การออกแบบการทดลองเพื่อลดของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติกของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

โดย
นางสาวปาพจนี ปาลกะวงศ์ ณ อยุธยา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การออกแบบการทดลองเพื่อลดของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติกของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

โดย
นางสาวปาพจนี ปาลกะวงศ์ ณ อยุธยา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

DESIGN OF EXPERIMENT TO WASTE REDUCTION INJECTION PROCESS OF ELECTRONIC PARTS

By

MISS Papotjanee PARAKAWONG NA AYUTHAYA

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Engineering (ENGINEERING MANAGEMENT)

Department of INDUSTRIAL ENGINEERING AND MANAGEMENT

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2018

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ	การออกแบบการทดลองเพื่อลดของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติกของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์
โดย	ปาพจนี ปาลกะวงศ์ ณ อยุธยา
สาขาวิชา	การจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชูศักดิ์ พรสิงห์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประจวบ กล่อมจิตร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชูศักดิ์ พรสิงห์)

..... ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทองแท่ง ทองลิ่ม)

60405307 : การจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต
คำสำคัญ : ออกแบบการทดลอง, ลดของเสีย, ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

นางสาว ปาพจนี ปาลกะวงศ์ ณ อยุธยา: การออกแบบการทดลองเพื่อลดของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติกของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชูศักดิ์ พรสิงห์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือการลดของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติกของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE) จากการศึกษาในกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่ง ผู้วิจัยพบของเสียในกระบวนฉีดพลาสติกจำนวนมาก ผู้วิจัยมีความสนใจในการปรับปรุงกระบวนการฉีดพลาสติกเพื่อลดของเสีย โดยมีขั้นตอนการวิจัยเริ่มจากทำการคัดเลือกผลิตภัณฑ์ที่จะนำมาทำการศึกษา โดยพิจารณาจากผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณการสั่งซื้อมากที่สุด ซึ่งได้คัดเลือกผลิตภัณฑ์ A ขั้นตอนต่อมาผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการ ซึ่งพบปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นบ่อย 4 ปัญหาหลัก โดยปัญหาของเสียที่พบมากที่สุด คือ ปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็ม จึงนำมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุที่เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องเบื้องต้นของการเกิดของเสีย

โดยผู้วิจัยใช้หลักการ 4M เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาและหาสาเหตุ พบว่าเกิดจากการปรับตั้งค่าของเครื่องฉีดพลาสติก ซึ่งมีทั้งหมด 4 ปัจจัย คือ 1.อุณหภูมิในการอุ่นเม็ด 2. อุณหภูมิในการฉีดพลาสติก 3.อุณหภูมิแม่พิมพ์ 4.แรงดันในการฉีด และใช้หลักการออกแบบการทดลองแบบ 2k Full Factorial Design เพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเกิดของเสีย จากนั้นทำการวิเคราะห์ระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้หลักการ Response Optimization ในการหาค่าของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในกระบวนผลิต ซึ่งการนำพารามิเตอร์มาใช้ปรับตั้งค่าเครื่องฉีดพลาสติกในกระบวนการสามารถลดของเสียได้ถึง 88.05% ซึ่งบรรลุเป้าหมายที่วางไว้ที่ 50%

60405307 : Major (ENGINEERING MANAGEMENT)
Keyword : DESIGN OF EXPERIMENT, WASTE REDUCTION, ELECTRONICS PART

MISS PAPOTJANEE PARAKAWONG NA AYUTHAYA : DESIGN OF EXPERIMENT TO WASTE REDUCTION INJECTION PROCESS OF ELECTRONIC PARTS THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR DR. CHOOSAK PORNSING

The purpose of this research is reduce the waste in the process of plastic injection for electronics part by using Design of Experiment (DOE). The researcher studied production process of electronics factory in case study. The researcher was found a lot of waste in injection process of plastic. So, the researcher interested improvement injection process. The research started from selected to product for studied by considered the top ordering are product A. Next, the researcher collected data defect of product A and then found the main problems are 4 defects. The most defected are short shot problem, these data analyze to find the cause related defected.

About 4M principle to used. It was found caused by adjustment of the injection molding machine. There are 4 factors, 1. Drying temperature 2. Injection temperature 3. Mold temperature 4 Injection pressure and used 2-Full Experimental Design (2k Full Factorial Design) to find the factors that affect the defection. And then analyze the optimal value by using Response Optimization principle to find parameter the appropriate for applying in production processes, it can reduced waste up to 88.05% which achieved the target at 50%.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดีเพราะได้รับความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูศักดิ์ พรสิงห์เป็นอย่างสูงที่ให้ความรู้ ให้คำปรึกษาและแนะนำ ให้กำลังใจที่ดีเสมอมา รวมทั้งขอขอบพระคุณคณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ กล่อมจิตร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทองแท่ง ทองลิ่มที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบและชี้แนวทางที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณกรรมการผู้จัดการ ผู้อำนวยการฝ่ายคุณภาพ ผู้จัดการโรงงานและฝ่ายวิศวกรรม และหลายๆท่านของโรงงานกรณีศึกษาที่ให้ความร่วมมืออย่างดีมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ กราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณเพื่อน พี่ และน้องๆที่เรียนมาด้วยกันสำหรับความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ปาพจนี ปาลกะวงศ์ ณ อยุธยา

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูปภาพ ..... ฏ

บทที่ 1 1

บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 ของเขตของงานวิจัย 2

1.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 4

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโซลินอยด์ (Solenoid) 4

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพลาสติกและกระบวนการฉีดพลาสติก 5

2.3 เครื่องมือคุณภาพ 7 อย่าง (7QC Tools) 15

2.4 หลักการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) 22

2.5 หลักการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 31

2.6 หลักการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2^k แบบเต็มรูปแบบ 34

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 36
บทที่ 3 40
วิธีการดำเนินงาน 40
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 40
3.2 ศึกษาข้อมูลทั่วไป 41
3.3 วิธีวิจัยและเครื่องมือที่ใช้ 42
3.4 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา 46
3.5 การออกแบบการทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบเต็มรูปแบบ 2 ระดับ 52
3.6 ทำการทดลองการวิเคราะห์ข้อมูลและการสรุปผลการทดลอง 54
บทที่ 4 55
ผลการทดลอง 55
4.1 การดำเนินการทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ 2^k Full Factorial Design 55
4.2 ผลการทดลองแบบ 2k Factorial Design 55
4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2k Full Factorial Design 57
4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) 60
4.5 การหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการทดลองด้วยวิธีการ Response Optimization 63
4.6 การเปรียบเทียบผลก่อนและหลังปรับปรุง 64
บทที่ 5 66
สรุปผลและข้อเสนอแนะ 66
5.1 สรุปผลการวิจัย 66
5.2 ข้อเสนอแนะ 67
รายการอ้างอิง 69
ภาคผนวก 72
ภาคผนวก ก การเก็บข้อมูลการทดลอง 73

ภาคผนวก ข การใช้โปรแกรม Minitab 16 77
ภาคผนวก ค การนำค่าที่ได้ไปปรับตั้งค่าเครื่องจักร 89
ภาคผนวก ง ของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต 92
ภาคผนวก จ การพัฒนาตนเองและการเผยแพร่งานวิจัย 94
ประวัติผู้เขียน 97

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ชื่อของประเภทพลาสติกและคุณสมบัติของพลาสติก 6

ตารางที่ 2 อุณหภูมิหลอมเหลวของเม็ดพลาสติกและอุณหภูมิแม่พิมพ์ 8

ตารางที่ 3 รูปแบบเครื่องฉีดพลาสติก 9

ตารางที่ 4 การทำงานของส่วนประกอบต่างๆของชุดฉีด 11

ตารางที่ 5 การทำงานของส่วนประกอบต่างๆของชุดปิดและเปิดแม่พิมพ์ 12

ตารางที่ 6 การทำงานของเครื่องฉีดพลาสติกมีทั้งหมด 3 รูปแบบ 12

ตารางที่ 7 จุดต่างๆ แสดงแนวโน้มการตีความแผนภูมิควบคุม 22

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ 25

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียการออกแบบการทดลองแบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ 26

ตารางที่ 10 การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง 31

ตารางที่ 11 ผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย A B และ C 33

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล 34

ตารางที่ 13 ผลรวมข้อมูลในแต่ละวิธีการปฏิบัติ Factor และ Treatment 35

ตารางที่ 14 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของ Full Factorial Design 36

ตารางที่ 15 ปริมาณการสั่งซื้อผลิตภัณฑ์ของแต่ละโมเดล 42

ตารางที่ 16 ของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการฉีดพลาสติก 43

ตารางที่ 17 การวิเคราะห์ 4M ของปัญหาการเกิดของเสีย 47

ตารางที่ 18 การแบ่งระดับปัจจัย 48

ตารางที่ 19 การจัดลำดับการทดลองแบบสุ่มโดยโปรแกรม Minitab 52

ตารางที่ 20 จำนวนชิ้นงานที่ใช้ในการออกแบบการทดลองแบบ 2k Full Factorial Design 55

ตารางที่ 21 บันทึกผลการทดลอง 55

ตารางที่ 22 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลอง 61
ตารางที่ 23 ผลการวิเคราะห์ Output Optimize Point 64
ตารางที่ 24 ปัจจัยและคุณลักษณะปัจจัยป้อนเข้าที่เหมาะสม 64
ตารางที่ 25 ผลที่ได้จากการผลิตเมื่อนำค่าปัจจัยที่เหมาะสมไปใช้เพื่อเปรียบเทียบก่อนและหลัง 65
ตารางที่ 26 การเก็บบันทึกข้อมูลการทดลอง 74

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ปริมาณของเสียตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2561 จนถึง พฤศจิกายน 2561 2

ภาพที่ 2 แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnet) 4

ภาพที่ 3 ส่วนประกอบของโซลินอยด์ 5

ภาพที่ 4 โครงสร้างของเครื่องฉีดพลาสติก 10

ภาพที่ 5 ส่วนประกอบเครื่องฉีดพลาสติก 11

ภาพที่ 6 ชุดฉีด (Injection Unit) 11

ภาพที่ 7 ชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ (Clamping Unit) 12

ภาพที่ 8 ขั้นตอน Clamping Injection Cooling and Ejection 15

ภาพที่ 9 แผ่นตรวจสอบ (Check Sheet) 16

ภาพที่ 10 แผนภูมิกราฟ (Graph) 17

ภาพที่ 11 แผนผังพาเรโต (Pareto Diagram) 18

ภาพที่ 12 แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) 18

ภาพที่ 13 แผนผังการกระจาย (Scatter Diagram) 19

ภาพที่ 14 แผนภาพฮิสโตรแกรม (Histogram) 19

ภาพที่ 15 แผนภูมิควบคุม (Control Chart) 20

ภาพที่ 16 การแจกแจงแบบปกติ 21

ภาพที่ 17 กระบวนการการออกแบบการทดลอง 23

ภาพที่ 18 ความสัมพันธ์ของปัจจัย กระบวนการและตัวแปรตอบสนอง 24

ภาพที่ 19 องค์ประกอบในการศึกษา DOE 29

ภาพที่ 20 Geometric Notation Factor A และ B 35

ภาพที่ 21 ขั้นตอนการดำเนินงาน 40

ภาพที่ 22 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษา 41
ภาพที่ 23 ปริมาณการสั่งซื้อของแต่ละผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เดือนมกราคม 2561 ถึง พฤศจิกายน 2561 42
ภาพที่ 24 ผลิตภัณฑ์ A 43
ภาพที่ 25 ปัญหาของเสียจากกระบวนการฉีดพลาสติก 44
ภาพที่ 26 ชิ้นงานที่ฉีดไม่เต็ม (Short shorts) 44
ภาพที่ 27 แผนผังกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ A 45
ภาพที่ 28 ขั้นตอนการฉีดพลาสติก 45
ภาพที่ 29 แผนผังก้างปลาแสดงปัจจัยที่เกี่ยวข้องและสาเหตุของปัญหา 46
ภาพที่ 30 DATA SHEET LATAMID 66 H2 G 25-V0CT1 49
ภาพที่ 31 Residual Plots 58
ภาพที่ 32 การกระจายแบบปกติของค่าส่วนตกค้าง (Residual) 58
ภาพที่ 33 การกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residual) เทียบกับ Observation Order 59
ภาพที่ 34 การกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residual) เทียบกับ Fits Value 60
ภาพที่ 35 ผลการวิเคราะห์ Full Factorial Design 60
ภาพที่ 36 ผลการวิเคราะห์ Variance for Response 61
ภาพที่ 37 Interaction ปัจจัยที่มีผลกระทบร่วม 62
ภาพที่ 38 ผลการตอบสนองระดับปัจจัยที่เหมาะสม 63
ภาพที่ 39 เปอร์เซ็นต์ของเสียที่ลดลงต่อเป้าหมายที่กำหนด 65
ภาพที่ 40 ไอคอนโปรแกรม Minitab 16 78
ภาพที่ 41 หน้าจอและส่วนประกอบของโปรแกรม Minitab 16 78
ภาพที่ 42 การสร้างการออกแบบการทดลอง 78
ภาพที่ 43 การเลือกรูปแบบของการออกแบบการทดลอง และจำนวนปัจจัย 79
ภาพที่ 44 การระบุ replicates 79
ภาพที่ 45 การเลือกคำสั่งในการระบุค่าปัจจัย 80

ภาพที่ 46 การระบุค่าระดับปัจจัย 80
ภาพที่ 47 ผลการออกแบบการทดลองแบบ 2k Full Factorial Design 81
ภาพที่ 48 การเลือกคำสั่งในการจัดลำดับการทดลอง 81
ภาพที่ 49 การเลือกคำสั่งในการจัดลำดับการทดลอง Standard order 82
ภาพที่ 50 ผลการจัดลำดับการทดลอง Standard order 82
ภาพที่ 51 การใส่ค่าผลการทดลอง (Response) 83
ภาพที่ 52 การเลือกคำสั่งในการวิเคราะห์ผลการทดลอง (Response) 83
ภาพที่ 53 การเลือกคำสั่งในการวิเคราะห์ผลการทดลอง (Response) 84
ภาพที่ 54 การเลือกคำสั่งในการตั้งค่ากราฟ 84
ภาพที่ 55 ผลการวิเคราะห์ผลการทดลอง (Response) 85
ภาพที่ 56 การเลือกคำสั่ง Factorial Plots 85
ภาพที่ 57 การเลือกคำสั่ง Interaction Plot 86
ภาพที่ 58 Interaction Plot 86
ภาพที่ 59 การเลือกคำสั่ง Response Optimizer 87
ภาพที่ 60 การเลือกคำสั่งในการวิเคราะห์ Response Optimizer 87
ภาพที่ 61 การระบุค่า Lower Target Upper 88
ภาพที่ 62 ผลของค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม 88
ภาพที่ 63 การตั้งค่าอุณหภูมิในการฉีด HN (Injection Temperature) และการตั้งค่าแรงดันฉีด PI1 (Injection Pressure) 90
ภาพที่ 64 การตั้งค่าอุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold Temperature) 90
ภาพที่ 65 การตั้งค่าอุณหภูมิในการอบเม็ดพลาสติก (Drying Temperature) 91
ภาพที่ 66 ของเสียจากปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็มที่ต้องทำลายทิ้ง 93
ภาพที่ 67 เข้าร่วมงานการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 7 ราชภัฏหมู่บ้านจอมบึงวิจัย 95

ภาพที่ 68 เข้าร่วมเผยแพร่งานวิจัยในงานการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 14 “DIGITAL TECHNOLOGY FOR SUSTAINABLE WELLBEING AND SMART SOCIETY” 96

บทที่ 1

บทนำ

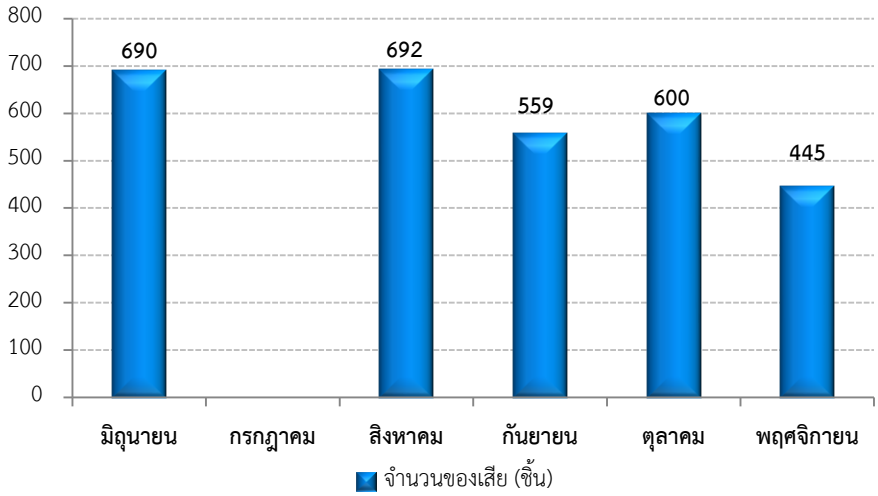
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเรื่องคุณภาพเป็นอันดับแรกที่ลูกค้าให้ความสำคัญ นอกจากเรื่องคุณภาพจะเป็นหัวใจหลักแล้ว ลูกค้ายังต้องการผู้ผลิตที่สามารถตอบสนองความต้องการที่หลากหลายในด้านต้นทุนที่ต่ำ การผลิตที่รวดเร็วและการจัดส่งที่ตรงเวลา ในยุคที่ใช้เทคโนโลยีเป็นสื่อสำคัญทำให้การติดต่อค้าขายผ่านโลกออนไลน์มีความสะดวกสบายและเป็นไปอย่างรวดเร็ว เกิดการแข่งขันด้านการขายสินค้าและการบริการ ผู้ผลิตจึงต้องตื่นตัวในการนำองค์ความรู้และการจัดการเข้ามาช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการปรับปรุงและพัฒนากระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพได้มาตรฐานเป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้า และเพื่อสร้างความเชื่อมั่นในผลิตภัณฑ์ให้เกิดภาพลักษณ์ที่ดีกับองค์กรเพื่อให้เป็นที่ยอมรับ

ในภาคอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่มีการเติบโตอย่างรวดเร็ว มีการขยายตัวของตลาดชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์มีความหลากหลายมากขึ้น ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ในรูปแบบต่างๆก็จะมีกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันไป และหนึ่งในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ คือ กระบวนการฉีดพลาสติก โดยกระบวนการฉีดพลาสติกนั้นนิยมใช้กันในปัจจุบัน สามารถผลิตรูปร่างที่ซับซ้อนได้และสามารถผลิตได้ในปริมาณมาก ซึ่งการฉีดพลาสติกออกมาให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น แม่พิมพ์ วัสดุที่นำมาใช้ฉีด และการปรับตั้งค่าของเครื่องฉีด ในโรงงานกรณีศึกษากำลังประสบกับปัญหาด้านการขาดทักษะในการควบคุมกระบวนการผลิต ทำให้เกิดของเสียที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ และต้องทำลายทิ้ง เมื่อมีของเสียเกิดขึ้นทำให้ส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงและควบคุมกระบวนการผลิตเพื่อลดของเสีย ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพนั้นเกิดจากกระบวนการที่มีประสิทธิภาพ มีการควบคุมกระบวนการให้อยู่ภายใต้มาตรฐานที่ได้กำหนดไว้

จากความสำคัญที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยมองเห็นความสำคัญของการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการ จากการศึกษาในกระบวนการผลิตในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่ง ผู้วิจัยพบของเสียจำนวนมากในกระบวนการฉีดพลาสติก จึงทำการศึกษาข้อมูลโดยเริ่มจากการคัดเลือกผลิตภัณฑ์ที่จะนำมาทำการศึกษา ซึ่งพิจารณาจากผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณการสั่งซื้อสูงสุด คือ ผลิตภัณฑ์ A ต่อมาจึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลของเสีย

ที่เกิดขึ้นในกระบวนการฉีดพลาสติกของผลิตภัณฑ์ A ตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2561 จนถึง พฤศจิกายน 2561 รวมเวลา 6 เดือน พบของเสียจำนวน 2,986 ชิ้น เฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ 497 ชิ้น คิดเป็นมูลค่าความเสียหาย 91,760 บาท แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ปริมาณของเสียตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2561 จนถึง พฤศจิกายน 2561

จากการศึกษาข้อมูลของเสียดังกล่าว ผู้วิจัยได้นำเครื่องมือคุณภาพเข้ามาช่วยวิเคราะห์ปัญหา ค้นหาสาเหตุที่เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดของเสีย และใช้หลักการออกแบบการทดลอง Design of Experiment แบบ 2k Full Factorial Design เพื่อกรองเอาปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลออก จากนั้นนำหลักการ Response Optimization เข้ามาใช้ในการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม ซึ่งจะใช้โปรแกรม MINITAB ในการวิเคราะห์และประมวลผล เมื่อได้ค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมก็จะนำไปทำการทดลองเพื่อยืนยันผลการทำงาน และนำมาใช้เป็นมาตรฐานในกระบวนการผลิตให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเพื่อลดจำนวนของเสีย ทำให้ต้นทุนลดลงและสร้างผลกำไรให้กับบริษัท

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ทำการปรับปรุงกระบวนการฉีดพลาสติกเพื่อลดจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตได้อย่างน้อย 50 เปอร์เซ็นต์

1.3 ของเขตของงานวิจัย

1.3.1 ทำการศึกษาผลิตภัณฑ์ A ในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่ง

1.3.2 ระยะเวลาดำเนินการเริ่มตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2561 ถึง พฤษภาคม 2562 รวมทั้งหมด 11 เดือน

1.3.3 ศึกษากระบวนการฉีดพลาสติกและปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการฉีดพลาสติก

1.3.4 วิเคราะห์ปัญหาด้วยเครื่องมือคุณภาพเพื่อหาปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการเกิดของเสีย

1.3.5 ปัจจัยที่ทำการศึกษามี 4 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิในการอุ่นเม็ด, อุณหภูมิในการฉีดพลาสติก, อุณหภูมิแม่พิมพ์, แรงดันในการฉีด

1.3.6 นำหลักการออกแบบการทดลอง Design of Experiment แบบ 2k Full Factorial Design เพื่อกรองเอาปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลออก และใช้หลักการ Response Optimization ในการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด สำหรับนำไปใช้ในปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดปัญหาของเสีย

1.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย

งานวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบทำให้เกิดของเสีย โดยสามารถอธิบายกรอบแนวคิดเป็นลักษณะของปัจจัยต้น เครื่องมือที่ใช้ และปัจจัยตามได้ดังนี้

ปัจจัยต้น	เครื่องมือ	ปัจจัยตาม
กระบวนการฉีดพลาสติก -ปัจจัยด้านคน -ปัจจัยด้านเครื่องจักร -ปัจจัยด้านวัตถุดิบ -ปัจจัยด้านวิธีการ	1.เครื่องมือคุณภาพ 7 อย่าง 2.หลักการออกแบบการทดลอง Design of Experiment แบบ 2^k Full Factorial Design และหลักการ Response Optimization	1.ลดจำนวนของเสีย 2.มีค่าพารามิเตอร์มาตรฐาน (ปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด) 3.ต้นทุนการผลิตลดลง 4.ผลผลิตเพิ่มขึ้น 5.กำไรเพิ่มขึ้น

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถลดของเสียและลดต้นทุนที่เกิดจากของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติก

1.5.2 ทำให้กระบวนการผลิตมีการควบคุมที่มีมาตรฐานและสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและแนวคิดที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและนำมาใช้ในการช่วยวิเคราะห์ปัญหา และค้นหาสาเหตุที่เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดของเสีย โดยผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามลำดับดังนี้

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโซลินอยด์ (Solenoid)

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพลาสติกและกระบวนการฉีดพลาสติก

2.3 เครื่องมือคุณภาพ 7 อย่าง (7QC Tools)

2.4 หลักการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE)

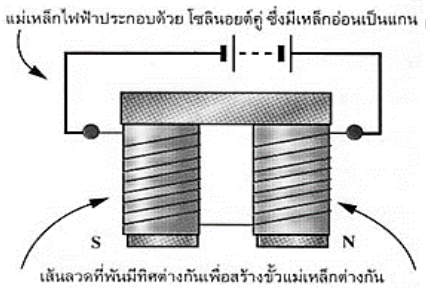
2.5 หลักการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล

2.6 หลักการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2^k แบบเต็มรูปแบบ

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโซลินอยด์ (Solenoid)

แม่เหล็กไฟฟ้า [1] เป็นลักษณะของโซลินอยด์ ซึ่งที่ใช้กันทั่วไปถูกสร้างขึ้นให้ 2 ขั้วมีความต่างกันและให้อยู่ใกล้กันเพื่อให้เกิดสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มสูง จะมีแกนเป็นสารแม่เหล็กชั่วคราวช่วยทำให้มีอำนาจแม่เหล็กหรือหมดอำนาจโดยจะทำการเปิดและปิด โดยหลักการ คือ แม่เหล็กจะดูดแผ่นโลหะเมื่อว่างวงจรจะปิดเป็นการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล เช่น พลังงานเสียง

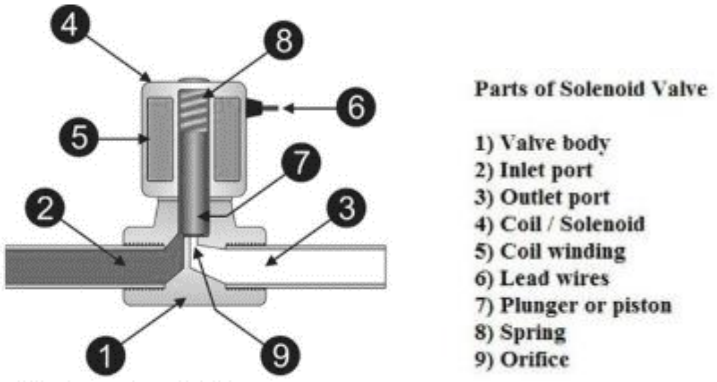


ภาพที่ 2 แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnet)

ที่มา : Sudarat. (2561). แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnet) [2]. เข้าถึงเมื่อวันที่ 21-08-61. เข้าถึงได้จาก http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/electric1/Electromanetism2

SOLENOID (Electro-magnetic) coil [3] เป็นลักษณะแม่เหล็กไฟฟ้าโดยจะทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กและเหนี่ยวนำให้ plunger เคลื่อนที่ขึ้นและลง ซึ่งโครงสร้างภายในของโซลินอยด์จะประกอบด้วยขดลวดที่พันอยู่รอบแท่งเหล็ก มีแม่เหล็กชุดบนกับชุดล่าง เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

ขดลวดที่พันรอบแท่งเหล็ก จะทำให้แท่งเหล็กชุดล่างมีอำนาจแม่เหล็ก และดึงแท่งเหล็กชุดบนลงมาสัมผัสกัน ทำให้ครบวงจรทำงาน และเมื่อวงจรถูกตัดกระแสไฟฟ้า จะทำให้แท่งเหล็กส่วนล่างหมดอำนาจแม่เหล็ก และดันแท่งเหล็กส่วนบนกลับสู่ตำแหน่งเดิม ซึ่งจะใช้โซลินอยด์ในการเลื่อนลิ้นวาล์วของระบบนิวเมติกส์ การปิด-เปิดการจ่ายก๊าซ น้ำหรือของเหลวอื่นๆ



ภาพที่ 3 ส่วนประกอบของโซลินอยด์

ที่มา : Haresh. (2559). Solenoid Valve [4]. เข้าถึงเมื่อวันที่ 21-08-61. เข้าถึงได้จาก https://www.brighthubengineering.com/manufacturing-technology/56397-parts-of-the-solenoid-valve-how-solenoid-valve-works/

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพลาสติกและกระบวนการฉีดพลาสติก

2.2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับพลาสติก [5]

พลาสติกเป็นวัตถุดิบที่ถูกประดิษฐ์จากการนำน้ำมันปิโตรเลียมจากธรรมชาติ มาแยกเป็นสารประกอบบริสุทธิ์หลากหลายชนิด ซึ่งจะมีส่วนประกอบระหว่างคาร์บอน (ถ่าน) กับก๊าซไฮโดรเจน และนำเอาสารประกอบแต่ละชนิดที่ได้มาทำปฏิกิริยา โดยจัดเรียงต่อกันเป็นสายโซ่ยาวๆ ซึ่งจะทำให้เกิดวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นพลาสติก ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

2.2.1.1 เทอร์โมพลาสติก (thermoplastics) พลาสติกชนิดนี้เมื่อได้รับความร้อนมากๆจะเกิดการอ่อนตัว เมื่อเจออุณหภูมิที่ลดลงจะแข็งตัว และเมื่อเจอการให้ความร้อนอีกก็จะอ่อนตัวอีก โดยสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ตามต้องการ ซึ่งโครงสร้างของพลาสติกประเภทนี้ จะมีโมเลกุลเป็นโซ่ตรงยาวและมีการเชื่อมต่อกันระหว่างโซ่โพลิเมอร์ จึงสามารถหลอมเหลวโดยไม่เกิดการทำลายโครงสร้าง ตัวอย่างเช่น โพลิเอทิลีน, โพลิโพรพิลีน, โพลิสไตรีน เป็นต้น

2.2.1.2 พลาสติกเทอร์โมเซต (thermosetting plastics หรือ thermoset) พลาสติกชนิดนี้เมื่อผ่านความร้อน หรือแรงดันเพียงครั้งเดียว จะมีความแข็งแรงมาก สามารถทนความร้อนและความดันได้ดี ไม่เปลี่ยนรูปร่างและไม่อ่อนตัว พลาสติกเทอร์โมเซตจะมีโมเลกุลที่เชื่อมโยงกันเป็นร่างแหจับตัวกันแน่น และมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่แข็งแรงมาก จึงไม่สามารถนำมาหลอมเหลวได้ ตัวอย่างเช่น พอลิยูรีเทน, อิพอกซี, พอลิเอสเตอร์, เมลามีน เป็นต้น

ตารางที่ 1 ชื่อของประเภทพลาสติกและคุณสมบัติของพลาสติก

ประเภทพลาสติก	ชื่อพลาสติก	คุณสมบัติพลาสติก	การนำมาใช้
เทอร์โมพลาสติก	พอลิเอทิลีน (PE)	มีสีขาวขุ่น พลาสติกมีความเหนียวและความยืดหยุ่น ทนความร้อนได้พอสมควร มีความแข็งแรง เป็นฉนวนไฟฟ้า	ฉนวนไฟฟ้า ถุงเย็น ขวดใส่สารเคมี
เทอร์โมพลาสติก	พอลิโพรพิลีน (PP)	มีสีขาวขุ่นแต่ทึบแสงกว่าพอลิเอทิลีน คงตัวไม่เสียรูปง่าย ทนทานต่อการขีดข่วน แข็งแรงทนทาน	กล่องเครื่องมือ ปกแฟ้มเอกสาร กระป๋องน้ำมัน
เทอร์โมพลาสติก	พอลิสไตรีน (PS)	มีลักษณะโปร่งใส ทนต่อกรดและด่าง ไอน้ำ,อากาศซึมผ่านได้แต่มีความเปราะ	ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องใช้สำนักงาน
เทอร์โมพลาสติก	Styrene-acrylonitrile (SAN)	มีลักษณะโปร่งใส	ชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้า ชิ้นส่วนยานยนต์
เทอร์โมพลาสติก	Acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS)	มีลักษณะโปร่งใส ทนสารเคมี เหนียว โปร่งแสง	ผลิตถ้วย ถาด
เทอร์โมพลาสติก	พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET)	เหนียวมากโปร่งใส มีราคาแพง	ทำแผ่นฟิล์มบางๆ ใส่อาหาร

ตารางที่ 1 ชื่อของประเภทพลาสติกและคุณสมบัติของพลาสติก (ต่อ)

