กระบวนการ Ultrasonic Welding

Ultrasonic Welding เพื่อตรวจสอบความสูงที่ Cover ยึดติดกับ Frame เครื่องมือที่ใช้การวิจัยคือ DOE เพื่อคัดเลือกปัจจัยและหาค่าปัจจัยที่เหมาะสม การปรับตั้งเครื่อง Ultrasonic คือ โมเดล A ค่าปัจจัย Travel: 0.45 mm Time: 0.6 sec. Press: 35% และ AMP: 75% ค่าปัจจัย B ค่าปัจจัย Travel: 0.5 mm Time: 0.25 sec. Press: 50% และ AMP: 53% ทำให้มีค่าเฉลี่ยความสูงของโมเดล A: 5.540 mm (5.45-5.65 mm), และโมเดล B: 10.681 mm (10.65-10.85 mm) ได้ผลลัพธ์การควบคุมปัจจัยคุณภาพ ได้ผลเป็นที่พึงพอใจ หรือสรุปได้ว่าไม่มีลักษณะงานเสีย

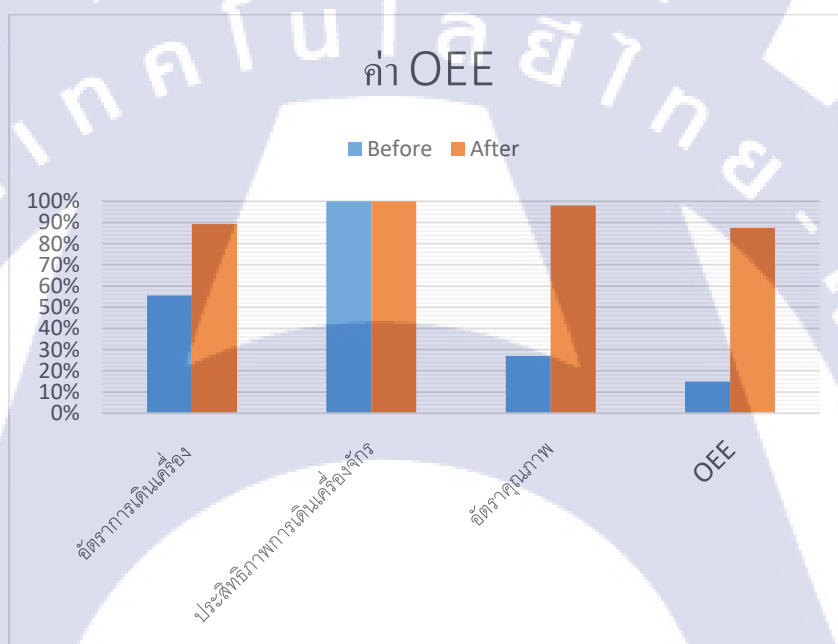
## 5.3 ประสิทธิภาพโดยรวมของไลน์เครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติและคุณภาพของชิ้นงาน

เครื่องจักรสายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติ ได้ประเมินผลด้วยเครื่องมือค่าลำดับความเสี่ยง ซึ่งหลังปรับปรุง กระบวนการประกอบดังกล่าว ได้คะแนน RPN เหลือเพียง 71 คะแนนจากก่อนการปรับปรุง 1007 คะแนน ค่าคะแนน RPN ลดลง 934 คะแนน และประสิทธิภาพโดยรวมเครื่องจักร (OEE) หลังการปรับปรุงเท่ากับ 81.15% จากก่อนการปรับปรุง 7.82% ประสิทธิภาพโดยรวมเครื่องจักร (OEE) เพิ่มขึ้น 73.03% ค่าดังตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.2



ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพโดยรวมเครื่องจักรก่อนและหลังปรับปรุง

| Object                                          | Before | After  |
|-------------------------------------------------|--------|--------|
| อัตราการเดินเครื่อง                             | 53.57% | 90.82% |
| ประสิทธิภาพการเดินเครื่องจักร                   | 56.16% | 91.18% |
| อัตราคุณภาพ                                     | 27%    | 98%    |
| ค่าประสิทธิภาพโดยรวมเครื่องจักร (OEE)           | 7.82%  | 81.15% |
| ค่าประสิทธิภาพโดยรวมเครื่องจักร (OEE) เพิ่มขึ้น | 73.33% |        |



รูปที่ 5.2 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพโดยรวมเครื่องจักรก่อนและหลังปรับปรุง

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยได้กำหนดค่าประสิทธิภาพเครื่องจักร (OEE) ไว้คือ 85% แต่จากการปรับปรุงสามารถเพิ่มค่าประสิทธิภาพเครื่องจักร (OEE) ได้เพียง 81.15% เนื่องจากการเก็บผลการทดสอบเพียง 100 ชิ้น และเวลาการเดินเครื่องต่อวัน ทำให้เมื่อเกิดการหยุดชะงักเพียงครั้งเดียว และเวลาการปรับตั้งเครื่องจักร จึงมีผลกระทบต่อค่าประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรอย่างมาก

ในการพัฒนาเครื่องจักรแบบกึ่งอัตโนมัติ มีจำนวนชิ้นงานในการทดลองและเวลาในการทำวิจัยที่จำกัด จึงทำให้เพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรไม่ได้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ ซึ่งถ้า

นำหลักการและวิธีการจากงานวิจัยนี้ น่าจะทำให้พัฒนาค่าประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรให้ดีขึ้น  
อย่างไม่มีปัญหา กล่าวคือ ถ้าใช้เวลาในการพัฒนามากกว่านี้ น่าจะได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่านี้

#### 5.4 Payback period

ต้นทุนในการพัฒนาเครื่องจักรสายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติประกอบด้วย

|                                   |               |
|-----------------------------------|---------------|
| 1. ออกแบบและประกอบเครื่องจักร     | 110,000 บาท   |
| 2. ออกแบบไฟฟ้าและการ wiring       | 142,500 บาท   |
| 3. อุปกรณ์และ Part ของเครื่องจักร | 3,500,000 บาท |
| 4. ออกแบบโปรแกรม                  | 480,000 บาท   |
| 5. ทดสอบและปรับตั้งเครื่องจักร    | 1,200,000 บาท |
| รวม                               | 5,432,500 บาท |

ต้นทุนการผลิตที่ลดลง

|                                  |                       |
|----------------------------------|-----------------------|
| 1. พนักงาน 2 คน                  | 30,000 บาท/เดือน      |
| 2. กำลังการผลิตเพิ่มขึ้น (3,238) | 97,140 บาท/เดือน      |
| Payback period                   | 43 เดือน หรือ 3.58 ปี |

#### 5.5 ข้อเสนอแนะ

การควบคุมการผลิตของเครื่องจักรนี้ ควรทำ Control Chart เพื่อแจ้งเตือนเครื่องจักร  
ผิดปกติและเก็บข้อมูลในแต่ละวัน เมื่อ test run แล้ว ส่งมอบเครื่องจักร จะส่งมอบพร้อมคู่มือการใช้  
คู่มือการบำรุงรักษา

การพัฒนาสายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติเป็นอัตโนมัติ เพื่อลดพนักงานในการผลิตลดลงอีก 2  
คน โดยตัดกระบวนการ loading (เดิม) Frame ด้วยการเพิ่ม Part Feeder 2 ชุด เพื่อเติมงาน  
อัตโนมัติ Frame A และ Frame B และกระบวนการเดิม Hold Spring ซึ่งจำเป็นต้องออกแบบ  
ชิ้นงาน Hold Spring ใหม่ เนื่องจาก Hold Spring ติดพันกันได้ง่ายหลายรูปแบบ จึงจำเป็นต้องใช้คน  
ในการจัด Hold Spring ถ้าชิ้นส่วน Hold Spring พัฒนาจน สามารถ Automatic Transfer และ  
Automatic Loading ได้ จากดังที่กล่าวข้างต้น จะทำให้สามารถพัฒนาเครื่องจักรให้เป็นระบบ  
อัตโนมัติได้

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

THAI - JAPAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

บรรณานุกรม

TNI

## บรรณานุกรม

- [1] พิศุทธิ์ พงษ์ชัยฤกษ์, *การควบคุมคุณภาพสำหรับวิศวกร*, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด, 2558.
- [2] เรวัตร์ ชาตรีวิศิษฐ์, “Failure Mode and Effect Analysis (FMEA),” [Online] Available: <https://www.slideserve.com/gordy/failure-mode-and-effect-analysis-fmea> [Accessed: 15 กุมภาพันธ์ 2563].
- [3] ฉลอง สีแก้วสัว, “สมการถดถอยอย่างง่าย,” [Online] Available: <https://sites.google.com/site/mystatistics01/home> [Accessed: 20 มกราคม 2563].
- [4] ปารเมศ ชูติมา, *การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม*, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- [5] P. Muchiri, “Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): Literature review and practical application discussion,” *International Journal of Production Research*, vol. 46, no. 13, pp. 3517-3535, November 2006.
- [6] บุญชัย แซ่สัว และณัฐธยาน์ โสกุล, “การลดของเสียในขั้นตอนกระบวนการบรรจุ โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบทดลอง กรณีศึกษาบริษัทผลิตขนมขบเคี้ยว,” *วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์*, ปีที่ 9, ฉบับที่ 2, หน้า 30-44, กรกฎาคม-ธันวาคม 2559.
- [7] ชีวิน จันทรสุนทร, “การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของภาพพิมพ์ กรณีศึกษาการทดสอบขั้นสุดท้ายของการผลิตเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ท,” วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหกรรม), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี, 2553.
- [8] อุดุลย์ จิตรอารี และคณะ, “การออกแบบการทดลองเพื่อการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเสียรูปในการจำลองกระบวนการฉีดขึ้นส่วนพลาสติก ABS.,” *วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น*, ปีที่ 1, ฉบับที่ 2, หน้า 68-73, กรกฎาคม-ธันวาคม 2556.
- [9] เกียรติวิทย์ สมทอง และพิพัฒน์ แก้วมุงคุน, “การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใส่กรอกอีสานด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง,” *การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม IENET20018*, อุบลราชธานี, 23-26 กรกฎาคม 2561, หน้า 1343-1347.

- [10] สมศักดิ์ แก้วพลอย และกุลยุทธ บุญแข็ง, “การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการอบไม้ยางพารา,” *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น*, ปีที่ 19, ฉบับที่ 2, หน้า 284-292, มีนาคม-เมษายน 2557.
- [11] ธาณี อะโฮต, “การออกแบบการทดลองเพื่อให้ได้ค่าพีไอดีที่เหมาะสมในกระบวนการควบคุม,” *วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ)*, มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี, 2559.
- [12] วิวัฒน์ ยิ่งสุทธิพันธุ์, “การวิเคราะห์ค่าตัวแปรที่มีผลต่อค่าความผันแปรของความต้านทานในกระบวนการขัดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์,” *วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์)*, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 2556.
- [13] สิริชัย สุรัตน์ชัยการ และอรรถกร เก่งพล, “การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรมในการเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องบรรจุยาน้ำ,” *การประชุมวิชาการชาวยางงานวิศวกรรมอุตสาหการ IENET2012*, เพชรบุรี, 17-19 ตุลาคม 2555, หน้า 818-821.
- [14] ปารเมศ ชุตินา และภาณุ ชุตเจ้าเงิน, “การประยุกต์ซิกซ์ ซิกมา เพื่อลดของเสียจากการพ่นสีรองพื้นในกระบวนการผลิตกล่องนาฬิการาคาแพง,” *การประชุมวิชาการชาวยางงานวิศวกรรมอุตสาหการ IENET2007*, กรุงเทพฯ, 24-26 ตุลาคม 2550, หน้า 78-83.
- [15] ภูธิป อินทร์ภัก, “การลดเวลาสูญเสียในกระบวนการตีฉลาก,” *วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ)*, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2557.
- [16] บริษัท พี นัมเบอร์วัน อินสตรูเมนต์ จำกัด, “ระดับน้ำตั้งเครื่องจักร,” [Online] Available: <https://www.p1-instrument.com/p/130> [Accessed: 17 กุมภาพันธ์ 2563].

ภาคผนวก ณ.  
ปรับปรุงแก้ไขกระบวนการประกอบ

TNI



นำสาเหตุรากเหง้าของปัญหาในแต่ละหัวข้อจากแผนภูมิ Why-Why Analysis แล้วหาแนวทางในการแก้ไขปรับปรุง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร โดยแบ่งหัวข้อของปัญหาออกเป็น Station ดังนี้

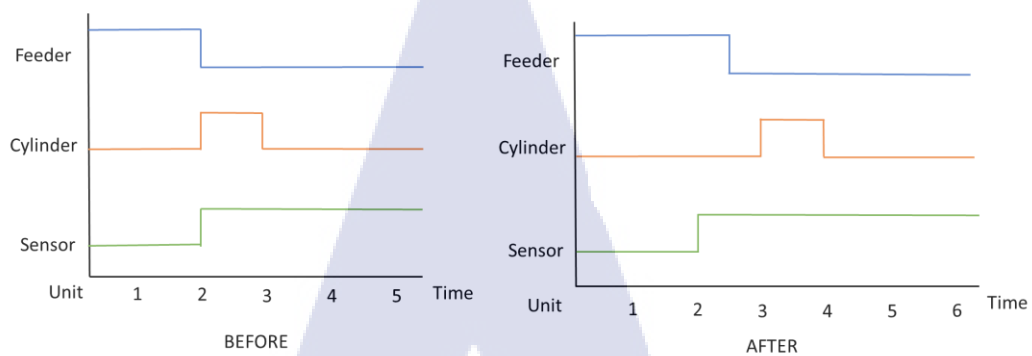
### ณ.1 Load in Station

ตารางที่ ณ.1 หัวข้อของปัญหา Load in Station

| ข้อผิดพลาดต่างๆ                                                               | สาเหตุของปัญหารากเหง้า                                                                                                                       | แนวทางแก้ไขปัญหา                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Part Feeder ที่กระบวนการ Load in Frame ดันมาซ้อนกัน และ Frame ดันมาไม่ถึง Jig | 1. เกิดจาก Cylinder ทำงานทันทีที่ Sensor On ซึ่ง Frame ตัวแรกยังดันมาไม่ถึงขอบของ Jig จึงทำให้เกิดการซ้อนกันระหว่าง Frame แรกกับ Frame ถัดไป | เพิ่มการหน่วงเวลาในโปรแกรม เมื่อเวลาที่หน่วงให้กับ Sensor หมดลงแล้วปิดการสั่นของราง Feeder |
|                                                                               | 2. ตำแหน่งการตรวจสอบชิ้นงานของ Sensor ไม่ได้อยู่ตำแหน่งสุดท้ายที่ Frame จะถูกดันมาให้ถึงสุด Jig                                              | เปลี่ยนตำแหน่งของ Sensor หรือปรับค่า Amplifier ของ Sensor                                  |
|                                                                               | 3. อัตราการไหลเข้าจากราง Feeder จนถึง Jig มีอัตราการไหลที่ช้า                                                                                | ปรับตั้งราง Feeder ใหม่โดยให้รางกว้างขึ้น เพื่อให้รางบีบ Frame น้อยลง                      |

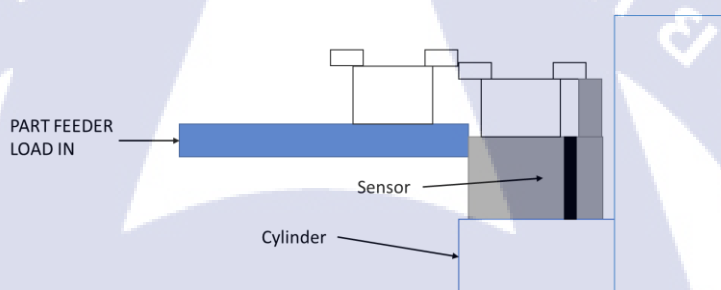
#### วิธีแก้ไข

1. เพิ่มการหน่วงเวลาในการทำงานของ Cylinder ในโปรแกรม ซึ่งจากเดิมไม่มีการหน่วงเวลา จึงเพิ่มการหน่วงเวลา 1 วินาที เมื่อ Sensor On หลังจากนั้นหน่วงเวลาอีก 0.5 วินาที แล้วปิดการสั่นของ Part Feeder และหลังจากนั้นหน่วงเวลาเพิ่มอีก 0.5 วินาที ก่อนที่จะให้ Cylinder ทำงาน ดังรูปที่ ณ.1

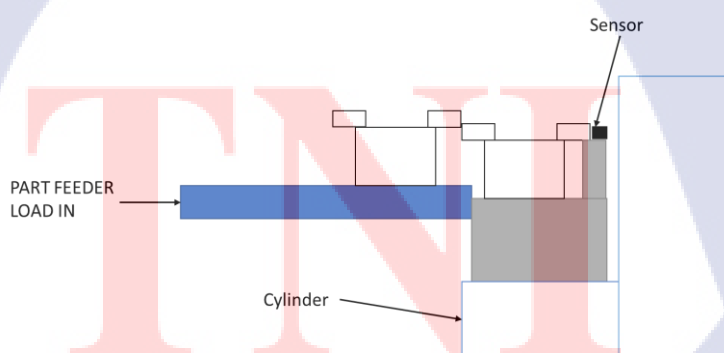


รูปที่ ๑.1 กระบวนการทำงาน Part Feeder Load in

2. ทำการเจาะรูที่ Jig รับ Frame ด้านข้างเพื่อเปลี่ยนที่ติดตั้งของ Sensor



รูปที่ ๑.2 กระบวนการทำงาน Part Feeder Load in ก่อนปรับปรุง



รูปที่ ๑.3 กระบวนการทำงาน Part Feeder Load in หลังปรับปรุง

3. ปรับความกว้างของระหว่างขอบของ Guide จนถึงราง Part Feeder ให้มีความกว้างเพิ่มขึ้น 5 mm จากเดิม Frame A 225 mm เป็น 230 mm และ Frame B 295 mm เป็น 300 mm

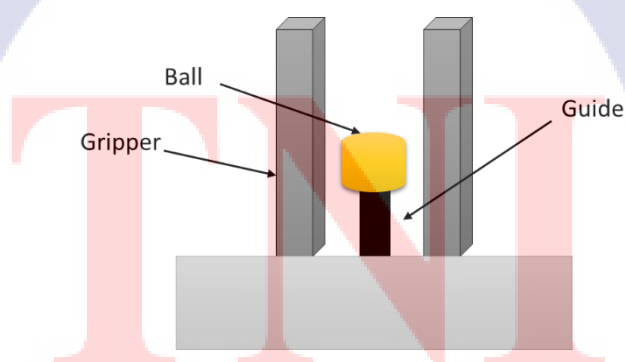
## ณ.2 Ball Station

ตารางที่ ณ.2 สาเหตุของปัญหา Ball Station

| ข้อผิดพลาดต่างๆ                                                                    | สาเหตุของปัญหารากเง้า                                                                                                   | แนวทางแก้ไขปัญหา                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| การพลิกของ Ball Metal จนไม่สามารถแก้ไขด้วยคน โดยพลิกกลับมาที่จุดมาตรฐานกำหนดไว้ได้ | เกิดจากความกว้างด้านซ้ายและขวาไม่เท่ากันจาก Guide กับ Gripper ซ้ายขวา ทำให้เมื่อ Ball Metal ถูกหนีบแรงซ้ายขวาไม่เท่ากัน | ปรับตั้ง Guide ใหม่โดยให้ขนาดความกว้างซ้ายขวาเท่ากัน |

วิธีแก้ไข

ปรับตั้ง Guide ให้ขนาดระหว่าง Guide กับ Gripper ให้ความกว้างทั้งซ้ายขวาเท่ากัน ดังรูปที่ ณ.4 โดยใช้ Box gauge ขนาด 0.4 mm สอดเข้าระหว่าง Ball Metal กับ Gripper ให้สวมเข้าไปได้พอดีทั้ง 2 ข้าง แล้วทดสอบการหนีบโดยใช้การตรวจสอบด้วยสายตาว่า Ball มีการพลิกขึ้นลงหรือไม่



รูปที่ ณ.4 ส่วนประกอบ Ball Unit

### ณ.3 Spring Station

ตารางที่ ณ.3 สาเหตุของปัญหา Spring Station

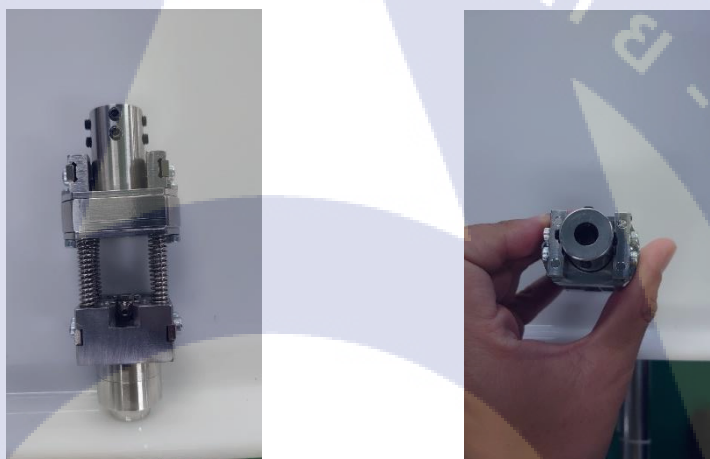
| ข้อผิดพลาด<br>ต่างๆ                                | สาเหตุของปัญหารากเง้า                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | แนวทางแก้ไข<br>ปัญหา                                                                           |
|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ขาของ Hold Spring วางไม่<br>อยู่ในร่องของ<br>Frame | 1. เกิดจากการหมุนของชิ้นส่วน Pick up Hold Spring เพื่อให้ตำแหน่งของขา Hold Spring อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ ก่อนวางลงใน Frame ซึ่งการหมุนของชิ้นส่วนมีการหมุนไม่เป็นวงกลม โดยวัดค่าด้วย Dial gage มีค่าเกินกว่าค่ายอมรับได้ 50 ไมครอน เนื่องจากการออกแบบชิ้นส่วน มีส่วนประกอบในการต่อกันหลายครั้ง จากการต่อ Boost กับ ส่วนมอเตอร์ แล้วต่อ Boost กับ Shaft อีกครั้งทำให้การปรับตั้งทำได้ยาก | 1. ออกแบบ<br>ชิ้นส่วน Pick up<br>Hold Spring<br>ใหม่<br>2. เปลี่ยน Pin ที่<br>Jig ของ Transfer |
|                                                    | 2. หัวดูดที่เป็นแม่เหล็กเพื่อหยิบ Hold Spring มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า Hold Spring มาก ทำให้ Hold Spring สามารถเคลื่อนที่ไปมาได้มากเกินความจำเป็น                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                |

#### วิธีแก้ไข

1. ชิ้นส่วน Pick up Hold Spring ของเดิมมีการประกอบฐานบนกับที่สวมมอเตอร์ ยึดกันด้วย Boost และประกอบ Shaft กับฐานล่าง ยึดกันด้วย Boost อีกรอบ ทำให้สั่นคลอนได้มาก ดังรูปที่ ณ.5 จึงออกแบบชิ้นส่วนใหม่ โดยการประกอบฐานบนกับที่สวมมอเตอร์ ทำให้เป็นชิ้นเดียวกัน ยึดกันด้วยน็อต เพื่อลดการสั่นคลอน ไม่สามารถโยกไปมาได้ ส่วนการประกอบ Shaft กับฐานล่าง ยึดกันด้วย Boost เหมือนเดิม แต่เพิ่มการล็อก Shaft ให้ไม่สามารถขยับได้ แล้วเพิ่มขนาดกำลังของ Spring ให้ยกขึ้นได้เล็กน้อย ดังรูปที่ ณ.6



รูปที่ ๕.5 ชิ้นส่วน Pick up Hold Spring ก่อนปรับปรุง

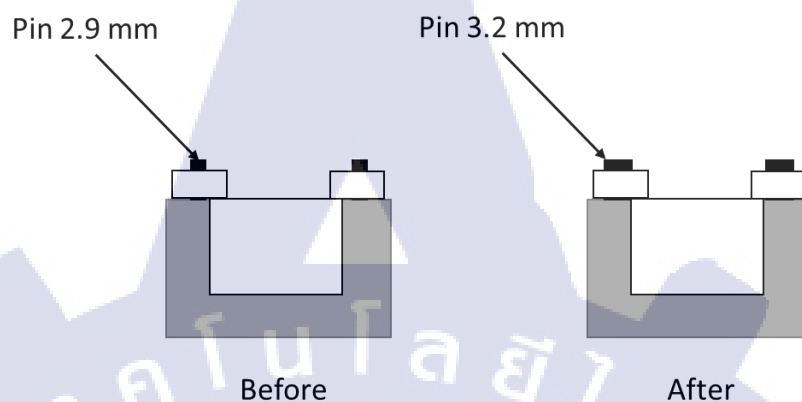


รูปที่ ๕.6 ชิ้นส่วน Pick up Hold Spring หลังปรับปรุง

2. หัวดูดที่เป็นแม่เหล็กเพื่อดูด Hold Spring แบบเก่า (ก่อนปรับปรุง) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 mm ซึ่งขนาดของ Hold Spring มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 mm ทำให้สามารถเคลื่อนที่ได้มากเกินไป ซึ่งร่องของ Frame มีความกว้างเพียง 3 mm ทำให้ Hold Spring มีโอกาสวางไม่ลงร่อง Frame จึงเปลี่ยนขนาดหัวดูด Hold Spring ให้มีพื้นที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเป็น 34 mm

