

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องเอ็กทูดซ์พลาสติก

Plastic Extrusion Machine



1102

นายโชคชนัฐ	เพลงสันเทียะ /
Mr.Chokthanat	Plengsantear
นายฐานันดร	จันทร์ทอง /
Mr.Thanan	jankong
นายบรรดิษฐ์	สมทุม /
Mr.Bandit	Somthum

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ป.พ.  
49872  
2547

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 49872


วัน,เดือน,ปี.- 2 เม.ย. 2547

ปีการศึกษา 2545

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

1102/11

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องเอ็กซ์ทรูด พลาสติก Plastic Extrusion Machine
นักศึกษา	นาย โชครนัฐ เฟื่องสันเทียะ
รหัสประจำตัว	43015676
นักศึกษา	นายฐานันตร์ จันทร์คง
รหัสประจำตัว	43015678
นักศึกษา	นายบรรดิษฐ์ สมทุม
รหัสประจำตัว	43015684
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2545
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	

  
(ผศ.พรศักดิ์ อรรถวานิช)

  
(อ.พลชัย โชติปยายนกุล)

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องเอ็กซ์ทรูดพลาสติก
นักศึกษา	นายโชคชนัฐ เพลงสันเทียะ นายฐานันตร์ จันทรงค์ นายบรรดิษฐ์ สมทุม
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2545
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ผศ.พรศักดิ์ อรรถวานิช อ.พลชัย โชติปรายนกุล

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการออกแบบเครื่องพลาสติกเอ็กซ์ทรูดชั้น สำหรับการผลิตเส้นพลาสติก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร เป็นเส้นยาวต่อเนื่อง โดยในการพัฒนาต่อไปใช้ชุดดึงและตัดเพื่อทำเป็นเม็ดพลาสติก วัตถุประสงค์ที่ใช้ทำการผลิตเป็นพลาสติกนำกลับมาใช้ใหม่ทำการลดขนาดโดยการย่อยจากเครื่องย่อยพลาสติกเพื่อให้ง่ายแก่การแปรรูป ประเภทของพลาสติกเป็นเทอร์โมพลาสติก ชนิดโพลีเอทธิลีน หลักการทำงานของเครื่องใช้กำลังจากมอเตอร์ส่งกำลัง ผ่านชุดเกียร์ทดลดความเร็วรอบ จากนั้นส่งถ่ายกำลังไปยังสกรูป้อนพลาสติก หมุนอยู่ภายในช่องทรงกระบอก เรียกว่า บาร์เรล ภายนอกของบาร์เรลถูกรัดด้วยขดลวดความร้อนชนิดครีท้อ แบ่งเป็น 3 ช่วงคือ ส่วนป้อน ส่วนส่ง และส่วนหลอม โดยแต่ละช่วงมีการตั้งอุณหภูมิให้ร้อนแตกต่างกัน การควบคุมความร้อนใช้ตัวควบคุมอุณหภูมิ ควบคุมฮีตเตอร์แต่ละตัว โดยมี เทอร์โมคัปเปิ้ลตรวจสอบอุณหภูมิแล้วส่งไปยังตัวควบคุมอุณหภูมิ ทำการตัดหรือต่อการทำงานของฮีตเตอร์ให้ได้อุณหภูมิที่ตั้งไว้

ผลการทำงานของเครื่องใช้โพลีเอทธิลีนในการทดลอง เริ่มต้นการเดินเครื่องโดยทำการอุ่นกระบอกหลอมตั้งอุณหภูมิในแต่ละส่วนของกระบอกหลอม ครึ่งชั่วโมง ถึง หนึ่งชั่วโมง เดิมเม็ดพลาสติกลงในช่องป้อนพลาสติกเปิดการทำงานของสกรูป้อน ดึงเม็ดพลาสติกเข้ากระบอกหลอม ได้ชิ้นงานเส้นพลาสติกไหลออกมาอย่างต่อเนื่อง

<b>Thesis</b>	Plastic Extrusion Machine
<b>Student</b>	Mr.Chokthanat Plengsantear Mr.Thanan JunKong Mr.Bandit Somthum
<b>Degree</b>	Bachelor of Engineering in industrial Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
<b>Academic Year</b>	2002
<b>Advisor</b>	Asst. Prof. Pornsak Attavanich Pholchai Chotiprayanakul

## **ABSTRACT**

The objective of this project was to design plastic extrusion machine for making plastic line of 4 mm in diameter .The material used for extrusion system must be digested by digest machine. Plastic used for this machine must be thermoplastic and type of polymer is Polyethylene (PE). The plastic extrusion was driven by 3 phase AC motor. Firstly, The motor power was transmitted by V-belt at 1,450 rpm though to gearbox in order to reduce speed to 75 rpm. Secondly, coupling is used for transmitting power from gearbox to rotating feed screw in housing of barrel. The barrel was divided into 3 zones: it is feed zone, transition zone and metering zone. Barrel is consisted of thermocouple and sensor for checking band heater. The barrel temperature was controlled by temperature controller. The melt plastic is feed to plastic extrusion die and the plastic line flow from the outlet continuously.

## กิตติกรรมประกาศ

จากการที่กลุ่มข้าพเจ้าได้ทำโครงการหัวข้อ เครื่องเอ็กซ์ทรูด พลาสติก (Plastic Extrusion Machine) สำเร็จไปได้ ด้วยดีทั้งที่มีปัญหาและอุปสรรคในการทำงานมากมายนั้นก็ด้วยความช่วยเหลือจากอาจารย์และเพื่อนๆซึ่งทางกลุ่ม ขอขอบคุณมาดังนี้

1. อาจารย์ พรศักดิ์ อรรถวณิช อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ช่วยแนะนำการออกแบบ โครงสร้างเหล็ก
2. อาจารย์ สรรพสิทธิ์ ลิ้มบรรดินันท์ ช่วยให้คำติชม และคำปรึกษา
3. อาจารย์ พลชัย โชติปราชญ์กุล ช่วยชี้แนะการออกแบบ การทำงาน วิธีการแก้ไขจุดบกพร่อง
4. บริษัท เจริญไทย อินเทอร์เน็ตพลาสติก ให้ความอนุเคราะห์พลาสติกใช้ทดลอง

นายโชคชนันท์ เพลงสันเทียะ

นายฐานันตร์ จันทร์คง

นายบรรดิษฐ์ สมทุม

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
2.1 ความสำคัญของโครงการ/ที่มาของโครงการ	1
2.1 วัตถุประสงค์	1
2.1 ขอบเขตการศึกษา	1
2.1 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ประวัติความเป็นมาของพลาสติก	2
2.2 ชนิดของพลาสติกและคุณสมบัติของพลาสติก	2
2.3 ทฤษฎีการออกแบบ	4
บทที่ 3 การออกแบบการดำเนินงาน	
3.1 การออกแบบชิ้นส่วน	36
3.2 การออกด้านระบบควบคุมมอเตอร์	40
3.3 แผนการทดสอบเครื่อง	40
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	
4.1 ผลการสร้างเครื่องอิเล็กทรอนิกส์	41
4.2 ผลการทดสอบ	49

บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

- |   |    |
|---|----|
| 5.1 สรุปผลของการออกแบบและจัดสร้างเครื่องพลาสติกเอ็กซ์ทรูด | 52 |
| 5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข                                   | 53 |

บรรณานุกรม

- |   |      |
|---|------|
| ภาคผนวก ก การคำนวณชิ้นส่วน                        | ผ.1  |
| ภาคผนวก ข คู่มือการใช้เครื่อง Plastic Extrusion   | ผ.22 |
| ภาคผนวก ค คู่มือการปรับตั้ง Temperature Control   | ผ.26 |
| ภาคผนวก ง แบบทางวิศวกรรมเครื่อง Plastic Extrusion | ผ.27 |

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ความหนืดของวัสดุต่างๆ	4
ตารางที่ 2.2 เครื่องวัดและควบคุมอุณหภูมิ ระบบ ON – OFF ( ON – OFF Temperature controller)	27
ตารางที่ 2.3 แสดงการคำนวณชุดเฟืองหนอน	34

## สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1	แสดงการไหลและการผิดรูปของ ของไหลนิวทอนเนียน ระหว่างแผ่นกระจกสองแผ่นเนื่องจากอิทธิพลของความเค้น( shear stress )	5
รูปที่ 2.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนและอัตราการเฉือน	6
รูปที่ 2.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอัตราการเฉือนของ ของไหลนิวทอนเนียน 2 ชนิด คือ ของไหล A และ B	7
รูปที่ 2.4	เส้นกราฟของการไหลและเส้นกราฟของความหนืดของของไหลชนิดต่างๆ 1. ของไหลนิวทอนเนียน 2. ของไหลซูโดพลาสติก 3. ของไหลไดแลทแท้น และ 4. ของไหลบิงแฮม	8
รูปที่ 2.5	เส้นกราฟการไหลของของไหล ชนิดต่าง 1. ของไหลนิวทอนเนียน 2. ของไหลซูโดพลาสติกที่เป็นไปตามสมการยกกำลัง 3. ของไหลไดแลทแท้น 4. พอร์ติเมอร์หลอมบางชนิดเป็นของไหลซูโดพลาสติกแต่ไม่เป็นไปตามยกกำลัง	10
รูปที่ 2.6	สมบัติของของไหลทริกโซโทรปิก	11
รูปที่ 2.7	Hysteresis loop ของของไหลทริกโซโทรปิก 2 ชนิด คือ ของไหล A และ B	12
รูปที่ 2.8	สมบัติการไหลของของไหลรีโอเพลติก	12
รูปที่ 2.9	สมบัติการไหลของพอร์ติเมอร์หลอม	14
รูปที่ 2.10	ลักษณะของสกรูเครื่องเอกซ์ทรูด	15
รูปที่ 2.11	ความดันของพลาสติกหลอมที่ส่วนต่างๆของสกรูแสดงลักษณะของสกรู	16
รูปที่ 2.12	แสดงลักษณะของสกรู	16
รูปที่ 2.13	แสดงกระบอก	17
รูปที่ 2.14	แสดงแรงที่กระทำกับภาชนะความดัน	18
รูปที่ 2.15	แสดงแรงที่ทำให้ภาชนะความดันยืดออกตามแนวแกน	18
รูปที่ 2.16	แสดงแรงที่ทำให้ภาชนะความดันยืดออกตามแนวรัศมี	19
รูปที่ 2.17	แสดงกรวยเติมพลาสติก	20
รูปที่ 2.18	แสดงชุดรองรับความดัน	20
รูปที่ 2.19	แสดงรูปของแบร์ริง	21
รูปที่ 2.20	แสดงลักษณะการเอียงแนวของเพลลา	23
รูปที่ 2.21	แสดงคัปปลิงแบบรับแรงเฉือน	23
รูปที่ 2.22	แสดงรูปลิ้มแบน	24
รูปที่ 2.23	แรงบนรอยต่อด้วยลิ้ม	24
รูปที่ 2.24	แสดงวงจรการควบคุมมอเตอร์แบบ 1 เฟส	28
รูปที่ 2.25	แสดงวงจรการควบคุมมอเตอร์แบบ 3 เฟส	28
รูปที่ 2.26	แสดงรูปร่างหน้าตัดของสายพานลิ้มและล้อสายพาน	30
รูปที่ 2.27	ชุดเฟืองหนอน	33

รูปที่ 3.1	สกรูป้อนอัด	36
รูปที่ 3.2	กระบอกหลอม	37
รูปที่ 3.3	ช่องเก็บวัสดุ	37
รูปที่ 3.4	กล่องควบคุม	38
รูปที่ 3.5	วงจรการควบคุมมอเตอร์แบบ 3 เฟส	40
รูปที่ 4.1	ประกอบส่วนต่างๆของเครื่อง	42
รูปที่ 4.2	กระบอกหลอม	43
รูปที่ 4.3	กรวยเติมพลาสติก	43
รูปที่ 4.4	แม่พิมพ์	44
รูปที่ 4.5	ชุดเกียร์ทด	44
รูปที่ 4.6	มอเตอร์	45
รูปที่ 4.7	กล่องควบคุม	45
รูปที่ 4.8	ชุดป้องกันสายพาน	46
รูปที่ 4.9	ชุดป้องกันการสัมผัสความร้อนจากกระบอก	46
รูปที่ 4.10	แผ่นประคองสกรู	47
รูปที่ 4.11	แม่พิมพ์ และ ฮีตเตอร์	47
รูปที่ 4.12	คัปปลิงยาง และ สกรูป้อน	48
รูปที่ 4.13	วัสดุคิบบพลาสติก	49
รูปที่ 4.14	พลาสติกถูกอัดรีด	49
รูปที่ 4.15	ชิ้นงานเมื่อเริ่มเดินเครื่อง	50
รูปที่ 4.16	การตัดชิ้นงานหน้าแม่พิมพ์	50
รูปที่ 4.17	การดึงชิ้นงาน โดยใช้มือดึง	51
รูปที่ 4.18	ก้อนพลาสติกที่เกิดการแข็งตัวได้ ฮอปเปอร์	51

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญของโรงงาน

การเอ็กซ์ทรูดเป็นกระบวนการแปรรูปหลักของอุตสาหกรรมพลาสติกชนิดหนึ่ง โดยทั่วไปจะนิยามกระบวนการแปรรูปชนิดนี้ว่าเป็น การทำให้วัสดุมีรูปร่างตามที่ต้องการ โดยการอัดพลาสติกหลอมไหลผ่านหัวดายที่มีรูปร่างที่เหมาะสม การแปรรูปพลาสติกโดยการเอ็กซ์ทรูด จัดเป็นกระบวนการแปรรูปแบบต่อเนื่อง (continuous process) และผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่จะเป็นผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป (semi-finished product) ที่ต้องนำไปเข้ากระบวนการชนิดอื่นต่อไป เพื่อผลิตเป็นชิ้นงานขั้นสุดท้าย (finished product) ก่อนจะนำไปใช้งาน นอกจากนี้ อุตสาหกรรมการแปรรูปและการผลิตพอร์ติเมอร์แล้วยังมีการใช้เทคนิคการเอ็กซ์ทรูดในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น การผลิตเซรามิกส์ และการแปรรูปอาหาร เป็นต้น

การเอ็กซ์ทรูดเทอร์โมพลาสติก ทำโดยการให้พลาสติกผง (powder) หรือเม็ด (pellets) หลอมเป็นเนื้อเดียวแล้วผลักดันโดยการหมุนของสกรูให้พลาสติกหลอมไหลผ่านหัวดาย ที่มีรูปร่างตามลักษณะชิ้นงานที่ต้องการผลิต พลาสติกหลอมจะแข็งเมื่อออกจากดาย เนื่องจากการหล่อเย็น การเอ็กซ์ทรูดที่ยังไม่วัลคาไนซ์และพลาสติกที่อยู่ในกลุ่มเทอร์โมเซ็ทบางตัวก็สามารถกระทำได้ แต่พอร์ติเมอร์ในกลุ่มนี้จะเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงกัน เนื่องจากความร้อนที่ขณะทำการเอ็กซ์ทรูด

การเอ็กซ์ทรูดสามารถใช้ผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกในรูปแบบต่างๆ เช่น ผลิตเส้นใย (fiber) ท่อขนาดเล็ก (tube) ท่อขนาดใหญ่ (pipe) แผ่นพลาสติก (sheet) ฟิล์มพลาสติก (film) และชิ้นงานลักษณะเป็นโพรไฟล์

### 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1) เพื่อออกแบบและจัดสร้างเครื่อง พลาสติกเอ็กซ์ทรูด
- 2) เพื่อนำหลักการของเครื่อง พลาสติกเอ็กซ์ทรูดไปประยุกต์ใช้ในงานด้านอุตสาหกรรม
- 3) เพื่อนำพลาสติกที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่

### 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

- 1) สร้างเครื่อง พลาสติกเอ็กซ์ทรูด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของสกรูป้อน 25 มม.
- 2) เครื่อง พลาสติกเอ็กซ์ทรูด ใช้วัตถุดิบในการผลิตเป็นเทอร์โมพลาสติก ชนิดโพลีเอทิลีน โดยผ่านการย่อยจากเครื่องย่อยพลาสติกแล้วผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จะเป็นเส้นพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 มม.

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้เครื่อง พลาสติกเอ็กซ์ทรูด ที่มีขนาด สกรูป้อน 25 มม.
- 2) เป็นแนวทางในการศึกษาหลักการทำงานของระบบการ เอ็กซ์ทรูด
- 3) นำหลักการของเครื่อง ไปประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรกลในอุตสาหกรรมต่อไป
- 4) นำพลาสติกที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการดำเนินการสร้างเครื่องอัดเม็ดพลาสติก ได้เก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการดำเนินการ โดยได้แบ่งหัวข้อ ทั้งหมด 3 หัวข้อ คือ ประวัติความเป็นมาของพลาสติก ชนิดของพลาสติกและคุณสมบัติของพลาสติก และ ทฤษฎีการออกแบบ

#### 2.1 ประวัติความเป็นมาของพลาสติก

พลาสติกเป็นวัสดุที่มีความจำเป็นสำหรับการดำเนินชีวิตของมนุษย์ในยุคนี้มาก จะพบเห็นการใช้พลาสติกในทุกชนิดของอุตสาหกรรมและกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันตัวอย่างการใช้งานเช่น ทำถังและอุปกรณ์ต่างๆเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเคมี เครื่องใช้สำหรับเกษตรกรรม ของใช้ครัวเรือน เฟอร์นิเจอร์ และอีกมากมาย

พลาสติกได้ถือกำเนิดขึ้นในทวีปอเมริกาปี พ.ศ. 2411 ช่างพิมพ์ชาวอเมริกันชื่อ John Wesley Hyatt ได้ค้นพบพลาสติกชนิดแรกของสหรัฐอเมริกาชื่อเซลลูลอยด์ (Celluloid หรือ Cellulose Nitrate) โดยการนำเอาไพรอกซีลิน (Pyroxylin) ซึ่งทำจากฝ้ายกับกรดไนตริกผสมกับการบูร (Solid Camphor) ทำเป็นลูกบิลเลียดแทนการใช้งาช้างซึ่งเกิดขาดแคลนมากในขณะนั้น ขณะเดียวกันที่อังกฤษได้นำเอาไพรอกซีรีนไปทำเป็นแล็กเกอร์และวัสดุเคลือบผิว (Coating Materials) อื่น ๆ ต่อมาได้นำเอาเซลลูลอยด์ดัดแปลงไปใช้ทำเป็นหมึกพิมพ์ปลอม (สีชมพู) แทนการใช้ยางแข็งหลังจากนั้นได้นำเอาไปใช้ทำเป็นกระจกรถยนต์ จนกระทั่ง พ.ศ. 2425 บริษัท Eastman ได้ประดิษฐ์ทำเป็นฟิล์มภาพยนตร์ การคิดค้นพลาสติกได้หยุดชะงักไปชั่วระยะเวลาหนึ่ง จนกระทั่งปี พ.ศ. 2452 Dr. Henri Baekeland ได้ค้นพบพลาสติกชื่อ ฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์ (Phenol Formaldehyde) หรือ ฟีนอลิก (Phenolic) เข้าด้วยกันพลาสติกชนิดนี้เรารู้จักกันในชื่อ เบคเคอไรท์ (Bakelite) ซึ่งใช้ทำด้ามกระทะ หนูมือและอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ

สำหรับประเทศไทยนั้นพลาสติกได้นำเข้ามาใช้ในประเทศไทยกว่า 40 ปีก่อน โดยนำเข้ามาในรูปแบบของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป เช่น ของเด็กเล่น เครื่องใช้ภายในบ้าน ฯลฯ ประมาณปี พ.ศ. 2513 ผู้ประกอบการได้ตั้งเครื่องจักร และเม็ดพลาสติกมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ขึ้นในประเทศอุตสาหกรรมสาขาพลาสติกจึงได้เริ่มขึ้น และเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว

#### 2.2 ชนิดของพลาสติกและคุณสมบัติของพลาสติก

พลาสติกหรือที่เรียกว่า “ โพลีเมอร์ “ (Polymer) เป็นสารที่สังเคราะห์ขึ้นมาจากขบวนการที่เรียกว่า “ โพลีเมอร์ไรเซชัน “ (Polymerization) ซึ่งเป็นการก่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีทำให้หน่วยเล็กๆ ที่ เรียกว่า “ โมโนเมอร์ “ (Monomer) เกิดการรวมตัวเชื่อมต่อกัน ทำให้โมเลกุลมีขนาดใหญ่ขึ้นและเปลี่ยนสถานะทางกายภาพจากเดิมที่อาจอยู่ในรูปของ ก๊าซ หรือของเหลว ให้อยู่ในรูปของแข็ง ที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ พลาสติกที่มีใช้กันอยู่ในชีวิตประจำวันของเรานี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ใหญ่ ๆ คือ

## 2.2.1 เทอร์โมเซตติง ( Thermosetting )

เทอร์โมเซตติง ( Thermosetting ) พลาสติกชนิดนี้จะมีรูปทรงที่ถาวรเมื่อผ่านกรรมวิธีทางความร้อน ความดัน หรือตัวเร่งปฏิกิริยา การขึ้นรูปทำได้ยาก และไม่สามารถหลอมเหลวเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้ นอกจากนี้ยังมีความคงทนสูง รวมทั้งการใช้งานยังอยู่ในวงแคบ ทำให้ปัจจุบันมีการใช้งานในอุตสาหกรรมเพียงไม่กี่ประเภท พลาสติกประเภทนี้ได้แก่ เมลามีน ฟีนอลิก ยูเรียฟอร์มมาดีไฮด์ โพลีเอสเตอร์ที่ไม่อิมตัว เป็นต้น โดยส่วนใหญ่จะใช้ทำผลิตภัณฑ์เครื่องครัวต่างๆ เช่นถ้วยชาม หูหิ้ว กระจุก ช้อนส่วนปลั๊กไฟ พลาสติกหล่อ เช่น ชิ้นส่วนในเครื่องบิน ที่คาดผม เป็นต้น เทอร์โมเซตติงมีหลายชนิดด้วยกันแต่ที่สำคัญและใช้กันอยู่ทั่วไปมีดังนี้คือ อะมิโน ( Amino ) ฟีนอลิก ( Phenolic ) โพลีเอสเตอร์ ( Unsaturated Polyester Resin ) ซิลิโคน ( Silicone ) ยูรีเทน ( Uretane ) หรือ โพลียูรีเทน ( Polyurethane )

## 2.2.2 เทอร์โมพลาสติก ( Thermoplastics )

เทอร์โมพลาสติก ( Thermoplastics ) เป็นพลาสติกที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกครั้งหลังจากนำไปหล่อทำเป็นผลิตภัณฑ์แล้ว เปรียบเสมือนน้ำแข็งเมื่อทำให้เย็นน้ำจะแข็งตัว เมื่อถูกความร้อนก็จะละลาย และเมื่อทำให้เย็นก็จะกลับมาแข็งตัวอีกครั้ง และจะกลับไปกลับมาไม่มีที่สิ้นสุด เรียกว่า “ Plastics With a Memory “ พลาสติกประเภทนี้เมื่อได้รับความร้อน หรือความดันระหว่างขบวนการขึ้นรูป จะเปลี่ยนแปลงสถานะทางกายภาพ กล่าวคือ เมื่อได้รับความร้อน จะอ่อนนิ่มและเมื่อเย็นตัวลงจะแข็งตัว โดยที่โครงสร้างทางเคมีจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง ทำให้พลาสติกประเภทนี้มีคุณสมบัติที่สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำๆ ได้นอกจากนี้ยังสามารถนำมาขึ้นรูปได้งายต้นทุนการผลิตต่ำ และมีหลายชนิดที่สามารถนำมาใช้งานได้อย่างกว้างขวาง ปัจจุบันมีการนำไปใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ของเด็กเล่น ดอกไม้ประดิษฐ์ ชิ้นส่วนรถยนต์ และผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ พลาสติกประเภทนี้ที่สำคัญได้แก่ โพลีเอทิลีน ( PE ) โพลีไวนิลคลอไรด์ ( PVC ) โพลีโพรพิลีน ( PP ) โพลีสไตรีน ( PS ) โพลีเอทิลีนฟทาเลต ( PET ) ฯลฯ ชนิดของเทอร์โมพลาสติก ที่สำคัญและใช้งานกันอยู่โดยทั่วไปได้แก่ อะซีทัล ( Acetals ) อะคริลิก ( Acrylic ) ฟลูออโรคาร์บอน ( Fluorocarbons ) โพลีเอไมด์ ( Polyamide ) หรือ ไนลอน ( Nylon ) โพลีโอเลฟิน ( Polyolefin ) โพลีเอทิลีน ( Polyethylene ) โพลีสไตรีน ( Polystyene ) เอบีเอส ( ABS ) ไวนิล ( Vinyl ) เซลลูลอส ( Cellulose ) โพลีคาร์บอเนต ( Polycarbonate ) ไอโอโนเมอร์ ( Ionomer ) โพลีเอไมด์ ( Polyamide ) โพลีซัลโฟเน ( Polysulphone ) เอทิลีนไวนิลอะซิเตต ( EVA ) โพลีเอสเตอร์ ( Polyester )

ในประเทศไทยนิยมใช้พลาสติกจำพวกเทอร์โมพลาสติกกันมากที่สุดในปัจจุบัน เนื่องจากความสามารถในงานหลายประเภท โดยเฉพาะงานด้านบรรจุภัณฑ์ พลาสติกที่มีการผลิตในรูปแบบต่างๆ เช่น

โพลีเอทิลีน ( PE ) ผลิตเป็นถุงพลาสติกทั้งชนิดร้อนและชนิดเย็น ขวด ถัง กระจุก พลาสติก และแผ่นพลาสติกประเภทอ่อนนุ่ม เป็นต้น

โพลีโพรพิลีน ( PP ) นิยมผลิตมาในรูปถุงใส่อาหาร เสื้อผ้าสำเร็จรูป กระจุกพลาสติก ปูนซีเมนต์ เป็นต้น โพลีไวนิลคลอไรด์ ( PVC ) และ โพลีสไตรีน ( PS ) นิยมผลิตถึงบรรจุผักสด ผลไม้ และเนื้อสดบางชนิด เป็นต้น

เนื่องจากคุณสมบัติที่หลากหลายประการของพลาสติก โดยเฉพาะต้นทุนที่ต่ำ ทำให้การใช้พลาสติกในอุตสาหกรรมขยายตัวอย่างรวดเร็ว อีกทั้งยังได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายปริมาณการใช้เพิ่มขึ้นมาก

## 2.3 ทฤษฎีการออกแบบ

### 2.3.1 ความหนืดและสมบัติการไหล

เมื่อของไหล (fluid) เกิดการไหล (เมตร / วินาที) และอัตราการไหล (เมตร<sup>3</sup> / วินาที) ถูกควบคุมโดยการต้านทานภายใน (internal resistance) ของของไหลนั้น ความต้านทานภายในของของไหลคือค่าความหนืด (viscosity) ซึ่งในทางปฏิบัติหาได้จากการใช้เครื่องมือรีโอมิเตอร์ นอกจากค่าความหนืดแล้ว เครื่องรีโอมิเตอร์ยังใช้ในการวัดคุณสมบัติอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการไหล เช่นความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (stress) และความเครียด (strain) เป็นต้น ความหนืดของคุณสมบัติต่างๆ มีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความหนืดของวัสดุต่างๆ

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

จากตารางที่ 2.1 พบว่าพลาสติกหลอมเป็นของไหลที่มีความหนืดอยู่ในช่วง  $10^2 - 10^6$  ปาสคาล วินาที ของไหลชนิดนี้แสดงพฤติกรรมการไหลที่ซับซ้อนมาก กล่าวคือ ค่าความหนืดเปลี่ยนแปลงตามแฟลคเตอร์ต่างๆ เช่น อัตราการเฉือน (shear rate) เวลาที่ใช้ในการไหล อุณหภูมิ ความดันและแรงกระทำจากภายนอก ในขณะที่ไหลพลาสติกหลอมสนองตอบต่อคุณสมบัติทั้งการไหลแบบเฉือน (shear property) และการไหลแบบยืด (extensional property) ที่ต่างกัน กล่าวคือ มีทั้งการไหลหนืด (viscous flow) ตอบสนองต่อความเค้นเฉือน (shear stress) และการไหลแบบยืดตอบสนองต่อความเค้นยืด (tensile stress หรือ extensional stress)

พอลิเมอร์หลอมเป็นวัสดุประเภทวิสโคอีลาสติก (viscoelastic material) กล่าวคือมีทั้งลักษณะหนืด

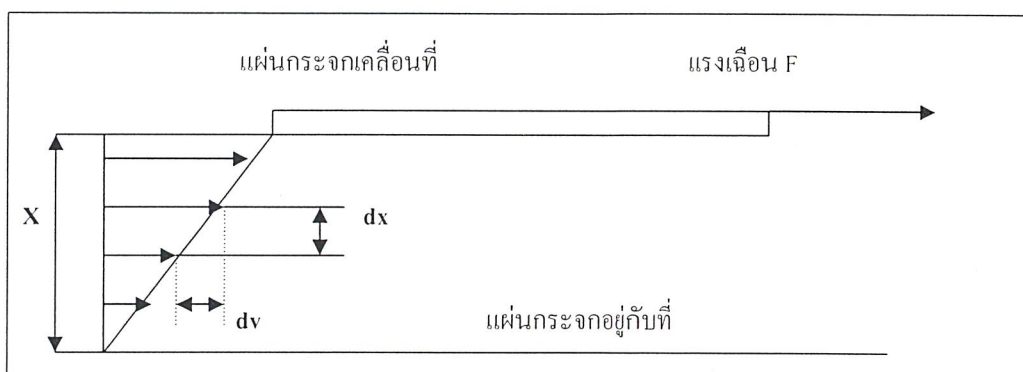
( viscous ) ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของ ของไหล ( fluid ) และยืดหยุ่น ( elastic ) ซึ่งเป็นคุณสมบัติของ ของแข็งยืดหยุ่น ปริมาณหรือองศาของความหนืดและความยืดหยุ่นของพอลิเมอร์หลอม ขึ้นอยู่กับสภาวะของการแปรรูป ชนิดของพอลิเมอร์ พฤติกรรมการไหลของพอลิเมอร์หลอมมีความซับซ้อนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ขณะไหลในเครื่องแปรรูป

### 2.3.2 การแบ่งชนิดของของไหล

คุณสมบัติการไหลของพอลิเมอร์หลอมในกระบวนการแปรรูป มีความจำเป็นที่ต้องเรียนรู้ ลักษณะการไหลของ ของไหลชนิดต่างๆ โดยทั่วไป แบ่งชนิดของ ของไหลตามพฤติกรรมการไหลได้ 2 ชนิด คือ

#### 2.3.2.1 ของไหลอุดมคติหรือของไหลนิวทอนเนียน ( Ideal or Newtonian Fluids )

พิจารณาการผิดรูปและการไหลของ ของไหลนิวทอนเนียนที่วางตัวอยู่ระหว่างแผ่นกระจกใสบาง 2 แผ่นมีพื้นที่ กว้างมาก (A) มีระยะห่างเป็น X เมตร ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงการไหลและการผิดรูปของ ของไหลนิวทอนเนียนระหว่างแผ่นกระจกสองแผ่นเนื่องจากอิทธิพลของความเค้น (shear stress)

ใช้แรง F ( นิวตัน ) ซึ่งเป็นแรงคงที่ดึงแผ่นกระจกด้านบนด้วยความเร็ว V ( เมตรต่อวินาที ) ในขณะที่ให้แผ่นล่างอยู่กับที่ สามารถคำนวณความเค้นได้ดังนี้

$$\tau = F/A = \eta \, dv/dx = \eta \, \gamma \tag{2.1}$$

- เมื่อ
- $\eta$  คือ ความหนืดของของไหลนิวทอนเนียน ( Newtonian viscosity ) มีหน่วยเป็น ปาสคาล วินาที
  - $\gamma$  คือ อัตราการเฉือน ( shear rate ) มีหน่วยเป็น ( วินาที )<sup>-1</sup>
  - F คือ แรงที่ใช้ดึงแผ่นด้านบน มีหน่วยเป็น นิวตัน
  - v คือ ค่าความเร็วของการเคลื่อนที่ มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที
  - $\tau$  คือ ความเค้นเฉือน ( shear stress ) มีหน่วยเป็น ปาสคาล ( นิวตันต่อตารางเมตร )

ดังนั้นในกรณีการไหลของ ของไหลนิวโตเนียน ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน และ อัตราการเฉือน จะเป็นเส้นตรง ซึ่งแสดงดังสมการที่ 2.2

$$\tau \propto (dv/dx) \quad (2.2)$$

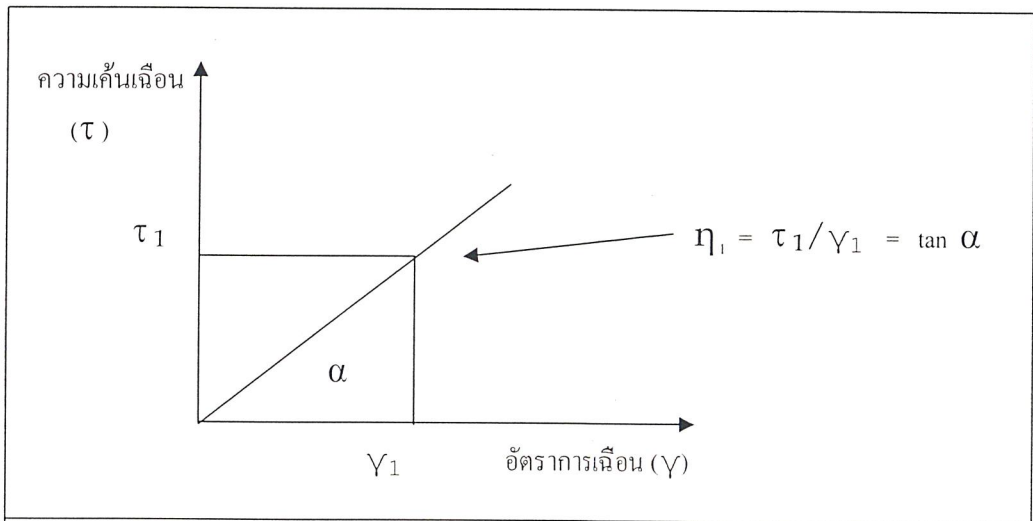
ค่าความหนืดเฉือนของ ของไหลนิวโตเนียน สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$\eta = \tau / \dot{\gamma} = \tan \alpha \quad (2.3)$$

เมื่อ

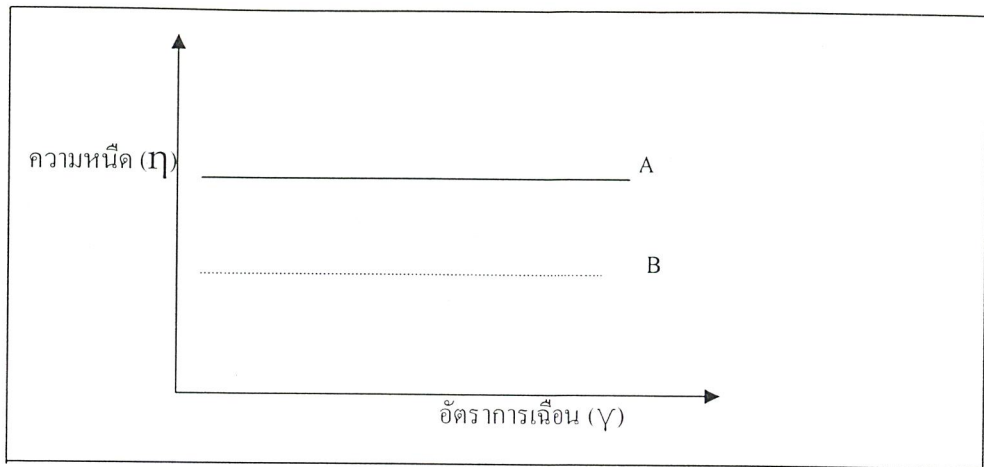
$\alpha$  คือ มุมที่เส้นกราฟของความหนืดทำมุมกับแกนของอัตราการเฉือน ดังรูปที่ 2.2

ดังนั้นจะเห็นว่ากราฟที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนกับอัตราการเฉือนของ ของไหลนิวโตเนียน จะเป็นเส้นตรง ซึ่งแสดงถึงค่าความหนืดของการไหลของ ของไหลนิวโตเนียนคงที่ กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน และอัตราการเฉือนมักจะเรียกว่า เส้นกราฟของการไหล (flow curve) ค่าความหนืดของ ของไหลนิวโตเนียนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และชนิดของของไหล ตัวอย่างของไหลในกลุ่มของ ของไหลนิวโตเนียนส่วนใหญ่เป็นของไหลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น น้ำ น้ำมันพืช และ ตัวทำละลายอินทรีย์



รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนและอัตราการเฉือน

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด ของของไหลนิวโตเนียนกับ อัตราการเฉือน เป็นกราฟเส้นตรง แสดงดังรูปที่ 2.3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าของไหลสองชนิดมีค่าความหนืดคงที่ แต่ ของไหล A มีค่าความหนืดเฉือนสูงกว่าของไหล B ที่ทุกค่าของอัตราการเฉือน



รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอัตราการเฉือนของของไหลนิวทอนเนียน 2 ชนิด คือ ของไหล A และ B

### 2.3.2.2 ของไหลนอนนิวทอนเนียน (Non – Newtonian Fluids)

จากรูปที่ 2.3 พบว่าค่าความหนืดของ ของไหลนิวทอนเนียน มีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับอัตราการเฉือนและไม่ขึ้นกับเวลาที่ใช้ในการไหล แต่มีวัสดุหลายชนิดที่ไม่แสดงสมบัติการไหลทำนองเดียวกับของไหลนิวทอนเนียน กล่าวคือสมบัติการไหลมีการเบี่ยงเบนไปจากนี้ ตัวอย่างวัสดุเหล่านี้ เช่น พอลิเมอร์หลอม สารละลายพอลิเมอร์ และน้ำยาง เป็นต้น เรียกของไหลกลุ่มนี้ว่าเป็น ของไหลนอนนิวทอนเนียน ซึ่งมีสมบัติเฉพาะที่สำคัญ คือเส้นกราฟของการไหล (flow curve) ไม่เป็นเส้นตรงดังเช่นกรณีการไหลของของไหลนิวทอนเนียน และความหนืดของการไหลขึ้นอยู่กับอัตราการเฉือนและประวัติการถูกเฉือน (shear history) ของไหลที่แสดงพฤติกรรมการไหลแบบนอนนิวทอนเนียนแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ

### 2.3.3 กลุ่มของไหลที่สมบัติการไหลไม่ขึ้นกับเวลา (Time – Independent Fluids)

นิยามทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายสมบัติการไหลของของไหลไม่ขึ้นกับเวลาแสดงดังสมการ 2.4

$$\gamma = f(\tau) = \tau / \eta \quad (2.4)$$

ถ้าเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนกับอัตราการเฉือน (flow curve) และระหว่างความหนืดกับอัตราการเฉือน (viscosity curve) (ดูรูปที่ 2.4) ของไหลในกลุ่มนี้เปรียบเทียบกับของไหลนิวทอนเนียน พบว่าสามารถแบ่งพฤติกรรมการไหลตามชนิดของของไหลได้ 3 ประเภท คือ ของไหลบิงแฮม ของไหลชูดิวพลาสติก และของไหลไคเลทแท่น

#### 2.3.3.1 การไหลของของไหลบิงแฮม (Bingham Fluid)

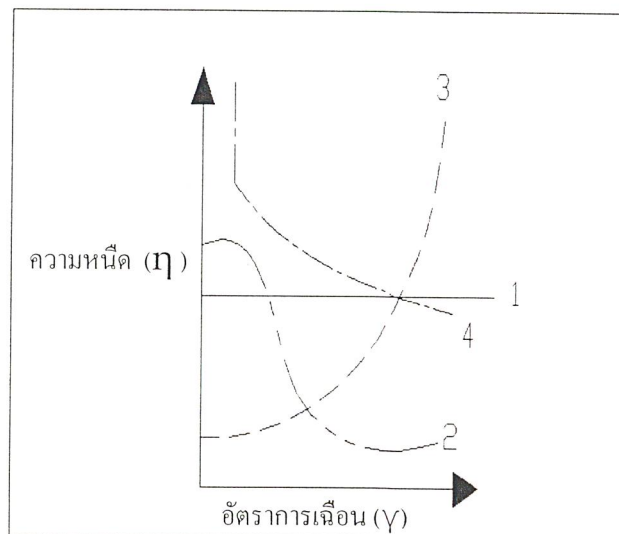
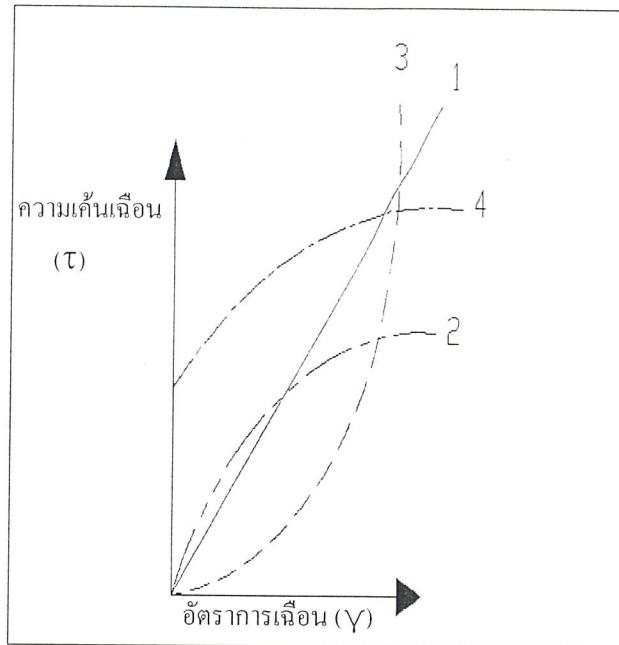
ของไหลบิงแฮม มีโครงสร้างภายในที่มีลักษณะพิเศษ และจะไม่เกิดการไหลอย่างทันทีทันใดเมื่อได้รับความเค้น แต่เมื่อได้รับความเค้นที่มีขนาดมากกว่าความเค้นเฉือนค่าหนึ่ง ที่เรียกว่า yield stress โครงสร้างภายในจะเกิดการสูญเสียสภาพ และเริ่มเกิดการไหลที่ค่าความเค้นเฉือนมากกว่าค่านี้ ได้เส้นโค้งของการไหลเป็นเส้นตรง กล่าวคือ มีพฤติกรรมเหมือนเดียวกับกรณีของไหลนิวทอนเนียน สมบัติการไหลของของไหลบิงแฮมอธิบายได้โดยใช้ สมการที่

$$\dot{\gamma} = 1/\eta (\tau - \tau_y) \quad (2.5)$$

เมื่อ

$$\tau \geq \tau_y$$

ตัวอย่างของไหลที่เป็นของไหลบิงแฮม เช่น ยาสีฟัน ซอสมะเขือเทศ และ ของไหลที่ใช้ในการขุดเจาะ น้ำมัน (drilling fluid )



