

การออกแบบเครื่องอัดแบบชนิดหมุนเพื่อใช้ในห้องปฏิบัติการ

DESIGN OF ROTATIONAL MOLDING MACHINE FOR
LABORATORY USES



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีหัตถโลหะ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2544

ISBN 974-648-501-6

การออกแบบเครื่องอัดแบบชนิดหมุนเพื่อใช้ในห้องปฏิบัติการ

DESIGN OF ROTATIONAL MOLDING MACHINE FOR
LABORATORY USES



ภักดี รัตนจันทร์
PUKDEE RATTANACHAN

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 41484 ✓
วัน, เดือน, ปี 19 ก.พ. 2545

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2544

ISBN 974-648-501-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

974(5)5X

DESIGN OF ROTATIONAL MOLDING MACHINE FOR
LABORATORY USES



A THESIS SUBMITTED IN PATIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN POLYMER TECHNOLOGY
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2001

ISBN 974-648-501-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2001

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบเครื่องอัดแบบชนิดหมุนเพื่อใช้ในห้องปฏิบัติการ
DESIGN OF ROTATIONAL MOLDING MACHINE FOR
LABORATORY USES

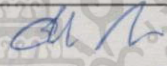
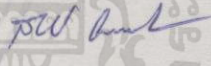
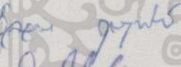
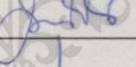
ชื่อนักศึกษา นายภักดี รัตนจันทร์

รหัสประจำตัว 42065109

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา เทคโนโลยีพอลิเมอร์

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.อิทธิพล แจ่มจักษ์	
ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย	
ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์	
ดร.วิทย์ สุนทรนนท์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ 5 ตุลาคม 2544 เวลา 8.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคารจุฬาภรณ์วลัยลักษณ์ 1 ชั้น 6 ห้อง 602

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อดชู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....๒๐.....เดือน.....ตุลาคม.....พ.ศ.....๒๕๔๔.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบเครื่องอัดแบบชนิดหมุนเพื่อใช้ในห้องปฏิบัติการ
นักศึกษา	นายภักดี รัตนจันทร์
รหัสประจำตัว	42065109
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีพอลิเมอร์
พ.ศ.	2544

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ. ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบการสร้างและทดสอบเครื่องมือสำหรับกระบวนการอัดแบบชนิดหมุน เพื่อนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการ เครื่องมือที่ออกแบบและจัดสร้างมีรูปร่างของแม่พิมพ์เป็นทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร โดยใช้วัสดุเป็นผงพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ปรับเปลี่ยนสถานะของการทดลอง ได้แก่ อุณหภูมิการขึ้นรูป เวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป ความเร็วของแกนหลักและแกนรอง และปริมาณของวัสดุที่ใช้ ซึ่งชิ้นงานที่ได้นำมาวิเคราะห์ความสม่ำเสมอของความหนา และลักษณะของผิวชิ้นงานทั้งภายนอกและภายใน จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือที่สร้างขึ้น และการทดสอบการขึ้นรูปชิ้นงานพบว่า เตาอบที่สร้างขึ้นสามารถใช้งานได้ดีกับกระบวนการอัดแบบชนิดหมุน ในการทดลองขึ้นรูปชิ้นงานด้วยวัสดุ POLENE N520W พบว่าสถานะที่สามารถขึ้นรูปให้ได้ชิ้นงานที่มีผิวเรียบทั้งสองด้านและไม่มีฟองอากาศคือ อุณหภูมิเตาอบ 250 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที ความเร็วการหมุนของแกนหลักต่อแกนรองที่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานจาก POLENE N520W ให้มีความสม่ำเสมอของความหนามากที่สุดเท่าที่ได้ทดลองในงานวิจัยนี้คือ ความเร็วแกนหลักต่อแกนรอง 20:5 รอบต่อนาที เครื่องอัดแบบชนิดหมุนที่สร้างขึ้นสามารถผลิตชิ้นงานมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความหนาระหว่าง 0.061-0.084 ภายในรอบการผลิตเดียวกัน และ 0.069-0.089 ระหว่างรอบการผลิต

Thesis Title	Design of Rotational Molding Machine for Laboratory Uses
Student	MR. Pukdee Rattanachan
Student ID.	42065109
Degree	Master of Science
Program	Polymer Technology
Year	2001
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Somsak Woramongconchai

ABSTRACT

This research involved a design, construction and testing of a rotational molding machine for laboratory uses. This equipment which was designed and constructed has spherical molds with 6 centimeters in diameter. The tested material in this research was powder polyethylene (POLENE N520W). The machine was tested for operating conditions including forming temperature, forming time, and rotational speed. The specimen was analyzed for uniform thickness and surface details both inside and outside surfaces. It was found that the equipment had a good efficiency in both heating and rotating function. The operating conditions of good surface details both inside and outside and bubbleless specimens were forming temperature of 250 °C and forming time of 15 minutes. The ratio of main to minor rotational speeds that causes most uniform thickness was 20 to 5 rpm. The machine has standard deviation of specimens thickness 0.061-0.084 in the same batch and 0.069-0.089 between the batches.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไม่อาจสำเร็จลุล่วงด้วยดีหากขาด แม่ และ พ่อ ที่ช่วยให้กำลังใจ ติดตามความคืบหน้าของงานวิจัย และให้การศึกษาคูหาที่ดีมาจนถึงบัดนี้

ขอขอบคุณ ผศ.ดร. สมศักดิ์ วรรณกุลชัย ที่ให้คำปรึกษา การชี้แนะ และให้ความดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดี ตลอดระยะเวลาในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ ดร.ชลลดา ฤทธิวิรุฬห์ ผศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด ดร.วิทย์ สุนทรนันท์ และ ดร.สุภาภรณ์ จำปา ที่ให้การชี้แนะ และแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณน้ำโชคชัย ภักดี ที่กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษาและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการออกแบบเครื่องมือ และเชื้อเพื่อวัสดุ เครื่องมือ และช่างในการสร้างเครื่องมือในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ ช่างฝีมือ นายเสน่ห์ แก้วลอดหล้า นายกร เด่นพล และนายสมัย พรหมวัง จากบริษัท รัตนพรชัย จำกัด รวมถึง คุณมนัส พันธูลาก จากโรงกลึง มนัสการช่าง ที่ได้ให้คำแนะนำ และความร่วมมือเป็นอย่างดีในการสร้าง และประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องมือในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ คัง บอย ดี ซีฟ เมิน เซีย กฤษณ์ จี กุ้ง กาญ จีบ และเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจ คำปรึกษา และให้ความช่วยเหลือตลอดมา

ขอขอบคุณญาติ พี่น้องทุกท่าน และผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุน ให้การชี้แนะ และให้คำแนะนำที่มีประโยชน์ ต่องานวิจัย และต่อตัวข้าพเจ้าเอง

และขอขอบคุณตัวข้าพเจ้าเองที่อดทนทำงานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขออุทิศประโยชน์ และคุณค่า จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ภักดี รัตนจันทร์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการทดลอง	3
1.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 นิยาม	4
2.2 หลักการทำงานของกระบวนการอัดแบบชนิดหมุน	4
2.3 ประเภทของเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการอัดแบบชนิดหมุน	5
2.4 แม่พิมพ์	8
2.5 เพลลา	11
2.6 เฟือง	12
2.7 รอกเส้น	15
2.8 มอเตอร์ไฟฟ้า	18
2.9 อุปกรณ์ทางไฟฟ้า	19
2.10 ระบบให้ความร้อน	27
2.11 ข้อได้เปรียบและข้อจำกัดของกระบวนการ	27
2.12 วัสดุที่ใช้ในกระบวนการอัดแบบชนิดหมุน	30
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	40

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย	42
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	42
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	42
3.3 ขั้นตอนการทดลอง	43
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	58
4.1 เครื่องมือที่สร้างขึ้น	58
4.2 การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องมือ	60
4.3 การทดสอบการขึ้นรูปชิ้นงาน	64
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	72
เอกสารอ้างอิง	74
ภาคผนวก	77
ภาคผนวก ก	77
ภาคผนวก ข	78
ภาคผนวก ค	79
ภาคผนวก ง	80
ภาคผนวก จ	82
ภาคผนวก ฉ	84
ภาคผนวก ช	85
ภาคผนวก ซ	86
ภาคผนวก ฌ	87
ภาคผนวก ฎ	89
ประวัติผู้เขียน	100

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆ จากกระบวนการอัดแบบชนิดหมุน	2
2.1 การจำแนกเฟืองแบบต่างๆ	13
2.2 การเปรียบเทียบระหว่างร่องลื่นแบบกบเพลิงกับแบบลูกปืน	16
2.3 มอเตอร์ไฟฟ้าแบบต่างๆ	19
2.4 ความหนาแน่นของพอลิเอทิลีนชนิดต่างๆ	32
2.5 การแยกพอลิเอทิลีนตามลำดับชั้นฐานย่อย	32
4.1 อุณหภูมิเฉลี่ยที่วัดได้ในเตาอบเทียบกับอุณหภูมิที่ตั้งไว้	61
4.2 เวลาที่เตาอบรุ่นต่างๆ ใช้ในการทำความร้อนให้ได้ตามอุณหภูมิที่ตั้งไว้	62
4.3 ลักษณะของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยอุณหภูมิต่างกัน (ใช้เวลา 15 นาที)	65
4.4 ลักษณะของชิ้นงานที่ใช้เวลาขึ้นรูปขึ้นรูปแตกต่างกัน (อุณหภูมิขึ้นรูป 250 °C)	65
4.5 ความหนาในตำแหน่งต่างๆ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความหนาชิ้นงานที่ผลิต ในรอบการผลิตที่ 1 โดยใช้ความเร็วแกนหลัก:แกนรอง 5:10 รอบต่อนาที เวลา 15 นาที อุณหภูมิ 200 °C	70

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ขั้นตอนของกระบวนการอัดแบบชนิดหมุน	5
2.2 เครื่องอัดแบบชนิดหมุนแบบรางเลื่อน	6
2.3 เครื่องอัดแบบชนิดหมุนแบบฝาหอย	6
2.4 เครื่องอัดแบบชนิดหมุนแบบร็อกแอนด์โรล	7
2.5 เครื่องอัดแบบชนิดหมุนแบบแขนคงที่	7
2.6 แม่แบบและแม่พิมพ์แบบอะลูมิเนียมหล่อ	9
2.7 แม่พิมพ์ที่ทำจากแผ่นเหล็กเพื่อใช้ในการผลิตตั้งน้ำหนักใหญ่	10
2.8 แม่แบบและแม่พิมพ์ที่เกิดจากเทคนิคการขึ้นรูปแบบการชุบ	10
2.9 แม่พิมพ์ที่ขึ้นรูปด้วยเครื่อง CNC	11
2.10 เฟืองแบบต่างๆ	12
2.11 ส่วนต่างๆ ของเฟืองดอกจอก	14
2.12 เฟืองหมวกและเฟืองมงกุฎ	14
2.13 รongลื่นกบเพล่าแบบต่างๆ	15
2.14 รongลื่นตลับลูกปืนแบบต่างๆ	17
2.15 การใช้ตัวเริ่มการทำงานแบบแม่เหล็กร่วมกับรีเลย์ไหลดเกิน	18
2.16 เบรกเกอร์แบบที่สามารถป้องกันกระแสไฟฟ้าเกินและไฟฟ้าลัดวงจรได้	20
2.17 หน้าสัมผัสแบบต่างๆ	21
2.18 ตัวอย่างของตัวควบคุมสวิตช์แบบกด	22
2.19 การทำงานของรีเลย์	22
2.20 ตัวอย่างวงจรควบคุมอุณหภูมิ	23
2.21 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา	24
2.22 วงจรของเทอร์โมคัพเปิล	25
2.23 ตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบต่างๆ	25
2.24 การควบคุมโดยใช้คอนแทคเตอร์เทียบกับตัวสลับสัญญาณซิลิกอน	26
2.25 ชิ้นงานที่มีความซับซ้อน	28
2.26 ผนังชิ้นงานแบบต่างๆ ที่สามารถผลิตจากกระบวนการอัดแบบชนิดหมุน.....	29
2.27 การแทรกโลหะลงในชิ้นงาน	29

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.28 ภาพตัดขวางของเรื่อที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดแบบชนิดหมุน	29
2.29 โครงสร้างของสายโซ่ของพอลิเอทิลีนแบบต่างๆ	33
2.30 ขั้นตอนการสังเคราะห์พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	34
2.31 โครงสร้างย่อยของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	35
2.32 การเกิดโซ่กิ่งแบบสั้นในโมเลกุลของพอลิเอทิลีน	35
2.33 การถ่ายโอนสายโซ่ระหว่างโซ่หลักกับโซ่กิ่งในโมเลกุลเดียวกัน	35
2.34 การถ่ายโอนสายโซ่โดยเกิดผ่านอนุมูลอิสระแบบตติยภูมิ	36
2.35 กลไกการถ่ายโอนสายโซ่ระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์	36
2.36 ความหนาแน่นและเทคนิคที่ใช้ในการขึ้นรูปพอลิเอทิลีนชนิดต่างๆ	38
2.37 สมบัติของพอลิเอทิลีน	39
2.38 ตัวอย่างชิ้นงานที่ผลิตโดยกระบวนการอัดแบบชนิดหมุน	39
2.39 เครื่องอัดแบบชนิดหมุน	40
3.1 ลักษณะของแม่พิมพ์ที่ใช้ในการทดลอง	44
3.2 ตัวยึดแม่พิมพ์	44
3.3 การประกอบแม่พิมพ์เข้ากับตัวยึดแม่พิมพ์	45
3.4 แกนหลักของแขนหมุน	45
3.5 ตัวเชื่อมระหว่างแกนหลักกับแกนรอง	46
3.6 ตัวยึดมอเตอร์	47
3.7 เฟืองขับ	47
3.8 สะพานไฟ	47
3.9 แกนรอง	48
3.10 แขนหมุนของเครื่องอัดแบบชนิดหมุน	48
3.11 โครงเหล็ก	49
3.12 ส่วนประกอบของเตาอบ	50
3.13 การวางตำแหน่งของชุดลวดให้ความร้อน	50
3.14 ฝาเตาอบ และการติดตั้งตัววัดอุณหภูมิ	51
3.15 รางเลื่อน	51

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.16 การประกอบรองลื่นแบบลูกปืนเข้ากับโครงเหล็ก	52
3.17 การประกอบแขนหมุนและเฟืองขับ	52
3.18 การประกอบสะพานไฟเข้ากับโครงเหล็ก	53
3.19 ตำแหน่งของเฟืองมอเตอร์กับเฟืองขับ	53
3.20 การประกอบตัวยึดมอเตอร์เข้ากับแขนหมุน	54
3.21 การประกอบมอเตอร์เข้ากับตัวยึดมอเตอร์และแกนรอง	54
3.22 การประกอบตู้ควบคุมเข้ากับโครงเหล็ก	54
3.23 การติดแผ่นครอบเครื่อง	55
3.24 ตำแหน่งการตัดชิ้นงานเพื่อนำไปทดสอบความหนา	57
4.1 เครื่องอัดแบบชนิดหมุนที่สร้างขึ้น	58
4.2 ส่วนประกอบของเครื่องอัดแบบชนิดหมุน	58
4.3 แผงควบคุมการทำงานของเครื่องอัดแบบชนิดหมุน	59
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเตาอบกับเวลา	61
4.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำความร้อนของเตาอบแต่ละรุ่น	62
4.6 เปรียบเทียบอัตราการทำความร้อนของเตาอบแต่ละเครื่องที่อุณหภูมิ 200 °C	63
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของแกนรองกับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้	66
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของแกนหลักกับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้	67
4.9 ปริมาณฟองอากาศในชิ้นงานเมื่อใช้เวลาในการขึ้นรูปแตกต่างกัน	68
4.10 ปริมาณฟองอากาศในชิ้นงานเมื่อใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปแตกต่างกัน	68
4.11 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานความหนาของชิ้นงานที่ผลิตในรอบการผลิตเดียวกันและ ระหว่างรอบการผลิต โดยใช้ความเร็วแกนหลัก:แกนรอง 5:10 รอบต่อนาที เวลา 15 นาที อุณหภูมิ 200 °C	69
4.12 ผลของความเร็วแกนหลักและแกนรองที่มีต่อค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ ความหนาของชิ้นงาน	71

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลาสติกเป็นวัสดุที่มีความจำเป็นสำหรับการดำเนินชีวิตของมนุษย์ในสมัยนี้มาก เนื่องจากพลาสติกมีความสามารถที่จะขึ้นรูปได้ตามต้องการ มีสมบัติทางเคมีและทางกายภาพที่ดี น้ำหนักเบา ราคาถูก และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยจะพบเห็นการใช้พลาสติกในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ และทุกกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน ตัวอย่างการใช้งานผลิตภัณฑ์พลาสติก เช่น การทำถังและอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเคมี เครื่องใช้สำหรับงานทางเกษตรกรรม ของใช้ในครัวเรือน เฟอร์นิเจอร์ บรรจุก๊าซ เครื่องประดับ เครื่องนุ่งห่ม อุปกรณ์กีฬา ส่วนประกอบของรถยนต์ เรือ เครื่องบิน และยานอวกาศ ส่วนประกอบของโครงสร้างอาคาร ชิ้นส่วนของเครื่องใช้ไฟฟ้า และอื่นๆ อีกมากมาย ทั้งนี้โดยอาศัยกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกหลายกระบวนการ [1] ได้แก่

1. การอัดแบบ (Molding) เช่น การอัดแบบชนิดฉีด (Injection molding) การอัดแบบชนิดเป่า (Blow molding) การอัดแบบชนิดหมุน (Rotational molding) เป็นต้น
2. การอัดรีด (Extrusion)
3. การขึ้นรูปร้อน (Thermoforming)
4. การรีดกลิ้ง (Calendering)
5. กระบวนการขึ้นรูปพลาสติกอื่นๆ

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาได้มีการขยายตัวของโรงงานแปรรูปพลาสติกในประเทศไทยอย่างรวดเร็วแต่ผู้ผลิตส่วนใหญ่ยังอาศัยเทคโนโลยีและผู้มีประสบการณ์จากต่างประเทศทำให้ต้นทุนในการเริ่มต้นสูง จึงมีแต่ผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดใหญ่เท่านั้นที่สามารถดำเนินธุรกิจประเภทนี้ได้ แต่ในช่วง 2-3 ปีที่ผ่านมาประเทศไทยได้ประสบภาวะวิกฤติเศรษฐกิจทำให้อุตสาหกรรมนี้เกิดการชะลอตัว มีการเลิกกิจการและการลงทุนดำเนินกิจการใหม่ลดลง ถึงแม้ว่ารัฐบาลได้มีการส่งเสริมการลงทุนในธุรกิจขนาดเล็กแต่อย่างไรก็ตามการลงทุนที่สูง ทำให้อุตสาหกรรมด้านนี้ไม่ได้รับความสนใจเท่าที่ควร

งานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะสร้างเครื่องมือในการขึ้นรูปพลาสติกที่มีราคาต่ำเพื่อให้ผู้ประกอบการขนาดเล็กสามารถเป็นเจ้าของได้ ซึ่งจะช่วยให้เกิดการพัฒนาเทคนิคการขึ้นรูป และพัฒนารูปแบบของผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีทางพลาสติกในประเทศ และลดการนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศลง

เทคนิคการอัดแบบชนิดหมุน (Rotational molding) เป็นเทคนิคที่ใช้ความดันต่ำในการขึ้นรูปวัสดุพลาสติก ทำให้ต้นทุนทางด้านวัสดุในการสร้างเครื่องมือมีราคาต่ำ ประกอบกับกระบวนการไม่ซับซ้อนมากนักจึงเป็นเทคนิคที่ถูกเลือกศึกษาในงานวิจัยนี้