ประเภทพลาสติก	ชื่อพลาสติก	คุณสมบัติพลาสติก	การนำมาใช้
เทอร์โมพลาสติก	พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)	มีสีขุ่นทึบ มีทั้งแบบแข็งคงรูปและเหนียวอ่อนนุ่ม มีความแข็งแรงทนทาน	สายเคเบิล ท่อน้ำประตู อ่างน้ำ
เทอร์โมพลาสติก	Polycarbonate (PC)	มีลักษณะโปร่งใส ทนแรงยืดและแรงกระแทกได้ดี ทนความร้อนสูง ทนกรดแต่ไม่ทนด่าง เกิดเป็นรอยหรือคราบ	ใช้ทำถ้วย จาน ชาม ขวดนม ถ้วยใส่อาหารเด็ก
พลาสติกเทอร์โมเซต	เมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์ (melamine formaldehyde)	ทนความร้อนได้ดี ทนต่อสภาวะอากาศ รับแรงดันและแรงกระแทกได้สูง ทนปฏิกิริยาเคมีได้ดี ไม่เกิดรอยและคราบ	ภาชนะใส่อาหาร
พลาสติกเทอร์โมเซต	ฟีนอลฟอร์มาดีไฮด์ (phenol-formaldehyde)	มีความต้านทานต่อตัวทำละลาย เช่น สารละลายเกลือและน้ำมัน แต่พลาสติกอาจพองบวมได้เนื่องจากน้ำหรือแอลกอฮอล์	ทำฝาจุกขวด หม้อ
พลาสติกเทอร์โมเซต	อีพ็อกซี (epoxy)	แข็งแรงทนทานไม่คืนรูป ทนต่อแรงกระแทก การขูดขีด ทนกรดและเบส และทนความร้อนได้ดี	กาวและสารยึดติด สารเคลือบพื้นผิว
พลาสติกเทอร์โมเซต	(polyester)	เป็นหน่วยซ้ำโพลิเมอร์อยู่ในกลุ่มของโพลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์	เส้นใย ขวดน้ำ

ตารางที่ 1 ชื่อของประเภทพลาสติกและคุณสมบัติของพลาสติก (ต่อ)

ประเภทพลาสติก	ชื่อพลาสติก	คุณสมบัติพลาสติก	การนำมาใช้
พลาสติกเทอร์โมเซต	อีพ็อกซี (epoxy)	มีความแข็งแรงทนทาน ไม่คืนรูป ทนต่อแรงกระแทก ทนการขูดขีด ทนกรดและเบส ทนความร้อนได้ดี แต่ไม่ทนต่อ UV	กาวและสารยึดติด สารเคลือบพื้นผิว
พลาสติกเทอร์โมเซต	พอลิยูรีเทน polyurethane (PU)	เป็นโพลิเมอร์ที่ประกอบด้วยหมู่ยูรีเทน	กาว น้ำมันชักเงา

ที่มา : PATANKITGROUP. (2560). ปรับอุณหภูมิการฉีดพลาสติก [6]. เข้าถึงเมื่อวันที่ 21-08-61. เข้าถึงได้จาก https://www.patankit.com/blog/how-to-adjust-injection-temperature

เมื่อเข้าสู่กระบวนการฉีดพลาสติก เม็ดพลาสติกจะผ่านการให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เม็ดพลาสติกจะหลอมเหลว ซึ่งอุณหภูมิในการหลอมเหลวเม็ดพลาสติกแต่ละชนิดจะใช้อุณหภูมิที่แตกต่างกันไปตามคุณสมบัติของพลาสติกนั้นๆ และในการตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องฉีดต้องกำหนดช่วงอุณหภูมิในการหลอมเหลวของเม็ดพลาสติก ให้มีอุณหภูมิการหลอมพลาสติกและอุณหภูมิแม่พิมพ์ที่เหมาะสม ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อุณหภูมิหลอมเหลวของเม็ดพลาสติกและอุณหภูมิแม่พิมพ์

ชนิดพลาสติก	อุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติก (°C)	อุณหภูมิแม่พิมพ์ (°C)
PA66	260-290	70-90
BS	220-260	60-80
ABS+PC	240-280	70-100
PA6	240-270	70-90
PA6+30%GF	260-280	80-120
PA6+30%GF	270-300	80-120
PAR	320-360	80-120
PBT	250-260	80-100
PBTB	250-270	80-100

ตารางที่ 2 อุณหภูมิหลอมเหลวของเม็ดพลาสติกและอุณหภูมิแม่พิมพ์ (ต่อ)

ชนิดพลาสติก	อุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติก (°C)	อุณหภูมิแม่พิมพ์ (°C)
PBT+30%GF	250-270	80-100
PC	280-320	80-100
PC+35-45%GF	310-330	80-130
PET	260-280	130-140
PPS	320-360	140-170

ที่มา : PATANKITGROUP. (2560). ปรับอุณหภูมิการฉีดพลาสติก. เข้าถึงเมื่อวันที่ 21-08-61. เข้าถึงได้จาก https://www.patankit.com/blog/how-to-adjust-injection-temperature

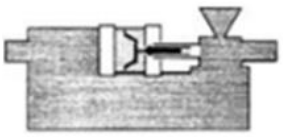
2.2.2 กระบวนการฉีดพลาสติก

เป็นวิธีการแปรรูปพลาสติกโดยวิธีการฉีด เริ่มจากการเติมเม็ดพลาสติกเข้าไปในเครื่องฉีดพลาสติกซึ่งมีแบบชนิดเม็ดและชนิดผง จากนั้นเม็ดพลาสติกจะผ่านความร้อนจนหลอมละลาย เมื่อพลาสติกหลอมเหลวแล้วเครื่องจะทำการฉีดเนื้อพลาสติกเหลวเข้าไปยังแม่พิมพ์ในรูปแบบต่างๆ เมื่อฉีดเสร็จ เครื่องฉีดพลาสติกจะปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ สามารถใช้ได้ทั้งพลาสติกที่เป็นเทอร์โมพลาสติก และเทอร์โมเซตติ้ง ซึ่งพลาสติกชนิดต่างๆ ต้องเหมาะสมกับเครื่องฉีดพลาสติกและแม่พิมพ์ด้วย โดยเทอร์โมพลาสติกเมื่อได้รับความร้อนจะอ่อนตัวและเหลว นำไปแปรรูปได้หลายครั้ง มีสีธรรมชาติและแบบสี สามารถเติมสารผสมหรือสารนำร่องที่แตกต่างกันขึ้นอยู่ที่โครงสร้างของพลาสติก และส่วนเทอร์โมเซตติ้ง เมื่อได้รับความร้อนแล้วจะแข็งตัวไม่สามารถนำไปหลอมให้เหลวได้อีก

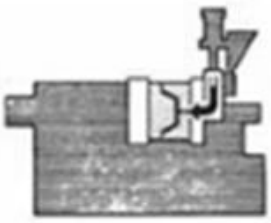
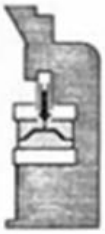
2.2.3 เครื่องฉีดพลาสติก (Injection Moulding Machine)

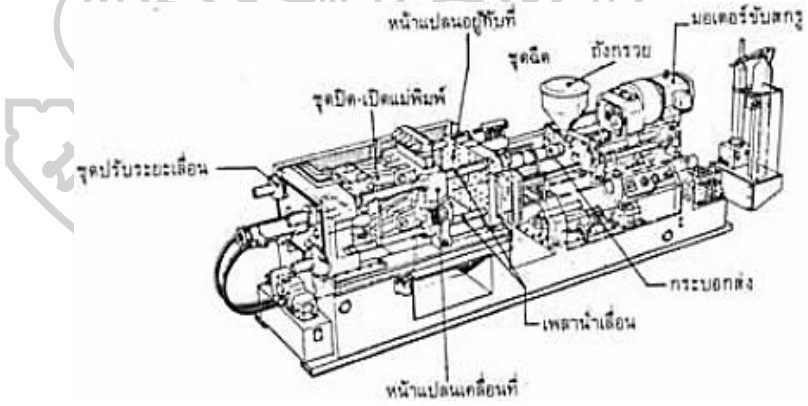
รูปแบบเครื่องฉีดพลาสติกจะมีรูปแบบเฉพาะของมันที่แตกต่างกันไป เช่น วัสดุที่ใช้ ระบบส่งกำลัง โดยการแบ่งลักษณะของเครื่องฉีดพลาสติกนั้น สามารถแบ่งได้ตามทิศทางการฉีดซึ่งมีหลักๆ 4 รูปแบบดังนี้

ตารางที่ 3 รูปแบบเครื่องฉีดพลาสติก

รูปภาพ	แบบ	คำอธิบาย
	A	พลาสติกไหลเข้าในแนวนอน จะตั้งฉากกับระนาบแม่พิมพ์ มีชุดฉีดหน่วยเปิดถึงปิดไปในทิศทางเดียวกัน

ตารางที่ 3 รูปแบบเครื่องฉีดพลาสติก (ต่อ)

รูปภาพ	แบบ	คำอธิบาย
	B	พลาสติกไหลในแนวตั้งฉากกับทิศทางเปิดถึงปิดจะอยู่ในแนวเดียวกับระนาบของแม่พิมพ์
	C	ลักษณะหัวฉีดอยู่ในแนวพลาสติกจะไหลเข้าแบบแนวนอน โดยพลาสติกเหลวจะไหลในแนวดิ่งออกจากกระบอกสูบ แล้วจะเปลี่ยนทิศทางไปอยู่ในแนวนอนไหลเข้าในแนวตั้งฉากกับระนาบของแม่พิมพ์ เหมาะกับโรงงานที่มีพื้นที่จำกัด
	D	พลาสติกเหลวจะถูกฉีดลงในแนวดิ่ง และเข้าในแม่พิมพ์ในแนวตั้งฉากกับระนาบเปิดถึงปิด

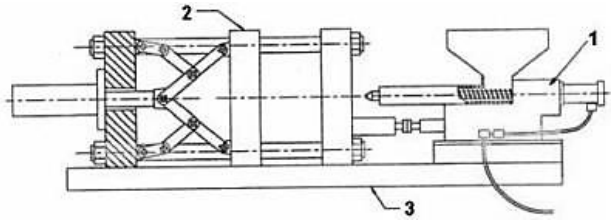


ภาพที่ 4 โครงสร้างของเครื่องฉีดพลาสติก

ที่มา : Mold.net46.net. (2561). งานฉีดพลาสติก [7]. เข้าถึงเมื่อวันที่ 21-08-61. เข้าถึงได้จาก http://www.plaztek.org/knowledge3_.html

โครงสร้างและการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติกประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ

1. ชุดฉีด (Injection Unit)
2. ชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ (Clamping Unit)
3. ฐานเครื่อง (Base Unit)



ภาพที่ 5 ส่วนประกอบเครื่องฉีดพลาสติก

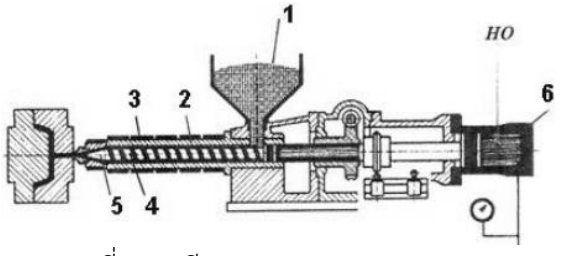
ที่มา : Mold.net46.net. (2561). งานฉีดพลาสติก. เข้าถึงเมื่อวันที่ 21-08-61. เข้าถึงได้จาก http://www.plaztek.org/knowledge3_.html

2.2.3.1 ชุดฉีด (Injection Unit)

หลักการทำงานของชุดหัวฉีด สกรูจะหมุนพาเม็ดพลาสติกไหลออกไปที่กระบอกสูบ เม็ดพลาสติกที่อยู่ในกรวยเติมจะลดลงเรื่อยๆ และเม็ดพลาสติกจะถูกผ่านความร้อนจากฮีทเตอร์ (Heater) และหลอมละลายอยู่ในกระบอกสูบ โดยจะมีสกรูทำหน้าที่ผสมเม็ดพลาสติกที่ละลายแล้วให้รวมเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นจะทำการดันพลาสติกเหลวให้พุ่งออกจากหัวฉีด และเข้าสู่ตัวแม่พิมพ์ ซึ่งสามารถอธิบายการทำงานของส่วนประกอบต่างๆได้ดังนี้

ตารางที่ 4 การทำงานของส่วนประกอบต่างๆของชุดฉีด

ส่วนประกอบต่างๆ	การทำงานของส่วนประกอบ
1.กรวยเติม (Hopper)	เก็บเม็ดพลาสติกและส่งต่อไปยังกระบอกสูบ
2.กระบอกสูบ (Barrel)	เก็บพลาสติกโดยจะมีฮีทเตอร์ฝังอยู่เพื่อให้ความร้อน
3.ฮีทเตอร์ (Heater)	ทำความร้อน และทำการหลอมละลายเม็ดพลาสติก
4.สกรู (Screw)	เป็นตัวหมุนส่งให้พลาสติกทำการผสมและรวมเป็นเนื้อเดียวกัน
5.หัวฉีด (Nozzle)	ฉีดพลาสติกเหลวออกจากกระบอกสูบเข้าสู่ตัวแม่พิมพ์
6.ชุดไฮดรอลิค (Hydraulic)	ทำให้ชุดฉีดเคลื่อนที่เข้าและออกจากแม่พิมพ์



ภาพที่ 6 ชุดฉีด (Injection Unit)

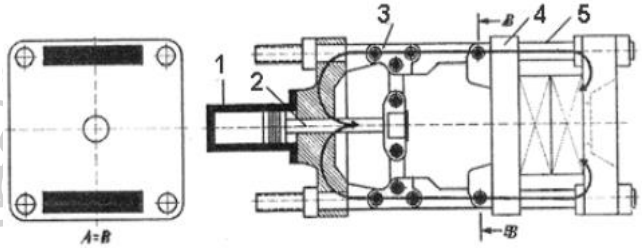
ที่มา : Mold.net46.net. (2561). งานฉีดพลาสติก. เข้าถึงเมื่อวันที่ 21-08-61. เข้าถึงได้จาก http://www.plaztek.org/knowledge3_.html

2.2.3.2 ชุดปิดและเปิดแม่พิมพ์ (Clamping Unit)

มีหน้าที่เคลื่อนปิดและเปิดแม่พิมพ์ตามจังหวะการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก โดยแม่พิมพ์ทั่วไปจะมีสองด้านประกบกัน โดยด้านที่ฉีดพลาสติกเข้าจะเป็นด้านที่อยู่กับที่ และอีกด้านจะคอยเคลื่อนที่เป็นชุดปิดและเปิดแม่พิมพ์ โดยชุดปิดและเปิดแม่พิมพ์จะทำหน้าที่อัดแม่พิมพ์ให้แน่น เพื่อต้านความดันภายในขณะที่ทำการฉีดพลาสติกเข้าไป

ตารางที่ 5 การทำงานของส่วนประกอบต่างๆของชุดปิดและเปิดแม่พิมพ์

ส่วนประกอบต่างๆ	การทำงานของส่วนประกอบ
1.กระบอกสูบ	ช่วยดันให้ก้านสูบเคลื่อนไปและเคลื่อนกลับ
2.ก้านสูบ	ช่วยส่งแรงไปยังแผ่นหน้าแปลนเครื่องฉีดเพื่อทำให้เคลื่อนที่
3.ชุดกลไก	ช่วยส่งแรงไปยังแผ่นหน้าแปลนเครื่องฉีดเพื่อทำให้เคลื่อนที่
4.หน้าแปลนเครื่องฉีด	ยึดแม่พิมพ์ให้สามารถเคลื่อนที่และสามารถปิดเปิดได้
5.เพลานำ	คอยรองรับการเคลื่อนที่ของหน้าแปลนเครื่องฉีดพลาสติก



ภาพที่ 7 ชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ (Clamping Unit)

ที่มา : Mold.net46.net. (2561). งานฉีดพลาสติก. เข้าถึงเมื่อวันที่ 21-08-61. เข้าถึงได้จาก http://www.plaztek.org/knowledge3_.html

ตารางที่ 6 การทำงานของเครื่องฉีดพลาสติกมีทั้งหมด 3 รูปแบบ

รูปแบบ	คำอธิบายการทำงาน
1.แบบไม่อัตโนมัติ (Manual)	เครื่องจะทำงานตามคำสั่งที่ต้องการ โดยกำหนดขั้นตอนใดก่อนหลังก็ได้
2.แบบกึ่งอัตโนมัติ (Semi-Auto)	เครื่องจะทำงานไปตามขั้นตอนของเครื่องฉีด 1 วงรอบการทำงานแล้วหยุด
3.แบบอัตโนมัติทั้งหมด (Fully-Automatic)	จะทำงานเป็นไปตามขั้นตอนของเครื่องฉีดแบบครบวงรอบการทำงานและเริ่มวงรอบการทำงานใหม่เองทันที จากนั้นทำต่อเนื่อง

2.2.4 ขั้นตอนพื้นฐานในการฉีดพลาสติกในโรงงานฉีดพลาสติก [8]

โดยการทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติและแบบอัตโนมัติทั้งหมดจะมีขั้นตอนพื้นฐานในการฉีดพลาสติกมีขั้นตอนดังนี้

2.2.4.1 ขั้นตอนแม่พิมพ์พลาสติกเคลื่อนที่เข้าเพื่อปิดแม่พิมพ์ โดยจะตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ ความดัน(แรง) ความเร็ว และระยะทางในการเคลื่อนที่เพื่อปิดเข้าหากันของแม่พิมพ์ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ช่วงคือ ช่วงที่หนึ่งแม่พิมพ์ด้านที่เคลื่อนที่ปิดจะวิ่งเข้าหาด้านแม่พิมพ์ที่อยู่กับที่ด้วยความเร็วที่ไม่เร็วมากในระยะทางสั้นๆ ช่วงที่สองแม่พิมพ์จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่มากขึ้นและมีระยะทางที่ยาวขึ้น ช่วงที่สามแม่พิมพ์จะลดความเร็วลงในระยะที่เหลือ ส่วนช่วงที่สี่เป็นช่วงป้องกันแม่พิมพ์เกิดความเสียหาย ก่อนที่แม่พิมพ์จะทำการปิดสนิท และช่วงที่ห้าแม่พิมพ์จะปิดสนิทด้วยความแรงที่สูงมากเพื่อป้องกันเนื้อพลาสติกเหลวล้นออกเวลาฉีด

2.2.4.2 ขั้นตอนชุดฉีดเคลื่อนที่เข้าชนรูที่ทำการฉีดพลาสติกเข้าที่แม่พิมพ์ โดยจะตั้งค่าค่าพารามิเตอร์ที่ความดันและความเร็ว

2.2.4.3 ขั้นตอนสกรูเครื่องฉีดเคลื่อนตานแนวแกนโดยไม่หมุนไปด้านหน้า โดยจะตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ความเร็วฉีด ความดันฉีด ระยะทางฉีด และ เวลาในการฉีดเพื่อดันพลาสติกเหลวที่อยู่ในกระบอกฉีดให้ไหลออกจากหัวฉีดไปที่แม่พิมพ์พลาสติกให้เต็ม เรียกว่าจังหวะฉีด (Injection Phase) แต่ในผู้ผลิตเครื่องฉีดบางรายจะออกแบบให้สกรูเคลื่อนที่ตามแนวแกนพร้อมหมุนไปด้วย เพื่อป้อนพลาสติกไปพร้อมกับการฉีด ประโยชน์คือสามารถฉีดชิ้นงานที่มีปริมาตรและน้ำหนักมากกว่าปกติได้

2.2.4.4 ขั้นตอนสกรูเคลื่อนที่ตามแนวแกนโดยไม่มีการหมุน โดยจะตั้งค่าค่าพารามิเตอร์ที่ความดัน เวลา และความเร็วให้ดันพลาสติกเหลวเข้าไปในแม่พิมพ์เพิ่มหลังจากที่พลาสติกเหลวเต็มในแม่พิมพ์แล้ว เพื่อที่จะรักษาแรงดันให้พลาสติกเหลวไม่ย้อนกลับและเพิ่มความหนาแน่นให้ชิ้นงานพลาสติกในแม่พิมพ์ ซึ่งเรียกว่าช่วงการย้ำ (Holding) ชิ้นงานพลาสติกจะได้มีขนาดที่ต้องการ มีความแข็งแรง

2.2.4.5 ขั้นตอนการเริ่มหมุนสกรูเพื่อดึงเม็ดพลาสติกจากกรวยพลาสติกเพื่อไปป้อนข้างหน้าของสกรู ซึ่งจะทำการหลอมผสมเม็ดพลาสติกและป้อนเม็ดให้ไปอยู่หน้าปลายสกรู เรียกว่าจังหวะ Plasticizing โดยจะตั้งค่าค่าพารามิเตอร์ที่ความดัน ความเร็ว ระยะทาง การทำงานนี้จะเป็นตัวกำหนดปริมาณเนื้อพลาสติกว่าต้องการเท่าไหร่โดยขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นงาน ช่วงที่สั่งให้สกรูหมุนจะส่งผลให้พลาสติกเหลวที่อยู่หน้าปลายสกรูอาจเกิดแรงดันจนทำให้สกรูถอยหลังกลับไปยัง

ทิศทางของกรวยเติมเม็ดพลาสติกได้ ซึ่งแรงดันในการต้านการถอยหลังกลับของสกรูจะทำการควบคุมความหนาแน่นของพลาสติกเหลวที่อยู่หน้าปลายสกรูฉีด โดยมีการกระตุกสกรูให้เคลื่อนตามแนวแกน มีทั้งตอนก่อนเริ่มหมุนและหลังหยุดหมุน เรียกว่าค่า Back Pressure หรือค่าสกรูถอยหลังกลับ

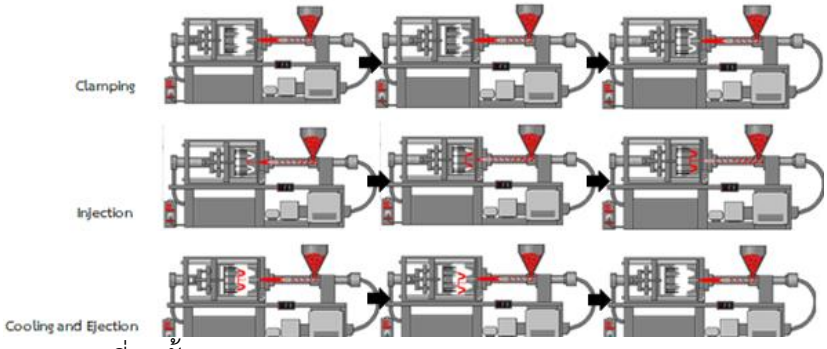
2.2.4.6 ขั้นตอนการหล่อเย็นพลาสติกที่อยู่ในแม่พิมพ์ โดยจะทำการเปลี่ยนจากพลาสติกเหลวเป็นของแข็งจะทำงานพร้อมกับการเริ่มหมุนสกรูเพื่อหลอม และการป้อนพลาสติกเหลวไปยังหน้าปลายสกรูฉีดในขั้นตอนที่ 2.2.4.5 โดยจะเริ่มทำงานพร้อมกัน ในตอนที่สิ้นสุดเวลาในการย้ำรักษาความดันเรียบร้อยแล้ว

2.2.4.7 ขั้นตอนนี้ชุดฉีดจะทำการเคลื่อนที่ถอยออกจากแม่พิมพ์ และจะทำงานเมื่อสกรูหยุดการเคลื่อนที่ เมื่อสกรูหยุดหมุนและหยุดถอยแล้ว โดยจะตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ความดัน (แรง) ความเร็ว

2.2.4.8 ขั้นตอนแม่พิมพ์เคลื่อนที่เปิดในการหล่อเย็น โดยจะตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ ความดัน(แรง) ความเร็ว ระยะทาง ความเร็วและระยะทางในการเปิดแม่พิมพ์พลาสติก โดยทั่วไปเครื่องฉีดจะมีความเร็วอยู่ 3ระยะทาง โดยช่วงแรกแม่พิมพ์เริ่มเคลื่อนที่แยกออกจากกัน ใช้ความเร็วที่ไม่เร็วมากในระยะทางสั้นๆ ให้ชิ้นงานฉีดสามารถขยับตัวเคลื่อนที่ออกจากแม่พิมพ์ด้านอยู่กับที่และติดออกมากับด้านแม่พิมพ์ด้านเคลื่อนที่ได้ หลังจากนั้นจึงใช้ความเร็วจังหวะที่สองให้เร็วขึ้นและเพิ่มระยะทางให้ยาวขึ้น ซึ่งจะทำให้ได้ชิ้นงานที่เร็วขึ้น และช่วงที่ 3 เป็นช่วงก่อนแม่พิมพ์พลาสติกจะเปิดสุด ควรใช้ความเร็วที่ช้าลงและระยะทางสั้นๆ เพื่อให้แม่พิมพ์สามารถหยุดได้ตรงตามตำแหน่งโดยไม่เกิดการสั่นสะเทือน

การตั้งระยะในการเปิดแม่พิมพ์ก็ไม่ควรตั้งให้กว้างมากเกินไป ควรมีระยะพอให้ชิ้นงานพลาสติกออกได้พอดีและไม่ติดค้างอยู่ที่แม่พิมพ์ หลังจากกระทุ้งแล้วหรือมีระยะที่ใช้มือหรือแขนกลจับออกมาได้

หมายเหตุ ขั้นตอนที่ 2.2.4.2 และ 2.2.4.7 ซึ่งเป็นขั้นตอนในการเคลื่อนที่ของชุดฉีดเข้าหากันและเคลื่อนที่ออกจากแม่พิมพ์นั้น อาจไม่ต้องใช้ในบางโรงงานเพื่อเป็นการลดขั้นตอนและเวลาในการผลิตชิ้นงานพลาสติก มีทั้งข้อดีและข้อเสียขึ้นอยู่ดับการตัดสินใจของแต่ละโรงงานฉีดพลาสติกในการผลิตชิ้นงาน



ภาพที่ 8 ขั้นตอน Clamping Injection Cooling and Ejection

ที่มา : L.A Plastic. (2560). เทคนิคสำหรับโรงงานพลาสติกการฉีดพลาสติก และแม่พิมพ์พลาสติก. เข้าถึงเมื่อวันที่ 21-08-61. เข้าถึงได้จาก http://laplastic-biz.blogspot.com

2.3 เครื่องมือคุณภาพ 7 อย่าง (7QC Tools)

หลักการทางสถิติเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายและมีความสำคัญ ดังนั้นการควบคุมคุณภาพเชิงสถิติ (Statistical Quality Control) จึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการรักษาระดับคุณภาพของสินค้าและการบริการในกระบวนการผลิตให้ตรงตามมาตรฐานที่ผู้ผลิตและผู้บริโภคต้องการ ทำให้ผู้บริโภคได้รับความพึงพอใจจากสินค้าและบริการสูงสุด โดยการควบคุมคุณภาพจะอาศัยวิธีการทางสถิติมาใช้ในการคำนวณ และนำผลลัพธ์ที่ได้มาใช้ประกอบการตัดสินใจในเรื่องที่เกี่ยวกับคุณภาพของสินค้าในด้านต่างๆ

การนำเครื่องมือการควบคุมคุณภาพ 7 อย่าง (7QC Tools) [9] มาใช้ในการวิเคราะห์และจึงเป็นหัวใจที่สำคัญในการแก้ปัญหาให้ประสบความสำเร็จ โดยการแก้ไขต้องสามารถวิเคราะห์และหาสาเหตุรากเหง้าของปัญหา (Root Cause) และยังต้องสามารถกำหนดมาตรการการตอบโต้หรือวิธีปฏิบัติการแก้ไข (Countermeasure) ได้เพื่อให้เป็นแนวทางในการปฏิบัติและป้องการการเกิดปัญหาซ้ำ สามารถขจัดปัญหาออกไปได้โดยเด็ดขาด ซึ่งการตัดสินใจเป็นเทคนิคที่ต้องอาศัยการระดมสมองและความคิดนอกกรอบ (Lateral Thinking) ช่วยในการกำหนดแนวความคิดที่ดีในการแก้ปัญหา

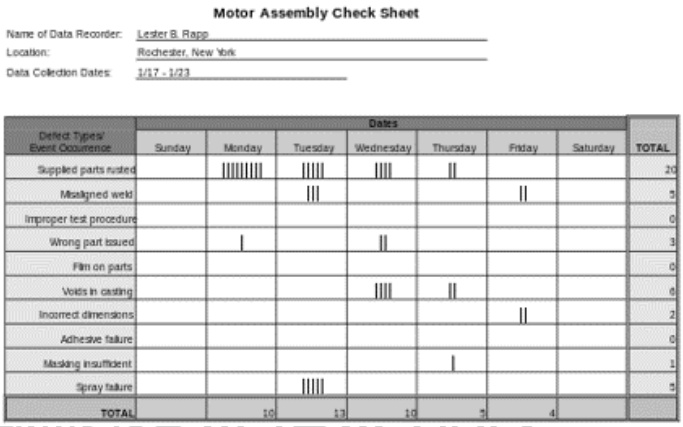
การเลือกเครื่องมือสำหรับการแก้ปัญหานั้น (Problem Solving Devices) มีความสำคัญอย่างมากมีผลโดยตรงกับการวิเคราะห์และการแก้ปัญหา ดังนั้นผู้ใช้เครื่องมือต้องเข้าใจวัตถุประสงค์และวิธีการใช้ของแต่ละเครื่องมืออย่างดี จะทำให้การแก้ปัญหาต่างๆ มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลที่ดียิ่งขึ้น เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด เป็นสิ่งที่ช่วยพัฒนาและแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นการรวบรวมและประยุกต์ใช้วิธีการทางสถิติ การใช้หลักการทางด้านเหตุผล และศาสตร์ความรู้ในด้านต่างๆ มารวมกัน เพื่อขจัดและจัดการกับปัญหา

2.3.1 เครื่องมือคุณภาพทั้ง 7 ชนิด มีดังต่อไปนี้

2.3.1.1 แผ่นตรวจสอบ (Check Sheet) คือ แบบฟอร์มสำหรับการบันทึกข้อมูล ซึ่งได้รับการออกแบบให้เหมาะสมกับกระบวนการนั้นๆซึ่งจะได้ผลลัพธ์ทันทีที่กรอกแบบฟอร์มเสร็จ

ประเภทของแผ่นตรวจสอบมีดังนี้

- แผ่นตรวจสอบสำหรับการบันทึกข้อมูล
- แผ่นตรวจสอบสำหรับการค้นหาสาเหตุ
- แผ่นตรวจสอบสำหรับการกระจายตัวของกระบวนการผลิต
- แผ่นตรวจสอบสำหรับระบุตำแหน่งการเกิดปัญหา



Motor Assembly Check Sheet

Name of Data Recorder: Lester B. Rapp
Location: Rochester, New York
Data Collection Dates: 1/17 - 1/23

Defect Types/ Event Occurrence	Dates							TOTAL
	Sunday	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	
Supplied parts rusted		IIIIIIII	IIIII	IIII	II			20
Misaligned weld			III			II		5
Improper test procedure								0
Wrong part issued		I		II				3
Film on parts								0
Voids in casting				IIII	II			6
Incorrect dimensions						II		2
Adhesive failure								0
Masking insufficient					I			1
Spray failure			IIIII					5
TOTAL		10	13	10	3	4		

ภาพที่ 9 แผ่นตรวจสอบ (Check Sheet)

ที่มา: Pakoengadm. (2560). เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools). เข้าถึงเมื่อวันที่ 29-08-61. เข้าถึงได้จาก http://www.pakoengineering.com/blog/2017/เครื่องมือคุณภาพ-7-ชนิด-7-qc-tools/

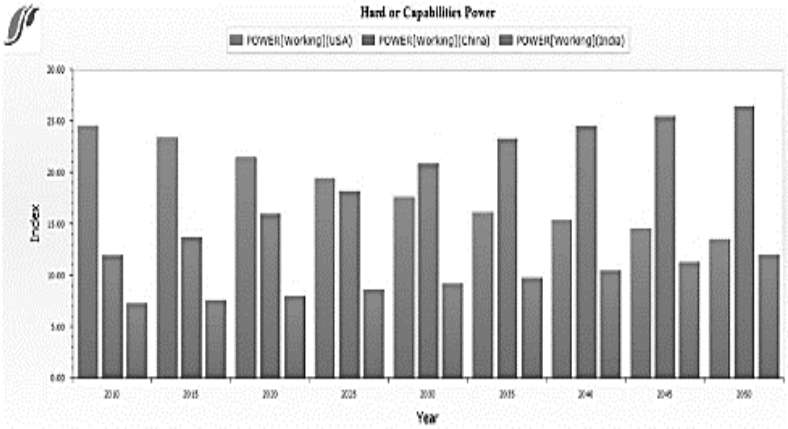
2.3.1.2 แผนภูมิกราฟ (Graph) คือ แผนภูมิรูปภาพที่แสดงถึงตัวเลข และผลการวิเคราะห์ทางสถิติ ทำให้การประเมินผลเข้าใจง่าย

ประเภทของแผนภูมิมีดังนี้

- กราฟเส้น (Line Graph) แสดงถึงความผันแปรของข้อมูลเชิงตัวเลขในแกน X เป็นเวลาจะเรียกว่ากราฟแนวโน้ม (Trend Graph)
- กราฟแท่ง (Bar Graph) แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลตั้งแต่ 2 ข้อมูลขึ้นไป ทำได้โดยการเปรียบเทียบความยาวของกราฟหรือพื้นที่ของกราฟ
- กราฟวงกลม (Pie Chart) แสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนของข้อมูลแต่ละประเภท

- กราฟแถบ (Belt Graph) แสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนของข้อมูลแต่ละประเภทซึ่งแตกต่างจากกราฟวงกลมในเรื่องของการแสดงอนุกรมเวลา