3. เนื่องจาก Jig ของ Transfer ในแต่ละ Station จะใช้ Jig เหมือนกันที่มี Pin เพื่อให้วาง Frame ให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการด้วยการสวม Frame เข้าไปใน Pin ทั้ง 2 ข้าง โดยขนาดของ Pin ของเดิมก่อนปรับปรุง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.9 mm ส่วนขนาดของรู Frame ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.4 mm ทำให้ตำแหน่งของ Frame จึงเปลี่ยนขนาดของ Pin เพื่อให้ Frame

เคลื่อนที่ได้น้อยที่สุด โดยเปลี่ยนขนาดของ Pin ให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.2 mm ใน เพื่อให้ Frame สามารถเคลื่อนที่ได้เพียง 0.1 mm ดังรูปที่ ฅ.7



รูปที่ ฅ.7 Jig Transfer Unit



#### ณ.4 Cover Station

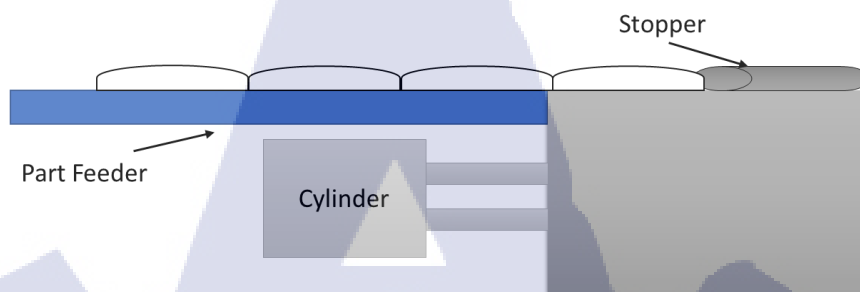
ตารางที่ ณ.4 สาเหตุของปัญหา Cover Station

| ข้อผิดพลาดต่างๆ                                         | สาเหตุของปัญหารากเง้า                                                                                                                                       | แนวทางแก้ไขปัญหา                                                            |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Frame Cover กระดก ขึ้นมาบน Jig                          | Stopper ของ Jig มีขนาดเล็กกว่า Frame Cover เมื่อ Frame Cover ที่ถูกดันมาถึง Stopper ด้วยการสั่นจาก Part Feeder ทำให้ Frame Cover มีโอกาสป็นขึ้นมาบน Jig ได้ | เปลี่ยนขนาด Stopper ให้ใหญ่ขึ้น                                             |
| Frame Cover เคลื่อนที่ถอยหลังเมื่อ Part Feeder หยุดสั่น | เนื่องจาก Jig กับรางอยู่ในระนาบเดียวกัน เมื่อ Part Feeder หยุดสั่น ทำให้ Frame Cover มีโอกาสเคลื่อนที่ถอยหลัง ดังรูป ณ. 8                                   | ออกแบบ Jig ใหม่เพื่อให้ มี Stopper กันข้างหลัง Frame Cover ระหว่าง ตัวถัดไป |
| Pick up Frame Cover ดูด Frame Cover ไม่ขึ้น             | 1. ผิวของ Frame Cover ไม่เรียบ<br>2. หัวดูดของ Pick up Frame Cover ไม่มีความยืดหยุ่น เนื่องจากใช้วัสดุเป็น Stainless Steel                                  | เปลี่ยนวัสดุหัวดูดใหม่                                                      |
| การไหลของ Frame Cover ติดหน้าราง Part Feeder            | เกิดจากการปรับตั้งรางได้ไม่เหมาะสม จาก ราง Part Feeder อยู่ต่ำกว่า Jig และระนาบ ไม่เท่ากันกับ Jig                                                           | ปรับตั้งราง Part Feeder ใหม่โดยให้ความสูงและ ระนาบเท่ากันกับ Jig            |

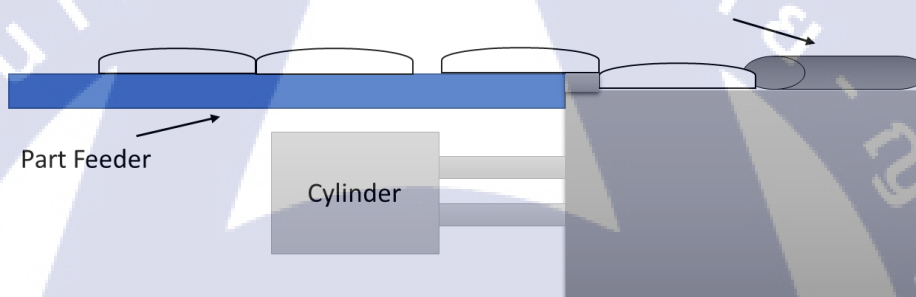
#### วิธีแก้ไข

1. เปลี่ยน Stopper ให้ขนาดใหญ่ขึ้นเนื่องจากขนาด Stopper มีขนาด M4 หรือขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 4 mm ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ใกล้เคียงกับความหนาของ Frame Cover ทำให้เมื่อมีการสั่นงานจึงกระดกขึ้น จึงเปลี่ยนมาใช้ Stopper ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเป็น M5 หรือ ขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 5 mm
2. ออกแบบฐานของ Jig ใหม่โดยให้ฐานมีลักษณะเป็นหลุมรับ Cover ดังรูปที่ ณ.9
3. เปลี่ยนวัสดุของหัวดูด Frame Cover จากเดิมใช้วัสดุเป็น Stainless Steel เปลี่ยนเป็น ยาง เนื่องจากผิวของ Frame Cover มีลักษณะไม่เรียบเป็นพื้นราบมีระดับเป็นขั้นๆ เพื่อเพิ่มความ ยืดหยุ่นของหัวดูด Frame Cover

4. ปรับตั้งราง Feeder ใหม่โดยปรับระดับความสูงและระยะห่างระหว่างราง Part Feeder กับ Jig เท่ากัน



รูปที่ ๘.8 กระบวนการทำงาน Part Feeder Cover ก่อนปรับปรุง



รูปที่ ๘.9 กระบวนการทำงาน Part Feeder Cover หลังปรับปรุง

TNI

THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

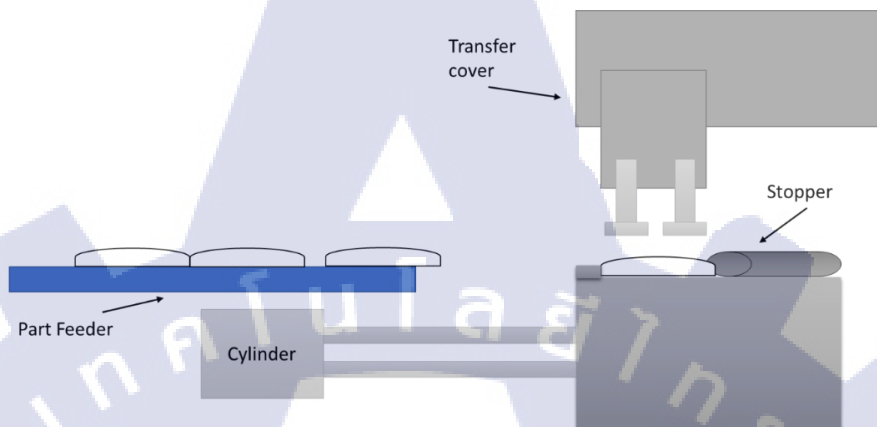
## ณ.5 Ultrasonic Station

ตารางที่ ณ.5 สาเหตุของปัญหา Ultrasonic Station

| ข้อผิดพลาดต่างๆ                                | สาเหตุของปัญหารากเง้า                                                                                                                                                                  | แนวทางแก้ไขปัญหา                                          |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| แฉ่งเดือน<br>Welding งานเสีย<br>A, B           | 1. เกิดจากชิ้นส่วน Pick up Frame Cover ลงมาหีบ Cover ลงมาต่ำเกินไป ทำให้เมื่อลงมาหีบ Frame Cover ทำให้ Cover ขยับออกจากตำแหน่งเดิม                                                     | ปรับ Stopper Cylinder Pick up Frame Cover ให้สูงขึ้น      |
|                                                | 2. Pin Jig ของ Transfer เล็กกว่ารูของ Frame มากเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ ทำให้ Frame คลอนและให้ตัวได้มาก สามารถเคลื่อนไปมาได้มากเกินไป เมื่อวางลงทำให้ Frame Cover ขยับออกจากตำแหน่งเดิม | เปลี่ยนขนาด Pin Jig ของ Transfer ให้ใหญ่ขึ้น              |
|                                                | 3. จากการหีบชิ้นงานไปยังกระบวนการ Ultrasonic 1 และ Ultrasonic 2 มีตำแหน่งไม่เหมาะสม และระหว่างที่ชิ้นงานเคลื่อนย้ายไปยังกระบวนการอื่น ไม่มีการ Lock Frame Cover ให้อยู่กับที่          | 1. เปลี่ยนตำแหน่ง Transfer                                |
|                                                |                                                                                                                                                                                        | 2.ออกแบบ Gripper Transfer ใหม่                            |
| มีรอยไหม้รอบๆ<br>นอก Frame หลัง<br>การ Welding | 4. Gripper ของ Transfer เป็นวัสดุที่อ่อนเมื่อใช้ไปนานๆ Gripper ไม่คงรูปเดิม ทำให้แล้วตำแหน่งการวางไม่เหมาะสม ดังรูปที่ ณ.12                                                            | เปลี่ยนวัสดุ Gripper ให้แข็งขึ้น                          |
|                                                | 1. Jig Transfer ที่ Ultrasonic มีการออกแบบโดยฐานของ Jig ชิดแนบกับ Frame เมื่อเกิดการสั่นจากการ Welding ทำให้เกิดรอยไหม้รอบๆ Frame                                                      | ออกแบบ Jig Transfer ให้มี Gap ระหว่าง Frame กับฐานของ Jig |

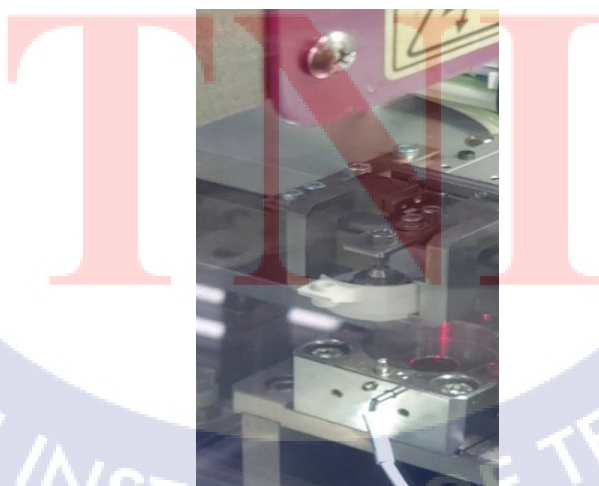
วิธีแก้ไข

1. ปรับตั้งระดับของหัวดูด Cover ให้ลงมาแตะกับ Cover พอดี โดยต้อนยกหัวดูดขึ้นไม่ทำให้ Cover เคลื่อนที่ ดังรูปที่ ณ.10



รูปที่ ณ.10 กระบวนการทำงาน Part Feeder Cover

2. ทำเหมือนกันกับ Spring Station โดยการเปลี่ยนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ Pin 2.9 mm เป็น 3.2 mm เพื่อลดการให้ตัวได้ของ Frame
3. เปลี่ยนตำแหน่งการวางชิ้นงานของ Transfer แกน X จากเดิม 290.00 mm เป็น 289.05 mm และออกแบบ Transfer ใหม่โดยให้มีที่กด Cover ไว้ระหว่าง Transfer จาก Station Cover มา Ultrasonic 1 และ Ultrasonic 2 ดังรูปที่ ณ.11



รูปที่ ณ.11 Gripper Transfer Unit หลังปรับปรุง (เพิ่มตัวกด Cover)

4. เปลี่ยนวัสดุของ Gripper ที่ Transfer จาก Polyacetal หรือ Pom เป็น Aluminium เพื่อ Gripper ไม่เปลี่ยนรูป ดังรูปที่ ณ.13

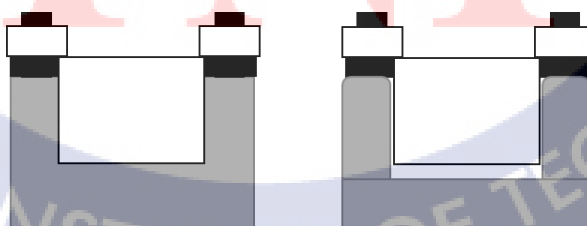


รูปที่ ณ.12 Gripper Transfer Unit ก่อนปรับปรุง



รูปที่ ณ.13 Gripper Transfer Unit หลังปรับปรุง

5. ออกแบบ Pin Jig ของ Transfer ให้มี Step เพื่อรองให้ Frame นั่งอยู่บน Pin แทนฐาน ทำให้ Frame ไม่เกิดการเสียดสีกับฐาน เมื่อทำการ Welding



รูปที่ ณ.14 การปรับปรุง Jig Transfer Unit

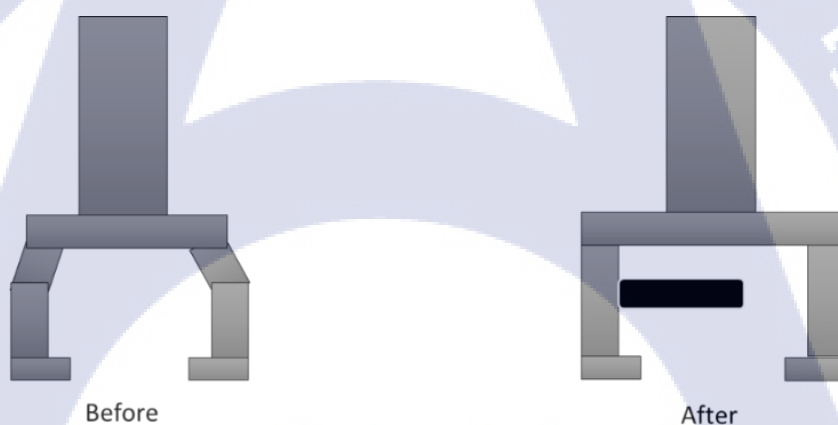
## ณ.6 Load out Station

ตารางที่ ณ.6 สาเหตุของปัญหา Load out Station

| ข้อผิดพลาดต่างๆ                                      | สาเหตุของปัญหารากเง้า                                                                                                                           | แนวทางแก้ไขปัญหา            |
|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| กระบวนการ<br>Load out<br>Gripper หนีบ<br>ชิ้นงานหลุด | Gripper หนีบ Frame B มีแรงหนีบที่มากเกินไป<br>และด้านหน้าของ Frame B มีพื้นที่ในการหนีบ<br>น้อย ทำให้เมื่อ Gripper หนีบ Frame B จึง<br>ปลิ้นออก | ติดตั้ง Stopper ที่ Gripper |

วิธีแก้ไข

ออกแบบให้แขนของ Gripper จากเดิมเฉียงลง ทำให้ไม่มีพื้นที่ในการเจาะรูยึด Stopper  
จึงเปลี่ยนเป็นแนวตรงเพื่อเจาะรูติดตั้งและเพิ่ม Stopper ดังรูปที่ ณ.15



รูปที่ ณ.15 การปรับปรุง Gripper Load out



สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

THAI - JAPANESE INSTITUTE OF TECHNOLOGY

ภาคผนวก

**TNI**

ภาคผนวก ก.  
การทดสอบค่าปัจจัยเบื้องต้นเครื่อง Ultrasonic

TNI

### ก.1 การเลือกค่า Controller ของ Ultrasonic

ค่าปัจจัยนำเข้าของเครื่องนี้มีหลายปัจจัยมาก มีจำนวน 5 ปัจจัยดังที่ได้กล่าวไว้ข้างท้ายนี้ นอกจากนั้น บางปัจจัยยังประกอบด้วยปัจจัยย่อยจึงได้ดำเนินการตะแกรงร่อน (Screening) เพื่อคัดเลือกปัจจัยที่ไม่ส่งผลอย่างเห็นได้ชัดเจนออกไปก่อน

พารามิเตอร์ในเครื่อง Ultrasonic

1. Melt. Trvl. (mm.) หัว Welding เคลื่อนที่ตามตำแหน่งที่ปรับตั้ง แล้วเคลื่อนที่ตามระยะของ Melt. Trvl. ที่กำหนดไว้

2. Holding Time (sec.) เวลาหน่วงเมื่อ Welding งานเสร็จ

3. OSC. Start มี 2 mode

1. Pres. LV (%) เป็นค่าร้อยละแรงดันของลมที่จ่ายให้กับเครื่อง Ultrasonic เมื่อกดลงไปได้ตามค่าแรงดันแล้วจึงเริ่มทำการ OSC. Start

2. Distance เมื่อหัว Welding ลงไปถึงระยะที่ตั้งไว้ (Melt. Trvl) แล้วจึงเริ่มทำการ OSC. Start

4. Amplitude (%) ความแรงของลูกคลื่นที่หัว Welding สั่น

5. EXP. Start (LV0, 1, 2) ทำการ Welding จนถึงค่า Amplitude ที่ตั้งค่าไว้ ซึ่ง LV 0 จะใช้เวลาน้อยที่สุด

การทดลองนี้ มีเป้าประสงค์ ดำเนินการวิเคราะห์เพื่อตัดลดปัจจัยย่อย คือ โหมด Pres. LV หรือโหมด Distance ของปัจจัย OSC. Start ออกไปในเบื้องต้น โดยดำเนินการทดลองดังต่อไปนี้ แต่เนื่องจากผลิตภัณฑ์ มี 2 โมเดล จึงดำเนินการทดลองไปพร้อมกัน ทั้งโมเดล A และโมเดล B

TNI

TAHT - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

## ก.2 การทดสอบเบื้องต้น ทดลองกับโหมด Distance

การตั้งค่าปัจจัยต่างๆ ของ Controller โมเดล A เป็นดังนี้

- |                           |           |
|---------------------------|-----------|
| 1. Melt. Trvl. (mm.)      | 0.20 mm.  |
| 2. Holding Time (sec.)    | 0.40 Sec. |
| 3. OSC. Start mode        | Distance  |
| 4. Amplitude (%)          | 80 %      |
| 5. EXP. Start (LV0, 1, 2) | LV. 0     |

ตารางที่ ก.1 ผลการเก็บบันทึกทดสอบเบื้องต้นโมเดล A

| No | ความสูงของชิ้นงาน      |                        |                        |                        | ลักษณะงาน NG             |                          |                          |
|----|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|    | ตำแหน่งการ<br>วัดที่ 1 | ตำแหน่งการ<br>วัดที่ 2 | ตำแหน่งการ<br>วัดที่ 3 | ตำแหน่งการ<br>วัดที่ 4 | รอย<br>แตก               | มีเศษ<br>Bari            | รอย<br>ไหม้              |
| 1  | 5.321                  | 5.332                  | 5.366                  | 5.331                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2  | 5.342                  | 5.359                  | 5.344                  | 5.361                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3  | 5.332                  | 5.342                  | 5.333                  | 5.411                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4  | 5.314                  | 5.355                  | 5.364                  | 5.316                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5  | 5.321                  | 5.339                  | 5.368                  | 5.398                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6  | 5.344                  | 5.358                  | 5.378                  | 5.377                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7  | 5.338                  | 5.373                  | 5.288                  | 5.323                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8  | 5.316                  | 5.339                  | 5.377                  | 5.374                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9  | 5.315                  | 5.318                  | 5.329                  | 5.341                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 10 | 5.355                  | 5.368                  | 5.348                  | 5.352                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

การตั้งค่าปัจจัยต่างๆ ของ Controller โมเดล B เป็นดังนี้

- |                           |          |
|---------------------------|----------|
| 1. Melt. Trvl. (mm.)      | 0.30 mm. |
| 2. Holding Time (sec.)    | 0.4 Sec. |
| 3. OSC. Start mode        | Distance |
| 4. Amplitude (%)          | 60 %     |
| 5. EXP. Start (LV0, 1, 2) | LV. 0    |

ตารางที่ ก.2 ผลการเก็บบันทึกทดสอบเบื้องต้นโมเดล B

| No | ความสูงของชิ้นงาน      |                        |                        |                        | ความสูงของชิ้นงาน        |                          |                          |
|----|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|    | ตำแหน่งการ<br>วัดที่ 1 | ตำแหน่งการ<br>วัดที่ 2 | ตำแหน่งการ<br>วัดที่ 3 | ตำแหน่งการ<br>วัดที่ 4 | รอย<br>แตก               | มีเศษ<br>Bari            | รอย<br>ไหม้              |
| 1  | 10.551                 | 10.549                 | 10.576                 | 10.552                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2  | 10.563                 | 10.554                 | 10.566                 | 10.563                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3  | 10.569                 | 10.568                 | 10.561                 | 10.554                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4  | 10.562                 | 10.563                 | 10.559                 | 10.566                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5  | 10.554                 | 10.563                 | 10.569                 | 10.552                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6  | 10.569                 | 10.568                 | 10.553                 | 10.561                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7  | 10.558                 | 10.561                 | 10.559                 | 10.553                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8  | 10.564                 | 10.561                 | 10.557                 | 10.555                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9  | 10.564                 | 10.570                 | 10.556                 | 10.554                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 10 | 10.568                 | 10.566                 | 10.561                 | 10.559                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

จากผลการทดสอบเบื้องต้นเพื่อทดสอบโหมด Distance (ของปัจจัย OSC. Start) ดังตารางที่ ก.1 สำหรับโมเดล A และตารางที่ ก.2 สำหรับโมเดล B (ค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้คือ โมเดล A: 5.45-5.65 mm และ โมเดล B: 10.65-10.85 mm) พบว่าค่าตอบสนองความสูงของ ไม่อยู่ในช่วงค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ และเกิดค่าตอบสนองรอยแตก และรอยไหม้ ซึ่งผลการทดลองนี้ ยอมรับไม่ได้สรุปได้ว่าเหมือนกันทั้งโมเดล A และ โมเดล B จึงทำการทดสอบอีกครั้ง ด้วยปัจจัยย่อย โหมด Pres. LV ของปัจจัย OSC. Start เพื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบ

### ก.3 การทดลองกับโหมต Pres. LV

ตั้งค่า Controller โมเดล A ดังนี้

1. Melt. Trvl. (mm.) 0.20 mm.
2. Holding Time (sec.) 0.40 Sec.
3. OSC. Start mode Press 35%
4. Amplitude (%) 80 %
5. EXP. Start (LV0, 1, 2) LV. 0

ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองเพื่อคัดเลือกปัจจัย ครั้งที่ 2 โมเดล A

| No | ความสูงของชิ้นงาน      |                        |                        |                        | ความสูงของชิ้นงาน        |                          |                          |
|----|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|    | ตำแหน่งการ<br>วัดที่ 1 | ตำแหน่งการ<br>วัดที่ 2 | ตำแหน่งการ<br>วัดที่ 3 | ตำแหน่งการ<br>วัดที่ 4 | รอย<br>แตก               | มีเศษ<br>Bari            | รอย<br>ไหม้              |
| 1  | 5.312                  | 5.334                  | 5.341                  | 5.329                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2  | 5.324                  | 5.336                  | 5.334                  | 5.322                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3  | 5.329                  | 5.348                  | 5.331                  | 5.338                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4  | 5.332                  | 5.341                  | 5.345                  | 5.342                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5  | 5.344                  | 5.347                  | 5.348                  | 5.339                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6  | 5.341                  | 5.334                  | 5.338                  | 5.341                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7  | 5.334                  | 5.343                  | 5.321                  | 5.329                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8  | 5.343                  | 5.335                  | 5.333                  | 5.344                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9  | 5.339                  | 5.337                  | 5.342                  | 5.347                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 10 | 5.340                  | 5.330                  | 5.341                  | 5.339                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |



ตั้งค่า Controller โมเดล B ดังนี้

- |                           |           |
|---------------------------|-----------|
| 1. Melt. Trvl. (mm.)      | 0.30 mm.  |
| 2. Holding Time (sec.)    | 0.25 Sec. |
| 3. OSC. Start mode        | Press 50% |
| 4. Amplitude (%)          | 60 %      |
| 5. EXP. Start (LV0, 1 ,2) | LV. 0     |