ในต่างประเทศมีการนำกระบวนการอัดแบบชนิดหมุนมาใช้ในการขึ้นรูปอย่างกว้างขวาง โดยในปีพ.ศ. 2523-2533 มีการเติบโตของอุตสาหกรรมที่ใช้กระบวนการนี้ในการผลิตถึง 15 เปอร์เซ็นต์ และในช่วงปีพ.ศ. 2540-2543 มีการขยายตัวของอุตสาหกรรมนี้เพิ่มขึ้นอีก 10 เปอร์เซ็นต์ ในอเมริกาเหนือมีการใช้พลาสติกที่ผลิตจากกระบวนการนี้ 136,000 ตันในปี 2525 และมีการเพิ่มอย่างรวดเร็วเป็น 388,700 ตันในปี 2539 โดยแบ่งเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆ ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆ จากกระบวนการอัดแบบชนิดหมุน [2]

ประเภทของผลิตภัณฑ์	เปอร์เซ็นต์
ของเด็กเล่น	41.0
แทงค์ (Tank)	19.1
บรรจุภัณฑ์ (Container)	9.0
อุปกรณ์รถยนต์	8.7
อุปกรณ์ใส่วัสดุ (Materials handling)	3.6
เครื่องใช้ภายในบ้าน	2.6
อุปกรณ์สนามเด็กเล่น (Playground equipment)	2.3
เบ็ดเตล็ด (Miscellaneous)	13.7

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าเทคนิคนี้มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามในประเทศไทย กระบวนการอัดแบบหมุนถือว่าเป็นเทคนิคที่มีการนำมาใช้ในการขึ้นรูปพลาสติกน้อยมาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีกำลังการผลิตต่ำ เครื่องมือมีราคาแพงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศ และขาดความรู้ในกระบวนการ

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษากระบวนการและการออกแบบเครื่องอัดแบบชนิดหมุนโดยใช้วัสดุที่มีอยู่ในประเทศทั้งนี้เพื่อเป็นการลดต้นทุน และพัฒนาอุตสาหกรรมพลาสติกในประเทศให้ก้าวหน้าต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ในการทดลอง

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างเครื่องมือสำหรับกระบวนการอัดแบบชนิดหมุนเพื่อใช้ในห้องปฏิบัติการ
2. เพื่อศึกษาสภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสม รวมทั้งศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ
3. เพื่อออกแบบเครื่องมือที่มีต้นทุนต่ำ แต่มีประสิทธิภาพที่ดี

1.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนของการดำเนินการวิจัยแบ่งได้เป็น 5 ขั้นตอนหลักๆ คือ

1. การศึกษาหลักการของกระบวนการ รวมถึงการทำงานของเครื่องอัดแบบชนิดหมุนที่มีการใช้งานอยู่ในอุตสาหกรรมพลาสติก
2. ออกแบบเครื่องให้สอดคล้องกับหลักการทำงาน และมีขนาดเหมาะสมกับชิ้นงาน
3. การศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการสร้างเครื่องมือ และปรับปรุงแบบให้สอดคล้องกับเทคนิคการสร้าง วัสดุที่มีในท้องตลาด และงบประมาณในการสร้าง
4. สร้างเครื่องอัดแบบชนิดหมุน
5. ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องอัดแบบชนิดหมุนที่สร้างขึ้น พร้อมทั้งค้นหาข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น เพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไขต่อไป
6. ศึกษาสภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสม รวมทั้งศึกษาอิทธิพลของตัวแปรอื่นๆ ที่มีผลต่อกระบวนการและผลิตภัณฑ์ที่ได้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 นิยาม

กระบวนการอัดแบบชนิดหมุน (Rotational molding) เป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนสูง และอาศัยความดันต่ำ จัดเป็นแม่พิมพ์แบบเปิด (Open-molding plastic forming process) โดยจะใช้ความร้อนและการหมุนในสองทิศทาง (Biaxial rotation) เพื่อสร้างชิ้นงานที่มีลักษณะกลวง และเป็นชิ้นเดียวได้ [2]

2.2 หลักการทำงานของกระบวนการอัดแบบชนิดหมุน

ในกระบวนการอัดแบบชนิดหมุน มีขั้นตอนการทำงานแบ่งเป็น 4 ขั้นตอนหลักดังนี้

1. ขั้นตอนการเติมพอลิเมอร์ลงในแม่พิมพ์

พอลิเมอร์ในรูปของเหลวหรือผงที่ทราบปริมาณแล้วจะถูกเติมลงในแม่พิมพ์ดังรูปที่ 2.1 ก โดยปริมาณที่เติมจะขึ้นกับความหนาของผนังชิ้นงานที่ต้องการ ซึ่งพอลิเมอร์ที่เติมลงไปนั้นอาจมีการผสมสี หรือสารตัวเติมต่างๆ ลงไปด้วย

2. ขั้นตอนการให้ความร้อน

หลังจากเติมพอลิเมอร์และปิดแม่พิมพ์แล้ว แม่พิมพ์จะถูกให้ความร้อนและถูกหมุนตามแนวตั้ง และแนวนอน ด้วยความเร็วรอบที่เหมาะสม ดังรูปที่ 2.1 ข เมื่อพอลิเมอร์ได้รับความร้อนจะเกิดการหลอมเหลวและเคลือบผนังของแม่พิมพ์อย่างสม่ำเสมอเนื่องจากได้รับแรงจากการหมุนแม่พิมพ์

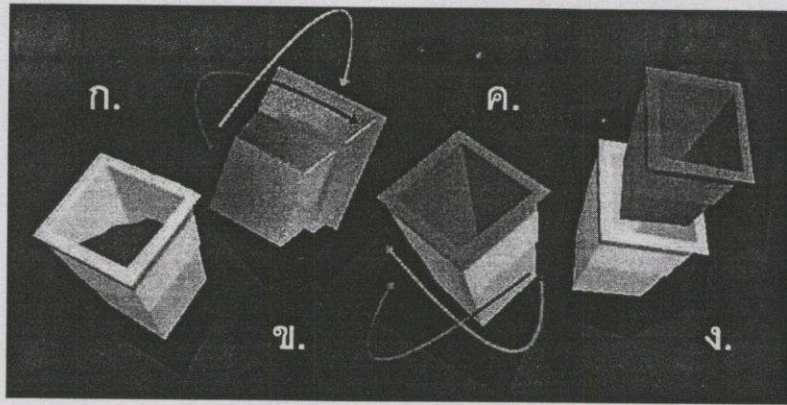
3. ขั้นตอนการหล่อเย็น

หลังจากที่พอลิเมอร์เคลือบที่ผนังแม่พิมพ์อย่างสมบูรณ์แล้ว แม่พิมพ์จะถูกหล่อเย็นโดยที่แม่พิมพ์ยังคงหมุนอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งชิ้นงานคงรูป ดังรูป 2.1 ค

4. ขั้นตอนการถอดชิ้นงาน

หลังจากขั้นตอนการหล่อเย็น แม่พิมพ์จะถูกเปิดและถอดชิ้นงานที่ขึ้นรูปแล้วออกจากแม่พิมพ์ ดังรูปที่ 2.1 ง จากนั้นพอลิเมอร์จะถูกเติมลงในแม่พิมพ์และเริ่มรอบการทำงานใหม่ต่อไป [1-3]

นอกจากนี้อาจมีขั้นตอนย่อยอื่นๆ ซึ่งแตกต่างกันไปตามชิ้นงาน เช่น การตัดส่วนที่ไม่ต้องการออก การขัดผิวและเคลือบเงา การประกอบชิ้นงาน เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนของกระบวนการอัดแบบชนิดหมุน [3]

2.3 ประเภทของเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการอัดแบบชนิดหมุน

เครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการอัดแบบชนิดหมุนมีการพัฒนาหลายรูปแบบโดยอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

- 2.3.1 เครื่องอัดแบบชนิดหมุนแบบแขนเดียว (Single-arm rotational molding machine)
- 2.3.2 เครื่องอัดแบบชนิดหมุนแบบหลายแขน (Multi-arm rotational molding machine)

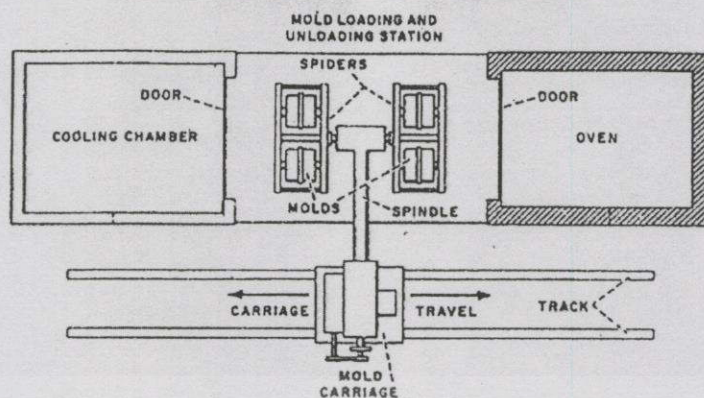
อย่างไรก็ตามเครื่องอัดแบบชนิดหมุนทั้งสองประเภทยังคงอาศัยพื้นฐานของขั้นตอนการขึ้นรูปดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2.2 [2]

2.3.1 เครื่องอัดแบบชนิดหมุนแบบแขนเดียว

เครื่องอัดแบบชนิดหมุนประเภทนี้จะมีราคาต่ำกว่าเครื่องอัดแบบชนิดหมุนที่มีหลายแขนเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดและความจุของแม่พิมพ์เท่าๆกัน เครื่องอัดแบบชนิดนี้จะเหมาะสำหรับงานประเภท งานวิจัย งานในห้องปฏิบัติการ หรือ การทำชิ้นงานต้นแบบ เนื่องจากสามารถควบคุมกระบวนการได้ละเอียด และเปลี่ยนแปลงสภาวะต่างๆ ได้ยืดหยุ่นกว่าเครื่องอัดแบบชนิดหมุนที่มีหลายแขน แต่เครื่องอัดแบบชนิดหมุนแบบแขนเดียวนี้มีข้อจำกัดคือ มีอัตราการผลิตต่ำ ดังนั้นจึงเหมาะกับงานที่มีปริมาณการผลิตที่จำกัด อย่างไรก็ตามสามารถชดเชยได้โดยการทำแม่พิมพ์แบบหลายโพรงแบบ (Multi-cavity mold) หรือ การใช้เครื่องมือหลายเครื่องโดยอาศัยผู้ควบคุมคนเดียว เครื่องอัดแบบชนิดหมุนแบบแขนเดียวยังสามารถแบ่งเป็น 3 ประเภทตามลักษณะของการทำงานดังนี้

(ก) แบบรางเลื่อน หรือ แบบแขนเหวี่ยง (Shuttling or swing-arm)

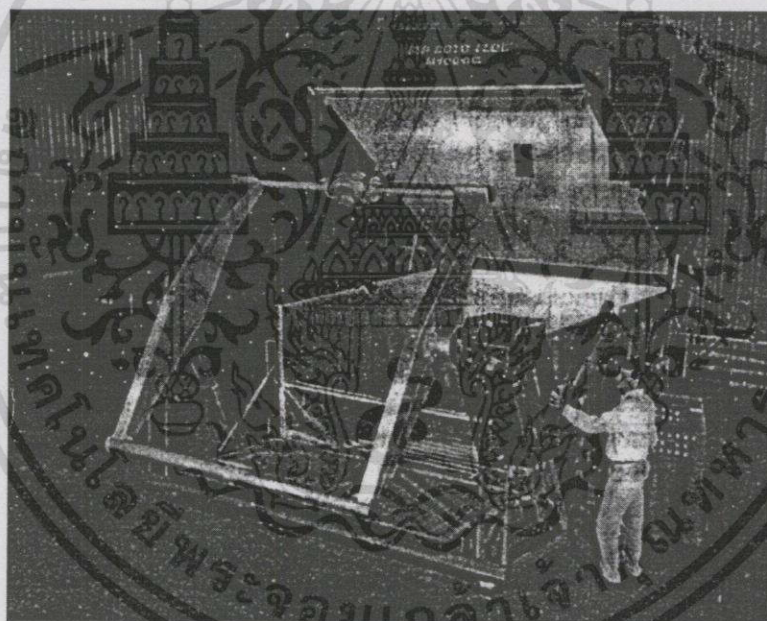
เครื่องอัดแบบชนิดหมุนแบบนี้จะมีส่วนให้ความร้อนและส่วนหล่อเย็นแยกส่วนกัน โดยเครื่องสามารถย้ายแม่พิมพ์ไปมาระหว่างส่วนให้ความร้อน และส่วนหล่อเย็นได้ โดยอาศัยรางเลื่อนหรือการย้ายแขนที่ยึดแม่พิมพ์ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เครื่องอัดแบบชนิดหมุนแบบรางเลื่อน [2]

(ข) แบบฝาหอย (Clamshell)

เครื่องอัดแบบชนิดหมุนแบบนี้จะมีส่วนให้ความร้อนและหล่อเย็นรวมกัน ทำให้ราคาต่ำ และใช้พื้นที่น้อยกว่าแบบรางเลื่อน แต่จะสิ้นเปลืองพลังงานและเวลามากกว่า แสดงดังรูปที่ 2.3

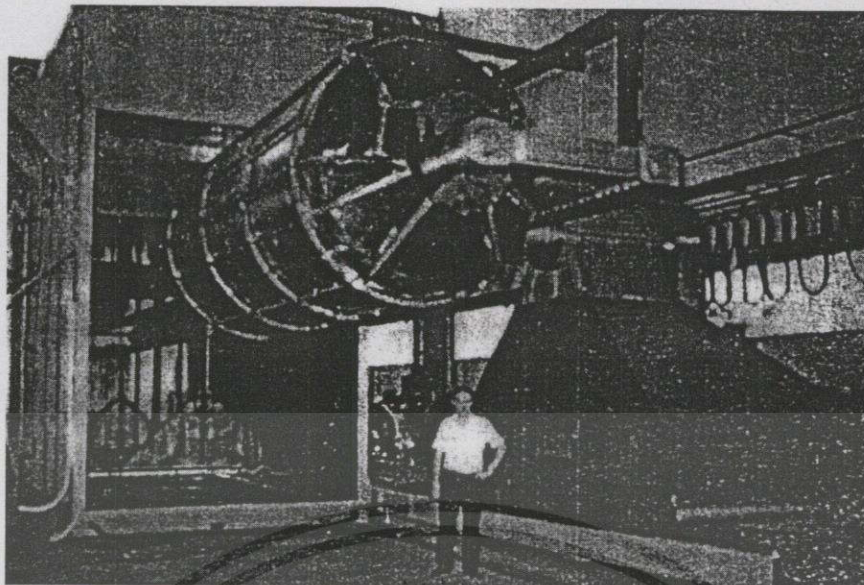


รูปที่ 2.3 เครื่องอัดแบบชนิดหมุนแบบฝาหอย [2]

(ค) แบบร็อกแอนด์โรล (Rock-and-roll)

เครื่องอัดแบบชนิดหมุนแบบนี้จะมีการหมุนที่แตกต่างออกไป โดยแกนหนึ่งจะหมุน 360° ส่วนอีกแกนจะหมุนทำมุมในช่วง $\pm 45^\circ$ กับแนวราบ ซึ่งเครื่องมือแบบนี้จะไม่เหมาะกับการขึ้นรูปชิ้นงานทรงกลม แต่เหมาะสำหรับชิ้นงานที่มีอัตราส่วนระหว่างความกว้างกับความยาวของชิ้นงานมาก เช่น ท่อ หรือ เรือแคนู ซึ่งลักษณะการหมุนแบบนี้จะช่วยลดขนาดของเตาอบลงมาก ทำให้ประหยัดพลังงาน เมื่อเทียบกับการหมุน 360° ทั้งสองแกน ดังรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



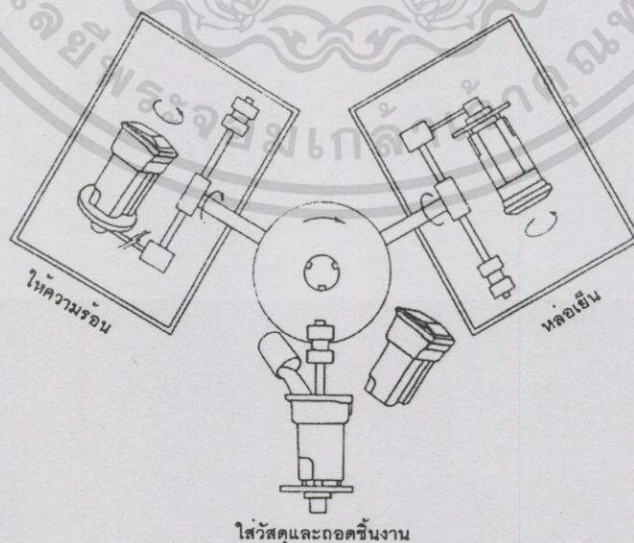
รูปที่ 2.4 เครื่องอัดแบบชนิดหมุนแบบร็อกแอนด์โรล [2]

2.3.2 เครื่องอัดแบบชนิดหมุนแบบหลายแขน

เป็นเครื่องที่นิยมใช้กันมากที่สุดในการผลิตเชิงอุตสาหกรรม เนื่องจากมีกำลังการผลิตสูง มีแขนสูงสุดได้ถึง 6 แขน แต่ส่วนใหญ่มักเป็นแบบ 3 หรือ 4 แขน โดยสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทได้ ดังนี้

(ก) แบบแขนคงที่ (Fixed-arm)

เป็นแบบที่มีการใช้มากที่สุดในช่วงก่อนปี 2540 เหมาะสำหรับการขึ้นรูปชิ้นงานแบบเดียวกันอย่างต่อเนื่อง โดยแขนแต่ละแขนจะอยู่ในขั้นตอนที่ต่างกันคือ ขึ้นให้ความร้อน ขึ้นหล่อเย็น และ ขึ้นถอดแบบและเติมวัสดุ ซึ่งจะมีการหมุนเปลี่ยนสถานะของแขนไปพร้อมๆ กัน ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เครื่องอัดแบบชนิดหมุนแบบแขนคงที่ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) แบบแขนอิสระ (Independent-arm)

เนื่องจากแบบแขนคองที่ จะมีปัญหาเกี่ยวกับการใช้แม่พิมพ์ที่แตกต่างกันในแต่ละแขน หรือแม่พิมพ์แบบเดียวกันแต่ต้องการความหนาของชิ้นงานแต่ละแขนไม่เท่ากัน ทำให้ใช้เวลาในการขึ้นรูปแตกต่างกัน ดังนั้นจึงมีการพัฒนาให้แขนเป็นอิสระต่อกัน และมีส่วนให้ความร้อนแต่ละแขนแยกจากกัน ในกรณีที่มีการผลิตแบบเดียวกันจะสามารถปรับเป็นแบบแขนคองที่ได้ ทำให้อัตราการผลิตสูงและมีความยืดหยุ่นในการผลิตมากขึ้น ทำให้เครื่องแบบแขนอิสระมีอัตราการขยายตัวในอุตสาหกรรมมากที่สุด

จากการสำรวจในปี 2540 พบว่าในทวีปอเมริกาเหนือมีการใช้เครื่องอัดแบบชนิดหมุนแบบแขนอิสระ 59 เปอร์เซ็นต์ แบบแขนคองที่ 56 เปอร์เซ็นต์ แบบผ่าหอย 23 เปอร์เซ็นต์ แบบรางเลื่อน 22 เปอร์เซ็นต์ และแบบร็อกแอนด์โรล 17 เปอร์เซ็นต์ [2]

2.4 แม่พิมพ์ (Mold)

