# การหาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อขนาดและอัตราการผลิตในกระบวนการอัดรีดขึ้นรูป

# THE EFFECT OF EXTRUSION FACTOR ON PRODUCT SIZE AND OUTPUT RATE


นางสาวฐาปนี สงวนศักดิ์

MS. THAPANI SANGUANSAK

นายวรพล เกียรติไกรวัลศิริ

MR. WORAPON KIATKAIWANSIRI


ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

# การหาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อขนาดและอัตราการผลิตในกระบวนการอัดรีดขึ้นรูป

# THE EFFECT OF EXTRUSION FACTOR ON PRODUCT SIZE AND OUTPUT RATE

นางสาวฐาปนี สงวนศักดิ์
MS.THAPANI SANGUANSAK
นายวรพล เกียรติไกรวัลศิริ
MR.WORAPON KIATKAIWANSIRI

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสหาการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

# THE EFFECT OF EXTRUSION FACTOR ON PRODUCT SIZE AND OUTPUT RATE

MS.THAPANI SANGUANSAK

MR.WORAPON KIATKAIWANSIRI

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN INDURTRIAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2013

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

**หัวข้อปริญญานิพนธ์** การหาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อขนาดและอัตราการผลิตในกระบวนการอัดรีดขึ้นรูป

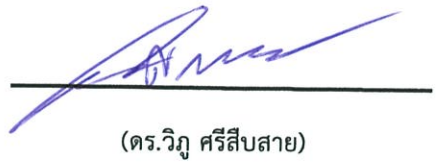
THE EFFECT OF EXTRUSION FACTOR ON PRODUCT SIZE AND OUTPUT RATE

**นักศึกษา**

| | | | |
|---|---|---|---|
| นางสาวฐาปนี สงวนศักดิ์ | รหัสประจำตัว | 53010404 |
| นายวรพล เกียรติไกรวัลศิริ | รหัสประจำตัว | 53011401 |

**หลักสูตร** วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

**อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์**



(ดร.วิภู ศรีสืบสาย)

| | |
|---|---|
| **หัวข้อปริญญานิพนธ์** | การหาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อขนาดและอัตราการผลิตในกระบวนการอัดรีดขึ้นรูป<br>THE EFFECT OF EXTRUSION FACTOR ON PRODUCT SIZE AND OUTPUT RATE |
| **นักศึกษา** | นางสาวฐาปนี สงวนศักดิ์ รหัสประจำตัว 53010404<br>นายวรพล เกียรติไกรวัลศิริ รหัสประจำตัว 53011401 |
| **หลักสูตร** | วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ<br>สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| **ปีการศึกษา** | 2556 |
| **อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์** | ดร.วิภู ศรีสืบสาย |

## บทคัดย่อ

โครงงานปริญญานิพนธ์นี้จัดขึ้นเพื่อออกแบบพร้อมทั้งสร้างเครื่องดึงพลาสติกในกระบวนการอัดรีดขึ้นรูปพลาสติก พร้อมทั้งเป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตรการผลิตและขนาดของเส้นพลาสติก โดยนอกจากจะออกแบบและจัดทำเครื่องดึงแล้วยังได้ปรับปรุงอ่างหล่อเย็นจากเครื่องเดิมที่มีอยู่ที่ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการให้สามารถใช้งานได้ วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก ชนิดโพลิโพรพิลีน โดยหลักการทำงานของเครื่องดึงจะใช้กำลังจากมอเตอร์ส่งกำลัง ผ่านชุดเกียร์ทดเพื่อลดความเร็วรอบและส่งถ่ายกำลังไปยังลูกกลิ้งด้านล่างของตัวเครื่องดึง เมื่อชิ้นงานพลาสติกผ่านดายจะเข้าสู่อ่างหล่อเย็นและถูกดึงด้วยเครื่องดึง การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อขนาดและอัตราการผลิตใช้ DOE ในการออกแบบการทดลองจากปัจจัยความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับความเร็วรอบสกรู ความเร็วดึงและอุณหภูมิในการหลอมเหลวโดยกำหนดปัจจัยเป็น 2 ระดับ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการผลิตเส้นพลาสติกจากกระบวนการอัดรีดขึ้นรูป จากการทดลองพบว่าทั้งสามปัจจัยได้มีผลต่อผลผลิตโดยแต่ละปัจจัยมีผลในส่วนต่างๆกัน ได้แก่ความเร็วการดึงมีผลต่อความยาวและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของผลผลิต ความเร็วรอบสกรูมีผลต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและน้ำหนักของผลผลิต และอุณหภูมิการหลอมเหลวมีผลต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและน้ำหนักของผลผลิต

| | |
|---|---|
| **Thesis Title** | THE EFFECT OF EXTRUSION FACTOR ON PRODUCT SIZE AND OUTPUT RATE |
| **Student** | MS.Thapani Sanguansak |
| | MR.Worapon Kiatkaiwansiri |
| **Degree** | Bachelor of Engineering in Industrial Engineering |
| | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| **Academic** | 2013 |
| **Thesis Advisor** | Dr. Wipoo Sriseubsai |


## ABSTRACT

This project was concerned about design and construction the plastic puller in extrusion process. The objective was to study the factors which effect to product size. In addition to improve the cooling bath in Industrial engineering Dept. The raw material in extrusion process was Polypropylene which is Thermoplastic. A machine uses power of electric motor that connected to gear box in order to transfer the torque and stepped down the rotational speed and to the lower roller part of puller. The experiments were performed by the design of experiment. The 2 levels of factors were puller speed, screw speed and barrel temperatures were used to study the production rate and size. The experiment showed three factor were affect to productivity such as puller speed that effect to length and diameter, screw speed that effect to diameter and weight then barrel temperature effect to diameter and weight.

# กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่องการหาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อขนาดและอัตราการผลิตในกระบวนการอัดรีดขึ้นรูปสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีทั้งที่มีปัญหาและอุปสรรคในการทำงานมากมายนั้น กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลทุกคนที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ซึ่งส่งผลให้ปริญญานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ ดังนี้

ดร.วิภู ศรีสืบสาย อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับการให้โอกาสในการศึกษาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งการให้ความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

รศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ กลุ่มผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับการให้ความรู้ คำปรึกษาแนะนำแนวทางแก้ไข ในการศึกษาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ดร.พลชัย โชติปรายนกุล กลุ่มผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับการให้ความรู้ คำปรึกษาแนะนำแนวทางแก้ไข ความช่วยเหลือในการศึกษาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณเพื่อนๆ สำหรับการช่วยเหลือจนทำให้ปริญญานิพนธ์สำเร็จลุล่วง

นางสาวฐาปนี สงวนศักดิ์

นายวรพล เกียรติไกรวัลศิริ

# สารบัญ


หน้า

**บทคัดย่อภาษาไทย** ..... ก

**บทคัดย่อภาษาอังกฤษ** ..... ข

**กิตติกรรมประกาศ** ..... ค

**สารบัญ** ..... ง

**สารบัญตาราง** ..... ช

**สารบัญรูป** ..... ช

**บทที่ 1 บทนำ**

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์ ..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์ ..... 2

1.3 ขอบเขตปริญญานิพนธ์ ..... 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ..... 2

**บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง**

2.1 นิยาม ..... 3

2.2 หลักการทำงานของกระบวนการอัดรีดขึ้นรูป ..... 3

2.3 ส่วนประกอบของกระบวนการอัดรีดขึ้นรูป ..... 4

2.4 อุปกรณ์ทางไฟฟ้า ..... 9

2.5 อุปกรณ์ควบคุมความเร็ว ..... 17

2.6 คุณสมบัติการไหลของพลาสติก หรือรีโอโลยี (Rheology) ..... 21

2.7 พลาสติกที่ใช้ในการอัดรีดขึ้นรูป ..... 21

2.8 โปรแกรมการออกแบบการทดลอง (Design of experiments) ..... 23

**บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน**

3.1 กล่าวนำ ..... 32

3.2 เครื่องดึง ..... 32

3.3 อ่างหล่อเย็น ..... 32

3.4 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง ..... 32

3.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน ..... 33

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


3.6 การคำนวณหาอุปกรณ์ที่เหมาะสม ..... 34
3.7 การออกแบบระบบและโครงสร้างของเครื่องดึง ..... 35
3.7.1 โครงโต๊ะ ..... 35
3.7.2 ส่วนของตัวดึง ..... 35
3.7.3 การออกแบบระบบไฟฟ้า ..... 35
3.7.4 การออกแบบระบบน้ำ ..... 36
3.8 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน ..... 37
3.8.1 อุปกรณ์ทางไฟฟ้า ..... 37
3.8.2 อุปกรณ์ทางกล ..... 37
3.9 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องดึง ..... 38
3.9.1 ส่วนลูกกลิ้งด้านล่าง ..... 38
3.9.2 ส่วนลูกกลิ้งด้านบน ..... 39
3.9.3 ส่วนขับเคลื่อนลูกกลิ้ง ..... 39
3.10 การประกอบชิ้นส่วนของเครื่องดึง ..... 40
3.10.1 ติดตั้งเครื่องดึง ..... 40
3.10.2 ติดตั้งชุดกำลังขับ ..... 40
3.10.3 การเดินระบบ ..... 40
3.11 การออกแบบการทดลอง ..... 40

**บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน**

4.1 กล่าวนำ ..... 42
4.2 ขั้นตอนการทำงาน ..... 42
4.3 การทดสอบเพื่อทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการผลิต ..... 44
4.4 ผลการทดลอง ..... 45
4.4.1 จากการออกแบบทดลองโดยการใช้ DOE ..... 45
4.4.2 วิเคราะห์ค่า P-value ของปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อชิ้นงาน ..... 46
4.4.3 วิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อความเค้นตกค้างในชิ้นงาน ..... 48
4.4.4 ตรวจสอบส่วนตกค้าง(Residual) ..... 50
4.4.5 วิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงต่อชิ้นงาน ..... 53

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

**บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ**

5.1 สรุปผลการทดลอง ..... 57

5.2 ข้อเสนอแนะ ..... 57

**บรรณานุกรม** ..... 59

**ภาคผนวก ก** ..... ผก1

**ภาคผนวก ข** ..... ผข1

**ภาคผนวก ค** ..... ผค1

# สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าชนิดวีเอเอฟ (VAF)..... 13
ตารางที่ 2.2 ความเร็วรอบของมอเตอร์ตามความถี่และขั้วแม่เหล็ก..... 19
ตารางที่ 2.3 พลาสติกที่ใช้ในกระบวนการอัดรีดขึ้นรูป..... 21
ตารางที่ 3.1 การออกแบบการทดลองโดยDOE..... 40

# สารบัญรูป

หน้า


รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบขั้นตอนการอัดรีดขึ้นรูป....3
รูปที่ 2.2 เครื่องอัดรีดขึ้นรูป....4
รูปที่ 2.3 สกรู (SCREW)....4
รูปที่ 2.4 ความดันของสกรูที่มีช่วงไล่ก๊าซ....5
รูปที่ 2.5 ความดันของพลาสติกหลอมที่ส่วนต่างๆของสกรู....6
รูปที่ 2.6 กรรมวิธีหลอมตัวในกระบอกหลอม....6
รูปที่ 2.7 อุปกรณ์ดึงชิ้นงาน....8
รูปที่ 2.8 เครื่องตัดพลาสติกโดยใช้ใบเลื่อย....9
รูปที่ 2.9 Molded case circuit breaker (MCCB)....10
รูปที่ 2.10 ลักษณะการทำงานเมื่อมีกระแสเกินไหลผ่าน....10
รูปที่ 2.11 สำหรับปลดวงจรเมื่อเกิดกระแสลัดวงจรหรือมีกระแสค่าสูงๆ....11
รูปที่ 2.12 Solid state trip or Electronic trip molded case circuit breaker....11
รูปที่ 2.13 Air circuit breaker....12
รูปที่ 2.14 Miniature circuit breaker....12
รูปที่ 2.15 สายไฟชนิดวีเอเอฟ (VAF)....13
รูปที่ 2.16 สายไฟชนิดทีเอชดับเบิลยู (THW)....14
รูปที่ 2.17 สายไฟชนิดเอ็นวายวาย (NYY)....15
รูปที่ 2.18 สายไฟชนิดวีซีที (VCT)....16
รูปที่ 2.19 การต่อแบบสตาร์....18
รูปที่ 2.20 การต่อแบบเดลตา....18
รูปที่ 2.21 การเปรียบเทียบการออกแบบการทดลอง....27
รูปที่ 2.22 ตัวอย่างไดอะล็อคบ็อกซ์....30
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน....33
รูปที่ 3.2 ไดอะแกรมวงจรไฟฟ้า....35
รูปที่ 3.3 แผนภาพจริงของวงจรไฟฟ้าสำหรับเครื่องดึง....35
รูปที่ 3.4 ไดอะแกรมระบบน้ำ....36
รูปที่ 3.5 แผนภาพจริงของระบบน้ำสำหรับอ่างหล่อเย็น....36
รูปที่ 3.6 เครื่องดึง....38
รูปที่ 3.7 ส่วนลูกกลิ้งด้านล่าง....38

# สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

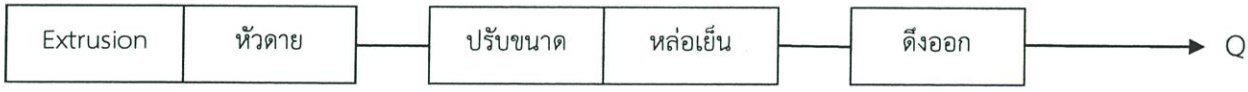

รูปที่ 3.8 ส่วนลูกกลิ้งด้านบน ..... 39
รูปที่ 3.9 ส่วนขับเคลื่อนลูกกลิ้ง ..... 39
รูปที่ 4.1 แสดงการเปิดสวิตช์เบรกเกอร์ ..... 43
รูปที่ 4.2 เสียบปลั๊กเครื่องดึงและเครื่องปั๊มน้ำ ..... 43
รูปที่ 4.3 กดสวิตช์ (ON) ในส่วนของฮีตเตอร์ ..... 43
รูปที่ 4.4 ตั้งค่าอุณหภูมิ ..... 43
รูปที่ 4.5 รอการทำงานของฮีตเตอร์ที่ตั้งไว้ ..... 43
รูปที่ 4.6 เปิดสวิตช์ (ON) ที่เครื่องดึง ..... 43
รูปที่ 4.7 ใส่พลาสติกลงในกรวยเติมพลาสติก ..... 44
รูปที่ 4.8 กดสวิตช์ (ON) ที่ของมอเตอร์ ..... 44
รูปที่ 4.9 ปรับค่าความเร็วมอเตอร์ ..... 44
รูปที่ 4.10 ดึงเส้นพลาสติกไปที่อ่างหล่อเย็น ..... 44
รูปที่ 4.11 นำพลาสติกเข้าเครื่องดึง ..... 44
รูปที่ 4.12 กดสวิตช์ (OFF) มอเตอร์และฮีตเตอร์ ..... 44
รูปที่ 4.13 ตารางการทดลอง ..... 45
รูปที่ 4.14 ตารางANOVAของความยาวเส้นพลาสติก ..... 46
รูปที่ 4.15 ตารางANOVAของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ..... 47
รูปที่ 4.16 ตารางANOVAของน้ำหนัก ..... 47
รูปที่ 4.17 กราฟNormal Plot of the Standardized Effects ของ length ..... 48
รูปที่ 4.18 กราฟNormal Plot of the Standardized Effects ของ Diameter ..... 49
รูปที่ 4.19 กราฟNormal Plot of the Standardized Effects ของ Weight ..... 49
รูปที่ 4.20 Residual Plots for length ..... 50
รูปที่ 4.21 Residual Plots for diameter ..... 51
รูปที่ 4.22 Residual Plots for weight ..... 52
รูปที่ 4.23 Main effects plot for length ..... 53
รูปที่ 4.24 Main effects plot for diameter ..... 54
รูปที่ 4.25 Interaction Plot for diameter ..... 55
รูปที่ 4.26 Main effects Plot for weight ..... 56

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

การอัดรีดขึ้นรูป (Extrusion) เป็นกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัฑณ์พลาสติกที่ยาวต่อเนื่องกันไม่รู้จบจากสารพลาสติกที่เป็นผง หรือเป็นเม็ดโดยกรรมวิธีอัดรีดผ่านหัวดาย ซึ่งหลักการทำงานของเครื่องอัดรีดก็คือ มีเกลียวหนอน (screw) อยู่ในเรือนทรงกระบอก (barrel) ทำการหมุนอัดหลอม และผสมพลาสติกซึ่งเติมลงมาจากกรวยเติม (hopper) ซึ่งประกอบอยู่ด้านบนกระบอกและดันพลาสติกเหลวออกไปผ่านหัวดายทางด้านหน้า

เครื่องอัดรีดอย่างเดียวนั้นยังไม่ใช่เครื่องผลิตผลิตภัฑณ์ เพราะเป็นเพียงส่วนเดียวของระบบ Extrusion ทั้งหมด จะต้องประกอบด้วยเครื่องมือสร้างรูปทรงซึ่งเรียกว่าหัวดาย (die) เข้ากับเครื่องอัดรีดแล้วนำอุปกรณ์อื่นๆเข้ามาประกอบด้วย เช่น เครื่องปรับขนาด ชุดหล่อเย็น เครื่องดึง เครื่องม้วน หรือ เครื่องตัด จึงจะครบทั้งระบบ ดังรูปภาพที่1-1




รูปที่1-1 หลักการของระบบ Extrusion

เนื่องจากที่ภาควิชาอุตสาหการได้มีเครื่อง Extruder และมีอ่างหล่อเย็นเพื่อความสมบูรณ์แบบในการใช้งานจึงได้เห็นควรว่าจะมีการจัดทำเครื่องดึงเพื่อให้กระบวนการอัดรีดขึ้นรูปเกิดความสมบูรณ์แบบมากยิ่งขึ้นรวมถึงยังสามารถเป็นแนวทางในการศึกษาให้กับผู้ที่มีความสนใจเกี่ยวกับคุณสมบัติของพลาสติกและทฤษฎีทางกลอีกด้วย

ปัญหาที่พบมากในกระบวนการอัดรีดขึ้นรูป คือ ผิวขรุขระ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของผลผลิตไม่สม่ำเสมอและพบ defect บนผิวผลผลิตโดยปัญหาที่พบมีปัจจัยที่สอดคล้องกันได้แก่ ความเร็วรอบสกรู อุณหภูมิในการหลอมเหลว และความเร็วในการดึงจึงต้องศึกษาหาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตในกระบวนการอัดรีดขึ้นรูป (Extrusion) ในที่นี้ได้ทำการศึกษาหาความสัมพันธ์ของปัจจัยซึ่งได้แก่อุณหภูมิหลอมเหลว ความเร็วรอบสกรูและความเร็วในการดึง ที่ส่งผลต่อความยาว,ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและน้ำหนักของผลผลิตเนื่องจากผิวขรุขระและ defect บนผิวผลผลิตนั้นสามารถควบคุมได้ที่อุณหภูมิของกระบอกหลอมโดยให้อุณหภูมิที่เหมาะสมกับพลาสติกที่ใช้ในการอัดรีดขึ้นรูป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1.2.1 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ, ความเร็วสกรูและความเร็วในการดึงต่อความยาวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและน้ำหนักของผลผลิตในกระบวนการอัดรีดขึ้นรูป

1.2.2 เพื่อพัฒนาอุปกรณ์ประกอบสำหรับเครื่อง Extruder ให้สมบูรณ์

1.2.3 เพื่อเป็นแนวทางศึกษาให้แก่ผู้ที่สนใจการอัดรีดขึ้นรูป

## 1.3 ขอบเขตปริญญานิพนธ์

1.3.1 ออกแบบตัวชุดดึงและปรับปรุงอ่างน้ำหล่อเย็นให้สามารถใช้กับเครื่องExtruderที่มีอยู่ได้

1.3.2 ใช้ DOE ออกแบบการทดลองโดยจะใช้ตัวแปร (อุณหภูมิ ความเร็วสกรูและความเร็วการดึง) สองระดับเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อความยาว น้ำหนัก และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของผลผลิต

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

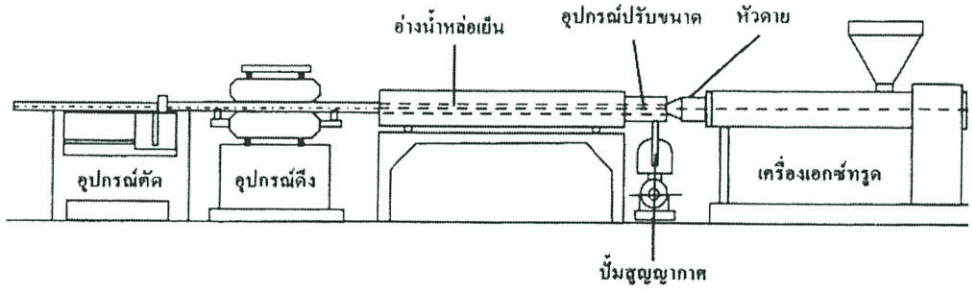
1.4.1 ได้ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อความยาว น้ำหนักและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของผลผลิต

1.4.2 ได้ปรับปรุงเครื่อง Extruder ให้สามารถใช้งานได้สมบูรณ์ที่สุด

# บทที่2
# ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 นิยาม

กระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่นหรือกระบวนการอัดรีดขึ้นรูป หมายถึง การผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ยาวต่อเนื่องกันโดยจะเปลี่ยนเม็ดหรือผงของพลาสติกให้เกิดการหลอมเหลว โดยการให้พลังงานความร้อนจากภายนอก และความร้อนจากภายในที่มาจากแรงเสียดทาน โดยกรรมวิธีอัดรีดผ่านหัวดายจากนั้นพลาสติกจะยังคงรูปโดยผ่านไปยังอ่างหล่อเย็นและเครื่องดึงตามลำดับ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการจะเป็นผลิตภัณฑ์จำพวกท่อ เส้นใย ฟิล์มและโปรไฟล์ต่างๆ ดังรูปภาพที่ 2.1




รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบขั้นตอนการอัดรีดขึ้นรูป [1]

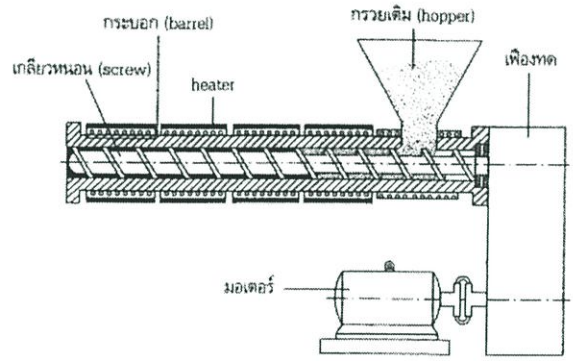
## 2.2 หลักการทำงานของกระบวนการอัดรีดขึ้นรูป

กระบวนการอัดรีดขึ้นรูปเป็นกระบวนการต่อเนื่องใช้สำหรับผลิตผลิตภัณฑ์จำพวกท่อ เส้นใย ฟิมล์ และโปรไฟล์ต่างๆ ที่ต้องการให้มีความยาวต่อเนื่อง โดยวัสดุเทอร์โมพลาสติกจะอยู่ในรูปของผง ชิ้น หรือ เป็นเม็ด ซึ่งเม็ดพลาสติกจะถูกป้อนเข้าไปยังส่วนของกรวยเติมพลาสติก (Hopper) ซึ่งประกอบอยู่ด้านบนของกระบอก จากนั้นเม็ดพลาสติกจะถูกส่งต่อไปยังช่องว่างของสกรูซึ่งอยู่ในกระบอกหลอม (Barrel) โดยสกรูจะทำหน้าที่ในการหมุนอัดหลอมและการผสมเม็ดพลาสติก การเปลี่ยนเม็ดพลาสติกให้เป็นพลาสติกหลอมเหลวจะทำโดยการให้ความร้อนจากภายนอกที่มาจากตัวให้ความร้อน (Heater) และความร้อนจากภายในที่มาจากแรงเสียดทาน แล้วจึงดันพลาสติกเหลวออกไปยังหัวดาย (Die) ทางด้านหน้า จากนั้นพลาสติกเหลวจะถูกส่งผ่านไปยังอ่างหล่อเย็นเพื่อให้พลาสติกเกิดการคงรูปและทำการดึงผ่านตัวดึงเพื่อให้พลาสติกยาวเป็นเส้นต่อเนื่องไป

## 2.3 ส่วนประกอบของกระบวนการอัดรีดขึ้นรูป

### 2.3.1 เครื่องอัดรีดขึ้นรูป Extruder

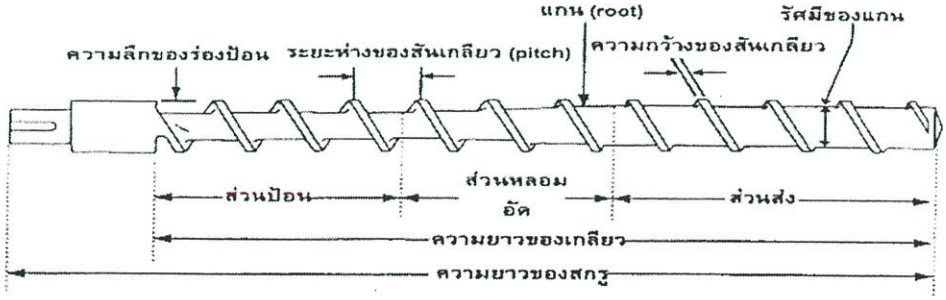
เครื่องอัดรีดขึ้นรูปสกรูเดี่ยวจะประกอบไปด้วยมอเตอร์ขับ เฟืองทดความเร็ว กระบอก (Barrel) พร้อมสกรู (Screw) ประกอบอยู่ภายในและกรวยเติมพลาสติกดังรูปที่ 2.2 รอบๆกระบอกจะมีฮีตเตอร์แบบแผ่นหุ้มอยู่รอบๆซึ่งสามารถตั้งอุณหภูมิของแต่ละช่วงได้ตามต้องการ ทุกขั้นตอนที่มีการให้ความร้อนส่วนมากจะมีอุปกรณ์หล่อเย็นประกอบอยู่ด้วยเสมอ เพื่อให้สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่แน่นอนได้ ในเขตใกล้ๆกับกรวยเติมพลาสติกขณะทำงานจะต้องมีการหล่อเย็น ทั้งนี้เพื่อป้องกันพลาสติกหลอมตรงช่องเข้าร่องที่โคนสกรูซึ่งจะทำให้พลาสติกป้อนเข้าได้ไม่เต็มที่ [2]




รูปที่ 2.2 เครื่องอัดรีดขึ้นรูป [2]

2.3.1.1 สกรู (Screw)

เป็นส่วนสำคัญที่สุดของเครื่องอัดรีดขึ้นรูป ซึ่งจะต้องให้ความละเอียดรอบคอบในการออกแบบโดยสกรูมักถูกแบ่งออกเป็นสามส่วน ได้แก่ ส่วนป้อน ส่วนหลอมอัด และ ส่วนส่งแสดงดังรูปที่ 2.3




รูปที่ 2.3 สกรู (SCREW) [1]

- ส่วนป้อน (Feed zone)

