T119347

การพัฒนาเครื่องอัดรีดขึ้นรูปพลาสติกเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการอัดรีด

THE DEVELOPMENT OF THE EXTRUDER MACHINE FOR STUDYING THE OUTPUT RATE BY VARYING THE PROCESSING PARAMETERS

นางสาวพิริญา วารีพัฒน์

MISS PHIRIYA WAREEPAT

นายยศวรรธน์ ปราชญโยธิน

MR. YOSSAWAT PRACHAYAYOTHIN

นางสาวรัตชณี จันทร์สุขจำเริญ

MISS RATCHANEE JANSUKJUMROEN

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 119347
วัน,เดือน,ปี - 7 S.A. 2554

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE DEVELOPMENT OF THE EXTRUDER MACHINE FOR STUDYING THE OUTPUT RATE BY VARYING THE PROCESSING PARAMETERS

MISS PHIRIYA WAREEPAT

MR. YOSSAWAT PRACHAYAYOTHIN

MISS RATCHANEE JANSUKJUMROEN

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การพัฒนาเครื่องอัดรีดขึ้นรูปพลาสติกเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการอัดรีด
The Development of The Extruder Machine for Studying The Output Rate by Varying The Processing Parameters

นักศึกษา

นางสาวพิริญา วารีพัฒน์	รหัสประจำตัว	50011109
นายยศวรรธน์ ปราชญโยธิน	รหัสประจำตัว	50011246
นางสาวรัตชณี จันทร์สุขจำเริญ	รหัสประจำตัว	50011291

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

(ดร. วิภู ศรีสืบสาย)

(รศ.พรศักดิ์ อรรถวานิช)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การพัฒนาเครื่องอัดรีดขึ้นรูปพลาสติกเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการอัดรีด
นักศึกษา	นางสาวพิริญา วารีพัฒน์
	นายยศวรรธน์ ปราชญโยธิน
	นางสาวรัตชฌี จันทร์สุขจำเริญ
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2553
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ดร. วิภู ศรีสืบสาย
	รศ.พรศักดิ์ อรรถวานิช

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการผลิตเส้นพลาสติกเป็นเส้นยาวต่อเนื่อง โดยทำการพัฒนาเครื่องอัดรีดขึ้นรูปจากเครื่องเดิมที่มีอยู่ที่ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก ชนิดโพลิโพพิลีน หลักการทำงานของเครื่องจะใช้กำลังจากมอเตอร์ส่งกำลัง ผ่านชุดเกียร์ทดเพื่อลดความเร็วรอบและส่งถ่ายกำลังไปยังสกรูเพื่อป้อนพลาสติก ซึ่งหมุนอยู่ในกระบอกหลอม ภายนอกของกระบอกหลอมติดตั้งฮีตเตอร์ชนิดรัดท่อ แบ่งเป็น 3 ช่วงคือ ส่วนป้อน ส่วนหลอมอัด และส่วนส่ง โดยแต่ละช่วงมีการตั้งอุณหภูมิให้ความร้อนที่แตกต่างกัน การควบคุมความร้อนใช้ตัวควบคุมอุณหภูมิควบคุมฮีตเตอร์แต่ละตัว โดยมีตัววัดอุณหภูมิตรวจสอบอุณหภูมิแล้วส่งสัญญาณไปยังตัวควบคุมอุณหภูมิ เพื่อทำการตัดหรือต่อการทำงานของฮีตเตอร์ให้ได้ตามอุณหภูมิที่ตั้งไว้ เมื่อได้ชิ้นงานเส้นพลาสติกออกมาแล้วจึงนำชิ้นงานที่ได้มาทำการศึกษาอัตราการอัดรีดพลาสติกจากปัจจัยความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับความเร็วรอบของสกรู และผลผลิตกับอุณหภูมิในการหลอมเหลว เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการผลิตเส้นพลาสติกจากเครื่องอัดรีดขึ้นรูป จากการทดลองพบว่าเมื่ออุณหภูมิหลอมเหลวคงที่ ความเร็วรอบของสกรูเพิ่มขึ้น จะทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น และเมื่อความเร็วรอบของสกรูคงที่แต่เปลี่ยนค่าอุณหภูมิการหลอมเหลว ผลผลิตที่ได้จะไม่เปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	The Development of The Extruder Machine for Studying The Output Rate by Varying The Processing Parameters
Student	Miss Phiriya Wareepat
	Mr. Yossawat Prachayayothin
	Miss Ratchanee Jansukjumroen
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic	2010
Thesis Advisor	Dr. Wipoo Sriseubsai
	Asst. Prof. Pornsak Attavanich

ABSTRACT

This project was concerned about the output rate of the extrusion by varying the processing parameters. The extruder machine was developed from the old machine in Industrial Engineering Dept. KMITL. The polypropylene was used to perform the experiment. The screw of extruder was rotated by the power of electric motor that connected to the gear box in order to transfer the torque and stepped down the rotational speed. The heater bands were installed outside surface of the barrel. The general purpose screw which had three zones, feed zone, transition zone and metering zone, was used to performed the experiment. Each section had thermocouple to control the temperature though the temperature controller. The experiment was performed with two factors, screw speed and melt temperature and the response was the output rate. The results showed that when screw speed increased, the output rate was increased. The melt temperature was not effect to the output rate.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การพัฒนาเครื่องอัดรีดขึ้นรูปพลาสติกเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการอัดรีด สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีทั้งที่มีปัญหาและอุปสรรคในการทำงานมากมายนั้น กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลทุกคนที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ซึ่งส่งผลให้ปริญญานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ ดังนี้

ดร.วิภู ศรีสืบสาย อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับการให้โอกาสในการศึกษาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งการให้ความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้านตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

รศ.พรศักดิ์ อรรถวานิช อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับการให้โอกาสในการศึกษาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งการให้คำแนะนำต่างๆ ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

ดร.อุดม จันทร์จรัสสุข กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับความรู้ คำแนะนำ และความช่วยเหลือทุกๆ ด้าน

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ สำหรับความช่วยเหลือจนทำให้ปริญญานิพนธ์สำเร็จลุล่วง

นางสาวพิริญา วารีพัฒน์
นายยศวรรธน์ ปราชญโยธิน
นางสาวรัตชณี จันทร์สุขจำเริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ข

กิตติกรรมประกาศ.....ค

สารบัญ.....ง

สารบัญตาราง.....ฉ

สารบัญรูป.....ช

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญของโครงงาน.....1

1.2 วัตถุประสงค์.....1

1.3 ขอบเขตของโครงงาน.....2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 นิยาม.....3

2.2 หลักการทำงานของเครื่องอัดรีดขึ้นรูป.....3

2.3 ส่วนประกอบของเครื่องอัดรีดขึ้นรูป.....3

2.4 อุปกรณ์ประกอบหลังการอัดรีดขึ้นรูป.....18

2.5 การให้ความร้อนและการควบคุมอุณหภูมิของการหลอมพลาสติก.....22

2.6 อุปกรณ์ทางไฟฟ้า.....35

2.7 ระบบควบคุมความเร็ว.....53

2.8 คุณสมบัติการไหลของพลาสติก หรือรีโอโลยี.....56

2.9 พลาสติกที่ใช้ในการอัดรีดขึ้นรูป.....70

2.10 การหาผลลัพธ์ของกระบวนการ.....72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....74

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน.....75

3.2.1 อุปกรณ์ทางไฟฟ้า.....75

3.2.2 อุปกรณ์ทางกล.....75

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....77

3.3.1 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องอัดรีดขึ้นรูป.....78

3.3.2 ออกแบบระบบและโครงสร้าง.....81

3.3.3 การคำนวณเพื่อเลือกอุปกรณ์ที่เหมาะสม.....84

3.3.4 การคำนวณเพื่อหาผลลัพธ์ของกระบวนการผลิต.....86

3.3.5 การประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เข้ากับโครงโต๊ะ.....89

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน

4.1 บทนำ.....90

4.1.1 ขั้นตอนการทำงาน.....90

4.2 การทดสอบเพื่อทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการผลิต.....93

4.2.1 ผลการทดลอง.....94

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง.....99

5.2 ข้อเสนอแนะ.....99

บรรณานุกรม.....101

ภาคผนวก.....103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติเปรียบเทียบเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน Type ต่างๆ.....26
ตารางที่ 2.2 ชนิดของเทอร์โมคัปเปิลกับเงื่อนไขบรรยากาศที่เหมาะสม.....28
ตารางที่ 2.3 ข้อดีและข้อเสียของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชนิด.....29
ตารางที่ 2.4 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าชนิดวีเอเอฟ.....48
ตารางที่ 2.5 ความเร็วรอบของมอเตอร์ตามความถี่และขั้วแม่เหล็ก.....55
ตารางที่ 2.6 ความหนืดของวัสดุชนิดต่างๆ.....57
ตารางที่ 2.7 พลาสติกที่ใช้ในกระบวนการอัดรีดขึ้นรูป.....70
ตารางที่ 4.1 ผลผลิตที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ณ ความเร็วรอบต่างๆ.....94
ตารางที่ 4.2 ผลผลิตที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส ณ ความเร็วรอบต่างๆ.....94
ตารางที่ 4.3 ผลผลิตที่อุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียส ณ ความเร็วรอบต่างๆ.....95
ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยผลผลิตที่อุณหภูมิและความเร็วรอบต่างๆ.....95
ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบผลผลิตของการอัดรีดขึ้นรูปจากทางทฤษฎีกับการทดลอง ณ ความเร็วรอบต่างๆ.....96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 เครื่องอัดรีดขึ้นรูป....4
รูปที่ 2.2 แบ่งสกรูออกเป็น 3 ช่วง....4
รูปที่ 2.3 กราฟความดันของสกรูที่มีช่วงไล่ก๊าซ....6
รูปที่ 2.4 ความดันของพลาสติกหลอมที่ส่วนต่างๆของสกรู....6
รูปที่ 2.5 กรรมวิธีหลอมตัวในกระบอกหลอม....7
รูปที่ 2.6 ขนาดต่างๆของเกลียวหนอน....8
รูปที่ 2.7 แรงที่กระทำกับภาชนะความดัน....9
รูปที่ 2.8 แรงที่ทำให้ภาชนะความดันยืดออกตามแนวแกน....9
รูปที่ 2.9 แรงที่ทำให้ภาชนะความดันยืดออกตามแนวรัศมี....10
รูปที่ 2.10 ลักษณะการเยื้องแนวของเพลา....12
รูปที่ 2.11 คัปปลิงแบบรับแรงเฉือน....12
รูปที่ 2.12 อุปกรณ์ประกอบของการอัดรีดขึ้นรูปท่อและโพรไฟล์....19
รูปที่ 2.13 อุปกรณ์ดึงชิ้นงานแบบตีนตะขาบ....21
รูปที่ 2.14 เครื่องตัดพลาสติกโดยใช้ใบเลื่อย....21
รูปที่ 2.15 ฮีตเตอร์ไฟฟ้าสำหรับให้ความร้อนกับกระบอกหลอม....23
รูปที่ 2.16 การประยุกต์ใช้เทอร์โมคัปเปิล.... 25
รูปที่ 2.17 โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิล....27
รูปที่ 2.18 ความสัมพันธ์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลแบบ K....32
รูปที่ 2.19 การควบคุมความร้อนโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล....33
รูปที่ 2.20 การควบคุมอุณหภูมิแบบ (ON/OFF temperature control) 34
รูปที่ 2.21 การควบคุมอุณหภูมิแบบสัดส่วน (Proportional temperature control) 34
รูปที่ 2.22 การควบคุมแบบ PID (Proportional-integral-derivative temperature control) 35
รูปที่ 2.23 สภาวะการทำงานของรีเลย์....36
รูปที่ 2.24 หน้าสัมผัสภายในของคอนแทกเตอร์....37
รูปที่ 2.25 การทำงานของแมกเนติกส์คอนแทคเตอร์....38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.26 เซอร์กิตเบรกเกอร์ สวิตซ์ตัดตอนอัตโนมัติ 40
รูปที่ 2.27 ลักษณะการทำงานเมื่อมีกระแสเกินไหลผ่าน.....41
รูปที่ 2.28 สำหรับปลดวงจรเมื่อเกิดกระแสลัดวงจรหรือมีกระแสค่าสูงๆ.....41
รูปที่ 2.29 วงจรวิเคราะห์กระแสเพื่อสั่งปลดวงจร.....42
รูปที่ 2.30 แอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ 43
รูปที่ 2.31 มินิเอเจอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ 43
รูปที่ 2.32 โครงสร้างและการทำงานของสวิทซ์ปุ่มกดปกติเปิด.....44
รูปที่ 2.33 โครงสร้างและการทำงานของสวิทซ์ปุ่มกดปกติปิด.....45
รูปที่ 2.34 โครงสร้างและการทำงานของสวิทซ์ปุ่มกดปกติเปิดและปกติปิดอยู่รวมกัน.....46
รูปที่ 2.35 สายไฟชนิดวีเอเอฟ.....47
รูปที่ 2.36 สายไฟชนิดทีเอชดับเบิลยู.....48
รูปที่ 2.37 สายไฟชนิดเอ็นวายวาย.....49
รูปที่ 2.38 สายไฟชนิดวีซีที.....50
รูปที่ 2.39 การต่อแบบสตาร์.....54
รูปที่ 2.40 การต่อแบบเดลตา.....54
รูปที่ 2.41 การไหล และการผิดรูปของของไหลนิวทอเนียนระหว่างแผ่นกระจก
สองแผ่นเนื่องจากอิทธิพลของความเค้นเฉือน (Shear stress).....58
รูปที่ 2.42 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนและอัตราเฉือน.....59
รูปที่ 2.43 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอัตราเฉือนของของไหลนิวทอเนียน 2 ชนิด.....60
รูปที่ 2.44 เส้นกราฟของการไหล และเส้นกราฟของความหนืดของของไหลชนิดต่างๆ.....61
รูปที่ 2.45 เส้นกราฟการไหลของของไหลชนิดต่างๆ.....63
รูปที่ 2.46 สมบัติของของไหลทริกโซทรอปิค.....64
รูปที่ 2.47 Hysteresis Loop ของของไหลทริกโซทรอปิค 2 ชนิด คือ ของไหล A และ B.....65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.48 สมบัติการไหลของของไหลรีโอเปคติก....65
รูปที่ 2.49 แบบจำลองที่ใช้อธิบายของแข็งยืดหยุ่นอุดมคติ (สปริง) และของไหลนิวทอเนียน(ลูกสูบ) 67
รูปที่ 2.50 แบบจำลองของไหลวีสโคอีลาสติกของแมกซ์เวล และวอยท์....67
รูปที่ 2.51 สมบัติการไหลของพอลิเมอร์หลอม....69
รูปที่ 2.52 แรงดันในการไหลของของไหล และอัตราการรั่วไหลของของไหล....72
รูปที่ 3.1 เม็ดพลาสติกชนิดโพลิโพรพิลีน....74
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน....77
รูปที่ 3.3 เครื่องอัดรีดขึ้นรูป....78
รูปที่ 3.4 กระบอกหลอม....78
รูปที่ 3.5 แผงควบคุม....79
รูปที่ 3.6 ชุดส่งกำลังขับ....79
รูปที่ 3.7 กล่องควบคุม....80
รูปที่ 3.8 แม่พิมพ์....80
รูปที่ 3.9 ระบบรวมของไฟฟ้า....82
รูปที่ 3.10 การต่อระบบควบคุมอุณหภูมิ....82
รูปที่ 3.11 การต่อระบบควบคุมความเร็ว....83
รูปที่ 3.12 แผงควบคุม....83
รูปที่ 3.13 กล่องควบคุม....84
รูปที่ 4.1 เปิดสวิตซ์เบรกเกอร์หลักภายในกล่องควบคุม....91
รูปที่ 4.2 ทำงานในส่วนของฮีตเตอร์....91
รูปที่ 4.3 ตั้งค่าอุณหภูมิที่ตัวควบคุมอุณหภูมิทั้ง 4 ตัว....91
รูปที่ 4.4 ทำงานของฮีตเตอร์จนถึงอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้....91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.5 ทำงานในส่วนของมอเตอร์.....91
รูปที่ 4.6 ใส่เม็ดพลาสติกลงในกรวยเติมพลาสติก.....91
รูปที่ 4.7 ปรับค่าความเร็วรอบของมอเตอร์.....92
รูปที่ 4.8 ดึงเส้นพลาสติกให้ลงไปยังอ่างหล่อเย็น.....92
รูปที่ 4.9 ตัดเส้นพลาสติกตรงแม่พิมพ์ด้านหน้า.....92
รูปที่ 4.10 ลดค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ และกดสวิตซ์ปิดทั้งในส่วนของฮีตเตอร์ และมอเตอร์.....92
รูปที่ 4.11 ปิดสวิตซ์เบรคเกอร์หลักภายในกล่องควบคุม.....92
รูปที่ 4.12 ลักษณะโดยรวมของเครื่องอัดรีดขึ้นรูปพลาสติก.....93
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์สุทธิของของไหลกับความเร็วรอบของสกรู (รอบต่อนาที) 96
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิต (กรัม) กับอุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติก (°C) ที่ความเร็วรอบต่างๆ.....97
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับอุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติก.....97
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิต (กรัม) กับความเร็วรอบของสกรู (rpm) ที่อุณหภูมิหลอมเหลวต่างๆ.....98
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิต กับความเร็วรอบของสกรู.....98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ปัจจุบันแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติกนั้น ส่งผลให้ผู้ผลิตผลิตภัณฑ์จากพลาสติกพยายามปรับปรุงระบบการผลิตเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตให้มากขึ้น สาเหตุที่แนวโน้มในการนำพลาสติกมาใช้เพิ่มมากขึ้นเนื่องมาจากพลาสติกมีราคาถูก น้ำหนักเบา ง่ายต่อการขึ้นรูปเพื่อผลิตออกมาเป็นชิ้นงาน และสามารถนำมาใช้แทนทรัพยากรธรรมชาติได้ดี การอัดขึ้นรูปพลาสติกจะเริ่มจากการนำเม็ดพลาสติก หรือพลาสติกที่ใช้แล้วมาใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ เครื่องอัดรีดจะประกอบไปด้วย สกรูเดี่ยว (single screw extruder) ซึ่งเป็นตัวขับเคลื่อนเม็ดพลาสติกให้ผ่านแม่พิมพ์ออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ แม่พิมพ์เป็นตัวกำหนดลักษณะของผลิตภัณฑ์ กระบอกและสกรูจะประกอบกันเป็นชุดหลอมพลาสติก และมอเตอร์ไฟฟ้า จะเป็นตัวที่ใช้ในการส่งกำลังขับเครื่องอัดรีดขึ้นรูป

เนื่องจากปริญญานิพนธ์ที่ทำเป็นการนำชิ้นส่วนของเครื่องอัดรีดขึ้นรูปพลาสติกที่มีอยู่มาทำการสร้างใหม่ ซึ่งเป็นเครื่องจากปริญญานิพนธ์ของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ปี 2545 เนื่องด้วยการเสื่อมสภาพเครื่องจึงชำรุดเสียหายไม่มีความสมบูรณ์ที่จะนำมาใช้งานได้ และด้วยเครื่องที่มีจากปี 2545 เป็นเครื่องที่ขาดความสมบูรณ์ไม่สามารถใช้งานได้จริง เนื่องจากทางภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการยังไม่มีอุปกรณ์ที่จะให้นักศึกษาทำการเรียนรู้และศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการแปรรูปพลาสติก ซึ่งเครื่องอัดรีดขึ้นรูปในอุตสาหกรรมเป็นเครื่องขึ้นรูปขนาดใหญ่และมีราคาสูง ทางกลุ่มจึงนำความรู้ที่ได้จากการศึกษามาประยุกต์ทำการออกแบบ และสร้างเครื่องอัดรีดขึ้นรูปพลาสติกที่มีขนาดเล็กและมีต้นทุนที่ไม่สูงมาก เพื่อรูปแบบที่หลากหลายและประโยชน์ใช้สอยที่มากขึ้น เครื่องอัดรีดขึ้นรูปพลาสติกที่สร้างขึ้นมาใหม่นี้ ยังสามารถที่จะนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ทางการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของพลาสติกและทฤษฎีทางกลที่ใช้ด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1.2.1 เพื่อศึกษาโครงสร้างและหลักการทำงานเครื่องอัดรีดขึ้นรูป

1.2.2 เพื่อสร้างเครื่องอัดรีดขึ้นรูปให้สามารถใช้งานได้

1.2.3 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการอัดรีด คือ ความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของของปริญญานิพนธ์

1.3.1 สามารถควบคุมความเร็วรอบของสกรูได้ ตั้งแต่ 0 ถึง 70 รอบต่อนาที

1.3.2 สามารถควบคุมอุณหภูมิการหลอมเหลวของพลาสติกได้ ตั้งแต่ 190 ถึง 240 องศาเซลเซียส ความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิ ± 2 องศาเซลเซียส

1.3.3 มีจอแสดงสถานะค่าความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิการหลอมเหลว

1.3.4 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบคือ พอลิโพพิลีน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทำให้เครื่องอัดรีดขึ้นรูปพลาสติกสามารถใช้มาเป็นสื่อการเรียนการสอน

1.4.2 ทำให้ทราบผลของปัจจัยทางด้านความเร็วรอบและอุณหภูมิในการหลอมเหลวพลาสติกว่ามีผลอย่างไรต่ออัตราการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 นิยาม

กระบวนการเอกซ์ทรูชั่น หรือกระบวนการอัดรีดขึ้นรูป (Extrusion) หมายถึง การผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ยาวต่อเนื่องกันโดยจะเปลี่ยนเม็ดหรือผงของพลาสติกให้เกิดการหลอมเหลว โดยการให้พลังงานความร้อนจากภายนอก และความร้อนจากภายในที่มาจากแรงเสียดทาน โดยกรรมวิธีอัดรีดผ่านหัวดาย จากนั้นพลาสติกจะถูกทำให้คงรูปโดยผ่านไปยังอ่างหล่อเย็น ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการจะเป็นผลิตภัณฑ์จำพวกท่อ เส้นใย ฟิล์ม และโปรไฟล์ต่างๆ

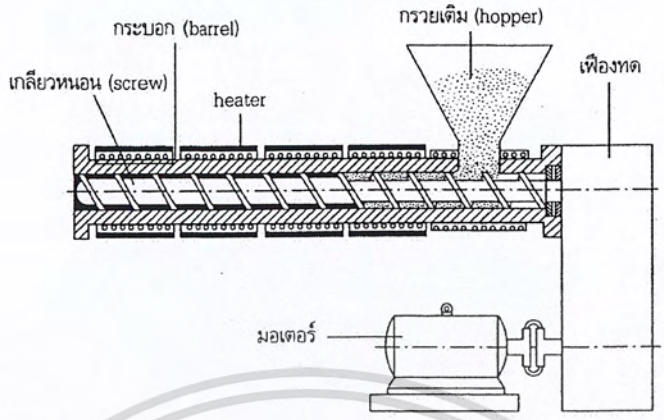
2.2 หลักการทำงานของเครื่องอัดรีดขึ้นรูป

กระบวนการอัดรีดขึ้นรูปเป็นกระบวนการต่อเนื่องใช้สำหรับผลิตผลิตภัณฑ์จำพวกท่อ เส้นใย ฟิล์ม และ profile ต่างๆ วัสดุเทอร์โมพลาสติกจะอยู่ในรูปของผง ชิ้น หรือเป็นเม็ด [1] เม็ดพลาสติกจะถูกป้อนเข้าไปยังส่วนของกรวยเติมพลาสติก (hopper) ซึ่งประกอบอยู่ด้านบนของกระบอก จากนั้นเม็ดพลาสติกจะถูกส่งต่อไปยังช่องว่างของสกรูซึ่งอยู่ในกระบอกหลอม (barrel) โดยสกรูจะทำหน้าที่ในการหมุนอัดหลอมและการผสมเม็ดพลาสติก การเปลี่ยนเม็ดพลาสติกให้เป็นพลาสติกหลอมเหลวจะทำโดยการให้พลังงานความร้อนจากภายนอกที่มาจากตัวให้ความร้อน (heater) และความร้อนจากภายในที่มาจากแรงเสียดทาน แล้วจึงดันพลาสติกเหลวออกไปยังหัวดาย (die) ทางด้านหน้า จากนั้นพลาสติกเหลวจะถูกส่งผ่านไปยังอ่างหล่อเย็นเพื่อให้พลาสติกเกิดการคงรูป

2.3 ส่วนประกอบของเครื่องอัดรีดขึ้นรูป

เครื่องอัดรีดขึ้นรูปสกรูเดี่ยว (Single Screw Extruder) ประกอบด้วยมอเตอร์ขับ เฟืองทดความเร็ว กระบอก (barrel) พร้อมสกรู (screw) ประกอบอยู่ภายใน และกรวยเติมพลาสติก ดังรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

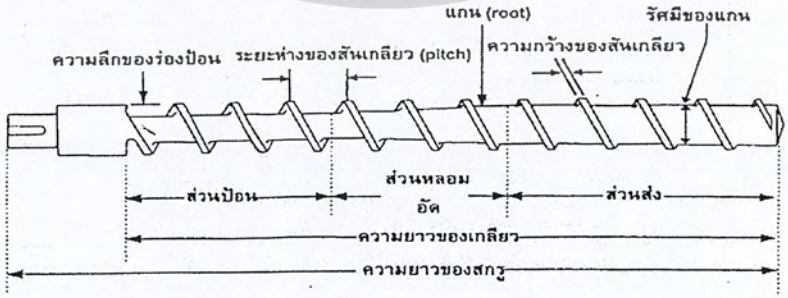


รูปที่ 2.1 เครื่องอัดรีดขึ้นรูป (extruder) [2]

รอบๆ กระบอกจะมีฮีตเตอร์แบบแผ่นหุ้มอยู่รอบๆ ซึ่งสามารถตั้งอุณหภูมิของแต่ละช่วงได้ตามต้องการ ทุกขั้นตอนที่มีการให้ความร้อนส่วนมากจะมีอุปกรณ์หล่อเย็นประกอบอยู่ด้วยเสมอ เพื่อให้สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่แน่นอนได้ ในเขตใกล้ๆกับกรวยเติมพลาสติกขณะทำงานจะต้องหล่อเย็น ทั้งนี้เพื่อป้องกันพลาสติกหลอมตรงช่องเข้าร่องที่โคนสกรู ซึ่งจะทำให้ป้อนพลาสติกเข้าได้ไม่เต็มที่ [2]

2.3.1 สกรู (Screw)

เป็นส่วนสำคัญที่สุดของเครื่องอัดรีดขึ้นรูป ซึ่งจะต้องให้ความละเอียดรอบคอบในการออกแบบ สกรูมักถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนป้อน ส่วนหลอมอัด และส่วนส่ง แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แบ่งสกรูออกเป็น 3 ช่วง [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.1 ส่วนป้อน (Feed zone)

ส่วนป้อนของสกรูเป็นส่วนที่มีความลึกของร่องสกรูมากที่สุด และเป็นส่วนที่ประกอบด้วยเกลียวในช่วงแรกซึ่งมีระยะสั้น มีหน้าที่หลัก คือ การดึงเม็ดหรือผงพลาสติกจากกรวยเติมพลาสติกลงในกระบอก เริ่มให้ความร้อนแก่พลาสติก และทำให้เกิดส่วนผสมของพลาสติกนอกจากนี้ยังทำหน้าที่ในการส่งพลาสติกไปยังส่วนต่อไปของสกรู การออกแบบสกรูในส่วนนี้ ความสำคัญ คือ ต้องออกแบบให้ลึกและความยาวร่องของสกรูในส่วนนี้สามารถบรรจุพลาสติกได้มากพอที่จะส่งพลาสติกไปยังส่วนต่อไป

สำหรับเครื่องอัดรีดขึ้นรูปแบบสกรูเดี่ยว การนำพลาสติกเข้าจะเกิดขึ้นในช่วงที่พลาสติกยังแข็งอยู่ เนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างพลาสติก ผนังของกระบอก และสกรูอาศัยหลักการที่ว่า สัมประสิทธิ์ความฝืดของสกรูกับพลาสติกยิ่งน้อย และค่าสัมประสิทธ์ความฝืดของผนังกระบอกกับพลาสติกยิ่งมากยิ่งทำให้การส่งพลาสติกได้ดีขึ้น ดังนั้นถ้าลักษณะของกระบอกในช่วงป้อนเรียบ จะทำให้การส่งพลาสติกไปตามกระบอกไม่ดีเท่าที่ควร [2]

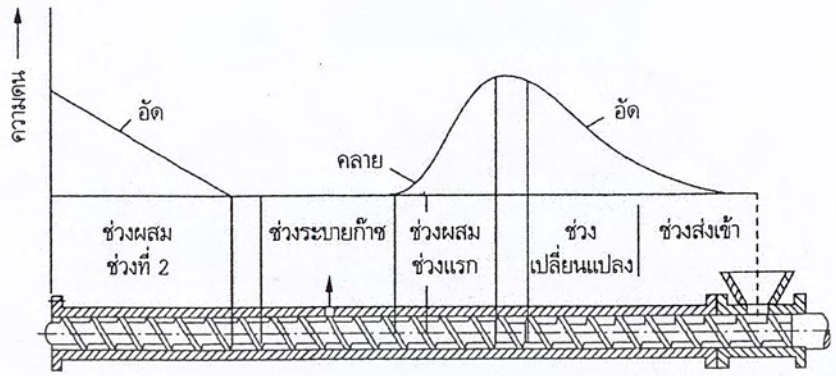
2.3.1.2 ส่วนหลอมอัด (Transition zone/Compression zone)

ส่วนหลอมอัด ความลึกของร่องเกลียวจะค่อยๆลดลง เพื่อให้เกิดแรงดันของพลาสติกหลอม และทำให้เกิดความหนาของชั้นพลาสติกที่ห่อหุ้มสกรูลดลง จึงเกิดการส่งผ่านความร้อนจากกระบอกได้ดีขึ้น ความร้อนและแรงเสียดทานของสกรูในช่วงนี้จะสูงมาก ทำให้พลาสติกหลอมผสมเป็นเนื้อเดียวกัน โดยพลาสติกหลอมที่ไหลออกจากส่วนนี้จะมีอุณหภูมิเท่ากับหรือใกล้เคียงอุณหภูมิของการแปรรูป ค่าอัตราส่วนระหว่างความลึกของร่องสกรูในส่วนป้อนกับส่วนหลอมอัดเรียกว่า อัตราส่วนการอัด (Compression ratio, cr) ของสกรู ซึ่งค่าที่ใช้นั้นจะมีค่า cr อยู่ในช่วง 2: 1 ถึง 6: 1

ช่องว่างระหว่างสารพลาสติก (ทั้งเป็นเม็ดและเป็นผง) จะมีอากาศแทรกตัวอยู่ อากาศจำนวนนี้จะต้องระบายออกก่อนที่พลาสติกจะหลอมเหลว ซึ่งจะทำได้โดยการอัดพลาสติกให้รวมตัวกันแน่น โดยความดันที่ใช้ในการอัดพลาสติกจะได้จากการที่ทำให้ปริมาตรระหว่างเกลียวแคบลงในช่วงกลางของสกรู ดังนั้นการออกแบบสกรูในช่วงกลางต้องให้เกลียวของสกรูเรียวโตขึ้น หรือโดยลดระยะพิตช์ (pitch degressive screw) เพื่อให้ก๊าซแยกตัวออกและถูกดันกลับออกมาทางกรวยเติม ส่วนวิธีการอื่นที่ใช้ในการระบายไอ หรือก๊าซที่เกิดจากการหลอมพลาสติกกระทำได้โดยการดูดออกผ่านรูที่เจาะไว้ที่กระบอก

ความยาวของสกรูในระบบระบายก๊าซออกโดยปกติจะใช้ประมาณ 30D โดยการระบายก๊าซออกจะกระทำประมาณบริเวณกลางของสกรู หรือที่เรียกว่าช่วงลดความดัน (decompression zone) ดังรูปที่ 2.3

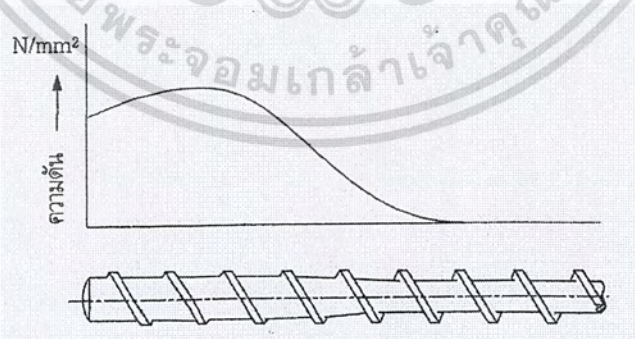
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ความดันของสกรูที่มีช่วงไล่ก๊าซ [2]

2.3.1.3 <u>ส่วนส่ง (Metering zone)</u>

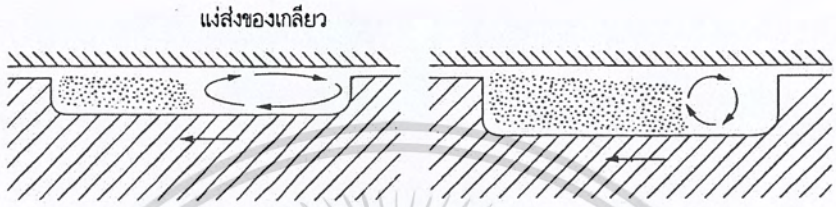
ส่วนสุดท้ายของสกรู คือ ส่วนส่งพลาสติกหลอม ลักษณะของสกรูจะมีความลึกของร่องเกลียวคงที่ แต่มีความลึกน้อยกว่าในส่วนป้อน พลาสติกหลอมในส่วนนี้จะมีความดันมากขึ้น และมีความเป็นเนื้อเดียวอย่างสมบูรณ์ และจะเสถียรอยู่ภายใต้ความดันและอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน ความดันที่เกิดขึ้นในขณะที่สกรูหมุนมีความสำคัญต่อการส่งพลาสติกจากกรวยเติมพลาสติกไปยังหัวดายมาก ลักษณะการเพิ่มความดันที่ส่วนต่างๆของสกรู แสดงดังรูปที่ 2.4 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความดันจะเพิ่มขึ้นจากส่วนป้อน และมีค่าสูงสุดที่ส่วนปลายของสกรู



รูปที่ 2.4 ความดันของพลาสติกหลอมที่ส่วนต่างๆของสกรู [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยการอัดพลาสติกให้หลอมละลาย และเมื่อพลาสติกหลอมเหลว ฟันของสกรูที่หมุนอยู่จะปาดพลาสติกเหลวที่ผนังกระบอกที่ช่วงส่งของเกลียว ทำให้เกิดการหมุนเวียนที่พลาสติกเหลว ซึ่งก็จะดึงส่วนที่ยังไม่หลอมตัวเข้ามาผสมและพาไปด้วย จึงมีการและเปลี่ยนความร้อนกันจนพลาสติกทั้งหมดหลอมละลายอย่างทั่วถึง ดังรูปที่ 2.5



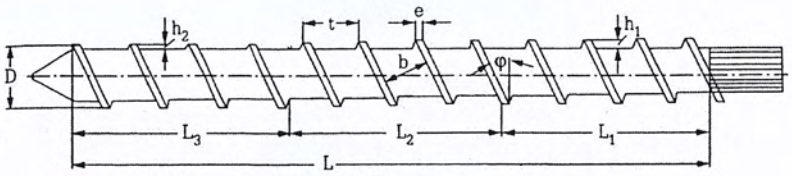
รูปที่ 2.5 กรรมวิธีหลอมตัวในกระบอกหลอม [2]

รอบๆสกรู จะมีร่องเกลียวซึ่งตรงโคนร่องลบคมเป็นรัศมีโค้ง ขนาดที่เป็นลักษณะที่สำคัญของสกรู มีดังนี้คือ

- ความยาวของสกรู (L) และเส้นผ่านศูนย์กลางของสกรู (D) รวมทั้งอัตราส่วนL/D
- ความลึกของร่องสกรูที่จุดเริ่มต้น และสุดท้าย (h_1,h_2)
- ความยาวของส่วนต่างๆที่มีความลึกต่างกัน (L_1,L_2,L_3)
- ความหนาของสันเกลียว (e)
- ระยะพิตช์ (t)
- มุมของเกลียว (φ) แสดงดังรูปที่ 2.6

ข้อกำหนดเกี่ยวกับเส้นผ่านศูนย์กลาง และอัตราส่วน L/D เป็นค่าสำหรับการพิจารณากำลังความสามารถของเครื่องอัดรีดขึ้นรูป ในระยะหลังได้มีการแนะนำให้ใช้ค่าโมเมนต์บิด (Torque) แทนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในการสร้างเครื่องอัดรีดขึ้นรูป ซึ่งจะสามารถจำแนกเครื่องออกได้ตามกำลังความสามารถได้แน่นอนยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ขนาดต่างๆของเกลียวหนอน [2]

ความลึกของฟันเกลียว h_1 และ h_2 จะเป็นตัวกำหนดอัตราส่วนการอัดของสกรูตัวหนึ่งๆ และมีความจำเป็นสำหรับการอัดพลาสติกในช่วงที่จะเข้าไปในเขตการหลอมเหลว ขนาดของระยะพิตช์ t และความหนาของเกลียว e จะทำให้เหมาะกับขนาดของสกรูโดยปกติจะให้ $t = D$ และ $e = 0.1D$ [2]

2.3.2 กระบอกหลอม (Barrel)

กระบอกจะเป็นชิ้นเดียวประกอบอยู่กับระบบเฟืองขับ ตอนท้ายจะมีช่องทางนำพลาสติกเข้าผ่านกรวยเติม (hopper) โดยปกติระหว่างสกรู และกระบอกจะมีช่องว่าง (clearance) อยู่ไม่เกิน 1/10 มิลลิเมตร โดยสกรูจะไม่สัมผัสกับกระบอกหลอม และสกรูจะลอยอยู่ในพลาสติกขณะทำการอัดหลอมพลาสติก ที่กระบอกและสกรูจะมีแรงกระทำ มีการเสียดสีให้สึกและมีการกัดกร่อน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกใช้เหล็กที่มีคุณภาพสูงทำสกรู และกระบอกซึ่งส่วนใหญ่จะนำมาชุบด้วยวิธีไนไตรดิ่ง (nitriding) สำหรับพลาสติกบางชนิดมีส่วนผสมของสินแร่ต่างๆ จำเป็นต้องบุผนังด้านในของกระบอกและที่เกลียวของสกรูเพื่อป้องกันการขีดข่วน และการสึกหรอด้วยการเชื่อมพวกโลหะแข็งเอาไว้

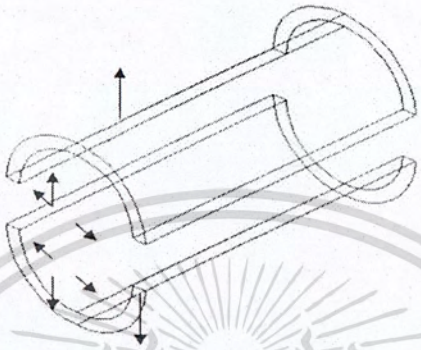
2.3.2.1 <u>วัสดุที่ใช้ทำกระบอก</u>

วัสดุที่ใช้ทำกระบอกต้องเป็นวัสดุที่ทนต่อการขัดสีและการกัดกร่อน และต้องทนต่อความดันสูงมากโดยความดันที่เกิดขึ้นในกระบอกจะประมาณ 70 MPa และอาจสูงถึง 210 MPa วัสดุที่นิยมใช้ทำกระบอกจะใช้โลหะสองชนิดด้านนอกจะเป็นอัลลอยด์ของอลูมิเนียม ส่วนด้านในเป็นชั้นบางทำจากวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อน และมีความแข็งสูง [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.2 <u>รูปทรงกระบอกภายใต้ภาชนะความดัน</u>

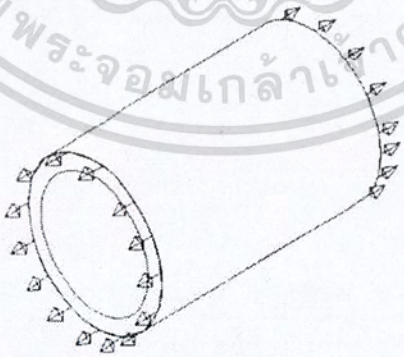
แรงที่เกิดขึ้นจากความดันของของไหลจะเท่ากับผลคูณความดันภายในกับพื้นที่ ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แรงที่กระทำกับภาชนะความดัน [4]

Stress ในความยาว σ_1

ถ้าปลายทั้งสองข้าง(หรือฝา) ปิดฝาอาจจะเป็นรูปแบน นูน หรือครึ่งทรงกลมก็ได้ ความดันที่กดที่ฝาปิดนี้ทำให้รูปทรงกระบอกยืดออกได้ตามความยาวและทำให้เกิด Stress ในผนังของ cylinder ซึ่งมีทิศในแนวความยาว และเป็น tensile Stress แต่มีชื่อพิเศษ เรียกว่า longitudinal Stress σ_1 ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แรงที่ทำให้ภาชนะความดันยืดออกตามแนวแกน [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.3 <u>การหาค่า σ</u>

การหาค่า σ_1

แรงตามแนวยาวที่เกิดจากความดันภายใน = ความดัน × พื้นที่ของฝาปิด

$$= P \times \pi r^2 \quad (2.1)$$

แรงในเนื้อวัสดุที่ทำให้เกิด Stress

Stress σ_1 = Stress × พื้นที่ของเนื้อวัสดุตั้งฉากกับแนวแรง

$$= \sigma_1 \times 2\pi rt \quad (2.2)$$

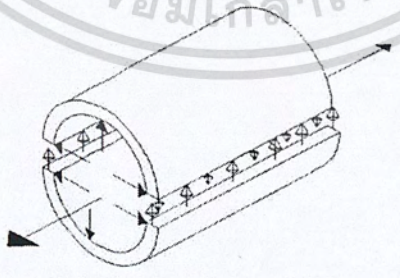
จากการสมดุลย์ ดังนั้น

$$\sigma_1 \times 2\pi rt = P \times \pi r^2$$

$$\sigma_1 = \frac{Pr}{2t} \quad (2.3)$$

Stress สัมผัสเส้นรอบวง σ_2

ความดันภายในที่ดันผิวโค้งด้านข้าง ดังรูปที่ 2.9 จะทำให้เส้นรอบวงยืดออก ดังนั้นจะมี Stress (tensile) อยู่ในทิศสัมผัสกับเส้นรอบวงเรียกว่า circumferential หรือ hoop Stress σ_2



รูปที่ 2.9 แรงที่ทำให้ภาชนะความดันยืดออกตามแนวรัศมี [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่า σ_2

แรงที่เกิดจาก pressure p บนผิวโค้ง = P × projected area ของผิวโค้ง (พื้นที่ส่วนแนวตัด)

= P × $2rl$ (2.4)

พื้นที่ของวัสดุต้านแรง = P × $l \times t$ (2.5)

แรงในเนื้อที่วัสดุที่ทำให้เกิด stress σ_2 = $\sigma_2 \times 2lt$ (2.6)

จากการสมดุลย์ ดังนั้น

$$\sigma_2 \times 2lt = P \times 2rl$$

$$\sigma_2 = \frac{Pr}{l} \quad (2.7)$$

2.3.3 กรวยเติมพลาสติก (Hopper)

กรวยเติมพลาสติกเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเติมพลาสติก ลักษณะผิวภายในของกรวยเติมพลาสติกจะมีความมัน เพื่อเป็นการลดแรงเสียดทาน และจะต้องมีความชันมากพอที่จะทำให้พลาสติกไหลลงไปในช่องว่างของสกรูได้

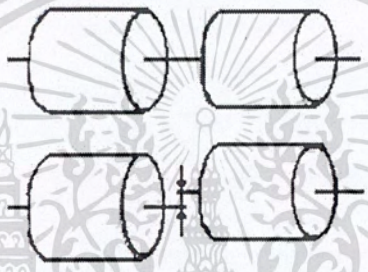
2.3.4 กำลังขับ

โดยปกติแล้วจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าที่มีขนาดเพียงพอที่จะส่งกำลังขับพลาสติกที่เหลวเหนียว ทั้งนี้แล้วแต่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกรู และเนื่องจากเครื่องอัดรีดขึ้นรูปจะต้องใช้ทำงานกับพลาสติกต่างชนิดกัน ซึ่งจะต้องใช้สกรูหมุนด้วยความเร็วต่างกัน จึงเป็นการดีถ้าใช้มอเตอร์ที่สามารถปรับความเร็วได้ทุกขั้น ในที่นี้ส่วนใหญ่จะใช้ commutator motor และ DC-motor กับเครื่องอัดรีดขึ้นรูปกันมาก แต่สำหรับเครื่องอัดรีดขึ้นรูปขนาดเล็กที่จะใช้เฟืองทดเปลี่ยนแปลงความเร็ว ซึ่งก็จะสามารถใช้มอเตอร์กระแสสลับได้ บางครั้งมีการใช้ไฮดรอลิกมอเตอร์ ซึ่งจะพิจารณาใช้เมื่อจะต้องมีการใช้ระบบไฮดรอลิกในการขับเคลื่อนระบบอื่นควบคู่ไปด้วยและเมื่อโมเมนต์บิดไม่มากจนเกินไป ที่มอเตอร์จะต้องมีระบบเฟืองทดให้มีความเร็วรอบต่ำลง โดยความเร็วของสกรูจะอยู่ระหว่าง 25 ถึง 200 รอบต่อนาที [2]

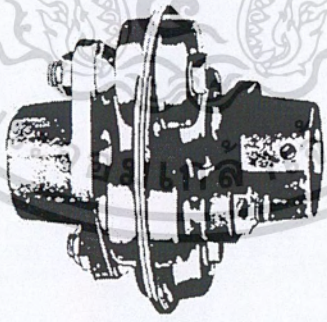
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 คัปปลิง

การต่อเพลาเข้าด้วยกันทำได้หลายวิธี วิธีหนึ่งที่ทำได้คือการใช้คัปปลิง (coupling) ทั้งนี้เนื่องมาจากเหตุที่ว่าเพลาที่ใช้งานมีขนาดยาวมาก จึงต้องต่อกันโดยใช้คัปปลิงหรืออาจใช้ต่อจากเพลาของเครื่องต้นกำลังมาขับชิ้นส่วนอื่นก็ได้ เช่น คัปปลิงแบบอ่อนตัว (flexible coupling) ใช้ต่อเพลาที่เยื้องแนวตรงกันหรือแนวเพลาตรงกันในลักษณะต่างๆ ดังรูปที่ 2.10 และช่วยลดผลของการกระตุกและการกระแทกจากแรงภายนอกที่ส่งผ่านเพลา โดยคัปปลิงที่เลือกใช้นั้นเป็นแบบคัปปลิงรับแรงเฉือน [4] ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.10 ลักษณะการเยื้องแนวของเพลา [4]



รูปที่ 2.11 คัปปลิงแบบรับแรงเฉือน [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6 สายพาน

2.3.6.1 <u>ทฤษฎีเกี่ยวกับสายพาน</u>

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

2.3.6.2 <u>ขนาดสายพานและล้อสายพานลิ่ม</u>

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

การทำให้เกิดแรงดึงชั้นต้น จะช่วยทำให้การขับด้วยสายพานมีประสิทธิภาพดี และยืดอายุการใช้งานของสายพาน ถ้าออกแรงดึงชั้นต้นไม่เพียงพอจะทำให้ส่งกำลังได้น้อยลง ประสิทธิภาพต่ำลง ทำให้สายพานมีอายุการใช้งานลดลง เนื่องจากสลิป แต่ถ้าออกแรงดึงชั้นต้นมากเกินไป จะทำให้ขอบสายพานยืดตัวมากเกินไป เกิดความเค้นในสายพานมาก แบริ่งที่รองรับสายพานจะรับแรงมากเกินไป ด้วยเหตุนี้จึงต้องออกแรงดึงชั้นต้นให้เหมาะสมกับแรงภายนอกที่กระทำกับสายพานลิ่มส่วนโค้งสัมผัส [4]

2.3.6.3 <u>การคำนวณหาขนาดสายพานลิ่ม</u>

การเลือกขนาดของสายพานลิ่มจะแตกต่างไปจากสายพานแบนเล็กน้อย คือ จะใช้วิธีคำนวณหาจำนวนเส้นของสายพานที่ต้องการใช้งานจากกำลังงานที่ต้องการขับและตัวที่จะใช้ประกอบที่ใช้แก้ไขต่าง ๆ จำนวนเส้นของสายพานลิ่มหาได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z = \frac{W_p \cdot N_s}{P_r \cdot N_a \cdot N_1} \quad (2.8)$$

เมื่อ Z = จำนวนเส้นของสายพานลิ่ม

W_P = กำลังงานที่ต้องการส่ง

N_S = ตัวประกอบใช้งานหาค่าได้จากตาราง

N_a = ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส

N_1 = ตัวประกอบแก้ไขความยาวสายพาน

P_R = กำลังที่สายพานลิ่มหนึ่งเส้นส่งได้

$$Z = \frac{P \cdot N_s}{P_R \cdot N_a \cdot N_l} \quad (2.9)$$

เมื่อ Z = จำนวนเส้นของสายพานลิ่ม (เส้น)

P = กำลังงานที่ต้องการส่งของสายพานลิ่ม (วัตต์)

Ns = ตัวประกอบใช้งานของสายพานลิ่ม

Na = ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัสของสายพาน

Nl = ตัวประกอบแก้ไขความยาวสายพานลิ่ม

P_R = กำลังงานที่สายพานลิ่มเส้นหนึ่งส่งได้ (วัตต์)

2.3.7 การให้ความร้อนและหล่อเย็น

การควบคุมความร้อนจะต้องมีฮีตเตอร์ไฟฟ้าหุ้มอยู่รอบๆกระบอกสกรูที่จุดต่างๆและสามารถปรับตั้งอุณหภูมิให้คงที่ได้ และบริเวณใกล้กับกรวยเติมพลาสติกจะต้องหล่อเย็นเพื่อให้สามารถส่งพลาสติกเข้าได้ง่าย

สำหรับพลาสติกที่มีช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวแคบเป็นการยากลำบากที่จะทำการลดอุณหภูมิภายในกระบอกได้ทันท่วงที ดังนั้นในช่วงที่มีฮีตเตอร์จะมีการหล่อเย็นควบคู่กันไว้ด้วย โดยอาจจะเป็นการหล่อเย็นด้วยพัดลมหรือน้ำโดยผ่านท่อทองแดงที่พันอยู่รอบๆกระบอก รวมทั้งการหล่อเย็นในแกนสกรูโดยตรงก็มีแนวโน้มที่จะมีการนำมาใช้งานในกระบวนการอัดรีดขึ้นรูปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.8 แม่พิมพ์พลาสติก (Die)

แม่พิมพ์ที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์พลาสติก ซึ่งการที่จะสร้างแม่พิมพ์ชนิดใดจะขึ้นอยู่กับรูปร่างลักษณะของผลิตภัณฑ์ ชนิดพลาสติกและความสะดวกรวดเร็วในการผลิต

2.3.8.1 ประเภทแม่พิมพ์พลาสติก

1. แม่พิมพ์ฉีด (Injection moulding) เป็นกรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันเพราะสามารถผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ดีและมีหลายลักษณะงาน เช่น ชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ชิ้นส่วนยานยนต์
2. แม่พิมพ์อัดและอัดฉีด (Compression and Transfer moulding) แม่พิมพ์อัดเป็นการผลิตชิ้นงานโดยใช้พลาสติกชนิดเทอร์โมเซตติ้งลงในแม่พิมพ์แล้วทำการปิดแม่พิมพ์โดยใช้ความดันสูงพร้อมกับให้ความร้อนทำให้พลาสติกหลอมละลายเข้าแทรกยังโพรง
3. แม่พิมพ์เป่า (Blow moulding) เป็นแม่พิมพ์ที่ใช้ในการผลิตภาชนะกลวงโดยการทำให้พลาสติกเป็นสายท่อหรือหลอดแก้ว (Parison) แล้วใช้ลมเป่าให้เกิดรูปร่างตามแม่พิมพ์ แล้วจึงทำการปลดชิ้นงาน
4. แม่พิมพ์งานรีด (Extrusion) เพื่อผลิตชิ้นงานรูปพรรณต่างๆทั้งกลวงและตันยาวต่อเนื่องไม่รู้จบ เช่น ท่อสายยาง กรอบประตู หน้าต่าง เป็นต้น
5. แม่พิมพ์งานเทอร์โมฟอร์มมิ่ง (Thermoforming) ใช้ในการผลิตชิ้นงานพลาสติกด้วยวิธีนำพลาสติกแผ่นบางมาอบให้ความร้อน จากนั้นจะใช้สุญญากาศดูดแผ่นพลาสติกให้ยุบลงมาจนมีรูปร่างตามแม่พิมพ์

2.3.8.2 วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์

วัสดุที่ใช้ในการผลิตแม่พิมพ์และเครื่องมือสำหรับงานแม่พิมพ์คือเหล็ก โดยเหล็กที่ใช้ในการทำแม่พิมพ์จะอยู่ในกลุ่มของเหล็กกล้าเครื่องมือ ซึ่งเหล็กกล้าเครื่องมือจัดเป็นเหล็กกล้าที่มีคาร์บอนและธาตุผสมอื่นๆในปริมาณสูง เพื่อให้มีความสามารถในการชุบแข็งสูงเหมาะสำหรับการปรับปรุงคุณสมบัติด้านทานการสึกหรอ คุณสมบัติที่สำคัญของเหล็กกล้าเครื่องมือ ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ความสามารถในการชุบแข็ง (Harden ability) คือคุณสมบัติที่เหล็กกล้าที่บ่งถึงความยากง่ายในการชุบแข็งและความลึกของเหล็กที่แข็งขึ้นจากการชุบแข็ง คุณสมบัตินี้จะขึ้นอยู่กับส่วนผสมทางเคมีและขนาดของเกรนของเหล็กกล้า โดยเหล็กกล้าที่มีความสามารถในการชุบแข็งสูง จะสามารถทำการชุบแข็งได้ง่ายด้วยลม แต่ถ้าเหล็กกล้าที่มีความสามารถในการชุบแข็งต่ำ การชุบแข็งด้วยลมจะไม่สามารถทำให้ได้เฟสมาร์เทนไซต์ จึงอาจต้องทำการชุบแข็งด้วยน้ำหรือของเหลวอื่น ซึ่งจะมีผลต่อการบิดตัวของชิ้นงานที่ทำการชุบ คุณสมบัตินี้เพิ่มขึ้นตามปริมาณธาตุผสม ดังนั้นการทำให้ได้ชิ้นงานที่มีความแข็งสูงตลอดชิ้น หรือสามารถชุบแข็งได้ลึก จึงควรเลือกใช้เหล็กกล้าที่มีธาตุผสมสูง โดยโคบอลต์เป็นเพียงธาตุเดียวที่ลดคุณสมบัตินี้

2. ความเหนียว (Toughness) คือ ความสามารถในการรับพลังงานของวัสดุก่อนที่จะเกิดการแตกหัก เหล็กกล้าเครื่องมือที่ถือว่ามีคุณสมบัติด้านความเหนียวที่ดี คือ กลุ่มที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำ หรือปานกลาง คุณสมบัตินี้จำเป็นสำหรับการใช้งานในสภาวะที่ต้องรับแรงกระแทก
3. ความทนต่อการเสียดสี (Wear resistance) คือ ความสามารถทนต่อการถูกขัดสี ซึ่งรวมถึงการเสียดสีของคมตัดด้วย คุณสมบัตินี้จะเกี่ยวข้องกับความแข็งของเหล็ก และปริมาณคาร์ไบด์ที่ไม่ละลาย (คาร์ไบด์ที่ไม่สลายตัว เมื่อมีการใช้งานในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง) โดยหากเหล็กกล้าเครื่องมือมีความแข็งสูงก็จะทนการเสียดสีได้ดี หรือหากมีคาร์ไบด์ที่ไม่ละลาย (แม้อุณหภูมิสูง) ก็จะทำให้ทนการเสียดสีได้ดีขึ้นเช่นกัน เนื่องจากคาร์ไบด์จะมีความแข็งสูง
4. การรักษาความแข็งไว้ได้ที่อุณหภูมิสูง (Red-hardness) เป็นคุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับการใช้งานเหล็กกล้าเครื่องมือที่ต้องได้รับความร้อนจนมีอุณหภูมิสูงกว่า 480 °C โดยธาตุผสมที่ทำให้เกิดคาร์ไบด์ที่เสถียรจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัตินี้ ซึ่งจะทำให้เหล็กกล้าเครื่องมือไม่อ่อนลง (ความแข็งลดลง) อันเนื่องมาจากผลของความร้อนในขณะใช้งานที่อุณหภูมิสูง หรือในขณะทำการอบคืนตัว (Tempering)
5. ความสามารถในการตัดเฉือน (Machinability) คือ ความสามารถของโลหะที่ถูกตัดเฉือน ตกแต่งได้ง่าย และมีผิวที่เรียบภายหลังการตัดเฉือน
6. ความต้านทานการสูญเสียคาร์บอน (Resistance to decarburization) การสูญเสียคาร์บอนซึ่งจะเกิดเมื่ออบเหล็กที่อุณหภูมิสูงกว่า 700 °C (1300°F) เป็นผลให้ความแข็งที่ได้ภายหลังการชุบแข็ง ต่ำลง เหล็กกล้าเครื่องมือที่มีคุณสมบัตินี้ต่ำจะต้องมีวิธีป้องกัน/ควบคุมบรรยากาศในการอบชุบความร้อนเพื่อไม่ให้ชิ้นงานสูญเสียคาร์บอนโดยเฉพาะที่ผิว สำหรับเหล็กกล้าเครื่องมือที่มีคาร์บอนเป็นส่วนผสมหลักจะสามารถต้านทานการสูญเสียคาร์บอนได้ดี
7. การไม่เปลี่ยนรูปร่างหรือขนาด (Non deformation properties) คุณสมบัตินี้สัมพันธ์กับความสามารถในการชุบแข็ง โดยทั่วไปเหล็กกล้าที่สามารถชุบแข็งได้ด้วยลมจะมีการบิดตัวน้อยที่สุด เหล็กกล้าที่ทำการชุบแข็งด้วยน้ำมันทำให้เกิดการบิดตัวปานกลาง และเหล็กกล้าที่ทำการชุบแข็งด้วยน้ำทำให้เกิดการบิดตัวสูงที่สุด ดังนั้นในการออกแบบเลือกเหล็กกล้าเครื่องมือจะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติด้านนี้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เหล็กกล้าเครื่องมือที่นำมาใช้ในการผลิตแม่พิมพ์และเครื่องมือนั้นสามารถแบ่งออกได้ตามลักษณะการใช้งานได้ 6 ประเภท