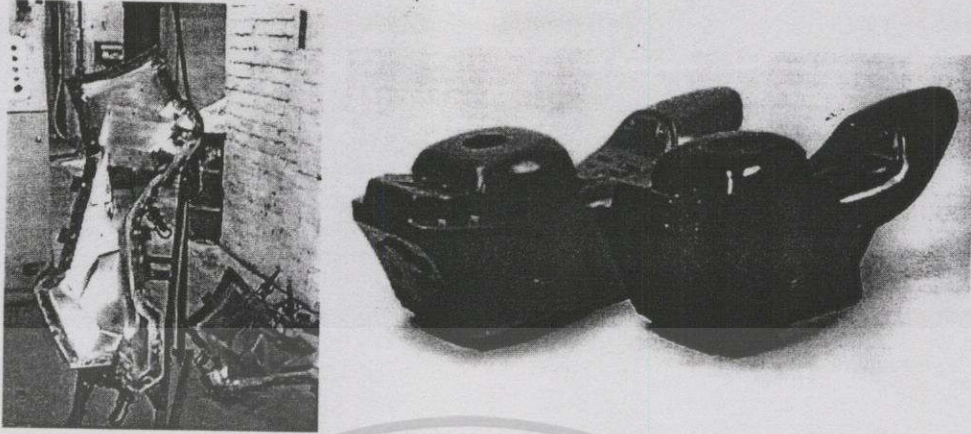
แม่พิมพ์จัดเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญมากที่สุดในการขึ้นรูปชิ้นงาน เนื่องจากแม่พิมพ์จะเป็นตัวกำหนดขนาดและรูปร่างของชิ้นงาน แม่พิมพ์ที่นิยมใช้ในปัจจุบันสามารถแบ่งตามเทคนิคการขึ้นรูปได้ดังนี้ [2]

1. อะลูมิเนียมหล่อ (Cast aluminium)

เนื่องจากอะลูมิเนียมเป็นวัสดุที่นำความร้อนได้ดี น้ำหนักเบา และสามารถหล่อขึ้นรูปเป็นรูปร่างที่ซับซ้อนได้ดี จึงนิยมนำมาใช้เป็นวัสดุในการทำแม่พิมพ์ในกระบวนการอัดแบบชนิดหมุนมากที่สุด (รูปที่ 2.6)

ขั้นตอนการสร้างแม่พิมพ์อะลูมิเนียมเริ่มจากการสร้างต้นแบบ (Pattern) จากวัสดุที่มีความแข็ง ส่วนมากทำจากไม้ โดยช่างแกะสลักที่มีความชำนาญ ต้นแบบจะมีรูปร่างเหมือนกับชิ้นงานทุกประการ แต่จะมีขนาดใหญ่กว่าเล็กน้อยเพื่อสำรองไว้สำหรับการหดตัวของอะลูมิเนียมและชิ้นงานพลาสติก ต้นแบบที่สร้างไว้จะนำมาเป็นแบบในการสร้างแม่พิมพ์ทรายหรือแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์เพื่อใช้เป็นแม่พิมพ์หล่ออะลูมิเนียม แม่พิมพ์จากการหล่อจะถูกนำมาตกแต่งรายละเอียดอีกครั้งและอาจมีการนำไปผ่านกระบวนการเพื่อปรับปรุงผิวของแม่พิมพ์ เช่น นิเกิลเพลท (Nickel-plated) อะโนไดซ์ (Anodized) และการขัดเงา เป็นต้น

การทำแม่พิมพ์ด้วยวิธีนี้มีข้อดีคือ สามารถตรวจสอบ และแก้ไขชิ้นงานจากแม่แบบที่สร้างขึ้น ทำให้ลดความสูญเสียแม่พิมพ์ที่ไม่ตรงกับความต้องการ ตัวแม่แบบสามารถเก็บไว้ใช้หลายครั้งเพื่อลดต้นทุนของแม่พิมพ์ชิ้นต่อไป อย่างไรก็ตามแม่พิมพ์แบบนี้มีข้อจำกัดคือ แม่แบบที่มีคุณภาพสูงมักใช้เวลาสร้างนาน และมีราคาสูง และต้องใช้ความชำนาญในการหล่ออะลูมิเนียมเพื่อไม่ให้มีฟองอากาศภายในแม่พิมพ์



รูปที่ 2.6 แม่แบบและแม่พิมพ์แบบอะลูมิเนียมหล่อ [3]

2. แม่พิมพ์ที่ขึ้นรูปจากโลหะแผ่น (Fabricated sheet metal)

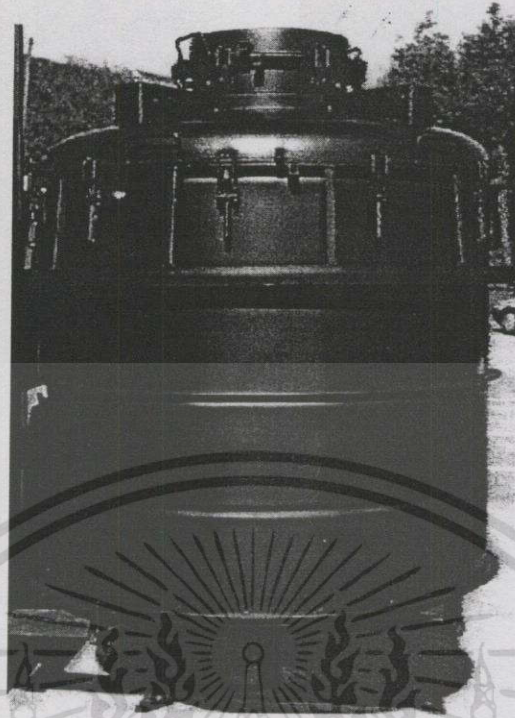
แม่พิมพ์ชนิดนี้ได้รับความนิยมรองจากแม่พิมพ์อะลูมิเนียมหล่อ แม่พิมพ์แบบนี้เหมาะกับชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ แต่มีรูปร่างไม่ซับซ้อน หรือมีรายละเอียดไม่มากนัก ดังรูปที่ 2.7

แม่พิมพ์จะถูกสร้างโดยช่างโลหะที่มีความชำนาญสูง โดยจะมีการออกแบบแผ่นคลี่ของชิ้นงานลงบนแผ่นโลหะ จากนั้นจะใช้เทคนิคการตัด การตัด การม้วน การพับ การยึด การเชื่อม และการรีด ในการขึ้นรูปแม่พิมพ์จากแบบที่ได้ทำไว้

โลหะแผ่นที่นำมาเป็นวัสดุในการทำแม่พิมพ์ทำมาจากเหล็กอ่อน (Mild steel) หรือ สแตนเลส (Stainless steel) โดยจะมีความหนาระหว่าง 0.05 ถึง 0.14 นิ้ว (1.27-3.58 มม.) หรือแผ่นอะลูมิเนียมที่มีความหนาในช่วง 0.08 ถึง 0.25 นิ้ว (1.98-6.35 มม.) ซึ่งความหนาที่เลือกใช้จะพิจารณาระหว่างความแข็งแรงและน้ำหนักของแม่พิมพ์

ข้อดีของแม่พิมพ์แบบนี้คือ สามารถทำแม่พิมพ์ที่มีขนาดใหญ่ กำหนดความหนาและชนิดของวัสดุในตำแหน่งต่างๆของแม่พิมพ์ได้ นอกจากนี้แม่พิมพ์แบบนี้ยังสามารถสร้างได้ง่าย ใช้เวลาน้อย และมีราคาต่ำกว่าแบบอะลูมิเนียมหล่อเนื่องจากไม่ต้องทำต้นแบบ

ข้อจำกัดของแม่พิมพ์แบบนี้คือ ไม่สามารถทำแม่พิมพ์ที่มีความซับซ้อนมากๆ ได้ มีความแม่นยำระหว่างแม่พิมพ์แต่ละอันน้อยกว่าแบบอะลูมิเนียมหล่อ และอาจมีปัญหาบริเวณรอยเชื่อมของแม่พิมพ์ได้

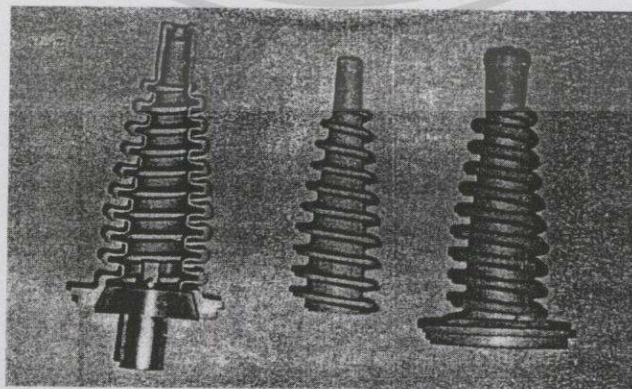


รูปที่ 2.7 แม่พิมพ์ที่ทำจากแผ่นเหล็กเพื่อใช้ในการผลิตถังน้ำขนาดใหญ่ [3]

3. แม่พิมพ์ที่ขึ้นรูปด้วยวิธีทางไฟฟ้า (Electroformed mold)

การขึ้นรูปด้วยไฟฟ้า เป็นเทคนิคในการทำแม่พิมพ์ที่มีความซับซ้อนแต่มีความถูกต้องแม่นยำสูง นิยมใช้กับแม่พิมพ์ที่ต้องการความละเอียดสูงหรือแม่พิมพ์แบบหลายช่องว่างที่ต้องการขนาดเท่ากันทุกช่อง ดังรูปที่ 2.8

ขั้นตอนของการขึ้นรูปวิธีนี้จะมีขั้นตอนการสร้างแม่แบบคล้ายกับเทคนิคการหล่ออะลูมิเนียม จากนั้นนำแม่แบบนั้นต่อกับขั้วไฟฟ้าในถังของสารละลายแล้วให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านทำให้เกิดการเคลือบโลหะรอบๆ แม่แบบเมื่อได้ความหนาตามต้องการแม่พิมพ์ที่ได้จะถูกนำมาตกแต่งและขัดมันผิวภายใน แม่พิมพ์ที่ได้จะมีความหนาตั้งแต่ 0.08-0.25 นิ้ว (2.03-6.35 มม.) ขนาดของแม่พิมพ์จะถูกจำกัดโดยถังชุบซึ่งส่วนใหญ่จะมีความยาวประมาณ 8 ฟุต (2.44 เมตร)

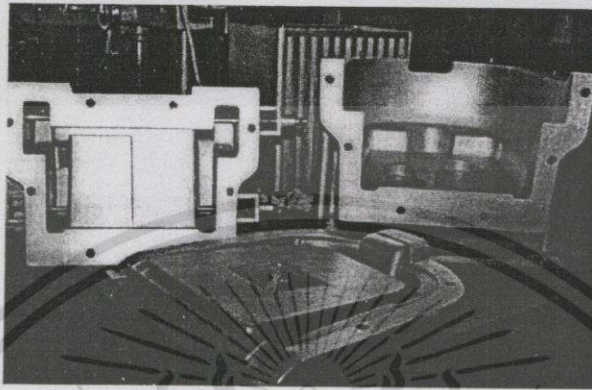


รูปที่ 2.8 แม่แบบและแม่พิมพ์ที่ผลิตจากเทคนิคการขึ้นรูปแบบการชุบ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การขึ้นรูปด้วยเครื่องซีเอ็นซี (CNC machine)

เป็นเทคนิคใหม่ที่ได้รับคามนิยมมากขึ้นเนื่องจากมีความเที่ยงตรงและรวดเร็วในการสร้างแม่พิมพ์โดยแม่พิมพ์จะถูกออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CAD/CAM แล้วป้อนข้อมูลลงในเครื่อง CNC เพื่อขึ้นรูปต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แม่พิมพ์ที่ขึ้นรูปด้วยเครื่อง CNC [3]

2.5 เพลา

เครื่องจักรกลเกือบจะทุกประเภทมีส่วนหนึ่งที่ใช้ถ่ายทอดการหมุน หรือทั้งการหมุนและกำลัง โดยอาศัยชิ้นส่วนสำคัญคือ เพลา [4]

เพลาอาจแบ่งได้ตามชนิดของการรับแรง (Load) ดังนี้

- (1) เพลาถ่ายทอดกำลัง (Transmission shafts) เพลาชนิดนี้ใช้รับเฉพาะการบิดอย่างเดียว หรืออาจจะรับทั้งการบิดและการดัดผสมกัน กำลังจะถูกถ่ายทอดผ่านเพลาโดยอาศัยแผ่นประกับต่อเพลา (Coupling) เฟือง พูลเลย์และสายพาน หรือจานโซ่และโซ่
- (2) เพลาสั้น (Spindle) เพลาชนิดนี้ใช้ในงานที่รับเฉพาะแรงบิดเพียงอย่างเดียว มักมีขนาดค่อนข้างสั้น เช่นเพลาหลัก (Main shaft) ของเครื่องจักรกลต่างๆ ซึ่งเพลาประเภทนี้จะต้องมีรูปร่างและขนาดถูกต้องแม่นยำสูง
- (3) เพลาแกน (Axles) เพลาชนิดนี้ใช้ต่ออยู่ระหว่างล้อของรถยนต์ รถบรรทุก รถพ่วง บางครั้งเรียกว่าแกน โดยปรกติแล้วเพลาแบบนี้ไม่ได้ออกแบบไว้ให้หมุน แต่จะรับแรงดัดเพียงอย่างเดียว

นอกจากจะแบ่งเพลาตามการรับแรงแล้วอาจแบ่งได้ตามรูปร่างได้อีก คือ เพลาตรง เพลาข้อเหวี่ยง และเพลาอ่อน เป็นต้น

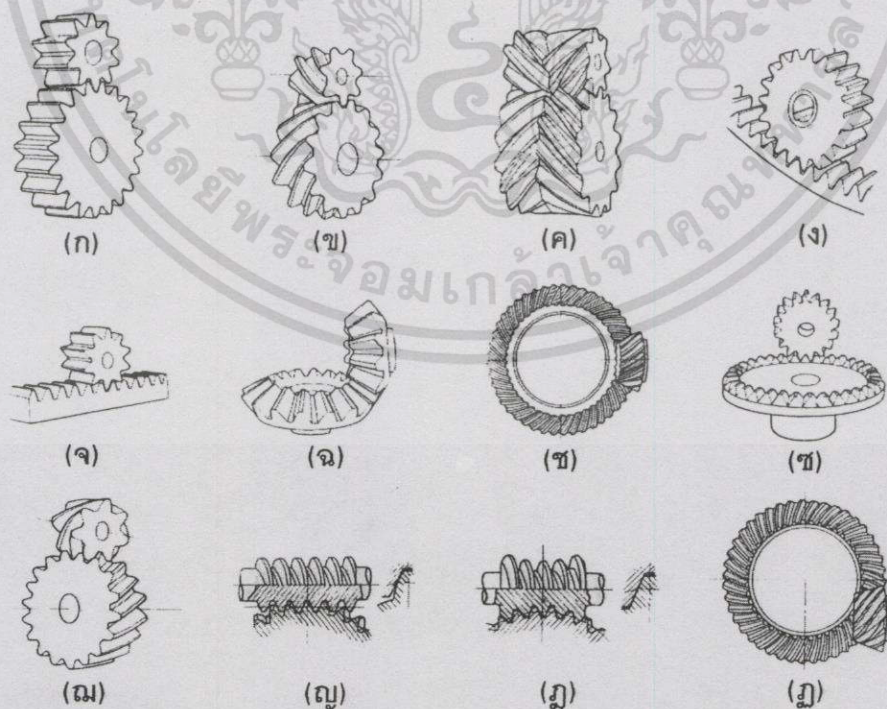
ปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาเลือกใช้เพลลา

- (1) ประเภทของแรงที่กระทำกับเพลลา
- (2) ความเร็วในการทำงาน
- (3) สภาวะการใช้งาน
- (4) วัสดุที่ใช้ในการทำเพลลา

2.6 เฟือง

เมื่อมีล้อสองล้อสัมผัสกันและถูกกดให้ติดกัน สมมุติว่าที่ล้อแต่ละอันมีเพลลายึดอยู่ ถ้าหมุนเพลลาตัวใดตัวหนึ่ง จะพบว่าเพลลาของอีกตัวหนึ่งจะหมุนตามไปด้วย เนื่องจากความผิดของการสัมผัสเชิงเส้น (Line contact) ของล้อทั้งสอง เครื่องมือที่ใช้ถ่ายถอดกำลัง และ/หรือการหมุนระหว่างเพลลาทั้งสองนี้เรียกว่า ล้อความฝืด (Friction wheel) แต่การถ่ายถอดแบบนี้ ใช้ได้แต่การถ่ายถอดกำลังน้อยๆ หรือการหมุนที่ไม่สม่ำเสมอ

เพื่อให้ได้การถ่ายถอดการหมุนที่แม่นยำขึ้น และสามารถถ่ายถอดกำลังสูงๆ ระหว่างเพลลาทั้งสองได้ จึงได้มีการวางฟันไว้บนเส้นรอบวงของล้อทั้งสอง โดยให้ฟันแต่ละซี่ห่างกันด้วยระยะที่เท่าๆ กันแล้วเรียกล้อที่ฟันว่า "เฟือง" ตารางที่ 2.1 แสดงการจำแนกประเภทของเฟืองโดยยึดเอาตำแหน่งของเพลลาทั้งสอง ทิศทางการหมุน และรูปร่างของฟันเป็นหลัก ชนิดและรูปร่างของเฟืองแบบต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.1 และรูปที่ 2.10 [4,5]



รูปที่ 2.10 เฟืองแบบต่างๆ [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

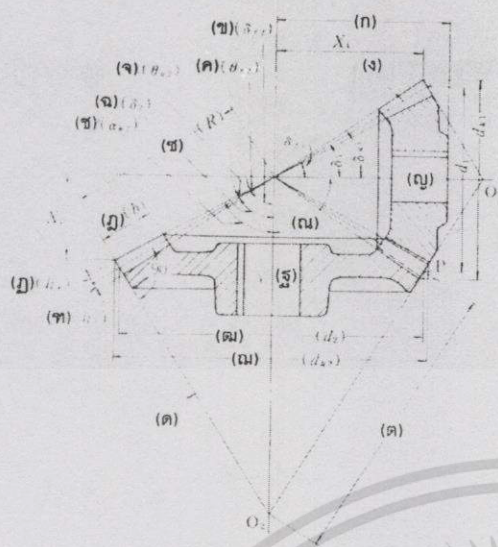
ตารางที่ 2.1 การจำแนกเฟืองแบบต่างๆ [4]

ตำแหน่งของเพลลา	ชนิดเฟือง	หมายเหตุ
เฟืองอยู่บนเพลลาที่ขนานกัน (Parallel shaft gears)	เฟืองตรง (ก)	การจำแนกชนิดเฟืองแบ่งตามรูปร่างของฟัน
	เฟืองเอียง (ข)	
	เฟืองเอียงคู่ (ค)	
	เฟืองฟันนอก	หมุนสวนทางกัน
	เฟืองฟันใน (ง) เฟืองราง (จ)	หมุนทางเดียวกัน หมุนและเคลื่อนที่ในแนวเส้น
เฟืองที่อยู่บนเพลลาที่บรรจบกัน (Intersection shaft gears)	เฟืองดอกจอกตรง (ฉ)	การจำแนกชนิดเฟืองแบ่งตามรูปร่างของฟัน
	เฟืองดอกจอกเกลียว (ช)	
	เฟืองดอกจอกซีโรล (Zero)	
	เฟืองดอกจอกเอียง เฟืองดอกจอกเอียงคู่	
	เฟืองหน้าเพลลาบรรจบ (ซ)	เฟืองที่ใช้กับเพลลาแบบพิเศษ
เฟืองที่มีเพลลาข้ามกัน (Crossed axis gears)	เฟืองเอียงขวาง (ฅ)	สัมผัสเป็นจุดหมุน และเคลื่อนที่ในแนวเส้น
	เฟืองเอียงและรางฟัน	
	เฟืองहनนทรงกระบอก (ฆ)	
	เฟืองहनนล้อมคู่ (ง)	
	เฟืองहनนข้าง	
	เฟืองหน้าเอียง (จ)	
	เฟืองหน้าเพลลาข้ามกัน	

สำหรับในงานวิจัยนี้มีการออกแบบเกี่ยวกับการถ่ายทอดการหมุนผ่านเพลลาที่ตั้งฉากซึ่งกันและกันจึงใช้เฟืองแบบดอกจอก (Bevel gears)