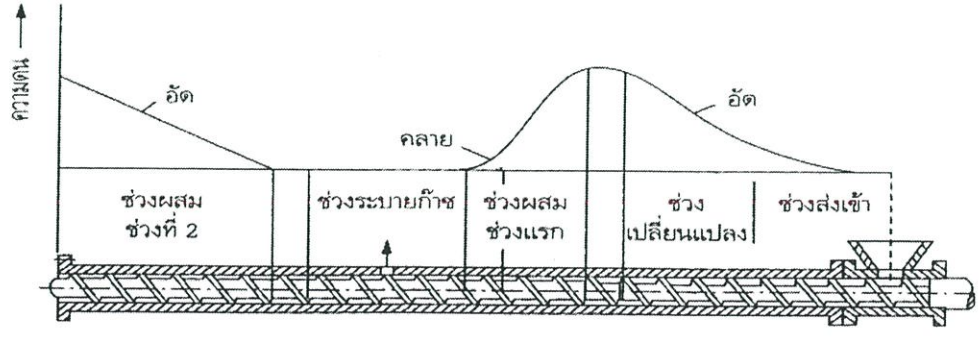
ส่วนป้อนของสกรูเป็นส่วนที่มีความลึกของร่องสกรูมากที่สุด และเป็นส่วนที่ประกอบด้วยเกลียวในช่วงแรก ซึ่งมีระยะสั้น มีหน้าที่หลัก คือ การดึงเม็ดหรือผงพลาสติกจากกรวยเติมพลาสติกลงในกระบอก เริ่มให้ความร้อนแก่พลาสติก และทำให้เกิดส่วนผสมของพลาสติกนอกจากนี้ยังทำหน้าที่ในการส่งพลาสติกไปยังส่วนต่อไปของสกรู การออกแบบสกรูในส่วนนี้ ความสำคัญ คือ ต้องออกแบบให้ลึกและความยาวร่องของสกรูในส่วนนี้สามารถบรรจุพลาสติกได้มากพอที่จะส่งพลาสติกไปยังส่วนต่อไป [2]

สำหรับเครื่องอัดรีดขึ้นรูปแบบสกรูเดี่ยว การนำพลาสติกเข้าจะเกิดขึ้นในช่วงที่พลาสติกยังแข็งอยู่ เนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างพลาสติก ผนังของกระบอก และสกรูอาศัยหลักการที่ว่า สัมประสิทธิ์ความฝืดของสกรูกับพลาสติกยิ่งน้อย และค่าสัมประสิทธ์ความฝืดของผนังกระบอกกับพลาสติกยิ่งมากยิ่งทำให้การส่งพลาสติกได้ดีขึ้น ดังนั้นถ้าลักษณะของกระบอกในช่วงป้อนเรียบ จะทำให้การส่งพลาสติกไปตามกระบอกไม่ดีเท่าที่ควร

- ส่วนหลอมอัด (Transition zone/Compression zone)

ส่วนหลอมอัด ความลึกของร่องเกลียวจะค่อยๆลดลง เพื่อให้เกิดแรงดันของพลาสติกหลอม และทำให้เกิดความหนาของชั้นพลาสติกที่ห่อหุ้มสกรูลดลง จึงเกิดการส่งผ่านความร้อนจากกระบอกได้ดีขึ้น ความร้อนและแรงเสียดทานของสกรูในช่วงนี้จะสูงมาก ทำให้พลาสติกหลอมผสมเป็นเนื้อเดียวกัน โดยพลาสติกหลอมที่ไหลออกจากส่วนนี้จะมีอุณหภูมิเท่ากับหรือใกล้เคียงอุณหภูมิของการแปรรูป ค่าอัตราส่วนระหว่างความลึกของร่องสกรูในส่วนป้อนกับส่วนหลอมอัด เรียกว่าอัตราส่วนการอัด (Compression ratio, cr) ของสกรู ซึ่งค่าที่ใช้นั้นจะมีค่า cr อยู่ในช่วง 2: 1 ถึง 6: 1 [2]

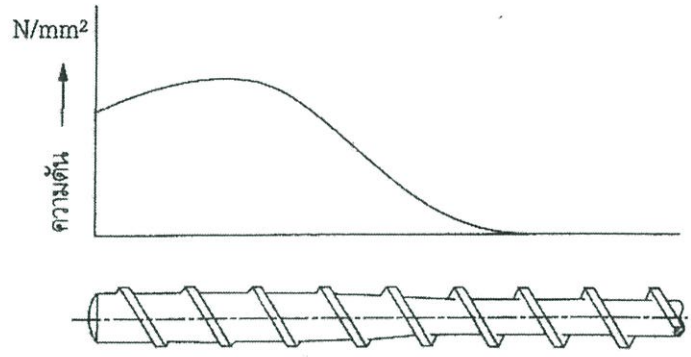
ช่องว่างระหว่างสารพลาสติก (ทั้งเป็นเม็ดและเป็นผง) จะมีอากาศแทรกตัวอยู่ อากาศจำนวนนี้จะต้องระบายออกก่อนที่พลาสติกจะหลอมเหลว ซึ่งจะทำได้โดยการอัดพลาสติกให้รวมตัวกันแน่น โดยความดันที่ใช้ในการอัดพลาสติกจะได้จากการที่ทำให้ปริมาตรระหว่างเกลียวแคบลงในช่วงกลางของสกรู ดังนั้นการออกแบบสกรูในช่วงกลางต้องให้เกลียวของสกรูเรียวโตขึ้น หรือโดยลดระยะพิตช์ (pitch depressive screw) เพื่อให้ก๊าซแยกตัวออกและถูกดันกลับออกมาทางกรวยเติม ส่วนวิธีการอื่นที่ใช้ในการระบายไอ หรือก๊าซที่เกิดจากการหลอมพลาสติกกระทำได้โดยการดูดออกผ่านรูที่เจาะไว้ที่กระบอก ความยาวของสกรูในระบบระบายก๊าซออกโดยปกติจะใช้ประมาณ 30D โดยการระบายก๊าซออกจะกระทำประมาณบริเวณกลางของสกรู หรือที่เรียกว่าช่วงลดความดัน (Decompression zone) ดังรูปที่ 2.4




รูปที่ 2.4 ความดันของสกรูที่มีช่วงไล่ก๊าซ [2]

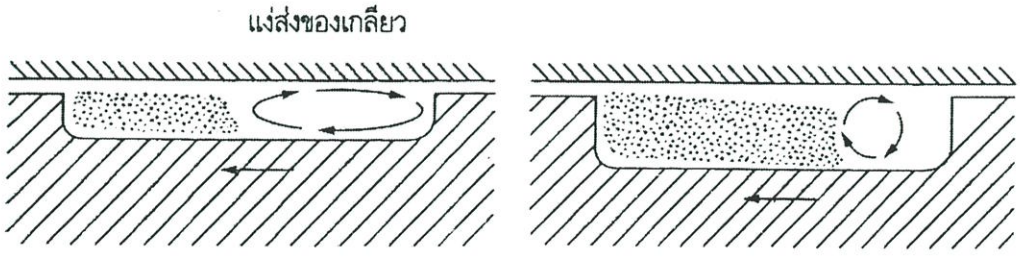
- ส่วนส่ง (Metering zone)

ส่วนสุดท้ายของสกรู คือ ส่วนส่งพลาสติกหลอม ลักษณะของสกรูจะมีความลึกของร่องเกลียวคงที่ แต่มีความลึกน้อยกว่าในส่วนป้อน พลาสติกหลอมในส่วนนี้จะมีความดันมากขึ้น และมีความเป็นเนื้อเดียวอย่างสมบูรณ์ และจะเสถียรอยู่ภายใต้ความดันและอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน ความดันที่เกิดขึ้นในขณะที่สกรูหมุนมีความสำคัญต่อการส่งพลาสติกจากกรวยเติมพลาสติกไปยังหัวดายมาก ลักษณะการเพิ่มความดันที่ส่วนต่างๆของสกรู แสดงดังรูปที่ 2.5 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความดันจะเพิ่มขึ้นจากส่วนป้อน และมีค่าสูงสุดที่ส่วนปลายของสกรู




รูปที่ 2.5 ความดันของพลาสติกหลอมที่ส่วนต่างๆของสกรู [2]

ด้วยการอัดพลาสติกให้หลอมละลาย และเมื่อพลาสติกหลอมเหลว ฟันของสกรูที่หมุนอยู่จะปาดพลาสติกเหลวที่ผนังกระบอกที่ช่วงส่งของเกลียว ทำให้เกิดการหมุนเวียนที่พลาสติกเหลว ซึ่งก็จะดึงส่วนที่ยังไม่หลอมตัวเข้ามาผสมและพาไปด้วย จึงมีการและเปลี่ยนความร้อนกันจนพลาสติกทั้งหมดหลอมละลายอย่างทั่วถึง ดังรูปที่ 2.6




รูปที่ 2.6 กรรมวิธีหลอมตัวในกระบอกหลอม [2]

2.3.1.2 กระบอกหลอม (Barrel)

กระบอกจะเป็นชิ้นเดียวประกอบอยู่กับระบบเฟืองขับ ตอนท้ายจะมีช่องทางนำพลาสติกเข้าผ่านกรวยเติม (hopper) โดยปกติระหว่างสกรู และกระบอกจะมีช่องว่าง (clearance) อยู่ไม่เกิน 1/10 มิลลิเมตร โดยสกรูจะไม่สัมผัสกับกระบอกหลอม และสกรูจะลอยอยู่ในพลาสติกขณะทำการอัดหลอมพลาสติก ที่กระบอกและสกรูจะมีแรงกระทำ มีการเสียดสีให้สึกและมีการกัดกร่อนดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกใช้เหล็กที่มีคุณภาพสูงทำสกรูและกระบอกซึ่งส่วนใหญ่จะนำมาชุบด้วยวิธีไนไตรดิ่ง (intruding) สำหรับพลาสติกบางชนิดมีส่วนผสมของสินแร่ต่างๆ จำเป็นต้องบุผนังด้านในของกระบอกและที่เกลียวของสกรูเพื่อป้องกันการขีดข่วน และการสึกหรอด้วยการเชื่อมพวกโลหะแข็งเอาไว้

2.3.1.3 กรวยเติมพลาสติก (Hopper)

กรวยเติมพลาสติกเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเติมพลาสติก ลักษณะผิวภายในของกรวยเติมพลาสติกจะมีความมันเพื่อเป็นการลดแรงเสียดทาน และจะต้องมีความชันมากพอที่จะทำให้พลาสติกไหลลงไปในช่องว่างของสกรูได้

2.3.1.4 แม่พิมพ์พลาสติก (Die)

แม่พิมพ์ที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์พลาสติกซึ่งการที่จะสร้างแม่พิมพ์ชนิดใดจะขึ้นอยู่กับรูปร่างลักษณะของผลิตภัณฑ์ ชนิดพลาสติกและความสะดวกรวดเร็วในการผลิต

**2.3.2 อุปกรณ์ปรับขนาด (Calibrator หรือ Sizing Systems)**

หน้าที่ของหน่วยปรับขนาด คือ ทำให้ลักษณะรูปร่างและพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานเป็นไปตามที่ต้องการ โดยทำให้เกิดการแข็งตัวของพลาสติกหลอม จากการสัมผัสของหัวดายของหน่วยปรับขนาดเพื่อให้ชิ้นงานมีความหนามากพอที่จะส่งไปยังหน่วยดึง (Take-off หรือ Haul-off unit) ได้ อุปกรณ์ปรับขนาดสำหรับการอัดรีดขึ้นรูปท่อและโพรไฟล์พลาสติกมีหลายชนิดดังแสดงตัวอย่างดังต่อไปนี้

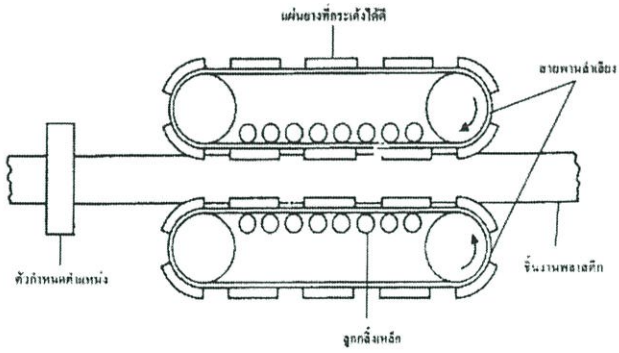
**2.3.3 อ่างหล่อเย็น (Cooling bath)**

พลาสติกหลอมจะถูกหล่อเย็นรอบแรกในตัวปรับขนาด ซึ่งชิ้นงานที่ได้ยังคงร้อนและการคงของรูปร่างยังไม่ดีพอจึงจำเป็นต้องมีส่วนหล่อเย็นเพิ่มเติมเพื่อให้ชิ้นงานพลาสติกเย็นตัวลงจนใกล้อุณหภูมิห้อง โดยทั่วไปจะใช้น้ำใส่ในอ่างที่มีความยาวเหมาะสมเป็นตัวหล่อเย็นแต่ก็อาจมีการใช้แก๊สเย็นในการหล่อเย็น ในบางเทคนิค ชิ้นงานที่มีความหนามากจำเป็นต้องพิถีพิถันในการหล่อเย็น แต่ชิ้นงานที่บางๆเช่น ฟิล์มพลาสติกใช้เพียงแค่ลมเป่าก็สามารถหล่อเย็นได้

### 2.3.4 อุปกรณ์ดึงชิ้นงาน (Puller)

หลังจากการผ่านอ่างน้ำหล่อเย็นแล้ว ชิ้นงานพลาสติกจะผ่านช่องว่างของอุปกรณ์ดึงชิ้นงาน โดยใช้แรงบีบกดในระดับที่พอดีคือไม่มากจนทำลายผิวของชิ้นงาน แต่ต้องมีแรงบีบที่มากพอที่จะสามารถดึงชิ้นงานให้เคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องได้ โดยความเร็วของการดึงจะเท่ากับอัตราการอัดรีดขึ้นรูป

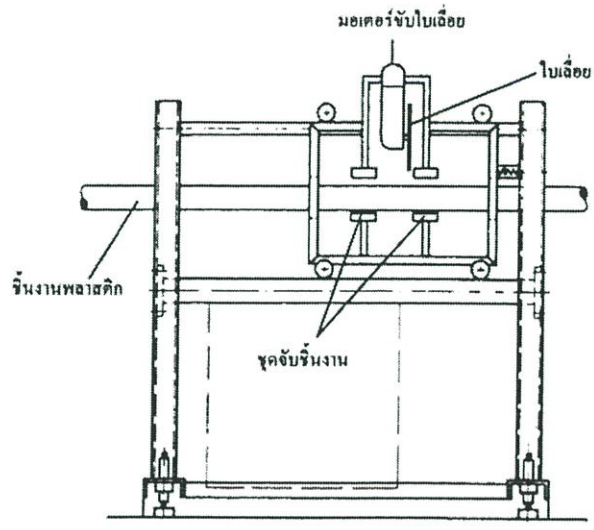
หลังจากช่วงการหล่อเย็นแล้ว จะต้องมีอุปกรณ์ดึงชิ้นงานให้วิ่งไปข้างหน้าโดยจะจับชิ้นงานและดึงเลื่อนไปด้วยความเร็วคงที่ที่สัมพันธ์กับความเร็วของการ (Extrusion) และเพื่อไม่ให้เกิดรอยที่เครื่องดึงจึงจำเป็ฯต้องตั้งแรงกดให้พอดี ดังรูปที่ 2.7




รูปที่ 2.7 อุปกรณ์ดึงชิ้นงาน [1]

### 2.3.5 อุปกรณ์ตัดและเครื่องม้วนชิ้นงานพลาสติก

หลังจากดึงชิ้นงานพลาสติกผ่านหน่วยดึง ถ้าเป็นชิ้นงานที่ยืดหยุ่น เช่น แผ่นและฟิล์มพลาสติก สายไฟ ท่อพอลิเอธิลีนขนาดเล็กและกลาง จะเก็บชิ้นงานพลาสติกโดนม้วนชิ้นงานเป็นม้วนเนื่องจากประหยัดเนื้อที่ การม้วนโดยทั่วไปจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขับวงล้อให้หมุนในอัตราเดียวกับการดึง สำหรับชิ้นพลาสติกที่แข็งจำเป็นต้องตัดชิ้นงานพลาสติกให้มีขนาดที่เหมาะสมก่อนนำไปเก็บ อุปกรณ์ที่ใช้ในการตัดโดยทั่วไปจะเป็น ใบมีด ใบเลื่อย หรือกรรไกรตัด การตัดและเก็บชิ้นงานในกระบวนการอัดรีดขึ้นรูปมักจะกระทำโดยอัตโนมัติ ตัวอย่างของเครื่องตัดแสดงดังรูปที่ 2.8




รูปที่ 2.8 เครื่องตัดพลาสติกโดยใช้ใบเลื่อย [1]

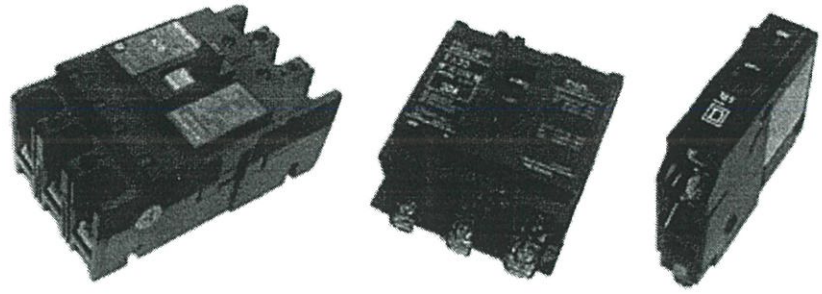
## 2.4 อุปกรณ์ทางไฟฟ้า

### 2.4.1 เบรกเกอร์ (Circuit Breaker)

2.4.1.1 <u>หลักการของเบรกเกอร์</u> อุปกรณ์ที่ทำงาน เปิดและปิดวงจรไฟฟ้า แบบไม่อัตโนมัติ แต่สามารถเปิดวงจรได้อัตโนมัติ ถ้ามีกระแสไหลผ่าน เกินกว่าค่าที่กำหนด โดยไม่มีความเสียหายเกิดขึ้น [3]

2.4.1.2 <u>ชนิดของเบรกเกอร์แรงดันต่ำที่ใช้กับแรงดันน้อยกว่า 1000 โวลต์</u>

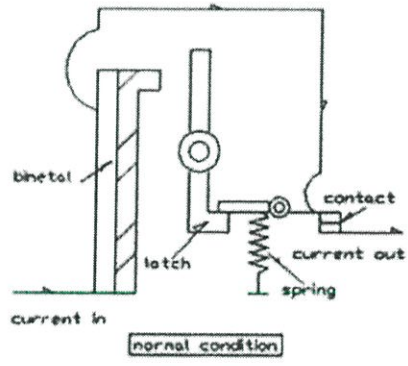
1. Molded case circuit breaker (MCCB) เบรกเกอร์ที่ถูกห่อหุ้มมิดชิดโดย mold 2 ส่วน มักทำด้วย phenolic ซึ่งเป็นฉนวนไฟฟ้าสามารถทนแรงดันใช้งานได้เบรกเกอร์แบบนี้ มีหน้าที่หลัก 2 ประการคือทำหน้าที่เป็นสวิทช์เปิด-ปิดด้วยมือ และเปิดวงจรโดยอัตโนมัติ เมื่อมีกระแสไหลเกิน หรือเกิดลัดวงจร โดยเบรกเกอร์จะอยู่ในภาวะ trip ซึ่งอยู่กึ่งกลางระหว่างตำแหน่ง ON และ OFF เราสามารถ reset ใหม่ได้โดย กดคันโยกให้อยู่ ในตำแหน่ง OFF เสียก่อน แล้วค่อยโยกไปตำแหน่ง ON การทำงานแบบนี้เรียกว่า quick make , quick break ลักษณะของ breaker แบบนี้ที่พบเห็นโดยทั่วไป molded case circuit breaker ที่พบบ่อยมี 2 ประเภทคือ Thermal magnetic CB. และ Solid state trip CB. ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 Molded case circuit breaker (MCCB) [3]

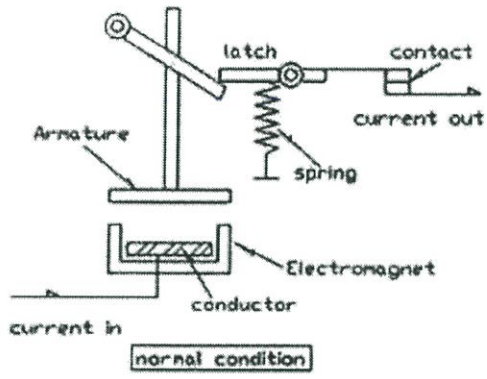
เบรกเกอร์แบบนี้มีส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วนคือ

- Thermal unit ใช้สำหรับปลดวงจรเมื่อมีกระแสไหลเกินอันเนื่องมาจากการใช้โหลดมากเกินไป ลักษณะการทำงาน ดังรูป 2.10 เมื่อมีกระแสเกินไหลผ่านโลหะ bimetal (เป็นโลหะ 2 ชนิด ที่มีสัมประสิทธิ์ ทางความร้อนไม่เท่ากัน) จะทำให้ bimetal โก่งตัว ไปปลดอุปกรณ์ทางกล และทำให้ CB. ตัดวงจร เรียกว่าเกิดการ trip การปลดวงจรแบบนี้ ต้องอาศัยเวลา ขึ้นอยู่กับกระแส และความร้อนที่เกิดขึ้นจนทำให้bimetal โก่งตัว



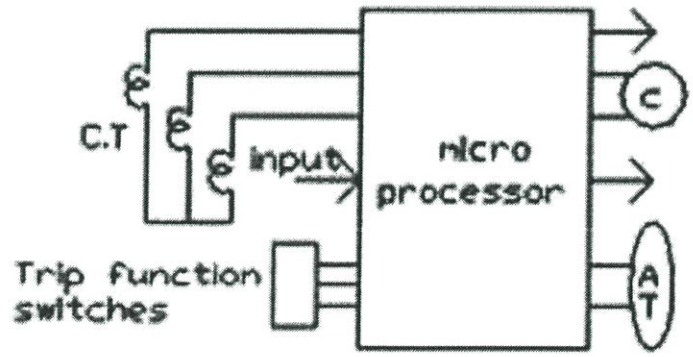

รูปที่ 2.10 ลักษณะการทำงานเมื่อมีกระแสเกินไหลผ่าน [3]

- Magnetic unit ใช้สำหรับปลดวงจรเมื่อเกิดกระแสลัดวงจรหรือมีกระแสค่าสูงๆ ประมาณ 8-10 เท่าขึ้นไป ไหลผ่าน กระแสจำนวนมาก จะทำให้เกิด สนามแม่เหล็กความเข้มสูง ดึงให้อุปกรณ์การปลดวงจรทำงานได้ การตัดวงจรแบบนี้เร็วกว่าแบบแรกมาก โอกาสที่ breakerจะชำรุดจากการตัดวงจรจึงมีน้อยกว่า ดังรูปที่ 2.11



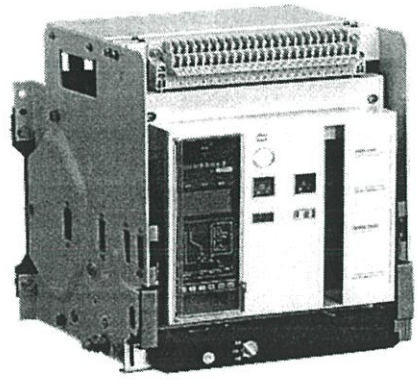

รูปที่ 2.11 สำหรับปลดวงจรเมื่อเกิดกระแสลัดวงจรหรือมีกระแสค่าสูงๆ [3]

2. Solid state trip or Electronic trip molded case circuit breaker เป็นเบรกเกอร์ชนิดหนึ่งที่มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทำหน้าที่วิเคราะห์ กระแสเพื่อสั่งปลดวงจร จาก Diagram จะเห็นว่ามี CT อยู่ภายในตัวเบรกเกอร์ทำหน้าที่ แปลงกระแส ให้ต่ำลง ตามอัตราส่วนของ CT และมี microprocessor คอยวิเคราะห์กระแส หากมีค่าเกินกว่าที่กำหนด จะสั่งให้ tripping coil ซึ่งหมายถึง solenoid coil ดึงอุปกรณ์ทางกลให้ CB. ปลดวงจร ที่ ด้านหน้าของเบรกเกอร์ชนิดนี้จะมีปุ่มปรับค่ากระแสปลดวงจร , เวลาปลดวงจร และอื่นๆ นอกจากนี้ยังสามารถติดตั้ง อุปกรณ์เสริมที่เรียกว่า amp meter & fault indicator ซึ่งสามารถแสดงสาเหตุการ fault ของวงจรและค่ากระแสได้ ทำให้ทราบสาเหตุของการปลดวงจรได้ ดังรูปที่ 2.12



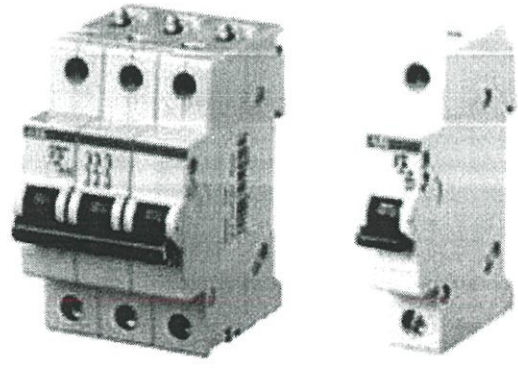

รูปที่ 2.12 Solid state trip or Electronic trip molded case circuit breaker [3]

3. Air circuit breaker เป็นเบรกเกอร์ที่ใช้กับแรงดัน <1000 โวลต์ มีขนาดใหญ่ใช้เป็น main CB. โดยทั่วไปมีพิกัดกระแสตั้งแต่ 225-6300 A. และมี interrupting capacity สูงตั้งแต่ 35-150 KA. โครงสร้างทั่วไปทำด้วยเหล็กมีช่องดับอาร์ก (Arcing chamber) ที่ใหญ่โตแข็งแรงเพื่อให้สามารถรับกระแสลัดวงจรจำนวนมากได้ Air CB ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 Air circuit breaker [3]

4. Miniature circuit breaker เป็นเบรคเกอร์ขนาดเล็ก ใช้ติดตั้งเป็นอุปกรณ์ป้องกันร่วมกับ แผงจ่ายไฟฟ้าย่อย (Load center) หรือ แผงจ่ายไฟฟ้าประจำห้องพักอาศัย (consumer unit) เบรคเกอร์ชนิดนี้ไม่สามารถปรับตั้งค่ากระแสตัดวงจรได้ มีทั้งแบบ 1 pole, 2 pole และ 3 pole อาศัยกลไกการปลดวงจรทั้งแบบ thermal และ magnetic มีรูปร่างดังรูปที่ 2.14

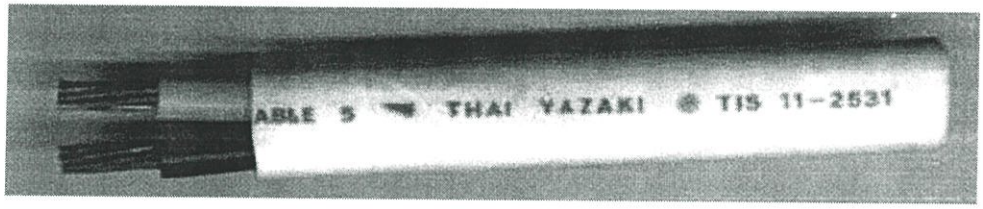


รูปที่ 2.14 Miniature circuit breaker [3]

**2.4.2 สายไฟฟ้าแรงดันต่ำ** เป็นสายไฟฟ้าที่ใช้กับแรงดันไม่เกิน 750 V. เป็นสายหุ้มฉนวน ทำด้วยทองแดงหรืออลูมิเนียม โดยทั่วไปเป็นสายทองแดงสายขนาดเล็กจะเป็นตัวนำเดี่ยว แต่สายขนาดใหญ่เป็นตัวนำตีเกลียว วัสดุฉนวนที่ใช้กับสายแรงดันต่ำคือ Polyvinyl Chloride (PVC) และ Cross-linked Polyethylene (XLPE) [4]