รูปที่ 2.4 เส้นกราฟของการไหลและเส้นกราฟของความหนืดของของไหลชนิดต่างๆ

1. ของไหลนิวทอนเนียน 2. ของไหลซูโดพลาสติก 3. ของไหลไคแลทแท้น และ 4. ของไหลบิงแฮม

### 2.3.3.2 ของไหลซูโดพลาสติก ( Pseudo plastic fluid )

การไหลของซูโดพลาสติกมีความหนืดลดลงเมื่อเพิ่มค่าอัตราเฉือน ( ดูรูป 2.4 ) เรียกการไหลแบบนี้ว่าเป็น พฤติกรรมการลดความหนืด ( shear thinning behavior ) นอกจากนี้เส้นกราฟของการไหล จะมีแนวโน้มขนานกับแกนของ อัตราการเฉือนเมื่อค่าอัตราการเฉือนมีค่าสูง คุณสมบัติอีกอย่างหนึ่งของ ของไหลชนิดนี้คือ ไม่มีลักษณะที่มีค่าความเค้น คงที่ขณะเพิ่มอัตราการเฉือน เหมือนกรณีของไหลบิงแฮม

มีการเสนอสมการจำนวนมาก เพื่ออธิบายสมบัติการไหลของของไหลซูโดพลาสติก แต่สมการที่ได้รับการยอมรับในความถูกต้องมากที่สุดคือ สมการยกกำลัง ( power law equation หรือ Ostwald – de – Waele equation ) รายละเอียดของสมการ แสดงดังในสมการ ที่ 2.6

$$\tau = K ( \dot{\gamma} )^n \quad (2.6)$$

$$\eta = K ( \dot{\gamma} )^{n-1} \quad (2.7)$$

เมื่อ

$n$  คือ ดัชนีของสมการยกกำลังหรือดัชนีนอนนิวทอนเนียน

$K$  คือ ดัชนีของความเหนียวแน่น ( consistency index )

สามารถใช้ค่าดัชนีของการยกกำลังในการจำแนกชนิดของของไหลได้ กล่าวคือ ของไหลนิวทอนเนียนมีค่า  $n = 1$  เสมอ แต่ของไหลซูโดพลาสติกจะมีค่า  $n$  น้อยกว่า 1 ตัวอย่างของไหลที่มีพฤติกรรมการไหลแบบซูโดพลาสติก เช่น พอลิเมอร์หลอม สารละลายพอลิเมอร์ อาหารเหลวชนิดต่างๆ

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

พอลิเมอร์หลอมขณะไหลในเครื่องแปรรูปมีพฤติกรรมซับซ้อนกว่าการอธิบายด้วยสมการยกกำลัง กล่าวคือมีเวลาในการบิดรูปและการคืนตัวของโมเลกุลหรือมีเวลาของการคลายตัวเข้ามาเกี่ยวข้อง แต่ในทางวิศวกรรมและทางเทคโนโลยีพอลิเมอร์ มักจะอนุโลมใช้สมการยกกำลังเป็นเกณฑ์ในการออกแบบและสร้างเบ้า หัวคาย และ การทดสอบสมบัติการไหลเบื้องต้นของพอลิเมอร์หลอมเสมอแต่บรรดานักเทคโนโลยีพอลิเมอร์ทราบดีว่าการใช้สมการยกกำลังเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะอธิบายพฤติกรรมทุกด้านของพอลิเมอร์หลอม โดยเฉพาะปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการไหลแบบยืด ( extensional flow ) และการเป็นวิสโคอีลาสติก ( viscoelasticity ) ได้การใช้สมการยกกำลังเป็นเพียงการประเมินสมบัติการไหลในเบื้องต้นเท่านั้น นอกจากนี้ยังพบว่าพอลิเมอร์หลอมทุกชนิดมีสมบัติการไหลแบบซูโดพลาสติกในบางช่วงของอัตราการเฉือนเท่านั้น กล่าวคือถ้าพอลิเมอร์หลอมที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของอัตราการเฉือนที่ต่ำมาก (  $< 3$  วินาที<sup>-1</sup> ) และสูงมาก จะมีคุณสมบัติเป็นของไหลนิวทอนเนียน

นอกจากสมการยกกำลังแล้วยังมีสมการชนิดอื่นๆที่ใช้ในการอธิบายสมบัติการไหลของของไหลซูโดพลาสติกสรุปได้ดังสมการ ที่ 2.8 – 2.10 แต่สมการเหล่านี้ไม่ได้รับความนิยมเท่าสมการยกกำลังสมการพรานด์ท์ ( Prandtl equation )

$$\tau = A \sin^{-1} ( \dot{\gamma} / C ) \quad (2.8)$$

สมการไอรिंग ( Eyring equation )

$$\tau = \gamma / B + C \sin ( \tau / A ) \tag{ 2.9 }$$

สมการ คาร์รีวีย์ ( Carreau equation )

$$\tau = \gamma ( \eta_{\infty} + ( \eta_0 - \eta_{\infty} ) / ( 1 + ( \gamma / \gamma_b )^2 )^{n/2} ) \tag{ 2.10 }$$

เมื่อ

A , B และ C คือ ค่าคงที่

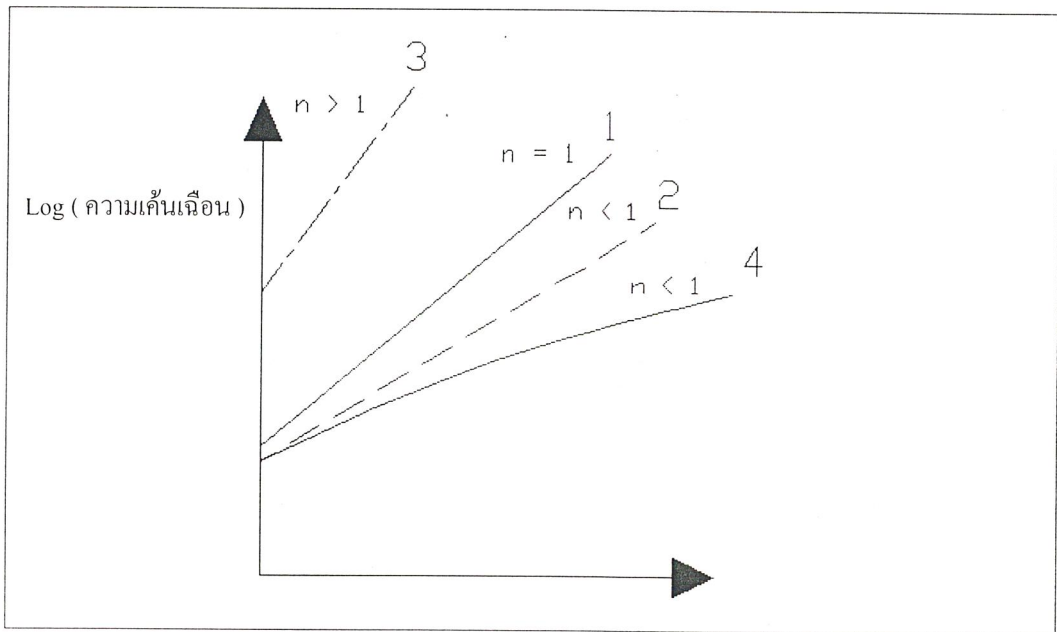
$\eta_{\infty}$  คือ ค่าความหนืดแบบเฉือนที่ค่าอัตราการเฉือนสูงมากๆ ( Infinity shear viscosity )

$\eta_0$  คือ ค่าความหนืดแบบเฉือนที่ไม่มีค่าอัตราการเฉือน ( Zero shear viscosity )

### 2.3.3.3 ของไหลไดแลทแทน ( Dilatant fluid )

จากรูปที่ 2.4 จะสังเกตเห็นว่าการไหลของของไหลไดแลทแทนมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการเฉือน เรียกว่าพฤติกรรมการไหลแบบนี้ว่าเป็นพฤติกรรมการไหลแบบเพิ่มความหนืด ( shear thickening behavior ) ตัวอย่างของไหลที่แสดงพฤติกรรมในลักษณะนี้ เช่น การไหลของปูนซีเมนต์ การไหลของน้ำผสมแป้ง และการไหลของพอร์ติเมนต์แขวนลอยที่มีสารตัวเติมในปริมาณสูง เป็นต้น สามารถใช้สมการยกกำลัง ในการอธิบายสมบัติการไหลของของไหลไดแลทแทนได้เช่นกัน ตามสมการยกกำลังของไหลไดแลทแทนคือของไหลที่มีค่า n มากกว่า 1

สมการยกกำลังสามารถใช้ในการอธิบายพฤติกรรมการไหลของของไหลชนิดต่างๆ สรุปได้ในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เส้นกราฟการไหลของของไหล ชนิดต่าง 1. ของไหลนิวทอนเนียน 2. ของไหลซูโดพลาสติกที่เป็นไปตามสมการยกกำลัง 3. ของไหลไดแลทแทน 4. พอร์ติเมนต์หลอมบางชนิดเป็นของไหลซูโดพลาสติกแต่ไม่เป็นไปตามยกกำลัง

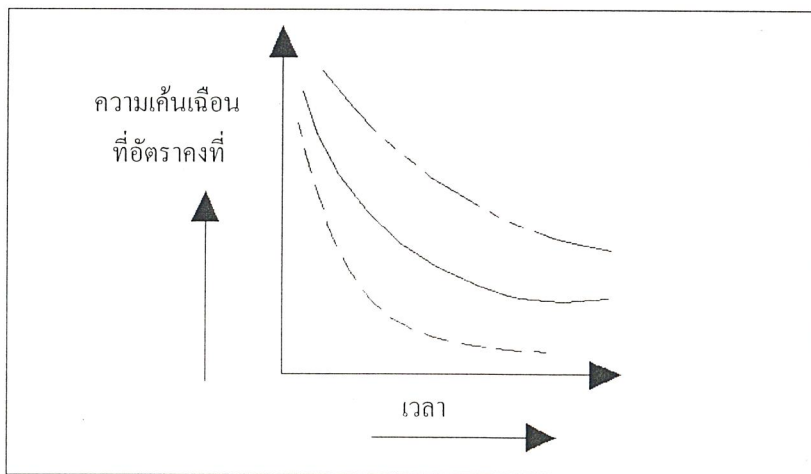
### 2.3.4 กลุ่มของไหลที่สมบัติการไหลขึ้นกับเวลา (Time – Dependent fluids )

สมบัติการไหลของของไหลชนิดนี้ เช่น ความหนืดเฉือน เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาที่ของไหลถูกเฉือน หรือ อาจเรียกรวมได้ว่าของไหลชนิดนี้มีประวัติของการเฉือน ( shear history ) ของไหลที่มีพฤติกรรมในลักษณะนี้สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ใหญ่ๆ คือ

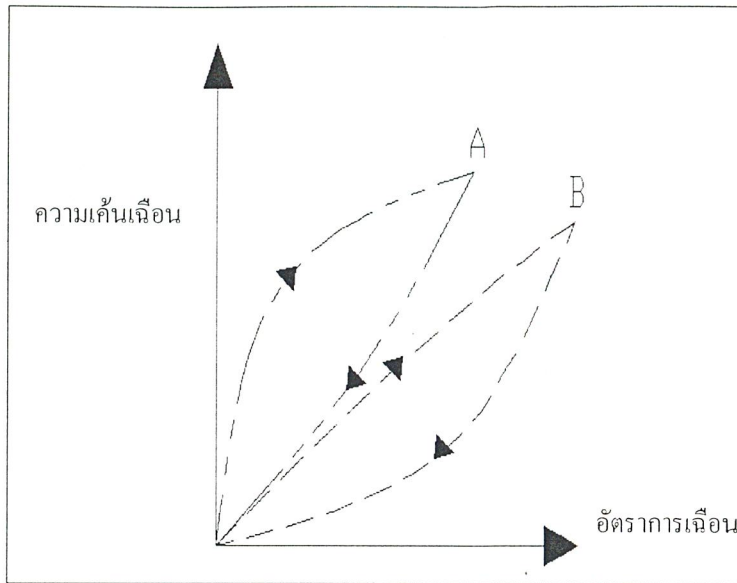
#### 2.3.4.1 ของไหลทริกโซทรอปิก ( Thixotropic fluids )

ลักษณะเฉพาะของการไหลของของไหลชนิดนี้คือ ค่าความหนืดของการผิรุปร่างหลังจากจะต่ำกว่าความหนืดของการผิรุปร่างก่อน ดังนั้นสมบัติการไหลของของไหลชนิดนี้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ถูกเฉือน เช่น ถ้ากวนของไหลชนิดนี้เป็นเวลานานด้วยอัตราการเฉือนคงที่ จะทำให้สมบัติการไหล เช่น ความหนืดเฉือนลดลง ดังแสดงดังรูปที่ 2.6 นอกจากนี้ถ้าเปรียบเทียบค่าความเค้นเฉือนที่ได้จากการใช้อัตราการเฉือนที่คงที่ แต่มีค่าแตกต่างกัน พบว่าการเพิ่มอัตราการเฉือน ส่งผลให้ความเค้นเฉือนลดลง

เพื่อเข้าใจถึงพฤติกรรมของการไหลของของไหลทริกโซทรอปิก ทำการทดลองวัดสมบัติการไหลโดยใช้เครื่องรีโอมิเตอร์แบบหมุนที่สามารถวัดทอร์คและความเค้นเฉือนได้ ทำการกวนของไหลที่ความเร็วค่าหนึ่งแล้ววัดค่าความเค้นไว้ แล้วเพิ่มความเร็วในการกวนแล้ววัดความเค้น ทำอย่างนี้หลายความเร็วของการหมุน จนถึงความเร็วสูงสุดของการหมุน หลังจากนั้นเริ่มลดความเร็วของการหมุนโดยไม่หยุดเครื่อง แล้ววัดค่าความเค้นที่ค่าความเร็วในการหมุนเท่ากัน ผลการทดลองพบว่าเส้นกราฟของความเค้นของการเพิ่มและลดความเร็วของการหมุนจะไม่ซ้อนทับกันเกิดเป็น hysteresis loop แสดงดังรูปที่ 2.7 ตัวอย่างของไหลที่มีพฤติกรรมของการไหลแบบของไหลทริกโซทรอปิก เช่น สีทาภายนอกและภายใน น้ำยาบางชนิด สเลอรีของเซรามิกส์ เป็นต้น



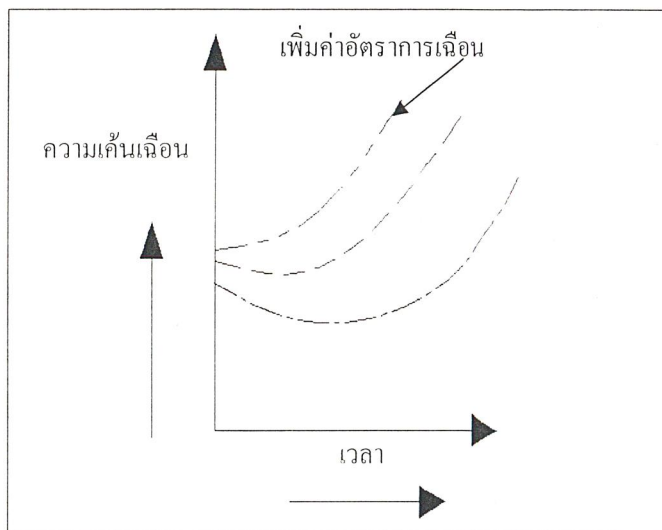
รูปที่ 2.6 สมบัติของของไหลทริกโซทรอปิก



รูปที่ 2.7 Hysteresis loop ของของไหลทริกโซทรอปิก 2 ชนิด คือ ของไหล A และ B

#### 2.3.4.2 ของไหลรีโอเปคติก (Rheopectic Fluids)

ของไหลรีโอเปคติกมีคุณสมบัติการไหลกลับกับกรณีของไหลทริกโซทรอปิก กล่าวคือ ค่าของสมบัติ การไหล เช่น ความหนืดสูงขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาของการเฉือน ทำให้ของไหลชนิดนี้มีความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อการถูกระทำด้วยความเค้นเฉือน ตัวอย่างของไหลที่แสดงพฤติกรรมในลักษณะนี้เช่น แรยิบซัมในน้ำเป็นต้น ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงความเค้นเฉือนเมื่อเวลาของการเฉือนเพิ่มขึ้นในของไหลรีโอเปคติก แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 สมบัติการไหลของของไหลรีโอเปคติก

### 2.3.4.3 ของไหลวิสโคอีลาสติก ( Viscoelastic Fluids )

ของไหลวิสโคอีลาสติก เป็นวัสดุที่แสดงสมบัติผสมระหว่างการไหลหนืด ( viscous flow ) และการยืดหยุ่น ( elastic ) อธิบายสมบัติการไหลโดยรวมได้ดังนี้

$$\tau = \Phi ( d\gamma / dt , t ) \quad ( 2.11 )$$

เมื่อ

$d\gamma / dt$  คือ อัตราเฉือน ( $\gamma$ )

$\Phi$  คือ สมบัติการไหลที่เกิดจากการไหลหนืดและการยืดหยุ่น

$t$  คือ เวลา

### 2.3.5 พฤติกรรมการไหลของพอลิเมอร์หลอม

พอลิเมอร์หลอมแสดงพฤติกรรมสอดคล้องกับการไหลของการไหลของพลาสติก ซึ่งเป็นพฤติกรรมการไหลที่ไม่ขึ้นกับเวลา แต่เป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่าพอลิเมอร์หลอม แสดงสมบัติขึ้นของไหลที่มีสมบัติขึ้นกับเวลาด้วย กล่าวคือ มีสมบัติการไหลเป็นแบบของไหลวิสโคอีลาสติกด้วย เนื่องจากมีปรากฏการณ์หลายอย่างที่เกิดขึ้นซึ่งบ่งถึงการมีสมบัติการไหลของวิสโคอีลาสติกของพอลิเมอร์หลอม เช่น การบวมพองที่หัวคาย การบวมพองในขณะรีด

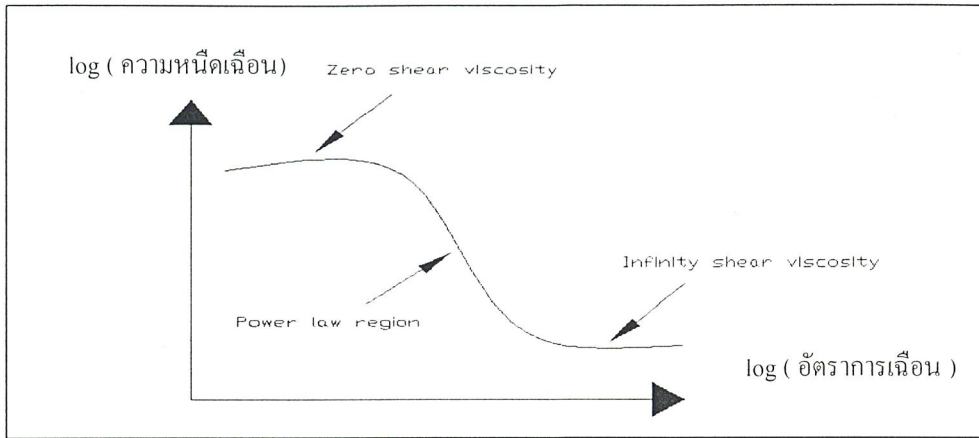
พอลิเมอร์หลอมเป็นของไหลพลาสติกดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า การประเมินสมบัติข้างต้นของพอลิเมอร์หลอม นิยมใช้สมการยกกำลังเป็นเกณฑ์ในการพิจารณา ดังนั้นในกรณีนี้พอลิเมอร์หลอมจะมีพฤติกรรมการไหลแบบของไหลพลาสติก เส้นกราฟของความหนืดเทียบกับอัตราการเฉือนในสเกล log-log แสดงดังรูป มีลักษณะเป็นเส้นตรงที่ค่าความหนืดต่ำมากและสูงมาก กล่าวได้ว่าทั้งสองช่วงของอัตราการเฉือนนี้ พอลิเมอร์หลอมมีสมบัติเป็นของไหลนิวทอนเนียน ค่าความหนืดที่ไม่มีอัตราเฉือน ส่วนค่าความหนืดเฉือนที่ไม่มีอัตราเฉือน ส่วนค่าความหนืดที่ค่าอัตราเฉือนสูงมากเรียกว่า ความหนืดเฉือนอนันต์ ช่วงกลางของเส้นกราฟของความหนืด ค่าความหนืดเฉือนมีค่าลดลงเมื่ออัตราการเฉือนเพิ่มขึ้น ในช่วงกลางนี้เองพอลิเมอร์หลอมจะแสดงพฤติกรรมเป็นไปตามสมการยกกำลัง และเป็นของไหลพลาสติก

สมบัติของพอลิเมอร์หลอมในช่วงที่คุณสมบัติของไหลพลาสติกซึ่งอธิบายด้วยสมการยกกำลัง แสดงในรูปแบบสอดคล้องกับการจัดเรียงตัวโมเลกุลระหว่างที่เกิดการไหลกล่าวคือขณะที่อัตราการเฉือนเพิ่มขึ้น โมเลกุลจะจัดเรียงตัวใหม่เพื่อทำให้โมเลกุลเคลื่อนตัวผ่านโมเลกุลอื่นได้อย่างง่ายขึ้น ส่งผลให้การต่อต้านต่อการไหลลดลงตามอัตราการเฉือนที่เพิ่มขึ้น จากการสังเกตเส้นกราฟของความหนืดในรูป ถ้าพอลิเมอร์หลอมไม่มีสมบัติการไหลเป็นพลาสติก กล่าวคือความหนืดไม่ลดลงตามอัตราการเฉือน จะทำให้การแปรรูปของพอลิเมอร์ทำได้ยากมากเนื่องจากความหนืดที่สูงแต่เป็นโพลีที่อัตราการเฉือนที่มาก ค่าความหนืดของพอลิเมอร์

หลอมลดลง จึงทำให้สามารถแปรรูปพอลิเมอร์หลอมได้ง่ายขึ้นการมีสมบัติเป็นของไหลพลาสติกของพอลิเมอร์หลอม ทำให้มีข้อดีหลายประการ ดังนี้

- ทำให้ลดพลังงานที่ใช้ในการแปรรูป
- สามารถผลิตชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ได้ง่ายขึ้น
- สามารถใช้เครื่องที่ต้องการกำลังต่ำได้
- เพิ่มปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ได้ดี
- ความดันในการแปรรูปต่ำ

- สามารถทำให้พอลิเมอร์หลอมไหลเข้าเบ้าที่มีความซับซ้อนได้

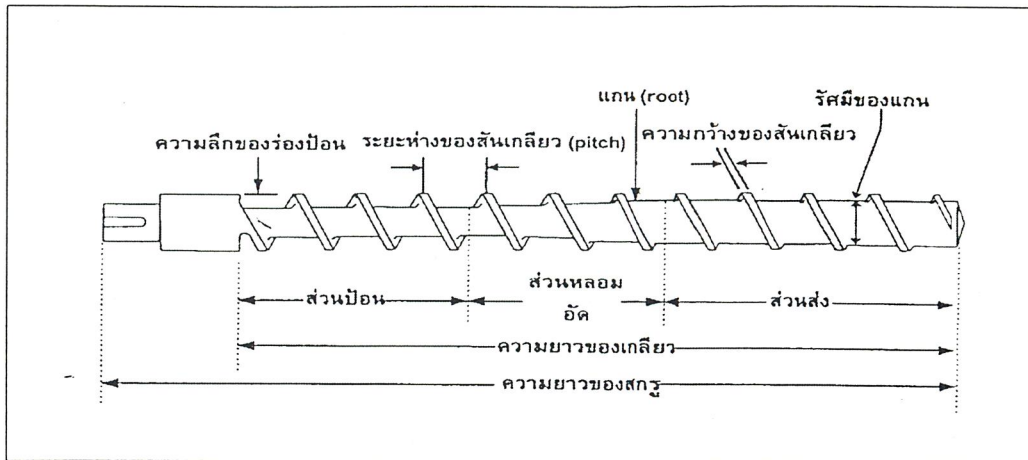


รูปที่ 2.9 สมบัติการไหลของพอลิเมอร์หลอม

การออกแบบเครื่องแปรรูป เบ้า และ คาย ใช้ในกระบวนการแปรรูปพอลิเมอร์ ซึ่งสามารถใช้งานได้ดี เพียงแค่พิจารณาว่าพอลิเมอร์หลอมเป็นของไหลหนืด ( หรือของไหลซูโดพลาสติก ) เท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์การไหลของพอลิเมอร์หลอมที่มีสมบัตินี้แบบ ควรจะพิจารณาสมบัติทั้งทางด้านการไหลหนืด และผลที่เกิดจากการยืดหยุ่นของพอลิเมอร์หลอม ถึงแม้ว่า ถ้านำความคิดเรื่องความยืดหยุ่นของพอลิเมอร์หลอมเข้ามาพิจารณา ในการออกแบบเครื่องแปรรูปพลาสติก จะทำได้ยากและซับซ้อนมาก ดังนั้น การออกแบบเครื่องแปรรูปส่วนใหญ่ไม่ค่อยมีการนำเอาหลักการไหลแบบยืดหยุ่น เข้ามาคิดและคำนวณในแง่ของการศึกษาสมบัติการไหลของพอลิเมอร์หลอมในเครื่องแปรรูป โดยเฉพาะในส่วนที่เป็นหัวคายของเครื่องเอกซ์ทรูด และ หัวฉีดของเครื่องฉีดเข้าแบบ สมการที่ใช้ในการอธิบายสมบัติการไหลของพอลิเมอร์หลอมรวมทั้งการไหลหนืดและการไหลยืดหยุ่น ไว้ในสมการเดียวกัน เรียกว่าสมการของสถานการณไหล หรือ Constitutive equation

### 2.3.6 สกรู ( Extruder Screws )

สกรูของเครื่องเอกซ์ทรูดเป็นสกรูแบบอาคิมิเดียน ( Archimedean screw ) ซึ่งเป็นสกรูที่ใช้ในการแปรรูปพลาสติก โดยมักแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนป้อน ( Feed หรือ solid conveying section ) ส่วนหลอมอัด ( transition หรือ compression ) ส่วนส่งพลาสติกหลอม ( metering ) ตัวอย่างของสกรูแสดงดังรูปที่ 2.10

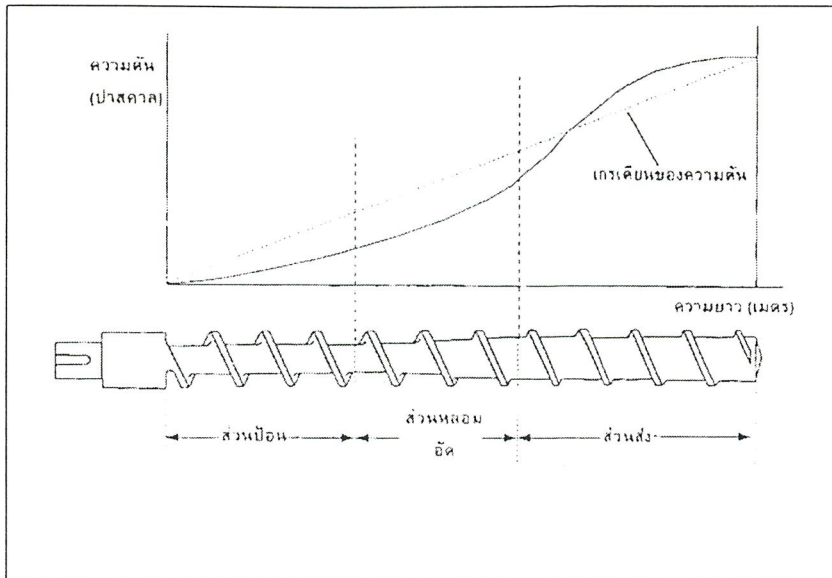


รูปที่ 2.10 ลักษณะของสกรูเครื่องเอ็กซ์ทรูด

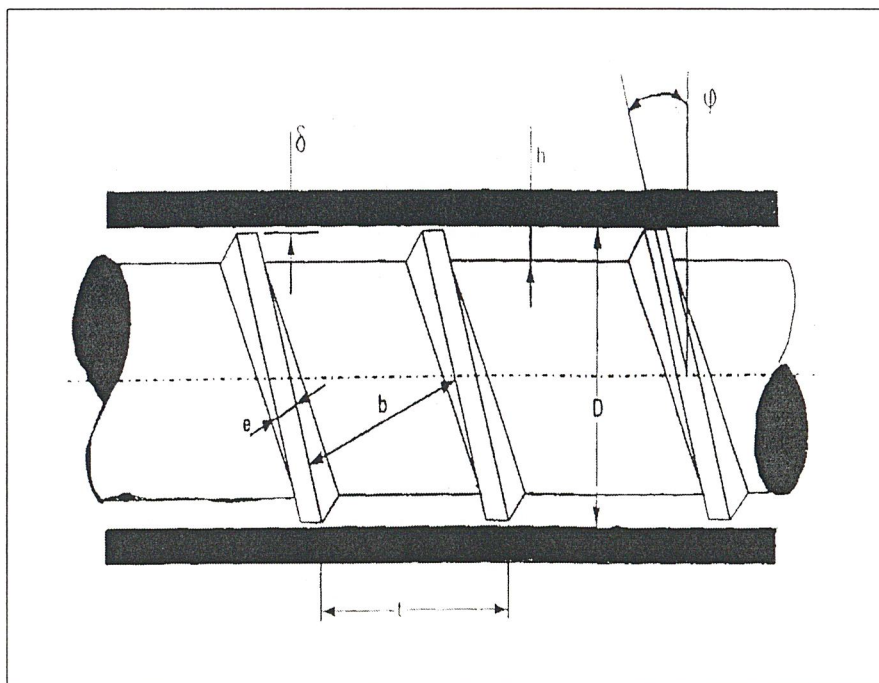
ส่วนป้อนของสกรูเป็นส่วนที่มีความลึกของร่องสกรูมากที่สุด และเป็นส่วนที่ประกอบด้วยเกลียวในช่วงแรก ซึ่งมีระยะสั้น มีหน้าที่หลัก คือ การดึงเม็ดหรือผงพลาสติกจากกรวยเติมพลาสติกลงในกระบอกรีดเริ่มให้ความร้อนแก่พลาสติก และทำให้เกิดส่วนผสมของพลาสติกนอกจากนี้ยังทำหน้าที่ในการส่งพลาสติกไปยังส่วนต่อไปของสกรู การออกแบบสกรูในส่วนนี้ที่สำคัญ คือ ต้องออกแบบให้ลึกและความยาวของร่องของสกรูในส่วนนี้บรรจุพลาสติกได้มากพอที่จะส่งพลาสติกไปยังส่วนต่อไป

ส่วนหลอมอัด ความลึกของร่องเกลียวจะค่อยๆ ลดลง เพื่อให้เกิดแรงดันของพลาสติกหลอม และทำให้ความหนาของชั้นพลาสติกที่ห่อหุ้มสกรูลดลง จึงเกิดการส่งผ่านความร้อนจากกระบอกรีดได้ดีขึ้น ความร้อนและแรงเสียดทานของสกรูช่วงนี้จะสูงมาก ทำให้พลาสติกการหลอมผสมกันเป็นเนื้อเดียวกัน โดยพลาสติกหลอมที่ไหลออกจากส่วนนี้จะมีอุณหภูมิเท่ากับหรือใกล้เคียงอุณหภูมิของการแปรรูปค่าอัตราส่วนระหว่างความลึกของร่องสกรูในส่วนป้อนกับส่วนหลอมอัด เรียกว่า อัตราส่วนการอัด (compression ratio, cr) ของสกรู ซึ่งค่าที่ใช้นั้นจะมีค่า cr อยู่ในช่วง 2 : 1 ถึง 6 : 1

ส่วนสุดท้ายของสกรูคือส่วนส่งพลาสติกหลอม ลักษณะของสกรู จะมีความลึกของร่องเกลียวคงที่ แต่มีความลึกน้อยกว่าในส่วนป้อน พลาสติกหลอมในส่วนนี้จะมี ความดันเพิ่มขึ้น และมีความเป็นเนื้อเดียวอย่างสมบูรณ์ และจะเสถียรอยู่ได้ความดันและอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกันความดันที่เกิดขึ้นในขณะที่สกรูหมุน มีความสำคัญต่อการส่งพลาสติกจากกรวยเติมพลาสติก ไปยังหัวคายมากลักษณะการเพิ่มความดันที่ส่วนต่างๆ ของสกรู แสดงดังรูปที่ 2.11 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความดันจะเพิ่มขึ้นจากส่วนป้อน และมีค่าสูงสุดที่ส่วนปลายของสกรู



รูปที่ 2.11 ความดันของพลาสติกหลอมที่ส่วนต่างๆของสกรูแสดงลักษณะของสกรู



รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะของสกรู

## ลำนำหักสมมุคกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สมการ

$$t = \frac{1}{2} D \tan \varphi \quad (2.10)$$

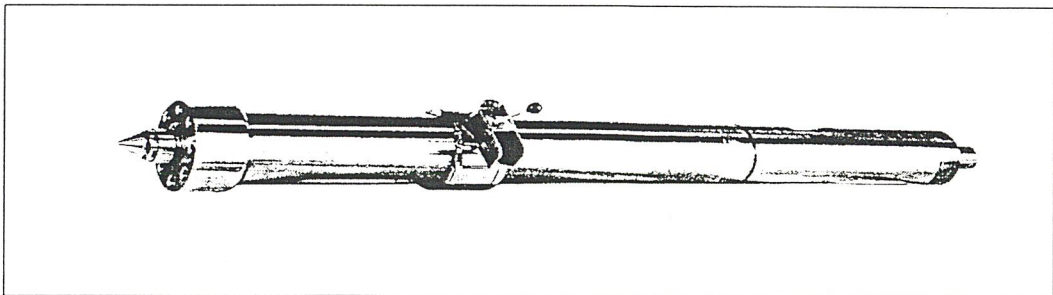
เมื่อ

- $\delta$  คือ ช่องว่างระหว่างสันเกลียวของสกรูกับกระบอก โดยทั่วไปมีขนาด 0.1 ถึง 0.3 มิลลิเมตร
- $c$  คือ ความกว้างของสันเกลียว
- $t$  คือ ระยะห่างของสันเกลียว
- $b$  คือ ความกว้างของร่องเกลียว
- $D$  คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของกระบอก
- $\varphi$  คือ มุมของสันเกลียว
- $h$  คือ ความลึกของร่องเกลียว

### 2.3.7 กระบอก ( Barrel หรือ Cylinder )

กระบอกในเครื่องเอกซเรย์คือเป็นตัวบรรจุสกรูไว้ภายใน และเป็นตัวกลางการถ่ายเทความร้อนแก่พลาสติก กระบอกในส่วนป้อนพลาสติก ซึ่งอยู่ด้านล่างกรวยเติมพลาสติก จะมีการใช้น้ำหล่อเย็นเพื่อป้องกันพลาสติกติดกันเป็นก้อน ให้พลาสติกไหลลงสู่ส่วนป้อนของสกรูได้สะดวกขึ้น ส่วนของกระบอกจะห่อด้วยแผ่นตัวความร้อนเป็นช่วงๆ นอกจากนี้รอบๆกระบอกจะมีพัดลมเป่าหรือระบบน้ำหล่อเย็น เพื่อควบคุมอุณหภูมิของพลาสติกหลอมให้ได้ตาม อุณหภูมิที่ตั้งไว้ หากความร้อนเกินระบบระบายความร้อนจะทำงาน

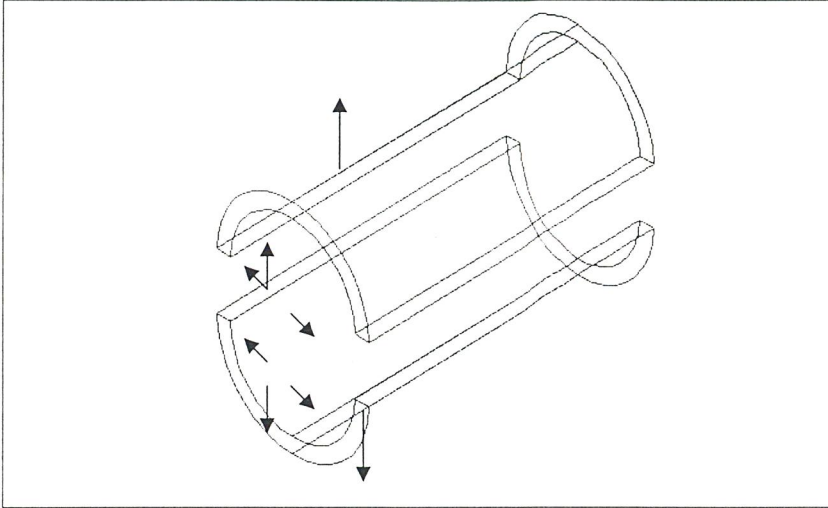
วัสดุที่ใช้ทำกระบอกต้องเป็นวัสดุที่ทนต่อการขัดสีและการกัดกร่อน และต้องทนต่อความดันสูงมาก โดยความดันที่เกิดขึ้นในกระบอกจะประมาณ 70 MPa และ อาจสูงถึง 210 MPa วัสดุที่นิยมใช้ทำกระบอกจะใช้โลหะ สองชนิด ด้านนอกจะเป็น อัลลอยด์ของอลูมิเนียม ส่วนด้านในเป็นชั้นบางทำจากวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อน และมีความแข็งสูง ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงกระบอก

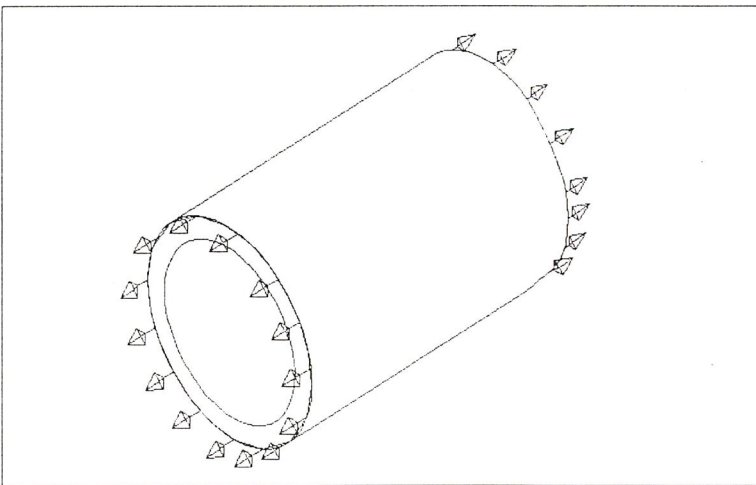
### 2.3.7.1 รูปทรงกระบอกภายใต้ภาวะความดัน

แรงที่เกิดขึ้นจากความดันของของไหลจะเท่ากับผลคูณความดันภายในกับพื้นที่ ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แสดงแรงที่กระทำกับภาวะความดัน

### 2.3.7.2 stress ในความยาว $\sigma_l$



รูปที่ 2.15 แสดงแรงที่ทำให้ภาวะความดันยืดออกตามแนวแกน

ถ้าปลายทั้งสองข้าง (หรือฝา) ปิดฝาอาจจะเป็นรูปแบน หนุน หรือครึ่งทรงกลมก็ได้ ความดันที่กดที่ฝาปิดนี้ทำให้รูปทรงกระบอกยืดออกได้ตามความยาวจะทำให้เกิด stress ในผนังของ cylinder ซึ่งมีทิศในแนวความยาวและเป็น tensile stress แต่มีชื่อพิเศษ เรียกว่า longitudinal stress  $\sigma_l$

2.3.7.3 การหาค่า  $\sigma_1$

แรงตามแนวยาวที่เกิดจากความดันภายใน

$$= \text{ความดัน} \times \text{พื้นที่ของฝาปิด}$$

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

แรงในเนื้อวัสดุที่ทำให้เกิด stress

stress  $\sigma_1$

$$= \text{stress} \times \text{พื้นที่ของเนื้อวัสดุตั้งฉากกับแนวแรง}$$

$$= \sigma_1 \times 2 \pi r t$$

จากการสมมูลย์ ดังนั้น

$$\sigma_1 \times 2 \pi r t$$

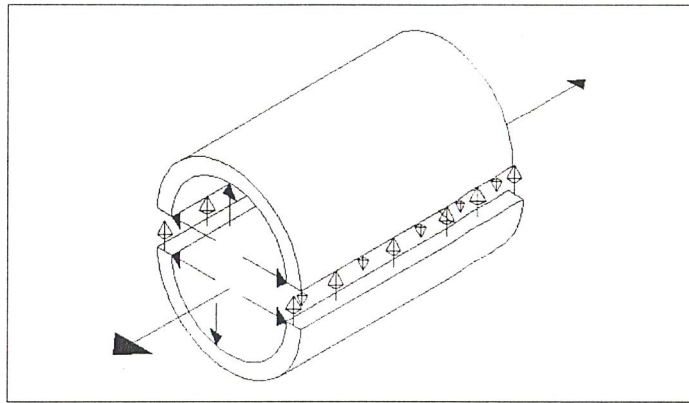
$$= P \times \pi r^2$$

$$\sigma_1$$

$$= Pr / 2t$$

( 2.11 )

2.3.7.4 stress สัมผัสเส้นรอบวง  $\sigma_2$



รูปที่ 2.16 แสดงแรงที่ทำให้ภาชนะความดันยัดออกตามแนวรัศมี

ความดันภายในที่ดันผิวโค้งด้านข้าง เช่นในรูปที่ 3.3 จะทำให้ เส้นรอบวงยัดออก ดังนั้นจะมี stress ( tensile ) อยู่ในทิศสัมผัสกับเส้นรอบวงเรียกว่า circumferential หรือ hoop stress  $\sigma_2$

2.3.7.5 การหาค่า  $\sigma_2$

แรงที่เกิดจาก pressure p บนผิวโค้ง

$$= P \times \text{projected area ของผิวโค้ง ( พื้นที่ส่วนแนวตัด )}$$

$$= P \times 2 r l$$

พื้นที่ของวัสดุต้านแรง

$$= 2 \times l \times t$$

แรงในเนื้อวัสดุที่ทำให้เกิด stress  $\sigma_2$

$$= \sigma_2 \times 2 l t$$

จากการสมมูลย์ ดังนั้น

$$\sigma_2 \times 2 l t$$

$$= P \times 2 r l$$

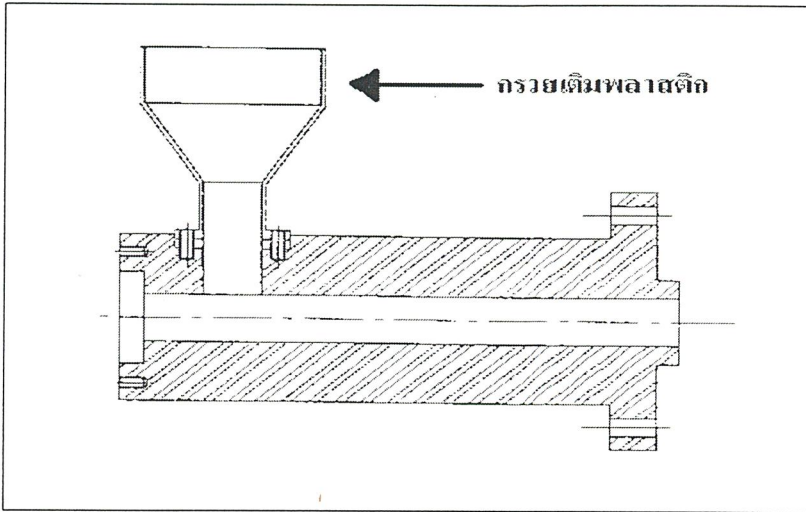
$$\sigma_2$$

$$= Pr / t$$

( 2.12 )