- กราฟเรดาร์หรือใยแมงมุม (Radar Chart) แสดงเปรียบเทียบปริมาณของข้อมูลที่ต้องการแสดงผลมากกว่า 2 มิติแยกเป็นสัดส่วน



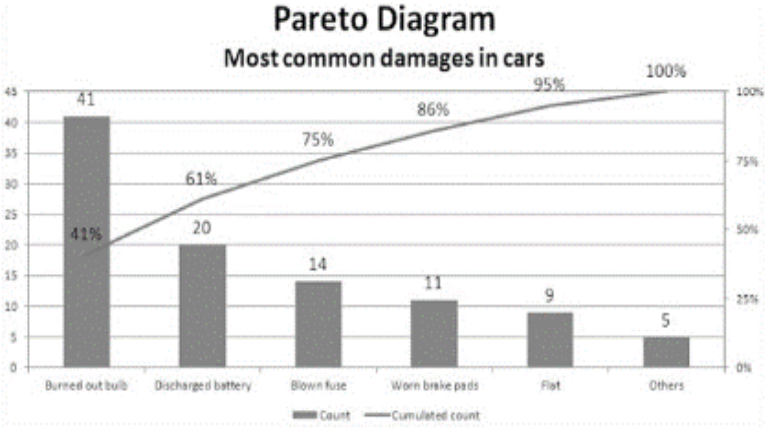
ภาพที่ 10 แผนภูมิกราฟ (Graph)

ที่มา: Pakoengadm. (2560). เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools). เข้าถึงเมื่อวันที่ 29-08-61. เข้าถึงได้จาก http://www.pakoengineering.com/blog/2017/เครื่องมือคุณภาพ-7-ชนิด-7-qc-tools/

2.3.1.3 แผนผังพาเรโต (Pareto Diagram) มาจากแนวคิดที่ว่า“ภายใต้สภาวการณ์ธรรมชาติ สิ่งที่มีความสำคัญมาก จะมีเพียงเล็กน้อย (Vital Few) ในขณะที่สิ่งที่มีความสำคัญน้อย จะมีจำนวนมากมาย (Trivial Many)”

แผนผังพาเรโตใช้เพื่อวัตถุประสงค์ดังนี้

- เพื่อต้องการหาปัจจัยที่สำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหา
- เพื่อกำหนดเป้าหมายในการแก้ปัญหาคุณภาพที่สอดคล้องกับปัจจัยสำคัญ
- เพื่อตรวจสอบความไม่แน่นอนของกระบวนการ (Stability of Process)



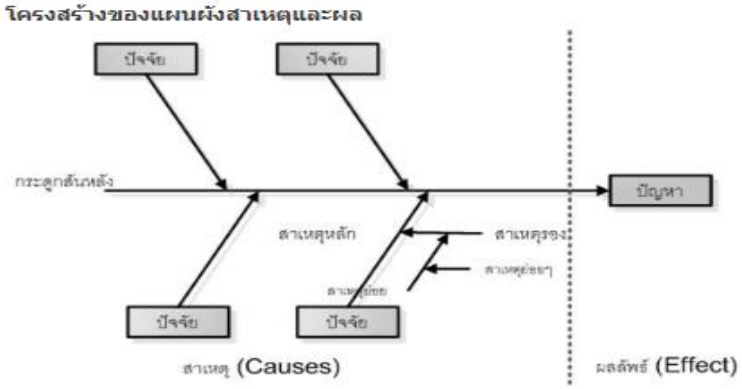
ภาพที่ 11 แผนผังพาเรโต (Pareto Diagram)

ที่มา: Pakoengadm. (2560). เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools). เข้าถึงเมื่อวันที่ 29-08-61. เข้าถึงได้จาก http://www.pakoengineering.com/blog/2017/เครื่องมือคุณภาพ-7-ชนิด-7-qc-tools/

2.3.1.4 แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) คือ แผนผังที่แสดงถึงความสัมพันธ์อย่างมีระบบระหว่างปัญหาที่เกิดขึ้นและสาเหตุหลายๆสาเหตุที่เข้ามามีความเกี่ยวข้อง

แผนผังสาเหตุและผลใช้เพื่อวัตถุประสงค์

เพื่อต้องการหารากเหง้าที่แท้จริงของสาเหตุ (Root Cause) ที่ทำให้เกิดปัญหาและนำไปสู่การแก้ปัญหาแบบถอนรากถอนโคน รวมถึงการป้องกันปัญหาไม่ให้เกิดซ้ำขึ้นอีก เรียกว่า“การปฏิบัติการแก้ไข” (Corrective Action : C/A)



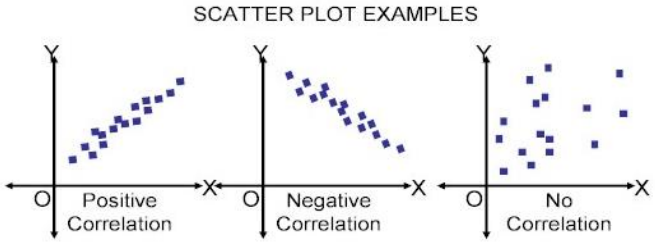
ภาพที่ 12 แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

ที่มา: Pakoengadm. (2560). เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools). เข้าถึงเมื่อวันที่ 29-08-61. เข้าถึงได้จาก http://www.pakoengineering.com/blog/2017/เครื่องมือคุณภาพ-7-ชนิด-7-qc-tools/

2.3.1.5 แผนผังการกระจาย (Scatter Diagram) คือ กราฟที่แสดงค่าความสัมพันธ์ของสาเหตุกับปัญหา (สาเหตุ X และปัญหา Y) เพื่อทดสอบว่าสาเหตุที่กำหนดไว้นั้น มีผลต่อปัญหาหรือไม่ และมีผลในลักษณะใด

แผนผังการกระจายใช้เพื่อตรวจดูความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล 2 ตัวแปร

โดยสิ่งที่สนใจศึกษาว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ เช่น อุณหภูมิในเตาอบกับค่าความแข็งของโลหะที่นำไปอบ เป็นต้น ในการพิสูจน์ความสัมพันธ์ของข้อมูล 2 ตัวแปรต้องอาศัยการคำนวณค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ (r)

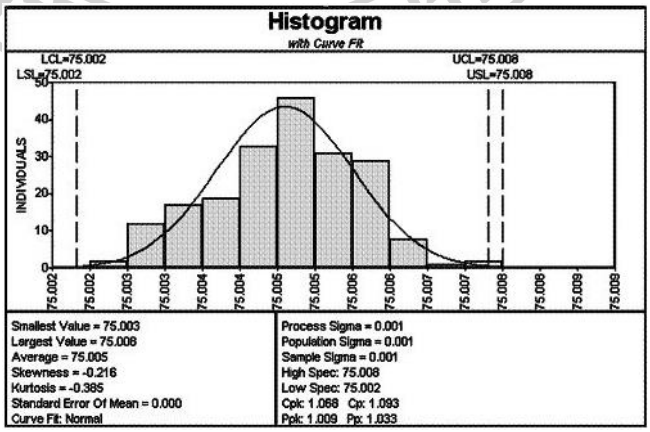


ภาพที่ 13 แผนผังการกระจาย (Scatter Diagram)

ที่มา: Nutvipa. (2559). เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools) [10]. เข้าถึงเมื่อวันที่ 29-08-61. เข้าถึงได้จาก http://econs.co.th/index.php/2016/07/29/7-qc-tools/

2.3.1.6 แผนภาพฮิสโตรแกรม (Histogram) คือ กราฟที่แสดงถึงความผันแปรของข้อมูลที่ได้มาจากการวัดในข้อมูลกลุ่มย่อยเดียวกัน โดยความผันแปรของข้อมูลจะแสดงถึงรูปทรง การกระจาย ตลอดจนแนวโน้มสู่ศูนย์กลางของข้อมูล

แผนภาพฮิสโตรแกรมใช้เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการในระยะยาว



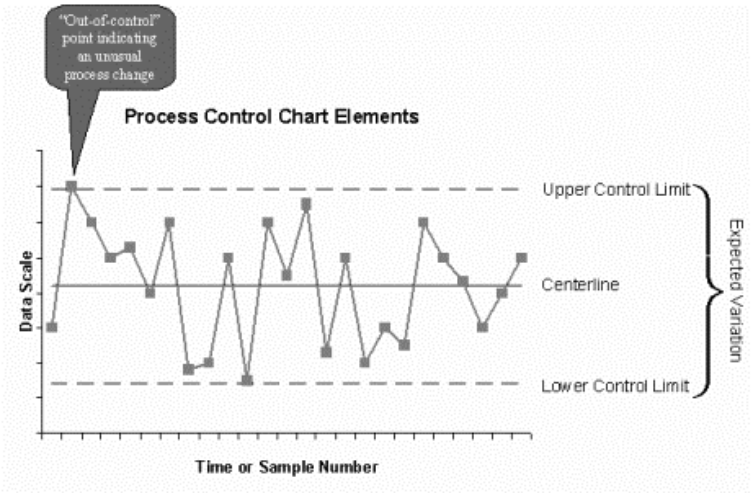
ภาพที่ 14 แผนภาพฮิสโตรแกรม (Histogram)

ที่มา: Nutvipa. (2559). เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools). เข้าถึงเมื่อวันที่ 29-08-61. เข้าถึงได้จาก http://econs.co.th/index.php/2016/07/29/7-qc-tools/

2.3.1.7 แผนภูมิควบคุม (Control Chart) คือ เครื่องมือทางสถิติที่แยกความผันแปรหรือความเปลี่ยนแปลงไปของกระบวนการผลิต ที่มาจากสาเหตุที่ผิดธรรมชาติและมีแนวโน้มออกจากความผันแปรโดยธรรมชาติ สามารถใช้แก้ไขปัญหาด้านคุณภาพได้อย่างรวดเร็ว โดยผ่านกลไกที่สำคัญคือ พิกัดควบคุม (Control Limit) ของแผนภูมิ โดยที่แผนภูมิควบคุมจะใช้ในขั้นตอนการควบคุมคุณภาพในระหว่างการผลิต และในส่วนของการสุ่มตัวอย่างเพื่อการยอมรับ (Acceptance sampling) ซึ่งจะใช้ในขั้นตอนการควบคุมคุณภาพสำหรับการรับเข้าวัตถุดิบหรือชิ้นส่วนที่ใช้ในการผลิตและการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์หรือสินค้าก่อนส่งออกเพื่อจำหน่าย

แผนภูมิจะใช้เพื่อตรวจสอบค่าของตัวแปรที่ต้องการควบคุมคุณภาพว่าเกิดความแปรผันเกินจากขอบเขตที่กำหนดไวหรือไม ซึ่งหากพบว่าเกินจากขอบเขตที่กำหนดไว้ ผู้วิเคราะห์จะต้องทำการค้นหาหาสาเหตุของความแปรผัน และดำเนินการแก้ไขก่อนที่จะเกิดความเสียหายขึ้นกับผลิตภัณฑ์ โดยแผนภูมิเป็นการพล็อตค่าเฉลี่ยที่ไดจากการวัดลักษณะทางคุณภาพของตัวอย่างที่ได้จากการเก็บข้อมูลในกระบวนการผลิต

ลักษณะแผนภูมิจะมีเส้นกึ่งกลาง เสนขอบบน และเส้นขอบล่าง โดยเส้นกึ่งกลางจะใช้แสดงค่าลักษณะกระบวนการผลิต ในกระบวนการผลิตที่ดีควรมีค่าตกในเส้นกึ่งกลาง และในกรณีที่พบความแปรผันบนขีดควบคุมบนและล่างจะต้องมีการปรับปรุงกระบวนการทันทีทำการหาสาเหตุที่ทำให้เกิดความแปรผันของกระบวนการผลิตและทำการแก้ไขให้หมดไป การนำแผนภูมิควบคุมเข้ามาใช้ในกระบวนการผลิตจะช่วยให้เกิดประสิทธิภาพ สามารถเห็นความผิดปกติของกระบวนการได้ทันถ่วงทีและช่วยลดความแปรผันของกระบวนการผลิตได้



ภาพที่ 15 แผนภูมิควบคุม (Control Chart)

ที่มา: Natsima. (2550). แผนภูมิควบคุม (Control Chart) [11]. เข้าถึงเมื่อวันที่ 29-08-61. เข้าถึงได้จาก https://qcclass.wordpress.com/

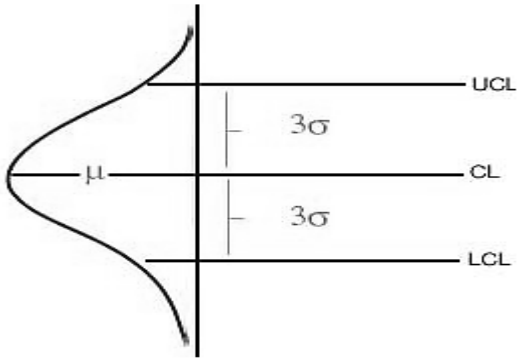
2.3.1.7.1 องค์ประกอบของแผนภูมิควบคุม

ในทางหลักการสถิติข้อมูลจากกระบวนการผลิตมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) จะมีพารามิเตอร์เข้ามาเกี่ยวข้อง 2 ค่า คือ ค่าเฉลี่ย (m) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (s) มีการกระจายรอบ ๆ ค่าเฉลี่ยช่วง +3s และ -3s ค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.9974 จากกราฟถ้าจุดต่าง ๆ กระจายอยู่ภายในขอบเขตของขีดจำกัดควบคุมทางสูง และขีดจำกัดควบคุมทางต่ำอย่างสม่ำเสมอ ก็แสดงว่ากระบวนการผลิตอยู่ภายใต้การควบคุม (In control)

UCL (Upper control limit) คือ ขีดจำกัดควบคุมทางสูง

CL (Central line) คือ เส้นแกนกลาง

LCL (Lower control limit) คือ ขีดจำกัดควบคุมทางต่ำ



ภาพที่ 16 การแจกแจงแบบปกติ

ที่มา: Nutvipa. (2559). เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools). เข้าถึงเมื่อวันที่ 29-08-61. เข้าถึงได้จาก http://econs.co.th/index.php/2016/07/29/7-qc-tools/

2.3.1.7.2 สาเหตุของความผันแปร

ความแปรผันที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์นั้นมาจากสาเหตุ 2 ประการ

- สาเหตุที่เป็นปกติวิสัยหรือสาเหตุโดยบังเอิญ (Chance Cause) เป็นความแปรผันที่เกิดขึ้นโดยบังเอิญจากสาเหตุตามธรรมชาติที่ควบคุมไม่ให้เกิดขึ้นได้ยาก เช่น การเปลี่ยนแปลงความชื้น อุณหภูมิ หรือกระแสไฟฟ้า เป็นต้น

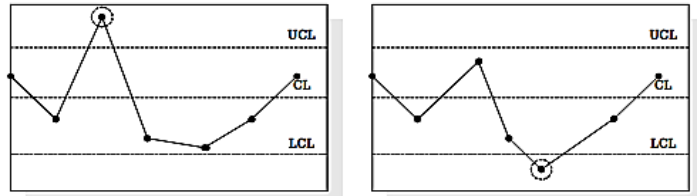
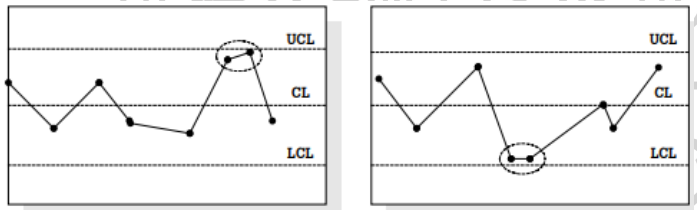
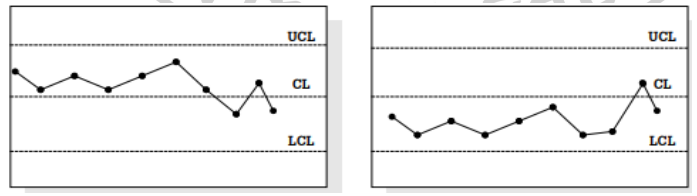
- สาเหตุที่ระบุได้หรือกำจัดได้ (Assignable Cause) เป็นความผันแปรที่เกิดจากความผิดปกติ หรือความผิดพลาด ความชำรุดของปัจจัยการผลิตต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของ

สินค้าหรือผลิตภัณฑ์ ที่ไม่ใช่เป็นธรรมชาติของการผลิต เช่น การปฏิบัติของคนงาน การผิดปกติของเครื่องจักร เป็นต้น ซึ่งสาเหตุเหล่านี้จะอยู่นอกการควบคุม (Out of control)

2.3.1.7.3 การตีความแผนภูมิควบคุม

โดยปกติเมื่อได้แผนภูมิควบคุมแล้วก็จะทำการสุ่มตัวอย่างและทำการวัดผล ถ้าผลของการลงจุดในแผนภูมิควบคุม ทุกจุดกระจายภายในเขตควบคุมอย่างสุ่ม คือ รูปที่ได้จะไม่แน่นอน จะได้กระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุม แต่ถ้าอยู่ในรูปแบบใดใน 3 ลักษณะนี้ ถือว่ากระบวนการผลิตอยู่นอกการควบคุม (Out of control)

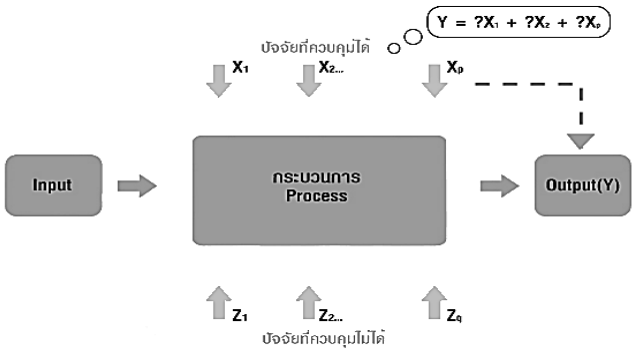
ตารางที่ 7 จุดต่างๆ แสดงแนวโน้มการตีความแผนภูมิควบคุม

รูปภาพ	คำอธิบาย
	มีจุดใดจุดหนึ่งอยู่นอกขีดจำกัดควบคุมทางสูงหรือทางต่ำ
	มี 2 จุดติดต่ออยู่ใกล้ขีดจำกัดควบคุมทางสูงหรือทางต่ำ
	มีจุดอย่างน้อย 7จุดติดต่อกันอยู่ด้านใดด้านหนึ่ง

2.4 หลักการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE)

ในการออกแบบการทดลอง จะต้องทำการการวางแผน และมีการควบคุมการดำเนินการอย่างเป็นระบบ ซึ่งจะนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ต่อด้วยวิธีการสถิติ โดยมีจุดประสงค์ในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรอิสระ ที่เรียกว่า”ปัจจัย” (factors) ของในกระบวนการ จากนั้นจะดูผลลัพธ์ที่ได้ซึ่งเป็นตัวแปรตอบสนอง (Response) ในกระบวนการนั้นๆ โดยพิจารณาจากปัจจัยที่ใส่เข้าไปในกระบวนการผลิต (Input: Xs) หรือมีอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย (Interaction) ซึ่งมี

ความสัมพันธ์ต่อผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการ (Output: Ys) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ สามารถแสดงกระบวนการได้ดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 กระบวนการการออกแบบการทดลอง

ที่มา : สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. (2558). การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) [12]. เข้าถึงเมื่อวันที่ 09-09-61. เข้าถึงได้จาก https://piu.ftpi.or.th/productivity-tools/doe

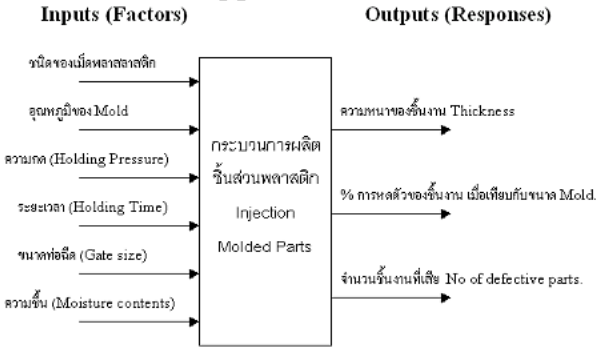
DOE (Design of Experiment) เป็นเครื่องมือคุณภาพที่นิยมใช้กันในกรองปัจจัยที่มีอิทธิพล โดยการออกแบบจะต้องทำการทดลองตามรูปแบบที่ได้ถูกออกแบบไว้โดยใช้วิธีสุ่ม เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆซึ่งเป็นความสัมพันธ์แบบประมาณการระหว่างค่าตัวแปรอิสระ แล้วจึงนำมาสร้างขึ้นเป็นสมการทางสถิต โดยทั่วไปจะเป็นตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพ ตัวแปรในกระบวนการ ตัวแปรของผลิตภัณฑ์ ซึ่งประโยชน์ของการออกแบบการทดลองสามารถนำไปปรับใช้ในกระบวนการเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่วางเป้าหมายไว้

ในการออกแบบการทดลองต้องคำนึงถึงสิ่งที่ถูกจำกัด อย่างเช่น ในเรื่องของเวลา ต้นทุนในการทดลอง บุคลากร วัสดุที่ใช้ในการทดลองและอื่นๆ ดังนั้นในการทดลองจะต้องวางแผนและมีการควบคุมการดำเนินการอย่างเป็นระบบจะช่วยให้ได้ข้อมูลที่สำคัญสามารถนำมาวิเคราะห์ได้ และการทดลองที่มีการออกแบบมาอย่างดี จะช่วยให้การสืบค้นมีประสิทธิภาพในการหาตัวแปรในกระบวนการ (Process variable) ตัวแปรของผลิตภัณฑ์ (Product variable) องค์ประกอบของกระบวนการและผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อคุณภาพและประสิทธิภาพในการผลิต

สำหรับการออกแบบการทดลองที่ได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการนั้น ผู้ดำเนินการต้องทำความเข้าใจกับปัญหาที่ทำการศึกษาอย่างดี ทำการกำหนดวัตถุประสงค์ให้ชัดเจน ทำการเลือกผลลัพธ์ (Y) ของกระบวนการ ทำการกำหนดปัจจัย (X) ที่น่าจะมีความสัมพันธ์กับผลลัพธ์ (Y) จากนั้นวางแผนและควบคุมการดำเนินการตามขั้นตอนอย่างเป็นระบบ ซึ่งจะต้องทำการเก็บข้อมูลที่จำเป็นและมีความสำคัญเพื่อนำไปทำการทดลอง โดยมีรูปแบบของการออกแบบการทดลองที่จะนำไปใช้ ได้แก่ Full Factorial, Fractional Factorial, 2k Factorial และอื่นๆ เมื่อผู้ดำเนินการได้ทำการออกแบบ

การทดลอง และนำข้อมูลที่ได้ไปทำการทดลองเรียบร้อยแล้ว จะนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง โดยนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ไปทดลองซ้ำอีกครั้งเพื่อทำการยืนยันผล จากนั้นจึงนำค่าพารามิเตอร์ไปปรับใช้ในกระบวนการ

ในการวิเคราะห์จะต้องมีองค์ประกอบ 5M 1E คือ คน (Man) ทำงานร่วมกับเครื่องจักร (Machine) วัตถุดิบ (Material) วิธีการทำงาน (Methods) กระบวนการวัดค่า (Measurement) และสภาพแวดล้อมในการทำงาน (Environment) ผลิตออกมาเป็นผลผลิต โดยขอยกตัวอย่างความสัมพันธ์ของปัจจัย กระบวนการและตัวแปรตอบสนองในกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่ง



ภาพที่ 18 ความสัมพันธ์ของปัจจัย กระบวนการและตัวแปรตอบสนอง

ที่มา : Chalong. (2552) , Design of Experiment [13]. เข้าถึงเมื่อวันที่ 09-09-61. เข้าถึงได้จาก http://www.geocities.ws/chalong_sri/why_DOE

จากรูปจะแสดงตัวแปรเข้า (Input factors) คือตัวแปรที่ส่งผลต่อกระบวนการและตัวตอบสนอง (Output factors) คือความหนา การหดตัวของชิ้นงาน คือจำนวนชิ้นงานที่เสียที่เป็นตัวบ่งบอกถึงกระบวนการเมื่อใช้ DOE (Design of Experiment) จะไม่นิยมใช้ Response หลายตัว ในกระบวนการสามารถมีได้หลายปัจจัยมาก บางตัวควบคุมได้และปัจจัยบางตัวไม่สามารถควบคุมทั้งที่ปัจจัยนั้นส่งผลให้เกิดผลกระทบต่อกระบวนการ ซึ่งบางปัจจัยมีความจำเป็นที่ต้องปล่อยให้เป็นไปตามธรรมชาติเพราะไม่สามารถควบคุมได้ อย่างเช่น สิ่งแวดล้อม

สำหรับปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ในการออกแบบการทดลองนั้นจะเรียกว่า “Noise” และตัวแปรบางตัวที่มีผลต่อกระบวนการมากกว่าตัวแปร Noise ซึ่งเรียกว่า “Key Process Input Variable” (KPIV) เป็นตัวแปรที่ต้องควบคุมและเปลี่ยนแปลงตัวแปรให้อยู่ในตำแหน่งที่ส่งผลเสียต่อกระบวนการให้น้อยที่สุด

ตัวชี้วัดจะทำให้เรารู้ประสิทธิภาพหรือความเป็นไปของกระบวนการได้ ซึ่งการวัดตัวชี้วัดในกระบวนการอาจวัดด้วยตัวชี้วัดเพียงหนึ่งตัวหรือมากกว่า 1 ตัวก็ได้ โดยวิธีการวัดมีทั้งการวัดด้วยเครื่องมือและการวัดด้วยการนับ สำหรับการวัดด้วยเครื่องมือค่าที่ได้จะเป็นค่าต่อเนื่อง (Continuous

data) ที่เรียกว่าตัวแปรเชิงปริมาณ (Quantitative variable) และสำหรับการวัดด้วยการนับจะเป็นการสังเกตซึ่งค่าที่ได้เป็นค่าไม่ต่อเนื่อง (Discrete data) ที่เรียกว่าตัวแปรเชิงคุณภาพ (Qualitative variable) การวัดตัวชี้วัดไม่สามารถวัดตัวแปร Output ของกระบวนการได้ทุกตัว จึงจำเป็นต้องวัดเฉพาะตัวแปรที่สื่อถึงประสิทธิภาพหรือผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการได้ดีที่สุด ตัวแปรที่มีการคัดเลือกเรียกว่า “Key Process Output Variable” (KPOV) ซึ่งการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) เป็นการทดลองเพื่อตรวจสอบว่าปัจจัยใดหรือตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ออกมาโดยมีจุดมุ่งหมายดังนี้

- เพื่อยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) ซึ่งเป็นการพิสูจน์ข้อเท็จจริง การพิสูจน์จากความเชื่อของประสบการณ์ หรือทฤษฎีบางอย่างที่มีการอธิบายเกี่ยวกับกระบวนการผลิต

- เพื่อค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration) เป็นการศึกษาอิทธิพลของเงื่อนไขรูปแบบใหม่ที่มีผลต่อกระบวนการ

2.4.1 รูปแบบของการออกแบบการทดลอง

2.4.1.1 การออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) เป็นการทดลองแบบอย่างง่าย และเหมาะสมกับการทดลองที่ไม่สามารถแยกหน่วยทดลองที่มีลักษณะแตกต่างกัน ซึ่งก่อนการทดลองจะทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแผนการทดลอง และจะแยกสาเหตุของความผันแปรของข้อมูลทั้งหมด ว่ามาจากอิทธิพลของทรีทเมนต์แต่เพียงอย่างเดียว หรือไม่มีสาเหตุจากปัจจัยอื่น ซึ่งเรียกข้อมูลแบบนี้ว่า “ข้อมูลแบบแจกแจงทางเดียว” (One-Way Classification) เมื่อหน่วยทดลองได้รับทรีทเมนต์ที่ต้องการทดสอบแล้ว ความแตกต่างของข้อมูลที่เก็บได้จากแต่ละหน่วยทดลองจะต้องเกิดจากอิทธิพลของทรีทเมนต์ที่แตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อให้แผนการทดลองมีประสิทธิภาพสูงสุด หน่วยทดลองที่นำมาใช้ควรมีลักษณะที่สม่ำเสมอและคล้ายคลึงกันมากที่สุด (Homogenous) หรือมีความผันแปรระหว่างหน่วยทดลองที่น้อยที่สุด หลักสำคัญของการทดลองนี้คือ การจัดทรีทเมนต์ให้กับหน่วยทดลองหรือจัดหน่วยทดลองให้กับทรีทเมนต์จะต้องเป็นไปโดยสุ่ม ไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับการสุ่ม

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์

ข้อดี	ข้อเสีย
1. การทดลองแบบอย่างง่าย	1. หน่วยทดลองต้องมีจำนวนทรีทเมนต์น้อย

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (ต่อ)

ข้อดี	ข้อเสีย
2. ให้ค่าองศาแห่งความเป็นอิสระของความคลาดเคลื่อน (Degree of Freedom for Error) สูงสุด 3. มีวิธีการวิเคราะห์ที่ง่าย 4. มีจำนวนซ้ำที่ไม่เท่ากันในแต่ละทรีทเมนต์ได้	2. ต้องเป็นหน่วยทดลองที่มีความสม่ำเสมอ 3. ไม่สามารถตรวจสอบอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) ระหว่างปัจจัยหรือสิ่งที่สนใจในการทดลองได้

2.4.1.2 การออกแบบการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCB) ในการทดลองอาจจะเจอกับปัญหาหน่วยทดลองที่ใช้ไม่มีความสม่ำเสมอ ทำให้การทดลองแบบสุ่มตลอดไม่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากความผันแปรของข้อมูลจะไม่ใช่ผลของทรีทเมนต์อย่างเดียว แต่ยังมีความผันแปรที่เกิดจากหน่วยทดลองรวมอยู่ด้วย ซึ่งความผันแปรส่วนหลังนี้จะไปรวมอยู่กับความคลาดเคลื่อนของการทดลอง ส่งผลให้ผลรวมของผลบวกของกำลังสองของความคลาดเคลื่อนมีค่าสูงขึ้น มีผลต่อการทดสอบและทำให้เกิดความผิดพลาดได้ จึงต้องพยายามแยกผลที่เกิดจากอิทธิพลอื่นที่ไม่ใช่ทรีทเมนต์ออกจากความแปรปรวนทั้งหมด เพื่อให้แน่ใจว่าผลที่นำมาวิเคราะห์นั้นเป็นอิทธิพลของทรีทเมนต์ (Treatment Effect) เพียงอย่างเดียว โดยการทดลองแบบสุ่มในบล็อกเป็นวิธีการจำแนกข้อมูลแบบสองทาง (Two-Way Classification) จะใช้เมื่อหน่วยทดลองมีความแตกต่างกันในแนวนอน (Row) และแนวตั้ง (Column) ซึ่งจะจัดหน่วยทดลองที่เหมือนกันหรือคล้ายกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ซึ่งเรียกว่า “บล็อก” (Block) โดยความแปรปรวนระหว่างหน่วยในบล็อกเดียวกันจะมีค่าต่ำ และให้ความแตกต่างระหว่างบล็อกจะมีค่าสูง และในแต่ละบล็อกใช้แบบสุ่ม

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียการออกแบบการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ไม่จำกัดจำนวนทรีทเมนต์หรือบล็อก 2. ถ้าต้องซ้ำสำหรับทรีทเมนต์ใด สามารถเพิ่มหน่วยทดลองที่มากกว่านั้นในแต่ละบล็อกได้	1. ถ้าหน่วยทดลองในแต่ละบล็อกผันแปรมากจะทำให้ความผันแปรจากการทดลองมากด้วย (จะเกิดกรณีที่ไม่สามารถควบคุมหน่วยทดลองภายในบล็อกให้มีสม่ำเสมอ

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียการออกแบบการทดลองแบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (ต่อ)

ข้อดี	ข้อเสีย
3. ถ้าข้อมูลในบล็อกหรือทรีทเมนต์ใช้ไม่ได้ ให้ละเว้นได้ ให้วิเคราะห์ข้อมูลที่เหลือ	

2.4.2 ส่วนประกอบในการออกแบบการทดลอง

2.4.2.1 ทรีทเมนต์ (Treatment) คือ สิ่งใดสิ่งหนึ่งหรือวิธีการใดวิธีการหนึ่งที่ต้องกระทำกับสิ่งทดลองเพื่อวัดผลและทำการเปรียบเทียบตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง

2.4.2.2 หน่วยทดลอง (Experiment Unit) เป็นหน่วยที่ใช้วัดอิทธิพลของทรีทเมนต์ (Treatment) หน่วยทดลอง คือ สิ่งหนึ่งหรือกลุ่มหนึ่งของการทดลอง ซึ่งได้รับจากทรีทเมนต์เดียวกัน ในการกระทำครั้งใดครั้งหนึ่ง หน่วยทดลองมีขนาดไม่จำกัดสามารถผันแปรได้จากการทดลองหนึ่งไปสู่อีกการทดลองหนึ่ง ถึงแม้จะใช้สิ่งทดลองที่เหมือนกันก็ตาม ในการทดลองแต่ละครั้งจึงต้องให้คำจำกัดความของหน่วยทดลองให้ชัดเจน

2.4.2.3 ปัจจัย (Factor) คือ กลุ่มของทรีทเมนต์ทั้งหมดที่มีความเกี่ยวข้องกัน เรียกว่าตัวแปรอิสระก็ได้ ซึ่งปัจจัยนั้นอาจเป็นไปได้ทั้งข้อมูลเชิงคุณภาพและข้อมูลเชิงปริมาณ สามารถแบ่งปัจจัยออกเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

2.4.2.3.1 ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) คือ ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยได้

2.4.2.3.2 ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) คือ ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยได้ เช่น ข้อจำกัดทางด้านเทคโนโลยี ต้นทุน ซึ่งปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ แบ่งเป็น 2 แบบดังนี้

- ตัวแปรรบกวน (Noise Variable) คือ ตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสอบ (Response Variable) ในการทดลอง แต่ไม่ใช่ปัจจัยที่กำลังทำการศึกษา ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมหรือสิ่งที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิภายนอก เวลา อุปกรณ์ หรือระบบที่ไม่สามารถควบคุมได้

- ตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Nuisance Variable) คือ ตัวแปรที่ไม่รู้จักมาก่อนและมีผลต่อตัวแปรตอบสนอง โดยจะกำจัดอิทธิพลของ Nuisance Variable ได้โดยการสุ่ม

2.4.2.4 ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) คือ ตัวแปรที่ถูกสังเกตหรือวัดค่าในการทดลอง ซึ่งเป็นตัวแปรที่สะท้อนให้เห็นถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระในการทดลอง สามารถวัดค่าของตัวแปรตามที่มากกว่า 1 ก็ได้ โดยการเลือกตัวแปรตามที่ดีควรพิจารณาจากความไว (Sensitivity) และความเชื่อถือได้ (Reliability) การแจกแจงของตัวแปรและความเป็นไปได้ จะต้องพิจารณาว่าค่าสังเกตที่ได้รับจากทรีทเมนต์หนึ่งๆควรมีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งสมมติฐานความปกติ (Normality) เป็นสิ่งจำเป็นในการออกแบบการทดลอง อาจจะใช้การแปลงข้อมูล (Transformation) ค่าสังเกตที่มีการแจกแจงไม่ปกติเป็นแบบปกติ

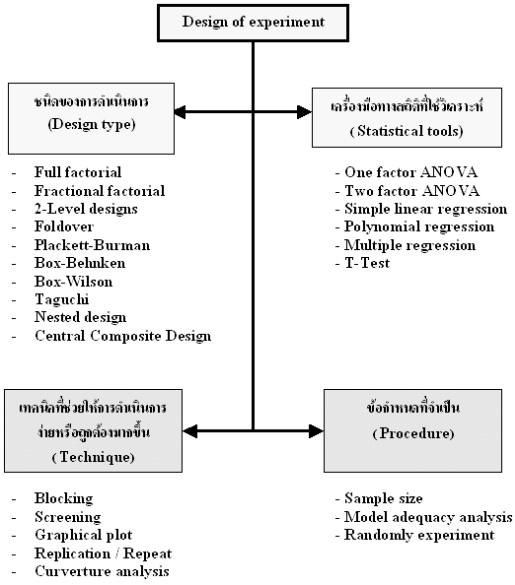
2.4.3 องค์ประกอบในการศึกษาหัวข้อ (Design of Experiment : DOE)

2.4.3.1 ชนิดของการดำเนินการ (Design type) หมายถึง รูปแบบที่ใช้ในการดำเนินการ ซึ่งผู้ทำการทดลองจะต้องตัดสินใจเลือกตั้งแต่อยู่ในขั้นตอนวางแผน เพราะ Design จะนำไปสู่วิธีการดำเนินการทดลอง วิธีการเก็บและการบันทึกข้อมูล รวมถึงเครื่องมือทางสถิติที่จะใช้ในการวิเคราะห์ ในการจะตัดสินใจเลือก Design นั้น ต้องพิจารณาถึงผลหรือเป้าหมายที่ต้องการได้รับ ความซับซ้อนของการทำการทดลอง และข้อจำกัดของทรัพยากรต่างๆ จึงจำเป็นต้องศึกษารายละเอียดของแต่ละ Design ก่อนเลือกนำมาใช้งาน

2.4.3.2 เครื่องมือทางสถิติ (Statistical tools) หมายถึง การนำวิธีการทางคณิตศาสตร์เชิงสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ ผู้ทำการทดลองจะต้องเลือกตั้งแต่อยู่ในขั้นตอนการวางแผนการทดลอง เมื่อได้ผลการวิเคราะห์ ผู้ทดลองต้องเข้าใจเครื่องมือที่ใช้และสามารถอ่านความหมายได้ ในกรณีที่เกิดข้อผิดพลาดผู้ทดลองจะตรวจพบและสามารถวิเคราะห์ได้ว่าเกิดจากจุดใด

2.4.3.3 เทคนิคหรือกลยุทธ์ (Technique) หมายถึง วิธีการที่จะทำให้การทดลองมีความง่ายและสะดวกในการดำเนินงาน มีความประหยัดของทรัพยากร โดยที่ผลการวิเคราะห์ยังเป็นที่ยอมรับได้ซึ่งผู้ทำการทดลองจะต้องกำหนดเทคนิคหรือกลยุทธ์พร้อมกับการเลือก Design เพราะในบาง Design มีข้อห้ามหรือข้อกำหนดที่ยืดหยุ่นที่แตกต่างกันไป

2.4.3.4 ข้อกำหนดที่จำเป็น (Fundamental procedure) หมายถึง สิ่งพื้นฐานที่ผู้ทำการทดลองจะต้องนึกถึงอยู่เสมอ เพื่อให้ผลการวิเคราะห์และข้อสรุปบรรลุเป้าหมาย ซึ่งมีทั้ง 4 องค์ประกอบ สามารถแสดงองค์ประกอบเป็นแผนภาพได้ดังนี้



ภาพที่ 19 องค์ประกอบในการศึกษา DOE

ที่มา : Chalong. (2552). Design of Experiment. เข้าถึงเมื่อวันที่ 09-09-61. เข้าถึงได้จาก http://www.geocities.ws/chalong_sri/why_DOE

2.4.4 แนวทางในการออกแบบการทดลอง

2.4.4.1 กำหนดเป้าหมายที่ชัดเจน โดยจะต้องมีความคลาดเคลื่อนของข้อมูลให้น้อยที่สุด และได้สาระสำคัญของตัวปัจจัยที่กำลังพิจารณาให้มากที่สุด รวมถึงใช้ต้นทุนและเวลาดำเนินการให้น้อยที่สุด

2.4.4.2 มีกลยุทธ์และวิธีการดำเนินการที่ดี ซึ่งต้องเริ่มจากเข้าใจสภาพปัญหาที่แท้จริงและรู้ว่าตัวผู้ดำเนินการหรือผู้บริหารมีความต้องการในเป้าหมายใด

2.4.5 ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง

2.4.5.1 กำหนดหัวข้อปัญหา (Problem statement) จะต้องชัดเจน สามารถเข้าใจง่ายมีความเป็นรูปธรรม ซึ่งประกอบด้วยหลัก 3 อย่าง คือ อะไรที่กำลังเป็นปัญหา (What) ลักษณะของปัญหาเป็นอย่างไรมากน้อยแค่ไหน (How) และพบปัญหานั้นที่ไหนช่วงเวลาใด (Where)

2.4.5.2 การเลือกปัจจัย (Factor) และการกำหนดระดับของปัจจัย (Treatment) จำเป็นต้องเลือกปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการที่แท้จริง ซึ่งสามารถเลือกจากวิธีการคัดกรอง

ด้วยเครื่องมือทางสถิติ หรือปรึกษาผู้ที่มีความรู้หรือเชี่ยวชาญในกระบวนการนั้นๆที่สามารถให้คำแนะนำในการเลือกปัจจัย และการกำหนดระดับของปัจจัย

2.4.5.3 การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response) จะต้องเป็นตัวแปรที่สามารถวัดค่าได้ สามารถวัดได้ด้วยเครื่องมือหรือการนับและจะต้องเป็นตัวแปรที่สื่อถึงกระบวนการที่เราต้องการศึกษาได้อย่างดีด้วย

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

2.4.5.5 ดำเนินการทดลอง (Perform the Experiment) ให้เป็นไปตามแผนการทดลอง ทั้งวิธีการดำเนินการ ความถูกต้องในการวัด การควบคุมตัวแปรในการทดลองและเก็บผลการทดลอง

2.4.5.6 การวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis) ต้องสามารถตรวจสอบลักษณะและคุณภาพของข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองของการ Run computer program การพิสูจน์ความถูกต้องของ Model ที่ได้ (Model adequacy checking) การหาค่าระดับนัยสำคัญของอิทธิพลของแต่ละปัจจัย โดยปกติ DOE จะใช้ ANOVA ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล ดังนั้นผู้วิเคราะห์ก็ต้องเข้าใจเงื่อนไขของ ANOVA ด้วย

2.4.5.7 การสรุปผลการทดลองและให้คำแนะนำ ผู้ดำเนินการทดลองจะต้องเป็นผู้ที่เข้าใจที่มาของข้อมูลอย่างดี และวิเคราะห์ได้ว่าผลลัพธ์ที่ได้ออกมาลักษณะนี้เป็นเพราะอะไร สังเกตการณ์ได้ว่าการดำเนินการมีข้อบกพร่องตรงไหน มีสาระสำคัญใดบ้างต้องอ่านการรายงานผล และแนวทางใดที่เป็นบรรทัดฐานสามารถนำไปดำเนินการต่อในอนาคตได้ ซึ่งผู้บริหารหรือหัวหน้าหน่วยงานอาจจะมีความสนใจในหัวข้อการวิเคราะห์ตามความคิดเห็นของผู้ดำเนินการมากกว่าผลที่ปรากฏก็เป็นไปได้

2.4.6 หลักพื้นฐานที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง

2.4.6.1 การสุ่ม (Randomization) การดำเนินการใดๆกับปัจจัยจะต้องมีความอิสระ เพื่อให้ข้อมูลแต่ละตัวเป็นอิสระต่อกัน และจะต้องคำนึงถึงหลักการกระจายอย่างทั่วถึงและมีความสมดุล (Balance out) ต่อปัจจัยอื่นๆที่เราไม่สามารถควบคุมได้

2.4.6.2 การทำซ้ำ (Replication) หมายถึง การดำเนินการทดลองซ้ำอีกครั้ง สามารถอธิบายจุดประสงค์ในการทำซ้ำ คือ

- เพื่อให้สามารถมองเห็นและประเมินค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลองได้ การดำเนินการวิเคราะห์จะนำเอาค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวไปประเมินว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อกระบวนการบ้าง

- เพื่อกำจัดความคลาดเคลื่อนทิ้ง (Average out) โดยอิทธิพลที่ไม่สามารถควบคุมได้ที่มีผลต่อปัจจัยเหมือนการหาค่าเฉลี่ยเป็นวิธีการในการประเมินค่าอิทธิพลของปัจจัยอีกอย่างหนึ่ง

2.4.6.3 การบล็อค (Blocking) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการเพิ่มความแม่นยำ (Precision) ของการทดลองเพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนในการทดลอง

2.4.7 ประโยชน์ของ DOE

เป็นเครื่องมือที่มีมีความน่าเชื่อถือสูง สามารถนำผลลัพธ์ที่ได้ไปใช้ในการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของกระบวนการ เพื่อให้กระบวนการสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิผล (Optimal Process Setting) ในเรื่องของการประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย สร้างผลประโยชน์ให้กับองค์กรได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 10 การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง

การพัฒนากระบวนการผลิต	การออกแบบทางวิศวกรรม
- ปรับปรุงผลที่ได้จากกระบวนการผลิต - ลดการเปลี่ยนแปลงความแปรปรวนของผลลัพธ์ทำให้ผลลัพธ์ได้ค่าที่ใกล้เคียงเป้าหมาย หรือตรงกับค่าเป้าหมายมากที่สุด ซึ่งจะเป็นผลดีในการแข่งขันทางการผลิต - ลดเวลาในการพัฒนากระบวนการหรือระบบนั้นๆ (ยกเลิกการทดลองแบบลองถูก-ลองผิด) - ลดค่าใช้จ่ายโดยรวม	- นำไปช่วยในการประเมินผล และเปรียบเทียบในการเลือกโครงร่างตัวแบบพื้นฐาน - นำไปประเมินการเลือกหรือเปลี่ยนวัสดุต่างๆที่ใช้ในกระบวนการ - นำไปช่วยในการกำหนดค่าพารามิเตอร์เพื่อออกแบบผลิตภัณฑ์ หรือกระบวนการให้มีประสิทธิภาพภายใต้สภาวะต่างๆ - นำไปใช้ในการกำหนดพารามิเตอร์ที่เป็นกุญแจตัวสำคัญของผลิตภัณฑ์ หรือตัวที่มีผลกระทบต่อการทำงานของผลิตภัณฑ์

2.5 หลักการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล

2.5.1 รูปแบบการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล

2.5.1.1 การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย มี 2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น ปัจจัย A และปัจจัย B โดยปัจจัย A จะประกอบด้วย a ระดับส่วน ปัจจัย B จะประกอบด้วย b ระดับ

ซึ่งในแต่ละการทำซ้ำของการทดลองจะประกอบด้วยการทดลองร่วมปัจจัยทั้งหมดเท่ากับ a x b การทดลอง และโดยปกติจะมีจำนวนเรพลิเคตทั้งหมด n ครั้ง

2.5.1.2 การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k เป็นการออกแบบการทดลองที่ใช้ในกรณีที่มี k ปัจจัยซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ คือ ระดับสูงแสดงเครื่องหมาย “+” และระดับต่ำแสดงเครื่องหมาย “-” ซึ่งระดับจะเกิดจากข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น อุณหภูมิ ความดัน หรืออาจจะเกิดจากข้อมูลเชิงคุณภาพ เช่น เครื่องจักร คนงาน และใน 2 ระดับจะแทนด้วยระดับสูง และค่าต่อของปัจจัยหนึ่งๆใน 1 รอบการทำซ้ำที่บริบูรณ์ของการออกแบบจะประกอบด้วยข้อมูลทั้งสิ้น 2^k ซึ่งข้อมูลการออกแบบการทดลองแบบนี้มีประโยชน์มากต่องานทดลองในช่วงเริ่มแรก เมื่อมีปัจจัยจำนวนมากที่เราต้องการที่จะตรวจสอบ

2.5.1.3 การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ระดับ หรือการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2^k แบบเต็มรูปแบบเป็นการออกแบบการทดลองที่ผู้ทดลองสามารถมองข้ามอันตรกิริยาขั้นสูงบางตัวได้ โดยการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k แบบเต็มรูปแบบจะมีจำนวนปัจจัยมาก และมีจำนวนการทดลองที่เพิ่มขึ้น การออกแบบการทดลองแบบนี้จะทำให้เกิดการทดลองจำนวนน้อยที่สุดที่จะสามารถทำได้เพื่อศึกษาถึงผลของปัจจัย k ชนิดได้ทุกกรณี และถูกนำมาใช้ในการกรองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลตอบสนอง ในการทดลองหนึ่งอาจจะมีปัจจัยมากมายที่กำลังอยู่ในความสนใจของผู้ทดลอง เพื่อค้นหาว่ามีปัจจัยใดบ้างเป็นที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลตอบสนอง การทดลองเพื่อกรองปัจจัยนี้จะใช้ในตอนเริ่มต้นการทดลองเพราะในเริ่มแรกจะมีปัจจัยที่ถูกสงสัยและดูมีแนวโน้มว่าเป็นปัจจัยที่มีผลน้อย หรือไม่มีผลต่อผลตอบสนองที่กำลังพิจารณาอยู่ หลังจากทำการทดลองเพื่อกรองปัจจัยเสร็จสิ้นแล้ว จะนำปัจจัยที่มีผลไปทำการทดลองอย่างละเอียดในการทดลองต่อไป

2.5.1.4 การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3 ระดับ หรือการออกแบบเชิงแฟคทรอเรียล 3^kเป็นการออกแบบเชิงแฟคทรอเรียลที่แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 3 ระดับ และระดับทั้งสามของแต่ละปัจจัยจะมีค่าเป็นระดับสูง ระดับกลางและระดับต่ำสูง สัญญาลักษณ์ที่ใช้แทนระดับทั้งสามเป็นตัวเลข -1, 0 และ1 ตามลาดับ ในการออกแบบดารทดลองแบบนี้จะมีระดับที่สามของปัจจัยเพิ่มเข้ามาในแบบการทดลอง ซึ่งจะทำให้สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบสนองที่สนใจ และปัจจัยที่สนใจในลักษณะที่เป็นสมการแบบควอตราติกได้ การออกแบบการทดลองแบบ 3^k จะเหมาะสม ในกรณีที่ผู้ทดลองกำลังสนใจ

กับผลตอบสนองที่มีลักษณะเป็นส่วนโค้ง แต่การออกแบบนี้ไม่ได้เป็นการออกแบบที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์แบบพหุนามกำลังสอง

2.5.2 หลักการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design)

การทดลองแบบแฟคทอเรียลเป็นการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุดซึ่งมีทรีทเมนตประกอบดวยแฟคเตอรตั้งแต่ 2 แฟคเตอรขึ้นไปมารวมกันในรูปของทรีทเมนตคอมบิเนชั่น (treatment combination) สวนการจัดการสุมทรีทเมนต์เข้าไปในสิ่งทดลองจะใช้แบบเดียวกับการสุ่มในการทดลองพื้นฐาน (basic design) การทดลองแบบแฟคทอเรียลมีการขยายขอบเขต และการสรุปผลของผลร่วม (interaction) ระหว่างแฟคเตอรได้ ซึ่งในการวิเคราะหวาเรียนซของการทดลองจะมีการแยกผลจากแต่ละแฟคเตอรผลร่วม และสามารถนำการเปรียบเทียบแบบออโทโกนนอล (orthogonal comparison) มาใช้ประโยชนได ในกรณีที่มีปัจจัย (Factor) ตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไปในทุกๆ Treatment Combination ของปัจจัยทุกตัวที่ศึกษาจะถูกพิจารณาไปพร้อมๆกัน วัตถุประสงค์หลัก คือ ศึกษาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหรือที่เรียกว่า “อันตรกิริยา” (Interactions) เช่น กรณีที่ศึกษา 3 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัย A B และ C ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นสามารถจำแนกได้ดังนี้

ตารางที่ 11 ผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย A B และ C

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

2.5.2.1 ผลกระทบหลักหรือผลกระทบปัจจัยเดี่ยว (Main Effect) คือ ผลกระทบของกรณีที่สนใจโดยพิจารณาปัจจัยเดี่ยว ได้แก่ ผลกระทบของปัจจัย A ผลกระทบของปัจจัย B และผลกระทบของปัจจัย C

2.5.2.2 ผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย (Two-Factor or 2 Ways Interactions) คือ ผลกระทบที่เกิดจากการพิจารณาปัจจัยพร้อมกันเป็นคู่ (ครั้งละ 2 ปัจจัย) ได้แก่ ผลกระทบของปัจจัยร่วม (อันตรกิริยา) AB AC และ BC

2.5.2.3 ผลกระทบร่วม 3 ปัจจัย (Three-Factor or 3-Ways Interactions) คือ ผลกระทบที่เกิดจากการพิจารณาปัจจัยสามปัจจัยพร้อมกัน

ได้แก่ ผลกระทบร่วม ABC อันตรกิริยา (Interactions) คือ “ความล้มเหลวของผลต่างของค่าตอบสนอง (Y) ที่จะมีค่าต่างกัน เมื่อผู้ทดลองทำการเปลี่ยนค่าระดับของปัจจัยที่หนึ่ง (จากระดับที่ 1 ไปสู่ระดับที่ 2 เป็นต้น) ซึ่งจะอยู่ภายใต้แต่ละระดับของปัจจัยที่สอง”

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล

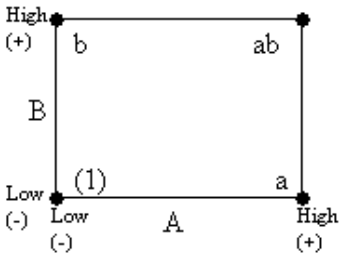
ข้อดี	ข้อเสีย
1. สามารถศึกษาผลกระทบปัจจัยหลัก (Main Effects) และผลกระทบร่วมของปัจจัยหรืออันตรกิริยาระหว่างปัจจัยได้พร้อมกัน 2. กรณีที่ไม่พบผลกระทบร่วม สามารถใช้ผลยืนยันได้ว่ามีแต่ปัจจัยหลักหรือผลกระทบหลักเท่านั้นที่มีผล เมื่อทดลองครั้งต่อไปสามารถลดจำนวนการทดลองลงโดยใช้วิธีการทดลองทีละปัจจัย (One-Factor at a Time) ได้ 3. กรณีที่พบผลกระทบร่วม (Interactions) ก็จะทำให้ผู้ทดลองสามารถทราบถึงรูปแบบอิทธิพลของผลกระทบนั้น	1. เนื่องจากมี Treatment Combination จึงต้องใช้หน่วยทดลองมากขึ้น ทำให้อาจมีข้อจำกัดเกี่ยวกับจำนวนหน่วยทดลอง 2. ถ้าจำนวนปัจจัยมีมากจะส่งผลให้ขนาดของการทดลองใหญ่ขึ้น ซึ่งเป็นการเสียค่าใช้จ่ายสูง และการหาวัตถุทดลองที่มีความสม่ำเสมอจำนวนมากก็เป็นไปได้ยาก

2.6 หลักการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2^k แบบเต็มรูปแบบ

เป็นการออกแบบการทดลองแบบ Full factorial ซึ่งรูปแบบการออกแบบการทดลองที่นิยมใช้เป็นอย่างมากและมีประสิทธิภาพ ผู้ทดลองจะต้องทำการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 2^k โดยที่ k คือจำนวนปัจจัยหรือ Main effect โดยในแต่ละปัจจัยสามารถเปลี่ยนแปลงได้ 2 ระดับ และเป็นการออกแบบการทดลองที่ให้ผลจำนวน Run น้อยกว่าวิธีอื่นๆ การใช้ Full Factorial Design ได้กำหนดให้แต่ละ Factor มีเพียง 2 ระดับ (Level) เท่านั้น ดังนั้นจึงต้องออกแบบ 2^k ภายใต้สมมติฐานของ Factor ทั้งหมดมีผลกระทบต่อ Response เป็นแบบเชิงเส้นตลอดย่านของค่าต่ำสุดถึงค่าสูงสุดที่ได้ออกแบบไว้

2.6.1 การวิเคราะห์หลักการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2^k แบบเต็มรูปแบบ

Geometric Notation Factor ในการทดลองครั้งนี้ คือ A และ B และตารางที่ 13 แสดงให้เห็นในช่อง Treatment แต่ละค่าของ A และ B มี 4 ลักษณะที่แตกต่างกัน (Combination)



ภาพที่ 20 Geometric Notation Factor A และ B

ตารางที่ 13 ผลรวมข้อมูลในแต่ละวิธีการปฏิบัติ Factor และ Treatment

Factor		Treatment Combination
A	*B*	
Low	Low	(1)
High	Low	*a*
Low	High	*b*
High	High	*ab*

การประมาณอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยที่เกิดขึ้น จะใช้ค่าเฉลี่ยของอิทธิพลทั้งหมดจากวิธีการที่เกิดขึ้น อิทธิพลหลักของปัจจัย A คือค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของผลตอบสนองของปัจจัย A เมื่อระดับปัจจัย A เปลี่ยนจากต่ำไปสูง คล้ายกับอิทธิพลหลักของปัจจัย B คือ ค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของผลตอบสนองของปัจจัย B เมื่อเปลี่ยนแปลงระดับปัจจัย B จากต่ำไปสูง

อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย A และ B คือ ค่าความแตกต่างเฉลี่ยระหว่างผลตอบสนองของปัจจัย A เมื่อปัจจัย B อยู่ที่ระดับสูงกับผลตอบสนองของปัจจัย A เมื่อปัจจัย B อยู่ที่ระดับต่ำ

ในกรณีที่อิทธิพลหลักมีค่าเป็นบวก หมายถึง การเพิ่มระดับของปัจจัยจากต่ำไปสูงจะส่งผลให้ค่าผลตอบสนองเพิ่มขึ้น และในกรณีที่อิทธิพลหลักมีค่าเป็นลบ หมายถึง การเพิ่มระดับของปัจจัยจากต่ำไปสูงจะส่งผลให้ค่าผลตอบสนองลดลง เรียกว่า คอนแทรสต์

(Contrast) คือ ผลรวมทั้งหมดของผลกระทบที่เกิดจากปัจจัย A และ B รวมไปถึงอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย A และ B ซึ่งค่าคอนแทรสต์ทั้งหมด เมื่อได้ค่าคอนแทรสต์เรียบร้อยแล้ว จะสามารถหาค่าประมาณผลของอิทธิพลต่างๆได้

ในการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ สามารถคำนวณแบบการถดถอย โดยกำหนดให้ปัจจัย A แทนด้วย X_1 ปัจจัย B แทนด้วย X_2 และสัมประสิทธิ์การถดถอย แทนด้วย β ในส่วนของสัมประสิทธิ์การถดถอย β_0 จะเป็นจุดตัดแกน และมีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมด N ตัว ส่วน B_1 กับ B_2 จะเท่ากับครึ่งหนึ่งของค่าประมาณผล (Effect) ของอิทธิพลหลักที่เกิดขึ้น และ B_{12} จะเท่ากับครึ่งหนึ่งของค่าประมาณผลของอิทธิพลร่วม

ตารางที่ 14 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของ Full Factorial Design

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ไม่มีการเกิด Alias 2. สามารถวิเคราะห์ Main Effect และ Interaction ได้ทั้งหมด	1. ต้องทำการทดลองให้ครบทุกจำนวน Run ทำให้ใช้เวลามากและสิ้นเปลืองทรัพยากรมาก 2. เมื่อมีจำนวน Run มากๆ ส่งผลต่อการป้องกันความคลาดเคลื่อนของการปรับเปลี่ยนค่าของปัจจัยใดๆได้

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชญานี หวั่งประดิษฐ์. (2551). [14] การเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์และการปรับปรุงความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น โดยเลือกรูปแบบของการทดลอง เป็นแบบการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k (เลือกปัจจัย ระดับของแต่ละปัจจัยและตัวแปรตอบสนอง) ในขั้นตอนการวิจัยเริ่มจากการระดมความคิดในการนิยามปัญหาด้วยแผนภาพกิ่งไม้ จากนั้นกำหนดขอบเขตของปัญหาจากหลักการวิเคราะห์ข้อบกพร่อง และกำหนดสาเหตุของปัญหาด้วยแผนภาพก้างปลา นำปัจจัยที่ได้มาทำการออกแบบการทดลองแบบ 2K Factorial Design ผลที่ได้ คือ สามารถกำหนดปัจจัยและระดับของแต่ละปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการบล็อกเลนส์ สามารถลดค่าการเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์โดยเฉลี่ยลงได้

องค์การ ศิริสวัสดิ์. (2551). [15] ได้ศึกษาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียจากการผลิตเทฟลอนและหาสภาวะที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย โดยการออกแบบการทดลองที่ใช้เป็นแบบแฟคทอเรียลดีไซน์ (2k) ระดับของปัจจัย 2 ระดับ โดยมีขั้นตอนการวิจัยจากการใช้แผนภาพแสดงเหตุและผล การระดมสมอง ซึ่งพบปัจจัยเบื้องต้น 5 ปัจจัย จากนั้นนำปัจจัยมาทำการออกแบบการทดลองแบบ 2K Factorial Design ผลที่ได้พบปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเกิดของเสีย 4 ปัจจัย คือ อุณหภูมิฮีทเตอร์โซน 1,2,3,4 เป็นค่าที่เหมาะสมของระดับปัจจัยเพื่อการใช้งาน จากนั้นนำระดับปัจจัยที่ได้จากการทดลองมาใช้ในการผลิตจริงเป็นเวลา 3 เดือน พบว่าระดับปัจจัยที่นำเสนอขึ้นมาใหม่สามารถลดของเสีย

ปัญญา ดอนไพรธรรม. (2552). [16] ได้ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความชื้นของกากตะกอนในกระบวนการทำให้กากตะกอนแห้งพร้อมทั้งหาระดับปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมที่ทำให้กากตะกอน มีความชื้นต่ำ โดยใช้หลักการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองแบบ 3k ทำการทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้ง ผลที่ได้จากการทดลองเมื่อนำมาปรับใช้กับเครื่องกรองในสภาพการทำงานจริงพบว่า ค่าความชื้นใน กากตะกอนเฉลี่ยที่ได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ทำให้สามารถลด ต้นทุนจากการบำบัดน้ำเสียลดลง

วิทยา สุมะลิ. (2559). [17] ได้ศึกษาการลดการเสียรูปของกรอบยึดในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนหน้าจอโทรศัพท์มือถือ โดยใช้เทคนิคการควบคุมคุณภาพและการออกแบบการทดลอง โดยมีขั้นตอนการวิจัยเริ่มจากการใช้แผนภูมิและผลวิเคราะห์จากการระดมความคิดเพื่อหาสาเหตุที่เป็นไปได้และส่งผลต่อการเสียรูปของกรอบยึด ซึ่งได้ปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่สุด 5 ปัจจัย จากผลการทดลอง แพ็คเกจ เบอร์แมน พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการเสียรูปของกรอบยึดที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 มี 2 ปัจจัยจึงนำมาทำการทดลองการออกแบบการทดลองแบบ 3^k แฟคทอเรียล และนำผลการทดลองที่ได้มาทำการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม ซึ่งผลที่ได้สามารถลดปริมาณของเสีย และลดมูลค่าความสูญเสีย

สถาพร หมื่นสิน. (2557). [18] ได้ศึกษาการหาความสำคัญของตัวแปรที่มีอิทธิพลและค่าที่เหมาะสมในการออกแบบแผ่นและรูปร่างของแผ่นความร้อน โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูป (Full Factorial) และใช้การทดลองแบบบ็อกซ์-เบนเคน และResponse Optimization

ธนกฤษ ซุ่นเซ่ง. (2557). [19] ได้ศึกษาการลดของเสียลักษณะจุดดำที่เกิดขึ้นในกระบวนการฉีดพลาสติก โดยการนำเครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพเข้ามาช่วยในการค้นหาสาเหตุและนำไปสู่การแก้ไขปัญหา โดยทำการเก็บและรวบรวมข้อมูลของเสียและทำการวิเคราะห์โดยใช้แผ่นตรวจสอบ แผนภูมิพาเรโต แผนภูมิก้างปลาเพื่อวางแผนและวางมาตราการณ์แก้ไข ผลที่ได้จากการดำเนินงานสามารถลดของเสียลักษณะจุดดำได้

ปรันต์ พฤติภาพไพบูลย์. (2557). [20] ได้ศึกษาปัจจัยที่ใช้การฉีดขึ้นรูปที่จะส่งผลต่อความเค้นตกค้างและความต้านทานแรงดึงในชิ้นงานความเค้นตกค้างที่เกิดขึ้นจากการฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน โดยใช้ทฤษฎีการออกแบบการทดลอง(Design Of Experiments) ผลที่ได้พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อความเค้นตกค้าง ได้แก่ แรงดันในการฉีดและแรงดันฉีดย้ำ ซึ่งจะส่งผลต่อการกระจายตัวของความเค้นตกค้างภายในชิ้นงาน ส่วนปัจจัยที่ส่งผลต่อความต้านทานแรงดึง คือ แรงดันในการฉีดอย่างมีนัยสำคัญและปริมาณการกระจายตัวของความเค้นตกค้างภายในจะส่งผลต่อความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานโดยตรง

สิริชัย สุรัตนชัยการ และ อรรถกร เก่งพล. (2555). [21] ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตยาน้ำโดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรมในการเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องบรรจุยาน้ำ ได้ใช้การทดลองแบบ 2^K ฟังชั่นแนล แฟคทอเรียล ดีไซด์ เพื่อหาปัจจัยหลัก ผลที่ได้พบว่ารูของหัวบรรจุยามีขนาดไม่เหมาะสม หลังจากนั้นทำการเพิ่มขนาดของหัวบรรจุยา สามารถลดเวลาในการบรรจุลงได้ สามารถลดการเปิดทำงานล่วงเวลา ทำให้มีต้นทุนการเปิดทำงานล่วงเวลาลดลง