1. เหล็กกล้าเครื่องมือชุบแข็งด้วยน้ำ เป็นเหล็กกล้าคาร์บอน (Plain carbon) ที่ผสมคาร์บอน ตั้งแต่ 0.60-1.40% ดังนั้น คุณสมบัติด้านการชุบแข็ง หรือความลึกของผิวชุบแข็งจึงต่ำ และจำเป็นต้องชุบแข็งด้วยน้ำ ในบางเกรดอาจมีการผสมโครเมียมหรือวานาเดียมลงไปเล็กน้อยเพื่อเพิ่มความสามารถในการชุบแข็ง และทนต่อการเสียดสี เหล็กกล้ากลุ่มนี้จะมีราคาถูกกว่ากลุ่มอื่น และมีจุดเด่น คือ สามารถกลึงไสเพื่อตกแต่งชิ้นงานได้ง่าย สูญเสียคาร์บอนที่ผิวยาก จุดด้อยของเหล็กกลุ่มนี้ คือ การชุบแข็งด้วยน้ำอาจมีผลทำให้ชิ้นงานบิดเบี้ยวได้ง่าย และไม่สามารถทนต่อความร้อนได้ จึงไม่สามารถใช้สำหรับงานตัดที่รุนแรงหรือใช้งานซ้ำๆ กันจนเกิดความร้อนได้ ดังนั้นโดยทั่วไปจึงไม่นิยมใช้งานกัน อาจมีการใช้งานบ้างสำหรับทำเครื่องมือตัดที่ใช้ความเร็วต่ำและตัดด้วยแรงเบาๆ เช่น ไม้ อะลูมิเนียม แม่พิมพ์สำหรับทุบขึ้นรูปเย็น (Cold heading) เป็นต้น ตัวอย่างการใช้งานของเหล็กกลุ่มนี้ เช่น W1 W2 และ W5

2. เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น (Cold work tool steels) เป็นกลุ่มที่ใช้ผลิตเครื่องมือสำหรับนำไปใช้ในงานแปรรูปโลหะที่ไม่ได้ให้ความร้อนก่อนการแปรรูป เช่น แม่พิมพ์ตัดแผ่นโลหะเย็น ใบมีดตัดกระดาษ คัดเตอร์ เป็นต้น คุณสมบัติสำคัญที่ต้องการสำหรับเหล็กกล้าเครื่องมือกลุ่มนี้ คือ ความสามารถในการกลึงไสดี เปลี่ยนแปลงขนาดน้อยหลังการชุบแข็ง (เนื่องจากการชุบแข็งจะทำโดยการชุบน้ำมันหรือให้เย็นตัวในอากาศ) ต้านทานการสึกหรอสูง และมีความเหนียวทนแรงอัดกระแทกได้ดี เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น

3. เหล็กกล้าเครื่องมือทนต่อแรงกระแทก (Shock resisting tool steels) เป็นเหล็กกล้าเครื่องมือ ที่พัฒนาให้มีความเหนียว ความแข็งแรง และความต้านทานการสึกหรอสูง เพื่อใช้สำหรับงานที่ต้องรับแรงกระแทกซ้ำๆกัน เช่น สิ่ว (Chisel) หัวกด (Punch) และแม่พิมพ์โลหะ (die) เป็นต้น โดยความเหนียวสูงเป็นผลจากปริมาณคาร์บอนในระดับปานกลาง และทำให้ภายหลังการอบความร้อนที่เป็นโครงสร้างมาร์เทนไซต์ และมีคาร์ไบด์ละเอียดที่กระจัดกระจาย นอกจากนี้ธาตุแมงกานีส โครเมียม โมลิบดินั่ม จะช่วยเพิ่มความสามารถในการชุบแข็ง และช่วยให้คงความแข็งไว้ได้ดีในขณะอบคืนตัว (Tempering) ซิลิกอนจะเพิ่มความแข็งให้กับเฟอไรท์ และช่วยให้คงความแข็งไว้ได้ดีในขณะอบคืนตัวด้วย แต่ข้อเสียของเหล็กกล้าเครื่องมือกลุ่มนี้เป็นผลจากปริมาณซิลิกอน ซึ่งจะเร่งให้เกิดการสูญเสียคาร์บอนที่ผิวได้ง่าย ทำให้ความต้านทานต่อการสึกหรอ และความต้านทานต่อความล้าต่ำลง ดังนั้นในการอบชุบความร้อนจะต้องระวังเรื่องนี้ให้มาก เกรดที่นิยมใช้งาน เช่น S1 S2 S5 และ S7 โดย S1 เป็นเกรดที่นิยมใช้งานมาก เพราะจะมีส่วนผสมของทังสเตนด้วย ซึ่งจะเพิ่มคุณสมบัติด้านทานการสึกหรอ เพิ่มความเหนียว และเพิ่มความสามารถในการรักษาความแข็งไว้ได้ที่อุณหภูมิสูงให้ดีกว่าเกรด S อื่นๆ จึงสามารถใช้ในงานที่ต้องทนต่อความร้อนได้ การใช้งาน เช่น สิ่ว ใบมีดตัด แม่พิมพ์ขึ้นรูป ดอกเจาะหิน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
119347

4. เหล็กกล้าเครื่องมืองานร้อน (Hot work tool steels) ในงานบางประเภทที่ต้องใช้อาศัยอุณหภูมิสูงในการแปรรูป เช่น งานตีขึ้นรูปร้อน (Hot forging) งานฉีดหล่อ (Die casting) งานรีดร้อน (Hot extrusion) งานตัดร้อน (Hot shear blade) งานอัดร้อน (Hot press) สิ่งสำคัญ คือ เหล็กกล้าเครื่องมือจะต้องรักษาคุณสมบัติความแข็งที่อุณหภูมิสูงได้ดี (Red hardness) ต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Thermal shock) ต้านทานต่อการอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูง และมีความเหนียวที่ดี ธาตุผสมที่จะทำให้ได้คุณสมบัติเหล่านี้ ได้แก่ โครเมียม โมลิบดินั่ม และทังสเตน ซึ่งผลรวมของธาตุเหล่านี้จะต้องมีปริมาณอย่างน้อย 5% เหล็กกล้าเครื่องมืองานร้อนที่มีการใช้งาน

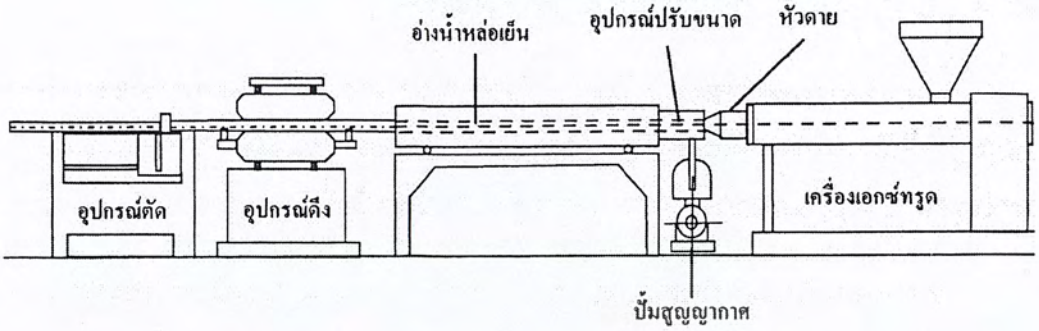
5. เหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูง (High speed tool steels) เป็นเหล็กกล้าเครื่องมือที่มีจุดมุ่งหมายหลัก สำหรับใช้เป็นวัสดุในการตัดโลหะด้วยความเร็วสูง เช่น ใบเลื่อย (Saws) ใบตัด (Milling cutters) เป็นต้น คุณสมบัติสำคัญของเหล็กกล้ากลุ่มนี้ คือ ความสามารถในการรักษาความแข็งของคมตัดที่อุณหภูมิสูงกว่าปกติไว้ได้ (ความแข็งของคมตัดยังคงสภาพเดิม แม้จะเกิดความร้อนจนร้อนจัดเป็นสีแดง) ซึ่งเหล็กกล้าเครื่องมืองานร้อนจะรักษาความแข็งไว้ไม่ได้

6. เหล็กกล้าเครื่องมือสำหรับทำแม่พิมพ์พลาสติก (Plastic mold steels) เหล็กกล้าเครื่องมือกลุ่มนี้ส่วนใหญ่จะใช้งานที่ช่วงอุณหภูมิ 175-200°C ภายใต้ความดันสูง มีการกัดกร่อนจากสารเคมี และต้องรับแรงเสียดสีกับผงพลาสติกด้วย ดังนั้นคุณสมบัติสำคัญจะต่างไปจากเหล็กกล้าเครื่องมือกลุ่มอื่น โดยมีปัจจัยที่ต้องพิจารณาถึงได้แก่ ความสามารถในการกลึงไส ความต้านทานแรงอัด ความแข็งที่ผิวสูง ความแข็งแรงที่แกนสูง ความแน่นอนของขนาดภายหลังการชุบแข็ง ความสามารถในการขัดผิวให้เรียบ ความต้านทานการกัดกร่อนที่ผิว ซึ่งจากคุณสมบัติข้างต้นหากนำเหล็กกล้าเครื่องมือกลุ่มทำงานเย็นหรือทำงานร้อนมาใช้ก็อาจจะไม่ได้ผลดีเท่ากับการใช้งานเหล็กกล้าที่ใช้งานเฉพาะสำหรับกลุ่มนี้เท่านั้น อย่างไรก็ตาม เหล็กกล้ากลุ่มนี้สามารถใช้ผลิตแม่พิมพ์งานหล่อแบบฉีดสำหรับโลหะผสมที่มีอุณหภูมิจุดหลอมเหลวต่ำ เช่น สังกะสี และตะกั่วได้เช่นกัน [5]

2.4 อุปกรณ์ประกอบหลังการอัดรีดขึ้นรูป

หลังจากที่พลาสติกหลอมไหลผ่านแม่พิมพ์ เกิดรูปร่างตามที่ต้องการแล้ว มีความจำเป็นที่จะต้องรักษารูปทรงนั้นไว้จนกว่าพลาสติกหลอมจะแข็งตัว แล้วดึงเอาชิ้นงานที่ผลิตได้อย่างต่อเนื่อง ทำการตัดให้มีความยาวตามต้องการ หรือทำการม้วนพับเพื่อเก็บ ตัวอย่างลักษณะของอุปกรณ์ประกอบหลังการอัดรีดขึ้นรูปท่อหรือโพรไฟล์พลาสติก [3] แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 อุปกรณ์ประกอบของการอัดรีดขึ้นรูปท่อและโพรไฟล์ [3]

2.4.1 อุปกรณ์ปรับขนาด (Calibrator หรือ Sizing Systems)

หน้าที่ของหน่วยปรับขนาด คือ ทำให้ลักษณะรูปร่างและพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานเป็นไปตามที่ต้องการ โดยทำให้เกิดการแข็งตัวของพลาสติกหลอม จากการสัมผัสของหัวดายของหน่วยปรับขนาดเพื่อให้ชิ้นงานมีความหนามากพอที่จะส่งไปยังหน่วยดึง (take-off หรือ haul-off unit) ได้ อุปกรณ์ปรับขนาดสำหรับการอัดรีดขึ้นรูปท่อและโพรไฟล์พลาสติกมีหลายชนิดดังแสดงตัวอย่างดังต่อไปนี้

2.4.1.1 <u>อุปกรณ์ปรับขนาดแบบใช้แรงเสียดทาน (Friction Calibrator)</u>

การดึงชิ้นงานผ่านแผ่นเหล็กเย็นสองแผ่นประกบกัน ซึ่งภายในเหล็กแผ่นจะฝังระบบท่อน้ำหล่อเย็นในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการดึงชิ้นงาน ด้านในของแผ่นเหล็กมักจะเคลือบด้วยชั้นของเทปลอน (PTFE) เพื่อลดแรงเสียดทาน

2.4.1.2 <u>อุปกรณ์ปรับขนาดภายนอกใช้ลมเป่า (External Calibrator with Compressed Air)</u>

ใช้สำหรับการปรับขนาดการผลิตท่อเท่านั้น ในการปรับขนาดแบบนี้จะใช้ลมที่มีแรงดันประมาณ 0.2 ถึง 1 บาร์ เป่าผ่านแกน (mandrel) เข้าไปในท่ออ้อนเพื่อให้ผนังด้านนอกของท่อกระทบกับดายหรือปลอก (sleeve) ของเครื่องปรับขนาดซึ่งหล่อเย็นด้วยระบบน้ำหมุนเวียนการเป่าลมจะต้องให้ปลายของท่อปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.3 อุปกรณ์ปรับขนาดภายนอกใช้สุญญากาศ (External Calibrator with Vacuum)

ในอุปกรณ์แบบนี้การปรับขนาดและการหล่อเย็นของชิ้นงานพลาสติกทำได้โดยการใช้แรงดันสุญญากาศ เพื่อดูดให้ชิ้นงานพลาสติกสัมผัสกับดายของอุปกรณ์ปรับขนาดโดยใช้แรงดันสุญญากาศผ่านรูเล็กๆ รอบผนังของดายของเครื่องปรับขนาด ข้อดีของเทคนิคนี้ คือไม่ต้องใช้ปลั๊กอุดภายในท่อเพียงแค่ใช้แรงดันสุญญากาศที่สม่ำเสมอที่ด้านนอกท่อ และให้ภายในท่อมีความดันบรรยากาศเทคนิคการปรับขนาดแบบนี้ใช้กับการผลิตโพรไฟล์กลวงและท่อ

2.4.1.4 อุปกรณ์ปรับขนาดภายใน (Internal Calibrator)

ใช้สำหรับการปรับขนาดภายในของชิ้นงานพลาสติกกลวง ซึ่งมักจะใช้กับการผลิตท่อบางชนิด เช่น ท่อลมที่ใช้กับระบบสายพานลำเลียง ซึ่งต้องการเส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่แน่นอนมาก โดยแกนของอุปกรณ์ปรับขนาดจะต่อกับส่วนแกนของดายของเครื่องอัดรีดขึ้นรูป ซึ่งทำให้พลาสติกหลอมแข็งตัวได้ทันทีที่กระทบกับอุปกรณ์ปรับขนาดที่หล่อเย็น

2.4.2 อ่างหล่อเย็น (Water Bath)

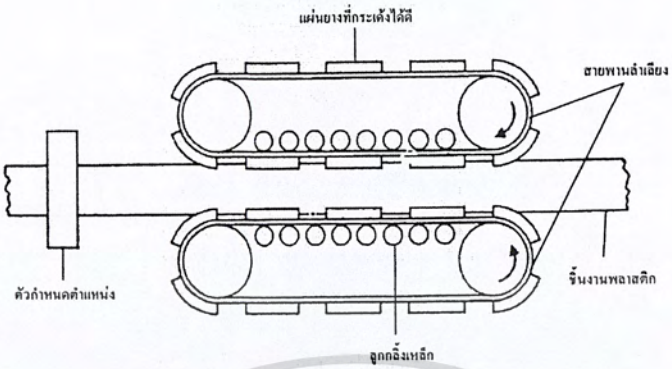
พลาสติกหลอมจะถูกหล่อเย็นรอบแรกในตัวปรับขนาด ซึ่งชิ้นงานที่ได้ยังคงร้อนและการคงของรูปร่างยังไม่ดีพอ จึงจำเป็นต้องมีส่วนหล่อเย็นเพิ่มเติมเพื่อให้ชิ้นงานพลาสติกเย็นตัวลงจนใกล้อุณหภูมิห้อง โดยทั่วไปจะใช้น้ำใส่ในอ่างที่มีความยาวเหมาะสมเป็นตัวหล่อเย็นแต่ก็อาจมีการใช้แก๊สเย็นในการหล่อเย็น ในบางเทคนิค ชิ้นงานที่มีความหนามากจำเป็นต้องพิถีพิถันในการหล่อเย็น แต่ชิ้นงานที่บางๆเช่น ฟิล์มพลาสติกใช้เพียงแค่ลมเป่าก็สามารถหล่อเย็นได้

2.4.3 อุปกรณ์ดึงชิ้นงาน (Take-off Haul-off Unit)

หลังจากการผ่านอ่างน้ำหล่อเย็นแล้ว ชิ้นงานพลาสติกจะผ่านช่องว่างของอุปกรณ์ดึงชิ้นงาน โดยใช้แรงบีบกดในระดับที่พอดีคือไม่มากจนทำลายผิวของชิ้นงาน แต่ต้องมีแรงบีบที่มากพอที่จะสามารถดึงชิ้นงานให้เคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องได้ โดยความเร็วของการดึงจะเท่ากับอัตราการอัดรีดขึ้นรูป

ในการอัดรีดขึ้นรูปท่อและโพรไฟล์พลาสติก นิยมใช้อุปกรณ์ดึงชิ้นงานแบบตีนตะขาบ (caterpillar haul-off unit) แสดงลักษณะดังในรูปที่ 2.13 ซึ่งประกอบด้วย สายพานลำเลียงสองชุด ซึ่งแต่ละชุดพันรอบลูกกลิ้งเหล็กสองตัวที่ปรับอัตราเร็วของการหมุนได้ สายพานทั้งสองชุดสามารถปรับช่องว่างระหว่างกันได้เพื่อบีบหรือคลายการจับชิ้นงาน ส่วนบนของสายพานลำเลียงจะมีแผ่นยางยึดติดเป็นช่วงๆเพื่อความสะดวกในการจับชิ้นงาน เพื่อไม่ให้ชิ้นงานมีรอบตำหนิและรอยแตกเนื่องจากแรงกดของสายพานลำเลียง นอกจากอุปกรณ์ดึงชิ้นงานชนิดนี้แล้วอาจจะใช้อุปกรณ์การดึงชนิดอื่นๆ เช่น ระบบรถเข็นดึง (trolley-type haul-off unit) เป็นต้น

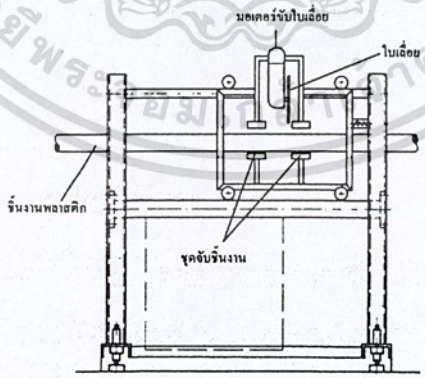
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 อุปกรณ์ดึงชิ้นงานแบบตีนตะขาบ (caterpillar haul-off unit) [3]

2.4.4 อุปกรณ์ตัดและเครื่องม้วนชิ้นงานพลาสติก

หลังจากดึงชิ้นงานพลาสติกผ่านหน่วยดึง ถ้าเป็นชิ้นงานที่ยืดหยุ่น เช่น แผ่นและฟิล์มพลาสติก สายไฟ ท่อพอลิเอธิลีนขนาดเล็กและกลาง จะเก็บชิ้นงานพลาสติกโดนม้วนชิ้นงานเป็นม้วนเนื่องจากประหยัดเนื้อที่ การม้วนโดยทั่วไปจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขับวงล้อให้หมุนในอัตราเดียวกับการดึง สำหรับชิ้นพลาสติกที่แข็งจำเป็นต้องตัดชิ้นงานพลาสติกให้มีขนาดที่เหมาะสมก่อนนำไปเก็บ อุปกรณ์ที่ใช้ในการตัดโดยทั่วไปจะเป็น ใบมีด ใบเลื่อย หรือกรรไกรตัด การตัดและเก็บชิ้นงานในกระบวนการอัดรีดขึ้นรูปมักจะกระทำโดยอัตโนมัติ ตัวอย่างของเครื่องตัดแสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 เครื่องตัดพลาสติกโดยใช้ใบเลื่อย [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การให้ความร้อนและการควบคุมอุณหภูมิของการหลอมพลาสติก

การให้ความร้อนในเครื่องอัดรีดขึ้นรูปนั้นจะใช้ไฟฟ้าเกือบทั้งหมด ส่วนการให้ความร้อนแบบอื่นๆ เช่น ใช้ Induction ไอน้ำ ก๊าซร้อน หรือน้ำมันร้อนนั้นมีใช้น้อยมากทั้งนี้เพราะควบคุมอุณหภูมิได้ยาก

ความร้อนที่ออกจากลวดความร้อนไฟฟ้า สามารถจะส่งผ่านไปยังวัสดุที่ต้องการทำให้ร้อนได้ทุกชนิด ซึ่งอาจมีการสูญเสียความร้อนเกิดขึ้น ในลักษณะของการพาของอากาศและการแผ่รังสีความร้อนไปยังบรรยากาศ เพื่อให้อุณหภูมิคงที่ในช่วงที่ต้องการให้ความร้อนจะทำได้โดยการควบคุมอุณหภูมิที่ฮีตเตอร์ไฟฟ้าและจะต้องหาขนาดของฮีตเตอร์ให้เหมาะสมกับขนาดของเครื่องด้วย

2.5.1 ฮีตเตอร์ (Heater)

2.5.1.1 <u>หลักการฮีตเตอร์</u>

ฮีตเตอร์เป็นอุปกรณ์ทำความร้อนโดยมีหลักการพื้นฐานคือ เมื่อมีกระแสไหลผ่านลวดตัวนำที่มีค่าความต้านทานสูง ลวดตัวนำจะร้อน ดังนั้น ลวดที่ใช้ผลิตฮีตเตอร์จะต้องมีคุณสมบัติเหนียวและทนอุณหภูมิได้สูง สำหรับลวดฮีตเตอร์เป็นลวด Khantal (นิกเกิ้ล : โครเมียม / 80 : 20) ทนอุณหภูมิได้ถึง 1250°C ซึ่งประกอบด้วย ฉนวนแม็กนีเซี่ยมออกไซค์ (MgO) มีค่าความนำไฟฟ้าต่ำแต่นำความร้อนดี ทำหน้าที่กั้นกลางระหว่างลวดฮีตเตอร์กับปลอกโลหะ เพื่อป้องกันไม่ให้มีกระแสรั่ว (Leak Current) จากลวดฮีตเตอร์ออกไปยังผิวโลหะ [6]

2.5.1.2 <u>ชนิดของฮีตเตอร์ตามลักษณะการใช้งาน</u>

1. ฮีตเตอร์แท่ง (Cartridge Heater)
   ใช้ให้ความร้อนกับวัสดุที่เป็นของแข็ง เช่น เหล็ก และโลหะต่างๆ ตัวอย่างการใช้งาน เช่น งานบรรจุหีบห่อ งานขึ้นรูปพลาสติก
2. ฮีตเตอร์ครีบ และ ฮีตเตอร์ท่อกลม (Finned Heater/Tubular Heater)
   ใช้ให้ความร้อนกับอากาศ เช่น ใช้ในห้องอบแห้ง ในเตาอบ
3. ฮีตเตอร์จุ่ม (Immersion Heater)
   ใช้ให้ความร้อนกับของเหลวทุกชนิด ตัวอย่างการใช้งานเช่น งานต้มน้ำ - ต้มน้ำมัน งานผสมสาร
4. บอบบิ้นฮีตเตอร์ (Bobbin Heater)
   ใช้ให้ความร้อนของเหลวเหมือนฮีตเตอร์จุ่ม
5. ฮีตเตอร์อินฟราเรด (Infrared Heater)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ให้ความร้อนกับวัตถุโดยไม่ต้องสัมผัสโดยตรง ไม่เหมาะกับวัตถุที่มีลักษณะมันวาว เนื่องจากวัตถุมันวาวจะมีคุณสมบัติสะท้อนแสง ทำให้ไม่สามารถดูดซับแสงอินฟราเรดได้อย่างเต็มที่ ใช้ติดตั้งในเตาอบ หรือ เหนือคอนเวย์เยอร์ได้

6. ฮีตเตอร์รัดท่อ (Band Heater)

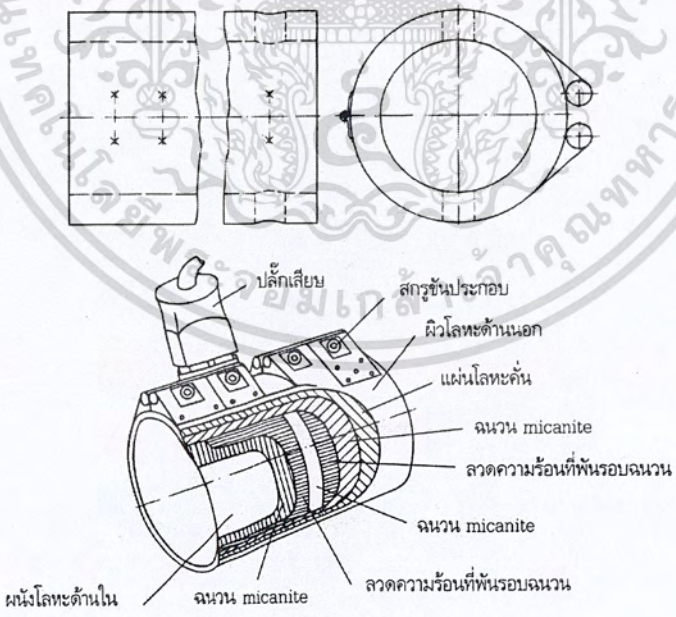
   ใช้ให้ความร้อนกับของเหลวที่อยู่ในท่อหรือถังรูปทรงกระบอกโดยรัดจากด้านนอก

7. ฮีตเตอร์แผ่น (Strip Heater)

   ใช้ให้ความร้อนโดยแนบกับวัตถุโดยตรงสามารถออกแบบให้เป็นรูปทรงใดก็ได้

2.5.1.3 <u>ลักษณะของฮีตเตอร์รัดท่อ</u>

ฮีตเตอร์มีลักษณะเป็นแผ่นม้วนกลม ประกอบด้วยผิวด้านในบุด้วยฉนวน ถัดเข้าไปจะมีลวดความร้อนที่พันอยู่รอบฉนวน และที่ผิวนอกจะหุ้มไว้ด้วยแผ่นโลหะที่มีสกรูสำหรับประกอบติดเอาไว้ ดังรูปที่ 2.15 และจะต้องให้ผิวกระบอกสะอาดปราศจากสิ่งอื่นมาคั่น ทั้งนี้เพื่อให้ความร้อนถ่ายเทไปยังกระบอกได้ดีที่สุด



รูปที่ 2.15 ฮีตเตอร์ไฟฟ้าสำหรับให้ความร้อนกับกระบอกหลอม [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1.4 <u>คำนวณปริมาณความร้อนทางไฟฟ้าของฮีตเตอร์</u>

สมการหาปริมาตรกระบอกหลอม

$$V = \pi(R^2 - r^2)l \quad (2.10)$$

เมื่อ V = ปริมาตรกระบอกหลอม (m^3)

R = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของกระบอกหลอม (m)

r = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของกระบอกหลอม (m)

l = ช่วงความยาวฮีตเตอร์ (m)

สมการหามวลของกระบอกหลอม

$$m = \rho \times V \quad (2.11)$$

เมื่อ m = มวล (kg)

ρ = ความหนาแน่น (kg/m^3)

V = ปริมาตร (m^3)

สมการหาปริมาณความร้อน

$$Q = mC_p\Delta T \quad (2.12)$$

เมื่อ Q = ปริมาณความร้อน (kJ)

m = มวลของกระบอกหลอม (kg)

C_p = ค่าความจุความร้อนของเหล็ก (kJ/kg°C)

ΔT = อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง

หาประสิทธิภาพทางไฟฟ้า

$$P \times \text{ประสิทธิภาพ} = \frac{Q}{t} \quad (2.13)$$

เมื่อ P = ปริมาณทางไฟฟ้า (Watt)

Q = ปริมาณความร้อน (kJ)

t = เวลาที่ให้ความร้อน (s)

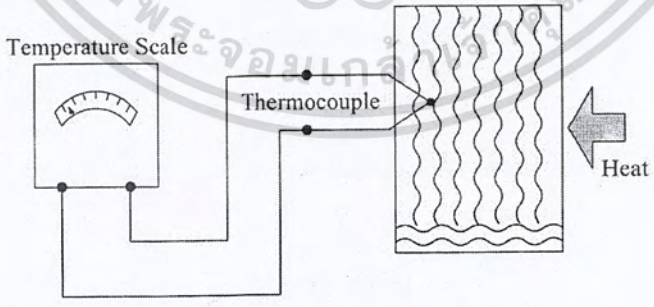
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

2.5.2.1 <u>หลักการเทอร์โมคัปเปิล</u>

เทอร์โมคัปเปิลจัดเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิชนิดที่ใช้หลักการเปลี่ยนแปลงลักษณะคุณสมบัติทางไฟฟ้า โดยเป็นอุปกรณ์ที่อยู่ในกลุ่มประเภท Active Transducer คือ สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้เองเมื่อมีการเปลี่ยนอุณหภูมิที่ต้องการตรวจวัดโดยไม่จำเป็นต้องกระตุ้นด้วยแหล่งจ่ายพลังงานจากภายนอก ดังนั้นจึงสามารถใช้ได้โดยตรงในเครื่องมือวัดและบันทึกอุณหภูมิ หรือเครื่องควบคุมต่างๆ เป็นต้น นอกจากนี้เทอร์โมคัปเปิลยังเป็นอุปกรณ์ที่มีความไวต่ออุณหภูมิมาก ซึ่งโครงสร้างภายในประกอบด้วยเส้นลวดโลหะต่างชนิดกันสองเส้นต่อเข้าด้วยกันที่ปลายข้างหนึ่งซึ่งใช้เป็นจุดวัดอุณหภูมิ ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งซึ่งใช้เป็นเอาต์พุตจะถูกนำไปต่อกับมิเตอร์หรือวงจรอื่นๆ ในขณะที่ปลายของเส้นลวดที่ต่อเข้าด้วยกันนี้เรียกว่า รอยต่อร้อน(Hit Junction) ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งจะเรียกว่า รอยต่อเย็น(Cold Junction) เมื่อนำเอาปลายด้านที่เป็นรอยต่อร้อนไปวัดอุณหภูมิ จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นที่จุดรอยต่อเย็นและแรงไฟฟ้าที่ได้จะแปรผันตรงกับค่าของอุณหภูมิที่ทำการวัด เนื่องจากคุณสมบัติในการแปลงพลังงานความร้อนไปเป็นพลังงานไฟฟ้า จึงสามารถจัดได้ว่าเทอร์โมคัปเปิล เป็น Thermoelectric Transducer ชนิดหนึ่ง โดยรูปที่ 2.16 แสดงให้เห็นถึงวงจรอย่างง่ายสำหรับใช้เทอร์โมคัปเปิลในการบันทึกค่าในการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในเตาอบ

เมื่อรอยต่อร้อนของเทอร์โมคัปเปิลได้รับความร้อนเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่รอยต่อเย็นมีอุณหภูมิที่คงที่ ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างจุดรอยต่อทั้งสองจุดนี้จะทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้า ค่าของกระแสไฟฟ้าที่มิเตอร์แสดงนี้สามารถจะปรับเทียบให้เป็นค่าที่อยู่ในหน่วยของอุณหภูมิได้ [7]



รูปที่ 2.16 การประยุกต์ใช้เทอร์โมคัปเปิลอย่างง่าย [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนใหญ่วัสดุตัวนำที่ใช้ที่ใช้ประกอบร่วมกันเป็นเทอร์โมคัปเปิลนั้นจะได้แก่โลหะจำพวก Iron – Constantan, Copper – Constantan, Chromel – Alumel และ Platinum/Rhodium – Platinum ซึ่งการแบ่งชนิดของเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐานนั้นจะพิจารณาจากชนิดของวัสดุตัวนำที่ใช้ และอุณหภูมิในช่วงใช้งานของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชนิดตลอดจนเอาต์พุตเฉลี่ยในหน่วย mV/°F แสดงดังตารางที่ 2.1 โดยชื่อแรกของวัสดุตัวนำหมายถึงขั้วไฟฟ้าที่มีศักย์เป็นบวก (+) ส่วนชื่อหลังจะเป็นขั้วลบ (-)

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติเปรียบเทียบเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) แบบมาตรฐาน Type ต่าง ๆ

ชนิด	ส่วนผสม	ช่วงอุณหภูมิใช้งาน		แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้
		°C	°F	mV
B	แพลทินัม - 30% โรเดียม			
	แพลทินัม - 6% โรเดียม	0 ถึง 1820	32 ถึง 3310	0 ถึง 13.814
R	แพลทินัม - 13% โรเดียม			
	แพลทินัม	-50 ถึง 1768	-60 ถึง 3210	-02.26 ถึง 21.108
S	แพลทินัม-10% โรเดียม			
	แพลทินัม	-50 ถึง 1768	-60 ถึง 3210	-0.236 ถึง 18.698
J	เหล็ก/คอนสแตนแตน	-210 ถึง 760	-350 ถึง 1400	-8.096 ถึง 42.922
K	โครเมล/อะลูเมล	-270 ถึง 1372	-450 ถึง 2500	-6.458 ถึง 54.875
T	ทองแดง/คอนสแตนแตน	-270 ถึง 400	- 450 ถึง 750	-6.258 ถึง 20.865
E	โครเมล/คอนสแตนแตน	-270 ถึง 1000	- 450 ถึง 1830	-9.835 ถึง 76.358

2.5.2.2 <u>คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน (Characteristic of Standard Thermocouples)</u>

1. ความไว (Sensitivity)

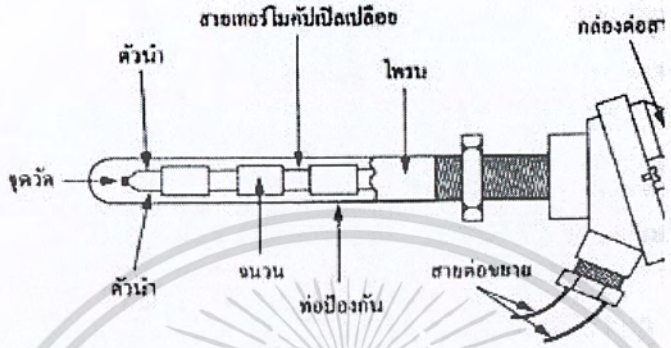
จากตารางแรงเคลื่อนของ NBS แสดงว่าย่านของแรงเคลื่อนจากเทอร์โมคัปเปิลจะมีค่าน้อยกว่า 100 mV แต่ความไวที่แท้จริงในการใช้งานจะขึ้นอยู่กับการใช้วงจรปรับสภาพสัญญาณและตัวเทอร์โมคัปเปิลเอง

2. โครงสร้าง (Construction)

โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิลมีลักษณะดังรูปที่ 2.17 โดยต้องมีลักษณะดังนี้คือ มีความต้านทานต่ำ ให้สัมประสิทธิ์อุณหภูมิสูง ต้านทานต่อการเกิดออกไซด์ที่อุณหภูมิสูงๆ ทนต่อสภาวะแวดล้อมที่นำไปใช้วัดค่า และเป็นเชิงเส้นสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ตัวฝักหรือท่อป้องกันส่วนมากจะทำจากแสตนเลส ความไวของเทอร์โมคัปเปิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นอยู่กับความหนาของท่อป้องกันทั้งเยอรมันเนียมและซิลิคอนจะทำให้คุณสมบัติการเกิดเทอร์โมอิเล็กทริกจึงใช้กันมากในอุปกรณ์ทำความเย็น (peltier element) มากกว่าที่จะใช้เป็นเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิ [8]



รูปที่ 2.17 โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิล [8]

3. ย่านการใช้งาน (Range)

ย่านอุณหภูมิการใช้งานและความไวในการวัดของเทอร์โมคัปเปิล แต่ละตัว จะแตกต่างกันตามแต่ละสมาคมจะกำหนด ในส่วนที่สำคัญคือค่าแรงเคลื่อนที่ออกมาจากแต่ละอุณหภูมิ จะต้องอ้างอิงกับตารางค่ามาตรฐานของแต่ละสมาคมที่ใช้ให้ถูกต้องเป็นเอกภาพเดียวกันหมดทั้งระบบ

4. เวลาตอบสนอง (Time Response)

เวลาตอบสนองของเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอยู่กับขนาดของสายและวัสดุที่นำมาทำท่อป้องกันตัวเทอร์โมคัปเปิล

5. การปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioning)

ปกติแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิลจะมีขนาดน้อยมากจึงจำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณโดยใช้ออปแอมป์ขยายความแตกต่างที่มีอัตราขยายสูงๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทอร์โมคัปเปิลแต่ละชนิดนั้นจะมีเงื่อนไขในการใช้งานที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมกับประเภทของงานที่จะนำไปใช้ ซึ่งจะมีทั้งข้อดีและข้อเสียที่ต่างกัน ดังตารางที่ 2.2 และตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 ชนิดของเทอร์โมคัปเปิลกับเงื่อนไขบรรยากาศที่เหมาะสม [8]

TC Type	บรรยากาศ Oxidizing	บรรยากาศ Reducing	บรรยากาศ Inert	Vacuum	บรรยากาศ Sulferous	อุณหภูมิ $< 0^{\circ}C$	มีไอของโลหะ
B	ได้	ไม่ได้	ได้	ได้ในช่วงสั้น ๆ	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้
R	ได้	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้
S	ได้	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้
J	ได้	ได้	ได้	ได้	ไม่ได้ถ้า $> 500^{\circ}C$	ไม่ได้	ได้
K	ได้*	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ได้	ได้
T#	ได้	ได้	ได้	ได้	ไม่ได้	ได้	ได้
E	ได้	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ได้	ได้

ใช้งานได้ดีกว่าแบบ E J และ T เมื่ออุณหภูมิ $> 550^{\circ}C$

โดยเฉพาะกับอุณหภูมิ $< 0^{\circ}C$

Oxidizing : กระบวนการทางเคมีที่ดึงออกซิเจนจากภายนอกเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารนั้น

Reducing : กระบวนการทางเคมีที่ออกซิเจนถูกดึงออกจากสารนั้นเพื่อไปทำปฏิกิริยากับสารภายนอก

Vacuum : ค่าความดันที่ต่ำกว่าบรรยากาศจนถึงสภาวะสูญญากาศ

Inert : สภาวะเฉื่อยที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ข้อดีและข้อเสียของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชนิด [8]

ชนิดเทอร์โมคัปเปิล	ข้อดี	ข้อเสีย
1. เทอร์โมคัปเปิลแบบ S	- เหมาะกับการใช้งานในสภาวะที่เกิดปฏิกิริยาเคมีแบบออกซิไดซิง(oxidizing) - เหมาะกับการใช้งานในสภาวะงานเฉื่อย (inert) คืองานที่ไม่เปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาใดๆ ได้ง่าย ๆ - นิยมใช้กับงานวัดตัวแปรที่มีอุณหภูมิสูง เช่น เตาหลอมเหล็ก - วัดอุณหภูมิต่อเนื่องได้จากช่วง 0 ถึง 1550^{0}c และอุณหภูมิช่วงสั้นได้จากช่วงประมาณ –50 ถึงประมาณ 1700^{0}c - หากอยู่ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมจะให้ความเที่ยงตรงสูงที่สุด - ใช้ในการสอบเทียบ ตั้งแต่จุดแข็งตัวของแอนติโมนี (630.74^{0}c) จนถึงจุดแข็งตัวของทองแดง (1064.43^{0}c) ตามมาตรฐาน IPTS 68	- ต้องใช้ท่อป้องกันในทุกสภาวะบรรยากาศ - ไม่เหมาะกับงานที่มีปฏิกิริยาแบบรีดิวซิง (reduzing) - ไม่เหมาะกับงานที่เป็นสูญญากาศ(vacuum) - ไม่เหมาะกับงานที่มีไอโลหะ เช่น สังกะสี ตะกั่ว - ไม่เหมาะกับงานที่มีไอของอโลหะ เช่น จำพวกอาเซนิก ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส เพราะจะมีอายุการใช้งานสั้นลง
2. เทอร์โมคัปเปิลแบบ R	- ให้แรงเคลื่อนทางด้านเอาท์พุตสูงกว่าแบบ S - วัดอุณหภูมิต่อเนื่องได้จากช่วง 0 ถึง 1600^{0}c - วัดอุณหภูมิช่วงสั้นได้จากช่วง-50 ถึงประมาณ 1700^{0}c - เหมาะกับการวัดอุณหภูมิสูงๆ เช่น ในเตาหลอมเหล็ก อุตสาหกรรมแก้ว - ทนทานต่อการกัดกร่อน และให้เสถียรภาพของอุณหภูมิที่ดี	- ให้ความเป็นเชิงเส้นต่ำเพิ่ม อุณหภูมิต่ำกว่า 540^{0}c - ต้องใช้ท่อป้องกันในทุกสภาวะบรรยากาศ - ไม่เหมาะกับงานที่มีปฏิกิริยาแบบรีดิวซิง (reduzing) - ไม่เหมาะกับงานที่เป็นสูญญากาศ(vacuum) - ไม่เหมาะกับงานที่มีไอโลหะ เช่น สังกะสี ตะกั่ว - ไม่เหมาะกับงานที่มีไอของอโลหะ เช่น จำพวกอาเซนิก ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส เพราะจะมีอายุการใช้งานสั้นลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ข้อดีและข้อเสียของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชนิด (ต่อ) [8]

ชนิดเทอร์โมคัปเปิล	ข้อดี	ข้อเสีย
3. เทอร์โมคัปเปิลแบบ B	- วัดอุณหภูมิต่อเนื่องได้จากช่วงประมาณ 100 ถึงประมาณ 1600^{0}c - วัดอุณหภูมิช่วงสั้นได้จากช่วงประมาณ 50 ถึงประมาณ 1750^{0}c - แข็งแรงกว่าแบบ S และแบบ R - เหมาะกับการใช้งานในสภาวะที่มีปฏิกิริยาแบบออกซิไดซิงและสภาวะเฉื่อย ให้ความเป็นเชิงเส้นของสัญญาณ (linearity) ดี	- ให้แรงเคลื่อนของไฟฟ้าน้อยกว่าแบบอื่น ๆ เมื่อวัดอุณหภูมิที่เงื่อนไขเดียวกัน - ไม่เหมาะกับสภาวะที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาแบบรีดิวซิง - ไม่เหมาะกับสภาวะที่เป็นสุญญากาศ - ไม่เหมาะกับสภาพงานที่มีไอของโลหะและอโลหะเช่นเดียวกับแบบ Rและ S - ให้ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าสองค่า (double value region)จากอุณหภูมิในช่วง 0-42 ^{0}c ทำให้ไม่สามารถทาราบได้ว่าที่แรงเคลื่อนไฟฟ้านั้นมี อุณหภูมิเป็นเท่าใด - ให้ความชัน(การเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนต่ออุณหภูมิ) ของสัญญาณต่ำกว่าแบบอื่น
4. เทอร์โมคัปเปิลแบบ J	- ให้อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ออุณหภูมิได้ดี - มีราคาถูกกว่าแบบที่ทำจากธาตุบริสุทธิ์ - ตามมาตรฐาน BS 7937 Part 30 สามารถวัดอุณหภูมิได้ต่อเนื่องจากช่วงประมาณ –210 ถึง 1200^{0}c - เหมาะกับสภาพงานที่เป็นสุญญากาศงานที่ งานที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิไดซิง และงานที่อยู่ในสภาพเฉื่อย เมื่ออุณหภูมิไม่เกิน 760^{0}c - นิยมใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติก - เป็นแบบที่นิยมใช้ ราคาไม่แพง	- วัดอุณหภูมิได้ต่ำกว่าแบบ T - ไม่เหมาะสมมากนักกับงานที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 0^{0}c - หากวัดที่อุณหภูมิสูงกว่า 538^{0}c จะเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซิงที่สายซึ่งทำจากเหล็กด้วยอัตราสูง - หากใช้งานนานเกินช่วง 20 ปี ส่วนผสมทางเคมีคือ แมงกานีสในเหล็กจะเพิ่มขึ้น 0.5% ทำให้คุณสมบัติของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

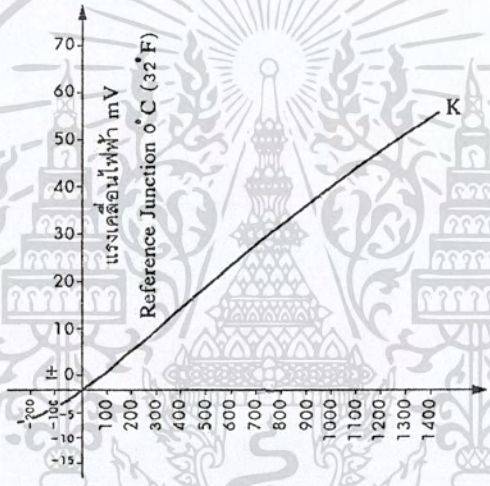
ตารางที่ 2.3 ข้อดีและข้อเสียของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชนิด (ต่อ) [8]

ชนิดเทอร์โมคัปเปิล	ข้อดี	ข้อเสีย
5. เทอร์โมคัปเปิลแบบ K	- เป็นแบบที่นิยมใช้แพร่หลายมากที่สุด - สำหรับการวัดอุณหภูมิช่วงสั้น ๆ จะวัดได้จาก –180^{0}c ถึงประมาณ 1,350^{0}c - สามารถใช้วัดในงานที่มีปฏิกิริยาออกซิไดซิงหรือสภาวะแบบเฉื่อย(inert) ได้ดีกว่าแบบอื่น ๆ - สามารถใช้กับสภาพงานที่มีการแผ่รังสีความร้อนได้ดี - ให้อัตราการเปลี่ยนแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ออุณหภูมิดีกว่าแบบอื่น ๆ (ความชันเกือบเป็น 1) และมีความเป็นเชิงเส้นมากที่สุดในบรรดาเทอร์โมคัปเปิลด้วยกัน	- ไม่เหมาะกับการวัดที่ต้องสัมผัสกับปฏิกิริยารีดิวซิงและออกซิไดซิงโดยตรง - ไม่เหมาะกับงานที่มีไอของซัลเฟอร์ - ไม่เหมาะกับสภาพงานที่เป็นสุญญากาศ (ยกเว้นจะใช้ในช่วงเวลาสั้นๆ) - หลังการใช้งานไป 30 ปี ทำให้ส่วนผสมทางเคมีเปลี่ยนไป เป็นผลทำให้คุณสมบัติของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนไป
6. เทอร์โมคัปเปิลแบบ T	- ดีกว่าแบบ K ตรงที่สามารถวัดอุณหภูมิได้ต่ำกว่า นั่นคือเหมาะกับการวัดอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ เช่นในห้องเย็น ตู้แช่แข็ง - ให้ความแน่นอนในการวัดดีกว่าแบบ K (ช่วงที่ต่ำกว่า 100^{0}c ความแน่นอนจะเป็น ± 1%) - มีเสถียรภาพในการวัดอุณหภูมิดี - การวัดสภาพงานที่เป็นสุญญากาศงานที่มีปฏิกิริยาแบบออกซิไดซิงรีดิวซิงและงานที่มีปฏิกิริยาแบบเฉื่อยจะทำได้ดี - วัดอุณหภูมิอย่างต่อเนื่องได้จากช่วง –185 ถึง 300^{0}c และวัดอุณหภูมิแบบช่วงสั้นๆ ได้จากช่วง –250 ถึง 400 ^{0}c - ทนต่อบรรยากาศที่มีการกัดกร่อนได้ดี	- เป็นแบบที่วัดอุณหภูมิช่วงบวกได้น้อยกว่าแบบอื่นๆ - หากใช้วัดอุณหภูมิที่สูงกว่า 370 ^{0}cจะทำให้เกิดออกไซมาก - ไม่เหมาะกับการวัดอุณหภูมิที่สัมผัสกับการแผ่รังสีความร้อนโดยตรง(ทำให้ส่วนผสมของวัสดุที่ใช้ทำเปลี่ยนไป คุณสมบัติทางไฟฟ้าเปลี่ยนไปด้วย) - เมื่อใช้งานไปนาน ๆ ในช่วง 20 ปี ส่วนผสมของนิเกิลและสังกะสี จะเพิ่มประมาณ 10% ทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน - คุณสมบัติของแรงเคลื่อนต่ออุณหภูมิไม่เป็นเชิงเส้น (แต่ก็ปรับปรุงได้จากวงจรปรับสภาพสัญญาณ)
7. เทอร์โมคัปเปิลชนิด E	- ให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุดเมื่อวัดอุณหภมิเทียบกับแบบอื่น ๆ ในสภาวะเดียวกัน - วัดอุณหภูมิต่อเนื่องได้จากช่วง 0 ถึง 800^{0}c	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2.3 <u>เทอร์โมคัปเปิลแบบ K (Type K)</u>

เทอร์โมคัปเปิลแบบ K นี้สายบวกทำมาจากโลหะผสมระหว่างนิกเกิล 90% กับโครเมียม 10% และสายลบทำจากโลหะผสมระหว่างนิเกิล 95% กับ 5% ของส่วนผสมระหว่างอะลูมิเนียม แมงกานีส และซิลิคอน โดยเทอร์โมคัปเปิลแบบ K สามารถใช้กับสภาวะงานที่เป็น Oxidizing หรือ Inert ได้ดีกว่าแบบอื่น สามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 1260°C (2700°F) และที่อุณหภูมิต่ำถึง -250°C (-420°F) ในสภาพงานที่ต้องรับการแผ่รังสีโดยตรงจากแหล่งกำเนิดความร้อนแบบ K ก็สามารถใช้งานได้ดี คุณสมบัติเด่นของเทอร์โมคัปเปิลแบบ K คือให้แรงเคลื่อนเอาท์พุทสูง [8]



รูปที่ 2.18 ความสัมพันธ์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลแบบ K [8]

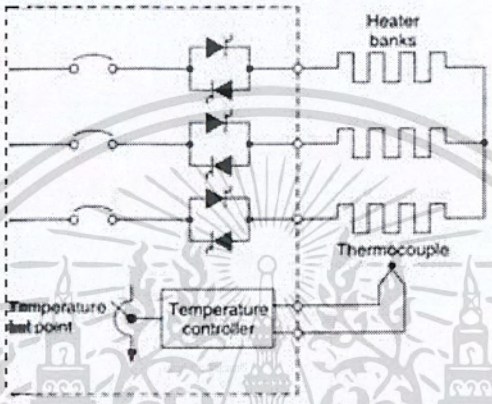
ข้อควรระวัง ไม่ควรใช้เทอร์โมคัปเปิลแบบ K สัมผัสโดยตรงกับ

1. ในสภาวะงานที่เป็น Reducing หรือเป็นการใช้งานสลับกันระหว่าง Oxidizing Reducing
2. สภาวะงานที่มีไอของซัลเฟอร์ เพราะ ซัลเฟอร์จะทำลายโลหะทั้งคู่ของเทอร์โมคัปเปิล โดยเฉพาะสายลบจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว
3. สภาวะงานที่เป็น Vacuum ยกเว้นในช่วงระยะเวลาสั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 อุปกรณ์อุณหภูมิ (Temperature controller)

การควบคุมอุณหภูมิ หมายถึง การรักษาระดับของอุณหภูมิในกระบวนการให้เป็นไปตามที่ต้องการ หรือป้องกันไม่ให้การเพิ่มของอุณหภูมิสูงเกินไป โดยการควบคุมความร้อนโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลแสดงดังรูปที่ 2.19 [9]



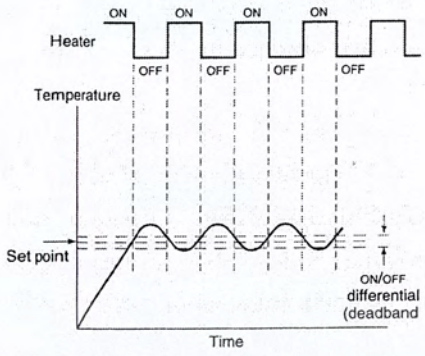
รูปที่ 2.19 การควบคุมความร้อนโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล [9]

2.5.3.1 ชนิดของการควบคุม มี 3 ระบบ

1. การควบคุมแบบON/OFF

จะมีเอ้าท์พุทต่อเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าค่าที่ปรับไว้และจะปิดเมื่ออุณหภูมิสูงถึงระดับที่ปรับไว้ กรณีเช่นนี้เป็นการควบคุมที่ไม่ซับซ้อน แต่การแกว่งของอุณหภูมิจากค่าที่ปรับไว้เป็นข้อเสียของวิธีนี้ จึงนิยมใช้ในกรณีที่ไม่ต้องการความแม่นยำสูง ดังรูปที่ 2.20

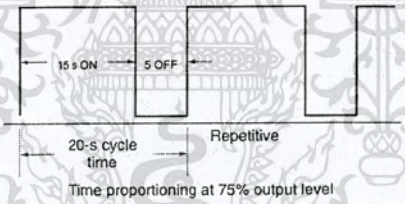
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 การควบคุมอุณหภูมิแบบ (ON/OFF temperature control) [9]

2. การควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional control)

การควบคุมแบบนี้ออกแบบไว้สำหรับกำจัดการแกว่งที่เกิดขึ้นในกรณีการควบคุม ON/OFF ตัวควบคุมแบบเป็นสัดส่วนจะลดกำลังเฉลี่ยที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อน ขณะที่อุณหภูมิใกล้ถึงค่าที่ปรับไว้ มีผลทำให้ขดลวดค่อยๆเย็นลงจึงไม่เกิดการแกว่งมาก แต่จะค่อยๆเปลี่ยนแปลงจนถึงค่าที่ปรับไว้จนได้อุณหภูมิที่เสถียร ดังรูปที่ 2.21

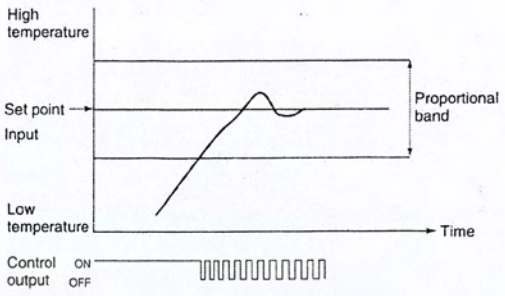


รูปที่ 2.21 การควบคุมอุณหภูมิแบบสัดส่วน (Proportional temperature control) [9]

3. การควบคุมแบบ PID (Proportional-integral-derivative control)

เป็นการควบคุมประสานกันระหว่างแบบเป็นสัดส่วน แบบอินทิกรัล (reset) และแบบอนุพันธ์ (rate) มักนิยมใช้ในงานที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิที่แม่นยำสูง และไวมาก (sensitive) เอาท์พุทจะเปิดและปิดตามสัดส่วนของความต่างของอุณหภูมิที่วัดได้เบี่ยงเบนไปจากค่าอุณหภูมิที่ปรับไว้เรตฟังก์ชัน (rate function) ช่วยให้เวลาในการปรับอุณหภูมิเป็นไปตามที่ปรับไว้สั้นลง อินทิกรัลฟังก์ชัน (integral function)จะกำจัดค่าที่เลื่อมไปจากอุณหภูมิที่ปรับไว้ ดังรูปที่ 2.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 การควบคุมแบบ PID (Proportional-integral-derivative temperature control) [9]

2.5.3.2 ปัจจัยในการเลือกตัวควบคุมอุณหภูมิ

1. ช่วงอุณหภูมิที่ต้องการ
2. ชนิดของตัวตรวจจับอุณหภูมิ ซึ่งแบ่งได้ 3 แบบ คือ แบบอิเล็กทริก แบบการขยายตัวของโลหะ และแบบการขยายของของไหล
3. เวลาในการตอบสนอง (response time) โดยจะขึ้นกับชนิดของตัวตรวจจับ และการแปลงสัญญาณจากตัวตรวจจับเป็นสัญญาณควบคุม
4. ความไวของการตรวจจับ (sensitivity) คือ ช่วงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ตัวควบคุมสามารถอ่านค่าได้ ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดในการควบคุมความละเอียดของอุณหภูมิที่ต้องการควบคุม
5. ช่วงอุณหภูมิที่ทำให้ตัวควบคุมทำงาน (operating differential) โดยอาศัยตัวแปรต่างๆ

2.6 อุปกรณ์ทางไฟฟ้า

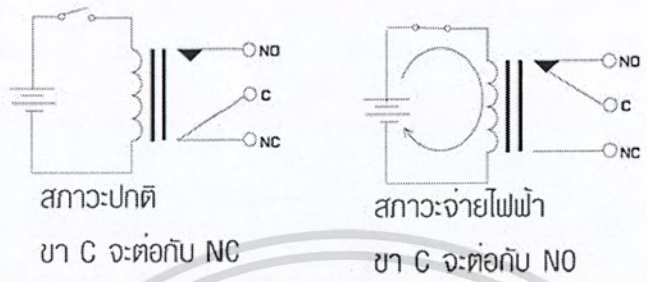
2.6.1 รีเลย์ (Relay)

2.6.1.1 หลักการของรีเลย์

รีเลย์หรืออิเล็คโตรแมกเนติกรีเลย์ เป็นอุปกรณ์แม่เหล็กไฟฟ้าทำหน้าที่เป็นสวิตช์มีหลักการทำงานคล้ายกับขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าหรือโซลินอยด์ (Solenoid) โดยเปลี่ยนพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ใช้ในการควบคุมการตัดต่อวงจรไฟฟ้าที่มีแรงเคลื่อนต่ำ เช่นการควบคุมระบบนิวเมติกส์ที่ 24 โวลต์ การทำงานของรีเลย์ คือ เมื่อมีกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหลผ่านขดลวดจะทำให้ขดลวดเกิดสนามแม่เหล็กไปดึงแผ่นสัมผัสให้ลงมาแตะหน้าสัมผัสอีกแผ่น ทำให้มีกระแสไฟไหลผ่านหน้าสัมผัสไปได้ [10] แสดงดังรูป 2.23



รูปที่ 2.23 สภาวะการทำงานของรีเลย์ [10]

2.6.1.2 ชนิดของรีเลย์

รีเลย์เป็นสวิตช์ควบคุมที่ทำงานด้วยไฟฟ้า แบ่งออกตามลักษณะการใช้งานได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. รีเลย์กำลัง (Power relay) หรือมักเรียกกันว่าคอนแทกเตอร์ (Contactor or Magnetic contactor) ใช้ในการควบคุมไฟฟ้ากำลัง มีขนาดใหญ่กว่ารีเลย์ธรรมดา
2. รีเลย์ควบคุม (Control Relay) มีขนาดเล็กกำลังไฟฟ้าต่ำ ใช้ในวงจรควบคุมทั่วไปที่มีกำลังไฟฟ้าไม่มากนัก หรือเพื่อการควบคุมรีเลย์หรือคอนแทกเตอร์ขนาดใหญ่

2.6.2 หน้าสัมผัสแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic Contactor)

2.6.2.1 หลักการของหน้าสัมผัสแม่เหล็กไฟฟ้า

หน้าสัมผัสแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นรีเลย์ประเภทหนึ่ง แต่จะมีขนาดใหญ่กว่า และหน้าสัมผัสมากกว่า ซึ่งจะทำให้รีเลย์ชนิดนี้ มีความสามารถในการควบคุมกำลังไฟฟ้ามากกว่ารีเลย์ทั่วไป เราจะเรียกรีเลย์ชนิดนี้ว่ารีเลย์กำลัง (Power Relay) แมคเนติคคอนแทคเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่อาศัยหลักการทำงานของอำนาจแม่เหล็กในการปิดเปิดหน้าสัมผัสในการตัดต่อวงจร เช่น ปิด เปิดหน้าสัมผัสหลัก ที่เรียกว่าเมนคอนแทค (Main Contac) ที่ใช้ในวงจรกำลัง และยังปิด -เปิดหน้าสัมผัสช่วย (Auxiliary Contac) โดยมีขดลวด (Coil) เป็นตัวสร้างสนามแม่เหล็กของแมคเนติคคอนแทคเตอร์ นอกจากจะมีหน้าสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งส่วนเคลื่อนที่ และหน้าสัมผัสส่วนที่อยู่กับที่แล้วหน้าสัมผัสภายในของคอนแทกเตอร์ยังแบ่งออกเป็น 2 ส่วนตามลักษณะของการทำงาน ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้ คือ

1. หน้าสัมผัสหลัก (Main Contacts)