เฟืองดอกจอกใช้สำหรับส่งกำลังผ่านเพลลาที่ทำมุมใดๆ ต่อกัน เฟืองดอกจอกอาจเรียกว่าเฟืองกรวยตัด (Conical gear) ทั้งนี้เนื่องจากผลิตจากแบบรูปกรวย เฟืองดอกจอกต้องผลิตมาเป็นคู่เพื่อใช้เฉพาะงาน ไม่สามารถสลับการใช้งานกับเฟืองอันอื่นๆ ได้ ส่วนต่างๆ ของเฟืองดอกจอกและการเรียกชื่อแสดงในรูปที่ 2.11

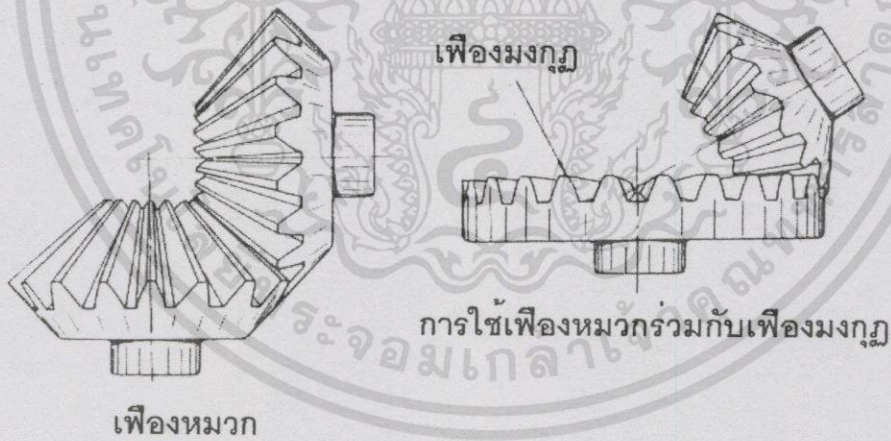
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- (ก) ระยะของด้านหลัง
- (ข) มุมติเตนคัมของกรวย
- (ค) มุมติเตนคัม
- (ง) กรวยพิทซ์ (pitch cone)
- (จ) มุมแอดเตนคัม
- (ฉ) มุมกรวยพิทซ์
- (ช) มุมกรวยแอดเตนคัม
- (ญ) ระยะกรวย
- (ณ) มุมของเพลลา
- (ฎ) เพลลา
- (ฏ) ความกว้างหน้าฟัน
- (ฏ) แอดเตนคัม
- (ฐ) เพลลา
- (ฑ) ติเตนคัม
- (ฒ) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมพิทซ์
- (ณ) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมแอดเตนคัม
- (ด) กรวยหลัง
- (ต) ระยะของกรวยหลัง

รูปที่ 2.11 ส่วนต่างๆ ของเฟืองดอกจอก [4]

เฟืองดอกจอกที่มีมุมกรวยพิทซ์เท่ากับ 45° และ 90° เป็นระบบที่มีความนิยมมากโดยจะเรียกเฟืองดอกจอกที่มีมุมกรวยพิทซ์เท่ากับ 45° ว่า "เฟืองหมวก" ส่วนเฟืองดอกจอกที่มีมุมกรวยพิทซ์เท่ากับ 90° เรียกว่า "เฟืองมงกุฎ" ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 เฟืองหมวกและเฟืองมงกุฎ [4]

อัตราทดของเฟืองดอกจอก (i) สามารถคำนวณจากอัตราส่วนระหว่างจำนวนฟัน (z) ของเฟืองทั้งสองดังสมการ $i = z_2 / z_1$

2.7 ร่องลื่น (Bearing)

ร่องลื่น คือชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลใช้รองรับเพลาค้ำกำลังรับแรง เพื่อว่าการหมุนหรือการเลื่อนไถลกลับไปกลับมาของเพลาค้ำจะได้เป็นไปอย่างนุ่มนวล ปลอดภัย และมีอายุการใช้งานนาน นอกจากนี้ยังต้องแข็งแรงพอจะประกันการทำงานของเพลาค้ำ และของเครื่องจักรกลได้ มิฉะนั้นแล้ว การทำงานของชิ้นส่วนทั้งหมดอาจจะเหลวลง หรือผิดพลาดไปหมดสิ้น ด้วยเหตุนี้ ร่องลื่นจึงทำหน้าที่ที่เสมือนรากฐานของอาคาร [4]

2.7.1 การจำแนกประเภทของร่องลื่น

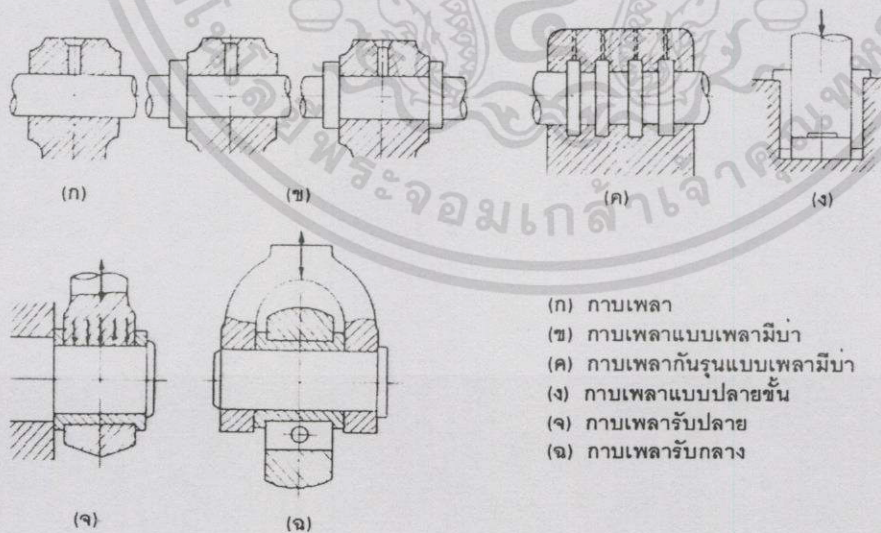
ร่องลื่นแยกได้ออกเป็นประเภทต่าง ๆ ดังนี้

(1) กาบเพลาค้ำ (Plain bearing)

แบบนี้เพลาค้ำจะกดอยู่บนผิวของร่องลื่นโดยตรง โดยที่ระหว่างผิวร่องลื่นและผิวเพลาค้ำมีชั้นของน้ำมันหล่อลื่นบาง ๆ คั่นอยู่ เมื่อเกิดการเคลื่อนที่ขึ้น จะมีความฝืดเลื่อนไถลระหว่างผิวหน้าทั้งสอง ร่องลื่นกาบเพลาค้ำแบบต่างๆ แสดงในรูปที่ 2.13

(2) ตลับลูกปืน (Rolling bearing)

แบบนี้ระหว่างผิวทั้งสองจะมีลูกปืนคั่นอยู่ ลูกปืนอาจจะเป็นลูกกลม หรือลูกสี่เหลี่ยม (มีหน้าตัดเท่ากันตลอด หรือไม่เท่ากันก็ได้) เมื่อเกิดการเคลื่อนที่ขึ้น จะเกิดความฝืดคลั่งขึ้นระหว่างผิวทั้งสองกับลูกปืน ร่องลื่นแบบลูกปืนมีรูปแบบที่หลากหลายตามลักษณะการใช้งานที่ต่างกัน ดังรูปที่ 2.14 ส่วนการเปรียบเทียบระหว่างร่องลื่นแบบกาบเพลาค้ำกับแบบลูกปืนแสดงในตารางที่ 2.2



(ก) กาบเพลาค้ำ
(ข) กาบเพลาค้ำแบบเพลามีน้ำมัน
(ค) กาบเพลาค้ำแบบเพลามีน้ำมัน
(ง) กาบเพลาค้ำแบบปลายชั้น
(จ) กาบเพลาค้ำรับปลาย
(ฉ) กาบเพลาค้ำรับกลาง

รูปที่ 2.13 ร่องลื่นกาบเพลาค้ำแบบต่างๆ [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบระหว่างร่องลื่นแบบกาบเพลากับแบบลูกปืน [4]

กาบเพล่า	ดัลับลูกปืน
<p><u>ข้อดี</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. รับแรงได้มาก 2. ทำงานได้ในช่วงความเร็วกว้าง 3. เสียงเงียบ 4. โครงสร้างง่าย ถอดประกอบง่าย 5. ราคาถูก 	<p><u>ข้อดี</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. รับแรงได้จำกัด 2. ทำงานที่ความเร็วต่ำได้ดี 3. ใช้แรงบิดขณะเริ่มหมุนต่ำ 4. มีการหล่อลื่นในตัว
<p><u>ข้อเสีย</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ต้องใช้แรงบิดมากขณะเริ่มหมุน 	<p><u>ข้อเสีย</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ราคาแพง 2. มีเสียงดังขณะทำงานที่ความเร็วสูง

2.7.2 วัสดุที่ใช้ทำร่องลื่นแบบกาบเพล่า

วัสดุที่ใช้ทำร่องลื่นควรจะมีลักษณะและสมบัติตามนี้

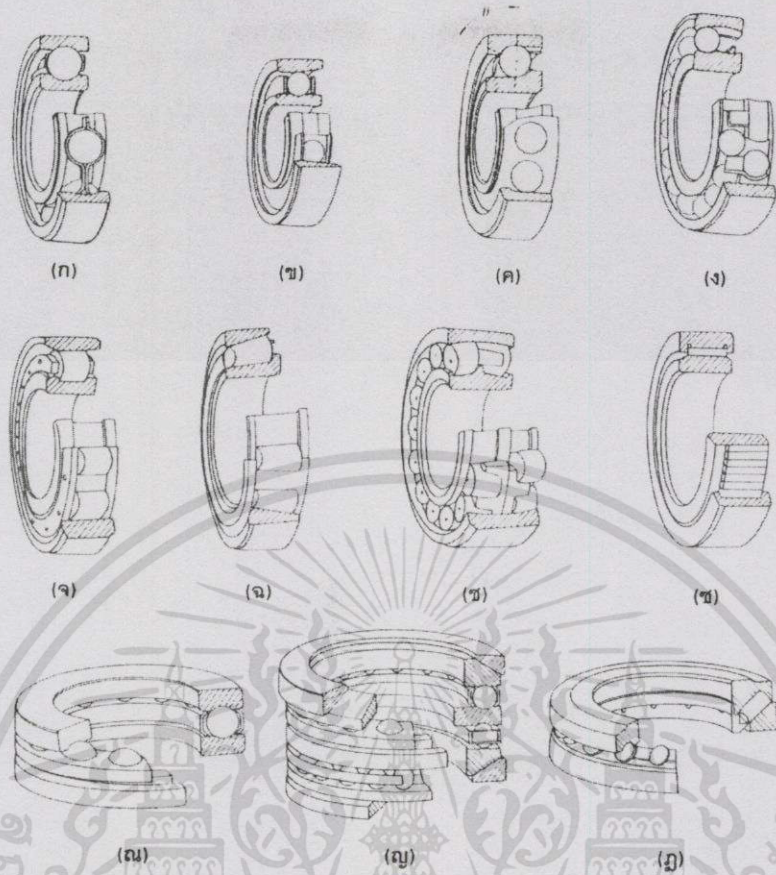
- 1) จะต้องมีความแข็งแรงพอ (ความต้านทานต่อการรับน้ำหนักและการล้าตัว)
- 2) จะต้องมีสมบัติปรับตัวให้เข้ากับการโค้งงอของเพล่า
- 3) มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนสูง
- 4) จะต้องมีสมบัติต้านการเกาะติดกับเพล่า
- 5) ทนทานต่อการสึกหรอได้พอสมควร
- 6) สามารถปล่อยฝุ่นผงให้จมลงไปเนื้อร่องลื่น
- 7) ไม่เปลี่ยนสมบัติไปตามอุณหภูมิ
- 8) ราคาถูก

แต่ในทางปฏิบัติ วัสดุใด ๆ ที่มีคุณสมบัติครบถ้วนจริง ๆ ค่อนข้างจะหาได้ยาก วัสดุสำหรับทำร่องลื่นแบบกาบเพล่าที่ใช้ในงานทั่ว ๆ ไป มีดังนี้

- 1) ทองแดงผสม รวมทั้งพวกสัมฤทธิ์ ฟอสฟอรัสสัมฤทธิ์ ตะกั่วสัมฤทธิ์ พวกนี้มักมีความแข็งแรง ทนต่อการกัดกร่อน ด้านทานต่อการล้าตัว และมีสมบัติที่เป็นตัวนำดีเยี่ยม ความแข็งแรงของทองแดงผสมทำให้มีสมบัติทำร่องลื่นของเครื่องมือกลได้อย่างดีเยี่ยม และถ้ามีตะกั่วผสมอยู่มากจะทำให้สมบัติในการต้านการเกาะติดกับเพล่าดีขึ้น
- 2) โลหะขาว รวมทั้งโลหะขาวที่มีดีบุกเป็นเนื้อหลัก (โดยทั่วไปเรียกรวมกันว่า โลหะแบบบิท (Babbit metal) และโลหะขาวที่มีตะกั่วเป็นหลักใช้เคลือบลงบนผิวของโครงโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- | | |
|--|--|
| (ก) ตลับลูกปืนแบบลูกปืนกลมรองล็อกแถวเดียว | (ข) ตลับลูกปืนแบบลูกปืนทรงกระบอกกลม |
| (ข) ตลับลูกปืนแบบลูกปืนกลมแมกนีโต | (ค) ตลับลูกปืนแบบลูกปืนเข็ม |
| (ค) ตลับลูกปืนแบบลูกปืนกลมแถวเดียวสัมผัส | (ณ) ตลับลูกปืนแบบลูกปืนกลมกันรุนแถวเดียว |
| (ง) ตลับลูกปืนแบบลูกปืนกลมปรับตัวได้แถวคู่ | (ญ) ตลับลูกปืนแบบลูกปืนกลมกันรุนสัมผัสแถวคู่ |
| (จ) ตลับลูกปืนแบบลูกปืนทรงกระบอกแถวเดียว | (ฎ) ตลับลูกปืนแบบลูกปืนทรงกระบอกกลมกันรุน |
| (ฉ) ตลับลูกปืนแบบลูกปืนรูปกรวยแถวเดียว | แถวเดียว |

รูปที่ 2.14 รong ลื่นตลับลูกปืนแบบต่างๆ [4]

วัสดุที่ใช้ทำรong ลื่นดังกล่าวข้างต้น ได้รับการพัฒนาให้มีคุณสมบัติดีขึ้นโดยการผสมสารบางอย่างเข้าไป เช่น ดีบุก ทองแดง ถึงแม้ว่าสารเหล่านี้จะไม่ทำให้ความแข็งแรง และความต้านทานการล้าตัว หรือความต้านทานต่ออุณหภูมิสูง ลดลงก็ตาม แต่ก็ทำให้ความต้านทานต่อการกัดกร่อนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเพิ่มตะกั่วเข้าไป จะทำให้คุณสมบัติการปรับตัวให้เข้ากับการโก่งของเพลาดีขึ้น นอกจากนี้รong ลื่นอาจทำจากวัสดุอื่น เช่น ไม้ ยาง กราไฟท์ หรือ อัญมณี โดยใช้ในเครื่องมือพิเศษ หรืออุปกรณ์เฉพาะทาง

2.8 มอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ใช้แปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลที่ใช้กันแพร่หลายที่สุดในอุตสาหกรรมทั่ว ๆ ไป ทั้งนี้เป็นเพราะพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานที่มีความสะดวกในการแปรรูปเป็นรูปอื่นโดยอาศัยมอเตอร์ และมีราคาของพลังงานถูกเมื่อเทียบกับพลังงานที่ได้จากแหล่งอื่น

มอเตอร์ไฟฟ้าประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ ส่วนโครงที่อยู่กับที่ หรือสเตเตอร์ (Stator) และส่วนที่เป็นแกนหมุน หรือโรเตอร์ (Rotor) การหมุนของมอเตอร์เกิดจากแรงกระทำระหว่างสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์ และโรเตอร์ ภายใต้กฎของแม่เหล็กกล่าวคือ ขั้วเหมือนกันจะผลักรัน ส่วนขั้วตรงข้ามกันจะดึงดูดกัน ดังนั้นหลักสำคัญของมอเตอร์ไฟฟ้าคือการสร้างสนามแม่เหล็กให้สัมพันธ์กับการหมุนของโรเตอร์นั่นเอง

มอเตอร์ไฟฟ้ามีหลายชนิดโดยสามารถแบ่งตามลักษณะของระบบไฟ โดยมีหลักในการหมุนและโครงสร้างดังตารางที่ 2.3

ในงานวิจัยนี้ใช้มอเตอร์กระแสตรง (DC motor) เนื่องจากสามารถควบคุมความเร็วรอบได้ง่ายโดยการปรับความต่างศักย์ (Voltage) ที่ให้กับมอเตอร์

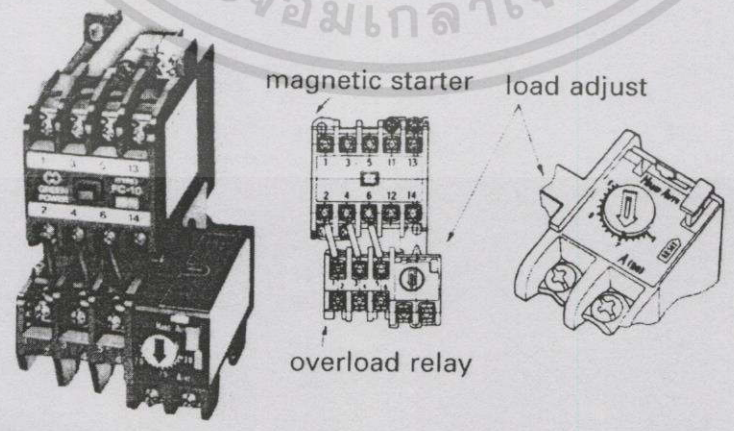
อุปกรณ์ที่ใช้ป้องกันความเสียหายของมอเตอร์

(1) สวิตช์แม่เหล็ก (Magnetic motor starter)

ใช้สำหรับมอเตอร์ที่มีการเปิดปิดบ่อยครั้ง โดยจะต่อกับสวิตช์ปุ่มกด (Push button switch) อุปกรณ์นี้สามารถต่อวงจรขณะมีกระแสเกินพิกัดในระบบ เช่นกระแสเริ่มเดินเครื่องของมอเตอร์ได้ แต่ไม่สามารถตัดวงจรขณะมีกระแสผิดปกติในกรณีที่มอเตอร์ลัดวงจรได้

(2) รีเลย์โหลดเกิน (Overload relay)

ใช้สำหรับป้องกันกระแสเกินกำลังในขดลวดของมอเตอร์ โดยจะมีวัสดุที่ไวต่อความร้อนที่เพิ่มขึ้นเมื่อเกิดกระแสเกินโดยจะทำหน้าที่ตัดวงจร รีเลย์ชนิดนี้จะต่อกับตัวเริ่มการทำงานของมอเตอร์แบบแม่เหล็ก ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การใช้ตัวเริ่มการทำงานแบบแม่เหล็กร่วมกับรีเลย์โหลดเกิน [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 มอเตอร์ไฟฟ้าแบบต่างๆ [6]

ชนิดมอเตอร์	มอเตอร์กระแสลับ	มอเตอร์เหนี่ยวนำ	เฟสเดียว	- ชนิดแยกเฟสสตาร์ท - ชนิดคาปาซิเตอร์สตาร์ท - ชนิดต่อคาปาซิเตอร์ถาวร - ชนิดเฉดโพล	
			สามเฟส	- ชนิดโรเตอร์กรงกระรอกธรรมดา - ชนิดโรเตอร์กรงกระรอกพิเศษ - ชนิดโรเตอร์พันขดลวด - ชนิดเปลี่ยนขั้วได้ - ชนิดทดเกียร์ - ชนิดเบรค - ชนิดคลัทช์	
		มอเตอร์แบบซินโครนัส	มอเตอร์แบบมีคอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่าน		ชนิดสนามแม่เหล็กหมุน
					ชนิดอเมเจอร์หมุน
					ชนิดวงจรขั้วแม่เหล็กอนุกรม
					ชนิดวงจรขั้วแม่เหล็กขนาน
		มอเตอร์กระแสตรง			ชนิดวงจรขั้วแม่เหล็กขนาน
					ชนิดวงจรขั้วแม่เหล็กอนุกรม
					ชนิดวงจรขั้วแม่เหล็กผสม