ตารางที่ ก.4 ผลการทดลองเพื่อคัดเลือกปัจจัย ครั้งที่ 2 โมเดล B

| No | ความสูงของชิ้นงาน      |                        |                        |                        | ความสูงของชิ้นงาน        |                          |                          |
|----|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|    | ตำแหน่งการ<br>วัดที่ 1 | ตำแหน่งการ<br>วัดที่ 2 | ตำแหน่งการ<br>วัดที่ 3 | ตำแหน่งการ<br>วัดที่ 4 | รอย<br>แตก               | มีเศษ<br>Bari            | รอย<br>ไหม้              |
| 1  | 10.554                 | 10.555                 | 10.561                 | 10.553                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2  | 10.550                 | 10.550                 | 10.557                 | 10.565                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3  | 10.563                 | 10.559                 | 10.561                 | 10.564                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4  | 10.552                 | 10.567                 | 10.554                 | 10.568                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5  | 10.553                 | 10.566                 | 10.557                 | 10.552                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6  | 10.555                 | 10.560                 | 10.569                 | 10.554                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7  | 10.551                 | 10.568                 | 10.565                 | 10.551                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8  | 10.557                 | 10.567                 | 10.556                 | 10.550                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9  | 10.557                 | 10.561                 | 10.559                 | 10.558                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 10 | 10.557                 | 10.564                 | 10.556                 | 10.551                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

จากผลการทดสอบครั้งที่ 2 นี้ โดยทดสอบด้วยโหมด Pres. LV (ของปัจจัย OSC. Start) โดยใช้ค่าปัจจัยอื่นๆ ทำเหมือนกันกับโหมด Distance ดังตารางที่ ก.3 สำหรับโมเดล A และ ตารางที่ ก.4 สำหรับโมเดล B พบว่าค่าตอบสนองความสูงของ โมเดลทั้ง 2 ไม่ได้อยู่ในช่วงค่ามาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ แต่ไม่เกิดค่าตอบสนองคุณภาพรอยแตก รอยไหม้ และ เศษ Bari สรุปว่า ปัจจัยความสูงยังใช้ไม่ได้ แต่ปัจจัยคุณภาพ ยอมรับได้ จึงเลือกโหมด Pres. LV (ของปัจจัย OSC. Start) ใช้ในการปรับตั้งเครื่อง Ultrasonic แล้วนำค่าตั้งปัจจัยดังกล่าวนี้ไปทดลอง DOE เพื่อให้ค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งต้องได้ค่าตอบสนองความสูงของ ทั้ง 2 โมเดล ตกในมาตรฐานที่ยอมรับได้

#### ก.4 การทดลองปรับค่าปัจจัย EXP Start

ตั้งค่า Controller โมเดล A ดังนี้

1. Melt. Trvl. (mm.) 0.20 mm.
2. Holding Time (sec.) 0.40 Sec.
3. OSC. Start mode Press 35%
4. Amplitude (%) 80 %
5. EXP. Start (LV0, 1, 2) LV. 2

ตารางที่ ก.5 ผลการทดลองเพื่อคัดเลือกระดับค่าปัจจัย EXP. Start ของโมเดล A

| No | ความสูงของชิ้นงาน      |                        |                        |                        | ความสูงของชิ้นงาน        |                          |                          |
|----|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|    | ตำแหน่งการ<br>วัดที่ 1 | ตำแหน่งการ<br>วัดที่ 2 | ตำแหน่งการ<br>วัดที่ 3 | ตำแหน่งการ<br>วัดที่ 4 | รอย<br>แตก               | มีเศษ<br>Bari            | รอย<br>ไหม้              |
| 1  | 5.325                  | 5.337                  | 5.328                  | 5.333                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2  | 5.330                  | 5.342                  | 5.341                  | 5.339                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3  | 5.327                  | 5.329                  | 5.335                  | 5.334                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4  | 5.340                  | 5.333                  | 5.342                  | 5.331                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5  | 5.334                  | 5.335                  | 5.339                  | 5.328                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6  | 5.339                  | 5.342                  | 5.340                  | 5.335                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7  | 5.341                  | 5.338                  | 5.329                  | 5.327                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8  | 5.340                  | 5.337                  | 5.334                  | 5.338                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9  | 5.341                  | 5.341                  | 5.339                  | 5.343                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 10 | 5.336                  | 5.339                  | 5.342                  | 5.339                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

ตั้งค่า Controller โมเดล B ดังนี้

1. Melt. Trvl. (mm.) 0.30 mm.
2. Holding Time (sec.) 0.25 Sec.
3. OSC. Start mode Press 50%
4. Amplitude (%) 60 %
5. EXP. Start (LV0, 1 ,2) LV. 2

ตารางที่ ก.6 ผลการทดลองเพื่อคัดเลือกระดับค่าปัจจัย EXP. Start ของโมเดล B

| No | ความสูงของชิ้นงาน      |                        |                        |                        | ความสูงของชิ้นงาน        |                          |                          |
|----|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|    | ตำแหน่งการ<br>วัดที่ 1 | ตำแหน่งการ<br>วัดที่ 2 | ตำแหน่งการ<br>วัดที่ 3 | ตำแหน่งการ<br>วัดที่ 4 | รอย<br>แตก               | มีเศษ<br>Bari            | รอย<br>ไหม้              |
| 1  | 10.559                 | 10.554                 | 10.557                 | 10.557                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2  | 10.555                 | 10.557                 | 10.558                 | 10.562                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3  | 10.561                 | 10.560                 | 10.557                 | 10.559                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4  | 10.560                 | 10.564                 | 10.565                 | 10.561                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5  | 10.559                 | 10.557                 | 10.560                 | 10.559                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6  | 10.561                 | 10.562                 | 10.559                 | 10.561                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7  | 10.558                 | 10.554                 | 10.551                 | 10.555                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8  | 10.560                 | 10.561                 | 10.559                 | 10.557                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9  | 10.558                 | 10.558                 | 10.560                 | 10.558                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 10 | 10.560                 | 10.560                 | 10.565                 | 10.563                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

จากผลการทดสอบครั้งที่ 3 นี้ โดยทดสอบค่าปัจจัย EXP. Start ปรับค่าจาก LV 0 เป็น LV 2 ค่าปัจจัยอื่นๆ ทำเหมือนกับโหมด Pres. LV ดังตารางที่ ก.5 สำหรับโมเดล A และตารางที่ ก.6 สำหรับโมเดล B พบว่าค่าตอบสนองได้ผลคล้ายคลึงกับการทดสอบโหมด Pres. LV จึงเลือกค่าปัจจัย EXP Start LV 0 ใช้ในการปรับตั้งเครื่อง Ultrasonic เพื่อให้ใช้เวลาการ Welding น้อยที่สุด

ภาคผนวก ข.  
ค่าลำดับคะแนนความเสี่ยง (RPN)

TNI

### ข.1 การคัดเลือกหัวข้อของปัญหาด้วยค่าลำดับความเสี่ยง

เพื่อประเมินความเสี่ยงและผลกระทบที่ทำให้เกิดความสูญเสียจากการหยุดกระบวนการ ประกอบเล็กๆ น้อยๆ ความสูญเสียจากทำซ้ำและแก้ไข ความสูญเสียจากงานเสีย (NG) ด้วยการประเมินให้คะแนนตามหัวข้อที่กำหนดจากการประยุกต์ใช้ FMEA โดยหลักเกณฑ์ให้คะแนนมี 10 ระดับ ดังเกณฑ์การประเมิน ตารางที่ ข.1-ข.3 กำหนดให้ S ผลกระทบที่ทำให้กระบวนการหยุดการผลิต O ความถี่จากข้อผิดพลาดที่ทำให้กระบวนการหยุดการผลิต และ D ความเป็นไปได้ที่ทำให้เกิดการทำซ้ำและงานเสียและคำนวณค่าลำดับความเสี่ยงตามสูตรสมการ (2.4)

ตารางที่ ข.1 เกณฑ์คะแนน S ประเมินผลกระทบที่ทำให้กระบวนการหยุดการผลิต

| ผลกระทบ                             | เกณฑ์ : ผลกระทบที่ทำให้กระบวนการหยุดการผลิต                          | ระดับ |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------|
| กระบวนการผลิตหยุดเป็นเวลานานมาก     | ผลรวมของเวลาในการหยุดกระบวนการ มากกว่า 20% ของเวลาการผลิต            | 10    |
|                                     | ผลรวมของเวลาในการหยุดกระบวนการ 18-20% ของเวลาการผลิต                 | 9     |
|                                     | ผลรวมของเวลาในการหยุดกระบวนการ 16-18% ของเวลาการผลิต                 | 8     |
|                                     | ผลรวมของเวลาในการหยุดกระบวนการ 14-16% ของเวลาการผลิต                 | 7     |
| กระบวนการผลิตหยุดเป็นเวลานานปานกลาง | ผลรวมของเวลาในการหยุดกระบวนการ 12-14% ของเวลาการผลิต                 | 6     |
|                                     | ผลรวมของเวลาในการหยุดกระบวนการ 10-12% ของเวลาการผลิต                 | 5     |
|                                     | ผลรวมของเวลาในการหยุดกระบวนการ 8-10% ของเวลาการผลิต                  | 4     |
| กระบวนการผลิตหยุดเป็นเวลานานน้อย    | ผลรวมของเวลาในการหยุดกระบวนการ 6-8% ของเวลาการผลิต                   | 3     |
|                                     | ผลรวมของเวลาในการหยุดกระบวนการ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 5% ของเวลาการผลิต | 2     |
| ไม่มีผลกระทบ                        | ไม่ต้องหยุดกระบวนการผลิต                                             | 1     |

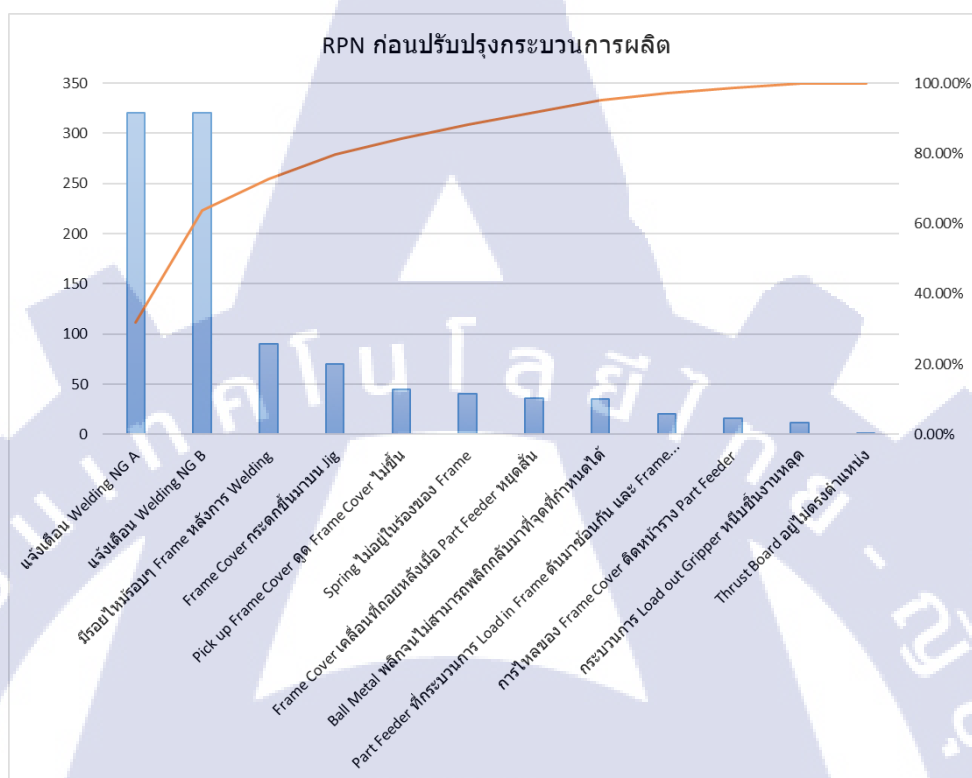
ตารางที่ ข.2 เกณฑ์คะแนน O ประเมินความถี่จากข้อผิดพลาดที่ทำให้กระบวนการหยุดการผลิต

| ผลกระทบ                           | เกณฑ์ : ความถี่จากข้อผิดพลาดที่ทำให้กระบวนการหยุดการผลิต | ระดับ |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------|-------|
| พบเจออาการ<br>ผิดปกติบ่อยครั้งมาก | จำนวนมากกว่า 20 ครั้งต่อ 100 Cycle                       | 10    |
|                                   | จำนวน 18-19 ครั้งต่อ 100 Cycle                           | 9     |
|                                   | จำนวน 16-17 ครั้งต่อ 100 Cycle                           | 8     |
|                                   | จำนวน 14-15 ครั้งต่อ 100 Cycle                           | 7     |
| พบเจออาการ<br>ผิดปกติปานกลาง      | จำนวน 12-13 ครั้งต่อ 100 Cycle                           | 6     |
|                                   | จำนวน 10-11 ครั้งต่อ 100 Cycle                           | 5     |
|                                   | จำนวน 8-9 ครั้งต่อ 100 Cycle                             | 4     |
| พบเจออาการ<br>ผิดปกติน้อย         | จำนวน 6-7 ครั้งต่อ 100 Cycle                             | 3     |
|                                   | จำนวนน้อยกว่าเท่ากับ 5 ครั้งต่อ 100 Cycle                | 2     |
| ไม่มีอาการผิดปกติ                 | ไม่มีอาการผิดปกติ                                        | 1     |

ตารางที่ ข.3 เกณฑ์คะแนน D ประเมินความเป็นไปได้ที่ทำให้เกิดการชำรุดและงานเสีย

| ผลกระทบ                                      | เกณฑ์ : ความเป็นไปได้ที่ทำให้เกิดการชำรุดและงานเสีย                                        | ระดับ |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| ความเป็นไปได้<br>สูงที่เกิดงานเสีย           | เกิดงานเสียไม่สามารถนำมาใช้ใหม่ได้                                                         | 10    |
| Rework ได้ไม่<br>ทุก<br>ส่วนประกอบ<br>ของงาน | งานแตกหรือมีรอยไหม้รอบๆ Frame จำเป็นต้องละลายและขึ้นรูปใหม่                                | 9     |
|                                              | งานแตกหรือมีรอยไหม้รอบๆ Frame Cover จำเป็นต้องละลายและขึ้นรูปใหม่ แต่ Frame Cover เท่านั้น | 8     |
|                                              | งานมีเศษ Bari สามารถนำไปทำซ้ำได้                                                           | 7     |
|                                              | Hold Spring หรือ Ball Metal ไม่อยู่ในตำแหน่งที่กำหนด และ Welding แล้ว                      | 6     |
|                                              | ไม่สามารถนำ Ball และ Felt มาใช้ใหม่ได้ เพราะโดนน้ำมันแล้ว                                  | 5     |
| สามารถนำมา<br>Rework ได้ทุก<br>ส่วนประกอบ    | ประกอบ Felt, Thrust board, Ball Metal และ Hold Spring แล้ว                                 | 4     |
|                                              | ประกอบ Felt, Thrust board และ Ball Metal แล้ว                                              | 3     |
|                                              | ประกอบ Felt, Thrust board แล้ว                                                             | 2     |
|                                              | สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้เลย                                                                | 1     |

โดยผู้ให้คะแนนคือผู้ทดสอบเครื่อง 4 คน ประกอบด้วย 1. ฝ่ายไฟฟ้า 1 คน 2. ฝ่ายประกอบ 2 คน 3. ฝ่ายออกแบบ 1 คน



รูปที่ ข.1 แผนภูมิ Pareto ค่าลำดับความเสี่ยง (RPN) ก่อนปรับปรุงกระบวนการประกอบ

ค่าลำดับความเสี่ยงจากผู้ประเมิน 4 คน ตารางที่ ข.4 สรุปได้ว่าค่า RPN รวม ก่อนปรับปรุงกระบวนการคือ 1005 คะแนน แล้วคัดเลือกหัวข้อของปัญหาที่มีคะแนนมากกว่า 10 คะแนน (สามารถตัดหัวข้อของปัญหา Thrust Board อยู่ไม่ตรงตำแหน่ง RPN<10) ทำการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการประกอบ ตามสาเหตุรากเหง้าของปัญหาจากการวิเคราะห์ Why-Why Analysis



ตารางที่ ข.4 ค่าคะแนนลำดับความเสี่ยงก่อนทำการปรับปรุง

| กระบวนการ | ข้อผิดพลาดต่างๆ                                                                     | ผลกระทบที่ทำให้หยุดกระบวนการ                    | S  | ความถี่ที่เกิดขึ้น | O | ความเป็นไปได้ที่ทำให้เกิดการ Rework และ งาน Defect | D | RPN |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----|--------------------|---|----------------------------------------------------|---|-----|
| Load in   | Part Feeder ที่กระบวนการ Load in Frame ดันมาซ้อนกัน และ Frame ดันมายังไม่ถึงสุด Jig | 34.14 sec/599.70 sec<br>(เครื่องทำงาน) = 5.69%  | 5  | 9 ครั้ง/100 Cycle  | 4 | สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ไม่จำเป็นต้อง Rework          | 1 | 20  |
| Cover     | Frame Cover กระดกขึ้นมาบน Jig                                                       | 90.21 sec/599.70 sec<br>(เครื่องทำงาน) = 15.04% | 10 | 14 ครั้ง/100 Cycle | 7 | สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ไม่จำเป็นต้อง Rework          | 1 | 70  |
|           | Frame Cover เคลื่อนที่ถอยหลังเมื่อ Part Feeder หยุดสั้น                             | 55.82 sec/599.70 sec<br>(เครื่องทำงาน) = 9.31%  | 6  | 12 ครั้ง/100 Cycle | 6 | สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ไม่จำเป็นต้อง Rework          | 1 | 36  |
|           | Pick up Frame Cover ดูด Frame Cover ไม่ขึ้น                                         | 40.87 sec/599.70 sec<br>(เครื่องทำงาน) = 6.82%  | 5  | 18 ครั้ง/100 Cycle | 9 | สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ไม่จำเป็นต้อง Rework          | 1 | 45  |
|           | การไหลของ Frame Cover ติดหน้าราง Part Feeder                                        | 70.16 sec/599.70 sec<br>(เครื่องทำงาน) = 11.70% | 8  | 5 ครั้ง/100 Cycle  | 2 | สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ไม่จำเป็นต้อง Rework          | 1 | 16  |

ตารางที่ ข.4 ค่าคะแนนลำดับความเสี่ยงก่อนทำการปรับปรุง (ต่อ)

| กระบวนการ | ข้อผิดพลาดต่างๆ                                       | ผลกระทบที่ทำให้หยุดกระบวนการ                       | S | ความถี่ที่เกิดขึ้น     | O  | ความเป็นไปได้ที่ทำให้เกิดการ Rework และ งาน Defect                                        | D | RPN |
|-----------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---|------------------------|----|-------------------------------------------------------------------------------------------|---|-----|
| Camera    | Ball Metal พลิกจนไม่สามารถพลิกกลับมาที่จุดที่กำหนดได้ | 0 sec/599.70 sec<br>(เครื่องทำงาน) = 0%            | 1 | 15 ครั้ง/<br>100 Cycle | 7  | ไม่สามารถนำ Ball Metal และ Felt มาใช้ใหม่ได้ เพราะโดนน้ำมันแล้ว                           | 5 | 35  |
|           | Spring ไม่อยู่ในร่องของ Frame                         | 0 sec/599.70 sec<br>(เครื่องทำงาน) = 0%            | 1 | 17 ครั้ง/<br>100 Cycle | 8  | ไม่สามารถนำ Ball Metal และ Felt มาใช้ใหม่ได้ เพราะโดนน้ำมันแล้ว                           | 5 | 40  |
|           | Thrust Board อยู่ไม่ตรงตำแหน่ง                        | 0 sec/599.70 sec<br>(เครื่องทำงาน) = 0%            | 1 | 1 ครั้ง/100<br>Cycle   | 1  | สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ไม่จำเป็นต้อง Rework                                                 | 1 | 1   |
| Welding   | แจ้งเตือน Welding NG A                                | 72.51 sec/599.70<br>sec (เครื่องทำงาน) =<br>12.09% | 8 | 10 ครั้ง/<br>100 Cycle | 5  | งานแตกหรือมีรอยไหม้รอบๆ Frame Cover จำเป็นต้องละลายและขึ้นรูปใหม่แค่ Frame Cover เท่านั้น | 8 | 320 |
|           | แจ้งเตือน Welding NG B                                | 74.24 sec/599.70<br>sec (เครื่องทำงาน) =<br>12.38% | 8 | 11 ครั้ง/<br>100 Cycle | 5  | งานแตกหรือมีรอยไหม้รอบๆ Frame Cover จำเป็นต้องละลายและขึ้นรูปใหม่แค่ Frame Cover เท่านั้น | 8 | 320 |
|           | มีรอยไหม้รอบๆ Frame หลังการ Welding                   | 0 sec/599.70 sec<br>(เครื่องทำงาน) = 0%            | 1 | 20 ครั้ง/<br>100 Cycle | 10 | งานแตกหรือมีรอยไหม้รอบๆ Frame จำเป็นต้องละลายและขึ้นรูปใหม่                               | 9 | 90  |

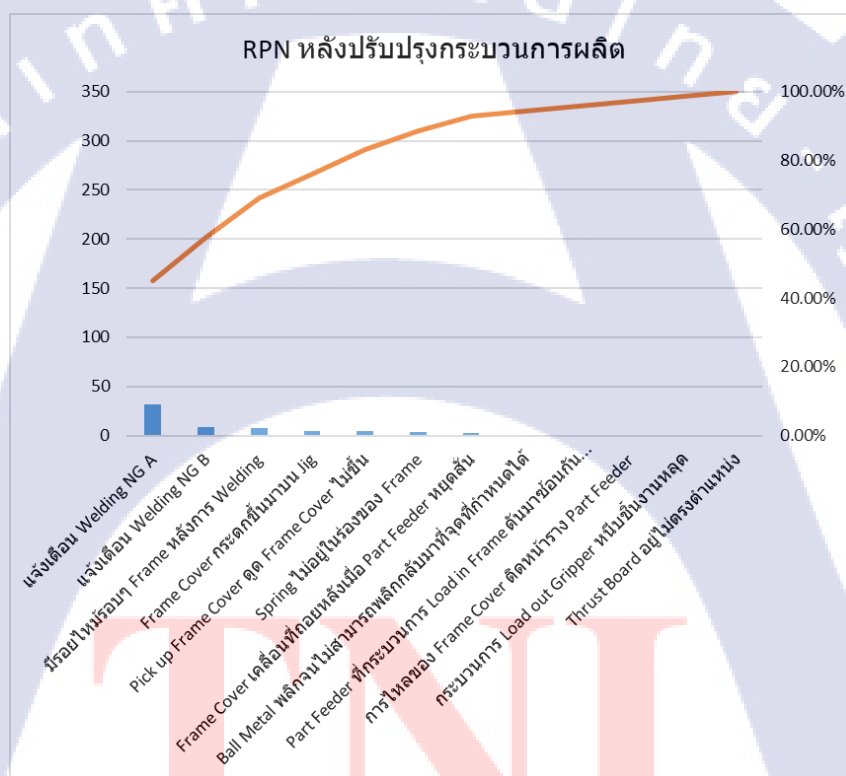
ตารางที่ ข.4 ค่าคะแนนลำดับความเสี่ยงก่อนทำการปรับปรุง (ต่อ)

| กระบวนการ    | ข้อผิดพลาด<br>ต่างๆ                                 | ผลกระทบที่ทำให้หยุด<br>กระบวนการ                  | S | ความถี่ที่เกิดขึ้น   | O | ความเป็นไปได้ที่ทำให้เกิดการ Rework และ งาน<br>Defect | D | RPN  |
|--------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---|----------------------|---|-------------------------------------------------------|---|------|
| Load out     | กระบวนการ<br>Load out<br>Gripper หีบ<br>ชิ้นงานหลุด | 20.14 sec/599.70 sec<br>(เครื่องทำงาน) =<br>3.39% | 3 | 8 ครั้ง/100<br>Cycle | 4 | สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ไม่จำเป็นต้อง Rework             | 1 | 12   |
| รวมคะแนน RPN |                                                     |                                                   |   |                      |   |                                                       |   | 1005 |