โดยปกติแล้วหน้าสัมผัสหลักมี 3 อัน สำหรับส่งผ่านกำลังไฟฟ้า 3 เฟสเข้าไปสู่มอเตอร์ หรือโหลดที่ใช้แรงดันไฟฟ้า 3 เฟส หน้าสัมผัสหลักของคอนแทกเตอร์มีขนาดใหญ่ทนแรงดันและกระแสได้สูง หน้าสัมผัสหลักเป็นชนิดปกติเปิด (Normally open;N.O. contact) อักษรกำกับ หน้าสัมผัสด้านแหล่งจ่ายคือ 1, 3, 5 หรือ L1, L2, L3 และด้านโหลดคือ 2, 4, 6 หรือ T1, T2, T3 ดังรูป 2.24

รูปที่ 2.24 หน้าสัมผัสภายในของคอนแทกเตอร์

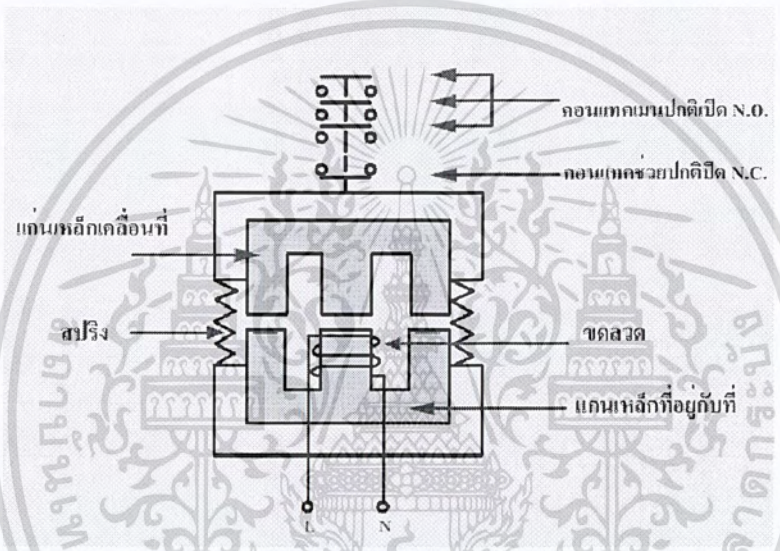
2. หน้าสัมผัสช่วย (Auxiliary Contacts)

หน้าสัมผัสชนิดนี้ติดตั้งอยู่ด้านข้างทั้งสองด้านของตัวคอนแทกเตอร์ มีขนาดเล็กทนกระแสได้ต่ำทำหน้าที่ช่วยการทำงานของวงจร เช่น เป็นหน้าสัมผัสที่ทำให้คอนแทกเตอร์ทำงานได้ตลอดเวลา หรือเรียกว่า "holding" หรือ "maintaining contact" หน้าสัมผัสช่วยนี้จะเป็นหน้าสัมผัสแบบโยกได้สองทาง โดยจะถูกดึงขึ้น-ลงไปตามจังหวะการดูด-ปล่อยของคอนแทกเตอร์ อักษรกำกับหน้าสัมผัสช่วย จะเป็น13, 14 สำหรับคอนแทกเตอร์ที่มีหน้าสัมผัสช่วยแบบปกติเปิด 1 ชุด ถ้ามี N.O. ชุดที่ 2จะเป็น 23, 24 และหน้าสัมผัสช่วยแบบปกติปิดจะมีอักษรกำกับเป็น 31, 32 และ 41, 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2.2 หลักการทำงานของหน้าสัมผัสแม่เหล็กไฟฟ้า

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปยังขดลวดสนามแม่เหล็กที่อยู่ขากลางของแกนเหล็กขดลวดจะสร้างสนามแม่เหล็กที่แรงสนามแม่เหล็กชนะแรงสปริงดึงให้แกนเหล็กชุดที่เคลื่อนที่เคลื่อนที่ลงมาในสภาวะนี้(ON) คอนแทคทั้งสองชุดจะเปลี่ยนสภาวะการทำงาน คือ คอนแทคปกติปิดจะเปิดวงจรจุดสัมผัสออก และคอนแทคปกติเปิดจะต่อวงจรของจุดสัมผัส เมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปยังขดลวด สนามแม่เหล็กคอนแทคทั้งสองชุดจะกลับไปสู่สภาวะเดิม ดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 การทำงานของแมกเนติกส์คอนแทคเตอร์

2.6.2.3 ชนิดและขนาดของแมคเนติกคอนแทกเตอร์

คอนแทคเตอร์ที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ แบ่งเป็น 4 ชนิดตามลักษณะของโหลด และการนำไปใช้งานมีดังนี้

AC 1 : เป็นแมคเนติกคอนแทกเตอร์ที่เหมาะสาหรับโหลดที่เป็นความต้านทาน หรือในวงจรที่มีอินดัคทีฟน้อยๆ

AC 2 : เป็นแมคเนติกคอนแทคเตอร์ที่เหมาะสมสาหรับใช้กับโหลหดที่เป็นสปริงมอเตอร์

AC 3 : เป็นแมคเนติกคอนแทคเตอร์ที่เหมาะสาหรับใช้การสตาร์ทและหยุดโหลดที่เป็น มอเตอร์กรงกระรอก

AC 4 : เป็นแมคเนติกคอนแทคเตอร์ที่เหมาะสาหรับการสตาร์ท-หยุดมอเตอร์ วงจร jogging และการกลับทางหมุนมอเตอร์แบบกรงกระรอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2.4 การเลือกใช้หน้าสัมผัสแม่เหล็กไฟฟ้า

1. ขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก (coil) เช่น 24V , 220V ,380V เป็นต้น
2. ความสามารถในการรับกระแสของหน้าสัมผัสหลัก (main contact) เช่น 20A , 30A , 60A เป็นต้น
3. ความต้องการในการใช้งานของหน้าสัมผัสช่วย (auxiliary contact)
4. จำนวนขั้วของหน้าสัมผัสหลักที่ต้องการใช้งาน เช่น 2 ขั้ว สำหรับระบบไฟฟ้า 220V หรือ 3 ขั้ว สำหรับระบบไฟ 380 V

2.6.3 โซลิดสเตทรีเลย์ (Solid state relay;SSR)

โซลิดสเตทรีเลย์ คือ รีเลย์ทางอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งจะใช้อุปกรณ์สวิตช์แบบสารกึ่งตัวนำ เช่นไบโพลาร์, MOSFETs, SCRs หรือ Triac โดยข้อดีของโซลิดสเตทรีเลย์ จะไม่มีขดลวดและคอนแทคจึงไม่มีส่วนใดของอุปกรณ์เคลื่อนไหว มีระบบป้องกันการสั่นและมีตัวถังเพื่อป้องกันฝุ่นและความชื้น จึงไม่เกิดประกายไฟทำให้อายุการใช้งานนาน นอกจากนี้ยังใช้ร่วมกับทรานซิสเตอร์และวงจรรวม (IC) ได้โดยไม่เกิดการแทรกสอดทางไฟฟ้า (electromagnetic interference) นอกจากนี้ยังมีเวลาตอบสนองที่เร็วกว่า

การควบคุมแรงดันสำหรับโซลิดสเตทรีเลย์อาจจะเป็นกระแสตรงและกระแสสลับ ซึ่งอยู่ระหว่าง 3 – 32 โวลต์ สำหรับกระแสตรง และอยู่ระหว่าง 80 – 280 โวลต์ สำหรับกระแสสลับ กระแสสูงสุดของวงจรโหลดมีค่าถึง 50 แอมป์ ในขณะที่แรงดันอินพุทอยู่ในอัตรา 120, 240 และ 480 Vac ในการประยุกต์ส่วนมากจะใช้โซลิดสเตทรีเลย์เป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างวงจรควบคุมแรงดันต่ำกับสายแรงดันไฟสลับขนาดสูง

2.6.4 เบรกเกอร์ (Circuit Breaker)

2.6.4.1 หลักการของเบรกเกอร์

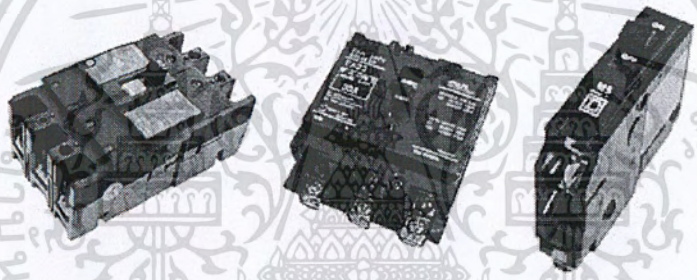
อุปกรณ์ที่ทำงาน เปิดและปิดวงจรไฟฟ้า แบบไม่อัตโนมัติ แต่สามารถเปิดวงจรได้อัตโนมัติ ถ้ามีกระแสไหลผ่านเกินกว่าค่าที่กำหนด โดยไม่มีความเสียหายเกิดขึ้น [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.4.2 <u>ชนิดของเบรกเกอร์</u>

ชนิดของเบรกเกอร์แรงดันต่ำที่ใช้กับแรงดันน้อยกว่า 1000 โวลต์

1. Molded case circuit breaker (MCCB) เบรกเกอร์ที่ถูกห่อหุ้มมิดชิดโดย mold 2 ส่วน มักทำด้วย phenolic ซึ่งเป็นฉนวนไฟฟ้าสามารถทนแรงดันใช้งานได้เบรกเกอร์แบบนี้ มีหน้าที่หลัก 2 ประการคือทำหน้าที่เป็นสวิทซ์เปิด-ปิดด้วยมือ และเปิดวงจรโดยอัตโนมัติ เมื่อมีกระแสไหลเกิน หรือเกิดลัดวงจร โดยเบรกเกอร์จะอยู่ในภาวะ trip ซึ่งอยู่กึ่งกลางระหว่างตำแหน่ง ON และ OFF เราสามารถ reset ใหม่ได้โดย กดคันโยกให้อยู่ ในตำแหน่ง OFF เสียก่อนแล้วค่อยโยกไปตำแหน่ง 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 2.26



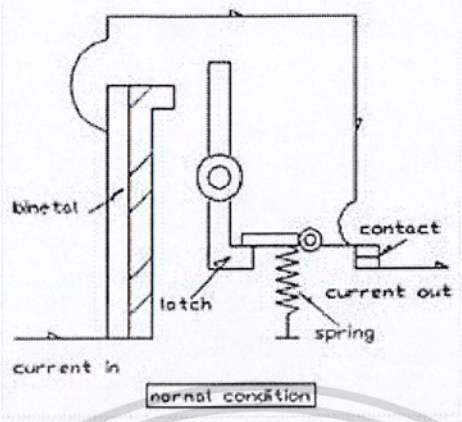
รูปที่ 2.26 เซอร์กิตเบรกเกอร์ สวิตช์ตัดตอนอัตโนมัติ (Molded case circuit breaker) [11]

เบรกเกอร์แบบนี้มีส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วนคือ

- Thermal unit

ใช้สำหรับปลดวงจรเมื่อมีกระแสไหลเกินอันเนื่องมาจากการใช้โหลดมากเกินไป ลักษณะการทำงานดังรูป 2.27 เมื่อมีกระแสเกินไหลผ่านโลหะ bimetal (เป็นโลหะ 2 ชนิด ที่มีสัมประสิทธิ์ ทางความร้อน ไม่เท่ากัน) จะทำให้ bimetal โก่งตัว ไปปลดอุปกรณ์ทางกล และทำให้ CB. ตัดวงจร เรียกว่าเกิดการ trip การปลดวงจรแบบนี้ต้องอาศัยเวลา ขึ้นอยู่กับกระแส และความร้อนที่เกิดขึ้นจนทำให้bimetal โก่งตัว

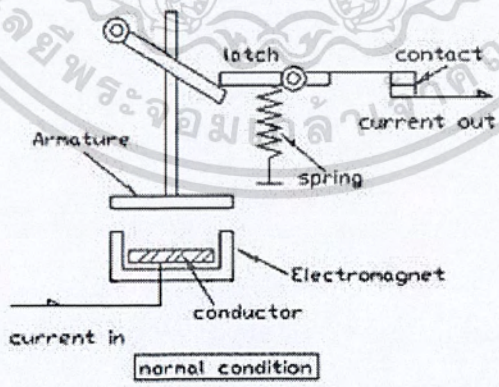
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 ลักษณะการทำงานเมื่อมีกระแสเกินไหลผ่าน [11]

- Magnetic unit

ใช้สำหรับปลดวงจรเมื่อเกิดกระแสลัดวงจรหรือมีกระแสค่าสูงๆ ประมาณ 8-10 เท่าขึ้นไป ไหลผ่านกระแสจำนวนมาก จะทำให้เกิด สนามแม่เหล็กความเข้มสูง ดึงให้อุปกรณ์การปลดวงจรทำงานได้ การตัดวงจรแบบนี้เร็วกว่าแบบแรกมาก โอกาสที่ breakerจะชำรุดจากการตัดวงจรจึงมีน้อยกว่า ดังรูปที่ 2.28

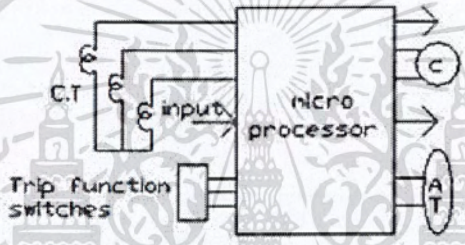


รูปที่ 2.28 สำหรับปลดวงจรเมื่อเกิดกระแสลัดวงจรหรือมีกระแสค่าสูงๆ[11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 2.29

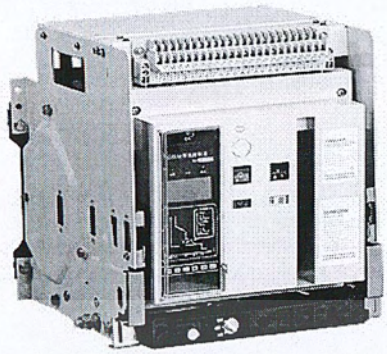


รูปที่ 2.29 วงจรวิเคราะห์กระแสเพื่อสั่งปลดวงจร [11]

3. Air circuit breaker

เบรกเกอร์ที่ใช้กับแรงดัน <1000 โวลต์ มีขนาดใหญ่ใช้เป็น main CB. โดยทั่วไปมีพิกัดกระแสตั้งแต่ 225-6300 A. และมี interrupting capacity สูงตั้งแต่ 35-150 KA. โครงสร้างทั่วไปทำด้วยเหล็กมีช่องดับอาร์ก (Arcing chamber) ที่ใหญ่โตแข็งแรงเพื่อให้สามารถรับกระแสลัดวงจรจำนวนมากได้ Air CB ดังรูปที่ 2.30

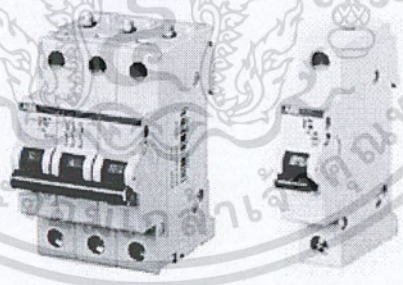
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.30 แอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Air circuit breaker) [11]

4. Miniature circuit breaker

เบรคเกอร์ขนาดเล็ก ใช้ติดตั้งเป็นอุปกรณ์ป้องกันร่วมกับ แผงจ่ายไฟฟ้าย่อย (Load center) หรือ แผงจ่ายไฟฟ้าประจำห้องพักอาศัย (consumer unit) เบรคเกอร์ชนิดนี้ไม่สามารถปรับตั้ง ค่ากระแสตัดวงจรได้ มีทั้งแบบ 1 pole, 2 pole และ 3 pole อาศัยกลไกการปลดวงจรทั้งแบบ thermal และ magnetic มีรูปร่างดังรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 มินิเอเจอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Miniature circuit breaker) [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.5 สวิตช์ (Switch)

สวิตช์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับตัดหรือต่อวงจรไฟฟ้าในส่วนที่ต้องการ ทำหน้าที่คล้ายสะพานไฟ สวิตช์แต่ละแบบจะทนกระแสไฟฟ้าสูงสุดได้ไม่เท่ากัน สวิตช์มีหลายชนิดดังนี้ [12]

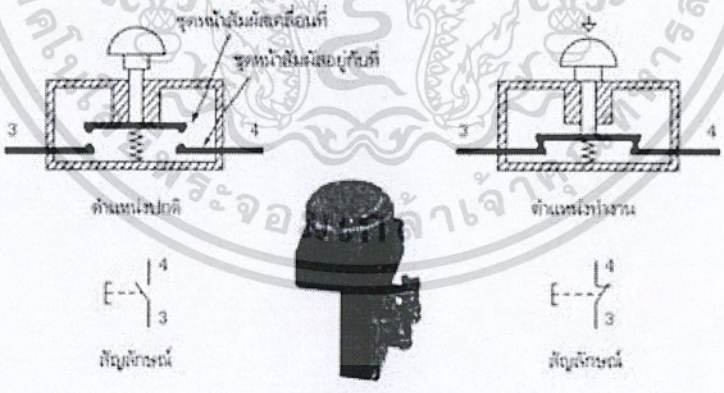
2.6.5.1 <u>ชนิดของสวิตช์</u>

1. สวิทช์ปุ่มกด (push button switch)

ปุ่มหน้าสัมผัส (contact) ทำจากตัวนำไฟฟ้า เช่น ทองแดง อะลูมิเนียม โครงสร้างภายนอกเป็นฉนวน เช่น พลาสติกมีก้านกระทุ้ง โดยมีแรงภายนอกมากระทำ เช่น มือกด เมื่อปล่อยมือจะกลับสู่ตำแหน่งปกติ มี 3 ชนิด

- สวิทช์ปุ่มกดปกติเปิด

<u>หลักการทำงาน</u> : สวิตช์ปุ่มกดปกติเปิด ในตำแหน่งปกติกระแสไฟฟ้าไม่สามารถไหลผ่านได้เพราะปุ่ม หน้าสัมผัสไม่ต่อถึงกัน เมื่อถูกกดทำให้ปุ่มหน้าสัมผัสแตะถึงกัน และทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปได้ เมื่อปล่อยมือ แรงสปริงจะดันให้ปุ่มสัมผัสกลับสู่ตำแหน่งปกติ ใช้เมื่อเริ่มทำงาน ดังรูปที่ 2.32

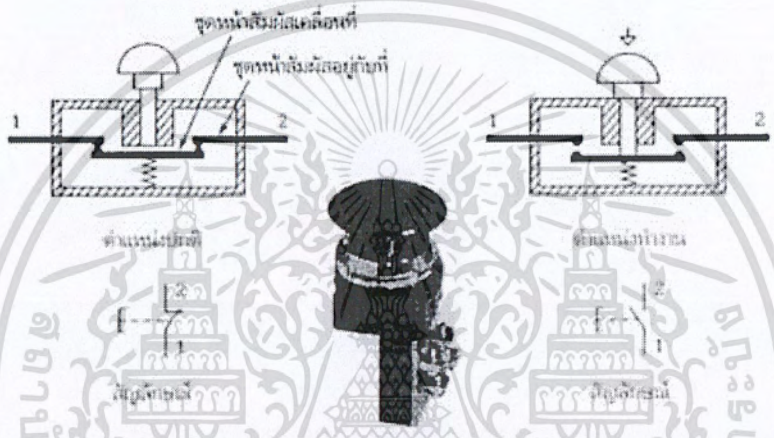


รูปที่ 2.32 โครงสร้างและการทำงานของสวิทช์ปุ่มกดปกติเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สวิตซ์ปุ่มกดปกติปิด

<u>หลักการทำงาน</u> : สวิตซ์ปุ่มกดปกติปิด ในตำแหน่งปกติกระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านได้เพราะปุ่มหน้าสัมผัสต่อถึงกัน เมื่อถูกกดทำให้ปุ่มหน้าสัมผัสออกจากกัน กระแสไฟฟ้าไม่สามารถไหลผ่านไปได้ เมื่อปล่อยมือ แรงสปริงจะดันให้ปุ่มสัมผัสกลับสู่ตำแหน่งปกติ ใช้สำหรับหยุดทำงาน ดังรูปที่ 2.33



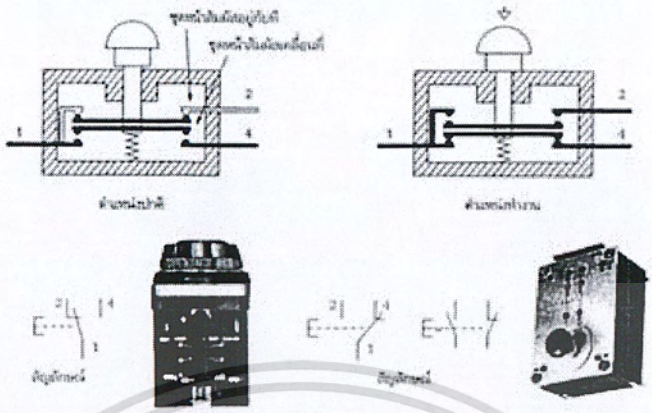
รูปที่ 2.33 โครงสร้างและการทำงานของสวิทซ์ปุ่มกดปกติปิด

- สวิตซ์ปุ่มกดปกติเปิดและปกติปิดอยู่ในตัวเดียวกัน

สวิตซ์ปุ่มกดปกติเปิดและปกติปิดอยู่ในตัวเดียวกัน เหมาะสำหรับใช้ในการป้องกันการทำงานของอุปกรณ์ทำงาน เช่น ขดลวด รีเลย์ หรือวาล์ว ไม่ให้ซ้ำซ้อนกัน คือ ถ้าตัวใดตัวหนึ่งทำงาน จะป้องกันไม่ให้อีกตัวทำงาน

<u>หลักการทำงาน</u> : เป็นการรวมเอาสวิตซ์ปุ่มกดปกติเปิดและปกติปิดมารวมอยู่ในตัวเดียวกัน เมื่อถูกกดจะทำงานสลับกัน คือ ปกติเปิดเป็นปกติปิด ปกติปิดมาเป็นปกติเปิด ใช้สำหรับป้องกันวงจรที่ไม่ต้องการให้ทำงานพร้อมกัน ดังรูปที่ 2.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.34 โครงสร้างและการทำงานของสวิทซ์ปุ่มกดปกติเปิดและปกติปิดอยู่รวมกัน

2. สวิตซ์สองทาง

เป็นสวิตซ์ที่ต่อไว้ใช้บังคับการเดินทางของกระแสไฟฟ้าได้สองทาง เช่น ไม่ผ่านวงจรที่ 1 แต่ให้ผ่านวงจรที่ 2 หรือให้ผ่านวงจรที่ 1 แต่ไม่ผ่านวงจรที่ 2

3. สวิตซ์อัตโนมัติ

เป็นสวิตซ์ที่สามารถตัดวงจรไฟฟ้าได้เองเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมากเกินไป ใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้าผ่านมาก เช่น มอเตอร์ เครื่องปรับอากาศ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

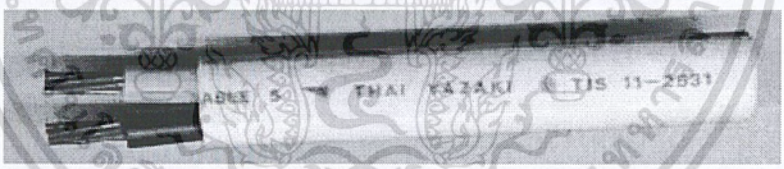
2.6.6 สายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

เป็นสายไฟฟ้าที่ใช้กับแรงดันไม่เกิน 750 V. เป็นสายหุ้มฉนวน ทำด้วยทองแดงหรืออลูมิเนียม โดยทั่วไปเป็นสายทองแดงสายขนาดเล็กจะเป็นตัวนำเดี่ยว แต่สายขนาดใหญ่เป็นตัวนำตีเกลียว วัสดุฉนวนที่ใช้กับสายแรงดันต่ำคือ Polyvinyl Chloride (PVC) และ Cross-linked Polyethylene (XLPE) [13]

2.6.6.1 ชนิดของสายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

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 2.35 ซึ่งสายไฟแต่ละขนาดจะทนกระแสการใช้งานสูงสุดตามตารางที่ 2.4



รูปที่ 2.35 สายไฟชนิดวีเอเอฟ (VAF) [13]

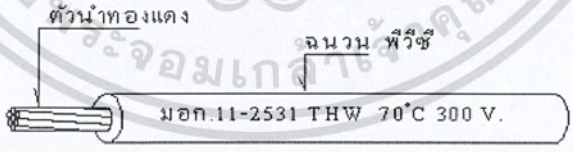
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าชนิดวีเอเอฟ (VAF) [13]

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
2	16	7/1.70	65
2	25	7/2.14	88
2	35	19/1.53	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 2.36



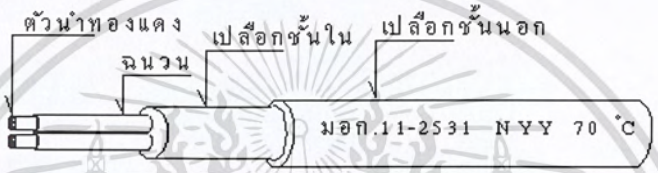
รูปสายไฟฟ้าชนิด THW

รูปที่ 2.36 สายไฟชนิดทีเอชดับเบิลยู (THW) [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เอ็นวายวาย (NYY)

สายไฟฟ้าตาม มอก.11-2531 (เอ็นวายวาย (NYY)) มีทั้งชนิดแกนเดียว และหลายแกน สายหลายแกนเป็นสายชนิดกลม สายชนิดนี้ทนแรงดันที่ 750 V. มีความทนต่อสภาพแวดล้อม เพราะมีเปลือกหุ้มอีกชั้นหนึ่ง บางทีเรียกว่าเป็นสายฉนวน 3 ชั้น ความจริงแล้ว สายชนิดนี้มีฉนวนชั้นเดียว อีกสองชั้นที่เหลือเป็นเปลือก เปลือกชั้นในทำหน้าที่เป็นแบบ (Form) ให้สายแต่ละแกนที่ดีเกลียวเข้าด้วยกัน มีลักษณะกลม แล้วจึงมีเปลือกนอกหุ้มอีกชั้นหนึ่ง ทำหน้าที่ป้องกันความเสียหายทางกายภาพ ดังรูปที่ 2.37



รูปสายไฟฟ้าชนิด NYY

รูปที่ 2.37 สายไฟชนิดเอ็นวายวาย (NYY) [13]

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 เหมาะที่จะใช้เป็นสายเดินเข้าเครื่องจักร ที่มีการสั่นสะเทือนขณะใช้งาน สายชนิดนี้ ใช้งานได้ทั่วไปเหมือนสายชนิด NYY สาย VCT มีหลายแบบตามรูปทรงโดยแบ่งได้ทั้งแบบ VCT - GRD ซึ่งมี 2 แกน 3 แกนและ 4 แกน และมีสายดินเดินร่วมไปด้วยอีกเส้นหนึ่ง เพื่อให้เหมาะสำหรับใช้เครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องต่อลงดิน ดังรูปที่ 2.38

รูปที่ 2.38 สายไฟชนิดวีซีที (VCT) [13]

2.6.6.2 <u>การเลือกขนาดของสายไฟให้เหมาะสม</u>

การพิจารณาเลือกสายไฟฟ้าที่เหมาะสมนั้น มีหลายข้อด้วยกันที่ต้องพิจารณา ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพ ความเชื่อถือได้ และความปลอดภัยในการใช้งาน ข้อกำหนดที่ต้องพิจารณาในการเลือกสายไฟฟ้า ได้แก่

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. พิกัดแรงดัน

สายไฟฟ้าที่จะใช้ต้องสามารถทนต่อแรงดันใช้งานได้ตาม มอก. 11-2531 ได้กำหนดแรงดันใช้งานเอาไว้ 2 ระดับ คือ 300 V และ 750 V ดังนั้นในการเลือกชนิดของสายไฟฟ้าจึงต้องคำนึงถึงพิกัดแรงดันให้เหมาะสมด้วย

2. พิกัดกระแส

พิกัดกระแส คือ ความสามารถของสายไฟฟ้า ในการที่จะนำกระแสไฟฟ้าปริมาณหนึ่งอย่างต่อเนื่องในขณะใช้งาน โดยไม่ทำให้อุณหภูมิสุดท้ายมีค่าเกินอุณหภูมิที่กำหนดไว้ พิกัดกระแสของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนจะขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- ขนาดของสายไฟฟ้า

  สายไฟฟ้าที่มีพื้นที่หน้าตัดขนาดใหญ่ ก็จะมีค่าพิกัดกระแสสูงกว่าสายไฟฟ้าที่มพื้นที่หน้าตัดขนาดเล็กกว่า

- ชนิดของฉนวนที่หุ้มสายไฟฟ้า

  การที่สายไฟฟ้ามีฉนวนที่มีคุณภาพดี ย่อมที่จะทำให้สายไฟฟ้าชนิดนั้นมีค่าพิกัดกระแสสูงขึ้น

- อุณหภูมิโดยรอบ

  เนื่องจากค่าความต้านทานของตัวนำจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นดังนั้นถ้าอุณหภูมิบริเวณรอบ ๆ ของสายไฟฟ้าที่ใช้มีค่าสูงขึ้น ก็จะส่งผลให้ค่าพิกัดของกระแสลดลงจากค่าปกติ

- ลักษณะการติดตั้ง

  เนื่องจากการติดตั้งสายไฟฟ้า สามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น เดินลอย เดินในท่อร้อยสายหรือเดินฝังใต้ดิน การติดตั้งแต่ละแบบก็จะมีการถ่ายเทอากาศได้ยากง่ายต่างกัน ถ้าสายไฟฟ้าติดตั้งในบริเวณที่อากาศถ่ายเทได้สะดวก ก็จะมีค่าพิกัดกระแสสูงกว่ากรณีที่ติดตั้งในบริเวณอากาศที่ถ่ายเทไม่สะดวก

พิกัดกระแส ต้องไม่เกินค่าที่กำหนด

- กรณีโหลดต่อเนื่องให้ใช้ตัวคูณ 1.25 เพิ่มเข้าไปในการประเมินกระแส
- กรณีโหลด 3 เฟส จะมีความสัมพันธ์เกี่ยวกับกำลังไฟฟ้าดังนี้

$$P = 3IV\cos\theta \qquad (2.14)$$

เมื่อ $\cos\theta$ คือ ค่าตัวประกอบกำลัง

- กรณีโหลด 1 เฟส จะมีความสัมพันธ์เกี่ยวกับกำลังไฟฟ้าดังนี้

$$P = IV\cos\theta \qquad (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. แรงดันตก

เมื่อจะติดตั้งไฟฟ้าในบ้านพักอาศัยหรือในโรงงานถ้าเป็นระยะทางไกลควรคำนึงถึงการเสียกำลังงานไฟฟ้าในรูปของแรงดันตก แต่ถ้าเป็นระยะทางใกล้อาจไม่จำเป็นต้องคำนึงถึง เพราะระยะทางใกล้ๆ ค่าแรงดันในสายจะตกน้อยเมื่อเราทราบแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในวงจรแล้วการเลือกสายต้องให้เหมาะสมกับประเภทงานที่จะใช้สายต้องใหญ่พอที่จะทำให้อุณหภูมิไม่สูงเกินขีดอันตราย เพราะสายที่เล็กเกินไปจะเกิดการสูญเสียกำลังงานไฟในรูปของแรงดันตกมาก ถ้าแรงดันตกน้อยหมายถึงการสูญเสียกำลังงานไฟฟ้าน้อยตามไปด้วย เช่น ถ้าแรงดันตกร้อยละ 10 ก็หมายความว่า 10% ของกำลังงานแสงสว่างจะตกลงประมาณ 32% มาตรฐานสากลได้แนะนำว่าสายไฟฟ้าที่ให้งานไห้แรงดันตกไม่เกิน 3% ในวงจรย่อย และไม่เกิน 5% เมื่อคิดตั้งแต่จุดเริ่มต้นของสายป้อนผ่านวงจรย่อยถึง load ที่เป็นอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า แรงดันตกในสายป้อนและวงจรย่อยไม่ควรเกินร้อยละ 1 หรือ 1% เพราะฉะนั้น การเลือกใช้ชนิดของสายไฟและขนาดของสายไฟจึงจำเป็นมาก วิธีหาแรงดันในสายได้จากสูตรดังนี้

สำหรับไฟตรงและระบบไฟฟ้าหนึ่งเฟส

$$V_d = \frac{2IDRT}{1000} \qquad (2.16)$$

สำหรับไฟฟ้า 3 เฟส ซึ่งเป็นค่าแรงดันลดระหว่างเฟส

$$V_d = \frac{1.732IDRT}{1000} \qquad (2.17)$$

สำหรับไฟฟ้าระบบ 3 เฟสซึ่งเป็นค่าแรงดันลดระหว่างสายเฟสกับสายกลาง

$$V_d = \frac{IDRT}{1000} \qquad (2.18)$$

เมื่อ V_d = แรงดันไฟฟ้าลด

I = กระแสไฟฟ้า

D = *ความยาวสายไฟ – ระยะทาง ฟุต (คิดทางเดียว)*

R = *ความต้านทาน*

T = อุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ระบบควบคุมความเร็ว

2.7.1 มอเตอร์ (Motor)

2.7.1.1 หลักการมอเตอร์

มอเตอร์สามเฟสมีขดลวดสามชุด แต่ละชุดต่อเข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันระบบ 3 เฟส ให้กำลัง (horse power) สูง เมื่อเทียบกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียว ขนาดเดียวกัน มอเตอร์กระแสสลับสามเฟสนิยมใช้กันมากในงานอุตสาหกรรม [14]

2.7.1.2 ชนิดของมอเตอร์กระแสสลับสามเฟส แบ่งเป็น 2 ชนิด

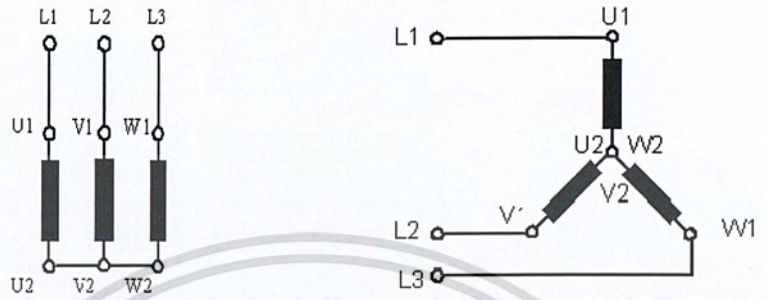
1. มอเตอร์สามเฟสแบบเหนี่ยวนำ (3 Phase Induction Motor)
   อาศัยหลักการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์ แบ่งเป็น 2 แบบคือ
   - แบบโรเตอร์กรงกระรอก (Squirrel Cage Rotor Type)
   - แบบโรเตอร์พันขดลวด (Wound Rotor)

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

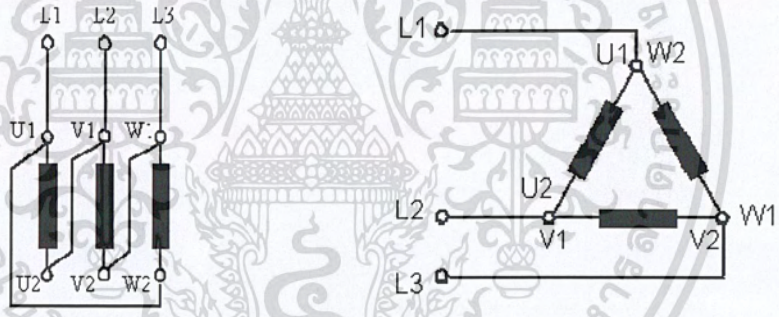
- การต่อแบบสตาร์ หรือแบบวาร์ย (Star or Wye or Y Connection)
  การต่อแบบสตาร์ หรือแบบวาร์ยนี้จะให้แรงดันไฟฟ้าที่สูงที่กระแสต่ำ เป็นการต่อโดยเอาปลายของขดลวดทั้งสามเฟส (หรือจะเป็นชุดก็ได้ เรียกว่า Series-Star connection) มาต่อรวมกัน แล้วปล่อยต้นเฟสอีกด้านหนึ่งของทั้งสามเฟสไว้เพื่อต่อใช้งาน ดังรูปที่ 2.39
- การต่อแบบเดลตาหรือ สามเหลี่ยม (Delta)
  การต่อแบบเดลตา หรือสามเหลี่ยมนี้จะให้แรงดันไฟฟ้าที่ต่ำที่กระแสสูง เป็นการต่อโดยเอาต้นและปลายของขดลวดต่อกัน ในแต่ละเฟสจะต่อถึงกันหมด ดังนี้ ปลายของเฟส 1 ต่อกับต้นของเฟส 2, ปลายเฟส 2 ต่อต้น เฟส 3, และปลายของเฟส 3 ต่อต้นของเฟส 1 การต่อใช้งานก็จะใช้จุดที่ต่อทั้งสามจุดไปใช้งาน (ลักษณะการต่อจะเป็นแบบสามเหลี่ยมด้านเท่า) ดังรูปที่ 2.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-



รูปที่ 2.39 การต่อแบบสตาร์ [14]



รูปที่ 2.40 การต่อแบบเดลตา [14]

2.7.2 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

2.7.2.1 <u>หลักการอินเวอร์เตอร์</u>

วงจรอินเวอร์เตอร์ เป็นการเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าทางด้านอินพุทซึ่งเป็นกระแสตรง (DC) จากแหล่งจ่ายไฟให้เป็นกำลังไฟสลับ (AC) ที่มีแรงดัน และความถี่ตามที่ต้องการ โดยในที่นี้ต้องการความถี่ 50 Hz และมีขนาด 220 โวลท์ ซึ่งหลักการของอินเวอร์เตอร์จะอาศัยการตัดต่อของสวิทช์ที่เป็นสารกึ่งตัวนำเป็นตัวตัดต่อไฟฟ้ากระแสตรงที่ต่ออยู่ภาระไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Load) เช่น ทรานซิสเตอร์, เอสซีอาร์, เพาเวอร์มอสเฟท, ไอจีบีที เป็นต้น เพื่อที่จะทำให้แรงดันที่ตกคร่อมภาระไฟฟ้าเป็นสัญญาณไฟกระแสสลับ

ซึ่งอินเวอร์เตอร์ (Inverter) หรือเรียกว่า เอซีไดร์ฟ (AC drives) คืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำหรือเอซีมอเตอร์ เนื่องจากความเร็วรอบของอินดัคชั่นมอเตอร์ หรือมอเตอร์เหนี่ยวนำจะเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับสมการความเร็วรอบหรือสมการซิงโครนัส-สปีดดังต่อไปนี้ [15]

$$\text{Synchronous speed (Ns)} = \frac{(120 \times f)}{p} \qquad (2.19)$$

เมื่อ f = ความถี่กระแสไฟฟ้า

p = จำนวนขั้วแม่เหล็ก

จากสมการสมซิงโครนัส-สปีดจะเห็นว่าความเร็วรอบของมอเตอร์สามารถปรับเปลี่ยนได้ 2 เส้นทาง คือ

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

ซึ่งการเปลี่ยนความสัมพันธ์ของทั้งสองจะให้ความเร็วรอบที่แตกต่าง ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ความเร็วรอบของมอเตอร์ตามความถี่และขั้วแม่เหล็ก [15]

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 คุณสมบัติการไหลของพลาสติก หรือรีโอโลยี (Rheology)

รีโอโลยี (rheology) หมายถึง วิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการไหล และการผิดรูปของวัสดุที่มีสถานะเป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ โดยทั่วไปมักจะเรียกสมบัติทางรีโอโลยีว่าสมบัติการไหล เป็นการศึกษารีโอโลยีของสารละลายพอลิเมอร์ และพอลิเมอร์หลอม เนื่องจากของไหลชนิดนี้ที่มีลักษณะเป็นของไหลหนืด (viscous fluid) และมีการเฉือนลดลงเมื่อเพิ่มอัตราเฉือน (shear thinning behavious) เป็นไหลวิสโคอีลาสติก (viscoelastic fluid) และมีสมบัติการไหลขึ้นกับเวลาและอุณหภูมิ

การแปรรูปพลาสติกจะต้องให้พลาสติกหลอมในเครื่องแปรรูป แล้วอัดด้วยสกรูหรือลูกสูบให้ไหลผ่านหัวดายหรือหัวฉีด หรือระบบท่อที่มีขนาดเล็กก่อนทำให้เย็น ในขณะที่เกิดการไหล โมเลกุลพลาสติกจะเกิดการผิดรูปหลายลักษณะ ซึ่งมักจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของพอลิเมอร์ และสภาวะของการไหล ดังนั้นความเข้าใจเรื่องสมบัติการไหล และการผิดรูปของพอลิเมอร์หลอมจะทำให้เข้าใจพฤติกรรมการไหลในกระบวนการแปรรูป ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการควบคุมคุณภาพ และการพัฒนาการผลิตผลิตภัณฑ์ [3]

2.8.1 ความหนืด (Viscosity)

เมื่อของไหลเกิดการไหล ความเร็วของการไหล และอัตราการไหลจะขึ้นกับความต้านทานภายใน (internal resistance) ของของไหลชนิดนั้น ความต้านทานภายในของของไหล เรียกว่า ความหนืด (viscosity) ซึ่งสามารถวัดได้จากการใช้เครื่องรีโอมิเตอร์ (rheometer) ซึ่งนอกจากค่าความหนืดแล้ว เครื่องรีโอมิเตอร์ยังสามารถใช้ในการวัดสมบัติอื่นๆ เช่น ความเค้น (stress) และความเครียด (strain) เป็นต้น ของไหลต่างชนิดกันมีความหนืดแตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 2.6 ค่าความหนืดของพอลิเมอร์หลอมจะเปลี่ยนแปลงตามปัจจัยต่างๆ คือ อัตราเฉือน (shear rate) เวลาที่ใช้ในการไหล อุณหภูมิ ความดัน และแรงกระทำจากภายนอก ดังนั้นในขณะไหลพลาสติกหลอมจะมีผลต่อทั้งสมบัติการไหลแบบเฉือน (shear property) หรือการไหลหนืด (viscous flow) เนื่องจากการตอบสนองต่อความเค้นเฉือน (shear stress) และความเค้นยืด (tensile stress หรือ elongation stress หรือ extensional stress) ซึ่งทำให้เกิดการไหลแบบยืด (extension flow)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 ความหนืดของวัสดุชนิดต่างๆ[3]

ชนิดวัสดุ	ความหนืด (ปาสคาล วินาที)	ลักษณะเนื้อสาร
อากาศ	10^{-5}	ก๊าซ
น้ำ	10^{-3}	ของเหลว
พอลิเมอร์อิมัลชัน	10^{-3}-10^{-2}	ของเหลว
สี	10^{-2}-10^{-1}	เป็นครีม
น้ำมันมะกอก	10^{-1}	ของเหลว
กลีเซอรอล	10	ของเหลวค่อนข้างหนืด
อีพอกซี	50	หนืดคล้ายน้ำเชื่อม
พอลียูรีเทนเหลว	10^{2}-10^{3}	หนืดคล้ายน้ำเชื่อม
พลาสติกหลอม	10^{2}-10^{6}	เหนียวหนืด
ยางดิบ	10^{2}-10^{6}	แข็ง และยืดหยุ่น
ยางมะตอย	10^{9}	ของแข็งไหลได้
แก้ว	10^{21}	ของแข็ง

พอลิเมอร์หลอมเป็นวัสดุชนิดวีสโคอิลาสติก มีลักษณะการไหลหนืดซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะของของไหลและมีความยืดหยุ่น ซึ่งเป็นสมบัติของของแข็งยืดหยุ่น ระดับของความหนืด และความยืดหยุ่นของพอลิเมอร์หลอมขึ้นอยู่กับสภาวะของพอลิเมอร์หลอม เช่น อุณหภูมิ ความดัน และชนิดของพอลิเมอร์ โดยทั่วไปพฤติกรรมการไหลของพอลิเมอร์หลอมในเครื่องแปรรูปมีความซับซ้อนมาก ซึ่งการไหลภายใต้สภาวะของกระบวนการการแปรรูปชนิดต่างๆ เช่น การฉีดเข้าเบ้า และการอัดรีดขึ้นรูป การตอบสนองของพอลิเมอร์หลอมต่อแรงที่กระทำในเครื่องแปรรูปจึงมีลักษณะเฉพาะ

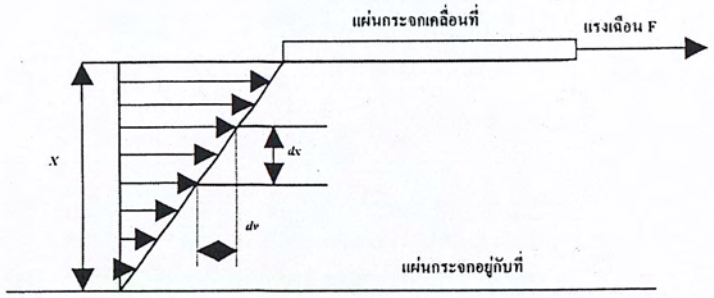
2.8.2 การแบ่งชนิดของของไหล

โดยทั่วไปจะแบ่งชนิดของของไหลตามพฤติกรรมการไหลได้ 2 ชนิด คือ

2.8.2.1 <u>ของไหลอุดมคติหรือของไหลนิวทอเนียน (Ideal or Newtonian Fluids)</u>

พิจารณาการผิดรูป และการไหลของของไหลนิวทอเนียนที่วางตัวอยู่ระหว่างแผ่นกระจกใสบาง 2 แผ่น ที่มีพื้นที่กว้างมาก (A) มีระยะห่างเป็น X เมตร ดังรูปที่ 2.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.41 การไหล และการผิดรูปของของไหลนิวทอเนียนระหว่างแผ่นกระจกสองแผ่น เนื่องจากอิทธิพลของความเค้นเฉือน (Shear stress) [3]

ใช้แรง F (นิวตัน) ซึ่งเป็นแรงคงที่ดึงแผ่นกระจกด้านบนด้วยความเร็ว v (เมตรต่อวินาที) ในขณะที่ให้กระจกแผ่นล่างอยู่กับที่ สามารถคำนวณค่าความเค้นเฉือนได้ดังนี้

$$\tau = \frac{F}{A} = \eta \frac{dv}{dx} = \eta \dot{\gamma} \qquad (2.20)$$

เมื่อ η คือ ความหนืดของของไหลนิวทอเนียน (Newtonian viscosity) มีหน่วยเป็นปาสคาล วินาที

$\dot{\gamma}$ คือ อัตราเฉือน (shear rate) มีหน่วยเป็น $(\text{วินาที})^{-1}$

F คือ แรงที่ใช้ดึงแผ่นกระจกด้านบน มีหน่วยเป็น นิวตัน

v คือ ค่าความเร็ว ของการเคลื่อนที่ มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที

τ คือ ความเค้นเฉือน (shear stress) มีหน่วยเป็น ปาสคาล (นิวตันต่อตารางเมตร)

ดังนั้นในกรณีการไหลของของไหลนิวทอเนียน ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน และอัตราเฉือน จะเป็นเส้นตรง แสดงความสมการ

$$\tau \ \alpha \ \left(\frac{dv}{dx}\right) \qquad (2.21)$$

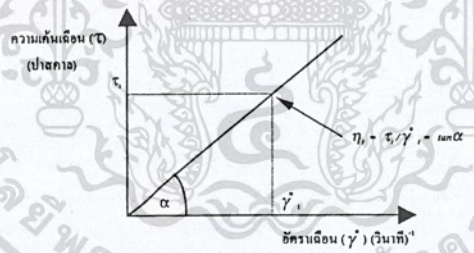
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความหนืดเฉือนของของไหลนิวทอเนียน สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ของความเค้นเฉือนกับอัตราเฉือน หรือค่า tan ของมุมของเส้นกราฟความเค้นเฉือนกระทำกับแกนของอัตราเฉือน ดังนี้

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = \tan\alpha \qquad (2.22)$$

เมื่อ α คือ มุมที่เส้นกราฟของความหนืดทำมุมกับแกนของอัตราเฉือน แสดงดังรูปที่ 2.42

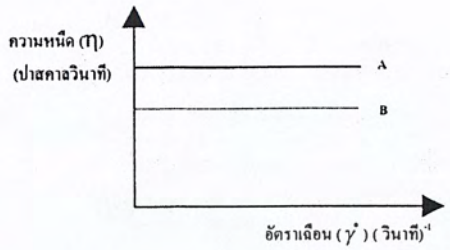
ดังนั้นจะเห็นว่ากราฟที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนกับอัตราเฉือนของของไหลนิวทอเนียนจะเป็นเส้นตรง ซึ่งแสดงถึงค่าของความหนืดของการไหลของของไหลนิวทอเนียนคงที่ กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน และอัตราเฉือนมักจะเรียกว่า เส้นกราฟของการไหล (flow curve) ค่าความหนืดของของไหลนิวทอเนียนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และชนิดของไหล ตัวอย่างของไหลในกลุ่มของของไหลนิวทอเนียนส่วนใหญ่เป็นของไหลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น น้ำน้ำมันพืช และตัวทำละลายอินทรีย์



รูปที่ 2.42 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนและอัตราเฉือน [3]

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดของของไหลนิวทอเนียนกับอัตราเฉือน เป็นกราฟเส้นตรงแสดงดังรูป 2.43 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าของไหลสองชนิดมีค่าความหนืดคงที่ แต่ของไหล A มีค่าความหนืดเฉือนสูงกว่าของไหล B ที่ทุกค่าของอัตราเฉือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.43 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอัตราเฉือนของของไหลนิวทอเนียน 2 ชนิด [3]

2.8.2.2 <u>ของไหลนอนนิวทอเนียน (Non-Newtonian Fluids)</u>

จากรูปที่ 2.43 พบว่าค่าความหนืดของของไหลนิวทอเนียน มีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับอัตราเฉือน และไม่ขึ้นกับเวลาที่ใช้ในการไหล แต่มีวัสดุหลายชนิดที่ไม่แสดงสมบัติการไหลทำนองเดียวกับของไหลนิวทอเนียน กล่าวคือสมบัติการไหลจะมีการเบี่ยงเบนไปจากนี้ ตัวอย่างวัสดุเหล่านี้ เช่น พอลิเมอร์หลอม สารละลายพอลิเมอร์ และน้ำยาง เป็นต้น เรียกของไหลในกลุ่มนี้ว่าเป็น ของไหลนอนนิวทอเนียนซึ่งมีสมบัติเฉพาะที่สำคัญ คือเส้นกราฟของการไหล (flow curve) ไม่เป็นเส้นตรง ดังเช่นกรณีการไหลของของไหลนิวทอเนียน และความหนืดของการไหลขึ้นอยู่กับอัตราเฉือน และประวัติการถูกเฉือน (shear history) ของไหลที่แสดงพฤติกรรมการไหลแบบนอนนิวทอเนียนแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ

2.8.2.2.1 กลุ่มของไหลที่สมบัติการไหลไม่ขึ้นกับเวลา (Time-Independent Fluids)

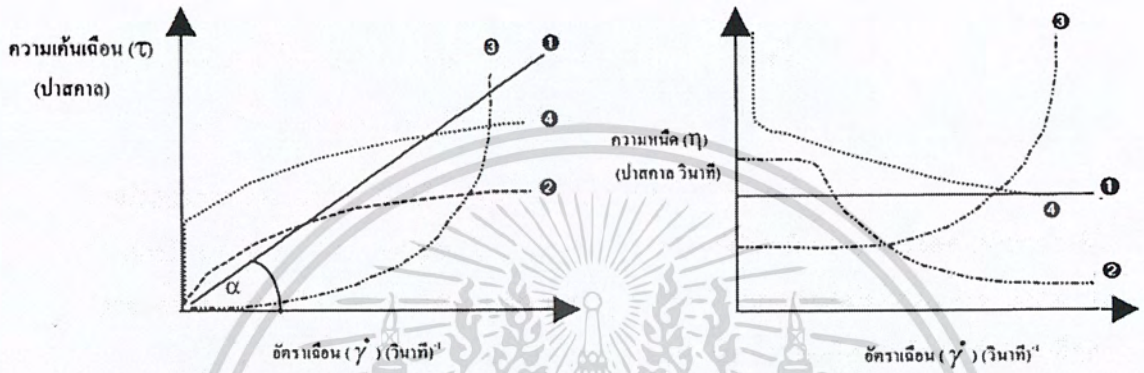
นิยามทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายสมบัติการไหลของของไหลที่สมบัติการไหลไม่ขึ้นกับเวลา แสดงดังสมการ

$$\gamma = f(\tau) = \frac{\tau}{\eta} \qquad (2.23)$$

ถ้าเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนกับอัตราเฉือน (flow curve) และระหว่างความหนืดกับอัตราเฉือน (viscosity curve) จากรูป 2.44 ของไหลในกลุ่มนี้เปรียบเทียบกับของไหลนิวทอเนียน พบว่าสามารถแบ่งพฤติกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไหลตามชนิดของของไหลได้ 3 ประเภท คือ ของไหลบิงแฮม (Bingham fluid) ของไหลซูโดพลาสติก (Pseudoplastic fluid) และของไหลไดเลทแท้น (Dilatant fluid)



รูปที่ 2.44 เส้นกราฟของการไหล และเส้นกราฟของความหนืดของของไหลชนิดต่างๆ [3]

1 ของไหลนิวทอเนียน 2 ของไหลซูโดพลาสติก

3 ของไหลไดเลทแท้น 4 ของไหลบิงแฮม

1. การไหลของของไหลบิงแฮม (Bingham Fluid)

ของไหลบิงแฮม มีโครงสร้างภายในที่มีลักษณะพิเศษ และจะไม่เกิดการไหลอย่างทันทีทันใดเมื่อได้รับความเค้น แต่เมื่อได้รับความเค้นที่มีขนาดมากกว่าความเค้นเฉือนค่าหนึ่ง ที่เรียกว่า yield stress (τ_y) โครงสร้างภายในจะเกิดการสูญเสียสภาพ และเริ่มเกิดการไหลที่ค่าความเค้นเฉือนมากกว่าค่านี้ ได้เส้นโค้งของการไหลเป็นเส้นตรง กล่าวคือ มีพฤติกรรมการไหลเช่นเดียวกับกรณีของไหลนิวทอเนียน สมบัติการไหลของของไหลบิงแฮมอธิบายได้โดยใช้สมการที่ 2.24

$$\dot{\gamma} = \frac{1}{\eta}(\tau - \tau_y) \qquad (2.24)$$

เมื่อ $\tau \geq \tau_y$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ของไหลซูโดพลาสติก (Pseudoplastic fluid)

การไหลของของไหลซูโดพลาสติกมีความหนืดลดลงเมื่อเพิ่มค่าอัตราเฉือน ดังรูปที่ 2.44 เรียกการไหลแบบนี้ว่าเป็น พฤติกรรมแบบลดความหนืด (shear thinning behavior) นอกจากนี้เส้นกราฟของการไหล จะมีแนวโน้มขนานกับแกนของอัตราเฉือนเมื่อค่าอัตราเฉือนมีค่าสูง สมบัติเด่นอีกอย่างหนึ่งของของไหลชนิดนี้คือไม่มีลักษณะที่มีค่าความเค้นคงที่ขณะเพิ่มอัตราเฉือน (yield stress) เหมือนกรณีของไหลบิงแฮม

สมการที่ได้รับการยอมรับเพื่ออธิบายสมบัติการไหลของของไหลซูโดพลาสติกคือ สมการยกกำลัง (power law equation หรือ Ostwald-de-Waele equation) รายละเอียดของสมการ แสดงดังในสมการที่ 2.25 และสมการที่ 2.26

$$\tau = K(\dot{\gamma})^n \qquad (2.25)$$

$$\eta = K(\dot{\gamma})^{n-1} \qquad (2.26)$$

เมื่อ n คือ ดัชนีของสมการยกกำลังหรือดัชนีนอนนิวทอเนียน

K คือ ดัชนีของความเหนียวแน่น (consistency index)

สามารถใช้ค่าดัชนีของสมการยกกำลังในการจำแนกชนิดของของไหลได้ กล่าวคือ ของไหลนิวทอเนียนมีค่า n = 1 เสมอ แต่ของไหลซูโดพลาสติกจะมีค่า n น้อยกว่า 1 ตัวอย่างของไหลที่มีพฤติกรรมการไหลแบบซูโดพลาสติก เช่น พอลิเมอร์หลอม สารละลายพอลิเมอร์ เป็นต้น

โดยทั่วไปสมการยกกำลังไม่สามารถใช้ในการอธิบายสมบัติการไหลตลอดช่วงของอัตราเฉือน แต่สามารถใช้สมการยกกำลังอธิบายสมบัติของของไหลเมื่อ กราฟระหว่าง $\log(\tau)$ กับ $\log(\dot{\gamma})$ เป็นเส้นตรงเท่านั้น และค่า n ของสมการยกกำลังสามารถหาได้จากความชันของความสัมพันธ์ข้างต้น

พอลิเมอร์หลอมขณะไหลในเครื่องแปรรูปมีพฤติกรรมซับซ้อนกว่าการอธิบายด้วยสมการยกกำลัง กล่าวคือมีเวลาในการผิดรูป (deformation) และการคืนตัวของโมเลกุล (relaxation) หรือมีเวลาของการคลายตัว (relaxation time) เข้ามาเกี่ยวข้อง แต่ในทางวิศวกรรม และเทคโนโลยีพอลิเมอร์ มักใช้สมการยกกำลังเป็นเกณฑ์ในการออกแบบ และสร้างเบ้าหัวดาย และการทดสอบสมบัติการไหลเบื้องต้นของพอลิเมอร์หลอมเสมอ แต่เป็นที่ทราบกันดีว่าการใช้สมการยกกำลังเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะอธิบายพฤติกรรมทุกด้านของพอลิเมอร์หลอม โดยเฉพาะปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการไหลแบบยืด (extensional flow) และการเป็นวีสโคอีลาสติก (viscoelasticity) ได้ การใช้สมการยกกำลังเป็นเพียงการประเมินสมบัติการไหลในเบื้องต้นเท่านั้น นอกจากนี้ยังพบว่าพอลิเมอร์หลอมทุกชนิดมีสมบัติเป็นของไหลแบบซูโดพลาสติกในบางช่วงของอัตราเฉือนเท่านั้น กล่าวคือถ้าพอลิเมอร์หลอมที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของอัตราเฉือนที่ต่ำมาก (< 3 วินาที$^{-1}$) และสูงมาก จะมีสมบัติเป็นของไหลนิวทอเนียน นอกจากสมการยกกำลังแล้วยังมีสมการชนิดอื่นๆ ที่ใช้ในการอธิบายสมบัติการไหลของของไหลซูโดพลาสติก สรุปได้ดังสมการที่ 2.27 – 2.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการพรานดท์ (Prandlt equation) $\tau = A\,sin^{-1}(\dot{\gamma}/C)$ (2.27)

สมการไอริง (Eyring equation) $\tau = \dot{\gamma}/B + C\,sin(\tau/A)$ (2.28)

$$\tau = \dot{\gamma}(\eta_\infty + (\eta_0 - \eta_\infty)/(1 + \left(\frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}_b}\right)^2 n/2)) \quad (2.29)$$

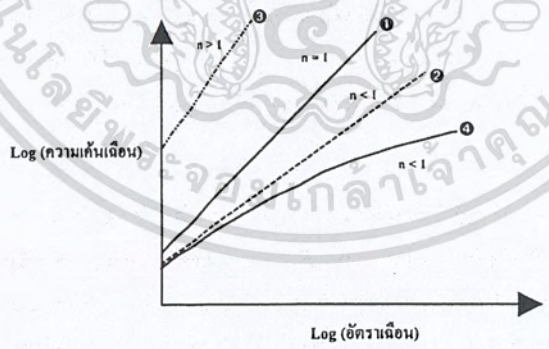
เมื่อ A, B และC = ค่าคงที่

η_∞ = ค่าความหนืดแบบเฉือนอนันต์ หรือความหนืดเฉือนที่อัตราเฉือนสูงมากๆ (Infinity shear viscosity)