ปฐมพงษ์ หอมศรี และ จักรพรรณ คงธนะ. (2556). [22] ได้ศึกษาการลดปริมาณของเสียประเภทขนาดไม่ได้ตรงตามมาตรฐานที่โรงงานกำหนดที่เกิดขึ้นจากการผลิตงานฉีดพลาสติกแบบ Injection Molding โดยใช้หลักการทางสถิติมาช่วยทำการวิเคราะห์หาสาเหตุต่างๆและหลักการออกแบบการทดลองแบบ 2K Factorial Design เข้ามาช่วยในการปรับปรุงปัญหาภายในโรงงาน โดยขั้นตอนเริ่มจากการวิเคราะห์หาสาเหตุด้วยแผนภาพสาเหตุและผลที่มีปริมาณของเสียมากที่สุดแล้วนำมาเลือกปัจจัย วิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของผลกระทบว่าปัจจัยที่มีผลต่อของเสีย ได้แก่ แรงดันย้ำ (Holding Pressure),อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold Temperature) และ รอบการทำงาน (Cycle Time) จากนั้นนำปัจจัยมาทำการออกแบบการทดลองแบบ 2^K Factorial Design ผลที่ได้พบว่าทั้ง 3 ปัจจัยมีผลกระทบต่อขนาดชิ้นงานทั้งแบบ Main Effect และ Interaction เมื่อนำค่าพารามิเตอร์มาปรับใช้ สามารถลดปริมาณของเสียได้

รัชนี หมวดกลางเมือง, กรกนก ควรพิมาย, เจนจิรา เทียมขุนทด และ ศรราม วงค์ศิลา. (2560). [23] ได้ทำศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ในกระบวนการฉีดขึ้นรูปที่มีผลต่อรอยตำหนิ (ครีบ รอยยุบ รอยเชื่อมประสาน ชิ้นงานฉีดไม่เต็ม) ของผลิตภัณฑ์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ โดยเลือกใช้หลักการออกแบบการทดลองเชิง 2^K Factorial Design ซึ่งมีปัจจัยอุณหภูมิฉีด แรงดันในการฉีด อุณหภูมิแม่พิมพ์ เวลาหล่อเย็นแม่พิมพ์ จากการวิเคราะห์พบว่าแรงดันในการฉีด อุณหภูมิแม่พิมพ์ ส่งผลต่อผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ

บุณชัย แซ่สิ้ว และ ณัฐธยาน์ โสกุล. (2559). [24] ได้ทำการศึกษาการลดของเสียการบรรจุที่เกิดอาการซองรั่วในบริษัทผลิตขนมขบเคี้ยว โดยใช้หลักการออกแบบการทดลองเชิง 2K Factorial Design สำหรับศึกษาระดับปัจจัยในการปรับตั้งเครื่องจักร ผลที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการรั่วของซองบรรจุขนมขบเคี้ยวซึ่งประกอบไปด้วย 4 ปัจจัย ได้แก่ ความเร็วรอบ (Revolution per minute) อุณหภูมิ (Temperature) แรงกด (Pressure) และเวลาในการซีล (Cycle Time) โดยทำการทดลองซ้ำแบบ 3 ครั้ง จำนวนการทดลองทั้งสิ้น 48 การทดลอง จากการเก็บรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์การทดลองสถิต พบว่าระดับปัจจัยในการปรับตั้งเครื่องจักรที่เหมาะสม คือ ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 157 องศา แรงกด 6 Bar และเวลาในการซีล 0.5 วินาที จากการปรับพารามิเตอร์ทั้ง 4 ปัจจัย สามารถลดมูลค่าของเสียที่เกิดจากการรั่วของซองบรรจุขนมขบเคี้ยวได้

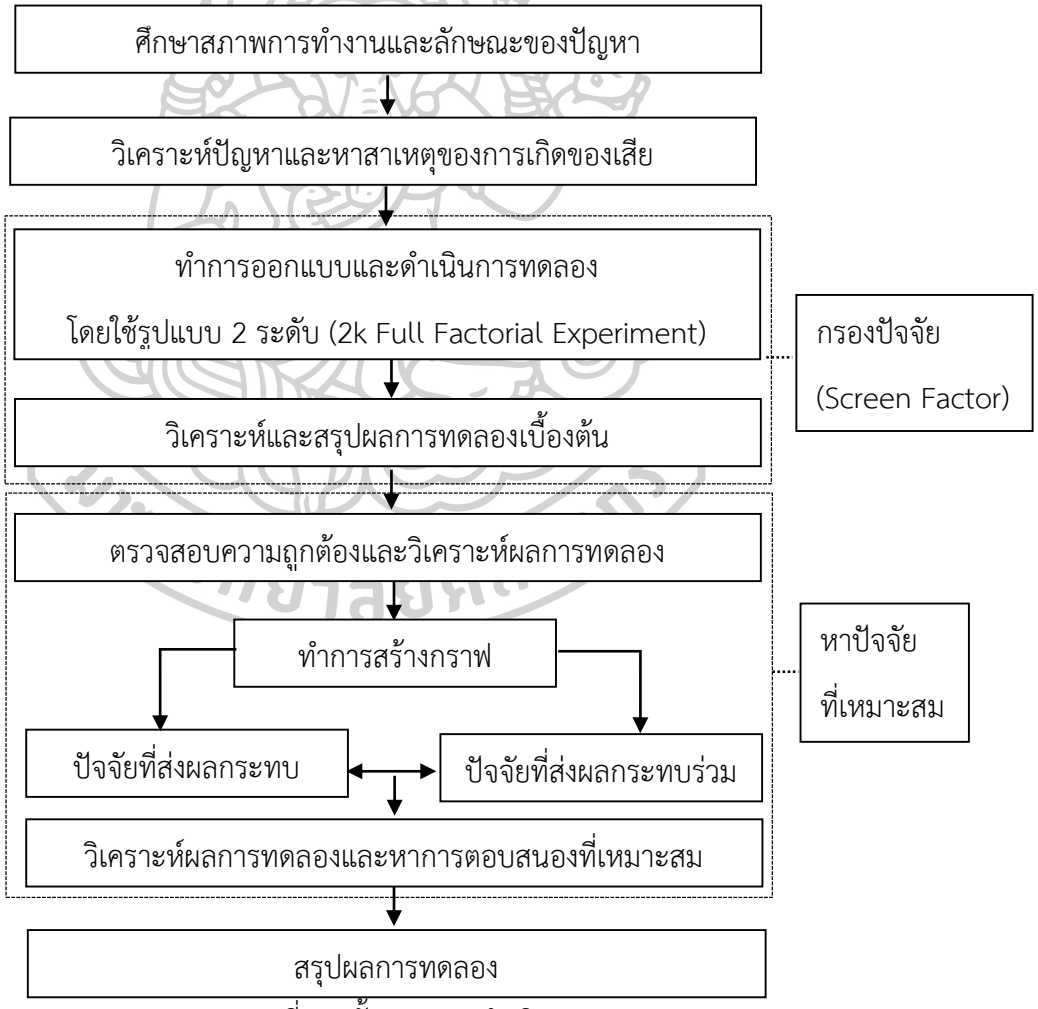
มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

สำหรับบทนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลทั่วไป ผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่ง และนำเครื่องมือการควบคุมคุณภาพ การออกแบบการทดลอง Design of Experiment แบบ 2k Full Factorial Design และการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมเข้ามาดำเนินการในการแก้ไขปัญหาที่ทำการศึกษา โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังนี้

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



ภาพที่ 21 ขั้นตอนการดำเนินงาน

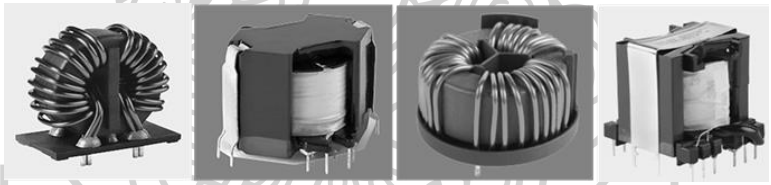
โดยการดำเนินงานเริ่มจากการศึกษาสภาพการทำงาน ปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นและทำการเก็บรวบรวมข้อมูล จากนั้นจะนำมาทำการิเคราะห์ปัญหาเพื่อค้นหาสาเหตุที่เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ใน

ขั้นตอนต่อไปผู้วิจัยจะทำการออกแบบการทดลองโดยแบ่งขั้นตอนออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนที่ 1 การทดลองแบบเต็มรูปแบบ 2 ระดับ 2^k Full Factorial Design เพื่อกรองปัจจัย โดยจะไม่พิจารณาปัจจัยที่ไม่เกี่ยวข้องออก หาปัจจัยที่มีผลกระทบ และส่วนที่ 2 เป็นการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม ซึ่งทั้ง 2 ส่วนจะใช้โปรแกรม MINITAB เข้ามาช่วยในการประมวลผลและวิเคราะห์ผล จากนั้นจะทำการทดลองเพื่อยืนยันผลการทำงาน และทำการสรุปผลการทดลองในขั้นตอนสุดท้าย

3.2 ศึกษาข้อมูลทั่วไป

3.2.1 ข้อมูลของโรงงานกรณีศึกษา

จากการศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่ง เป็นโรงงานผลิตหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดเล็ก ซึ่งจะนำไปประกอบเข้ากับผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ กังหันลม เครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์การแพทย์ โดยหม้อแปลงไฟฟ้าจะทำหน้าที่ในการปรับปรุงแรงดันกระแสไฟฟ้าให้ลดลงตามความต้องการของวงจรการทำงานในเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆเพื่อให้สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ในขนาดที่เหมาะสม



ภาพที่ 22 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษา

3.2.2 ข้อมูลกระบวนการผลิต

จากกระบวนการแรกตั้งแต่รับวัตถุดิบเข้าจนถึงกระบวนการสุดท้ายก่อนส่งมอบถึงลูกค้า มีกระบวนการหลักๆดังนี้

3.2.2.1 การรับวัตถุดิบเข้าและตรวจสอบวัตถุดิบ (Incoming Inspection) เป็นการตรวจสอบความถูกต้องของวัตถุดิบที่ใช้ในการประกอบ ได้แก่ บ็อบบิ้น (Bobbin), ลวด (Wire) เป็นต้น

3.2.2.2 การจัดเก็บและเตรียมวัตถุดิบ (Warehouse) เมื่อวัตถุดิบผ่านการตรวจสอบจะนำไปจัดเก็บไว้ที่คลังสินค้า เพื่อรอจัดเตรียมวัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการผลิต

3.2.2.3 การประกอบหม้อแปลงขนาดเล็ก (Assembly Process) เมื่อวัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการผลิต จะถูกนำไปประกอบในแต่ละกระบวนการย่อยตามลำดับ รวมถึงการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยการทดสอบการใช้งานทางไฟฟ้าต่างๆ

3.2.2.4 การตรวจสอบคุณภาพขาออก (Outgoing Inspection) เป็นกระบวนการตรวจสอบความถูกต้องของผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาจากลักษณะของผลิตภัณฑ์ และค่าทดสอบการใช้งานทางไฟฟ้าให้ตรงตามความต้องการที่ลูกค้ากำหนด (Specification) จากนั้นบรรจุผลิตภัณฑ์ลงกล่องเตรียมส่งมอบให้ลูกค้าต่อไป

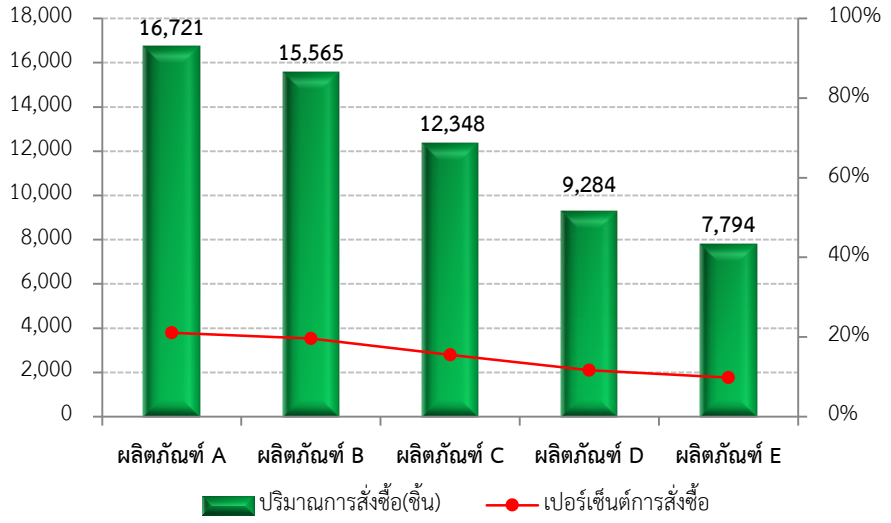
3.3 วิธีวิจัยและเครื่องมือที่ใช้

3.3.1 เลือกผลิตภัณฑ์ที่จะนำมาทำการวิจัย

โดยพิจารณาจากผลิตภัณฑ์ที่มีการสั่งซื้อในปริมาณมากอย่างต่อเนื่อง และมีแนวโน้มของปริมาณการซื้อที่มากขึ้น จากข้อมูลย้อนหลัง 11 เดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม 2561 ถึง พฤศจิกายน 2561 มีจำนวนการผลิตทั้งหมด 79,436 ชิ้น พบผลิตภัณฑ์ที่มียอดการสั่งซื้อสูงสุด 5 ลำดับ

ตารางที่ 15 ปริมาณการสั่งซื้อผลิตภัณฑ์ของแต่ละโมเดล

ชื่อผลิตภัณฑ์	ปริมาณการสั่งซื้อ(ชิ้น)	เปอร์เซ็นต์การสั่งซื้อ
A	16,721	21%
B	15,565	20%
C	12,348	16%
D	9,284	12%
E	7,794	10%



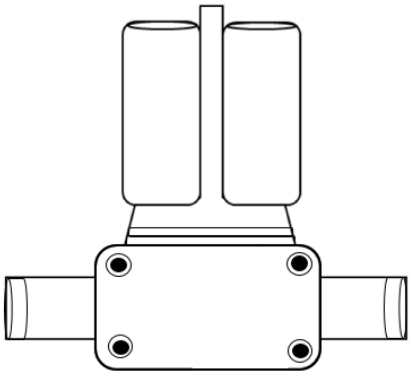
ภาพที่ 23 ปริมาณการสั่งซื้อของแต่ละผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เดือนมกราคม 2561 ถึง พฤศจิกายน 2561

จากข้อมูลดังกล่าวพบว่าผลิตภัณฑ์มีปริมาณการสั่งซื้อมากที่สุด คือ ผลิตภัณฑ์ A

3.3.2 ศึกษาสภาพการทำงานของผลิตภัณฑ์ที่คัดเลือก

3.3.2.1 ข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่นำมาทำการวิจัย

ผลิตภัณฑ์ A เป็นโซลินอยด์ โครงสร้างภายในจะประกอบด้วยขดลวดที่พันอยู่รอบแท่งเหล็ก มีแม่เหล็กชุดบนกับชุดล่าง เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดจะทำให้แท่งเหล็กชุดล่างมีอำนาจแม่เหล็กดึงแท่งเหล็กชุดบนลงมาสัมผัสกันทำให้ครบวงจรทำงาน โดยจะทำการเปิดและปิด



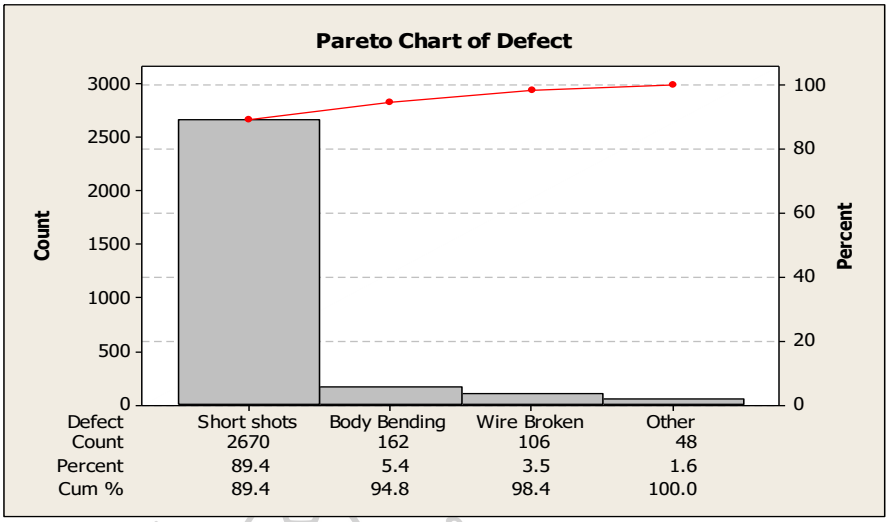
ภาพที่ 24 ผลิตภัณฑ์ A

จากเก็บรวบรวมข้อมูลของเสียผลิตภัณฑ์ A ในเดือนมิถุนายน 2561 ถึง พฤศจิกายน 2561 รวม 6 เดือน พบของเสียจำนวน 2,986 ชิ้น แบ่งเป็นปัญหาได้ 4 ปัญหาดังนี้

ตารางที่ 16 ของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการฉีดพลาสติก

ปัญหาที่พบ	ปริมาณที่พบ(ชิ้น)	สัดส่วนของเสีย%	% สะสม
Short shots	2670	89.4	89.4
Body Bending	162	5.4	94.8
Wire Broken	106	3.5	98.4
Lead Out	48	1.6	100.0

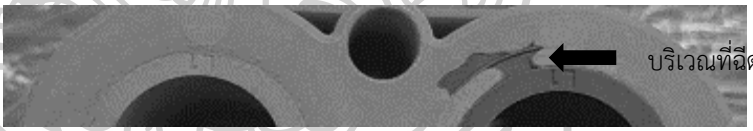
จากนั้นนำมาวิเคราะห์โดยใช้กราฟพาเรโตเพื่อแสดงให้เห็นสาเหตุของความบกพร่องกับปริมาณความสูญเสียที่เกิดขึ้น พบว่าสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดของเสีย คือ ปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็ม (Short shorts) มีจำนวนมากถึง 2,670 ชิ้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์สะสมเท่ากับ 89.4 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 25 ปัญหาของเสียจากกระบวนการฉีดพลาสติก

3.3.2.2 อธิบายลักษณะของเสียปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็ม (Short shorts) ของผลิตภัณฑ์ A

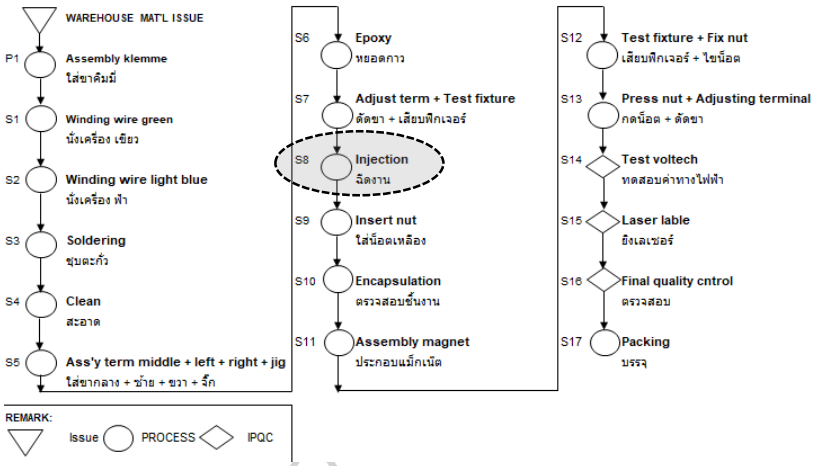
จากบริเวณที่ลูกศรชี้บนชิ้นงานจะพบบริเวณที่พลาสติกฉีดไม่เต็ม จะเห็นว่าเนื้อพลาสติกที่ฉีดไม่ครอบคลุมตามพื้นที่ทั้งหมดที่ได้กำหนดไว้ในแม่พิมพ์ สำหรับชิ้นงานฉีดไม่เต็มจะส่งผลให้การนำไปใช้งานของโซลินอยด์เกิดการรั่วไหล



ภาพที่ 26 ชิ้นงานที่ฉีดไม่เต็ม (Short shorts)

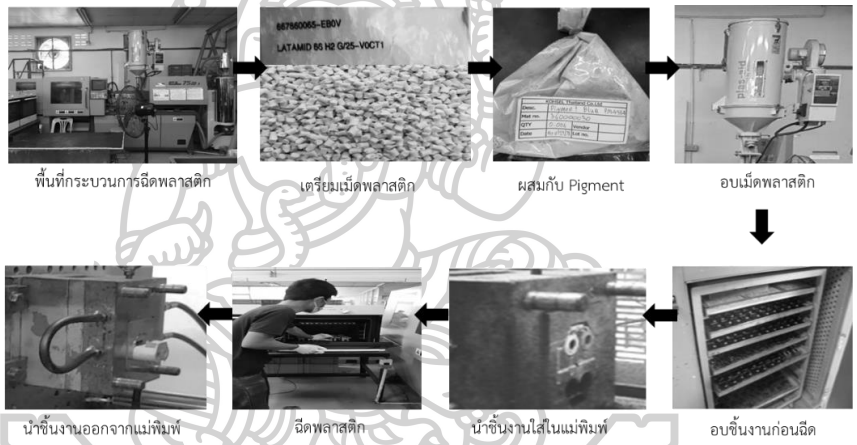
3.3.2.3 กระบวนการผลิต

จากกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ A พบว่ามีขั้นตอนการผลิตหลายกระบวนการด้วยกัน โดยขั้นตอนที่พบของเสียเกิดขึ้นในกระบวนการฉีดพลาสติก ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 27 แผนผังกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ A

3.3.2.4 ภาพรวมของขั้นตอนในกระบวนการฉีดพลาสติก



ภาพที่ 28 ขั้นตอนการฉีดพลาสติก

3.3.2.5 ขั้นตอนอย่างละเอียดในกระบวนการฉีดพลาสติก

3.3.2.5.1 นำเม็ดพลาสติก LATAMID_66_H2_G_25-V0CT1 มาทำการอบใน Hopper ที่อุณหภูมิ 80-120 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 3 ชั่วโมง

3.3.2.5.2 เลือกโปรแกรมของผลิตภัณฑ์ A ที่บันทึกประจำเอาไว้ในเครื่องซึ่งจะแสดงการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเครื่องฉีดพลาสติก

3.3.2.5.3 นำชิ้นงานที่พันลวดแล้วเข้าตู้อบและทำการอบชิ้นงานที่อุณหภูมิ 80-120 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 1 ชั่วโมงก่อนทำการฉีด

3.3.2.5.4 นำชิ้นงานออกจากตู้อบและนำเข้าไปใส่ในแม่พิมพ์ (Mold)

3.3.2.5.5 เมื่อเครื่องฉีดทำการฉีดพลาสติกเรียบร้อยแล้ว จะได้ชิ้นงานที่มีเนื้อพลาสติกหุ้มบริเวณที่พันลวดและบ๊อบบิ้น

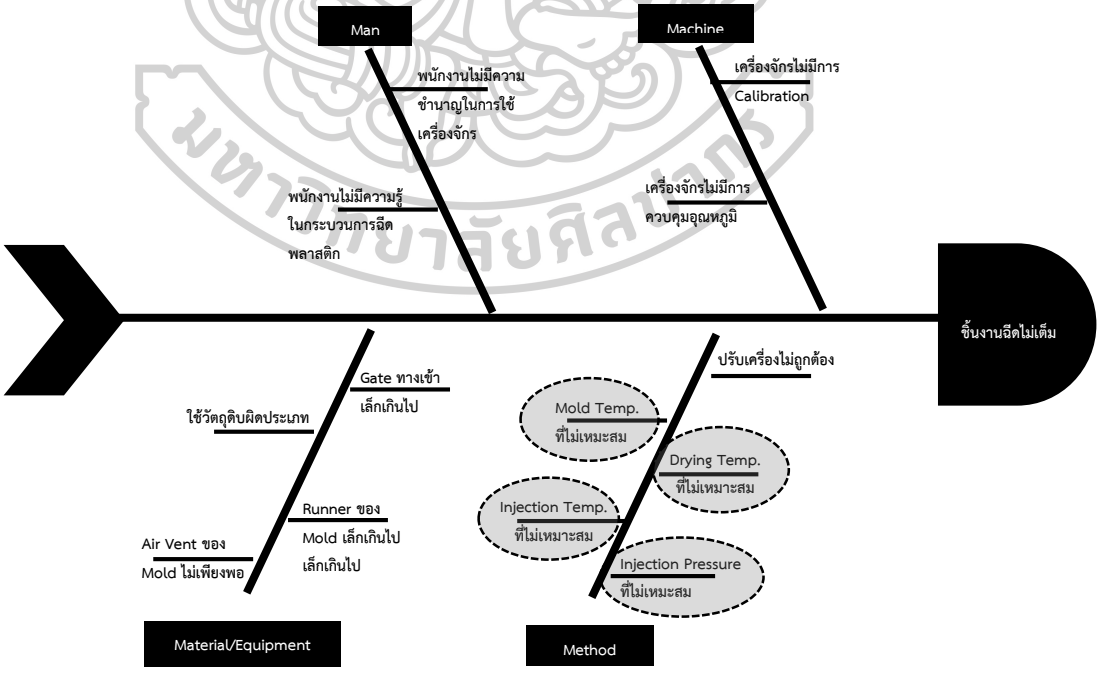
3.4 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

3.4.1 การวิเคราะห์ปัญหา

พบปัญหาของเสียที่เกิดมากที่สุดของผลิตภัณฑ์ A คือ ปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็ม (Short shorts) ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้เครื่องมือคุณภาพที่เรียกว่า แผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram or Cause and Effect) มาช่วยในการวิเคราะห์เพื่อค้นหาปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการเกิดของเสีย

3.4.2 การวิเคราะห์สาเหตุเพื่อกำหนดเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหา

จากหลักการ 4M ที่นำไปสู่การระบุปัจจัยในการออกแบบการทดลอง ได้แก่ คน (Man), วัตถุดิบ (Material), วิธีการ (Method), เครื่องจักร (Machine) ซึ่งในการวิเคราะห์เพื่อค้นหาปัจจัยที่เป็นสาเหตุ ผู้วิจัยได้ทำการระดมความคิดจากผู้เชี่ยวชาญจากฝ่ายวิศวกรรมการผลิต ฝ่ายซ่อมบำรุง และฝ่ายควบคุมคุณภาพร่วมกันช่วยวิเคราะห์ปัญหาตามหลักการบนข้อเท็จจริงเพื่อหาปัจจัยหลักที่จะใช้ในการออกแบบการทดลอง โดยวิเคราะห์ในกระบวนการผลิต เริ่มจากการจากการปฏิบัติงานของพนักงาน วัตถุดิบที่ใช้ และเครื่องจักรที่ใช้ รวมถึงขั้นตอน และชิ้นงานที่เกิดปัญหาของเสียตามลำดับ สามารถวิเคราะห์สาเหตุได้ดังนี้



ภาพที่ 29 แผนผังก้างปลาแสดงปัจจัยที่เกี่ยวข้องและสาเหตุของปัญหา

ตารางที่ 17 การวิเคราะห์ 4M ของปัญหาการเกิดของเสีย

การวิเคราะห์ 4M ของปัญหาการเกิดของเสีย			
ปัจจัย	ปัญหา	ผลกระทบ	การแก้ไข
คน(Man)	-พนักงานไม่ได้รับการอบรมการใช้เครื่องจักรที่ถูกวิธี -พนักงานไม่ได้รับการอบรมความรู้เฉพาะทาง	ไม่มีผลกับของเสียโดยตรง	-ส่งพนักงานเข้าอบรมหลักสูตรการใช้เครื่องจักรอย่างถูกวิธี -ส่งพนักงานเข้าอบรมด้านความรู้เฉพาะทางของกระบวนการฉีดพลาสติก
วัตถุดิบ (Material)	-ใช้เม็ดพลาสติกผิดประเภท	ไม่มีผลกับของเสียโดยตรง	-แยกพื้นที่การจัดเก็บประเภทเม็ดพลาสติกที่ต่างกันให้ชัดเจน -ติดป้ายระบุชื่อให้ชัดเจน ป้องกันพนักงานหยิบสลับกัน
เครื่องจักร (Machine)	-เครื่องจักรไม่มีการ Calibration	ไม่มีผลกับของเสียโดยตรง	-ทำประวัติเครื่องจักร และทำการ Calibration
วิธีการ (Method)	-กำหนด Drying Temperature ที่ไม่เหมาะสม -กำหนด Injection Temperature ที่ไม่เหมาะสม -กำหนด Mold Temperature ที่ไม่เหมาะสม - Injection pressure ที่ไม่เหมาะสม -พนักงานไม่มีคู่มือขั้นตอนการปฏิบัติงาน	มีผลกับของเสียโดยตรง พบว่าอุณหภูมิในการอุ่นเม็ด, อุณหภูมิในการฉีดพลาสติก, อุณหภูมิแม่พิมพ์, แรงดันในการฉีดโดยปัจจัยที่กล่าวมาทั้งหมดมีพารามิเตอร์ที่ไม่เหมาะสมส่งผลกระทบทำให้เกิดของเสีย	-กำหนดค่าอุณหภูมิในการอุ่นเม็ด, อุณหภูมิในการฉีดพลาสติก, อุณหภูมิแม่พิมพ์, แรงดันในการฉีดพลาสติกที่เหมาะสมอย่างเป็นมาตรฐาน -จัดทำคู่มือขั้นตอนการปฏิบัติงาน

พบปัจจัยที่มีผลกระทบกับการเกิดของเสียโดยตรง คือ อุณหภูมิในการฉีดพลาสติก,อุณหภูมิแม่พิมพ์, แรงดันในการฉีดพลาสติกที่เหมาะสม จึงนำมากำหนดเป็นปัจจัยในการทดลองในลำดับต่อไป

3.4.3 การกำหนดระดับปัจจัย

ในการออกแบบการแบบเต็มรูปแบบ 2 ระดับ (2k Full Factorial Design)DOE สามารถแบ่งระดับปัจจัยเป็น 2 ระดับ คือระดับ “สูง” และระดับ “ต่ำ”

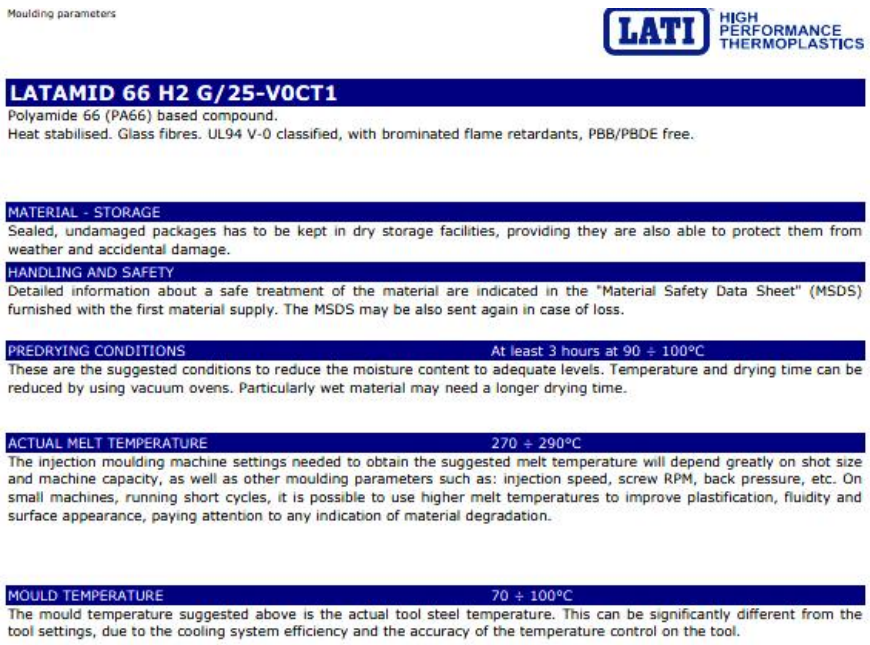
จากการวิเคราะห์พบปัจจัยที่มีอิทธิพลและส่งผลกระทบกับปัญหาของเสียชิ้นงานฉีดไม่เต็มอยู่ในส่วนของวิธีการ (Method) ซึ่งผู้วิจัยนำปัจจัยซึ่งเป็นค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการตั้งค่าของเครื่องจักรมาวิเคราะห์และเป็นปัจจัยในการออกแบบการทดลองซึ่งมี 4 ปัจจัยดังนี้

1. อุณหภูมิในการอุ่นเม็ด (Drying Temperature)
2. อุณหภูมิในการฉีดพลาสติก (Injection Temperature)
3. อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold Temperature)
4. แรงดันในการฉีด (Injection Pressure)

ตารางที่ 18 การแบ่งระดับปัจจัย

Factor	สัญลักษณ์	Number of Factor		หน่วย
		ระดับต่ำ (-)	ระดับสูง (+)	
1. อุณหภูมิในการอุ่นเม็ด	A	80	120	ºC
2. อุณหภูมิในการฉีดพลาสติก	B	275	285	ºC
3. อุณหภูมิแม่พิมพ์	C	78	84	ºC
4. แรงดันในการฉีด	D	32	34	MPa

โดยมีเหตุผลในการเลือกใช้ค่า factor ดังกล่าว อยู่ในช่วงของค่ามาตรฐานที่มาจากคำแนะนำของวัสดุชนิด LATAMID 66 H2 G 25-V0CT1 ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในการผลิตของผลิตภัณฑ์โมเดล A ได้ระบุเพื่อแนะนำเพื่อใช้ปรับตั้งค่าเครื่องฉีดในเบื้องต้น (จากมาตรฐาน DATA SHEET LATAMID 66 H2 G 25-V0CT1) [23]



Moulding parameters

LATI HIGH PERFORMANCE THERMOPLASTICS

LATAMID 66 H2 G/25-V0CT1

Polyamide 66 (PA66) based compound.
Heat stabilised. Glass fibres. UL94 V-0 classified, with brominated flame retardants, PBB/PBDE free.