## ข.2 ประเมินค่าลำดับความเสี่ยงหลังปรับปรุงกระบวนการประกอบ

หลังจากการปรับปรุงคุณภาพของชิ้นงานและกระบวนการประกอบ นำหัวข้อของปัญหาด้วยสาเหตุเหมือนกับก่อนการปรับปรุงกระบวนการใช้ประเมินค่าลำดับความเสี่ยงอีกครั้ง โดยใช้หลักเกณฑ์ประเมินเดิม คือ กำหนดให้ S ผลกระทบที่ทำให้กระบวนการหยุดการผลิต O ความถี่จากข้อผิดพลาดที่ทำให้กระบวนการหยุดการผลิต และ D ความเป็นไปได้ที่ทำให้เกิดการซ้ำและงานเสียและผู้ประเมินคือ ผู้ทดสอบเครื่อง 4 คน หลักเกณฑ์ให้คะแนน 10 ระดับ

ค่าลำดับความเสี่ยงจากผู้ประเมิน 4 คน ตารางที่ ข.5 สรุปได้ว่าค่า RPN รวม ก่อนปรับปรุงกระบวนการคือ 1005 คะแนน หลังทำปรับปรุงกระบวนการประกอบคะแนนคือ 71 คะแนน คะแนนซึ่งค่าลำดับความเสี่ยงลดลง 934 คะแนน



รูปที่ ข.2 แผนภูมิ Pareto ค่าลำดับความเสี่ยง (RPN) หลังปรับปรุงกระบวนการประกอบ

ตารางที่ ข.5 ค่าคะแนนลำดับความเสี่ยงหลังทำการปรับปรุง

| กระบวนการ | ข้อผิดพลาดต่างๆ                                                                     | ผลกระทบที่ทำให้หยุดกระบวนการ                | S | ความถี่ที่เกิดขึ้น | O | ความเป็นไปได้ที่ทำให้เกิดการ Rework และ งาน Defect | D | RPN |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---|--------------------|---|----------------------------------------------------|---|-----|
| Load in   | Part Feeder ที่กระบวนการ Load in Frame ดันมาซ้อนกัน และ Frame ดันมายังไม่ถึงสุด Jig | 7.55 sec/672.95 sec (เครื่องทำงาน) = 1.12%  | 3 | 3 ครั้ง/100 Cycle  | 1 | สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ ไม่จำเป็นต้อง Rework         | 1 | 3   |
| Cover     | Frame Cover กระดกขึ้นมาบน Jig                                                       | 0 sec/672.95 sec (เครื่องทำงาน) = 0%        | 1 | 0 ครั้ง/100 Cycle  | 1 | สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ ไม่จำเป็นต้อง Rework         | 1 | 1   |
|           | Frame Cover เคลื่อนที่ถอยหลังเมื่อ Part Feeder หยุดสั้น                             | 0 sec/672.95 sec (เครื่องทำงาน) = 0%        | 1 | 0 ครั้ง/100 Cycle  | 1 | สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ ไม่จำเป็นต้อง Rework         | 1 | 1   |
|           | Pick up Frame Cover ดูด Frame Cover ไม่ขึ้น                                         | 0 sec/672.95 sec (เครื่องทำงาน) = 0%        | 1 | 0 ครั้ง/100 Cycle  | 1 | สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ ไม่จำเป็นต้อง Rework         | 1 | 1   |
|           | การไหลของ Frame Cover ติดหน้าราง Part Feeder                                        | 24.14 sec/672.95 sec (เครื่องทำงาน) = 3.59% | 4 | 2 ครั้ง/100 Cycle  | 1 | สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ ไม่จำเป็นต้อง Rework         | 1 | 4   |

ตารางที่ ข.5 ค่าคะแนนลำดับความเสี่ยงหลังทำการปรับปรุง (ต่อ)

| กระบวนการ | ข้อผิดพลาดต่างๆ                                       | ผลกระทบที่ทำให้หยุดกระบวนการ                | S | ความถี่ที่เกิดขึ้น | O | ความเป็นไปได้ที่ทำให้เกิดการ Rework และ งาน Defect                                        | D | RPN |
|-----------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---|--------------------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------|---|-----|
| Camera    | Ball Metal พลิกจนไม่สามารถพลิกกลับมาที่จุดที่กำหนดได้ | 0 sec/672.95 sec (เครื่องทำงาน) = 0%        | 1 | 0 ครั้ง/100 Cycle  | 1 | ไม่สามารถนำ Ball Metal และ Felt มาใช้ใหม่ได้ เพราะโดนน้ำมันแล้ว                           | 5 | 5   |
|           | Spring ไม่อยู่ในร่องของ Frame                         | 0 sec/672.95 sec (เครื่องทำงาน) = 0%        | 1 | 0 ครั้ง/100 Cycle  | 1 | ไม่สามารถนำ Ball Metal และ Felt มาใช้ใหม่ได้ เพราะโดนน้ำมันแล้ว                           | 5 | 5   |
|           | Thrust Board อยู่ไม่ตรงตำแหน่ง                        | 0 sec/672.95 sec (เครื่องทำงาน) = 0%        | 1 | 0 ครั้ง/100 Cycle  | 1 | สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ไม่จำเป็นต้อง Rework                                                 | 1 | 1   |
| Welding   | แจ้งเตือน Welding NG A                                | 22.56 sec/672.95 sec (เครื่องทำงาน) = 3.35% | 4 | 2 ครั้ง/100 Cycle  | 1 | งานแตกหรือมีรอยไหม้รอบๆ Frame Cover จำเป็นต้องละลายและขึ้นรูปใหม่แค่ Frame Cover เท่านั้น | 8 | 32  |
|           | แจ้งเตือน Welding NG B                                | 0 sec/672.95 sec (เครื่องทำงาน) = 0%        | 1 | 0 ครั้ง/100 Cycle  | 1 | งานแตกหรือมีรอยไหม้รอบๆ Frame Cover จำเป็นต้องละลายและขึ้นรูปใหม่แค่ Frame Cover เท่านั้น | 8 | 8   |
|           | มีรอยไหม้รอบๆ Frame หลังการ Welding                   | 0 sec/672.95 sec (เครื่องทำงาน) = 0%        | 1 | 0 ครั้ง/100 Cycle  | 1 | งานแตกหรือมีรอยไหม้รอบๆ Frame จำเป็นต้องละลายและขึ้นรูปใหม่                               | 9 | 9   |



ตารางที่ ข.5 ค่าคะแนนลำดับความเสี่ยงหลังทำการปรับปรุง (ต่อ)

| กระบวนการ    | ข้อผิดพลาดต่างๆ                            | ผลกระทบที่ทำให้หยุดกระบวนการ            | S | ความถี่ที่เกิดขึ้น | O | ความเป็นไปได้ที่ทำให้เกิดการ Rework และงาน Defect | D | RPN |
|--------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------|---|--------------------|---|---------------------------------------------------|---|-----|
| Load out     | กระบวนการ Load out Gripper หนีบชิ้นงานหลุด | 0 sec/672.95 sec<br>(เครื่องทำงาน) = 0% | 1 | 0 ครั้ง/100 Cycle  | 1 | สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ไม่จำเป็นต้อง Rework         | 1 | 1   |
| รวมคะแนน RPN |                                            |                                         |   |                    |   |                                                   |   | 71  |



ภาคผนวก ค.

กระบวนการตัด Thrust Board

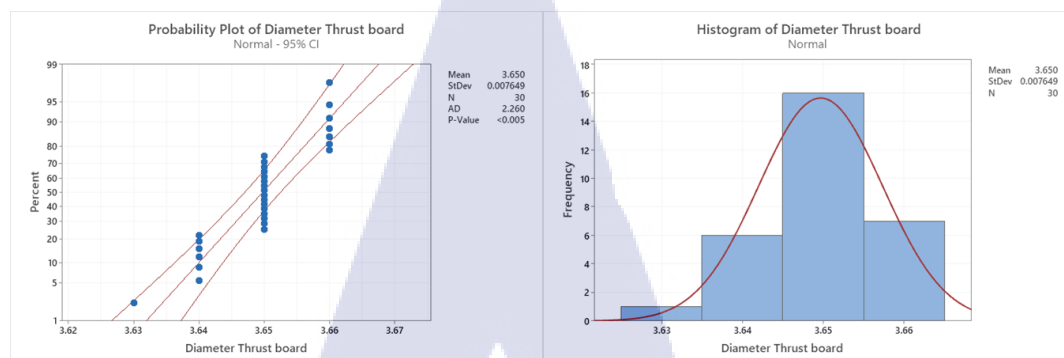
TNI

### ค.1 การทดลองการตัด Thrust board

ทดสอบส้อมวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางในการตัด Thrust board โดยทำการส้อมจำนวน ตัวอย่าง  $n = 30$  [1] เพื่อให้ใกล้เคียงการแจกแจงแบบปกติ ดังรูปที่ ค.1 ผลการทดสอบ และจากตารางที่ ค.1 พบว่าค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ Thrust board คือ 3.65 mm และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.0076 mm ซึ่งอยู่ในช่วงค่ามาตรฐาน

ตารางที่ ค.1 ค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ Thrust board จากตัวอย่าง 30 ชิ้น

| No                   | ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง<br>ของ Thrust board<br>(mm) | No | ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง<br>ของ Thrust board<br>(mm) | No | ขนาด<br>เส้นผ่าศูนย์กลาง<br>ของ Thrust board<br>(mm) |
|----------------------|--------------------------------------------------|----|--------------------------------------------------|----|------------------------------------------------------|
| 1                    | 3.64                                             | 11 | 3.65                                             | 21 | 3.66                                                 |
| 2                    | 3.65                                             | 12 | 3.65                                             | 22 | 3.66                                                 |
| 3                    | 3.65                                             | 13 | 3.66                                             | 23 | 3.64                                                 |
| 4                    | 3.65                                             | 14 | 3.65                                             | 24 | 3.65                                                 |
| 5                    | 3.66                                             | 15 | 3.65                                             | 25 | 3.63                                                 |
| 6                    | 3.64                                             | 16 | 3.64                                             | 26 | 3.65                                                 |
| 7                    | 3.65                                             | 17 | 3.65                                             | 27 | 3.65                                                 |
| 8                    | 3.65                                             | 18 | 3.64                                             | 28 | 3.64                                                 |
| 9                    | 3.65                                             | 19 | 3.65                                             | 29 | 3.66                                                 |
| 10                   | 3.66                                             | 20 | 3.65                                             | 30 | 3.66                                                 |
| ค่าเฉลี่ย            |                                                  |    |                                                  |    | 3.65                                                 |
| ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน |                                                  |    |                                                  |    | 0.0076                                               |



รูปที่ ค.1 Normal Distribution ค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง Thrust board

จึงทำการคำนวณเพื่อยอมรับว่ากระบวนการสามารถทำการตัด Thrust board ในแต่ละครั้งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้คือ 3.45-3.7 mm



รูปที่ ค.2 การวัดเส้นผ่าศูนย์กลาง Thrust board

คำนวณค่า T เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงเป็นแบบปกติโดยใช้สูตรที่ (2.1-2.3)

$$P(3.45 \leq \bar{x} \leq 3.7) = P\left(\frac{3.45 - 3.65}{0.0076} \leq T \leq \frac{3.7 - 3.65}{0.0076}\right)$$

$$= P(-26.32 \leq T \leq 6.58)$$

$$= P(T \leq 6.58) - P(T \leq -26.32)$$

$$= 1 - 0$$

$$\approx 100\%$$

สรุปได้ว่าขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางการตัด Thrust board จะมีโอกาสที่ค่าออกนอกช่วง  
มาตรฐานที่ถูกกำหนดไว้น้อยกว่า 0.0001



ภาคผนวก ง.  
กระบวนการฉีดน้ำมัน

TNI

### ง.1 วิเคราะห์ความสัมพันธ์น้ำหนักน้ำมัน

เก็บบันทึกค่าน้ำหนักน้ำมันโดยปรับความยาวของกระบอกกลมลดลง ครึ่งละ 0.5 mm แล้ว สุ่มตัวอย่างความยาวละ 10 ครั้ง ซึ่งจะทดลองโมเดลละ 4 ค่าความยาวของกระบอกกลม ดังตารางที่ ง. 1 สำหรับโมเดล A และตารางที่ ง.2 สำหรับโมเดล B เพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม และวิเคราะห์ Linear Regression Analysis เพื่อหาสมการเส้นตรงที่เหมาะสมที่สุดในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม

นำผลการทดลองค่าความยาวของกระบอกกลมทั้ง 4 ค่า พล็อตกราฟ ดังรูปที่ ง.1 สำหรับ โมเดล A และรูปที่ ง.2 สำหรับโมเดล B พบว่าค่าน้ำหนักน้ำมันและความยาวของกระบอกกลมมีทิศทาง เดียวกัน เมื่อค่าความยาวของกระบอกกลมเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าน้ำหนักน้ำมันเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เป็นการ แปรผันตรง นำผลวิเคราะห์ค่า Regression ด้วยเครื่องมือ Excel

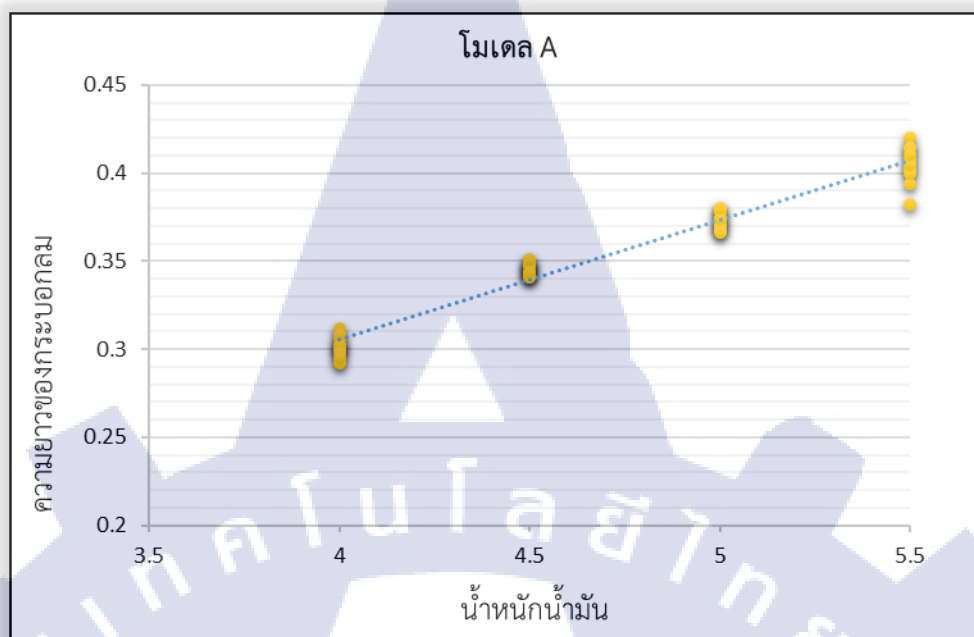
ตารางที่ ง.1 บันทึกผลการทดลองความยาวของกระบอกกลมโมเดล A

| No | ความยาว<br>กระบอก<br>กลม (mm) | น้ำหนัก<br>น้ำมัน<br>(กรัม) | No | ความยาว<br>กระบอกกลม<br>(mm) | น้ำหนัก<br>น้ำมัน<br>(กรัม) | No | ความยาว<br>กระบอกกลม<br>(mm) | น้ำหนัก<br>น้ำมัน<br>(กรัม) |
|----|-------------------------------|-----------------------------|----|------------------------------|-----------------------------|----|------------------------------|-----------------------------|
| 1  | 4                             | 0.302                       | 16 | 4.5                          | 0.342                       | 31 | 5.5                          | 0.382                       |
| 2  | 4                             | 0.301                       | 17 | 4.5                          | 0.343                       | 32 | 5.5                          | 0.394                       |
| 3  | 4                             | 0.306                       | 18 | 4.5                          | 0.341                       | 33 | 5.5                          | 0.402                       |
| 4  | 4                             | 0.3                         | 19 | 4.5                          | 0.351                       | 34 | 5.5                          | 0.4                         |
| 5  | 4                             | 0.292                       | 20 | 4.5                          | 0.344                       | 35 | 5.5                          | 0.408                       |
| 6  | 4                             | 0.312                       | 21 | 5                            | 0.378                       | 36 | 5.5                          | 0.42                        |
| 7  | 4                             | 0.308                       | 22 | 5                            | 0.368                       | 37 | 5.5                          | 0.414                       |
| 8  | 4                             | 0.302                       | 23 | 5                            | 0.37                        | 38 | 5.5                          | 0.405                       |
| 9  | 4                             | 0.298                       | 24 | 5                            | 0.374                       | 39 | 5.5                          | 0.414                       |
| 10 | 4                             | 0.295                       | 25 | 5                            | 0.373                       | 40 | 5.5                          | 0.411                       |
| 11 | 4.5                           | 0.349                       | 26 | 5                            | 0.379                       |    |                              |                             |
| 12 | 4.5                           | 0.344                       | 27 | 5                            | 0.37                        |    |                              |                             |
| 13 | 4.5                           | 0.348                       | 28 | 5                            | 0.374                       |    |                              |                             |
| 14 | 4.5                           | 0.347                       | 29 | 5                            | 0.38                        |    |                              |                             |
| 15 | 4.5                           | 0.347                       | 30 | 5                            | 0.366                       |    |                              |                             |



ตารางที่ ง.2 บันทึกผลการทดลองความยาวของกระบอกกลมโมเดล B

| No | ความยาว<br>กระบอกกลม<br>(mm) | น้ำหนัก<br>น้ำมัน<br>(กรัม) | No | ความยาว<br>กระบอกกลม<br>(mm) | น้ำหนัก<br>น้ำมัน<br>(กรัม) | No | ความยาว<br>กระบอกกลม<br>(mm) | น้ำหนัก<br>น้ำมัน<br>(กรัม) |
|----|------------------------------|-----------------------------|----|------------------------------|-----------------------------|----|------------------------------|-----------------------------|
| 1  | 3                            | 0.297                       | 16 | 3.5                          | 0.335                       | 31 | 4.5                          | 0.393                       |
| 2  | 3                            | 0.296                       | 17 | 3.5                          | 0.334                       | 32 | 4.5                          | 0.398                       |
| 3  | 3                            | 0.292                       | 18 | 3.5                          | 0.333                       | 33 | 4.5                          | 0.392                       |
| 4  | 3                            | 0.295                       | 19 | 3.5                          | 0.331                       | 34 | 4.5                          | 0.410                       |
| 5  | 3                            | 0.296                       | 20 | 3.5                          | 0.334                       | 35 | 4.5                          | 0.402                       |
| 6  | 3                            | 0.294                       | 21 | 4                            | 0.377                       | 36 | 4.5                          | 0.402                       |
| 7  | 3                            | 0.296                       | 22 | 4                            | 0.381                       | 37 | 4.5                          | 0.396                       |
| 8  | 3                            | 0.294                       | 23 | 4                            | 0.385                       | 38 | 4.5                          | 0.383                       |
| 9  | 3                            | 0.288                       | 24 | 4                            | 0.378                       | 39 | 4.5                          | 0.393                       |
| 10 | 3                            | 0.298                       | 25 | 4                            | 0.379                       | 40 | 4.5                          | 0.399                       |
| 11 | 3.5                          | 0.337                       | 26 | 4                            | 0.387                       |    |                              |                             |
| 12 | 3.5                          | 0.337                       | 27 | 4                            | 0.383                       |    |                              |                             |
| 13 | 3.5                          | 0.330                       | 28 | 4                            | 0.386                       |    |                              |                             |
| 14 | 3.5                          | 0.332                       | 29 | 4                            | 0.374                       |    |                              |                             |
| 15 | 3.5                          | 0.329                       | 30 | 4                            | 0.387                       |    |                              |                             |



รูปที่ ง.1 กราฟผลการทดลองความยาวของกระบอกลมโมเดล A



รูปที่ ง.2 กราฟผลการทดลองความยาวของกระบอกลมโมเดล B

ผลจากการทดลองคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของกระบอกกลมกับค่าน้ำหนักน้ำมัน ดังตารางที่ ง.1 สำหรับโมเดล A และตารางที่ ง.2 สำหรับโมเดล B

1. ค่า Multiple R ของโมเดล A: 98.03% และโมเดล B: 97.61% แสดงถึงความยาวของกระบอกกลมที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักน้ำมันในทิศทางเดียวกันและสัมพันธ์กันมาก

2. ค่า Adjusted  $R^2$  ของโมเดล A: 95.99% และโมเดล B: 95.15% แสดงถึงความแปรปรวนของค่าความยาวของกระบอกกลมสามารถอธิบายถึงน้ำหนักน้ำมันได้ดี

3. ค่า P-value ของโมเดล A: 0.002 และโมเดล B: น้อยกว่า 0.000 แสดงถึงค่าความยาวของกระบอกกลมมีอิทธิพลต่อค่าน้ำหนักน้ำมัน เนื่องจากค่าน้อยกว่า 0.05

4. ค่า Coefficients น้ำหนักน้ำมันของ แสดงถึงเมื่อค่าความยาวเปลี่ยนแปลงไป 1 หน่วย จะทำให้ค่าน้ำหนักน้ำมันของโมเดล A: 0.0676 และโมเดล B: น้อยกว่า 0.0710

สรุปว่าค่าความยาวของกระบอกกลมมีอิทธิพลทางตรงต่อค่าน้ำหนักน้ำมัน ดังตารางที่ ง.3 สำหรับโมเดล A และตารางที่ ง.4 สำหรับโมเดล B

ตารางที่ ง.3 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์น้ำหนักน้ำมันโมเดล A

| Regression Statistics |        |
|-----------------------|--------|
| Multiple R            | 0.9803 |
| $R^2$                 | 0.9609 |
| Adjusted $R^2$        | 0.9599 |
| Standard Error        | 0.0078 |
| Observations          | 40     |

| ANOVA      |         |        |        |          |                |
|------------|---------|--------|--------|----------|----------------|
|            | df      | SS     | MS     | F        | Significance F |
| Regression | 1.0000  | 0.0571 | 0.0571 | 934.2382 | 0.0000         |
| Residual   | 38.0000 | 0.0023 | 0.0001 |          |                |
| Total      | 39.0000 | 0.0594 |        |          |                |

ตารางที่ ง.3 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์น้ำหนักน้ำมันโมเดล A (ต่อ)

|               | Coefficients | Standard Error | t Stat  | P-value | Lower 95% | Upper 95% |
|---------------|--------------|----------------|---------|---------|-----------|-----------|
| Intercept     | 0.0354       | 0.0106         | 3.3524  | 0.0018  | 0.0140    | 0.0568    |
| น้ำหนักน้ำมัน | 0.0676       | 0.0022         | 30.5653 | 0.0000  | 0.0631    | 0.0720    |

ตารางที่ ง.4 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์น้ำหนักน้ำมันโมเดล B

| Regression Statistics   |        |
|-------------------------|--------|
| Multiple R              | 0.9761 |
| R <sup>2</sup>          | 0.9527 |
| Adjusted R <sup>2</sup> | 0.9515 |
| Standard Error          | 0.0091 |
| Observations            | 40     |

| ANOVA      |         |        |        |          |                |
|------------|---------|--------|--------|----------|----------------|
|            | df      | SS     | MS     | F        | Significance F |
| Regression | 1.0000  | 0.0630 | 0.0630 | 765.9848 | 0.0000         |
| Residual   | 38.0000 | 0.0031 | 0.0001 |          |                |
| Total      | 39.0000 | 0.0662 |        |          |                |

|               | Coefficients | Standard Error | t Stat  | P-value | Lower 95% | Upper 95% |
|---------------|--------------|----------------|---------|---------|-----------|-----------|
| Intercept     | 0.0852       | 0.0097         | 8.7623  | 0.0000  | 0.0656    | 0.1049    |
| น้ำหนักน้ำมัน | 0.0710       | 0.0026         | 27.6764 | 0.0000  | 0.0658    | 0.0762    |

## ง.2 การคำนวณหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่องฉีดน้ำมัน

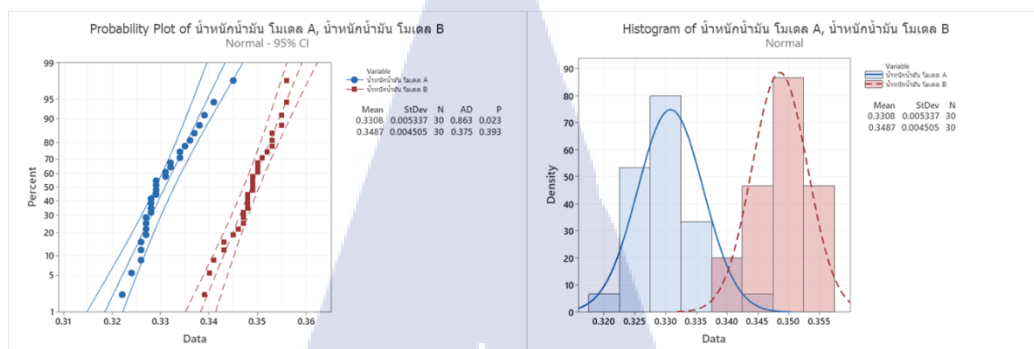
กำหนดให้ตัวแปรตามคือค่าน้ำหนักน้ำมัน และตัวแปรอิสระคือความยาวของกระบอกกลมนำผลการทดลองของโมเดล A และโมเดล B วิเคราะห์หาสมการถดถอยเชิงเส้นตรงที่เหมาะสมที่สุดด้วยสูตรการคำนวณ (2.5-2.7) ดังตารางที่ ง.5 ทำให้ได้สมการเส้นตรงโมเดล A:  $y = 0.0676(x) + 0.0354$  และ โมเดล B:  $y = 0.071(x) + 0.0853$