η_0 = ค่าความหนืดแบบเฉือนที่มีค่าอัตราเฉือนเป็นศูนย์ (Zero shear viscosity)

3. ของไหลไดแลทแท้น (Dilatant Fluid)

จากรูปที่ 2.44 จะสังเกตเห็นว่าการไหลของของไหลไดแลทแท้นมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราเฉือน เรียกพฤติกรรมการไหลแบบนี้ว่าเป็น พฤติกรรมการไหลแบบเพิ่มความหนืด (shear thickening behavior) ตัวอย่างของไหลที่แสดงพฤติกรรมการไหลในลักษณะนี้ เช่น การไหลของปูนซีเมนต์ และการไหลของพอลิเมอร์แขวนลอยที่มีสารตัวเติมในปริมาณสูง (highly filled suspensions) เป็นต้น สามารถใช้สมการยกกำลัง ในการอธิบายสมบัติการไหลของของไหลไดแลทแท้นได้เช่นกัน ตามสมการยกกำลังของของไหลไดแลทแท้นคือของไหลที่มีค่า n มากกว่า 1 สมการยกกำลังสามารถใช้ในการอธิบายพฤติกรรมการไหลของของไหลชนิดต่างๆ สรุปดังในรูปที่ 2.45



รูปที่ 2.45 เส้นกราฟการไหลของของไหลชนิดต่างๆ [3]

1. ของไหลนิวทอเนียน 2. ของไหลซูโดพลาสติกที่เป็นไปตามสมการยกกำลัง
3. ของไหลไดแลทแท้น 4. พอลิเมอร์หลอมบางชนิดเป็นของไหลซูโดพลาสติกแต่ไม่เป็นไปตามสมการยกกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2.2.2 กลุ่มของไหลที่สมบัติการไหลขึ้นกับเวลา (Time Dependent Fluids)

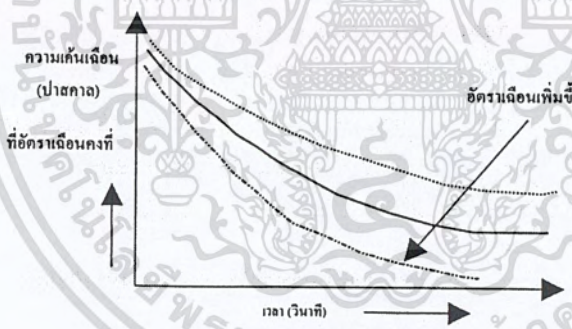
สมบัติการไหลของของไหลชนิดนี้ เช่น ความหนืดเฉือน เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาที่ของไหลถูกเฉือน ของไหลที่แสดงพฤติกรรมในลักษณะนี้สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. ของไหลทริกโซทรอปิค (Thixotropic Fluids)

ลักษณะเฉพาะของการไหลของของไหลชนิดนี้คือ ค่าความหนืดของการผิดรูปครั้งหลังจะต่ำกว่าความหนืดของการผิดรูปครั้งก่อน ดังนั้นสมบัติการไหลของของไหลชนิดนี้ขึ้นกับระยะเวลาที่ถูกเฉือน เช่น ถ้ากวนของไหลชนิดนี้เป็นเวลานานด้วยอัตราเฉือนคงที่จะทำให้สมบัติการไหล เช่น ความหนืดเฉือนลดลง แสดงดังรูปที่ 2.46 นอกจากนี้ถ้าเปรียบเทียบค่าความเค้นเฉือนที่ได้จากการใช้อัตราเฉือนที่คงที่ แต่มีค่าแตกต่างกัน พบว่าการเพิ่มค่าอัตราเฉือนส่งผลให้ความเค้นเฉือนลดลง

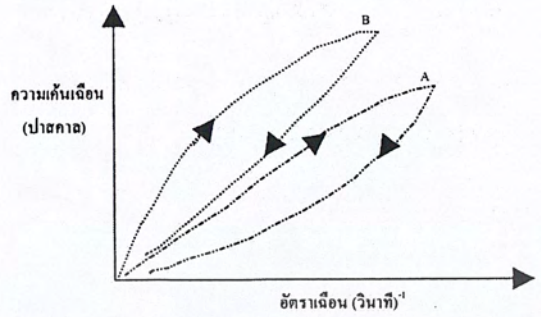
เพื่อความเข้าใจถึงพฤติกรรมการไหลของของไหลทริกโซทรอปิค ทำการทดลองวัดสมบัติการไหลโดยใช้เครื่องรีโอมิเตอร์แบบหมุนที่สามารถวัดทอร์ก และความเค้นเฉือนได้ ทำการกวนของไหลที่ความเร็วค่าหนึ่งแล้ววัดค่าความเค้นไว้ แล้วเพิ่มความเร็วในการกวนแล้ววัดความเค้น ทำเช่นนี้ที่หลายความเร็วของการหมุน จนถึงความเร็วสูงสุดของการหมุน หลังจากนั้นเริ่มลดความเร็วของการหมุนโดยไม่หยุดเครื่อง แล้ววัดความเค้นที่ค่าความเร็วของการหมุนเท่ากัน

ผลการทดลองพบว่าเส้นกราฟของความเค้นของการเพิ่ม และลดความเร็วของการหมุนจะไม่ซ้อนทับกันเกิดเป็น hysteresis loop แสดงดังรูปที่ 2.47



รูปที่ 2.46 สมบัติของของไหลทริกโซทรอปิค [3]

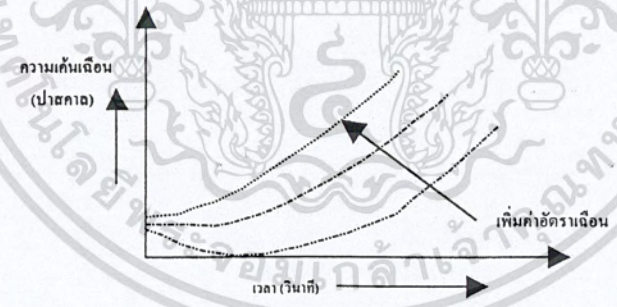
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.47 Hysteresis Loop ของของไหลทริกโซทรอปิค 2 ชนิด คือ ของไหล A และ B [3]

2. ของไหลรีโอเปคติก (Rheopectic Fluids)

ของไหลรีโอเปคติกมีสมบัติการไหลกลับกับกรณีของไหลทริกโซทรอปิคกล่าวคือ ค่าของสมบัติการไหล เช่น ความหนืดสูงขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาของการเฉือน ทำให้ของไหลชนิดนี้มีความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านการถูกกระทำด้วยความเค้นเฉือน ตัวอย่างของไหลที่แสดงพฤติกรรมในลักษณะนี้ เช่น แร่ยิบซัมในน้ำ เป็นต้น ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงความเค้นเฉือนเมื่อเวลาของการเฉือนเพิ่มขึ้นในของไหลรีโอเปคติก แสดงดังรูปที่ 2.48



รูปที่ 2.48 สมบัติการไหลของของไหลรีโอเปคติก [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ของไหลวีสโคอีลาสติก (Viscoelastic Fluids)

ของไหลวีสโคอีลาสติก เป็นวัสดุที่แสดงสมบัติผสมระหว่างการไหลหนืด (Viscous flow) และ การยืดหยุ่น (elastic) อธิบายสมบัติการไหลโดยรวมได้ดังนี้

$$\tau = \emptyset\left(\frac{d\gamma}{dt}, t\right) \qquad (2.30)$$

เมื่อ $d\gamma/dt$ = อัตราการเฉือน ($\dot{\gamma}$)

$\emptyset$ = สมบัติการไหลที่เกิดจากการไหลหนืด และการยืดหยุ่น

T = เวลา

ดังนั้นการพิจารณาการไหลของของไหลที่เป็นของไหลวีสโคอีลาสติกจะต้องแยกพิจารณาออกเป็น 2 กรณี คือ

1. สมบัติการไหลของของไหลนิวทอเนียน ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 2.30 กล่าวคือ ความหนืดของการไหลขึ้นอยู่กับอัตราเฉือนเท่านั้น มีความพยายามในการอธิบายสมบัติการไหลโดยใช้ลูกสูบ เป็นแบบจำลองในการอธิบายพฤติกรรมการไหล กล่าวคือเมื่อได้รับแรงเฉือน ลูกสูบจะเคลื่อนที่ไปที่ตำแหน่งใหม่ ถ้าหยุดแรงลูกสูบยังคงอยู่ที่ตำแหน่งเดิมไม่มีการหดตัวกลับ (รูปที่ 2.49) นอกจากนี้งานที่ใช้ในการทำให้กระบอกสูบยืดตัวจะสูญเสียไปทั้งหมด
2. สมบัติของของแข็งยืดหยุ่น (ideal elastic solids) ซึ่งมีพฤติกรรมตามกฎของฮูค (Hooke's law) ดังนี้

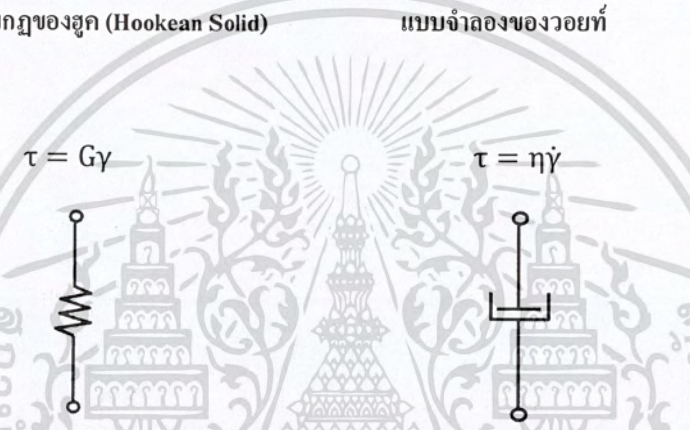
$$\tau = G\gamma \qquad (2.31)$$

เมื่อ G = โมดูลัสเฉือน (shear modulus)

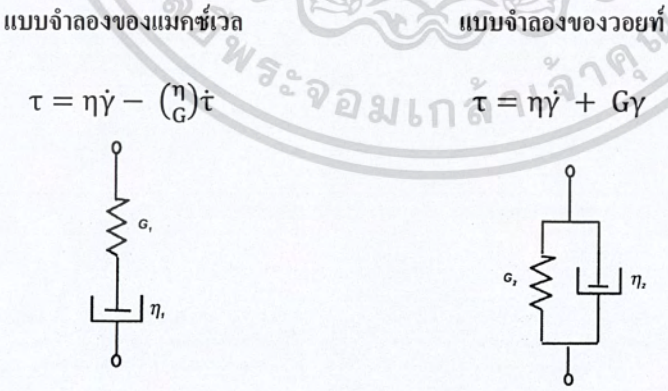
ใช้สปริงเป็นตัวแทนในการอธิบายสมบัติของของแข็งยืดหยุ่น ดังนั้นเมื่อให้แรงเฉือนแก่สปริงจะเกิดการยืดออก ถ้าหยุดการให้แรงสปริงจะหดตัวกลับไปที่ตำแหน่งเดิมทำให้ปลดปล่อยงานทั้งหมดกระทำบนสปริง ดังรูปที่ 2.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นถ้าพิจารณาพฤติกรรมการไหลของของไหลวีสโคอีลาสติก ต้องพิจารณาพฤติกรรมรวมของตัวแทนทั้งสองชนิด (คือ ลูกสูบ และสปริง) ในกรณีให้แรงเฉือนแก่ของไหลวีสโคอีลาสติก เมื่อหยุดให้แรงเฉือนจะทำให้ลูกสูบหดตัวกลับระยะหนึ่งเนื่องจากอิทธิพลการหดตัวกลับของสปริง ในอดีตได้มีการพัฒนาแบบจำลองหลายชนิดเพื่ออธิบายพฤติกรรมของของไหลวีสโคอีลาสติก แต่แบบจำลองของแมกซ์เวลล์ (Maxwell model) และแบบจำลองของวอยท์ (Voigt model) ใช้ในการอธิบายพฤติกรรมเบื้องต้นของของไหลชนิดนี้มากที่สุด ดังรูปที่ 2.50



รูปที่ 2.49 แบบจำลองที่ใช้อธิบายของแข็งยืดหยุ่นอุดมคติ (สปริง) และของไหลนิวทอเนียน (ลูกสูบ) [3]



รูปที่ 2.50 แบบจำลองของไหลวีสโคอีลาสติกของแมกซ์เวล และวอยท์ [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างวัสดุที่มีสมบัติเป็นวีสโคอีลาสติก เช่น พอลิเมอร์หลอมสารละลายพอลิเมอร์ และ ยางที่เป็นทั้งยางดิบและยางที่มีการเชื่อมโยงแล้ว เป็นต้น วัสดุเหล่านี้จะแสดงพฤติกรรมการไหลที่ซับซ้อนโดยจะต้องนำเวลาในการพัก (relaxation time) และการพักโมดูลัส (relaxation modulus) เข้ามาพิจารณาเพื่อที่จะประเมินพฤติกรรมที่แท้จริงของการไหลและการผิดรูป

2.8.3 พฤติกรรมการไหลของพอลิเมอร์หลอม

พอลิเมอร์หลอมแสดงพฤติกรรมสอดคล้องกับการไหลของของไหลซูโดพลาสติก ซึ่งเป็นพฤติกรรมการไหลที่ไม่ขึ้นกับเวลา แต่เป็นที่ยอมรับกันว่าพอลิเมอร์หลอมแสดงสมบัติเป็นของไหลที่มีสมบัติขึ้นกับเวลาด้วย กล่าวคือ มีสมบัติการไหลเป็นแบบของไหลวีสโคอีลาสติกด้วย เนื่องจากมีปรากฏการณ์หลายอย่างที่ชี้บ่งถึงการมีสมบัติการไหลของของไหลวีสโคอีลาสติกของพอลิเมอร์หลอม เช่น การบวมพองที่หัวดาย (die swell หรือ extrudate swell) การบวมพองในขณะรีด (calendar swell) และการเกิด frozen-in ในกระบวนการฉีดพอลิเมอร์

2.8.3.1 <u>พอลิเมอร์หลอมเป็นของไหลซูโดพลาสติก</u>

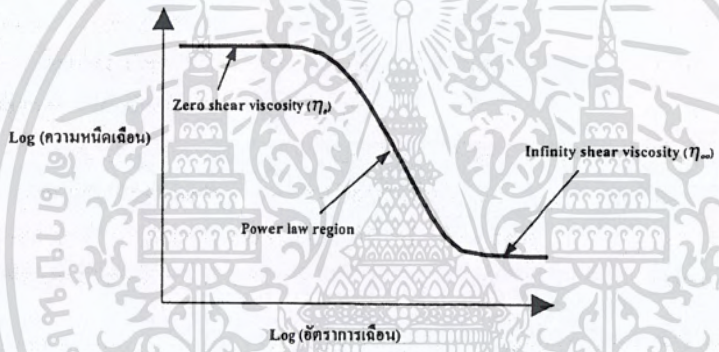
การประเมินสมบัติขั้นต้นของพอลิเมอร์หลอม นิยมใช้สมการยกกำลังเป็นเกณฑ์ในการพิจารณา ดังนั้นในกรณีนี้พอลิเมอร์หลอมจะมีพฤติกรรมการไหลแบบของไหลซูโดพลาสติก เส้นกราฟของความหนืดเฉือนกับอัตราเฉือนในสเกล log-log แสดงในรูปที่ 2.51 มีลักษณะเป็นเส้นตรงมีค่าความหนืดต่ำมากและสูงมาก และกล่าวได้ว่าที่สองช่วงของอัตราเฉือนนี้พอลิเมอร์หลอมมีสมบัติเป็นของไหลนิวทอเนียน ค่าความหนืดที่อัตราเฉือนต่ำมากเรียกว่า ค่าความหนืดเฉือนที่มีอัตราเฉือนเป็นศูนย์ (zero shear viscosity) ส่วนค่าความหนืดที่ค่าอัตราเฉือนสูงมากเรียกว่า ความหนืดเฉือนอนันต์ (Infinity shear viscosity) ช่วงกลางของเส้นกราฟของความหนืดค่าความหนืดเฉือนมีค่าลดลงเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น ในช่วงกลางนี้เองพอลิเมอร์หลอมจะแสดงพฤติกรรมเป็นไปตามสมการยกกำลัง และเป็นของไหลซูโดพลาสติก

สมบัติของพอลิเมอร์หลอมในช่วงที่มีสมบัติเป็นของไหลซูโดพลาสติกซึ่งอธิบายด้วยสมการยกกำลัง แสดงในรูป 2.51 สอดคล้องกับการจัดเรียงตัวของโมเลกุลระหว่างที่เกิดการไหล กล่าวคืออัตราที่เฉือนเพิ่มขึ้นโมเลกุลจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ไปในแนวเดียวกัน เพื่อทำให้โมเลกุลเคลื่อนตัวผ่านโมเลกุลอื่นๆได้ง่ายยิ่งขึ้น ส่งผลให้การต่อต้านต่อการไหล (ความหนืด) ลดลงตามค่าอัตราเฉือนที่เพิ่มขึ้น จากการสังเกตเส้นกราฟของความหนืดในรูปที่ 2.51 ถ้าพอลิเมอร์หลอมไม่สมบัติการไหลเป็นของไหลซูโดพลาสติก กล่าวคือความหนืดไม่ลดลงตามอัตราเฉือน จะทำให้การแปรรูปของพอลิเมอร์หลอมทำได้ยากมากเนื่องจากค่าความหนืดที่สูงแต่เมื่ออัตราเฉือนมีค่ามากค่าความหนืดของพอลิเมอร์หลอมลดลง จึงทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถแปรรูปพอลิเมอร์หลอมได้ง่ายขึ้น การมีสมบัติเป็นของไหลซูโดพลาสติกของพอลิเมอร์หลอมทำให้มีข้อดีหลายประการดังนี้

1. ทำให้ลดพลังงานที่ใช้ในการแปรรูป
2. สามารถผลิตชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ได้ง่ายขึ้น
3. สามารถใช้เครื่องจักรที่ต้องการกำลังต่ำได้
4. เพิ่มปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ได้ดี
5. ความดันในการแปรรูปต่ำ
6. ความสามารถทำให้พอลิเมอร์หลอมไหลเข้าเบ้าที่มีความซับซ้อนได้



รูปที่ 2.51 สมบัติการไหลของพอลิเมอร์หลอม [3]

2.8.3.2 ความสัมพันธ์ของวีสโคอีลาสติก (Viscoelasticity) ในกระบวนการแปรรูปพอลิเมอร์

ในการออกแบบเครื่องแปรรูป เบ้า และดาย ใช้ในกระบวนการแปรรูปพอลิเมอร์ซึ่งสามารถใช้งานได้ดีเพียงแค่พิจารณาว่าพอลิเมอร์หลอมเป็นของไหลหนืด(หรือของไหลซูโดพลาสติก)เท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์การไหลของพอลิเมอร์หลอมที่สมบูรณ์แบบ ควรจะพิจารณาสมบัติทางด้านการไหลหนืด (viscous flow) และผลที่เกิดจาการยืดหยุ่นของพอลิเมอร์หลอม (elastic effect) ถึงแม้ถ้านำความคิดเรื่องความยืดหยุ่นของพอลิเมอร์หลอม (melt elasticity) เข้ามาพิจารณาในการออกแบบเครื่องแปรรูปพลาสติก จะทำได้ยาก และซับซ้อนมากดังนั้นการออกแบบเครื่องแปรรูปส่วนใหญ่ไม่ค่อยมีการนำเอาการไหลแบบยืดหยุ่นเข้ามาคิด และคำนวณ

ในแง่ของการศึกษาสมบัติการไหลของพอลิเมอร์หลอมในเครื่องแปรรูป โดยเฉพาะในส่วนที่เป็นหัวดายของเครื่องอัดรีดขึ้นรูป และหัวฉีดของเครื่องฉีดเข้าเบ้า มักจะนำเอาสมบัติการไหลที่เป็นการไหลแบบยืดหยุ่น เวลาของการพัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพักโมดูลัสเข้ามาเกี่ยวข้องเสมอ สมการที่ใช้อธิบายสมบัติการไหลของพอลิเมอร์หลอมรวมทั้งการไหลหนืด และการไหลยืดหยุ่นไว้ในสมการเดียวกัน เรียกว่า สมการสถานะของสมบัติการไหล (rhrological equation of state) หรือเรียกอีกอย่างว่า constitutive equation ตัวอย่างของ constitutive equation ที่เสนอขึ้นมาเพื่ออธิบายสมบัติการไหลของพอลิเมอร์หลอม เช่น Upper–convected Maxwell model, Oldroy–B model, Phan–thien-Tanner model, และ K-BKZ model

2.9 พลาสติกที่ใช้ในการอัดรีดขึ้นรูป

ตามหลักแล้วเทอร์โมพลาสติกทุกชนิดสามารถจะทำการอัดรีดขึ้นรูปได้ แต่มีข้อจำกัดคือพลาสติกนั้นเมื่ออ่อนตัวจะต้องมีความหนืดสูง ทั้งนี้เพื่อว่าเมื่อพลาสติกผ่านหัวดายออกมาจะต้องคงรูปได้ชั่วระยะเวลาหนึ่ง ไม่ยุบตัวมารวมกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกชนิดของพลาสติกที่เหมาะสมสำหรับงานอัดรีดหรือใช้พลาสติกบางชนิดที่ความหนืดต่ำกว่าเล็กน้อย ที่มี polymerization degree สูงขึ้นในกระบอก หรือเมื่อเติมสารผสมลงไปแล้วทำให้หนืดขึ้น โดยพลาสติกที่นำมาเข้ากระบวนการอัดรีดขึ้นรูป แสดงดังตารางที่ 2.7 โดยส่วนใหญ่เป็น PVC ทั้งแข็งและอ่อน ตามมาด้วย PE และPP [2]

ตารางที่ 2.7 พลาสติกที่ใช้ในกระบวนการอัดรีดขึ้นรูป [2]

ชื่อทางเคมี	สัญลักษณ์	อุณหภูมิทำงาน(°C)	ตัวอย่างการใช้งานในกระบวนการอัดรีดขึ้นรูป
Celluloseacetate	CA	160-200	Profile ต่างๆ และแผ่นแบน
Polystyrene (Normal Polystyrene)	PS	170-210	แผ่นฟิล์มที่ดึงยืดทั้งสองแกน และแผ่นโฟม
Styrene-Butadien Copolymerisate	SB	170-220	แผ่นหนา แผ่นฟิล์ม และเส้นใย
Acrylnitrile-Butadien-Styrene Terpolymerisate	ABS	170-220	แผ่นหนา และท่อ
Polyethylene soft (PE low density)	LDPE	130-200	ท่อ แผ่น ฟิล์ม ภาชนะกลวงหุ้มลวด และMonofile
Polyethylene hard (PE high density)	HDPE	140-220	ท่อ แผ่น ฟิล์ม ภาชนะกลวงหุ้มลวด และแถบ Tape

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 พลาสติกที่ใช้ในกระบวนการอัดรีดขึ้นรูป (ต่อ) [2]

ชื่อทางเคมี	สัญลักษณ์	อุณหภูมิทำงาน(°C)	ตัวอย่างการใช้งานในกระบวนการอัดรีดขึ้นรูป
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
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

2.9.1 พอลิโพรไพลีน

1. ลักษณะ

- พอลิโพรไพลีนมีลักษณะขาวขุ่น
- มีความหนาแน่นในช่วง 0.890 - 0.905

2. สมบัติทั่วไป

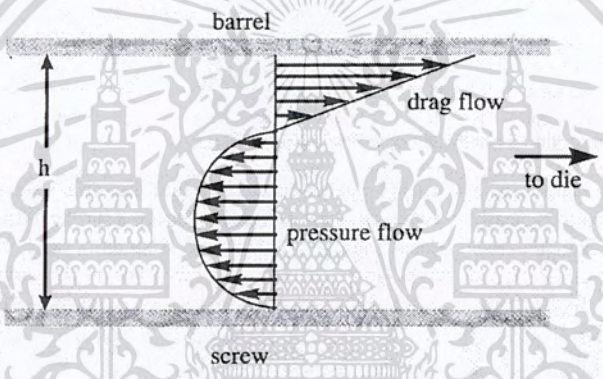
- มีผิวแข็ง ทนทานต่อการขีดข่วน คงตัวไม่เสียรูปง่าย
- สามารถทำเป็นบานพับในตัว มีความทนทานมาก
- เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก แม้ที่อุณหภูมิสูง
- ทนทานต่อสารเคมีส่วนมาก แต่สารเคมีบางชนิดอาจทำให้พองตัว หรืออ่อน นิ่มได้
- มีความเหนียวที่อุณหภูมิตั้งแต่ 105 °Fลงไปจนถึง 15 °F (40 °C ถึง -10 °C) แต่ที่ 0 °F จะเปราะ
- มีความต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซได้ดี
- สามารถทนอุณหภูมิสูงที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ (Sterilization : 100°C) ได้
- ผสมสีได้ง่ายทั้งลักษณะโปร่งแสง และทึบแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 การหาผลลัพธ์ (Output) ของกระบวนการผลิต

การหาผลลัพธ์ของกระบวนการผลิตจะหาจากสมการที่ใช้ในการคำนวณหากระบวนการผลิตในกระบวนการอัดรีดขึ้นรูป

การไหลในเครื่องอัดรีดขึ้นรูปสกรูเดี่ยวจะแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด การหมุนของสกรูจะผลักให้พลาสติกไปตามผนังของกระบอกหลอมอย่างคงที่ ทำให้เกิดอัตราการไหลของของไหล ซึ่งจัดหาได้จากการไหลของพลาสติกไปข้างหน้าในเครื่องอัดรีดขึ้นรูป และแม่พิมพ์ ปัจจุบันจะใช้การไหลที่มีประสิทธิภาพเท่านั้น การเพิ่มเข้ามาของแม่พิมพ์จะเป็นตัวจำกัดรูปร่างผลิตภัณฑ์ที่ออกมาของเครื่องอัดรีดขึ้นรูป ซึ่งจะมีความดันมากสุดที่ด้านหน้าของเครื่องอัดรีดขึ้นรูป ความดันตรงหน้าแม่พิมพ์จะก่อให้เกิดการไหลแบบอื่นๆอีก 2 ชนิด คือแรงดันในการไหลของของไหล และอัตราการรั่วไหลของของไหล ซึ่งจะแสดงดังรูปที่ 2.52



รูปที่ 2.52 แรงดันในการไหลของของไหล และอัตราการรั่วไหลของของไหล [16]

การจำลองการคำนวณของการอัดรีดขึ้นรูปจะพิจารณาจาก a) เครื่องอัดรีดขึ้นรูปที่มีสภาวะคงที่ b) การหลอมเหลวแบบนิวทอเนียน (ความหนืดจะไม่ทำให้อัตราเฉือนเปลี่ยนแปลง) c) การหลอมเหลวแบบไอโซเทอร์มอลต์ (อุณหภูมิคงที่) และ d) ส่วนหลอมพลาสติกจะเป็นตัวสนับสนุนผลลัพธ์เท่านั้น ดังนั้นผลลัพธ์สุทธิของของไหลของเครื่องอัดรีดขึ้นรูป จะสามารถหาได้จากผลรวมของการไหลของของไหลทั้ง 3 ชนิด

$$Q = Q_D - Q_P - Q_L \qquad (2.31)$$

อัตราการไหลของของไหลเป็นสัดส่วนของค่าคงที่ของสกรู (A) และความเร็วรอบของสกรู (N) ซึ่งหาได้จาก

$$Q_D = AN = \frac{\pi^2 D^2 h \sin\emptyset \cos\emptyset}{2} \cdot N \qquad (2.32)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ D = เส้นผ่านศูนย์กลางของสกรู

h = ค่าช่องความลึกของฟันเกลียวในส่วนหลอม

Ø = ค่ามุมเกลียวของสกรู

N = ความเร็วรอบของสกรูในความสัมพันธ์ต่อวินาที (rps)

แรงดันในการไหลของของไหลจะเกี่ยวข้องกับค่าคงที่ทางเรขาคณิตของสกรู (B), ค่าความดันตรงหัวดาย (ΔP), และค่าความหนืดของการหลอมเหลวในส่วนหลอม (μ) ซึ่งหาได้จาก

$$Q_P = \frac{B \cdot \Delta P}{\mu} = \frac{\pi D h^3 \sin \emptyset^2}{12 L_m} \cdot \frac{\Delta P}{\mu} \quad (2.33)$$

เมื่อ L_m = ค่าความยาวของสกรูในช่วงส่วนหลอม

อัตราการรั่วไหลของของไหลจะเป็นฟังก์ชั่นของค่าคงที่ (C), ค่าความดันตรงหัวดาย (ΔP), และค่าความหนืดของการหลอมเหลวในส่วนหลอม (μ) ซึ่งหาได้จาก

$$Q_L = \frac{C \cdot \Delta P}{\mu} = \frac{\pi^2 D^2 \delta^3 \tan \emptyset}{12 e L_m} \cdot \frac{\Delta P}{\mu} \quad (2.34)$$

เมื่อ δ = ค่าระยะห่างระหว่างฟันเกลียวกับกระบอกหลอม

แม้ว่าอัตราแรงเฉือน และความร้อนเฉือนจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบของสกรูเพิ่มขึ้น ความเร็วรอบของสกรูจะสูงมากกว่าการส่งผ่านพลาสติกในเครื่องอัดรีดขึ้นรูป ถ้าเวลาที่ใช้ในการอัดรีดขึ้นรูปลดลงแสดงว่ามีแรงเฉือนของพลาสติกและความร้อนที่สูง ต่อช่วงของเวลาที่สั้น หรือไม่ก็เป็นผลจากการหลอมเหลวของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงของความเร็วรอบของสกรู ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราเฉือน เวลา และวัสดุที่ใช้ในเครื่องอัดรีดขึ้นรูป [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

โพลิโพรพิลีน เป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีลักษณะเป็นของแข็ง ไม่มีสี มีทั้งโปร่งใสและโปร่งแสง ผิวเป็นมันเงา ดังรูปที่ 3.1 ทนกรด เบส และสารเคมีต่างๆ ยกเว้นไฮโดรคาร์บอนและคลอริเนเทดไฮโดรคาร์บอน แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามโครงสร้างของโพลิโพรพิลีน ได้แก่ ไอโซแทกทิกโพลิโพรพิลีน ซินดิโอแทกทิกโพลิโพรพิลีน และแอแทกทิกโพลิโพรพิลีน มีสมบัติดีกว่าโพลิเอทิลีนหลายอย่าง ได้แก่ ทนแรงกระแทกสูง ทนการขีดข่วน ทนสารเคมี มีจุดอ่อนตัวสูง มีความหนาแน่นต่ำ และมีอุณหภูมิในการหลอมสูง ทำให้ใช้งานที่อุณหภูมิสูงถึง 120 °C

รูปที่ 3.1 เม็ดพลาสติกชนิดโพลิโพรพิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน

3.2.1 อุปกรณ์ทางไฟฟ้า

1) ฮีตเตอร์ 220 โวลต์ 800 วัตต์ ขนาด 90×50 (จำนวน 1 ตัว) ขนาด 90×75 (จำนวน 1 ตัว) ขนาด 90×105 (จำนวน 2 ตัว) ขนาด 90×100 (จำนวน 1 ตัว)
2) ตัวควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Controller) ยี่ห้อ Shimax รุ่น MAC5 Input type (K, J, T, E, R, S, U, NB, PLII, WRe5-26) และ R.T.D (PT100, JPT100) แรงดัน Output 240VAC 2A จำนวน 4 ตัว
3) ตัววัดอุณหภูมิ (Thermocouple) Type k แบบเขี้ยวล็อค จำนวน 4 ตัว
4) อินเวอร์เตอร์ ยี่ห้อ Toshiba รุ่น VF-nC3 Input 1 เฟส 220 โวลต์ Output 3เฟส 220/380 โวลต์ จำนวน 1 ตัว
5) โซลิสสเตจรีเลย์ ยี่ห้อ Everwell 1 เฟส 220 โวลต์ Input 3-32 VDC Output 24-280 VAC จำนวน 4 ตัว
6) หน้าสัมผัสแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic Contactor) ยี่ห้อ Telemecanique รุ่น LC1 D25 G7 220 โวลต์ 45 แอมป์ จำนวน 2 ตัว
7) เบรกเกอร์ 3 เฟส 30 แอมป์ จำนวน 1 ตัว
8) สะพานไฟ (Terminal) 6 ช่อง จำนวน 2 ตัว
9) ตัวระบายความร้อน (Heat Sink) จำนวน 2 ตัว
10) หน้าปัดวัดความเร็วรอบของมอเตอร์ Input 0-10 VDC จากอินเวอร์เตอร์ จำนวน 1 ตัว
11) ตัวปรับความเร็ว 3 ขา 1kโอห์ม จำนวน 1 ชุด
12) สวิตช์กด จำนวน 4 ตัว
13) สวิตช์ฉุกเฉิน จำนวน 1 ตัว
14) ไฟแอลอีดี จำนวน 2 ดวง

3.2.2 อุปกรณ์ทางกล

1) ตู้ไฟ ขนาด 0.3×0.45×0.17 เมตร จำนวน 1 ตู้
2) ปลั๊กสำหรับใส่ตัววัดอุณหภูมิแบบเขี้ยวล็อค จำนวน 4 ตัว
3) โครงเหล็กสำหรับวางอุปกรณ์ต่างๆ
4) กระบอกหลอม เส้นผ่านศูนย์กลางใน 25 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางนอก 90 มิลลิเมตร ยาว 605 มิลลิเมตร
5) สกรู เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ยาว 605 มิลลิเมตร
6) กรวยเติมพลาสติก ปากกรวยเติมด้านบนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) มู่เล่ ร่องเอ *2* ร่อง

8) สายพาน ร่องเอ ยาว 41 นิ้ว จำนวน *2* เส้น

9) เกียร์ทด อัตราทดรอบ 1:20

10) มอเตอร์ กำลัง 3 เฟส ขนาด 746 วัตต์(1 แรงม้า) ความเร็วรอบ 1450 รอบต่อนาที

11) ฐานรองมอเตอร์

12) ฐานรองกระบอกหลอม

13) แผ่นประคองสกรู

14) คัปปลิงยาง

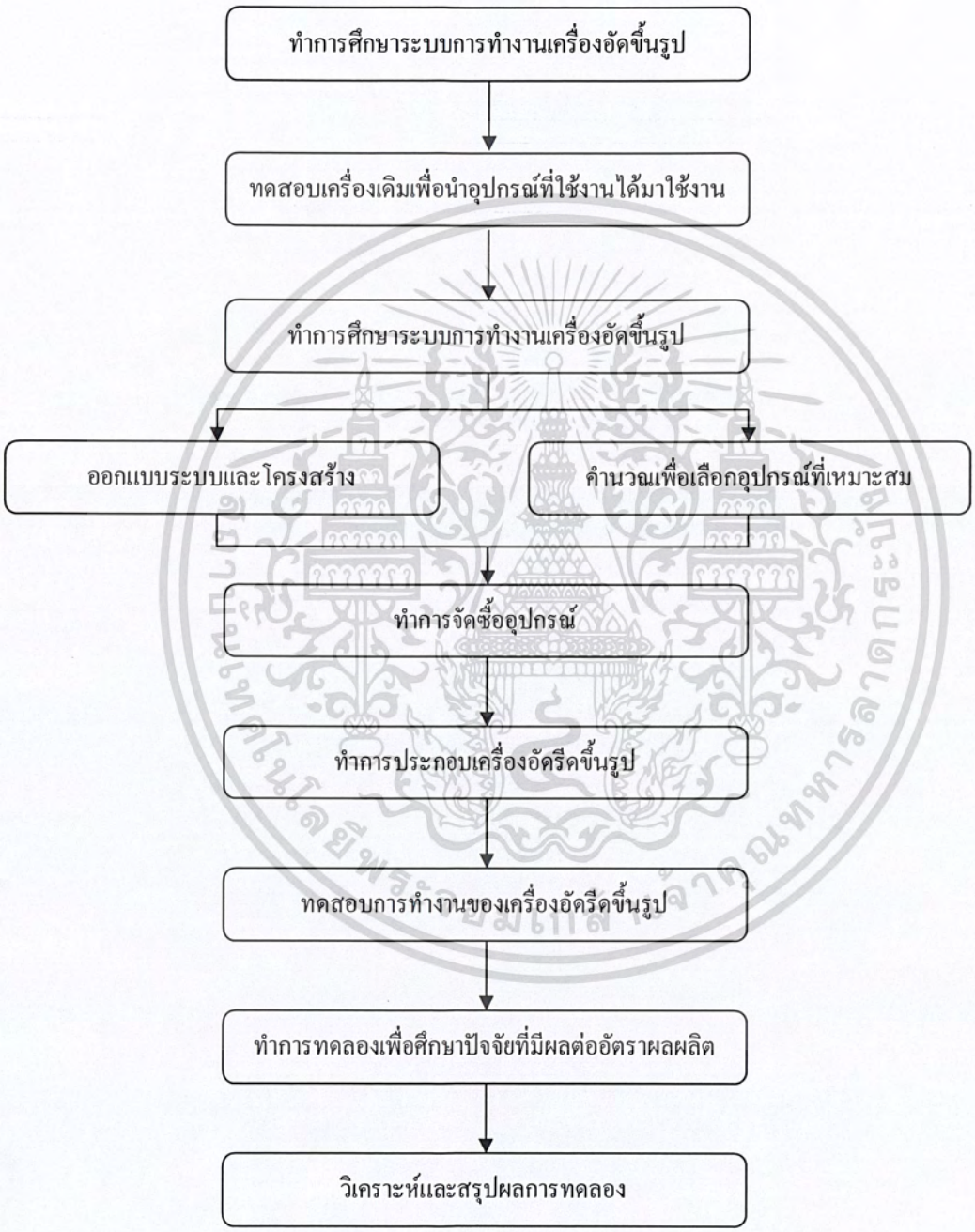
15) ชุดป้องกันสายพาน

16) แม่พิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

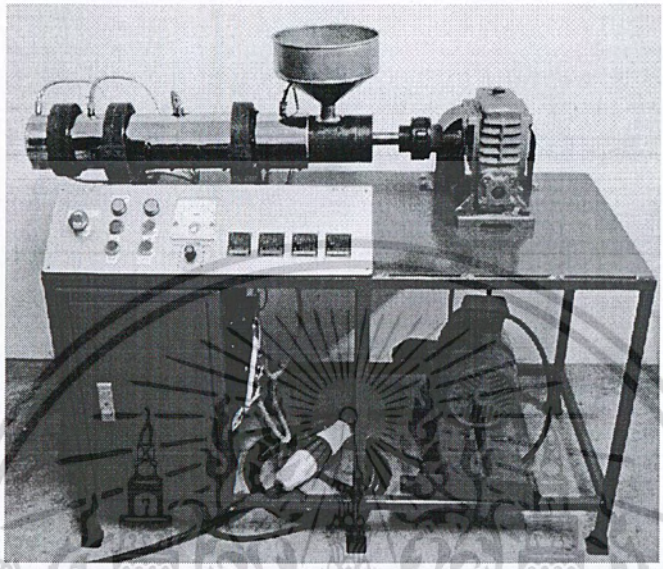
การดำเนินงาน มีลำดับขั้นตอนในการดำเนินงานดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

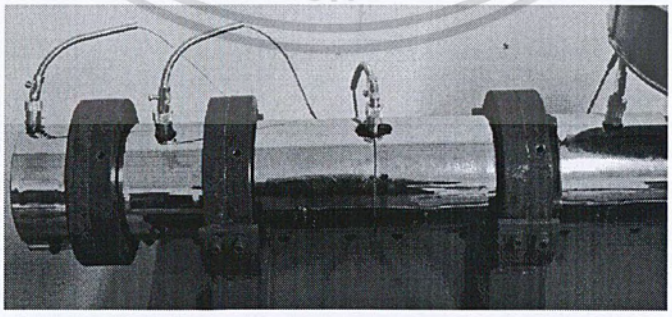
3.3.1 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องอัดรีดขึ้นรูป แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เครื่องอัดรีดขึ้นรูป

เครื่องอัดรีดขึ้นรูปมีขนาด 0.5 × 1.1 × 0.6 เมตร โดยส่วนประกอบของเครื่องอัดรีดขึ้นรูปมีดังนี้

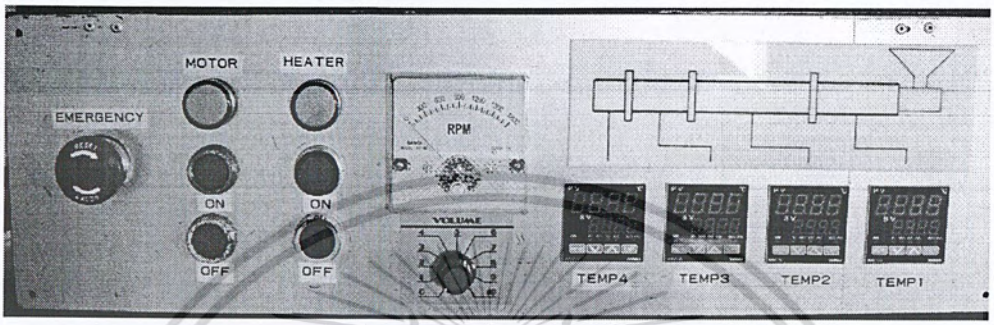
1. กระบอกหลอม ถูกติดตั้งด้านบนของโต๊ะ ซึ่งมีการแบ่งช่วง 4 ช่วงในการควบคุมอุณหภูมิของฮีตเตอร์ และมีเทอร์โมคัปเปิลอยู่ในแต่ละช่วงเพื่อวัดอุณหภูมิ ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 กระบอกหลอม

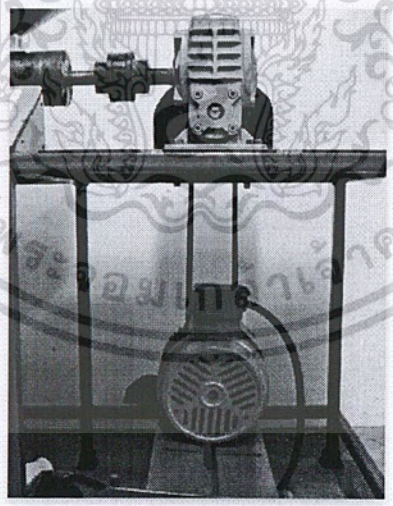
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แผงควบคุม ถูกติดตั้งด้านหน้าของโต๊ะ ประกอบด้วย ปุ่มฉุกเฉิน ทำหน้าที่ตัดระบบทั้งหมดของเครื่อง สวิตช์เปิด – ปิด จำนวน 2 ชุด ทำหน้าที่ควบคุมการเปิดปิดของมอเตอร์และตัวควบคุมอุณหภูมิ โดยมีไฟแสดงสถานะการทำงานของแต่ละระบบ ตัวควบคุมอุณหภูมิ จำนวน 4 ตัว เพื่อควบคุมอุณหภูมิและแสดงอุณหภูมิหลอมเหลวในแต่ละช่วง ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แผงควบคุม

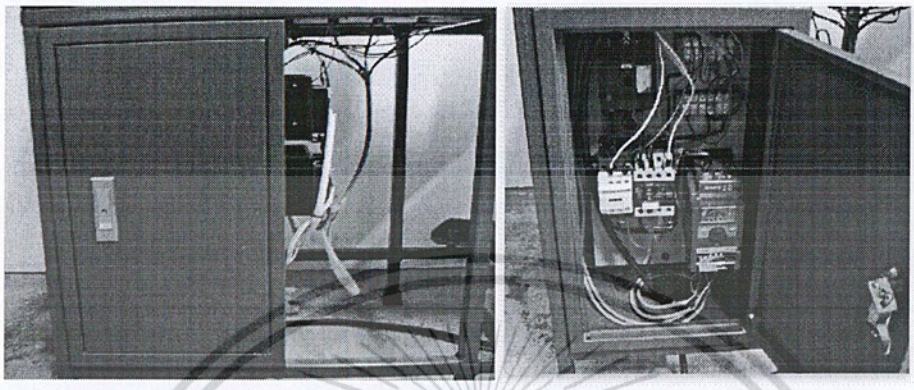
3. ชุดส่งกำลังขับ ส่วนนี้จะมีมอเตอร์ติดตั้งอยู่ด้านล่างของโต๊ะ โดยส่งกำลังขับผ่านสายพานให้กับเกียร์ทดซึ่งมีอัตราทดเท่ากับ 1:20 เพื่อใช้กำลังในการขับสกรู ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ชุดส่งกำลังขับ

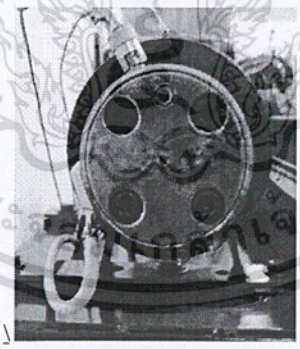
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. กล่องควบคุม ถูกติดตั้งด้านล่างใช้สำหรับเก็บอุปกรณ์ทางไฟฟ้า ภายในประกอบด้วย เบรกเกอร์ หน้าสัมผัสแม่เหล็กไฟฟ้า สะพานไฟ อินเวอร์เตอร์ โดยโซลิสสเตจรีเลย์อยู่ด้านข้างกล่องควบคุม ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 กล่องควบคุม

5. แม่พิมพ์ จะติดอยู่ด้านหน้าของกระบอกหลอม โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นเส้นพลาสติกกลมตัน ถ้าต้องการผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น สามารถถอดเปลี่ยนแม่พิมพ์ได้ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้อาจจะเป็น หลอด สายไฟ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแม่พิมพ์ที่ติดตั้ง ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แม่พิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ออกแบบระบบและโครงสร้าง

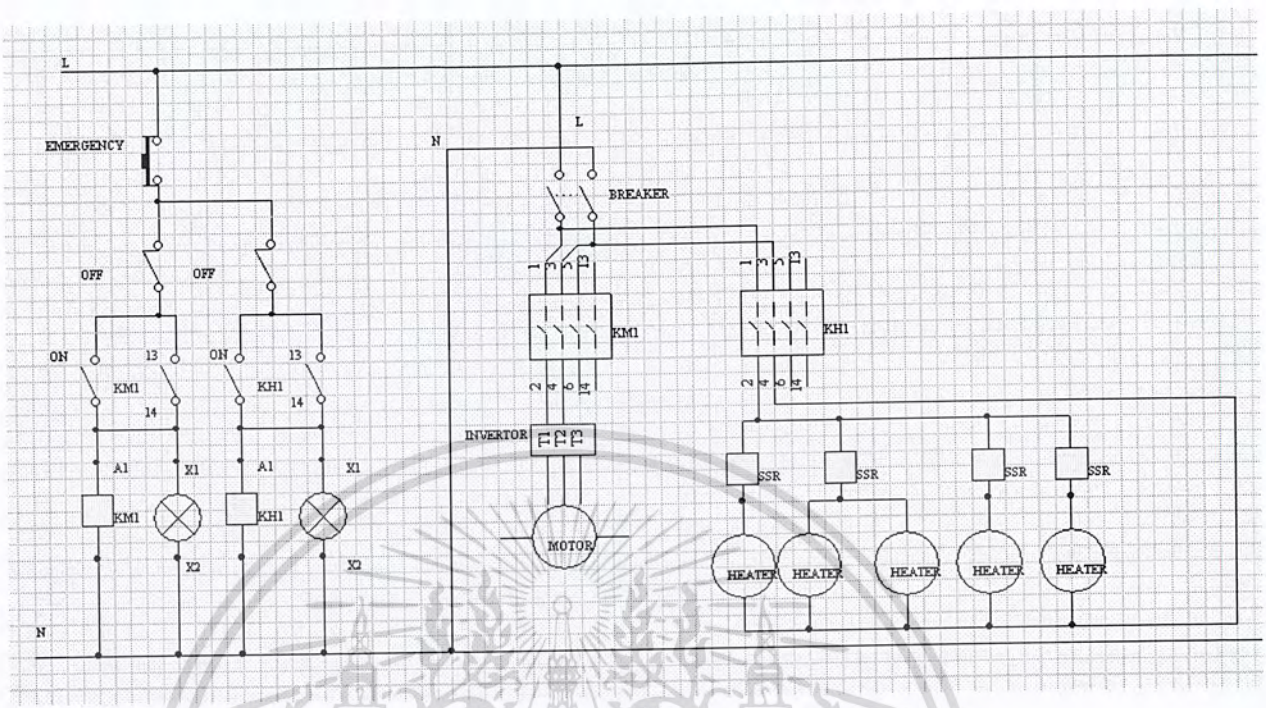
1. โครงโต๊ะ โครงโต๊ะมีขนาด 0.5 × 1.1 × 0.6 เมตร ทำจากเหล็กกล่องขนาด 1 นิ้ว × 1 นิ้ว ส่วนด้านบนของโครงโต๊ะมีเหล็กแผ่นหนา 4 มิลลิเมตร เพื่อรองรับกระบอกหลอมและเกียร์ทด ส่วนแผงด้านหน้าของโครงโต๊ะเป็นสวิตซ์ควบคุม ขนาด 0.6 × 0.18 เมตร และด้านล่างของโครงโต๊ะทำการติดตั้งชุดยึดมอเตอร์ และติดตั้งกล่องควบคุม ขนาด 0.3 × 0.45 × 0.17 เมตร รูปแสดงในภาคผนวก ช 1

2. กรวยเติมพลาสติก

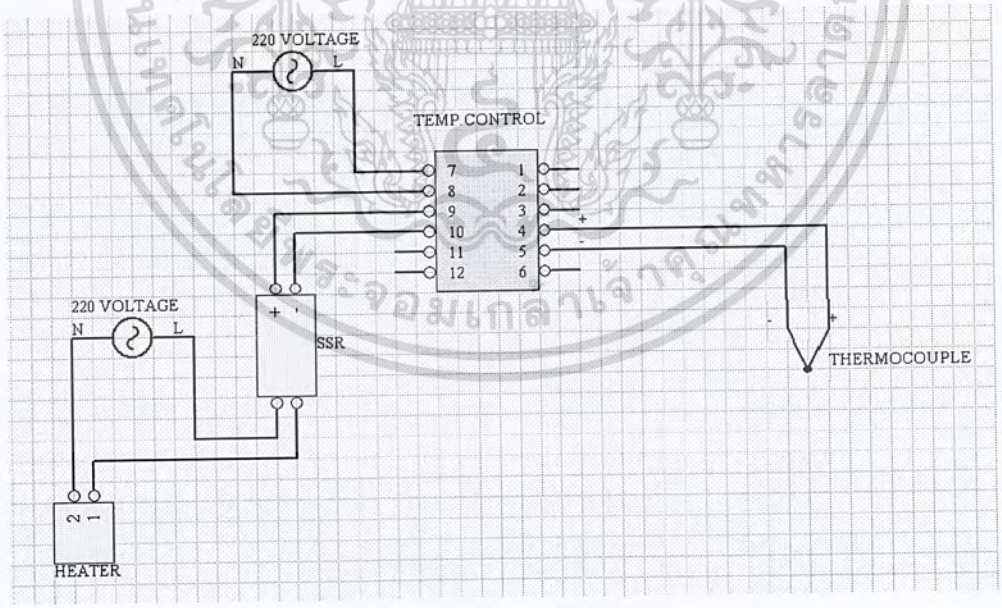
เลือกใช้กรวยเติมพลาสติกเป็นแบบทรงกลมเนื่องจากทำให้เม็ดพลาสติกไหลเข้ากระบอกหลอมได้อย่างสมบูรณ์กว่ากรวยเติมแบบสี่เหลี่ยม โดยใช้กรวยเติมเม็ดพลาสติกที่มีขนาดมุมในการไหลเท่ากับ 45 องศาจากแนวระดับ เนื่องจากมุม 45 องศาจากแนวระดับจะทำให้เม็ดพลาสติกสามารถไหลได้อย่างอิสระ (Free flowing material) [17] กรวยเติมพลาสติกทำจาก สแตนเลส หนา 1.2 มิลลิเมตร รูปแสดงในภาคผนวก ช 2

3. ออกแบบระบบไฟฟ้า ระบบไฟฟ้าของเครื่องอัดรีดขึ้นรูปถูกออกแบบ ดังรูปที่ 3.9 ซึ่งใช้กับไฟฟ้า 1 เฟส 220 โวลต์ โดยเริ่มจากกระแสไฟจะผ่านไปยังเบรกเกอร์ขนาด 30 แอมป์ ต่อไปยังหน้าสัมผัสแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic Contactor) โดยถูกควบคุมการตัดหรือต่อการทำงานจากสวิตซ์ เปิด-ปิด โดยหน้าสัมผัสแม่เหล็กไฟฟ้าแบ่งหน้าที่การตัดหรือต่อการทำงานออกเป็น 2 ส่วน
   - ควบคุมอุณหภูมิ
     โดยตัวควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Controller) ระบบ PID รับอินพุทจากตัววัดอุณหภูมิ (Thermocouple) และส่งสัญญาณให้ฮีตเตอร์ทำงานโดยโซลิสสเตจรีเลย์ทำหน้าที่ตัดต่อการทำงานของฮีตเตอร์ ดังรูปที่ 3.10
   - ควบคุมความเร็ว
     อินเวอร์เตอร์จะควบคุมความเร็วของมอเตอร์ โดยรับอินพุทเป็นไฟฟ้า 1 เฟส 220 โวลต์ และเอ้าท์พุทเป็นไฟฟ้า 3 เฟส 220 โวลต์ต่อเข้ากับมอเตอร์ และมอเตอร์มีการต่อแบบเดลต้า ดังรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

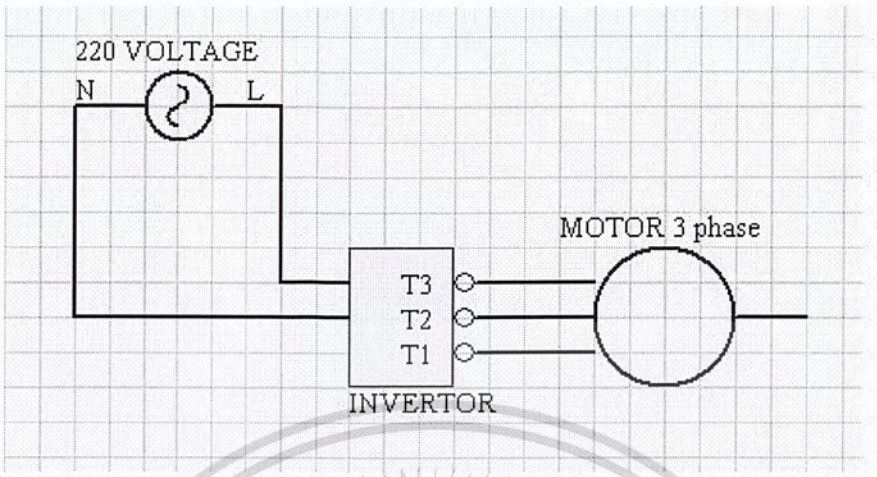


รูปที่ 3.9 ระบบรวมของไฟฟ้า



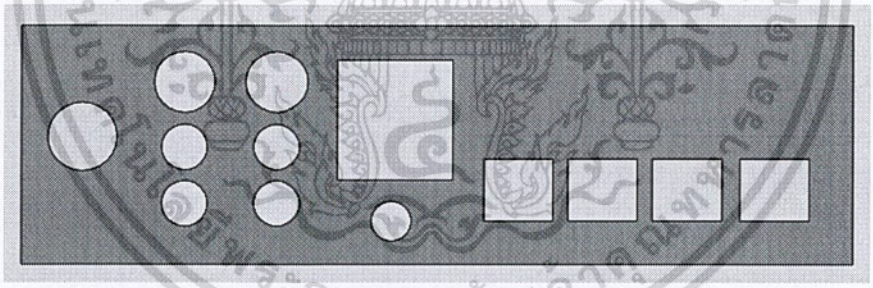
รูปที่ 3.10 การต่อระบบควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 การต่อระบบควบคุมความเร็ว

4. แผงควบคุม แผงควบคุมที่ทำการออกแบบ ขนาด 0.6 × 0.18 เมตร ประกอบด้วย สวิตช์ฉุกเฉิน สวิตช์เปิด – ปิด (จำนวน 4 ตัว) ไฟแสดงสถานะการทำงาน (จำนวน 2 ดวง) หน้าปัดวัดความเร็วรอบ ปุ่มปรับระดับความเร็ว ตัวควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Controller) ดังรูปที่ 3.12

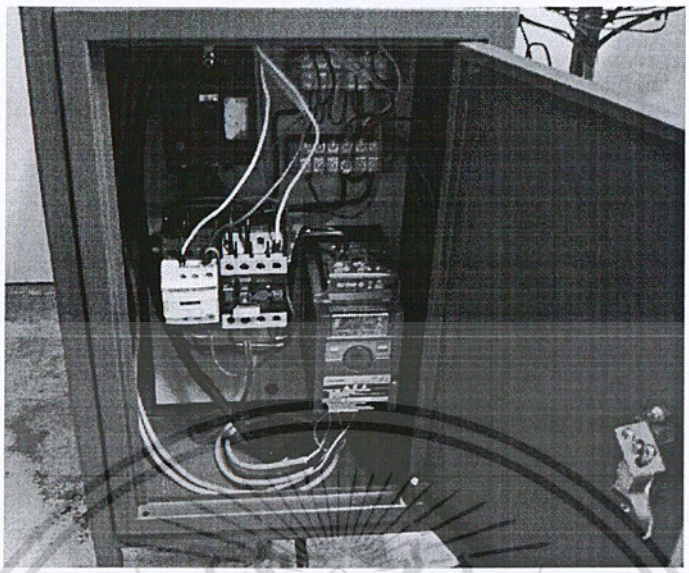


รูปที่ 3.12 แผงควบคุม

5. กล่องควบคุม

กล่องควบคุม ขนาด 0.3 × 0.45 × 0.17 เมตร โดยภายในกล่องควบคุมมีการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ประกอบด้วย เบรกเกอร์ หน้าสัมผัสแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic Contactor) สะพานไฟ (Terminal) และอินเวอร์เตอร์ ด้านข้างของกล่องควบคุม ประกอบไปด้วย โซลิสเตจรีเลย์ และตัวระบายความร้อน (Heat Sink) ดังรูปที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 กล่องควบคุม

3.3.3 การคำนวณเพื่อเลือกอุปกรณ์ที่เหมาะสม

การหาปริมาณทางไฟฟ้าที่ใช้ในการหลอมเหลวพลาสติก

$$v = \pi(R^2 - r^2)l \qquad (2.10)$$

เมื่อ V = ปริมาตรกระบอกหลอม (m^3)

R = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของกระบอกหลอม (m)

r = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของกระบอกหลอม (m)

l = ช่วงความยาวฮีตเตอร์ (m)

คำนวณ V = $\pi(R^2 - r^2)l$

= $\pi(0.045^2 - 0.0125^2) \times 0.105$

= 6.164×10^{-4} m^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$m = \rho \times V \quad (2.11)$$

เมื่อ m = มวลของกระบอกหลอม (kg)

ρ = ความหนาแน่นของเหล็ก (kg/m^3)

V = ปริมาตรกระบอกหลอม (m^3)

คำนวณ $m = \rho \times V$

$= (7830) \times (6.164\times10^{-4})$

$= 4.82$ kg

$$Q = mC_p\Delta T \quad (2.12)$$

เมื่อ Q = ปริมาณความร้อน (kJ)

m = มวลของกระบอกหลอม (kg)