2.4.2.1 <u>ชนิดของสายไฟฟ้าแรงดันต่ำ</u>

1. วีเอเอฟ (VAF) สายไฟตาม มอก.11-2531 หรือเรียกว่าสายชนิด วีเอเอฟ (VAF) เป็นสายชนิด ทนแรงดัน 300 V มีทั้งชนิดที่เป็นสายเดี่ยว สายคู่ และที่มีสายดินอยู่ด้วย ถ้าเป็นสายเดี่ยว จะเป็นสายกลม และถ้าเป็นชนิด 2 แกน หรือ 3 แกน จะเป็นสายแบน ตัวนำนอกจาก จะมีฉนวนหุ้ม แล้วยังมีเปลือกหุ้มอีกชั้นหนึ่ง สายคู่จะนิยมรัดด้วยเข็มขัดรัดสาย (Clip) ใช้ในบ้านอยู่อาศัยทั่วไป สายชนิดนี้ห้ามใช้ในวงจร 3 phase ที่มีแรงดัน 380 V เช่นกัน (ในระบบ 3 phase แต่แยกไปใช้งานเป็นแบบ 1 phase แรงดัน 220 V. จะใช้ได้) ดังรูปที่ 2.15 ซึ่งสายไฟแต่ละขนาดจะทนกระแสการใช้งานสูงสุดตามตารางที่ 2.1




รูปที่ 2.15 สายไฟชนิดวีเอเอฟ (VAF) [4]

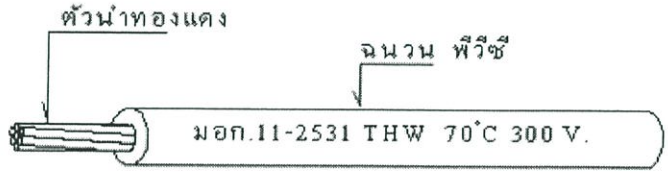
ตารางที่ 2.1 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าชนิดวีเอเอฟ (VAF) [4]

| จำนวนแกน | พื้นที่หน้าตัดสายตัวนำ | จำนวนและขนาดตัวนำ | กระแสใช้งานสูงสุด A |
|---|---|---|---|
| 2 | 1.0 | 1/1.13 | 11 |
| 2 | 1.5 | 1/1.38 | 15 |
| 2 | 2.5 | 1/1.78 | 20 |
| 2 | 4 | 1/2.25 | 27 |
| 2 | 6 | 7/1.04 | 35 |
| 2 | 10 | 7/1.35 | 49 |

ตารางที่ 2.1 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าชนิดวีเอเอฟ (VAF) (ต่อ) [4]

| จำนวนแกน | พื้นที่หน้าตัดสายตัวนำ | จำนวนและขนาดตัวนำ | กระแสใช้งานสูงสุด A |
|---|---|---|---|
| 2 | 16 | 7/1.70 | 65 |
| 2 | 25 | 7/2.14 | 88 |
| 2 | 35 | 7/1.53 | 109 |

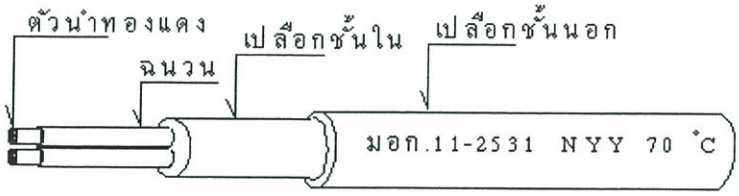
2. ทีเอชดับเบิลยู (THW) สายไฟฟ้าตาม มอก.11-2531 ที่ในท้องตลาดนิยมเรียกว่า ทีเอชดับเบิลยู (THW) เป็นสาย ไฟฟ้าชนิดทนแรงดัน 750 V เป็นสายเดี่ยว ใช้ในวงจรไฟฟ้า 3 phase ได้ ปกติจะเดินร้อยในท่อร้อยสาย ชื่อ THW เป็นชื่อตามมาตรฐานอเมริกัน ซึ่งเป็นสายชนิดทนแรงดัน 600 V อุณหภูมิใช้งานที่ 75 องศาเซลเซียส แต่ในประเทศไทยนิยมเรียกสายที่ผลิตตาม มอก. 11 -2531 ว่า สาย THW ดังรูปที่ 2.16




รูปสายไฟฟ้าชนิด THW

รูปที่ 2.16 สายไฟชนิดทีเอชดับเบิลยู (THW) [4]

3. เอ็นวายวาย (NYY) สายไฟฟ้าตาม มอก.11-2531 (เอ็นวายวาย (NYY)) มีทั้งชนิดแกนเดียว และหลายแกน สายหลายแกน เป็นสายชนิดกลม สายชนิดนี้ทนแรงดันที่ 750 V. มีความทนต่อสภาพแวดล้อม เพราะมีเปลือกหุ้มอีกชั้นหนึ่ง บางทีเรียกว่าเป็นสายฉนวน 3 ชั้น ความจริงแล้ว สายชนิดนี้มีฉนวนชั้นเดียว อีกสองชั้นที่เหลือเป็นเปลือก เปลือกชั้นในทำหน้าที่เป็นแบบ (Form) ให้สายแต่ละแกนที่ตีเกลียวเข้าด้วยกัน มีลักษณะกลม แล้วจึงมีเปลือกนอกหุ้ม อีกชั้นหนึ่งทำหน้าที่ป้องกันความเสียหายทางกายภาพ ดังรูปที่ 2.17




รูปสายไฟฟ้าชนิด NYY

รูปที่ 2.17 สายไฟชนิดเอ็นวายวาย (NYY) [4]

ชนิดของสาย NYY แบ่งตามลักษณะของสายโดยแบ่งออกได้ดังนี้

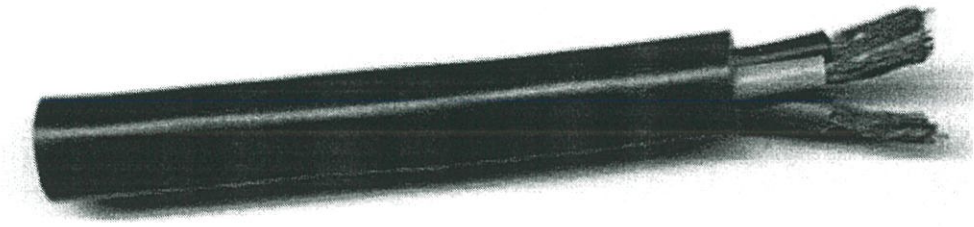
- NYY ชนิดสายเดี่ยว สายชนิดนี้เป็นสายที่มีเปลือกเพียงชั้นเดียว ทำหน้าที่ป้องกัน ความเสียหายทางกายภาพ ไม่ต้องมีเปลือกชั้นใน

- NYY ชนิด 2 แกน 3 แกน และ 4 แกน ซึ่งแล้วแต่ความต้องการของการใช้งาน สายชนิดนี้จะมีเปลือกสองชั้นดังกล่าวมาแล้วข้างต้น

- NYY ชนิด 4 แกน มีสายนิวทรัลรวมอยู่ด้วย เรียกว่าเป็นสาย NYY - N คือมีสายไฟอยู่ 3 เส้น และมีสายนิวทรัลอีกหนึ่งเส้น มีขนาดพื้นที่หน้าตัดประมาณครึ่งหนึ่ง ของสายไฟ จึงเหมาะที่จะใช้ในวงจร 3 phase 4 สาย

- NYY ชนิด NYY - GRD คือเป็นสายชนิด 2 แกน 3 แกน และ 4 แกน ที่มีสายดิน ( Ground ) รวมอยู่ด้วยอีกเสนหนึ่งเส้น จึงเหมาะที่จะใช้ต่อเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องต่อลงดิน

4. วีซีที (VCT) สายไฟฟ้าตาม มอก.11 - 2531 ตามท้องตลาดเรียกว่า สาย วีซีที (VCT) เป็นสายกลมมี ทั้งชนิดหนึ่งแกน 2 แกน 3 แกนและ 4 แกนทนแรงดันที่ 750 V. มีฉนวนและเปลือกเช่นกัน มีข้อพิเศษกว่าก็คือ ตัวนำจะประกอบไปด้วย ทองแดงฝอยเส้นเล็ก ๆ ทำให้มีข้อดีคือ อ่อนตัวและ ทนต่อสภาพการสั่นสะเทือนได้ดี เหมาะที่จะใช้เป็น สายเดินเข้าเครื่องจักร ที่มีการสั่นสะเทือนขณะใช้งาน สายชนิดนี้ ใช้งานได้ทั่วไปเหมือนสายชนิด NYY สาย VCT มีหลายแบบตามรูปทรงโดยแบ่งได้ทั้งแบบ VCT - GRD ซึ่งมี 2 แกน 3 แกนและ 4 แกน และมีสายดินเดินร่วมไปด้วยอีกเส้นหนึ่ง เพื่อให้เหมาะสำหรับใช้เครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องต่อลงดิน ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 สายไฟชนิดวีซีที (VCT) [4]

2.4.2.2 <u>การเลือกขนาดของสายไฟให้เหมาะสม</u>

การพิจารณาเลือกสายไฟฟ้าที่เหมาะสมนั้น มีหลายข้อด้วยกันที่ต้องพิจารณา ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพ ความเชื่อถือได้ และความปลอดภัยในการใช้งาน ข้อกำหนดที่ต้องพิจารณาในการเลือกสายไฟฟ้า ได้แก่

- พิกัดแรงดัน (Voltage Rating)
- พิกัดกระแส (Current Rating)
- แรงดันตก (Voltage Drop)
- สายควบ (Multiple Conductors)

1. พิกัดแรงดัน สายไฟฟ้าที่จะใช้ต้องสามารถทนต่อแรงดันใช้งานได้ตาม มอก. 11-2531 ได้กำหนดแรงดันใช้งานเอาไว้ 2 ระดับคือ 300 V และ 750 V ดังนั้นในการเลือกชนิดของสายไฟฟ้าจึงต้องคำนึงถึงพิกัดแรงดันให้เหมาะสมด้วย

2. พิกัดกระแส พิกัดกระแส คือ ความสามารถของสายไฟฟ้า ในการที่จะนำกระแสไฟฟ้าปริมาณหนึ่งอย่างต่อเนื่องในขณะใช้งานโดยไม่ทำให้อุณหภูมิสุดท้ายมีค่าเกินอุณหภูมิที่กำหนดไว้ พิกัดกระแสของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนจะขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- ขนาดของสายไฟฟ้า สายไฟฟ้าที่มีพื้นที่หน้าตัดขนาดใหญ่ ก็จะมีค่าพิกัดกระแสสูงกว่าสายไฟฟ้าที่มพื้นที่หน้าตัดขนาดเล็กกว่า
- ชนิดของฉนวนที่หุ้มสายไฟฟ้า การที่สายไฟฟ้ามีฉนวนที่มีคุณภาพดี ย่อมที่จะทำให้สายไฟฟ้าชนิดนั้นมีค่าพิกัดกระแสสูงขึ้น
- อุณหภูมิโดยรอบ เนื่องจากค่าความต้านทานของตัวนำจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นดังนั้นถ้าอุณหภูมิบริเวณรอบ ๆ ของสายไฟฟ้าที่ใช้มีค่าสูงขึ้น ก็จะส่งผลให้ค่าพิกัดของกระแสลดลงจากค่าปกติ
- ลักษณะการติดตั้ง เนื่องจากการติดตั้งสายไฟฟ้า สามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น เดินลอย เดินในท่อร้อยสายหรือเดินฝังใต้ดิน การติดตั้งแต่ละแบบก็จะมีการถ่ายเทอากาศได้ยากง่ายต่างกัน ถ้าสายไฟฟ้าติดตั้งในบริเวณที่อากาศถ่ายเทได้สะดวก ก็จะมีค่าพิกัดกระแสสูงกว่ากรณีที่ติดตั้งในบริเวณอากาศที่ถ่ายเทไม่สะดวก

## 2.5 อุปกรณ์ควบคุมความเร็ว

### 2.5.1 มอเตอร์

2.5.1.1 หลักการมอเตอร์

มอเตอร์สามเฟสมีขดลวดสามชุด แต่ละชุดต่อเข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันระบบ 3 เฟส ให้กำลัง (horse power) สูงเมื่อเทียบกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียว ขนาดเดียวกัน มอเตอร์กระแสสลับสามเฟสนิยมใช้กันมากในงานอุตสาหกรรม [5]

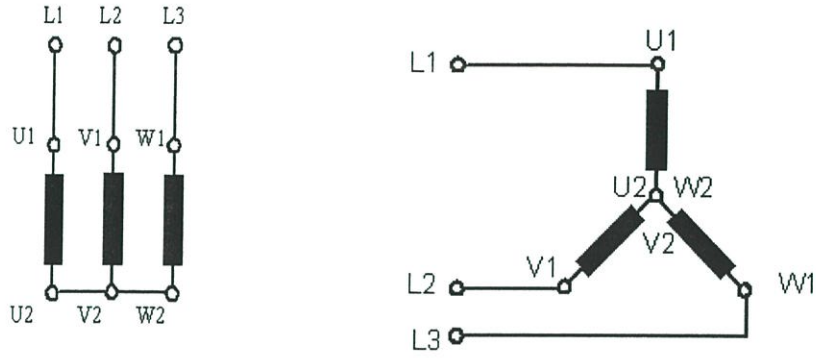
2.5.1.2 ชนิดของมอเตอร์กระแสสลับสามเฟส แบ่งเป็น 2 ชนิด

1. มอเตอร์สามเฟสแบบเหนี่ยวนำ (3 Phase Induction Motor) อาศัยหลักการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์แบ่งเป็น 2 แบบคือ แบบโรเตอร์กรงกระรอก (Squirrel Cage Rotor Type) และ แบบโรเตอร์พันขดลวด (Wound Rotor)

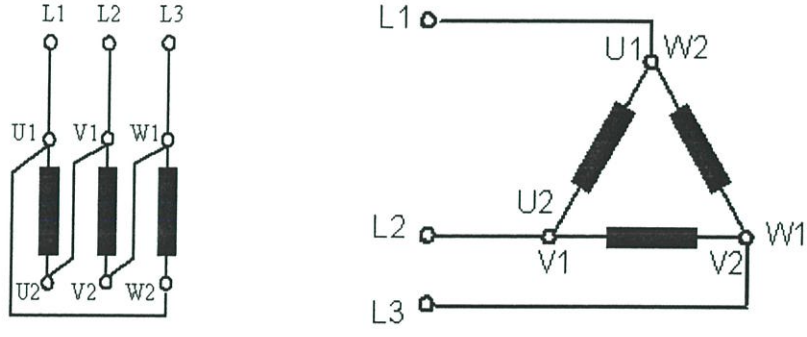
2. มอเตอร์สามเฟสแบบซิงโครนัส (Synchronous Motor) มอเตอร์สามเฟสชนิดที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ มอเตอร์สามเฟสเหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก ซึ่งมีโครงสร้างง่าย ราคาถูก มอเตอร์สามเฟสเหนี่ยวนำแบบกรงกระรอกประกอบด้วยขดลวดสเตเตอร์ 3 ขด แต่ละขดมีทั้งต้นคอล์ย และปลายคอล์ย การต่อมอเตอร์สามเฟสใช้งานมีการต่อ 2 แบบ คือ

- การต่อแบบสตาร์ หรือแบบวาร์ย (Star or Wye or Y Connection) การต่อแบบสตาร์ หรือแบบวาร์ยนี้จะให้แรงดันไฟฟ้าที่สูงที่กระแสต่ำ เป็นการต่อโดยเอาปลายของขดลวดทั้งสามเฟส (หรือจะเป็นชุดก็ได้ เรียกว่า Series-Star connection) มาต่อรวมกัน แล้วปล่อยต้นเฟสอีกด้านหนึ่งของทั้งสามเฟสไว้เพื่อต่อใช้งาน ดังรูปที่ 2.19

- การต่อแบบเดลตาหรือ สามเหลี่ยม (Delta) การต่อแบบเดลตา หรือสามเหลี่ยมนี้จะให้แรงดันไฟฟ้าที่ต่ำที่กระแสสูง เป็นการต่อโดยเอาต้นและปลายของขดลวดต่อกัน ในแต่ละเฟสจะต่อถึงกันหมด ดังนี้ ปลายของเฟส 1 ต่อกับต้นของเฟส 2, ปลายเฟส 2 ต่อต้น เฟส 3, และปลายของเฟส 3 ต่อต้นของเฟส 1 การต่อใช้งานก็จะใช้จุดที่ต่อทั้งสามจุดไปใช้งาน (ลักษณะการต่อจะเป็นแบบสามเหลี่ยมด้านเท่า) ดังรูปที่ 2.20




รูปที่ 2.19 การต่อแบบสตาร์ [5]




รูปที่ 2.20 การต่อแบบเดลตา [5]

**2.5.2 อินเวอร์เตอร์**

วงจรอินเวอร์เตอร์ เป็นการเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าทางด้านอินพุทซึ่งเป็นกระแสตรง (DC) จากแหล่งจ่ายไฟให้เป็นกำลังไฟสลับ (AC) ที่มีแรงดัน และความถี่ตามที่ต้องการ โดยในที่นี้ต้องการความถี่ 50 Hz และมีขนาด 220 โวลท์ ซึ่งหลักการของอินเวอร์เตอร์จะอาศัยการตัดต่อของสวิทช์ที่เป็นสารกึ่งตัวนำเป็นตัวตัดต่อไฟฟ้ากระแสตรงที่ต่ออยู่ภาระไฟฟ้า (Load) เช่น ทรานซิสเตอร์, เอสซีอาร์, เพาเวอร์มอสเฟท, ไอจีบีที เป็นต้น เพื่อที่จะทำให้แรงดันที่ตกคร่อมภาระไฟฟ้าเป็นสัญญาณไฟกระแสสลับ

ซึ่งอินเวอร์เตอร์ (Inverter) หรือเรียกว่า เอซีไดร์ฟ (AC drives) คืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำหรือเอซีมอเตอร์ เนื่องจากความเร็วรอบของอินดัคชั่นมอเตอร์ หรือมอเตอร์เหนี่ยวนำ จะเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับสมการความเร็วรอบหรือสมการซิงโครนัส-สปีดดังต่อไปนี้

$$\text{Synchronous speed (Ns)} = \frac{(120 \times f)}{p} \qquad (2.1)$$

เมื่อ f = ความถี่กระแสไฟฟ้า

p = จำนวนขั้วแม่เหล็ก

จากสมการสมชิงโครนัส-สปีดจะเห็นว่าความเร็วรอบของมอเตอร์สามารถปรับเปลี่ยนได้ 2 เส้นทาง คือ

1. เปลี่ยนจำนวนขั้วแม่เหล็ก (P)
2. เปลี่ยนแปลงความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้า ( f )

ซึ่งการเปลี่ยนความสัมพันธ์ของทั้งสองจะให้ความเร็วรอบที่แตกต่าง ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความเร็วรอบของมอเตอร์ตามความถี่และขั้วแม่เหล็ก [6]

| **จำนวนขั้วแม่เหล็ก(P)** | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| จำนวนรอบที่ความถี่ 50 Hz. (RPM) | 3000 | 1500 | 1000 | 750 | 600 | 500 |
| จำนวนรอบที่ความถี่ 60 Hz. (RPM) | 3600 | 1800 | 1200 | 900 | 720 | 600 |

### 2.5.3 มู่เล่

มู่เล่เป็นชิ้นส่วนสำคัญมากชิ้นหนึ่งในระบบสายพานลำเลียง (Belt conveyor system) เพราะ Pulley จะทำงานร่วมกับอุปกรณ์ชิ้นอื่นๆในระบบแบบเป็นจังหวะ ให้ระบบทำงานได้แบบต่อเนื่อง ลองนึกภาพดูว่า หากมูเล่เสียหายไม่สามารถทำงาน ได้นั่นหมายความว่าระบบ ต่างๆก็ต้องหยุดทำงานทันทีพร้อมๆกัน ความเสียหายเกิดขึ้นกับ การผลิตจะมหาศาลขนาดไหน คนที่รับผิดชอบโรงงานนั้นย่อมรู้ดีที่สุด เมื่อ Pulley มีความสำคัญขนาดนี้หลายท่านก็คงอยากทราบว่าเราจะมีพื้นฐานการเลือกใช้ประเภท Pulley ที่ถูกต้องอย่างไร เพราะที่ผ่านๆมาหลายท่านคงไม่เคยสนใจเรื่องของ Pulley จริงๆจังๆ เลย ตำราที่จะศึกษาก็มีน้อย ส่วนมากเมื่อมีความต้องการจะทำอะไร ก็มักจะอ้างอิงกับของเดิมที่ติดตั้งมาแล้ว เอาให้เหมือนของเดิมก็แล้วกัน ทั้งๆ ที่ของเดิมที่เห็นอยู่นั้น สภาพในปัจจุบันอาจไม่เหมาะสมกับการใช้งานแล้วก็เป็นได้ ดังนั้นเรามาหาความรู้กันแบบกว้างๆเกี่ยวกับประเภทของ Pulley ก่อนเพื่อเป็นแนวทาง (Guideline) พื้นฐาน ที่จะช่วยตัดสินใจเลือก Pulley ได้ถูกต้องต่อไป [7]

### 2.5.4 ตลับลูกปืน

ตลับลูกปืน หรือ Bearing ที่ เป็นสแปร์พาร์ทสำคัญสำหรับเครื่องจักรกลนั้น มักจะผลิตโดยใช้วัสดุ Material ที่มีคุณภาพสูง เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการทำงานและประโยชน์สูงสุด สามารถใช้งานได้ยืดยาวนานคงทน ทนต่อความร้อนและแรงเสียดทานได้ดี ไม่แตกหรือเสียง่าย โดยทั่วไปแล้ววัสดุเป็นองค์ประกอบในการผลิตตลับลูกปืนมักจะได้แก่ รางและลูกกลิ้งของตลับลูกปืน ซึ่งทำจากเหล็กสแตนเลสหรือหรือเหล็กที่มีคาร์บอนสูง และผสมกับโครเมียม โดยใช้กรรมวิธีกระบวนการทางความร้อนสูงในการเข้ามาช่วยเพิ่มความแข็งให้กับ วัสดุ เพื่อให้มีความคงทน ใช้งานได้ยาวนาน และเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

สำหรับขนาดของตลับลูกปืน Bearings นั้นมักจะมีขนาดแตกต่างกันไป ซึ่งในปัจจุบันได้มีการกำหนดมาตรฐานไว้ด้วย ดังนั้นในการนำตลับลูกปืนไปใช้งานจริงจึงต้องเลือกชนิดหรือประเภทและขนาดของตลับลูกปืน จากคู่มือของตลับลูกปืนนั้นๆ โดยทั่วไปแล้วในการเลือกใช้ควรจะคำนึงถึงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก (OUTER) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน (INNER) ความกว้าง และมุมต่างๆของตลับลูกปืน ซึ่งควรยึดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน (INNER) เป็นหลัก และควรพิจารณาร่วมกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก (OUTER) ด้วยเช่นกัน

### 2.5.5 สายพาน

#### 2.5.5.1 <u>ทฤษฎีเกี่ยวกับสายพาน</u>

สายพานลิ่มใช้ส่งกำลังได้ค่อนข้างมาก โดยต้องการแรงดึงขั้นต้นในสายพานค่อนข้างน้อย ทั้งนี้เพราะผลจากการเกาะยึดตัวกันระหว่างด้านข้างของสายพานที่เรียวกับร่องรูปลิ่มของล้อสายพาน ทำให้เกิดแรงเสียดทานสูง ซึ่งเป็นผลให้สายพานทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพดี แม้ว่าจะมีส่วนโค้งสัมผัสน้อย และมีแรงดึงขั้นต่ำ และเหมาะกับการใช้งานในกรณีที่ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางน้อย ในการส่งกำลังจะส่งได้มากที่สุดเมื่อผิวด้านข้างของสายพานอัดแน่นกับร่องบนล้อสายพาน และในกรณีที่มีเหตุฉุกเฉินก็อาจใช้ผลจากการอัดแน่นนี้ทำหน้าที่เป็นเบรกได้ด้วย การขับด้วยสายพานลิ่ม มีข้อดี คือ เงียบสะอาด และสามารถรับแรงกระตุกได้ นอกจากนั้นยังมีขนาดกะทัดรัด มีประสิทธิภาพดี และแบริ่งของเพลาไม่ต้องรับแรงมากเกินไป จึงมักใช้ในการขับทางด้านอุตสาหกรรมทั่วไป ซึ่งมีสายพานขับได้โดยมีอัตราทดสูงประมาณ 7 : 1 หรืออาจใช้ได้สูงถึง 10 [1]

#### 2.5.5.2 <u>ขนาดสายพานและล้อสายพานลิ่ม</u>

สายพานลิ่มมีหน้าที่ตัดเป็นรูปลิ่ม ดังนั้นในการกำหนดขนาดจึงมักกำหนด โดยใช้ความกว้างพิทช์ (Pitch Width) และความหนาสายพานโดยใช้ตัวอักษรแทน ซึ่งแบ่งออกเป็นสายพานลิ่มแบบแคบ (Narrow V-Belts) มีขนาด SPZ SPA SPB และ SPC และสายพานลิ่มแบบธรรมดา มีขนาด Y Z A B C D และ E ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะสายพานลิ่มแบบธรรมดาเท่านั้น รูปร่างหน้าตัดของสายพานลิ่มและล้อสายพาน

การทำให้เกิดแรงดึงขั้นต้น จะช่วยทำให้การขับด้วยสายพานมีประสิทธิภาพดี และยืดอายุการใช้งานของสายพาน ถ้าออกแรงดึงขั้นต้นไม่เพียงพอจะทำให้ส่งกำลังได้น้อยลง ประสิทธิภาพต่ำลง ทำให้สายพานมีอายุการใช้งานลดลง

เนื่องจากสลิป แต่ถ้าออกแรงดึงชั้นต้นมากเกินไป จะทำให้ขอบสายพานยืดตัวมากเกินไป เกิดความเค้นในสายพานมาก แบริ่งที่รองรับสายพานจะรับแรงมากเกินไป ด้วยเหตุนี้จึงต้องออกแรงดึงชั้นต้นให้เหมาะสมกับแรงภายนอกที่กระทำกับสายพานลิ่มส่วนโค้งสัมผัส [1]

## 2.6 คุณสมบัติการไหลของพลาสติก หรือรีโอโลยี (Rheology)

รีโอโลยี (Rheology) หมายถึง วิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการไหล และการผิดรูปของวัสดุที่มีสถานะเป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ โดยทั่วไปมักจะเรียกสมบัติทางรีโอโลยีว่าสมบัติการไหล เป็นการศึกษารีโอโลยีของสารละลายพอลิเมอร์ และพอลิเมอร์หลอม เนื่องจากของไหลชนิดนี้ที่มีลักษณะเป็นของไหลหนืดและมีการเฉือนลดลงเมื่อเพิ่มอัตราเฉือนเป็นไหลวิสโคอีลาสติกและมีสมบัติการไหลขึ้นกับเวลา และอุณหภูมิ

การแปรรูปพลาสติกต้องให้พลาสติกหลอมในเครื่องแปรรูปแล้วอัดด้วยสกรูให้ไหลผ่านหัวดายหรือหัวฉีดที่มีขนาดเล็กก่อนทำให้เย็นในขณะที่เกิดการไหลโมเลกุลพลาสติกจะเกิดการผิดรูปหลายลักษณะ ซึ่งมักจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของพอลิเมอร์และสภาวะของการไหลดังนั้นความเข้าใจเรื่องสมบัติการไหลและการผิดรูปของพอลิเมอร์หลอมจะทำให้เข้าใจพฤติกรรมการไหลในกระบวนการแปรรูปซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการควบคุมคุณภาพและการพัฒนาการผลิตผลิตภัณฑ์ [8]

## 2.7 พลาสติกที่ใช้ในการอัดรีดขึ้นรูป

ตามหลักแล้วเทอร์โมพลาสติกทุกชนิดสามารถจะทำการอัดรีดขึ้นรูปได้ แต่มีข้อจำกัดคือพลาสติกนั้นเมื่ออ่อนตัวจะต้องมีความหนืดสูง ทั้งนี้เพื่อว่าเมื่อพลาสติกผ่านหัวดายออกมาจะต้องคงรูปได้ชั่วระยะเวลาหนึ่ง ไม่ยุบตัวมารวมกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกชนิดของพลาสติกที่เหมาะสมสำหรับงานอัดรีดหรือใช้พลาสติกบางชนิดที่ความหนืดต่ำกว่าเล็กน้อยที่มี polymerization degree สูงขึ้นในกระบอก หรือเมื่อเติมสารผสมลงไปแล้วทำให้หนืดขึ้น โดยพลาสติกที่นำมาเข้ากระบวนการอัดรีดขึ้นรูป แสดงดังตารางที่ 2.3 โดยส่วนใหญ่เป็น PVC ทั้งแข็งและอ่อน ตามมาด้วย PE และPP [2]