MATERIAL - STORAGE

Sealed, undamaged packages has to be kept in dry storage facilities, providing they are also able to protect them from weather and accidental damage.

HANDLING AND SAFETY

Detailed information about a safe treatment of the material are indicated in the "Material Safety Data Sheet" (MSDS) furnished with the first material supply. The MSDS may be also sent again in case of loss.

PREDRYING CONDITIONS At least 3 hours at 90 ÷ 100°C

These are the suggested conditions to reduce the moisture content to adequate levels. Temperature and drying time can be reduced by using vacuum ovens. Particularly wet material may need a longer drying time.

ACTUAL MELT TEMPERATURE 270 ÷ 290°C

The injection moulding machine settings needed to obtain the suggested melt temperature will depend greatly on shot size and machine capacity, as well as other moulding parameters such as: injection speed, screw RPM, back pressure, etc. On small machines, running short cycles, it is possible to use higher melt temperatures to improve plastification, fluidity and surface appearance, paying attention to any indication of material degradation.

MOULD TEMPERATURE 70 ÷ 100°C

The mould temperature suggested above is the actual tool steel temperature. This can be significantly different from the tool settings, due to the cooling system efficiency and the accuracy of the temperature control on the tool.

ภาพที่ 30 DATA SHEET LATAMID 66 H2 G 25-V0CT1

ที่มา : LATI PERFORMANCE THOEMOPLASTICS. 2559. DATA SHEET - Moulding parameters LATAMID_66_H2_G_25-V0CT1 [25]. เข้าถึงเมื่อวันที่ 21-08-61. เข้าถึงได้จาก https://lambda.lati.com/documentazione/FogliTecnici/UK/LATAMID_66_H2_G_25-V0CT1.PDF

ซึ่งการแบ่งระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลองจากนั้น ผู้วิจัยจึงตั้งสมมติฐานที่ใช้ในการทดลองดังนี้

3.4.4 การตั้งสมมติฐาน โดยมีตัวแปรดังนี้

α คือ อุณหภูมิในการอุ่นเม็ด

β คือ อุณหภูมิในการฉีดพลาสติก

γ คือ อุณหภูมิแม่พิมพ์

δ คือ แรงดันในการฉีด

โดยที่ I, j, k และ l คือระดับปัจจัยของ α β γ และ δ ตามลำดับ และมีระดับดังนี้คือ i=1,2,...,a j=1,2,...,b k=1,2,...,c และ l=1,2,...,d

สมมติฐานที่ 1 ค่าของการปรับอุณหภูมิในการอุ่นเม็ด (A) มีอิทธิพลกับปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็มอย่างมีนัยสำคัญ

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

สมมติฐานที่ 2 ค่าของการปรับอุณหภูมิในการฉีดพลาสติก (B) มีอิทธิพลกับปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็มอย่างมีนัยสำคัญ

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

สมมติฐานที่ 3 ค่าของการปรับอุณหภูมิแม่พิมพ์ (C) มีอิทธิพลกับปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็มอย่างมีนัยสำคัญ

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

สมมติฐานที่ 4 ค่าของการปรับแรงดันในการฉีด (D) มีอิทธิพลกับปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็มอย่างมีนัยสำคัญ

H0: $\delta l = 0$ l = 1,2,...,d H1: $\delta l \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับ 0

สมมติฐานที่ 5 ผลกระทบร่วมของค่าการปรับอุณหภูมิในการอุ่นเม็ด (A) และการปรับอุณหภูมิในการฉีดพลาสติก (B) มีอิทธิพลกับปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็มอย่างมีนัยสำคัญ

H0: $(\alpha\beta)i\ j = 0$ H1: $(\alpha\beta)i\ j \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับ 0

สมมติฐานที่ 6 ผลกระทบร่วมของค่าการปรับอุณหภูมิในการอุ่นเม็ด (A) และการปรับอุณหภูมิแม่พิมพ์ (C) มีอิทธิพลกับปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็มอย่างมีนัยสำคัญ

H0: $(\alpha\gamma)i\ k = 0$ H1: $(\alpha\gamma)i\ k \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับ 0

สมมติฐานที่ 7 ผลกระทบร่วมของค่าการปรับอุณหภูมิในการอุ่นเม็ด (A) และปรับแรงดันในการฉีด (D) มีอิทธิพลกับปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็มอย่างมีนัยสำคัญ

H0: $(\alpha\delta)i\ l = 0$ H1: $(\alpha\delta)i\ l \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับ 0

สมมติฐานที่ 8 ผลกระทบร่วมของค่าการปรับอุณหภูมิในการฉีดพลาสติก (B) และการปรับอุณหภูมิแม่พิมพ์ (C) มีอิทธิพลกับปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็มอย่างมีนัยสำคัญ

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

สมมติฐานที่ 9 ผลกระทบร่วมของค่าการปรับอุณหภูมิในการฉีดพลาสติก (B) และการปรับแรงดันในการฉีด (D) มีอิทธิพลกับปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็มอย่างมีนัยสำคัญ

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

สมมติฐานที่ 10 ผลกระทบร่วมของค่าการปรับอุณหภูมิแม่พิมพ์ (C) และการปรับแรงดันในการฉีด (D) มีอิทธิพลกับปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็มอย่างมีนัยสำคัญ

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

สมมติฐานที่ 11 ผลกระทบร่วมของค่าการปรับอุณหภูมิในการอุ่นเม็ด (A) และการปรับอุณหภูมิในการฉีดพลาสติก (B) และอุณหภูมิแม่พิมพ์ (C) มีอิทธิพลกับปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็มอย่างมีนัยสำคัญ

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

สมมติฐานที่ 12 ผลกระทบร่วมของค่าการปรับปรับอุณหภูมิในการอุ่นเม็ด (A) และการปรับอุณหภูมิในการฉีดพลาสติก (B) และการปรับแรงดันในการฉีด (D) มีอิทธิพลกับปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็มอย่างมีนัยสำคัญ

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

สมมติฐานที่ 13 ผลกระทบร่วมของค่าการปรับอุณหภูมิในการอุ่นเม็ด (A) และการปรับอุณหภูมิแม่พิมพ์ (C) และการปรับแรงดันในการฉีด (D) มีอิทธิพลกับปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็มอย่างมีนัยสำคัญ

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

สมมติฐานที่ 14 ผลกระทบร่วมของค่าการปรับอุณหภูมิในการฉีดพลาสติก (B) การปรับอุณหภูมิแม่พิมพ์ (C) และการปรับแรงดันในการฉีด (D) มีอิทธิพลกับปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็มอย่างมีนัยสำคัญ

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

สมมติฐานที่ 15 ผลกระทบร่วมของค่าการปรับอุณหภูมิในการอุ่นเม็ด (A) การปรับอุณหภูมิในการฉีดพลาสติก (B) การปรับอุณหภูมิแม่พิมพ์ (C) และการปรับแรงดันในการฉีด (D) มีอิทธิพลกับปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็มอย่างมีนัยสำคัญ

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

3.5 การออกแบบการทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบเต็มรูปแบบ 2 ระดับ

ผู้วิจัยได้ศึกษาปัจจัยที่นำมาทำการทดลองจากปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็ม ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองแบบเต็มรูปแบบ 2 ระดับ (2^k Full Factorial Experiment) เพื่อกรองเอาปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลออก (Screen Factor) โดยระดับปัจจัย มี 2 ระดับ คือ “ต่ำ” และ “สูง” โดยทำการทดลองแบบสุ่ม (Random) ตามข้อบังคับของการทดลอง จากนั้นทำการทดลองผลการตอบสนอง โดยให้ผลตอบสนองของการทดลองเป็นสัดส่วนของเสียต่อปริมาณการผลิต ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (α = 0.005) ซึ่งมีรูปแบบการทดลอง 2^k ทั้งหมด 4 ปัจจัย ซึ่งก็จะเท่ากับ 2^4 และกำหนดการทดลองซ้ำกัน 3 ครั้ง (3 Replicate) ดังนั้นจะต้องทำการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 48 การทดลอง โดยใช้โปรแกรม MINITAB ในการสุ่มการทดลองรูปแบบการจัดลำดับการทดลองที่ได้จะแสดงดังตาราง

ตารางที่ 19 การจัดลำดับการทดลองแบบสุ่มโดยโปรแกรม Minitab

StdOrder	RunOrder	A	B	C	D	Response
1	18	80	275	78	32	
2	16	120	275	78	32	
3	2	80	285	78	32	
4	43	120	285	78	32	
5	34	80	275	84	32	
6	7	120	275	84	32	
7	33	80	285	84	32	
8	5	120	285	84	32	
9	46	80	275	78	34	
10	31	120	275	78	34	
11	48	80	285	78	34	
12	9	120	285	78	34	
13	1	80	275	84	34	
14	22	120	275	84	34	
15	6	80	285	84	34	
16	12	120	285	84	34	
17	11	80	275	78	32	

ตารางที่ 19 การจัดลำดับการทดลองแบบสุ่มโดยโปรแกรม Minitab (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	A	B	C	D	Response
18	29	120	275	78	32	
19	19	80	285	78	32	
20	4	120	285	78	32	
21	21	80	275	84	32	
22	24	120	275	84	32	
23	14	80	285	84	32	
24	32	120	285	84	32	
25	25	80	275	78	34	
26	27	120	275	78	34	
27	36	80	285	78	34	
28	8	120	285	78	34	
29	30	80	275	84	34	
30	41	120	275	84	34	
31	26	80	285	84	34	
32	37	120	285	84	34	
33	3	80	275	78	32	
34	47	120	275	78	32	
35	28	80	285	78	32	
36	38	120	285	78	32	
37	42	80	275	84	32	
38	45	120	275	84	32	
39	15	80	285	84	32	
40	35	120	285	84	32	
41	23	80	275	78	34	
42	44	120	275	78	34	
43	13	80	285	78	34	
44	40	120	285	78	34	
45	39	80	275	84	34	

ตารางที่ 19 การจัดลำดับการทดลองแบบสุ่มโดยโปรแกรม Minitab (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	A	B	C	D	Response
46	17	120	275	84	34	
47	10	80	285	84	34	
48	20	120	285	84	34	

3.6 ทำการทดลองการวิเคราะห์ข้อมูลและการสรุปผลการทดลอง

เมื่อได้ทำการจัดลำดับการทดลองแล้ว ผู้วิจัยจะทำการทดลองทั้งหมด 48 การทดลอง และเมื่อได้ผลการทดลองแล้ว ผู้วิจัยจะใช้โปรแกรม Minitab เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ความแปรปรวนและสรุปผล โดยจะทำการการวิเคราะห์ดังนี้

3.6.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง (Model Adequacy Checking)

3.6.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของเสียปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็ม

ซึ่งจะสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยใดที่มีอิทธิพลกับการเกิดของเสียปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็มอย่างมีนัยสำคัญ

3.6.3 การวิเคราะห์ผลการตอบสนองที่ดีสุด (Response Optimization)

โดยขั้นตอนนี้เป็นการนำเอาค่าตอบสนอง (Response) ที่ได้จากการทำการทดลองมาวิเคราะห์ต่อ เพื่อยืนยันผลของการทดลอง โดยใช้หลักการ Response Optimization เพื่อทำการหาค่าที่เหมาะสม จากนั้นทำการสรุปผล และนำค่าที่ได้ไปใช้ในปรับตั้งค่าเครื่องฉีดพลาสติกในกระบวนการฉีดพลาสติกเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตต่อไป

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การดำเนินการทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ 2^k Full Factorial Design

การกรองปัจจัยเบื้องต้นด้วยวิธี 2^k Full Factorial Design จะต้องทำการทดลองให้ครบทุกเงื่อนไข ในที่นี้จะประกอบด้วย 4 ปัจจัย แต่ละปัจจัยประกอบไปด้วย 2 ระดับ ซึ่งทำการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสมบูรณ์จะต้องทำการทดลองเท่ากับ 2^4 = 16 การทดลอง และทำการทดลอง 3 ครั้งรวม 48 การทดลอง โดยการทดลองจะจัดลำดับการทดลองแบบสุ่มเป็นการลดความผิดพลาดของการวิเคราะห์ผล ในการทดลองจะต้องวิเคราะห์ผลกระทบตัวแปรตอบสนองให้ครบทุกการทดลองและจะให้ความสนใจกับตัวที่มีอิทธิพลเป็นหลัก

ตารางที่ 20 จำนวนชิ้นงานที่ใช้ในการออกแบบการทดลองแบบ 2k Full Factorial Design

จำนวนชิ้นงาน ในกระบวนการฉีด (ชิ้น)	จำนวนครั้งที่ทดสอบ (ครั้ง)	จำนวนชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ ทั้งหมด (ชิ้น)
100	48	4,800

4.2 ผลการทดลองแบบ 2k Factorial Design

จากการกรองปัจจัยเบื้องต้น ผู้วิจัยได้ได้ทำการทดลองตามวิธีการดำเนินงานที่กล่าวในบทก่อนหน้านี้ และทำการบันทึกผลการทดลองได้ดังนี้

ตารางที่ 21 บันทึกผลการทดลอง

StdOrder	RunOrder	A	B	C	D	Response
1	18	80	275	78	32	0.09
2	16	120	275	78	32	0.05
3	2	80	285	78	32	0.14
4	43	120	285	78	32	0.22
5	34	80	275	84	32	0.14
6	7	120	275	84	32	0.07
7	33	80	285	84	32	0.05

ตารางที่ 21 บันทึกผลการทดลอง (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	A	B	C	D	Response
8	5	120	285	84	32	0.06
9	46	80	275	78	34	0.05
10	31	120	275	78	34	0.09
11	48	80	285	78	34	0.13
12	9	120	285	78	34	0.09
13	1	80	275	84	34	0.08
14	22	120	275	84	34	0.02
15	6	80	285	84	34	0.05
16	12	120	285	84	34	0.13
17	11	80	275	78	32	0.10
18	29	120	275	78	32	0.04
19	19	80	285	78	32	0.12
20	4	120	285	78	32	0.19
21	21	80	275	84	32	0.17
22	24	120	275	84	32	0.05
23	14	80	285	84	32	0.09
24	32	120	285	84	32	0.08
25	25	80	275	78	34	0.07
26	27	120	275	78	34	0.12
27	36	80	285	78	34	0.14
28	8	120	285	78	34	0.13
29	30	80	275	84	34	0.06
30	41	120	275	84	34	0.01
31	26	80	285	84	34	0.04
32	37	120	285	84	34	0.07
33	3	80	275	78	32	0.13
34	47	120	275	78	32	0.07
35	28	80	285	78	32	0.10

ตารางที่ 21 บันทึกผลการทดลอง (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	A	B	C	D	Response
36	38	120	285	78	32	0.17
37	42	80	275	84	32	0.12
38	45	120	275	84	32	0.08
39	15	80	285	84	32	0.08
40	35	120	285	84	32	0.05
41	23	80	275	78	34	0.09
42	44	120	275	78	34	0.07
43	13	80	285	78	34	0.16
44	40	120	285	78	34	0.11
45	39	80	275	84	34	0.04
46	17	120	275	84	34	0.03
47	10	80	285	84	34	0.06
48	20	120	285	84	34	0.10

4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2k Full Factorial Design

จากผลการทดลองที่ได้เชิงแฟคทอเรียลแบบ 2k Full Factorial Design ผู้วิจัยได้นำค่าผลตอบสนองที่ได้จากจำนวนของชิ้นงานที่เสียจากปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็มมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยโปรแกรม Minitab จากผลการทดลองในตารางที่ 21 สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

4.3.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง (Model Adequacy Checking)

โดยการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลองจะเป็นการตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมของข้อมูลที่ได้จากการทำการทดลอง ซึ่งจะพิจารณาตามตามหลักการ $\varepsilon ij \sim NID(0,\sigma^2)$ โดยค่าส่วนตกค้าง (Residuals) ที่มาจากข้อมูลในการทดลองมีการแจกแจงปกติ และมีความเป็นอิสระที่ค่าเฉลี่ยใกล้เคียง 0 และσ^2 มีค่าคงตัว จึงจะทำให้ข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองมีความถูกต้องและเชื่อถือได้ ซึ่งการตรวจสอบ εij แบ่งเป็น 4 ขั้นตอน มีดังต่อไปนี้

4.3.1.1 การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) ของส่วนตกค้าง (Residual)

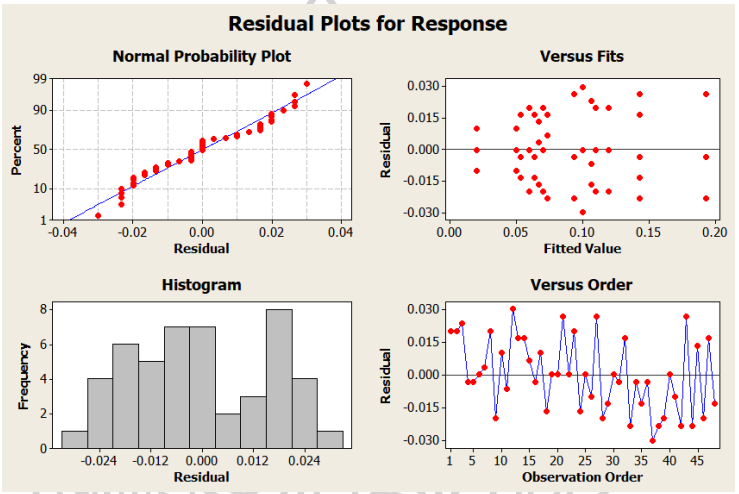
4.3.1.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) ของค่าส่วนตกค้าง (Residual)

4.3.1.3 การตรวจสอบค่าเฉลี่ยของค่าส่วนตกค้าง (Residual)

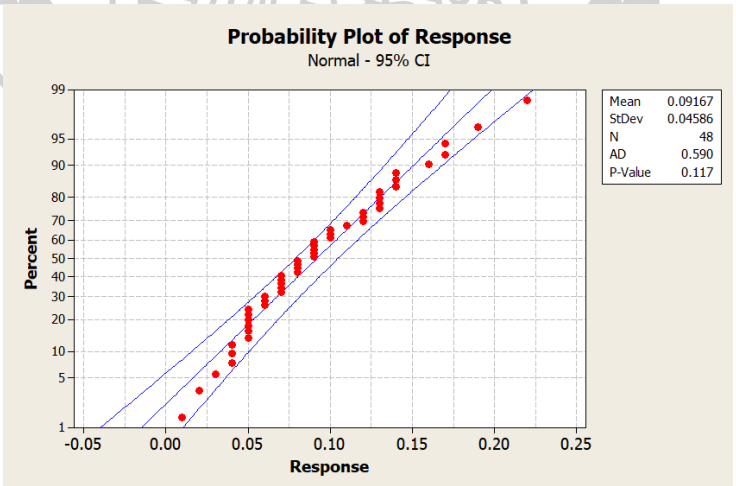
4.3.1.4 การตรวจสอบความเสถียรของ σ^2 (Variance Stability)

โดยการนำข้อมูลจากตารางที่ 21 มาสร้างเป็นแผนภูมิ ดังภาพที่ 31-34 ซึ่งผลการตรวจสอบมีความเป็นไปได้ตามรายละเอียดดังนี้

4.3.1.1 การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) ของส่วนตกค้าง (Residual)



ภาพที่ 31 Residual Plots



ภาพที่ 32 การกระจายแบบปกติของค่าส่วนตกค้าง (Residual)

เมื่อพิจารณาการกระจายค่าส่วนตกค้าง (Residual) ดังภาพที่ 31 และ 32 ที่ใช้ในการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ในระดับความเชื่อมั่นที่ 95% (α=0.05)

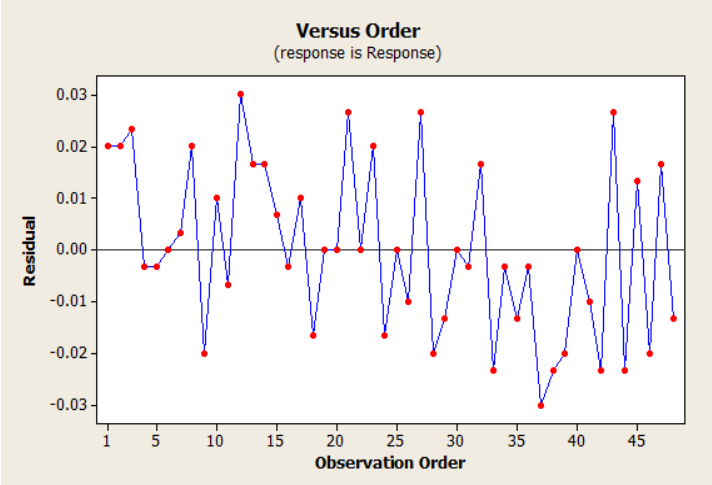
ซึ่งมีสมมติฐานดังนี้

H0: $\alpha i = 0$ เป็นการแจกแจงปกติ

H1: $\alpha i \neq 0$ ไม่เป็นการแจกแจงปกติ

พบว่าค่าส่วนตกค้างมีกระจายตัวตามแนวเส้นตรง และค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.117 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับความเชื่อมั่น P-Value = (0.117 > 0.050) จึงสรุปได้ว่าไม่ปฏิเสธ H0

4.3.1.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) ของค่าส่วนตกค้าง (Residual)



ภาพที่ 33 การกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residual) เทียบกับ Observation Order

จากแผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) ดังภาพที่ 33 จะเห็นได้ว่าการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างมีรูปแบบการกระจายตัวที่เป็นอิสระต่อกัน และการกระจายตัวไม่มีรูปแบบที่แน่นอน ไม่สามารถประมาณรูปแบบของข้อมูลที่แน่นอนได้ สามารถสรุปได้ว่าค่าส่วนตกค้าง (Residual) เป็นอิสระต่อกัน (Independent)

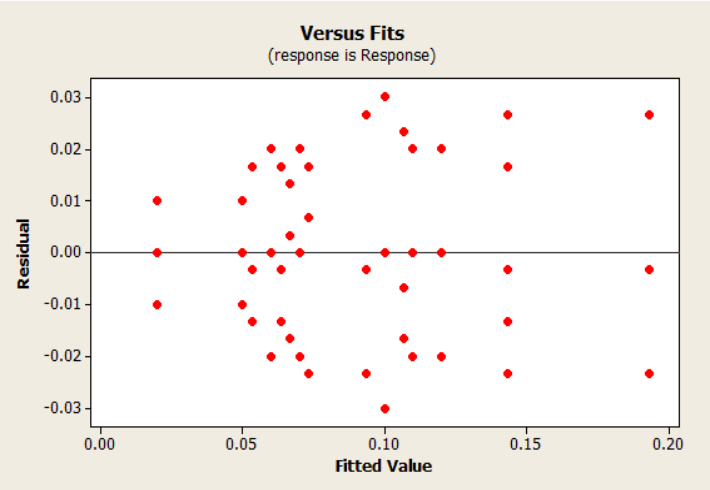
4.3.1.3 การตรวจสอบค่าเฉลี่ยของค่าส่วนตกค้าง (Residual)

จากแผนภูมิการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residual) เทียบกับ Fits Value จะพิจารณาการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residual) เทียบกับระดับปัจจัยทุกตัว ดังภาพที่ 34 พบว่าค่าส่วนตกค้างในแผนภูมิมีการกระจายอย่างสุ่ม จะเห็นว่าโดยรวมใกล้เคียงกับค่า 0 จึงสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของค่าส่วนตกค้าง (Residual) มีค่าใกล้เคียงหรือมีค่าเท่ากับ 0

4.3.1.4 การตรวจสอบความเสถียรของ σ^2 (Variance Stability)

จากแผนภูมิการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residual) เทียบกับ Fits Value ดังภาพที่ 34 จะสังเกตได้ว่า σ^2 ของการกระจายค่าส่วนตกค้างมีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละ

ตำแหน่ง และไม่พบว่ารูปแบบการกระจายตัวค่าส่วนตกค้างมีลักษณะเป็นแนวโน้ม จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียร



ภาพที่ 34 การกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residual) เทียบกับ Fits Value

จากการพิจารณาแผนภูมิจากภาพที่ 31-34 มีรูปแบบของค่าส่วนตกค้าง (Residual) ที่ได้จากข้อมูลการทดลองเป็นไปตามหลักการของ $\varepsilon ij \sim NID(0,\sigma^2)$ ทุกประการ ดั้งนั้นสรุปได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองชุดนี้มีความถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือ และสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนในขั้นตอนต่อไปได้

4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

จากผลที่ได้จากการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง สรุปได้ว่าไม่มีความผิดปกติจากการทดลองที่เกิดขึ้น และข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ ผู้วิจัยจึงได้นำข้อมูลจากตารางที่ 21 มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อศึกษาอิทธิพลที่มีปัจจัยร่วมของปัจจัยทั้งหมดที่ส่งผลกระทบให้เกิดของเสียของปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็ม โดยได้กำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 95% (α=0.05) การวิเคราะห์ผลจากโปรแกรม Minitab

Full Factorial Design

Factors:	4	Base Design:	4, 16
Runs:	48	Replicates:	3
Blocks:	1	Center pts (total):	0

All terms are free from aliasing.

ภาพที่ 35 ผลการวิเคราะห์ Full Factorial Design

Analysis of Variance for Response (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	0.0356750	0.0356750	0.0089188	22.30	0.000
A	1	0.0008333	0.0008333	0.0008333	2.08	0.159
B	1	0.0108000	0.0108000	0.0108000	27.00	0.000
C	1	0.0184083	0.0184083	0.0184083	46.02	0.000
D	1	0.0056333	0.0056333	0.0056333	14.08	0.001
2-Way Interactions	6	0.0251583	0.0251583	0.0041931	10.48	0.000
A*B	1	0.0096333	0.0096333	0.0096333	24.08	0.000
A*C	1	0.0014083	0.0014083	0.0014083	3.52	0.070
A*D	1	0.0008333	0.0008333	0.0008333	2.08	0.159
B*C	1	0.0114083	0.0114083	0.0114083	28.52	0.000
B*D	1	0.0012000	0.0012000	0.0012000	3.00	0.093
C*D	1	0.0006750	0.0006750	0.0006750	1.69	0.203
3-Way Interactions	4	0.0172250	0.0172250	0.0043063	10.77	0.000
A*B*C	1	0.0014083	0.0014083	0.0014083	3.52	0.070
A*B*D	1	0.0048000	0.0048000	0.0048000	12.00	0.002
A*C*D	1	0.0030083	0.0030083	0.0030083	7.52	0.010
B*C*D	1	0.0080083	0.0080083	0.0080083	20.02	0.000
4-Way Interactions	1	0.0080083	0.0080083	0.0080083	20.02	0.000
A*B*C*D	1	0.0080083	0.0080083	0.0080083	20.02	0.000
Residual Error	32	0.0128000	0.0128000	0.0004000		
Pure Error	32	0.0128000	0.0128000	0.0004000		
Total	47	0.0988667				

ภาพที่ 36 ผลการวิเคราะห์ Variance for Response

ตารางที่ 22 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลอง

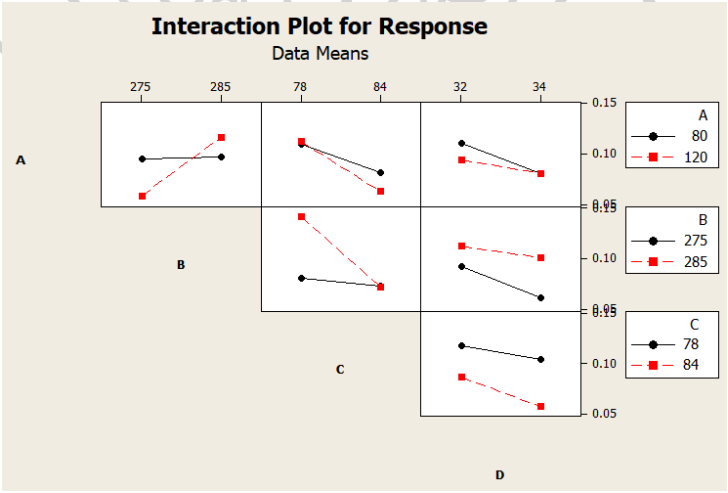
Factorial Fit: Response versus A, B, C, D					
Estimated Effects and Coefficients for Response (coded units)					
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.09167	0.002887	31.75	0.000
A	-0.00833	-0.00417	0.002887	-1.44	0.159
B	0.03000	0.01500	0.002887	5.20	0.000
C	-0.03917	-0.01958	0.002887	-6.78	0.000
D	-0.02167	-0.01083	0.002887	-3.75	0.001
A*B	0.02833	0.01417	0.002887	4.91	0.000
A*C	-0.01083	-0.00542	0.002887	-1.88	0.070
A*D	0.00833	0.00417	0.002887	1.44	0.159
B*C	-0.03083	-0.01542	0.002887	-5.34	0.000
B*D	0.01000	0.00500	0.002887	1.73	0.093
C*D	-0.00750	-0.00375	0.002887	-1.30	0.203
A*B*C	0.01083	0.00542	0.002887	1.88	0.070
A*B*D	-0.02000	-0.01000	0.002887	-3.46	0.002
A*C*D	0.01583	0.00792	0.002887	2.74	0.010
B*C*D	0.02583	0.01292	0.002887	4.47	0.000
A*B*C*D	0.02583	0.01292	0.002887	4.47	0.000
S = 0.02		R-Sq = 87.05%		R-Sq(adj) = 80.98%	

จากการตรวจสอบข้อมูลจากตารางที่ 22 ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่มีมากกว่า 2 ปัจจัย และพบว่าผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองมีผลกระทบร่วม 2 กรณี ซึ่งผลกระทบร่วมมีนัยสำคัญ (P-value < 0.05) และจะไม่พิจารณาปัจจัยหลัก ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าความผิดพลาดมีการแจกแจงปกติ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ โดยมีความแปรปรวนคงที่และเป็นอิสระต่อกัน

กรณีที่ 1 ค่า P-value ของปัจจัยระหว่างอุณหภูมิในการอุ่นเม็ด (A) และอุณหภูมิในการฉีดพลาสติก (B) เท่ากับ 0.000< 0.05 สรุปได้ว่าปัจจัยทั้งสองเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบร่วมอย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนของเสียในกระบวนการผลิตการฉีดพลาสติก

กรณีที่ 2 ค่า P-value ของปัจจัยระหว่างอุณหภูมิในการฉีดพลาสติก (B) และอุณหภูมิแม่พิมพ์ (C) เท่ากับ 0.000< 0.05 สรุปได้ว่าปัจจัยทั้งสองเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบร่วมอย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนของเสียในกระบวนการผลิตการฉีดพลาสติก

จากนั้นทำการพิจารณาค่า R^2 ซึ่งค่าความผันแปรทั้งหมด = 100 หน่วย โดยผู้วิจัยได้ผลของ R^2 = 87.05% สามารถอธิบายความผันแปรจากปัจจัยได้ถึง 87.05 หน่วย แสดงได้ว่าการทดลองนั้นได้รับการออกแบบมาดีแล้ว และเมื่อพิจารณา R^2 Adjust = 80.98% พบว่ามีค่าใกล้เคียง R^2 = 87.05% แสดงได้ว่าจำนวนข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีจำนวนที่เพียงพอแล้ว และจากข้อมูลของตารางที่ 22 สามารถแสดงเป็นแผนภูมิผลกระทบร่วมดังภาพที่ 37