C_p = ค่าความจุความร้อนของเหล็ก (kJ/kg°C)

ΔT = อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง (T_1=30°C, T_2=200°C)

คำนวณ $Q = mC_p\Delta T$

$= mC_p(T_2 - T_1)$

$= 4.82 \times 0.5 \times (200-30)$

$= 410.27$ kJ

$$P \times \text{ประสิทธิภาพ} = \frac{Q}{t} \quad (2.13)$$

เมื่อ P = ปริมาณทางไฟฟ้า (Watt)

Q = ปริมาณความร้อน (kJ)

t = เวลาที่กระบอกหลอมมีอุณหภูมิถึง 200°C (s) มีค่าเท่ากับ 30 นาที

คำนวณ $P \times \text{ประสิทธิภาพ} = \frac{Q}{t}$

$$P = \frac{(410.27\times10^3)}{(30\times60)(0.8)}$$

$P = 284.91$ Watt

<u>หมายเหตุ</u> ขนาดของฮีตเตอร์ที่สั่งซื้อมีความยาว 4 ขนาด คือ 0.1 เมตร 0.075 เมตร 0.105 เมตร และ 0.05เมตร โดยในการคิดปริมาณทางไฟฟ้าจะคิดในส่วนที่มีความยาว 0.105 เมตร เนื่องจากให้กำลังวัตต์ที่มากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การคำนวณเพื่อหาผลลัพธ์ (Output) ของกระบวนการผลิต

การคำนวณหาผลลัพธ์จากสมการที่ใช้ในการคำนวณหากระบวนการผลิตในกระบวนการอัดรีดขึ้นรูป เพื่อนำมาใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากสมการกับผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการอัดรีดขึ้นรูปจริง

<u>กำหนดให้</u>

เส้นผ่านศูนย์กลางของสกรู (D)	=	0.025	m
ค่าช่องความลึกของฟันเกลียวในส่วนหลอม (h)	=	0.00134	m
ค่ามุมเกลียวของสกรู (Ø)	=	18	°
ค่าความดันตรงหัวดาย (ΔP)	=	180	psi
ค่าความหนืดของการหลอมเหลวในส่วนหลอม (μ)	=	0.018	Ns/m^2
	=	0.002943	$kg.min/m^2$
ค่าความยาวของสกรูในช่วงส่วนหลอม (L_m)	=	0.25	m
ค่าระยะห่างระหว่างฟันเกลียวกับบาร์เรล (δ)	=	0.0003	m
ค่าความกว้างของฟันเกลียว (e)	=	0.00263	m
ค่าปริมาตรของช่องสกรู (V)	=	0.0001072	m^3

สมการในการคำนวณ

$$V = V_A - V_B \quad (3.1)$$

เมื่อ V = ปริมาตรของพลาสติกที่ใช้ในการหลอมเหลว (m^3)

V_A = ปริมาตรรูกลวงของกระบอกหลอม (m^3)

V_B = ปริมาตรของตัวเกลียว (m^3)

$$V_A = \pi r_1^2 l_1 \quad (3.2)$$

เมื่อ r_1 = รัศมีของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของกระบอกหลอม (m)

l_1 = ความยาวของกระบอกหลอม (m)

คำนวณ $V_A = \pi r_1^2 l_1$

$= \pi(0.0128^2)\,(0.6)$

$= 3.0883\times10^{-4}\ m^3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_B = \left(\left(\pi\left(\frac{D_1}{2}\right)^2 l_1\right) + \frac{\left(\pi\left(\frac{D_2}{2}\right)^2 l_1 - \pi\left(\frac{D_1}{2}\right)^2 l_1\right)}{2}\right) + \left(\left(\pi\left(\frac{D_4}{2}\right)^2 L\right) - \left(\pi\left(\frac{D_3}{2}\right)^2 L\right)\right) \times E \quad (3.3)$$

เมื่อ D_1 = เส้นผ่านศูนย์กลางของส่วนที่เล็กที่สุดของสกรู (m)

D_2 = เส้นผ่านศูนย์กลางของสกรู (m)

D_3 = เส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณกึ่งกลางของสกรู (m)

D_4 = เส้นผ่านศูนย์กลางของฟันสกรู (m)

L = ความกว้างของฟันสกรู (m)

E = จำนวนฟันของสกรู

คำนวณ

$$V_B = \left(\left(\pi\left(\frac{D_1}{2}\right)^2 l_1\right) + \frac{\left(\pi\left(\frac{D_2}{2}\right)^2 l_1 - \pi\left(\frac{D_1}{2}\right)^2 l_1\right)}{2}\right) + \left(\left(\pi\left(\frac{D_4}{2}\right)^2 L\right) - \left(\pi\left(\frac{D_3}{2}\right)^2 L\right)\right) \times E$$

$$= \left(\left(\pi\left(\frac{0.016}{2}\right)^2 0.6\right) + \frac{\left(\pi\left(\frac{0.023}{2}\right)^2 0.6 - \pi\left(\frac{0.016}{2}\right)^2 0.6\right)}{2}\right) +$$

$$\left(\left(\pi\left(\frac{0.025}{2}\right)^2 2.63 \times 10^{-3}\right) - \left(\pi\left(\frac{0.017}{2}\right)^2 2.63 \times 10^{-3}\right)\right) \times 24$$

$$= 2.0162 \times 10^{-4}\ m^3$$

คำนวณ $V = V_A - V_B$ (3.1)

$= (3.0883 \times 10^{-4}) - (2.0162 \times 10^{-4})$

$= 1.072 \times 10^{-4}\ m^3$

1. ความเร็วรอบ (N) = 30 รอบต่อนาที (rpm)

ผลลัพธ์ของอัตราการไหลของของไหล $Q_D = AN$ (2.32)

$$= \frac{\pi^2 D^2 h \sin\emptyset \cos\emptyset}{2} \cdot N$$

$$= \frac{\pi^2 (0.25^2)(0.00134)\sin(18)\cos(18)}{2} \times 30$$

$$= 3.64 \times 10^{-5}\ m^3/min$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มวลของพลาสติกชนิดโพลิโพพิลีน $m = \rho \times V$ (2.11)

$= \rho \times Q_D$

$= (1150) \times (3.64 \times 10^{-5})$

$= 0.0419$ kg/min

$= 41.90$ g/min

2. ความเร็วรอบ (N) = 45 รอบต่อนาที (rpm)

ผลลัพธ์ของอัตราการไหลของของไหล $Q_D = AN$ (2.32)

$= \frac{\pi^2 D^2 h \sin\emptyset \cos\emptyset}{2} \cdot N$

$= \frac{\pi^2(0.025^2)(0.00134)\sin(18)\cos(18)}{2} \times 45$

$= 5.46 \times 10^{-5}$ m^3/min

มวลของพลาสติกชนิดโพลิโพพิลีน $m = \rho \times V$ (2.11)

$= \rho \times Q_D$

$= (1150) \times (5.46 \times 10^{-5})$

$= 0.0628$ kg/min

$= 62.80$ g/min

3. ความเร็วรอบ (N) = 60 รอบต่อนาที (rpm)

ผลลัพธ์ของอัตราการไหลของของไหล $Q_D = AN$ (2.32)

$= \frac{\pi^2 D^2 h \sin\emptyset \cos\emptyset}{2} \cdot N$

$= \frac{\pi^2(0.025^2)(0.00134)\sin(18)\cos(18)}{2} \times 60$

$= 7.28 \times 10^{-5}$ m^3/min

มวลของพลาสติกชนิดโพลิโพพิลีน $m = \rho \times V$ (2.11)

$= \rho \times Q_D$

$= (1150) \times (7.28 \times 10^{-5})$

$= 0.0837$ kg/min

$= 83.72$ g/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 การประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ เข้ากับโครงโต๊ะ

3.3.5.1 ติดตั้งชุดรองกระบอกหลอม

ทำการจับระดับของฐานรองกระบอกหลอมใน 2 ตำแหน่งให้อยู่ในระดับเดียวกันกับเกียร์ทด แล้วทำการยึดฐานกระบอกหลอมเข้ากับโต๊ะ

3.3.5.2 ติดตั้งกระบอกหลอมและสกรู

นำสกรูใส่ในช่องของกระบอกหลอมแล้วจึงวางกระบอกหลอมไว้ในตำแหน่งของฐานรองและติดตั้งคัปปลิงยางโดยยึดกับแกนของสกรู

3.4.5.3 ติดตั้งชุดกำลังขับ

ทำการติดตั้งมอเตอร์ไว้ในส่วนด้านล่างของโต๊ะ โดยมีฐานรองมอเตอร์ที่สามารถปรับความตึงของสายพานได้ ซึ่งแกนของมอเตอร์จะมีมู่เล่ 2 ร่องที่อยู่ในแนวเดียวกับเกียร์ทด ทำการติดตั้งสายพานที่มู่เล่ระหว่างมอเตอร์และเกียร์ทด แล้วจึงประกอบเกียร์ทดเข้ากับคัปปลิงของสกรู

3.4.5.4 ติดตั้งชุดให้ความร้อนและตัววัดอุณหภูมิ

นำฮีตเตอร์รัดในโซนต่างๆของกระบอกหลอม และติดสลักยึดเทอร์โมคัปเปิลไว้กับกระบอกหลอม แล้วจึงนำเทอร์โมคัปเปิลยึดเข้ากับสลักยึด

3.4.5.5 ติดตั้งแผงสวิตซ์ควบคุม

ทำการติดตั้งแผงสวิตซ์ควบคุมที่ทำการเจาะแผงและติดอุปกรณ์ควบคุมต่างๆไว้เข้ากับแผงด้านหน้าของเครื่อง

3.4.5.6 ติดตั้งกล่องควบคุมและจัดวางอุปกรณ์ไฟฟ้า

ทำการยึดกล่องควบคุมไว้ที่โครงโต๊ะในส่วนของด้านล่างและนำอุปกรณ์ไฟฟ้าทำการยึดเข้ากับกล่องควบคุม

3.4.5.7 การเดินระบบ

ทำการเดินสายไฟในส่วนต่างๆตามแบบที่ได้ออกแบบไว้ทั้งในกล่องควบคุมและแผงสวิตซ์ควบคุม

3.4.5.8 ติดตั้งแม่พิมพ์

นำแม่พิมพ์ยึดติดเข้ากับส่วนหน้าของกระบอกหลอมแล้วจึงรัดด้วยฮีตเตอร์รัดท่อและติดตั้งตัววัดอุณหภูมิที่หน้าแม่พิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

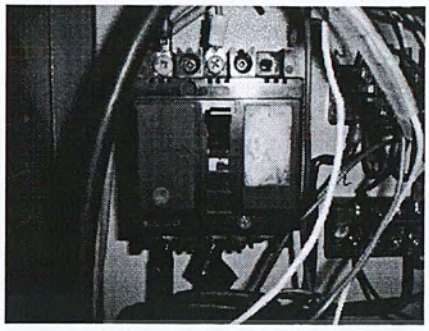
4.1 บทนำ

เครื่องอัดรีดขึ้นรูปพลาสติกที่จัดสร้างขึ้น มีส่วนประกอบหลักคือ สกรูเดี่ยว บาร์เรล แม่พิมพ์ ระบบควบคุมความร้อน และระบบควบคุมความเร็ว ซึ่งจะนำมาใช้ทดสอบเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการผลิต ได้แก่ ความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมเหลว

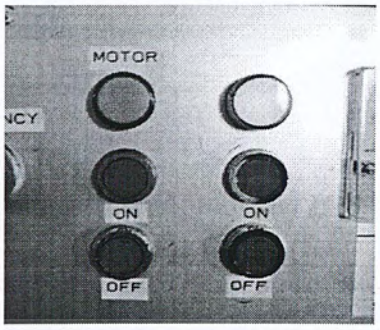
4.1.1 ขั้นตอนการทำงาน

1. เปิดสวิตซ์เบรคเกอร์หลักภายในกล่องควบคุม (ดังรูป 4.1)
2. กดสวิตซ์เปิด (ON) ในส่วนของฮีตเตอร์ ให้มีไฟสว่าง แสดงถึงสถานะของฮีตเตอร์ว่ามีการทำงานอยู่ (ดังรูป 4.2)
3. ตั้งค่าอุณหภูมิที่ตัวควบคุมอุณหภูมิทั้ง 4 ตัว ซึ่งการตั้งค่าอุณหภูมินั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติกที่นำมาใช้งาน (ดังรูป 4.3)
4. รอการทำงานของฮีตเตอร์ให้กระบอกหลอมมีความร้อนถึงอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้ (ดังรูป 4.4)
5. กดสวิตซ์เปิด (ON) ในส่วนของมอเตอร์ ให้มีไฟสว่าง แสดงถึงสถานะของมอเตอร์ว่ามีการทำงานอยู่ (ดังรูป 4.5)
6. ใส่เม็ดพลาสติกที่ต้องการใช้งานลงในกรวยเติมพลาสติก (ดังรูป 4.6)
7. ปรับค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ตามค่าที่ต้องการ(ดังรูป 4.7)
8. ดึงเส้นพลาสติกที่ถูกอัดออกมาทางแม่พิมพ์ด้านหน้าให้ลงไปยังอ่างหล่อเย็น เพื่อทำให้พลาสติกเกิดการแข็งตัว (ดังรูป 4.8)
9. เมื่อได้ขนาดของเส้นพลาสติกตามที่ต้องการแล้วจึงทำการตัดเส้นพลาสติกตรงแม่พิมพ์ด้านหน้า (ดังรูป 4.9)
10. ทำการลดค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ให้มีค่าเท่ากับศูนย์ และกดสวิตซ์ปิด (OFF) ทั้งในส่วนของฮีตเตอร์ และมอเตอร์ เพื่อทำการหยุดการทำงานของเครื่อง (ดังรูป 4.10)
11. ปิดสวิตซ์เบรคเกอร์หลักภายในกล่องควบคุม เพื่อเป็นการตัดกระแสไฟฟ้า (ดังรูป 4.11)

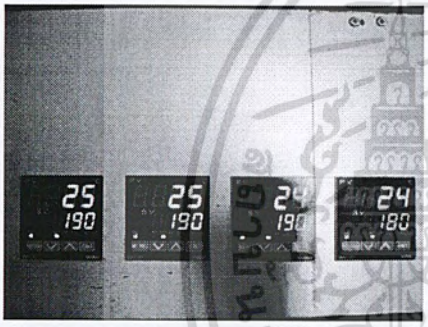
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



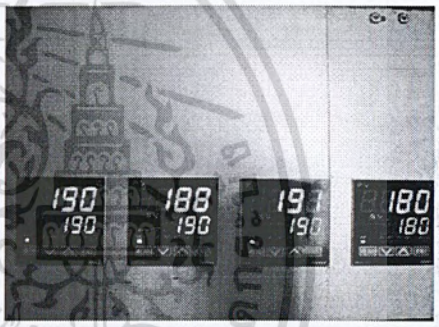
รูปที่ 4.1 เปิดสวิตช์เบรกเกอร์หลักภายในกล่องควบคุม



รูปที่ 4.2 ทำงานในส่วนของฮีตเตอร์

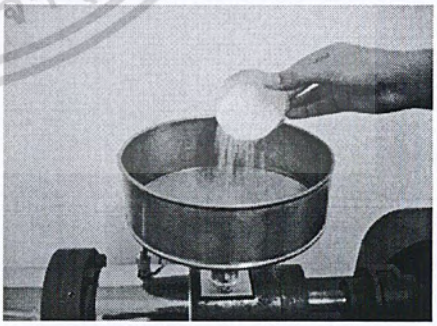


รูปที่ 4.3 ตั้งค่าอุณหภูมิที่ตัวควบคุมอุณหภูมิทั้ง 4 ตัว



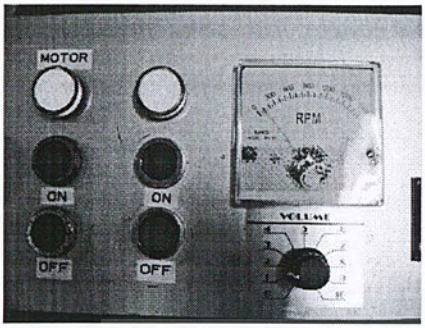
รูปที่ 4.4 ทำงานของฮีตเตอร์จนถึงอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้

รูปที่ 4.5 ทำงานในส่วนของมอเตอร์

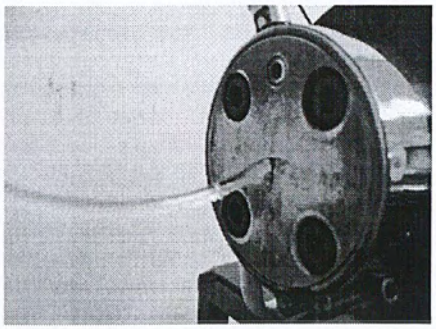


รูปที่ 4.6 ใส่เม็ดพลาสติกลงในกรวยเติมพลาสติก

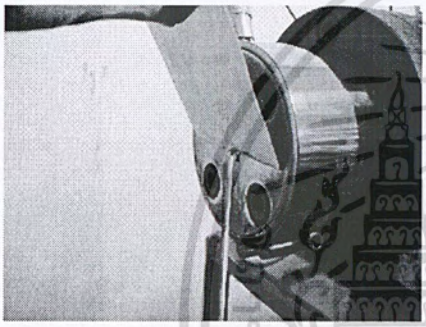
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



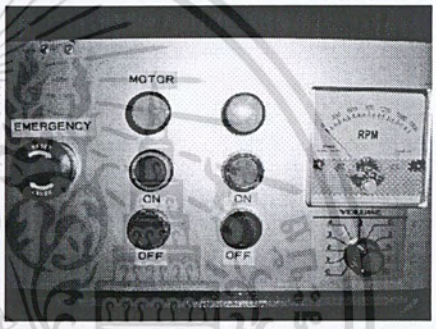
รูปที่ 4.7 ปรับค่าความเร็วรอบของมอเตอร์



รูปที่ 4.8 ดึงเส้นพลาสติกให้ลงไปยังอ่างหล่อเย็น



รูปที่ 4.9 ตัดเส้นพลาสติกตรงแม่พิมพ์ด้านหน้า

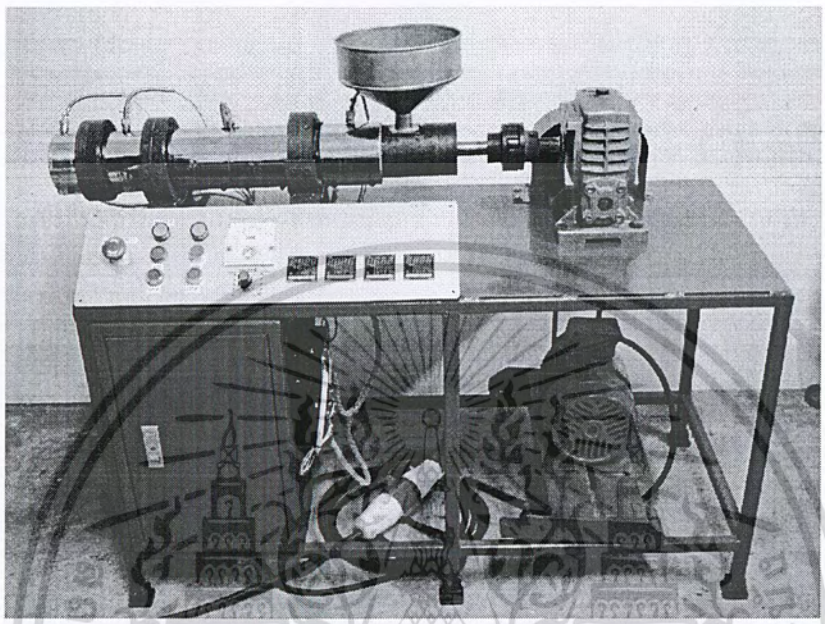


รูปที่ 4.10 ลดค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ และกดสวิตซ์ปิดทั้งในส่วนของฮีตเตอร์ และมอเตอร์

รูปที่ 4.11 ปิดสวิตซ์เบรคเกอร์หลักภายในกล่องควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของเครื่องอัดรีดขึ้นรูปพลาสติก ที่ได้รับการออกแบบและจัดสร้างขึ้น ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ลักษณะโดยรวมของเครื่องอัดรีดขึ้นรูปพลาสติก

4.2 การทดสอบเพื่อทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการผลิต

การทดสอบเครื่องอัดรีดขึ้นรูปเป็นการทดสอบผลการใช้อัดรีดพลาสติกเพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพการอัดรีดพลาสติกเป็นอย่างไรเมื่อเทียบกับค่าทางทฤษฎี ต่อไปจะเป็นการทดลองซึ่งจะสามารถแสดงผลของการทดสอบของการอัดรีดที่สัมพันธ์กับความเร็ว อุณหภูมิ โดยค่าต่างๆเหล่านี้ เป็นประโยชน์ต่อการใช้เป็นข้อมูลสำหรับการผลิต ซึ่งจะสามารถหาค่าที่เหมาะสมสำหรับพลาสติกโพลีพอพิลีนสำหรับการผลิตได้

ชิ้นงานที่ได้จากการทดสอบจะถูกวัดด้วยเครื่องชั่งเพื่อวัดน้ำหนักของผลผลิตที่ได้จาการอัดรีดขึ้นรูป จากการทดสอบการอัดรีดขึ้นรูปด้วยปัจจัยที่แตกต่างกัน คือ อุณหภูมิในการหลอมเหลวพลาสติก 3 ค่า ดังนี้ 190 210 และ 240 องศาเซลเซียส และเปลี่ยนความเร็วรอบของสกรู 3 ค่า คือ 30 45 และ 60 รอบต่อนาที วัสดุที่ใช้ในการทดสอบเป็นพลาสติกชนิดโพลีพอพิลีน

ขั้นตอนการทดสอบมีดังนี้ เริ่มจากตั้งค่าอุณหภูมิที่โซนต่างๆของกระบอกหลอมตามกำหนดจากนั้นรอจนอุณหภูมิคงที่ แล้วจึงทำการเดินเครื่องโดยในช่วงแรกปล่อยการอัดรีดชิ้นจนฟองอากาศและมลทินหมดไป โดยใช้เวลา 3-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นาที จากนั้นเก็บชิ้นทดสอบที่ได้ทุกๆ 1นาที จำนวน 5 ครั้ง โดยเปลี่ยนค่าความเร็วรอบตามที่กำหนดไว้ แล้วนำชิ้นทดสอบที่ได้ไปชั่งน้ำหนักเพื่อเก็บค่าและวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบ เมื่อทำการทดสอบที่อุณหภูมิถัดไปให้รอจนเครื่องเย็นตัวลง แล้วจึงทำการทดสอบซ้ำ

4.2.1 ผลการทดลอง

จากการทดลองที่กำหนดความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ และอุณหภูมิในการหลอมเหลวที่ค่าต่างๆ จะให้ผลการทดลองดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 4.1 ผลผลิต (กรัม) ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ณ ความเร็วรอบต่างๆ

การทดลองครั้งที่	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)		
	N = 30	N =45	N = 60
1	14.96	22.68	28.37
2	14.35	22.66	26.77
3	15.16	22.04	28.02
4	15.22	21.99	27.92
5	14.88	20.94	28.86
ค่าเฉลี่ย	14.906	22.062	27.988

ตารางที่ 4.2 ผลผลิต (กรัม) ที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส ณ ความเร็วรอบต่างๆ

การทดลองครั้งที่	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)		
	N = 30	N =45	N = 60
1	14.25	23.27	26.79
2	14.15	21.58	25.66
3	14.15	22.83	26.13
4	14.31	22.25	26.24
5	14.19	22.63	25.56
ค่าเฉลี่ย	14.21	22.512	26.076

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลผลิต (กรัม) ที่อุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียส ณ ความเร็วรอบต่างๆ

การทดลองครั้งที่	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)		
	N = 30	N =45	N = 60
1	14.2	20.38	26.93
2	14.3	20.59	25.92
3	13.69	21.26	26.18
4	14.73	20.49	27.2
5	14.22	21.34	26.93
ค่าเฉลี่ย	14.228	20.812	26.632

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยผลผลิต (กรัม) ที่อุณหภูมิและความเร็วรอบต่างๆ

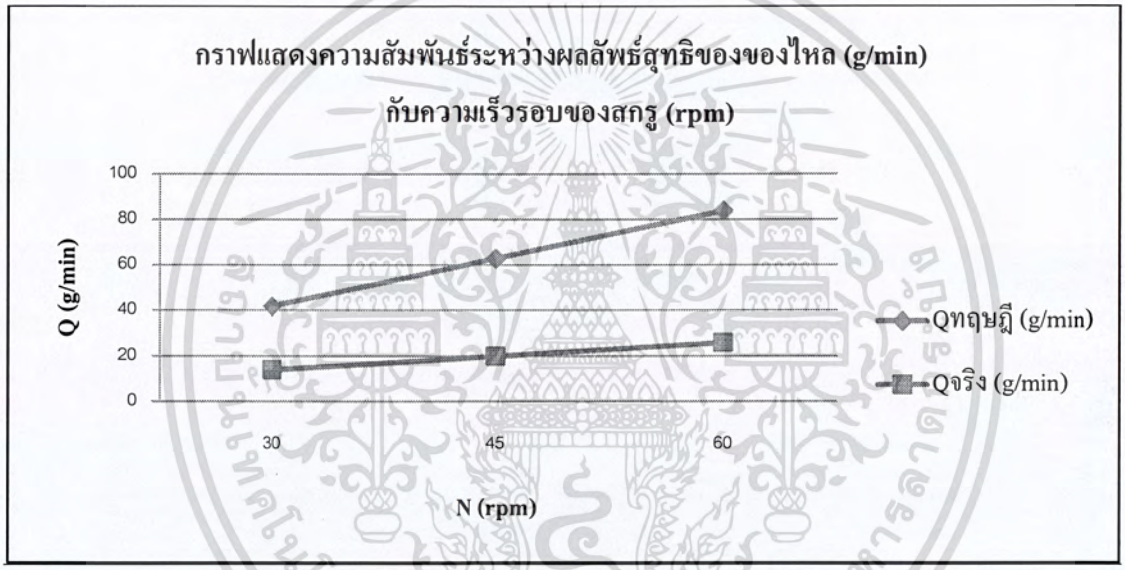
อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วรอบ (rpm)		
	N=30	N=45	N=60
T=190	14.906	22.062	27.988
T=210	14.21	22.512	26.076
T=240	14.228	20.812	26.632
ค่าเฉลี่ย	14.45	21.80	26.90

จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.13 เป็นผลการเปรียบเทียบระหว่างผลผลิตที่ได้จากคำนวณทางทฤษฎีกับผลผลิตที่ได้จากกระบวนการอัดรีดขึ้นรูปจริง แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของผลผลิตทางทฤษฎีกับผลผลิตที่ได้จากการทดลอง เนื่องจากผลผลิตทางทฤษฎีนั้นเป็นเพียงค่าอัตราการไหลของของไหล (Q_D) ยังไม่ใช่ค่าผลผลิตสุทธิของของไหล (Q) เพราะยังไม่ได้รวมค่าผลลัพธ์ของอัตราการรั่วไหลของของไหล (Q_L) และค่าผลลัพธ์ของอัตราแรงดันในการไหลของของไหล (Q_P) ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีตัววัดค่าค่าความดันตรงหัวดาย (ΔP) ที่จะใช้ในการคำนวณหาค่าทั้ง 2 ค่าดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบผลผลิตของการอัดรีดขึ้นรูปจากทางทฤษฎีกับการทดลอง ณ ความเร็วรอบต่างๆ

ความเร็วรอบ (N) (rpm)	$m= Q_{ทฤษฎี}$ (g/min)	$Q_{จริง}$ (g/min)
30	41.90	14.45
45	62.80	21.80
60	83.72	26.90



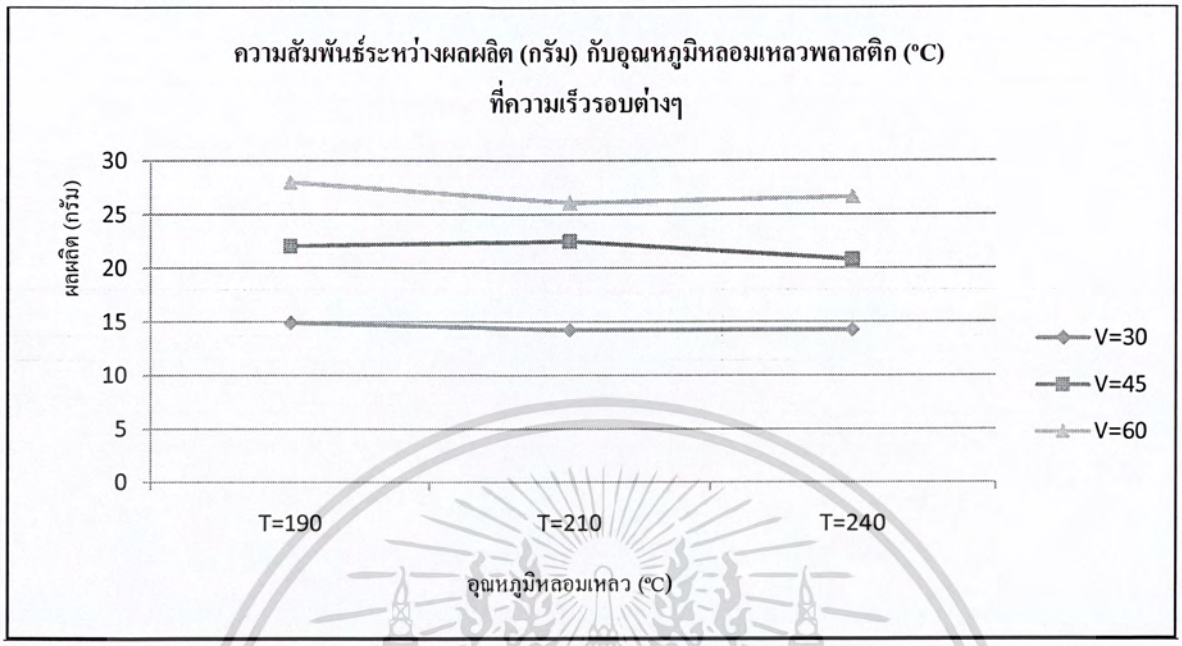
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์สุทธิของของไหล (กรัมต่อนาที) กับความเร็วรอบของสกรู (รอบต่อนาที)

จากตารางที่ 4.4 ผลจากการทดสอบอัตราการอัดรีดขึ้นรูปของเครื่องอัดรีดพลาสติก จากปัจจัยที่แตกต่างกันแสดงให้เห็นว่าความเร็วรอบของสกรูและอุณหภูมิในการหลอมเหลวมีผลต่ออัตราการอัดรีดที่แตกต่างกัน

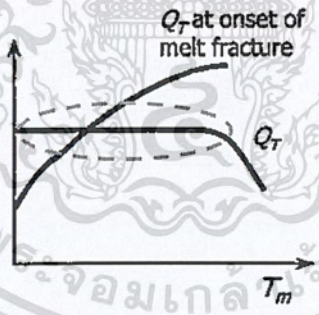
1. เมื่อความเร็วรอบของสกรูคงที่แต่อุณหภูมิการหลอมเหลวเปลี่ยนเป็นค่าต่างๆ

ผลที่ได้คือที่อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งเป็นอุณหภูมิหลอมเหลวของพลาสติกชนิดพอลีโพพิลีนซึ่งอยู่ในช่วง 190-240 องศาเซลเซียสนั้น กราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง อัตราผลผลิตที่ได้ค่อนข้างจะคงที่ แสดงให้เห็นว่าช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวของพลาสติกชนิดพอลีโพพิลีน ไม่มีผลต่ออัตราการอัดรีด ดังรูปที่ 4.14 ซึ่งกราฟที่ได้มีความสอดคล้องกับกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับอุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติก ในรูปที่ 4.15 ซึ่งเป็นกราฟที่ได้จากทฤษฎีในหนังสือ The Plastics Engineer's Data Book

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิต (กรัม) กับอุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติก (°C) ที่ความเร็วรอบต่างๆ

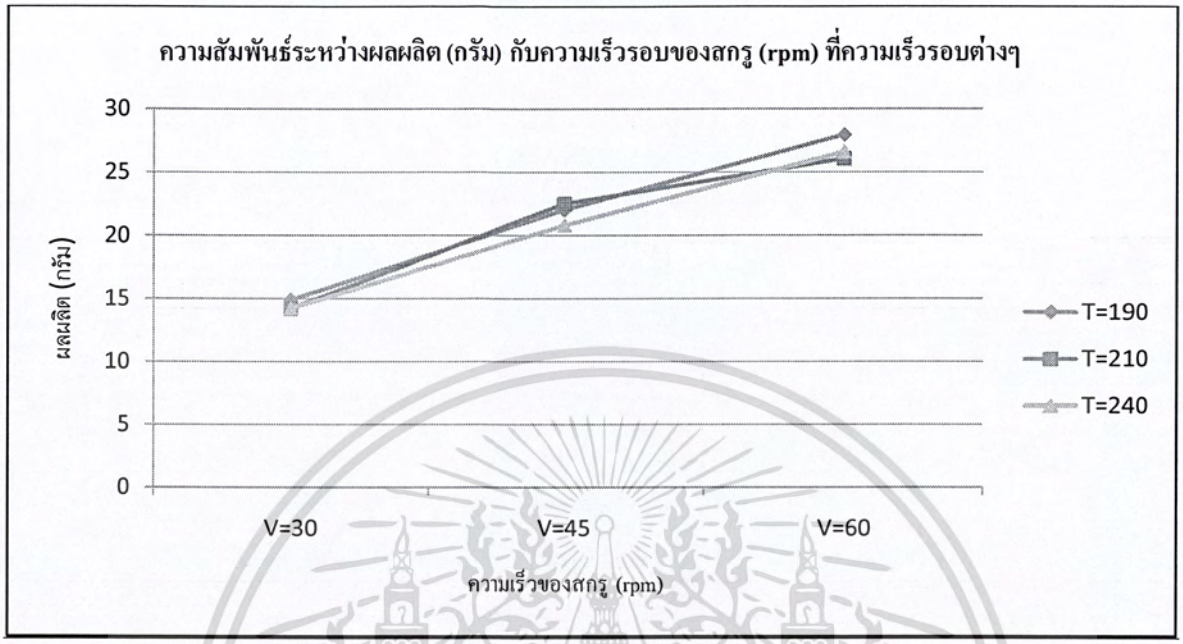


รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับอุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติก [18]

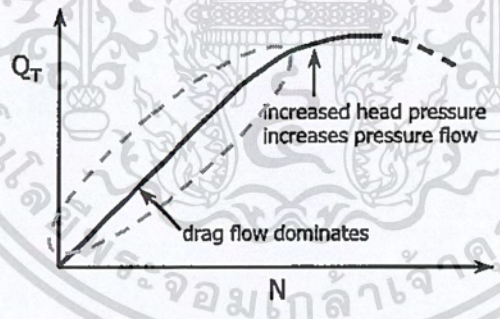
2. เมื่ออุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติกคงที่แต่ความเร็วรอบของสกรูเปลี่ยนเป็นค่าต่างๆ

ผลที่ได้คือเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้อัตราการอัดรีดเพิ่มสูงขึ้น ดังรูปที่ 4.16 ซึ่งกราฟที่ได้มีความสอดคล้องกับกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับความเร็วรอบของสกรู ในรูปที่ 4.17 ซึ่งเป็นกราฟที่ได้จากทฤษฎีในหนังสือ The Plastics Engineer's Data Book

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิต (กรัม) กับความเร็วรอบของสกรู (rpm) ที่อุณหภูมิหลอมเหลวต่างๆ



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิต กับความเร็วรอบของสกรู [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบการขึ้นรูปชิ้นงานของเครื่องอัดรีดขึ้นรูปที่ได้รับการออกแบบและจัดสร้างขึ้น สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. เครื่องอัดรีดขึ้นรูปที่ได้รับการออกแบบ มีระบบทำงานร่วมกันสองระบบ คือ ระบบควบคุมความร้อน และระบบความเร็วของสกรูสามารถทำงานได้
2. ความเร็วรอบของสกรู (30 –60 รอบ/นาที) ส่งผลต่ออัตราการอัดรีดในการขึ้นรูปเส้นพลาสติกสำหรับเครื่องมือที่สร้างขึ้น โดยถ้าความเร็วสูงกว่าค่าที่กำหนดการหลอมเหลวจะไม่สมบูรณ์ และถ้าต่ำกว่าค่าที่กำหนดเม็ดพลาสติกที่หลอมเหลวจะสูญเสียความหนืด
3. อุณหภูมิหลอมเหลว (PP: 190-240 °c) อุณหภูมิที่ใช้หลอมพลาสติกในช่วงอุณหภูมิหลอมเหลว ไม่ส่งผลต่ออัตราการอัดรีดในการขึ้นรูปเส้นพลาสติกสำหรับเครื่องมือที่สร้างขึ้น ซึ่งจะให้ผลผลิตที่คงที่

5.2 ข้อเสนอแนะ

แม้ว่างานโครงงานนี้สามารถออกแบบและสร้างเครื่องอัดรีดขึ้นรูปเพื่อใช้งานระดับห้องปฏิบัติการได้ในระดับหนึ่ง แต่ยังมีข้อบกพร่องและมีสิ่งที่ต้องศึกษาเพิ่มเติมอีกหลายประการ ดังนั้นจึงขอเสนอแนะแนวทางในการศึกษาข้อมูลเพื่อปรับปรุงเครื่องอัดรีดขึ้นรูปนี้ให้มีความสมบูรณ์มากขึ้นดังนี้

1. มีการหลอมและจับตัวเป็นก้อนของเม็ดพลาสติกใต้กรวยเติมพลาสติก ทำให้เม็ดพลาสติกไม่ไหลต่อเนื่อง **แนวทางแก้ไข** ทำการลดอุณหภูมิในส่วนสกรูป้อนลง จากการทดลองจะใช้อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เพื่อไม่ให้เกิดการหลอมและการจับตัวเป็นก้อนของเม็ดพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. มีฟองอากาศและสารมลทินเกิดขึ้นในเส้นพลาสติกขณะทำการอัดรีดในช่วงแรก

   แนวทางแก้ไข ปล่อยการอัดรีดจนฟองอากาศหมดไปโดยใช้เวลาประมาณ 3-5 นาที ฟองอากาศและรอยไหม้ในชิ้นงานจะหายไป เนื่องจากในช่วงแรกของการอัดรีดจะมีอากาศแทรกอยู่ระหว่างร่องเกลียวของสกรูป้อนจึงต้องทำการอัดรีดไล่อากาศออกให้หมดก่อนที่จะทำการผลิตชิ้นงานจริง

3. เส้นพลาสติกที่ได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่คงที่

   แนวทางแก้ไข ควรมีการพัฒนาและออกแบบตัวดึงชิ้นงาน และอ่างหล่อเย็น เพื่อให้เส้นพลาสติกมีขนาดที่สม่ำเสมอ

4. อุณหภูมิที่ตั้งไว้ ในช่วงแรกอุณหภูมิจะเบี่ยงเบนไปจากค่าที่ตั้งไว้มากต้องใช้เวลานานจนกว่าอุณหภูมิจะมีความคงที่

   แนวทางแก้ไข พัฒนาระบบนิวเมติกมาใช้งานร่วมกับระบบควบคุมอุณหภูมิ เพื่อทำให้อุณหภูมิที่ได้คงที่เร็วขึ้น

5. กระบอกหลอมเกิดการสูญเสียความร้อนกับบรรยากาศโดยรอบ

   แนวทางแก้ไข ออกแบบตัวครอบกระบอกหลอมเพื่อลดการสูญเสียความร้อนและเพื่อความคงที่ของอุณหภูมิ

6. ไม่ทราบข้อมูลความดันที่หน้าแม่พิมพ์

   แนวทางแก้ไข ติดตั้งตัววัดความดันที่หน้าแม่พิมพ์ เพื่อนำค่าที่ได้มาใช้ในการคำนวณทางทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] James M. Margolis. **Engineering plastic handbook**. New York: McGraw-Hill, 2006.

[2] รศ. บรรเลง ศรนิล. **เทคโนโลยีพลาสติก**. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2540.

[3] โครงการจัดทำแผนแม่บทอุตสาหกรรมรายสาขา (สาขาแม่พิมพ์). **เทคโนโลยีแม่พิมพ์** [Online], Available: library.dip.go.th/multim4/eb/EB%20122.2%20m47.doc **เมื่อ 19 พฤศจิกายน 2553**

[4] ดร. เจริญ นาคะสรรค์. **กระบวนการแปรรูปพลาสติก**. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์โฟร์เพซ, 2544.

[5] โชคธนัฐ เพลงสันเทียะ, ฐานันดร์ จันทร์คง, และบรรดิษฐ์ สมทุม. **เครื่องเอ็กทรูดซ์พลาสติก**. ปริญญานิพนธ์. ภาควิชาอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2545.

[6] SOMBATBOON HEATER LTD.,PART. **หลักการฮีตเตอร์** [Online], Available: http://www.sbheater.com/index.asp **เมื่อ 5 สิงหาคม 2553**

[7] วิศรุต ศรีรัตนะ. **เซนเซอร์และทรานดิวเซอร์ในงานอุตสาหกรรม**. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ซีเอดยูเคชั่น, 2550.

[8] **เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)**[Online], Available: student.nu.ac.th/electronic/00008.doc **เมื่อ 7 มิถุนายน 2553**

[9] รองศาสตราจารย์สุรพล รักวิจัย. **อิเล็กทรอนิกส์สำหรับอุตสาหกรรม**. กรุงเทพมหานคร: แมคกรอ-ฮิล อินเตอร์เนชั่นแนล เอ็นเตอร์ไพร์ส อิงค์, 2541.

[10] อุปกรณ์ในงานควบคุมเครื่องกลไฟฟ้า. **รีเลย์และแมคเนติกส์คอนแทคเตอร์** [Online], Available: http://202.129.59.73/tn/motor10-52/motor10.htm **เมื่อ 24 ตุลาคม 2553**

[11] **Circuit Breaker**[Online], Available: pirun.ku.ac.th/.../From.../Circuit%20Breaker%20ALL-----01.doc **เมื่อ 3 มกราคม 2554**

[12] **อุปกรณ์ที่ทำงานด้วยไฟฟ้า**[Online], Available: http://pirun.ku.ac.th/~b4655145/new_page_17.htm **เมื่อ 3 มกราคม 2554**

[13] **ประเภทของสายไฟฟ้า**[Online], Available: http://www.snw.ac.th/courseware/www.nectec.or.th/courseware/electrical/wire/0012.html **เมื่อ 18 ธันวาคม 2553**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[14] **ความรู้เกี่ยวกับการต่อวงจรของขดลวด**[Online], Available:
http://www.are101.org/forum/index.php?topic=46.0;wap2 **เมื่อ 27 กันยายน 2553**

[15] **ความรู้พื้นฐานเรื่องอินเวอร์เตอร์**[Online], Available:
http://www.9engineer.com/index.php?m=article&a=print&article_id=751 **เมื่อ 27 ตุลาคม 2553**

[16] Carol M.F. Barry, Stephen A. Orroth, Nick R. Schott. **Plastics Process Engineering Laboratory 1**. University of Massachusetts Lowell Department of Plastics Engineering, 2003.

[17] Rauwendaal. **Polymer Extrusion**. 4th Edition. Cincinnati: Hanser Jardner Publication, 2001.

[18] Glanvill,A.B. **The Plastics Engineer's Data Book**. New York: Industrial Press, 1974.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ข้อมูลทางเทคนิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก -1 ข้อมูลทางเทคนิค

ขนาดเครื่องอัดรีดขึ้นรูปพลาสติก	0.5 × 1.1 × 0.6 เมตร
กระแสไฟเครื่องอัดรีดขึ้นรูปพลาสติก	22 แอมป์
แรงดันไฟฟ้าเครื่องอัดรีดขึ้นรูปพลาสติก	1 เฟส 220 โวลต์
กำลังมอเตอร์	1 แรงม้า
กำลังส่วนให้ความร้อน	4 กิโลวัตต์
ชนิดเม็ดพลาสติก	พอลิโพพิลีน
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานที่สามารถผลิตได้	4 มิลลิเมตร
ช่วงอุณหภูมิสามารถผลิตได้	190 – 240 องศาเซลเซียส
ความเร็วรอบของมอเตอร์ที่สามารถผลิตได้	30 – 60 รอบต่อนาที

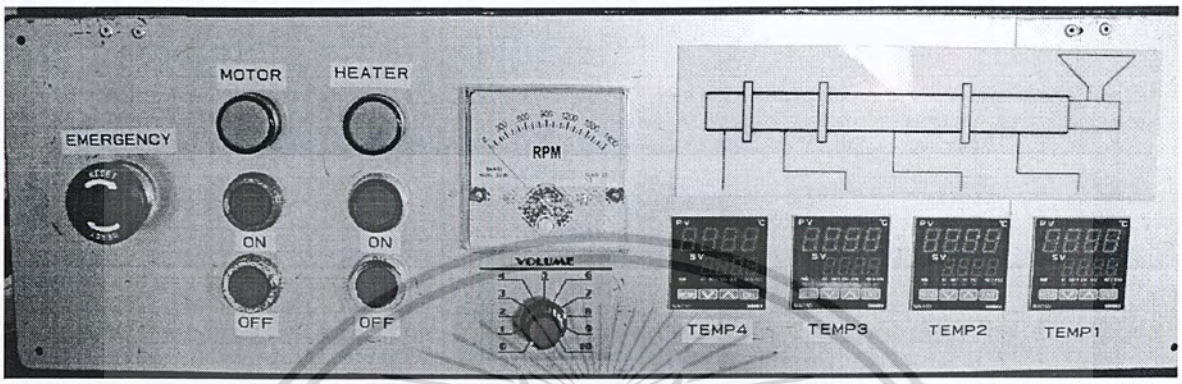
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

คู่มือการใช้เครื่องอัดรีดขึ้นรูปพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้เครื่องอัดรีดขึ้นรูปพลาสติก



รูปที่ ผข1 แผงควบคุม

การทำงานของเครื่องก่อนที่จะเริ่มทำงานจะต้องแน่ใจว่าข้างในกระบอกหลอมพลาสติกไม่มีเม็ดวัสดุ

การเตรียมเครื่องอัดรีดขึ้นรูปพลาสติก

1. เปิดกล่องควบคุม
2. เปิดสวิตซ์เบรกเกอร์หลักภายในกล่องควบคุม
3. กดสวิตซ์เปิด (ON) ในส่วนของฮีตเตอร์ เมื่อเปิดแล้วไฟ supply สีเขียวจะโชว์ แสดงถึงสถานะของฮีตเตอร์ว่ากำลังทำงานอยู่
4. ปรับอุณหภูมิที่ตัวควบคุมอุณหภูมิทั้ง 4 ตัว ซึ่งการตั้งค่าอุณหภูมินั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติกที่ใช้ในการอัดรีด
5. ปล่อยให้ความร้อนจากฮีตเตอร์รัดท่อร้อนจนผ่านผนังของกระบอกหลอม และผ่านไปจนถึงพลาสติกที่อยู่ข้างในกระบอกหลอม จนภายในกระบอกหลอมมีความร้อนถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้

หมายเหตุ ห้ามกดปุ่มสวิตซ์เปิด (ON) ในส่วนของมอเตอร์ ให้สกรูหมุนระหว่างที่ยังอุ่นให้พลาสติกในกระบอกหลอมร้อนโดยเด็ดขาด เนื่องจากอาจทำให้ผิวภายในกระบอกหลอม และสกรู เกิดการเสียหายเพราะอาจมีพลาสติกที่ทำการอัดรีดออกไม่หมดค้างอยู่ภายใน หลังจากที่อุ่นให้พลาสติกข้างในกระบอกหลอมร้อนจนถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้ จะเกิดการไหม้เล็กน้อยของวัสดุ ดังนั้นจึงต้องอัดรีดวัสดุเหล่านั้นออกจากกระบอกหลอม ซึ่งจะกระทำได้โดย

6. กดสวิตซ์เปิด (ON) ในส่วนของมอเตอร์ เมื่อเปิดแล้วไฟ supply สีเขียวจะโชว์ แสดงถึงสถานะของมอเตอร์ว่ากำลังทำงานอยู่
7. ใส่เม็ดพลาสติกลงในกรวยเติมพลาสติก เพื่อให้เม็ดพลาสติกตกเข้าไปข้างในส่วนป้อน (FEED ZONE) ของกระบอกหลอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ปรับค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ตามค่าที่ต้องการ

หมายเหตุ

- การไล่พลาสติกที่ไหม้ออกจะกระทำไปเรื่อยๆ จนกระทั่งไม่มีพลาสติกที่ไหม้ออกมา และการหลอมไหลเรียบไม่มีฟองอากาศออกมาเพื่อรอการอัดรีดต่อไป

- ให้ระวังส่วนที่อัดรีดออกมาจะตกลงสู่พื้น ให้รีบทำความสะอาดทันทีเพื่อความปลอดภัย

การถอดประกอบ DIE HEAD

ขั้นตอนการถอดหัว DIE

1. ปรับอุณหภูมิกระบอกหลอม และหัว DIE HEAD ให้ร้อนถึง 200 °C ประมาณ 1 ชั่วโมง
2. กดสวิตช์เปิด (ON) ในส่วนของมอเตอร์ให้สกรูหมุน เพื่อไล่พลาสติกที่หลงเหลืออยู่ออกจากกระบอกหลอม และหัว DIE ให้หมด
3. นำ Crane มารองรับ DIE HEAD และนำเอา Thermocouple, Heater ออก และคลายสกรูที่ยึด DIE HEAD พอหลวม

หมายเหตุ ในส่วนของ Thermocouple บริเวณสายของ Thermocouple ที่ต่อเข้ากับส่วนของตัววงจรด้านหลังแผงควบคุมจะเป็นปลั๊ก เพื่อให้ง่ายสำหรับการถอดเปลี่ยนหัวดายตัวใหม่

4. หาวัสดุมารองรับด้านล่างของ DIE HEAD, คลายสกรูออกให้หมด และนำค้อนหัวอ่อนตอกออก
5. นำหัว DIE HEAD ไปทำการถอดแยกชิ้นส่วน และทำการขูดพลาสติกออกจาก DIE, DIE BODY อย่างรวดเร็ว และให้สะอาดที่สุด (โลหะที่ใช้ขูดจะต้องเป็นโลหะอ่อน)

ขั้นตอนการประกอบ DIE HEAD

1. ทำความสะอาดผิวสัมผัสระหว่าง DIE กับกระบอกหลอม
2. ทำความสะอาดรูสกรูที่ใช้ยึด DIE โดยใช้จาระบีทาสกรู และขันเข้าออกเพื่อล้างเกลียวให้ขันง่ายเวลาประกอบ
3. ทำความสะอาด DIE กับกระบอกหลอม เพื่อเอาเศษโลหะที่ติดอยู่ออก
4. นำหัว DIE ไปติดตั้งกับกระบอกหลอม และขันยึดติดให้แน่น (ให้หัว DIE HEAD อยู่ในแนวตั้งฉากกับพื้น)
5. เปิดไฟอุ่นเครื่องจนร้อน และขันสกรูให้แน่นอีกครั้ง เพื่อป้องกันสกรูคลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การถอดประกอบ FEED SCREW

ขั้นตอนการถอด FEED SCREW ปฏิบัติดังนี้

1. ให้ความร้อนกระบอกหลอมเท่ากับอุณหภูมิของพลาสติกที่ใช้งานอยู่ (200 °C) อย่างน้อย 1 ชั่วโมง
2. ทำการนำเอาเม็ดพลาสติกในกรวยเติมพลาสติกออกให้หมด
3. ขับสกรูคือ กดสวิตซ์เปิด (ON) ในส่วนของมอเตอร์ให้สกรูหมุน เพื่อไล่พลาสติกออกจากกระบอกหลอม และหัว DIE จนหมด และกดสวิตซ์ปิด (STOP) ให้สกรูหยุด
4. ถอดหัว DIE ตามขั้นตอนการถอดหัว DIE เพื่อนำไปทำความสะอาด
5. ถอดชุดเกียร์บล็อค (gear box) โดยคลายสกรูที่ยึดกล่องเกียร์บล็อคออกซึ่งจะมี 4 ตัว และยกชุดกล่องเกียร์บล็อคออก
6. ถอดชุดประคอง FEED SCREW ซึ่งจะมีสกรูยึดติดกับกระบอกหลอม (ชุดประคองจะอยู่ด้านท้ายสุดของกระบอกหลอม) คลายสกรู และดึงทั้งชุดประคองกับ FEED SCREW ในกระบอกหลอมออก
7. นำเอาสกรูออกมาวางบนไม้หรือกระดาษแข็ง (ห้ามวางบนโลหะแข็งหรือพื้นซีเมนต์เด็ดขาด)
8. ทำความสะอาด FEED SCREW ทันทีโดยใช้แท่งอลูมิเนียมหรือทองแดงขูดออก
9. ทำความสะอาดรูของกระบอกหลอมด้วยแปลงทองเหลือง และให้ลมเป่ารูของกระบอกหลอม เพื่อไล่เศษพลาสติกและผงสกปรกออกให้หมด
10. ทำความสะอาดผิวหน้าสัมผัสกันระหว่างกระบอกหลอมกับ DIE HEAD ตรงส่วนที่ประกอบติดกัน
11. ลดอุณหภูมิของกระบอกหลอมลงมาที่ 100 °C (เพื่อเวลาต้องการเดินเครื่องใหม่จะได้ไม่ต้องรอนาน)

ขั้นตอนการประกอบ FEED SCREW ปฏิบัติดังนี้

1. ตรวจความสะอาดรูของกระบอกหลอมด้วยไฟฉายให้แน่ใจว่าไม่มีสิ่งสกปรกหรือสิ่งกีดขวางอยู่
2. นำ FEED SCREW ให้เข้าไปในกระบอกหลอมช้าๆ และหมุนตัวประคอง FEED SCREW ให้ตรงตำแหน่งรูยึด (ต้องทำความสะอาดผิวสัมผัสของกระบอกหลอม และตัวประคอง)
3. ยึดตัวประคอง FEED SCREW โดยใส่สกรูตามตำแหน่ง และหมุนยึดให้แน่น
4. นำชุดกล่องเกียร์ติดดังตำแหน่งเดิม และใส่ยางรองเท้าคัปปลิง ตั้งสายพานให้ได้ระยะตึง
5. นำชุดหัว DIE ประกอบตามวิธีที่ประกอบหัว DIE
6. ปรับอุณหภูมิตามชนิดพลาสติก แล้วรอจนได้อุณหภูมินั้น
7. ใส่พลาสติกลงในกรวยเติมพลาสติก และทำการทดลองอัดรีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ข้อมูลคุณสมบัติของพลาสติกชนิดพอลิโพพิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-1 ข้อมูลคุณสมบัติของพลาสติกชนิด Polypropylene (PP)

1100NK

POLENE

POLYPROPYLENE HOMOPOLYMER

CHARACTERISTICS : HIGH FLOW

APPLICATIONS : FOR INJECTION MOLDING
GENERAL PURPOSE : HOUSEWARES, CLOSURES, FOOD CONTAINERS

PROCESSING TEMPERATURE : 190 - 240°C

* MEET THE F.D.A. REQUIREMENT IN THE CODE OF FEDERAL REGULATIONS IN 21 CFR 177.1520 FOR FOOD CONTACT

TYPICAL DATA

PROPERTIES	UNIT	VALUE	TEST METHOD
MELT FLOW INDEX (2.16 kg/230 °C)	g/10min	11	ASTM D 1238
TENSILE STRENGTH AT YIELD	N/mm^2	36	ASTM D 638
ELONGATION AT YIELD	%	26	ASTM D 638
CHARPY NOTCHED IMPACT STRENGTH (AT 23 °C)	mJ/mm^2	2.9	DIN 53453
FLEXURAL MODULUS (1% SECANT)	MPa	1500	ASTM D790
ROCKWELL HARDNESS	R-Scale	107	ASTM D785
HEAT DISTORTION TEMPERATURE (LOAD 0.45 N/mm^2)	°C	110	ASTM D 648

ISSUE NO. 01 06 09 REV. 03

REMARK : THE VALUES PRESENTED ON THE ABOVE ARE TYPICAL LABORATORY AVERAGE. NOT TO BE CONSTRUED AS SPECIFICATIONS AND MAY VERY WITHIN MODERATE RANGES. THE APPLICABILITY OR THE ACCURACY OF THIS INFORMATION OR THE SUITABILITY OF OUR PRODUCTS CANNOT BE GUARANTEED BECAUSE THE CONDITIONS OF USE ON THE PART OF OUR USERS ARE BEYOND OUR CONTROL.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

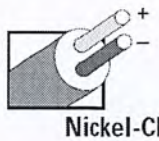
ภาคผนวก ง

คุณสมบัติตัววัดอุณหภูมิ (THERMOCOUPLE) TYPE K

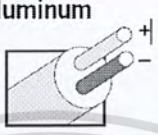
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง - 1 ตารางแสดงคุณสมบัติตัววัดอุณหภูมิ (Thermocouple) Type k

MAXIMUM TEMPERATURE RANGE
Thermocouple Grade
– 328 to 2282°F
– 200 to 1250°C
Extension Grade
32 to 392°F
0 to 200°C
LIMITS OF ERROR
(whichever is greater)
Standard: 2.2°C or 0.75% Above 0°C
2.2°C or 2.0% Below 0°C
Special: 1.1°C or 0.4%
COMMENTS, BARE WIRE ENVIRONMENT:
Clean Oxidizing and Inert; Limited Use in Vacuum or Reducing; Wide Temperature Range; Most Popular Calibration
TEMPERATURE IN DEGREES °C
REFERENCE JUNCTION AT 0°C