ตารางที่ 2.3 พลาสติกที่ใช้ในกระบวนการอัดรีดขึ้นรูป [2]

| ชื่อทางเคมี | สัญลักษณ์ | อุณหภูมิทำงาน(°C) | ตัวอย่างการใช้งานในกระบวนการอัดรีดขึ้นรูป |
|---|---|---|---|
| Cellulose acetate | CA | 160-200 | Profile ต่างๆ และแผ่นแบน |
| Polystyrene (Normal Polystyrene) | PS | 170-210 | แผ่นฟิล์มที่ดึงยืดทั้งสองแกน และแผ่นโฟม |
| Styrene-Butadien Copolymerisate | SB | 170-220 | แผ่นหนา แผ่นฟิล์ม และเส้นใย |

ตารางที่ 2.3 พลาสติกที่ใช้ในกระบวนการอัดรีดขึ้นรูป (ต่อ) [2]

| ชื่อทางเคมี | สัญลักษณ์ | อุณหภูมิทำงาน($^{\circ}$C) | ตัวอย่างการใช้งานในกระบวนการอัดรีดขึ้นรูป |
|---|---|---|---|
| Acrylnitrile-Butadien-Styrene Terpolymerisate | ABS | 170-220 | แผ่นหนา และท่อ |
| Polyethylene soft (PE low density) | LDPE | 130-200 | ท่อ แผ่น ฟิล์ม ภาชนะกลวงหุ้มลวด และ Monofile |
| Polyethylene hard (PE high density) | HDPE | 140-220 | ท่อ แผ่น ฟิล์ม ภาชนะกลวงหุ้มลวด และแถบ Tape |
| Polymethylmethacrylate | PMMA | 160-190 | แผ่น และฟิล์ม |
| Polycarbonate | PC | 300-340 | แผ่น profile และภาชนะกลวง |
| Polyamide | PA | 260-300 | สายไฟ หุ้มลวด Monofile และภาชนะกลวง |
| Polyacetal | POM | 170-200 | ท่อ และProfile ต่างๆ |
| Polypropylene | PP | 180-260 | ท่อ ฟิล์ม แผ่น Monofile และแถบ Tape |
| Polyvinylchloride | PVC | 180-200 | ท่อ ฟิล์ม และแผ่น |
| Polyvinylchloride Copolymerisate | PVC | 180-210 | ท่อ ฟิล์ม และแผ่น |
| Polyvinylchloride with Softener | PVC | 150-190 | สายยาง ฟิล์ม หุ้มสายไฟ ลวด และProfile |

2.7.1 พอลิโพรไพลีน

2.7.1.1 ลักษณะ

-พอลิโพรไพลีนมีลักษณะขาวขุ่น

-มีความหนาแน่นในช่วง 0.890 - 0.905

2.7.1.2 สมบัติทั่วไป

-มีผิวแข็ง ทนทานต่อการขีดข่วน คงตัวไม่เสียรูปง่าย

-สามารถทำเป็นบานพับในตัว มีความทนทานมาก

-เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก แม้ที่อุณหภูมิสูง

-ทนทานต่อสารเคมีส่วนมาก แต่สารเคมีบางชนิดอาจทำให้พองตัว หรืออ่อน นิ่มได้

-มีความเหนียวที่อุณหภูมิตั้งแต่ 105 °Fลงไปจนถึง 15 °F (40 °C ถึง -10 °C) แต่ที่ 0 °F จะเปราะ

-มีความต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซได้ดี

-สามารถทนอุณหภูมิสูงที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ (Sterilization : 100°C) ได้

-ผสมสีได้ง่ายทั้งลักษณะโปร่งแสง และทึบแสง

## 2.8 โปรแกรมการออกแบบการทดลอง (Design of experiments)

ในทางปฏิบัติทางอุตสาหกรรม การทดลองที่ได้รับการออกแบบมาจะมีการทำงานอย่างเป็นระบบในการสืบค้นในตัวแปรในกระบวนการ (Process variable) หรือตัวแปรของผลิตภัณฑ์ (Product variable) หลังจากที่ทำการกำหนดเงื่อนไขของกระบวนการ หรือองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จึงจะสามารถทำการปรับปรุงเพื่อเพิ่มความสามารถในการผลิต ความน่าเชื่อถือ คุณภาพ และ ประสิทธิภาพตัวอย่างเช่น คุณกำลังทำการค้นหาอิทธิพลของชนิดสารเคลือบ (coating type) และ อุณหภูมิของเตาเผา(furnace temperature) ที่มีต่อความต้านทานการกร่อน (corrosion resistance) ของเหล็กกล้าแบบเส้น คุณสามารถที่จะทำการทดลองที่สามารถเก็บข้อมูลที่มีเงื่อนไขของการเปลี่ยนแปลงชนิดสารเคลือบและอุณหภูมิเตาเผา และทำการวัดค่าความต้านทานการกัดกร่อน เพื่อนำมาหาเงื่อนไขการผลิตที่เหมาะสมเนื่องด้วยทรัพยากรมีจำนวนจำกัด ดังนั้นการทดลองแต่ละครั้งจะต้องให้สาระข้อมูลที่สำคัญที่สุด ซึ่งการทดลองที่มีการวางแผนที่ดีจะทำให้ได้สาระข้อมูลที่สำคัญและมีคุณภาพมากกว่าการทดลองที่เกิดขึ้นจากงานที่ไม่ได้รับการวางแผนมาก่อน และโดยเฉพาะการทดลองตามแผนที่วางไว้จะสามารถวิเคราะห์เกี่ยวกับอิทธิพลของปัจจัยที่ต้องการศึกษาได้ดีกว่าด้วย ตัวอย่างเช่น ถ้าคุณมีสมมติฐานว่าอิทธิพลของ Interaction ระหว่างปัจจัยสองตัวมีนัยสำคัญคุณควรที่จะทำการออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ของอิทธิพล interaction ด้วย และควรทำการทดลองแบบ factorialมากกว่าการทดลองแบบ OFAT (one factor at a time) อิทธิพล interaction จะเกิดขึ้นเมื่อปัจจัยตัวหนึ่งมีผลต่อปัจจัยอีกตัวหนึ่งที่ระดับต่างๆกันไป

การทดลองที่ได้รับการออกแบบมาโดยมากจะมี 4 ขั้นตอนคือ การวางแผน (Planning) การคัดเลือก (Screeningหรือprocess characterization) การหาค่าที่ดีที่สุด (optimization) และการทวนสอบ (verification) ตัวอย่างเช่นการออกแบบการทดลองจะประกอบด้วย การสร้าง (creating) การวิเคราะห์ (analyzing) และการพล๊อตผลการทดลอง

1. การวางแผน (Planning)

การวางแผนที่ดีจะช่วยทำให้เกิดปัญหาระหว่างการทำการทดลองน้อยลง ตัวอย่างเช่น บุคลากรอุปกรณ์ที่ทำการทดลอง เงินทุน และเรื่องกรรมวิธีการผลิตซึ่งอาจส่งผลให้ไม่สามารถทำการทดลองได้ครบสมบูรณ์ ถ้าโครงงานที่ทำการทดลองนี้มีความสำคัญอันดับรองลงมากว่าอีกโครงงานหนึ่ง ซึ่งทำให้ต้องมีการแบ่งใช้ทรัพยากรบางส่วนไป การแบ่งการทดลองเป็นส่วน ๆ ทำให้ผลการทดลองที่ได้มานั้น ยังสามารถนำไปใช้ได้ และเมื่อทรัพยากรที่ถูกแบ่งใช้ไปนั้นกลับคืนมาก็สามารถทำการทดลองได้เหมือนเดิมและดำเนินต่อจากตอนที่หยุดไว้ก่อนหน้าการเตรียมการทดลองขึ้นอยู่กับลักษณะปัญหาที่กำลังเจอ และนี่เป็นขั้นตอนที่อาจจะต้องทำการ

- กำหนดปัญหา (Define the problem) ขั้นตอนนี้คือการกำหนดปัญหา ซึ่งปัญหาที่มีขอบเขตชัดเจนจะช่วยทำให้การกำหนดตัวแปรที่ถูกต้อง เพื่อให้สามารถตอบคำถามได้ตามที่ต้องการ

- กำหนดวัตถุประสงค์ (Define the objective) ขั้นตอนนี้คือกำหนดวัตถุประสงค์ ซึ่งวัตถุประสงค์ที่ชัดเจนจะทำให้มั่นใจได้ว่าการทดลองที่จะทำนั้นสามารถตอบคำถามได้ตรง และสาระข้อมูลที่จะได้มานี้ใช้ได้จริง

- การสร้างแผนการทดลองเพื่อให้ได้สาระข้อมูลที่ถูกต้อง ในขั้นตอนนี้ควรมีการทบทวนถึงสิ่งต่างๆที่มีความเกี่ยวข้อง เช่น หลักการทางทฤษฎี หรือข้อมูลในอดีต ตัวอย่างเช่น คุณต้องการหาว่าปัจจัยใดหรือเงื่อนไขของกระบวนการแบบใดที่มีผลต่อประสิทธิภาพและความแปรปรวนของกระบวนการ หรือทำการหาเงื่อนไขของกระบวนการที่ดีที่สุด

- กระบวนการและระบบการวัดจะต้องอยู่ภายใต้การควบคุม โดยหลักทางทฤษฎีทั้งกระบวนการและระบบการวัดควรจะอยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติด้วยการใช้หลักการทาง การควบคุมกระบวนการทางสถิติ (Statistical Process Control, SPC) ในกรณีที่กระบวนการไม่ได้อยู่ภายใต้การควบคุมแบบสมบูรณ์ แต่อย่างน้อยกระบวนการนั้นๆ ก็ควรที่จะสามารถทำซ้ำและให้ค่ากระบวนการแบบเดิมรวมทั้งต้องมีการวัดความแปรปรวนของกระบวนการ ซึ่งถ้าความแปรปรวนของกระบวนการนี้ที่ได้มามีค่ามากกว่าความแตกต่างหรืออิทธิพลที่กำลังพิจารณา ผลการทดลองที่ได้นี้อาจจะไม่ได้ประโยชน์มากนัก

2. การคัดเลือก (Screening)

ในงานพัฒนากระบวนการและงานการผลิตส่วนมาก มีตัวแปรจำนวนมากที่มีแนวโน้มว่าจะมีส่วนในการปรับปรุงการคัดเลือกเป็นการลดจำนวนตัวแปรเหล่านี้ให้มีจำนวนน้อยลง โดยคัดเลือกตัวแปรที่มีความสำคัญอย่างมากต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การลดจำนวนตัวแปรนี้ทำให้คุณสามารถจะพิจารณาเฉพาะที่ตัวแปรที่มีความสำคัญต่อกระบวนการเท่านั้นได้ หรือ พิจารณาตามหลักการ ความสำคัญจำนวนน้อย “Vital Few” การคัดเลือกอาจจะสามารถทำได้ถึงการหาค่าที่เหมาะสม (optimal) ของตัวแปรนั้นๆ รวมทั้งบอกด้วยว่าค่าตอบสนอง (response) มีสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้งวิธีดังกล่าวต่อไปนี้ มักจะใช้ในการคัดเลือก

- Two-Level full และ Fractional Factorial ซึ่งในวงการอุตสาหกรรมมีใช้กันแพร่หลาย

- Plackett-Burman แม้ว่าจะมี resolution น้อย แต่ว่ามีประโยชน์อย่างมากต่อการทดลองเพื่อการคัดเลือก และการทดสอบเรื่อง Robustness ซึ่งใช้กันโดยทั่วไป

- General Full Factorial (ปัจจัยมีค่าระดับมากกว่า 2 ค่าขึ้นไป) อาจจะมีประโยชน์บ้างในการทำการทดลองเพื่อการคัดเลือกขนาดเล็ก

3. การหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization)

หลังจากที่มีการคัดเลือกตัวแปรที่มี*ความสำคัญจำนวนน้อย* (Vital-Few) คุณคงต้องการที่จะทำการหาค่าที่ดีที่สุดของปัจจัยเหล่านี้ ซึ่งค่าปัจจัยที่ดีที่สุดจะเป็นค่าอะไรขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการทดลองด้วย ตัวอย่างเช่น วัตถุประสงค์คือการหาค่า yield ของกระบวนการที่มีค่ามากที่สุดและมีค่าความแปรปรวนของกระบวนการน้อยที่สุด

- ในหัวข้อภาพรวม Factorial Design เป็นการอธิบายถึงวิธีการออกแบบและการวิเคราะห์ตัวแบบของ Two-level factorial, Plackett-Burman และ General Full Factorial

- ในหัวข้อภาพรวม Response Surface Design เป็นการอธิบายถึงวิธีการออกแบบและการวิเคราะห์ตัวแบบของ Central composite design และ Box-Behnken Design

- ในหัวข้อ Response Optimization เป็นการอธิบายถึงวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดในกรณีที่มีค่าตอบสนองมากกว่าหนึ่งค่า(multiple responses) Minitab มีทั้งวิธี numerical optimization, interactive graphและ overlaid contour plot ที่ไว้เพื่อช่วยในการหาค่าที่ดีที่สุด เพื่อเป็นเงื่อนไขของการเกิดค่าตอบสนองหลายๆค่าไปพร้อมๆกัน

4. การทวนสอบ (Verification)

การทวนสอบเป็นการทำการทดลองซ้ำเพื่อดูว่าค่าที่วิเคราะห์มาเป็นค่าที่ดีที่สุดนั้น ยังคงให้ผลลัพธ์ที่ดีจริงๆ หรือไม่ตัวอย่างเช่น คุณทำการทดลองที่มีเงื่อนไขตามค่าที่หามาจากการหาค่าที่ดีที่สุด เพื่อหาขนาดของช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ยค่าตอบสนอง

- การปรับแบบการทดลองและการสร้างแบบการทดลองโดยใช้ข้อมูลในเวิร์คชีท (Modifying and Using เวิร์คชีท Data)เมื่อคุณทำการออกแบบการทดลองด้วยวิธี Create Design โปรแกรม Minitab จะทำการสร้างตัวแบบที่เหมาะสมในเวิร์คชีทซึ่ง Minitab ต้องใช้ข้อมูลเหล่านี้เพื่อการวิเคราะห์ต่อไปด้วยซึ่งสิ่งที่ Minitab จะสร้างขึ้นมามีตามคอลัมน์นี้

  - StdOrder
  - RunOrder
  - CenterPt (มีในหัวข้อ two-level factorial และ Plackett-Buman)
  - PtType (มีในหัวข้อ general full factorial, response surface และ mixture design)
  - Blocks
  - Factors (ชื่อปัจจัย)

ถ้าคุณต้องการวิเคราะห์การทดลองที่ออกแบบไว้ด้วยวิธี Analyze Design คุณจะต้องทำตามกฎเกณฑ์ที่ Minitabออกแบบและกำหนดไว้ ซึ่งถ้าคุณทำการเปลี่ยนเวิร์คชีทตามที่ออกแบบไว้ คุณยังสามารถใช้วิธี analyze design ได้ แต่ต้องไปทำการกำหนดแบบการทดลองเอง (Define Custom Design) วิธีใดวิธีหนึ่งก่อน โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ไม่สามารถทำการลบหรือเคลื่อนย้ายคอลัมน์ที่มีให้จากการออกแบบ

- คุณสามารถใส่ค่าหรือแก้ไข และวิเคราะห์ข้อมูลในคอลัมน์ของเวิร์คชีทตัวแบบที่ออกแบบ เฉพาะในคอลัมน์ที่ไม่ได้รับการออกแบบมา ซึ่งเป็นคอลัมน์ที่ใส่ค่าตอบสนองหรือตัวแปรร่วม (covariate data)หรือ ข้อมูลอื่นๆ ที่ต้องการให้มีในตัวแบบ

- คุณสามารถจะลบลำดับการทดลอง (runs) ได้ ถ้าคุณลบลำดับการทดลองออกไป จะทำให้คุณไม่สามารถวิเคราะห์ตัวแบบได้ครบทุกพจน์ ซึ่งในกรณีแบบนี้ Minitab จะทำการลบพจน์ที่ไม่สามารถวิเคราะห์ได้โดยอัตโนมัติ และวิเคราะห์เฉพาะส่วนที่เหลืออยู่

- คุณสามารถทำการเพิ่มลำดับการทดลองได้ ตัวอย่างเช่น คุณต้องการทำการทดลองเพิ่มที่จุด centerpoint หรือ ทำซ้ำที่ลำดับการทดลองใดหนึ่งโดยเฉพาะ ซึ่งระวังเรื่องการใส่ค่าปัจจัย รวมไปถึงStdOrder, RunOrder, CenterPt , และ Blocks ให้ถูกต้องด้วย รวมทั้งขนาดของคอลัมน์ทั้งหมดต้องมีค่าเท่ากัน ในส่วน StdOrder และ RunOrder จะใช้ตัวเลขอะไรก็ได้ เพราะ Minitab ใช้เพื่อเป็นการบ่งชี้ลำดับของข้อมูลเท่านั้น

- คุณสามารถเปลี่ยนค่าระดับของปัจจัยของข้อมูลที่มีการแก้ไขในหน้าต่างข้อมูล (Data window)

- คุณสามารถเปลี่ยนค่าระดับปัจจัยด้วยวิธี Modify design อย่างไรก็ตาม คุณไม่สามารถแก้ไขชนิดของปัจจัยจากตัวเลขไปเป็นตัวหนังสือ หรือจากตัวหนังสือไปเป็นตัวเลข

- คุณสามารถเปลี่ยนชื่อของปัจจัยได้ด้วยวิธี Modify design

- คุณสามารถใช้วิธีอื่นๆเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลที่ออกแบบไว้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่มีอยู่ในหัวข้อ DOE อย่างเดียว

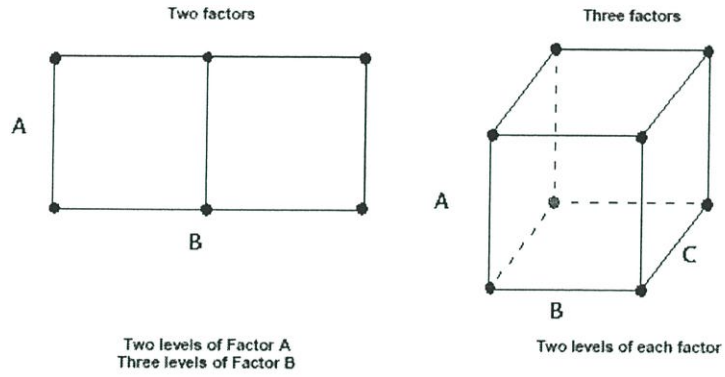
- คุณสามารถเพิ่มปัจจัยลงในตัวแบบตามที่ได้ออกแบบไว้ในเวิร์คชีท ด้วยวิธีการกำหนดแบบการทดลองเอง (Define Custom Design) ดังที่ได้กล่าวไว้

- **การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล Factorial Designs** จะสามารถทำการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่มีต่อกระบวนการและเกิดขึ้นพร้อมๆกันได้ เมื่อมีการทำการทดลอง ควรทำการเปลี่ยนค่าระดับปัจจัยไปพร้อมๆกันมากกว่าทำการเปลี่ยนค่าระดับปัจจัยตัวใดตัวหนึ่ง เพราะจะทำให้ได้งานที่มีประสิทธิภาพมากกว่าทั้งในเรื่องการประหยัดเวลาและต้นทุน และยังสามารถวิเคราะห์เรื่องอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างปัจจัยได้ด้วยโดยอิทธิพลร่วม (Interaction) คือผลของการที่ปัจจัยร่วมกันที่มีอยู่ในหลายๆกระบวนการ ถ้าไม่ได้ทำการทดลองแบบแฟคทอเรียลอาจจะไม่เห็นผลของอิทธิพลร่วม(Interaction) ได้ชัดเจนนัก

- **การออกแบบเพื่อการคัดเลือก Screening Design** ในงานพัฒนากระบวนการและงานการผลิตส่วนมากมีตัวแปรจำนวนมากที่มีแนวโน้มว่าจะมีส่วนในการปรับปรุงการคัดเลือกเป็นการลดจำนวนตัวแปรเหล่านี้ให้มีจำนวนน้อยลงโดยคัดเลือกตัวแปรที่มีความสำคัญอย่างมากต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การลดจำนวนตัวแปรนี้ทำให้คุณสามารถจะพิจารณาเฉพาะที่ตัวแปรที่มีความสำคัญต่อกระบวนการเท่านั้นได้ หรือ พิจารณาตามหลักการ ความสำคัญจำนวนน้อย “Vital Few”

การคัดเลือกอาจจะสามารถทำได้ถึงการหาค่าที่เหมาะสม (optimal) ของตัวแปรนั้นๆ รวมทั้งทำการทดลองเพื่อหาค่าที่ดีที่สุด (optimization) เพื่อบอกว่าค่าตอบสนอง (response) มีสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้ง

- **การออกแบบการทดลองแบบ Full Factorial** ในการทดลองแบบ Full Factorial ค่าตอบสนอง (response) จะถูกวัดค่าที่ทุกๆ เงื่อนไขของทุกค่าระดับปัจจัยที่มีในการทดลอง โดยเงื่อนไขการทดลอง (combination of factor levels) เป็นเงื่อนไขที่กำหนดให้ทำการทดลองเพื่อวัดค่าตอบสนอง โดยที่เงื่อนไขการทดลองแต่ละอันจะเรียกว่า รัน (run) และมีการทำการทดลองเพื่อวัดค่าตอบสนอง และชุดข้อมูลทั้งหมดในทุกรันจะเรียกว่า แบบการทดลอง (design)ในรูปภาพด้านล่างนี้เป็นรูปแสดงตัวแบบของการทดลองแบบ 2 และ 3 ปัจจัย โดยจุดจะเป็นแสดงถึงเงื่อนไขการทดลอง (combination) แต่ละอันของการทดลอง ตัวอย่างเช่น ในตัวแบบ 2 ปัจจัย (two-factor design) จุดที่มุมล่างด้านซ้าย และรันของการทดลองที่มีค่าระดับปัจจัย A เป็นค่าต่ำ (low) และ ค่าระดับปัจจัย B เป็นค่าต่ำ เช่นกันดังรูปที่2-46




รูปที่ 2.21 การเปรียบเทียบการออกแบบการทดลอง [9]

- **การออกแบบการทดลองแบบ Two-level full factorial** ในตัวแบบของ Two-level full factorial ในทุกๆการทดลองทุกๆปัจจัยจะมีค่าระดับเพียงแค่ 2 ระดับเท่านั้น การทดลองแต่ละรันจะมีทุกๆค่าระดับของทุกๆปัจจัย ถึงแม้ว่าตัวแบบ Two-level full factorial จะไม่สามารถทำการทดลองที่ค่าปัจจัยย่าน (range) กว้างๆ มากได้ แต่ก็สามารถให้สาระข้อมูลที่มีประโยชน์ได้โดยที่จำนวนรันไม่มากนักต่อหนึ่งปัจจัย และเพราะว่า Two-level full factorial สามารถที่จะแสดงค่าแนวโน้มได้ จึงสามารถนำมาใช้เพื่อนำไปเป็นแนวทางในการสร้างการทดลองต่อไป ตัวอย่างเช่น เมื่อคุณต้องการที่จะทำการทดลองในย่านที่กว้างขึ้นซึ่งคุณมีสมมติฐานเบื้องต้นว่าจะมีค่าที่ดีที่สุดอยู่ คุณอาจใช้ตัวแบบแฟคทอเรียล (factorial) เพิ่มเติมจากจุดนี้โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบ central composite

- **การออกแบบการทดลองแบบ General full factorial** ในตัวแบบของ General full factorial การทดลองแต่ละครั้งในแต่ละปัจจัยจะมีค่าระดับหลายๆค่า ตัวอย่างเช่นปัจจัย A มี 2 ระดับ ปัจจัย B มี 3 ระดับ และ ปัจจัย C มี 5 ระดับ การทดลองในทุกรันจะทำครบทุกค่าระดับของทุกปัจจัย ตัวแบบ General full factorial อาจจะนำไปใช้ในการทดลองขนาดเล็กเพื่อทำการคัดเลือกปัจจัย (Screening)หรือ เพื่อทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization)

- **การออกแบบการทดลองแบบ Fractional Factorial** ในการทดลองแบบ Full factorial ค่าตอบสนองจะถูกวัดค่าในทุกๆ เงื่อนไขการทดลองซึ่งจะเป็นทุกๆค่าระดับของทุกปัจจัย ซึ่งอาจจะต้องมีการทำการทดลองจำนวนมากครั้ง ตัวอย่างเช่น การทดลองของ two-level full factorial ของ6 ปัจจัย อย่างน้อยต้องมีการทดลองจำนวน 64 รัน หรือ กรณีที่มี 9 ปัจจัย จะมีการทดลองอย่างน้อย 512 รัน เพื่อเป็นการประหยัดเวลาและต้นทุนคุณอาจทำการออกแบบการทดลองให้มีการทำการทดลองเฉพาะบางเงื่อนไข ตัวแบบFactorial ที่มีการทดลองไม่ครบทุกเงื่อนไขนี้เรียกว่า Fractional factorial designs โปรแกรม Minitab สามารถสร้างตัวแบบ fractional factorial ได้จนถึงจำนวนปัจจัย 15 ตัวต่อหนึ่งการทดลองFraction factorial มีความสำคัญอย่างมากในการทดลองเพื่อการคัดเลือกปัจจัย (screening) เพราะว่ามีการลดจำนวนรันลงจนเหลือขนาดการทดลองที่สามารถทำได้จริง รันที่ถูกเลือกมาทำการทดลองเป็นรันที่อยู่ในชุดการทดลองของตัวแบบ full factorial ซึ่งในกรณีที่ไม่ได้ทำการทดลองครบทุกเงื่อนไขของทุกปัจจัยจะทำให้เกิดผลอย่างหนึ่งที่เรียกว่าคอนฟาวด์ (confounded) ซึ่งคอนฟาวด์ นี้หมายถึง อิทธิพลของปัจจัยที่ไม่สามารถทำการประเมินค่าแยกออกมาได้เดี่ยวๆ และอาจเรียกว่าเป็น Aliased โดย Minitab จะแสดงตารางของ alias ที่อยู่ในรูปแบบของการคอนฟาวด์ เพราะว่าเรื่องของคอนฟาวด์ ทำให้อิทธิพล (effects) บางตัวไม่สามารถหาค่าได้ทำให้การเลือกการทำ fractional factorial ต้องเลือกส่วนที่จะมาทำให้ถูกต้องเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ใช้งานได้ การเลือกส่วนการทดลองที่ดีที่สุด (Best fraction) บางครั้งอาจจะต้องใช้ความรู้เฉพาะเกี่ยวกับกระบวนการและผลิตภัณฑ์เพื่อมาตัดสินใจด้วย

- **การออกแบบการทดลองแบบ Plackett-Burman** การทดลองแบบ Plackett-Burman เป็นการทดลองที่มีค่า resolution เท่ากับ 3 (III) ซึ่งถือเป็นการทดลองแบบ fractional factorial ที่มี resolutions III ซึ่งมีรูปแบบของ alias ระหว่างปัจจัยหลัก (main effect) กับ interaction ของ2ปัจจัย (two-way interactions)Minitab สามารถสร้างการทดลองได้สูงสุดถึงจำนวน 47 ปัจจัย โดยแต่ละตัวแบบที่ถูกสร้างขึ้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนรัน ตั้งแต่จำนวน 12 ถึง 48 รัน (เพิ่มขึ้นทีละ 4 รัน) และจำนวนปัจจัยจะต้องมีค่าน้อยกว่าจำนวนรันเสมอ

- **การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลด้วยโปรแกรม Minitab มีขั้นตอนดังนี้**