ภาพที่ 37 Interaction ปัจจัยที่มีผลกระทบร่วม

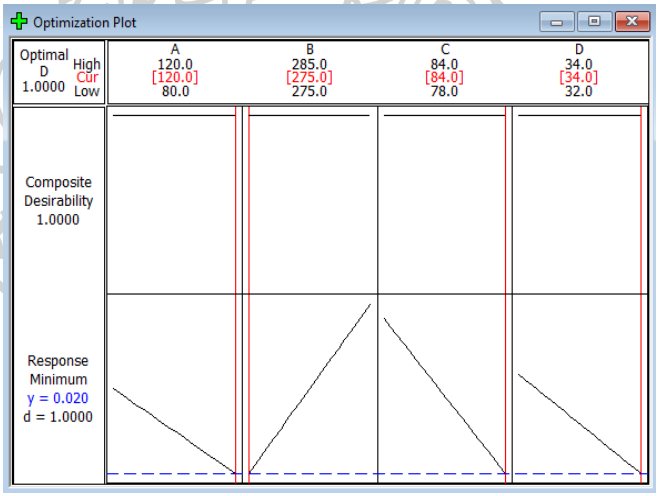
สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลกระทบร่วม โดยจะแสดงเส้นกราฟที่ตัดกันเรียกว่า Crossing Interaction ซึ่งพบว่ากรณีที่ 1 ปัจจัยของอุณหภูมิในการอุ่นเม็ดที่ระดับปัจจัย (A)

120 °C จะมีสัดส่วนของเสียลดลงเมื่อปัจจัยของอุณหภูมิในการฉีดพลาสติกอยู่ที่ระดับปัจจัย (B) 275 °C และกรณีที่ 2 ปัจจัยอุณหภูมิในการฉีดพลาสติกอยู่ที่ระดับปัจจัย (B) 275 °C จะมีสัดส่วนของเสียลดลงเมื่อปัจจัยของอุณหภูมิแม่พิมพ์อยู่ที่ระดับปัจจัย (C) 84 °C

4.5 การหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการทดลองด้วยวิธีการ Response Optimization

จากผลการทดลองที่ได้กรองปัจจัยมาเบื้องต้นแล้ว (Screening) ทำให้ได้ทราบว่าปัจจัยใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียของปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็ม จากนั้นผู้วิจัยมีความสนใจที่จะกำหนดค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อใช้ในกระบวนการฉีดพลาสติกเพื่อลดจำนวนของเสียจากปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็ม โดยจะทำการทดลองเพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมด้วยวิธีการ Response Optimization ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ Response โดยกำหนดเป็นแบบ Minimize Goal และกำหนดค่าของเสียต่ำสุด (Lower) ที่สามารถยอมรับได้เท่ากับ 0.3 และมีค่าของเสียสูงสุด Upper ที่สามารถยอมรับได้เท่ากับ 0.7

การวิเคราะห์ผลจากโปรแกรม Minitab



ภาพที่ 38 ผลการตอบสนองระดับปัจจัยที่เหมาะสม

ตารางที่ 23 ผลการวิเคราะห์ Output Optimize Point

Response OPtimization						
Parameters						
Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
	Minimize	0.3	0.3	0.7	1	1
Global Solution						
A = 120						
B = 275						
C = 84						
D = 34						
Predicted Responses						
Response = 0.020 , desirability =1.0000						
Composite Desirability = 1.0000						

สามารถวิเคราะห์ผลจากการทดลองโดยใช้ Response Optimizer และสรุประดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยได้ดังนี้

ตารางที่ 24 ปัจจัยและคุณลักษณะปัจจัยป้อนเข้าที่เหมาะสม

ปัจจัยควบคุม	ระดับปัจจัยที่เหมาะสม	หน่วย
1. อุณหภูมิในการอุ่นเม็ด	120	°C
2. อุณหภูมิในการฉีดพลาสติก	275	°C
3. อุณหภูมิแม่พิมพ์	84	°C
4. แรงดันในการฉีด	34	MPa

การเลือกใช้ระดับปัจจัยดังกล่าว จะทำให้เกิดการสูญเสีย % loss ต่ำที่สุด และส่งผลให้มีสัดส่วนของเสียลดลง

4.6 การเปรียบเทียบผลก่อนและหลังปรับปรุง

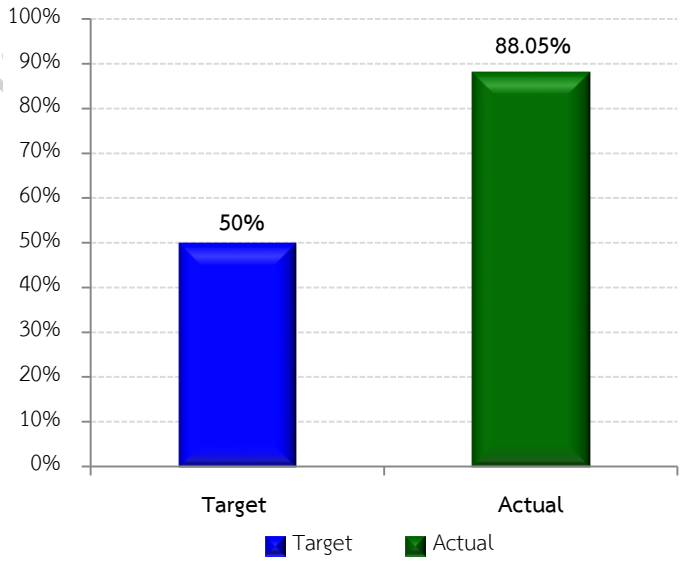
จากการใช้หลักการ Response Optimizer ในการหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม เมื่อได้ค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดตามตารางที่ 24 เพื่อเป็นการยืนยันผลการวิจัยว่าสามารถลดของเสียปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็มได้จริงและมีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยจึงทำการทดสอบและกำหนดค่าตามระดับ

ปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการผลิต จากนั้นนำข้อมูลจำนวนของเสียก่อนและหลังการทำการวิจัยของปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็ม มาทำการเปรียบเทียบผลก่อนและหลังทำการปรับปรุง

ตารางที่ 25 ผลที่ได้จากการผลิตเมื่อนำค่าปัจจัยที่เหมาะสมไปใช้เพื่อเปรียบเทียบก่อนและหลัง

ผลิตภัณฑ์ A ระยะเวลาที่ผลิต	ยอดสั่งซื้อ (ชิ้น)	ผลิต (ชิ้น)	ของเสีย (ชิ้น)	ของดี (ชิ้น)	% ของเสีย	สูญเสีย (บาท)
มิ.ย.61 - พ.ย.61	10,967	16,800	2,670	14,130	15.89%	82,049
ก.พ.62 - มี.ค.62	6,805	8,000	319	7681	3.99%	9,803

ก่อนทำการวิจัยมียอดการผลิตเท่ากับ 16,800 ชิ้น และมีจำนวนของเสียปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็มเท่ากับ 2,670 ชิ้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของเสียเท่ากับ 15.89% และเมื่อทำการทดลองโดยนำค่าอุณหภูมิในการอุ่นเม็ดเท่ากับ 120 °C, อุณหภูมิในการฉีดพลาสติกเท่ากับ 275 °C, อุณหภูมิแม่พิมพ์เท่ากับ 84 °C และแรงดันในการฉีดเท่ากับ 34 MPa ซึ่งเป็นระดับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในกระบวนการผลิตแล้ว พบว่าหลังการปรับปรุงมียอดการผลิตเท่ากับ 8,000 ชิ้น และมีจำนวนของเสียปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็มเท่ากับ 319 ชิ้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของเสียเท่ากับ 3.99% ผลที่ได้พบว่ามีปริมาณของเสียปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็มมีจำนวนลดลง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์แล้วสามารถลดของเสียได้ถึง 88.05% ซึ่งบรรลุเป้าหมายที่วางไว้ที่ 50% ดังภาพที่ 39 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ช่วยลดมูลค่าความสูญเสียจากการเกิดของเสีย ส่งผลให้องค์กรลดต้นทุนในการผลิตและมีผลกำไรที่มากขึ้น



ภาพที่ 39 เปอร์เซ็นต์ของเสียที่ลดลงต่อเป้าหมายที่กำหนด

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ การปรับปรุงกระบวนการฉีดพลาสติกเพื่อลดจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่ง โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาผลิตภัณฑ์ A และทำการศึกษาปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็มเป็นสาเหตุของความบกพร่องกับปริมาณความสูญเสียที่เกิดขึ้นมากที่สุด คิดเป็นเปอร์เซ็นต์สะสมเท่ากับ 89.4 เปอร์เซ็นต์ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการปรับปรุงกระบวนการนี้ โดยนำการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment แบบ 2k Full Factorial Design) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% (α=0.05) การนำเครื่องมือการควบคุมคุณภาพเข้ามาช่วยวิเคราะห์ปัญหาเพื่อหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องของการเกิดของเสีย และการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่วางเป้าหมายในการลดจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตอย่างน้อย 50%

5.1.1. ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็ม

จากการวิเคราะห์เพื่อค้นหาสาเหตุพบปัจจัยที่เกี่ยวข้องมี 4 ปัจจัย คือ อุณหภูมิในการอุ่นเม็ด,อุณหภูมิในการฉีดพลาสติก, อุณหภูมิแม่พิมพ์ และแรงดันในการฉีด จากนั้นนำมาทำการทดลองเพื่อกรองปัจจัยเบื้องต้น โดยทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบร่วมอย่างมีนัยสำคัญมี 2 กรณี คือ อุณหภูมิในการอุ่นเม็ดกับอุณหภูมิในการฉีดพลาสติก และอุณหภูมิในการฉีดพลาสติกกับอุณหภูมิแม่พิมพ์

5.1.2 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตเพื่อลดของเสีย

ในการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมจะใช้หลักการ Response Optimization จะนำเอาค่าตอบสนอง (Response) ที่ได้จากการทำการทดลองมาวิเคราะห์ต่อ เพื่อยืนยันผลของการทดลอง โดยระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย คือ ค่าอุณหภูมิในการอุ่นเม็ด เท่ากับ 120 ºC, อุณหภูมิในการฉีดพลาสติก เท่ากับ 275 ºC, อุณหภูมิแม่พิมพ์ เท่ากับ 84 ºC และแรงดันในการฉีด เท่ากับ 34 MPa

5.1.3 ผลที่ได้หลังการปรับปรุง

เมื่อนำค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมไปใช้ในกระบวนการผลิตในการปรับปรุงกระบวนการฉีดพลาสติก พบว่ามีจำนวนของเสียลงลงสามารถลดของเสียได้ถึง 88.05% ซึ่งบรรลุเป้าหมายที่วางไว้ที่ 50% และยังช่วยลดมูลค่าความสูญเสียจากการเกิดของเสีย และส่งผลให้องค์กรมีผลกำไรที่มากขึ้น ในด้านกระบวนการผลิตเป็นการสร้างมาตรฐานในการทำงาน และทำให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 สามารถนำหลักการออกแบบการทดลองนี้ไปประยุกต์ใช้ เพื่อค้นหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเกิดของเสียและสามารถหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม ในกระบวนการผลิตที่เป็นกระบวนการฉีดพลาสติกเหมือนกัน ซึ่งจะนำมากำหนดเป็นค่าพารามิเตอร์สำหรับเป็นมาตรฐานในการปรับตั้งเครื่องจักรได้

5.2.2 การนำพารามิเตอร์อื่นๆบนเครื่องฉีดพลาสติกมาทำการศึกษา

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยศิลปากร

รายการอ้างอิง

1. Bbie. แม่เหล็กไฟฟ้า. 2561 [cited 21-08-61]; Available from: https://sites.google.com/site/physicsfunny001/mae-helk-fifa.
2. Sudarat. แม่เหล็กไฟฟ้า (*Electromagnet*). 2561 [cited 21-08-61]; Available from: http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/electric1/Electromanetism2.
3. ไทยวอเตอร์ซิสเตม. หลักการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว (*Solinoidvalve*). 2557 [cited 21-08-61]; Available from: https://www.thaiwatersystem.com/article/45/หลักการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว-solinoidvalve
4. Haresh. *Solenoid Valve*. 2559 [cited 21-08-61]; Available from: https://www.brighthubengineering.com/manufacturing-technology/56397-parts-of-the-solenoid-valve-how-solenoid-valve-works/.
5. อดุลย์ จิตรอารีย์, การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเสียรูปในการจำลองกระบวนการณ์ฉีดพลาสติก เอบีเอส. 2555, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
6. PATANKITGROUP. ปรับอุณหภูมิการฉีดพลาสติก. 2560 [cited 21-08-61]; Available from: https://www.patankit.com/blog/how-to-adjust-injection-temperature.
7. Moldnet. งานฉีดพลาสติก. 2560 [cited 21-08-61]; Available from: http://www.plaztek.org/knowledge3_.html.
8. LA Plastic. เทคนิคสำหรับโรงงานพลาสติกการฉีดพลาสติกและแม่พิมพ์พลาสติก 2560; Available from: http://laplastic-biz.blogspot.com.
9. Pakoengadm. เครื่องมือคุณภาพ *7* ชนิด (*7 QC Tools*). 2560 [cited 29-08-61]; Available from: http://www.pakoengineering.com/blog/2017/เครื่องมือคุณภาพ-7-ชนิด-7-qc-tools/.
10. Nutvipa. เครื่องมือคุณภาพ *7* ชนิด (*7 QC Tools*). 2559 [cited 29-08-61]; Available from: http://econs.co.th/index.php/2016/07/29/7-qc-tools/.
11. Natsima. แผนภูมิควบคุม (*Control Chart*). 2550 [cited 29-08-61]; Available from: https://qcclass.wordpress.com/.
12. สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. การออกแบบการทดลอง (*Design of Experiment: DOE*). 2558 [cited 09-09-61]; Available from: https://piu.ftpi.or.th/productivity-tools/doe.
13. Chalong. *Design of Experiment*. 2552 [cited 09-09-61]; Available from:

http://www.geocities.ws/chalong_sri/why_DOE.

14. ชญานี หวั่งประดิษฐ์, การลดความคลาดเคลื่อนในกระบวนการตัดแต่งเลนส์แว่นตา. 2551, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์.
15. องค์การ ศิริสวัสดิ์, การศึกษาวิธีการผลิตเทฟลอนที่เหมาะสม โดยใช้เทคนิคการออกแบบที่เหมาะสม. 2551, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์.
16. ปัญญา ดอนไพรธรรม, การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการทำให้กากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียแห้งโดยการออกแบบการทดลอง. 2552, สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
17. วิทยา สุมะลิ, การลดของเสียในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนหน้าจอโทรศัพท์มือถือ โดยเทคนิคการออกแบบการทดลอง. 2559, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
18. สถาพร หมื่นสิน, การเพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบแผ่นความร้อนเครื่องอบชิ้นงานพรหมในรถยนต์. 2557, คณะวิศวกรรมศาสตรอุตสาหการและการจัดการ มหาวิทยาลัยศิลปากร.
19. ธนกฤษ ซุ่นเซ่ง, การลดของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติก กรณีศึกษา: ของเสียประเภทจุดดำ. 2557, สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.
20. ปรันต์ พฤติภาพไพบูลย์, ผลของปัจจัยในการฉีดขึ้นรูปพลาสติกต่อความเค้นตกค้างและความต้านทานแรงดึง. 2557, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
21. สิริชัย สุรัตนชัยการ และ อรรถกร เก่งพล, การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรมในการเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องบรรจุยาน้ำ. 2555, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
22. คงธนะ., ป.ห.แ.จ., การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนฉีดพลาสติกสำหรับชิ้นส่วนยานยนต์โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี, 2556: p. 73-95
23. รัชนี หมวดกลางเมือง, ก.ค., เจนจิรา เทียมขุนทด และ ศรราม วงค์,, การออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ในกระบวนการฉีดขึ้นรูป. 2560, คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา.
24. บุณชัย แซ่สิ้ว และ ณัฐธยาน์ โสกุล, ลดของเสียการบรรจุที่เกิดอาการซองรั่วในบริษัทผลิตขนมขบเคี้ยว. 2559, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.
25. LATI PERFORMANCE THOEMOPLASTICS. *DATA SHEET - Moulding parameters LATAMID_66_H2_G_25-V0CT*. 2559 21-08-61]; Available from: https://lambda.lati.com/documentazione/FogliTecnici/UK/LATAMID_66_H2_G_25

-V0CT1.PDF.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การเก็บข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ 26 การเก็บบันทึกข้อมูลการทดลอง

StdOrder	Parameter setting				Short shot
	Drying Temp.(A)	Injection Temp.(B)	Mold Temp.(C)	Injection Pressure(D)	Q'ty defect
1	80	275	78	32	9
2	120	275	78	32	5
3	80	285	78	32	14
4	120	285	78	32	22
5	80	275	84	32	14
6	120	275	84	32	7
7	80	285	84	32	5
8	120	285	84	32	6
9	80	275	78	34	5
10	120	275	78	34	9
11	80	285	78	34	13
12	120	285	78	34	9
13	80	275	84	34	8
14	120	275	84	34	2
15	80	285	84	34	5
16	120	285	84	34	13
17	80	275	78	32	10
18	120	275	78	32	4
19	80	285	78	32	12
20	120	285	78	32	19
21	80	275	84	32	17
22	120	275	84	32	5

ตารางที่ 26 การเก็บบันทึกข้อมูลการทดลอง (ต่อ)

StdOrder	Parameter setting				Short shot
	Drying Temp.(A)	Injection Temp.(B)	Mold Temp.(C)	Injection Pressure(D)	Q'ty defect
23	80	285	84	32	9
24	120	285	84	32	8
25	80	275	78	34	7
26	120	275	78	34	12
27	80	285	78	34	14
28	120	285	78	34	13
29	80	275	84	34	6
30	120	275	84	34	1
31	80	285	84	34	4
32	120	285	84	34	7
33	80	275	78	32	13
34	120	275	78	32	7
35	80	285	78	32	10
36	120	285	78	32	17
37	80	275	84	32	12
38	120	275	84	32	8
39	80	285	84	32	8
40	120	285	84	32	5
41	80	275	78	34	9
42	120	275	78	34	7
43	80	285	78	34	16
44	120	285	78	34	11

ตารางที่ 26 การเก็บบันทึกข้อมูลการทดลอง (ต่อ)

StdOrder	Parameter setting				Short shot
	Drying Temp.(A)	Injection Temp.(B)	Mold Temp.(C)	Injection Pressure(D)	Q'ty defect
45	80	275	84	34	4
46	120	275	84	34	3
47	80	285	84	34	6
48	120	285	84	34	10

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ภาคผนวก ข การใช้โปรแกรม **Minitab 16**

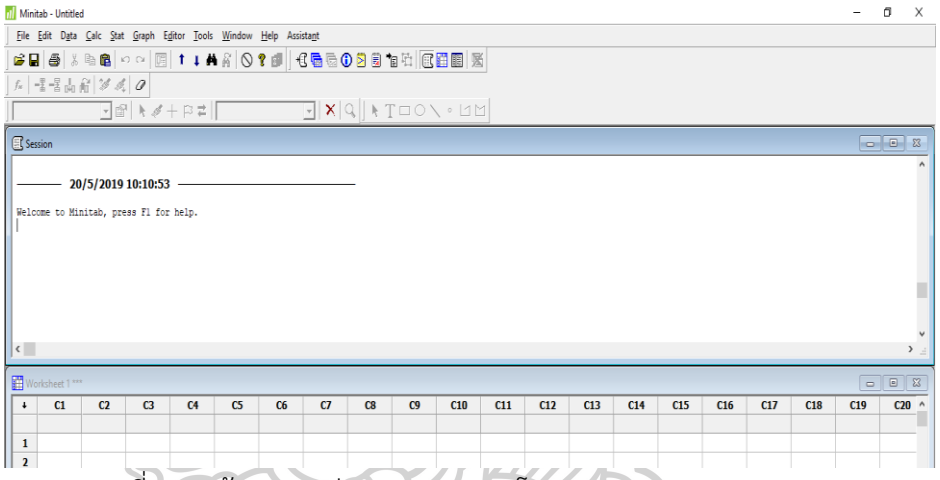
ข การใช้ Minitab ในการทำการทดลอง

1. การทดลองแบบเต็มรูปแบบ 2 ระดับ (2k Full Factorial Design)

1.1 ดับเบิลคลิกที่ไอคอนดังรูป 40 เพื่อเข้าโปรแกรม Minitab 16

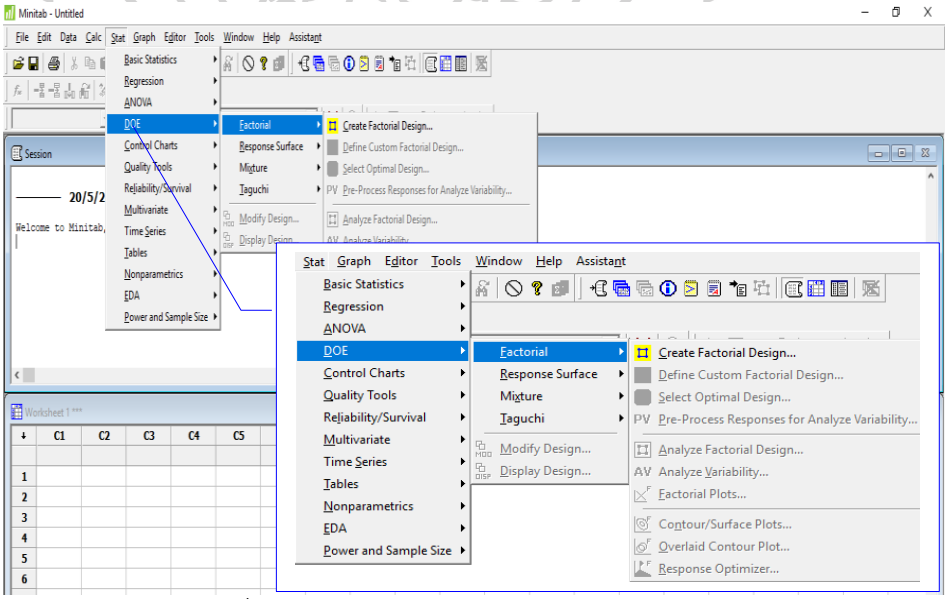
ภาพที่ 40 ไอคอนโปรแกรม Minitab 16

1.2 เมื่อเข้าสู่โปรแกรม หน้าแรกของโปรแกรมจะแสดงดังภาพที่ 41



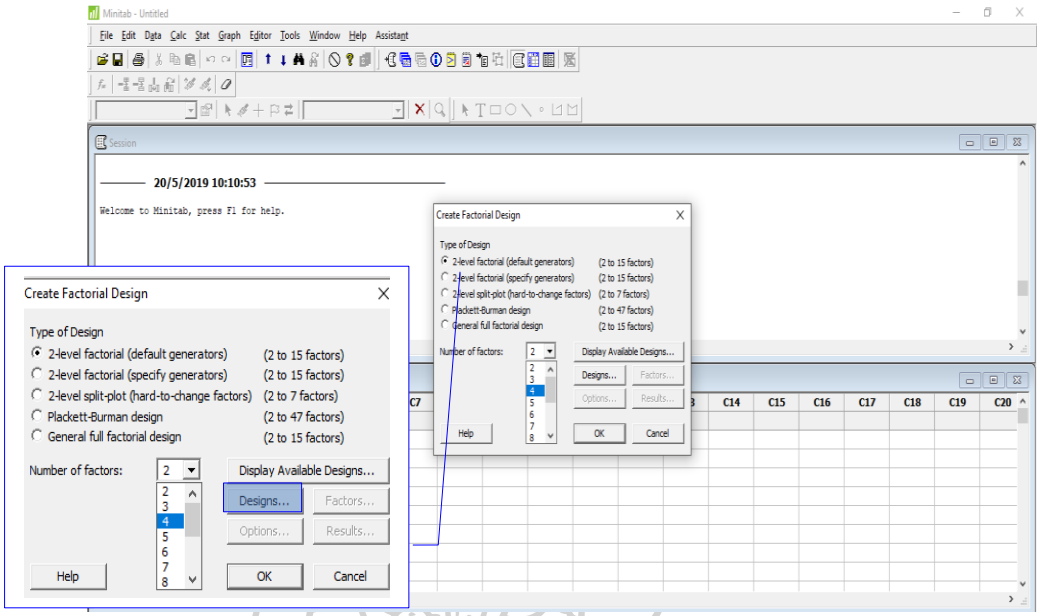
ภาพที่ 41 หน้าจอและส่วนประกอบของโปรแกรม Minitab 16

1.3 ไปที่แถบเมนู จากนั้นเลือก Stat ⇨ DOE ⇨ Factorial ⇨ Create Factorial Design ดังภาพที่ 42



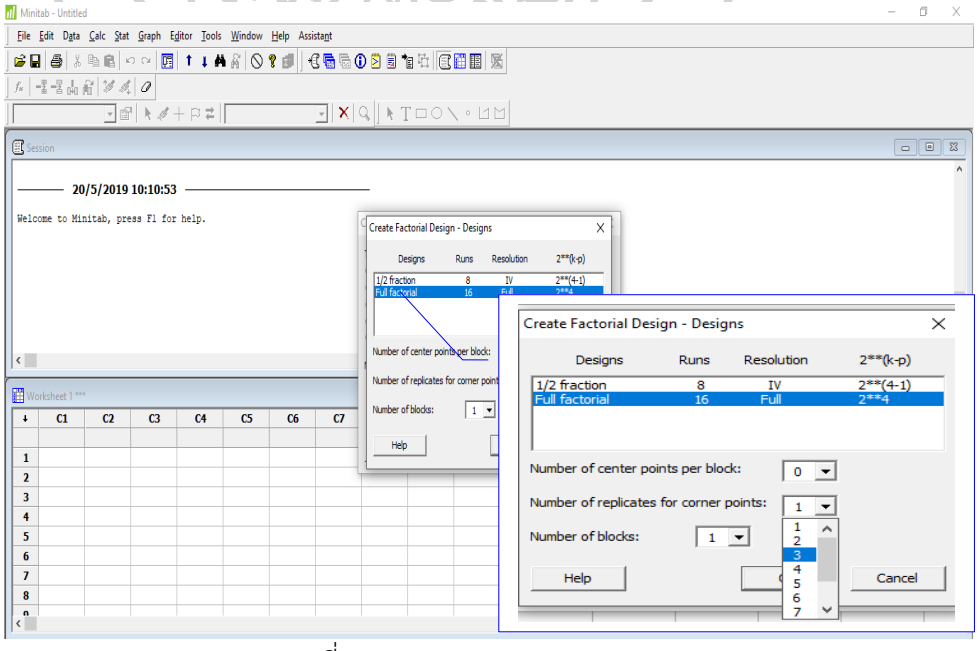
ภาพที่ 42 การสร้างการออกแบบการทดลอง

1.4 จะปรากฏหน้าต่างชื่อ Create Factorial Design ที่หัวข้อ Type of Design เลือก 2-level factorial (default generators และที่หัวข้อ Number of factors ระบุจำนวนปัจจัย จากนั้นกดที่ปุ่ม Designs



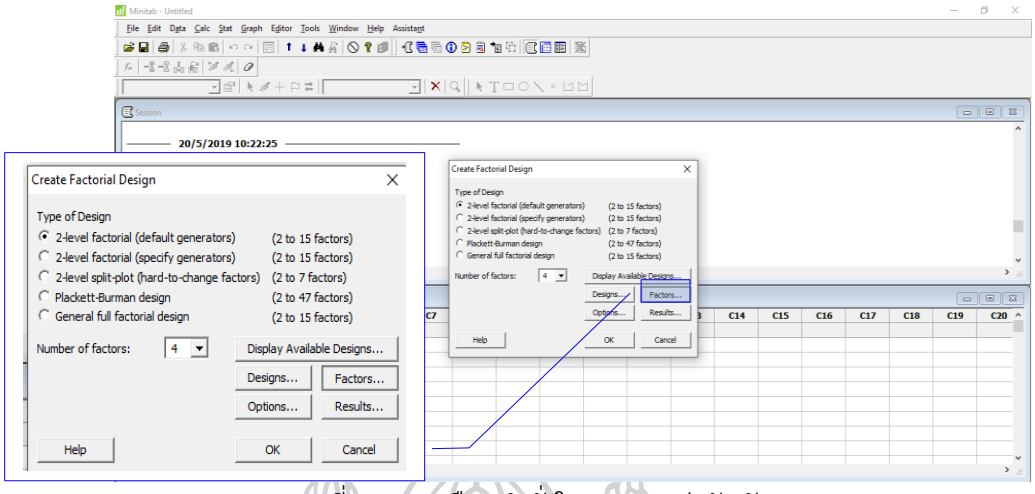
ภาพที่ 43 การเลือกรูปแบบของการออกแบบการทดลอง และจำนวนปัจจัย

1.5 จะปรากฏหน้าต่างชื่อ Create Factorial Design – Designs เลือก Full factorial และที่หัวข้อ Number of replicates for corner points ระบุจำนวน replicates จากนั้นกดปุ่ม OK



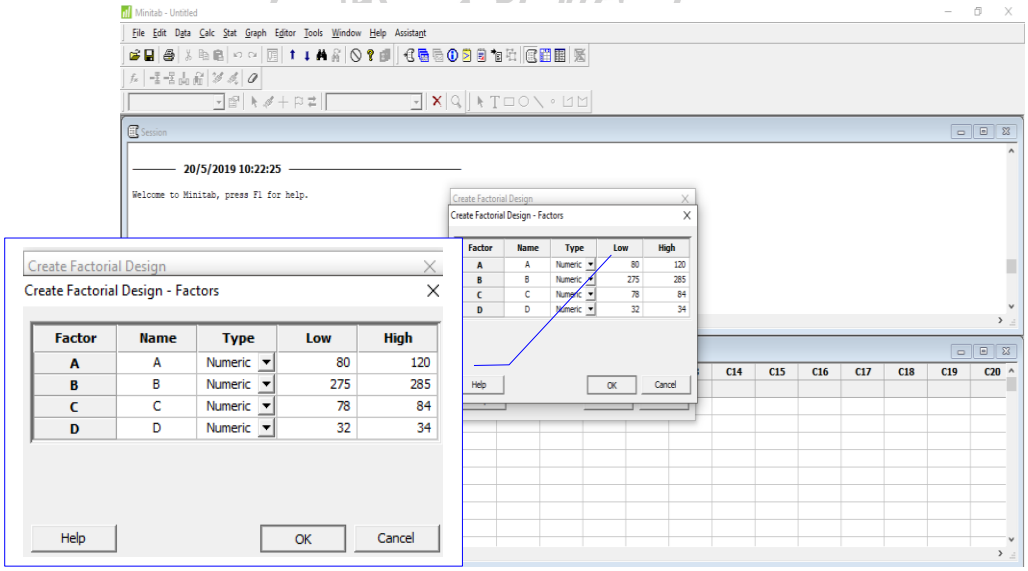
ภาพที่ 44 การระบุ replicates

1.6 จะกลับมาปรากฏที่หน้าต่าง Create Factorial Design กดเลือกที่ปุ่ม Factors



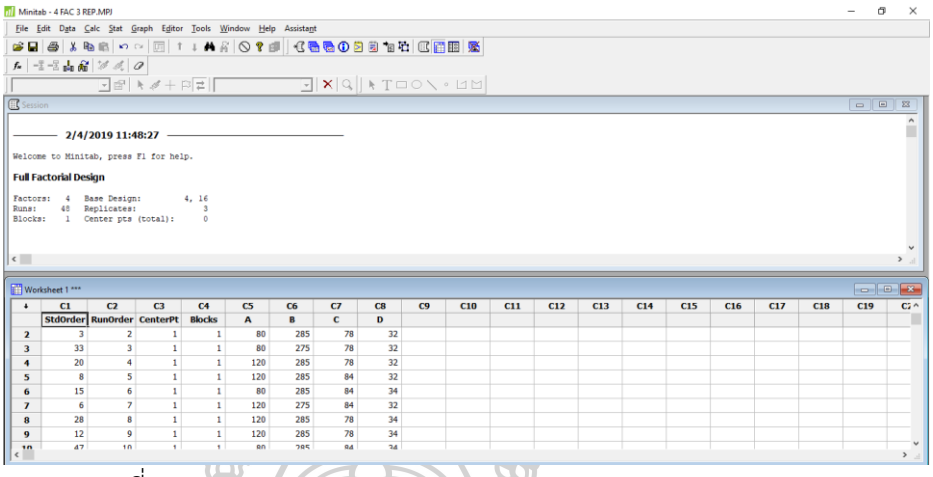
ภาพที่ 45 การเลือกคำสั่งในการระบุค่าปัจจัย

1.7 จะปรากฏหน้าต่างชื่อ Create Factorial Design – Factors ทำการใส่ข้อมูลที่ช่องName ระบุชื่อ, Type ระบุเป็น Numeric และใส่ค่าระดับของปัจจัยที่ Low กับ High จากนั้นกดปุ่ม OK