### 2.3.8 กรวยเติมพลาสติก

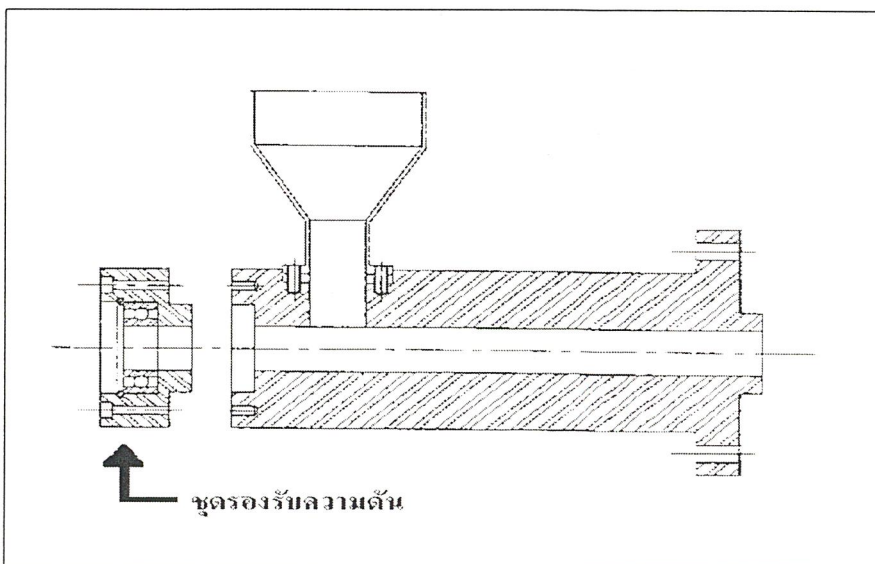
อุปกรณ์ใช้เติมพลาสติกลงในกระบอบอกและสกรูมีลักษณะเป็นกรวย เม็ดหรือผงพลาสติกจะตกลงที่สกรู เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ดังนั้นผิวภายในของกรวยเติมจะมีความมันเพื่อลดแรงเสียดทาน และมีความชันที่จะทำให้พลาสติกไหลได้ ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แสดงกรวยเติมพลาสติก

### 2.3.9 ชุดรองรับความดันเนื่องจากพลาสติกหลอม

การรับแรงส่วนที่หลังของสกรูจำเป็นต้องใช้ชุดอุปกรณ์ที่มีความสามารถในการรองรับแรง ซึ่งวางตัวอยู่ส่วนหลังของเครื่องเอ็กซ์ทรูดติดกับสกรู โดยทั่วไปส่วนท้ายของสกรูจะถูกล็อกเข้ากับเพลาคับ วางตัวผ่านแนวของชุดรองรับแรงซึ่งอาจเป็นแบบลูกกลิ้งหรือบรอนซ์ ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 แสดงชุดรองรับความดัน

ชุดรองรับความดันจะประกอบไปด้วยแบริงเป็นแบบ thrust bearing เป็นตัวรองรับแรงในแนวแกน โดยเฉพาะ

สมการ

$$F = (\pi/4) d^2 p \quad (2.13)$$

$$T = (\pi/4) d^2 (\sigma - \sigma_i) \quad (2.14)$$

โดย

$F$  = แรงกระทำเนื่องจากความดัน

$d$  = เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน

$p$  = ความดันที่เกิดขึ้น

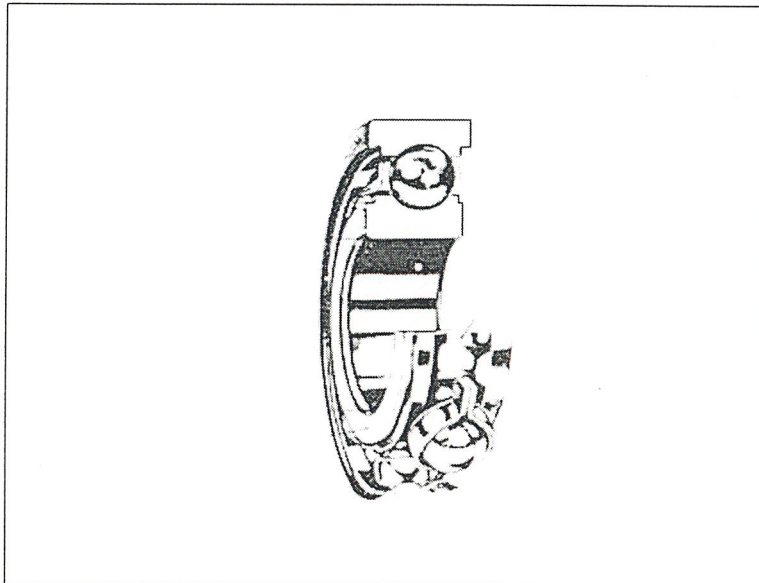
$T$  = สลักเกลียวรับแรงดึง

$\sigma$  = ความเค้นใช้งาน

$\sigma_i$  = ความเค้น

### 2.3.9.1 โรลลิงแบริง

เป็นแบริงชนิดที่รับแรง โดยอาศัยชิ้นส่วนของแบริงที่มีผิวสัมผัสเป็นผิวแบบกลิ้ง แทนที่จะสัมผัสผิวแบบเลื่อน ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 แสดงรูป ของแบริง

### 2.3.9.2 ทฤษฎีการประเมินอายุการใช้งานของแบร้ง

- อายุการใช้งาน ( Life ) ของโรลลิงแบร้งคือจำนวนรอบของการหมุน ( หรือจำนวนชั่วโมงใช้งานที่ความเร็วคงที่ ) ก่อนที่จะเกิดความเสียหายในลูกกลิ้งหรือวงแหวน

- อายุประเมิน ( Rated Life ) คือ การนำแบร้งมาจำนวนหนึ่งแล้วนำมาทดลองทั้งหมดตามจำนวนรอบกำหนดทุกตัว ถ้า พบว่า 90% ของจำนวนแบร้งทั้งหมด ไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากความล้าแทนสัญลักษณ์การใช้งานนี้ด้วย  $L_{10}$

- อายุประเมินเฉลี่ย ( Medium Life )  $L_{50}$  คือการนำแบร้งทุกตัวมาทดสอบจนพัง แล้วจึงหาอายุการใช้งานเฉลี่ยของแบร้ง

สมการการประเมินอายุการใช้งานของแบร้ง

$$L_{10} = \frac{10^6 (C/P)^b}{60 n} \quad (2.15)$$

โดย

$L_{10}$  = อายุประเมิน ( Hr )

$P$  = โหลดจลน์เทียบเท่า

$C$  = ค่าความสามารถในการรับโหลด

$b$  = ค่าคงที่ของแบร้ง

$n$  = ความเร็วรอบ ( Rpm )

สมการการหาแรงสมมูล

$$P = X V F_r + Y F_a \quad (2.16)$$

$$p = V F_r \quad (2.17)$$

โดย

$P$  = แรงสมมูล

$F_r$  = แรงในแนวรัศมี

$F_a$  = แรงในแนวแกนหรือแรงรุน

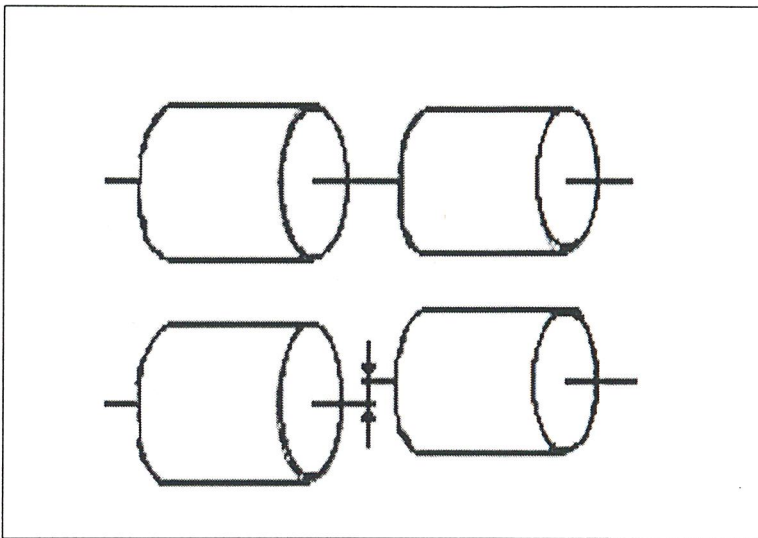
$V$  = ตัวประกอบการหมุน ( rotation factor ) : มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อวงแหวนในหมุนและ 1.2 เมื่อวงแหวนนอกหมุน

$X$  = ตัวประกอบแรงในแนวรัศมี

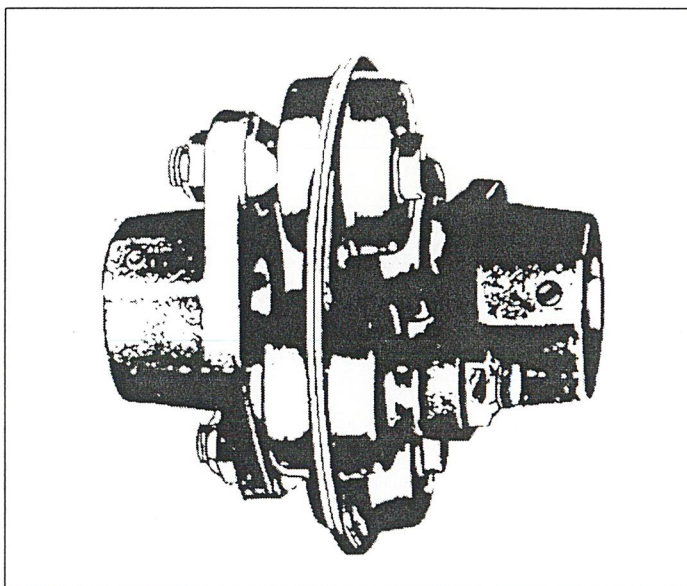
$Y$  = ตัวประกอบแรงรุน

### 2.3.10 คัปปลิง

การต่อเพลาเข้าด้วยกันทำได้หลายวิธี วิธีหนึ่งที่ได้คือการใช้คัปปลิง (coupling) ทั้งนี้ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเหตุที่ว่าเพลาที่ใช้กันมีขนาดยาวมาก จึงต้องต่อกันโดยใช้คัปปลิงหรืออาจใช้ต่อจากเพลาของเครื่องต้นกำลังมาจับชิ้นส่วนอื่นก็ได้ เช่น คัปปลิงแบบอ่อนตัว (flexible coupling) ใช้ต่อเพลาที่เอียงแนวตรงกันหรือแนวเพลาตรงกัน ในลักษณะต่างๆ ดังรูปที่ 7 และช่วยลดผลของการกระตุกและการกระแทกจากแรงภายนอกที่ส่งผ่านเพลา โดย คัปปลิงที่เลือกใช้นั้นเป็นแบบ คัปปลิงรับแรงเฉือน ดังรูปที่ 2.20



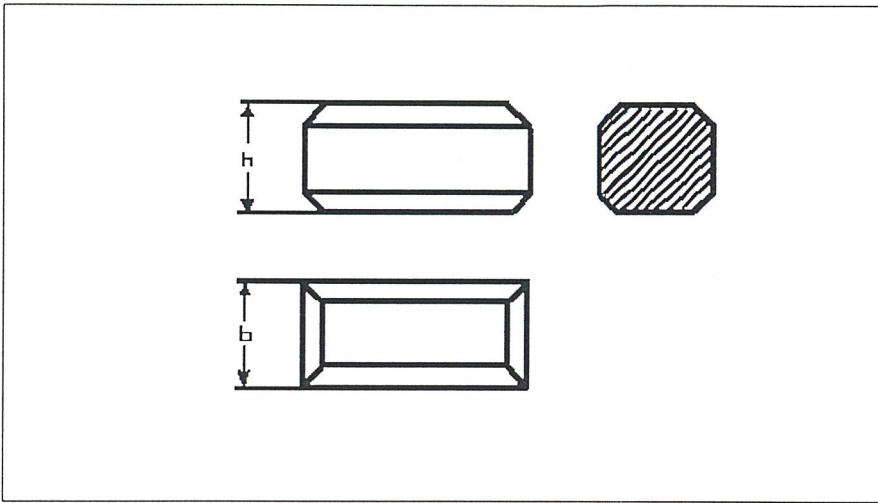
รูปที่ 2.20 แสดงลักษณะการเอียงแนวของเพลา



รูปที่ 2.21 แสดงคัปปลิงแบบรับแรงเฉือน

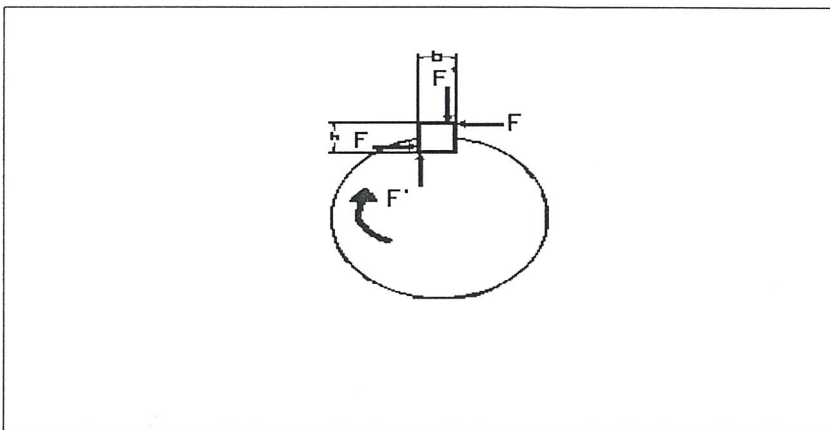
### 2.3.11 ลิ่ม

ลิ่มเป็นแท่งโลหะที่ใส่ไว้ในร่องของชิ้นส่วนทั้งสองที่ยึดอยู่ด้วยกัน ซึ่งเรียกร่องลิ่ม คั้งนั้นชิ้นส่วนเครื่องจักรที่จะนำมายึดกับเพลาลและเพลาก็ต้องทำร่องลิ่มไว้เพื่อใส่ลิ่ม โดยลิ่มจะทำหน้าที่ป้องกันการหมุนสัมพัทธ์ขึ้นระหว่างชิ้นส่วนทั้งสองและป้องกันมิให้เกิดการเคลื่อนที่ในแนวแกนของเพลาด้วย เช่น ลิ่มแบน ลิ่มชนิดนี้มีรูปหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ลิ่มชนิดนี้จะใช้เมื่อต้องการให้เพลาลแข็งแรงยิ่งขึ้น ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 แสดงรูปลิ่มแบน

เมื่อพิจารณารอยต่อด้วยลิ่มดังรูปที่ 2.23 ให้  $F$  เป็นแรงที่กระทำกับลิ่มเนื่องจากโมเมนต์บิดและ  $F$  เป็นแรงที่กดลิ่มไม่ให้ลิ่มเอียง โมเมนต์บิดบนเพลาลทำให้มีแรงต้านทาน  $F$  เกิดขึ้นซึ่งกระทำในแนวตั้งฉากกับลิ่ม สมมุติว่าแรงนี้กระทำที่จุดกึ่งกลางของลิ่มส่วนที่โผล่พ้นจากเพลาล



รูปที่ 2.23 แรงบนรอยต่อด้วยลิ่ม

ดังนั้นจึงหาแรง  $F$  ได้จากสมการ จากสูตร

$$T = F \left[ \left( \frac{d}{2} \right) + \left( \frac{h}{4} \right) \right] \approx (Fd)/2 \quad (2.18)$$

สมมุติว่าลิ่มขาดเนื่องจากแรงเฉือน

$$T = (Fd)/2 = (b l \tau d)/2 \quad (2.19)$$

โดย

- $T$  คือ โมเมนต์บิดบนเพลลา
- $F$  คือ แรงที่กระทำกับลิ่ม
- $d$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางกลางเพลลา
- $b$  คือ ความกว้างของลิ่ม
- $l$  คือ ความยาวลิ่ม
- $\tau$  คือ ความเค้นเฉือนบนลิ่ม

คิดโดยลิ่ม โคนอัดแตก

$$T = (Fd)/2 = (h l \sigma_c d)/4 \quad (2.20)$$

โดย

- $h$  คือ ความสูงของลิ่ม
- $\sigma_c$  คือ ความเค้นอัดบนลิ่มหรือเพลลา

เนื่องโมเมนต์บิดบนเพลลามีค่าเท่ากัน สมการที่ 2.19 และ 2.20

$$(b l \tau d)/2 = (h l \sigma_c d)/4$$

จากทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด จะมีค่าประมาณ  $1/2$  ของความเค้นอัดที่ได้รับ นั่นคือ

$\tau = 0.5 \sigma_c$  เมื่อแทนลงในสมการสมการจะได้ว่า

$$b = h$$

### 2.3.12 ฮีตเตอร์ ( Heater)

#### 2.3.12.1 หลักการของฮีตเตอร์

ฮีตเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำความร้อนในอุตสาหกรรม ที่มีหลักการพื้นฐานคือ เมื่อมีกระแสไหลผ่านลวดตัวนำที่มีค่าความต้านทานสูง ลวดตัวนำจะร้อน ดังนั้นลวดที่ใช้ผลิตฮีตเตอร์จะต้องมีคุณสมบัติเหนียวและทนอุณหภูมิสูงได้ เช่น ลวด Kanthal ( นิกเกิล : โครเมียม / 80 : 20 ) จะทนอุณหภูมิได้ถึง 1250 องศาเซลเซียส ส่วนประกอบในการผลิตฮีตเตอร์มีดังนี้

ฉนวนแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) มีค่านำไฟฟ้าต่ำแต่ต้านความร้อนได้มากทำหน้าที่กั้นกลางระหว่างลวดฮีตเตอร์กับปลอกโลหะ เพื่อป้องกันไม่ให้มีกระแสรั่ว ( Leak Current) จากลวดฮีตเตอร์ออกไปยังผิวโลหะ จุดสำคัญคือห้ามมีความชื้นในฉนวนเด็ดขาดเพราะจะทำให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้น หากมีความชื้นแก้ไขได้โดยการอบในเตาอบ Insulation Tester เป็นเครื่องทดสอบความเป็นฉนวนของฮีตเตอร์เพื่อให้แน่ใจว่าการใช้งานจริงจะไม่มี กระแสรั่วจากลวดฮีตเตอร์สู่ผิวโลหะ ซึ่งอาจเป็นอันตรายแก่ผู้ใช้ได้

#### 2.3.12.2 ฮีตเตอร์ถูกแบ่งตามลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน ดังต่อไปนี้

- 1.ฮีตเตอร์แท่ง หรือ Cartridge Heater ใช้ให้ความร้อนแก่วัสดุที่เป็นของแข็ง เช่น เหล็ก และ โลหะต่างๆ ตัวอย่างการใช้งานเช่น งานบรรจุหีบห่อ งานขึ้นรูปพลาสติก
- 2.ฮีตเตอร์ครีป หรือ Finned Heater และฮีตเตอร์ท่อกลม ใช้ให้ความร้อนกับอากาศ เช่น ในเตาอบ ห้องอบแห้ง
- 3.ฮีตเตอร์จุ่ม หรือ Immersion Heater หรือ บางทีเรียกว่าฮีตเตอร์ดัมน้ำใช้ให้ความร้อนกับของเหลวทุกชนิด ตัวอย่างการใช้งาน เช่น งานต้มน้ำ ต้มน้ำมัน งานผสมสาร
- 4.บอบบินฮีตเตอร์ ( Bobbin Heater ) ใช้ให้ความร้อนของเหลวเหมือนฮีตเตอร์จุ่ม
- 5.ฮีตเตอร์อินฟราเรด ( Infrared Heater ) ใช้ให้ความร้อนแก่วัตถุโดยไม่ต้องสัมผัสโดยตรง ไม่เหมาะ กับวัตถุที่มีลักษณะมันวาวเนื่องจากวัตถุ มันวาวจะมีคุณสมบัติสะท้อนแสงทำให้ไม่สามารถดูดซับรังสีอินฟราเรด ได้อย่างเต็มที่ ใช้ติดตั้งในเตาอบ หรือ เหนือคอนเวเยอร์ได้
- 6.ฮีตเตอร์รัดท่อ ( Band Heater ) ใช้ให้ความร้อนกับของเหลวที่อยู่ในท่อหรือถังรูปทรงกระบอก
7. ฮีตเตอร์แผ่น ( Strip Heater ) ใช้ให้ความร้อน โดยแนบกับวัตถุ โดยตรงสามารถออกแบบให้เป็นรูปทรงใดๆก็ได้

#### 2.3.12.3 ฮีตเตอร์รัดท่อ ( Band Heater)

ได้รับการออกแบบสำหรับท่อ หรือถังรูปทรงกระบอก ฉนวนของฮีตเตอร์ทำจากแผ่น Mica และลวด ฮีตเตอร์เป็นแบบแบน จึงทำให้ฮีตเตอร์ชนิดนี้ มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กขนาด 25 มม. หรืออาจใหญ่ถึง 600 มม. ส่วนความกว้างจะอยู่ระหว่าง 20-300 มม. ตัวถังด้านนอกเป็นแผ่นเหล็กหรือสแตนเลส เหมาะสำหรับให้ความร้อนกับเครื่องฉีดพลาสติก หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งคือ ฮีตเตอร์กระบอก

#### 2.3.12.4 เทอร์โมคัปเปิล ( Thermocouple)

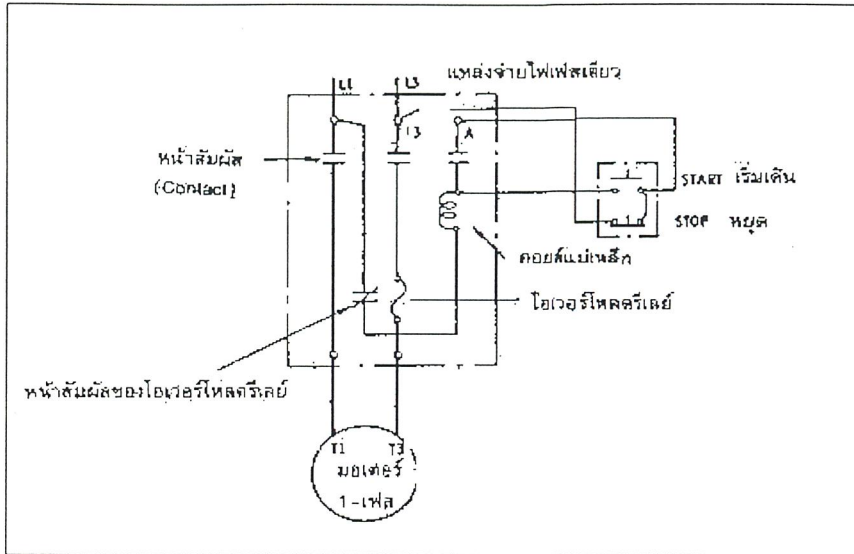
เทอร์โมคัปเปิล คือ โลหะ 2 ชนิดต่างกันว่านำมาเชื่อมปลายเข้าด้วยกันที่ด้านหนึ่งซึ่งเป็นด้านที่ใช้วัดอุณหภูมิ ส่วนอีกด้านหนึ่งต่อเข้ากับอุปกรณ์ใช้งาน เช่น เครื่องควบคุมอุณหภูมิ เครื่องบันทึกอุณหภูมิ เป็นต้น เทอร์โมคัปเปิล ถูกแบ่งออกเป็น Type ต่างๆ ตามการจับคู่ของโลหะที่แตกต่างกัน ทำให้มีคุณสมบัติในการใช้งานหลากหลาย ตามความเหมาะสมของงานแต่ละประเภท

ตารางที่ 2.2 เครื่องวัดและควบคุมอุณหภูมิ ระบบ ON – OFF ( ON – OFF Temperature controller) รุ่น DF 4

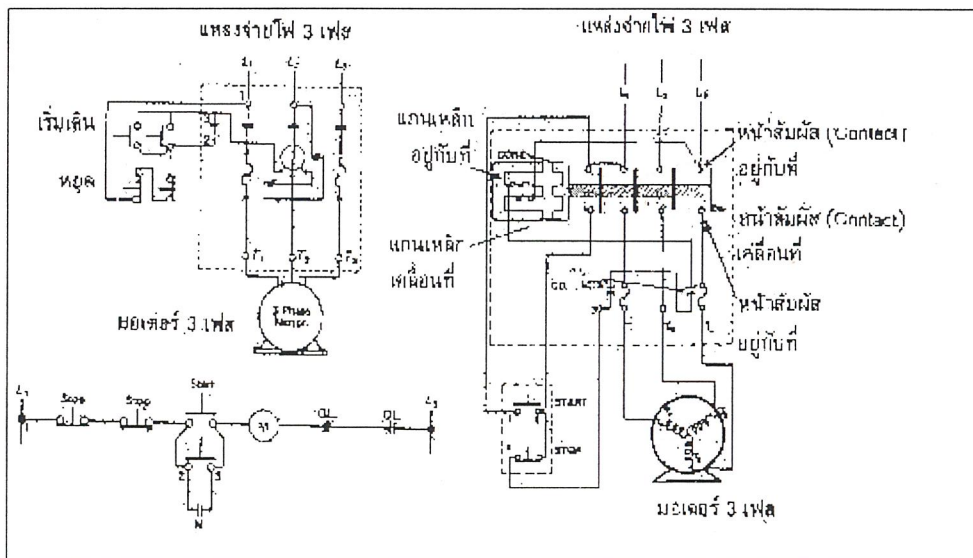
รุ่น	DF 4
ขนาด	48* 48 มม. ลึก 72 มม.
อินพุต	เทอร์โมคัปเปิล K , Pt 100
การแสดงผลค่าอุณหภูมิ	LED 7 Segment
ไฟเลี้ยง	220 VAC ( 50/60Hz)
การควบคุม	Proportional ON / OFF
เอาต์พุตหลัก	รีเลย์ 5A 250VAC
ที่ติดตั้งใช้งาน	อุณหภูมิ : 0~50 องศาเซลเซียส ความชื้น : 35~85% RH
น้ำหนัก	ประมาณ 170 กรัม

### 2.3.13 การควบคุมมอเตอร์

ความสำคัญของการควบคุมมอเตอร์นั้น คือความปลอดภัยของมอเตอร์และเครื่องจักรเป็นสำคัญ เมื่อสามารถควบคุมมอเตอร์และเครื่องจักรกลต่างๆ ได้แล้วย่อมถือว่าเป็นความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินด้วยการเริ่มเดินมอเตอร์จำเป็นต้องใช้กระแสไฟฟ้าสูง ทั้งนี้ย่อมขึ้นอยู่กับชนิดของมอเตอร์ด้วย การควบคุมมอเตอร์ทำงานเกินกำลัง เมื่อมอเตอร์ทำงานเกินกำลังจะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดเกินพิกัดเกิดความร้อน ถ้าไม่มีตัวควบคุมจะทำให้มอเตอร์ไหม้เสียหายได้ การเริ่มเดิน และหยุดมอเตอร์เนื่องจากการเริ่มเดินและการหยุดมอเตอร์ขณะทำงานนั้นมีกระแสไหลในมอเตอร์สูงมาก ดังนั้นสวิทช์ที่ใช้ในการเริ่มเดินมอเตอร์ และการหยุดมอเตอร์จึงจำเป็นต้องออกแบบและสร้างด้วยวัสดุที่เป็นตัวนำที่ดีและทนความร้อนได้สูง การเริ่มเดินและหยุดมอเตอร์นั้นจะต้องประกอบด้วยอุปกรณ์หลายส่วนด้วยกัน วงจรการควบคุมมอเตอร์ที่ใช้มี การควบคุมมอเตอร์แบบ 1 เฟสและ แบบ 3 เฟสดังรูปที่ 2.24 และ รูปที่ 2.25



รูปที่ 2.24 แสดงวงจรการควบคุมมอเตอร์แบบ 1 เฟส



รูปที่ 2.25 แสดงวงจรการควบคุมมอเตอร์แบบ 3 เฟส

### 2.3.13.1 สวิตช์ปุ่มกด (Push Button)

เป็นสวิตช์ที่ได้ออกแบบให้ทำงานได้รวดเร็วจับปล้น เพื่อลดการเกิดประกายไฟเนื่องจากกระแสสูงของมอเตอร์ขณะเริ่มเดินและขณะหยุดมอเตอร์

### 2.3.13.2 สวิตช์แม่เหล็ก (Magnetic Switch)

เป็นสวิตช์ที่ใช้เปิด-ปิด วงจรของมอเตอร์ด้วยอำนาจของแม่เหล็ก โดยการควบคุมของสวิตช์ปุ่มกดเพื่อให้แม่เหล็กทำงานดึงให้หน้าสัมผัสของคอนแทกเตอร์ ปิด - เปิด เพื่อตัดและต่อวงจรมอเตอร์ เมื่อต้องการหยุดมอเตอร์

หลักการทำงานโดยทั่วไปคือ ต่อสวิตช์ปุ่มกดเข้ากับวงจรของขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กในสวิตช์แม่เหล็ก อานาจแม่เหล็กจะดึงแกนเหล็ก ทำให้หน้าสัมผัส สัมผัสกันเป็นการต่อวงจรมอเตอร์ให้ทำงาน

### 2.3.13.3 อุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์เกินกำลัง โอเวอร์โหลต รีเลย์

นอกจากอุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์เริ่มต้น และทำงานแล้วยังต้องมีอุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์ทำงานเกินกำลัง ซึ่งเป็นสาเหตุให้มอเตอร์ไหม้เกิดความเสียหายในระบบงานเสียเวลาและเสียค่าซ่อมแซมมอเตอร์ใหม่ ดังนั้น ในชุดสวิตช์แม่เหล็กหรือชุดแมกเนติกคอนแทกเตอร์ จะมีชุดป้องกันกระแสไหลเกิน

หลักการเบื้องต้น ก็คือ อาศัยจำนวนกระแสไหลเกินนี้ไหลผ่านลวดความร้อนหรือขดลวดให้เกิดความร้อน แม่เหล็ก ไปทำให้กลไกทำงานปลดวงจรของขดลวดแม่เหล็ก ให้แม่เหล็กหมดอำนาจ สปริงจะดึงหน้าสัมผัสจากกัน เป็นการปลดวงจรมอเตอร์ให้มอเตอร์ไม่ได้รับความเสียหายจากกลไกดังกล่าวนี้จึงเรียกว่า “โอเวอร์โหลตรีเลย์”

### 2.3.14 สายพาน (Belts)

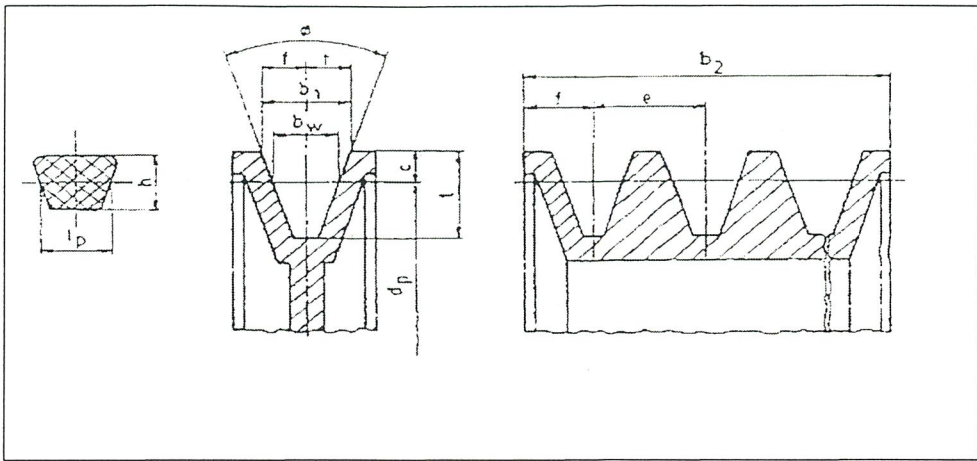
การส่งกำลังโดยใช้สายพาน เป็นการส่งกำลังแบบอ่อนตัวได้ (flexible) ซึ่งมีข้อดีและข้อเสียหลายประการเมื่อเปรียบเทียบกับ การส่งกำลังโดยใช้เฟือง ข้อดีก็คือ มีราคาถูกและใช้งานง่าย รับแรงกระตุกและการสั่นสะเทือนได้ดี ขณะใช้งานไม่มีเสียงดัง เหมาะสำหรับการส่งกำลังระหว่างเพลลาที่อยู่ห่างกันมาก ๆ และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ เป็นต้น แต่ก็มีข้อเสีย คือ อัตราทดไม่แน่นอนนักเนื่องมาจากการลื่น (slip) และการครีพ (creep) ของสายพาน และต้องมีการปรับระยะห่างระหว่างเพลลาหรือปรับแรงตึงในสายพานระหว่างใช้งาน นอกจากนั้นยังไม่อาจใช้งานที่มีอัตราทดสูงมากได้ ซึ่งมักใช้กับอัตราทดไม่เกิน 5

#### 2.3.14.1 สายพานลิ่ม

สายพานลิ่มใช้ส่งกำลังได้ค่อนข้างมากโดยต้องการแรงตึงขึ้นในสายพานค่อนข้างน้อย ทั้งนี้เพราะผลจากการเกาะยึดตัวกันระหว่างด้านข้างของสายพานที่เรียวย กับร่องรูปลิ่มของล้อสายพาน ทำให้เกิดแรงเสียดทานสูง ซึ่งเป็นผลให้สายพานทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้ว่าจะมีส่วนโค้งสัมผัสน้อย และมีแรงตึงขึ้นต้นค่อนข้างต่ำ และเหมาะสมกับการใช้งานในกรณีที่ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางน้อย ในการส่งกำลังจะส่งได้มากที่สุดเมื่อผิวด้านข้างของสายพานอัดแน่นกับร่องบนล้อสายพาน และในกรณีที่มิเหตุฉุกเฉิน ก็อาจใช้ผลจากการอัดแน่นที่ทำหน้าที่เป็นเบรคได้ด้วยการขยับด้วยสายพานลิ่ม มีข้อดีคือเงียบ สะอาด และสามารถรับแรงกระตุกได้นอกจากนั้นยังมีขนาดกะทัดรัด มีประสิทธิภาพดี และแบริงของเพลลาไม่ต้องรับแรงมากเกินไปมักใช้ในการขับทางด้านอุตสาหกรรมทั่วไปจึงซึ่งใช้สายพานขับได้โดยมีอัตราทดสูงประมาณ 7 : 1 หรืออาจใช้ได้สูงถึง 10 : 1

#### 2.3.14.2 ขนาดสายพานและล้อสายพานลิ่ม

สายพานลิ่ม มีหน้าตัดเป็นรูปลิ่ม ดังนั้นในการกำหนดขนาดจึงมักกำหนดโดยใช้ความกว้างพิตช์ (pitch width) และความหนาสายพานโดยใช้ตัวอักษรแทน ซึ่งแบ่งออกเป็นสายพานลิ่มแคบ (narrow V-belts) มีขนาด SPZ SPA และ SPC และสายพานลิ่มแบบธรรมดา มีขนาด Y Z A B C D และ E ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะสายพานลิ่มแบบธรรมดาเท่านั้น รูปร่างหน้าตัดของสายพานลิ่มและล้อสายพาน ดูได้จากรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 แสดงรูปร่างหน้าตัดของสายพานลิ่มและลื้อสายพาน

### 2.3.14.3 กลศาสตร์ของสายพานลิ่ม

ในการขับเคลื่อนด้วยสายพาน แรงปฏิกิริยาระหว่างสายพานกับลื้อ สายพานจะอยู่ในทิศทางตั้งฉากกับผิวสัมผัส ดังรูปที่ 2.26 ให้  $F_n$  เป็นแรงปฏิกิริยาในแนวตั้งฉากระหว่างสัมผัสของสายพานกับลื้อสายพาน ดังนั้นจากสมการ  $fF_n = df$  ของสายพานแบน กรณีสายพานลิ่มจะเป็น  $2f \times F_n = df$  แรงปฏิกิริยารวมของแรง  $F_n$  ทั้งสองแรงคือ

$$F_n = 2 F_n \sin\left(\frac{\phi}{2}\right) \quad (2.21)$$

หรือ

$$F_n = \frac{F_n}{2 \sin\left(\frac{\phi}{2}\right)} \quad (2.22)$$

แทนค่า  $F_n$  จะได้

$$\frac{fF_n}{2 \sin\left(\frac{\phi}{2}\right)} = df \quad (2.23)$$

$$F_c + F_n = \left(F + \frac{1}{2} df\right) d\theta \quad (2.24)$$

เมื่อกำจัด  $F_n$  ออกจากสมการทั้งสองนี้จะได้

$$df = \frac{F}{\sin\left(\frac{\phi}{2}\right)} \left( F + \frac{1}{2} df \right) d\theta - \frac{f}{\sin\left(\frac{\phi}{2}\right)} F_c \quad (2.25)$$

$$= \frac{F}{\sin\left(\frac{\phi}{2}\right)} \left( F + \frac{1}{2} df \right) d\theta - \frac{wAv^2}{\sin\left(\frac{\phi}{2}\right)} d\theta$$

อินทิเกรตสมการนี้  $\theta = 0$  ถึง  $2$  แลละจาก  $F = F_1$  ถึง  $F = F_2$  จะได้

$$\ln \frac{F - \frac{aWv^2}{g}}{F - wAv^2} = e \frac{a.f}{\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)} \quad (2.26)$$

หรือ

$$\frac{(F_1 - F_c)}{(F_2 - F_c)} = e^{2f} \quad (2.27)$$

โดยที่

$$f = \frac{f}{\sin\left(\frac{\phi}{2}\right)} \quad (2.28)$$

และกำลังที่ส่งได้โดยสายพานลิมิตค่าได้จากสมการ

$$W_p = Z(F_1 - F_2)V \quad (2.29)$$

โดยที่

$V$  = ความเร็วของสายพาน (m/s)

$Z$  = จำนวนสายพาน

ความยาวพิตช์โดยประมาณของสายพานลิมิตจากสมการ

$$LP = 2C + 1.57(D_p - dp) + \frac{(D_p - dp)^2}{4C} \quad (2.30)$$

โดยสัญลักษณ์ต่างๆ คงมีความหมายเช่นเดียวกับสายพานกรณีทราบความยาวพิตช์ต้องการหาระยะห่างระหว่างศูนย์ หาได้จากสมการ

$$C = \sqrt{p^2 - q}$$

โดยที่

$$p = 0.25Lp - 0.393(Dp - dp)$$

$$q = 0.125(Dp - dp)^2 \quad (2.31)$$

#### 2.3.14.4 การคำนวณหาขนาดของสายพานลิ่ม

การเลือกขนาดของสายพานมีวิธีคำนวณหาจำนวนของสายพานลิ่มที่ต้องการใช้งานจากกำลังงานที่ต้องการขับ และตัวประกอบที่ต้องใช้แก้ไขต่างๆ จำนวนเส้นของสายพานลิ่มหาได้จากสมการ

$$Z = \frac{(W_p - N_s)}{(P_R \cdot N_a \cdot N_1)} \quad (2.32)$$

โดยที่

$Z$  = จำนวนเส้นของสายพานลิ่ม

$W_p$  = กำลังงานที่ต้องการส่ง

$N_s$  = ตัวประกอบใช้งาน

$N_a$  = ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส

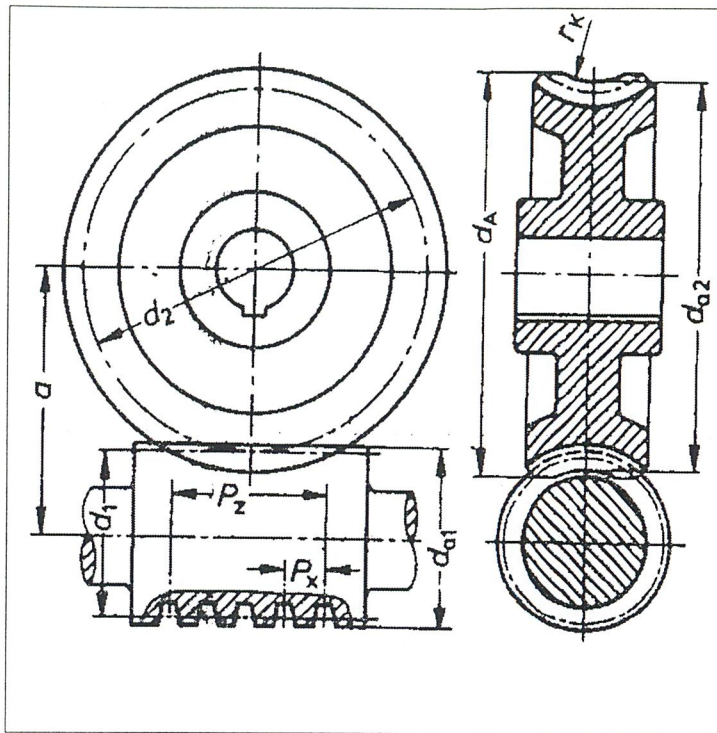
$N_1$  = ตัวประกอบแก้ไขความยาวสายพาน

$P_R$  = กำลังที่สายพานลิ่ม 1 เส้นส่งได้

### 2.3.15 Gearbox

#### 2.3.15.1 ชุดเฟืองหนอน (Worm gear set)

ใช้สำหรับส่งกำลังระหว่างเพลาที่ไม่ขนานกันและไม่ตัดกัน ซึ่งต้องการให้มีอัตราทดสูง ชุดเฟืองหนอนประกอบด้วยเกียร์หนอน (Worm) และเฟืองหนอน (Worm gear) โดยปกติแล้วมักจะใช้ชุดเฟืองหนอนส่งกำลังระเพลาที่ทำมุมกัน  $90^\circ$  ดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.27 ชุดเฟืองหนอน

นอกจากนี้ชุดเฟืองหนอนยังสามารถทำงานด้วยอัตราตสูงถึง 300 โดยที่ใช้การทดเฟืองกรังเดียว แต่ข้อเสียของชุดเฟืองหนอนก็คือ ประสิทธิภาพการทำงานส่งกำลังจะต่ำและมีความร้อนเกิดขึ้นเนื่องจากการเสียดสี (Sliding) ระหว่างฟันมากกว่า ทำให้ต้องคำนึงถึงเรื่องของการระบายความร้อนที่เหมาะสมด้วย

### 2.3.15.2 การคำนวณชุดเฟืองหนอน

ตารางที่ 2.3 แสดงการคำนวณชุดเฟืองหนอน

การคำนวณชุดเฟืองหนอน		
ชื่อเรียก	ตัวหนอน	เฟืองหนอน
โมดูล (มม.)	$m = \frac{P_X}{\pi} = \frac{P_Z}{\pi.Z_1}$	$m = \frac{P}{\pi}$
ระยะฟัน (มม.)	$P_X = \pi.m = \frac{P_Z}{Z_1}$	$P = \pi.m$
จำนวนฟัน	$Z_1 = \frac{n_2.Z_2}{n_1}$	$Z_2 = \frac{n_1.Z_1}{n_2} = \frac{d_2}{m}$
ความสูงพิต (มม.)	$P_Z = P_X.Z_1 = \pi.m.Z_1$	-
เส้นผ่าศูนย์กลางพิต (มม.)	$d_1 = \text{ขนาดกำหนด}$	$d_2 = Z_2.m$
เส้นผ่าศูนย์กลางยอดฟัน (มม.)	$d_{a1} = d_1 + 2.m$	$d_{a2} = d_2 + 2.m$
เส้นผ่าศูนย์กลางนอก (มม.)	-	$d_a \approx d_{a2} + m$
รัศมีเว้า (มม.)	-	$r_k = \frac{d_1}{2} - m$
ระยะแกน(มม.)	$a = \frac{d_1 + d_2}{2}$	
ขนาดช่องว่างยอดฟัน ความสูงฟัน เหมือนเฟืองฟันตรง		
ตัวหนอน $Z_1 = 2$ ฟัน (2 ปาก) และขนาดความโตพิต		