2.9 อุปกรณ์ทางไฟฟ้า

เนื่องจากระบบขับเคลื่อนและระบบทำความร้อนของเครื่องอัดแบบชนิดหมุนใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานดังนั้นจึงต้องมีอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมและป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นแก่อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ เหล่านั้น เพื่อความปลอดภัยของอุปกรณ์ และผู้ปฏิบัติงาน โดยอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมและป้องกันอุปกรณ์เหล่านั้นมีดังนี้ [7]

2.9.1 เบรกเกอร์ (circuit breaker)

เบรกเกอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปิดปิดวงจรหลักและช่วยป้องกันความเสียหายกรณีที่เกิดไฟฟ้าลัดวงจรในอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกภายในวงจรหลัก โดยเบรกเกอร์จะแบ่งได้ 4 แบบดังนี้

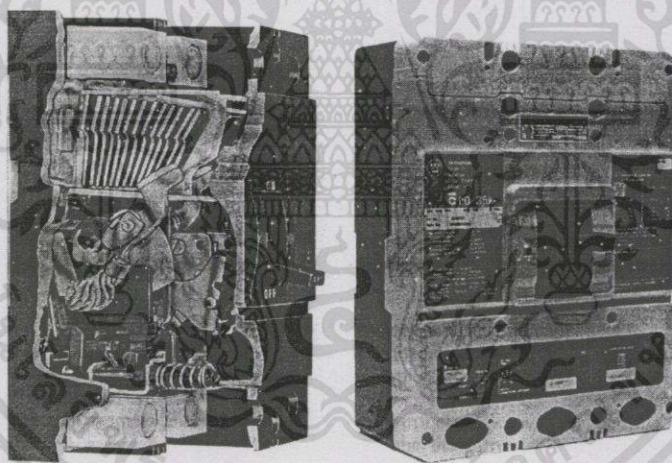
- แบบไม่อัตโนมัติ (Nonautomatic breaker)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แบบความร้อน (Thermal breaker)
- แบบแม่เหล็ก (Magnetic breaker)
- แบบอุณหภูมิและแม่เหล็ก (Thermal magnetic breaker)

เบรกเกอร์แบบไม่อัตโนมัติ ใช้เป็นสวิตช์เปิดปิดวงจรหลักเท่านั้นไม่สามารถป้องกันความเสียหายได้ จึงได้มีการเพิ่มตัวตัดวงจรโดยความร้อนเข้าไป เรียกว่า “เบรกเกอร์แบบความร้อน” เบรกเกอร์ชนิดนี้จะมีตัวตัดกระแสไฟฟ้าที่ทำจากโลหะสองชนิด ซึ่งจะต่อกับขั้วแต่ละด้านของเบรกเกอร์ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าเกินปกติจะเกิดความร้อนขึ้น ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้ตัวตัดกระแสไฟฟ้าทำงาน อย่างไรก็ตามเบรกเกอร์ชนิดนี้ไม่สามารถป้องกันการเกิดความเสียหายในกรณีที่เกิดไฟฟาลัดวงจรได้เนื่องจากทำงานช้า ดังนั้นจึงมีการเพิ่มตัวตัดกระแสไฟฟ้าแบบแม่เหล็ก ซึ่งจะทำงานทันทีที่เกิดกระแสไฟฟาลัดวงจร

เบรกเกอร์ที่ใช้ในปัจจุบันทั้งหมดจะเป็นแบบที่มีทั้งตัวตัดกระแสไฟแบบความร้อนและแบบแม่เหล็กดังรูปที่ 2.16 ซึ่งจะป้องกันทั้งไฟฟ้าเกินและไฟฟาลัดวงจร ขนาดของเบรกเกอร์จะแบ่งตามกระแสสูงสุดที่ยอมให้ผ่านโดยไม่ตัดวงจร



รูปที่ 2.16 เบรกเกอร์แบบที่สามารถป้องกันกระแสไฟฟ้าเกินและไฟฟาลัดวงจรได้ [7]

ปัจจัยในการเลือกเบรกเกอร์

- ขนาดเบรกเกอร์ (ตามขนาดกระแส มีหน่วยเป็นแอมแปร์, A)
- อุณหภูมิห้องขณะใช้งาน
- จำนวนเฟสของกระแสไฟฟ้า
- แรงดันไฟฟ้า (Voltage rating)
- การติดตั้ง

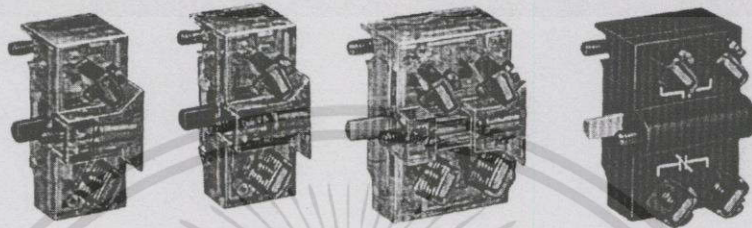
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2 สวิตช์ (Switch)

สวิตช์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปิดปิดวงจรไฟฟ้า สามารถแบ่งเป็นประเภทต่างๆได้ดังนี้

1. สวิตช์แบบกด (Push-button switch)

สวิตช์แบบกดประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ หน้าสัมผัส และตัวควบคุม หน้าสัมผัสของสวิตช์จะมีสองสถานะคือสถานะเปิดและสถานะปิด หน้าสัมผัสของสวิตช์แสดงในรูปที่ 2.17



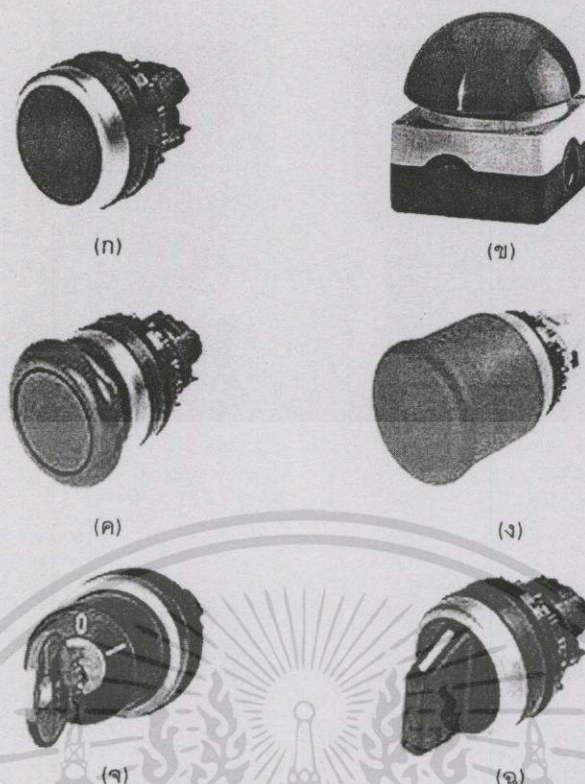
รูปที่ 2.17 หน้าสัมผัสแบบต่างๆ [7]

ในส่วนของตัวควบคุมหน้าสัมผัสนั้นมีหลายชนิดซึ่งจะเหมาะกับการใช้งานต่างกัน ดังนี้

- ตัวควบคุมแบบลึก (recesses button) : ตัวควบคุมแบบนี้จะอยู่ลึกเข้าไปจากขอบช่วยป้องกันการสัมผัสสวิตช์โดยไม่เจตนา ดังรูปที่ 2.18 (ก)
- ตัวควบคุมรูปดอกเห็ด (mushroom head) : ตัวควบคุมแบบนี้จะมีขนาดใหญ่เหมาะกับสวิตช์สำหรับหยุดเครื่องในกรณีฉุกเฉิน ดังรูปที่ 2.18 (ข)
- ตัวควบคุมแบบหน่วงเวลา (time delay) : ตัวควบคุมแบบนี้จะเหมาะสำหรับสวิตช์สำหรับเปิดเครื่อง ดังรูปที่ 2.18 (ค)
- ตัวควบคุมแบบกดและดึง (illuminated push-pull) : ตัวควบคุมแบบนี้จะสามารถเปิดและปิดวงจรในสวิตช์เดียวกัน แสดงดังรูปที่ 2.18 (ง)
- แบบมีลิ๊อค (keylock) : ตัวควบคุมแบบนี้จะเหมาะสำหรับสวิตช์ควบคุมวงจรหลัก แสดงดังรูปที่ 2.18 (จ)

2. สวิตช์แบบเลือก (selector switch)

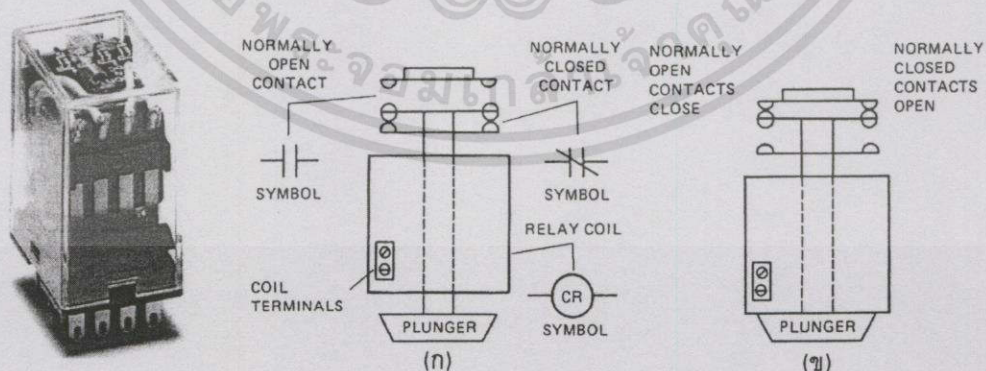
สวิตช์แบบนี้จะมีหน้าสัมผัสหลายชุดซึ่งสามารถเลือกจับคู่หน้าสัมผัสโดยใช้ตัวควบคุมตำแหน่งของหน้าสัมผัส ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.18 ฉ [7]



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างของตัวควบคุมสวิตช์แบบกด [8]

2.9.3 รีเลย์ (Relay)

รีเลย์เป็นอุปกรณ์สำหรับหน่วยงานการทำงานของวงจรให้ต่อเนื่องโดยจะรับสัญญาณกระตุ้นจากลวิตซ์หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าและจะตัดวงจรเมื่อมีสัญญาณยกเล็ก การทำงานของรีเลย์แสดงดังรูปที่ 2.19 ก (รีเลย์ในสถานะเริ่มต้นซึ่งหน้าสัมผัสด้านบนจะเปิด) และรูปที่ 2.19 ข (ตำแหน่งของหน้าสัมผัสที่เปลี่ยนแปลงเมื่อรีเลย์ได้รับสัญญาณจากภายนอก และเมื่อได้รับสัญญาณยกเล็กหน้าสัมผัสก็จะกลับสู่ตำแหน่งเดิม)

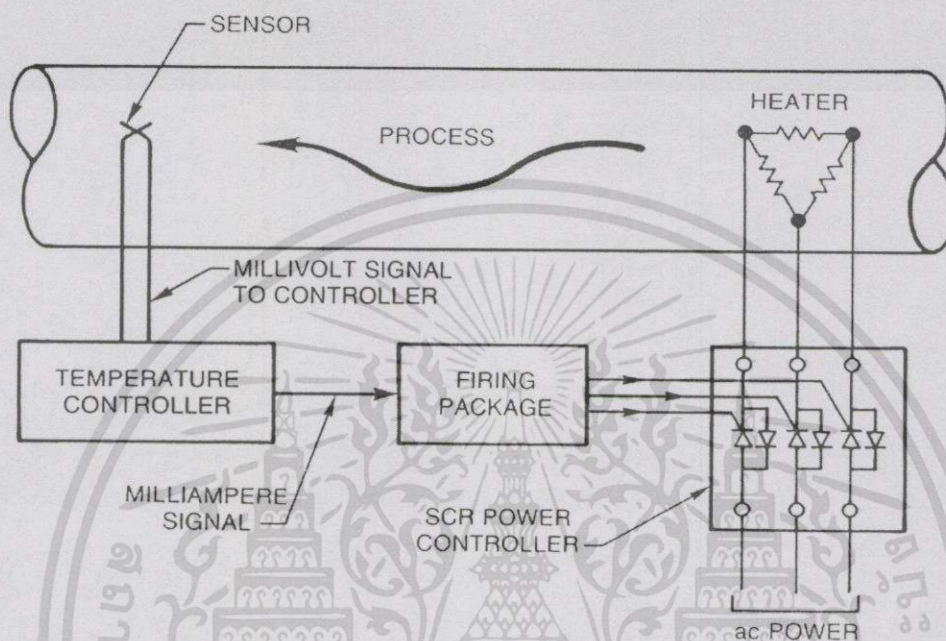


รูปที่ 2.19 การทำงานของรีเลย์ [7,8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.4 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller)

อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ ตัวตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และสวิตช์ควบคุม ซึ่งใช้ในการควบคุมตัวทำความร้อนเพื่อให้ได้อุณหภูมิตามต้องการ วงจรการควบคุมโดยทั่วไปแสดงในรูปที่ 2.20

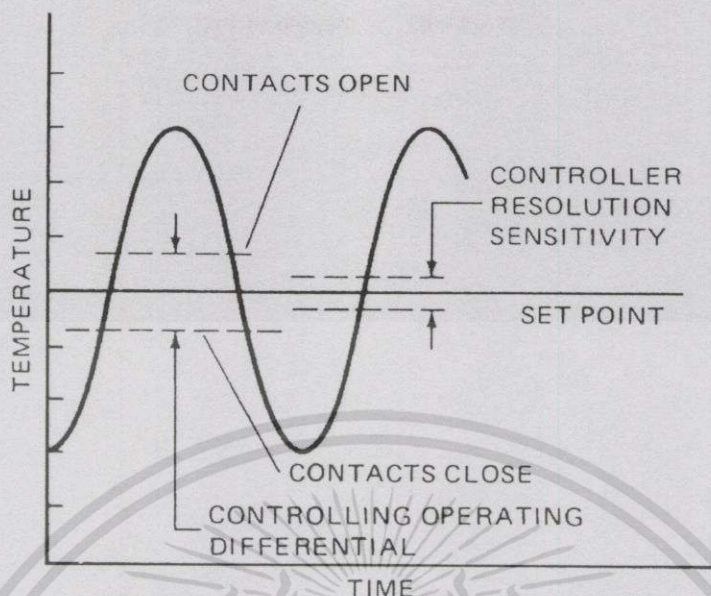


รูปที่ 2.20 ตัวอย่างวงจรควบคุมอุณหภูมิ [7]

ปัจจัยในการเลือกตัวควบคุมอุณหภูมิมี่ดังนี้

1. ช่วงอุณหภูมิที่ต้องการ
2. ชนิดของตัวตรวจจับอุณหภูมิ ซึ่งแบ่งได้ 3 แบบ คือ 1) แบบอิเล็กทรอนิกส์ 2) แบบการขยายตัวของโลหะ 3) แบบการขยายตัวของของไหล
3. เวลาในการตอบสนอง (Response time) โดยจะขึ้นกับชนิดของตัวตรวจจับ และการแปลงสัญญาณจากตัวตรวจจับเป็นสัญญาณควบคุม
4. ความไวของการตรวจจับ (Sensitivity) คือช่วงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ตัวควบคุมสามารถอ่านค่าได้ ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดในการควบคุมความละเอียดของอุณหภูมิที่ต้องการควบคุม
5. ช่วงอุณหภูมิที่ทำให้ตัวควบคุมทำงาน (Operating differential)

โดยตัวแปรต่างๆ และการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมแสดงในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา [7]

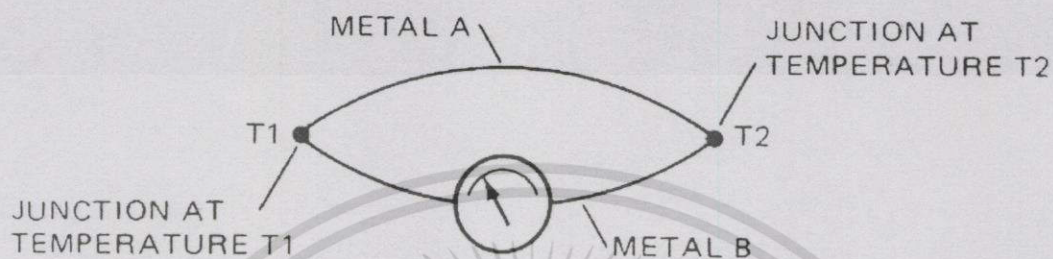
อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิที่นิยมในปัจจุบันมี 2 แบบคือ

1. ไพโรมิเตอร์ (Pyrometer)

ไพโรมิเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีราคาสูง เนื่องจากมีความไวสูง และมีการตอบสนองที่รวดเร็ว ตัวตรวจจับมีขนาดเล็กและติดตั้งง่าย มีความแม่นยำในช่วง ± 0.25 ถึง ± 1.25 เปอร์เซ็นต์ ของช่วงที่อ่านค่าได้ ตัวตรวจจับที่ใช้กับไพโรมิเตอร์มี 3 แบบคือ

- (1) เทอร์โมคัพเปิล (Thermocouple) อาศัยการเชื่อมต่อของโลหะที่แตกต่างกัน 2 ชนิด ดังรูปที่ 2.22 เมื่ออุณหภูมิที่ T_1 ต่างจาก T_2 จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (electromotive force, emf) ซึ่งสามารถวัดออกมาเป็นค่ากระแส เทอร์โมคัพเปิลจะใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิในช่วง 200 ถึง 5000°F (93.3 ถึง 2760 °C) ดังแสดงในรูปที่ 2.22 และรูปที่ 2.23 [7]
- (2) เทอร์มิสเตอร์ (Thermister) ทำจากวัสดุซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงความต้านทานเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ซึ่งมีผลให้กระแสที่ไหลผ่านเกิดการเปลี่ยนแปลง เทอร์มิสเตอร์จะใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิในช่วง 200 ถึง 5000°F (93.3 ถึง 2760 °C) ดังแสดงในรูปที่ 2.23 [7]
- (3) ตัววัดแบบต้านทานอุณหภูมิ (Resistance temperature detector, RTD) ประกอบด้วยหลอดที่ทำจากสแตนเลส หรือทองเหลือง ซึ่งมีขดลวดที่ทำจาก นิกเกิล แพลตตินัม หรือทองแดง เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะทำให้แรงดันไฟฟ้าในขดลวดเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความต้านทานของขดลวดเพิ่มขึ้น แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จะถูกนำไป

เปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงแล้วแปลงเป็นค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ตัววัดแบบต้านทานอุณหภูมิจะใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิในช่วง 200 °F ถึง 5000°F (93.3 ถึง 2760 °C) ดังแสดงในรูปที่ 2.23 [7]



รูปที่ 2.22 วงจรของเทอร์โมคัพเบิล [7]

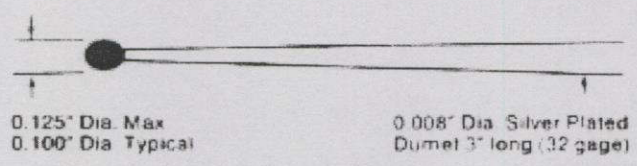


เทอร์โมคัพเบิลแบบคูล์

เทอร์โมคัพเบิลแบบเดี่ยวน

เทอร์โมคัพเบิลแบบปรับความยาวได้

ตัววัดแบบต้านทานอุณหภูมิ



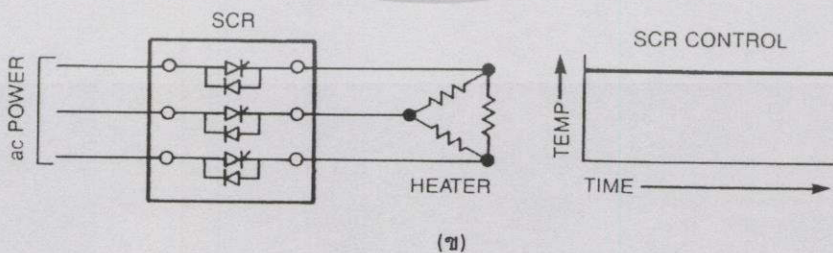
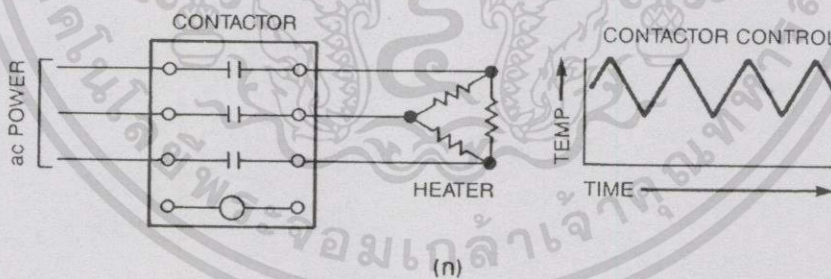
เทอร์มิสเตอร์