- ก่อนที่จะทำการใช้ Minitab ในการออกแบบการทดลอง จะต้องมีการทำการทดลองเบื้องต้นมาก่อนเพื่อการวางแผน ตัวอย่างเช่น จะต้องทำการหาปัจจัยที่คาดว่ามีอิทธิพลต่อค่าตอบสนอง (ดูเรื่องภาพรวมการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล)

- ใน Minitab สามารถใช้เพื่อสร้างตัวแบบการทดลองใหม่ หรือใช้กับเวิร์คชีทที่มีข้อมูลอยู่แล้ว

• ใช้คำสั่ง Create Factorial Design เพื่อสร้างตัวแบบ Full หรือ Fraction factorial และ Plackett-Burman

• ใช้คำสั่ง Define Custom Factorial Design เพื่อใช้ในการสร้างตัวแบบกรณีที่มีเวิร์คชีทที่มีข้อมูลอยู่แล้ว ซึ่งคุณสามารถที่จะปรับเปลี่ยนและกำหนดคอลัมน์ของปัจจัยและค่าต่างๆ เพื่อให้เหมาะกับตัวแบบและการวิเคราะห์ต่อไป

- ใช้คำสั่ง Modify Design เพื่อทำการแก้ไขชื่อปัจจัย เปลี่ยนค่าระดับปัจจัย การสร้างค่าซ้ำ (replicate)การทำการสุ่มลำดับการทดลอง (Randomization) สำหรับ Two-level design คุณสามารถใช้สร้าง Fold design เพิ่มรันที่จุด Axial points และ เพิ่มรันที่ Center point

- ใช้คำสั่ง Display design เพื่อทำการเปลี่ยนลำดับการทดลองของแต่ละรัน และหน่วย (ทั้งแบบที่เป็นค่าจริง (Uncoded) หรือค่ารหัส (Code) ซึ่ง Minitab ได้แสดงค่าไว้ของแต่ละปัจจัยในเวิร์คชีท

- ทำการทดลองและเก็บค่าข้อมูล จากนั้นใส่ค่าข้อมูลในเวิร์คชีทของ Minitab

- ใช้คำสั่ง Analyze Factorial Design เพื่อวิเคราะห์ค่าตอบสนอง (Response) ใช้คำสั่ง Analyze Variability เพื่อทำการวิเคราะห์ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) สำหรับกรณีที่มีการทำซ้ำ

- ในกรณีที่จะทำการพล็อตกราฟเพื่อดูอิทธิพล (Effects) ใช้คำสั่ง Factorial Plots เพื่อทำการสร้างกราฟที่แสดงได้ทั้ง อิทธิพลหลัก (Main effects) และอิทธิพลร่วม (Interaction effects) และ Cube plot สำหรับตัวแบบ two-level สามารถใช้คำสั่ง Contour/Surface plots เพื่อแสดงกราฟ Contour และ Surface

- ถ้าคุณต้องการทำการหาค่าที่ดีที่สุดของค่าตอบสนอง ใช้คำสั่ง Response Optimizer หรือคำสั่ง Overlaid Contour Plot เพื่อช่วยในการหาค่าที่ดีที่สุดโดยทำทั้งแบบตัวเลขและพิจารณาจากกราฟ

- **การเลือกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Choosing a Factorial Design)** เป็นการกำหนดรูปแบบการทำการทดลองในแต่ละรัน รวมทั้งโครงสร้างของการทำบล็อค (Blocks) การทำซ้ำ (Replication) การสุ่ม (Randomization) และเงื่อนไขปัจจัย (Combination) ของแต่ละรัน เมื่อไปทำการทดลอง จะต้องมีการวัดค่าตอบสนองของแต่ละรันที่เกิดขึ้น Minitab สามารถออกแบบตัวแบบของ 2-level full และ Fractional, Plackett-Burman และ General Full factorial ในการเลือกตัวแบบต้องมีข้อมูลเบื้องต้นดังนี้

- จำนวนปัจจัยที่จะทำการศึกษา

- จำนวนรันที่สามารถทำการทดลองได้

- ผลกระทบด้านต่างๆ เช่น ต้นทุน เวลา และเรื่องความพร้อมของทรัพยากรที่เกี่ยวข้องในแต่ละปัญหาอาจจะต้องมีการพิจารณาเรื่องอื่นๆ ร่วมด้วยเพื่อให้ตัวแบบเป็นไปตามที่ต้องการ ซึ่งตัวแบบนั้นอาจจะต้องสามารถทำได้ดังข้อต่อไปนี้

- สามารถเพิ่มจำนวนการทดลองได้อย่างต่อเนื่องหรือทำเพิ่มจากของเดิมได้

- สามารถทำการทดลองได้ในแบบ Orthogonal blocks ซึ่งตัวแบบที่มีเรื่อง Orthogonal block คือตัวแบบที่สามารถประมาณค่าอิทธิพลของปัจจัย และบล็อค (Block) แยกจากกันได้ และยังสามารถทำให้ค่าความผันแปรของสัมประสิทธิ์ที่ถูกประมาณค่า (Estimated coefficients) นั้นมีค่าน้อยสุด

- สามารถตรวจจับความไม่สมรูปของตัวแบบ (Lack of fit)

- สามารถประมาณค่าอิทธิพลของปัจจัยที่คิดว่าน่าจะมีความสำคัญได้ โดยเลือกทำตัวแบบที่ Resolution ที่เหมาะสม เลข Resolution เป็นตัวอธิบายถึงการ Alias ของปัจจัยในตัวแบบ ซึ่งสามารถอธิบายถึงเลข Resolution ได้ดังนี้

• Resolution III – ไม่มีอิทธิพลหลัก (Main effects) ใดที่ Alias กันและกัน แต่ว่า อิทธิพลหลัก (Main effect) จะ Alias กับอิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย (Two-way interactions) และ อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย (Two-way interactions) มีการ Alias กันเอง

• Resolution IV – ไม่มีอิทธิพลหลัก (Main effect) จะ Alias กับ อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย (Two-way interactions) แต่อิทธิพลร่วม2 ปัจจัย (Two-way interactions) มีการ alias กันเอง

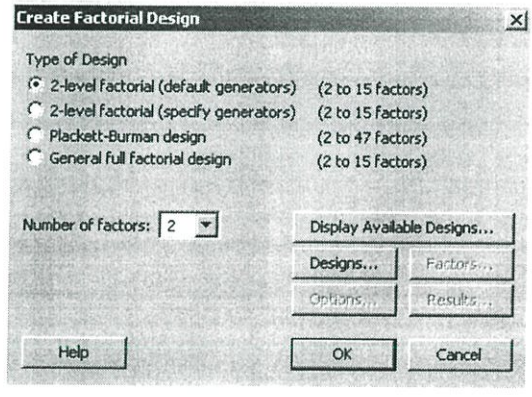
• Resolution V --ไม่มีอิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย (Two-way interactions) ใดที่ alias กันเอง แต่ อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย (Two-way interactions) alias กับ อิทธิพลร่วม 3 ปัจจัย (Three way interaction)

- **การสร้างตัวแบบการทดลองแบบ 2-level Factorial** มีตัวเลือกให้เพื่อไว้ใช้กับ 2 – level แบบfull factorial design ซึ่งสร้างได้ถึง 7 ปัจจัยในหนึ่งตัวแบบและแบบfractional factorial design ซึ่งสามารถสร้างได้ 15 ปัจจัยในหนึ่งตัวแบบ คุณสามารถเลือกใช้ตัวแบบที่ Minitab สร้างไว้แล้ว (ซึ่งตัวแบบเหล่านี้สามารถดูรายละเอียดที่ตัวเลือก Display Available Design) หรือสามารถสร้างตัวแบบเองด้วยการกำหนดตัว generator ในการสร้างตัวแบบ

1. การเรียกคำสั่ง

**Stat > DOE > Factorial > Create Factorial Design**ใช้กับการออกแบบการทดลองแบบ 2-level ทั้งแบบ Full และ Fractional และ Plackett-Burman ดูเนื้อหาเพิ่มเติมเกี่ยวกับตัวแบบแต่ละอย่างที่หัวข้อภาพรวมการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design Overview)

2. รายละเอียด ไดอะล็อก บ็อกซ์




รูปที่ 2.22 ตัวอย่างไดอะล็อคบ็อกซ์ [9]

- **Type of Design**

| | |
|---|---|
| 2 - level factorial (default generators) | : Minitab จะตั้งเป็นค่าอัตโนมัติ |
| 2 - level factorial (specify generators) | : เลือกเมื่อต้องการกำหนดตัว generator ด้วยตัวเอง |
| Plackett-Burman design | : เลือกเมื่อต้องการสร้างตัวแบบ Plackett-Burman |
| General full factorial design | : เลือกเมื่ออย่างน้อยมีปัจจัยตัว 1 มีค่าระดับมากกว่า 2 ระดับ |
| Number of factors | : เพื่อทำการกำหนดจำนวนปัจจัยที่จะมีในตัวแบบ |

- การสร้าง 2-level factorial design

  1. เลือก Stat > DOE > Factorial > Create Factorial Design

  2. ถ้าต้องการดูรายละเอียด เลือกที่ Display Available Design ใช้ตารางนี้เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ เลือก OK

  3. ในส่วน Type of Design เลือก 2-level factorial (เป็นค่าที่ตั้งไว้เริ่มต้นของ Minitab)

  4. ส่วน Number of Factors เลือกได้ตั้งแต่ 2 ถึง 15

  5. เลือก Designs

  6. ในช่องบนสุด มีเครื่องหมายแถบสีเลือกตัวแบบที่ต้องการสร้าง ถ้าตามที่คุณต้องการแล้ว ให้ไปที่ไดอะล็อก บ็อกซ์ ส่วนอื่นต่อ

# บทที่ 3
# ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

## 3.1 กล่าวนำ

ส่วนประกอบของกระบวนการอัดรีดขึ้นรูป (EXTRUSION) ได้แก่ ตัวปรับขนาด อ่างหล่อเย็น เครื่องดึง และเครื่องตัด เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากทางภาควิชาอุตสาหการ ได้มีเครื่องอัดรีดขึ้นรูป (EXTRUDER) และอ่างหล่อเย็นอยู่ เพื่อความสมบูรณ์ของกระบวนการและการฉีดพลาสติกให้ยาวต่อเนื่องนั้นจึงได้มีการจัดทำเครื่องดึงพลาสติกขึ้นเพื่อความสมบูรณ์ในการใช้งาน จากนั้นได้ทำการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตโดยใช้ DOE ในการออกแบบการทดลอง

## 3.2 เครื่องดึง

หลังจากการผ่านอ่างน้ำหล่อเย็นแล้ว ชิ้นงานพลาสติกจะผ่านช่องว่างของอุปกรณ์ดึงชิ้นงาน โดยใช้แรงบีบกดในระดับที่พอดีคือไม่มากจนทำลายผิวของชิ้นงาน แต่ต้องมีแรงบีบที่มากพอที่จะสามารถดึงชิ้นงานให้เคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องได้ โดยความเร็วของการดึงจะเท่ากับอัตราการอัดรีดขึ้นรูป

## 3.3 อ่างหล่อเย็น

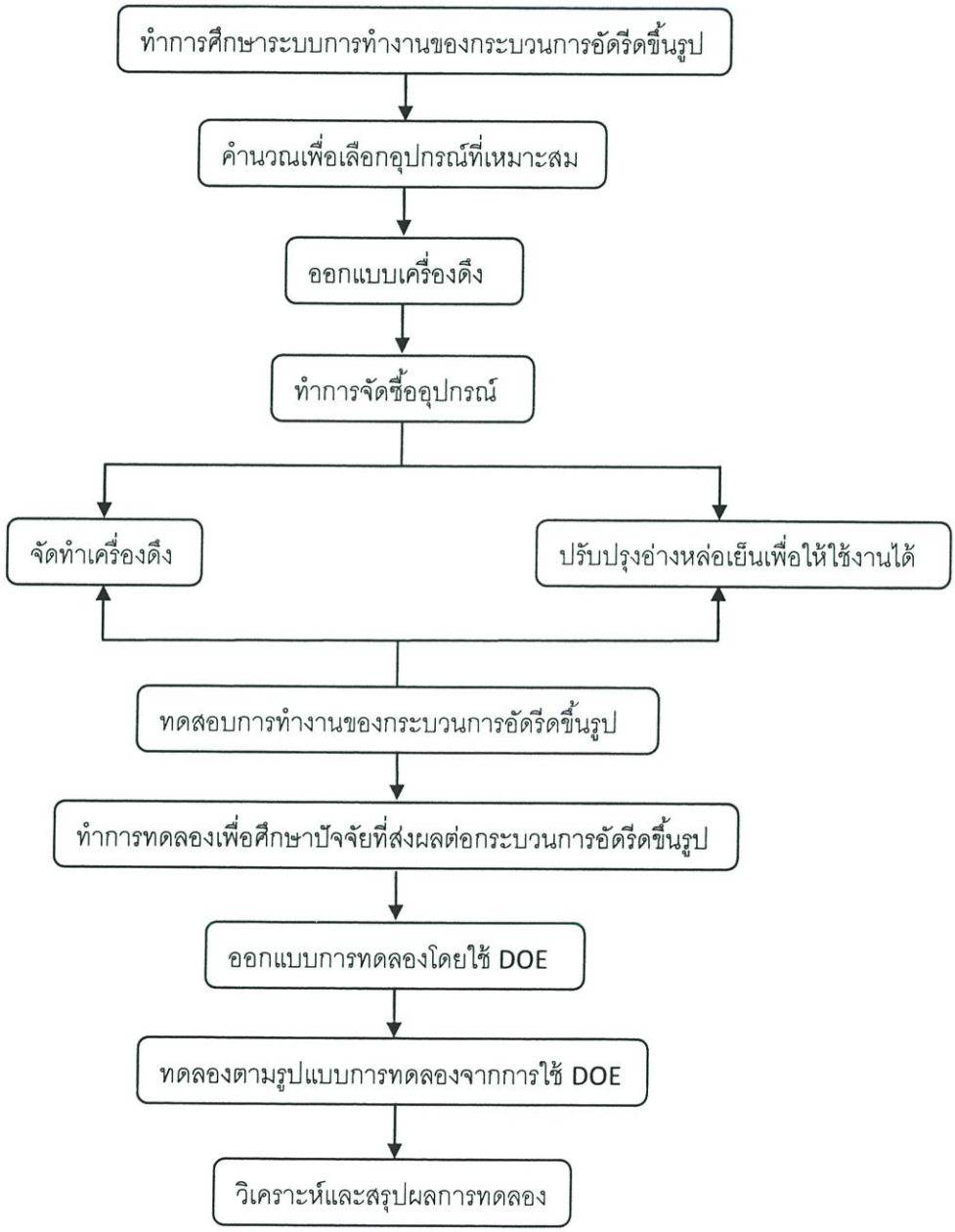
พลาสติกหลอมจากเครื่องอัดรีดขึ้นรูปไหลผ่านแม่พิมพ์ ซึ่งชิ้นงานที่ได้ยังคงร้อนและการคงรูปยังไม่ดีพอจึงจำเป็นต้องมีส่วนหล่อเย็นเพิ่มเติมเพื่อให้ชิ้นงานพลาสติกเย็นตัวลงจนใกล้อุณหภูมิห้อง โดยทั่วไปจะใช้น้ำใสในอ่างที่มีความยาวเหมาะสมเป็นตัวหล่อเย็นแต่ก็อาจมีการใช้แก๊สเย็นในการหล่อเย็น ในบางเทคนิค ชิ้นงานที่มีความหนามากจำเป็นต้องพิถีพิถันในการหล่อเย็น แต่ชิ้นงานที่บางๆเช่น ฟิล์มพลาสติกใช้เพียงแค่ลมเป่าก็สามารถหล่อเย็นได้

## 3.4 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

โพลิโพรพิลีน เป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีลักษณะเป็นของแข็ง ไม่มีสี มีทั้งโปร่งใสและโปร่งแสง ผิวเป็นมันเงา ทนความเป็นกรด เบส และสารเคมีต่างๆยกเว้นไฮโดรคาร์บอนและคลอริเนเทดไฮโดรคาร์บอน แบ่งออกเป็น 3 ประเภทตามโครงสร้างของโพลิโพรพิลีน ได้แก่ ไอโซแทกทิกโพลิโพรพิลีน และเอแทกทิกโพลิโพรพิลีน มีสมบัติที่ดีหลายอย่าง ได้แก่ ทนแรงกระแทกสูง ทนการขีดข่วน ทนสารเคมี มีจุดอ่อนตัวสูง มีความหนาแน่นต่ำ และมีอุณหภูมิในการหลอมสูงทำให้ใช้งานที่อุณภูมิสูงถึง 200 องศาเซลเซียส

## 3.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน มีลำดับขั้นตอนในการดำเนินงานดังรูปที่ 3.1




รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

## 3.6 การคำนวณหาอุปกรณ์ที่เหมาะสม

จากความเร็วในการดึงเท่ากับความเร็วในการอัดรีดขึ้นรูปได้ความสัมพันธ์ที่ว่า

$$Q = \pi r^2 l \qquad (3.1)$$

โดย

Q คือ ปริมาตรของพลาสติกที่ถูกอัดรีดขึ้นรูปในเวลา 1 นาที (m3/min)

$\pi$ คือ ค่าคงตัวทางคณิตศาสตร์มีค่าเท่ากับ 3.14

r คือ รัศมีของหัวดายเครื่องอัดรีดขึ้นรูป (m)

l คือ ความยาวของพลาสติกที่ถูกอัดรีดขึ้นรูปในเวลา 1 นาที (m/min)

เครื่องอัดรีดขึ้นรูปมีการหมุนของมอเตอร์เท่ากับ 1410 rpm และมีอัตราทดที่ 1:25 จะได้ว่า ความเร็วในการฉีดสูงสุดคือ 1410/25 = 56.4 rpm

เครื่องดึงมีการหมุนของมอเตอร์เท่ากับ 1450 rpm และมีอัตราทดที่ 1:30 จะได้ว่า เครื่องดึงมีความเร็วสูงสุดคือ 1450/30 = 48.3 rpm

แต่ด้วยความหนืดของพลาสติกจะทำให้ความเร็วในการฉีดออกมาไม่ถึงเจ็ด 56.4 rpm จึงใช้ความเร็วในการดึงสูงสุดของเครื่องดึงที่ 45 rpm เพื่อความสัมพันธ์กันจึงไม่ใช้ความเร็วรอบสูงสุดที่คิดได้จากการทดเกียร์

จะได้

$$Q = \pi r^2 l$$

ที่

$Q = 7.28\times10^{-5}$ $\pi = 3.14$ $r = 2\times10^{-3}$ $l = ?$

$l = Q \div \pi r^2$

$l = 7.28\times10\text{-}5 \div (3.14\times(2\times10^{-3})^2)$

$l = 5.8$ m/min

จะได้ ความยาวสูงสุดในการฉีดออกมาภายในหนึ่งนาทีจะมีค่าเท่ากับ5.8เมตร จึงสามารถกล่าวได้ว่าความเร็วสูงสุดของการฉีดออกมาก็จะมีค่าเท่ากับ 5.8 m/min ดังนั้นที่เครื่องดึงจะต้องใช้ลูกกลิ้งที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่าไหร่ที่ความเร็วในการดึงเท่ากับ 45 rpm

| | | |
|---|---|---|
| l | = | ความเร็วสูงสุดในการดึง x เส้นรอบวงของลูกกลิ้ง |
| 5.8 | = | $45\times2\pi r$ |
| 5.8 | = | $45\times2\times3.14\times r$ |
| r | = | $5.8 \div (45\times2\times3.14)$ |
| r | = | 0.02048 m |

เพราะฉะนั้นที่ความเร็วสูงสุดการฉีด 60 rpm และ ความเร็วสูงสุดในการดึง 45 rpm ทำให้ได้เส้นผ่าศูนย์กลางลูกกลิ้งที่มีขนาด 0.02048 m หรือ 20.48 mm

## 3.7 การออกแบบระบบและโครงสร้างของเครื่องดึง

### 3.7.1 โครงโต๊ะ

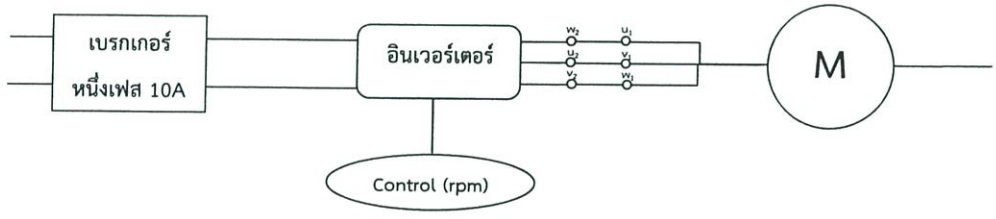
โครงโต๊ะมีขนาดกว้าง 570 ยาว 570 สูง 700 mm ทำจากเหล็กกล่องขนาด 88.9 x 88.9 mm ส่วนด้านบนของโครงเหล็กมีแผ่นเหล็กหนา 15 mm เพื่อรองรับตัวเครื่องดึงและอินเวอร์เตอร์และส่วนด้านล่างของโต๊ะทำการติดตั้งชุดยึดมอเตอร์

### 3.7.2 ส่วนของตัวดึง

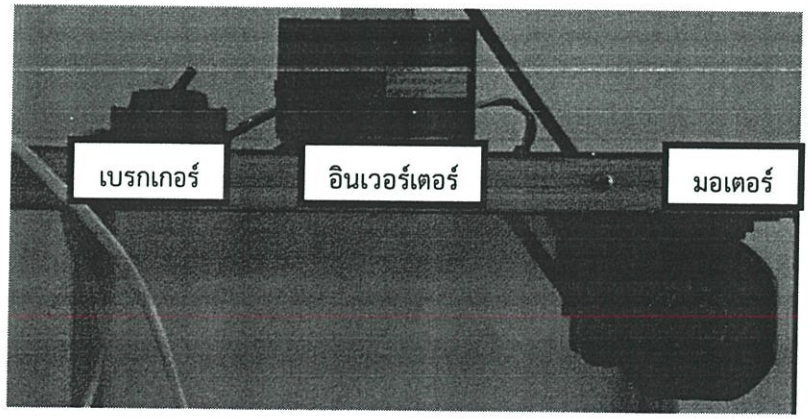
เลือกออกแบบเครื่องดึงเป็นการใช้ลูกกลิ้งขับเคลื่อนโดยลูกกลิ้งส่วนล่างจะอยู่นิ่งส่วนลูกกลิ้งตัวบนจะสามารถปรับขนาดได้เพื่อให้พลาสติกไหลผ่านได้หลายขนาด

### 3.7.3 การออกแบบระบบไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้าของเครื่องดึงถูกออกแบบดังรูปที่ 3.2 ซึ่งใช้กับไฟฟ้า 1 เฟส 220 โวลต์ โดยเริ่มจากกระแสไฟจะผ่านไปยังเบรกเกอร์ขนาด 1 เฟส 10A โดยผ่านไปยังตัวอินเวอร์เตอร์และตัวอินเวอร์เตอร์จะแปลงเป็นไฟสามเฟสไปยังมอเตอร์ แสดงภาพจริงดังรูปที่ 3.3



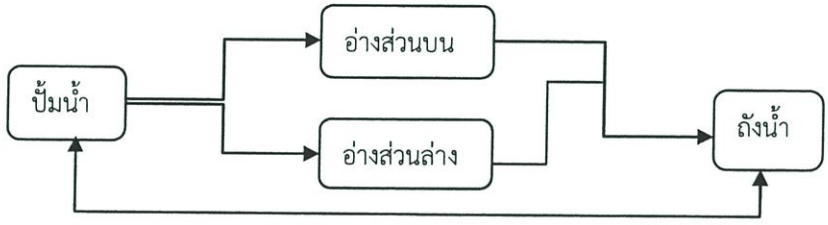

รูปที่ 3.2 ไดอะแกรมวงจรไฟฟ้า



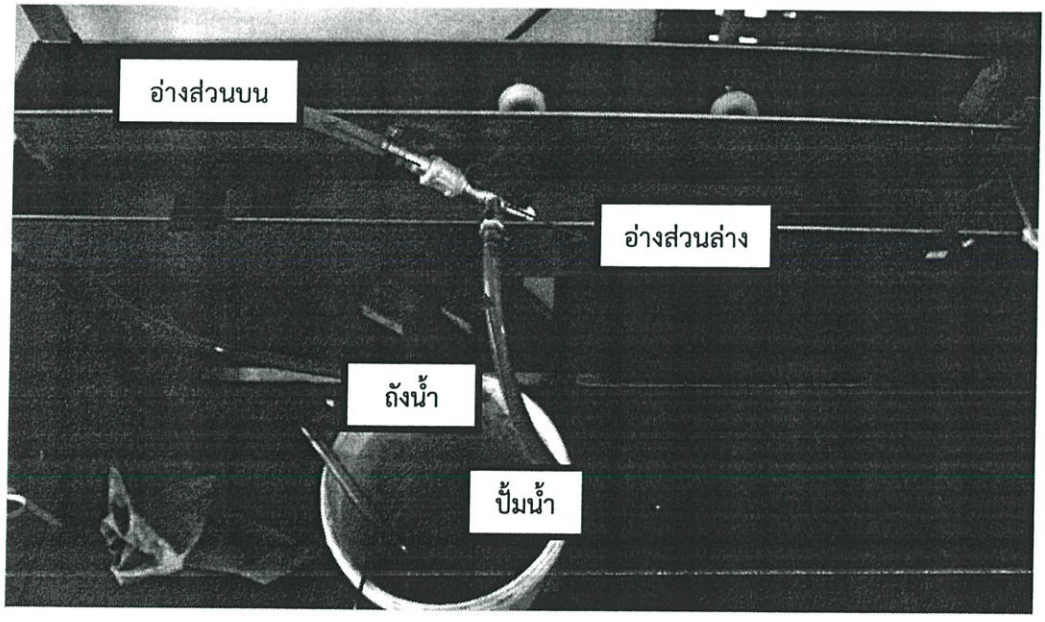

รูปที่ 3.3 แผนภาพจริงของวงจรไฟฟ้าสำหรับเครื่องดึง

3.7.4 การออกแบบระบบน้ำ

ระบบน้ำของอ่างหล่อเย็นถูกออกแบบดังรูปที่ 3.4 เครื่องปั้มน้ำจะปั้มน้ำไปยังอ่างหล่อเย็นส่วนบนโดยจะผ่านก๊อกแยกสามทางและเมื่อระดับน้ำใกล้จะเต็มน้ำจะไหลลงมายังอ่างหล่อเย็นส่วนล่างและอ่างหล่อเย็นส่วนล่างจะส่งน้ำลงไปในถังน้ำโดยผ่านรูทิ้งน้ำมาตามสายยาง แสดงภาพจริงดังรูปที่ 3.5




รูปที่ 3.4 ไดอะแกรมระบบน้ำ




รูปที่ 3.5 แผนภาพจริงของระบบน้ำสำหรับอ่างหล่อเย็น

## 3.8 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน

### 3.8.1 อุปกรณ์ทางไฟฟ้า

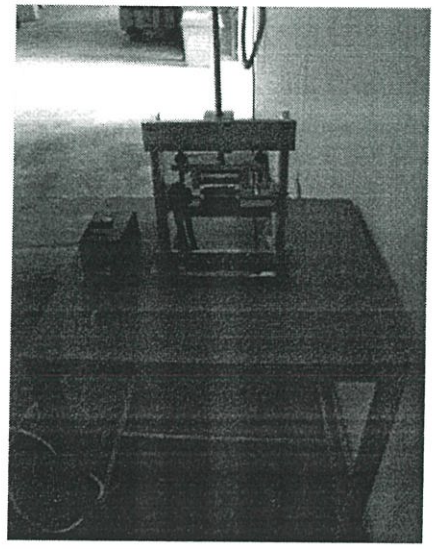
1. เบรกเกอร์ 1 เฟส 240V จำนวน 1 ตัว
2. เบรกเกอร์ 3 เฟส 10 A จำนวน 1 ตัว
3. สายไฟ VAF Size 2*2.5 300V
4. อินเวอร์เตอร์ Fuji รุ่น FVR-C11 Input 1 เฟส 220V Output 3 เฟส 220/380V จำนวน 1 ตัว