ตารางที่ ง.5 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์น้ำหนักน้ำมันโมเดล B

| ค่าการคำนวณ        | โมเดล A | โมเดล B |
|--------------------|---------|---------|
| $\sum x$           | 190     | 150     |
| $\sum y$           | 14.254  | 14.063  |
| $\sum x^2$         | 915     | 575     |
| $\sum xy$          | 68.551  | 53.624  |
| $\sum y^2$         | 5.139   | 5.010   |
| Slope (m)          | 0.0676  | 0.071   |
| Y Interception (c) | 0.0354  | 0.0853  |

นำสมการถดถอยเชิงเส้นแทนค่า  $x$  ด้วยน้ำหนักน้ำมันที่ต้องการ โมเดล A: 0.330 กรัม และโมเดล B: 0.350 จากมาตรฐานที่กำหนดเป็นค่าที่ทำให้ระยะเวลาของการเสื่อมสภาพของมอเตอร์และไม่มีน้ำมันไหลซึมออกมาเหมาะสมที่สุด พบว่าค่าความยาวของกระบอกกลมที่เหมาะสมคือ โมเดล A: 4.36 mm และ โมเดล B: 3.72 mm

ยืนยันผลการทดลองโดยใช้ค่าที่เหมาะสมจากการทดลอง เก็บบันทึกผล 30 ชิ้น เพื่อให้มีการแจกแจงแบบปกติ [1] ดังรูปที่ ง.3 พบว่าค่าเฉลี่ยคือ โมเดล A: 0.331 กรัม และโมเดล B: 0.349 กรัม ดังตารางที่ ง.6 ค่าเฉลี่ยจากการทดลองอยู่ในช่วงค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ จึงสรุปว่าค่าจากการทดลองเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการปรับตั้ง Controller น้ำมัน



รูปที่ 3.3 Normal Distribution ค่าน้ำหนักน้ำมัน โมเดล A และโมเดล B

ตารางที่ 3.6 ผลการทดลองน้ำหนักน้ำมันโมเดล A และโมเดล B ด้วยค่าปัจจัยที่เหมาะสม

| โมเดล A |                         |    |                         | โมเดล B |                         |    |                         |
|---------|-------------------------|----|-------------------------|---------|-------------------------|----|-------------------------|
| No      | ค่าน้ำหนักน้ำมัน (กรัม) | No | ค่าน้ำหนักน้ำมัน (กรัม) | No      | ค่าน้ำหนักน้ำมัน (กรัม) | No | ค่าน้ำหนักน้ำมัน (กรัม) |
| 1       | 0.327                   | 16 | 0.326                   | 1       | 0.349                   | 16 | 0.340                   |
| 2       | 0.339                   | 17 | 0.329                   | 2       | 0.351                   | 17 | 0.353                   |
| 3       | 0.327                   | 18 | 0.328                   | 3       | 0.352                   | 18 | 0.347                   |
| 4       | 0.345                   | 19 | 0.328                   | 4       | 0.349                   | 19 | 0.353                   |
| 5       | 0.337                   | 20 | 0.329                   | 5       | 0.347                   | 20 | 0.350                   |
| 6       | 0.332                   | 21 | 0.329                   | 6       | 0.353                   | 21 | 0.349                   |
| 7       | 0.326                   | 22 | 0.328                   | 7       | 0.348                   | 22 | 0.348                   |
| 8       | 0.327                   | 23 | 0.335                   | 8       | 0.343                   | 23 | 0.356                   |
| 9       | 0.334                   | 24 | 0.326                   | 9       | 0.339                   | 24 | 0.350                   |
| 10      | 0.329                   | 25 | 0.328                   | 10      | 0.343                   | 25 | 0.347                   |
| 11      | 0.331                   | 26 | 0.331                   | 11      | 0.345                   | 26 | 0.349                   |
| 12      | 0.322                   | 27 | 0.338                   | 12      | 0.346                   | 27 | 0.348                   |
| 13      | 0.336                   | 28 | 0.324                   | 13      | 0.356                   | 28 | 0.348                   |
| 14      | 0.327                   | 29 | 0.334                   | 14      | 0.355                   | 29 | 0.355                   |
| 15      | 0.332                   | 30 | 0.341                   | 15      | 0.341                   | 30 | 0.350                   |

ภาคผนวก จ.  
การทดลอง DOE ครั้งที่ 1

TNI



จากออกแบบการทดลอง Factorial Design แบบ Full Factorial  $2^k$  และทำซ้ำ 2 ครั้ง กำหนดค่าระดับของปัจจัย (ต่ำ และสูง) ด้วยวิธีระดมสมอง ดังตารางที่ จ.1 เรียงลำดับการทดลองจะ ใช้วิธีการสุ่มเพื่อไม่ให้เกิดความลำเอียงในการเก็บข้อมูล และผลลัพธ์จากการทดลองได้รวบรวมไว้ใน ตารางที่ จ.2 สำหรับโมเดล A และตารางที่ จ.3 สำหรับโมเดล B

ตารางที่ จ.1 ค่าระดับปัจจัยนำเข้าของการทดลองครั้งที่ 1

| ปัจจัย  | Melt. Trvl. (mm.) |      | Holding Time (sec.) |     | OSC. Start Press % |     | Amplitude (%) |     |
|---------|-------------------|------|---------------------|-----|--------------------|-----|---------------|-----|
|         | ต่ำ               | สูง  | ต่ำ                 | สูง | ต่ำ                | สูง | ต่ำ           | สูง |
| โมเดล A | 0.2               | 0.45 | 0.45                | 0.8 | 15                 | 35  | 65            | 85  |
| โมเดล B | 0.3               | 0.5  | 0.25                | 0.6 | 30                 | 50  | 40            | 70  |

ตารางที่ จ.2 ผลของการทดลองครั้งที่ 1 โมเดล A

| ค่าปัจจัยนำเข้า |      |       |     | ผลลัพธ์ค่าตอบสนอง |       |       |       |      |      |       |
|-----------------|------|-------|-----|-------------------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| Travel          | Time | Press | AMP | POS1              | POS2  | POS3  | POS4  | Burn | Bari | Crack |
| 0.2             | 0.44 | 15    | 65  | 5.25              | 5.258 | 5.267 | 5.288 | 0    | 0    | 0     |
| 0.2             | 0.6  | 15    | 65  | 5.292             | 5.265 | 5.278 | 5.299 | 0    | 0    | 0     |
| 0.2             | 0.44 | 35    | 65  | 5.32              | 5.312 | 5.33  | 5.311 | 0    | 0    | 0     |
| 0.2             | 0.6  | 35    | 65  | 5.35              | 5.322 | 5.314 | 5.326 | 0    | 0    | 0     |
| 0.2             | 0.44 | 15    | 85  | 5.257             | 5.312 | 5.294 | 5.299 | 0    | 0    | 0     |
| 0.2             | 0.6  | 15    | 85  | 5.282             | 5.304 | 5.278 | 5.301 | 0    | 0    | 0     |
| 0.2             | 0.44 | 35    | 85  | 5.348             | 5.325 | 5.344 | 5.32  | 1    | 0    | 0     |
| 0.2             | 0.6  | 35    | 85  | 5.318             | 5.32  | 5.32  | 5.327 | 0    | 0    | 0     |
| 0.2             | 0.44 | 15    | 65  | 5.267             | 5.266 | 5.274 | 5.281 | 0    | 0    | 0     |
| 0.2             | 0.6  | 15    | 65  | 5.288             | 5.274 | 5.31  | 5.3   | 0    | 0    | 0     |
| 0.2             | 0.44 | 35    | 65  | 5.325             | 5.298 | 5.322 | 5.311 | 0    | 0    | 0     |
| 0.2             | 0.6  | 35    | 65  | 5.322             | 5.317 | 5.313 | 5.317 | 0    | 0    | 0     |
| 0.2             | 0.44 | 15    | 85  | 5.248             | 5.288 | 5.297 | 5.303 | 0    | 0    | 0     |
| 0.2             | 0.6  | 15    | 85  | 5.294             | 5.296 | 5.282 | 5.305 | 0    | 0    | 0     |
| 0.2             | 0.44 | 35    | 85  | 5.347             | 5.352 | 5.349 | 5.354 | 0    | 0    | 0     |
| 0.2             | 0.6  | 35    | 85  | 5.328             | 5.334 | 5.319 | 5.329 | 0    | 0    | 0     |
| 0.45            | 0.44 | 15    | 65  | 5.498             | 5.472 | 5.524 | 5.504 | 0    | 0    | 0     |
| 0.45            | 0.6  | 15    | 65  | 5.473             | 5.506 | 5.504 | 5.509 | 0    | 0    | 0     |
| 0.45            | 0.44 | 35    | 65  | 5.531             | 5.507 | 5.522 | 5.526 | 0    | 0    | 0     |
| 0.45            | 0.6  | 35    | 65  | 5.524             | 5.533 | 5.526 | 5.529 | 0    | 0    | 0     |

ตารางที่ จ.2 ผลของการทดลองครั้งที่ 1 โมเดล A (ต่อ)

| ค่าปัจจัยนำเข้า |      |       |     | ผลลัพธ์ค่าตอบสนอง |       |       |       |      |      |       |
|-----------------|------|-------|-----|-------------------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| Travel          | Time | Press | AMP | POS1              | POS2  | POS3  | POS4  | Burn | Bari | Crack |
| 0.45            | 0.44 | 15    | 85  | 5.51              | 5.514 | 5.511 | 5.543 | 0    | 0    | 0     |
| 0.45            | 0.6  | 15    | 85  | 5.522             | 5.514 | 5.521 | 5.527 | 0    | 0    | 0     |
| 0.45            | 0.44 | 35    | 85  | 5.522             | 5.544 | 5.512 | 5.561 | 1    | 0    | 0     |
| 0.45            | 0.6  | 35    | 85  | 5.537             | 5.523 | 5.547 | 5.56  | 1    | 0    | 0     |
| 0.45            | 0.44 | 15    | 65  | 5.503             | 5.504 | 5.509 | 5.499 | 0    | 0    | 0     |
| 0.45            | 0.6  | 15    | 65  | 5.5               | 5.503 | 5.489 | 5.497 | 0    | 0    | 0     |
| 0.45            | 0.44 | 35    | 65  | 5.514             | 5.502 | 5.504 | 5.517 | 0    | 0    | 0     |
| 0.45            | 0.6  | 35    | 65  | 5.502             | 5.508 | 5.511 | 5.519 | 0    | 0    | 0     |
| 0.45            | 0.44 | 15    | 85  | 5.498             | 5.495 | 5.521 | 5.522 | 1    | 0    | 0     |
| 0.45            | 0.6  | 15    | 85  | 5.491             | 5.495 | 5.499 | 5.511 | 1    | 0    | 0     |
| 0.45            | 0.44 | 35    | 85  | 5.516             | 5.543 | 5.554 | 5.524 | 0    | 0    | 0     |
| 0.45            | 0.6  | 35    | 85  | 5.544             | 5.534 | 5.511 | 5.521 | 1    | 0    | 0     |

ตารางที่ จ.3 ผลของการทดลองครั้งที่ 1 โมเดล B

| ค่าปัจจัยนำเข้า |      |       |     | ผลลัพธ์ค่าตอบสนอง |        |        |        |      |      |       |
|-----------------|------|-------|-----|-------------------|--------|--------|--------|------|------|-------|
| Travel          | Time | Press | AMP | POS1              | POS2   | POS3   | POS4   | Burn | Bari | Crack |
| 0.5             | 0.8  | 30    | 40  | 10.622            | 10.624 | 10.622 | 10.618 | 0    | 0    | 0     |
| 0.3             | 0.25 | 50    | 70  | 10.539            | 10.558 | 10.542 | 10.548 | 0    | 0    | 0     |
| 0.3             | 0.8  | 50    | 70  | 10.545            | 10.552 | 10.544 | 10.551 | 0    | 0    | 0     |
| 0.5             | 0.8  | 50    | 40  | 10.691            | 10.688 | 10.685 | 10.693 | 0    | 0    | 0     |
| 0.3             | 0.8  | 30    | 40  | 10.498            | 10.502 | 10.509 | 10.506 | 0    | 0    | 0     |
| 0.5             | 0.8  | 50    | 70  | 10.715            | 10.709 | 10.705 | 10.727 | 1    | 0    | 0     |
| 0.3             | 0.25 | 30    | 40  | 10.505            | 10.501 | 10.499 | 10.508 | 0    | 0    | 0     |
| 0.3             | 0.8  | 50    | 40  | 10.539            | 10.534 | 10.533 | 10.527 | 0    | 0    | 0     |
| 0.5             | 0.25 | 50    | 70  | 10.722            | 10.714 | 10.702 | 10.711 | 1    | 0    | 0     |
| 0.5             | 0.8  | 30    | 40  | 10.614            | 10.618 | 10.615 | 10.622 | 0    | 0    | 0     |
| 0.3             | 0.8  | 30    | 70  | 10.602            | 10.588 | 10.601 | 10.594 | 0    | 0    | 0     |
| 0.3             | 0.8  | 30    | 40  | 10.502            | 10.498 | 10.503 | 10.508 | 0    | 0    | 0     |
| 0.5             | 0.25 | 30    | 40  | 10.631            | 10.628 | 10.614 | 10.615 | 0    | 0    | 0     |
| 0.5             | 0.25 | 50    | 40  | 10.671            | 10.679 | 10.677 | 10.664 | 0    | 0    | 0     |
| 0.3             | 0.25 | 50    | 70  | 10.553            | 10.562 | 10.541 | 10.544 | 0    | 0    | 0     |
| 0.5             | 0.8  | 50    | 70  | 10.705            | 10.724 | 10.711 | 10.713 | 1    | 0    | 0     |
| 0.3             | 0.25 | 30    | 70  | 10.588            | 10.591 | 10.592 | 10.589 | 0    | 0    | 0     |
| 0.3             | 0.8  | 50    | 70  | 10.551            | 10.56  | 10.545 | 10.548 | 1    | 0    | 0     |
| 0.3             | 0.25 | 50    | 40  | 10.538            | 10.538 | 10.533 | 10.553 | 0    | 0    | 0     |
| 0.3             | 0.25 | 30    | 70  | 10.602            | 10.574 | 10.591 | 10.601 | 0    | 0    | 0     |

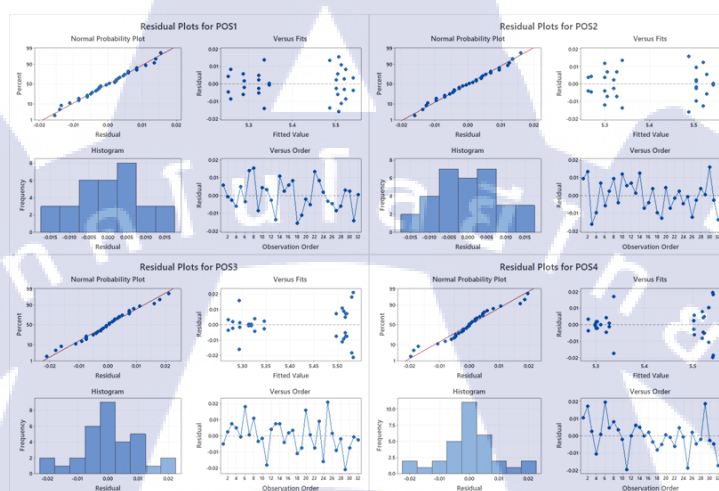
ตารางที่ จ.3 ผลของการทดลองครั้งที่ 1 โมเดล B (ต่อ)

| ค่าปัจจัยนำเข้า |      |       |     | ผลลัพธ์ค่าตอบสนอง |        |        |        |      |      |       |
|-----------------|------|-------|-----|-------------------|--------|--------|--------|------|------|-------|
| Travel          | Time | Press | AMP | POS1              | POS2   | POS3   | POS4   | Burn | Bari | Crack |
| 0.3             | 0.25 | 50    | 40  | 10.541            | 10.553 | 10.548 | 10.531 | 0    | 0    | 0     |
| 0.3             | 0.25 | 30    | 40  | 10.499            | 10.507 | 10.49  | 10.505 | 0    | 0    | 0     |
| 0.5             | 0.25 | 30    | 70  | 10.644            | 10.643 | 10.654 | 10.655 | 0    | 0    | 0     |
| 0.5             | 0.8  | 30    | 70  | 10.648            | 10.642 | 10.648 | 10.664 | 0    | 0    | 0     |
| 0.3             | 0.8  | 30    | 70  | 10.594            | 10.582 | 10.587 | 10.578 | 0    | 0    | 0     |
| 0.5             | 0.8  | 30    | 70  | 10.651            | 10.667 | 10.654 | 10.653 | 1    | 0    | 0     |
| 0.5             | 0.25 | 30    | 70  | 10.657            | 10.662 | 10.657 | 10.662 | 1    | 0    | 0     |
| 0.5             | 0.25 | 30    | 40  | 10.628            | 10.631 | 10.618 | 10.621 | 0    | 0    | 0     |
| 0.3             | 0.8  | 50    | 40  | 10.541            | 10.544 | 10.538 | 10.533 | 0    | 0    | 0     |
| 0.5             | 0.25 | 50    | 70  | 10.713            | 10.707 | 10.725 | 10.726 | 1    | 0    | 0     |
| 0.5             | 0.8  | 50    | 40  | 10.688            | 10.695 | 10.678 | 10.665 | 0    | 0    | 0     |
| 0.5             | 0.25 | 50    | 40  | 10.665            | 10.689 | 10.684 | 10.669 | 0    | 0    | 0     |

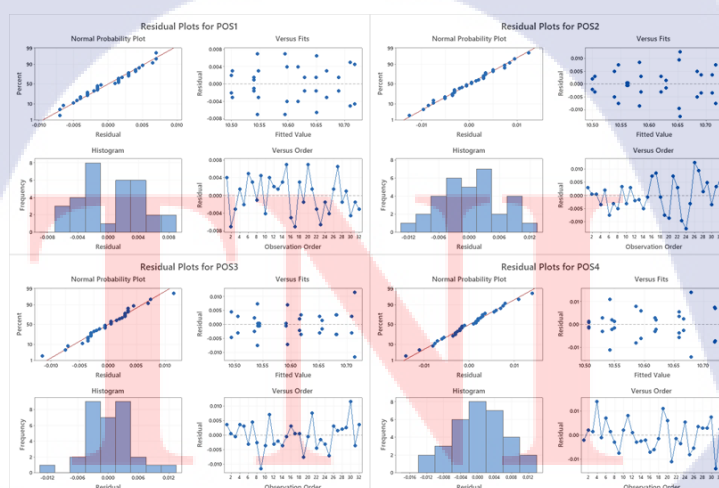
นำผลการทดลองครั้งที่ 1 ไปวิเคราะห์ลักษณะของข้อมูล วิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนอง วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าตอบสนองต่อค่าปัจจัย และหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมด้วย Response Optimization เพื่อหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าตอบสนองความสูงของชิ้นงานอยู่ช่วงค่ามาตรฐานและไม่เกิดค่าตอบสนองที่เป็นลักษณะงานเสีย (Burn, Bari และ Crack)

### จ.1 วิเคราะห์ลักษณะของข้อมูลการทดลองครั้งที่ 1

ดังนั้น ได้ดำเนินการวิเคราะห์ลักษณะของข้อมูล จากข้อมูลผลการทดลองครั้งที่ 1 สามารถรวบรวมผลได้ ดังรูปที่ จ.1 และ รูปที่ จ.2 เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลในด้านต่างๆ การกระจายตัว ความเสถียร และความเป็นอิสระต่อกัน เพื่อยืนยันข้อมูลที่เก็บบันทึกเป็นข้อมูลที่ดี มีความคลาดเคลื่อนที่น้อย และความเพียงพอของข้อมูลต่อการทดลอง



รูปที่ จ.1 กราฟคุณสมบัติของข้อมูลการทดลองครั้งที่ 1 โมเดล A



รูปที่ จ.2 กราฟคุณสมบัติของข้อมูลการทดลองครั้งที่ 1 โมเดล B

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากโปรแกรม Minitab ดังรูปที่ จ.1 และรูปที่ จ.2 โดยวิเคราะห์ข้อมูลในด้านต่างๆ ดังนี้

1. Normal Probability Plot มีความเป็นเส้นตรงเชิงบวกไม่มีความผิดปกติ มีข้อมูลที่ห่างจากเส้นเล็กน้อย แสดงถึงการกระจายตัวแบบปกติ ความเพียงพอของข้อมูลต่อการทดลอง และการแปรผันตรง

2. Versus Fits ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบสุ่มทั้งด้านบวกและลบ แสดงถึงความเสถียรของข้อมูล

3. Histogram มีรูปร่างคล้ายระฆังคว่ำ แสดงถึงความ แสดงถึงการกระจายตัวของข้อมูลเป็นแบบปกติ

4. Versus Order มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอแสดงถึงความเป็นอิสระต่อกันของข้อมูล และเนื่องจากค่าตอบสนอง Burn, Bari และ Crack เป็นค่าตอบสนองเชิงคุณภาพ มีลักษณะการเก็บบันทึกข้อมูลแบบ 0 กับ 1 หรือเกิดหรือไม่เกิดขึ้น ทำให้กราฟมีข้อมูลที่ไม่เพียงพอต่อการวิเคราะห์ผล จึงไม่นำมาพิจารณาในการวิเคราะห์ข้อมูล

สรุปได้ว่าข้อมูลจากการเก็บบันทึกในแต่ละการทดลอง ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ เพียงพอต่อการทดลอง มีความเสถียร และมีอิสระต่อกัน

## จ.2 วิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนองการทดลองครั้งที่ 1

ดำเนินการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนอง จากข้อมูลผลการทดลองครั้งที่ 1 สามารถรวบรวมผลได้ ดังตารางที่ จ.4-5 สำหรับโมเดล A และตารางที่ จ.6-7 สำหรับโมเดล B วิเคราะห์ค่า Coded Coefficients ด้วย Program Minitab เป็นค่าที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่นำเข้าการทดลองกับค่าตอบสนอง ปัจจัยที่มีผลต่อค่าตอบสนองพิจารณาจากปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม จากค่า P-value น้อยกว่า 0.05 ทำการคัดออก เนื่องจากปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนองน้อยเกินไป



ตารางที่ จ.4 ค่า Coded Coefficients การทดลองครั้งที่ 1 โมเดล A

| ค่าตอบสนอง            | POS1    | POS2    | POS3    | POS4    | Burn    |
|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                       | P-Value | P-Value | P-Value | P-Value | P-Value |
| Travel                | 0       | 0       | 0       | 0       | 0.045   |
| Time                  | 0.099   | 0.414   | 0.162   | 0.849   | 0.572   |
| Press                 | 0       | 0       | 0       | 0.001   | 0.846   |
| AMP                   | 0.265   | 0       | 0.025   | 0.001   | 0.045   |
| Travel*Time           | 0.104   | 0.837   | 0.857   | 0.42    | 0.572   |
| Travel*Press          | 0       | 0.167   | 0.003   | 0.221   | 0.846   |
| Travel*AMP            | 0.888   | 0.349   | 0.527   | 0.575   | 0.045   |
| Time*Press            | 0.11    | 0.558   | 0.608   | 0.935   | 0.572   |
| Time*AMP              | 0.681   | 0.027   | 0.218   | 0.171   | 0.572   |
| Press*AMP             | 0.34    | 0.566   | 0.477   | 0.989   | 0.846   |
| Travel*Time*Press     | 0.006   | 0.746   | 0.067   | 0.451   | 0.572   |
| Travel*Time*AMP       | 0.022   | 0.681   | 0.148   | 0.725   | 0.572   |
| Travel*Press*AMP      | 0.175   | 0.172   | 0.499   | 0.457   | 0.846   |
| Time*Press*AMP        | 0.406   | 0.338   | 0.979   | 0.914   | 0.572   |
| Travel*Time*Press*AMP | 0.099   | 0.906   | 0.227   | 0.646   | 0.572   |