รูปที่ 2.23 ตัวตรวจจับแบบต่างๆ [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไพโรมิเตอร์แบ่งได้ดังนี้

1. มิลลิโวลต์มิเตอร์คอนโทรลเลอร์ (Millivoltmeter controller) เป็นตัวควบคุมที่มีการใช้งานมานาน โดยมีหลักการทำงานคือ เมื่อรับสัญญาณจากเทอร์โมคัพเปิล เข็มของมิลลิโวลต์มิเตอร์ซึ่งมีตัวกั้นแสงติดที่ปลายจะเคลื่อนมาบังแหล่งแสงที่ส่องไปยังตัวรับสัญญาณแสงที่ควบคุมอุปกรณ์ปิดเปิดตัวให้ความร้อน ตัวควบคุมชนิดนี้มีข้อเสียคือ จะเกิดความผิดพลาดขึ้นหากใช้ในสภาวะที่มีความสั่นสะเทือนและต้องมีการเทียบมาตรฐานของเทอร์โมคัพเปิล
2. โปเทนชิโอเมตริกคอนโทรลเลอร์ (Potentiometric controller) ใช้การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมคัพเปิลเทียบกับอุณหภูมิที่ตั้งไว้ ทำให้ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ จึงไม่ได้รับผลจากแรงสั่นสะเทือน และไม่ต้องเทียบมาตรฐาน แต่การบำรุงรักษายากเนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่มีวงจรซับซ้อน
3. พรอพอร์ชันนอลคอนโทรลเลอร์ (Proportional controller) เนื่องจากไพโรมิเตอร์สองแบบแรกต้องใช้คอนแทกเตอร์ (Contactor) ในการปิดเปิดตัวทำความร้อนซึ่งความร้อนที่ได้จะไม่คงที่ ดังรูปที่ 2.24 ก จึงมีการพัฒนาการควบคุมให้อุณหภูมิคงที่โดยจะป้อนกระแสไฟฟ้กับตัวทำความร้อนตลอดเวลาแต่จะควบคุมพลังงานให้เพียงพอแก่การทำความร้อนให้อุณหภูมิตามที่ต้องการเท่านั้นซึ่งจะใช้ร่วมกับตัวสลับสัญญาณซิลิกอน (Silicon-controlled rectifier, SCR) ดังรูป 2.24 ข



รูปที่ 2.24 การควบคุมโดยใช้คอนแทกเตอร์เทียบกับตัวสลับสัญญาณซิลิกอน [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สวิตช์อุณหภูมิ (Thermostat)

สวิตช์ควบคุมอุณหภูมิใช้หลักการของความแตกต่างในการขยายตัวของโลหะสองชนิดซึ่งแบ่งการเชื่อมต่อได้สองแบบคือ การเชื่อมต่อแบบเชิงกล (Mechanical link) และการเชื่อมต่อแบบหลอมรวมกันหรือแบบโลหะผสม (Fused bimetal) แบบเชื่อมต่อเชิงกลจะใช้ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 100 -1500 °F (38 - 815 °C) ส่วนแบบโลหะผสมจะใช้ในช่วงอุณหภูมิ 40 - 800 °F (5 - 426 °C) แบบเชื่อมต่อเชิงกลจะใช้โลหะขึ้นเดียวต่อโดยตรงกับวัตถุที่ต้องการวัดอุณหภูมิ โลหะจะเกิดการขยายหรือหดตัวตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งแรงเชิงกลที่เกิดขึ้นจะทำให้สวิตช์ควบคุมทำงาน แบบโลหะผสม ใช้หลักการขยายตัวของโลหะที่ไม่เท่ากันเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของโลหะผสมทำให้เกิดแรงเชิงกลไปกระตุ้นการทำงานของสวิตช์ควบคุม

นอกจากอาศัยหลักของการขยายตัวของโลหะแล้ว สวิตช์ความร้อนยังมีแบบที่ใช้การขยายตัวของของเหลว ไอน้ำ และก๊าซ ในการกระตุ้นการทำงานของสวิตช์อีกด้วย

2.10 ระบบให้ความร้อน

ระบบให้ความร้อนแบ่งออกเป็น 3 แบบคือ [1]

1. การพาความร้อนแบบความเร็วสูง โดยอาศัยเตาอบไฟฟ้าทำให้เกิดความร้อน
2. การสเปร์ยด้วยเกลือที่มีความร้อนสะสมอยู่
3. แม่พิมพ์ชนิดมีปลอกหุ้ม

สำหรับในงานวิจัยนี้จะใช้การพาความร้อนโดยใช้เตาอบไฟฟ้าเนื่องจากควบคุมอุณหภูมิได้ในช่วงกว้าง สะอาด ง่ายต่อการบำรุงรักษา ค่าใช้จ่ายต่ำและมีประสิทธิภาพดี

2.11 ข้อได้เปรียบและข้อจำกัดของกระบวนการ

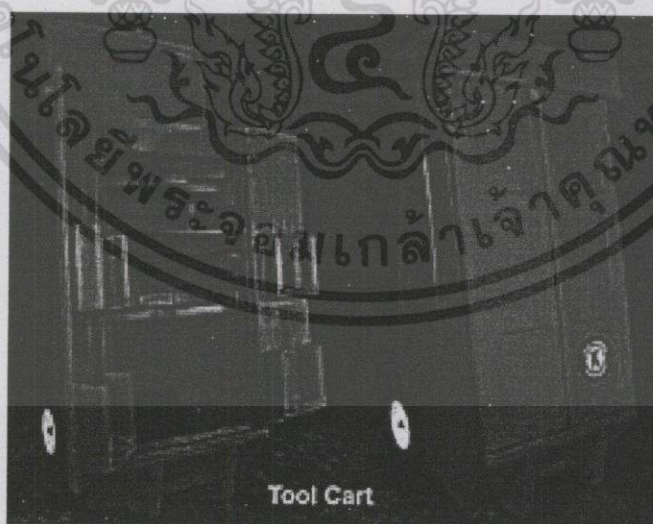
2.11.1 ข้อได้เปรียบ

ข้อได้เปรียบของกระบวนการอัดแบบหมุนมีดังนี้

- (1) สามารถขึ้นรูปชิ้นงานเดี่ยว ขนาดใหญ่ ไม่มีรอยต่อ มีลักษณะกลวง และรูปร่างที่ซับซ้อนได้ ซึ่งชิ้นงานบางประเภทไม่สามารถขึ้นรูปด้วยกระบวนการอื่นได้ ดังรูปที่ 2.25
- (2) เป็นกระบวนการที่ใช้ความดันต่ำ ทำให้สามารถใช้วัสดุที่ไม่ต้องการความแข็งแรงมาก (Light-duty material) ในการสร้างแม่พิมพ์และเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการ ซึ่งเป็นผลให้ต้นทุนในการสร้างแม่พิมพ์และเครื่องมือต่ำกว่ากระบวนการอื่นๆ และจากข้อได้เปรียบนี้ทำให้กระบวนการอัดแบบชนิดหมุนเป็นที่นิยมใช้ในการผลิตชิ้นงานขนาดใหญ่แต่มีการผลิตน้อยชิ้น
- (3) แม่พิมพ์สามารถสร้างได้ง่ายและรวดเร็ว

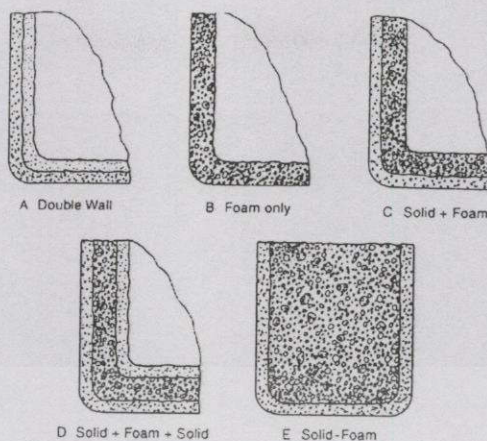
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (4) การให้ความร้อนและหล่อเย็นวัสดุในสภาวะความดันต่ำ ทำให้ความเค้นในชิ้นงานต่ำมาก ซึ่งมีผลให้วัสดุมีความสามารถทนแรงกระแทก ทนต่อสารเคมี และการบิดงอของชิ้นงาน (Postmold warpage) ลดลง
- (5) ชิ้นงานมีความหนาสม่ำเสมอและควบคุมความหนาได้จากปริมาณวัสดุที่ใส่ลงในแม่พิมพ์
- (6) สามารถเปลี่ยนแม่พิมพ์และวัสดุ ได้ง่ายและรวดเร็วกว่าเทคนิคอื่นเพราะไม่ต้องกำจัดวัสดุที่ค้างอยู่ในเครื่องมือ
- (7) สามารถผลิตชิ้นงานที่มีสีมากกว่าหนึ่งสี หรือวัสดุมากกว่าหนึ่งชนิด หรือการขึ้นรูปแบบผนังแข็ง (Solid) โฟม (Foam) หรือแบบผสม ดังรูปที่ 2.26
- (8) สามารถแทรกวัสดุอื่นเช่น โลหะ ไม้ ยาง หรือพลาสติก ในชิ้นงานได้ ดังรูปที่ 2.27
- (9) สามารถผลิตชิ้นงานที่มีความลึก มีผนังชิ้นงานขนานกัน และมีระยะระหว่างผนังชิ้นงานแคบได้ ดังรูปที่ 2.34
- (10) ชิ้นงานที่ได้จะไม่มีแนวเชื่อม (Weld line) รอยที่เกิดจากทางเข้า (Gate vestiges) และรอยที่เกิดจากการปลดชิ้นงาน
- (11) ไม่มีเศษเหลือเนื่องจากวัสดุทั้งหมดจะรวมอยู่ในชิ้นงานสุดท้าย
- (12) วัสดุที่ผ่านกระบวนการนี้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่โดยที่สมบัติทางกายภาพลดลงน้อยมาก



รูปที่ 2.25 ชิ้นงานที่มีความซับซ้อน [10]

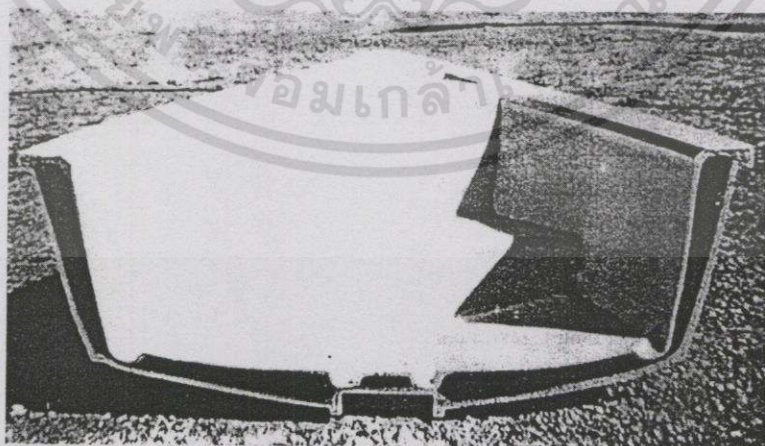
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 ผนังขึ้นงานแบบต่างๆ ที่สามารถผลิตจากกระบวนการอัดแบบชนิดหมุน [2]



รูปที่ 2.27 การแทรกโลหะลงในขึ้นงาน [10]



รูปที่ 2.28 ภาพตัดขวางของเรือที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดแบบชนิดหมุน [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.2 ข้อจำกัด

อย่างไรก็ตามกระบวนการอัดแบบชนิดหมุนยังมีข้อจำกัดดังต่อไปนี้

- (1) เนื่องจากเป็นการขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์เปิด ชิ้นงานจึงไม่มีแกนภายในดังนั้นความแข็งแรงของชิ้นงานจะขึ้นกับผนังของชิ้นงานเท่านั้น
- (2) ต้องมีการให้ความร้อนและหล่อเย็นทั้งวัสดุและแม่พิมพ์ ซึ่งในกระบวนการอื่นจะมีการให้ความร้อนและหล่อเย็นเฉพาะวัสดุเท่านั้น ทำให้กระบวนการนี้ใช้พลังงานสูงและใช้เวลาของรอบการทำงานนาน
- (3) การใช้ความร้อนสูงและเวลาในการให้ความร้อนมากกว่ากระบวนการอื่นทำให้พลาสติกเกิดการเสถียรภาพ (Degradation) ได้ง่าย เป็นผลให้ต้องมีการเติมสารเสริมเสถียรภาพและสารป้องกันการเกิดออกซิเดชันลงในพลาสติกมากกว่ากระบวนการอื่น ซึ่งทำให้ต้นทุนเพิ่มขึ้น
- (4) วัสดุมีราคาสูง เนื่องจากต้องใช้ในรูปแบบของเหลวหรือผงละเอียดเท่านั้น
- (5) ชิ้นงานอาจหลุดจากผนังแม่พิมพ์ระหว่างหล่อเย็น ซึ่งอาจทำให้เกิดการหดและบิดตัวของชิ้นงาน โดยเฉพาะชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่และมีผิวแบนเรียบ
- (6) ชิ้นงานอาจติดกับผนังแม่พิมพ์แน่นมาก ทำให้การถอดชิ้นงานทำได้ยาก ซึ่งต้องทำอย่างระมัดระวัง

2.12 วัสดุที่ใช้ในกระบวนการอัดแบบชนิดหมุน

ปัจจัยที่กำหนดสถานะของกระบวนการอัดแบบชนิดหมุน นอกจากแม่พิมพ์แล้ว วัสดุก็เป็นปัจจัยที่สำคัญมากประการหนึ่ง เนื่องจากกระบวนการมีความดันและแรงเฉือนน้อยมาก การขึ้นรูปจึงขึ้นอยู่กับสมบัติทางความร้อน และสมบัติการไหลของวัสดุ ซึ่งสมบัติของวัสดุในอุดมคติสำหรับกระบวนการอัดแบบชนิดหมุนควรเป็นดังนี้ [2]

1. ทนต่อความร้อนสูง สามารถขึ้นรูปได้ในช่วงสภาวะที่กว้าง
2. มีความยืดหยุ่น และสามารถทำเป็นโฟมได้
3. ทนต่อสภาวะแวดล้อม และทนต่อสารเคมี
4. ไส้คล้ายแก้ว แต่สามารถผสมสีได้ง่าย
5. อยู่ในรูปผง หรือของเหลว และมีการไหลคล้ายน้ำ
6. คงรูป และมีการหดตัวต่ำ
7. ความหนาแน่นต่ำ
8. ราคาถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามในปัจจุบันยังไม่มีพลาสติกที่มีสมบัติครบตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้นจึงต้องเลือกให้เหมาะสมระหว่างสมบัติที่ต้องการ กับวัสดุที่มีในท้องตลาด โดยปัจจัยที่ช่วยในการตัดสินใจเลือกได้แก่ สมบัติที่ผู้บริโภคต้องการ และความสามารถในการขึ้นรูปโดยกระบวนการ

2.12.1 พอลิเอทิลีน

พอลิเอทิลีนเป็นพอลิเมอร์ในกลุ่มพอลิโอเลฟิน ซึ่งเป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีปริมาณการใช้งานมากที่สุด ในปี 2537 ความต้องการใช้พอลิเอทิลีนของโลกมีถึง 37 ล้านตันต่อปี โดยแบ่งเป็น พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ 40.5 เปอร์เซ็นต์ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง 40.5 เปอร์เซ็นต์ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแบบเส้นตรง 19 เปอร์เซ็นต์ [2]

พอลิเอทิลีนสามารถสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบเติม (Addition polymerization) ของเอทิลีน โดยมีโครงสร้างทั่วไปคือ $-(CH_2-CH_2)_n-$

การใช้กระบวนการที่แตกต่างกัน ทำให้ได้พอลิเอทิลีนชนิดต่างๆ จุดหลอมเหลวของพอลิเมอร์ที่ได้จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่น ที่อุณหภูมิห้องพอลิเอทิลีนไม่ละลายในตัวทำละลายใดๆ แต่ถ้าให้อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้องพอลิเมอร์สามารถพองตัวและละลายได้ในพาราไซลีน ไตรคลอโรเบนซีน เดคเคนและเดคาลิน ทนต่อกรด ด่าง และสารออกซิไดซ์แต่ไม่ทนสภาพแวดล้อม อุณหภูมิสูง และรังสี เมื่อขีดข่วนสามารถเกิดรอยได้ พอลิเอทิลีนเป็นวัสดุที่ไม่มีขั้วจึงไม่นำไฟฟ้า

พอลิเอทิลีนเป็นวัสดุที่มีปริมาณการใช้มากที่สุดถึง 85 เปอร์เซ็นต์ของวัสดุที่ใช้ในกระบวนการอัดแบบชนิดหมุน ซึ่งวัสดุในกลุ่มของพอลิเอทิลีนได้แก่ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแบบเส้นตรง (LLDPE) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MDPE) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) พอลิเอทิลีนชนิดมีพันธะเชื่อมโยง (XLPE) และ เอทิลวินิลอะซิเตต (EVA) โดยวัสดุในกลุ่มนี้สามารถขึ้นรูปด้วยกระบวนการนี้ได้ทุกชนิด ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ผงพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเป็นวัสดุในการทดลอง

มาตรฐาน ASTM D1248 ได้แบ่งพอลิเอทิลีนมาตรฐานตามตัวแปร 4 ตัว คือ ประเภท (types) ชั้น (classes) ลำดับชั้นย่อย (categories) และชนิด (grades) ดังนี้

1. การแยกตามประเภท (types)

การแบ่งประเภทเป็นตัวบ่งชี้ตัวแรก ซึ่งแบ่งโดยใช้ความหนาแน่นเป็นเกณฑ์ เนื่องจากความหนาแน่นมีผลต่อสมบัติทางกายภาพอย่างมาก ทำให้เกิดสมบัติที่แตกต่างกัน เช่น ความแข็งแรง ความใส ความทนทานต่อแรงกระแทก ทำให้การใช้งานแตกต่างกันไป ตามมาตรฐาน ASTM D1248 สามารถแบ่งพอลิเอทิลีนออกตามความหนาแน่นได้ 4 ประเภท ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ความหนาแน่นของพอลิเอทิลีนชนิดต่างๆ [15]

ประเภท	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	ชนิดพอลิเมอร์
1	0.910 – 0.925	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ
2	0.926 – 0.940	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง
3	0.941 – 0.959	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
4	0.960 ขึ้นไป	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงมาก

2. การแยกตามชั้น (class)

การแบ่งชั้นเป็นการแบ่งย่อยจากประเภท โดยอาศัยส่วนประกอบของเม็ดและการใช้งาน ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ชั้นดังนี้

ชั้น A จะเป็นเม็ดสีธรรมชาติ ไม่มีสีใดๆ การใช้งานจะเป็นงานทั่วๆ ไป และงานที่ต้องการความเป็นฉนวนไฟฟ้า ส่วนการเติมสารหน่วงการเกิดออกซิเดชัน และสารเติมแต่งอื่นๆ จะมีหรือไม่ ขึ้นอยู่กับการตกลงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย

ชั้น B พลาสติกมีการเติมสีขาวและสีดำ จะใช้ในงานทั่วไป และงานที่ต้องการความเป็นฉนวนไฟฟ้า ส่วนการเติมสารหน่วงการเกิดออกซิเดชัน และสารเติมแต่งอื่นๆ ขึ้นอยู่กับข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย

ชั้น C เป็นพลาสติกที่เติมสีดำ (เขม่าดำ) การใช้งานจะใช้กับงานที่ต้องการความคงทนจากสภาวะแวดล้อมในอากาศ ส่วนการเติมสารหน่วงการเกิดออกซิเดชัน และสารเติมแต่งอื่นๆ ขึ้นอยู่กับการตกลงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย

4. การแยกตามลำดับชั้นฐานย่อย (categories)

ตารางที่ 2.5 การแยกพอลิเอทิลีนตามลำดับชั้นฐานย่อย [15]

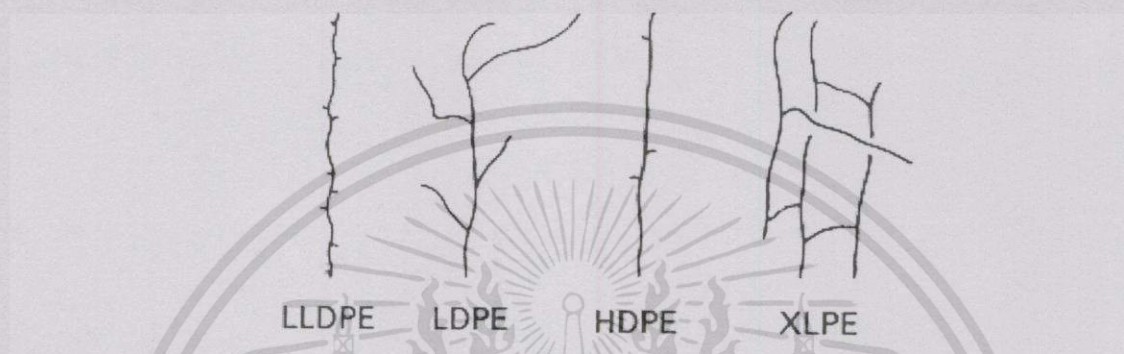
ลำดับชั้นย่อย	ดัชนีการไหล (กรัมต่อ 10 นาที) ที่ 190 °C
1	มากกว่า 25
2	10-25
3	1.0-10
4	0.4-1.0
5	น้อยกว่า 0.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การแยกตามชนิด (grade)

การแบ่งเกรด เป็นการระบุรายละเอียดของสมบัติทางกายภาพต่างๆ ซึ่งอาจมีการระบุใช้ ในอนาคต

นอกจากนี้พอลิเอทิลีนยังสามารถแบ่งตามลักษณะโครงสร้างของสายโซ่ได้เป็น 4 แบบ ดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 โครงสร้างของสายโซ่ของพอลิเอทิลีนแบบต่างๆ [2]

ในปัจจุบันมีการพัฒนาเทคนิคการสังเคราะห์ทำให้พอลิเอทิลีนมีสมบัติที่หลากหลายตามโครงสร้างที่แตกต่างกันตามเทคนิคการสังเคราะห์

2.12.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

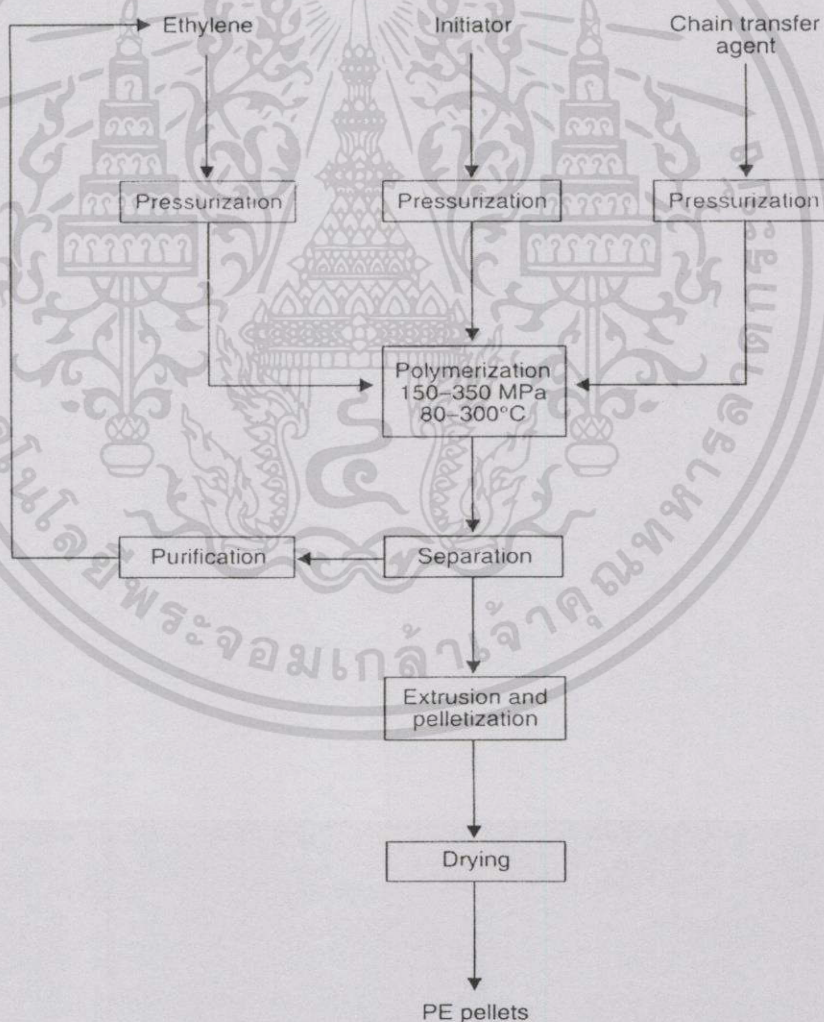
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำหรือ พอลิเอทิลีนที่มีสาขา (branched polyethylene) ประกอบด้วยโครงสร้างที่มีโซ่ยาวของ $-CH_2-$ และมีการแตกกิ่งก้านสาขาออกไปหรืออาจเรียกว่าพอลิเอทิลีนความดันสูง (high pressure polyethylene) เนื่องจากกระบวนการผลิตใช้ความดันสูงมาก

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำสังเคราะห์ได้จากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันผ่านกลไกแบบอนุมูลอิสระ (free radical polymerization) ใช้อุณหภูมิในช่วง $80-300^{\circ}\text{C}$ และความดันในช่วง $150-350\text{ MPa}$ โดยใช้เอโซไอโซบิวทิโรไนไตรล์ (azoisobutyronitrile, AIBN) เบนซิลเปอร์ออกไซด์ (benzyl peroxide, BP) หรือ ออกซิเจน (10-100 ppm) เป็นตัวริเริ่มอนุมูลอิสระ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน โดยอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้น $12-13^{\circ}\text{C}$ เมื่อเกิดการพอลิเมอไรเซชันของเอทิลีนทุกๆ 1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับอาจทำให้เกิดการระเบิดได้ ดังนั้นต้องอาศัยการหล่อเย็นที่มีประสิทธิภาพสูง และมีการเติมตัวทำลายลงไปเพื่อลดความเข้มข้นและช่วยกระจายตัวของอนุมูลอิสระ

กระบวนการผลิตจะเป็นแบบต่อเนื่อง โดยอาศัยถังปฏิกรณ์ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 แบบหลักๆ คือ แบบท่อยาว และแบบถังปั่นกววน โดยแบบท่อจะได้รับความนิยมมากกว่า เนื่องจากควบคุมความดันได้ง่ายและไม่เกิดปฏิกิริยาบริเวณขอบถังปฏิกรณ์

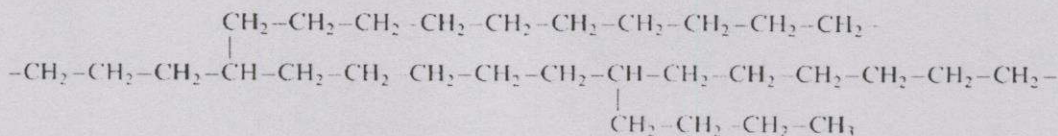
ในปัจจุบันกระบวนการที่ใช้ผลิตจะเปลี่ยนมอนอเมอร์ 10-30 เปอร์เซ็นต์ ไปเป็นพอลิเมอร์ ซึ่งสามารถละลายอยู่ในเอทิลีนคล้ายกับกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบบัลค์ พอลิเมอร์หลอมเหลวจะถูกแยกออกมาโดยการลดความดัน แล้วจะถูกอัดรีดและตัดเป็นเม็ดต่อไป ส่วนเอทิลีนที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยาจะถูกทำให้บริสุทธิ์แล้วป้อนกลับเข้าไปทำปฏิกิริยาอีกครั้งดังรูปที่ 2.30 ภายใต้สภาวะของปฏิกิริยาที่กล่าวมาพบว่าอาจเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงซึ่งนำไปสู่การเกิดไซกิง โดยจะมีทั้งไซกิงแบบสั้นและแบบยาว ซึ่งมีผลต่อสมบัติของพอลิเอทิลีน

โครงสร้างย่อยของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแสดงดังรูป 2.31



รูปที่ 2.30 ขั้นตอนการสังเคราะห์พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ [11]

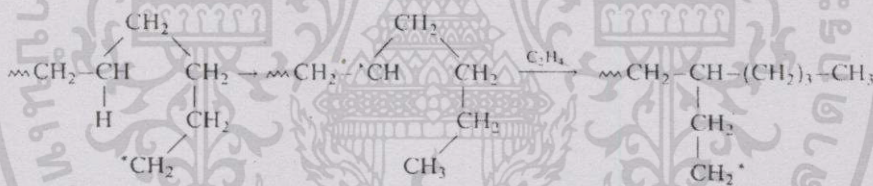
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



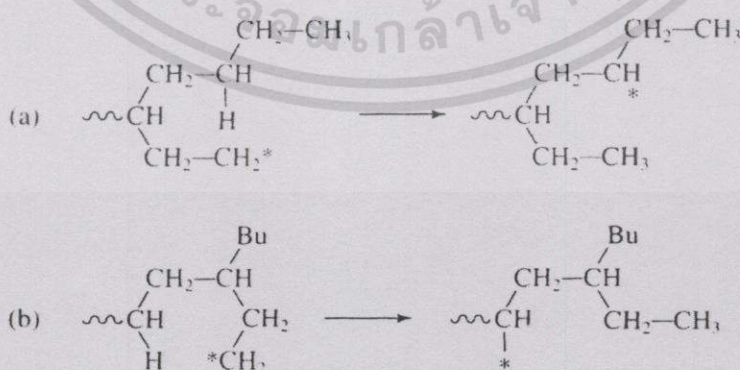
รูปที่ 2.31 โครงสร้างย่อยของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ [11]

โซ่กิ่งเกิดจากปฏิกิริยาการถ่ายโอนสายโซ่ (chain transfer reaction) ซึ่งเกิดทั้งในโมเลกุลเดียวกัน (intramolecular) และระหว่างโมเลกุล (intermolecular) โดยโซ่กิ่งสั้นเกิดจากการถ่ายโอนอนุมูลอิสระภายในสายโซ่ ระหว่างอนุมูลอิสระที่ปลายสายโซ่กับไฮโดรเจนที่ติดกับอะตอมคาร์บอนในสายโซ่หลักดังรูปที่ 2.32 เมื่ออนุมูลอิสระทำปฏิกิริยาต่อจะทำให้ปลายสายโซ่เดิมเกิดเป็นโซ่กิ่ง

นอกจากนี้อาจมีการถ่ายโอนสายโซ่ระหว่างสายโซ่หลักกับโซ่กิ่งทำให้ได้โซ่กิ่งแบบเอทิล ดังรูปที่ 2.33 หรืออาจเกิดอนุมูลอิสระแบบตติยภูมิ (tertiary radical) ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ที่ตำแหน่งเบต้า (β -scission) เกิดเป็นโครงสร้างแบบ ไวนิลลิดีน ดังรูปที่ 2.33 ซึ่งพบว่าในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำจะมีความไม่อิมิตัวถึง 50 เปอร์เซ็นต์

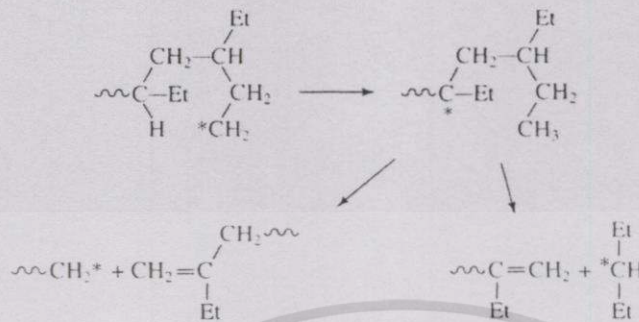


รูปที่ 2.32 การเกิดโซ่กิ่งแบบสั้นในโมเลกุลของพอลิเอทิลีน [11]



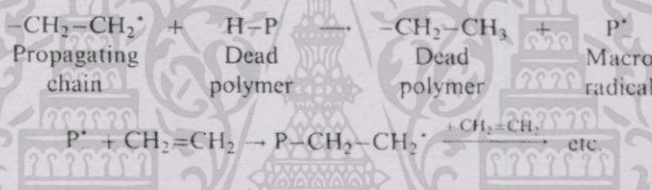
รูปที่ 2.33 การถ่ายโอนสายโซ่ระหว่างโซ่หลักกับโซ่กิ่งในโมเลกุลเดียวกัน [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.34

ในกรณีของโซ่กิ่งยาวจะเกิดจากการถ่ายโอนสายโซ่ระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่มีอนุภาคอิสระกับโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่สิ้นสุดปฏิกิริยาไปแล้วทำให้พอลิเมอร์ที่สิ้นสุดปฏิกิริยาไปแล้วสามารถเกิดปฏิกิริยาต่อไปได้ ดังรูปที่ 2.35



รูปที่ 2.35 กลไกการถ่ายโอนสายโซ่ระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ [11]

จากกลไกข้างต้นสามารถควบคุมการเกิดโซ่กิ่งและน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ได้โดยการควบคุมอุณหภูมิ ความดัน ปริมาณของตัวริเริ่ม ปริมาณของตัวทำละลาย และ ปริมาณสารช่วยถ่ายโอนสายโซ่ เช่น พาราฟินโมเลกุลเล็ก พรอพิลีน หรือ ไฮโดรเจน ในกระบวนการสังเคราะห์

พอลิเอทิลีนจัดเป็นพลาสติกจำพวกเทอร์โมพลาสติกและมีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature, T_g) ประมาณ -130 ถึง 60 องศาเซลเซียส พอลิเอทิลีนจึงมีลักษณะทั้งยืดหยุ่นและแข็งที่สภาวะปกติ สำหรับอุณหภูมิหลอมเหลว (Melting temperature, T_m) ของพอลิเอทิลีนมีค่าประมาณ 108-133 องศาเซลเซียส

พอลิเอทิลีนมีสมบัติสำคัญๆ ดังนี้

1. เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี
2. การละลาย โดยปกติจะไม่ละลายในตัวทำละลายใดๆ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส จะเริ่มละลายได้
3. พวกที่มีความหนาแน่นต่ำจะใสมาก แต่จะขุ่นเมื่อมีความหนาแน่นสูง
4. ทนทานต่อกรดและเบส

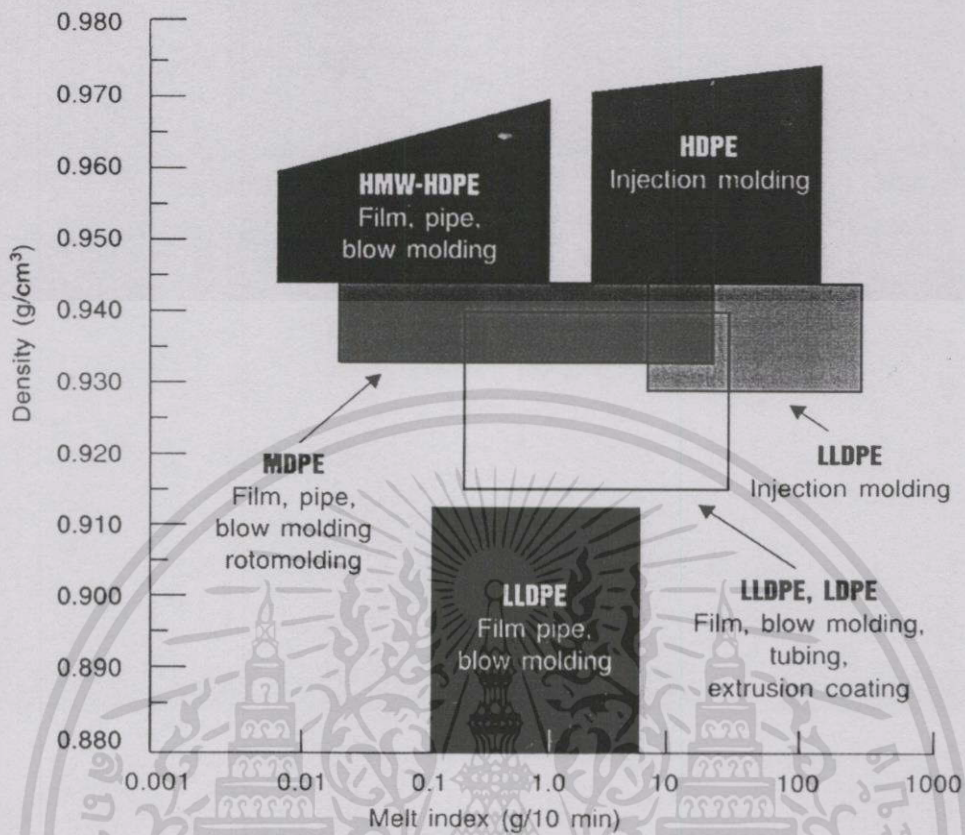
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ทนความชื้น
6. ความเหนียวและทนทานต่อแรงดึงปานกลาง
7. ราคาถูก
8. ขึ้นรูปใช้งานได้โดยกระบวนการทั่วไป

สมบัติทางกายภาพของพอลิเอทิลีนแตกต่างออกไปบ้างขึ้นกับปริมาณของสาขาโซ่โดยทั่วไป ถ้าโมเลกุลมีสาขามาก พอลิเมอร์จะมีความเป็นผลึกต่ำทำให้สมบัติทางกายภาพ เช่น ความหนาแน่น จุดหลอมตัว ความแข็งต่ำลงด้วย แต่มีผลทำให้การแพร่ผ่านของแก๊สและความชื้นต่อพอลิเมอร์สูง อย่างไรก็ตามพอลิเอทิลีนที่เตรียมโดยกระบวนการใช้ความดันสูงมีความเป็นผลึกปานกลาง (ทั่วไปมีร้อยละของความเป็นผลึก 50-60 เปอร์เซ็นต์) มีจุดหลอมเหลว (T_m) ประมาณ 115 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่น 0.91–0.94 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ไม่ละลายในตัวทำละลายจำพวกไฮโดรคาร์บอนและไฮโดรเจนไฮโดรคาร์บอน เช่น โทลูอีน ไซลีน และไดคลอโรเอทิลีน นอกจากนี้แล้วพอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำยังมีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีเยี่ยมแต่เฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมีทั่วไปสามารถทนทานต่อกรดและเบสเป็นอย่างดี เช่น พอลิเอทิลีนทนกรดซัลฟูริกหรือกรดไฮโดรคลอริกที่ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงได้โดยไม่พบการเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด แต่กับกรดไนตริก ณ ภาวะเดียวกันจะเปลี่ยนเป็นสีดำที่ผิว (Charred) ด้วยเหตุนี้พอลิเอทิลีนจึงนำมาใช้ทำภาชนะบรรจุกรดแก่รวมทั้งกรดไฮโดรฟลูออริกได้ดี