Nickel-Chromium
vs.
Nickel-Aluminum



Revised Thermocouple Reference Tables

TYPE K

Reference Tables
N.I.S.T. Monograph 175
Revised to ITS-90

Thermoelectric Voltage in Millivolts

°C	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	°C
-260	-6.458	-6.457	-6.456	-6.455	-6.453	-6.452	-6.450	-6.448	-6.445	-6.444	-6.441	-260
-250	-6.441	-6.438	-6.435	-6.432	-6.429	-6.425	-6.421	-6.417	-6.413	-6.408	-6.404	-250
-240	-6.404	-6.399	-6.393	-6.388	-6.382	-6.377	-6.370	-6.364	-6.358	-6.351	-6.344	-240
-230	-6.344	-6.337	-6.329	-6.322	-6.314	-6.306	-6.297	-6.289	-6.280	-6.271	-6.262	-230
-220	-6.262	-6.252	-6.243	-6.233	-6.223	-6.213	-6.202	-6.192	-6.181	-6.170	-6.158	-220
-210	-6.158	-6.147	-6.135	-6.123	-6.111	-6.099	-6.087	-6.074	-6.061	-6.048	-6.035	-210
-200	-6.035	-6.021	-6.007	-5.994	-5.980	-5.965	-5.951	-5.936	-5.922	-5.907	-5.891	-200
-190	-5.891	-5.876	-5.861	-5.845	-5.829	-5.813	-5.797	-5.780	-5.763	-5.747	-5.730	-190
-180	-5.730	-5.713	-5.695	-5.678	-5.660	-5.642	-5.624	-5.606	-5.588	-5.569	-5.550	-180
-170	-5.550	-5.531	-5.512	-5.493	-5.474	-5.454	-5.435	-5.416	-5.396	-5.374	-5.354	-170
-160	-5.354	-5.333	-5.313	-5.292	-5.271	-5.250	-5.228	-5.207	-5.185	-5.163	-5.141	-160
-150	-5.141	-5.119	-5.097	-5.074	-5.052	-5.029	-5.006	-4.983	-4.960	-4.936	-4.913	-150
-140	-4.913	-4.889	-4.865	-4.841	-4.817	-4.793	-4.768	-4.744	-4.719	-4.694	-4.669	-140
-130	-4.669	-4.644	-4.618	-4.593	-4.567	-4.542	-4.516	-4.490	-4.463	-4.437	-4.411	-130
-120	-4.411	-4.384	-4.357	-4.330	-4.303	-4.276	-4.249	-4.221	-4.194	-4.166	-4.138	-120
-110	-4.138	-4.110	-4.082	-4.054	-4.025	-3.997	-3.968	-3.939	-3.911	-3.882	-3.852	-110
-100	-3.852	-3.823	-3.794	-3.764	-3.734	-3.705	-3.675	-3.645	-3.614	-3.584	-3.554	-100
-90	-3.554	-3.523	-3.492	-3.462	-3.431	-3.400	-3.368	-3.337	-3.306	-3.274	-3.243	-90
-80	-3.243	-3.211	-3.179	-3.147	-3.115	-3.083	-3.050	-3.018	-2.986	-2.953	-2.920	-80
-70	-2.920	-2.887	-2.854	-2.821	-2.788	-2.755	-2.721	-2.688	-2.654	-2.620	-2.587	-70
-60	-2.587	-2.553	-2.519	-2.485	-2.450	-2.416	-2.382	-2.347	-2.312	-2.278	-2.243	-60
-50	-2.243	-2.208	-2.173	-2.138	-2.103	-2.067	-2.032	-1.996	-1.961	-1.925	-1.889	-50
-40	-1.889	-1.854	-1.818	-1.782	-1.745	-1.709	-1.673	-1.637	-1.600	-1.564	-1.527	-40
-30	-1.527	-1.490	-1.453	-1.417	-1.380	-1.343	-1.305	-1.268	-1.231	-1.194	-1.156	-30
-20	-1.156	-1.119	-1.081	-1.043	-1.006	-0.968	-0.930	-0.892	-0.854	-0.816	-0.778	-20
-10	-0.778	-0.739	-0.701	-0.663	-0.624	-0.586	-0.547	-0.508	-0.470	-0.431	-0.392	-10
0	-0.392	-0.353	-0.314	-0.275	-0.236	-0.197	-0.157	-0.118	-0.079	-0.039	0.000	0
0	0.000	0.039	0.079	0.119	0.158	0.198	0.238	0.277	0.317	0.357	0.397	0
10	0.397	0.437	0.477	0.517	0.557	0.597	0.637	0.677	0.718	0.758	0.798	10
20	0.798	0.838	0.879	0.919	0.960	1.000	1.041	1.081	1.122	1.163	1.203	20
30	1.203	1.244	1.285	1.326	1.366	1.407	1.448	1.489	1.530	1.571	1.612	30
40	1.612	1.653	1.694	1.735	1.776	1.817	1.858	1.899	1.941	1.982	2.023	40
50	2.023	2.064	2.106	2.147	2.188	2.230	2.271	2.312	2.354	2.396	2.436	50
60	2.436	2.478	2.519	2.561	2.602	2.644	2.686	2.727	2.768	2.810	2.851	60
70	2.851	2.893	2.934	2.976	3.017	3.059	3.100	3.142	3.184	3.225	3.267	70
80	3.267	3.308	3.350	3.391	3.433	3.474	3.516	3.557	3.599	3.640	3.682	80
90	3.682	3.723	3.765	3.806	3.848	3.889	3.931	3.972	4.013	4.055	4.096	90
100	4.096	4.138	4.179	4.220	4.262	4.303	4.344	4.385	4.427	4.468	4.509	100
110	4.509	4.550	4.591	4.633	4.674	4.715	4.756	4.797	4.838	4.879	4.920	110
120	4.920	4.961	5.002	5.043	5.084	5.124	5.165	5.206	5.247	5.288	5.328	120
130	5.328	5.369	5.410	5.450	5.491	5.532	5.572	5.613	5.653	5.694	5.735	130
140	5.735	5.775	5.815	5.856	5.896	5.937	5.977	6.017	6.058	6.098	6.138	140
150	6.138	6.179	6.219	6.259	6.299	6.339	6.380	6.420	6.460	6.500	6.540	150
160	6.540	6.580	6.620	6.660	6.701	6.741	6.781	6.821	6.861	6.901	6.941	160
170	6.941	6.981	7.021	7.060	7.100	7.140	7.180	7.220	7.260	7.300	7.340	170
180	7.340	7.380	7.420	7.460	7.500	7.540	7.579	7.619	7.659	7.699	7.739	180
190	7.739	7.779	7.819	7.859	7.899	7.939	7.979	8.019	8.059	8.099	8.138	190
200	8.138	8.178	8.218	8.258	8.298	8.338	8.378	8.418	8.458	8.498	8.539	200
210	8.539	8.579	8.619	8.659	8.699	8.739	8.779	8.819	8.860	8.900	8.940	210
220	8.940	8.980	9.020	9.061	9.101	9.141	9.181	9.222	9.262	9.302	9.343	220
230	9.343	9.383	9.423	9.464	9.504	9.545	9.585	9.626	9.666	9.707	9.747	230
240	9.747	9.788	9.828	9.869	9.909	9.950	9.991	10.031	10.072	10.113	10.153	240
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
250	10.153	10.194	10.235	10.276	10.316	10.357	10.398	10.439	10.480	10.520	10.561	250
260	10.561	10.602	10.643	10.684	10.725	10.765	10.807	10.848	10.889	10.930	10.971	260
270	10.971	11.012	11.053	11.094	11.135	11.176	11.217	11.259	11.300	11.341	11.382	270
280	11.382	11.423	11.465	11.506	11.547	11.588	11.630	11.671	11.712	11.753	11.795	280
290	11.795	11.836	11.877	11.919	11.960	12.001	12.043	12.084	12.126	12.167	12.209	290
300	12.209	12.250	12.291	12.333	12.374	12.416	12.457	12.499	12.540	12.582	12.624	300
310	12.624	12.665	12.707	12.748	12.790	12.831	12.873	12.915	12.956	12.998	13.040	310
320	13.040	13.081	13.123	13.165	13.206	13.248	13.290	13.331	13.373	13.415	13.457	320
330	13.457	13.498	13.540	13.582	13.624	13.665	13.707	13.749	13.791	13.833	13.874	330
340	13.874	13.916	13.958	14.000	14.042	14.084	14.126	14.167	14.209	14.251	14.293	340
350	14.293	14.335	14.377	14.419	14.461	14.503	14.545	14.587	14.629	14.671	14.713	350
360	14.713	14.755	14.797	14.839	14.881	14.923	14.965	15.007	15.049	15.091	15.133	360
370	15.133	15.175	15.217	15.259	15.301	15.343	15.385	15.427	15.469	15.511	15.554	370
380	15.554	15.596	15.638	15.680	15.722	15.764	15.806	15.849	15.891	15.933	15.975	380
390	15.975	16.017	16.059	16.102	16.144	16.186	16.228	16.270	16.313	16.355	16.397	390
400	16.397	16.439	16.482	16.524	16.566	16.608	16.651	16.693	16.735	16.778	16.820	400
410	16.820	16.862	16.904	16.947	16.989	17.031	17.074	17.116	17.158	17.201	17.243	410
420	17.243	17.285	17.328	17.370	17.413	17.455	17.497	17.540	17.582	17.624	17.667	420
430	17.667	17.709	17.752	17.794	17.837	17.879	17.921	17.964	18.006	18.049	18.091	430
440	18.091	18.134	18.176	18.218	18.261	18.303	18.346	18.388	18.431	18.473	18.516	440
450	18.516	18.558	18.601	18.643	18.686	18.728	18.771	18.813	18.856	18.898	18.941	450
460	18.941	18.983	19.026	19.068	19.111	19.154	19.196	19.239	19.281	19.324	19.366	460
470	19.366	19.409	19.451	19.494	19.537	19.579	19.622	19.664	19.707	19.750	19.792	470
480	19.792	19.835	19.877	19.920	19.962	20.005	20.048	20.090	20.133	20.175	20.218	480
490	20.218	20.261	20.303	20.346	20.389	20.431	20.474	20.516	20.559	20.602	20.644	490
500	20.644	20.687	20.730	20.772	20.815	20.857	20.900	20.943	20.985	21.028	21.071	500
510	21.071	21.113	21.156	21.199	21.241	21.284	21.326	21.369	21.412	21.454	21.497	510
520	21.497	21.540	21.582	21.625	21.668	21.710	21.753	21.796	21.838	21.881	21.924	520
530	21.924	21.966	22.009	22.052	22.094	22.137	22.179	22.222	22.265	22.307	22.350	530
540	22.350	22.393	22.435	22.478	22.521	22.563	22.606	22.649	22.691	22.734	22.776	540
550	22.776	22.819	22.862	22.904	22.947	22.990	23.032	23.075	23.117	23.160	23.203	550
560	23.203	23.245	23.288	23.331	23.373	23.416	23.458	23.501	23.544	23.586	23.629	560
570	23.629	23.671	23.714	23.757	23.799	23.842	23.884	23.927	23.970	24.012	24.055	570
580	24.055	24.097	24.140	24.182	24.225	24.267	24.310	24.353	24.395	24.438	24.480	580
590	24.480	24.523	24.565	24.608	24.650	24.693	24.735	24.778	24.820	24.863	24.905	590
600	24.905	24.948	24.990	25.033	25.075	25.118	25.160	25.203	25.245	25.288	25.330	600
610	25.330	25.373	25.415	25.458	25.500	25.543	25.585	25.627	25.670	25.712	25.755	610
620	25.755	25.797	25.840	25.882	25.924	25.967	26.009	26.052	26.094	26.136	26.179	620
630	26.179	26.221	26.263	26.306	26.348	26.390	26.433	26.475	26.517	26.560	26.602	630
640	26.602	26.644	26.687	26.729	26.771	26.814	26.856	26.898	26.940	26.983	27.025	640
650	27.025	27.067	27.109	27.152	27.194	27.236	27.278	27.320	27.363	27.405	27.447	650
660	27.447	27.489	27.531	27.574	27.616	27.658	27.700	27.742	27.784	27.826	27.869	660
670	27.869	27.911	27.953	27.995	28.037	28.079	28.121	28.163	28.205	28.247	28.289	670
680	28.289	28.332	28.374	28.416	28.458	28.500	28.542	28.584	28.626	28.668	28.710	680
690	28.710	28.752	28.794	28.835	28.877	28.919	28.961	29.003	29.045	29.087	29.129	690
700	29.129	29.171	29.213	29.255	29.297	29.338	29.380	29.422	29.464	29.506	29.548	700
710	29.548	29.589	29.631	29.673	29.715	29.757	29.799	29.840	29.882	29.924	29.965	710
720	29.965	30.007	30.049	30.090	30.132	30.174	30.215	30.257	30.299	30.341	30.382	720
730	30.382	30.424	30.465	30.507	30.549	30.590	30.632	30.674	30.715	30.757	30.798	730
740	30.798	30.840	30.881	30.923	30.964	31.006	31.047	31.089	31.130	31.172	31.213	740
750	31.213	31.255	31.296	31.338	31.379	31.421	31.462	31.504	31.545	31.586	31.628	750
760	31.628	31.669	31.710	31.752	31.793	31.834	31.876	31.917	31.958	32.000	32.041	760
770	32.041	32.082	32.124	32.165	32.206	32.247	32.289	32.330	32.371	32.412	32.453	770
780	32.453	32.495	32.536	32.577	32.618	32.659	32.700	32.742	32.783	32.824	32.865	780
790	32.865	32.906	32.947	32.988	33.029	33.070	33.111	33.152	33.193	33.234	33.275	790
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C

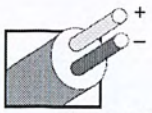
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง - 1 (ต่อ) ตารางแสดงคุณสมบัติตัววัดอุณหภูมิ (Thermocouple) Type k

Revised Thermocouple Reference Tables

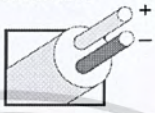
TYPE K

Reference Tables
N.I.S.T.
Monograph 175
Revised to
ITS-90



Thermocouple Grade

Nickel-Chromium
vs.
Nickel-Aluminum



Extension Grade

MAXIMUM TEMPERATURE RANGE
Thermocouple Grade
– 328 to 2282°F
– 200 to 1250°C
Extension Grade
32 to 392°F
0 to 200°C
LIMITS OF ERROR
(whichever is greater)
Standard: 2.2°C or 0.75% Above 0°C
2.2°C or 2.0% Below 0°C
Special: 1.1°C or 0.4%
COMMENTS, BARE WIRE ENVIRONMENT:
Clean Oxidizing and Inert; Limited Use in Vacuum or Reducing; Wide Temperature Range; Most Popular Calibration
TEMPERATURE IN DEGREES °C
REFERENCE JUNCTION AT 0°C

Thermoelectric Voltage in Millivolts

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
800	33.275	33.316	33.357	33.399	33.439	33.480	33.521	33.562	33.603	33.644	33.685	800
810	33.685	33.726	33.767	33.808	33.849	33.889	33.930	33.971	34.012	34.053	34.093	810
820	34.093	34.134	34.175	34.216	34.257	34.297	34.338	34.379	34.420	34.460	34.501	820
830	34.501	34.542	34.582	34.623	34.664	34.704	34.745	34.786	34.826	34.867	34.908	830
840	34.908	34.948	34.989	35.029	35.070	35.110	35.151	35.192	35.232	35.273	35.313	840
850	35.313	35.354	35.394	35.435	35.475	35.516	35.556	35.596	35.637	35.677	35.718	850
860	35.718	35.758	35.798	35.839	35.879	35.920	35.960	36.000	36.041	36.081	36.121	860
870	36.121	36.162	36.202	36.242	36.282	36.323	36.363	36.403	36.443	36.484	36.524	870
880	36.524	36.564	36.604	36.644	36.685	36.725	36.765	36.805	36.845	36.885	36.925	880
890	36.925	36.965	37.006	37.046	37.086	37.126	37.166	37.206	37.246	37.286	37.326	890
900	37.326	37.366	37.406	37.446	37.486	37.526	37.566	37.606	37.646	37.686	37.725	900
910	37.725	37.765	37.805	37.845	37.885	37.925	37.965	38.005	38.044	38.084	38.124	910
920	38.124	38.164	38.204	38.243	38.283	38.323	38.363	38.402	38.442	38.482	38.522	920
930	38.522	38.561	38.601	38.641	38.680	38.720	38.760	38.799	38.839	38.878	38.918	930
940	38.918	38.958	38.997	39.037	39.076	39.116	39.155	39.195	39.235	39.274	39.314	940
950	39.314	39.353	39.393	39.432	39.471	39.511	39.550	39.590	39.629	39.669	39.708	950
960	39.708	39.747	39.787	39.826	39.866	39.905	39.944	39.984	40.023	40.062	40.101	960
970	40.101	40.141	40.180	40.219	40.258	40.298	40.337	40.376	40.415	40.455	40.494	970
980	40.494	40.533	40.572	40.611	40.651	40.690	40.729	40.768	40.807	40.846	40.885	980
990	40.885	40.924	40.963	41.002	41.042	41.081	41.120	41.159	41.198	41.237	41.276	990
1000	41.276	41.315	41.354	41.393	41.431	41.470	41.509	41.548	41.587	41.626	41.665	1000
1010	41.665	41.704	41.743	41.781	41.820	41.859	41.898	41.937	41.976	42.014	42.053	1010
1020	42.053	42.092	42.131	42.169	42.208	42.247	42.286	42.324	42.363	42.402	42.440	1020
1030	42.440	42.479	42.518	42.556	42.595	42.633	42.672	42.711	42.749	42.788	42.826	1030
1040	42.826	42.865	42.903	42.942	42.980	43.019	43.057	43.096	43.134	43.173	43.211	1040
1050	43.211	43.250	43.288	43.327	43.365	43.403	43.442	43.480	43.518	43.557	43.595	1050
1060	43.595	43.633	43.672	43.710	43.748	43.787	43.825	43.863	43.901	43.940	43.978	1060
1070	43.978	44.016	44.054	44.092	44.130	44.169	44.207	44.245	44.283	44.321	44.359	1070
1080	44.359	44.397	44.435	44.473	44.512	44.550	44.588	44.626	44.664	44.702	44.740	1080
1090	44.740	44.778	44.816	44.853	44.891	44.929	44.967	45.005	45.043	45.081	45.119	1090
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
1100	45.119	45.157	45.194	45.232	45.270	45.308	45.346	45.383	45.421	45.459	45.497	1100
1110	45.497	45.534	45.572	45.610	45.647	45.685	45.723	45.760	45.798	45.836	45.873	1110
1120	45.873	45.911	45.948	45.986	46.024	46.061	46.099	46.136	46.174	46.211	46.249	1120
1130	46.249	46.286	46.324	46.361	46.398	46.436	46.473	46.511	46.548	46.585	46.623	1130
1140	46.623	46.660	46.697	46.735	46.772	46.809	46.847	46.884	46.921	46.958	46.995	1140
1150	46.995	47.033	47.070	47.107	47.144	47.181	47.218	47.256	47.293	47.330	47.367	1150
1160	47.367	47.404	47.441	47.478	47.515	47.552	47.589	47.626	47.663	47.700	47.737	1160
1170	47.737	47.774	47.811	47.848	47.884	47.921	47.958	47.995	48.032	48.069	48.105	1170
1180	48.105	48.142	48.179	48.216	48.252	48.289	48.326	48.363	48.399	48.436	48.473	1180
1190	48.473	48.509	48.546	48.582	48.619	48.656	48.692	48.729	48.765	48.802	48.838	1190
1200	48.838	48.875	48.911	48.948	48.984	49.021	49.057	49.093	49.130	49.166	49.202	1200
1210	49.202	49.239	49.275	49.311	49.348	49.384	49.420	49.456	49.493	49.529	49.565	1210
1220	49.565	49.601	49.637	49.674	49.710	49.746	49.782	49.818	49.854	49.890	49.926	1220
1230	49.926	49.962	49.998	50.034	50.070	50.106	50.142	50.178	50.214	50.250	50.286	1230
1240	50.286	50.322	50.358	50.393	50.429	50.465	50.501	50.537	50.572	50.608	50.644	1240
1250	50.644	50.680	50.716	50.751	50.787	50.822	50.858	50.894	50.929	50.965	51.000	1250
1260	51.000	51.036	51.071	51.107	51.142	51.178	51.213	51.249	51.284	51.320	51.355	1260
1270	51.355	51.391	51.426	51.461	51.497	51.532	51.567	51.603	51.638	51.673	51.709	1270
1280	51.709	51.744	51.779	51.814	51.849	51.885	51.920	51.955	51.990	52.025	52.060	1280
1290	52.060	52.095	52.130	52.165	52.200	52.235	52.270	52.305	52.340	52.375	52.410	1290
1300	52.410	52.445	52.480	52.515	52.550	52.585	52.620	52.654	52.689	52.724	52.759	1300
1310	52.759	52.794	52.828	52.863	52.898	52.932	52.967	53.002	53.037	53.071	53.106	1310
1320	53.106	53.140	53.175	53.210	53.244	53.279	53.313	53.348	53.382	53.417	53.451	1320
1330	53.451	53.486	53.520	53.555	53.589	53.623	53.658	53.692	53.727	53.761	53.795	1330
1340	53.795	53.830	53.864	53.899	53.932	53.967	54.001	54.035	54.069	54.104	54.138	1340
1350	54.138	54.172	54.206	54.240	54.274	54.308	54.343	54.377	54.411	54.445	54.479	1350
1360	54.479	54.513	54.547	54.581	54.615	54.649	54.683	54.717	54.751	54.785	54.819	1360
1370	54.819	54.852	54.886									1370
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

คู่มือการใช้งานตัวควบคุมอุณหภูมิ (THEMPERATURE CONTROLLER)

รุ่น MAC5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SHIMAX

MAC5 Series
Digital Controller Instruction Manual

Thank you for purchasing SHIMAX product.
Please check that the product is the one you ordered.
Please operate after you read the instruction manual and fully understand it

「Notice」
Please ensure that this manual is given to the final user of the instrument.

Contents

Preface
1.Matters regarding safety
2.Introduction
- 2-1.Check before use
- 2-2.Caution for use

3.Installation and wiring
- 3-1. Installation site (environmental conditions)
- 3-2. Mounting
- 3-3. External dimension and panel cutout
- 3-4. Wiring
- 3-5. Terminal arrangement diagram

4. Description of front panel
- 4-1. Names of front panel.
- 4-2. Explanation of front panel section

5. Description of screens
- 5-1. How to move to another screen
- 5-2. Setting Method
- 5-3. Power-on and initial screen display
- 5-4. Monitoring screen

6. Operating setting
7. MODE setting
- 7-1 . MODE1 :Key lock and SV Limit setting
- 7-2. MODE2: Scale and PV setting
- 7-3. MODE3-4:Out 1-2 setting
- 7-4. MODE 5:Event setting
- 7-5 . MODE6:DI setting
- 7-6 .DI operation character table
- 7-7 .Measuring range code table

8. Supplementary Explanation of Function
- 8-1 . Auto return function
- 8-2. Output Soft Start Function
- 8-3. Event Selection Alarm Operation Figure
- 8-4. AT (Auto Tuning)
- 8-5 .Output-characteristics figure

9. Trouble Shooting
- 9-1. Cause and Treatment of Main Defects
- 9-2. Cause and Treatment of Error Display

10. Specification

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Preface

This instruction manual is intended for those who will be involved in wiring, installation, operation and routine maintenance of the MAC5.

This manual describes the care, installation, wiring, function, and proper procedures regarding the operation of MAC5.

Keep this manual on hand while using this device. Please follow the provided guidance.

1.Matters regarding safety□

For matters regarding safety, potential damage to equipment and/ or facilities and additional instructions are indicated as follows:

□ This mark indicates hazardous conditions that could cause injury or death of personnel. Exercise extreme caution as indicated.

「 □ □ □□□□□□」

□ This mark indicates hazardous conditions that could cause damage to equipment and/ or facilities. Exercise extreme caution as indicated.

「 □ □□□□□□□」

□ This mark indicates additional instructions and/ or notes.

「 □□□□」

「 □ □□□□□□」

MAC5 is designed for controlling temperature, humidity, and other physical subjects in general industrial facilities. It must not be used in any way that may adversely affect safety, health, or working conditions.

「 □ □□□□□□」

To avoid damage to the connected equipment, facilities or the product itself due to a fault of this instrument, safety countermeasures must be taken before usage, such as proper installation of the fuse and the overheating protection device. No warranty, expressed or implied, is valid in the case of usage without having implemented proper safety countermeasures.

「 □ CCCCCCCC」

The □ mark on the plate affixed to the instrument:

On the terminal nameplate affixed to the case of your instrument, the □ mark is printed. This is to warn you of the risk of electrical shock which may result if the charger is touched while it is energized.

The external power circuit connected to the power terminal of this instrument must have a means of turning off the power, such as a switch or breaker. Install the switch or breaker adjacent to the instrument in a position which allows it to be operated with ease, and with an indication that it is a means of turning off the power. Use a switch or breaker, which meets the requirements of IEC127.

Fuse:Since the instrument does not have a built-in fuse, do not forget to install a fuse in the power circuit to be connected to the power terminal. The fuse should be positioned between the switch or breaker and the instrument and should be attached to the L side of the power terminal.

Fuse Rating: 250V AC 0.5A/ medium lagged or lagged type.

Use a fuse which meets the requirements of IEC127.

Load voltage/ current to be connected to the output terminal and the alarm terminal should be within the rated range. Otherwise, the temperature will rise and shorten the life of the product and/ or result in problems with the product.

IVoltage/ current that differs from input specification should not be connected to the input terminal. It may shorten the life of the product and/ or result in problems with the product.

Input, output of voltage pulse, and output of electric current are not insulated. Therefore, do not ground an adjusted power terminal when a ground sensor is employed.

A signal wire's common mode voltage to ground (signal wires other than contact output including power supply and event) should be less than 30V rms, 42.4V peak, and 60 VDC .

「 □ □□□□□□」

All the wires for the interior distribution, except for communication and contact output (including power supply and event), should be less than 30m in length. When the wire's length is 30m or more, or in the case of outdoor wiring, the suitable measure against a lightning surge is required.

EMC standard (IEC61326) classifies MAC3 into Class A apparatus. Electromagnetic interference may occur when MAC3 is used at a business district or in the home. Please use after taking sufficient measures.

2.Introduction

2- 1. Check before use

Before using MAC5, please check the model code, the exterior appearance and accessories. Also, make sure that there are no errors, impairs and shortages.

Confirmation of model code: Check that the product you ordered is being delivered properly. Check the model code of the main body case against the following code table.

Example of model code

MAC5A—	M	C	F—	E	C
1	2	3	4	5	6

1. Series MAC5A-:96× 96mm size digital controller
   MAC5B-:48× 96mm size digital controller
   MAC5C-:72× 72mm size digital controller
   MAC5D-:48× 48mm size digital controller
2. Input M:multi,
3. Control Output 1 C:contact, S:voltage pulse, I:current(4～20mA)
4. Power Supply F-:90 - 264V AC,
5. Event Output E:Event Output 1･2 (two points)
6. Control Output 2･Event Output･Optional Selection
   N- :none, C- :contact, S- :voltage pulse, E- :Event out
   D- Digital input one point

2- 2. Caution for use

(1) Do not operate the front panel keys with hard or sharp objects. Do not fail to touch keys lightly with a fingertip.

(2) Wipe gently with a dry rag and avoid using solvents such as thinner.

3. Installation and wiring

3- 1. Installation site (environmental conditions)

「 □ □□□□□□」 □

Do not use this product under the following conditions.

Otherwise, failure, damage and fire may occur.

(1) Where flammable gas, corrosive gas, oil mist or dust generate or grow rife.

(2) Where the temperature is below - 10 or above 55 .

(3) Where the humidity is over 90%RH or where condensation occurs.

(4) Where high vibration or impact occurs.

(5) Where inductive interference may easily affect the operation. Or, in the region of strong electric circuit area.

(6) Where water drops or direct sunlight exists.

(7) Where the altitude is above 2,000m.

「NOTE」: The environmental conditions comply with the IEC664. Installation category is and the pollution degree is 2.

3- 2. Mounting

(1) Machine the mounting hole by referring to the panel-cut illustration in Section 3-3.

(2) Applicable thickness of the mounting panel is 1.2 ~ 2.8mm.

(3) As this product provides mounting fixture, insert the product into the panel.

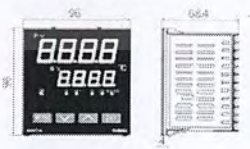
「NOTE」:

MAC 3 is a panel set-up type.

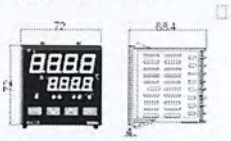
Please use the product after setting up to the panel.

3- 3. External dimension and panel cutout (unit: mm)

MAC5A 96mm*96mm

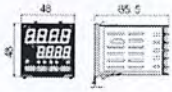


MAC5C 72mm*72mm



MAC5B 48mm*96mm

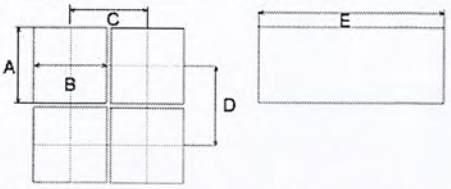
MAC5D 48mm*48mm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAC5 panel cutout (unit: mm)

	A	B	C	D	E
MAC5A	92	92	99mm	99mm	(96*N-4)
MAC5B	92	45	48mm	99mm	(48*N-3)
MAC5C	68	68	72mm	72mm	(72*N-4)
MAC5D	45	45	48mm	48mm	(48*N-3)



Note: Proximity attachment by a single hole is possible only in the case of horizontal direction. When an apparatus that was attached in vertical direction is removed, a dedicated detachment tool is required.

3-4. Wiring

「 □ □ □□□□□□ 」 □

□ Do not turn on electricity while wiring to avoid an electric shock.

□ Do not touch a terminal or live part while turning on electricity.

(1) Make sure that wiring operation is properly done in line with a terminal wire diagram of section 3-5.

(2) Choose a suitable compensation lead wire in the case of thermocouple input.

(3) In the case of resistance bulb input, resistance value of each lead wire must be less than 5Ω and that of three lead wires must be equal.

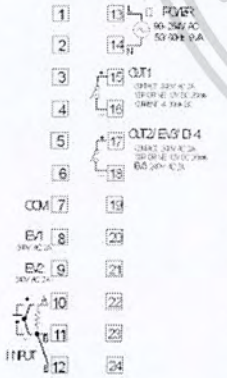
(4) Do not wires an input signal line inside of an electric wire pipe or a duct same with the high voltage line.

(5) Shield wiring (single point grounding) is effective against static induction noise.

(6) Wring twisted at equal short intervals is effective against electromagnetic induction noise.

3-5. Terminal arrangement diagram

Terminal arrangement MAC5A,B



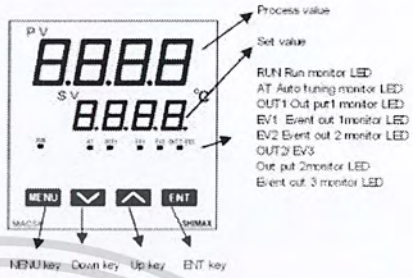
Terminal arrangement MAC5C

Terminal arrangement MAC5D

「Note」: If input type is thermocouple or voltage, errors may occur when terminal 5 and terminal 6 terminal are short-circuited

4. Description of front panel

4-1. Names of front panel.



4-2. Explanation of front panel section

□ : Display of measured value (PV) (red) Measured value (PV) and type of setting is displayed on each setting screen.

□ : Display of target value (SV) (green)
Target value and set value are displayed on each setting screen.

□ : Monitor LED

(1) RUN monitor LED RUN (green)
If RUN is performed with RUN key, operation mode1 screen, external control input (DI), and communication, it lights up, and put out by standby (reset). It blinks, if a manual output is chosen in output monitoring screen or external control input (DI).

(3) Auto tuning operation monitor LED AT (green)
If AT is chosen in ON or external control input (DI), blinks during AT execution. Lights up when AT is on standby, and puts out with AT automatic termination or release.

(4) control out put 1 monitor LED OUT (green)
At the time of a contact or a voltage pulse output, the it lights up with ON and lights off with
OFF. Lights off with 0% power output, and lights up with 100% power.
And blinks in intermediate ratio.

(5) Event output monitors LED EV1 and EV2 (yellow)
Lights up when the allotted event output turns to ON.

(6) Control out put 2/ event output 3 monitors LED OUT2/ EV3 (yellow)
When control output 2 is chosen, it operates like control output 1 monitor LED does.
When event output 3 is chosen, it operates like event output monitor LED does.

□ : Key-switch section

(1) □ (MENU)key
Press this key to move onto the next screen among the screens.
Press □ (MENU) key for three seconds on the basic screen, then it jumps to the lead screen of Mode 1. Press □ key for three seconds on the lead screen of each Mode screens, then it jumps to the basic screen.

Press □ key for three seconds on the lead screen of (2) □ (DOWN) key
Press □ (DOWN) key one time, and the shown value decreases by one numerical value.
One time press of □ key decreases by one numerical value. By pressing the key continuously, the value as well consecutively decreases. A decimal point of the smallest digit blinks at this time. This shows that a setting change is in progress.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) (UP) key

Press (UP) key one time, and the shown value increases by one numerical value.

By pressing continuously, the value By pressing the key continuously, the value consecutively increases. A decimal point of the smallest digit blinks at this time. This shows that a setting change is in progress.

Also used as a shift key between lead screen in each mode screens.

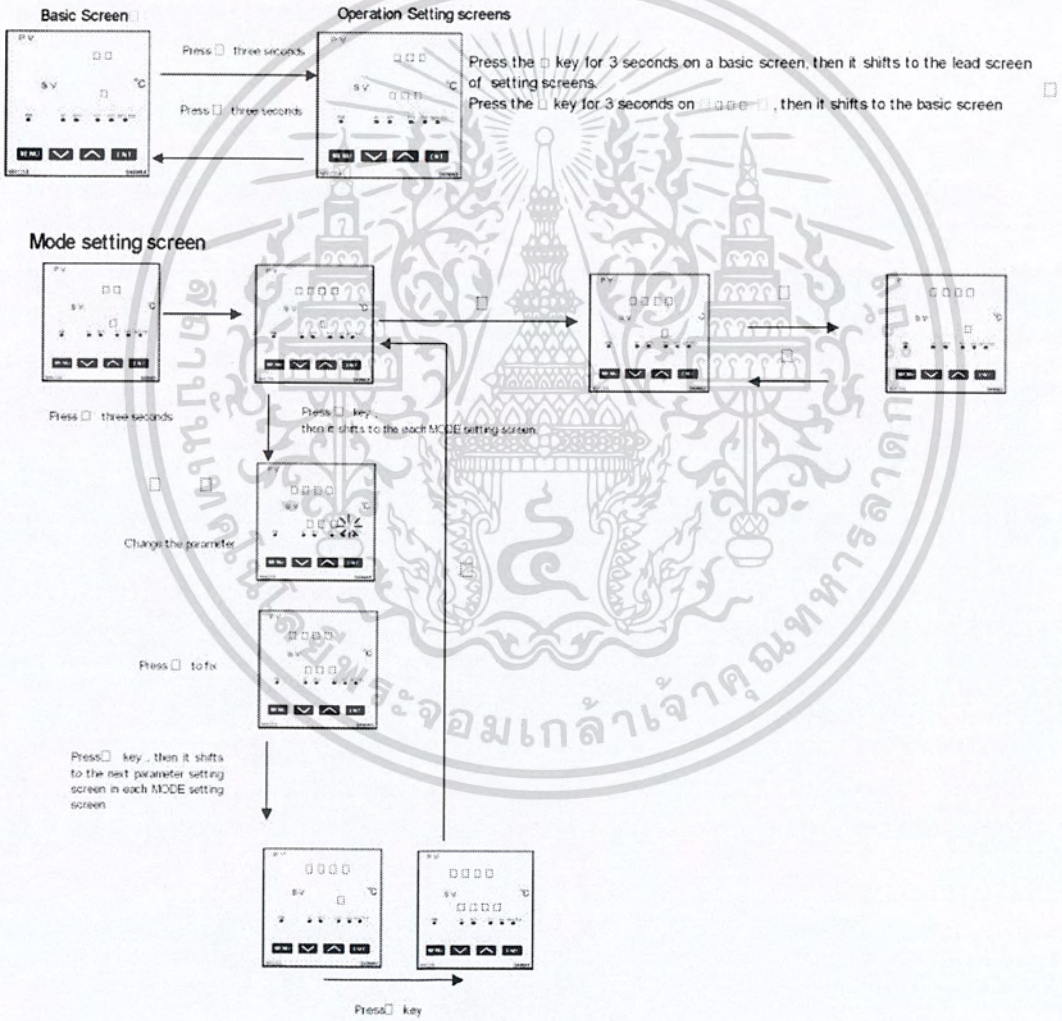
(4) (ENTRY/ REGISTER)key

The setting data changed on each screen is determined (the decimal point of the minimum digit is also lighted off).

Press key for 3 seconds on the output monitoring screen, then the shift between manual output and automatic output is carried out.

5. Description of screens

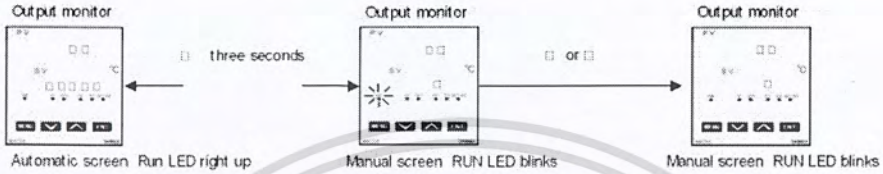
5-1. How to move to another screen



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5-2. Setting Method

To change settings, display an appropriate screen and change the setting (value or function) by pressing □ or □ key.
On the output monitor screen of basic screens, you can change the control output from "Automatic" to "manual" ,and save its change of setting. Display the output monitor screen, and then press □ key for three seconds to shift from Automatic to Manual. Then by pressing □ or□ key, you can adjust to the desirable output value. In this case, no need to press □ key in order to determine the change of setting.
Press □ key for three seconds as well to shift back to Automatic. Excluding when a key lock is OFF, Automatic □ Manual switchover does not work while STBY<RST> and AT are in operation.
In the case of two-output type, the switchover between automatic and manual is operatable through output 1 and output 2. The setting is altered simultaneously.



5-3. Power-on and initial screen display

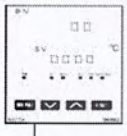
At power-on, the display section shows each screen of initial screens for one second , then moves on to the basic screen.

5-4. Monitoring screen

Basic screen

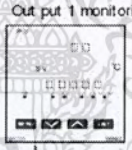
Executed SV initial value: Sensor input 0
Linear input Lower limit of scaring range
Setting range: Sensor input Within measuring range
Linear input With in scaring range
Within SV limiter besides
Targeted value (PV) is displayed on the upper row as four-digit ,and targeted value (SV) is displayed on the lower row also as four-digit. (Notes:hereinafter measured value and targeted value are referred to as" PV" and " SV")
At the time of FIX, execution SV is displayed and change of setting is possible.

Action Mode1 screen



Initial value:: □ □ □ (stanby) (Initial value at the time of constant value control)
Setting range:: □ □ □ □ Control stop [Output OFF (0%)] operation□ □ □ conduct of control operation Choose □ □ □ (RUN) by □ key. Decide by□ key, then Monitor LED's RUN lights up to start control operation.
Choose □ □ □ □ by □ key. Decide by□ key. Then Monitor LED's RUN lights off and becomes control stop [Output OFF (0%)] conducting.
When measuring range, a unit, scaling, and output characteristics are changed it is initialized and□ □ □ □ is displayed.
Priority is given to DI when RUN is allotted to external control input.
DI. Key operation cannot be performed unless allotment is canceled.

Out put 1 monitoring screen



Manual output setting range: 0.0-100.0% (within output limiter) At the time of automatic output monitor display only. Refer to Item 5-2 about automatic manual switch over, and setting method at the time of manual operation. A manual output is canceled when an operation mode is made into □ □ □ □ When a power source is intercepted and re-switched on, it returns to the condition just before intercepting.

Out put 2 monitoring screen

Contents are the same with that of an Output1. Output 2 monitoring screen displayed only when Output 2 option is added.

PID No. monitoring screen

Chosen PID is displayed when FIX is in operation.
PID of output 1 is displayed in the first digital, and PID of output 2 is displayed in the third digital. The third digital is shown as - when there is no output 2 option. This screen is not displayed in the state of STBY .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

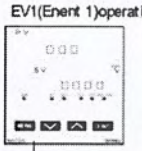
SHIMAX

AT (Auto tuning) execution screen

Initial value::□ □ □
Setting range::□ □ □ 、□ □

AT is performed by ON selection ,and canceled by OFF selection. Not displayed at the time of STBY, a manual output, and P (proportional band) =OFF. Except in the setting of key lock OFF, AT is unable to perform in scale over.
(At the time of DI allotment, execution of AT by DI can be performed .)Even in such a case, halfway release is performed on this screen.
Release of AT, STBY, EV operating point, setting of key lock, and mode 5 ～ 6 screen are operate able with key. Except in the setting of AT normal end, execution of AT is canceled compulsorily at the time of STBY(RST) selection and AT release setup.

EV1(Enent 1)operatlong point setting screen

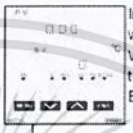


Initial value: upper limit absolute value measuring range Scaling upper limit lower limit absolute value measuring range Scaling lower limit
Upper limit deviation □ □ □ □
Lower limit deviation □ □ □ □
Within deviation □
Outside deviation □ □ □ □
guarantee □
Setting range: upper limit absolute value within measuring range within scaling limt lower limit absolute value within measuring range within scaling limit
Upper limit deviation □ □ □ □ ～□ □ □ □ unit
Lower limit deviation □ □ □ □ ～□ □ □ □ unit
Within upper-lower limit deviation □ ～□ □ □ □ unit
Outside upper-lower limit deviation □ ～□ □ □ □ unit
The operating point of the alarm type allotted to EV1 is set up. No option, No display when □ □ □ 、□ □ 、 are allotted to EV1. The operation mode of each deviation alarm is □ □ □ .
Effective at the time of automatic output.
Each deviation alarm serves as PV's deviation to Execution SV.
Event operation other than each deviation alarm is

EV2(Enent 2)operating point setting screen

Initial value ,setting range, contents are the same with EV1

EV3(EVnent 3)operating point setting screen



Initial value, setting range, contents are the same with EV1
When EV3 option is added, event 3 is displayed as the same contents with EV 1 and 2, irrespective of EV 1 and 2.

Latching release screen

Initial value::□ □ □ □
Setting range::□ □ □ □ release EV1
□ □ □ □ release EV2
□ □ □ □ release EV3
□ □ □ release all EV at a time
On the latching setting screen of each EV mode,□ □ □ and □ □ □ which chose □ □ are displayed. If latching is □ □ ,once EV is outputted, EV output state is maintained even if EV is in the state of OFF. When EV is in a latching state, decimal point of the minimum digt blinks, and it shows that release of EV is possible. If □ key is pressed, EV is released and a decimal point lights off. However, release is impossible when a state is in EV power range.
Return to basic screen

Basic screen

6. Operating setting

Basic screen

Press□ three seconds

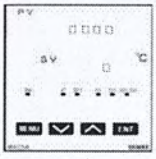
Press□ three seconds

Operating setting screens

SV1 output1 PID No. setting screen

Initial value : 1
Setting range:1, 2, 3
When SV1 is Execution SV,PID that will be used for control of output 1is chosen from 1～3.

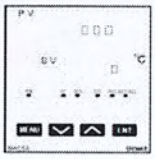
SV1 output2 PID No. setting screen



Initial value : 1
Setting range:1, 2, 3
When SV1 is Execution SV,PID that will be used for control of output 1is chosen from 1～3.

Displayed when output 2 option is added.

SV1 setting screen



Initial value ; At the time of sensor input 0
linear input time scaling lower limit
Setting range: sensor input time within measuring range
linear input time within scaling range
Moreover, within limit of SV limiter.
When SV1 is Execution SV,being reflected in basic screen.
Being initialized when measuring range, unit, and scaling are changed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SV2-4 setting screen

Initial value: same with SV1
Setting range: same with SV1

Displayed when SV2-4 is allotted to DI.When terminal of allotted DI short-circuits, it becomes Execution SV.
When SV2-4 is Execution SV, it is reflected in basic screen.
Being initialized when measuring range, unit, and scaling are changed.

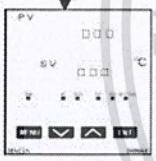
SV2 output1 PID No. setting screen

SV2 output2 PID No. setting screen

SV3 setting screen

SV4 setting screen

SV4 output2 PID No. setting screen



Operating setting screens

7.MODE setting

MODE 1 : Key lock and SV limit setting
MODE 2 : PV and scale setting
MODE 3 : OUT 1 setting
MODE 4 : OUT2 setting
MODE 5 : EV setting
MODE 6: DI setting

7-1 .MODE1 :Key lock and SV Limit setting

MODE 1 Key Lock and SV limit setting	
Display	Description
□□□□ □□□	Key lock Initial value:□□□
□	Only change of Execution SV (basic screen) and keylock is possible
□	Only change of a keylock is possible
□	Shift between screen prohibited .Fixed only basic screen.
□	Shift between screen prohibited .Fixed only basic screen.

7-2. MODE2:Scale and PV setting

MODE 2 Scale and PV setting	
Display	Description
□□□□ □	**PV offset correction (PV bias) setting screen** Setting range: - 500～500 unit Used for correction of input errors such as sensor. If offset correction is performed, control is also performed with the corrected value
□□□□ □□□	**PV gain correction setting screen** Initial value:0.00 Setting range: ± 5.00% Maximum input value is corrected within limit of ± 5.00%of measuring range If corrected, inclination of spang changes in straight line which connects zero point and correction maximum value.
□□□□ □	**PV filter setting screen** Initial value:0 Setting range: 0 ～ 9999 seconds When input change is violent or noise is overlapped, used in order to ease the influences. In 0 second setting, filter does not function.
□□□□ □□	**Measuring range setting screen** Initial value multi □ □ Setting range: Chosen from 7- 7 measuring range code table
□□□□ □	**Temperature unit setting screen** Initial value:□ The temperature unit at the time of a sensor input is set up from□ (□). □ (□). Not displayed when the linear input is chosen.
□□□□ □□	**Input scaling lower limit value setting screen** Initial value:0.0 Setting range: -1999 ～ 9999 unit Scaling lower limit value at the time of linear input is set up.
□□□□ □□□□	**Input scaling upper limit value setting screen** Initial value:100.0 Setting range: -1999 ～ 9999 unit Scaling upper limit value at the time of linear input is set up. **Note:** **Suppose that the difference between a lower limit value and upper limit value is 10** or less,or over 10,000. In this setting, upper limit value is compulsorily changed into that of +10 or ± 10000 count. Upper limit value cannot be set as lower limit value of +10 count or less,or that of over 10,000 count.
□□	**Input scaling Decimal point position Setting screen** Initial value: the first place after decimal point (0.0) Setting range: no decimal point 0～ the third place after decimal point(0.000) Decimal point position of input scaling is set. **Note:** **The screen of input scaling serves as a monitor at the time of a sensor input.** setting change cannot be performed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7-3.MODE3-4:Out 1-2 setting

MODE 3-4 Out 1-2 setting	
Display	Description
□□□□ □□	**Output 1 PID1 proportional- band (P) setting screen** Initial value:3.0% Setting range:OFF, 0.1 ~ 999.9% When performing auto tuning, no necessity for a setting basically. If OFF is chosen, it becomes ON-OFF (two positions) operation.
□□□□ □□□	**Output 1 PID1 Integral time (I) setting screen** Initial value: 120 seconds Setting range: OFF, 1~ 6000 seconds When performing auto tuning, no necessity for a setting basically. This screen is not displayed at the time of ON-OFF operation. Becomes P operation or PD operation in P=OFF setting.
□□□□ □□	**Output 1 PID2 Derivative time (D) setting screen** Initial value, 30 second Setting range: OFF, 1~ 3600 seconds When performing auto tuning, no necessity for a setting basically. This screen is not displayed at the time of ON-OFF operation. Becomes P operation or PI operation in D=OFF setting.
□□□□ □□	**Output1 PID2 manual reset setting screen** Initial value:0.0 Setting range: -50.0 ~ 50.0% The offset correction at the time of P=OFF (P operation,PD operation) is performed. This screen is not displayed at the time of ON-OFF operation.
□□□□ □	**Output 1 PID2 differential-gap setting screen** Initial value: 5 Setting range: 1 ~ 999 unit The differential gap at the time of ON-OFF operation is set. Displayed at the time of P=OFF (ON-OFF operation) setup.
□□□□ □□	**Minimum limiter setting screen** Initial value:0.0 Setting range: 0.0 ~ 99.9% Output lower limit value of output 1 PID1 is set up. Note:At the time of STBY and scale over output, limiter value is disregarded.
□□□□ □□□□	**Output 1 PID2 maximum limiter setting screen** Initial value:100.0 Setting range: output limiter lower limiter values +0.1 ~ 100.0%
□□□□	**Output 1 PID2 proportional band (P) setting screen** Same as Output 1 PID1
□□□□	**Output 1 PID3 proportional band (P) setting screen** Same as Output 1 PID1 & PID2
□□□□ □□□	**Output 1 soft starting time setting screen** Initial value: OFF Setting range:OFF, 0.5~120.0 seconds (setting resolution 0.5 second) This is the function that eases change of output at the time of a power-on and start up. Does not function at the time of OFF setup
□□□□ □□□	**Output 1 proportional periodic time setting screen** Initial value: Contact output 30.0 seconds Voltage pulse output 3.0 seconds Setting range: 0.5~120.0 seconds (setting resolution 0.5 second) Proportional periodic time of output 1 is set. Not displayed when output 1 is current.
□□□□ □□	**Output 1 characteristics setting screen** Initial value:□ □ Setting range:□ □ 、□ □ Characteristics of control output is chosen from□ □ (heating characteristics) and□ □ (cooling characteristics)

7-4. MODE 5:Event setting

MODE 5 Event setting	
Display	Description
□□□□ □□□	**Event 1 operation- mode setting screen** Initial value:□ □ □ **Setting range: Chosen from event type character table page 12.**
□□□□ □	**Event 1 differential- gap setting screen** Initial value:5unit Setting range: 1~ 999 unit Not displayed, when the event 1 mode are as follows:□ □ □ 、□ □ 、□ □ □ 、 Change in measuring range, scaling unit, and the event 1 mode make it initialize.
□□□□ □□□	**Event 1 standby operation setting screen** Initial value:□ □ □ Setting range:□ □ □ 、□ 、□ □ □ □ : No standby operation □ : standby- operation only at the time of a power- on □ : Standby- operation in the following cases. :At the time of power- o When each alarm's operating point is changed When deviation alarm's SV is performed When RUN/ STBY is switched When AUTO/ MAN is switched Change in measuring range, scaling unit, and the event 1 mode make it initialize.
□□□□ □□□	**Event 1 latching setting screen** Initial value:□ □ □ Setting range:□ □ □ 、□ □ When latching is set as□ □ , once event is output, even if event is OFF state event output state is held. Not displayed when event 1 mode is□ □ □ Being initialized if measuring range, scaling, and unit are changed.
□□□□ □□	**Event 1 output characteristics setting screen** Initial value:□ □ Setting range:□ □ 、□ □ Not displayed when event 1 mode is□ □ □ If□ □ is chosen,relay turns to ON about 1.8 seconds later when power source is switched on,and turns to OFF in event output range.
□□□□	**Event 2 operation- mode setting screen** Same as Event 1
□□□□	**Event 3 operation- mode setting screen** Same as Event 1&2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7-5 .MODE6:DI setting

MODE 6 Digital input setting	
Display	Description
□ □ □ □	DI 4 mode setting screen
□ □ □	Initial value□ □ □
	Setting range: chosen from DI operation character table

- When □ □ □ ~ □ □ □ are conducted during AT execution, they are performed at the time of AT termination.
- When □ □ □ ~ □ □ □ are allotted to to each DI, priority is given to □ - □ - □ in order. □ □ can be performed at the time of a RUN-automatic output.
- When □ □ is allotted to, release in the middle of AT operation is carried out by off-key operation chosen in AT screen.
- While AT is performed, if STBY (RST) or a manual output is performed AT is released.
- Even when a keylock is not OFF,conducting of DI is effective.
- The same operation other than □ □ □ is impossible to allot to DI1- DI4 at a time.
- Operation allotted to DI takes priority over DI- Key operation cannot be performed.
- Execution of DI operation is possible to perform But neither release of AT nor numerical change of SV and manual output is possible to perform.
- In DI input, 5VDC 0.5mA per point is impressed.Use endurable switch, transistor and so on.
- Wiring distance of DI should be less than 30m

7-6 .DI operation character table

DI character	Operation type	Input detection	Contents
□ □ □	No allotment		
□ □ □	2nd SV	level	With closed DI terminal, Execution SV = 2nd SV
□ □ □	3rd SV	level	With closed DI terminal, Execution SV = 3rd SV
□ □ □	4th SV	level	With closed DI terminal, Execution SV = 4th SV
□ □ □	control RUN	level	RUN with closed DI terminal, STBY with open one.
□ □ □	manual input	level	Manual with closed DI terminal,auto with open one.
□ □	auto tuning	edge	AT start with rise edge.
□ - □ □	latching release	edge	All latching are released by rise edge.
□ □ □ □	super key lock	level	Super key lock with closed DI terminal. Release with opened.

7-7 .Measuring range code table

Input type			Code	Measuring Range	
				unit code□ □ 0	unit code□ □ 1
MULTI INPUT	Thermo couple	R	0 □	0 ~ 1700	0 ~ 3100
		K	0 □	-199.9 ~ 400.0	-300 ~ 700
		K	0 □	0 ~ 1200	0 ~ 2200
		K	0 □	0.0 ~ 300.0	0 ~ 600
		*GK	0 □	0.0 ~ 600	0 ~ 1500
		J	0 □	0 ~ 600	0 ~ 1100
		T	0 □	-199.9 ~ 200.0	-300 ~ 400
		E	0 □	0 ~ 700	0 ~ 1300
		S	0 □	0 ~ 1700	0 ~ 3100
		5 U	0 □	-199.9 ~ 200.0	-300 ~ 400
		N	0 □	0 ~ 1300	0 ~ 2300
		1 B	0 □	0 ~ 1800	0 ~ 3300
		3 W5-26	0 □ □	0 ~ 2300	0 ~ 4200
		4 PL	0 □ □	0 ~ 1300	0 ~ 2300
	Resistance bulb Pt100		1 □	-200 ~ 600	-300 ~ 1100
			1 □	-100.0 ~ 200.0	-150.0 ~ 400.0
			1 □	0.0 ~ 100.0	0.0 ~ 200.0
			1 □	-50.0 ~ 50.0	-60.0 ~ 120.0
			1 □	-100.0 ~ 300.0	-150.0 ~ 600.0
			1 □ □	-200 ~ 500	-300 ~ 900
			1 □ □	-100.0 ~ 200.0	-150.0 ~ 400.0
			1 □ □	0.0 ~ 100.0	0.0 ~ 200.0
			1 □ □	-50.0 ~ 50.0	-60.0 ~ 120.0
			1 □ □	-100.0 ~ 300.0	-150.0 ~ 600.0
	Voltage(mv)	0 ~ 10	2 □	Scaling range : -1999 ~ 9999 count Span: 10 ~ 10000 count	
		0 ~ 100	3 □		
		-10 ~ 10	4 □		
		0 ~ 20	5 □		
		0 ~ 50	6 □		

thermo couple B,R,S,K,E,J,T,N,JIS/ IEC
resistance bulb Pt100,JIS/ IEC
JPt100: former JIS
*1 thermo couple Accuracy is not guaranteed below B:400□ (752□).
*2 thermo couple In K, T, U,accuracy ist 0.5% FS for 0~ ~ 100□ (~ 1480) and ± 1.0%FS if it is below~ 100□
*3 thermo couple W5-26: Product of Hoskins Mfg. co.,
*4 thermo couple PL□: Platinel
*5 thermo couple U:DIN43710
*6 thermo couple K4:This function will add from the shipment in January, 2008.

* Setup of factory shipment is Multi input: thermo couple □ □ 0- 1200□

8. Supplementary Explanation of Function

8-1 Auto return function

When there is no key operation 3 minutes or more, on the screen except for basic screen and each monitoring screen, screen automatically shifts to basic screen. (Auto return).

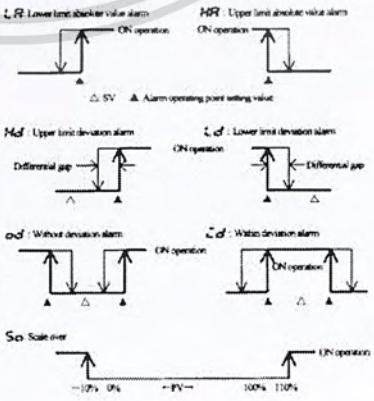
8-2.Output Soft Start Function

This is the function to increase the control output gradually with set-up time at the time of power-on, STBY→RUN, and normal return from scale over. This is effective for controlling the excessive current to loads, such as a heater.

1) Soft-start functions in the following conditions.
- At the time of the power-on in automatic operation, STBY(RST)→RUN, and normal return from scale over.
- Setup of proportional band (P) is other than OFF
- Soft starting time is not OFF

8-3.Event Selection Alarm Operation Figure

The figure of alarm operation figure allotted to event 1~3 is shown.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

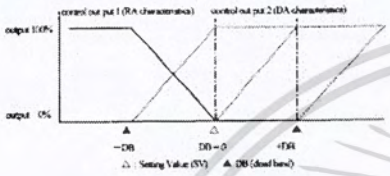
8-4 AT (Auto Tuning)

- If AT is performed by FIX (constant value control), AT monitor LED blinks and light is put out by termination or intermediate release.
- AT at the time of 2 output specification is as follows.
  At the time of heating / cooling operation and cooling / heating operation = OUT1, OUT2 common - PID value At the time of heating / heating operation and cooling / cooling operation, only OUT1 performs AT. OUT 2 output while performing AT is 0%or output limiter lower limit v

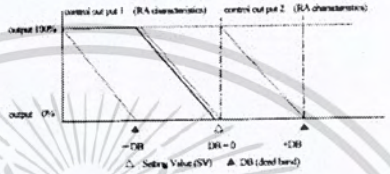
8-5 .Output-characteristics figure

2-output - characteristics is shown in the following figure.
Conditions: P operation, manual reset ( ) −50.0%

1) OUT 1 RA (heating) - OUT 2 DA (cooling) operation



2) OUT 1RA (heating) - OUT 2 RA (heating)



9. Trouble Shooting

9-1. Cause and Treatment of Main Defects

Contents of defects	Cause	Treatment
Error message display	Refer to cause and treatment of error display.	Refer to cause and treatment of error display.
PV display is not normal.	Mismatch of instrument and input. Fault in the wiring.	Type code, check of specification. Check of wiring.
Display disappeared and does not operate.	Power is not supplied. Abnormality of instrument.	Check of a power supply, voltage of terminal, switch, fuse, wiring.
Key operation impossible.	Key locked. Abnormality of instrument.	Release of key lock. Check of instrument, repair, exchange.

9-2. Cause and Treatment of Error Display

Abnormality Display of Measurement Input

Error display	Contents	Cause	Treatment
□□□□ (HHHH)	Scale over in upper limit	1.wire breaking of thermocouple input 2.wire breaking of resistance bulb input A 3.When input exceeds upper limit of measuring range by 10%	1.wire breaking check of thermocouple input wiring, replacement of thermocouple 2.check of resistance bulb A wiring, replacement of resistance bulb 3.check of input voltage value and current value, input transmitter, and specification (matching of incoming signal and meter specification)
□□□□ (LLLL)	Scale over in lower limit	1.when input exceeds lower limit of measuring range by 10% 2.wire breaking of resistance bulb input B*	1.polarity of input is reverse, check of wiring and an input transmitter 2.check of resistance bulb B wiring, replacement of resistance bulb
		B: Wiring of MAC5A, 5B is terminal No.11,Wiring of MAC5C's terminal No.8 Wiring of MAC 5D's terminal No.5	
□□□□ (B – – –)	Breaking of resistance bulb input	1.wire breaking of b*	1.check of resistance bulb wiring
		b: Wiring of MAC 5A, 5B's terminal No.12,Wiring of MAC5C's terminal No.9 wiring of MAC 5D's terminal No.6	
		2.multiple wire breaking combinations in Abb (A and B, A and b, B and b, all of ABB)	2.replacement of resistance bulb
□□□□ (CJHH)	Cold junction (CJ) temperature of thermocouple input is scale over in upper limit side	When ambient temperature of a meter exceeds 80.	1.make Ambient temperature of meter within use environment condition temperature 2. Check the meter when ambient temperature is not over 80.
□□□□ (CJLL)	Cold junction (CJ) temperature of thermocouple input is scale over in lower limit side	When ambient temperature of meter becomes less than – 20.	1.make Ambient temperature of meter within use environment condition temperature 2. Check the meter when ambient temperature is not less than - 20.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. Specification

Display

Display method: Digital display

MAC5A (96 x 96 size): PV red 7 segment LED: 4 figure (height of character about 20mm)
SV green 7 segment LED: 4 figure (character quantity about 13mm)

MAC5B(48x96 size): PV red 7 segment LED: 4 figure (height of character about 12mm)
SV green 7 segment LED: 4 figures (height of character about 9 mm)

MAC5C(72x72 size): PV red 7 segment LED: 4 figure (height of character about 16mm)
SV green 7 segment LED: 4 figures (height of character about 11 mm)

MAC5D (48x48 size): PV red 7 segment LED: 4 figure (height of character about 12mm)
SV green 7 segment LED: 4 figures (height of character about 9mm)

Status display: RUN (green), , AT (green), OUT 1(green)
EV1 (yellow), EV2 (yellow), OUT2 / EV3 (yellow)

Display accuracy: ± (0.3%FS+1digit)(CJ errors not included. @ thermo couple below 400 is not guaranteed
Display accuracy during EMC examination is ± 5%FS.