ตารางที่ จ.5 สรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนองการทดลองครั้งที่ 1 โมเดล A

| ค่า<br>ตอบสนอง | P-Value < 0.05        |                       |                                       |                       |
|----------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------------|-----------------------|
|                | One Way               | 2-Way<br>Interactions | 3-Way Interactions                    | 4-Way<br>Interactions |
| POS1           | Travel,<br>Press      | Travel*Press          | Travel*Time*Press,<br>Travel*Time*AMP | -                     |
| POS2           | Travel,<br>Press, AMP | Time*AMP              | -                                     | -                     |
| POS3           | Travel,<br>Press, AMP | Travel*Press          | -                                     | -                     |
| POS4           | Travel,<br>Press, AMP | -                     | -                                     | -                     |
| Burn           | Travel, AMP           | Travel*AMP            | -                                     | -                     |

ตารางที่ จ.6 ค่า Coded Coefficients การทดลองครั้งที่ 1 โมเดล B

| ค่าตอบสนอง            | POS1    | POS2    | POS3    | POS4    | Burn    |
|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                       | P-Value | P-Value | P-Value | P-Value | P-Value |
| Travel                | 0       | 0       | 0       | 0       | 0.011   |
| Time                  | 0.76    | 0.899   | 0.768   | 0.968   | 0.572   |
| Press                 | 0       | 0       | 0       | 0       | 0.102   |
| AMP                   | 0       | 0       | 0       | 0       | 0.001   |
| Travel*Time           | 0.903   | 0.475   | 0.327   | 0.198   | 0.572   |
| Travel*Press          | 0       | 0       | 0       | 0       | 0.572   |
| Travel*AMP            | 0       | 0.001   | 0.003   | 0.45    | 0.011   |
| Time*Press            | 0.101   | 0.583   | 0.327   | 0.632   | 0.572   |
| Time*AMP              | 0.466   | 0.402   | 0.44    | 0.779   | 0.572   |
| Press*AMP             | 0       | 0       | 0       | 0       | 0.102   |
| Travel*Time*Press     | 0.14    | 0.262   | 0.471   | 0.632   | 0.572   |
| Travel*Time*AMP       | 0.14    | 0.932   | 0.504   | 0.45    | 0.572   |
| Travel*Press*AMP      | 0       | 0       | 0       | 0       | 0.572   |
| Time*Press*AMP        | 0.017   | 0.555   | 0.353   | 0.524   | 0.572   |
| Travel*Time*Press*AMP | 0.04    | 0.673   | 0.381   | 0.185   | 0.572   |

ตารางที่ จ.7 สรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนองการทดลองครั้งที่ 1 โมเดล B

| ค่า<br>ตอบสนอง | P-Value < 0.05       |                                      |                                   |                        |
|----------------|----------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|------------------------|
|                | One Way              | 2-Way Interactions                   | 3-Way Interactions                | 4-Way Interactions     |
| POS1           | Travel , Press , AMP | Press*AMP, Travel*AMP                | Travel*Press*AMP , Time*Press*AMP | Travel*Time*Press *AMP |
| POS2           | Travel , Press , AMP | Travel*Press, Press*AMP , Travel*AMP | Travel*Press*AMP                  | -                      |
| POS3           | Travel , Press , AMP | Travel*Press, Travel*AMP, Press*AMP  | Travel*Press*AMP                  | -                      |
| POS4           | Travel , Press , AMP | Travel*Press, Travel*AMP             | Travel*Press*AMP                  | -                      |
| Burn           | Travel , AMP         | Travel* AMP                          | -                                 | -                      |

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยกับค่าตอบสนอง ดังตารางที่ จ.4 และตารางที่ จ.5 สำหรับโมเดล A และตารางที่ จ.6 และตารางที่ จ.7 สำหรับโมเดล B พบว่าทั้ง 4 ปัจจัยที่นำเข้าทำการทดลอง (Travel, Time, Press, AMP) ปัจจัย Travel, Time, Press และ AMP มีผลต่อค่าตอบสนองความสูง และปัจจัย Travel และ AMP มีผลต่อค่าตอบสนอง Burn จากการทดลองครั้งที่ 1 จึงไม่สามารถตัดปัจจัยใดออกได้ จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมทุกปัจจัยต่อไป

### จ.3 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าตอบสนอง การทดลองครั้งที่ 1

ดำเนินการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าตอบสนอง จากข้อมูลผลการทดลองครั้งที่ 1 สามารถรวบรวมผลได้ ดังตารางที่ จ.8 สำหรับโมเดล A และตารางที่ จ.9 สำหรับโมเดล B วิเคราะห์สัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจหรือค่า  $R^2$  เป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าตอบสนอง เพื่อยืนยันตัวแบบของสมการว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ ซึ่งโดยทั่วไปการวิเคราะห์จะใช้ค่า  $R^2$  Adjust เนื่องจากค่ามีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงโดยลดจำนวนข้อมูลลง 1 ชุด ซึ่งจะพิจารณาเพียงค่าตอบสนองความสูง เนื่องจากค่าตอบสนอง Burn, Bari และ Crack ซึ่งเป็นค่าตอบสนองเชิงคุณภาพ มีลักษณะค่า 0, 1 หรือเกิดหรือไม่เกิดขึ้น ทำให้ค่าของข้อมูลไม่เพียงพอต่อการวิเคราะห์ผล โดยทั่วไปค่า  $R^2$  Adjust มากกว่า 60% แสดงว่าข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนที่ต่ำ และความแปรปรวนของปัจจัยสามารถอธิบายถึงค่าตอบสนองได้ดี และค่า  $R^2$  Predict คือค่าที่แสดงถึงสมการ (สมการ Factorial Regression) มีความสามารถในการพยากรณ์ค่าตอบสนอง โดยการทดลองมีการนำค่าปัจจัยเข้าสูการทดลอง 4 ปัจจัย คือ Travel, Time, Press และ AMP ได้สมการจากการวิเคราะห์ของโมเดล A ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{POS1} = & 5.312 + 0.42 \text{ Travel} - 0.280 \text{ Time} - 0.0210 \text{ Press} - 0.00680 \text{ AMP} + \\ & 0.40 \text{ Travel*Time} + 0.0577 \text{ Travel*Press} + 0.0153 \text{ Travel*AMP} + 0.0353 \\ & \text{Time*Press} + 0.00849 \text{ Time*AMP} + 0.000434 \text{ Press*AMP} - 0.0921 \\ & \text{Travel*Time*Press} - 0.0171 \text{ Travel*Time*AMP} - 0.001106 \text{ Travel*Press*AMP} - \\ & 0.000623 \text{ Time*Press*AMP} + 0.001614 \text{ Travel*Time*Press*AMP} \end{aligned} \quad (\text{จ.1})$$

$$\begin{aligned} \text{POS2} = & 4.869 + 1.25 \text{ Travel} - 0.175 \text{ Time} + 0.0021 \text{ Press} + 0.00271 \text{ AMP} + \\ & 0.61 \text{ Travel*Time} - 0.0176 \text{ Travel*Press} - 0.0053 \text{ Travel*AMP} + 0.0119 \\ & \text{Time*Press} + 0.00228 \text{ Time*AMP} + 0.000004 \text{ Press*AMP} - 0.0117 \\ & \text{Travel*Time*Press} - 0.0069 \text{ Travel*Time*AMP} + 0.000219 \text{ Travel*Press*AMP} - \\ & 0.000155 \text{ Time*Press*AMP} + 0.000114 \text{ Travel*Time*Press*AMP} \end{aligned} \quad (\text{จ.2})$$

$$\begin{aligned} \text{POS3} = & 4.095 + 3.68 \text{ Travel} + 1.543 \text{ Time} + 0.0277 \text{ Press} + 0.01145 \text{ AMP} - \\ & 4.33 \text{ Travel*Time} - 0.0840 \text{ Travel*Press} - 0.0317 \text{ Travel*AMP} - 0.0414 \\ & \text{Time*Press} - 0.0184 \text{ Time*AMP} - 0.000263 \text{ Press*AMP} + 0.1243 \\ & \text{Travel*Time*Press} + 0.0509 \text{ Travel*Time*AMP} + 0.000867 \text{ Travel*Press*AMP} + \\ & 0.000449 \text{ Time*Press*AMP} - 0.00137 \text{ Travel*Time*Press*AMP} \end{aligned} \quad (\text{จ.3})$$

$$\begin{aligned}
 \text{POS4} = & 5.106 + 0.35 \text{ Travel} + 0.059 \text{ Time} - 0.0061 \text{ Press} - 0.00093 \text{ AMP} + \\
 & 0.35 \text{ Travel*Time} + 0.0242 \text{ Travel*Press} + 0.0096 \text{ Travel*AMP} + 0.0081 \\
 & \text{Time*Press} + 0.00052 \text{ Time*AMP} + 0.000127 \text{ Press*AMP} - 0.0284 \\
 & \text{Travel*Time*Press} - 0.0084 \text{ Travel*Time*AMP} - 0.000414 \text{ Travel*Press*AMP} - \\
 & 0.000144 \text{ Time*Press*AMP} + 0.00049 \text{ Travel*Time*Press*AMP} \quad (\text{จ.4})
 \end{aligned}$$

ตารางที่ จ.8 Model Summary การทดลองครั้งที่ 1 โมเดล A

| S         | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> (adj) | R <sup>2</sup> (pred) |
|-----------|----------------|----------------------|-----------------------|
| POS1      |                |                      |                       |
| 0.0113976 | 99.44%         | 98.92%               | 97.78%                |
| POS2      |                |                      |                       |
| 0.0118031 | 99.39%         | 98.83%               | 97.58%                |
| POS3      |                |                      |                       |
| 0.0135    | 99.21%         | 98.47%               | 96.84%                |
| POS4      |                |                      |                       |
| 0.0128209 | 99.29%         | 98.63%               | 97.16%                |

จากตารางที่ จ.8 ใช้ค่า R<sup>2</sup> adjust แทนค่า R<sup>2</sup> เพื่อการตัดสินใจว่าความแปรปรวนของค่าปัจจัยที่นำเข้าสู่สามารถอธิบายถึงค่าตอบสนองหรือสมการมีความเหมาะสมมากเท่าใด

ปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย (Travel, Time, Press, AMP) สามารถอธิบายถึงความแปรผันต่อ POS1: 98.92%, POS2: 98.83%, POS3: 98.47% และ POS4: 98.63% และความสามารถในการพยากรณ์ของสมการ (จ.1-จ.4) POS1: 97.78%, POS2: 97.58%, POS3: 96.84% และ POS4: 97.16%

สรุปได้ว่า ค่าปัจจัยที่นำเข้าสู่สามารถอธิบายถึงค่าตอบสนองได้ดี หรือสมการมีความเหมาะสม

และสมการจากการวิเคราะห์ของโมเดล B ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{POS1} = & 9.388 + 2.566 \text{ Travel} + 0.332 \text{ Time} + 0.02158 \text{ Press} + 0.02085 \text{ AMP} \\ & - 1.223 \text{ Travel*Time} - 0.04700 \text{ Travel*Press} - 0.04526 \text{ Travel*AMP} - 0.01005 \\ & \text{Time*Press} - 0.00479 \text{ Time*AMP} - 0.000470 \text{ Press*AMP} + 0.0357 \\ & \text{Travel*Time*Press} + 0.0180 \text{ Travel*Time*AMP} + 0.001095 \text{ Travel*Press*AMP} \\ & + 0.000153 \text{ Time*Press*AMP} - 0.000545 \text{ Travel*Time*Press*AMP} \end{aligned} \quad (\text{จ.5})$$

$$\begin{aligned} \text{POS2} = & 9.716 + 1.681 \text{ Travel} + 0.134 \text{ Time} + 0.01278 \text{ Press} + 0.01363 \text{ AMP} \\ & - 0.523 \text{ Travel*Time} - 0.0220 \text{ Travel*Press} - 0.02694 \text{ Travel*AMP} - 0.00433 \\ & \text{Time*Press} - 0.00115 \text{ Time*AMP} - 0.000275 \text{ Press*AMP} + 0.0145 \\ & \text{Travel*Time*Press} + 0.0058 \text{ Travel*Time*AMP} + 0.000580 \text{ Travel*Press*AMP} \\ & + 0.000039 \text{ Time*Press*AMP} - 0.000152 \text{ Travel*Time*Press*AMP} \end{aligned} \quad (\text{จ.6})$$

$$\begin{aligned} \text{POS3} = & 9.497 + 1.900 \text{ Travel} + 0.333 \text{ Time} + 0.01841 \text{ Press} + 0.01875 \text{ AMP} \\ & - 0.611 \text{ Travel*Time} - 0.02941 \text{ Travel*Press} - 0.03398 \text{ Travel*AMP} - 0.00861 \\ & \text{Time*Press} - 0.00452 \text{ Time*AMP} - 0.000415 \text{ Press*AMP} + 0.0168 \\ & \text{Travel*Time*Press} + 0.0081 \text{ Travel*Time*AMP} + 0.000808 \text{ Travel*Press*AMP} \\ & + 0.000127 \text{ Time*Press*AMP} - 0.000250 \text{ Travel*Time*Press*AMP} \end{aligned} \quad (\text{จ.7})$$

$$\begin{aligned} \text{POS4} = & 9.531 + 1.992 \text{ Travel} + 0.452 \text{ Time} + 0.01940 \text{ Press} + 0.01882 \text{ AMP} \\ & - 1.009 \text{ Travel*Time} - 0.0365 \text{ Travel*Press} - 0.03643 \text{ Travel*AMP} - 0.01348 \\ & \text{Time*Press} - 0.00817 \text{ Time*AMP} - 0.000438 \text{ Press*AMP} + 0.0311 \\ & \text{Travel*Time*Press} + 0.0177 \text{ Travel*Time*AMP} + 0.000929 \text{ Travel*Press*AMP} \\ & + 0.000230 \text{ Time*Press*AMP} - 0.000515 \text{ Travel*Time*Press*AMP} \end{aligned} \quad (\text{จ.8})$$



ตารางที่ จ.9 Model Summary การทดลองครั้งที่ 1 โมเดล B

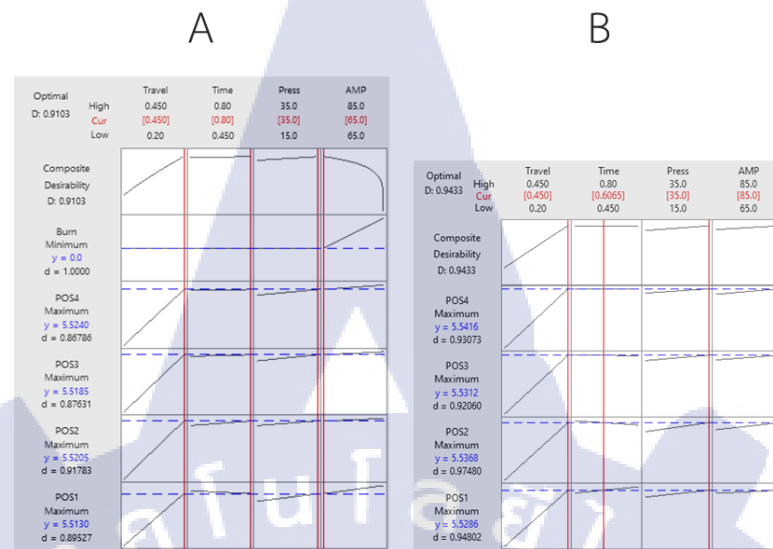
| S        | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> (adj) | R <sup>2</sup> (pred) |
|----------|----------------|----------------------|-----------------------|
| POS1     |                |                      |                       |
| 0.005684 | 99.66%         | 99.35%               | 98.65%                |
| POS2     |                |                      |                       |
| 0.008212 | 99.30%         | 98.64%               | 97.20%                |
| POS3     |                |                      |                       |
| 0.006469 | 99.57%         | 99.17%               | 98.29%                |
| POS4     |                |                      |                       |
| 0.008678 | 99.23%         | 98.50%               | 96.91%                |

จากตารางที่ จ.9 ใช้ค่าปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย (Travel, Time, Press, AMP) สามารถอธิบายถึงความแปรผันต่อ POS1: 99.35%, POS2: 98.64%, POS3: 99.17% และ POS4: 98.53% และความสามารถในการพยากรณ์ของสมการ (จ.5-จ.8) POS1: 98.65%, POS2: 97.20%, POS3: 98.29% และ POS4: 96.91%

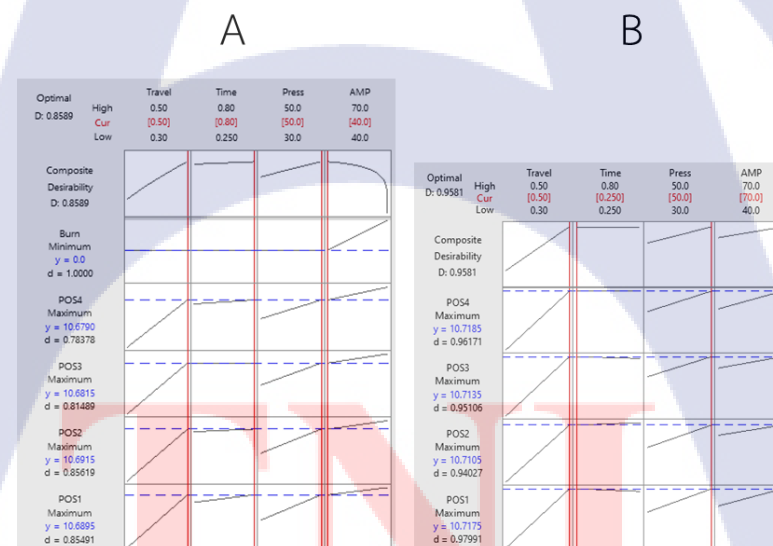
สรุปได้ว่า ค่าปัจจัยที่นำเข้าสามารถอธิบายถึงค่าตอบสนองได้ดี หรือสมการมีความเหมาะสม

#### จ.4 หาค่าปัจจัยที่เหมาะสม การทดลองครั้งที่ 1

นำผลที่เก็บบันทึกวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมด้วยการวิเคราะห์ Response Optimization ประกอบด้วยค่าปัจจัยหลัก (Main Effect) และ ปัจจัยร่วม (Interaction) เพื่อบ่งชี้ค่าปัจจัยระดับต่ำ สูง หรือการวิเคราะห์ ที่เหมาะสมมากกว่ากัน ซึ่งวิธีการตั้งค่าเพื่อเลือกระดับค่าปัจจัยที่เหมาะสม จะตั้งค่าตอบสนองความสูง โดยเป้าหมายเป็นค่าที่สูงที่สุดและค่าตอบสนองเชิงคุณภาพ Burn, Bari และ Crack โดยเป้าหมายเป็นค่าที่ต่ำที่สุด



รูปที่ จ.3 Optimal โมเดล A การทดลองครั้งที่ 1



รูปที่ จ.4 Optimal โมเดล B การทดลองครั้งที่ 1

พบว่าค่าปัจจัยที่ทำให้ค่าตอบสนองความสูงอยู่ในช่วงค่ามาตรฐาน แต่ส่งผลให้เกิดค่าตอบสนอง Burn ที่เป็นค่าตอบสนองเชิงคุณภาพซึ่งยอมรับไม่ได้ จึงนำไปสู่การทดลองครั้งที่ 2 เพื่อหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่ค่าตอบสนองความสูงอยู่ในช่วงมาตรฐานที่กำหนดไว้ และไม่เกิดค่าตอบสนองเชิงคุณภาพ ซึ่งการทดลองครั้งที่ 1 สามารถระบุค่าปัจจัยที่เหมาะสมของค่าปัจจัย Time จากการวิเคราะห์ห่ออิทธิพลข้างต้น ค่าปัจจัย Time ไม่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนอง Burn จึงเลือกค่าปัจจัย Time โมเดล A: 0.60 วินาที และโมเดล B: 0.25 วินาที ดังรูปที่ จ.3 (B) สำหรับโมเดล A และรูปที่ จ.4 (B) สำหรับโมเดล B เป็นค่าการวิเคราะห์ที่ทำให้มีค่าความสูงมากที่สุด จึงใช้ค่านี้เป็นค่าปรับตั้งเครื่อง Ultrasonic แล้วทำการทดลอง DOE ครั้ง 2 นำเข้าปัจจัยที่เหลืออีก 3 ปัจจัย (Travel, Press และ AMP)



TNI

ภาคผนวก ฉ.  
การทดลอง DOE ครั้งที่ 2

TNI

จากผลการวิเคราะห์การทดลองครั้งที่ 1 รายละเอียดการวิเคราะห์อ้างอิงได้ในภาคผนวก จ. ทำให้เหลือปัจจัยนำเข้า 3 ปัจจัยคือ 1. Travel 2. Press 3. AMP และเลือกค่าปัจจัย Time คือ โมเดล A: 0.6 วินาที และ โมเดล B: 0.25 วินาที ทำการทดสอบเพื่อกำหนดค่าระดับปัจจัยต่ำและสูง โดยเลือกค่าปัจจัยที่ไม่ทำให้เกิดค่าตอบสนอง Crack เนื่องจากค่าปัจจัยนั้นทำให้เกิดค่าตอบสนอง Crack ค่าปัจจัยนั้นจะส่งผลให้ค่าตอบสนอง Burn หรือเศษ Bari รวมด้วย

#### 1. การทดสอบโมเดล A

1. ทดสอบเปลี่ยนค่าปัจจัย Travel และค่าปัจจัย Press 35%, AMP 65% และ Time 0.6 วินาที พบว่าเกิดค่าตอบสนอง Crack เมื่อมีค่าปัจจัย Travel เกิน 0.50 mm

2. ทดสอบเปลี่ยนค่าปัจจัย Press และค่าปัจจัย Travel 0.45 mm, AMP 65% และ Time 0.6 วินาที พบว่าเกิดค่าตอบสนอง Crack เมื่อมีค่าปัจจัย Press เกิน 40%

#### 2. การทดสอบโมเดล B

1. ทดสอบเปลี่ยนค่าปัจจัย Travel และค่าปัจจัย Press 50%, AMP 40% และ Time 0.25 วินาที พบว่าเกิดค่าตอบสนอง Crack เมื่อมีค่าปัจจัย Travel เกิน 0.55 mm

2. ทดสอบเปลี่ยนค่าปัจจัย Press และค่าปัจจัย Travel 0.50 mm, AMP 40% และ Time 0.25 วินาที พบว่าเกิดค่าตอบสนอง Crack เมื่อมีค่าปัจจัย Press เกิน 60%

จากผลการทดสอบกำหนดระดับค่าปัจจัย ดังตารางที่ ฉ.1 แล้วออกแบบการทดลอง และรวบรวมข้อมูลการทดลองครั้งที่ 2 ดังตารางที่ ฉ.2 สำหรับโมเดล A และตารางที่ ฉ.3 สำหรับโมเดล B และวิธีดำเนินการทดลอง DOE รายละเอียดอ้างอิงได้ใน ภาคผนวก จ.