### 3.8.2 อุปกรณ์ทางกล

1. โครงเหล็กสำหรับวางเครื่องดึง
2. มู่เล่ร่องเอ จำนวน 2 ชิ้น
3. สายพานร่องเอ ยาว30 จำนวน 1 เส้น
4. มอเตอร์รุ่น 51K 120 GN-YF Input 3 เฟส 120W 220/380V 0.9/0.5A 50/60Hz 1450/1800RPM จำนวน 1 ตัว
5. เหล็กกล่อง ขนาด 35 mm ยาว 6 m จำนวน 1 ชิ้น
6. อลูมิเนียมแท่งกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 24 mm ยาว 800 mm จำนวน 1ท่อน
7. อลูมิเนียมแท่งกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 mm ยาว 400 mm จำนวน 1 ท่อน
8. อลูมิเนียมบาร์สี่เหลี่ยม หนา 13 mm หน้ากว้าง 51.5 mm ยาว 800 mm จำนวน 1 ชิ้น
9. ตลับลูกปืน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง1เซนติเมตร หนา 12.5 mm จำนวน 2 ชิ้น
10. สกรู ขนาดเส้นผ่าศูนยึกลาง 12*1.75 mm จำนวน 1แท่ง
11. แบริ่ง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 85 mm จำนวน 2ชิ้น
12. น๊อต ขนาด 4 mm จำนวน 12 ตัว และ น๊อตตัวผู้ตัวเมียขนาด 3 mm จำนวน 6 ตัวและขนาด 5 mm จำนวน 8 ตัว
13. สายยางขนาด 5, 6, 7 หุน
14. ปั๊มน้ำขนาดเล็ก

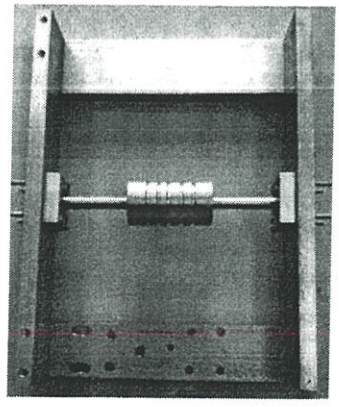
## 3.9 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องดึง

เครื่องดึง เครื่องดึงมีขนาด กว้าง 570 mm. ยาว 570 mm. สูง 700 mm. โดยมีส่วนประสอบแสดงดังรูปที่ 3.6



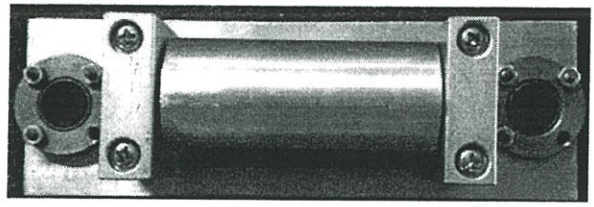
รูปที่ 3.6 เครื่องดึง

**3.9.1 ส่วนลูกกลิ้งด้านล่าง** มีวัสดุที่ใช้ประกอบดังนี้ อลูมิเนียมบาร์ขนาด 13x51.5x160 mm. ใช้สำหรับเจาะยึดส่วนบนและส่วนล่าง อลูมิเนียมบาร์ขนาด 13x51.5x160 mm. ใช้สำหรับยึดลูกกลิ้งทั้งสองข้าง ลูกกลิ้งมีขนาดเส้นผ่านศุนย์กลาง 40 mm. ยาว7 cm. และมีเพลาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ยาวข้างละ 60 mm. เซาะร่องกลางจำนวน5ร่องที่ขนาดกว้าง 3 mm. ลึก 3 mm. และ Ball Bearing ขนาด 10 mm. ใช้สำหรับขลับลูกกลิ้ง ดังรูปที่ 3.7



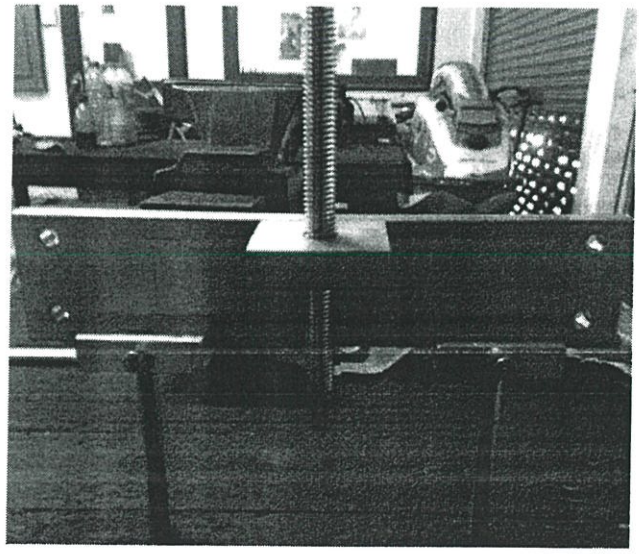
รูปที่ 3.7 ส่วนลูกกลิ้งด้านล่าง

**3.9.2 ส่วนลูกกลิ้งด้านบน** มีวัสดุที่ใช้ประกอบดังนี้ อลูมิเนียมบาร์ขนาด 13x51.5x160 mm. ใช้สำหรับเป็นตัวยึด Linear Bearing ขนาด 10 mm. Ball Bearing ขนาด 10 mm. ลูกกลิ้งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ยาว 70 mm. และมีเพลาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ยาวข้างละ 10 mm. ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ส่วนลูกกลิ้งด้านบน

**3.9.3 ส่วนขับเคลื่อนลูกกลิ้ง** มีวัสดุที่ใช้ประกอบดังนี้ อลูมิเนียมบาร์ขนาด 13x51.5x50 mm. เจาะรูและทำเกลียวขนาด 10x1.25 mm. ใช้สำหรับส่วนปรับระดับ อลูมิเนียมบาร์ขนาด 13x51.5x30 mm. เจาะรูและยึดแท่งเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ยาว 100 mm. ใช้สำหรับเป็นตัวนำทางในการเคลื่อนที่ สกรูขนาด 10x1.25 mm. ใช้สำหรับปรับระดับ ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ส่วนขับเคลื่อนลูกกลิ้ง

## 3.10 การประกอบชิ้นส่วนของเครื่องดึง

### 3.10.1 ติดตั้งเครื่องดึง

ทำการยึดเครื่องดึงเข้ากับโครงโต๊ะให้อยู่ตรงกึ่งกลางของโต๊ะ

### 3.10.2 ติดตั้งชุดกำลังขับ

ทำการติดตั้งมอเตอร์ไว้ในส่วนด้านล่างของโต๊ะโดยใช้น๊อตเจาะยึดไว้ ซึ่งที่แกนของมอเตอร์จะมีมูเล่อยู่ในแนวเดียวกับเกียร์ทด ทำการติดตั้งสายพานที่มู่เล่ของตัวมอเตอร์และมู่เล่ที่ส่วนลูกกลิ้งด้านล่าง

### 3.10.3 การเดินระบบ

ทำการเดินต่อมอเตอร์และอินเวอร์เตอร์เข้าด้วยกันพร้อมทั้งเดินสายไฟตามที่ได้ออกแบบไว้

## 3.11 การออกแบบการทดลอง

ใช้DOE (Design of experiments) ในการออกแบบการทดลอง ทดลองแบบ Two-level full factorial โดยให้ปัจจัยAคืออุณหภูมิหลอมเหลว ปัจจัยBคือความเร็วรอบสกรูและปัจจัยCคือความเร็วในการดึง และผลที่ต้องการศึกษาคือความยาว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง และ น้ำหนักของเส้นพลาสติกที่ทำการทดลองมา มีการทดลองซ้ำสามครั้งและแต่ละครั้งในการทดลองจะใช้เวลาสามนาทีเท่ากัน จะมีการทดลองทั้งหมด 24 ครั้ง ดังตารางที่ 3.1 โดยมีการกำหนดค่าปัจจัยไว้ดังนี้

ปัจจัยA อุณหภูมิหลอมเหลว ใช้ค่าสูงสุดที่ 200 องศาเซลเซียส และ ค่าต่ำสุดที่ 180 องศาเซลเซียส

ปัจจัยB ความเร็วรอบสกรู ใช้ค่าสูงสุดที่ 20 รอบต่อนาที และ ค่าต่ำสุดที่ 10 รอบต่อนาที

ปัจจัยC ความเร็วดึง ใช้ค่าสูงสุดที่ 40 รอบต่อนาที และ ค่าต่ำสุดที่ 30 รอบต่อนาที

ตารางที่ 3.1 การออกแบบการทดลองโดยDOE

| อุณหภูมิหลอมเหลว (A) | ความเร็วรอบสกรู (B) | ความเร็วดึง (C) |
|---|---|---|
| 180 | 20 | 40 |
| 200 | 20 | 30 |
| 180 | 10 | 40 |
| 180 | 10 | 40 |
| 180 | 10 | 30 |

ตารางที่ 3.1 การออกแบบการทดลองโดยDOE (ต่อ)

| อุณหภูมิหลอมเหลว (A) | ความเร็วรอบสกรู (B) | ความเร็วดึง (C) |
|---|---|---|
| 200 | 10 | 30 |
| 180 | 20 | 30 |
| 180 | 20 | 30 |
| 180 | 20 | 40 |
| 200 | 20 | 30 |
| 200 | 20 | 30 |
| 200 | 10 | 30 |
| 200 | 10 | 30 |
| 200 | 10 | 40 |
| 180 | 20 | 40 |
| 200 | 20 | 40 |
| 180 | 10 | 30 |
| 180 | 10 | 30 |
| 200 | 20 | 40 |
| 200 | 10 | 40 |

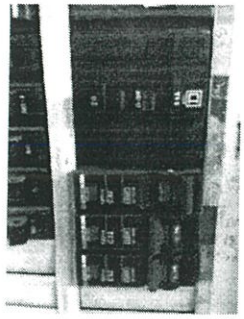
# บทที่ 4
# ผลการดำเนินงาน

## 4.1 กล่าวนำ

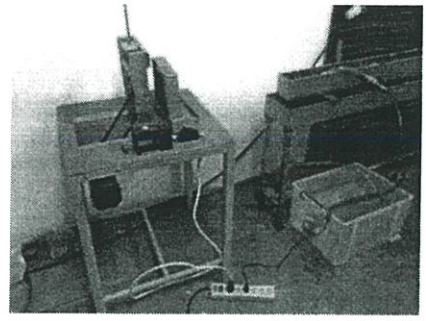
เครื่องดึงที่จัดสร้างขึ้นมีส่วนประกอบหลักคือ ส่วนลูกกลิ้งด้านบน ส่วนลูกกลิ้งด้านล่างและส่วนขับเคลื่อนลูกกลิ้ง จากนั้นทำการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการผลิตผลิตภัฑณ์ ได้แก่ความเร็วในการดึง อุณหภูมิในการหลอมเหลว และความเร็วรอบของสกรู ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานและผบการดำเนินงานตามที่ได้ออกแบบการทดลองไว้จะได้นำมาแสดงในบทนี้

## 4.2 ขั้นตอนการทำงาน

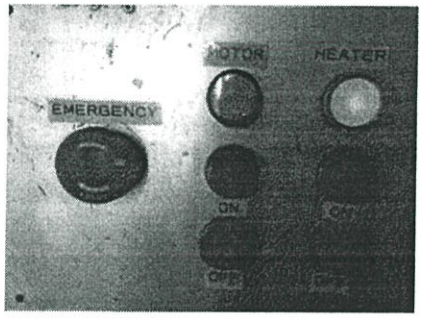
1. เปิดสวิตช์เบรกเกอร์ในตู้ SQUARE D ดังรูปที่ 4.1
2. เสียบปลั๊กเครื่องดึงและเครื่องปั้มน้ำ ดังรูปที่ 4.2
3. กดสวิตช์เปิด (ON) ในส่วนของฮีตเตอร์ให้มีไฟสว่างแสดงถึงสถานะของฮีตเตอร์ว่ามีการทำงานอยู่ ดังรูปที่ 4.3
4. ตั้งค่าอุณหภูมิที่ตัวควบคุมอุณหภูมิทั้ง 4 ตัวซึ่งการตั้งค่าอุณหภูมินั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดพลาสติกที่จะนำมาใช้งาน ดังรูปที่ 4.4
5. รอการทำงานของฮีตเตอร์ให้กระบอกหลอมมีความร้อนถึงอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้ ดังรูปที่ 4.5
6. ขณะรออุณหภูมิทำการเปิดสวิตช์เครื่องดึงเพื่อให้เครื่องดึงทำงาน ดังรูปที่ 4.6
7. ใส่พลาสติกลงไปในกรวยเติมพลาสติก ดังรูปที่ 4.7
8. กดสวิตช์เปิด (ON) ในส่วนของมอเตอร์ให้มีไฟสว่างเมื่ออุณหภูมิถึงจุดที่ฮีตไว้ แสดงถึงสถานะของมอเตอร์ว่ามีการทำงานอยู่ ดังรูปที่ 4.8
9. ปรับค่าความเร็วมอเตอร์ตามค่าความเร็วที่ต้องการ ดังรูปที่ 4.9
10. ดึงเส้นพลาสติกที่ถูกอัดออกมาทางแม่พิมพ์ด้านหน้าให้ผ่านไปยังอ่างหล่อเย็นเพื่อทำให้พลาสติกเกิดการแข็งตัว ดังรูปที่ 4.10
11. นำพลาสติกเส้นยาวไปยังเครื่องดึงเพื่อให้เครื่องดึงดึงพลาสติกเป็นเส้นยาวออกไป ดังรูปที่ 4.11
12. ทำการลดค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ให้มีค่าเท่าศูนย์ และกดสวิตช์ปิด (OFF) ทั้งในส่วนของฮีตเตอร์และส่วนของมอเตอร์ เพื่อทำการหยุดการทำงานของเครื่อง ดังรูปที่ 4.12
13. ปิดสวิตช์เบรกเกอร์หลักในตู้ SQUARE D และถอดปลั๊กเครื่องดึงกับปั้มน้ำเพื่อทำการตัดกระแสไฟฟ้า



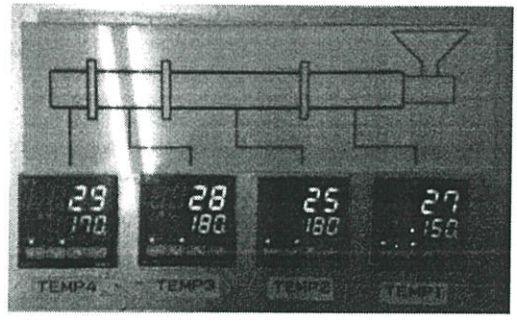
รูปที่ 4.1 แสดงการเปิดสวิตช์เบรกเกอร์



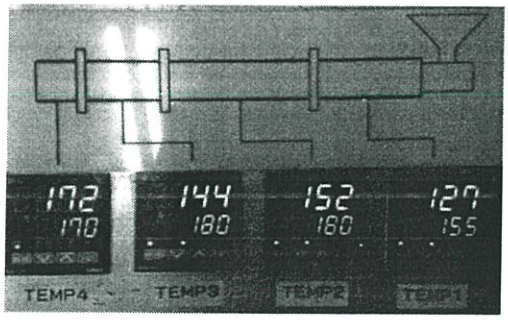
รูปที่ 4.2 เสียบปลั๊กเครื่องดึงและเครื่องปั้มน้ำ



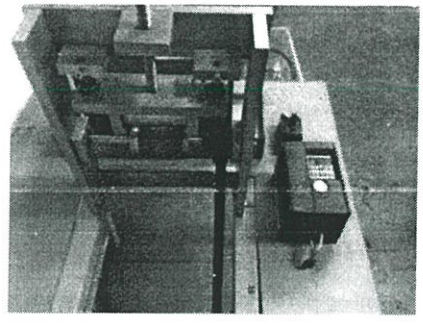

รูปที่ 4.3 กดสวิตช์ (ON) ในส่วนของฮีตเตอร์



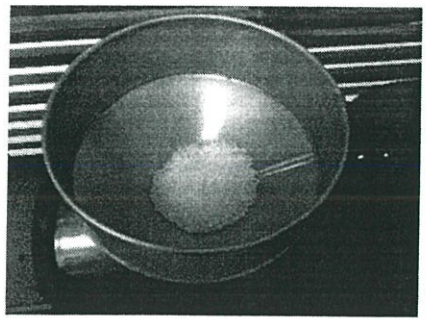

รูปที่ 4.4 ตั้งค่าอุณหภูมิ



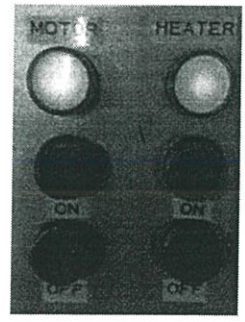

รูปที่ 4.5 รอการทำงานของฮีตเตอร์ที่ตั้งไว้



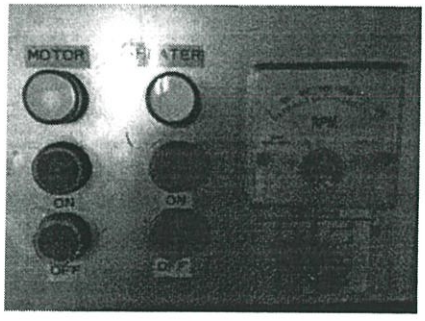
รูปที่ 4.6 เปิดสวิตช์ (ON) ที่เครื่องดึง



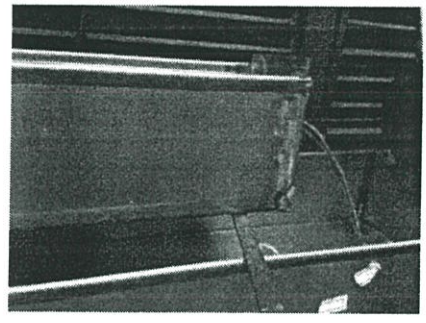
รูปที่ 4.7 ใส่พลาสติกลงในกรวยเติมพลาสติก



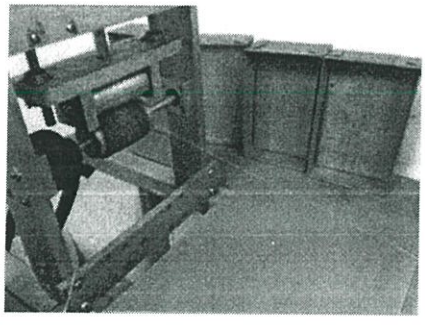

รูปที่ 4.8 กดสวิตช์ (ON) ที่ของมอเตอร์



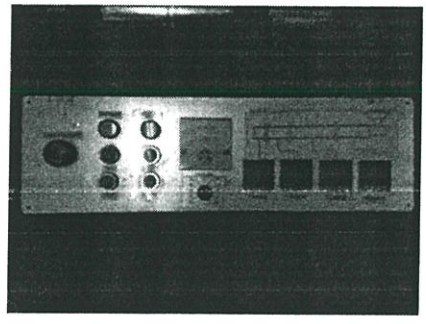

รูปที่ 4.9 ปรับค่าความเร็วมอเตอร์



รูปที่ 4.10 ดึงเส้นพลาสติกไปที่อ่างหล่อเย็น



รูปที่ 4.11 นำพลาสติกเข้าเครื่องดึง



รูปที่ 4.12 กดสวิตช์ (OFF) มอเตอร์และฮีตเตอร์

## 4.3 การทดสอบเพื่อทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการผลิต

การทดสอบเครื่องอัดรีดขึ้นรูป อ่างหล่อเย็นและเครื่องดึงเป็นการทดสอบผลการอัดรีดพลาสติกเพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพการอัดรีดพลาสติกเป็นอย่างไรเมื่อเทียบกับค่าทฤษฎี ต่อไปจะเป็นการออกแบบการทดลองโดยใช้ DOE ซึ่งจะสามารถบอกถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า น้ำหนักของพลาสติก เส้นผ่าศูนย์กลางของพลาสติกและค่าความยาวของพลาสติกที่ฉีดออกมา โดยค่าต่างๆเหล่านี้จะเป็นประโยชน์ต่อการใช้เป็นข้อมูลสำหรับการผลิต ซึ่งจะสามารถหาค่าที่เหมาะสมสำหรับพลาสติกโพลิโพรพิลีนสำหรับการผลิตได้

ชิ้นงานที่ได้จากการทดสอบจะถูกวัดด้วยเครื่องชั่งเพื่อวัดน้ำหนัก เวอร์เนียดิจิตอลเพื่อวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์การและไม้เมตรสำหรับการวัดความยาว จากการทดสอบการอัดรีดขึ้นรูปด้วยปัจจัยที่แตกต่างกัน คือ อุณหภูมิในการหลอมเหลวพลาสติกสองค่า 180 และ 200 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบสกรูสองค่า 10 และ 20 rpm และความเร็วในการดึงสองค่า 30 และ 40 rpm วัสดุที่ใช้ในการทดสอบเป็ฯพลาสติกชนิดโพลิโพรพลีน

ขั้นตอนการทดสอบมีดังนี้ เริ่มจากการตั้งค่าอุณหภูมิที่โซนต่างๆของกระบอกหลอมตามกำหนดจากนั้นรอจนอุณหภูมิคงที่ พร้อมทั้งเปิดเครื่องปั้มน้ำเพื่อปั้มน้ำขึ้นมาข้างบนอ่างหล่อเย็นให้เต็มส่วนอ่างด้านบน และเปิดเครื่องดึงที่ความเร็วตามต้องการ จากนั้นทำการเดินเครื่องโดยในช่วงแรกปล่อยการอัดรีดชิ้นงานจนฟองกาศหมดไปจากนั้นเก็บชิ้นทดสอบทุกๆ 3 นาที โดยมีการเปลี่ยนค่าตามตาราง DOE ที่ออกแบบไว้ แล้วนำชิ้นทดสอบไปชั่งน้ำหนัก และวัดขนาดทั้งความยาวและเส้นผ่าศูนย์กลาง

## 4.4 ผลการทดลอง

**4.4.1 จากการออกแบบทดลองโดยการใช้** DOE ของกระบวนการอัดรีดขึ้นรูป แบบ Two-level full factorial มีสามปัจจัยได้แก่ ความเร็วรอบสกรู อุณหภูมิกระบอกหลอม และความเร็วดึง ทำการทดลองทั้งหมดจำนวน 24 ครั้ง แสดงดังรูปที่ 4.13

| ↓ | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | StdOrder | RunOrder | CenterPt | Blocks | barrel temp | screw speed | puller speed | length | diameter | weight |
| 1 | 7 | 1 | 1 | 1 | 180 | 20 | 40 | 1575 | 2.041 | 45.9264 |
| 2 | 12 | 2 | 1 | 1 | 200 | 20 | 30 | 1116 | 2.504 | 49.7801 |
| 3 | 21 | 3 | 1 | 1 | 180 | 10 | 40 | 1565 | 1.424 | 22.0544 |
| 4 | 5 | 4 | 1 | 1 | 180 | 10 | 40 | 1571 | 1.419 | 22.1364 |
| 5 | 9 | 5 | 1 | 1 | 180 | 10 | 30 | 1169 | 1.637 | 22.3901 |
| 6 | 2 | 6 | 1 | 1 | 200 | 10 | 30 | 1174 | 1.796 | 25.5638 |
| 7 | 11 | 7 | 1 | 1 | 180 | 20 | 30 | 1199 | 2.208 | 46.1176 |
| 8 | 19 | 8 | 1 | 1 | 180 | 20 | 30 | 1196 | 2.317 | 45.4004 |
| 9 | 23 | 9 | 1 | 1 | 180 | 20 | 40 | 1604 | 2.013 | 45.5963 |
| 10 | 20 | 10 | 1 | 1 | 200 | 20 | 30 | 1186 | 2.474 | 48.7836 |
| 11 | 4 | 11 | 1 | 1 | 200 | 20 | 30 | 1186 | 2.420 | 49.0509 |
| 12 | 18 | 12 | 1 | 1 | 200 | 10 | 30 | 1171 | 1.697 | 24.7412 |
| 13 | 10 | 13 | 1 | 1 | 200 | 10 | 30 | 1191 | 1.737 | 25.2422 |
| 14 | 22 | 14 | 1 | 1 | 200 | 10 | 40 | 1558 | 1.526 | 25.1545 |
| 15 | 15 | 15 | 1 | 1 | 180 | 20 | 40 | 1550 | 2.032 | 45.2233 |
| 16 | 24 | 16 | 1 | 1 | 200 | 20 | 40 | 1555 | 2.128 | 48.8727 |
| 17 | 17 | 17 | 1 | 1 | 180 | 10 | 30 | 1174 | 1.676 | 23.1761 |
| 18 | 1 | 18 | 1 | 1 | 180 | 10 | 30 | 1160 | 1.660 | 22.8062 |
| 19 | 8 | 19 | 1 | 1 | 200 | 20 | 40 | 1542 | 2.196 | 48.9519 |
| 20 | 6 | 20 | 1 | 1 | 200 | 10 | 40 | 1555 | 1.617 | 24.8045 |
| 21 | 3 | 21 | 1 | 1 | 180 | 20 | 30 | 1194 | 2.373 | 45.6864 |
| 22 | 16 | 22 | 1 | 1 | 200 | 20 | 40 | 1583 | 1.966 | 49.5118 |
| 23 | 14 | 23 | 1 | 1 | 200 | 10 | 40 | 1542 | 1.568 | 26.7761 |
| 24 | 13 | 24 | 1 | 1 | 180 | 10 | 40 | 1532 | 1.438 | 22.2831 |

รูปที่4.13 ตารางการทดลอง

### 4.4.2 วิเคราะห์ค่า P-value ของปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อชิ้นงาน

เมื่อบันทึกค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง,ความยาวและความหนา จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาผลกระทบของปัจจัยในการอัดรีดขึ้นรูปพลาสติกที่ส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงานโดยใช้คำสั่ง Analyze Factorial Design ผ่านโปรแกรม Minitab ซึ่งจะพิจารณาค่า P-value เป็นสำคัญ กล่าวคือ ถ้าค่า P-value ของปัจจัยใดๆมีค่าน้อยกว่า 0.05 นั้นแสดงว่าปัจจัยดังกล่าวส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงานในชิ้นงานพลาสติกอย่างมีนัยสำคัญ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95%($\alpha$=0.05)

1. ปัจจัยที่ส่งผลต่อความยาวของชิ้นงาน จากคำสั่ง Analyze Factorial Designโดยปัจจัยที่มีผลต่ออัตราผลผลิตจะมีค่า P≤0.05 ในที่นี้ puller speed มีค่า P=0.000 จึงกล่าวได้ว่า puller speed ส่งผลต่อความยาวของชิ้นงาน ดังรูปที่4.14

Estimated Effects and Coefficients for length (coded units)

| Term | Effect | Coef | SE Coef | T | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Constant | | 1368.67 | 4.263 | 321.07 | 0.000 |
| barrel temp | -10.83 | -5.42 | 4.263 | -1.27 | 0.222 |
| screw speed | 10.33 | 5.17 | 4.263 | 1.21 | 0.243 |
| puller speed | 384.67 | 192.33 | 4.263 | 45.12 | 0.000 |
| barrel temp*screw speed | -14.17 | -7.08 | 4.263 | -1.66 | 0.116 |
| barrel temp*puller speed | 0.50 | 0.25 | 4.263 | 0.06 | 0.954 |
| screw speed*puller speed | 4.00 | 2.00 | 4.263 | 0.47 | 0.645 |
| barrel temp*screw speed*puller speed | 8.17 | 4.08 | 4.263 | 0.96 | 0.352 |