### 2.3.16 การถ่ายเทความร้อน

การนำความร้อนเป็นรูปแบบหนึ่งของการถ่ายเทความร้อน ในลักษณะของการแลกเปลี่ยนพลังงานจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ โดยการเคลื่อนที่แบบจลน์ ( kinetic motion ) หรือการชนกันโดยตรงของโมเลกุลซึ่งเป็นลักษณะที่เกิดขึ้นในของไหลที่หยุดนิ่ง ส่วนในกรณีของโลหะนั้นจะเป็นการไหลของกระแสอิเล็กตรอนสำหรับของแข็งที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี จะมีจำนวนอิเล็กตรอนอิสระมากมายที่เคลื่อนไปหอยู่ในโครงสร้างของ โมเลกุล ( Lattice ) ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าวัตถุที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี จะเป็นตัวนำความร้อนที่ดีตามไปด้วย ยกตัวอย่างเช่น ทองแดง เงิน เหล็ก ฯลฯ อันเป็นผลจากการนำหรือถ่ายทอดพลังงานความร้อนโดยอิเล็กตรอนอิสระเหล่านี้

กฎสัมพัทธ์ของการนำความร้อนโดยถือเกณฑ์การสังเกตจากการทดลอง อัตราการไหลของการนำความร้อนในทิศทางที่กำหนดเป็นสัดส่วนกับพื้นที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของความร้อนและเกรเดียนต์ของอุณหภูมิในทิศทางนั้น สำหรับการไหลของความร้อนในทิศทาง X กฎของฟูริเยร์กำหนดเป็น

$$q_x = -kA \frac{dT}{dx} \quad \text{W} \quad (2.33)$$

หรือ

$$q_x'' = \frac{q_x}{A} = -k \frac{dT}{dx} \quad \text{W/m}^2 \quad (2.34)$$

โดยที่

$q_x$  = อัตราการนำความร้อนผ่านพื้นที่ A ในทิศทางบวก x

$q_x''$  = ฟลักซ์ความร้อนในทิศทางบวก x

k = ค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุ และเป็นค่า บวก

จากสมการ 2.33 และ 2.34 ถ้าอุณหภูมิลดลงในทางบวกของ x แล้ว  $\frac{dT}{dx}$  เป็นลบดังนั้น  $q_x''$  (หรือ  $q_x$ ) มีค่าเป็นบวก เนื่องจากสมการมีเครื่องหมายเป็นลบติดอยู่เพราะฉะนั้นเครื่องหมายลบจึงต้องใส่ในสมการและเพื่อให้แน่ใจว่า  $q_x''$  (หรือ  $q_x$ ) เป็นปริมาณบวกเมื่อการไหลของความร้อนอยู่ในทิศทางบวกของ x ทางกลับกันเมื่อทางด้านขวามือของสมการเป็นลบแสดงว่าการไหลของความร้อนอยู่ในทิศทางลบของ x

จุดประสงค์หลัก ในการวิเคราะห์การนำความร้อนก็เพื่อที่จะหาสนามอุณหภูมิ ( Temperature field ) ในดั่งกลางหนึ่งซึ่งเป็นผลจากเงื่อนไขซึ่งสอดคล้องกับขอบเขตของมัน นั่นคือ ต้องทราบการกระจายของอุณหภูมิ ( Temperature Distribution ) เมื่อทราบค่านี้ก็จะหาความร้อนที่จุดใดๆ ในตัวกลางนั้น การหาค่านี้ทำได้โดยใช้กฎของพลังงาน ( Energy Conservation ) กับปริมาตรควบคุมดิฟเฟอเรนเชียลซึ่งระบุกระบวนการถ่ายเทพลังงาน และใช้สมการอัตราที่เหมาะสม ผลลัพธ์ที่ได้จากสมการดิฟเฟอเรนเชียลซึ่งคำตอบของมันจะให้การกระจายอุณหภูมิในตัวกลางหรือวัสดุนั้น

พิจารณาคำกลางเนื้อเดียวกันซึ่งมีเกรเดียนอุณหภูมิจริง และการกระจายของอุณหภูมิ  $T(x,y,z)$  กำหนดในพิกัดคาร์ทีเซียน ( Cartesian Coordinates ) จะกำหนดปริมาตรควบคุมเล็กมากๆ  $dx \cdot dy \cdot dz$  ถ้ามีเกรเดียนอุณหภูมิแล้วการนำความร้อนจะเกิดขึ้นตรงข้ามแต่ละอันของผิวควบคุมอัตราการนำความร้อนนี้จะตั้งฉากกับผิวควบคุมแต่ละอันที่ตำแหน่งโคออร์ดิเนต  $x,y,z$  ซึ่งแสดงในเทอม  $q_x, q_y, q_z$  ตามลำดับอัตราการนำความร้อนที่ผิวตรงข้ามสามารถกระจายโดยอนุกรมเทเลอร์ โดยไม่คิดเทอมสำคัญสูงๆ ( High Order Terms )

## บทที่ 3

### การออกแบบ และการดำเนินงาน

การออกแบบและการดำเนินงาน เรื่องเครื่องเอ็กซ์ทรูด คณะผู้จัดทำได้ทำการศึกษาหลายขั้นตอน ตั้งแต่การเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานที่จะใช้สร้างเครื่อง การออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ และวางแผนการดำเนินงาน

#### 3.1 การออกแบบโครงสร้าง

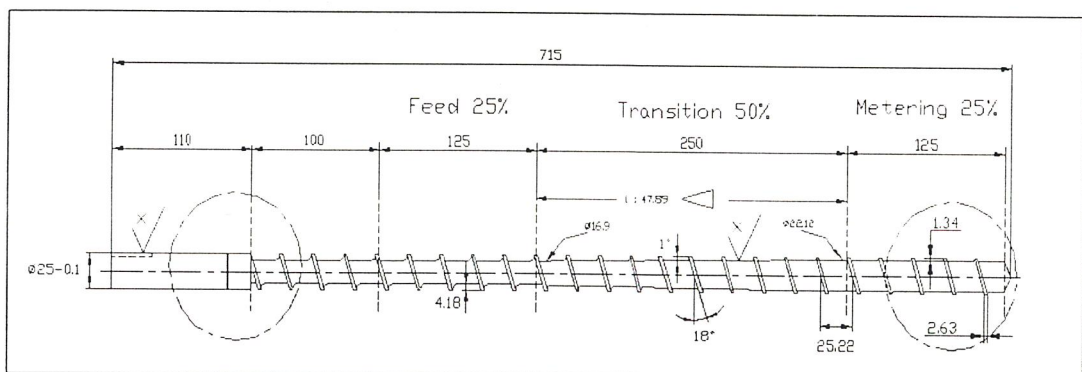
##### แบบเครื่องจักรมีดังนี้

1. แบบของสกรูป้อน
2. แบบของกระบอกลอม
3. แบบของกรวยเติมพลาสติก
4. แบบกล่องควบคุม
5. แบบแม่พิมพ์

ในการคำนวณและออกแบบเครื่อง Plastic Extrusion จะใช้หนังสือ Extrusion of Plastic ของ E.G.ISHER Ph.C.,F.P.I.เพื่อใช้ในการออกแบบลักษณะสกรูป้อนพลาสติก หนังสือกระบวนการแปรรูปพลาสติก มาใช้ในการออกแบบและคำนวณเพื่อให้มีความปลอดภัยในการทำงาน มีความแข็งแรงทนทานถูกต้องตามหลักเศรษฐศาสตร์มากที่สุด

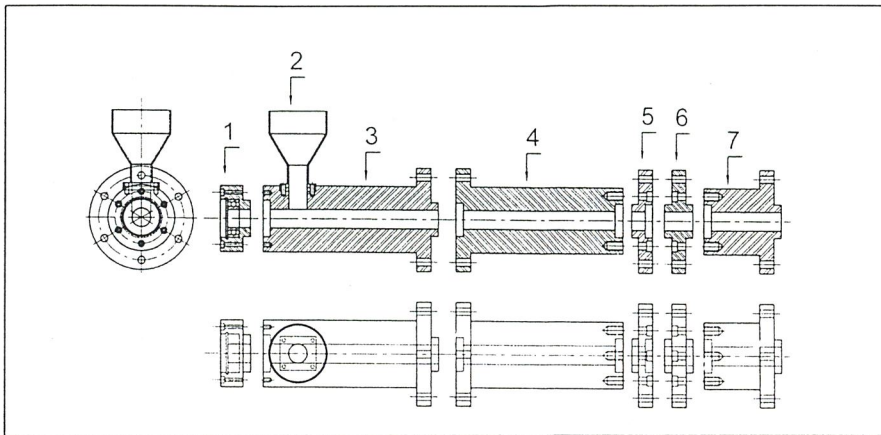
##### 3.1.1 ส่วนที่ต้องทำการออกแบบไว้คำนวณไว้ดังนี้คือ

###### 1. ออกแบบสกรูป้อน ( Feed Screw)



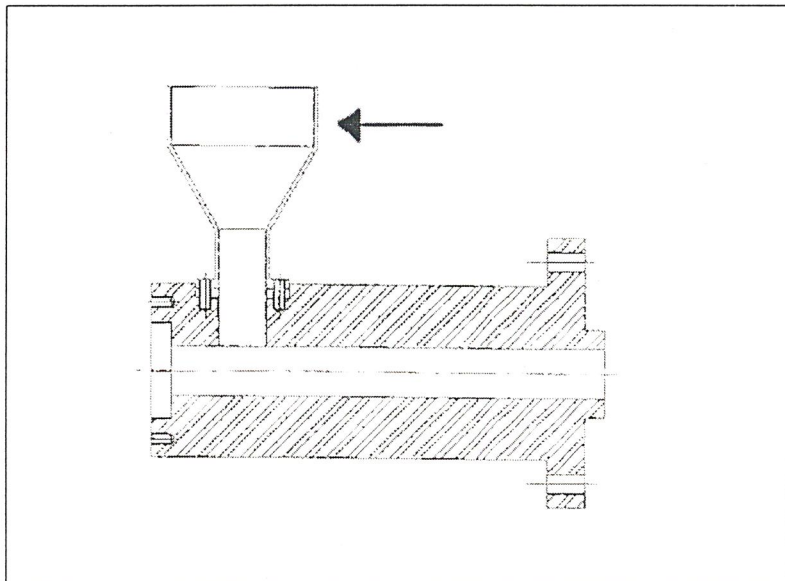
รูปที่ 3.1 สกรูป้อนอัด

## 2. ออกแบบกระบอกลอม ( Barrel )



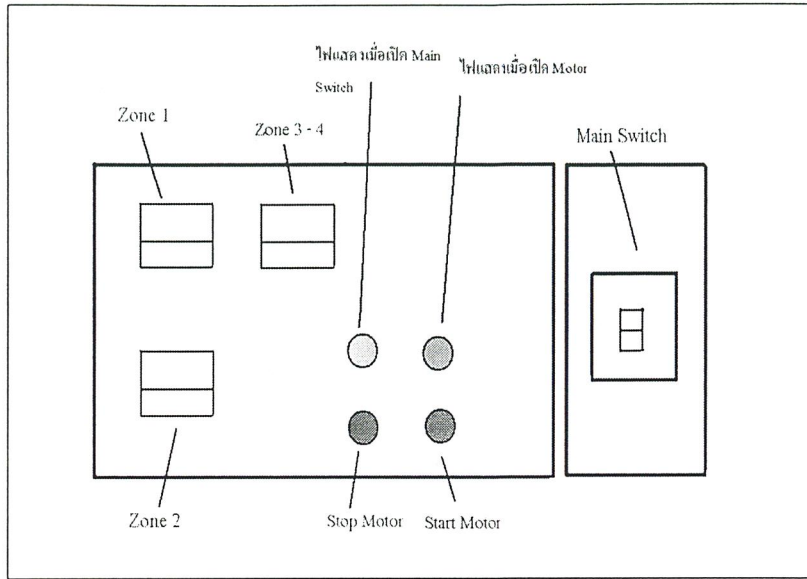
รูปที่ 3.2 กระบอกลวม

## 3. การออกแบบช่องเก็บวัสดุที่จะนำมาแปรรูป (Hopper)



รูปที่ 3.3 ช่องเก็บวัสดุ

- การออกแบบแม่พิมพ์(Die) สำหรับการอัดรีด
- การคำนวณหาขนาดพลูเลย์ และขนาดสายพาน
- การคำนวณหาขนาดลิ้ม และร่องลิ้ม
- การคำนวณอัตราทดกลองเกียร์(Gear box)
- การออกแบบฐานรองรับเครื่อง
- การออกแบบฐานยึด บาร์เรล



รูปที่ 3.4 กะถ่องควบคุม

- ศึกษาข้อมูลการควบคุมมอเตอร์
- เขียนแบบทั้งหมดตามที่ได้ออกแบบไว้

### 3.1.2 การจัดสร้างเครื่อง เอ็กซ์ทรูดชั่น

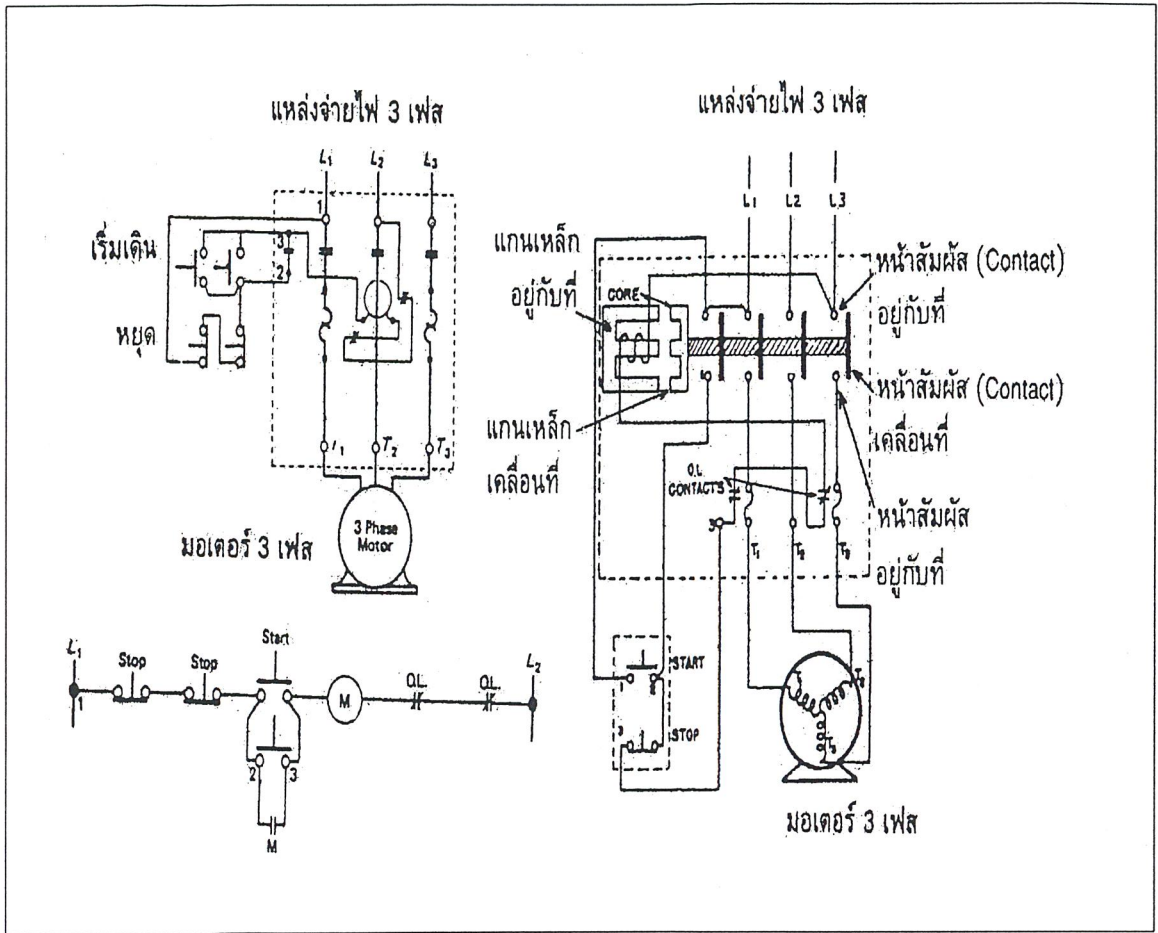
เป็นขั้นตอนการเตรียมชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องจักร ซึ่งจะรวมถึงขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องจักร

ด้วย

- เก็บข้อมูลทางด้านราคาวัสดุทั้งหมดที่ใช้ในการสร้าง เอ็กซ์ทรูดชั่น
- เสนอราคาวัสดุ พร้อมรายละเอียดต่างๆ แก่อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ
- สั่งซื้อวัสดุ อุปกรณ์ที่จำเป็นทั้งหมด
- จัดทำ สกรูป้อน
- จัดทำ บาร์เรล
- จัดทำ ฮอปเปอร์
- จัดทำ แม่พิมพ์
- จัดทำฐานรองรับ บาร์เรล
- จัดทำฐานยึดกล่องเกียร์
- จัดทำฐานรองรับเครื่อง
- จัดทำฐานยึดมอเตอร์
- จัดทำกล่องควบคุม
- จัดทำชุดป้องกันสายพาน
- ประกอบ ฮีตเตอร์เข้ากับ บาร์เรล พร้อมด้วยปะเกนบริเวณหน้าสัมผัส
- ประกอบตลับลูกปืนเข้ากับแผ่นประคอง สกรูป้อน
- ประกอบแผ่นประคอง สกรูป้อน เข้ากับ บาร์เรล

- ประกอบ บาร์เรล เข้ากับฐานรอง บาร์เรล
- ประกอบชุดบาร์เรล เข้ากับฐานรองรับเครื่อง
- ประกอบ ฮอปเปอร์ เข้ากับ บาร์เรล
- ประกอบเทอร์โมคัปเปิ้ลเข้ากับ บาร์เรล
- ประกอบ สกรูป้อน เข้ากับ บาร์เรล
- ประกอบแหวนล็อกเข้ากับสกรูป้อน ตรงตำแหน่งแหวนล็อก
- ประกอบคัปปลิงยางเข้ากับ สกรูป้อน
- ประกอบคัปปลิงยางอีกด้านกับ กล่องเกียร์
- ประกอบพลูเลย์กับ กล่องเกียร์
- ติดตั้ง กล่องเกียร์บนตำแหน่งฐานรอง จัดตำแหน่งคัปปลิงยางให้ตรง
- ปรับตำแหน่งศูนย์เพลลา สกรูป้อนให้อยู่ระดับเดียวกันกับเพลลา กล่องเกียร์
- ประกอบพลูเลย์เข้ากับมอเตอร์ต้นกำลัง
- ติดตั้งมอเตอร์ต้นกำลังเข้ากับ โครงเครื่อง
- ประกอบชุดสายพานส่งกำลังพร้อมปรับตั้งระยะตั้ง
- ประกอบชุดป้องกันสายพาน
- ประกอบประกอบชุดควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าเข้ากับกล่องควบคุม
- ติดตั้งสายไฟฟ้าเข้ากับชุดควบคุมไฟฟ้า
- ติดตั้งสายไฟฟ้าเข้ากับชุดควบคุมมอเตอร์
- ติดตั้งสายไฟฟ้าเข้ากับชุดควบคุมอุณหภูมิ

### 3.2 การออกด้านระบบควบคุมมอเตอร์



รูปที่ 3.5 วงจรการควบคุมมอเตอร์แบบ 3 เฟส

### 3.3 แผนการทดสอบเครื่อง

แผนการทดสอบเครื่องมีดังนี้

1. ใช้พลาสติกโพลิเอทีลีน ( PE )
2. ใช้เศษพลาสติกที่ผ่านการบดแล้ว 20 กิโลกรัม
3. อุณหภูมิที่ใช้มี 3 ช่วงคือ
  - ช่วงป้อน อุณหภูมิ ประมาณ 70 องศาเซลเซียส
  - ช่วงส่ง อุณหภูมิ ประมาณ 155 องศาเซลเซียส
  - ช่วงหลอม อุณหภูมิ ประมาณ 170 องศาเซลเซียส
4. เส้นพลาสติกที่ออกมาจะใช้การตัดหน้าแม่พิมพ์เพื่อให้เป็นเม็ด
5. เส้นพลาสติกที่ออกมาจะใช้มือดึงเพื่อให้เป็นเส้นยาว

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงาน

ในการจัดทำโครงการงานเรื่องเครื่องเอ็กซ์ทรูดชั่น ส่วนนี้เป็นส่วนแสดงผลการจัดสร้างและทดลอง เพื่อให้สอดคล้องวัตถุประสงค์ที่วางไว้ โดยการจัดสร้างและทดลองเครื่องจักรรวมถึงรายละเอียดต่างๆของชิ้นส่วนเครื่องจักร เพื่อประโยชน์การนำไปเป็นแนวทางในกานนำไปตัดแปลงประยุกต์ใช้กับงานประเภทอื่นๆ

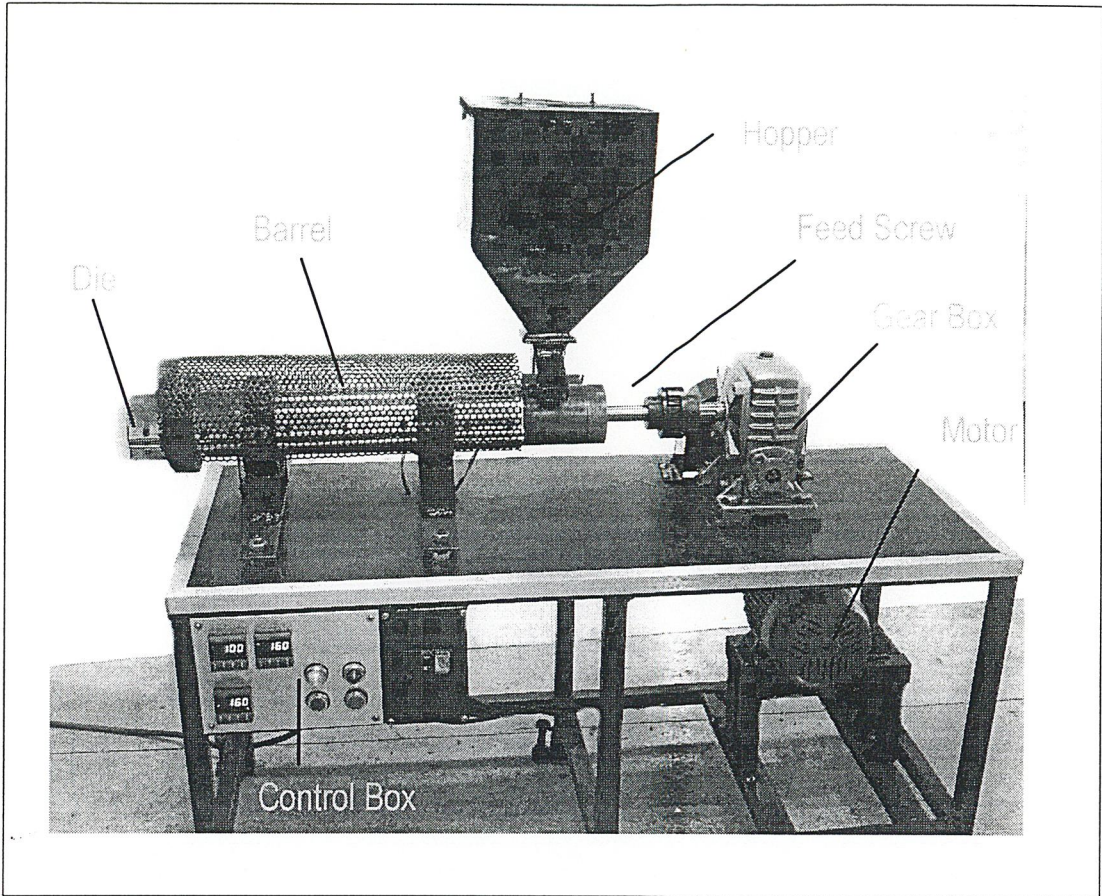
#### 4.1 ผลการสร้างเครื่องเอ็กซ์ทรูดชั่น

##### 4.1.1 ผลการออกแบบ

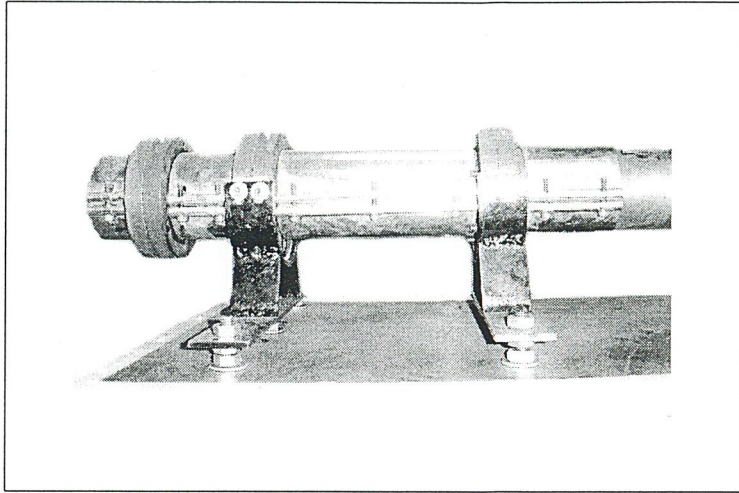
การออกแบบเครื่องเอ็กซ์ทรูดชั่น โดยนำหลักการของเครื่องเอ็กซ์ทรูดชั่น ที่ใช้ตามโรงงานมาเป็นพื้นฐานของการออกแบบ โดยใช้ สกรูป้อน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 25 มิลลิเมตร ยาว 605 มิลลิเมตร บาร์เรล มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 x 90 x 605 มิลลิเมตร ในส่วนของ บาร์เรลจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนป้อน , ส่วนส่ง , ส่วนหลอม ในแต่ละส่วนจะถูกให้ความร้อนโดยตัวให้ความร้อนแบบรีดท้อ ( Heater Bands) ขนาด 220 โวลต์ 800 วัตต์ จำนวน 3 ตัว และในแต่ละส่วนต้องการความร้อนที่อุณหภูมิที่ไม่เท่ากัน จึงควบคุมอุณหภูมิด้วยชุดควบคุมอุณหภูมิ ( Temperature control ) และใช้มอเตอร์ดันกำลัง 3 เฟส ขนาด 746 วัตต์ ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที ต้องจอร์ใช้งานแบบสตาร์ท โดยกำหนดความเร็วรอบในการทำงาน 80 รอบต่อนาที จึงมีการทดรอบ โดยใช้เฟืองเดี่ยว และชุดเกียร์ทด ซึ่งมีอัตราทดรอบ 1 : 20 วัสดุที่ใช้ในการทำการทดสอบเป็นพลาสติกแบบเทอร์โมพลาสติก ชนิด โพลีเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นต่ำ ( Lowdensity Polyetherean ) หรือ LDPE อุณหภูมิหลอมที่ใช้ในการทดลองจะอยู่ในช่วง 130 – 170 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นพลาสติกที่ผ่านการขึ้นรูปโดยการเป่า ( Blow Molding ) มาแล้ว และทำให้ชิ้นทดลองมีขนาดเล็กกลงโดยนำไปบดโดยเครื่องบดพลาสติกก่อนที่จะนำมาทำการทดลองในครั้งนี้ จากการออกแบบส่วนของแม่พิมพ์จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนที่จะออกมาเป็นชิ้นงาน ( Extrudate) 4 มิลลิเมตร จากทฤษฎีที่ได้ใช้ในการออกแบบผลที่ได้คือชิ้นงานถูกอัดรีดผ่านแม่พิมพ์เป็นรูปทรงกระบอกยาวๆขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3-5 มิลลิเมตร เนื่องจากการหดหรือขยายตัว

##### 4.1.2 ผลการสร้าง

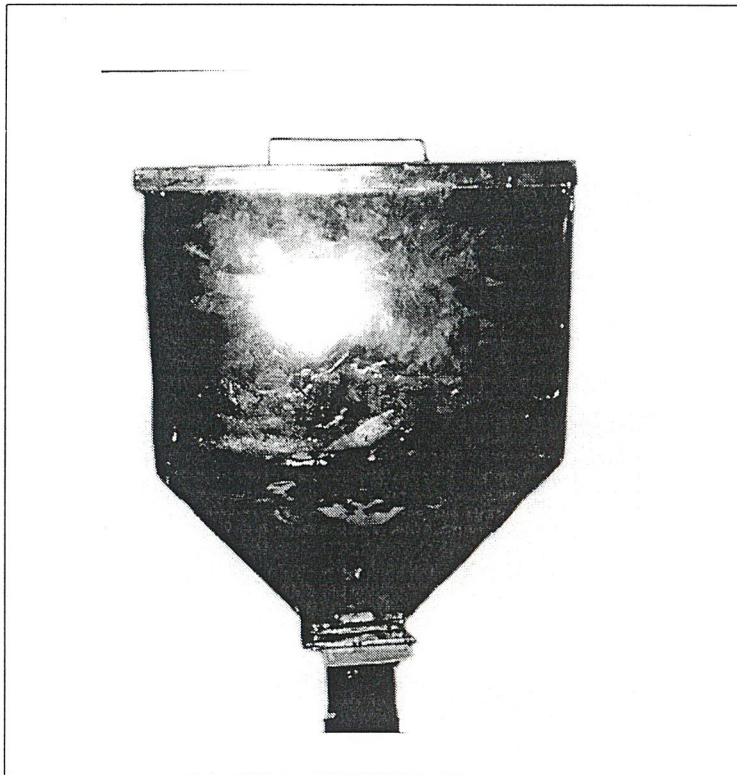
ดำเนินการสร้างเครื่องเอ็กซ์ทรูดชั่น ตามที่ได้ออกแบบไว้แล้วจนแล้วเสร็จ และได้ทำการทดลองผลการทดลองที่ได้ตรงกับที่ตั้งข้อสมมติฐานเอาไว้ คือ ชิ้นงานถูกอัดรีดผ่านแม่พิมพ์เป็นรูปทรงกระบอกยาวๆขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3-5 มิลลิเมตร เนื่องจากการหดหรือขยายตัว โดยผลการสร้างเครื่องเอ็กซ์ทรูดชั่น แสดงไว้ดังรูปต่อไปนี้ ( ดูรายละเอียดแบบงานได้ที่ภาคผนวก ง )



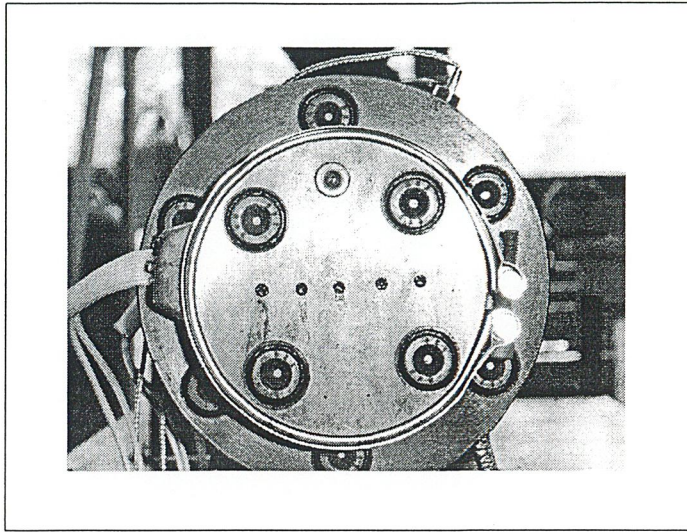
รูปที่ 4.1 ประกอบส่วนต่างๆของเครื่อง



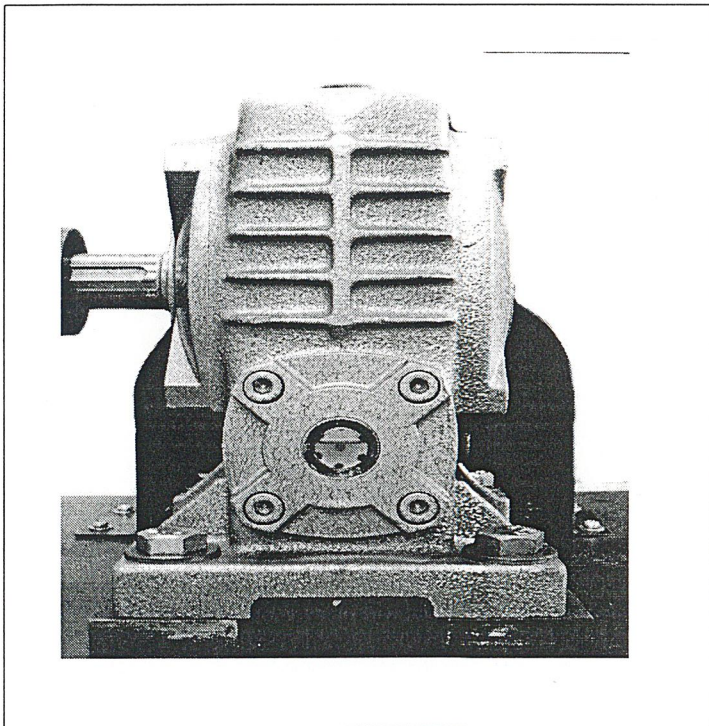
รูปที่ 4.2 ครอบบอลวม



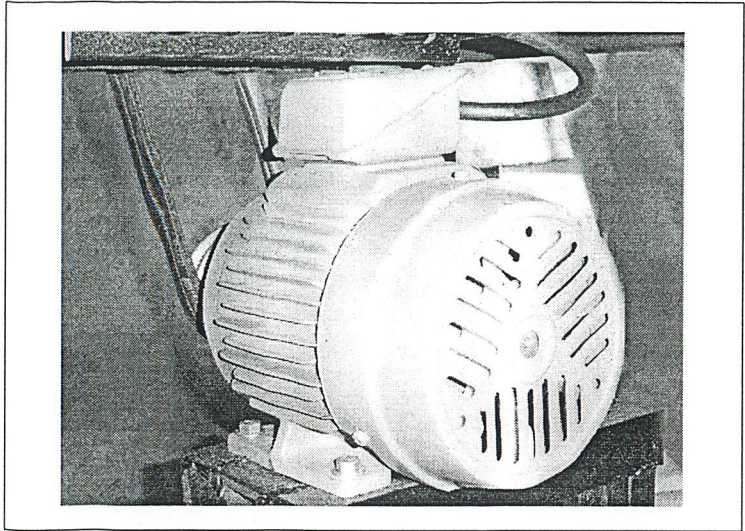
รูปที่ 4.3 กรวยเติมพลาสติก



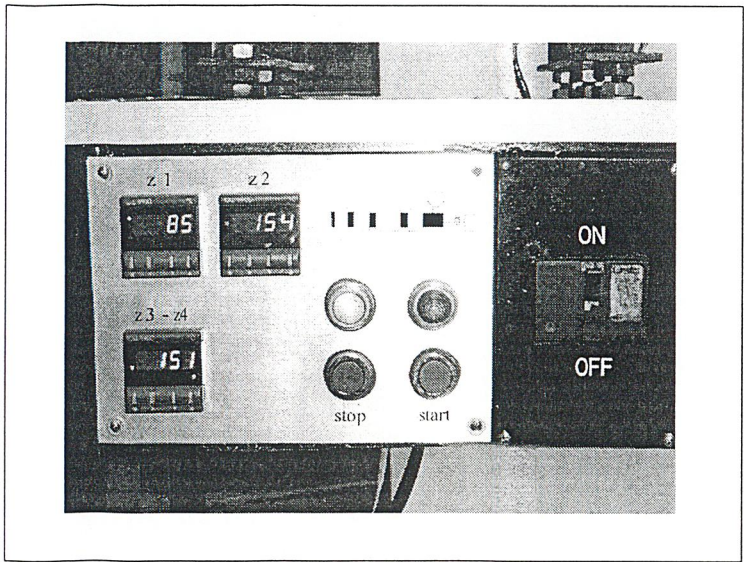
รูปที่ 4.4 แม่พิมพ์



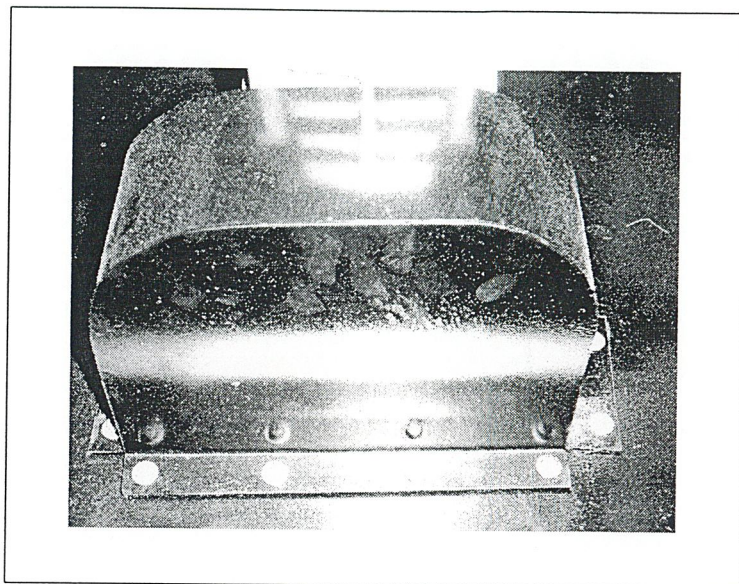
รูปที่ 4.5 ชุดเกียร์ทด



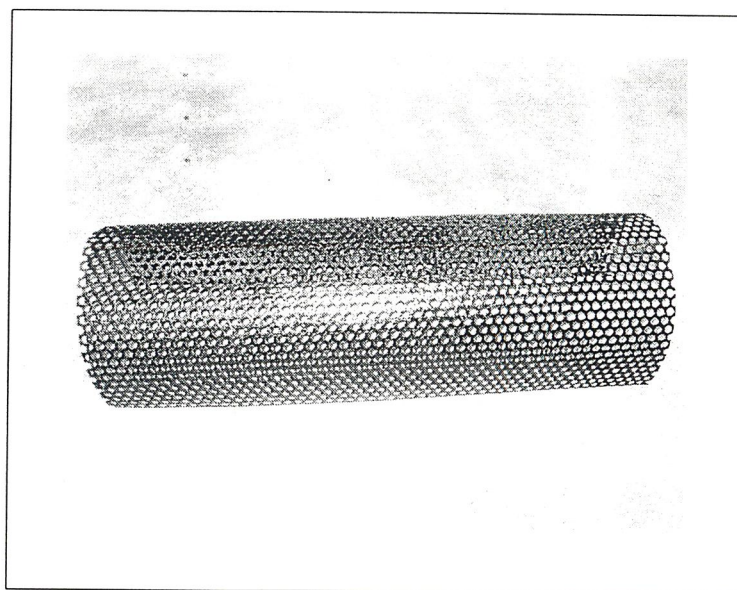
รูปที่ 4.6 มอเตอร์



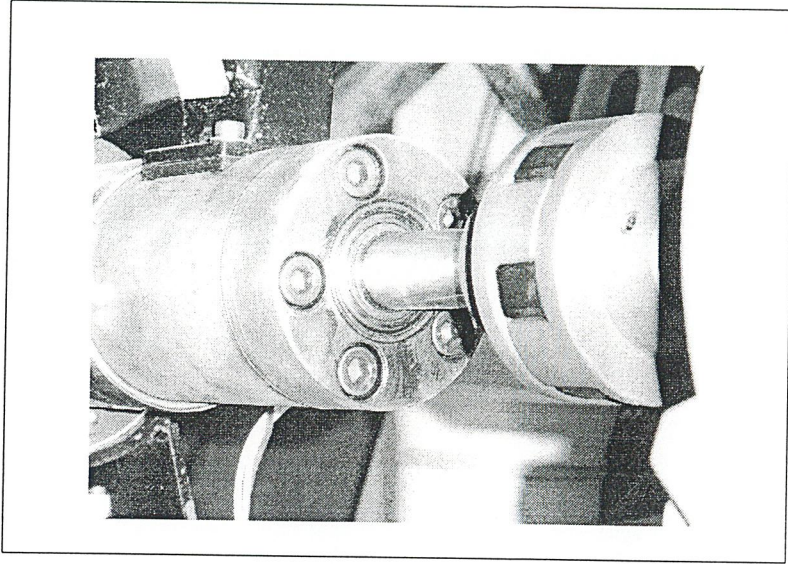
รูปที่ 4.7 กล้องควบคุม



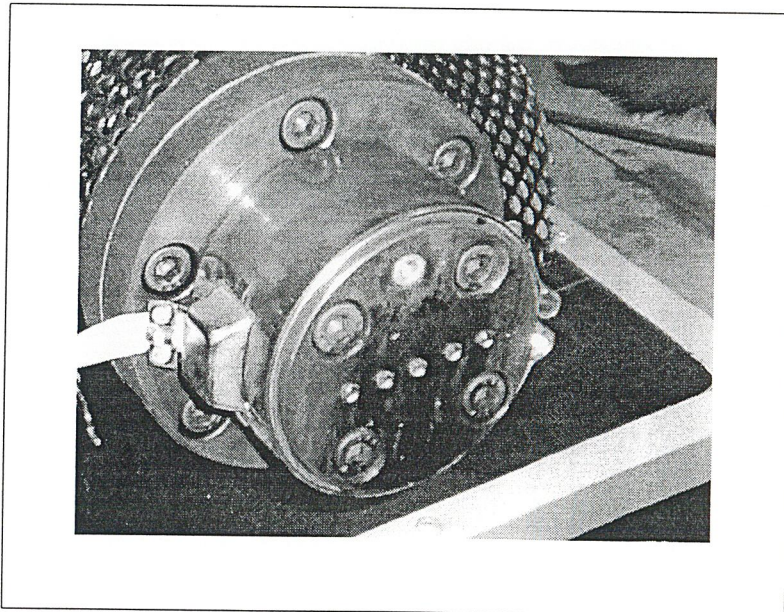
รูปที่ 4.8 ชุดป้องกันสายพาน



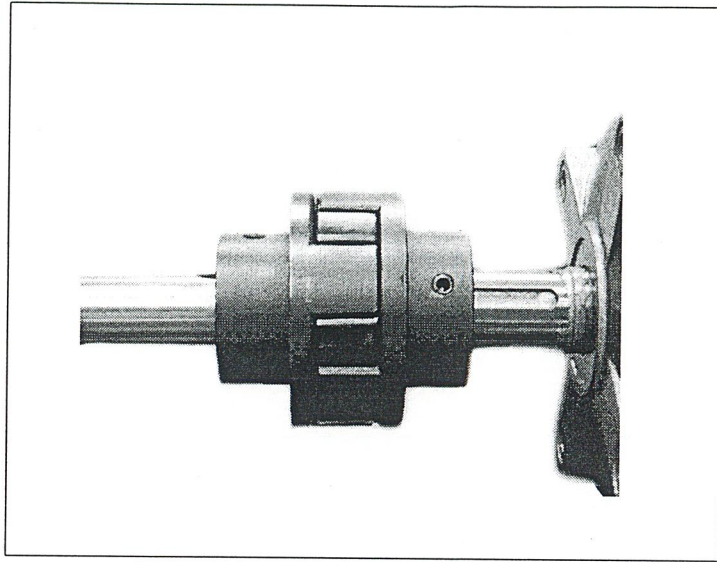
รูปที่ 4.9 ชุดป้องกันการสัมผัสความร้อนจากกระบอกลูกสูบ