ตารางที่ ฉ.1 ค่าระดับปัจจัยนำเข้าของการทดลองครั้งที่ 2

| ปัจจัย  | Melt. Trvl. (mm.) |      | Holding Time (sec.) | OSC. Start Press % |     | Amplitude (%) |     |
|---------|-------------------|------|---------------------|--------------------|-----|---------------|-----|
|         | ต่ำ               | สูง  | วิเคราะห์แล้ว       | ต่ำ                | สูง | ต่ำ           | สูง |
| โมเดล A | 0.45              | 0.50 | 0.6                 | 35                 | 40  | 70            | 80  |
| โมเดล B | 0.50              | 0.55 | 0.25                | 50                 | 60  | 50            | 65  |

ตารางที่ ฉ.2 ผลของการการทดลองครั้งที่ 2 โมเดล A

| ค่าปัจจัยนำเข้า |       |     | ผลลัพธ์ค่าตอบสนอง |       |       |       |      |      |       |
|-----------------|-------|-----|-------------------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| Travel          | Press | AMP | POS1              | POS2  | POS3  | POS4  | Burn | Bari | Crack |
| 0.45            | 35    | 80  | 5.539             | 5.535 | 5.532 | 5.534 | 1    | 1    | 0     |
| 0.45            | 40    | 80  | 5.541             | 5.544 | 5.541 | 5.544 | 1    | 0    | 0     |
| 0.45            | 40    | 70  | 5.544             | 5.542 | 5.539 | 5.546 | 0    | 1    | 0     |
| 0.5             | 35    | 80  | 5.563             | 5.562 | 5.566 | 5.561 | 1    | 0    | 0     |
| 0.45            | 35    | 70  | 5.534             | 5.538 | 5.534 | 5.531 | 0    | 0    | 0     |
| 0.45            | 40    | 80  | 5.541             | 5.546 | 5.544 | 5.542 | 1    | 1    | 0     |
| 0.5             | 40    | 70  | 5.569             | 5.571 | 5.565 | 5.566 | 1    | 1    | 0     |
| 0.45            | 35    | 80  | 5.531             | 5.533 | 5.537 | 5.534 | 0    | 1    | 0     |
| 0.5             | 35    | 70  | 5.561             | 5.56  | 5.56  | 5.562 | 0    | 1    | 0     |
| 0.5             | 35    | 80  | 5.559             | 5.565 | 5.561 | 5.561 | 1    | 1    | 0     |
| 0.45            | 35    | 70  | 5.537             | 5.534 | 5.533 | 5.53  | 0    | 0    | 0     |
| 0.5             | 40    | 80  | 5.573             | 5.57  | 5.569 | 5.572 | 1    | 1    | 0     |
| 0.5             | 40    | 70  | 5.57              | 5.564 | 5.565 | 5.569 | 1    | 1    | 0     |
| 0.45            | 40    | 70  | 5.548             | 5.542 | 5.544 | 5.541 | 0    | 1    | 0     |
| 0.5             | 40    | 80  | 5.567             | 5.572 | 5.569 | 5.57  | 1    | 1    | 0     |
| 0.5             | 35    | 70  | 5.565             | 5.562 | 5.564 | 5.565 | 0    | 1    | 0     |

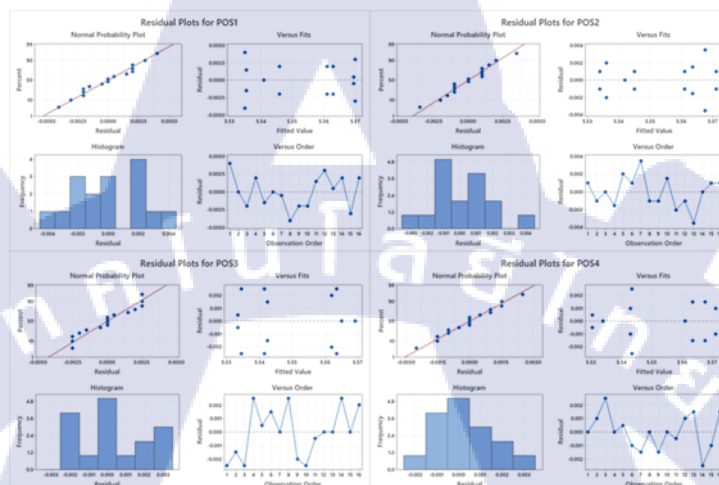
ตารางที่ ๓.3 ผลของการทดลองครั้งที่ 2 โมเดล B

| ค่าปัจจัยนำเข้า |       |     | ผลลัพธ์ค่าตอบสนอง |        |        |        |      |      |       |
|-----------------|-------|-----|-------------------|--------|--------|--------|------|------|-------|
| Travel          | Press | AMP | POS1              | POS2   | POS3   | POS4   | Burn | Bari | Crack |
| 0.5             | 50    | 50  | 10.683            | 10.685 | 10.682 | 10.689 | 0    | 0    | 0     |
| 0.5             | 60    | 65  | 10.692            | 10.688 | 10.693 | 10.698 | 1    | 1    | 0     |
| 0.5             | 60    | 50  | 10.696            | 10.692 | 10.691 | 10.699 | 0    | 0    | 0     |
| 0.55            | 60    | 50  | 10.724            | 10.711 | 10.735 | 10.733 | 0    | 1    | 0     |
| 0.55            | 50    | 65  | 10.722            | 10.733 | 10.728 | 10.722 | 1    | 0    | 0     |
| 0.55            | 60    | 50  | 10.726            | 10.731 | 10.729 | 10.733 | 0    | 1    | 0     |
| 0.5             | 60    | 65  | 10.694            | 10.692 | 10.691 | 10.695 | 1    | 1    | 0     |
| 0.5             | 60    | 50  | 10.683            | 10.688 | 10.679 | 10.682 | 0    | 1    | 0     |
| 0.55            | 60    | 65  | 10.731            | 10.739 | 10.737 | 10.735 | 1    | 1    | 0     |
| 0.5             | 50    | 65  | 10.685            | 10.681 | 10.683 | 10.685 | 0    | 1    | 0     |
| 0.55            | 50    | 50  | 10.723            | 10.719 | 10.721 | 10.723 | 1    | 1    | 0     |
| 0.55            | 60    | 65  | 10.731            | 10.728 | 10.733 | 10.73  | 1    | 1    | 0     |
| 0.5             | 50    | 50  | 10.681            | 10.684 | 10.682 | 10.681 | 0    | 0    | 0     |
| 0.55            | 50    | 65  | 10.728            | 10.727 | 10.725 | 10.726 | 1    | 0    | 0     |
| 0.55            | 50    | 50  | 10.72             | 10.719 | 10.725 | 10.722 | 1    | 0    | 0     |
| 0.5             | 50    | 65  | 10.683            | 10.688 | 10.681 | 10.685 | 1    | 0    | 0     |

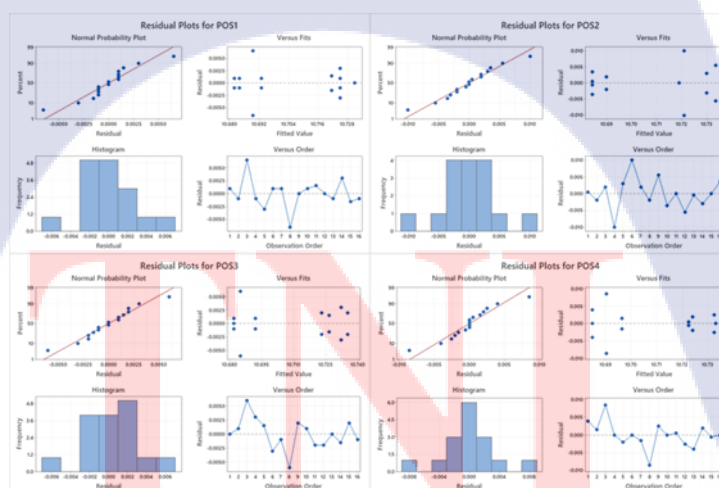


### ฉ.1 วิเคราะห์ลักษณะของข้อมูลการทดลองครั้งที่ 2

ดังนั้น ได้ดำเนินการวิเคราะห์ลักษณะของข้อมูล จากข้อมูลผลการทดลองครั้งที่ 2 สามารถรวบรวมผลได้ ดังรูปที่ ฉ.1 สำหรับโมเดล A และรูปที่ ฉ.2 สำหรับโมเดล B ส่วนรายละเอียดวิธีการและขั้นตอน อ้างอิงได้ใน ภาคผนวก จ.1 เนื่องจากมีวิธีการและขั้นตอนคล้ายกัน



รูปที่ ฉ.1 กราฟคุณสมบัติของข้อมูลการทดลองครั้งที่ 2 โมเดล A



รูปที่ ฉ.2 กราฟคุณสมบัติของข้อมูลการทดลองครั้งที่ 2 โมเดล B

สรุปได้ว่าข้อมูลจากการเก็บบันทึกในแต่ละการทดลองข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ เพียงพอต่อการทดลอง มีความเสถียร และมีอิสระต่อกัน ดังรูปที่ ฉ.1 และรูปที่ ฉ.2

## ฉ.2 วิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนองการทดลองครั้งที่ 2

ดำเนินการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนอง จากข้อมูลผลการทดลองครั้งที่ 2 สามารถรวบรวมผลได้ ดังตารางที่ ฉ.4-5 สำหรับโมเดล A และตารางที่ ฉ.6-7 สำหรับโมเดล B ส่วนรายละเอียดวิธีการและขั้นตอน อ้างอิงได้ในภาคผนวก จ.2 เนื่องจากมีวิธีการและขั้นตอนคล้ายกัน

ตารางที่ ฉ.4 ค่า Coded Coefficients การทดลองครั้งที่ 2 โมเดล A

| ค่าตอบสนอง       | POS1    | POS2    | POS3    | POS4    | Burn    | Bari    |
|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                  | P-Value | P-Value | P-Value | P-Value | P-Value | P-Value |
| Travel           | 0       | 0       | 0       | 0       | 0.017   | 0.195   |
| Press            | 0.001   | 0       | 0.001   | 0       | 0.017   | 0.195   |
| AMP              | 0.298   | 0.178   | 0.174   | 0.299   | 0.001   | 1       |
| Travel*Press     | 0.878   | 0.545   | 0.174   | 0.057   | 0.347   | 1       |
| Travel*AMP       | 0.542   | 0.323   | 0.506   | 0.594   | 0.347   | 0.195   |
| Press*AMP        | 0.758   | 0.242   | 0.632   | 0.594   | 0.347   | 0.195   |
| Travel*Press*AMP | 0.298   | 0.424   | 0.632   | 0.024   | 0.017   | 0.022   |

ตารางที่ ฉ.5 สรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนองการทดลองครั้งที่ 2 โมเดล A

| ค่าตอบสนอง | P-Value < 0.05     |                          |                    |                    |
|------------|--------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|
|            | One Way            | 2-Way Interactions       | 3-Way Interactions | 4-Way Interactions |
| POS1       | Travel, Press      | -                        | -                  | -                  |
| POS2       | Travel, Press      | -                        | -                  | -                  |
| POS3       | Travel, Press      | -                        | -                  | -                  |
| POS4       | Travel, Press      | -                        | Travel*Press*AMP   | -                  |
| Burn       | Travel, Press, AMP | Travel*Press, Travel*AMP | -                  | -                  |
| Bari       | -                  | -                        | Travel*Press*AMP   | -                  |

ตารางที่ ๑.6 ค่า Coded Coefficients การทดลองครั้งที่ 2 โมเดล B

| ค่าตอบสนอง       | POS1    | POS2    | POS3    | POS4    | Burn    | Bari    |
|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                  | P-Value | P-Value | P-Value | P-Value | P-Value | P-Value |
| Constant         | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0.001   |
| Travel           | 0       | 0       | 0       | 0       | 0.017   | 0.58    |
| Press            | 0.009   | 0.228   | 0.004   | 0.007   | 0.347   | 0.02    |
| AMP              | 0.083   | 0.1     | 0.112   | 0.506   | 0.001   | 0.58    |
| Travel*Press     | 0.383   | 0.675   | 0.568   | 0.847   | 0.017   | 0.58    |
| Travel*AMP       | 0.612   | 0.1     | 0.949   | 0.632   | 0.347   | 0.122   |
| Press*AMP        | 0.612   | 0.908   | 0.415   | 0.701   | 0.017   | 0.58    |
| Travel*Press*AMP | 0.898   | 0.908   | 0.351   | 0.449   | 0.347   | 0.58    |

ตารางที่ ๑.7 สรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนองการทดลองครั้งที่ 2 โมเดล B

| ค่าตอบสนอง | P-Value < 0.05     |                          |                    |                    |
|------------|--------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|
|            | One Way            | 2-Way Interactions       | 3-Way Interactions | 4-Way Interactions |
| POS1       | Travel, Press      | -                        | -                  | -                  |
| POS2       | Travel             | -                        | -                  | -                  |
| POS3       | Travel, Press      | -                        | -                  | -                  |
| POS4       | Travel, Press      | -                        | -                  | -                  |
| Burn       | Travel, Press, AMP | Travel*Press, Travel*AMP | -                  | -                  |
| Bari       | Travel             | -                        | -                  | -                  |

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยกับค่าตอบสนอง ดังตารางที่ ๑.4 และตารางที่ ๑.5 สำหรับโมเดล A พบว่าทั้ง 3 ปัจจัยที่นำเข้าการทดลอง (Travel, Press, AMP) ปัจจัย Travel, Press และ AMP มีผลต่อค่าตอบสนองความสูง Burn และ Bari และตารางที่ ๑.6 และตารางที่ ๑.7 สำหรับโมเดล B พบว่าปัจจัย Travel และ Press มีผลต่อค่าตอบสนองความสูง ปัจจัย Travel, Press และ AMP และปัจจัย Travel มีผลต่อค่าตอบสนอง Bari จากการทดลองครั้งที่ 2 จึงไม่สามารถตัดปัจจัยใดออกได้ จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมทุกปัจจัย

### ฉ.3 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าตอบสนอง การทดลองครั้งที่ 2

ดำเนินการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าตอบสนอง จากข้อมูลผลการทดลองครั้งที่ 2 สามารถรวบรวมผลได้ ดังตารางที่ ฉ.8 สำหรับโมเดล A และตารางที่ ฉ.9 สำหรับโมเดล B ส่วนรายละเอียดวิธีการและขั้นตอน อ้างอิงได้ในภาคผนวก จ.3 เนื่องจากมีวิธีการและขั้นตอนคล้ายกัน โดยการทดลองมีการนำค่าปัจจัยเข้าสู่อการทดลอง 3 ปัจจัย คือ Travel, Press และ AMP ได้สมการจากการวิเคราะห์โมเดล A ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{POS1} = & 1.56 + 8.18 \text{ Travel} + 0.1038 \text{ Press} + 0.0485 \text{ AMP} - 0.212 \\ & \text{Travel*Press} - 0.1010 \text{ Travel*AMP} - 0.00135 \text{ Press*AMP} + 0.00280 \\ & \text{Travel*Press*AMP} \end{aligned} \quad (\text{ฉ.1})$$

$$\begin{aligned} \text{POS2} = & 7.61 - 4.12 \text{ Travel} - 0.0571 \text{ Press} - 0.0329 \text{ AMP} + 0.114 \text{ Travel*Press} \\ & + 0.0650 \text{ Travel*AMP} + 0.000820 \text{ Press*AMP} - 0.00160 \text{ Travel*Press*AMP} \end{aligned} \quad (\text{ฉ.2})$$

$$\begin{aligned} \text{POS3} = & 3.83 + 3.65 \text{ Travel} + 0.0421 \text{ Press} + 0.0154 \text{ AMP} - 0.090 \text{ Travel*Press} \\ & - 0.0340 \text{ Travel*AMP} - 0.000450 \text{ Press*AMP} + 0.00100 \text{ Travel*Press*AMP} \end{aligned} \quad (\text{ฉ.3})$$

$$\begin{aligned} \text{POS4} = & -0.43 + 12.56 \text{ Travel} + 0.1504 \text{ Press} + 0.0716 \text{ AMP} - \\ & 0.316 \text{ Travel*Press} - 0.1520 \text{ Travel*AMP} - 0.001880 \text{ Press*AMP} + 0.00400 \\ & \text{Travel*Press*AMP} \end{aligned} \quad (\text{ฉ.4})$$

ตารางที่ ๘.8 Model Summary การทดลองครั้งที่ 2 โมเดล A

| S         | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> (adj) | R <sup>2</sup> (pred) |
|-----------|----------------|----------------------|-----------------------|
| POS1      |                |                      |                       |
| 0.0031425 | 97.51%         | 95.33%               | 90.04%                |
| POS2      |                |                      |                       |
| 0.0023717 | 98.56%         | 97.30%               | 94.25%                |
| POS3      |                |                      |                       |
| 0.0025125 | 98.38%         | 96.97%               | 93.53%                |
| POS4      |                |                      |                       |
| 0.0018028 | 99.26%         | 98.62%               | 97.06%                |

จากตารางที่ ๘.8 ค่าปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย (Travel, Press, AMP) สามารถอธิบายถึงความแปรผันต่อ POS1: 95.33%, POS2: 97.30%, POS3: 96.97% และ POS4: 98.62% และความสามารถในการพยากรณ์ของสมการ (๘.1-๘.4) POS1: 90.04%, POS2: 94.25%, POS3: 93.53% และ POS4: 97.06%

สรุปได้ว่าปัจจัยค่าปัจจัยที่นำเข้าสามารถอธิบายถึงค่าตอบสนองได้ดีหรือสมการมีความเหมาะสม

และสมการจากการวิเคราะห์ของโมเดล B ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{POS1} = & 9.95 + 1.42 \text{ Travel} + 0.0076 \text{ Press} + 0.0020 \text{ AMP} - \\ & 0.0147 \text{ Travel*Press} - 0.0047 \text{ Travel*AMP} - 0.000057 \text{ Press*AMP} + 0.00013 \\ & \text{Travel*Press*AMP} \end{aligned} \quad (๘.5)$$

$$\begin{aligned} \text{POS2} = & 10.25 + 0.81 \text{ Travel} + 0.0091 \text{ Press} - 0.0023 \text{ AMP} - \\ & 0.0170 \text{ Travel*Press} + 0.0047 \text{ Travel*AMP} - 0.000100 \text{ Press*AMP} + 0.00020 \\ & \text{Travel*Press*AMP} \end{aligned} \quad (๘.6)$$

$$\begin{aligned} \text{POS3} = & 12.04 - 2.51 \text{ Travel} - 0.0330 \text{ Press} - 0.0297 \text{ AMP} + \\ & 0.0620 \text{ Travel*Press} + 0.0547 \text{ Travel*AMP} + 0.000547 \text{ Press*AMP} - 0.00100 \\ & \text{Travel*Press*AMP} \end{aligned} \quad (๘.7)$$

$$\begin{aligned}
 \text{POS4} = & 12.02 - 2.52 \text{ Travel} - 0.0331 \text{ Press} - 0.0297 \text{ AMP} + 0.0633 \\
 & \text{Travel*Press} + 0.0553 \text{ Travel*AMP} + 0.000573 \text{ Press*AMP} - 0.00107 \\
 & \text{Travel*Press*AMP}
 \end{aligned}
 \quad (\text{ฉ.8})$$

ตารางที่ ฉ.9 Model Summary การทดลองครั้งที่ 2 โมเดล B

| S        | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> (adj) | R <sup>2</sup> (pred) |
|----------|----------------|----------------------|-----------------------|
| POS1     |                |                      |                       |
| 0.003791 | 98.17%         | 96.57%               | 92.69%                |
| POS2     |                |                      |                       |
| 0.00632  | 95.19%         | 90.98%               | 80.75%                |
| POS3     |                |                      |                       |
| 0.003783 | 98.59%         | 97.36%               | 94.36%                |
| POS4     |                |                      |                       |
| 0.005025 | 96.93%         | 94.24%               | 87.70%                |

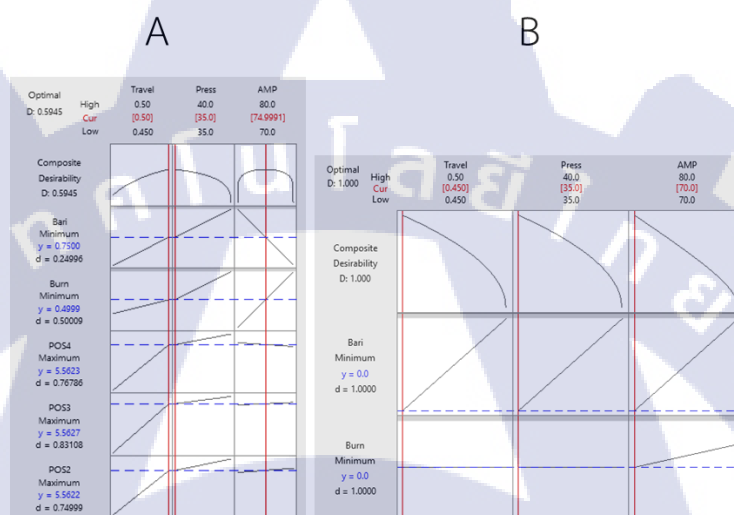
จากตารางที่ ฉ.9 ใช้ค่าปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย (Travel, Press, AMP) สามารถอธิบายถึงความแปรผันต่อ POS1: 96.57%, POS2: 90.98%, POS3: 97.36% และ POS4: 94.24% และความสามารถในการพยากรณ์ของสมการ (ฉ.5-ฉ.8) POS1: 92.69%, POS2: 80.75%, POS3: 94.36% และ POS4: 87.70%

สรุปได้ว่าปัจจัยค่าปัจจัยที่นำเข้าสามารถอธิบายถึงค่าตอบสนองได้ดี หรือสมการมีความเหมาะสม

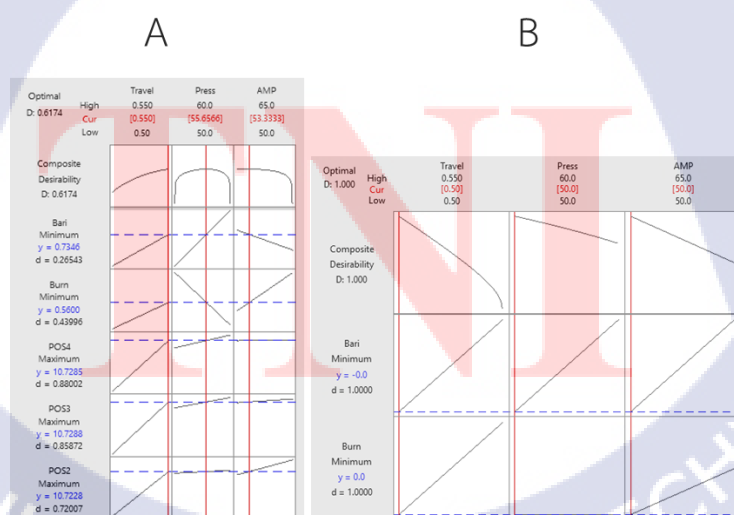
TNI

#### ฉ.4 หาค่าปัจจัยที่เหมาะสม การทดลองครั้งที่ 2

นำผลที่เก็บบันทึกวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมด้วยการวิเคราะห์ Response Optimization จากข้อมูลผลการทดลองครั้งที่ 2 สามารถรวบรวมผลได้ ดังรูปที่ ฉ.3 สำหรับโมเดล A และรูปที่ ฉ.4 สำหรับโมเดล B ส่วนรายละเอียดวิธีการและขั้นตอน อ้างอิงได้ใน ภาคผนวก จ.4 เนื่องจากมีวิธีการและขั้นตอนคล้ายกัน



รูปที่ ฉ.3 Optimal โมเดล A การทดลองครั้งที่ 2



รูปที่ ฉ.4 Optimal โมเดล B การทดลองครั้งที่ 2



การทดลองครั้งที่ 2 จากการวิเคราะห์ด้วย DOE ได้ผล Response Optimization ดังรูปที่ ฅ.3 สำหรับ โมเดล A ค้นพบว่าค่าปัจจัยคือ Travel: 0.45 mm และ 0.50 mm, Press: 35%, AMP: 70% และ 75% และรูปที่ ฅ.4 สำหรับ Frame B ค้นพบว่าค่าปัจจัยคือ Travel: 0.50 mm และ 0.55 mm, Press: 50% และ 55%, AMP: 50% และ 53% เป็นค่าปัจจัยที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่อง Ultrasonic

แต่จากผลการทดลองจากตารางที่ ฅ.2 สำหรับโมเดล A ค่าปัจจัย Travel: 0.50, Press: 35%, AMP: 70% เกิดค่าตอบสนอง Burn และตารางที่ ฅ.3 สำหรับโมเดล B ค่าปัจจัย Travel: 0.55, Press: 50%, AMP: 50% เกิดค่าตอบสนอง Bari จึงเลือกค่าปัจจัย Travel โมเดล A: 0.50 mm และ โมเดล B: 0.55 mm แล้วทำการทดลองครั้งที่ 3 เพื่อเลือกค่าปัจจัยที่เหมาะสม



TNI

ภาคผนวก ข.  
การทดลอง DOE ครั้งที่ 3

TNI

จากผลการวิเคราะห์การทดลองครั้งที่ 2 รายละเอียดการวิเคราะห์อ้างอิงได้ในภาคผนวก ฉ. ทำให้ได้ปัจจัยที่เหมาะสม ดังตารางที่ ข.1 ของโมเดล A ได้ค่าปัจจัย AMP 70% และ 75% ทำการรวบรวมจากการทดลองครั้งที่ 3 นี้ทำการทดลองโดยเก็บผลทดลอง 5 ชิ้นงานในแต่ละค่าปัจจัย ดังตารางที่ ข.2 และตารางที่ ข.3 ตามลำดับ และโมเดล B ได้ค่าปัจจัย Press 50% และ 55%, AMP 50% และ 53% ดังตารางที่ ข.1 รวบรวมผลจากการทดลอง DOE ดังตารางที่ ข.4 โดยนำเข้า 2 ปัจจัย (Press และ AMP)

ตารางที่ ข.1 ค่าระดับปัจจัยนำเข้าของการทดลองครั้งที่ 3

| ปัจจัย  | Melt. Trvl. (mm.) | Holding Time (sec.) | OSC. Start Press % |     | Amplitude (%) |     |
|---------|-------------------|---------------------|--------------------|-----|---------------|-----|
|         | วิเคราะห์แล้ว     | วิเคราะห์แล้ว       | ต่ำ                | สูง | ต่ำ           | สูง |
| โมเดล A | 0.45              | 0.6                 | 35                 |     | 70            | 75  |
| โมเดล B | 0.50              | 0.25                | 50                 | 55  | 50            | 53  |