Accuracy maintenance range: 23± 5

Display range: -10%to 110%of measuring range, but Pt100's -200 to 600 is -240 to 660

Display resolution: Changes with measuring range and scaling

Input scaling: Possible at the time of voltage input and current input. -1999-9999 (span 10 to 10000 count, decimal point position no decimal point/ 0.1, 0.01, 0.001)

Setting: Setting system: By four front keys ( )

Setting range: Same with measuring range

Setting lock: Key setting (four levels), DI (one level)

Operations	Level	Lock Content
Key setting	OFF	No lock
	1	Execution SV and a manual numerical change are possible. And change of a key lock level is possible.
	2	Possible to change numerical value manually and key lock level.
	3	Possible to change key lock level.
	4	Shift between screen prohibited. Fixed only to the basic screen.
DI Setting	Super Key Lock (Shift between screens prohibited. Fixed only to the basic screen.)	

SV setting limiter: Same with measuring range (lower limit < upper limit)

Unit setting: Settable at the time of sensor input (/ F

Input: Multi input

Thermocouple: 500Ω or more, external resistance tolerance level: 100Ω or less

Input resistance

Influence of lead wire: 1.2μ V / 10Ω

Burnout: Standard equipment (up Scale only)

Measuring range: Item 5- 5. Refer to measuring range code table

Compensation accuracy of reference junction

± 1 (ambient temperature 15-25) At the time of vertical plural proximity attachment ± 2

± 2 (ambient temperature 0-50) At the time of vertical plural proximity attachment ± 3

Several minutes after power-on, accuracy is not guaranteed. Reaches the accuracy level within 5 minutes after power- on.

Tracking of a reference junction: Below the ambient temperature of 0.5 / min. compensation accuracy of reference junction ± 1

Resistance bulb stipulated

current: resistance bulb: Approx. 0.25mA

Lead wire resistance

tolerance level: 5Ω or less per wire (Resistance of three lines should be equal)

Influence of lead wire resistance: 5Ω or less per wire 0.2%FS

10Ω or less per wire 0.5%FS

20Ω or less per wire 1.0%FS

Measuring range: Item 5- 5. Refer to measuring range code table.

Voltage (mV) Input resistor: 500kΩ or more

Input voltage range: Item 5- 5. Refer to measuring range code table.

Voltage input (V) Input resistor: 500kΩ or more

Input voltage range: Item 5- 5. Refer to measuring range code table.

Current input (mA) reception Resistance: 250Ω (built- in)

Input range: Item 5- 5. Refer to measuring range code table.

Sampling period: 0.25 second

PV filter: 0 to 9999 second

PV offset compensation: ± 999 unit

PV gain correction: ± 5.00%PV filter

Control: Control system: PID control with an auto tuning function or ON-OFF operation

Proportional band (P): OFF and 0.1 to 999.9%of measuring range (ON-OFF operation by OFF setting)

ON-OFF Differential-gap (DF): 1 - 999 unit } If both I and D are OFF, P operation

Integration Time (I): OFF, 1 to 6000 seconds (PD operation by OFF setting)

Manual Reset (MR): ± 50.0%(effective when set as I = OFF)

Output 2 dead band: -1999 to 5000 unit

Output limiter (OL /OH): 0.0 to 100.0%(OL<OH) (set resolution 0.1)

Soft start: OFF, 0.5 to 120.0 seconds (set resolution 0.5)

Proportional period: 0.5 to 120.0 seconds (set resolution 0.5)

Control output characteristic: Output 1, output 2. Possible to choose either RA (heating) or DA (cooling)

Manual output: 0.0 to 100.0%(set resolution 0.1)

* Each parameter (P, I, D, DF, MR, OL, and OH) of Outputs 1 and Outputs 2, belongs to 1to 3 categories.

Control output 1

Contact: normal open (1a) 240V AC 2A (resistance load)

Voltage pulse (SSR drive): 12V DC+1.0 to - 1.5V MAX20mA

Current: 4 to 20mA DC load resistance 500Ω or less Display accuracy/accuracy± 1%/accuracy maintenance range 23 ± 5

Load regulation ± 0.2% resolution approx. 1/ 12000

Control out put 2 (option): Control out put 2 is exclusive option of event 3 and DI4

Contact: normal open (1a) 240V AC 2A (resistance load)

Voltage pulse (SSR drive): 12V DC+1.0 to - 1.5V MAX20mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Event 1-2 : 2 sets
Output rating : Contact Normal open (1a) 240V AC 2A (resistance load) EV1- EV2 and common
Kind of event : Refer to following table

Function	Character	Note
No allotment	□ □ □	
Upper limit absolute value Alarm	□ □	
Lower limit absolute value alarm	□ □	
Scale over alarm	□ □	HHHH, LLLL, S- - - - Operates, when displayed
Upper limit deviation value Alarm	□ □	
Lower limit deviation value alarm	□ □	
Within deviation alarm	□ □	
Without deviation alarm	□ □	
RUN signal	□ □ □	Operates during RUN in operation

Setting range : Upper limit absolute value alarm, Lower limit absolute value alarm within measuring range
Upper limit deviation alarm, Lower limit deviation alarm -1000 – 2000 unit
Within deviation alarm, without deviation alarm 0 – 2000unit
Control loop alarm 0.0-50.0A
Standby operation : OFF No standby operation
1.Only at the Time of Power- on, standby operation
2.At the Time of power switch on, each alarm operating point is changed, deviation alarm's execution SV is changed, and RUN STBY (RST) is switched over standby operation, at the time of AUTO/MAN switchover

Latching : Alarm operation maintenance function (Release is done by key operation, DI, or power OFF. In case of release by DI and power OFF, all alarms are called off simultaneously)
Differential gap : 1 - 999 unit
Output characteristic : Choose from normal open (NO) or normal closing (NC)
If NC is chosen and power is turned on, relay becomes ON about 1.8 seconds and becomes OFF at event power range. Event3 (Option) Event3 is exclusive selection option of control out put 2 and

DI4... : Item and contents are same with event 1 and 2.
DI4 (option) : DI4 is exclusive selection option with control output 2, Event3 Number of input : One
Input rating 5V DC 0.5mA
Input minimum retention time .025 second
Input of operation : Non- voltage contact or open collector
Allotment function : Refer to following table

Character	Kinds of operation	Input detection	Contents
□ □ □	No allotment	level	
□ □ □	2nd SV	level	With closed DI terminal, Execution SV = 2nd SV
□ □ □	3rd SV	level	With closed DI terminal, Execution SV = 3rd SV
□ □ □	4th SV	level	With closed DI terminal, Execution SV = 4th SV
□ □ □	Control RUN	level	RUN with closed DI terminal, STBY(RST) with opened
□ □ □	Manual output	level	Manual with closed DI terminal, Auto with opened
□ □	Auto tuning	edge	AT starts with rise edge
□ □ □ □	Latching release	edge	With rise edge, all latching released
□ □ □ □	Super key lock	level	Super key lock with closed DI terminal, Release with opened

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

General specification

Data save	:	By nonvolatile memory (EEPROM)
Temporary dead time	:	No influence within 0.02 second 100%dp
Use environmental condition	:	Temperature: -10~55
Humidity	:	Below 90%RH (no dew condensation)
Height	:	Altitude of 2000m or less
Category	:	II
Contamination degree	:	2
Storage temperature Conditions	:	-20~65
Supply voltage	:	90-264V AC 50/60Hz
Power consumption	:	100VAC 6VA 200VAC 8VA 240VAC 9VA
Applicable standard Safety	:	IEC1010-1 and EN61010-1:2001
EMC	:	EN61326-1:1997+Amendment1:1998+Amendment2:2001
(EMI: Class A, EMS: Annex A)		
		EN61000-3-2: 2000 EN61000-3-3: 1995+ Amendment 1: 2001
Oscillation	:	IEC60068-2-6/1995
Insulated class	:	Class I apparatus
Input noise removal ratio	:	Normal 50dB or higher
Impulse-proof noise	:	Power-source Normal 100mV 1μs sa. 1500V
Insulation resistance	:	Between input/ output terminal and power supply terminal 500V DC 20Ω or higher
	:	Between analog output or communication and other input/ output terminals 500V DC 20Ω or higher
Withstand voltage	:	Between input/ output terminal and power supply terminal 1500V AC 1 minute or 1800V AC 1 second
	:	Between analog output or communication and other input/ output terminals 500V AC 1 minute or 600V AC 1 second
Resistance to vibration	:	Frequency 10~55~10Hz amplitude 0.75mm(one side amplitude)~1.00m/s² Direction 3 directions
		Sweep speed 1 octave/ minute (about 5 minutes for both way cycle) Number of sweep 10 times
Case material	:	PPO or PPE
Case color	:	Light gray (Munsel value 3.73B7.7/0.25)
Outside dimension MAC5 A	:	H96× W96× D65mm (depth in panel 65mm)
MAC5 B	:	H96× W48× D65mm (depth in panel 62mm)
MAC5C	:	H72× W72× D65mm (depth in panel 62mm)
MAC5 D	:	H48× W48× D65mm (depth in panel 62mm)
Thickness of applied panel	:	1.2-2.8mm

Size of attachment hole

MAC5A	: H92× W92mm	Attachment hole size of horizontal plural proximity attachment	W92× N-1) mm	H92mm
MAC5B	: H92× W45mm	N:number of equipment	W45× N-1) mm	H92mm
MAC5C	: H68× W68mm		W72× N-1) mm	H68mm
MAC5D	: H45× W45mm		W45× N-1) mm	H45mm

Weight

MAC5A	: About 200g
MAC5B	: About 140g
MAC5C	: About 140g
MAC5D	: About 100g

Isolation : Except for input, system and contact, all control output are no isolation.
Between event output EV1 and EV2 1 is not insulated
Others are basic insulation of functional insulation.
Refer to the following insulation block chart.

Insulation block chart

Not insulation Basic insulation

Power supply		
Measurement Input (PV)	System	Control output1 (contact)
External control input 4(D4)		Control output1 (voltage pulse/ Current)
Event out1(EV1)		Control output 2 (contact)
Event out2(EV2)		Control output 2 (voltage pulse/Current)
Event out3(EV3)		

□□□□ CO., LTD
Head Office: 11-5 Fujimicho, Daisen-shi, Akita 014-0011 Japan
Phone: +81-187-86-3400 FAX. +81-187-62-6402
URL:http://www.shimax.co.jp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

คู่มือการใช้งานอินเวอร์เตอร์

รุ่น VF-nC3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การติดตั้ง (Installation)

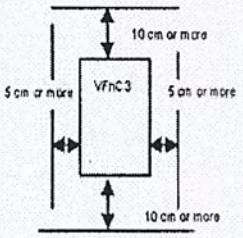
1.1 สถานที่ติดตั้ง

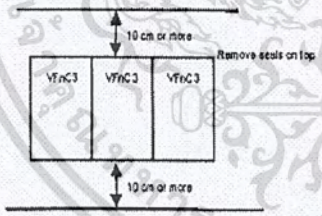
ควรหลีกเลี่ยงสถานที่ในการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ดังต่อไปนี้

- อุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป (ควรอยู่ในช่วง – 10 ถึง 40 องศาเซลเซียส)
- มีความชื้นสูงหรือสถานที่เปียกชื้น
- ใกล้วัตถุที่มีความเสี่ยงต่อการติดไฟหรือเกิดการระเบิดได้ง่าย
- มีละอองฝุ่นหรือละอองโลหะในอากาศ
- ไอระเหยของสารเคมีที่มีฤทธิ์กัดกร่อน
- แสงแดดส่องถึงโดยตรง
- มีแรงสั่นสะเทือนสูง

1.2 การติดตั้งอินเวอร์เตอร์ในตู้คอนโทรล

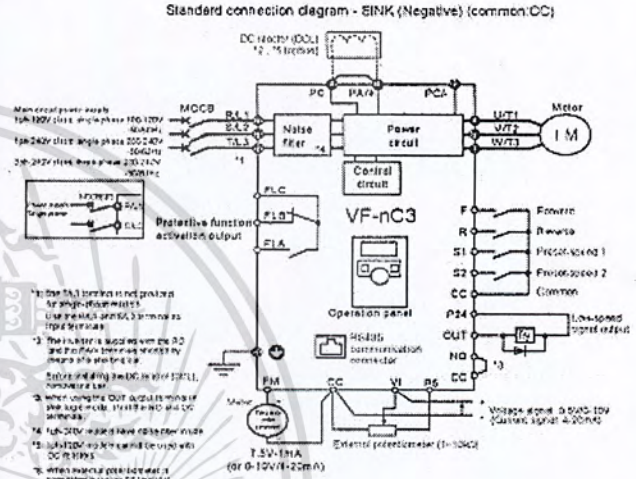
ควรทำการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ในแนวตั้งและควรเลือกสถานที่ที่ระบายอากาศได้ดี



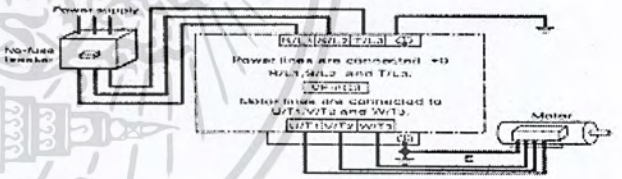


และสิ่งหนึ่งที่ขาดไม่ได้คือ หากตู้ที่ติดตั้งมีขนาดเล็กจนเกินไป หรือมีอุปกรณ์ภายในตู้ที่มีการกระจายความร้อนสูง ควรติดตั้งพัดลมระบายความร้อนที่ด้านบนของตู้คอนโทรลเพื่อให้ความร้อนได้หมุนเวียนออกไปภายนอกได้ ป้องกันไม่ให้อุณหภูมิสะสมภายในตู้คอนโทรลสูงเกินไป

2. การเดินสาย (Standard wiring diagram)



2.1 การเดินสายสำหรับวงจรไฟหลัก



สัญลักษณ์	ความหมายและหน้าที่
⏚	สำหรับต่อกราวด์
R (L1) , S (L2) , T(L3)	สำหรับจ่ายไฟเข้าแบบ 220V 3 เฟส (สำหรับ 1 เฟส ให้ใช้ R (L1) , S (L2) เท่านั้น)
U (T1) , V (T2) , W (T3)	สำหรับต่อเข้ากับมอเตอร์ (3 เฟส)
PC/-	ขั้วลบของแรงดันไฟ ดี.ซี.ในวงจรภายใน
PO , PA/+	สำหรับต่อกับ ดี.ซี.รีแอกเตอร์ (อุปกรณ์เสริม) เพื่อเพิ่มเพาเวอร์แฟคเตอร์

2.2 การเดินสายสำหรับวงจรควบคุม

สัญลักษณ์	ความหมายและหน้าที่	คุณสมบัติ
F	คำสั่งให้มอเตอร์หมุนเดินหน้า (Forward) ใช้ร่วมกับ CC	เป็นแบบหน้าสัมผัส แรงดันไฟไม่เกิน 24Vdc-5mA *** เลือกรับสัญญาณแบบ Sink/Source โดยตั้งค่าพารามิเตอร์
R	คำสั่งให้มอเตอร์หมุนย้อนกลับ (Reverse) ใช้ร่วมกับ CC	
S1	สำหรับตั้งค่าความเร็วล่วงหน้าขาสัญญาณที่ 1 (Preset speed command 1) ใช้ร่วมกับ CC	
S2	สำหรับตั้งค่าความเร็วล่วงหน้าขาสัญญาณที่ 2 (Preset speed command 2) ใช้ร่วมกับ CC	
CC	ขาร่วม (Common) ทั้งอินพุทและเอาท์พุท	-
P5	แหล่งจ่ายไฟ 5Vdc เพื่อใช้สำหรับสัญญาณควบคุมความเร็ว	5Vdc (permission load current : 10mA dc)
VI	สำหรับต่อตัวต้านทาน (Potentiometer) เพื่อปรับค่าความถี่ หรือรับคำสั่งความคุมความถี่แบบ 0-10Vdc *** สามารถเลือกรับสัญญาณแบบ 4(0)-20mA หรือ ทำให้เป็น S3 เพื่อใช้สำหรับตั้งค่าความเร็วล่วงหน้าขาสัญญาณที่ 3 ได้ โดยการตั้งค่าพารามิเตอร์	ใช้ร่วมกับ CC ทั้งกรณีตั้งค่าการทำงานเป็น VI หรือ S3 Internal impedance 5/10Vdc : 30kΩ 4-20mA : 250kΩ
FM	แสดงค่าต่างๆ ของอินเวอร์เตอร์ โดยต่อเข้ากับอุปกรณ์แสดงผลต่างๆ เช่น มิเตอร์วัดกระแส, ระบบ เป็นต้น สัญญาณที่ออกมาเป็นแบบ 0-10 Vdc *** สามารถนำไปใช้เป็นเอาท์พุทแบบ 0-20mAdc(4-20mA) ได้ โดยการตั้งค่าพารามิเตอร์ f681	1mA full-scale 0-10V DC voltmeter 0-20mAdc(4-20mA) DC ammeter
P24	แหล่งจ่ายไฟ 24 Vdc.	24Vdc -100mA
FLA FLB FLC	FLA-FLC แบบปกติเปิด (NO) และ FLB-FLC แบบปกติปิด(NC) เพื่อแสดงสถานะการทำงานอินเวอร์เตอร์เมื่อเกิดความผิดพลาด (Fault contact) เมื่ออินเวอร์เตอร์เกิดความผิดพลาด FLA-FLC จะเปลี่ยนเป็น NC และ FLB-FLC จะเปลี่ยนเป็น NO	250Vac -2A (cosϕ = 1) 30Vdc -1A 250Vac -1A (cosϕ = 1)

3. การตั้งค่าพารามิเตอร์ (How to set parameters)

ตัวอักษรของอินเวอร์เตอร์ *VF-nC3*

ก่อนอื่น ผู้ใช้จะต้องทำความคุ้นเคยกับตัวอักษรของอินเวอร์เตอร์ "TOSHIBA" ก่อนตั้งค่าพารามิเตอร์ เนื่องจากเป็นลักษณะของ LED แบบ 7-segment สามารถเทียบได้ดังนี้

ตัวเลข

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	-
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	-

ตัวอักษร

Aa	Bb	Cc	Dd	Ee	Ff	Gg	Hh	Ii	Jj	Kk	Ll	Mm
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
Nn	Oo	Pp	Qq	Rr	Ss	Tt	Uu	Vv	Ww	Xx	Yy	Zz
n	o	p	q	r	s	t	u	v	-	-	y	-

3.1 การตั้งค่าเพื่อเริ่มต้นใช้งาน

เมื่อเริ่มต้นจ่ายไฟให้กับอินเวอร์เตอร์ *VF-nC3* ครั้งแรกเมื่อซื้อสินค้ามา หรือ การมีการตั้งค่าพารามิเตอร์กลับคืนสู่ค่าโรงงาน (Default setting) คือ ระบบ = 3 จะต้องมีการตั้งค่าเริ่มต้นให้แก่อินเวอร์เตอร์ก่อนเพื่อให้อินเวอร์เตอร์พร้อมใช้งาน ซึ่งค่าที่เหมาะสมกับระบบไฟฟ้าบ้านเราคือ asia โดยค่าเริ่มต้นที่ให้เลือกมีความหมายและมีผลต่อพารามิเตอร์ของอินเวอร์เตอร์ดังต่อไปนี้

พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง	eu (ระบบไฟแบบยุโรป)	usa (ระบบไฟแบบอเมริกา)	asia (ระบบไฟของบ้านเรา)	jp (ระบบไฟแบบญี่ปุ่น)
fh	50.0(Hz)	60.0(Hz)	50.0(Hz)	60.0(Hz)
ul/vl/f170	50.0 (Hz)	60.0 (Hz)	50.0 (Hz)	60.0 (Hz)
f204	50.0 (Hz)	60.0 (Hz)	50.0 (Hz)	60.0 (Hz)
vlv / f171	230 (V)	230 (V)	230 (V)	200 (V)
f127	100 (Source logic) (Common: P24)	0 (Sinklogic) (Common: CC)		
f307	2	2	2	3
f417	1410 (min^{-1})	1710 (min^{-1})	1410 (min^{-1})	1710 (min^{-1})

หมายเหตุ

1. กรณีต้องการตรวจสอบพารามิเตอร์ที่มีการตั้งค่าไว้แล้ว หรือที่ gru ซึ่งจะแสดงเฉพาะค่าในช่องแสดงสีเทาในตารางด้านบนเท่านั้น
2. หากเริ่มต้นจ่ายไฟให้อินเวอร์เตอร์และเราได้ตั้งค่าไว้ไม่ถูกต้อง เราสามารถเริ่มตั้งใหม่ได้โดย ตั้งค่าพารามิเตอร์กลับสู่ค่าโรงงาน (Default setting) คือ ระบบ = 3 แล้วเลือกใหม่อีกครั้งโดยเลือก asia
3. เมื่อเลือกตั้งค่าเริ่มต้นแล้ว พารามิเตอร์ต่างๆที่แสดงในตารางข้างบน ก็ยังสามารถตั้งค่าได้ตามที่เราต้องการ

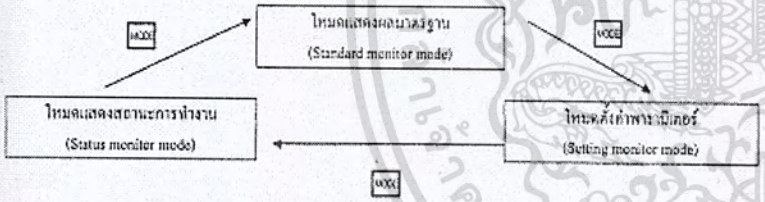
ตัวอย่างการเลือกค่าเริ่มต้นสำหรับ *VF-nC3*

เช่น เราต้องการตั้งให้เป็นแบบระบบไฟของบ้านเราคือ 220V, 50Hz ซึ่งก็คือ asia นั่นเอง สามารถแสดงได้ดังตารางต่อไปนี้

Panel operated	LED display	Operation
	SEt	Power on. (SEt is blinking)
	EU / JP / AS :A / USA	Turn the setting dial, and select region code "EU" (Europe).
	EU ⇨ In It	Press the center of the setting dial to determine the region.
	0.0	The operation frequency is displayed (Standby).

โหมดที่สำคัญในการใช้งาน

มีโหมดการทำงาน 3 โหมดด้วยกัน ผู้ใช้สามารถเข้าถึงการทำงานได้ดังตารางต่อไปนี้

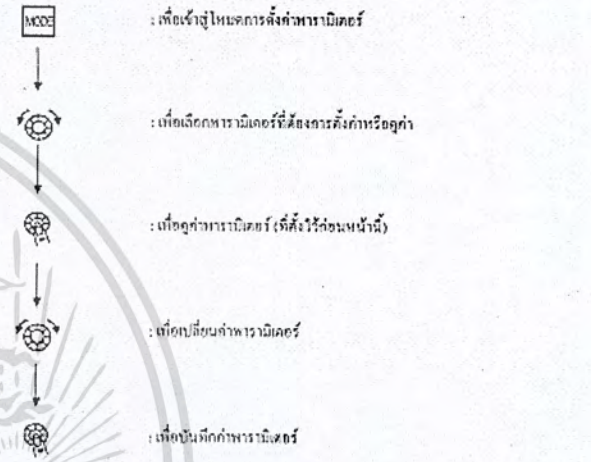


1. <u>โหมดแสดงผลมาตรฐาน (Standard setting mode)</u> : หน้าจอปกติหรือใช้งาน
2. <u>โหมดตั้งค่าพารามิเตอร์ (Setting monitor mode)</u> : เมื่อต้องการเข้าไปตั้งค่าพารามิเตอร์
3. <u>โหมดแสดงสถานะการทำงาน (Status monitor mode)</u> : เมื่อต้องการดูสถานะการทำงานต่างๆของอินเวอร์เตอร์

<u>หมายเหตุ</u> เป็นเมนูแบบวน ผู้ใช้สามารถกดปุ่ม MODE วนไปได้เรื่อยๆ

3.2 การตั้งค่าพารามิเตอร์พื้นฐาน (Basic parameter)

สามารถแสดงวิธีการเป็นขั้นตอนได้ดังต่อไปนี้



<u>หมายเหตุ</u> สำหรับค่าพารามิเตอร์พื้นฐาน (Basic parameter) สามารถดูได้จากหัวข้อที่ 5 (หน้า 17)

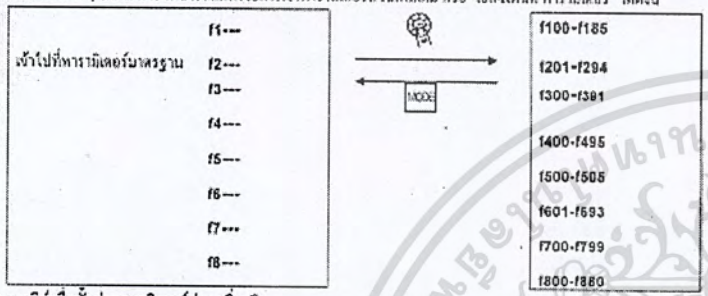
ตัวอย่างการตั้งค่าพารามิเตอร์พื้นฐาน

เช่น ต้องการตั้งค่าความถี่สูงสุดของอินเวอร์เตอร์ (คือพารามิเตอร์ FH) ให้ใช้งานไม่เกิน 60 เฮิร์ต (ค่าโรงงาน 80 เฮิร์ต)

ขั้นตอน	กดคีย์	หน้าจอแสดงผล	คำอธิบาย
1	-	0.0	สถานะเริ่มต้น เมื่อจ่ายไฟเข้าอินเวอร์เตอร์ หรือ เปิดเครื่อง
2	MODE	auh	เพื่อเข้าสู่โหมดสำหรับตั้งพารามิเตอร์ หน้าจอจะแสดง พารามิเตอร์ พารามิเตอร์แรกคือ auh
3		fh	เพื่อเลือกพารามิเตอร์ที่ต้องการตั้งค่า
4		80.0	เพื่อเข้าสู่พารามิเตอร์ที่ต้องการตั้งค่า ค่าที่ปรากฏจะเป็นค่าเดิมที่ได้มีการตั้งค่าไว้ก่อนหน้านี้แล้ว
5		60.0	เพื่อเพิ่มหรือลดค่าของพารามิเตอร์ตามต้องการ (คือ 60Hz.)
6		60.0 ⇨ fh	เพื่อบันทึกค่าที่ได้ทำการเปลี่ยนแปลง เมื่ออินเวอร์เตอร์รับค่าเรียบร้อยแล้ว หน้าจอจะเปลี่ยนกลับไปที่พารามิเตอร์เดิม
7	MODE	0.0	กด 2 ครั้งเพื่อกลับสู่สถานะเดิมก่อนทำการตั้งค่าพารามิเตอร์

3.3 การตั้งพารามิเตอร์ส่วนเพิ่มเติม (Extend parameter)

พารามิเตอร์พื้นฐานจะเป็นการตั้งค่าพารามิเตอร์แบบง่ายๆสำหรับการใช้งานที่ไม่ซับซ้อนมาก แต่สำหรับพารามิเตอร์ส่วนเพิ่มเติมนี้ที่ภาษาอังกฤษเรียกว่า "เอ็กซ์เทนด์ พารามิเตอร์" เป็นพารามิเตอร์ที่ซับซ้อนมากกว่าพารามิเตอร์แบบพื้นฐานหลายเท่า เนื่องจากว่าสามารถตั้งค่าต่างๆ ได้มากมาย สามารถแสดงวิธีการเข้าพารามิเตอร์ส่วนเพิ่มเติม หรือ "เอ็กซ์เทนด์ พารามิเตอร์" ได้ดังนี้



การกดคีย์เพื่อตั้งค่าพารามิเตอร์ส่วนเพิ่มเติม

: เพื่อเข้าสู่โหมดการตั้งค่าพารามิเตอร์

: เพื่อเลือก f1---เพื่อเข้าสู่พารามิเตอร์ส่วนเพิ่มเติม

: เพื่อดูค่าพารามิเตอร์ส่วนเพิ่มเติมตำแหน่งต้น คือ f100

: เพื่อเลือกพารามิเตอร์ส่วนเพิ่มเติมที่ต้องการ ดูเปลี่ยนค่า

: เพื่อดูค่าพารามิเตอร์เดิมที่ได้ตั้งไว้ก่อนหน้านี้

: เพื่อเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์

: เพื่อบันทึกค่าพารามิเตอร์

: กด MODE แทนการกด เพื่อออกจากการตั้งค่าพารามิเตอร์

ตัวอย่างการตั้งค่าพารามิเตอร์ส่วนเพิ่มเติม

เช่น ต้องการตั้งค่าพารามิเตอร์ f240 ให้เป็น 1.0 (ค่าโรงงานเดิม 0.5) สามารถทำได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้

ขั้นตอน	กดคีย์	หน้าจอแสดงผล	คำอธิบาย
1	-	0.0	สถานะเริ่มต้น เมื่อจ่ายไฟเข้าอินเวอร์เตอร์ หรือ เปิดเครื่อง
2	MODE	auh	เพื่อเข้าสู่โหมดสำหรับตั้งพารามิเตอร์ หน้าจอจะแสดง พารามิเตอร์ พารามิเตอร์แรกคือ auh
3		f2---	เพื่อเลือก f2---เพื่อเข้าสู่พารามิเตอร์ส่วนเพิ่มเติม
4		f200	จะปรากฏพารามิเตอร์ตัวแรกของพารามิเตอร์ส่วนเพิ่มเติม
5		f240	เพื่อเลือกพารามิเตอร์ตัวที่ต้องการเปลี่ยนแปลงค่า
6		0.5	เพื่อเข้าสู่พารามิเตอร์ที่ต้องการ ค่าที่ปรากฏจะเป็นค่าเดิมที่ได้มีการตั้งค่าไว้ก่อนหน้านี้ คือ 0.5
7		1.0	เพื่อเพิ่มหรือลดค่าของพารามิเตอร์ตามต้องการ (1.0)
8		1.0 ⟹ f240	เพื่อบันทึกค่าที่ได้ทำการเปลี่ยนแปลง เมื่ออินเวอร์เตอร์รับค่าเรียบร้อยแล้ว หน้าจอจะเปลี่ยนกลับไปที่พารามิเตอร์เดิม
9	MODE	0.0	กด 2 ครั้งเพื่อกลับสู่สถานะเริ่มก่อนทำการตั้งค่าพารามิเตอร์

หมายเหตุ สำหรับพารามิเตอร์ส่วนเพิ่มเติม (Extend parameters) และรายละเอียดอื่นๆของ VF-mC3 สามารถดูได้ที่ผนวกรายละเอียดพารามิเตอร์ ที่หน้า 20 เป็นต้นไป

4. ข้อมูลแสดงเมื่ออินเวอร์เตอร์เกิดความผิดพลาดและแนวทางแก้ปัญหา

4.1 สัญลักษณ์เตือนในขณะทำงาน

ในขณะที่อินเวอร์เตอร์กำลังทำงาน แต่หากมีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้น อินเวอร์เตอร์จะแสดงสัญลักษณ์เตือนเพื่อสื่อถึงความหมาย ซึ่งยังไม่ถือว่าอินเวอร์เตอร์เกิดการทริป แต่ถ้ายังไม่ดำเนินการแก้ไขจะทำให้อินเวอร์เตอร์เกิดการทริปได้ต่อไป โดยการกระพริบจะกระพริบสลับกับค่าความที่ตั้งไปมา สัญลักษณ์ต่างๆนี้ มีรายละเอียดและความหมายดังนี้

สัญลักษณ์	การเตือน	การทริปที่อาจเกิดขึ้น
c	กระแสเกินพิกัด (Over current Alarm)	กระแสเกิน (oc : Over current)
p	แรงดันไฟภายในเกินพิกัด (Over voltage Alarm)	แรงดันไฟภายในเกิน (op : Over voltage)
l	โหลดหนักเกินพิกัด (Over load Alarm)	โหลดเกิน (ol1 / ol2 : Over load)
h	ความร้อนที่แผงระบายความร้อนสูง (Over heat Alarm)	ความร้อนสูงมากเกินไป (oh : Over heat)

หมายเหตุ ในกรณีเมื่ออินเวอร์เตอร์เกิดปัญหาหลายสาเหตุพร้อมๆ กัน สัญลักษณ์การเตือนจะปรากฏขึ้นแบบผสมกันและกระพริบ เช่น cp pl cpl เป็นต้น

4.2 ความหมายของสัญลักษณ์ที่แสดงเมื่ออินเวอร์เตอร์เกิดความผิดพลาด

อินเวอร์เตอร์จะแสดงสัญลักษณ์เหล่านี้และหยุดทำงานทันที และมีผลต่อขาสัญญาณ FLA-FLB-FLC เปลี่ยนสถานะ

สัญลักษณ์	ปัญหา	สาเหตุ	แนวทางการแก้ไข
oc1	กระแสเกินขณะมอเตอร์ออกตัว (Over current during acceleration)	• ตั้งค่าเวลาในการออกตัว acc (Acceleration time) น้อยเกินไป • การตั้งค่า V/F ไม่เหมาะสม • มีคำสั่งสตาร์ทมอเตอร์ใหม่อีกครั้ง ในขณะมอเตอร์ยังไม่หยุดนิ่ง • มอเตอร์ที่ใช้งานอยู่เป็นมอเตอร์ชนิดพิเศษๆ ซึ่งไม่เหมาะสมแก่การใช้งาน (เช่น มอเตอร์ที่มีค่าความต้านทานต้านทานต่ำมากเกินไป)	• เพิ่มเวลาในการออกตัวให้นานขึ้น acc • ควรตรวจสอบการตั้งค่า V/F • ใช้ฟังก์ชัน f301 (สตาร์ทใหม่อัตโนมัติ) และ f302(ทำงานต่อเนื่องแม้การมีเกิดไฟกระพริบ) • ลดเพิ่ม หรือ ลด ค่าความถี่พาหะ (Carrier Frequency)ที่ฟังก์ชัน f300
oc2	กระแสเกินขณะหยุดมอเตอร์ (Over current during deceleration)	• เวลาในการหยุด dec (Deceleration time) น้อยเกินไป	• เพิ่มระยะเวลาในการหยุด dec ให้นานขึ้น
oc3	กระแสเกินขณะเดินเครื่อง (Over current during operation)	• โหลด (Load) เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยทันทีทันใด หรือช็อคโหลด (Check Load) • โหลดอยู่ในสภาวะที่ผิดปกติ	• ลดความเปลี่ยนแปลงโหลดให้น้อยลง • ตรวจสอบโหลด (ในขณะเดินเครื่องจักร)
oca	กระแสเกินขณะสตาร์ท (Arm Over current)	• อุปกรณ์ของวงจรสับสวิตชิ่งเกิดความเสียหาย	• ติดต่อศูนย์บริษัทฯ
ocl	กระแสโหลดเกินขณะออกตัว (Over current on the load side at start-up)	• จำนวนของจำนวนเฮาท์พุทของวงจรหลัก หรือมอเตอร์เกิดความเสียหาย • มอเตอร์มีค่าความต้านทานต่ำมากเกินไป	• ตรวจสอบจำนวนของสายเคเบิล สายไฟ ว่าเสียหายหรือไม่
op1	แรงดันไฟภายในสูงเกินไปในขณะมอเตอร์ออกตัว (Over voltage during acceleration)	• แรงดันไฟเข้าอินเวอร์เตอร์ มีการเปลี่ยนแปลงมากเกินปกติ 1 ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายที่หม้อแปลงมีขนาดใหญ่เกินกว่า 200kVA 2 คาร์ปาซิสเตอร์ของแหล่งจ่ายทำงาน 3 มีอุปกรณ์ตัวอื่นที่ใช้ไทริสเตอร์ต่อสู่กันสายเดียวกับอินเวอร์เตอร์ • มีคำสั่งสตาร์ทมอเตอร์ในขณะมอเตอร์ไม่หยุดนิ่ง (ในกรณีไฟกระพริบหรือปิดเครื่องแล้วมอเตอร์ยังไม่หยุดนิท	• ติดตั้งรีแอคเตอร์ (Reactor) ที่เหมาะสมด้านไฟเข้า (อุปกรณ์เสริม) • ใช้ฟังก์ชัน f301 (สตาร์ทใหม่อัตโนมัติ) และ f302 (ทำงานต่อเนื่องแม้การมีเกิดไฟกระพริบ)
op2	แรงดันไฟภายในสูงเกินไปในระหว่างการหยุดมอเตอร์ (Over voltage during deceleration)	• ระยะเวลาในการหยุด dec น้อยเกินไป ทำให้เกิดแรงดันไฟย้อนกลับ (Regenerative voltage) • f305(การจำกัดแรงดันไฟ) ไม่ได้ตั้งไว้ใช้งาน • แรงดันไฟเข้าอินเวอร์เตอร์ มีการเปลี่ยนแปลงผิดปกติ (* สาเหตุเดียวกับ op1)	• เพิ่มระยะเวลาในการหยุด dec ให้นานขึ้นเพื่อลดแรงดันไฟย้อนกลับ • เลือกใช้พารามิเตอร์ f305 • ติดตั้งรีแอคเตอร์ (Reactor) ที่เหมาะสมด้านไฟเข้า (อุปกรณ์เสริม)
op3	แรงดันไฟภายในสูงเกินไปขณะมอเตอร์กำลังทำงานที่ความเร็วคงที่ (Over voltage during constant-speed operation)	• แรงดันไฟเข้าอินเวอร์เตอร์มีการเปลี่ยนแปลงผิดปกติ (* สาเหตุเดียวกับ op1) • มอเตอร์อยู่ในสภาวะรีเจนเนอเรทีฟ (Regenerative) เนื่องจากโหลดเป็นสาเหตุให้มอเตอร์รึ่งที่ความถี่สูงกว่าความถี่ของอินเวอร์เตอร์ทำให้เกิดแรงดันไฟย้อนกลับที่อินเวอร์เตอร์	• ติดตั้งรีแอคเตอร์ (Reactor) ที่เหมาะสมด้านไฟเข้า (อุปกรณ์เสริม)
ol1	โหลดของอินเวอร์เตอร์มากเกินไป (Inverter overload)	• ตั้งค่าเวลาในการออกตัว acc น้อยเกินไป • ตั้งค่าการแสดงไฟแบบดีซี สำหรับช่วงหยุดมอเตอร์มากเกินไป • ตั้งค่าอุปแบบ V/F ไม่เหมาะสม • มีคำสั่งสตาร์ทมอเตอร์ในขณะมอเตอร์ไม่หยุดนิ่ง (ในกรณีไฟกระพริบหรือหยุดเครื่องแล้วมอเตอร์ยังไม่หยุดสนิท) • โหลดมีขนาดมากเกินกว่ากำลังของอินเวอร์เตอร์	• เพิ่มเวลาในการออกตัว acc ให้มากขึ้น • ลดปริมาณค่าการแสดงไฟ พี.ซี.ช่วยแรกให้น้อยลงที่ f251 และเวลาที่ใช้นิด f252 • ตรวจสอบการตั้งค่า V/F ให้เหมาะสม • ใช้ฟังก์ชัน f301 (สตาร์ทใหม่อัตโนมัติ) และ f302 (ทำงานต่อเนื่องแม้การมีไฟกระพริบ) • ใช้อินเวอร์เตอร์ที่มีขนาดกำลังสูงขึ้น
ol2	โหลดของมอเตอร์สูงเกินไป (Motor overload)	• ตั้งค่าอุปแบบ V/F ไม่เหมาะสม • ตรวจสอบความผิดพลาดของมอเตอร์ • การเดินเครื่องที่ความเร็วต่ำถูกใช้งานอย่างต่อเนื่อง • โหลดมากเกินกว่าขนาดของมอเตอร์	• ตรวจสอบการตั้งค่า V/F ให้เหมาะสม • ตรวจสอบโหลด (ขณะกำลังเดินเครื่องจักรอยู่) • ตั้งค่าไดเวอร์โหลด olm เพื่อให้สามารถใช้งานได้ที่รอบต่ำ • ลดโหลดลงหรือเลือกขนาดมอเตอร์และอินเวอร์เตอร์ให้มีกำลังสูงขึ้น
•epho	ข่ายไฟออกไปไม่ครบเฟส (Output phase failure)	• อินเวอร์เตอร์ข่ายสัญญาณไปมอเตอร์ไม่ครบเฟส	• ตรวจสอบวงจรด้านเอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์และข่ายไฟที่ต่อเข้ามอเตอร์ว่าถูกต้องหรือไม่ • ยกเลิกการฟังก์ชันนี้โดยตั้งค่าที่ f605 - 0
•eph1	ไฟเข้าไม่ครบเฟส (Input phase failure)	• ไฟเข้าอินเวอร์เตอร์ไม่ครบเฟส • หากตั้งค่าให้อินเวอร์เตอร์ออกตัว	• ตรวจสอบแหล่งข่ายไฟเข้าและระบบหรือของอินเวอร์เตอร์ว่าถูกต้องหรือไม่

		และหยุดอย่างรวดเร็ว (น้อยกว่า 1 วินาที) อาจทำให้หรือไม่ได้	• ยกเลิกการใช้ฟังก์ชั่นนี้โดยตั้งค่าที่ f608= 0
oh	ความร้อนภายในอินเวอร์เตอร์สูงเกินพิกัด (Over heat)	• พัดลมระบายความร้อนอินเวอร์เตอร์ไม่ทำงาน • อุณหภูมิรอบข้างสูงมากเกินไป • ช่องระบายอากาศอุดตัน • ติดตั้งอินเวอร์เตอร์อยู่ใกล้อุปกรณ์ที่มีการแผ่ความร้อนสูง • ตัวตรวจจับอุณหภูมิภายในอินเวอร์เตอร์เกิดความเสียหาย	• หยุดการทำงานรอให้ความร้อนลดลงแล้วเริ่มทำงานใหม่อีกครั้ง • หากยังลมไม่ทำงาน ให้ติดต่อบริษัทฯ เพื่อเปลี่ยนพัดลมใหม่ • อินเวอร์เตอร์ติดตั้งให้ตู้ไฟมีแสงเกินไป ทำให้ระบายความร้อนไม่ได้ • พิจารณาการติดตั้งใกล้อุปกรณ์ที่เกิดความร้อน • ติดต่อบริษัทฯ
up1	แรงดันไฟต่ำกว่าพิกัด(Under voltage)	• ไฟเข้าอินเวอร์เตอร์ต่ำกว่าระดับพิกัดทำให้อินเวอร์เตอร์ไม่สามารถทำงานได้	• ตรวจสอบแรงดันไฟเข้าอินเวอร์เตอร์ • ตั้งค่าการทำงานได้ที่พารามิเตอร์ f627 • ถ้าต้องการให้ทำงานต่อเนื่อง โดยตั้งพารามิเตอร์ f302(ทำงานต่อเนื่องกรณีไฟกระพริบและ f301 (สตาร์ทใหม่อัตโนมัติ)
ef2	กระแสรั่วลงกราวด์ (Ground fault)	• กราวด์เกิดความผิดพลาดที่สายไฟด้านเอาท์พุท หรือมอเตอร์ • อุปกรณ์ภายในชำรุดเกิดความเสียหาย	• ตรวจสอบที่สายเคเบิลและมอเตอร์ • ติดต่อบริษัทฯ
e	หยุดฉุกเฉิน (Emergency stop)	• มีการใช้คำสั่งหยุดแบบฉุกเฉิน (Emergency stop) หรือขณะอินเวอร์เตอร์กำลังทำงานโดยรับคำสั่งจากวงจรภายนอก แต่ได้มีการกดปุ่มหยุด (STOP) ที่แผงสามารถสั่งหยุดได้ขึ้นแผงหน้าปิดควบคุมซึ่งถือว่าเป็นการสั่งให้หยุดแบบฉุกเฉินเช่นเดียวกัน	• รีเซต (Reset) อินเวอร์เตอร์ แล้วเริ่มการทำงานใหม่อีกครั้ง
err2	การควบคุมหรือบอร์ดควบคุมเกิดความผิดพลาด (Control fault)	• RAM เกิดความเสียหาย	• ติดต่อบริษัทฯ
err 3		• ROM เกิดความเสียหาย	
err4		• CPU เกิดความเสียหาย	
err5	การควบคุมแบบระยะไกลมีปัญหา (Remote control error)	• มีความผิดพลาดเกิดขึ้นระหว่างใช้งานแบบระยะไกล	• ตรวจสอบอุปกรณ์ที่ใช้งานร่วม รวมไปถึงสายเคเบิลด้วย

err7	ตัวตรวจจับกระแสเกิดความผิดพลาด (Current detector fault)	• ตัวตรวจจับกระแสในอินเวอร์เตอร์เกิดความเสียหาย	• ติดต่อบริษัทฯ
eep1	EEPROM ทำงานผิดพลาด1 (EEPROM fault1)	• การบันทึกข้อมูลเกิดความผิดพลาด	• ปิดอินเวอร์เตอร์ และเปิดใหม่อีกครั้ง ถ้ายังเกิดความผิดพลาดเดิม ให้ติดต่อกลับบริษัทฯ
eep2	EEPROM ทำงานผิดพลาด2 (EEPROM fault2)	• ไฟดับขณะตั้งค่า typทำให้การบันทึกข้อมูลถูกยกเลิก	• ปิดอินเวอร์เตอร์ และเปิดใหม่อีกครั้งแล้วตั้งค่า typ ใหม่อีกครั้ง
eep3	EEPROM ทำงานผิดพลาด3 (EEPROM fault3)	• การบันทึกข้อมูลเกิดความผิดพลาด	• ปิดอินเวอร์เตอร์ และเปิดใหม่อีกครั้ง ถ้ายังเกิดความผิดพลาดเดิม ให้ติดต่อกลับบริษัทฯ
e-18	สายสัญญาณอนาล็อกขาดหายไป (Break in analog signal cable)	• สัญญาณอนาล็อกที่เข้าขาสัญญาณ VI/SI มีค่าต่ำกว่าที่สามารถรับได้ ซึ่งตั้งค่าได้ในf633	• ตรวจสอบสายสัญญาณอนาล็อกที่เข้าขาสัญญาณ VI/SI ว่าชำรุดหรือหลุดหรือไม่ หากไม่พบความผิดพลาดให้ตั้งค่า f633
e-19	การสื่อสารของ CPU เกิดความผิดพลาด (CPU communications error)	• CPU เกิดความผิดพลาด	• ติดต่อบริษัทฯ
e-20	โอเวอร์เทอร์บูสมากเกินไป (Excessive torque boosted)	• ตั้งค่าพารามิเตอร์สำหรับเพิ่มแรงบิดหรือทอร์คบูสที่พารามิเตอร์ ub มากเกินไป • ค่าความต้านของมอเตอร์มีค่าต่ำมากกว่าปกติ	• ลดค่าพารามิเตอร์ ub ให้น้อยลง • หากตรวจสอบไม่พบความผิดพลาด ให้ติดต่อบริษัทฯ

หมายเหตุ • พารามิเตอร์นี้สามารถเลือกได้ว่าจะให้หรือไม่ก็ได้

4.3 สัญลักษณ์และความหมายของการเตือน

เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงเพื่อเตือนเท่านั้น จะไม่ส่งผลต่อการหรือปลดอินเวอร์เตอร์แต่ประการใด สามารถแสดงได้ดังตารางดังต่อไปนี้

สัญลักษณ์	ปัญหา	สาเหตุที่เกิด	แนวทางการแก้ไข
off	เทอร์มินอล ST ไม่ได้ต่อ (ST terminal OFF)	• ST กับ CC ไม่ได้ต่อถึงกัน	• ต่อ ST กับ CC
noff	แรงดันไฟในวงจรหลักต่ำ (Undervoltage in main circuit)	• ไฟเข้าอินเวอร์เตอร์ต่ำกว่ามาตรฐาน	• วัดค่าแรงดันไฟที่ข้างในไว้วงจรหลัก ถ้าอยู่ในระดับปกติควรนำอินเวอร์เตอร์ไปตรวจซ่อม
rtry	อินเวอร์ตรูในช่วงขบวนการอยู่ระหว่างรีสตาร์ทอัตโนมัติ (Retry in process)	• จากการตั้งพารามิเตอร์ให้รีสตาร์ทใหม่อัตโนมัติ • เกิดการหยุดชั่วขณะของแหล่งจ่ายไฟตกหรือไฟกระพริบ	• ถ้าอินเวอร์เตอร์อยู่ในสภาวะปกติจะทำการสตาร์ทใหม่ในราวๆ 10 วินาทีโดยอัตโนมัติ ควรระมัดระวังเนื่องจากสายเกิดอันตรายในขณะมอเตอร์เริ่มทำงานได้
err1	การตั้งค่าความถี่เกิดความผิดพลาด (Frequency point setting error)	• การตั้งค่าการรับสัญญาณเพื่อปรับความถี่ไม่เหมาะสมในช่วงของชุดที่ 1 และ 2	• ตั้งสัญญาณความถี่โดยตั้งให้ชุด 1 และ2 แยกจากกัน
clr	รับคำสั่งเพื่อเคลียร์ความ	• เมื่ออินเวอร์เตอร์หรือปะและแสดง	• กดปุ่ม STOP อีกครั้ง เพื่อรีเซตอินเวอร์เตอร์ให้อยู่ใน

	คีย์หลาด (Clear command acceptable)	สัญลักษณ์ความผิดพลาดที่หน้าจอเมื่อเราต้องการเคลียร์ความผิดพลาดทำได้โดยการปุ่ม STOP แล้วข้อความนี้จะปรากฏขึ้นมา	สถาวะปกติ
coff	ยอมรับคำสั่งให้หยุดฉุกเฉิน (Emergency command acceptable)	• เมื่อใช้งานแบบรับสัญญาณควบคุมจากภายนอกเมื่อกดปุ่ม STOP ที่แผงหน้าปัดควบคุมของอินเวอร์เตอร์ จะเหมือนเป็นการหยุดแบบฉุกเฉิน	• กดปุ่ม STOP จะหยุดแบบฉุกเฉิน ยกเลิกโดยการกดปุ่มใดๆ
hl/ lo	ตั้งค่าพารามิเตอร์ไม่ถูกต้อง (Setting error alarm)	• ข้อความนี้จะแสดงขณะตั้งค่าพารามิเตอร์ กรณีตั้งค่าสูงหรือต่ำกว่าที่ได้กำหนดไว้	• ตรวจสอบว่าค่าที่ต้องการตั้งนั้นถูกต้องหรือไม่
db	การเบรกโดยใช้แรงดันไฟแบบ ดี.ซี. (DC Braking)	• อินเวอร์เตอร์กำลังทำเบรกแรงดันไฟแบบ ดีซี. ให้แก่มอเตอร์เพื่อยึดมอเตอร์หรือเป็นการเบรกชั่นหนึ่ง	• โดยปกติแล้วข้อความจะหายไปหลังจากได้ค่าแรงดันไฟดี.ซี.ตามเวลาที่ตั้งไว้
e1 e2 e3	ค่าแหน่งหลักแสดงผลไม่เพียงพอที่จะแสดงผลได้ (Flowing out of excess number of digit)	• หากต้องแสดงค่าต่างๆที่มีหลายหลักซึ่งเกินกว่าหน้าจอของอินเวอร์เตอร์จะแสดงได้จะปรากฏข้อความนี้	• หากต้องการให้แสดงผล ให้ปรับแต่งที่พารามิเตอร์ f702
stop	ฟังก์ชั่นป้องกันการหยุดต่อเนื่องกระทันหันชั่วขณะทำงาน (Momentary power failure slowdown stop prohibition function activated)	• ฟังก์ชั่นสำหรับให้อินเวอร์เตอร์ทำงานต่อเนื่องกรณีไฟกระพริบหลังทำงาน ซึ่งเป็นการตั้งค่าที่พารามิเตอร์ f302	• หากต้องการเริ่มทำงานใหม่ให้รีเซตอินเวอร์เตอร์
init	กำลังคืนค่าพารามิเตอร์กลับไปค่าโรงงาน (Parameter in the process of initialization)	• ถ้าพารามิเตอร์ที่ตั้งไว้คืนค่าโรงงาน	• โดยปกติแล้วข้อความจะหายไปภายใน 2-3 วินาที
	การตั้งค่ามาตรฐานเบื้องต้น การเริ่มใช้งานครั้งแรก (Setup parameter is the process of being set)	• แสดงขณะอินเวอร์เตอร์ตั้งค่ามาตรฐานของระบบไฟเฉพาะครั้งแรกเมื่อเริ่มต้นใช้งาน	
e-17	การทำงานที่แผงหน้าปัดควบคุมผิดความผิดพลาด (Operation panel key fault)	• ปุ่ม RUN หรือ STOP ถ้าทะค้างนานเกินกว่า 20 วินาที • ปุ่ม RUN หรือ STOP ถ้าเกิดความเสียหาย	• ตรวจสอบแผงหน้าปัดควบคุม

4.4 การแก้ปัญหาอื่นๆที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์

ปัญหา	สาเหตุและการแก้ปัญหา
มอเตอร์ไม่หมุน	• ตรวจสอบแรงดันไฟที่ป้อนเข้าอินเวอร์เตอร์ • ต้องไฟจากอินเวอร์เตอร์เข้ามอเตอร์ครบเฟสหรือไม่ • โหลดมากเกินไป หรือ ในกรณีเป็นมอเตอร์ดิสเบรกให้ปลดเบรกให้เรียบร้อย • ตรวจสอบการตั้งค่าพารามิเตอร์ cmod, fmod เป็นต้น
มอเตอร์หมุนผิดทิศทาง	• สลับเฟสของมอเตอร์ U, V, W คู่ใดคู่หนึ่ง • ตรวจสอบคำสั่งที่เข้าพารามิเตอร์มีเบรค F และ R ว่าถูกต้องหรือไม่
มอเตอร์หมุนแต่ความเร็วของมอเตอร์ไม่สามารถปรับได้ตามปกติ	• โหลดหนักเกินไป • ค่าความถี่สูงสุดที่ใช้งาน (fh) หรือ ความถี่ต่ำสุดสูงสุดที่ใช้งาน (ul) ตั้งไว้ต่ำเกินไป • ในกรณีใช้สัญญาณควบคุมความเร็วจากภายนอก อาจเกิดจากสัญญาณที่ส่งเข้ามาไม่ถูกต้อง ให้ตรวจสอบสัญญาณ, วงจรและสายเคเบิ้ล
มอเตอร์กินกระแสสูงผิดปกติ	• โหลดมากเกินไป ให้ลดโหลดลง • ในกรณีกินกระแสสูงที่ความเร็วรอบต่ำๆ ให้ตรวจสอบว่าค่าพารามิเตอร์ที่ชดเชยแรงบิดมอเตอร์ (vb) ตั้งต่ำสูงเกินไปหรือไม่
มอเตอร์วิ่งที่ความเร็วสูงกว่าหรือต่ำกว่าความถี่ที่กำหนด	• ตรวจสอบมอเตอร์ว่าคุณสมบัติของแรงดันไฟเหมาะสมกับอินเวอร์เตอร์หรือไม่ • กรณีแรงดันไฟที่จ่ายไปมอเตอร์ไม่ถูกต้อง ให้ตรวจสอบการตั้งค่าความสัมพันธ์ของความถี่ฐาน(vl) และแรงดันไฟที่ใช้งาน (f306) ว่าเหมาะสมหรือไม่ • ตรวจสอบอัตราทดของเกียร์ • กรณีความถี่ที่จ่ายให้มอเตอร์ไม่ถูกต้อง ตรวจสอบการตั้งค่าความถี่ หรือกรณีควบคุมความเร็วจากภายนอก ให้ตรวจสอบว่าการต่อสายถูกต้องหรือไม่ • ตรวจสอบการตั้งค่าความถี่ฐาน (vl) ว่าถูกต้องหรือไม่
มอเตอร์กระชากในขณะออกตัว/หยุด	• ตั้งเวลาในการออกตัว acc / เวลาในการการหยุด dec น้อยเกินไป
ในขณะทำงานมอเตอร์วิ่งด้วยความเร็วไม่คงที่	• โหลดหนักหรือเบาเกินไป ให้ลดการเปลี่ยนแปลงของโหลด • อินเวอร์เตอร์หรือมอเตอร์ใช้ขนาดกำลังไม่เพียงพอในการขับโหลด • ตรวจสอบว่าการตั้งค่าความถี่มีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ • ถ้าพารามิเตอร์ที่ใช้เลือกการสอบคุม Vss (pt) ตั้งค่าไว้เท่ากับ 3, ให้ตรวจสอบการตั้งพารามิเตอร์สำหรับควบคุมแบบเวกเตอร์ (f400 - f408), สถาวะการเดินเครื่อง ต่างๆ เป็นต้น

3. พารามิเตอร์ของ *VF-nC3*

สำหรับในส่วนนี้จะขอกล่าวเฉพาะพารามิเตอร์พื้นฐาน เนื่องจากเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้งานอยู่โดยทั่วไป สามารถอธิบายได้ดังนี้

พารามิเตอร์	หน้าที่การทำงาน	คำอธิบาย	ค่าโรงงาน
auh (AUI)	ประวัติการตั้งค่าพารามิเตอร์ (History function)	สามารถดูที่ทำการเปลี่ยนแปลงล่าสุดได้ 5 ค่า	-
au1 (AU1)	ตั้งค่าเวลาออกตัวเวลาหยุดแบบอัตโนมัติ (Automatic acceleration/deceleration)	0 : ไม่ใช้ (เลือกใช้ที่พารามิเตอร์ acc / dec) 1 : เลือกใช้แบบอัตโนมัติ 2 : เลือกใช้แบบอัตโนมัติ (เฉพาะเวลาออกตัว)	0
au2 (AU2)	ตั้งค่าแรงบิดช่วยในขณะออกตัว (Torque boost setting macro function)	0 : ไม่ใช้ 1 : แรงบิดช่วยในขณะออกตัวแบบอัตโนมัติ + อยู่ได้นาน 2 : เวกเตอร์คอนโทรล + ลมได้นาน 3 : ระบบประหยัดพลังงาน + อยู่ได้นาน	0
cmod (CMOD)	เลือกวิธีควบคุมการทำงาน (Command mode selection)	0 : สัญญาณควบคุมจากภายนอก (Terminal board) 1 : แผงหน้าปัดควบคุม (Operation panel) 2 : โดยพอร์ทสื่อสาร	1
fmod (FMOD)	เลือกวิธีควบคุมความถี่ (Frequency setting mode selection)	0 : สัญญาณควบคุมจากภายนอก (Terminal board VI) 1 : ขอลุ่มปรับค่านบนแผงหน้าปัดควบคุม1 (ไม่ต้องกดปุ่มศูนย์กลางเพื่อบันทึกค่า) 2 : ขอลุ่มปรับค่านบนแผงหน้าปัดควบคุม2 (บันทึกค่าเมื่อปิดไฟ) 3 : โดยพอร์ทสื่อสาร (Serial communication) 4 :- 5 : ปรับค่าโดยการต่อสวิตช์ เพิ่มและลดความถี่จากภายนอก (Up/Down From External Contact)	2
fmsl (FMSL)	เลือกการแสดงการทำงานของมิเตอร์ (Meter Selection)	0 : แสดงค่าความถี่ที่ส่งให้แก่มอเตอร์ (Output frequency) 1 : แสดงค่ากระแสที่ส่งให้แก่มอเตอร์ (Output current) 2 : แสดงค่าความถี่ที่ตั้งค่าไว้ (Set frequency) 3 : แสดงค่าแรงดันไฟตรง (DC voltage) 4 : แสดงค่าคำสั่งแรงดันเอาท์พุท (Output voltage command value) 12 : แสดงการตั้งค่าความถี่หลังจากการชดเชย (Frequency setting value after compensation) 13 : แสดงค่าอินพุทของ VI (VI input value) 15 : แสดงค่าเอาท์พุทที่ 1 ที่ถูกกำหนด คือ กระแสเอาท์พุท : 100% (Fixed output 1 Output current : 100%) 16 : แสดงค่าเอาท์พุทที่ 2 ที่ถูกกำหนด คือ กระแสเอาท์พุท : 50% (Fixed output 2 Output current : 50%) 17 : แสดงค่าเอาท์พุทที่ 3 ที่ถูกกำหนด คือ ค่าอื่นๆนอกเหนือจากกระแสเอาท์พุท : 100% (Fixed output 3 Output current : 100%) 18 : พอร์ทสื่อสาร (Serial communication) 19 : แสดงผลการตั้งค่าของ fm(fm Set value is displayed)	0