รูปที่ 4.10 แผ่นประคองสกรู



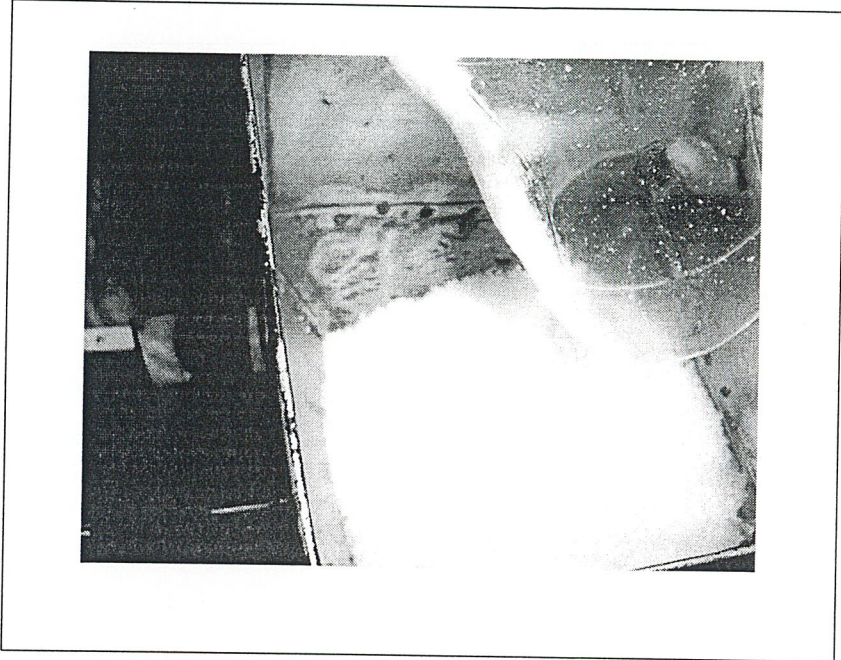
รูปที่ 4.11 แม่พิมพ์ และ ฮีตเตอร์



รูปที่ 4.12 คัปปลิงยาง และ สกรูป้อน

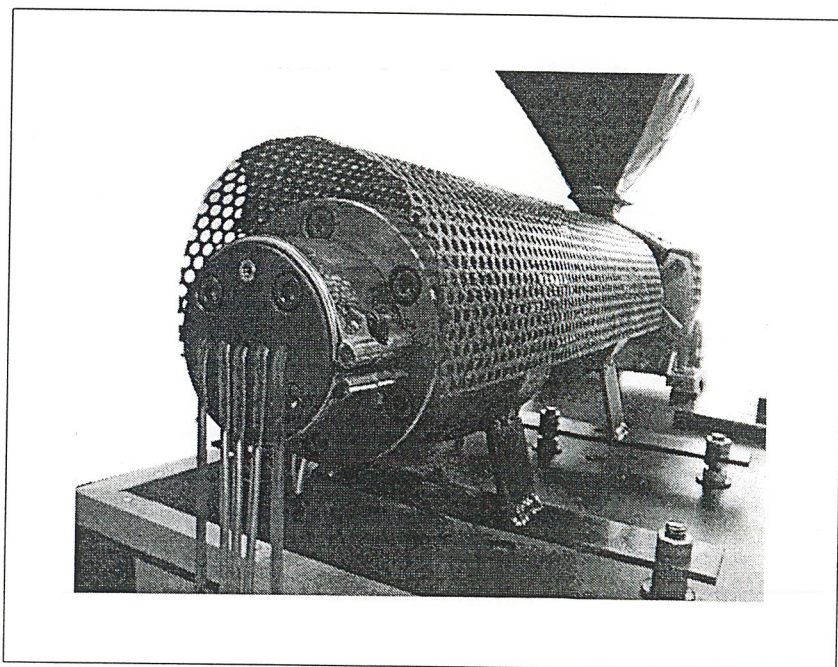
## 4.2 ผลการทดสอบ

ภาพแสดงวัสดุดิบพลาสติก



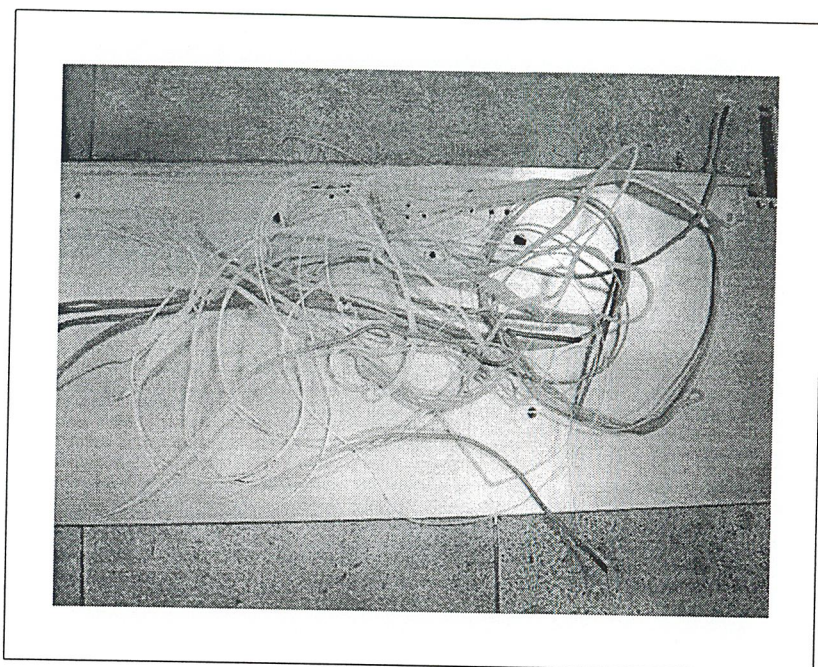
รูปที่ 4.13 วัสดุดิบพลาสติก

ภาพแสดงพลาสติกถูกอัดรีด



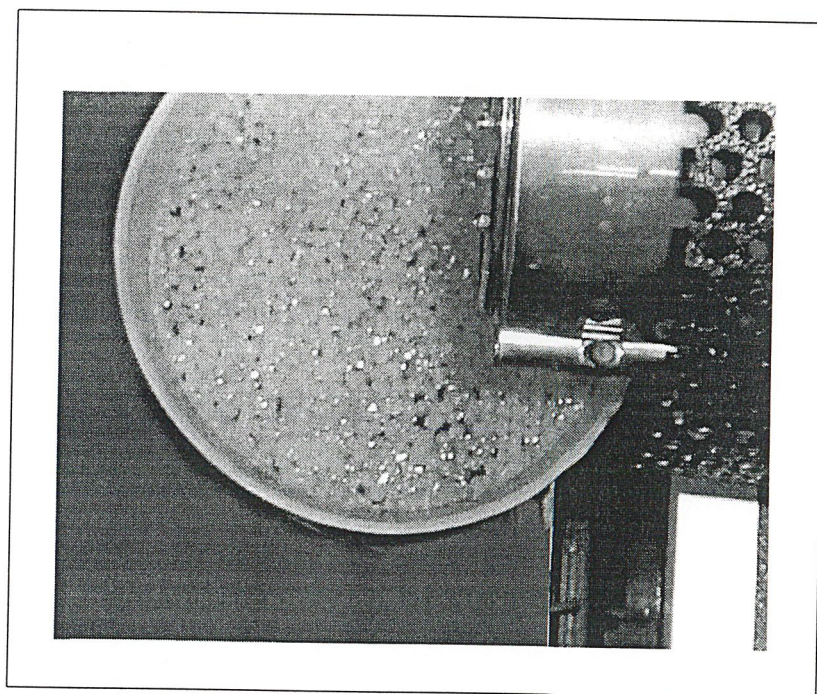
รูปที่ 4.14 พลาสติกถูกอัดรีด

ลักษณะชิ้นงานที่มีสารมลทิน



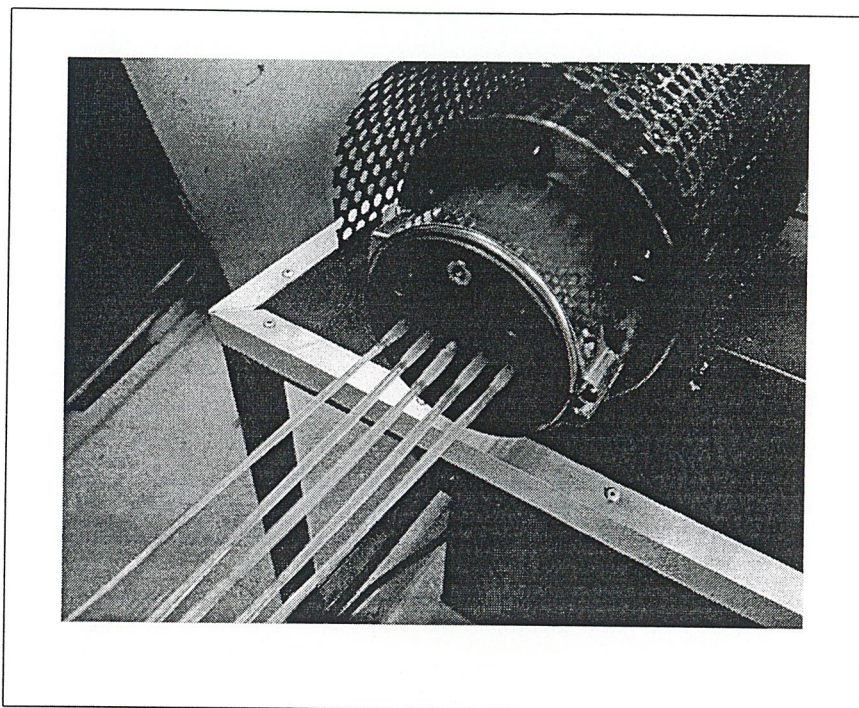
รูปที่ 4.15 ชิ้นงานเมื่อเริ่มเดินเครื่อง

ผลทดลองตัดชิ้นงานหน้าแม่พิมพ์



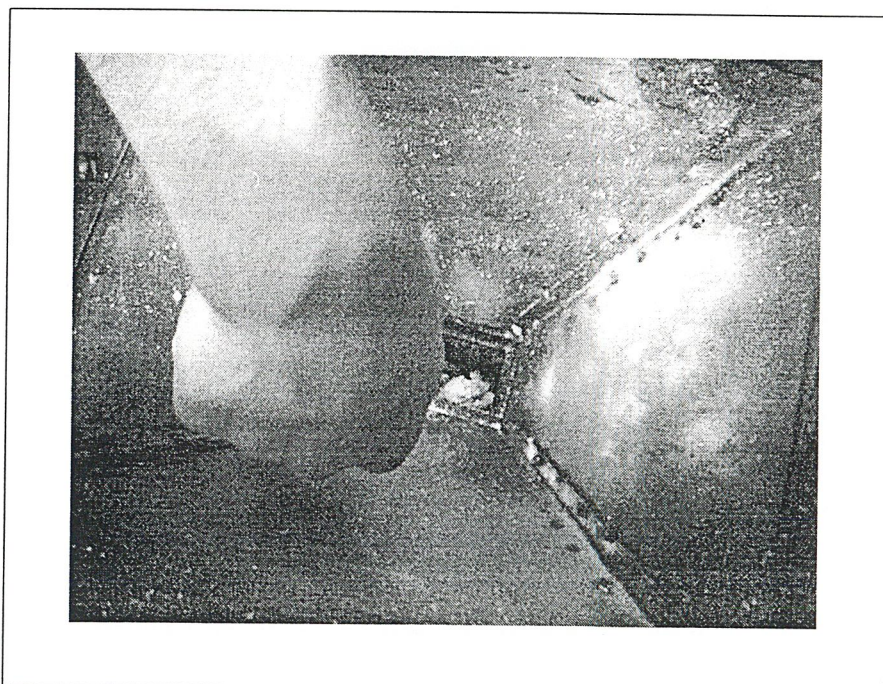
รูปที่ 4.16 การตัดชิ้นงานหน้าแม่พิมพ์

ผลทดลองดึงชิ้นงานโดยใช้มือดึง



รูปที่ 4.17 การดึงชิ้นงานโดยใช้มือดึง

ก้อนพลาสติกที่เกิดการแข็งตัวได้ Hopper



รูปที่ 4.18 ก้อนพลาสติกที่เกิดการแข็งตัวได้ ฮอปเปอร์

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลของการออกแบบและจัดสร้างเครื่องพลาสติกเอ็กซ์ทรูด

จากการศึกษาในการออกแบบเครื่องพลาสติกเอ็กซ์ทรูดชั้นได้ผลดังต่อไปนี้ เครื่องเอ็กซ์ทรูดชั้นใช้สกรูป้อนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ความยาวของสกรูป้อน 605 มิลลิเมตร หมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ในกระบอกเพื่อพาวัสดุดิบ จากช่องเติมวัสดุดิบผ่านช่วงอุณหภูมิความร้อนในส่วนต่างๆของกระบอกทำให้วัสดุดิบพลาสติกเกิดการหลอม และถูกสกรูป้อนอัดรีดผ่านแม่พิมพ์ออกมาเป็นชิ้นงานตามลักษณะของแม่พิมพ์ที่สร้างขึ้น ในการทำงานได้ต่อวงจรควบคุมอุณหภูมิ โดยมี ตัวควบคุมอุณหภูมิ, ตัววัดอุณหภูมิ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิผ่านตัวให้ความร้อน ซึ่งจะมีการควบคุมอุณหภูมิในส่วนของ กระบอก อยู่ 3 ส่วน คือ ส่วนป้อน, ส่วนหลอม, ส่วนส่ง แต่ละส่วนจะมีช่วงอุณหภูมิใช้งานที่ไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติกที่ใช้ การควบคุมการทำงานของมอเตอร์ ใช้วงจรควบคุมการทำงาน โดยควบคุมการทำงานทางอ้อมด้วยการใช้น้ำคอนแทคของแมกซ์เนติก เบรกเกอร์ เปิด-ปิดวงจรการทำงานของมอเตอร์ส่งกำลัง โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าต้นกำลังขนาด 1 แรงม้า ความเร็วรอบ 1,410 รอบต่อนาที ส่งผ่านกำลังโดยใช้สายพานรื่องรื่องตัววิมาลัย ชุดเกียร์ทด ซึ่งจะทำหน้าที่ลดความเร็วรอบ มีอัตราทดรอบ 1 : 20 ดังนั้นความเร็วรอบที่ที่ผ่านชุดเกียร์ทด จะได้ 75 รอบต่อนาทีจากนั้นส่งผ่านกำลังไปยัง สกรูป้อนโดยมีใช้คัปปลิงยางในการส่งผ่านกำลังทำให้สกรูป้อน มีความเร็วรอบในการหมุนพาวัสดุดิบพลาสติกจากกรวยเติมพลาสติกผ่านส่วนต่างๆของกระบอกหลอมที่มีการตั้งค่าอุณหภูมิไว้ตามชนิดของพลาสติกและถูกอัดรีดผ่านแม่พิมพ์ จะได้รูปร่างชิ้นงานตามลักษณะของการทำแม่พิมพ์ ซึ่งตามเงื่อนไขการทำงานก่อนที่จะทำการสตาร์ทมอเตอร์ส่งกำลังจะต้องทำการให้ความร้อนเริ่มต้น (Pre heat) แก่กระบอกโดยอุณหภูมิที่ใช้จะขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติก การให้ความร้อนแก่กระบอกหลอมจะใช้เวลาประมาณ 1/2 ถึง 1 ชั่วโมง เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับผิวของ สกรูป้อนและกระบอก เนื่องจากเศษพลาสติกที่เย็นตัวและจับตัวกันเป็นก้อนพลาสติก จากการที่ใส่พลาสติกออกจากกระบอกที่ยังเหลืออยู่ในการทำงานครั้งก่อน

##### 5.1.1 สรุปผลการทำงานทางด้านฮาร์ดแวร์

จากการทดสอบการทำงานของเครื่องตั้งแต่ระบบส่งกำลังจนถึงสกรูป้อนหลังจากการให้อุณหภูมิเริ่มต้นทดลองกดปุ่มสตาร์ท ( สวิตซ์ สีเขียว ) มอเตอร์ต้นกำลังจะทำงานและหมุนตามทิศทางที่ออกแบบไว้จากนั้นจะส่งผ่านกำลังมาจนถึงสกรูป้อนการทำงานเป็นไปตามที่ออกแบบไว้การหมุนของสกรูป้อนราบเรียบดีไม่มีเสียงดังผิดปกติทดลองใส่วัสดุดิบพลาสติกชนิด โพลีเอทเธอร์ลีนความหนาแน่นต่ำ ( LDPE ) วัสดุดิบก็จะถูกสกรูป้อนหมุนเติมเข้าไปใน กระบอกเรื่อยๆ เมื่อเวลาผ่านไป 1 – 2 นาที ก็จะมีพลาสติกออกจากหน้าแม่พิมพ์เป็นรูปร่างทรงกระบอกกลมตามลักษณะของแม่พิมพ์ที่ทำการออกแบบไว้ จากการสังเกตของชิ้นงานที่ออกมาในครั้งแรกจะมีสีขาวและมีสีดำผสมออกมา รวมทั้งข้างในของชิ้นงานจะมีช่องโพรงอากาศ เนื่องจากการอัดรีดแรกๆจะต้องทำการไล่อากาศและสิ่งเจือปนที่ตกค้างอยู่ภายในกระบอก เมื่อเวลาผ่านไป 2-3 นาทีสีของชิ้นงานที่ออกจากหน้าแม่พิมพ์ จะเริ่มเป็นสีขาวมีความโปร่งแสงอยู่เล็กน้อย และโพรงอากาศที่เกิดขึ้นภายในชิ้นงานเริ่มหายไปพร้อมๆกับการยุบตัวของวัสดุดิบพลาสติกที่เติมไว้ใน กรวยเติมพลาสติกลักษณะของชิ้นงานที่ออกจากแม่พิมพ์จะเริ่มเย็นตัวใกล้จะแข็งตัว

## 5.1.2 ชุดควบคุม

จากการทดลองชุดควบคุมอุณหภูมิแต่ละตัวซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิในแต่ละ ช่วงการทำงานตรงตามที่ได้ออกแบบไว้ การทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ต้นกำลังการทำงานที่ได้ตรงตามที่ได้ออกแบบไว้คือ กด ปุ่มกดสีเขียว (Bottom Switch) มอเตอร์ต้นกำลังทำงาน สกรูป้อนหมุนทำงานในทิศทางที่ออกแบบไว้ เมื่อกดปุ่มกดสีแดง (Bottom Switch) ก็จะหยุดการทำงานของมอเตอร์ต้นกำลังเป็นไปตามที่ออกแบบไว้

## 5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

### 5.2.1 ปัญหาที่พบจากการทดลอง

จากการทำการทดลองได้มีอุปสรรคที่เกิดขึ้นจากการทดลอง เป็นข้อ ๆ ดังนี้

1. การปรับตั้งอุณหภูมิเพื่อควบคุมแต่ละส่วนของกระบอกลอมนไม่ได้
2. การทดลองครั้งแรกจากการสังเกตการหมุนของสกรูป้อนที่หมุนอยู่ภายในกระบอกลอมนมีการทำงานที่ผิดปกติ คือ มีเสียงดังเกิดขึ้นที่กระบอกลอมนขณะที่มีการหมุนของสกรูป้อน
3. เกิดการลลอมและจับตัวเป็นก้อนของวัสดุคิบได้ช่องเดิมวัสดุคิบ (Hopper) ทำให้การเติมวัสดุคิบพลาสติกในช่องเดิมไม่ต่อเนื่อง
4. เกิดฟองอากาศและสารมลทินที่ชิ้นงานเอ็กซ์ทรูด

### 5.2.2 แนวทางแก้ไข

จากการทดลองได้ทำการแก้ปัญหา ดังนี้

1. การปรับตั้งตัวควบคุมอุณหภูมิ ( Temperature Controller) ได้เลือกใช้รุ่น CAL 9900 ก่อนการใช้งานจะต้องมีการปรับตั้งค่าต่างๆเพื่อให้ตัวควบคุมอุณหภูมิทำงานตามความต้องการ ใช้งานตามคู่มือการปรับตั้งซึ่งได้รวบรวมไว้ในภาคผนวก
2. ทำการปรับตั้งระดับของสกรูป้อนและกระบอกลอมนให้อยู่ในระดับเดียวกัน โดยใช้ระดับน้ำเป็นเครื่องมือตั้งระดับ โดยที่ฐานของกระบอกลอมนสามารถทำการปรับตั้งได้ด้วยนอต
3. ทำการลดอุณหภูมิในส่วนของสกรูป้อน ลง จากการทดลองจะใช้อุณหภูมิในช่วง 70 – 80 องศาเซลเซียส ให้ไม่เกิดการลลอมและจับตัวเป็นก้อนของวัสดุคิบพลาสติกบริเวณได้กรวยเติมพลาสติกเป็นผลให้การไหลเติมวัสดุคิบเป็นไปอย่างต่อเนื่อง
4. ปลดออกการเอ็กซ์ทรูดของชิ้นงานจนกว่าฟองอากาศจะหมดไปจากการทดลองใช้เวลาประมาณ 2-3 นาที ฟองอากาศและรอยไหม้ในชิ้นงานจะหายไปเอง เนื่องจากการเอ็กซ์ทรูดครั้งแรกจะมีอากาศแทรกอยู่บริเวณร่องเกลียวของสกรูป้อนจะต้องทำการเอ็กซ์ทรูดไล่อากาศออกก่อนที่จะทำการผลิตชิ้นงานจริง

### 5.2.3 ข้อเสนอแนะ

1. เครื่องเอ็กซ์ทรูดที่ได้จัดทำขึ้นนี้ยังจัดอยู่ในเครื่องต้นแบบในส่วนของสกรูป้อนทำจากวัสดุเหล็กเพลลาหัวแดง (S45c) และได้ทำการปรับสภาพความแข็งของผิวโดยกรรมวิธีไนไตรดิง ค่าความแข็งของการปรับสภาพผิวคือ 50 – 55 ร็อกเวล สเตลชี ส่วนของกระบอกลอมนทำจากวัสดุเหล็กเพลลาหัวแดง (S45c) แต่ยังไม่ได้ทำการปรับสภาพความแข็งของผิว

ทำให้การทำงานของเครื่องอาจจะอยู่ในช่วงเวลาการทำงานที่จำกัดสามารถที่จะนำเครื่องนี้ไปใช้ในส่วนของการทดลองที่มีการใช้งานในระยะเวลาที่ไม่ยาวนานได้แต่หากจะนำเครื่องนี้ไปใช้งานที่มีระยะเวลาการทำงานในลักษณะของโรงงานอุตสาหกรรมจะต้องนำส่วนของกระบอก ไปทำการปรับสภาพผิวเพื่อให้ความแข็งของผิวอยู่ในระดับเดียวกันกับสกรูป้อน

2. การทำงานของเครื่องในส่วนของความเร็วรอบของสกรูป้อนความเร็วรอบที่ใช้หลังจากผ่านการทดสอบความเร็วรอบจากเกียร์บล็อกความเร็วจะอยู่ในระดับที่คงที่คือ 75 รอบต่อนาทีไม่สามารถที่จะทำการปรับความเร็วรอบได้ ซึ่งถ้าหากการทำงานที่ต้องการปรับความเร็วรอบของสกรูป้อนเพื่อให้สกรูหมุนช้าหรือเร็วกว่านี้สามารถที่จะนำอุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์มาทำการติดตั้งเพิ่มเติมได้

3. สามารถที่จะทำการถอดเปลี่ยนแม่พิมพ์ชุดเดิมเพื่อทำการผลิตชิ้นงานในลักษณะอื่นในรูปแบบของการเอ็กซ์ทราจูด เช่น หลอดกาแฟ ท่อพลาสติกขนาดเล็ก เป็นต้น ได้ เพียงแต่ทำการผลิตแม่พิมพ์ขึ้นมาใหม่

## บรรณานุกรม

1. E.G. FISHER Ph.C., F. P. I. “ Extrusion of Plastics” . Published for the Plastics and Rubber Institute.
2. Friedhelm Henson “Plastic Extrusion Technology” In collaboration with W. Knape and H. Potente.
3. รองศาสตราจารย์มนตรี พิรุณเกษตร. “การถ่ายเทความร้อน” . บริษัทวิทยพัฒน์ จำกัด .
4. ดร.วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ , ชาญ ถนัดงาน. “การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1” . บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด ( มหาชน )
5. ดร.วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ , ชาญ ถนัดงาน. “การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2” . บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด ( มหาชน )
6. รองศาสตราจารย์มนตรี พิรุณเกษตร. “กลศาสตร์ของวัสดุ” . บริษัทวิทยพัฒน์ จำกัด .
7. รองศาสตราจารย์บรรเลง ศรีนิล, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประเสริฐ กัญจสมบุรณ์. “ตารางงานโลหะ” . สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
8. ดร. เจริญ นาคะสรรค์ . “กระบวนการแปรรูปพลาสติก” . มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ , 2542.

ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

การหาขนาดของมอเตอร์

การคำนวณขนาดของมอเตอร์จะพิจารณาจากอีกส่วนที่รับภาระมากที่สุดคือ สกรู ที่อยู่ภายใน  
กระบอกซึ่งสามารถจะทำการคำนวณได้ดังต่อไปนี้

วิธีทำ พิจารณา สกรู

ตามมาตรฐานของสกรู เมื่อมุม  $\phi = 18$  ดังนั้น มุม  $\theta = 72$

หาความเร็วของแรงที่ทำกับสกรูจากสมการ

$$V_y = \pi dn$$

แทนของค่าสมการ

$$V_y = \pi (0.025)(100) = 7.85 \frac{m}{\text{min}} = 0.13 \frac{m}{s}$$

$$V_x = v' \cos \theta$$

$$V_y = v' \sin \theta$$

ดังนั้นจะได้

$$\tan \theta = \frac{V_y}{V_x} = \frac{\sin \theta}{\cos \theta}$$

แทนของค่าสมการ

$$\tan 72 = \frac{0.13}{V_x}$$

$$V_x = 0.0422 \frac{m}{s}$$

∴ ความเร็วในแนวของสกรูคือ  $0.0422 \frac{m}{s}$

พิจารณาการไหลของพลาสติกภายในกระบอกได้ดังนี้

Non-Newtonian Fluid (การไหลแบบกระจายแบบไม่เป็นเส้นตรง) ดังสมการ

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} = \mu \frac{Vx}{a} = \frac{F}{A}$$

$$\frac{Vx}{a} = \frac{0.13}{0.0003} = 433.33 \frac{M}{S} \frac{1}{m} = 433.33 \frac{1}{S}$$

จากกราฟได้ค่า  $\mu$  ของพลาสติก

$$\mu = 1.8 \times 10^{-2} = 0.018 \frac{Ns}{m^2}$$

$$A = \pi dl = \pi(0.0225)(0.023) = 0.0489 m^2$$

แรงที่กระทำในแนวแกน  $X$  เท่ากับ  $0.1387 N$

$$F_2 = PA = 30 \left( \frac{N}{mm^2} \right) \left( \frac{\pi}{4} \right) (25^2) \frac{\pi}{4} \times (25^2) = 14718.75 N$$

สมการของความเค้นเฉือนในแนวระนาบ  $X, Y$

$$\tau_{yx} = \mu \frac{v}{a} + a \left( \frac{\partial p}{\partial x} \right) \left( \frac{y}{a} - \frac{1}{2} \right)$$

$$\tau_{yx} = (0.018) \left( \frac{0.13}{0.0003} \right) + 0.0003 \left( \frac{30296175}{0.023} \right) \left( 1 - \frac{1}{2} \right)$$

$$\partial p = 299 \text{ bar}$$

$$1 \text{ bar} = 101325 Pa$$

$$299 \text{ bar} = (101325)(299) = 30296175 Pa$$

ดังนั้นจะได้ค่า  $\tau_{yx}$  ดังนี้

$$\tau_{yx} = 7.8 + 7294.424 = 7302.224 \frac{N}{m^2}$$

จากสมการ

$$\tau_{yx} = \frac{F}{A}$$

ดังนั้นจะได้แรง  $F_1$

$$F_1 = \tau \chi \rho x A = (7302 \cdot 224) \pi (0.025)(0.023) = 357.1189 N$$

$$P = F_1 V_y + F_2 V_x = (357.1)(0.13) + (14718 \cdot 75)(0.0473) = 742.619$$

ดังนั้นกำลังของมอเตอร์จะได้

$$P = 742.619 \text{ watts} = 0.9955 \text{ hp} \approx 1 \text{ hp}$$

ดังนั้นมอเตอร์สามารถหาได้จากค่าคือ กำลังที่คำนวณได้จากการรับภาระ คือสกรูที่ใช้กำลังประมาณ 1 แรงม้าเพราะฉะนั้นจะเลือกใช้มอเตอร์ 3 เฟส ที่ 0.75kw หรือ 1hp ที่ความเร็วรอบ 1410 rpm ที่ความถี่ 50Hz 220V และมีจำนวน 4 โพล ชนิดของมอเตอร์ที่ใช้คือมอเตอร์ อินดักชั่น 3 เฟส ชนิด โรเตอร์พันขดลวด

ดังนั้น

สายพาน สามารถหาได้จากการนำคุณสมบัติของมอเตอร์ที่ได้มาเปิด ตาราง ก.1 เพื่อที่จะหาขนาด สายพาน, จำนวนเส้นของสายพาน, ชนิดของสายพานส่งกำลัง, ขนาดของมู่เลย์, ความกว้างของมู่เลย์จะได้ ขนาดต่างๆ ดังนี้

มู่เลย์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มม. ความกว้างมู่เลย์ 35 mm .

ใช้สายพาน แบบ A จำนวน 2 เส้น

ชั่วโมงการทำงาน  $\leq 10$  ชม./ วัน

กล่องเกียร์

เลือกใช้อัตราทด 1 : 20

เมื่อต้องการให้สกรูหมุนด้วยความเร็วรอบ 75rpm ( $n_4$ ) ดังนั้น มู่เลย์ ตัวตามของสายพานหมุนด้วยความเร็วเท่ากับ  $n_2 = n_3$  จากสมการของอัตราทด

สมการอัตราทด

$$I = \frac{n_1}{n_2} = \frac{n_3}{n_4}$$

แทนค่าของสมการ

$$20 = \frac{n_3}{75}$$

$$\therefore n_3 = n_2 = 1500 \text{ rpm} .$$

เมื่อใช้มอเตอร์ ขนาด  $1kw$   $1410 rpm$  .

$$n_1 = 1410 rpm$$

เปิดตารางหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคู่ตัวขับเท่ากับ  $d_1 = 80mm$  .

จาก  $d_1 n_1 = d_2 n_2$

$$d_2 = \frac{d_1 n_1}{n_2} = \frac{80 \times 1410}{1500} = 75.2mm .$$

ดังนั้นจะได้ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางคู่ตัวตามเท่ากับ  $d_2 = 75.2mm$

สายพาน

เมื่อต้องการส่งกำลังจากมอเตอร์กระแสสลับ ขนาด  $0.75kw$  ความเร็วรอบ  $1410 rpm$  ไปยัง  
กล่องเกียร์ที่มี

อัตราทด  $1 : 20$  และทำงานร่วมกับ สกรูที่หมุนด้วยความเร็วรอบ  $75rpm$  คิดที่ชั่วโมงการทำงาน  
 $\leq 10$  ชั่วโมง

ต่อวัน

กำหนดขนาดล้อสายพาน และระยะห่างระหว่างศูนย์กลางได้ตามความเหมาะสม

วิธีทำ

ขั้นแรกหาขนาดหน้าตัดของสายพานโดยใช้ ตาราง ก.6

กำลังที่ต้องการส่ง  $W_p = 1kw$

จากตาราง ก.7 ตัวประกอบใช้งาน  $N_s = 1.3$

ดังนั้นจากสมการ

$$W_p \cdot N_s = 0.746 \times 1.3 = 0.9698$$

จากตาราง ก.6 เลือกสายพานหน้าตัด  $A$

สมการของอัตราทด  $m_w = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1410}{1600} = 0.881$

เลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางล้อยาสายพานขับ จากตาราง ก.2

$$\text{ให้ } d_p = 80 \text{ mm} .$$

$$\text{ดังนั้น } D_p = m_p \cdot d_p = 0.881(80) = 70.5 \text{ mm} .$$

การคำนวณหาระยะห่างระหว่างศูนย์กลางล้อยาสายพานให้

$$C_{\max} = 2(d_p + d_p) = 2(80 + 70.5) = 301 \text{ mm} .$$

$$C_{\min} = 0.7(d_p + D_p) = 0.7(80 + 70.5) = 105.35 \text{ mm} .$$

ทดลองเลือกให้  $C = 200 \text{ mm} .$

หาความยาวพิตซ์โดยประมาณจากสมการ

$$L_p = 2C + 1.57(D_p + d_p) + \frac{(D_p - d_p)^2}{4C}$$

แทนค่าของสมการ

$$L_p = 2(200) + 1.57(70.5 + 80) + \frac{(70.5 - 80)^2}{4(200)}$$

$$L_p = 636.40 \text{ mm} .$$

จากตาราง ก.8 เลือกใช้สายพาน  $L_p + L_i = 742 \text{ mm} . (L_i = 30 \text{ mm} )$

ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางคำนวณได้จากสมการ

$$C = p + \sqrt{p^2 - q}$$

$$p = 0.25L_p - 0.393(D_p + d_p)$$

แทนค่าของสมการ

$$P = 0.25(662) - 0.393(70.5 + 80) = 106.35$$

$$q = 0.125(D_p - d_p)^2$$

แทนค่าของสมการ

$$q = 0.125(70.5 - 80)^2 = 11.28$$

แทนค่าของสมการ

$$C = 106.35 + \sqrt{(106.35)^2 - 11.28} = 212.65$$

แทนค่าสมการของส่วนโค้งสัมผัส

$$\frac{D_p - d_p}{C} = \frac{70.5 - 80}{212.65} = 0.04467$$

จากตาราง ก.6 ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส

$$N_a = 1$$

จากตาราง ก.6 ตัวประกอบแก้ไขความยาวสายพาน

$$N_1 = 0.82$$

สำหรับล้อสายพาน 80mm . อัตราทด  $m_w$  มีค่า 0.9698 และ  $n$  มีค่า 1410 rpm

จากตาราง ก.8 จะได้

$$P_R = 1.02kw \text{ ต่อเส้น}$$

หาจำนวนเส้นสายพานจากสมการ

$$z = \frac{W_p N_s}{P_R N_a N_1}$$

$$z = \frac{1(1.3)}{1.02(1)(0.82)} = 1.60$$

ดังนั้นเลือกสายพานชนิด A ยาว 742mm . จำนวน 2 เส้น

จากสมการมุมสัมผัสของสายพาน

$$\alpha_1 = \pi - 2 \sin^{-1} \left( \frac{D_p - d_p}{2C} \right) rad$$

แทนค่าของสมการ

$$\alpha_1 = \pi - 2 \sin^{-1} \left( \frac{70.5 - 80}{2(213)} \right) rad = 182.56^\circ$$

สมการความเร็วสายพาน

$$V = \pi d_p n$$

แทนค่าของสมการ

$$V = \pi \left( \frac{80}{1000} \right) \left( \frac{1410}{60} \right) = 5.90 \frac{m}{s}$$

สมการแรงดึงในสายพานขณะส่งกำลัง

$$F = \frac{W_p}{V}$$

แทนค่าของสมการ

$$F = \frac{1(1000)}{5.90} = 169.50N$$

จากตาราง ก.4 ได้ค่า  $K_1 = 1.5$

จากตาราง ก.5 ได้ค่า  $K_2 = 0.217$

$$\sin \frac{\alpha}{2} = 0.99975$$

$$V^2 = 34.81$$

จากสมการแรงดึงขั้นต้นในสายพาน

$$F_i = (k_1 F + 2k_2 v^2) \sin \frac{\alpha}{2}$$

แทนค่าของสมการ

$$F_i = (1.3(169.50) + 2(0.217)(34.81))0.99975$$

$$F_i = 235.40N$$

กระบอกล

การหาความเค้น  $\sigma_1$  และความเค้น  $\sigma_2$  ที่เกิดขึ้นกับกระบอกลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $90mm$  . ที่ความหนา  $32.5mm$  . อยู่ภายใต้ความดัน  $30 \frac{MN}{M^2}$

ความเค้นที่เกิดขึ้นตามแนวแกน  $\sigma_1$  สมการมีดังนี้

$$\sigma_1 = \frac{Pr}{2t}$$

แทนค่าในสมการ

$$\sigma_1 = \frac{30 \frac{MN}{M^2} (0.045 M)}{2(0.0325 M)} = 20.77 \frac{MN}{M^2}$$

ความเค้นที่เกิดขึ้นตามแนวรัศมี  $\sigma_2$  สมการมีดังนี้

$$\sigma_1 = \frac{Pr}{t}$$

แทนค่าในสมการ

$$\sigma_2 = \frac{30 \frac{MN}{M^2} (0.045 M)}{(0.0325 M)} = 41.54 \frac{MN}{M^2}$$

ความเครียดที่เกิดขึ้นตามแนวเส้นผ่าศูนย์กลาง มีสมการดังนี้

$$\epsilon d = \frac{\sigma_2}{E}$$

แทนค่าในสมการ

$$\epsilon d = \frac{41.54 \frac{MN}{M^2}}{210 \frac{GN}{M^2}} = 2.0 \times 10^{-4}$$

เส้นผ่าศูนย์กลางที่ยืดออก มีสมการดังนี้

$$\Delta d = (\epsilon d)d$$

แทนค่าในสมการ

$$\Delta d = (2.0 \times 10^{-4})0.0578 m. = 11.56 \times 10^{-6}$$

แรงที่กระทำภายในกระบอก มีสมการดังนี้

$$F = P.A$$

แทนค่าในสมการ

$$F = (30 \frac{MN}{M^2}) \frac{\pi}{4} (0.0256^2) = 15.4KN$$

แรงที่กระทำภายในกระบอกมีค่าเท่ากับ 15.4KN

การกระจายอุณหภูมิภายในกระบอก

จากตาราง ก.10 ใช้ประกอบหาค่าของการกระจายในกระบอกโดยคิดอุณหภูมิที่กระบอกเท่ากับ 400 °C  
การกระจายอุณหภูมิ มีสมการดังนี้

$$T = T_2 + \frac{q_0}{4k} (r_2^2 - r_1^2) - \frac{q_0 r_2^1}{2k} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)$$

แทนค่าในสมการ

$$T = 673k + \left( \frac{150 \frac{kW}{m^3}}{4(37.148 \frac{W}{m.k})} \right) (0.045^2 - 0.0128^2) m^2 - \left( \frac{150 \frac{kW}{m^3} (0.045^2) m^2}{2(37.148 \frac{W}{m.k})} \right) \ln\left(\frac{0.045}{0.0128}\right)$$

$$T = 669.74k \text{ or } 396.74^\circ C$$

ดังนั้นสรุปได้ว่าถ้าให้อุณหภูมิ ที่ผิวของกระบอก 400 °C จะทำให้อุณหภูมิภายในกระบอกเท่ากับ 396.74 °C

ตาราง ก.1 ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำสุดของมู่เส้สายพานตัววี (ด้านมอเตอร์) และรายละเอียดสมบัติสายพานตัววี  
(แบบมาตรฐานธรรมดา) (มุมสัมผัส 140° , อัตราส่วนความเร็วรอบ 2.04)

กำลัง (KW)	4 นิ้ว						
	มู่เส้ (มม.)		สายพาน		จุดกึ่งกลาง	ค่าโหลดการตั้งสายพาน Td (กก./ จำนวนสายพาน) ·	
	เส้นผ่านศูนย์กลาง พิช (ต่ำ สุด)	ความกว้าง (สูงสุด)	ลักษณะ สายพาน	จำนวน สายพาน		โหลดของ สายพาน (มม.)	เมื่อติดตั้งสาย พานอันใหม่
0.2	67	20	A	1	10	0.4 - 0.45	0.3 - 0.4
0.4	75	20	A	1	10	0.7 - 0.8	0.5 - 0.7
0.75	80	20	A	1	10	1.1 - 1.3	0.9 - 1.1
1	80	35	A	2	17.5	0.8 - 1.0	0.6 - 0.8
1.5	80	35	A	2	17.5	1.2 - 1.3	0.9 - 1.2
2.2	100	35	A	2	17.5	1.4 - 1.5	1.1 - 1.4
3.7	112	50	A	3	25	1.4 - 1.6	1.1 - 1.4
5.5	125	63	B	3	31.5	1.9 - 2.1	1.5 - 1.9
7.5	150	63	B	3	31.5	2.2 - 2.5	1.7 - 2.2
11	160	82	B	4	41	2.2 - 2.6	1.8 - 2.2
15	170	101	B	5	50.5	2.3 - 2.7	1.8 - 2.3
18.5	170	120	B	6	60	2.4 - 2.7	1.9 - 2.4
22	190	120	B	6	60	2.6 - 2.9	2.0 - 2.6
30	224	136	C	5	68	4.0 - 4.6	3.1 - 4.0
37	224	162	C	6	81	4.1 - 4.7	3.2 - 4.1
45	265	162	C	6	81	4.5 - 5.1	3.5 - 4.5
55	265	187	C	7	93.5	4.6 - 5.3	3.6 - 4.6
75	300	213	C	8	107	5.1 - 5.9	4.0 - 5.1
90	315	264	C	10	132	5.0 - 5.8	3.9 - 5.0
110	-	-	-	-	-	-	-
132	-	-	-	-	-	-	-
160	-	-	-	-	-	-	-

ตาราง ก.2 ขนาดสายพานลิ้มและล้อสายพาน ตามมาตรฐาน  
ISO/R 52-1957(E)และ ISO/R 526-1962(E)

ขนาดเป็น มม.

หน้าตัดสายพาน		Y	Z	A	B	C	D	E	
	$l_p$	5.3	8.3	11	14	19	27	32	
	h	4	8	8	11	14	19	25	
	$b_w$	5.3	8.5	11	14	19	27	32	
	$b_f$	6.3	9.7	12.7	16.3	22	32	40	
	c	1.6	2	2.8	3.5	4.8	8.1	12	
	e	$8 \pm 0.3$	$12 \pm 0.3$	$15 \pm 0.3$	$19 \pm 0.4$	$25.5 \pm 0.5$	$37 \pm 0.6$	$44.5 \pm 0.7$	
	f	$6 \pm 0.5$	$8 \pm 0.6$	$10 \pm 0.6$	$12.5 \pm 0.8$	$17 \pm 1$	$24 \pm 2$	$29 \pm 2$	
	$l_{min}$	7	11	14	18	24	28	33	
32°	สำหรับ	≤63	--	--	--	--	--	--	
34°	เส้นผ่าน	--	63 – 80	90 – 118	140 – 190	224 - 315	--	--	
36°	ศูนย์กลาง	63	--	--	--	--	≤500	≤630	
38°	พิตช์	--	> 80	> 118	> 190	> 315	> 500	> 630	
b1	จำนวน ร่อง ลิ้ม ล้อ สาย พาน	1	12	16	20	25	34	48	58
		2	20	28	35	44	59.5	85	102.5
		3	28	40	50	63	85	122	147
		4	36	52	65	82	110.5	159	191.5
		5	44	64	80	101	136	196	236
		6	52	76	95	120	161.5	233	280.5
		7	60	88	110	139	187	270	325
		8		100	125	158	212.5	307	369.5
		9		112	140	177	238	344	411
		10		124	155	196	263.5	381	458.5
		11		136	170	215	289	418	503
		12		148	185	234	314.5	455	547.5
	$D_{pmin}$	28	50	80	125	200	355	500	

ตาราง ก.3ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิคย์  $d_p$  ของล้อยาสายพานลิ้ม  
ตามมาตรฐาน ISO/R 52-1975(E) และ ISO/R 253-1962(E)

ขนาดเป็น มม.