รูปที่4.14 ตารางANOVAของความยาวเส้นพลาสติก

2. ปัจจัยที่ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงาน จากคำสั่ง Analyze Factorial Designโดยปัจจัยที่มีผลต่ออัตราผลผลิตจะมีค่า P≤0.05 ในที่นี้ barrel temperature มีค่า P=0.000 screw speed มีค่า P=0.000 puller speed มีค่า P=0.000 และ screw speed & puller speed มีค่า P=0.026 จึงกล่าวได้ว่า barrel temperature, screw speed, puller speed และ screw speed & puller speed ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงาน ดังรูปที่4.15

Estimated Effects and Coefficients for diameter (coded units)

| Term | Effect | Coef | SE Coef | T | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Constant | | 1.9111 | 0.01209 | 158.10 | 0.000 |
| barrel temp | 0.1159 | 0.0580 | 0.01209 | 4.79 | 0.000 |
| screw speed | 0.6231 | 0.3115 | 0.01209 | 25.77 | 0.000 |
| puller speed | -0.2609 | -0.1305 | 0.01209 | -10.79 | 0.000 |
| barrel temp*screw speed | 0.0014 | 0.0007 | 0.01209 | 0.06 | 0.954 |
| barrel temp*puller speed | -0.0102 | -0.0051 | 0.01209 | -0.42 | 0.677 |
| screw speed*puller speed | -0.0591 | -0.0295 | 0.01209 | -2.44 | 0.026 |
| barrel temp*screw speed*puller speed | -0.0391 | -0.0195 | 0.01209 | -1.62 | 0.125 |

รูปที่4.15 ตารางANOVAของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง

3. ปัจจัยที่ส่งผลต่อน้ำหนักของชิ้นงาน จากคำสั่ง Analyze Factorial Designโดยปัจจัยที่มีผลต่ออัตราผลผลิตนั้นจะมีค่า P≤0.05 ในที่นี้ barrel temperature มีค่า P=0.000 และ screw speed มีค่า P=0.000 จึงกล่าวได้ว่า puller speed และ screw speed ส่งผลต่อน้ำหนักของชิ้นงาน ดังรูปที่4.16

Estimated Effects and Coefficients for weight (coded units)

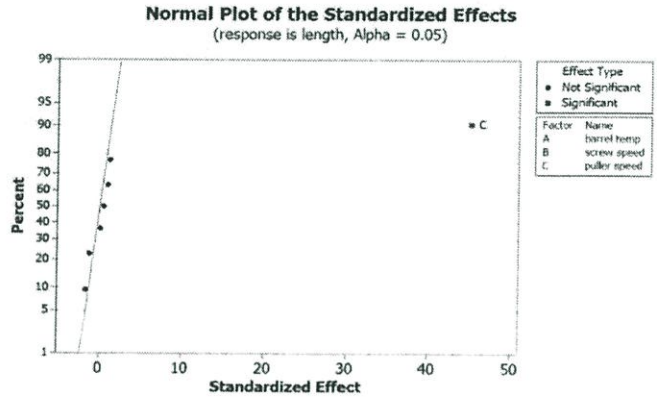
| Term | Effect | Coef | SE Coef | T | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Constant | | 35.6675 | 0.1042 | 342.34 | 0.000 |
| temp | 3.2022 | 1.6011 | 0.1042 | 15.37 | 0.000 |
| screw speed | 23.4819 | 11.7409 | 0.1042 | 112.69 | 0.000 |
| pull speed | -0.1198 | -0.0599 | 0.1042 | -0.57 | 0.573 |
| temp*screw speed | 0.2979 | 0.1489 | 0.1042 | 1.43 | 0.172 |
| temp*pull speed | 0.2731 | 0.1365 | 0.1042 | 1.31 | 0.209 |
| screw speed*pull speed | -0.0030 | -0.0015 | 0.1042 | -0.01 | 0.989 |
| temp*screw speed*pull speed | -0.2430 | -0.1215 | 0.1042 | -1.17 | 0.261 |

รูปที่4.16 ตารางANOVAของน้ำหนัก

จากการวิเคราะห์การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ค่าความแปรปรวนของค่าความยาว (length), ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (diameter) และน้ำหนัก (weight) ดังรูปที่ 4.14 ถึง 4.16 ตามลำดับ พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความยาวที่เกิดขึ้นในชิ้นงานพลาสติกนั้นได้แก่ความเร็วของเครื่องดึง (puller speed) ปัจจัยที่มีผลต่อขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางที่เกิดขึ้นในชิ้นงานพลาสติกนั้นได้แก่อุณหภูมิ (barrel temperature), ความเร็วรอบสกรู (screw speed) และความเร็วในการดึง (puller speed) และปัจจัยที่มีผลต่อน้ำหนักที่เกิดขึ้นในชิ้นงานพลาสติกได้แก่อุณหภูมิ (barrel temperature) และความเร็วรอบสกรู (screw speed) เพราะปัจจัยดังกล่าวมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 แสดงปัจจัยดังกล่าวนี้ส่งผลต่อค่าความยาว ,ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและน้ำหนักในชิ้นงานพลาสติก ณ ระดับความเชื่อมั่น 95%($\alpha$=0.05) ดังนั้นข้อมูลชุดนี้มีความน่าเชื่อถือ สามารถนำผลของปัจจัยดังกล่าวมาวิเคราะห์ต่อไปได้

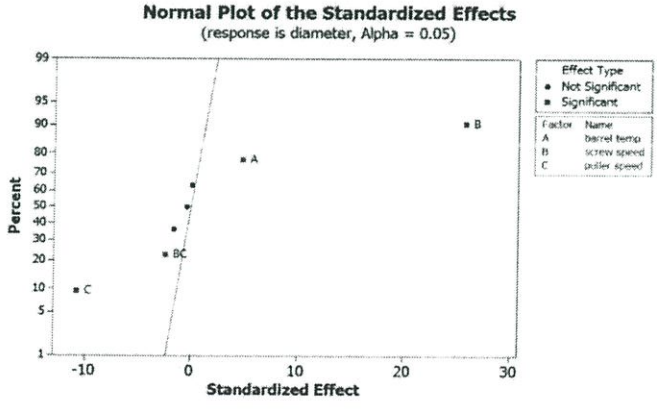
**4.4.3 วิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อความเค้นตกค้างในชิ้นงาน** จากกราฟ Normal Plot of the Standardized Effects จะสังเกตได้ว่าจุดที่อยู่ห่างจากเส้นตรงมากๆจะเป็นจุดที่ส่งผลต่อผลผลิตที่เราต้องการ

1. จาก Normal Plot of the Standardized Effects ในรูปที่ 4.17 พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าความยาว คือ ความเร็วในการดึง (puller speed) ซึ่งตรงกับการวิเคราะห์การประมาณค่าสัมประสิทธิ์และค่าความแปรปรวนของค่าความยาว ซึ่งปัจจัยดังกล่าวนี้มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าส่งผลต่อค่าความยาวในชิ้นงานพลาสติก ณ ระดับความเชื่อมั่น 95%($\alpha$=0.05)



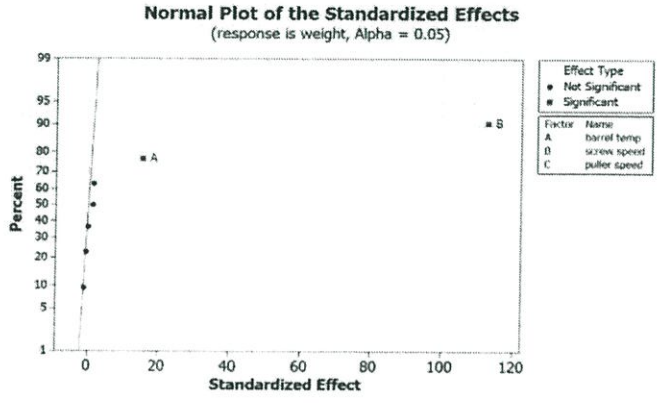

รูปที่ 4.17 กราฟNormal Plot of the Standardized Effects ของ length

2. จาก Normal Plot of the Standardized Effects ในรูปที่ 4.18 พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง คือ อุณหภูมิ (barrel temperature) ความเร็วในการดึง (puller speed) ความเร็วรอบสกรู (screw speed) ซึ่งตรงกับการวิเคราะห์การประมาณค่าสัมประสิทธิ์และค่าความแปรปรวนของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ซึ่งปัจจัยดังกล่าวนี้มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าส่งผลต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางในชิ้นงานพลาสติก ณ ระดับความเชื่อมั่น 95%($\alpha$=0.05)




รูปที่ 4.18 กราฟNormal Plot of the Standardized Effects ของ Diameter

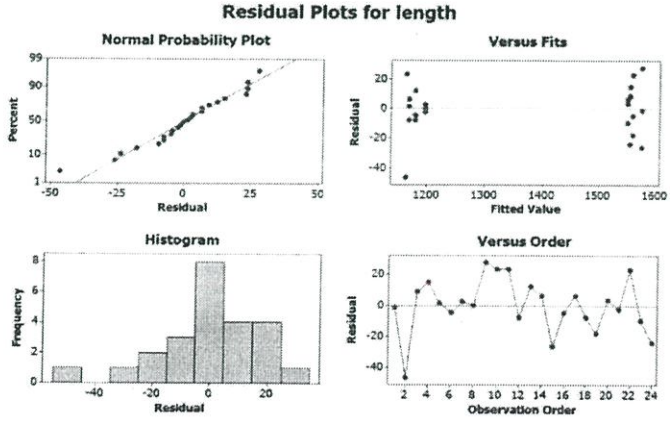
3. จาก Normal Plot of the Standardized Effects ในรูปที่ 4.19 พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าน้ำหนัก คือ อุณหภูมิ (barrel temperature) และ ความเร็วรอบสกรู (screw speed) ซึ่งตรงกับการวิเคราะห์การประมาณค่าสัมประสิทธิ์และค่าความแปรปรวนของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ซึ่งปัจจัยดังกล่าวนี้มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าส่งผลต่อค่าน้ำหนักในชิ้นงานพลาสติก ณ ระดับความเชื่อมั่น 95%($\alpha$=0.05)




รูปที่ 4.19 กราฟNormal Plot of the Standardized Effects ของ Weight

**4.4.4 ตรวจสอบส่วนตกค้าง (Residual)** จากกราฟ Residual Plots เป็นการแสดงค่าการกระจายตัวของข้อมูลและความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

1. เพื่อเป็นการตรวจสอบค่าส่วนตกค้างของข้อมูลและดูความน่าเชื่อถือของข้อมูลของค่าความยาว ดังรูปที่4.20

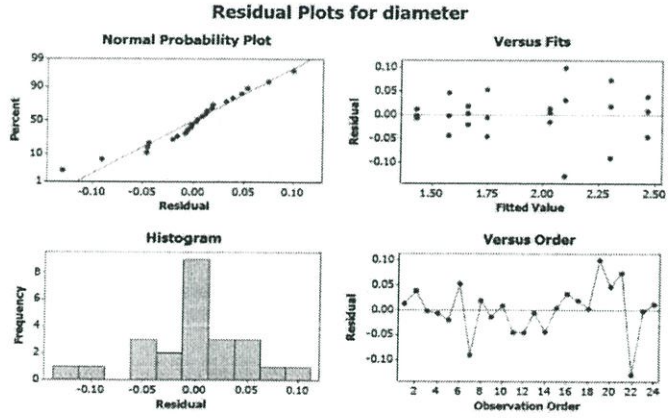



รูปที่ 4.20 Residual Plots for length

จาก Residual Plots for length ในรูปที่ 4.20 ซึ่งเป็นการตรวจสอบค่าความยาว (length) ของข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าความยาวของชิ้นงาน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

- Normal Probability Plot พบว่าการกระจายตัวแบบปกติของส่วนตกค้างมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง ดังนั้น ส่วนตกค้างของข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ แต่จุดของชุดการทดลองที่22อยู่นอกเหนือจากเส้นอาจด้วยการตัดเส้นพลาสติกเป็นการตัดโดยใช้มือตัดอาจได้ความไม่เที้ยงตรงของข้อมูล
- Histogram พบว่ามีลักษณะเป็นทรงระฆังคว่ำ ส่วนตกค้างของข้อมูลมีการกระจายตัวเหมือน Normal Probability Plot
- Versus Fits เป็นการตรวจสอบความเป็นอิสระของส่วนตกค้างเทียบกับ Fitted Value ซึ่งจากข้อมูลพบว่า มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบเป็นกลุ่มๆ ด้านบวกและด้านลบค่อนข้างสม่ำเสมอกัน ข้อมูลมีความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มข้อมูล แต่จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าจะอยู่ชิดซ้ายและชิดขวาไม่กระจายอยู่ตรงกลางเนื่องจากค่าการทดลองอยู่ที่ 1100 กับ 1500 ตรง 1200-1400ไม่มีค่าการทดลอง
- Versus Order ค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกระจายแบบสุ่ม ไม่มีรูปแบบที่ชัดเจน

2. เพื่อเป็นการตรวจสอบค่าส่วนตกค้างของข้อมูลและดูความน่าเชื่อถือของข้อมูลของค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ดังรูปที่ 4.21



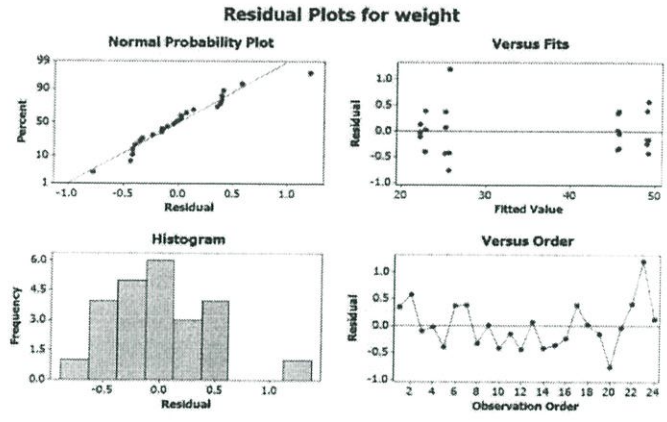

รูปที่ 4.21 Residual Plots for diameter

จาก Residual Plots for diameter ในรูปที่ 4.21 ซึ่งเป็นการตรวจสอบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (diameter) ของข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงาน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

- Normal Probability Plot พบว่าการกระจายตัวแบบปกติของส่วนตกค้างมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง ดังนั้น ส่วนตกค้างของข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ

- Histogram พบว่ามีลักษณะเป็นทรงระฆังคว่ำ ส่วนตกค้างของข้อมูลมีการกระจายตัวเหมือน Normal Probability Plot
- Versus Fits เป็นการตรวจสอบความเป็นอิสระของส่วนตกค้างเทียบกับ Fitted Value ซึ่งจากข้อมูลพบว่า มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบเป็นกลุ่มๆ ด้านบวกและด้านลบค่อนข้างสม่ำเสมอกัน ข้อมูลมีความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มข้อมูล
- Versus Order ค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกระจายแบบสุ่ม ไม่มีรูปแบบที่ชัดเจน

3. เพื่อเป็นการตรวจสอบค่าส่วนตกค้างของข้อมูลและดูความน่าเชื่อถือของข้อมูลของค่าน้ำหนักชิ้นงาน ดังรูปที่ 4.22




รูปที่ 4.22 Residual Plots for weight

จาก Residual Plots for length ในรูปที่ 4.22 ซึ่งเป็นการตรวจสอบค่าน้ำหนัก (weight) ของข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักของชิ้นงาน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

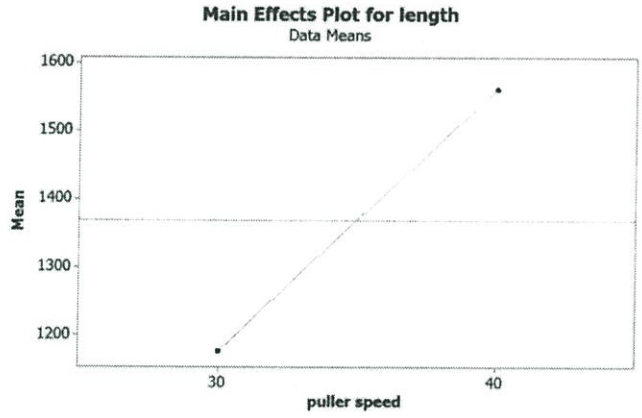
- Normal Probability Plot พบว่าการกระจายตัวแบบปกติของส่วนตกค้างมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง ดังนั้น ส่วนตกค้างของข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ แต่จะมีค่าของชุดการทดลองที่ 23 ที่ออกนอกเหนือจากเส้นมากกว่าจุดอื่นๆอาจเนื่องจากการตัดเส้นพลาสติกอาจไม่มีความเที่ยงตรง
- Histogram พบว่ามีลักษณะเป็นทรงระฆังคว่ำ ส่วนตกค้างของข้อมูลมีการกระจายตัวเหมือน Normal Probability Plot
- Versus Fits เป็นการตรวจสอบความเป็นอิสระของส่วนตกค้างเทียบกับ Fitted Value ซึ่งจากข้อมูลพบว่า มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบเป็นกลุ่มๆ ด้านบวกและด้านลบค่อนข้างสม่ำเสมอกัน ข้อมูลมีความแปรปรวนของแต่ละ

กลุ่มข้อมูล แต่จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าจะอยู่ชิดซ้ายและชิดขวาไม่กระจายอยู่ตรงกลางเนื่องจากค่าการทดลองอยู่ที่ 22-23 และ 45-49แต่ที่24-44ไม่มีค่าของการทดลอง

- Versus Order ค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกระจายแบบสุ่ม ไม่มีรูปแบบที่ชัดเจน

**4.4.5 วิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงต่อชิ้นงาน** จากกราฟ Main effects plot เป็นการดูแนวโน้มของกราฟว่าเป็นไปในทิศทางไหนโดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหรือลดลง แสดงดังรูปที่ 4.23, รูปที่ 4.24 และรูปที่ 4.26 และจากกราฟ Interaction แสดงถึงการมีอันตรกริยาร่วมกันคือการส่งผลร่วมกันของปัจจัย แสดงดังรูปที่ 4.25

1. ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความยาวของชิ้นงาน

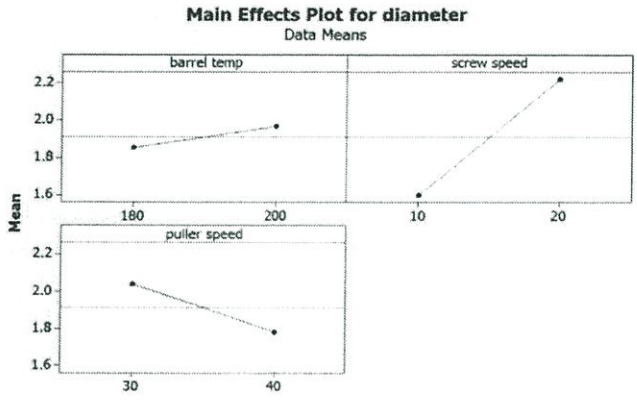



รูปที่ 4.23 Main effects plot for length

จากรูปที่ 4.23 Main effects plot for length สามารถสรุปได้ดังนี้

- ปัจจัยความเร็วในการดึง (pull speed) เมื่อเปลี่ยนความเร็วในการดึงจาก 30% เป็น 40% ของความเร็วในการดึงสูงสุดของเครื่องอัดรีดพลาสติก กล่าวคือ เปลี่ยนความเร็วในการดึงจาก 30rpm เป็น 40rpm ส่งผลให้ค่าความยาวมีค่าเพิ่มขึ้น ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05

2. ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงาน



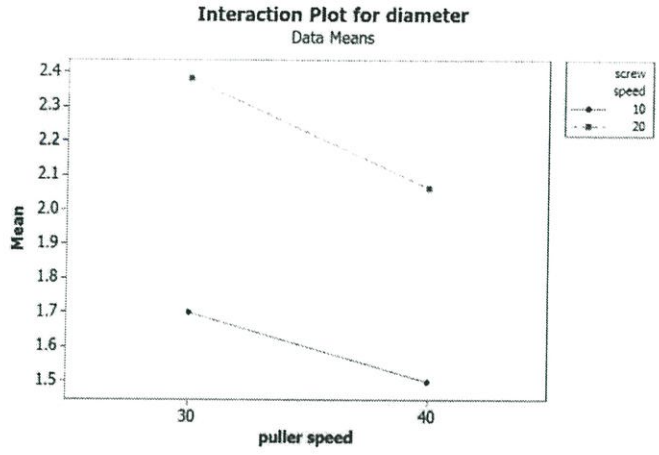

รูปที่ 4.24 Main effects plot for diameter

จากรูปที่ 4.24 Main effects plot for diameter สามารถสรุปได้ดังนี้

- Factor Temp เมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิในการอัดรีดขึ้นรูป 180% เป็น 200% ของอุณหภูมิการอัดรีดสูงสุดของเครื่องอัดรีดขึ้นรูปพลาสติก กล่าวคือ เปลี่ยนอุณหภูมิในการอัดรีกจาก 180องศาเซลเซียส เป็น 200องศาเซลเซียส ส่งผลให้ค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพิ่มขึ้น ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05

- Factor Screw speed เมื่อเปลี่ยนความเร็วรอบสกรูในการอัดรีดพลาสติก 10% เป็น 20% ของความเร็วรอบสกรูในการอัดรีดพลาสติกสูงสุดของเครื่องอัดรีดพลาสติก กล่าวคือ เปลี่ยนความเร็วรอบสกรูในการอัดรีดขึ้นรูปจาก 10rpm เป็น 20rpm ส่งผลให้ค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพิ่มขึ้น ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05

- Factor Pull speed เมื่อเปลี่ยนความเร็วในการดึงจาก 30% เป็น 40% ของความเร็วในการดึงสูงสุดของเครื่องฉีดพลาสติก กล่าวคือ เปลี่ยนความเร็วในการดึง 30rpm เป็น 40rpm ส่งผลให้ค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลดลง ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05

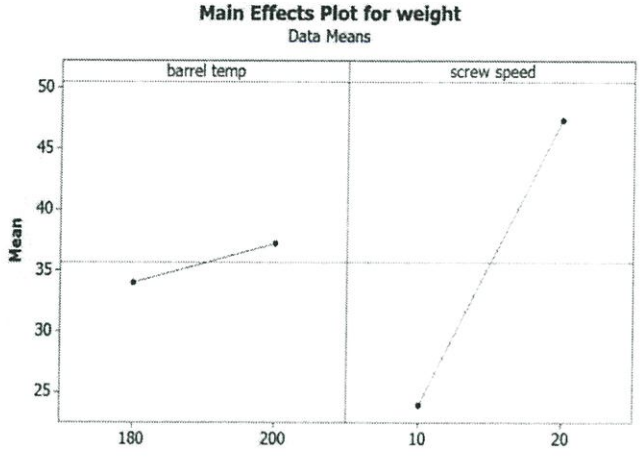



รูปที่ 4.25 Interaction Plot for diameter

จากรูปที่ 4.25 Interaction Plot for diameter สามารถสรุปได้ดังนี้

- ปัจจัยความเร็วในการดึง (pull speed) และความเร็บรอบสกรู (screw speed) เมื่อเปลี่ยนความเร็วในการดึงจาก 30%เป็น 40%และความเร็วรอบสกรูจาก 10% เป็น 20% ของความเร็วในการดึงและความเร็วรอบสกรูสูงสุดของเครื่องอัดรีดพลาสติก กล่าวคือ เปลี่ยนความเร็วในการดึงและความเร็วรอบสกรูจาก 30rpm เป็น 40rpmและจาก10rpm เป็น 20rpm ตามลำดับ ส่งผลให้ค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมีค่าลดลง ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05

3. ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าน้ำหนักของชิ้นงาน




รูปที่ 4.26 Main effects Plot for weight

จากรูปที่ 4.26 Main effects plot for weight สามารถสรุปได้ดังนี้

- Factor Temp เมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิในการอัดรีดขึ้นรูป 180% เป็น 200% ของอุณหภูมิการอัดรีดสูงสุดของเครื่องอัดรีดขึ้นรูปพลาสติก กล่าวคือ เปลี่ยนอุณหภูมิในการอัดรีกจาก 180องศาเซลเซียส เป็น 200องศาเซลเซียส ส่งผลให้น้ำหนักเพิ่มขึ้น ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05

- Factor Screw speed เมื่อเปลี่ยนความเร็วรอบสกรูในการอัดรีดพลาสติก 10% เป็น 20% ของความเร็วรอบสกรูในการอัดรีดพลาสติกสูงสุดของเครื่องอัดรีดพลาสติก กล่าวคือ เปลี่ยนความเร็วรอบสกรูในการอัดรีดขึ้นรูปจาก 10rpm เป็น 20rpm ส่งผลให้ค่าน้ำหนักเพิ่มขึ้น ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05

# บทที่ 5
# สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองการขึ้นรูปชิ้นงานของเครื่องดึงพลาสติกในกระบวนการอัดรีดพลาสติกที่ได้รับการออกแบบและจัดสร้างขึ้นพร้อมทั้งการปรับปรุงสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. เครื่องดึงที่ได้รับการออกแบบ สามารถปรับขนาดได้เพื่อให้ใช้ได้กับพลาสติกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางหลายขนาด

2. อุณหภูมิหลอมเหลวที่ (180 และ 200 องศาเซลเซียส) จะส่งผลต่อค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง และ ค่าน้ำหนักของชิ้นงาน สามารถสรุปได้ว่าเมื่อค่าอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้ชิ้นงานมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและน้ำหนักเพิ่มขึ้น

3. ความเร็วรอบสกรูที่ (10 และ 20 rpm) จะส่งผลต่อค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและค่าน้ำหนักของชิ้นงาน สามารถสรุปได้ว่าเมื่อค่าความเร็วรอบสกรูมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้ชิ้นงานมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและน้ำหนักเพิ่มขึ้น

4. ความเร็วดึงที่ (30 และ 40 rpm) จะส่งผลต่อค่าความยาวและค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงาน สามารถสรุปได้ว่าเมื่อค่าความเร็วดึงมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้ชิ้นงานมีความยาวเพิ่มขึ้นแต่เมื่อความเร็วดึงมีค่าสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางมีค่าลดลงซึ่งจะตรงกันข้ามกัน

5. ที่ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางจะมีปัจจัยความเร็วในการดึงและความเร็วรอบสกรูส่งผลร่วมกัน

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

แม้ว่างานโครงงานนี้จะสามารถออกแบบและสร้างเครื่องดึงพลาสติกที่ใช้ในกระบวนการอัดรีดพลาสติกเพื่อใช้งานในระดับห้องปฏิบัติการได้ในระดับหนึ่ง แต่ก็ยังมีข้อบกพร่องที่จะต้องได้ รับการศึกษาเพิ่มเติมอีกหลายประการ ดังนั้นจึงขอเสนอแนะแนวทางในการศึกษาข้อมูลเพื่อปรับปรุงเครื่องดึงพลาสติกนี้ให้มีความสมบูรณ์มากขึ้นดังนี้

1. มีการดึงพลาสติกไม่สม่ำเสมอจากขนาดเส้นพลาสติกที่ฉีดออกมาได้ไม่เท่ากัน

แนวทางแก้ไข : เปลี่ยนวัสดุที่ใช้ทำลูกกลิ้งให้มีความนุ่มเพื่อให้พลาสติกไหลผ่านได้ตลอดถึงแม้เครื่องอัดรีดพลาสติกจะฉีดออกมาได้ไม่สม่ำเสมอหรืออาจจะใช้เทปพันที่ลูกกลิ้งส่วนล่างให้เกิดความยืดหยุ่น

2. แผ่นกั้นอ่างหล่อเย็นมีน้ำไหลออกมาและใช้ได้กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน6มิลลิเมตร

แนวทางแก้ไข : หาแผ่นที่มีขนาดเท่ากับช่องว่างเพื่อปิดกลั้นน้ำให้ไหลออกทางด้านข้างและควรเป็นๆ แผ่นที่สามารถปรับขนาดของรูได้เพื่อที่จะสามารถใช้ได้กับเส้นพลาสติกหลายขนาด

3. แผ่นว่างอ่างหล่อเย็นส่วนบนไม่สามารถปรับเปลี่ยนตำแหน่งได้

แนวทางแก้ไข : นำแผ่นเหล็กมาดันงอเข้าให้สามารถรับน้ำหนักน้ำของอ่างบนได้และสามารถเคลื่อนย้ายได้