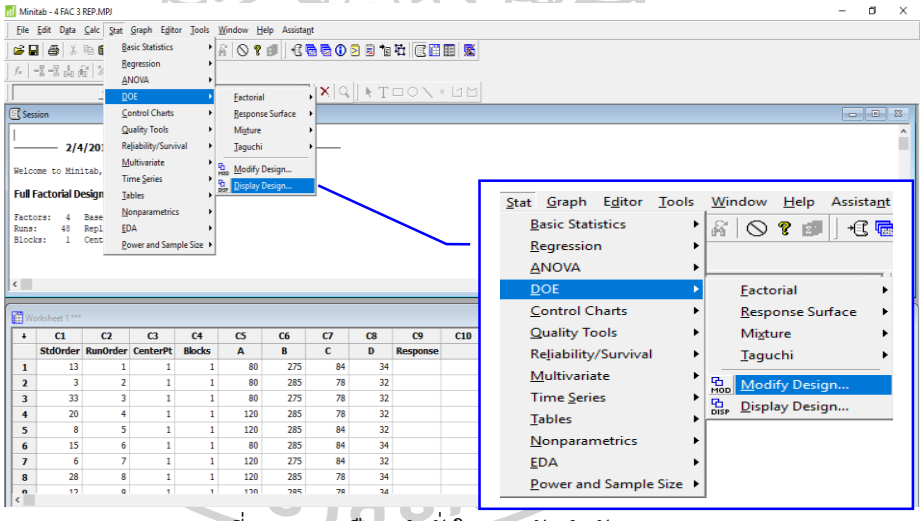
ภาพที่ 46 การระบุค่าระดับปัจจัย

1.8 โปรแกรม Minitab จะทำการ Run แบบสุ่ม โดยจะปรากฏผลการออกแบบการทดลอง ดังภาพที่ 47



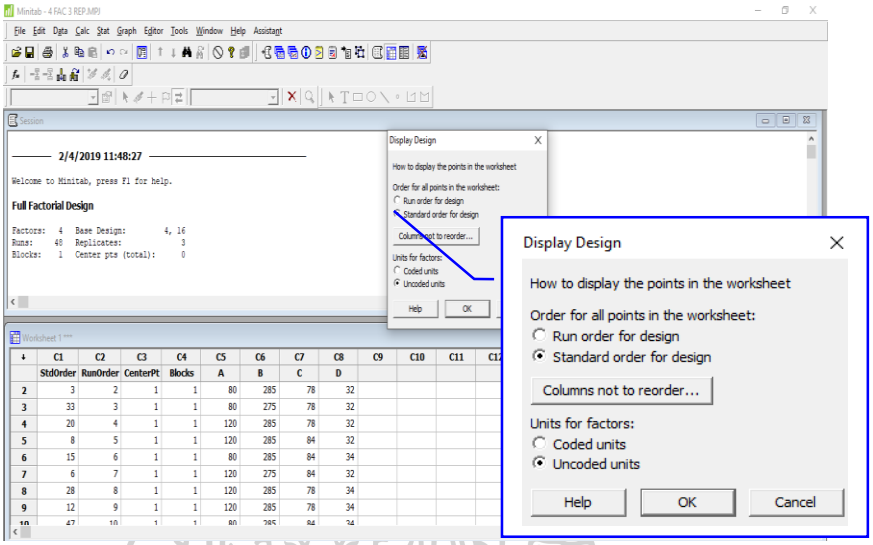
ภาพที่ 47 ผลการออกแบบการทดลองแบบ 2k Full Factorial Design

1.9 เลือก Stat ⇨ DOE ⇨ Display Design เพื่อจัดลำดับการทดลอง



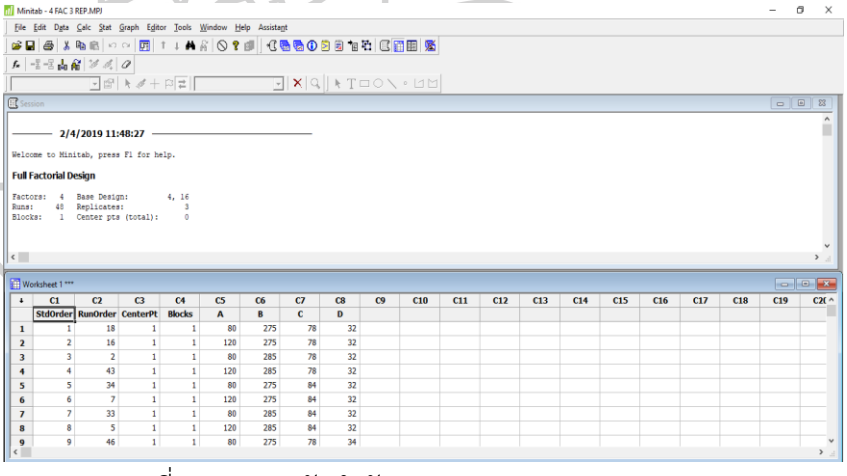
ภาพที่ 48 การเลือกคำสั่งในการจัดลำดับการทดลอง

1.10 จะปรากฏหน้าต่างชื่อ Display Design เลือก Standard order for design และ Uncoded units



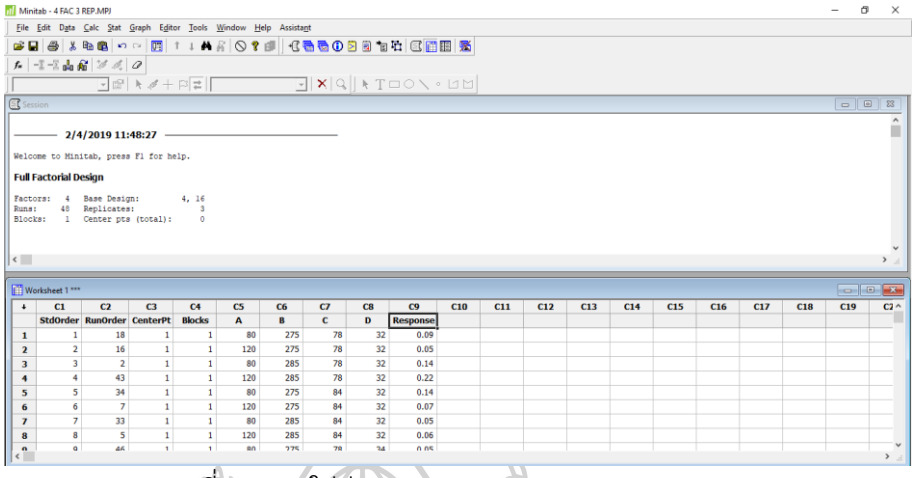
ภาพที่ 49 การเลือกคำสั่งในการจัดลำดับการทดลอง Standard order

1.11 โปรแกรม Minitab จะทำการ Run จัดลำดับ Stdorder (Standard order) โดยจะปรากฏลำดับการทดลองเรียงจากน้อยไปมาก



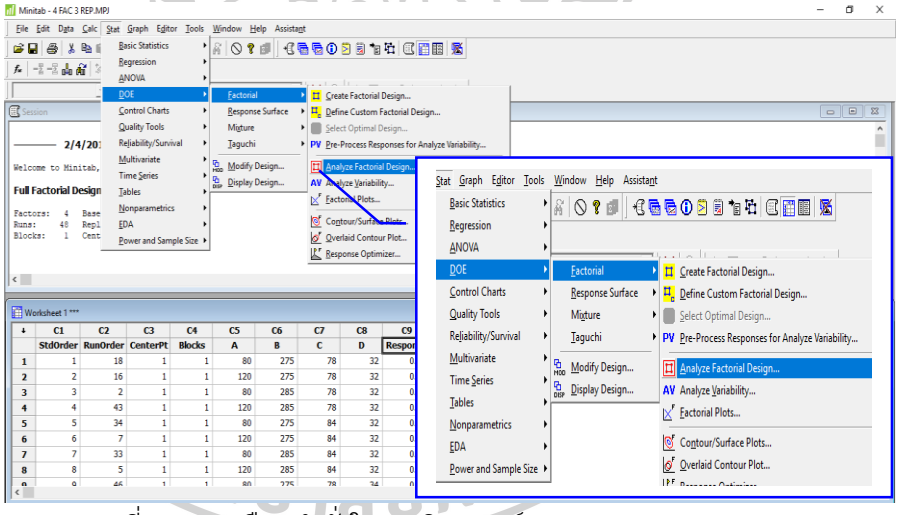
ภาพที่ 50 ผลการจัดลำดับการทดลอง Standard order

1.12 กำหนดช่องชื่อ Response และใส่ผลที่ได้จากทดลองตามลำดับ



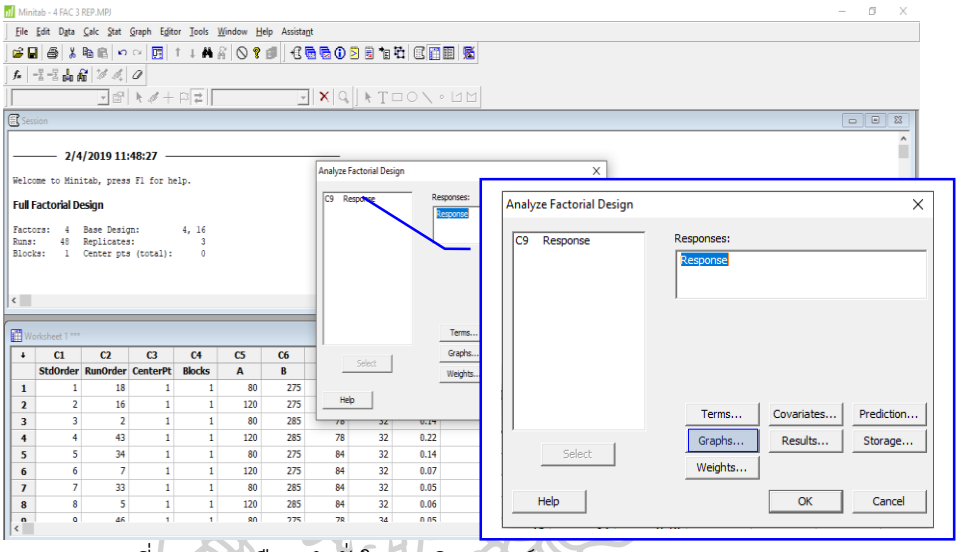
ภาพที่ 51 การใส่ค่าผลการทดลอง (Response)

1.13 เลือก Stat ⇨ DOE ⇨Factorial ⇨ Analyze Factorial Design เพื่อวิเคราะห์ผลการทดลอง (Response)



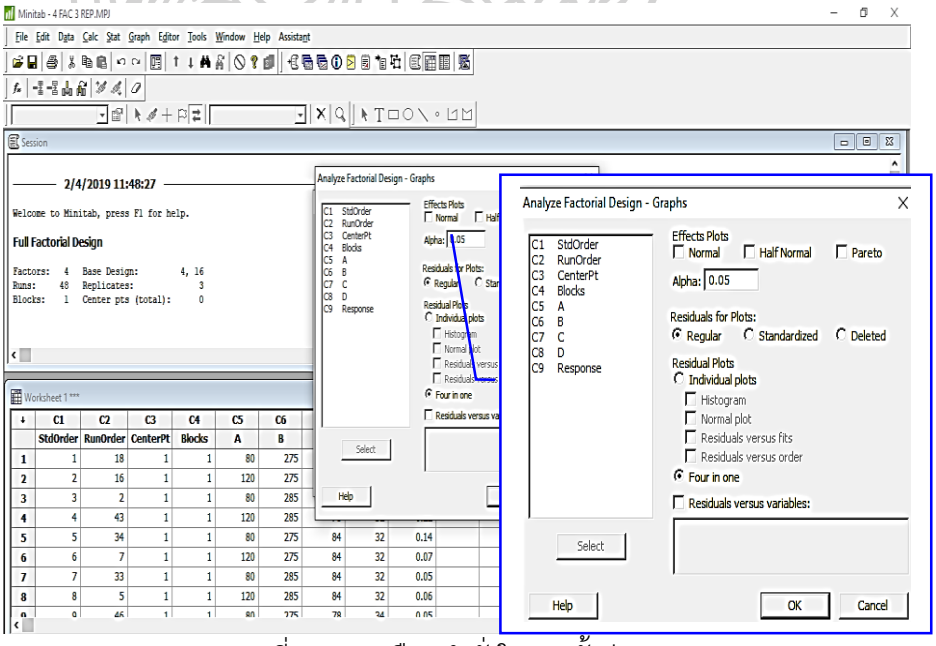
ภาพที่ 52 การเลือกคำสั่งในการวิเคราะห์ผลการทดลอง (Response)

1.14 จะปรากฏหน้าต่างชื่อ Analyze Factorial Design แล้วดับเบิลคลิกที่ Response ทางช่องด้านซ้าย แล้วสังเกตที่ช่องว่างด้านขวาใต้หัวข้อ Responses จะปรากฏคำว่า Response จากนั้นกดปุ่ม Graphs



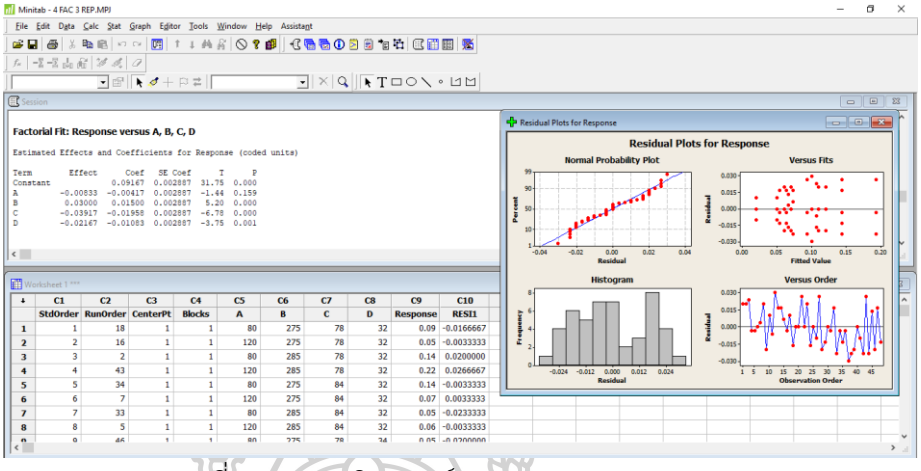
ภาพที่ 53 การเลือกคำสั่งในการวิเคราะห์ผลการทดลอง (Response)

1.15 จะปรากฏหน้าต่างชื่อ Analyze Factorial Design- Graphs เลือก Alpha กำหนด 0.05 ⇨ Residuals for plots เลือก Regular ⇨ Residuals เลือก Four in one จากนั้นกดปุ่ม OK



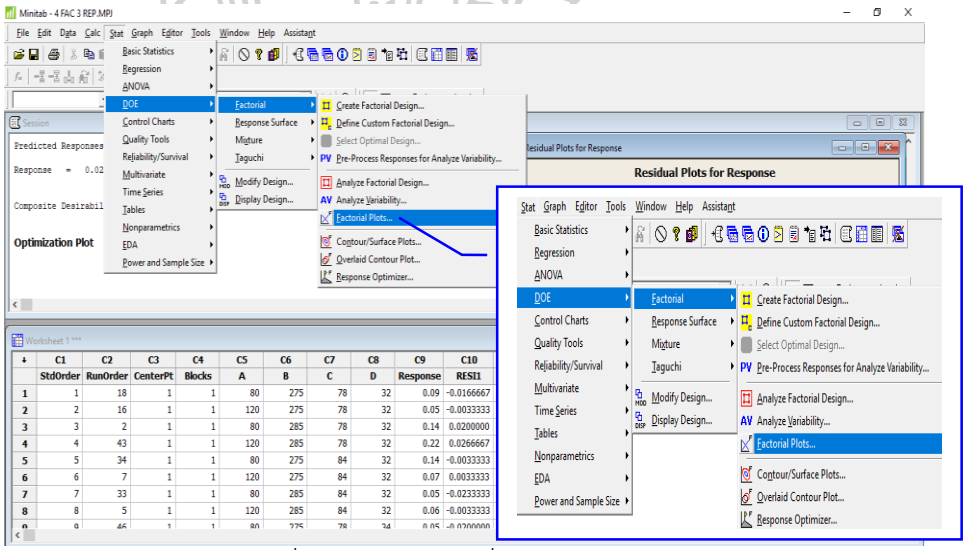
ภาพที่ 54 การเลือกคำสั่งในการตั้งค่ากราฟ

1.16 โปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยจะปรากฏออกมาในรูปแบบตาราง ANOVA และกราฟ 4 แบบ



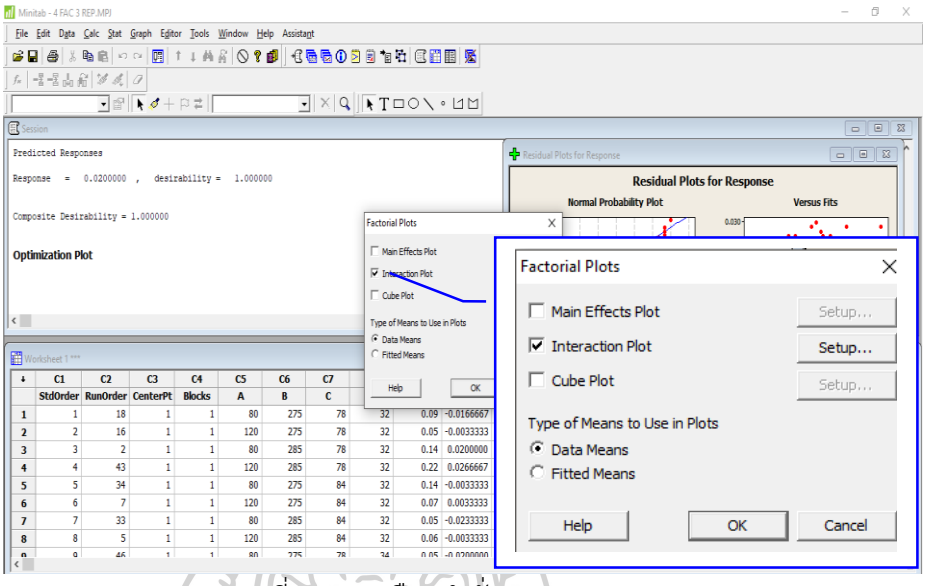
ภาพที่ 55 ผลการวิเคราะห์ผลการทดลอง (Response)

1.17 เลือก Stat ⇨ DOE ⇨Factorial ⇨ Factorial Plots สร้างกราฟแสดงผลกระทบร่วม (Interaction)



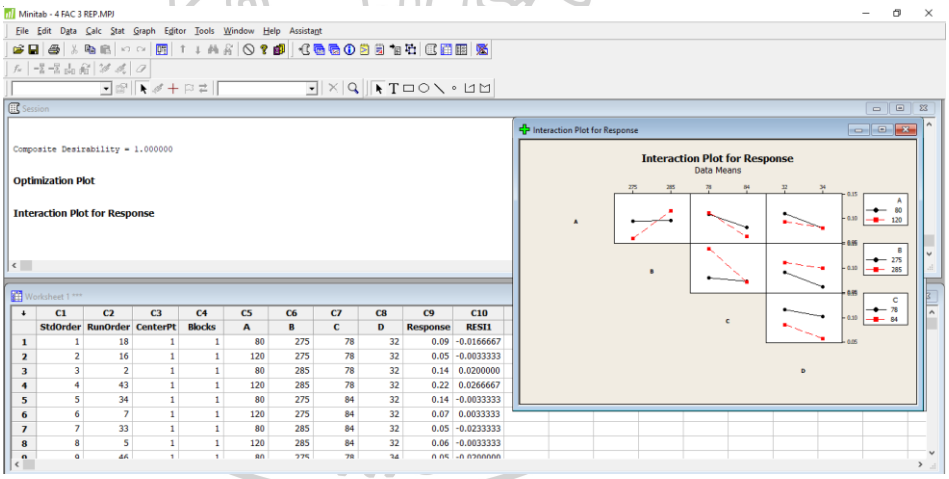
ภาพที่ 56 การเลือกคำสั่ง Factorial Plots

1.18 จะปรากฏหน้าต่างชื่อ Factorial Plots เลือก Interaction Plot



ภาพที่ 57 การเลือกคำสั่ง Interaction Plot

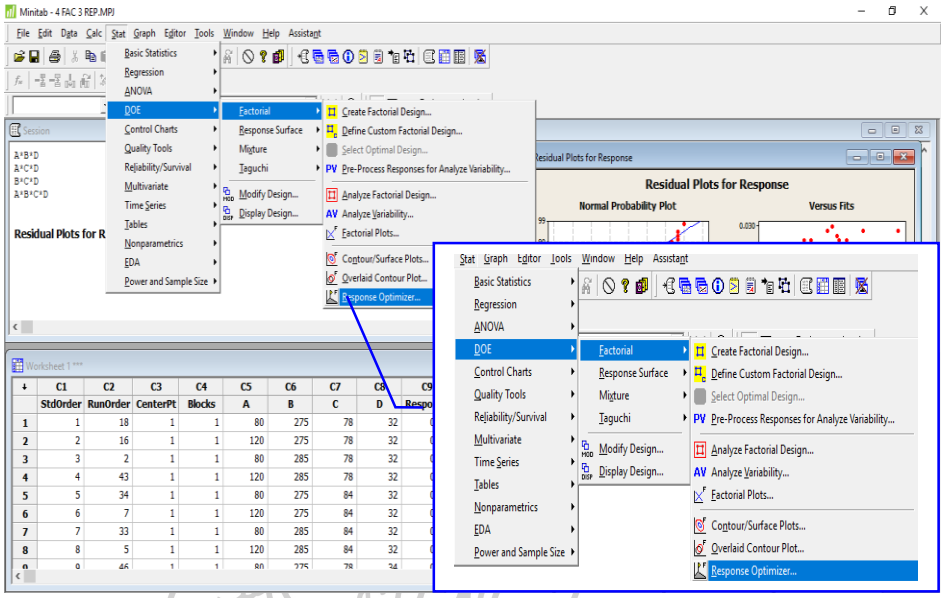
1.19 จะปรากฏ Interaction Plot แสดงผลกระทบร่วม



ภาพที่ 58 Interaction Plot

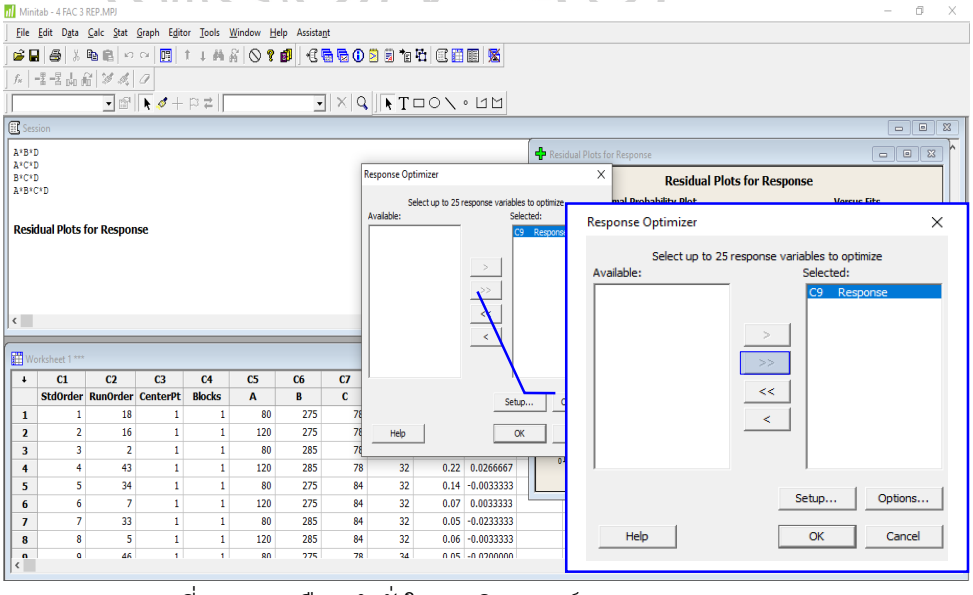
2. Response Optimization

2.1 หาระดับปัจจัยที่เหมาะสม เลือก Stat ⇨ DOE ⇨Factorial ⇨ Response Optimizer



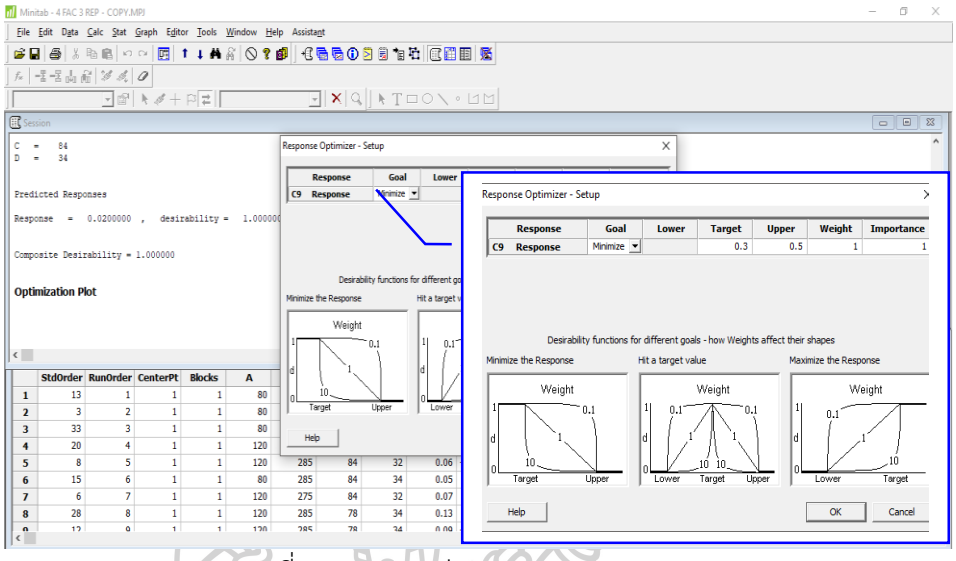
ภาพที่ 59 การเลือกคำสั่ง Response Optimizer

2.2 กดปุ่ม [>>] แล้วสังเกตที่ช่องว่างด้านขวาใต้หัวข้อ Selected จะปรากฏคำว่า Response จากนั้นกดปุ่ม Setup



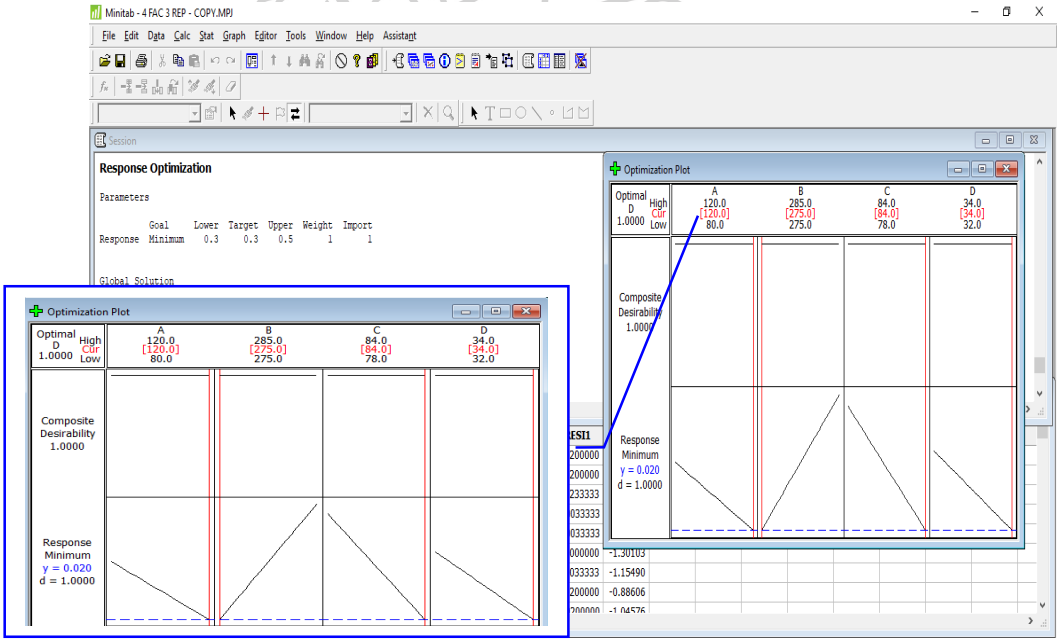
ภาพที่ 60 การเลือกคำสั่งในการวิเคราะห์ Response Optimizer

2.3 จะปรากฏหน้าต่างชื่อ Response Optimizer – Setup ที่หัวข้อ Goal เลือก Minimize ระบุค่าของเสียที่สามารถยอมรับได้ในช่อง Target กับ Upper จากนั้นกดปุ่ม OK



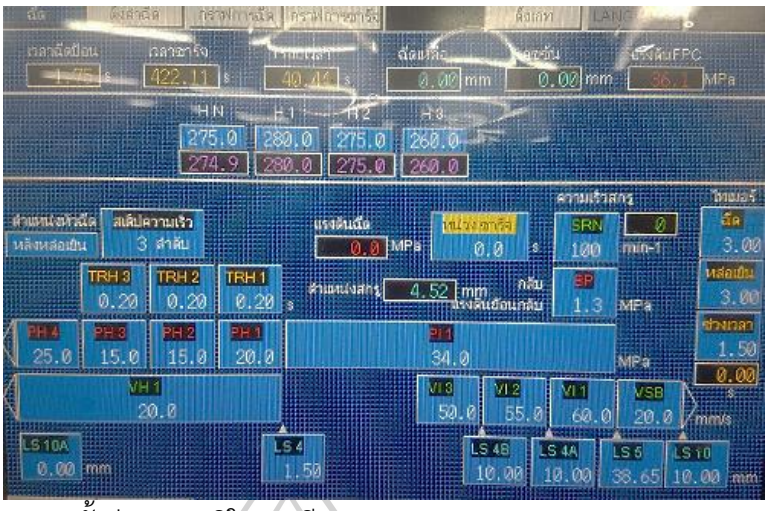
ภาพที่ 61 การระบุค่า Lower Target Upper

2.3 จะปรากฏค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม โดยแสดงเป็นตัวอักษรสีแดงอยู่ในวงเล็บ



ภาพที่ 62 ผลของค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม

ภาคผนวก ค การนำค่าที่ได้ไปปรับตั้งค่าเครื่องจักร



ภาพที่ 63 การตั้งค่าอุณหภูมิในการฉีด **HN** (Injection Temperature) และการตั้งค่าแรงดันฉีด **PI1** (Injection Pressure)

ภาพที่ 64 การตั้งค่าอุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold Temperature)

ภาพที่ 65 การตั้งค่าอุณหภูมิในการอบเม็ดพลาสติก (Drying Temperature)

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ภาคผนวก ง ของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

ภาพที่ 66 ของเสียจากปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็มที่ต้องทำลายทิ้ง

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ภาคผนวก จ การพัฒนาตนเองและการเผยแพร่งานวิจัย

เข้าร่วมงานการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 7 ราชภัฏหมู่บ้านจอมบึงวิจัย “วิจัยบูรณาการศาสตร์พัฒนาชาติก้าวไกล สังคมไทยยั่งยืน” ในวันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2562 ณ อาคารศูนย์ภาษาและคอมพิวเตอร์ชั้น 4 มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง จ.ราชบุรี โดยวิทยากรผู้ทรงคุณวุฒิ รศ. ดร. โยธิน แสวงดี จากสถาบันวิจัยประชากรและสังคม มหาวิทยาลัยมหิดล

ภาพที่ 67 เข้าร่วมงานการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 7 ราชภัฏหมู่บ้านจอมบึงวิจัย

ภาพที่ 67 เข้าร่วมงานการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 7 ราชภัฏหมู่บ้านจอมบึงวิจัย (ต่อ)

เข้าร่วมเผยแพร่งานวิจัยในงานการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 14 วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ และศูนย์บริการวิจัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ ร่วมกับ เครือข่ายวิจัยประชาชื่น “DIGITAL TECHNOLOGY FOR SUSTAINABLE WELLBEING AND SMART SOCIETY ” ในวันที่ 21 มิถุนายน พ.ศ. 2562 ณ ห้องประชุม ดร. ไสว สุทธิพิทักษ์ อาคาร 6 ชั้น 7 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ภาพที่ 68 เข้าร่วมเผยแพร่งานวิจัยในงานการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 14 “DIGITAL TECHNOLOGY FOR SUSTAINABLE WELLBEING AND SMART SOCIETY”

ภาพที่ 68 เข้าร่วมเผยแพร่งานวิจัยในงานการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 14 “DIGITAL TECHNOLOGY FOR SUSTAINABLE WELLBEING AND SMART SOCIETY” (ต่อ)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ปาพจนี ปาลกะวงศ์ ณ อยุธยา
วัน เดือน ปี เกิด	29 สิงหาคม 2529
สถานที่เกิด	นครราชสีมา
วุฒิการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม ภาควิชาอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม
ที่อยู่ปัจจุบัน	คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ เลขที่ 6 ถนนราชมรรคาใน อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

มหาวิทยาลัยศิลปากร