25	60	100	170	280	500	900	1900
28	63	106	180	300	830	1000	2000
31.5	67	112	190	315	560	1060	2240
35.5	71	118	200	355	600	1120	2500
40	75	125	212	375	630	1250	
45	80	132	224	400	670	1400	
50	85	140	236	425	710	1500	
53	90	150	250	450	750	1600	
56	95	160	265	475	800	1800	

ตาราง ก.4 ตัวประกอบการใช้งาน

K1	สภาวะการทำงาน
1.3	งานเบา ทำงานคงที่
1.5	งานปานกลาง
2.0	งานหนัก แรงกระตุก เปิดปิดบ่อย

ตาราง ก.5 ตัวประกอบการหา  $K_2$

หน้าตัดสายพาน	$K_2$
Y	0.049
Z	0.126
A	0.217
B	0.385
C	0.637
D	1.332

ตาราง ก.6 ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส  $N_a$  สำหรับสายพานลิ้ม

$\frac{D_p - d_p}{C}$	ส่วนโค้งสัมผัส $\alpha \approx$	$N_a$
0	180	1
0.15	170	0.98
0.35	160	0.95
0.5	150	0.92
0.7	140	0.89
0.85	130	0.86
1.0	120	0.82
1.15	110	0.78
1.3	100	0.73
1.45	90	0.68

หมายเหตุ ค่าที่อยู่ในระหว่างค่าตาราง อาจหาค่าโดยประมาณ โดยใช้การประมาณแบบเชิงเส้น

ตาราง ก.7 ตัวประกอบใช้งาน  $N_s$  สำหรับสายพานลิ้ม

ชนิดของอุปกรณ์ที่ต้องจับ	ชนิดของอุปกรณ์จับ					
	มอเตอร์กระแสสลับ:			มอเตอร์กระแสสลับ :		
	NORMAL TOQUE, SQUIRREL CAGE, SYNCHROUSE AND SPLIT PHASE			HIGH TORQUE, HIGH SLIP, REPULSION-INDUCTION, SINGLE PHASE, SERIES WOUND AND SLIP RING		
	มอเตอร์กระแสตรง : SHUNT WOUND			มอเตอร์กระแสตรง : SERIES WOUND และ COMPOUND WOUND		
	เครื่องต้นคาปภายใน : ที่มีหลายลูกสูบ			เครื่องยนต์ต้นคาปภายใน : ที่มีหนึ่ง		
	ความเร็วสูงกว่า 600 รอบต่อนาที			ลูกสูบความเร็วต่ำกว่า 600 รอบต่อนาที		
	เพลามนคลัตช์					
	ชั่วโมงการทำงานต่อวัน			ชั่วโมงการทำงานต่อวัน		
	≤ 10	10 - 16	> 16	≤ 10	10 - 16	> 16
ตัวประกอบการใช้งานนี้พิจารณาเฉพาะช่วง เวลาใช้งานและชนิดของอุปกรณ์ที่ต้องการจับ แต่ไม่เกี่ยวข้องกับสภาวะการทำงาน ตัวอย่างเช่น ทำงานในสภาวะแวดล้อม เป็นพิษ ดังนั้นอาจเพิ่มค่าขึ้นได้ในกรณีพิเศษ						
งานเบา : เครื่องกวานเครื่องเป่าลม, เครื่องอัดลมและของเหลว, เครื่องสูบบแบบหอยโข่ง, พัดลมที่มีกำลังสูบ 7.5 KW , สายพานลำเลียงงานเบา	1	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
งานปานกลาง : สายพานลำเลียงทราย หรือเม็ดพืช, เครื่องผสมของชั้นเหนียว, พัดลมที่มีกำลังสูงกว่า 7.5 KW , เครื่องกำเนิดไฟฟ้า, เพลามน, เครื่องชักผ้า, เครื่องมือกด PUNCHES PRESSESHEARS, เครื่องพิมพ์ POSITIVE DISPLACEMENT ROTARY PUMPS, เครื่องเขย่า	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4

<p>งานหนัก : เครื่องทำอิฐ, BUCKET ELEVATIONS, EXITERS, เครื่องอัดลมและเครื่องสูบลมแบบลูกสูบ, สายพานลำเลียง, HAMMER MILLS, PAPER MILL BEATERS, POSITIVE DISPLACEMENT BLOWERS, เครื่องบด, เครื่องเลื่อยและเครื่องจักรกลงานไม้, เครื่องทอผ้า</p>	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
<p>งานหนักพิเศษ : CHUSHERS (GYRATORY – JAWROLL), MILLS, (BALLROB – TUBE) รอกไฟฟ้า RUBBER CALENDERS – EXTRUDERS - MALLS</p>	1.3	1.74	1.5	1.5	1.6	1.8

ตาราง ก.8 สมรรถนะในการส่งกำลังของสายพานลิ้มหน้าตัด "A" ต่อเส้น  $P_R$  (เป็น kw)  
 สำหรับสายพานยาว  $L_p = 1732$  mm และส่วนโค้งสัมผัส  $\alpha = 180^\circ$

$d_p$ (mm)	$m_\omega$	ความเร็วรอบของล้อสายพาน $P_R$ (kw)										
		400	700	800	950	1200	1450	1800	2400	2850	320	3600
		สมรรถนะในการส่งกำลังต่อเส้น $P_R$ (kw)										
71	1.00	0.29	0.45	0.50	0.56	0.67	0.76	0.88	1.05	1.16	1.22	1.28
	1.05	0.30	0.46	0.51	0.59	0.69	0.80	0.92	1.11	1.22	1.30	1.36
	1.20	0.32	0.50	0.55	0.63	0.75	0.86	1.00	1.22	1.35	1.44	1.52
	1.50	0.33	0.52	0.58	0.66	0.79	0.91	1.07	1.30	1.45	1.55	1.65
	$\geq 3.00$	0.34	0.54	0.60	0.69	0.82	0.95	1.11	1.37	1.53	1.64	1.74
80	1.00	0.37	0.59	0.65	0.74	0.89	1.02	1.20	1.45	1.61	1.71	1.81
	1.05	0.38	0.60	0.67	0.77	0.92	1.06	1.24	1.51	1.68	1.79	1.89
	1.20	0.40	0.63	0.71	0.81	0.97	1.12	1.32	1.62	1.81	1.93	2.05
	1.50	0.42	0.66	0.73	0.84	1.01	1.17	1.38	1.70	1.91	2.25	2.10
	$\geq 3.00$	0.43	0.68	0.75	0.87	1.04	1.21	1.43	1.76	1.98	2.28	2.27
90	1.00	0.47	0.74	0.82	0.94	1.13	1.31	1.54	1.88	2.10	2.24	2.36
	1.05	0.47	0.75	0.84	0.96	1.16	1.34	1.58	1.94	2.16	2.31	2.45
	1.20	0.49	0.78	0.87	1.01	1.21	1.41	1.66	2.05	2.29	2.45	2.61
	1.50	0.51	0.81	0.90	1.04	1.26	1.46	1.73	2.13	2.39	2.57	2.74
	$\geq 3.00$	0.52	0.83	0.92	1.06	1.29	1.50	1.77	2.19	2.47	2.65	2.83
100	1.00	0.56	0.88	0.99	1.14	1.37	1.59	1.88	2.30	2.56	2.73	2.88
	1.05	0.56	0.90	1.01	1.16	1.40	1.62	1.92	2.36	2.63	2.80	2.97
	1.20	0.58	0.93	1.04	1.20	1.45	1.69	2.00	2.46	2.76	2.95	3.13
	1.50	0.60	0.96	1.07	1.24	1.50	1.74	2.06	2.55	2.86	3.05	3.26
	$\geq 3.00$	0.61	0.98	1.07	1.26	1.53	1.78	2.11	2.61	2.93	3.14	3.35
112	1.00	0.66	1.06	1.19	1.37	1.65	1.92	2.27	2.78	3.09	3.29	3.46
	1.05	0.67	1.08	1.20	1.39	1.68	1.96	2.31	2.84	3.16	3.36	3.54
	1.20	0.69	1.11	1.24	1.43	1.74	2.02	2.39	2.95	3.29	3.51	3.70
	1.50	0.70	1.13	1.27	1.47	1.78	2.07	2.46	3.03	3.39	3.62	3.83
	$\geq 3.00$	0.71	1.15	1.29	1.49	1.81	2.11	2.50	3.09	3.46	3.70	3.92
125	1.00	0.78	1.25	1.40	1.61	1.95	2.27	2.68	3.28	3.63	3.84	4.01
	1.05	0.79	1.27	1.42	1.64	1.98	2.31	2.73	3.34	3.70	3.92	4.09
	1.20	0.80	1.30	1.45	1.68	2.04	2.37	2.81	3.44	3.83	4.06	4.26
	1.50	0.82	1.32	1.48	1.71	2.08	2.42	2.87	3.53	3.93	4.18	4.39
	$\geq 3.00$	0.83	1.34	1.50	1.74	2.11	2.46	2.92	3.59	4.00	4.26	4.48

140	1.00	0.91	1.47	1.64	1.89	2.30	2.67	3.15	3.83	4.21	4.42	4.56
	1.05	0.92	1.48	1.66	1.92	2.32	2.70	3.19	3.88	4.27	4.49	4.64
	1.20	0.93	1.51	1.69	1.96	2.38	2.77	3.27	3.99	4.40	4.54	4.80
	1.50	0.95	1.54	1.72	1.99	2.42	2.82	3.33	4.08	4.50	4.75	4.93
	≥ 3.00	0.96	1.56	1.74	2.02	2.45	2.86	3.38	4.14	4.58	4.83	5.02

ตัวประกอบแก้ไขความยาวสายพาน  $N_1$

$L_p$	662	742	832	932	1032	1152	1282	1432	1632	1732	1832	1032
$N_1$	0.81	0.82	0.85	0.87	0.89	0.91	0.93	0.96	0.99	1.00	1.01	1.03
$L_p$	2272	2532	2832	3182	4032	5032						
$N_1$	1.06	1.09	1.11	1.13	1.20	1.25						

ความยาวพิตซ์ที่มีใช้  $L_p = L_i + 30$  (mm)

$L_i$	483	535	560	580	600	630	655	670	690	710	730	750
	780	787	800	813	825	838	850	855	875	889	900	914
	925	950	965	975	1000	1016	1041	1060	1090	1105	1120	1143
	1168	1180	1200	1220	1250	1270	1300	1320	1346	1372	1400	1422
	1448	1475	1500	1525	1550	1575	1600	1625	1651	1676	1700	1725
	1750	1780	1800	1854	1900	1980	2000	2030	2057	2083	2100	2120
	2150	2200	2240	2285	2360	2435	2475	2500	2650	2730	2800	2840
	3000	3050	3150	3250	3550	3650	4000					

ตาราง ก.9 ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำสุดของมู่เล่สายพานตัววี (ด้านมอเตอร์) และรายละเอียดสายพาน  
ตัววี (แบบมาตรฐานธรรมดา) (มุมสัมผัส 140°, อัตราส่วนความเร็วรอบ 2.04)

กำลัง (kw)	4 นิ้ว						
	มู่เล่ (มม.)		สายพาน		จุดกึ่งกลาง โหลคของ สายพาน (มม.)	ค่าโหลคตั้งสายพาน Td (กก./จำนวนสาย พาน)	
	เส้นผ่าศูนย์กลาง กึ่งพิคซ์ (ต่ำสุด)	ความกว้าง (สูงสุด)	ลักษณะ สายพาน	จำนวน สายพาน		เมื่อติดตั้งสาย พานอันใหม่	เมื่อปรับตั้งความตึง ของสายพานที่ใช้อยู่ ก่อน
0.2	67	20	A	1	10	0.4 – 0.45	0.3 – 0.4
0.4	75	20	A	1	10	0.7 – 0.8	0.5 – 0.7
0.75	80	20	A	1	10	1.1 – 1.3	0.9 – 1.1
1	80	35	A	2	17.5	0.8 – 1.0	0.6 – 0.8
1.5	80	35	A	2	17.5	1.2 – 1.3	0.9 – 1.2
2.2	100	35	A	2	17.5	1.4 – 1.5	1.1 – 1.4
3.7	112	50	A	3	25	1.4 – 1.6	1.1 – 1.4
5.5	125	63	B	3	31.5	1.9 – 2.1	1.5 – 1.9
7.5	150	63	B	3	31.5	2.2 – 2.5	1.7 – 2.2
11	160	82	B	4	41	2.2 – 2.6	1.8 – 2.2
15	170	101	B	5	50.5	2.3 – 2.7	1.8 – 2.3
18.5	170	120	B	6	60	2.4 – 2.7	1.9 – 2.4
22	190	120	B	6	60	2.6 – 2.9	2.0 – 2.6
30	224	136	C	5	68	4.0 – 4.6	3.1 – 4.0
37	224	162	C	6	81	4.1 – 4.7	3.2 – 4.1
45	265	162	C	6	81	4.5 – 5.1	3.5 – 4.5
55	265	187	C	7	93.5	4.6 – 5.3	3.6 – 4.6
75	300	213	C	8	106.5	5.1 – 5.9	4.0 – 5.1
90	315	264	C	10	132	5.0 – 5.8	3.9 – 5.0
110	--	--	--	--	--	--	--
132	--	--	--	--	--	--	--
160	--	--	--	--	--	--	--

ตาราง ก.10 สมบัติทางฟิสิกส์และความร้อนของโลหะ (ของแข็ง)

ชนิดของโลหะ	สมบัติที่ 300 K				K(W/m.k) ที่อุณหภูมิต่างๆ (k)			
	$\rho$	$C_k$	k	$\alpha \times 10^6$	400	600	800	1000
	(kg/m <sup>3</sup> )	(J/kg.K)	(W/m.K)	(m <sup>2</sup> /s)				
อะลูมิเนียมบริสุทธิ์	2702	903	237	97.1	240	231	218	--
โครเมียม	7160	449	93.7	29.1	90.9	80.7	71.3	65.4
ทองแดงบริสุทธิ์	8933	385	401	117	393	379	366	352
ตะกั่ว	11340	129	35.3	24.1	34.0	31.4	--	--
เหล็กบริสุทธิ์	7870	447	80.2	23.1	69.5	54.7	43.3	32.8
เหล็กกล้า C = 0.5%	7833	465	54	14.7	50.9	44.2	37.6	32.5
C = 1.0%	7801	473	43	11.7	42.7	38.9	34.1	30.5
C = 1.5%	7753	486	36	9.7	36.0	34.5	31.7	29.1
เหล็กผสม โครเมียม								
Cr = 0.65%	7822	444	37.7	10.9	38.2	36.7	33.3	26.9
Cr = 1.0%	7858	442	42.3	12.2	42.0	39.1	34.5	27.4
Cr = 1.02%	7836	443	48.9	14.1	46.8	42.1	36.3	28.2
เหล็กผสมซิลิคอน								
0.1% < Si ≤ 0.6%	7817	446	51.9	14.9	49.8	44.0	37.4	29.3
เหล็กกล้าไร้สนิม								
AISI 302	8055	480	15.1	3.97	17.3	20.0	22.8	25.4
AISI 304	7900	477	14.9	3.95	16.6	19.8	22.6	25.4
AISI 316	8238	468	13.2	3.48	15.2	18.3	21.3	24.2
AISI 347	7978	480	14.2	3.71	15.8	18.9	21.9	24.7
เงิน	10500	235	429	174	425	412	396	379
แพลทินัมบริสุทธิ์	21450	133	71.6	25.1	71.8	73.2	75.6	78.7
ดีบุก	7310	227	66.6	40.1	62.2	--	--	--
ตั้งกะสี	7140	389	116	41.8	111	103	--	--
แมกนีเซียม	1740	1024	156	87.6	153	149	146	--
ซิลิคอน	2330	721	148	89.2	98.9	61.9	42.2	31.2

ตาราง ก.11 คุณสมบัติของเหล็กกล้าตามมาตรฐานเยอรมัน (DIN)

Material	Elastic modulus MN/m <sup>2</sup>	Tensile Strength $\sigma_u$ MN/m <sup>2</sup>	Yield Strength $\sigma_y$ MN/m <sup>2</sup>	Shear Strength MN/m <sup>2</sup>	Modulus of Rigidity MN/m <sup>2</sup>
St 37	210 000	370	240	140	80 000
St 42	210 000	420	250	160	80 000
St 50	210 000	500	300	200	80 000
St 52	210 000	520	320	200	80 000
St 60	210 000	600	360	220	80 000
St 70	210 000	700	420	260	80 000
37 Mn Si 5	210 000	1000	750	280	80 000
Al Cu Mg	72 000	420	280	130	28 000

ตาราง ก.12 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายโดยประมาณ

วัสดุ	สัมประสิทธิ์ความเสียหาย			
	สถิต $f$		เลื่อน $f_o$	
	แข็ง	เปื่อย	แข็ง	เปื่อย
เหล็กกล้ากับเหล็กกล้า	0.15 – 0.20	0.10	0.10 – 0.15	0.05
เหล็กกล้ากับเหล็กหล่อ ทองเหลืองหรือบรอนซ์	0.18 – 0.25	0.10	0.15 – 0.20	0.05
เหล็กหล่อกับเหล็กหล่อ หรือบรอนซ์	0.22 – 0.26	0.16	0.15 – 0.20	0.10
โลหะกับไม้	0.50 – 0.60	0.10	0.20 – 0.50	0.08
ไม้กับไม้	0.50 – 0.70	0.20	0.20 – 0.40	0.005 – 0.15
สายพานหนังกับเหล็กหล่อ หรือเหล็กหล่อเหนียว	0.50 – 0.60	0.30	0.30 – 0.50	0.20
ปะเก็นกับโลหะ	0.60	0.25	0.25	0.12
แผ่นผ้าเบรคกับครีตซ์ที่ทำ จากใยหินกับเหล็กกล้า เหล็กหล่อเหนียวหรือ เหล็กหล่อ	--	--	0.30 – 0.50	0.15 – 0.30

ตาราง ก.13 Typical metering type extrusion screw

Screw Diameter (D) Inches, (mm)	Feed zone Depth (h <sub>1</sub> ) Inches, (mm)	Metering zone Depth (h <sub>1</sub> ) Inches, (mm)
1.5 (38)	0.250 (6.35)	0.080 (2.03)
2.0 (51)	0.320 (8.13)	0.100 (2.54)
2.5 (63)	0.380 (9.65)	0.125 (2.79)
3.5 (89)	0.400 (10.16)	0.125 (3.17)

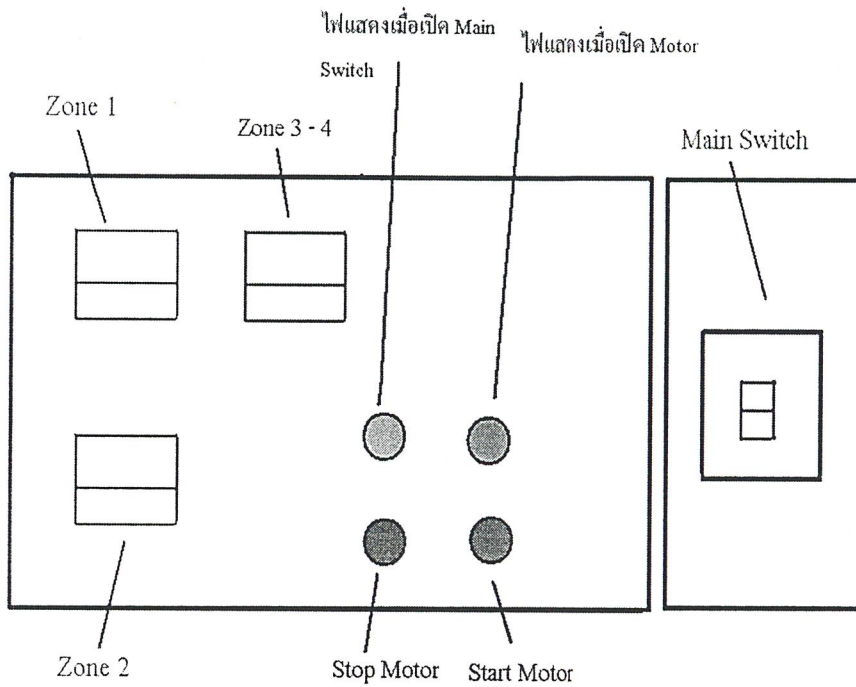
ตาราง ก.14 Hypothetical designs for various plastics

Dimension	Rigid PVC	Impact Polystyrene	Low-density Polyethylene	High-density Polyethylene	Nylon	Cellulose Acet / Butyrate
Dimension	4 ½	4 ½	4 ½	4 ½	4 ½	4 ½
Total length	90	90	90	90	90	90
Feed zone (F)	13 ½	27	22 ½	36	67 ½	0
Compression zone	76 ½	18	45	18	4 ½	90
Metering zone (M)	0	45	22 ½	36	18	0
Depth in (M)	0.200	0.140	0.125	0.155	0.125	0.125
Depth in (F)	0.600	0.600	0.600	0.650	0.650	0.600

## ภาคผนวก ข

### คู่มือการใช้เครื่อง Plastic Extrusion

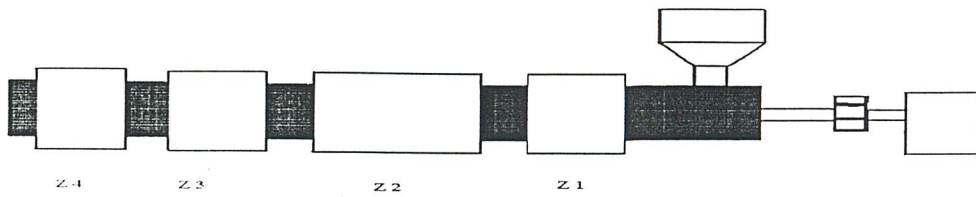
การทำงานของเครื่อง



การทำงานของเครื่องก่อนที่จะเริ่มทำงานจะต้องแน่ใจข้างใน Barrel ไม่มีวัสดุพลาสติก

การเตรียมเครื่อง Plastic Extrusion

1. เปิด MAIN SWITCH บนเครื่อง Extrusion จะเป็นเบรกเกอร์อยู่ด้านหน้าข้างกล่องควบคุมอุณหภูมิ เมื่อเปิดแล้วไฟ supply สีเหลืองจะโชว์
2. ปรับอุณหภูมิของ ZONE ต่างๆ ตามชนิดของพลาสติกที่ใช้ในการอัดรีด ดังตัวอย่างตามตาราง



Guide Values for temperature settings in Extrusion Blow Molding.

MATERIAL	TEMPERATURE IN $c^{\circ}$				
	FEED ZONE (Z1)	CENTRE BARREL(Z2)	FRONT BARREL (Z3)	DIE(Z4)	MELT
L.D.P.E	70	155	170	170	$\pm 170$
H.D.P.E	70	175	185	170	$\pm 170$
H.M.N- H.D.P.E	70	195	205	200	$\pm 200$
Polypropylene	180	195	200	200	$\pm 210$
Polycarbonate	280	270	270	260	$\pm 280$
P.V.C.	145	160	170	165	$\pm 185$

3. ปลดปล่อยให้ความร้อนจาก Heater Bands ร้อนจนผ่านผนัง Barrel และผ่านไปจนพลาสติกที่อยู่ข้างใน Barrel ประมาณ  $\frac{1}{2}$  - 1 ซม.

หมายเหตุ ห้ามกดปุ่ม START ให้สกรูหมุนระหว่างที่ยังอุ่นให้พลาสติกใน Barrel ร้อน โดยเด็ดขาดก็คือ Bottom Start (สีเขียว) เนื่องจากอาจทำให้ผิวภายใน Barrel และ SEREW เกิดการเสียหายเพราะอาจมีพลาสติกที่ทำการอัดรีดออกมาไม่หมดค้างอยู่ภายใน

หลังจากที่อุ่นให้พลาสติกข้างใน Barrel ร้อนประมาณ ½ - 1 ชม. จะเกิดการไหม้เล็กน้อยของวัสดุ ดังนั้นจึงต้องอัดรีดวัสดุเหล่านั้นออกจาก Barrel กระทำได้โดย

3.1 เปิด hopper ข้างบน Barrel ซึ่งจะเป็นแผ่น โลหะกั้นการไหลของพลาสติกให้พลาสติกตกเข้าไปข้างในของ FEED ZONE ของ BARREL

3.2 กด Button Start (สีเขียว) ทำให้ MOTER หมุนทำงาน (ต้องแน่ใจว่าทิศทางหมุนของ motor ถูกต้อง)

หมายเหตุ

- การไล่พลาสติกที่ไหม้ออกจะกระทำไปเรื่อยๆ จนกระทั่ง ไม่มีพลาสติกที่ไหม้ออกมา และการหลอมไหลเรียบ ไม่มีฟองอากาศออกมาเพื่อรอการอัดรีดต่อไป
- ให้ระวังส่วนที่อัดรีดออกมาจะตกลงสู่พื้น ให้รับทำความสะอาดทันทีเพื่อความปลอดภัย

### การถอดประกอบ DIE HEAD

ขั้นตอนถอดหัว DIE

1. ปรับอุณหภูมิ Barrel และหัว DIE HEAD ให้ร้อนถึง 200 c ° ประมาณ 1 ชม.
2. กดปุ่ม START ให้สกรูหมุนเพื่อไล่พลาสติกที่หลงเหลืออยู่ออกตก Barrel และหัว DIE ออกให้หมด
3. นำ Cranc มารองรับ Die Head และนำเอา Thermocouple, Heater ออก และคลายสกรูที่ยึด DIE HEAD พอหลวม
4. หัวสกรูมารองรับด้านล่างของ DIE HEAD และคลายสกรูออกให้หมด และนำค้อนหัวอ่อนตอกออก
5. นำหัว DIE Head ไปทำการถอดแยกชิ้น และทำการขูดพลาสติกออกจาก DIE, DIE Body อย่างรวดเร็ว และให้สะอาดที่สุด (โลหะที่ใช้ขูดจะต้องเป็นโลหะอ่อน)

ขั้นตอนการประกอบ DIE HEAD.

1. ทำความสะอาดผิวสัมผัสระหว่าง DIE กับ BARREL
2. ทำความสะอาดรูสกรูที่ยึด DIE โดยใช้จาระบีทาสกรู และขันเข้าออกเพื่อล้างเกลียวให้ขึ้นง่ายเวลาประกอบ
3. ทำความสะอาดของ DIE กับ Barrel เพื่อเอาเศษโลหะที่ติดอยู่ ออก
4. นำหัว DIE ไปติดตั้งกับ BARREL และขันยึดติดให้แน่น (ให้หัว DIE HEAD อยู่ในแนวตั้งฉากกับพื้น)
5. เปิดไฟอุ่นเครื่องจนร้อน และขัน screw ให้แน่นอีกครั้งเพื่อป้องกันสกรูคลาย

## การถอดประกอบ FEED SEKEW (PE)

### ขั้นตอนถอดปฏิบัติดังนี้

1. ให้ความร้อน Barrel เท่ากับอุณหภูมิของพลาสติกที่ใช้งานอยู่ (200c °) อย่างน้อย 1 ชั่วโมง
2. นำเอาเม็ดพลาสติกใน Hopper ออกให้หมด
3. ขับสกรูคือ กดปุ่ม START ให้ MOTOR ทำงานเพื่อไล่พลาสติกออกจาก BARREL และหัว DIE จนหมด และกดปุ่ม STOP ให้ SEREW หยุด
4. ถอดหัว DIE ตามขั้นตอนการถอดหัว DIE นำไปทำความสะอาด
5. ถอดชุดเกียร์บล็อก ( gear box) โดยคลายสกรูที่ยึดกล่องเกียร์ออกซึ่งจะมี 4 ตัว และยกชุดกล่องเกียร์ออก
6. ถอดชุดประกอบ FEED SEREW ซึ่งจะมีสกรูยึดติดกับ Barrel (ชุดประกอบจะอยู่ด้านท้ายสุดของ Barrel) คลายสกรู และดึงทั้งชุดประกอบกับ FEED SEREW ใน Barrel ออก
7. นำเอาสกรูออกมาวางบนไม้หรือกระดาษแข็ง (ห้ามวางบนโลหะแข็งหรือพื้นซีเมนต์เด็ดขาด)
8. ทำความสะอาด FEED SEREW ทันทีโดยใช้แท่งอลูมิเนียมหรือทองแดงขูดออก
9. ทำความสะอาดรู BARREL ด้วยแปรงทองเหลือง และให้ลมเป่ารู Barrel เพื่อไล่เศษพลาสติก และผงสกปรกออกให้หมด
10. ทำความสะอาดผิวหน้าสัมผัสกันระหว่าง Barrel กับ DIE HEAD ตรงส่วนที่ประกอบติดกัน
11. ลดอุณหภูมิ Barrel ลงมาที่ 100 c ° (เพื่อเวลาต้องการเดินเครื่องใหม่ไม่ต้องรอนาน)

### ขั้นตอนประกอบ FEED SEREW ปฏิบัติดังนี้

1. ตรวจสอบความสะอาดรู Barrel ด้วยไฟฉายให้แน่ใจว่าไม่มีสิ่งสกปรกหรือสิ่งกีดขวางอยู่
2. นำ FEED SEREW ให้เข้าไปใน Barrel ช้าๆ และหมุนตัวประกอบ FEED SEREW ให้ตรงตำแหน่งรูยึด (ต้องทำความสะอาดผิวสัมผัส Barrel และตัวประกอบ)
3. ยึดตัวประกอบ FEED SEREW โดยใส่สกรูตามตำแหน่ง และหมุนยึดให้แน่น
4. นำชุดกล่องเกียร์ติดตั้งตำแหน่งเดิม และใส่ยางรองเข้ากับปลี ตั้งสายพานให้ได้ระยะตั้ง
5. นำชุดหัว DIE ประกอบตามวิธีที่ประกอบหัว DIE
6. ปรับอุณหภูมิตามชนิดพลาสติกกรองจนได้อุณหภูมิ
7. ใส่พลาสติกลง Hopper และทดลองอัดรีด

ภาคผนวก ก

คู่มือการปรับตั้ง Temperature Control

# CAL 9900 AUTOTUNE PID TEMPERATURE CONTROLLER INSTALLATION AND OPERATING MANUAL

## INSTALLATION

Install the 9900 controller in panel **see 10.2**  
Wire up connections **see 10.1**

### 1 TO SELECT SENSOR AND ADJUST SET POINT

Step 1

POWER UP  
Self check sequence



Step 2

ZERO FLASHES ON LEFT  
Indicating no sensor selected



Note:  
Buttons only adjust flashing digits  
(shown green)

Step 3

PRESS  $\blacktriangle$  TO SELECT  
SENSOR e.g. Type K = 2  
Sensor options:  
(For full table **see 8**)



I	1	R	4	E	7	RTD	9
K	2	S	5	L	8	PT100	
N	3	T	6	B	10		

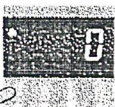
Step 4

PRESS **P** TO ENTER  
SENSOR INTO MEMORY  
Display shows process  
temperature e.g. Ambient



Step 5

PRESS  $\star$  TO DISPLAY  
SET POINT



Step 6

PRESS AND HOLD  $\star$   
TO INCREASE  
SET POINT



Output turns on and temperature rises

The controller is now  
operational with  
factory PID settings:

Prop band 2.5%  
Prop time 20 sec  
Derivative 25 sec  
Integral 5 min  
DAC approach  
control 1.5

### 2 IMPORTANT - Please read before using Autotune AT

- 1 If required adjust: Range, Hi-res 0.1°, Negative temperature ranging. **see 8**
- 2 Proportional cycle-time: 20 sec factory set, if unsuitable change now or use Autotune calculated value after tuning run **see 6**
- 3 For best results use normal set point and load conditions
- 4 Start Autotune AT with the load cool

#### 10 AUTOTUNE

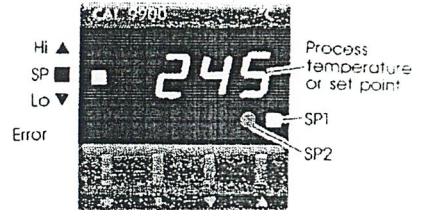
Step 7

START AUTOTUNE 'AT'  
NEAR AMBIENT



CAL Controls

The CAL 9900 microprocessor based temperature controller provides precise control with a minimum of setting up, the advanced Autotune algorithm tunes all five control parameters automatically. The simple setting up procedure below is normally sufficient, specialised applications may need the comprehensive 9900 features covered in this manual.



$\star$  View set point  
 $\star$   $\blacktriangledown$  Decrease  
 $\star$   $\blacktriangle$  Increase

#### KEY CONTENTS GUIDE

- 9 Important caution - please read first  
10 Installation 11 Setting up  
2, 3, 5 Autotune 6 Prop cycle-time  
Functions 4 Selection 8 Table  
7 Alarms 11 Error-messages

Step 8

PRESS **P** TO ACCESS  
PROGRAM MODE  
Function O flashes  
on right



Step 9

PRESS  $\star$  TO CHANGE  
TO OPTION SELECTION  
Option O flashes  
on left



Step 10

PRESS  $\blacktriangle$  TO SELECT  
AUTOTUNE 'AT'  
Option 1



Step 11

PRESS **P** TO START  
AUTOTUNE 'AT'



AT and Process  
temperature displayed  
alternately during  
Autotune



Autotuned parameters Autotune limits

Entered automatically:  
Proportional band/Gain 0.5 - 20% c/range  
Integral time/Reset 0.2 - 43.5 min  
Derivative time/Rate 1.0 - 255 sec  
DAC approach control 0.5 - 9.0 x gain

Proportional cycle time 0.8 - 819 sec

Calculated but for safety reasons needs  
manual acceptance **see 6**

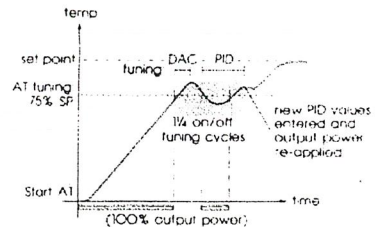


Fig. 1 Autotune AT

### 3.2 AUTOTUNE PT (Push-to-Tune) Select Opt 2 at 2 step 10

Used to fine tune difficult applications at set point. Useful if the set point or thermal conditions are substantially changed. During PT tuning some overshoot will occur. If this is unacceptable, temporarily reduce set point. PT tunes the parameters listed above except DAC. Proportional cycle time is re-calculated but needs manual acceptance

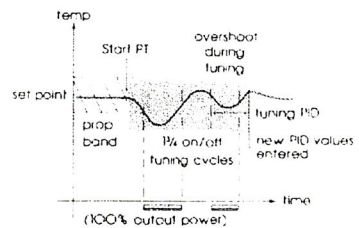


Fig. 2 Autotune PT

### 3 AUTOTUNE TYPES AND USES

Two types of Autotune are provided to ensure optimum control of a wide range of applications

AUTOTUNE AT - Normal method, tunes during warm up

AUTOTUNE PT - (Push-to-Tune) - For difficult applications, tunes at set point

#### 3.1 AUTOTUNE AT

Start Autotune AT with the load cool. A short tuning cycle occurs at 75% set point during warm up. New PID values are automatically entered and the temperature rises to set point

#### 3.3 OVERRIDING AUTOTUNE VALUES

After AT/PT any Autotuned parameter may be changed to an Option from the table. The original Autotuned value is retained in memory.

Note Subsequent Autotune AT or PT run replaces manual selections with new calculated values (except Cycle time)

## 4 CONTROLLER FUNCTIONS DISPLAY AND SELECTION PROCEDURE


The facilities of the 9900 are selected from the functions and Options Table **see 8** using program mode.

Functions (Fn) - The available controller facilities.  
Options (Opt) - The available values for each function e.g. Function 5 Option 0 (Fn 5/Opt 0) = SPI Prop band of 2.5%.


Note 1 - Should difficulty occur in adjusting Options check the Parameter lock **see 14**.

Note 2 - Normal control is maintained with existing settings during programming.


Step 1  
PRESS **P** TO ENTER PROGRAM MODE




Step 2  
PRESS AND HOLD **▲** INDEX TO FUNCTION  
e.g. Function 15 (Sensor select) flashes




Step 3  
PRESS **★** CHANGE TO OPTION SELECTION  
e.g. Option 2 (Type K)




Step 4  
PRESS **▼** or **▲** SELECT OPTION REQUIRED  
e.g. Option 1 (Type J)



Step 5  
PRESS **★** CHANGE TO FUNCTION SELECTION  
Set other Functions as required



Step 6  
PRESS **P** TO EXIT PROGRAM MODE WHEN SELECTIONS COMPLETE  
Process temperature displayed



Control commences with new instructions now entered in memory


## 5 MODE B - FUNCTION/OPTION DISPLAY PROCEDURE

Used in Function 2 to set full scale alarms and Function 24 - Range adjustment. Mode B enables all digits to be used for Options values.


Step 1  
PRESS **▲** TO INDEX TO FUNCTION  
e.g. Function 24 (Range adjustment) flashes  
Note 2 bars = Mode B



Step 2  
PRESS **★** TO DISPLAY OPTION VALUE  
e.g. Range 400° flashes



Step 3  
PRESS AND HOLD **★**  
PRESS **▲** TO INCREASE  
PRESS **▼** TO DECREASE OPTION VALUE



## 5 AUTOTUNE HINTS

5.1 Autotune error messages **see 11** (EE5-7)  
(Latched: PRESS **▼** **▲** to reset)  
AT/PT tunes most applications satisfactorily, but if tuning fails and error messages repeatedly occur, the application has unusual characteristics requiring manual tuning **see 21**.

5.2 Tuning with set point near ambient  
Difficult both to control and Autotune. Use PT. If tuning fails try with Fn 5/Opt 1, otherwise increase set point or tune manually.


5.3 In High Resolution (O1°)  
Should error message EE6 occur during tuning, select normal resolution (Fn 18/Opt 0) then Autotune and afterwards re-select Hi-res. (check range setting Fn 24)

5.4 AUTOTUNE VALUE DISPLAY  
At the end of an Autotune run the AT value is automatically entered and may be displayed in Functions:  
5 Prop band/Gain  
6 Derivative time/Rate  
7 DAC approach control  
8 Integral time/Reset

Step 1  
PRESS **P** TO ENTER PROGRAM MODE



Step 2  
PRESS **▲** TO INDEX TO FUNCTION  
e.g. Function 5 Prop band  
AT value = 3.5%



Note 3 LED's show an AT value displayed

## 6 PROPORTIONAL CYCLE-TIME

6.1 Autotuned cycle time  
Autotune calculates the optimum value but for safety reasons does not automatically implement it.

6.2 If the cycle time needed is known  
Applications known to require shorter times than the 20 sec factory setting, including SSR drive (1 sec), linear outputs (0.05 sec) should select the appropriate Option in Function 4 using the procedure **see 4**. This setting will not be changed, but may be replaced with the calculated AT value if preferred after the Autotune run.

6.3 Normal procedure  
Run Autotune AT **see 2**. When complete (alternating AT display stops) display the AT calculated cycle time and accept if suitable. This will then replace the 20 sec factory setting.


Step 1  
Index to Function 4  
For procedure **see 4**  
Option 0: 20 sec factory setting



Step 2  
PRESS **★** TO CHANGE TO OPTION SELECTION



Step 3  
PRESS **▲** TO DISPLAY CALCULATED AT VALUE  
e.g. 98 sec  
Note Flashing bar shows calculated AT value is displayed



Step 4

IF AT VALUE SUITABLE

PRESS **P** TO ACCEPT AT VALUE  
NOW OPERATIONAL



OR IF AT VALUE UNSUITABLE


PRESS **▲** TO SELECT A SUITABLE OPTION FROM TABLE  
e.g. Option 4: 30 sec



6.4 AT Cycle time values in Function 4


Two AT cycle time values are stored to enable the current operational value to be retained, until a new value from a subsequent Autotune run is considered. Example of two AT cycle time values after a subsequent Autotune run:

Step 5  
Index to Function 4  
Operational AT value - 9.8 sec  
As accepted previously (Step 4) - Note 3 LED's ON



Step 6  
PRESS **★** TO CHANGE TO OPTION SELECTION

Step 7  
PRESS **▲** TO DISPLAY Latest calculated AT value  
e.g. 7.2 sec  
Note Flashing bar



Step 8  
Alternative actions:

PRESS **P** to accept the latest calculated AT value - 7.2 sec which replaces 9.8 sec as the operational AT value

OR PRESS **▼** to display current operational

AT value. Then PRESS **P** to retain 9.8 sec

OR PRESS **▲** to select Option from Table

## 7 ALARMS

7.1 SP2 Operating mode  
The operating mode must be selected at Function 19 before adjusting SP2 at Function 2

7.2 Alarm output operation  
The alarm output is failsafe, SP2 relay is de-energised and SP2 red LED on during the alarm condition (Not with SP2 in Proportional mode)

7.3 LBA - Loop break alarm **see Fig. 3**  
LBA detects a control loop fault, and displays an error message (EE3). The alarm relay may be configured to act also. LBA operates if the controller fails to receive the correct response to the output within a set time, technically:  
LBA occurs when SPI output is saturated 0% or 100% and the process temperature fails to move a minimum 50% prop band in the LBA time. SPI output state is unaffected by LBA alarm condition.