4. เส้นพลาสติกมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่คงที่

แนวทางแก้ไข : ควรพัฒนาเครื่องอัดรีดพลาสติกให้มีความนิ่งกว่านี้และพัฒนาเครื่องดึงให้สามารถดึงพลาสติกได้ตึง

5. มีการหลอมและจับตัวเป็นก้อนของเม็ดพลาสติกใต้กรวยเติมพลาสติกทำให้เม็ดพลาสติกไม่ไหลต่อเนื่อง

แนวทางแก้ไข : ทำการลดอุณหภูมิในส่วนของสกรูป้อนลง ในส่วนของตัวป้อนควรจะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าส่วนอื่นๆเพื่อไม่ให้เม็ดพลาสติกเกิดการหลอมและจับตัวเป็นก้อน

6. มีฟองอากาศและสารมลทินเกิดขึ้นในเส้นพลาสติกขณะทำการอัดรีดในช่วงแรก

แนวทางแก้ไข : ปล่อยการอัดรีดจนฟองอากาศหมดไปโดยใช้เวลาประมาณ 3-5 นาที ฟองอากาศและรอยไหม้ในชิ้นงานจะหายไป เนื่องจากช่วงแรกของการอัดรีดจะมีอากาศแทรกอยู่ระหว่างร่องเกลียวของสกรูป้อนจึงต้องทำการอัดรีดไล่อากาศออกให้หมดก่อนที่จะทำการผลิตชิ้นงานจริง

7. กระบอกหลอมเกิดการสูญเสียความร้อนกับบรรยากาศโดยรอบ

แนวทางแก้ไข : ออกแบบตัวครอบกระบอกหลอมเพื่อลดการสูญเสียความร้อนและเพื่อความคงที่ของอุณหภูมิ

# บรรณานุกรม


[1] โครงการจัดทำแผ่นแม่บทอุตสาหกรรมรายสาขา (สาขาแม่พิมพ์). เทคโนโลยีแม่พิมพ์ [Online], Available: library.dip.go.th/multim4/eb/EB%20122.2%20ม47.doc เมื่อวันที่ 19 พฤศจิกายน 2556

[2] รศ.บรรเลง ศรนิล, เมษายน 2546. เทคโนโลยีพลาสติก. พิมพ์ครั้งที่ 15 (ฉบับปรับปรุง). สำนักพิมพ์ : สสท.(สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น)

[3] Circuit Breaker[Online], Available: pirun.ku.ac.th/.../From.../Circuit%20Breaker%20ALL-----01.doc เมื่อ 2 ธันวาคม 2556

[4] ประเภทของสายไฟ[Online], Available: http//www.snw.ac.th/courseware/www.nectec.or.th/courseware/electrical/wire/0012.html เมื่อวันที่ 23 ธันวาคม 2556

[5] ความรู้เกี่ยวกับการต่อวงจรของขดลวด[Online], Available: http//www.are101.org/forum/index.php?topic=46.0;wap2 เมื่อวันที่ 5 มกราคม 2557

[6] ความรู้พื้นฐานเรื่องอินเวอร์เตอร์[Online], Available: http://www.9engineer.com/index.php?m=article&a=print&article_id=751 เมื่อ 27 มกราคม 2557

[7] ความรู้เกี่ยวกับมู่เล่[Online], Available: http://www.conveyorguide.co.th/index.php?lay=show&ac=article&Id=539579795&Ntype=12 เมื่อวันที่ 27 มกราคม 2557

[8] โชคธนัฐ เพลงสันเทียะ, ฐานันดร์ จันทร์คง และบรรดิษฐ์ สมทุม เครื่องเอ็กทรูดซ์พลาสติก ปริญญานิพนธ์. ภาควิชาอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[9] บริษัทโซลูชั่นเซ็นเตอร์จำกัด, 2555. คู่มือการใช้ Minitab หัวข้อ"Design of Experiments" เมื่อวันที่ 25 ธันวาคม2556

[10] นางสาวพิริญา วารีพัฒน์, นายยศวรรธน์ ปราชญโยธิน และนางสาวรัตชณี จันทร์สุขจำเริญ, 2553. การพัฒนาเครื่องอัดรีดขึ้นรูปพลาสติกเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการอัดรีด. ปริญญานิพนธ์. ภาควิชาอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

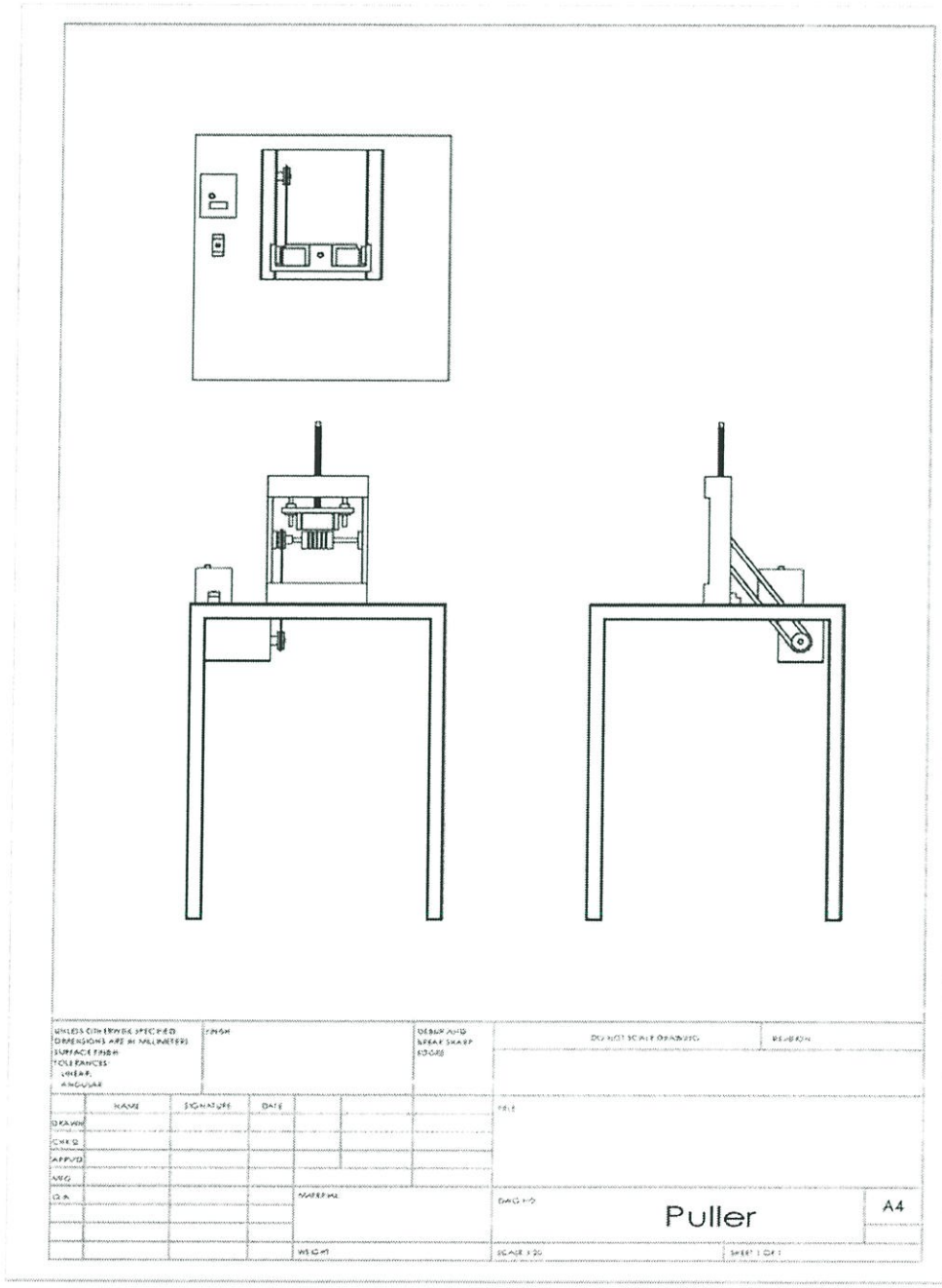
[11] รศ.ดร.ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และรศ.ดร.พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง. สำนักพิมพ์ : บริษัทสำนักพิมพ์ท้อป จำกัด

# ภาคผนวก

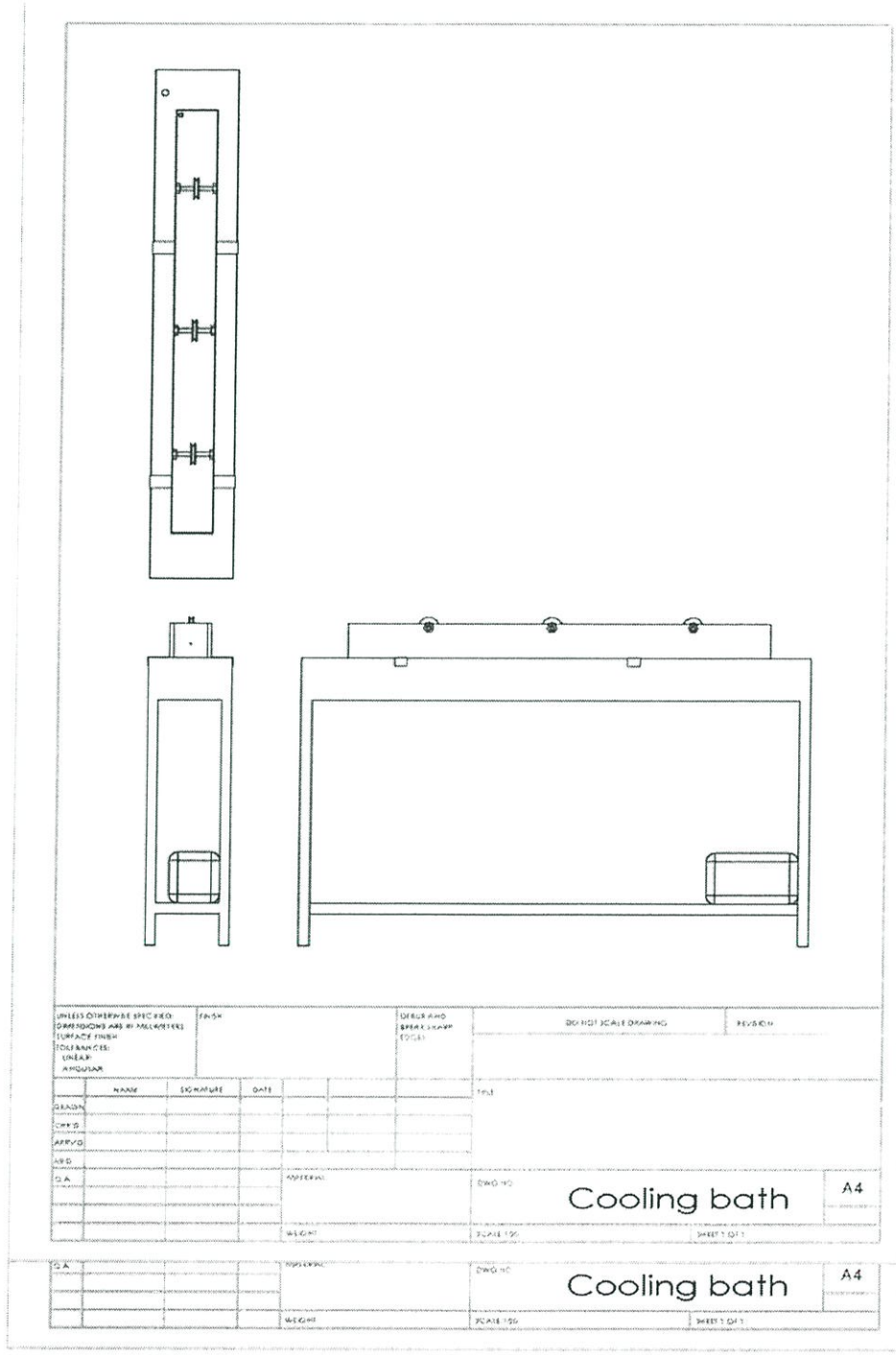
# ภาคผนวก ก

# แบบเครื่องดึงและอ่างหล่อเย็น

Puller



Cooling bath



# ภาคผนวก ข

# ค่าที่ได้จากการทดลองอัดรีดขึ้นรูปพลาสติก

## ตารางผลการทดลองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงาน

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | เฉลีย |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1.91 | 2.02 | 1.99 | 1.82 | 1.93 | 2.05 | 2.03 | 2.19 | 2.29 | 2.37 | 2.041 |
| 2 | 2.21 | 2.22 | 2.89 | 2.34 | 2.24 | 2.90 | 2.16 | 2.87 | 2.83 | 2.38 | 2.504 |
| 3 | 1.35 | 1.27 | 1.46 | 1.31 | 1.44 | 1.64 | 1.41 | 1.51 | 1.55 | 1.3 | 1.424 |
| 4 | 1.34 | 1.65 | 1.30 | 1.60 | 1.40 | 1.41 | 1.40 | 1.36 | 1.46 | 1.27 | 1.419 |
| 5 | 1.53 | 1.83 | 1.56 | 1.52 | 1.59 | 1.94 | 1.53 | 1.54 | 1.58 | 1.75 | 1.637 |
| 6 | 1.69 | 1.60 | 1.66 | 1.86 | 1.90 | 1.82 | 1.68 | 1.91 | 1.93 | 1.91 | 1.796 |
| 7 | 2.64 | 2.10 | 2.23 | 2.02 | 2.11 | 2.23 | 2.03 | 2.25 | 2.20 | 2.27 | 2.208 |
| 8 | 2.33 | 2.01 | 2.59 | 2.38 | 2.91 | 2.53 | 2.23 | 2.22 | 2.27 | 2.42 | 2.317 |
| 9 | 1.80 | 1.80 | 2.20 | 1.94 | 2.05 | 2.18 | 1.88 | 2.19 | 2.09 | 2.00 | 2.013 |
| 10 | 2.40 | 2.34 | 2.50 | 2.50 | 2.57 | 2.44 | 2.48 | 2.48 | 2.31 | 2.82 | 2.474 |
| 11 | 2.57 | 2.46 | 2.27 | 2.46 | 2.42 | 2.41 | 2.64 | 2.39 | 2.22 | 2.36 | 2.420 |
| 12 | 1.64 | 1.74 | 1.60 | 1.78 | 1.68 | 1.69 | 1.73 | 1.52 | 1.63 | 1.96 | 1.697 |
| 13 | 1.52 | 1.62 | 1.90 | 1.62 | 1.83 | 1.71 | 1.74 | 1.89 | 1.99 | 1.55 | 1.737 |
| 14 | 1.71 | 1.51 | 1.41 | 1.75 | 1.39 | 1.24 | 1.42 | 1.43 | 1.50 | 1.80 | 1.526 |
| 15 | 1.93 | 1.85 | 1.99 | 2.24 | 1.97 | 2.23 | 2.11 | 2.01 | 1.96 | 2.03 | 2.032 |
| 16 | 2.13 | 1.90 | 2.02 | 2.22 | 2.08 | 2.20 | 2.23 | 2.16 | 2.14 | 2.30 | 2.128 |

## ตารางผลการทดลองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงาน (ต่อ)

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | เฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 17 | 1.47 | 1.61 | 1.78 | 1.61 | 1.80 | 1.54 | 1.67 | 1.86 | 1.68 | 1.74 | 1.676 |
| 18 | 1.89 | 1.50 | 1.46 | 1.51 | 1.73 | 1.61 | 1.60 | 1.97 | 1.77 | 1.56 | 1.660 |
| 19 | 2.28 | 2.25 | 2.44 | 2.23 | 2.11 | 2.19 | 2.18 | 1.99 | 2.19 | 2.10 | 2.196 |
| 20 | 1.38 | 1.70 | 1.57 | 1.68 | 1.62 | 1.70 | 1.55 | 1.59 | 1.79 | 1.59 | 1.617 |
| 21 | 2.15 | 2.34 | 2.32 | 2.43 | 2.36 | 2.34 | 2.55 | 2.48 | 2.43 | 2.33 | 2.373 |
| 22 | 1.98 | 1.85 | 1.08 | 2.00 | 2.01 | 2.13 | 2.17 | 2.04 | 2.36 | 2.04 | 1.966 |
| 23 | 1.86 | 1.49 | 1.48 | 1.69 | 1.45 | 1.44 | 1.45 | 1.68 | 1.58 | 1.56 | 1.568 |
| 24 | 1.40 | 1.27 | 1.46 | 1.35 | 1.45 | 1.65 | 1.42 | 1.50 | 1.55 | 1.33 | 1.438 |

## ตารางผลการทดลองน้ำหนักและความยาวของชิ้นงาน

| ลำดับ | น้ำหนัก | ความยาว |
|---|---|---|
| 1 | 45.9264 | 1575 |
| 2 | 49.7801 | 1116 |
| 3 | 22.0544 | 1565 |
| 4 | 22.1364 | 1571 |
| 5 | 22.3901 | 1169 |
| 6 | 25.5538 | 1174 |
| 7 | 46.1176 | 1199 |
| 8 | 45.4004 | 1196 |
| 9 | 45.5963 | 1604 |
| 10 | 48.7836 | 1186 |
| 11 | 49.0509 | 1186 |
| 12 | 24.7412 | 1171 |
| 13 | 25.2422 | 1191 |
| 14 | 25.1545 | 1558 |
| 15 | 45.8233 | 1550 |
| 16 | 48.8727 | 1555 |

## ตารางผลการทดลองน้ำหนักและความยาวของชิ้นงาน (ต่อ)

| ลำดับ | น้ำหนัก | ความยาว |
|---|---|---|
| 17 | 23.1761 | 1174 |
| 18 | 22.8062 | 1160 |
| 19 | 48.9519 | 1542 |
| 20 | 24.8045 | 1555 |
| 21 | 45.6864 | 1194 |
| 22 | 49.5118 | 1583 |
| 23 | 26.7761 | 1542 |
| 24 | 22.2831 | 1532 |

# ภาคผนวก ค

# ตาราง ANOVA ในโปรแกรมMinitab

ตาราง ANOVA

## Factorial Fit: length, diameter, weight

## Factorial Fit: length versus barrel temp, screw speed, puller speed

Estimated Effects and Coefficients for length (coded units)

| Term | Effect | Coef | SE Coef | T | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Constant | | 1368.67 | 4.263 | 321.07 | 0.000 |
| barrel temp | -10.83 | -5.42 | 4.263 | -1.27 | 0.222 |
| screw speed | 10.33 | 5.17 | 4.263 | 1.21 | 0.243 |
| puller speed | 384.67 | 192.33 | 4.263 | 45.12 | 0.000 |
| barrel temp*screw speed | -14.17 | -7.08 | 4.263 | -1.66 | 0.116 |
| barrel temp*puller speed | 0.50 | 0.25 | 4.263 | 0.06 | 0.954 |
| screw speed*puller speed | 4.00 | 2.00 | 4.263 | 0.47 | 0.645 |
| barrel temp*screw speed*puller speed | 8.17 | 4.08 | 4.263 | 0.96 | 0.352 |

S = 20.8836 PRESS = 15700.5
R-Sq = 99.22% R-Sq(pred) = 98.25% R-Sq(adj) = 98.88%

Analysis of Variance for length (coded units)

| Source | DF | Seq SS | Adj SS | Adj MS | F |
|---|---|---|---|---|---|
| Main Effects | 3 | 889156 | 889156 | 296385 | 679.59 |
| barrel temp | 1 | 704 | 704 | 704 | 1.61 |
| screw speed | 1 | 641 | 641 | 641 | 1.47 |
| puller speed | 1 | 887811 | 887811 | 887811 | 2035.68 |
| 2-Way Interactions | 3 | 1302 | 1302 | 434 | 0.99 |
| barrel temp*screw speed | 1 | 1204 | 1204 | 1204 | 2.76 |
| barrel temp*puller speed | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.00 |
| screw speed*puller speed | 1 | 96 | 96 | 96 | 0.22 |
| 3-Way Interactions | 1 | 400 | 400 | 400 | 0.92 |
| barrel temp*screw speed*puller speed | 1 | 400 | 400 | 400 | 0.92 |
| Residual Error | 16 | 6978 | 6978 | 436 | |
| Pure Error | 16 | 6978 | 6978 | 436 | |
| Total | 23 | 897835 | | | |

## Factorial Fit: length versus barrel temp, screw speed, puller speed

Estimated Effects and Coefficients for length (coded units)

| Term | Effect | Coef | SE Coef | T | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Constant | | 1368.67 | 4.263 | 321.07 | 0.000 |
| barrel temp | -10.83 | -5.42 | 4.263 | -1.27 | 0.222 |
| screw speed | 10.33 | 5.17 | 4.263 | 1.21 | 0.243 |
| puller speed | 384.67 | 192.33 | 4.263 | 45.12 | 0.000 |
| barrel temp*screw speed | -14.17 | -7.08 | 4.263 | -1.66 | 0.116 |
| barrel temp*puller speed | 0.50 | 0.25 | 4.263 | 0.06 | 0.954 |
| screw speed*puller speed | 4.00 | 2.00 | 4.263 | 0.47 | 0.645 |
| barrel temp*screw speed*puller speed | 8.17 | 4.08 | 4.263 | 0.96 | 0.352 |

S = 20.8836 PRESS = 15700.5
R-Sq = 99.22% R-Sq(pred) = 98.25% R-Sq(adj) = 98.88%

Analysis of Variance for length (coded units)

| Source | DF | Seq SS | Adj SS | Adj MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Main Effects | 3 | 889156 | 889156 | 296385 | 679.59 | 0.000 |
| barrel temp | 1 | 704 | 704 | 704 | 1.61 | 0.222 |
| screw speed | 1 | 641 | 641 | 641 | 1.47 | 0.243 |
| puller speed | 1 | 887811 | 887811 | 887811 | 2035.68 | 0.000 |
| 2-Way Interactions | 3 | 1302 | 1302 | 434 | 0.99 | 0.420 |
| barrel temp*screw speed | 1 | 1204 | 1204 | 1204 | 2.76 | 0.116 |
| barrel temp*puller speed | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.00 | 0.954 |
| screw speed*puller speed | 1 | 96 | 96 | 96 | 0.22 | 0.645 |
| 3-Way Interactions | 1 | 400 | 400 | 400 | 0.92 | 0.352 |
| barrel temp*screw speed*puller speed | 1 | 400 | 400 | 400 | 0.92 | 0.352 |
| Residual Error | 16 | 6978 | 6978 | 436 | | |
| Pure Error | 16 | 6978 | 6978 | 436 | | |
| Total | 23 | 897835 | | | | |

## Factorial Fit: diameter versus barrel temp, screw speed, puller speed

Estimated Effects and Coefficients for diameter (coded units)

| Term | Effect | Coef | SE Coef | T | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Constant | | 1.9111 | 0.01209 | 158.10 | 0.000 |
| barrel temp | 0.1159 | 0.0580 | 0.01209 | 4.79 | 0.000 |
| screw speed | 0.6231 | 0.3115 | 0.01209 | 25.77 | 0.000 |
| puller speed | -0.2609 | -0.1305 | 0.01209 | -10.79 | 0.000 |
| barrel temp*screw speed | 0.0014 | 0.0007 | 0.01209 | 0.06 | 0.954 |
| barrel temp*puller speed | -0.0102 | -0.0051 | 0.01209 | -0.42 | 0.677 |
| screw speed*puller speed | -0.0591 | -0.0295 | 0.01209 | -2.44 | 0.026 |
| barrel temp*screw speed*puller speed | -0.0391 | -0.0195 | 0.01209 | -1.62 | 0.125 |

S = 0.0592178  PRESS = 0.126243
R-Sq = 98.07%  R-Sq(pred) = 95.65%  R-Sq(adj) = 97.22%

Analysis of Variance for diameter (coded units)

| Source | DF | Seq SS | Adj SS | Adj MS | F |
|---|---|---|---|---|---|
| Main Effects | 3 | 2.81848 | 2.81848 | 0.93949 | 267.91 |
| barrel temp | 1 | 0.08062 | 0.08062 | 0.08062 | 22.99 |
| screw speed | 1 | 2.32940 | 2.32940 | 2.32940 | 664.26 |
| puller speed | 1 | 0.40847 | 0.40847 | 0.40847 | 116.48 |
| 2-Way Interactions | 3 | 0.02159 | 0.02159 | 0.00720 | 2.05 |
| barrel temp*screw speed | 1 | 0.00001 | 0.00001 | 0.00001 | 0.00 |
| barrel temp*puller speed | 1 | 0.00063 | 0.00063 | 0.00063 | 0.18 |
| screw speed*puller speed | 1 | 0.02095 | 0.02095 | 0.02095 | 5.97 |
| 3-Way Interactions | 1 | 0.00917 | 0.00917 | 0.00917 | 2.61 |
| barrel temp*screw speed*puller speed | 1 | 0.00917 | 0.00917 | 0.00917 | 2.61 |
| Residual Error | 16 | 0.05611 | 0.05611 | 0.00351 | |
| Pure Error | 16 | 0.05611 | 0.05611 | 0.00351 | |
| Total | 23 | 2.90534 | | | |

| Source | P |
|---|---|
| Main Effects | 0.000 |
| barrel temp | 0.000 |
| screw speed | 0.000 |
| puller speed | 0.000 |
| 2-Way Interactions | 0.147 |
| barrel temp*screw speed | 0.954 |
| barrel temp*puller speed | 0.677 |
| screw speed*puller speed | 0.026 |
| 3-Way Interactions | 0.125 |
| barrel temp*screw speed*puller speed | 0.125 |
| Residual Error | |
| Pure Error | |
| Total | |

## Factorial Fit: weight versus barrel temp, screw speed, puller speed

Estimated Effects and Coefficients for weight (coded units)

| Term | Effect | Coef | SE Coef | T | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Constant | | 35.6675 | 0.1042 | 342.34 | 0.000 |
| barrel temp | 3.2022 | 1.6011 | 0.1042 | 15.37 | 0.000 |
| screw speed | 23.4819 | 11.7409 | 0.1042 | 112.69 | 0.000 |
| puller speed | -0.1198 | -0.0599 | 0.1042 | -0.57 | 0.573 |
| barrel temp*screw speed | 0.2979 | 0.1489 | 0.1042 | 1.43 | 0.172 |
| barrel temp*puller speed | 0.2731 | 0.1365 | 0.1042 | 1.31 | 0.209 |
| screw speed*puller speed | -0.0030 | -0.0015 | 0.1042 | -0.01 | 0.989 |
| barrel temp*screw speed*puller speed | -0.2430 | -0.1215 | 0.1042 | -1.17 | 0.261 |

S = 0.510412  PRESS = 9.37873
R-Sq = 99.88%  R-Sq(pred) = 99.72%  R-Sq(adj) = 99.82%

Analysis of Variance for weight (coded units)

| Source | DF | Seq SS | Adj SS | Adj MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Main Effects | 3 | 3370.01 | 3370.01 | 1123.34 | 4311.90 | 0.000 |
| barrel temp | 1 | 61.53 | 61.53 | 61.53 | 236.16 | 0.000 |
| screw speed | 1 | 3308.40 | 3308.40 | 3308.40 | 12699.20 | 0.000 |
| puller speed | 1 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.33 | 0.573 |
| 2-Way Interactions | 3 | 0.98 | 0.98 | 0.33 | 1.25 | 0.324 |
| barrel temp*screw speed | 1 | 0.53 | 0.53 | 0.53 | 2.04 | 0.172 |
| barrel temp*puller speed | 1 | 0.45 | 0.45 | 0.45 | 1.72 | 0.209 |
| screw speed*puller speed | 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.989 |
| 3-Way Interactions | 1 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 1.36 | 0.261 |
| barrel temp*screw speed*puller speed | 1 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 1.36 | 0.261 |
| Residual Error | 16 | 4.17 | 4.17 | 0.26 | | |
| Pure Error | 16 | 4.17 | 4.17 | 0.26 | | |
| Total | 23 | 3375.51 | | | | |