ตารางที่ ข.2 ผลของการทดลองครั้งที่ 3 โมเดล A (AMP 70%)

| No. | AMP 70% |       |       |       |                      |
|-----|---------|-------|-------|-------|----------------------|
|     | POS1    | POS2  | POS3  | POS4  | Burn, Bari และ Crack |
| 1   | 5.533   | 5.537 | 5.535 | 5.540 | -                    |
| 2   | 5.539   | 5.541 | 5.542 | 5.538 | -                    |
| 3   | 5.535   | 5.531 | 5.537 | 5.541 | -                    |
| 4   | 5.542   | 5.538 | 5.54  | 5.537 | -                    |
| 5   | 5.539   | 5.538 | 5.541 | 5.539 | -                    |

ตารางที่ ข.3 ผลของการทดลองครั้งที่ 3 โมเดล A (AMP 75%)

| No. | AMP 75% |       |       |       |                      |
|-----|---------|-------|-------|-------|----------------------|
|     | POS1    | POS2  | POS3  | POS4  | Burn, Bari และ Crack |
| 1   | 5.544   | 5.539 | 5.542 | 5.541 | -                    |
| 2   | 5.535   | 5.533 | 5.545 | 5.542 | -                    |
| 3   | 5.539   | 5.537 | 5.541 | 5.539 | -                    |
| 4   | 5.541   | 5.539 | 5.537 | 5.542 | -                    |
| 5   | 5.540   | 5.535 | 5.541 | 5.540 | -                    |

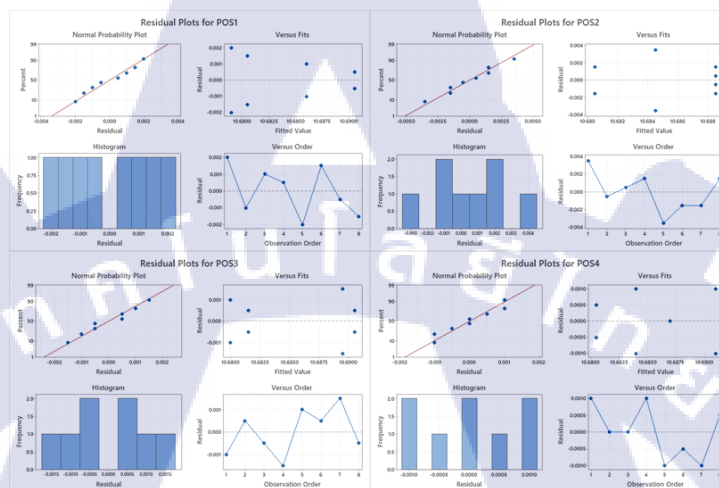
การทดลองครั้งที่ 3 ของโมเดล A เพื่อเลือกค่าปัจจัย AMP ที่เหมาะสมมากขึ้น ค้นพบว่าค่าปัจจัย AMP 75% เป็นค่าปัจจัยที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่อง Ultrasonic เพราะมีค่าตอบสนองความสูงมีค่าใกล้เคียงค่ากลางของมาตรฐานที่กำหนดไว้มากกว่า (5.45-5.65 mm) และไม่มีค่าตอบสนองเชิงคุณภาพ (ไม่มีงานเสีย)

ตารางที่ ข.4 ผลของการทดลองครั้งที่ 3 โมเดล B

| ค่าปัจจัยนำเข้า |     | ผลลัพธ์ค่าตอบสนอง |        |        |        |      |      |       |
|-----------------|-----|-------------------|--------|--------|--------|------|------|-------|
| Press           | AMP | POS1              | POS2   | POS3   | POS4   | Burn | Bari | Crack |
| 50              | 53  | 10.681            | 10.688 | 10.679 | 10.685 | 0    | 0    | 0     |
| 55              | 50  | 10.685            | 10.688 | 10.691 | 10.687 | 0    | 1    | 0     |
| 55              | 50  | 10.687            | 10.689 | 10.69  | 10.687 | 0    | 0    | 0     |
| 55              | 53  | 10.691            | 10.69  | 10.688 | 10.692 | 0    | 1    | 0     |
| 50              | 53  | 10.677            | 10.681 | 10.681 | 10.683 | 0    | 0    | 0     |
| 50              | 50  | 10.682            | 10.679 | 10.682 | 10.68  | 0    | 0    | 0     |
| 55              | 53  | 10.69             | 10.687 | 10.691 | 10.69  | 0    | 1    | 0     |
| 50              | 50  | 10.679            | 10.682 | 10.681 | 10.681 | 0    | 0    | 0     |

### ข.1 วิเคราะห์ลักษณะของข้อมูลการทดลองครั้งที่ 3

ได้ดำเนินการวิเคราะห์ลักษณะของข้อมูล จากข้อมูลผลการทดลองครั้งที่ 3 สามารถรวบรวมผลได้ ดังรูปที่ ข.1 สำหรับโมเดล B ส่วนรายละเอียดวิธีการและขั้นตอน อ้างอิงได้ในภาคผนวก จ.1 เนื่องจากมีวิธีการและขั้นตอนคล้ายกัน



รูปที่ ข.1 กราฟคุณสมบัติของข้อมูลการทดลองครั้งที่ 3 โมเดล B

กราฟ Histogram มีรูปร่างไม่คล้ายระฆังคว่ำ เนื่องจากแบบการทดลองน้อย และค่าปัจจัยใกล้เคียงกัน แต่กราฟ Normal Probability Plot มีความเป็นเส้นตรงเชิงบวกไม่มีความผิดปกติ กราฟ Versus Fits การกระจายตัวแบบสุ่ม และกราฟ Versus Order มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ดังรูปที่ ข.1 จึงสรุปได้ว่าข้อมูลจากการเก็บบันทึกในแต่ละการทดลองข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ มีความเสถียร และมีอิสระต่อกัน

## ข.2 วิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนองการทดลองครั้งที่ 3

ดำเนินการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนอง จากข้อมูลผลการทดลองครั้งที่ 3 สามารถรวบรวมผลได้ ดังตารางที่ ข.5-6 สำหรับโมเดล B ส่วนรายละเอียดวิธีการและขั้นตอน อ้างอิงได้ใน ภาคผนวก จ.2 เนื่องจากมีวิธีการและขั้นตอนคล้ายกัน

ตารางที่ ข.5 ค่า Coded Coefficients การทดลองครั้งที่ 3 โมเดล B

| ค่าตอบสนอง | POS1    | POS2    | POS3    | POS4    | Bari    |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|            | P-Value | P-Value | P-Value | P-Value | P-Value |
| Press      | 0.003   | 0.044   | 0.001   | 0.001   | 0.04    |
| AMP        | 0.335   | 0.387   | 0.266   | 0.007   | 0.374   |
| Press*AMP  | 0.094   | 0.387   | 0.809   | 0.756   | 0.374   |

ตารางที่ ข.6 สรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนองการทดลองครั้งที่ 3 โมเดล B

| ค่าตอบสนอง | P-Value < 0.05 |                    |                    |                    |
|------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|            | One Way        | 2-Way Interactions | 3-Way Interactions | 4-Way Interactions |
| POS1       | Press          | -                  | -                  | -                  |
| POS2       | Press          | -                  | -                  | -                  |
| POS3       | Press          | -                  | -                  | -                  |
| POS4       | Press, AMP     | -                  | -                  | -                  |
| Burn       | -              | -                  | -                  | -                  |
| Bari       | Press          | -                  | -                  | -                  |

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยกับค่าตอบสนอง ดังตารางที่ ข.5 และตารางที่ ข.6 สำหรับโมเดล B พบว่าทั้ง 2 ปัจจัยที่นำเข้าการทดลอง (Press, AMP) มีผลต่อค่าตอบสนองความสูง และ Bari จากการทดลองครั้งที่ 3 จึงไม่สามารถตัดปัจจัยใดออกได้ จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมทุกปัจจัย

### ข.3 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าตอบสนอง การทดลองครั้งที่ 3

ดำเนินการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าตอบสนอง จากข้อมูลผลการทดลองครั้งที่ 3 สามารถรวบรวมผลได้ ดังตารางที่ ข.7-8 สำหรับโมเดล B ส่วนรายละเอียดวิธีการและขั้นตอน อ้างอิงได้ใน ภาคผนวก จ.3 เนื่องจากมีวิธีการและขั้นตอนคล้ายกัน โดยการทดลองมีการนำค่าปัจจัยเข้าสู่การทดลอง 2 ปัจจัย คือ Press และ AMP ได้ผลการจากการวิเคราะห์โมเดล B ดังนี้

$$\text{POS1} = 11.651 - 0.01890 \text{ Press} - 0.02050 \text{ AMP} + 0.000400 \text{ Press*AMP} \quad (\text{ข.1})$$

$$\text{POS2} = 9.867 + 0.0149 \text{ Press} + 0.0147 \text{ AMP} - 0.000267 \text{ Press*AMP} \quad (\text{ข.2})$$

$$\text{POS3} = 10.700 + 0.00013 \text{ Press} - 0.00217 \text{ AMP} + 0.000033 \text{ Press*AMP} \quad (\text{ข.3})$$

$$\text{POS4} = 10.640 - 0.00037 \text{ Press} - 0.00050 \text{ AMP} + 0.000033 \text{ Press*AMP} \quad (\text{ข.4})$$

ตารางที่ ข.7 Model Summary การทดลองครั้งที่ 3 โมเดล B

| S        | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> (adj) | R <sup>2</sup> (pred) |
|----------|----------------|----------------------|-----------------------|
| POS1     |                |                      |                       |
| 0.001937 | 91.76%         | 85.58%               | 67.03%                |
| POS2     |                |                      |                       |
| 0.002916 | 72.13%         | 51.23%               | 0.00%                 |
| POS3     |                |                      |                       |
| 0.001369 | 95.88%         | 92.78%               | 83.51%                |
| POS4     |                |                      |                       |
| 0.001061 | 96.37%         | 93.64%               | 85.47%                |

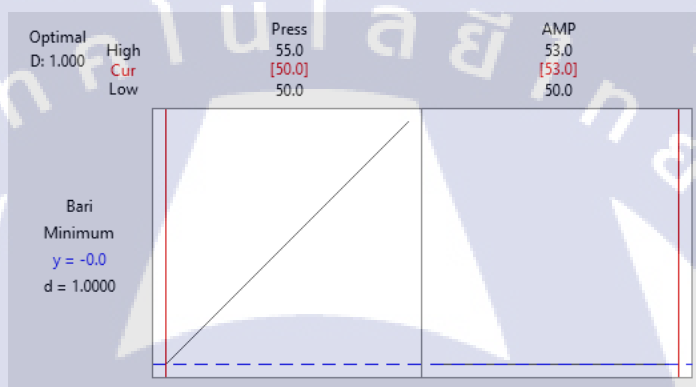
จากตารางที่ ข.7 ค่าปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัย (Press, AMP) สามารถอธิบายถึงความแปรผันต่อ POS1: 85.58%, POS2: 51.23%, POS3: 92.78% และ POS4: 93.64% และความสามารถในการพยากรณ์ของสมการ (ข.1-4) POS1: 67.03%, POS2: 0%, POS3: 83.51% และ POS4: 85.47%



สรุปได้ว่าปัจจัยค่าปัจจัยที่นำเข้าสามารถอธิบายถึงค่าตอบสนองได้ดี หรือสมการมีความเหมาะสม แต่ค่าตอบสนอง POS2 สามารถอธิบายได้ไม่ดีเท่าที่ควรและสมการไม่มีความเหมาะสม เนื่องจากแบบทดลองที่น้อย และค่าปัจจัยที่ใกล้เคียงกันมาก

#### ข.4 หาค่าปัจจัยที่เหมาะสม การทดลองครั้งที่ 3

นำผลที่เก็บบันทึกวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมด้วยการวิเคราะห์ Response Optimization จากข้อมูลผลการทดลองครั้งที่ 2 สามารถรวบรวมผลได้ ดังรูปที่ ข.3 สำหรับโมเดล B ส่วนรายละเอียดวิธีการและขั้นตอน อ้างอิงได้ใน ภาคผนวก จ.4 เนื่องจากมีวิธีการและขั้นตอนคล้ายกัน



รูปที่ ข.2 Optimal โมเดล B การทดลองครั้งที่ 3

การทดลองครั้งที่ 3 ของโมเดล B เพื่อเลือกค่าปัจจัย Press และ AMP ที่เหมาะสมมากขึ้น จากการวิเคราะห์ด้วย DOE ได้ผล Response Optimization ดังรูปที่ ข.2 ค้นพบว่าค่าปัจจัย Press: 50% และ AMP: 53% เป็นค่าปัจจัยที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่อง Ultrasonic เพราะไม่มีค่าตอบสนองเชิงคุณภาพ เมื่อได้ค่าปัจจัยที่เหมาะสมทั้งหมดแล้ว ทำการยืนยันผลการทดลองต่อไป

ภาคผนวก ซ.

ยืนยันผลการทดลอง DOE

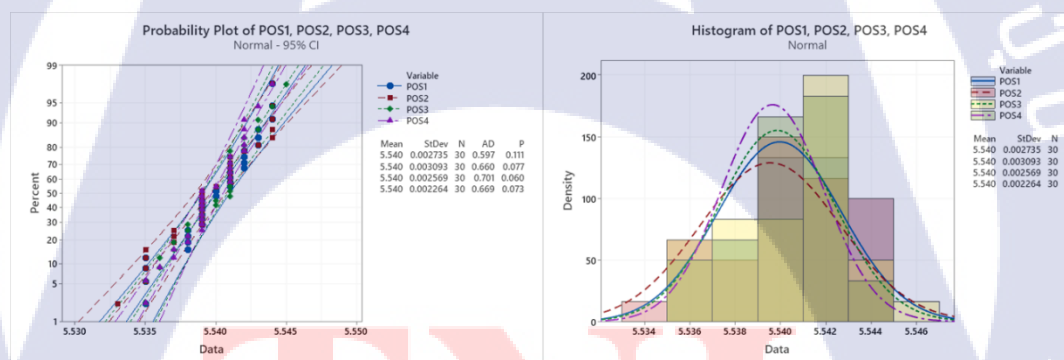
TNI

### ซ.1 ยืนยันผลการทดลอง DOE

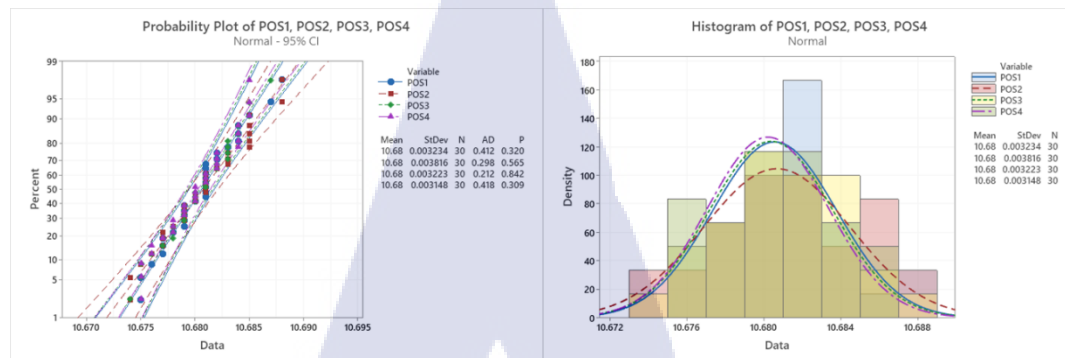
นำค่าปัจจัยที่เหมาะสมจากการทดลอง DOE ดังตารางที่ ซ.1 ทดสอบ 30 ครั้งเพื่อให้มีการแจกแจงแบบปกติ [1] ดังรูปที่ ซ.1 สำหรับโมเดล A และรูปที่ ซ.2 สำหรับโมเดล B ซึ่งการทดสอบครั้งนี้ต้องการยืนยันค่าปัจจัยที่วิเคราะห์จากการทดลอง DOE เป็นค่าที่เหมาะสมจริงหรือไม่ มีความสูงของชิ้นงานกำหนดช่วงค่ามาตรฐานไว้คือ โมเดล A: 5.45-5.65 mm และโมเดล B: 10.65-10.85 mm พบว่าค่าเฉลี่ยความสูงทั้ง 4 มุมของชิ้นงาน ดังตารางที่ ซ.1 สำหรับโมเดล A: 5.540 mm และตารางที่ ซ.2 โมเดล B: 10.681 mm ซึ่งอยู่ในช่วงค่ามาตรฐานที่กำหนด จึงสรุปว่าค่าปัจจัยที่ได้จากการทดลอง DOE เป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการปรับตั้งเครื่อง Ultrasonic

ตารางที่ ซ.1 ค่าปัจจัยที่เหมาะสมจากการทดลอง DOE

| ปัจจัย  | Melt. Trvl.<br>(mm.) | Holding Time<br>(sec.) | OSC. Start Press<br>(%) | Amplitude<br>(%) |
|---------|----------------------|------------------------|-------------------------|------------------|
| โมเดล A | 0.45                 | 0.6                    | 35                      | 75               |
| โมเดล B | 0.5                  | 0.25                   | 50                      | 53               |



รูปที่ ซ.1 Normal Distribution ค่าความสูงของชิ้นงาน โมเดล A



รูปที่ ข.2 Normal Distribution ค่าความสูงของชิ้นงาน โมเดล B

ตารางที่ ข.2 ผลการทดสอบค่าปัจจัยที่เหมาะสมโมเดล A

| โมเดล A |       |       |       |       |                   |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------------------|
| No.     | POS1  | POS2  | POS3  | POS4  | Burn, Bari, Crack |
| 1       | 5.544 | 5.539 | 5.542 | 5.541 | 0                 |
| 2       | 5.535 | 5.533 | 5.545 | 5.542 | 0                 |
| 3       | 5.539 | 5.537 | 5.541 | 5.539 | 0                 |
| 4       | 5.541 | 5.539 | 5.537 | 5.542 | 0                 |
| 5       | 5.54  | 5.535 | 5.541 | 5.54  | 0                 |
| 6       | 5.538 | 5.541 | 5.538 | 5.539 | 0                 |
| 7       | 5.542 | 5.535 | 5.539 | 5.537 | 0                 |
| 8       | 5.544 | 5.541 | 5.541 | 5.542 | 0                 |
| 9       | 5.535 | 5.537 | 5.535 | 5.539 | 0                 |
| 10      | 5.54  | 5.539 | 5.538 | 5.538 | 0                 |
| 11      | 5.535 | 5.537 | 5.535 | 5.538 | 0                 |
| 12      | 5.538 | 5.541 | 5.539 | 5.539 | 0                 |
| 13      | 5.539 | 5.544 | 5.541 | 5.541 | 0                 |
| 14      | 5.542 | 5.54  | 5.541 | 5.539 | 0                 |
| 15      | 5.543 | 5.544 | 5.539 | 5.541 | 0                 |
| 16      | 5.541 | 5.539 | 5.541 | 5.542 | 0                 |

ตารางที่ ข.2 ผลการทดสอบค่าปัจจัยที่เหมาะสมโมเดล A (ต่อ)

| โมเดล A |       |       |       |       |                   |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------------------|
| No.     | POS1  | POS2  | POS3  | POS4  | Burn, Bari, Crack |
| 16      | 5.541 | 5.539 | 5.541 | 5.542 | 0                 |
| 17      | 5.544 | 5.544 | 5.543 | 5.541 | 0                 |
| 18      | 5.539 | 5.535 | 5.536 | 5.535 | 0                 |
| 19      | 5.538 | 5.541 | 5.54  | 5.539 | 0                 |
| 20      | 5.539 | 5.542 | 5.541 | 5.541 | 0                 |
| 21      | 5.543 | 5.544 | 5.542 | 5.539 | 0                 |
| 22      | 5.539 | 5.541 | 5.541 | 5.537 | 0                 |
| 23      | 5.535 | 5.539 | 5.541 | 5.536 | 0                 |
| 24      | 5.541 | 5.539 | 5.538 | 5.539 | 0                 |
| 25      | 5.543 | 5.543 | 5.544 | 5.541 | 0                 |
| 26      | 5.539 | 5.544 | 5.543 | 5.542 | 0                 |
| 27      | 5.542 | 5.539 | 5.541 | 5.543 | 0                 |
| 28      | 5.538 | 5.535 | 5.536 | 5.535 | 0                 |
| 29      | 5.541 | 5.539 | 5.537 | 5.539 | 0                 |
| 30      | 5.542 | 5.541 | 5.54  | 5.544 | 0                 |

ตารางที่ ข.3 ผลการทดสอบค่าปัจจัยที่เหมาะสมโมเดล B

| โมเดล B |        |        |        |        |                   |
|---------|--------|--------|--------|--------|-------------------|
| No.     | POS1   | POS2   | POS3   | POS4   | Burn, Bari, Crack |
| 1       | 10.688 | 10.677 | 10.681 | 10.675 | 0                 |
| 2       | 10.677 | 10.676 | 10.68  | 10.675 | 0                 |
| 3       | 10.681 | 10.685 | 10.683 | 10.681 | 0                 |
| 4       | 10.679 | 10.681 | 10.676 | 10.679 | 0                 |
| 5       | 10.681 | 10.683 | 10.679 | 10.684 | 0                 |
| 6       | 10.681 | 10.681 | 10.685 | 10.684 | 0                 |

ตารางที่ ข.3 ผลการทดสอบค่าปัจจัยที่เหมาะสมโมเดล B (ต่อ)

| โมเดล B |        |        |        |        |                   |
|---------|--------|--------|--------|--------|-------------------|
| No.     | POS1   | POS2   | POS3   | POS4   | Burn, Bari, Crack |
| 7       | 10.683 | 10.685 | 10.685 | 10.682 | 0                 |
| 8       | 10.684 | 10.688 | 10.683 | 10.681 | 0                 |
| 9       | 10.679 | 10.68  | 10.678 | 10.68  | 0                 |
| 10      | 10.681 | 10.677 | 10.681 | 10.678 | 0                 |
| 11      | 10.677 | 10.679 | 10.678 | 10.679 | 0                 |
| 12      | 10.685 | 10.683 | 10.683 | 10.682 | 0                 |
| 13      | 10.681 | 10.685 | 10.681 | 10.682 | 0                 |
| 14      | 10.687 | 10.688 | 10.687 | 10.685 | 0                 |
| 15      | 10.682 | 10.685 | 10.684 | 10.684 | 0                 |
| 16      | 10.679 | 10.681 | 10.681 | 10.676 | 0                 |
| 17      | 10.684 | 10.68  | 10.683 | 10.684 | 0                 |
| 18      | 10.682 | 10.685 | 10.682 | 10.681 | 0                 |
| 19      | 10.684 | 10.683 | 10.68  | 10.685 | 0                 |
| 20      | 10.681 | 10.679 | 10.679 | 10.68  | 0                 |
| 21      | 10.68  | 10.681 | 10.68  | 10.682 | 0                 |
| 22      | 10.677 | 10.679 | 10.675 | 10.675 | 0                 |
| 23      | 10.681 | 10.679 | 10.682 | 10.678 | 0                 |
| 24      | 10.675 | 10.677 | 10.675 | 10.678 | 0                 |
| 25      | 10.679 | 10.674 | 10.677 | 10.679 | 0                 |
| 26      | 10.681 | 10.682 | 10.684 | 10.685 | 0                 |
| 27      | 10.676 | 10.675 | 10.679 | 10.676 | 0                 |
| 28      | 10.678 | 10.674 | 10.674 | 10.68  | 0                 |
| 29      | 10.675 | 10.678 | 10.678 | 10.677 | 0                 |
| 30      | 10.679 | 10.681 | 10.679 | 10.68  | 0                 |

## ประวัติย่อผู้วิจัย



ชื่อ – สกุล

นาย ชัยพงศ์ โชติภัทร์เดชารัตน์

วัน – เดือน – ปี เกิด

18 มีนาคม 2534

ที่อยู่ปัจจุบัน

19/5 ลาดพร้าว 126 ถนน ลาดพร้าว เขต วังทองหลาง  
แขวง พลับพลา กรุงเทพมหานคร 10310

E-mail

bookth126@gmail.com

### ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2563

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม  
สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

พ.ศ. 2556

บริหารธุรกิจบัณฑิต สาขาการจัดการอุตสาหกรรม  
สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

### ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2559-ปัจจุบัน

เจ้าหน้าที่ Programmer Engineering  
บริษัท Sun-wa Technos Asia Thailand จำกัด

พ.ศ. 2556-2559

เจ้าหน้าที่ Electrical Engineering  
บริษัท Epson Precision Thailand จำกัด