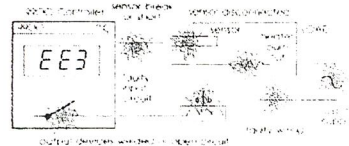


Fig. 3 Typical faults detected by LBA

7.4 Selecting LBA - EE3 message only  
1. Index to Function 12 - LBA time  
Option 0 - LBA OUT. displayed

2. PRESS **★** to change to option selection

3. PRESS **▼** to select Option 14  
The recommended initial setting (2 x Integral time in use)

4. LBA alarm condition EE3 displayed, alternating with process temperature

display latches, to reset PRESS **▼** **▲** together  
To configure Alarm relay SP2 to LBA Select Option 6 in Function 19 (Relay latches in alarm condition, to reset PRESS **▼** **▲**)

Note Use LBA with SP2 ON/OFF mode only (Fn 10/Opt 0). Reset EE3/Relay before any other program changes

**8 FUNCTIONS AND OPTIONS TABLE**  
Please read these important notes first!

- Factory setting:** is Option 0 (except Functions 2 and 22)
- Initial configuration:** Functions 16-24 must be selected first then entered into memory by exiting Program mode - see 4 Then Autotune and other Functions may be selected

- Protected Functions:** All Functions, except User Settings (Functions 1, 2, 3) may be locked in memory after setting to prevent tampering. See 14 Parameter lock
- AT values (marked with AT icon):**  
As calculated on the latest AT or PT run

- Locating Functions:** Function 0 is the Program mode entry point  
Pressing **▲** increments  
**▼** moves direct to Function 13 for access to higher Functions  
Hold pressed to auto-index through table (Functions 13, 14, 25 are unused)

Fn No.	Opt No.	Parameter
--------	---------	-----------

**OPERATING MODE ... Protected**

0		Operating mode
0		Normal Operation
1		Start Autotune AT
2		Start Autotune PT
3		Park mode
4	100	Manual heat %

**USER SETTINGS ... Unprotected**

1		Manual Reset (OUT IN PID)
1°		steps (max ±127° / 50% prop band)
2		SP2 Adjust
1°		steps Factory setting 5°
		SP2 mode must be selected in function 19 before adjusting SP2

SP2 mode (Fn 19)	Option No.	Function 2 range
Deviation alarm	1 - 3	0 - 127°
Full scale alarm	4 - 5	0 - *
Cool strategy	7	±127°

(\* Sensor range - Fn 16)

3		SPI Lock
0		Unlocked
1		Locked

**OPERATIONAL PARAMETERS ... Protected**

4		SPI Proportional cycle time
0		20 sec
1		1 sec
2		5 sec
3		10 sec
4		30 sec
5		60 sec
6		0.05 sec
7		ON/OFF
8		0.3 sec
9		2 sec
10		3 sec
11		7 sec
12		14 sec
13		45 sec
14		Operational AT value
15		Latest calculated AT value

5		SPI Proportional band/Gain
0		2.5% CR
1		0.5%
2		1%
3		2%
4		3%
5		5%
6		10%
7		20%
8		15%
9		4%
10		6%
11		7%
12		8%
13		14%
14		100%
15		AT value

6		SPI Derivative time/Rate
0		25 sec
1		OUT
2		5 sec
3		10 sec
4		50 sec
5		100 sec
6		200 sec
7		1 sec
8		2 sec
9		3 sec
10		7 sec
11		15 sec
12		20 sec
13		35 sec
14		75 sec
15		AT value

Fn No.	Opt No.	Parameter
--------	---------	-----------

**OPERATIONAL PARAMETERS ... continued**

7		SPI DAC approach control
0		1.5 x prop band
1		0.5
2		1.0
3		2.0
4		2.5
5		3.0
6		4.0
7		AT value

8		SPI Integral time
0		5 min
1		OUT
2		0.5 min
3		1 min
4		2 min
5		3 min
6		10 min
7		18 min
8		0.2 min
9		7 min
10		13 min
11		25 min
12		33 min
13		43 min
14		AT value

9		Sensor error correction
1°		steps (±127° max)

10		SP2 Proportional cycle time
0		ON/OFF
1		1 sec
2		5 sec
3		10 sec
4		20 sec
5		60 sec
6		0.05 sec
7		30 sec
8		2 sec
9		3 sec
10		7 sec
11		14 sec
12		45 sec
13		0.15-10 sec
14		0.15-20 sec
15		0.06-15 sec

11		SP2 Proportional band/Gain
0		2.5% CR
1		0.5%
2		1%
3		2%
4		3%
5		5%
6		10%
7		20%
8		15%
9		4%
10		6%
11		7%
12		8%
13		14%
14		100%
		SP2 Hysteresis in ON/OFF mode
		1.25%
		0.25%
		0.5%
		1%
		1.5%
		2.5%
		5%
		10%
		0.75%
		2%
		3%
		3.5%
		4%
		7%
		50%

12		LBA ... Loop break alarm - time
0		OUT
1		1 min
2		2 min
3		4 min
4		6 min
5		8 min
6		10 min
7		15 min
8		20 min
9		30 min
10		40 min
11		50 min
12		70 min
13		90 min
14		Recommended initial setting:
15		2 x Operational Integral time

15		Reset Functions 0 - 24 to factory settings
0		Normal
1		Reset (Function 22 not reset)

**Abbreviations:**  
Fn - Function  
Opt - Option  
SR - Sensor range  
CR - Configured range

Fn No.	Opt No.	Parameter
--------	---------	-----------

**INITIAL CONFIGURATION ... Protected**

**16 Sensor Select and Range Table**

Range Table					
Type	Factory set	Sensor range (SR)			
T/C	°C	°F	°C	°F	
1	J	400	800	800	1470
2	K	400	800	1200	1999
3	N	400	800	1200	1999
4	R	1600	1999	1600	1999
5	S	1600	1999	1600	1999
6	T	250	500	250	500
7	E	500	1000	600	1100
8	L	400	800	800	1470
10	B	1600	1999	1800	1999

9		RTD
		PT100 200 400 400 750
		Range minimum: 0°C/32°F
		Except T/PT100
		Factory set 0°C/32°F
		Minimum available -200°C/°F

Linear process inputs	Display
11 0 - 20mV	0 - 100
12 4 - 20mV	0 - 100
13 0 - 20mV	0 - 1000
14 4 - 20mV	0 - 1000
15 0 - 20mV	0 - 2000

17		Negative temperature ranging
0		Disabled
1		Enabled (range min -200°)

18		Display resolution
0		Normal (1°)
1		Hi-res (0.1°) ±199.9°
		1° settings become 0.1°
		Ranged 0 - 200° on selection of Hi-res, (reset with Fn 24)

19		SP2 Operating mode
		Select and enter Function 19 before adjusting SP2 in Function 2
0		OUT
1		Deviation alarm - High
2		Deviation alarm - Low
3		Deviation band alarm
4		Full scale alarm - High
5		Full scale alarm - Low
6		LBA - Loop break alarm
7		Cool strategy

20		SPI Sensor break
0		Upscale
1		Downscale

21		SP2 Sensor break
0		Upscale
1		Downscale
22		°C/°F (Note Change top fascia)
0		°C } Factory set
1		°F } (not reset by Function 15)

23 Software version number

24 Configured range (CR) adjustment  
1° steps  
Mode B adjustment see 4.2  
(See Range Table in Function 16)

## 17 COOL STRATEGY FOR HEAT-COOL APPLICATIONS

**Cool strategy:** A change in load causes movement of the linked heat and cool prop bands

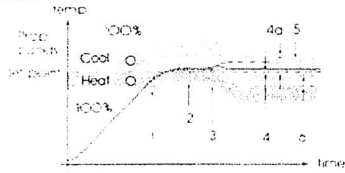


Fig. 9

1. Integral causes linked prop bands to move up
2. Stabilises e.g. 30% heat
3. Exothermic load change causes integral to move prop bands down minimising disturbance
4. Minimum offset achieved (4a = offset without cool strategy integral action)
5. Stabilises e.g. 50% cool
6. Consistent dead band throughout

## 17.3 SETTING UP ROUTINE FOR HEAT COOL (Single zone procedure)

### Step

1. Run Autotune AT: (Set normal operating temp) Accept AT proportional cycle time Fn 4/Opt 7  
Note: SP1/SP2 cycle times must be compatible with switching devices used (SP2 cool output is OFF at this stage)
2. When temperature stable at set point:
  - Select cool strategy Fn 19/Opt 7
  - Select cool prop band option value from table nearest to Heat prop band value (view Fn 5) Fn 11
  - Select cool cycle time option value nearest to Heat cycle time value (view Fn 4) Fn 10
  - Adjust SP2 dead band to 0° (Factory set 5°) Fn 2
3. Run with normal background/exothermic thermal conditions, good results should be achieved and provide the basis for fine tuning
4. Further adjustments: e.g. Water cooling. Should oscillation occur try (in order)
  - Double cool prop band value Fn 11 and reduce integral time value Fn 8
  - Halve cool cycle time Fn 10
  - Introduce cool overlap Fn 2/(-)ve
5. Non-linear cooling  
For water cooling above 100°C where flash to steam occurs. Select non-linear ranges in cool cycle time Fn 10/Opt 13-15
6. Fine tuning  
If overshoot (into cool) or undershoot (into heat) occurs, slowly make the following adjustments, observing the results:
  - Increase cool overlap Fn 2/(-)ve
  - Apply SP2 cool limit, progressively Fn 27/Opt 1
  - If needed: SP1 heat limit Fn 26/Opt 1
7. Contact CAL for more application advice and data if required

## 18 NOTES ON OTHER FUNCTIONS

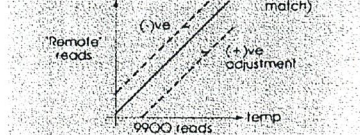
Function	Item
Fn 0	<b>Park mode (Opt 3)</b> Temporarily turns outputs off Display: $\Delta$ and Process temperature
	Useful in commissioning and trouble shooting, e.g. Multizone applications <b>Manual heat % (Opt 4-100)</b> If sensor break occurs (EE1/2) SP1 output (heater power) may be manually controlled 4-100% (Not in ON/OFF mode) Display: $\Delta$ XXH (XX = % output)
Fn 3	<b>SP1 Set point lock</b> Stops unauthorised adjustment
Fn 5	<b>Retransmission:</b> With 100% prop band, accuracy $\pm 5\%$ configuration range using linear input/output

## 19 RECALIBRATING TO A REMOTE STANDARD

To enable the 9900 calibration to match an external meter, data logger etc. (i.e. 'Remote' reading)

### SENSOR ERROR CORRECTION: Fn 9

Provides correction at one single temperature

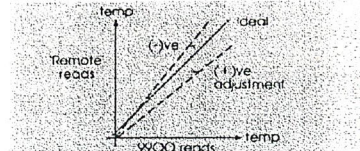


**Example Reads**  
9900 404°  
'Remote' 400°

Error +4° Set (-4) correction at Fn 9  
Note Error polarity applies to 9900 correction

### Sensor span adjust: Fn 35

Provides correction where two temperatures require differing amounts of adjustment



1. Choose a temperature towards the bottom of the normal operating range and one at the top
2. Run at the lower temperature T1, note the error E1 between 9900 and 'Remote' reading
3. Repeat at upper temperature T2 and note error E2

**Example T1 reads** 60°  
9900 60°  
'Remote' 58°  
Error E1 = +2°

**T2 reads** 200°  
9900 200°  
'Remote' 205°  
Error E2 = -5°

### 4. Calculation of span adjustment for Fn 35

Formula:  $Fn\ 35 = \frac{E2 - E1}{T2 - T1} \times CR$  (as Fn 24)

Example:  $Fn\ 35 = \frac{(-5^\circ) - (+2^\circ)}{200^\circ - 60^\circ} \times 250^\circ$

$$= \frac{-3}{140} \times 250$$

Fn 35 = -5° Set (-5°) in Fn 35

5. A span error entered in Fn 35 immediately changes the reading, allow time to stabilise at T2, if an error exists correct with Fn 9. Then check at T1, if an error exists check readings and calculations; repeat if necessary

## 20 PID TUNING NOTES

1. **Proportional cycle time: Fns 4/10**  
Determines the cycle rate of the output device

### Output device

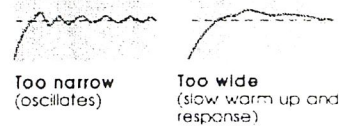
9900 Internal relays  
SSR Linear output (mA/Vdc)

### Recommended time

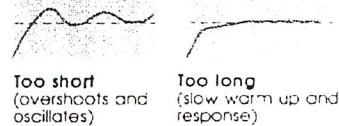
10 sec minimum (5 sec with derated contacts & snubber)  
1 sec  
0.05 sec



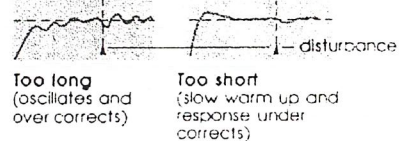
2. **Proportional band/Gain: Fn 5/11**  
Smooths out oscillation occurring in ON/OFF control



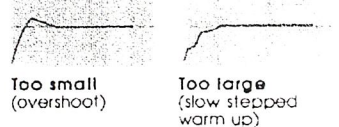
3. **Integral time/Reset: Fn 8**  
Automatically corrects offset errors caused by proportional control



4. **Derivative time/Rate: Fn 6**  
Suppresses overshoot and speeds response to disturbances



5. **DAC approach control: Fn 7**  
Tunes warm up characteristics independent of normal operating conditions. Controls when derivative action starts on warm up. (smaller setting = closer to set point) Useful when sensor very remote from heater



## 21 PID MANUAL TUNING GUIDE

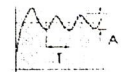
For unusual applications producing error messages (EE5/6) on Autotune AT/PI

### 1. Initial settings:

Fn 5/Opt 0 (or Reset functions: Fn 15/Opt 1)  
Fn 4/Opt 7 (ON/OFF Mode)  
Normal operating set point  
(Then allow process to stabilise)

### 2. Take several readings of:

Amplitude A  
Time period T



(Diagnostics Fns 38/39 may help)

### 3. Set PID values:

Fn	Parameter	Value	Set opt value
Fn 4	Prop cycle time (Ensure compatible with output device)	T sec	Nearest 20
Fn 5	Prop band/Gain	A x 1.5 x 100% config range	Next larger
Fn 6	Derivative time/Rate	T sec	Next shorter
Fn 8	Integral time/Reset	T min	Next longer
Fn 7	DAC Approach control	1.5 factory set	see 20.5

9 INSTALLATION: IMPORTANT SAFETY INFORMATION PLEASE REVIEW



Designed for use: UL 873 - only in products where the acceptability is determined by Underwriters laboratories Inc.

EN61010-1-Within Installation Categories II and III environment and pollution degree 2.

To avoid possible hazards accessible conductive parts of final installation should be protectively earthed in accordance with EN61010 for Class 1 equipment. Output wiring should be within a grounded cabinet. Sensor sheaths should be bonded to ground or not be accessible. Live parts should not be accessible without use of a tool.

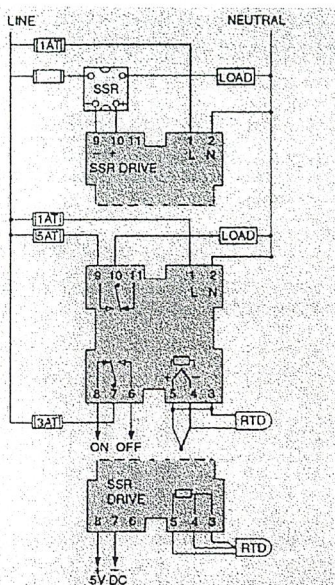
10 INSTALLATION



10.1 ELECTRICAL INSTALLATION CAUTION RISK OF ELECTRICAL SHOCK.

1. Check controller label is the correct supply voltage for your application.
2. Connections are shown on the socket label.
3. For connection to socket use, 250 Faston receptacles provided in accessory kit.
4. Recommended wire size for mains voltage and outputs 32/0.2 1.0mm<sup>2</sup> (18 AWG 0.04") rated to 6 Amps/300V at 70°C.
5. For use with 2 wire RTD an external link is required between connections 3 and 5.
6. IMPORTANT It is recommended that interference suppressors are fitted across relay contacts to prolong relay life.

It is the responsibility of the installation engineer to ensure that this equipment's compliance to EN61010 is not impaired when fitted to the final installation and to use this equipment as specified in this manual, failure to do so may impair the protection provided. Follow wiring diagrams and regulations.



Fuses: 250VAC rated, time lag type to IEC 127.

12 9900 SPECIFICATION

INPUTS

See 8 Function 16 for Range Table Thermocouple - 9 types

J	Iron/Constantan	T	Copper/Con
K	Chromel/Alumel	R	Pt - 13% Rh/Pt
L	Fe/Konst	S	Pt - 10% Rh/Pt
N	NiCrSi/NiSi	B	Pt - 30% Rh/Pt - 6% Rh
E	Chromel/Con		

Standards: IPTS 68/DIN 43710  
Linearity: 5 - 95% sensor range **see 8**  
J/K/L/N/E ±1°C, T ±2°C, B ±6°C >500°C  
R/S O-300°C ±5°C, 300-1600°C ±2°C  
CJC Rejection: 20:1 (0.05%/°C) typical  
External resistance: 100 Ω maximum

Resistance thermometers

RTD/Pt100 2 wire (optional 3 wire)  
DIN 43760 100 Ω 0°C/138.5 Ω 100°C Pt

Linear process inputs: 0-20mV/4-20mV  
Linearity: ±1.5% Impedance 100k Ω min

Applicable to all inputs

SR = sensor range, CR = configured range  
Calibration accuracy: ±0.25% SR ±1°C  
Sampling frequency: Input 3Hz, CJC 5sec  
Common mode rejection: Negligible effect up to 140dB, 240V, 50-60Hz  
Series mode rejection: 60dB, 50-60Hz  
Temperature coefficient: 150ppm/°C SR  
Reference conditions: 22°C ±2°C, 115/230V ±5%, after 30m settling time

OUTPUTS

OUTPUT MODULE - Dual standard

Main output: SP1  
Relay standard: 5A/250Vac resistive SPDT/Form C  
SSd - optional: 5V/25mA non-isolated

Alarm/Cool channel output: SP2

Relay-standard: 3A/250Vac resistive SPDT/Form C  
SSd - optional: 5V/25mA non-isolated

9900 Controller output module - types

SP1 output	SP2	115V code	230V
Relay	Relay	991.11C/F	991.12C/F
Relay	SSd	991.21C/F	991.22C/F
SSd	Relay	992.11C/F	992.12C/F
SSd	SSd	992.21C/F	992.22C/F
Relay	-	991.01C/F	991.02C/F
SSd	-	992.01C/F	992.02C/F

1. CONFIGURATION

All functions are front key selectable, it is the responsibility of the installing engineer to ensure that the configuration is safe. Remove the function lock link to protect critical functions from tampering.

2. ULTIMATE SAFETY ALARMS

Normal safety advice: Do not use SP2 as the sole alarm where personal injury or damage may be caused by equipment failure.

10.2 MECHANICAL

1. Prepare a 1/16 DIN panel cut out: 45 x 45mm +0.6 -0 1.77" x 1.77" +0.02 -0
2. Remove the socket, pressing in the lock buttons
3. Slide the controller into the cut out
4. Fit the mounting clip see fig. pressing it firmly against the panel, jacking screws optional
5. Plug on the socket
6. After installation remove and discard the protective front window label
7. Cleaning - if required wipe with damp cloth (water only)

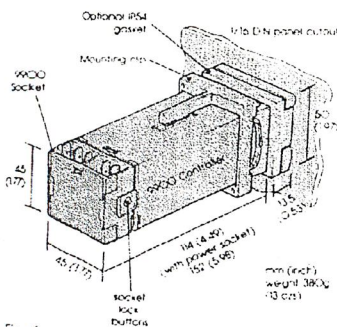


Fig. 6

CONTROL CHARACTERISTICS

SPI PID Parameters	Field selectable
Prop band/Gain:	0.5-100% CR
Prop cycle-time:	0.05-81s or ON/OFF
Integral time/Reset:	0.2-43m or OUT
Derivative time/Rate:	1.0-255s or OUT
DAC approach control (ON/OFF Hysteresis)	0.5-9.0 x PB (0.25-50%CR)

GENERAL

Supply Voltage: 115V or 230V ±15%  
50-60Hz 6VA (Link selectable)  
Digital LED Display: 3½ digit 10mm high, High brightness green.  
Error indicator: 3 step LED.  
Output LEDs: SP1 Green SP2 Amber.  
Keypad: 4 Elastomeric Buttons.

ENVIRONMENTAL

Humidity: Max. 80%  
Altitude: Up to 2000M  
Installation: Categories II and III  
Pollution: Degree II  
Safety: UL873, CSA 22.2/142-87, EN61010  
Protection: IP54 (with gasket)  
EMC Emission: EN50081-1  
FCC Rules 15 Sub-part J Class A  
EMC Immunity: EN50082-1, RF Field ±2% FS  
Ambient: 0-50°C (32-130°F)  
Mouldings: Flame Retardant Polycarbonate



CAL Controls Ltd

Bury Mead Road, Hitchin, Herts. SG5 1RT, UK  
Tel: +44 (0) 1462-436161 Fax: +44 (0) 1462-451801

CAL Controls Inc

1580 S. Milwaukee Avenue, Libertyville, IL 60048  
Tel: (847) 680-7080 Fax: (847) 816-6852

CAL Controls policy of continuous development may cause detail changes to the enclosed information. E & OE

11 ERROR MESSAGES

APPLICATION FAULTS

EE1 Sensor burnout	Check sensor	Self clearing
EE2 RTD/PT100 short	Check sensor	Self clearing
EE3 LRA loop break	Check control loop	Latches: Reset
AUTOTUNE AT/PT TUNING CYCLE FAULTS		
Autotune run is aborted: Previous values are retained		
EE5 Outside time limit	Latches: Reset	
EE6 O/shoot exceeds limit	Latches: Reset	
EE7 Unable to run Autotune	Latches: Reset	
SPI in ON/OFF mode		

SOFTWARE FAULTS

EE8 Calibration data error	Replace unit if it persists
EE9 System error	Replace unit

PRESS together to reset latched message

WARRANTY CAL Controls warrant this product free of defects in workmanship and materials for three (3) years from date of purchase

1. Should the unit malfunction, return it to the factory. If defective it will be repaired or replaced at no charge.
2. There are no user-serviceable parts in this unit. This warranty is void if the unit shows evidence of being tampered with or subjected to excessive heat, moisture, corrosion or other misuse.
3. Components which wear or damage with misuse are excluded (eg Relays, SSR)
4. To comply with this warranty the installation and use must be by suitably qualified personnel.
5. Neither CAL Controls Ltd or CAL Controls Inc shall be responsible for any damage or loss to other equipment howsoever caused, which may be experienced as a result of the installation or use of this product. CAL Controls liability for any breach of this agreement shall not exceed the purchase price paid.

### 13 IMPORTANT: ADVANCED FUNCTIONS SECURITY

The advanced functions are intended for OEM's and process engineers. Access is therefore protected in the Function table

To avoid unauthorised use of these functions remove this section from the manual before supply to end user

#### 13.1 'HIDDEN' ACCESS TO ADVANCED FUNCTIONS

Step 1

PRESS TO ENTER PROGRAM MODE



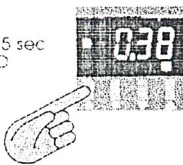
Step 2

PRESS TO GO DIRECTLY TO FUNCTION 13



Step 3

PRESS & HOLD FOR 5 sec TO ACCESS ADVANCED FUNCTIONS (Entry point Fn 38)



#### 13.2 ADVANCED FUNCTIONS ... Protected

Fn Opt Parameter No. No.

##### 26 SP1 Heat Power limit

0	100%	max	8	60%
1	95%	output	9	55%
2	90%		10	50%
3	85%		11	45%
4	80%		12	40%
5	75%		13	30%
6	70%		14	20%
7	55%		15	10%

Not in SP1 ON/OFF mode

##### 27 SP2 Cool limit

0	100%	max	4	40%
1	80%	output	5	30%
2	60%		6	20%
3	50%		7	10%

Not in SP2 ON/OFF mode

Direct/Reverse mode selection

	Normal	OFF when logically ON	
28	SP1 Output	<input type="radio"/>	1
29	SP1 LED	<input type="radio"/>	1
30	SP2 Output	<input type="radio"/>	1
31	SP2 LED	<input type="radio"/>	1

##### 32 Error indicator resolution

0	Normal (2% range/segment)
1	High (1%)
2	Low (4%)

##### 33 Temperature display sensitivity

0	Normal
1	High
2	Low

##### 34 Derivative polling ratio

0	0.5 x derivative time
1	0.2
2	0.7
3	1.0

##### 35 Sensor span adjust

1% steps (+15°/-16° max)

Note 'Hidden' Fn 15/Opt 5 resets ALL functions, except Fn 22

#### 36 SP2 Latch alarms

- Normal
- Latch

Only for: SP2 ON/OFF mode, Fn 19/Opt 1-5

PRESS together to reset (in non alarm condition)

#### 37 Spare

##### DIAGNOSTICS

Read only Functions 39-49 Mode B display **see 4.2**

##### PERFORMANCE MONITOR (PM)

#### 38 Start monitor (Entry point from Fn 13)

- OFF
- Start

Readings are reset on subsequent monitor start or de-powering

#### 39 Read temperature variance (0.1°)

#### 40 Read maximum temperature (°C/°F)

#### 41 Read minimum temperature (°C/°F)

#### 42 Read Duty Cycle Monitor (DCM) % heat (SPI % ON time)

##### AUTOTUNE TUNING DATA Fig. 8

Overshoot/Undershoot (°C/°F)  
Max 255°/Hi-res 25.5°

- 43 OS1
- 44 OS2
- 45 US

Quarter cycle times (sec)  
Min 2 sec/max 1800 sec (30 min)

- 46 QCT1
- 47 QCT2
- 48 QCT3
- 49 QCT4
- 50 Spare PRESS to Fn 0

#### 13.3 DIAGNOSTICS Functions 38 - 49

To assist with machine development, commissioning and trouble shooting

##### PERFORMANCE MONITOR (PM)

Monitors and displays minimum and maximum temperatures, and variance (deviation) to 0.1°C/°F. Displayed temperatures are measured values, independent of set point. This high sensitivity monitor may be affected by interference. (Fit snubber to minimise disturbance)

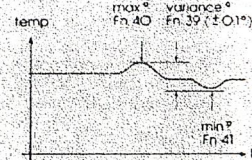


Fig 7 Performance monitor (PM) Fns 38-41

##### DUTY CYCLE MONITOR (DCM)

Monitors percentage power used in the previous proportioning cycle. Average several readings for a more accurate result. Power requirements outside the range 20% - 80% may be difficult to control and autotune

##### AUTOTUNE TUNING DATA (Fns 43-49)

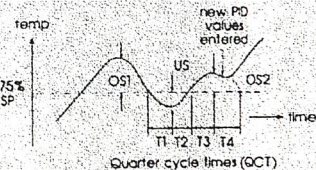


Fig. 8

#### 13.4 MONITOR OPERATION (PM/DCM)

Step	Select
1	To start monitor: Fn 38/Opt 1
2	To return to normal operation: PRESS
3	To view readings (PM/DCM): Fns 39-42
4	To stop monitor (Readings are retained): Fn 38/Opt 0
5	Reset: Readings reset on next monitor start. Monitor and readings reset: On de-powering

#### 14 PROGRAM SECURITY LOCK

To be made by qualified technician. De-power controller before proceeding using a screw driver at side of bezel remove lower fascia containing push buttons. All functions except user settings - Functions 1-3 can be protected against tampering. To protect function settings change the plastic link from unlocked to locked position.

- LOCKED (or remove link)
- UNLOCKED

#### 15 INTERNAL LINK CHANGES

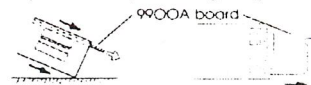
These operational modifications should be made by a qualified technician before installation

To remove the 9900A board:

1. First remove the output module, carefully lever the retaining clips from the slots in the module cover with a small screwdriver

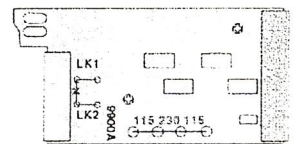


2. Tap module cover on table top as shown, to release the 9900A board. Carefully remove board, avoid damaging components on protruding tongue



#### 15.1 To convert to 3 wire RTD/PT100

(inhibits thermocouple operation). Carefully cut pad at X avoid damage to R3. Fit solder links LK1, LK2 using 22SWG wire



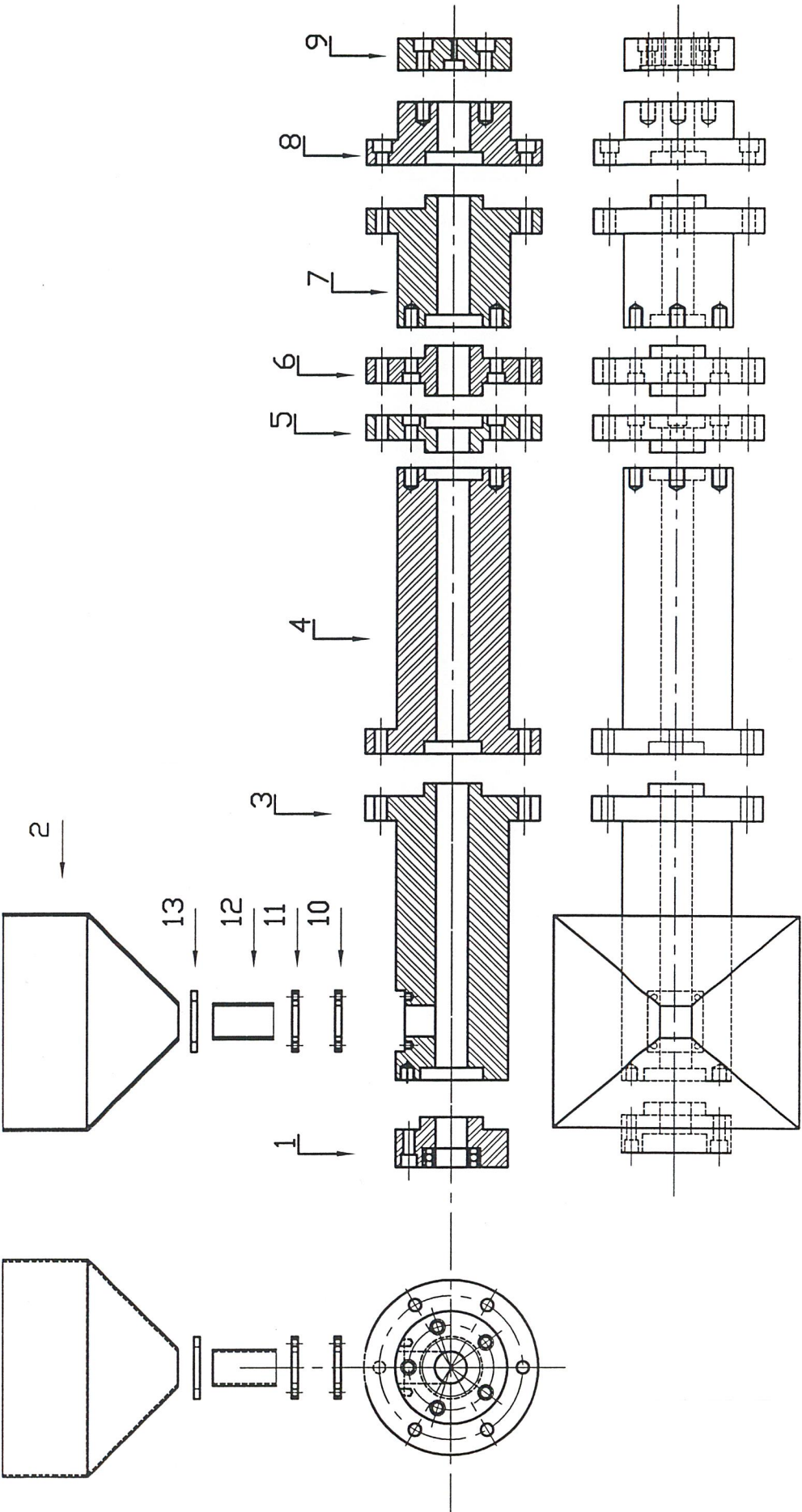
#### 15.2 Supply Voltage Conversion (Plug in links)

IMPORTANT - check your installation operating voltage before proceeding. Wrongful conversion could damage this unit. For 115 Volt ±15% operation fit two links (spare link in accessories bag) in positions 115 and 115. For 230 volt ±15% operation fit one link in position 230.

9900 FUNCTION/OPTION RECORD			
Customer Ref:			
9900		model	serial no.
Function Number	date	Option Set	

ภาคผนวก ง

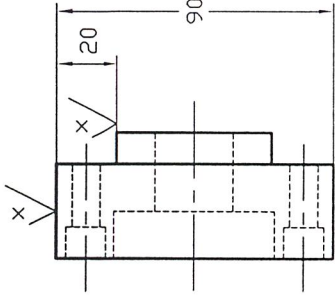
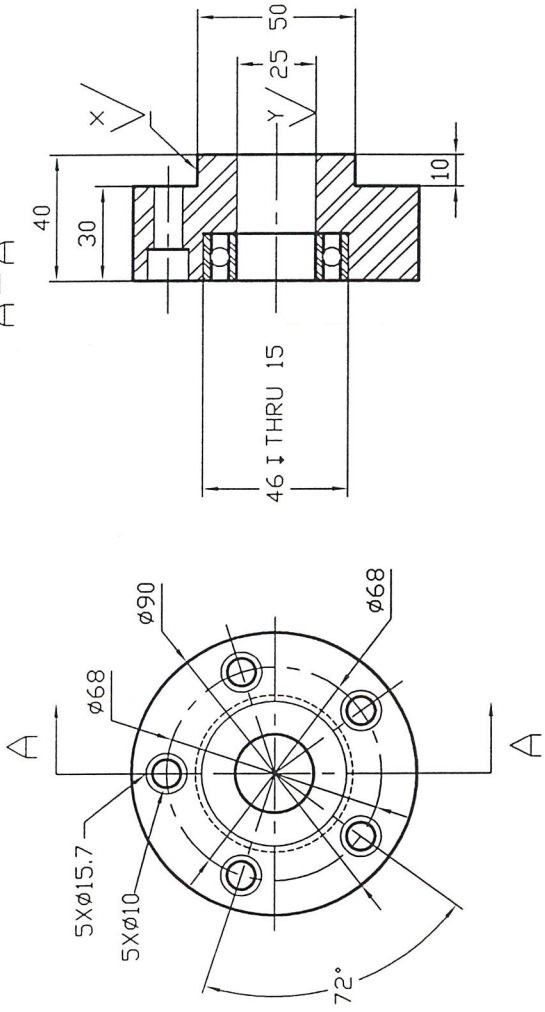
แบบทางวิศวกรรมเครื่อง Plastic Extrusion



Itemref	Quantity	MATERIAL = AISI 1050	PLASTIC EXTRUSION MACHINE	
Designed by CHOKTHANAT	Checked by PHOLCHAI	Approved by - date CHOKTHANAT 11/03/46	File name barrel.extrusion	Date 4/8/45
Part 1 - 13			Scale 1:10	Sheet -
DRAWING_NUMBER_1			Edition -	Sheet -

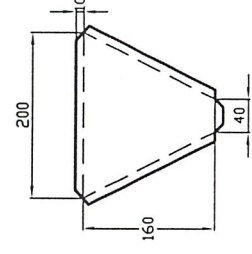
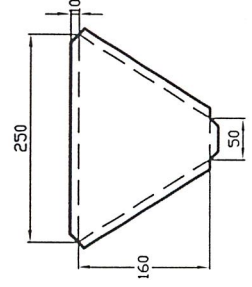
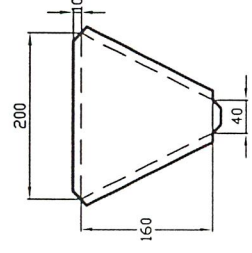
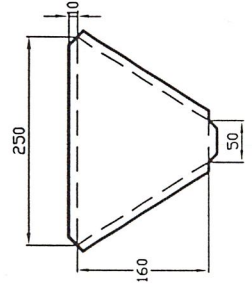
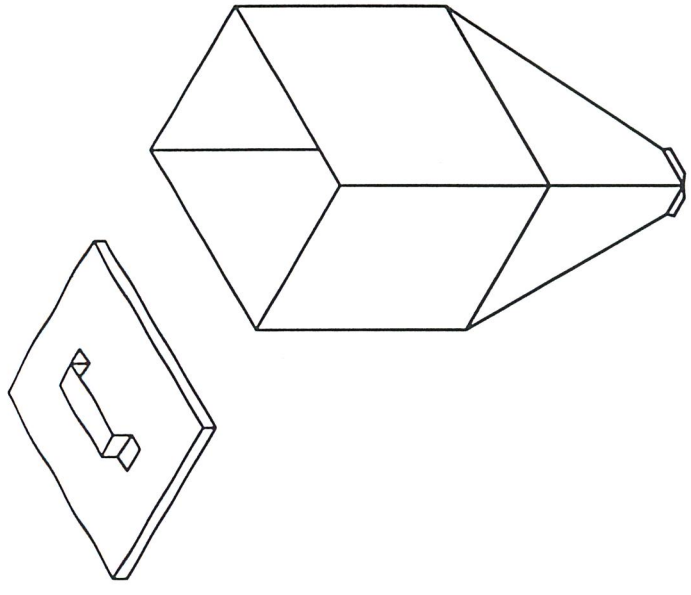
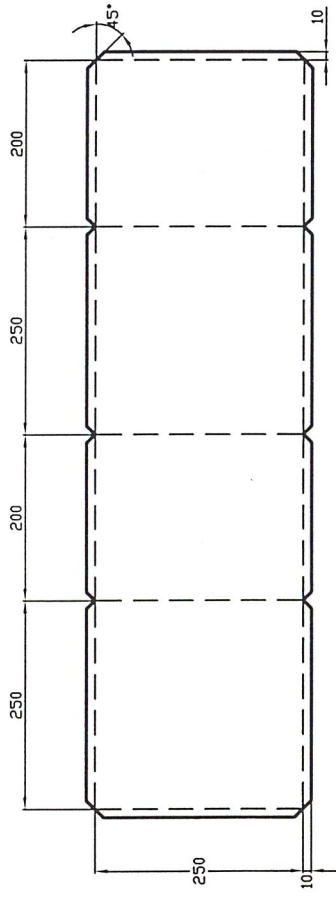
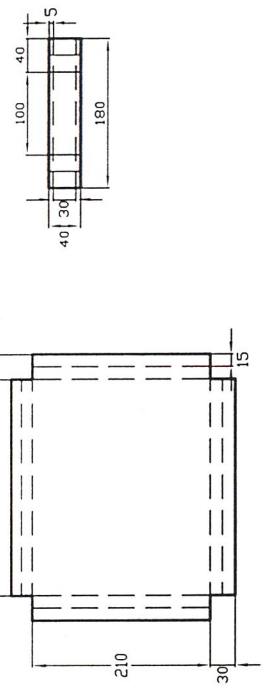
PLASTIC EXTRUSION MACHINE

Section  
A-A



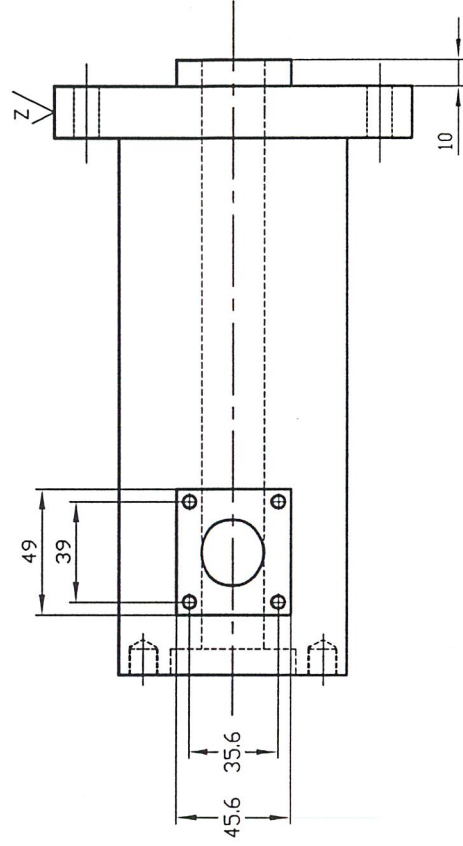
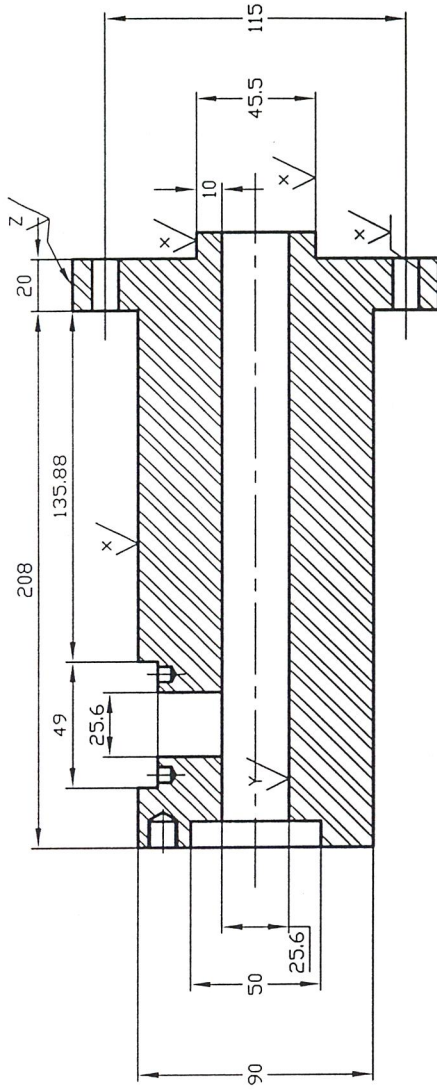
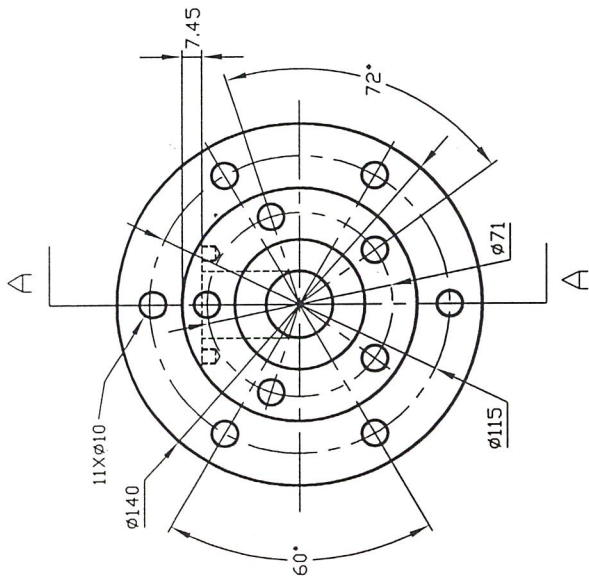
$\sqrt{x}$  =  $\sqrt{Rz\ 25}$   
 $\sqrt{y}$  =  $\sqrt{\frac{Fe/Cr/Mo12}{Rz\ 4}}$

Itemref	Quantity	MATERIAL = AISI 1045	PLASTIC EXTRUSION MACHINE	
Designed by CHOKTHANAT	Checked by PHOLCHAI	Approved by - date CHOKTHANAT 11/02/46	File name barrel extrusion	Date 4/7/45
PART I		ROLLER BEARING AND BARREL		
DRAWING_NUMBER_2			Edition	Sheet



Itemref	Quantity	MATERIAL = SHEET STANLESS	PLASTIC EXTRUSION MACHINE	
Designed by CHOKTHANAT	Checked by PHOLCHAI	Approved by - date CHOKTHANAT 11/02/46	File name barrel extrusion	Date 4/7/45
		Scale 1:10		
PART 2		HOPPER		
		DRAWING NUMBER 3	Edition -	Sheet -

Section  
A-A



$\sqrt{x}$  =  $\sqrt{Rz 25}$   
 $\sqrt{y}$  =  $\sqrt{Fe/CrNi012 / Rz 4}$   
 $\sqrt{z}$  =  $\sqrt{Rz 100}$

Itemref	Quantity	MATERIAL = AISI 1045	PLASTIC EXTRUSION MACHINE	
Designed by CHOKTHANAT	Checked by PHOLCHAI	Approved by - date CHOKTHANAT 11/02/46	File name barrel extrusion	Date 4/7/45
PART 3			Scale 1:10	
DRAWING NUMBER 4			Edition	
			Sheet	