พารามิเตอร์	หน้าที่การทำงาน	คำอธิบาย	ค่าโรงงาน
fm (FM)	ปรับแต่งค่าความละเอียดเมื่อแสดงผลที่มิเตอร์ (Meter Adjustment)	ปรับแต่งค่าความละเอียดตามค่าที่ตั้งในพารามิเตอร์ fmsl	-
fr (ER)	เลือกทิศทางการหมุนของมอเตอร์ (ควบคุมการทำงานที่แผงหน้าปัดควบคุม)	0 : ทิศทางเดินหน้า (Forward) 1 : ทิศทางย้อนกลับ (Reverse) 2 : ทิศทางเดินหน้า (สลับกันระหว่างเดินหน้าและถอยกลับ) (F/R switching possible) 3 : ทิศทางถอยกลับ (สลับกันระหว่างเดินหน้าและถอยกลับ) (F/R switching possible)	0
acc (ACC)	เวลาที่ใช้ในการออกตัว 1 (Acceleration time 1)	0.1-3600 (วินาที)	10.0
dec (DEC)	เวลาที่ใช้ในการหยุด 1 (Deceleration time 1)	0.1-3600 (วินาที)	10.0
fh (FH)	ความถี่สูงสุดที่ใช้งาน (Maximum frequency)	30.0-200 (Hz)	80.0
ul (UL)	ความถี่จำกัดสูงสุดที่ใช้งาน (Upper limit frequency)	0.5 - fh (Hz)	65.0
ll (LL)	ความถี่จำกัดต่ำสุดที่ใช้งาน (Lower limit frequency)	0.0 - ul (Hz)	0.0
vl (VL)	ความถี่พื้นฐานของมอเตอร์ (Base frequency 1)	25-200 (Hz)	60.0
vlv (VLV)	ความถี่หลักของแรงดัน1 (Base frequency voltage1)	50-330	-
pt (PT)	เลือกรูปแบบการควบคุมความสัมพันธ์ของแรงดันไฟและความถี่ (V/F Control mode selection)	0 : แบบV/F คงที่ (V/F Constant) 1 : แบบแรงบิดแปรผันตามความเร็ว (Variable torque) 2 : แบบแรงบิดช่วยในขณะออกตัวแบบอัตโนมัติ (Automatic torque boost) 3 : แบบระบบเวกเตอร์ (Vector control) 4 : แบบประหยัดไฟแบบอัตโนมัติ (Automatic energy-saving	0
ub (VB)	ตั้งค่าแรงบิดที่ช่วยในขณะออกตัว (Torque boost 1)	0.0-30.0 (%)	-
thr (THR)	ตั้งค่าป้องกันกระแสมอเตอร์เกินระดับที่ 1 (Motor thermal protection level 1)	10-100 (%)	100
olm (OLM)	ลักษณะการป้องกันมอเตอร์ (Overload characteristic)	Set / Standard motor: OL1 Inverse, OL2 Off / VF motor: OL1 Inverse, OL2 Off 0: Standard motor, OL1 Inverse, OL2 Off 1: Standard motor, OL1 Off, OL2 Off 2: Standard motor, OL1 Off, OL2 Off 3: VF motor, OL1 Off, OL2 Off 4: VF motor, OL1 Inverse, OL2 Off 5: VF motor, OL1 Off, OL2 Off 6: VF motor, OL1 Inverse, OL2 Off 7: VF motor, OL1 Off, OL2 Off	0

พารามิเตอร์	หน้าที่การทำงาน	คำอธิบาย	ค่าโรงงาน
sr1 (Sr1)	ค่าความถี่ล่วงหน้า 1 (Preset-speed frequency 1)	ll- ul(Hz)	0.0
sr2 (Sr2)	ค่าความถี่ล่วงหน้า 2 (Preset-speed frequency 1)	ll- ul(Hz)	0.0
sr3 (Sr3)	ค่าความถี่ล่วงหน้า 3 (Preset-speed frequency 1)	ll- ul(Hz)	0.0
sr4 (Sr4)	ค่าความถี่ล่วงหน้า 4 (Preset-speed frequency 1)	ll- ul(Hz)	0.0
sr5 (Sr5)	ค่าความถี่ล่วงหน้า 5 (Preset-speed frequency 1)	ll- ul(Hz)	0.0
sr6 (Sr6)	ค่าความถี่ล่วงหน้า 6 (Preset-speed frequency 1)	ll- ul(Hz)	0.0
sr7 (Sr7)	ค่าความถี่ล่วงหน้า 7 (Preset-speed frequency 1)	ll- ul(Hz)	0.0
typ (TYP)	การเลือกโหมดสำหรับตั้งค่ามาตรฐาน(Standard setting mode selection)	0 : - 1 : ตั้งค่ามาตรฐานแบบ 50Hz 2 : ตั้งค่ามาตรฐานแบบ 60Hz 3 : ตั้งค่าพารามิเตอร์กลับคืนค่าโรงงาน (Default Setting) 4 : เคลียร์ข้อมูลการทริป(Trip clear) 5 : เคลียร์เวลาการใช้งานสะสมรวม (Commulsove operation time clear) 6 : เริ่มต้นสถานะของรูปแบบข้อมูลของอินเวอร์เตอร์ใหม่อีกครั้ง (Initialization of type information) 7 : บันทึกการตั้งค่าพารามิเตอร์ของผู้ใช้ (Save user-defined parameters) 8 : เรียกใช้การตั้งค่าพารามิเตอร์ของผู้ใช้ (Call user-defined parameters) 9 : เคลียร์เวลาการใช้งานสะสมรวมของฟัดลม (Cumulative fan operation time record clear) 13 : ตั้งค่าพารามิเตอร์กลับสู่ค่าโรงงาน2 (คืนค่าโรงงานทั้งหมด)	0
set (SET)	ตั้งค่าขอบเขตการใช้งาน (Checking the region setting)	0 :เริ่มต้นรายการ 1 :ญี่ปุ่น (อ่านอย่างเดียว) 2 :อเมริกาเหนือ (อ่านอย่างเดียว) 3 :เอเชีย (อ่านอย่างเดียว) 4 :ยุโรป (อ่านอย่างเดียว)	
psel (PSEL)	เลือกแบบพารามิเตอร์หน้าจอ(Registered parameters display selection)	0: โหมดมาตรฐาน (standard setting mode at power on) 1 :โหมดพารามิเตอร์ที่สำคัญ (Easy setting mode at power on) 2 :โหมดพารามิเตอร์ที่สำคัญอย่างเดียว(Easy setting mode only)	0

พารามิเตอร์	หน้าที่การทำงาน	คำอธิบาย	ค่าโรงงาน
f1-- (F1--)	พารามิเตอร์ส่วนเพิ่มเติมเริ่มที่ 100(Extended parameter)	-	-
f2-- (F2--)	พารามิเตอร์ส่วนเพิ่มเติมเริ่มที่ 200(Extended parameter)	-	-
f3-- (F3--)	พารามิเตอร์ส่วนเพิ่มเติมเริ่มที่ 300(Extended parameter)	-	-
f4-- (F4--)	พารามิเตอร์ส่วนเพิ่มเติมเริ่มที่ 400(Extended parameter)	-	-
f5-- (51--)	พารามิเตอร์ส่วนเพิ่มเติมเริ่มที่ 500(Extended parameter)	-	-
f6-- (F6--)	พารามิเตอร์ส่วนเพิ่มเติมเริ่มที่ 600(Extended parameter)	-	-
f7-- (F7--)	พารามิเตอร์ส่วนเพิ่มเติมเริ่มที่ 700(Extended parameter)	-	-
f8-- (F8--)	พารามิเตอร์ส่วนเพิ่มเติมเริ่มที่ 800(Extended parameter)	-	-
gru (Gr.U)	ค้นหาพารามิเตอร์ที่ตั้งค่าเปลี่ยนแปลงไปจากค่าโรงงาน (Search for changed setting)	เพื่อตรวจสอบพารามิเตอร์ที่ได้ทำการแก้ไข ซึ่งจะแสดงเฉพาะค่าที่แตกต่างจากค่าโรงงานเท่านั้น (Default setting)	-

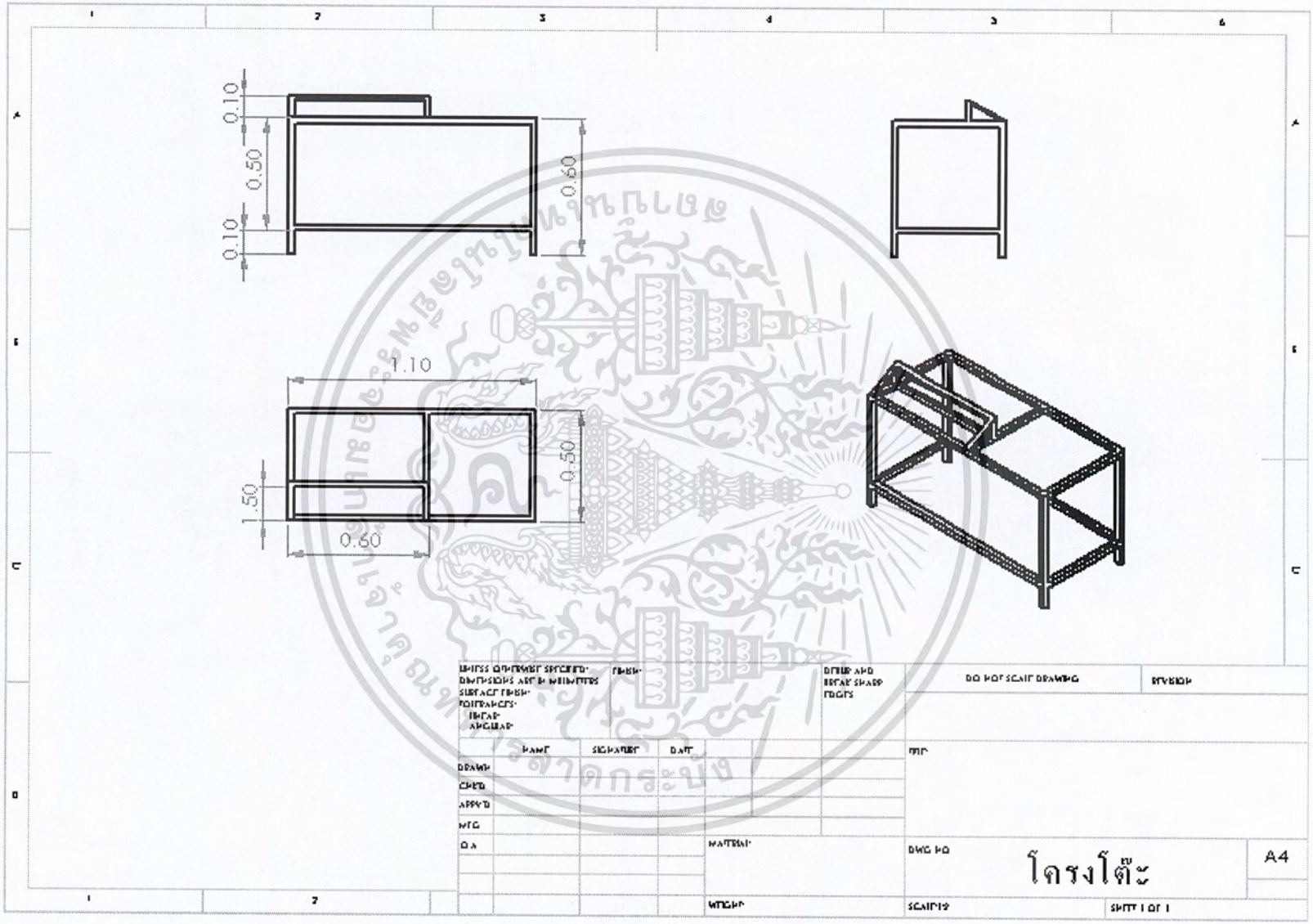
หมายเหตุ รายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับพารามิเตอร์ส่วนเพิ่มเติมหรือข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์ สามารถดูได้ในเอกสารแนบท้ายในคู่มือฉบับนี้

หากต้องการรายละเอียดเพิ่มเติมในการใช้งานนอกเหนือกว่านี้ สามารถศึกษาได้จากคู่มือภาษาอังกฤษที่แนบมาพร้อมกับสินค้า หรือติดต่อตัวแทนจำหน่าย

ภาคผนวก ช

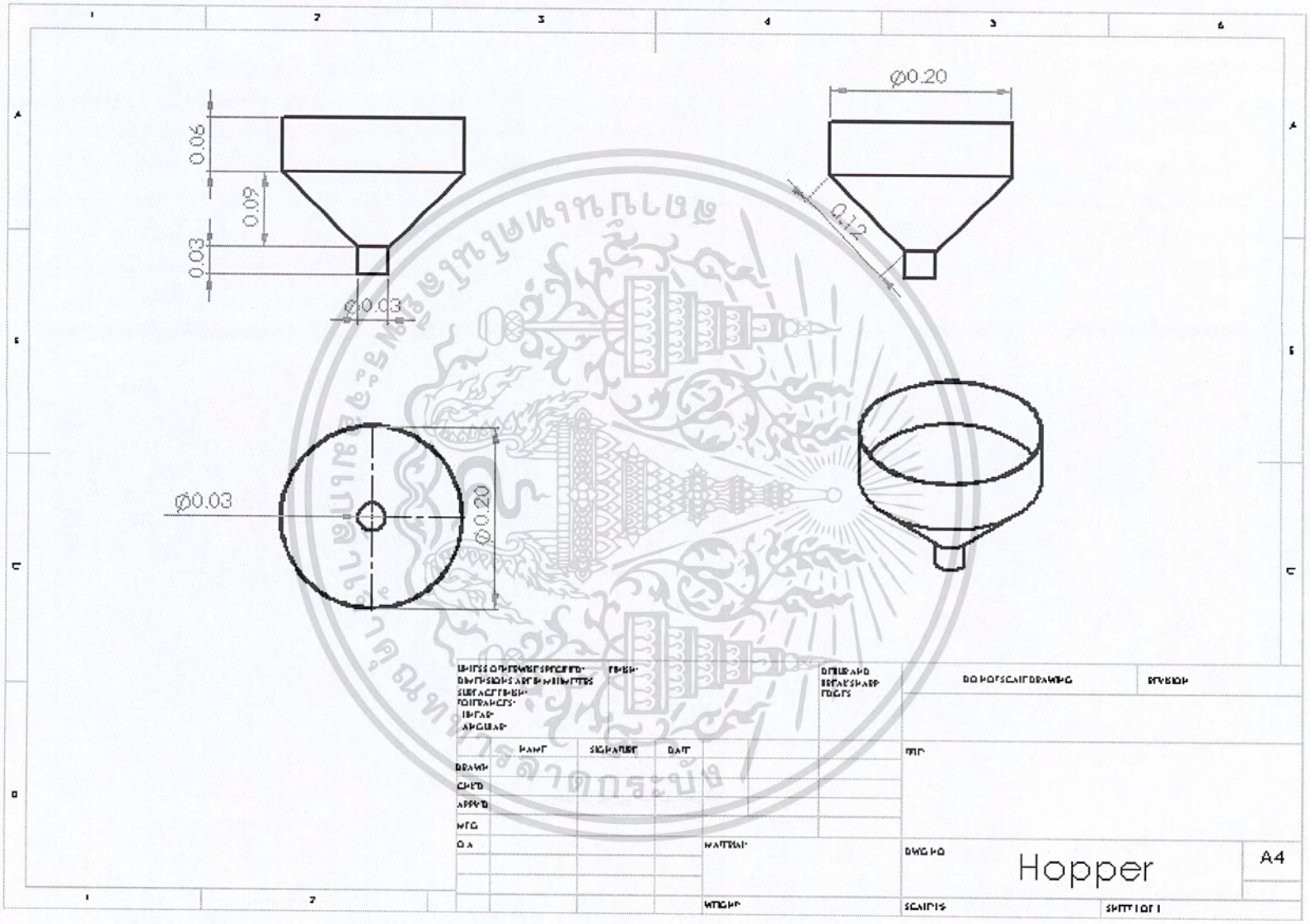
แบบเครื่องอัดรีดขึ้นรูปพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



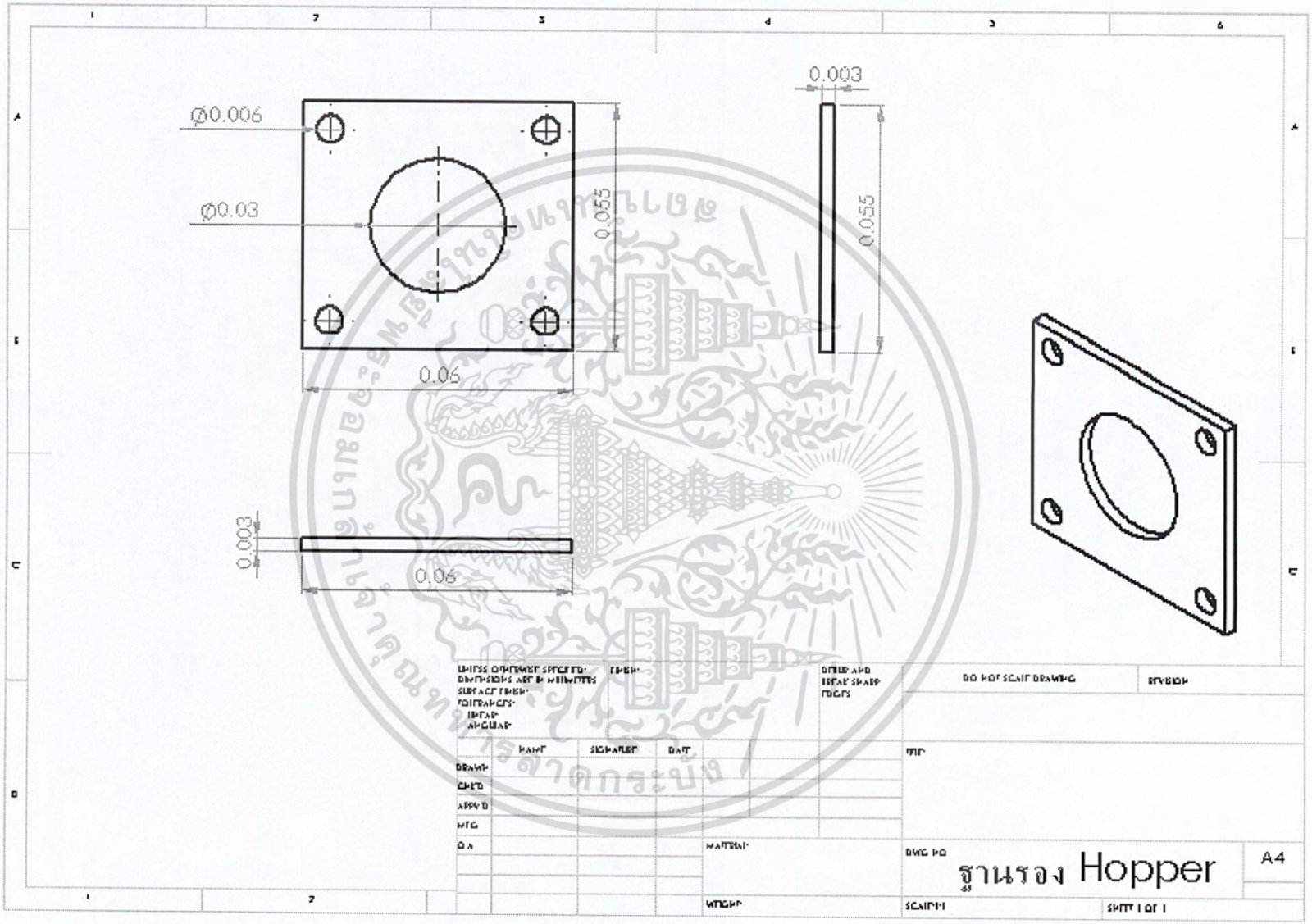
รูปที่ ผช 1 แบบโครงโต๊ะ

ผช 1

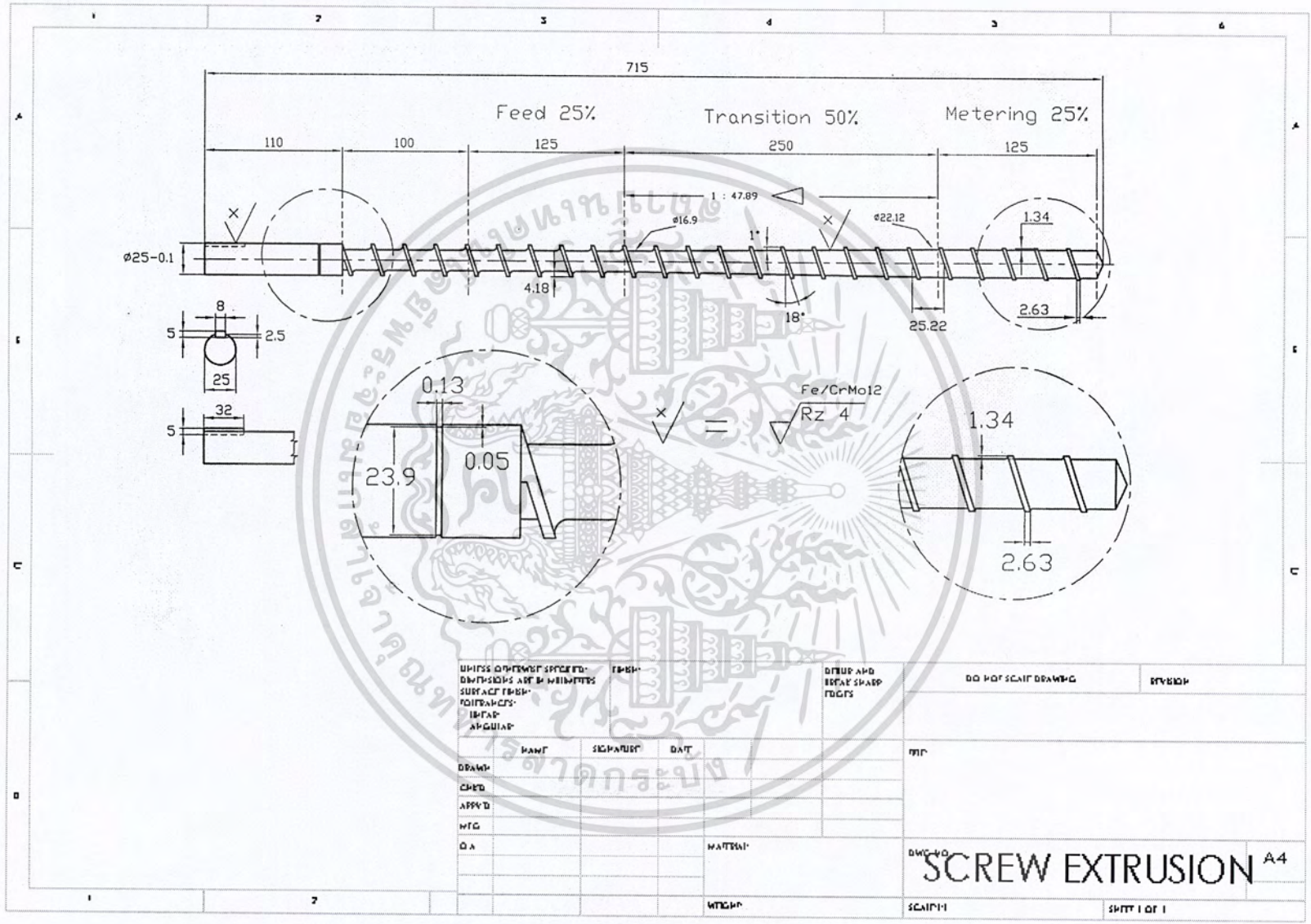


รูปที่ ผช 2 แบบกรวยเติม

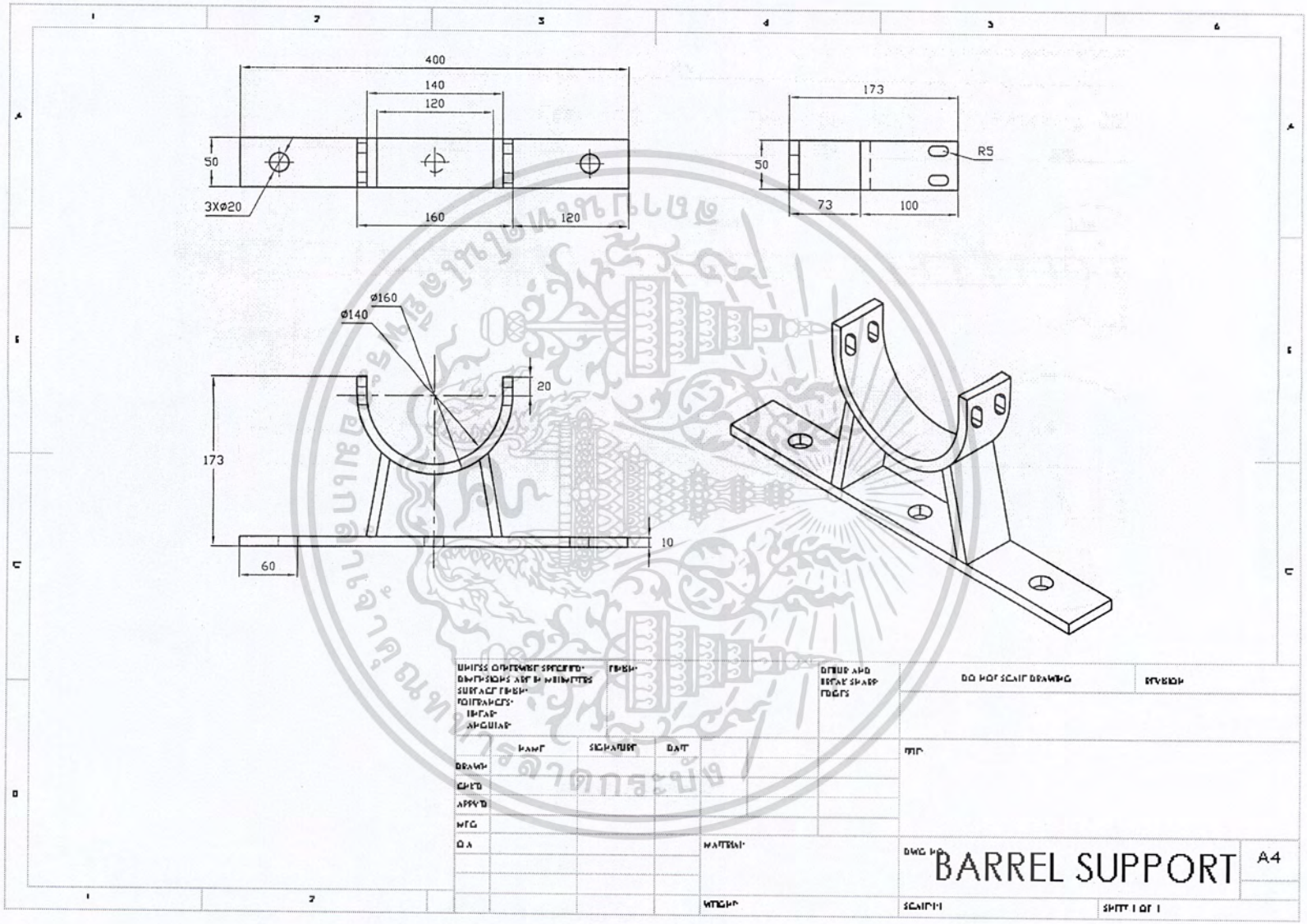
ผช 2



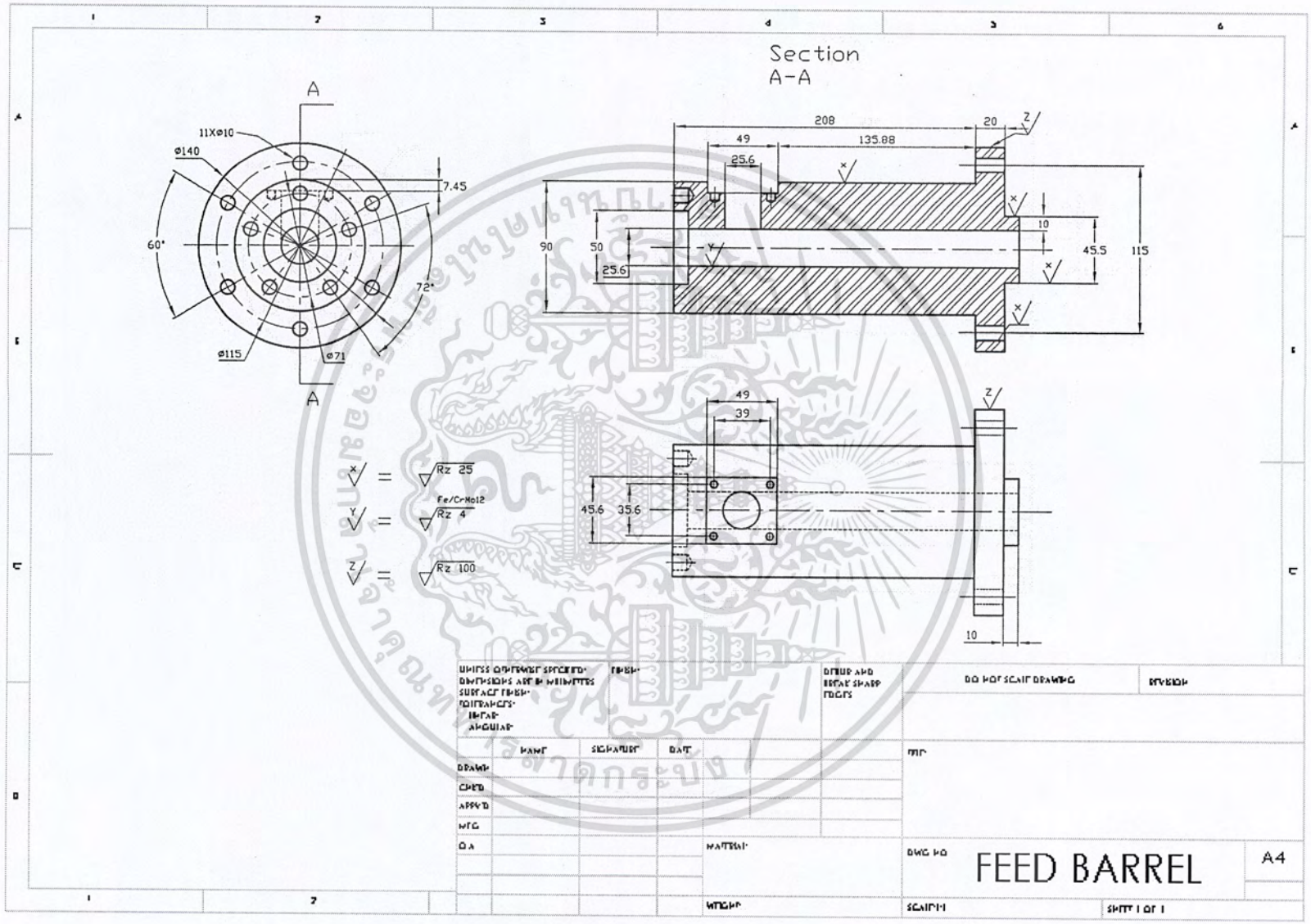
รูปที่ ผช 3 แบบฐานกรวยเติม



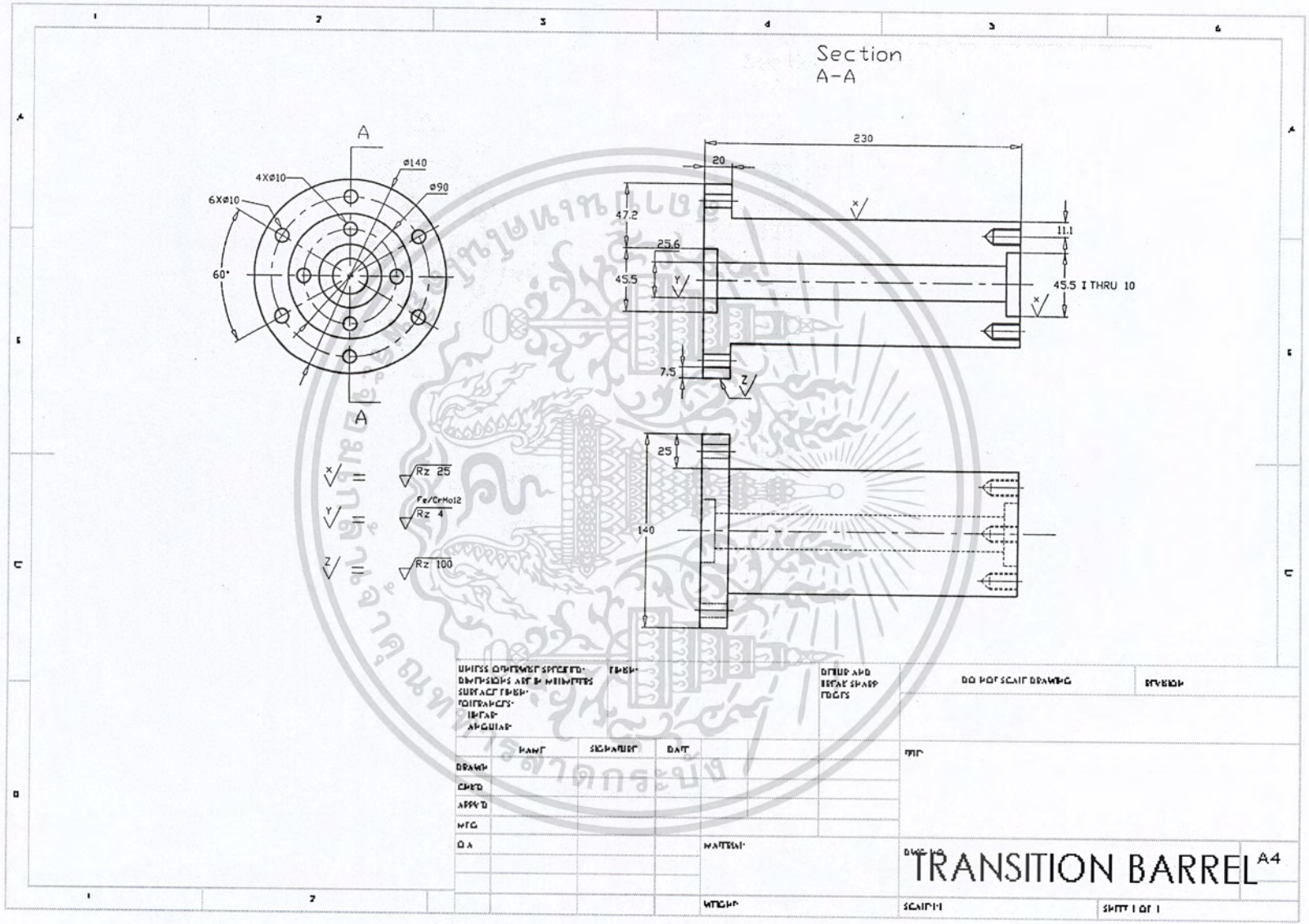
รูปที่ ผช 4 แบบสกรูของเครื่องอัดรีดขึ้นรูป



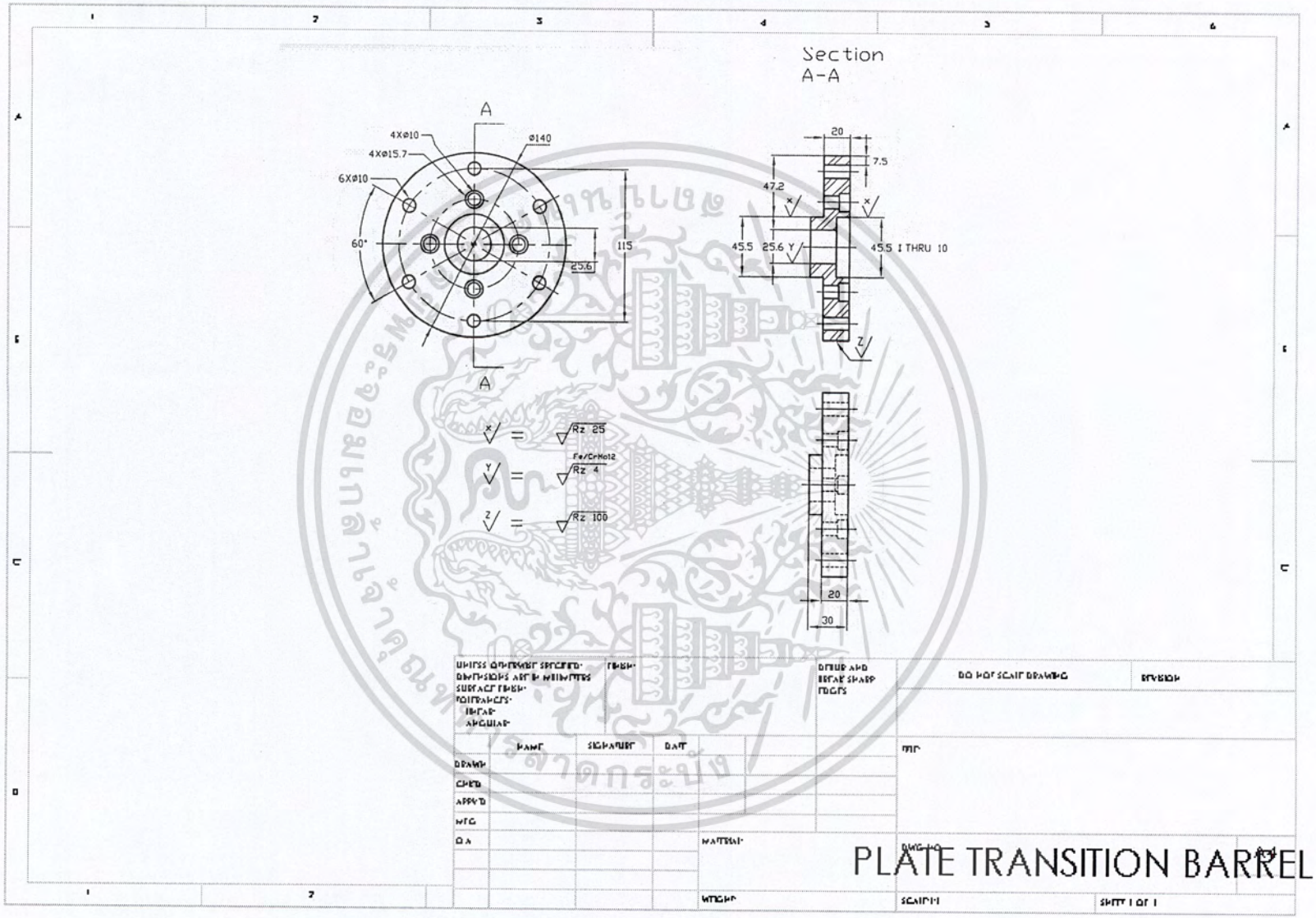
รูปที่ ผช 5 แบบฐานรองกระบอกหลอม



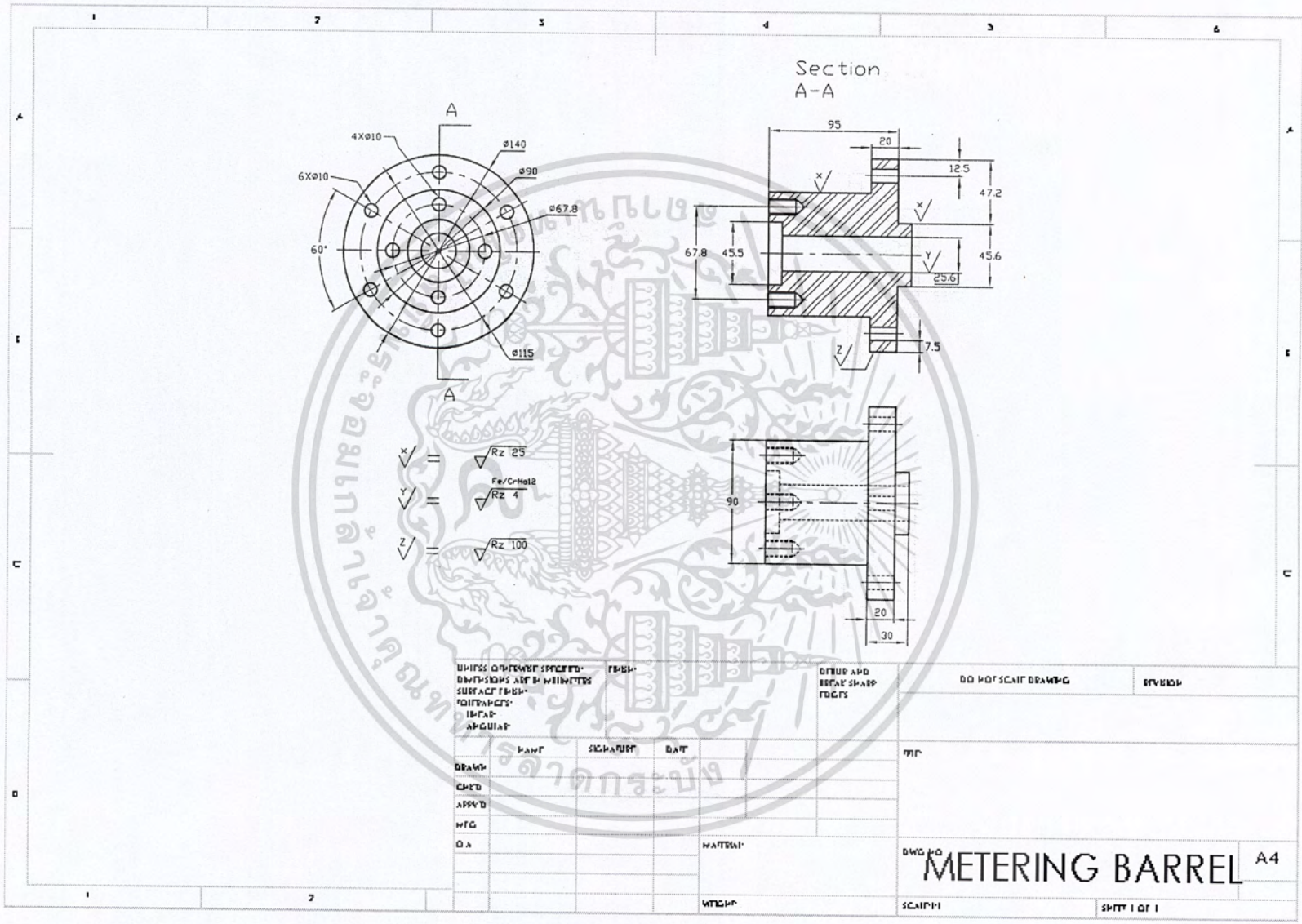
รูปที่ ผช 6 แบบส่วนป้อนของกระบอกหลอม



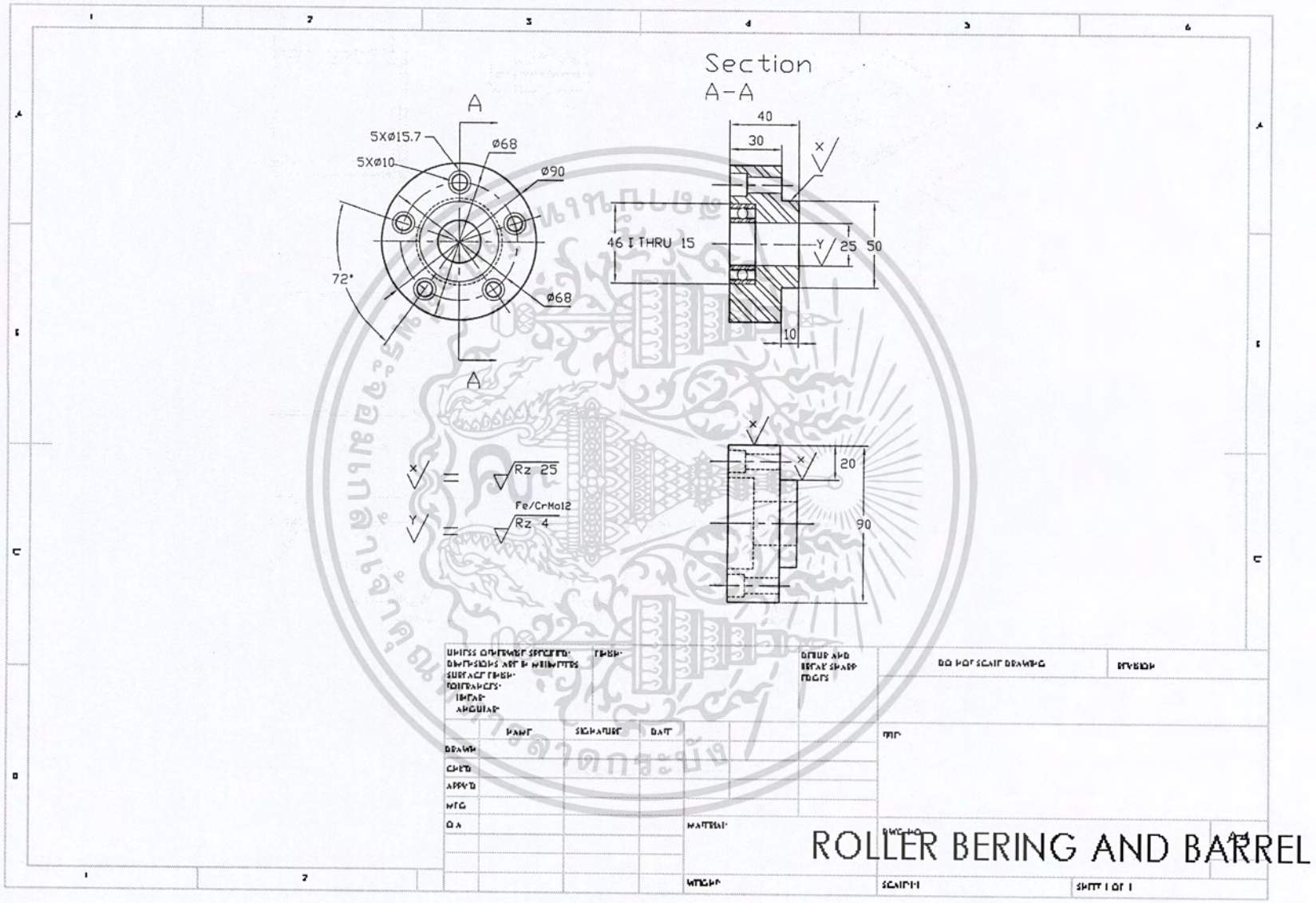
รูปที่ ผช 7 แบบส่วนหลอมอัดของกระบอกหลอม



รูปที่ ผช 8 แบบแผ่นประกบส่วนหลอมอัดของกระบอกหลอม

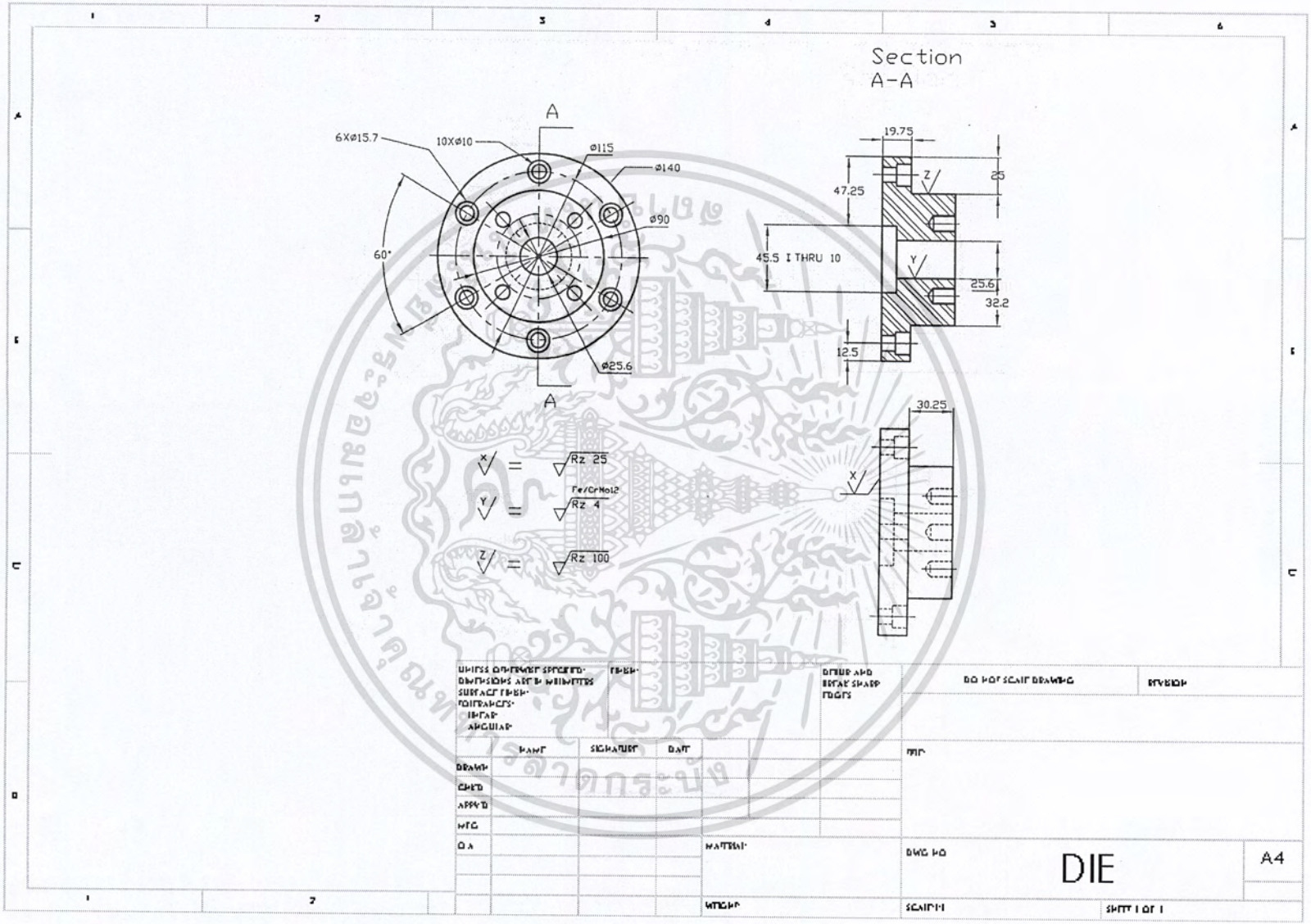


รูปที่ ผช 9 แบบส่วนส่งของกระบอกหลอม



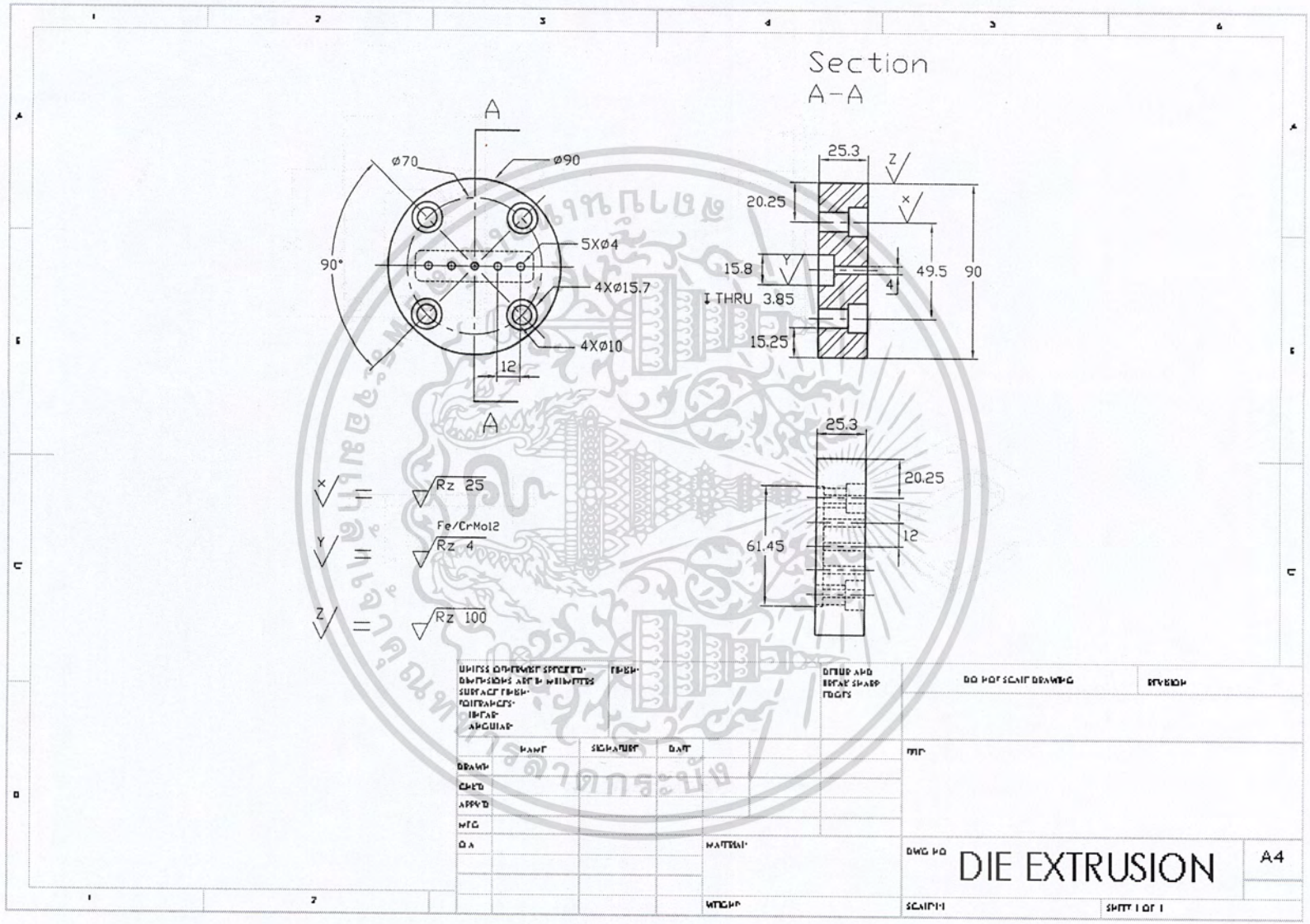
รูปที่ ผช 10 แบบแบริ่ง

ผช 10



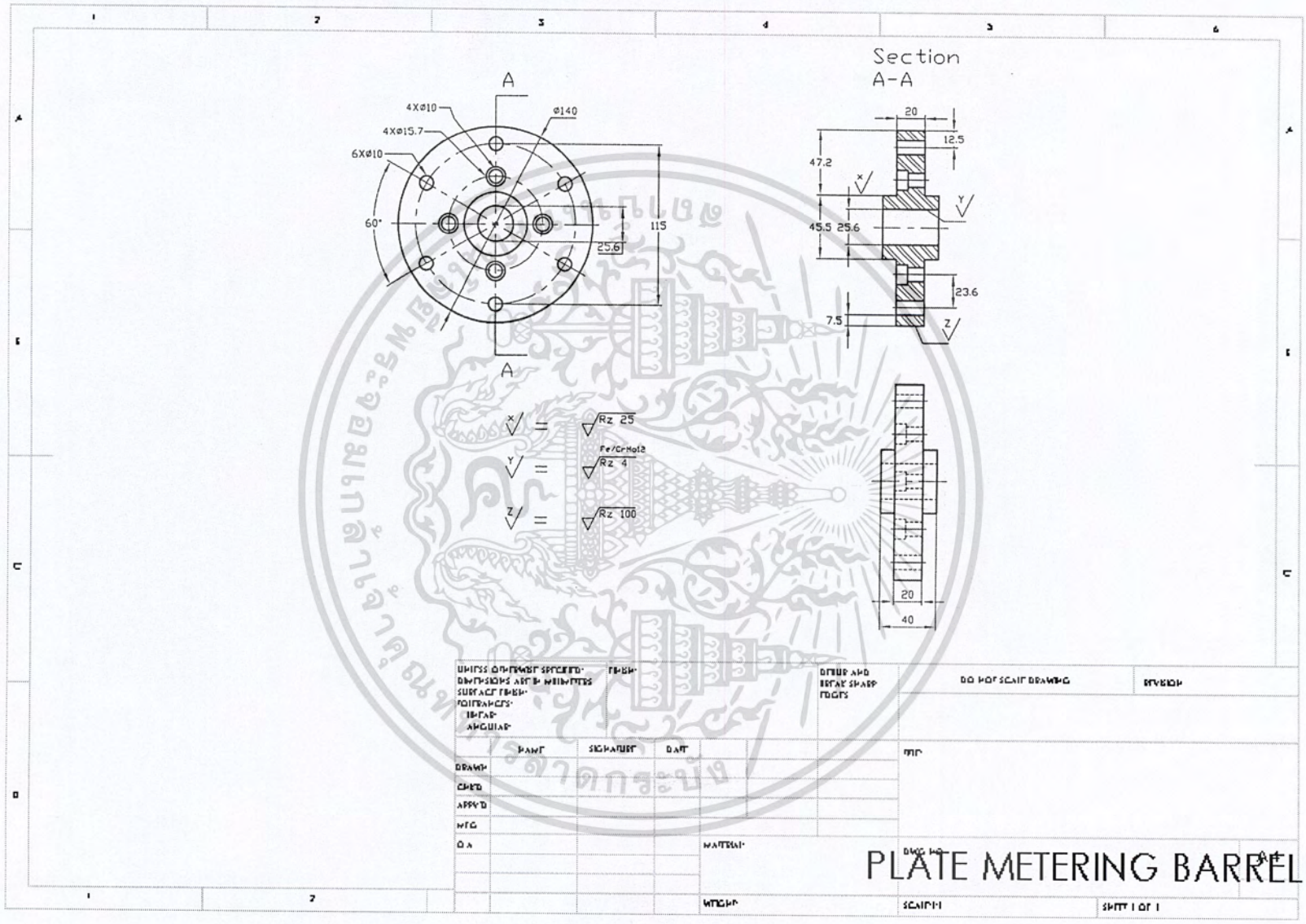
รูปที่ ผช 11 แบบส่วนหน้าของกระบอกหลอม

ผช 11



รูปที่ ผช 12 แบบแม่พิมพ์

ผช 12



รูปที่ ผช 13 แบบแผ่นประกบส่วนส่งของกระบอกหลอม