FEED BARREL

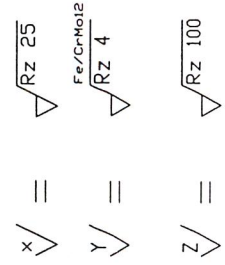
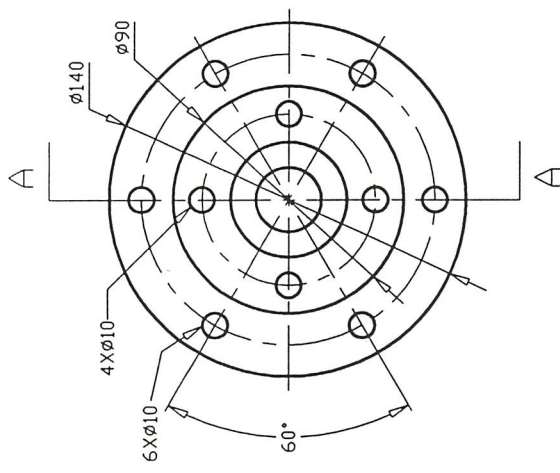
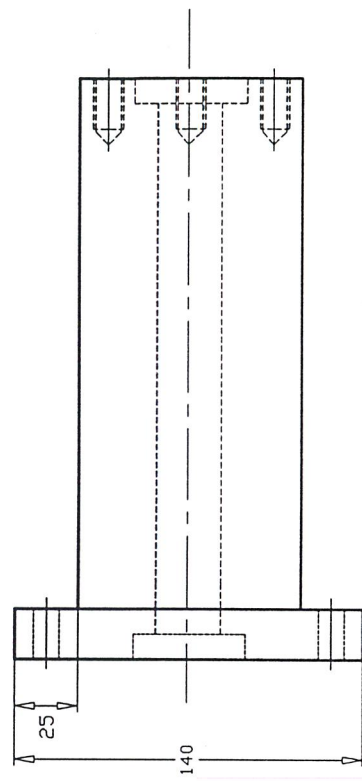
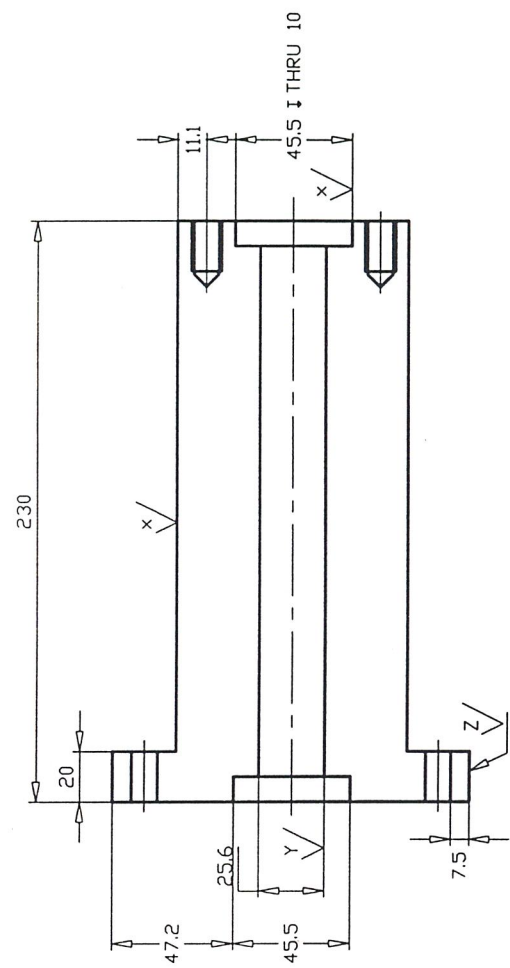
PART 3

Sheet

Edition

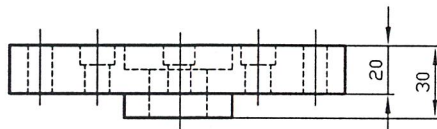
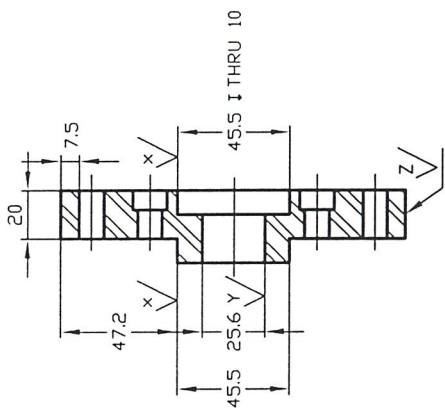
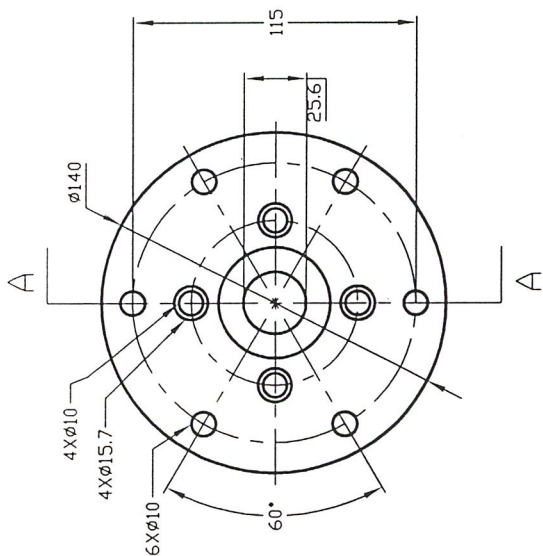
DRAWING NUMBER 4

Section  
A-A



Itemref	Quantity	MATERIAL = AISI 1045	PLASTIC EXTRUSION MACHINE
Designed by CHOKTHANAT	Checked by PHOLCHAI	Approved by - date CHOKTHANAT 11/02/46	Date 4/7/45
		File name barrel extrusion	Scale 1:10
PART 4		TRANSITION BARREL	
		DRAWING NUMBER 5	Edition Sheet

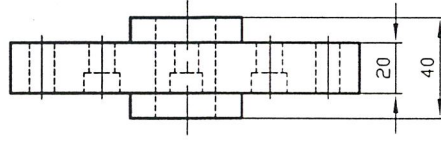
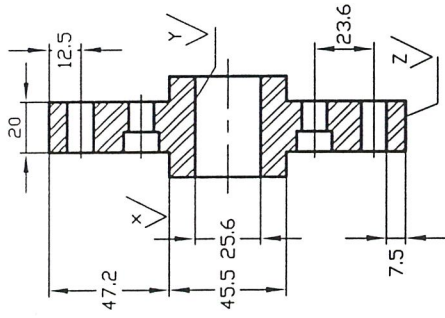
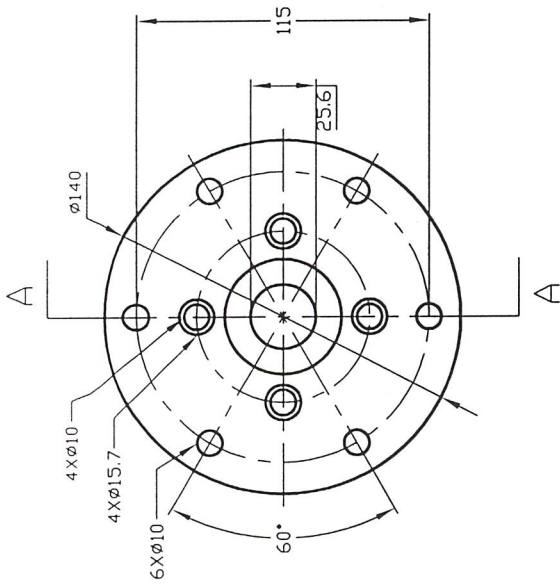
A-A



$\sqrt{x}$  =  $\sqrt{Rz\ 25}$   
 $\sqrt{y}$  =  $\sqrt{Fe/Cr/Mo12\ Rz\ 4}$   
 $\sqrt{z}$  =  $\sqrt{Rz\ 100}$

Itemref	Quantity	MATERIAL = AISI 1045	PLASTIC EXTRUSION MACHINE	
Designed by CHOKTHANAT	Checked by PHOLCHAI	Approved by - date CHOKTHANAT 11/02/46	File name barrel extrusion	Date 4/7/45
PART 5			Scale 1:10	Sheet -
DRAWING NUMBER 6			Edition -	Sheet -
PLATE TRANSITIONON BARREL				

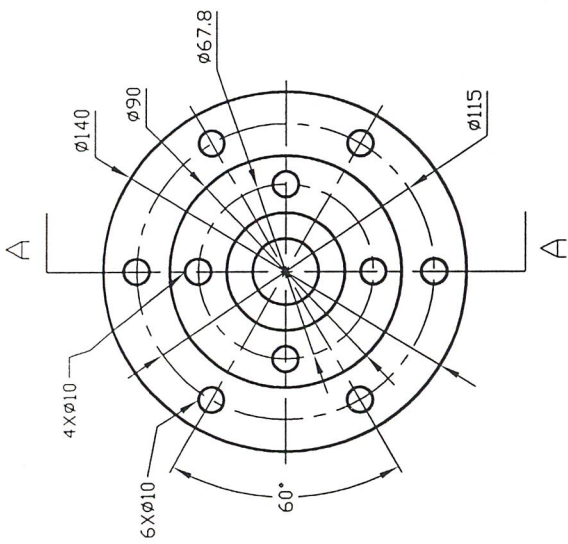
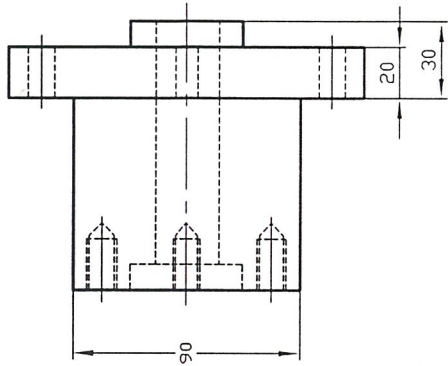
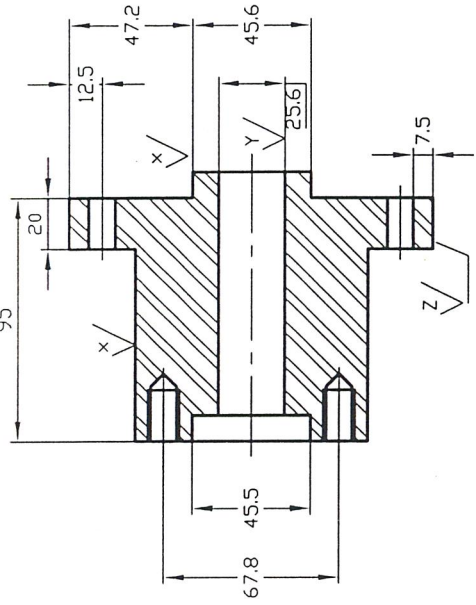
Section  
A-A



$\sqrt{x}$  =  $\sqrt{Rz\ 25}$   
 $\sqrt{y}$  =  $\sqrt{Fe/Cr/Mo12 / Rz\ 4}$   
 $\sqrt{z}$  =  $\sqrt{Rz\ 100}$

Itemref	Quantity	MATERIAL = AISI 1045	PLASTIC EXTRUSION MACHINE
Designed by CHOKTHANAT	Checked by PHOLCHAI	Approved by - date CHOKTHANAT 11/02/46	Date 4/7/45
PART 6		File name barrel extrusion	Scale 1:10
DRAWING NUMBER 7		Edition	Sheet
PLATE METERING BARREL			

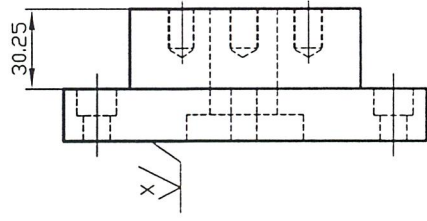
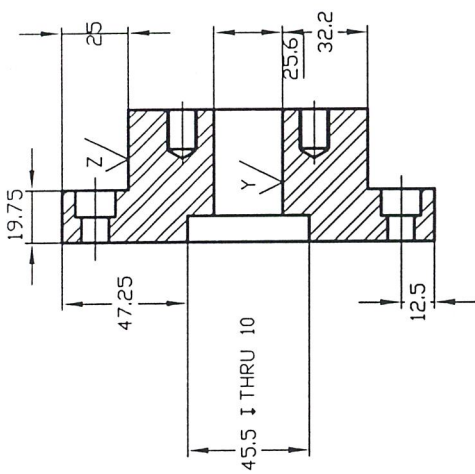
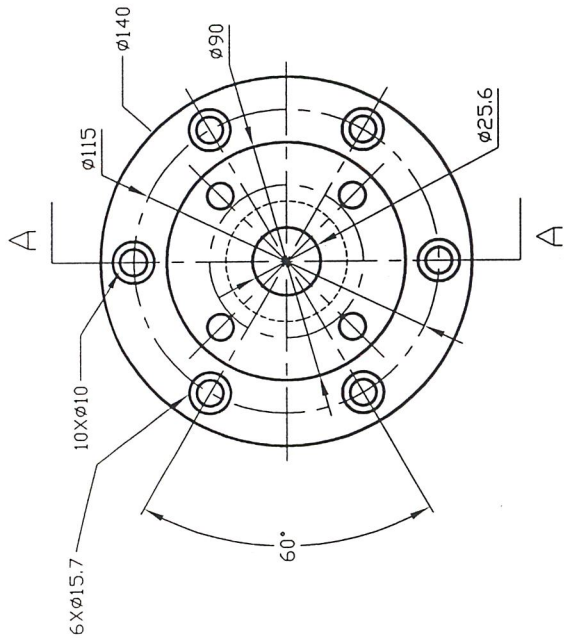
A-A



x/ =  $\sqrt{Rz\ 25}$   
 y/ =  $\sqrt{Fe/Cr/Hot2 / Rz\ 4}$   
 z/ =  $\sqrt{Rz\ 100}$

Itemref	Quantity	MATERIAL = AISI 1045	PLASTIC EXTRUSION MACHINE	
Designed by CHOKTHANAT	Checked by PHOLCHAI	Approved by - date CHOKTHANAT 11/02/46	File name barrel extrusion	Date 4/7/45
PART 7			METERING BARREL	
DRAWING NUMBER 8			Edition	Sheet
			-	-

A-A

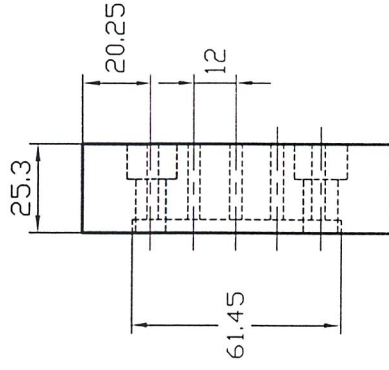
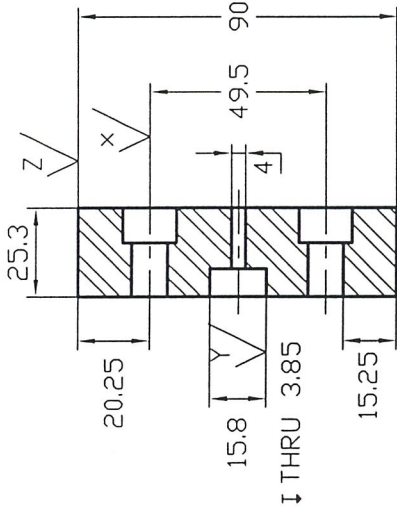
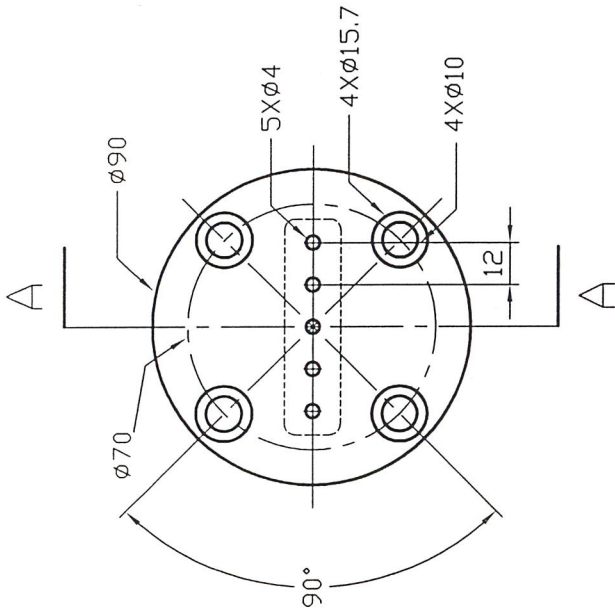


$\sqrt{x}$  =  $\sqrt{Rz\ 25}$   
 $\sqrt{y}$  =  $\sqrt{Fe/Cr-Mo12 / Rz\ 4}$   
 $\sqrt{z}$  =  $\sqrt{Rz\ 100}$

Itemref	Quantity	MATERIAL = AISI 1045	PLASTIC EXTRUSION MACHINE	
Designed by CHOKTHANAT	Checked by PHOLCHAI	Approved by - date CHOKTHANAT 11/02/46	File name barrel extrusion	Date 4/7/45
PART 8		DRAWING NUMBER 9		Scale 1:10
		DIE		Sheet -
		Edition -		Sheet -

SECTION

A-A

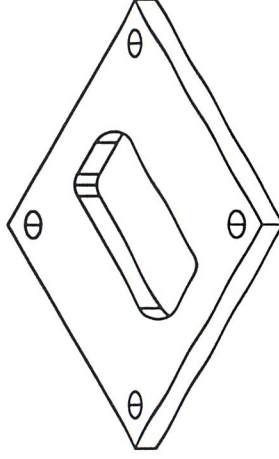
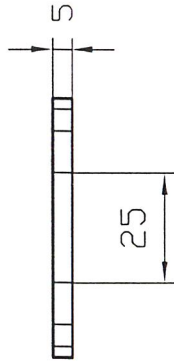
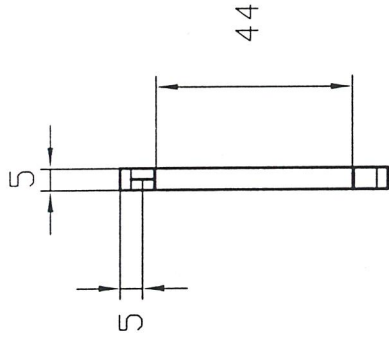
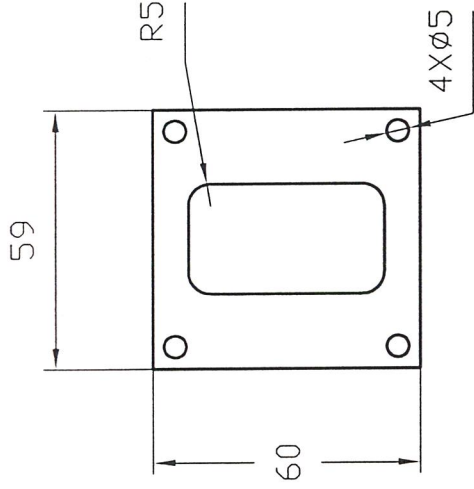


x  $\sqrt{Rz 25}$

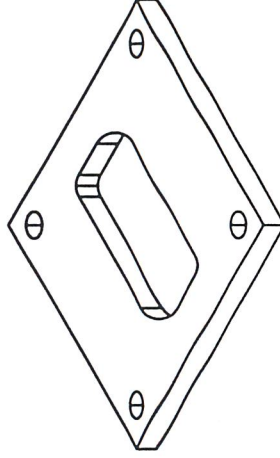
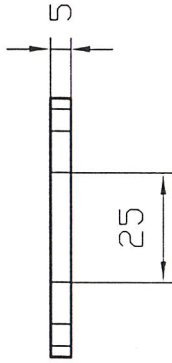
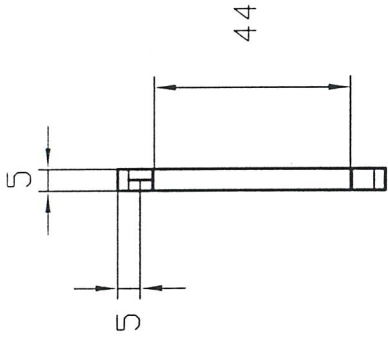
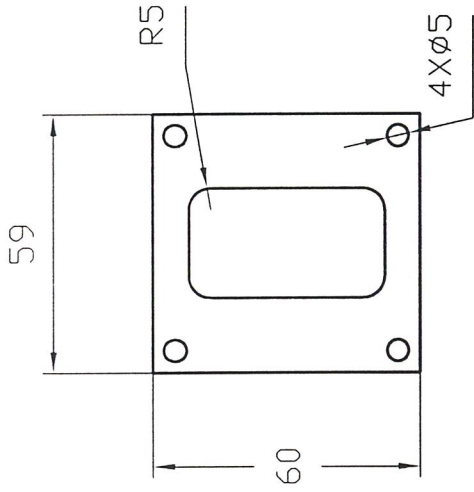
y  $\sqrt{Rz 4}$   
Fe/CrMo12

z  $\sqrt{Rz 100}$

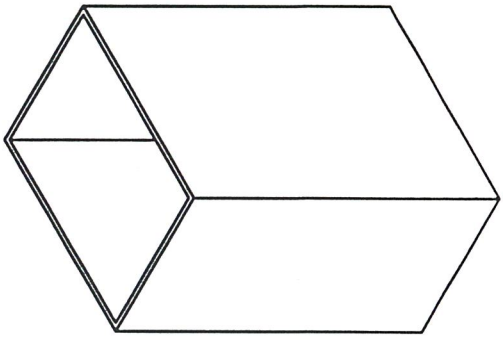
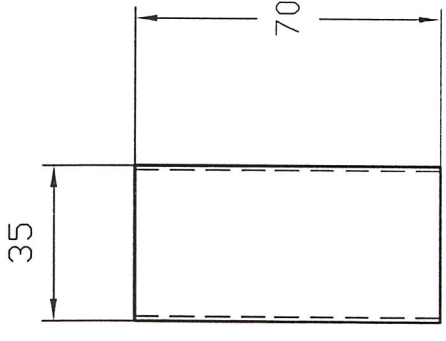
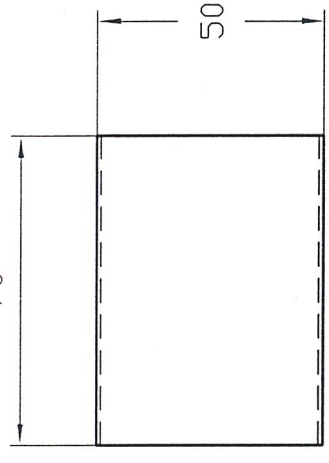
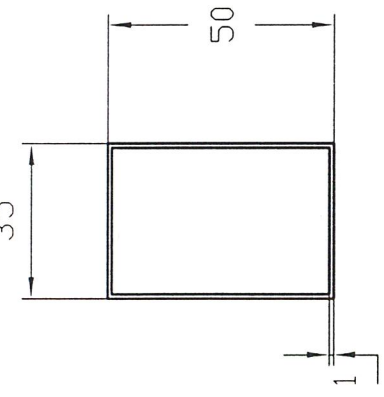
Itemref	Quantity	MATERIAL = AISI 1045	PLASTIC EXTRUSION MACHINE	
Designed by CHOKTHANAT	Checked by PHOLCHAI	Approved by - date APPROVED_BY_DATE	File name barrel extrusion	Scale 1:10
			Date 4/7/43	
PART 9		DIE EXTRUSION		
		DRAWING NUMBER 10	Edition	Sheet



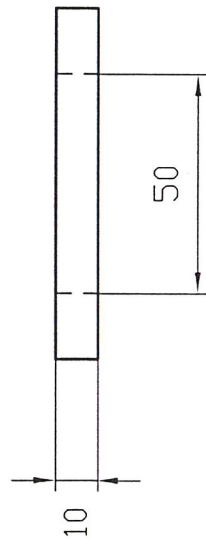
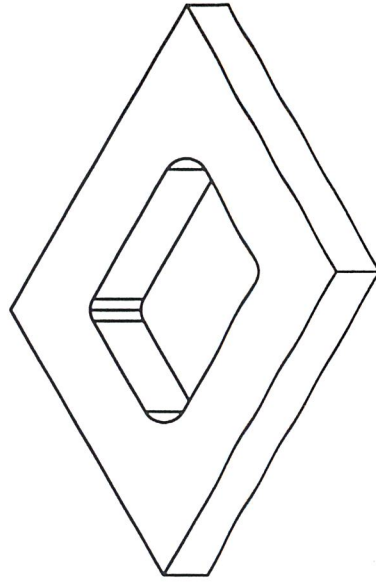
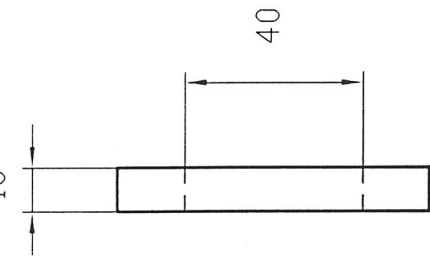
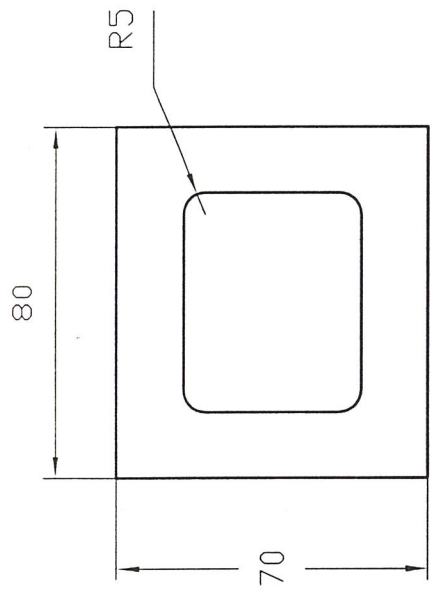
Itemref	Quantity	MATERIAL = BAKELITE	PLASTIC EXTRUSION MACHINE	
Designed by CHOKTHANAT	Checked by PHOLCHAI	Approved by - date CHOKTHANAT 11/02/46	File name barrel extrusion	Date 4/7/45
PART 10		HOPPER SUPPORT		Scale 1:10
DRAWING NUMBER 11			Edition	Sheet
			-	-



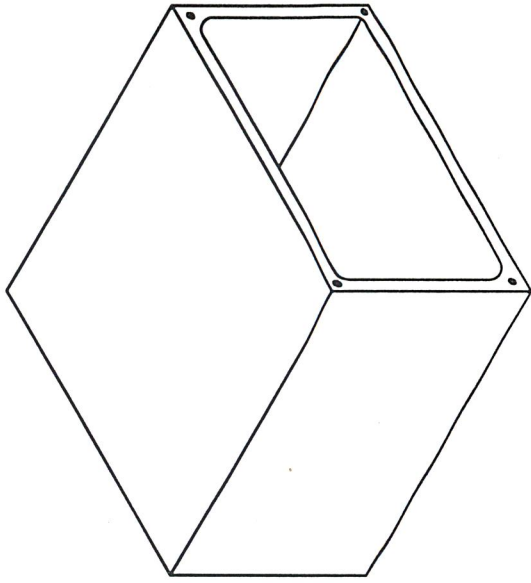
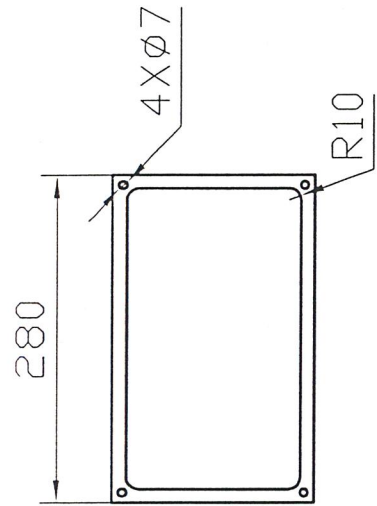
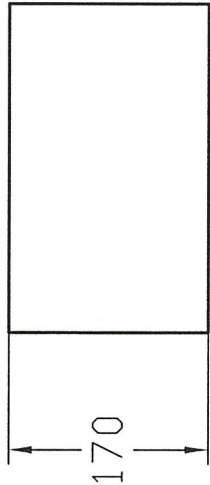
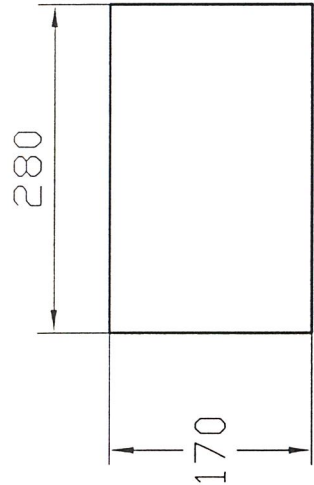
Itemref	Quantity	MATERIAL = MILD STEEL	PLASTIC EXTRUSION MACHINE	
Designed by CHOKTHANAT	Checked by PHOLCHAI	Approved by - date CHOKTHANAT 11/02/46	File name barrel extrusion	Date 4/7/45
		Scale 1:10		
PART 11		HOPPER SUPPORT		
		DRAWING NUMBER 12	Edition	Sheet



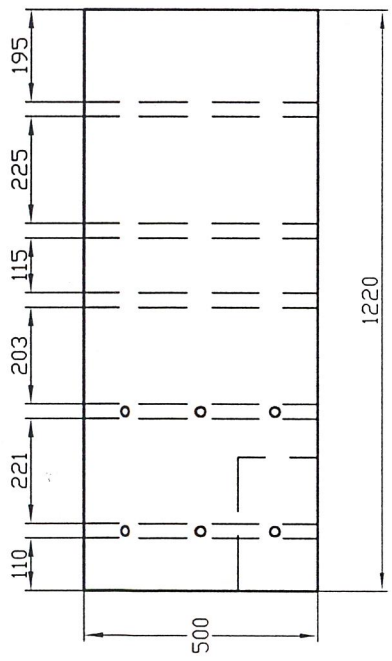
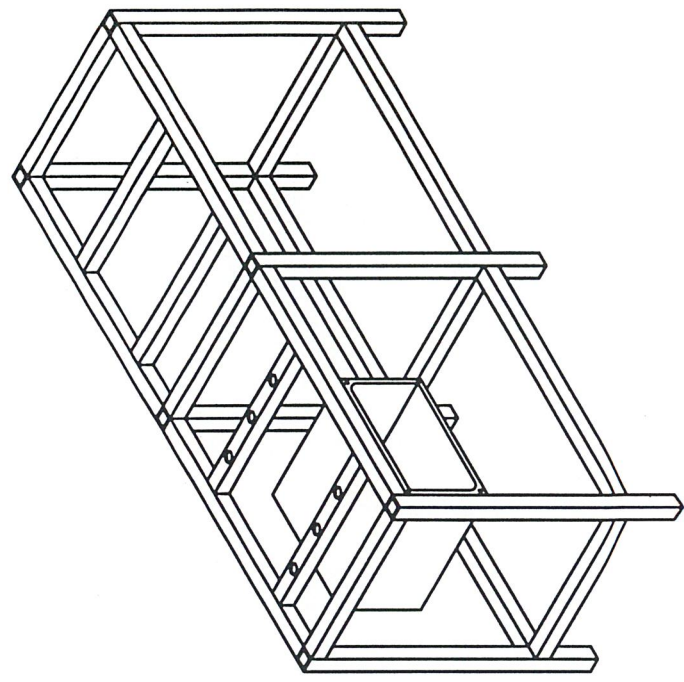
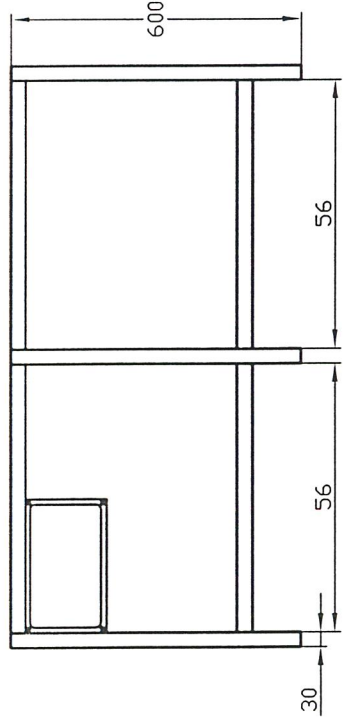
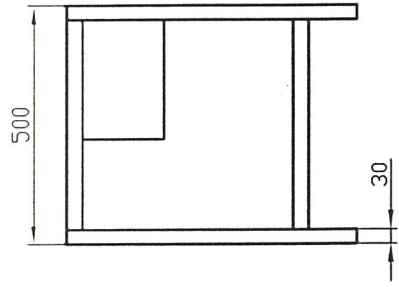
Itemref	Quantity	MATERIAL = MILD STEEL	PLASTIC EXTRUSION MACHINE		
Designed by CHOKTHANAT	Checked by PHOLCHAI	Approved by - date CHOKTHANAT 11/02/46	File name barrel extrusion	Date 4/7/45	Scale 1:10
PART 12			HOPPER SUPPORT		
			DRAWING NUMBER 13		Edition -



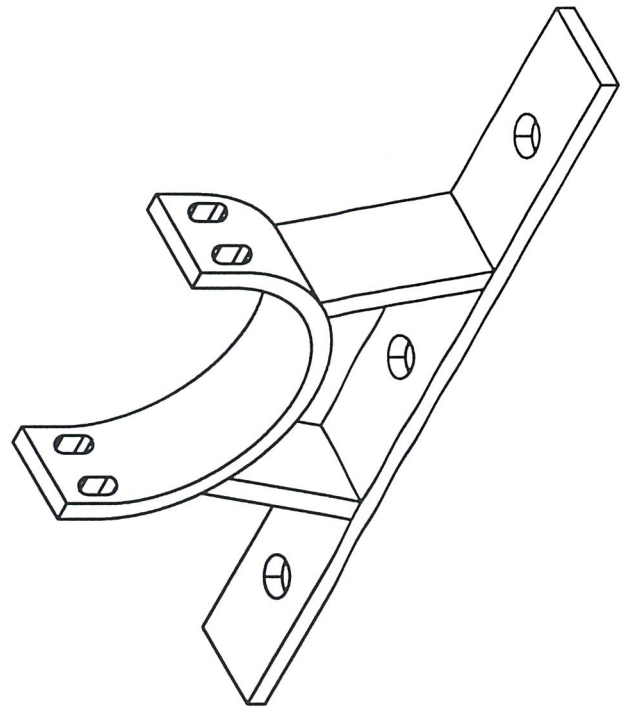
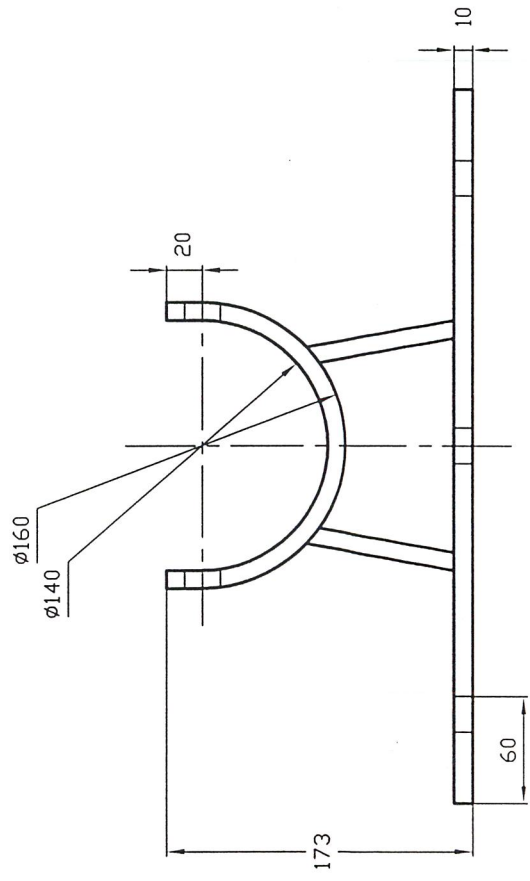
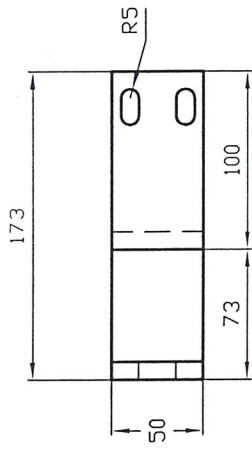
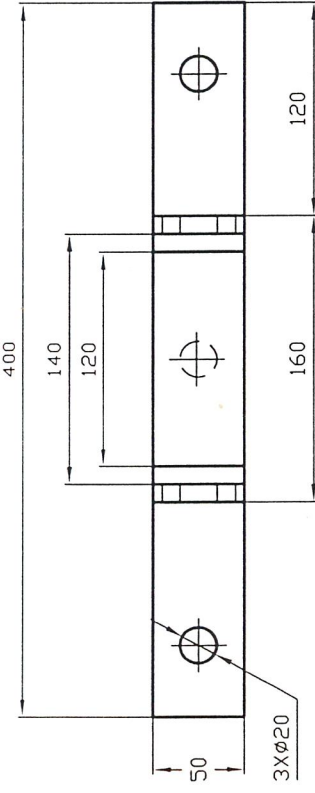
Itemref	Quantity	MATERIAL = MILD STEEL		PLASTIC EXTRUSION MACHINE	
Designed by CHOKTHANAT	Checked by PHOLCHAI	Approved by - date CHOKTHANAT 11/02/46	File name barrel extrusion	Date 4/7/45	Scale 1:10
PART 13			HOPPER SUPPORT		
			DRAWING NUMBER 14	Edition	Sheet



Itemref	Quantity	MATERIAL = SHEET METAL	PLASTIC EXTRUSION MACHINE	
Designed by CHOKTHANAT	Checked by PHOLCHAI	Approved by - date CHOKTHANAT 11/02/46	File name CONTROL_BOX	Date 1/11/45
PART 2			Scale 1:10	
DRAWING NUMBER 14			Edition	
CONTROL BOX			Sheet	



Itemref	Quantity	steel dimation 1.2 in x 1.2 in	Article No./Reference
Designed by Chokthanat	Checked by CHECKED_BY	Approved by - date APPROVED_BY_DATE	Date 1/11/43
		File name structure	Scale 1:10
Table Part 1 - 2		Table	
		DRAWING_NUMBER_14	Edition EDITION
			Sheet SHEET

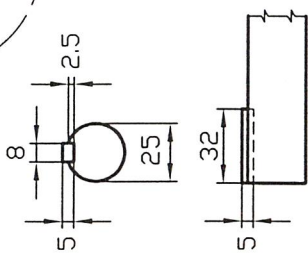
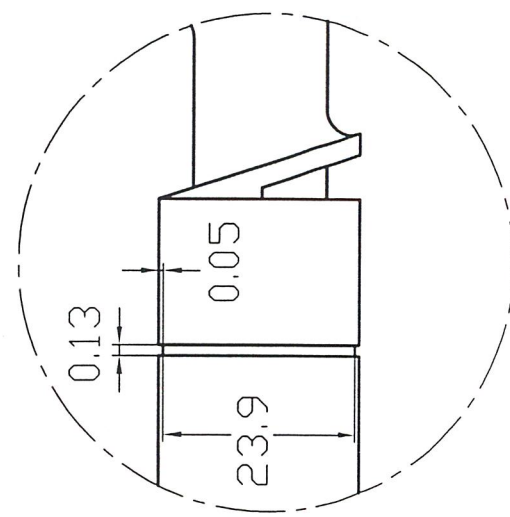
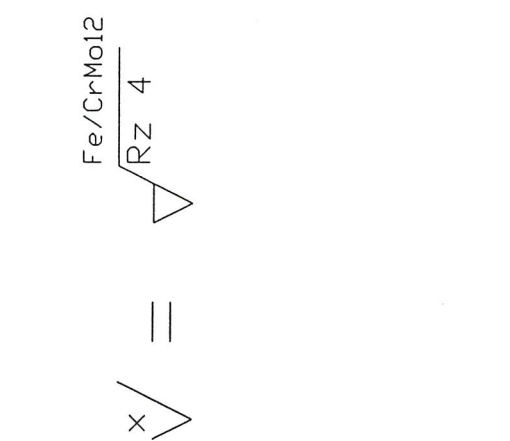
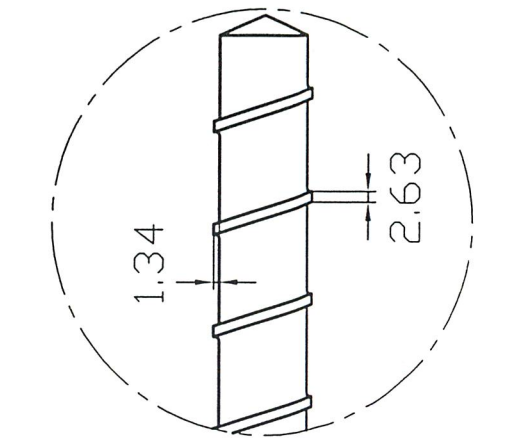
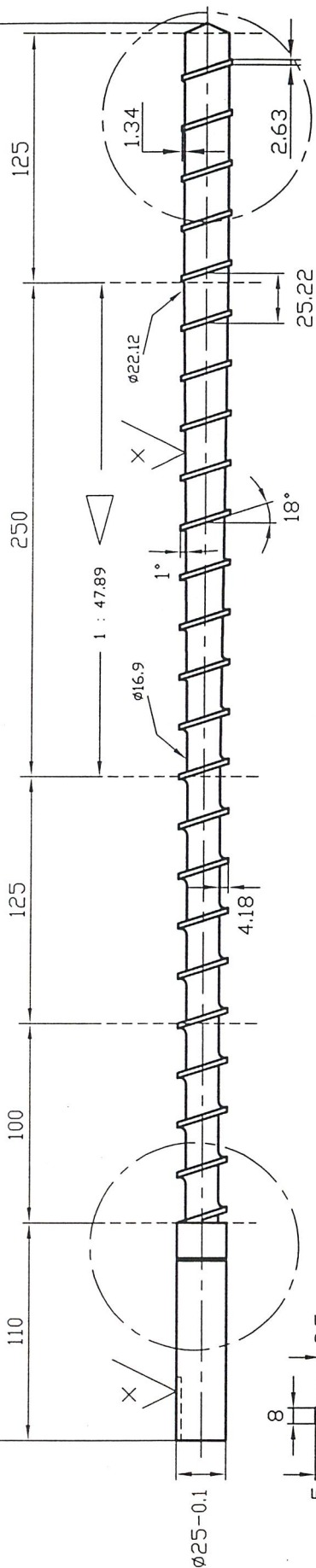


Itemref	Quantity	Material	Mild Steel	PLASTIC EXTRUSION MACHINE		
Designed by CHOKTHANAT	Checked by PHOLCHAI	Approved by - date CHOKTHANAT 11/02/46	File name ABSOFIT	Date 4/7/45	Scale 1:10	
PART 2			BARREL SUPPORT			
			DRAWING_NUMBER 15	Edition	Sheet	-

Feed 25%

Transition 50%

Metering 25%



Itemref	Quantity	Material = AISI 1050 HR	PLASTIC EXTRUSION MACHINE	
Designed by CHOKTHANAT	Checked by PHOLCHAI	Approved by - date CHOKTHANAT 11/02/46	Date 23/8/45	Scale 1:10
SCREW EXTRUSION		SCREW EXTRUSION		
DRAWING NUMBER 16		Edition		Sheet