เมื่อให้พอลิเมอร์นี้สัมผัสกับแสงแดดและออกซิเจนเป็นเวลานานๆพอลิเมอร์นี้จะเสื่อมคุณภาพลงได้ เช่น จะสูญเสียความแข็งแรง ความสามารถในการยืดหยุ่นและความสามารถต่อการสึกหรอฉีกขาด ทั้งนี้เป็นเพราะเกิดการสูญเสียไฮโดรเจนของอะตอมคาร์บอนที่ตำแหน่งตติยภูมิที่เป็นคาร์บอนสาขาโซ่ การเติมสารทำให้เกิดเสถียรภาพอาจช่วยถ่วงหรือหน่วงการเสื่อมคุณภาพได้ แต่เพราะมีสารทำให้เกิดเสถียรน้อยมากที่เข้ากับพอลิเมอร์จึงทำให้ไม่มีผล

เกือบครึ่งของพอลิเอทิลีนที่ผลิตขึ้นทั้งหมดนำไปผลิตเป็นแผ่นฟิล์มใช้สำหรับห่อของ อาหาร ทำถุงพลาสติก ผ้า(พลาสติก)กันน้ำ ผ้าปูโต๊ะ ของใช้ในบ้าน ของเด็กเล่น ใช้หุ้มลวดไฟฟ้าและในงานก่อสร้าง เป็นต้น



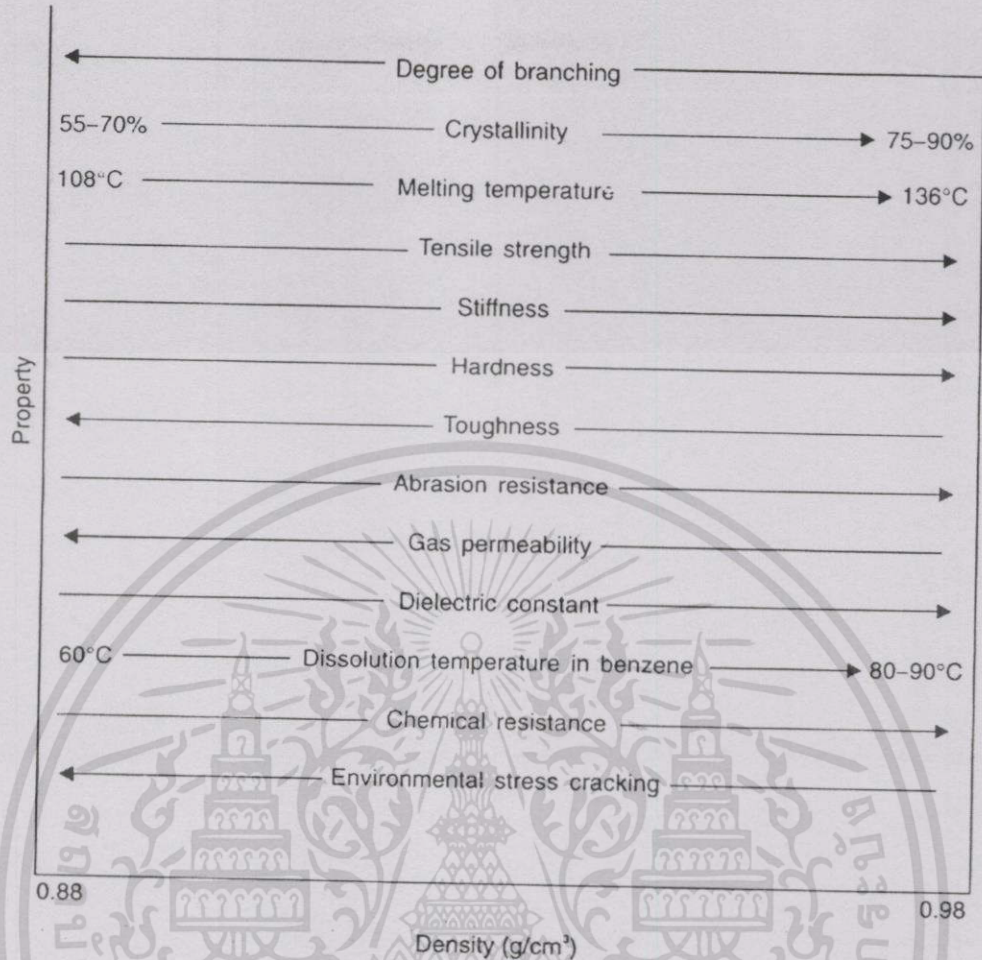
รูปที่ 2.36 ความหนาแน่นและเทคนิคที่ใช้ในการขึ้นรูปพอลิเอทิลีนชนิดต่างๆ [11]

การใช้งาน

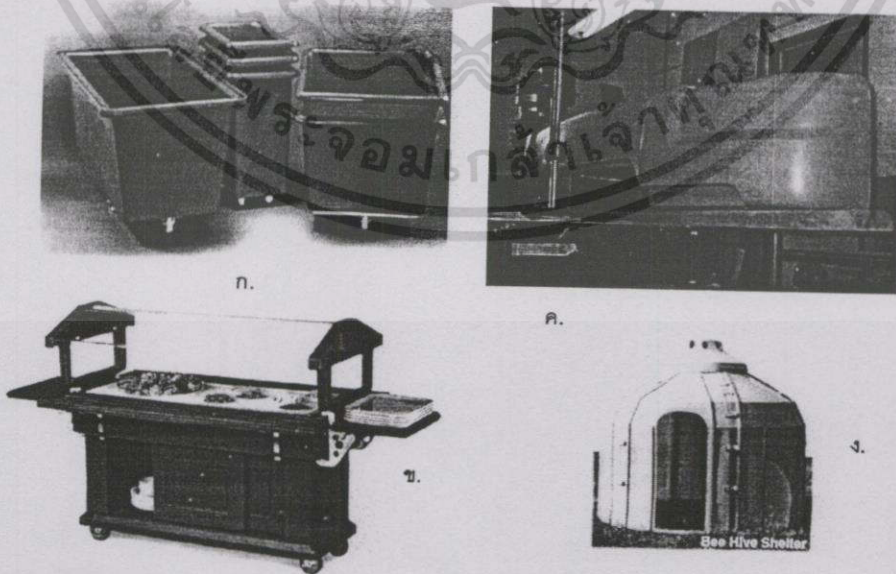
ผลิตภัณฑ์จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมีหลายรูปแบบ สามารถแบ่งตามการใช้งานได้ดังนี้

- ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรม ได้แก่ แทงค์ ถังผสม ภาชนะบรรจุ ถังขยะ พื้นสำเร็จรูป ส่วนประกอบเครื่องจักร รถเข็น (ดังรูปที่ 2.38 ก.) กล้องเครื่องมือ ถังดักไขมัน ถังฆ่าเชื้อ สลัดบาร์ (ดังรูปที่ 2.38 ข.) ใต้กรงอากาศ
- ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการขนส่ง ได้แก่ อุปกรณ์รถบรรทุก แผ่นรองพื้นกระบะ กล้องเครื่องมือ ถังน้ำมัน กล้องแบตเตอรี่ ตัวถังรถ ป้ายจราจร กันชนรถยนต์ (ดังรูปที่ 2.38 ค.)
- ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในบ้าน ได้แก่ ถังขยะ บ้านสุนัข (ดังรูปที่ 2.38 ง.) อุปกรณ์แต่งบ้าน เช่น แจกัน กระถาง เครื่องเรือน เช่น โต๊ะ เก้าอี้ ม้านั่ง เตียง กล้องบรรจุอาหารชนิดรักษาอุณหภูมิ
- ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทางการเกษตร ได้แก่ แทงค์น้ำ รางใส่อาหารสัตว์ อุปกรณ์เก็บเกี่ยว และบรรจุภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.37 สมบัติของพอลิเอทิลีน [11]



รูปที่ 2.38 ตัวอย่างชิ้นงานที่ผลิตโดยกระบวนการอัดแบบชนิดหมุน [10, 12, 13]

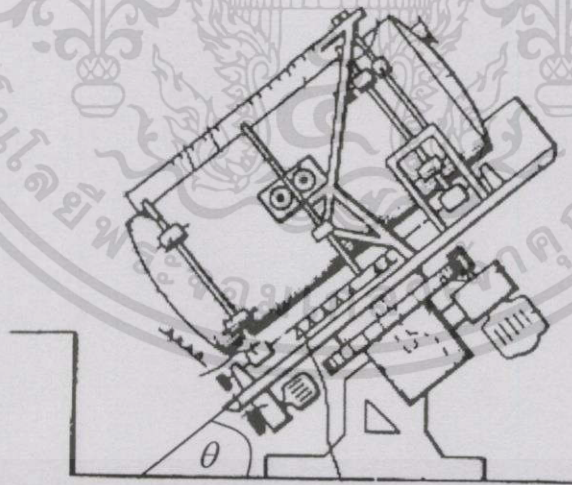
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในช่วงเวลาที่ผ่านมาได้มีนักวิทยาศาสตร์หลายท่าน ได้มีการศึกษาค้นคว้างานวิจัยเกี่ยวกับกระบวนการอัดแบบชนิดหมุนที่น่าสนใจดังนี้

Frank R. Carillon [14] และคณะได้ประดิษฐ์เครื่องอัดแบบชนิดหมุนแบบ 3 แขน ซึ่งแต่ละแขนสามารถขับเคลื่อนได้อย่างอิสระ การเปลี่ยนสถานะการทำงานของแต่ละแขน เช่น การเติมวัสดุ การให้ความร้อน การหล่อเย็น หรือการถอดชิ้นงาน สามารถทำได้โดยเลื่อนแขนหมุนไปตามแนววนรอบ โดยใช้แกนกลางของเครื่องเป็นจุดหมุน แม่พิมพ์สามารถหมุนได้อย่างน้อย 1 แกนเพื่อให้วัสดุสามารถเคลือบผนังภายในแม่พิมพ์ได้อย่างสม่ำเสมอ

Yasuaki Chujoo และ Jisaku Miyaji [15] ได้ประดิษฐ์เครื่องอัดแบบชนิดหมุน โดยมีฐานยึดเอียงทำมุม θ กับแนวราบ ซึ่งแกนที่ขนานกับฐานยึดจะเรียกว่า แกนขึ้นรูป (former axis) เครื่องอัดแบบชนิดหมุนที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้ถูกนำมาใช้ขึ้นรูปพลาสติกสังเคราะห์เป็นรูปถังทรงกระบอก แม่พิมพ์จะถูกยึดขนานกับฐานยึดและจะถูกหมุนในสองทิศทางคือ ขนานและตั้งฉากกับฐานยึด ดังรูปที่ 2.39



รูปที่ 2.39 เครื่องอัดแบบชนิดหมุน [15]

Peter Friesen [16] ได้ประดิษฐ์เครื่องอัดแบบชนิดหมุนโดยใช้เตาอบที่สามารถเปิดได้ทั้งด้านหน้าและด้านบน ซึ่งสะดวกในการถอดเปลี่ยนแม่พิมพ์ และหล่อเย็นได้รวดเร็ว ทำให้ลดเวลาของวงจรการทำงานลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M. Kontopoulou [17] และคณะได้ศึกษาเกี่ยวกับการอัดตัว (Densification) และการเกิดฟองภายในชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการอัดแบบชนิดหมุน ซึ่งจากการทดลองพบว่า การเกิดฟองภายในชิ้นงานจะขึ้นกับ สัณฐานวิทยา สมบัติทางความร้อน คุณภาพของวัสดุ และปริมาณของอสังฐานภายในโครงสร้างวัสดุ โดยชิ้นงานที่ขึ้นรูปจากวัสดุที่มีส่วนประกอบของอสังฐานสูง และมีความหนืดที่เปลี่ยนแปลงง่ายตามอุณหภูมิ จะมีอัตราการอัดตัวช้าและเกิดฟองอากาศในชิ้นงานเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้การอัดตัวของชิ้นงานยังขึ้นกับ สัณฐานวิทยา แรงตึงผิว และการกระจายตัวของส่วนผสม

Mark Weber และ Rod Gonzales [18] ศึกษาผลของสมบัติทางวิสโคอีลาสติกของพอลิเอทิลีนที่มีต่อความสามารถในการขึ้นรูปและสมบัติทางกายภาพของชิ้นงาน โดยเปรียบเทียบตัวอย่างเรซิน 2 ชนิดที่มีความหนืดและความหนาแน่นเท่ากัน แต่มีความยืดหยุ่นแตกต่างกัน พบว่าเรซินชนิดที่มีความยืดหยุ่นน้อย จะใช้เวลาในการขึ้นรูปน้อยกว่า ชิ้นงานให้สมบัติทางกายภาพที่ดีกว่า และชิ้นงานมีฟองอากาศน้อยกว่า ชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเรซินที่มีความยืดหยุ่นมากกว่า

MC Cramez และคณะ [38] ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเสถียรภาพของพอลิเอทิลีนในการขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดแบบชนิดหมุนโดยการใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential scanning calorimetry) DSC ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงการเสถียรภาพของพอลิเอทิลีน พบว่านอกจากปัจจัยอื่นๆ ที่ได้มีการศึกษามาแล้วเช่น โครงสร้างโมเลกุล ชนิดและปริมาณของสารเสริมเสถียรภาพ และประวัติทางความร้อน (Thermal history) ของวัสดุ ยังมีปัจจัยอื่นเช่น อัตราการให้ความร้อน ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ และได้เสนอแนวทางในการคาดคะเนการเสถียรภาพโดยติดตามอัตราการใช้ (Consumption) สารเสริมเสถียรภาพในพอลิเมอร์

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะแบ่งการทดลองเป็นสองส่วน ส่วนแรกจะเป็นการออกแบบเพื่อสร้างเครื่องอัดแบบชนิดหมุน ส่วนที่สองจะเป็นการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือที่สร้างขึ้น และทดลองขึ้นรูปชิ้นงาน พร้อมทั้งศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ชนิดผง (POLENE N520W, บริษัท ไทยปิโตรเคมีคอล อินดัสทรี จำกัด)
2. จารบีทนความร้อน (Lubrimagic, บริษัท แสตนต์ คอปเปอร์เรชั่น (Stant corporation))
3. สารป้องกันชิ้นงานติดแม่พิมพ์ชนิดสลิปเปอร์รี่ (Slix-it 8035, บริษัท คราวน์ (Crown))

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 อุปกรณ์ทางเครื่องกล

1. แม่พิมพ์อะลูมิเนียมรูปทรงกลม 4 ชุด
2. ตัวยึดแม่พิมพ์ 2 ชุด
3. แขนหมุน 1 ชุด
4. มอเตอร์ไฟฟ้าชนิดกระแสตรง 2 ตัว (DME 33H3-18, บริษัท (JAPAN SERVO CO.,LTD))
5. โครงเหล็กสำหรับยึดอุปกรณ์ต่างๆ
6. ขดลวดทำความร้อน ขนาด 2000 วัตต์ 1 เส้น
7. โครงเตาอบ 1 ชุด
8. ฉนวนใยแก้ว ขนาด 60x250x5 ซม. (กว้างxยาวxหนา) 2 ม้วน (StayCool, บริษัท เครือซีเมนต์ไทย)
9. ล้อยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว 4 ล้อ
10. ไม้อัด ขนาด 150x50x1.5 ซม. (กว้างxยาวxหนา) 1 แผ่น

3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมเครื่องอัดแบบชนิดหมุน

1. สวิตช์กด (บริษัท อีเทน (Eten)) 3 ตัว
2. สวิตช์ลูกศร (บริษัท อีเทน (Eten)) 1 ตัว
3. เบรกเกอร์ ขนาด 30 แอมป์ (MS-50, บริษัท มัทสึคามิ (Matsukami)) 1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ตัวควบคุมอุณหภูมิ 0-400 °C (SP2, บริษัท ซูเปอร์ (Super)) 1 ตัว
5. ตัวควบคุมเวลา (H3CR-A8, บริษัท โอมรอน (Omron)) 1 ตัว
6. หลอดไฟแสดงสถานะการทำงาน (Pilot light, บริษัท อีเทน (Eten)) 3 ตัว
7. คอนแทกเตอร์แม่เหล็ก ขนาด 20 แอมแปร์ (S-N10, บริษัท มิตซูบิชิ (Mitsubishi)) 2 ตัว
8. รีเลย์ (MY2, บริษัท โอมรอน (Omron)) 2 ตัว
9. ชุดกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง 0-30 โวลต์ ขนาด 2 แอมแปร์ 2 ชุด
10. ตู้เหล็กรวมอุปกรณ์ 1 ใบ

3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปและทดสอบชิ้นงาน

1. เครื่องอัดแบบชนิดหมุน
2. เครื่องปั๊มลม (0.4 OP-7S, บริษัท ฮิตาชิ (Hitachi))
3. ไมโครมิเตอร์ (SM-112, บริษัท เทคล็อก คอร์ปอเรชั่น (Teclock Crop.))
4. ไมโครมิเตอร์ (Digimatic Outside Micrometer, บริษัท มิททูโตโย (Mitutoyo))
5. เครื่องชั่ง (BB 3000, บริษัท เมทเลอร์ (Mettler))
6. มัลติมิเตอร์แบบดิจิตอล (DT 830B, บริษัท ยูนิเทรนด์ (UNI-TREND International))
7. ขวดสเปรย์น้ำ

3.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องมือ

1. เตาอบ รุ่น ULM 400 (บริษัท เมมเมิร์ท (MEMMERT))
2. เตาอบ รุ่น Isotemp 825F (บริษัท ฟิชเชอร์ไซแอนติฟิค (FISHER SCIENTIFIC))
3. เตาอบ รุ่น Isotemp 750F (บริษัท ฟิชเชอร์ไซแอนติฟิค (FISHER SCIENTIFIC))
4. เตาอบ รุ่น Furnace 6000 (บริษัท เทอร์โมไลน์ (THERMOLYNE))
5. ตัววัดอุณหภูมิ (E5CN, บริษัท โอมรอน (Omron))

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1 การออกแบบเครื่องอัดแบบชนิดหมุน

3.3.1.1 อุปกรณ์ทางเครื่องกล

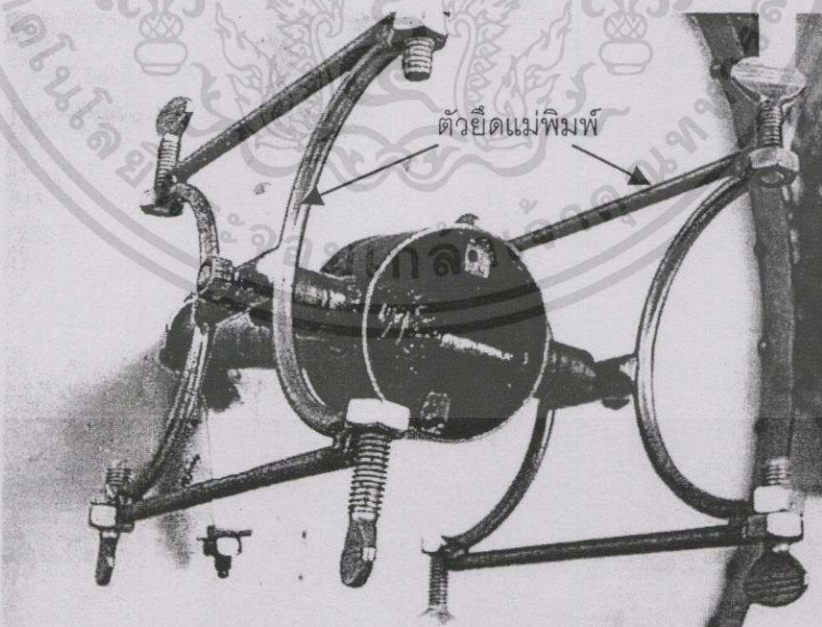
- (1) แม่พิมพ์ในการทดลองนี้จะออกแบบเป็นครึ่งทรงกลมสองชิ้นเพื่อให้ง่ายต่อการศึกษา ทำด้วยอะลูมิเนียมเนื่องจากเป็นวัสดุที่นำความร้อนได้ดี ส่วนปลายทั้งสองด้านมีส่วนที่ใช้ยึดกับตัวยึดแม่พิมพ์ แม่พิมพ์ 2 ชิ้นจะประกบกันและยึดด้วยน็อตขนาด 8 มิลลิเมตร 2 ตัว โดยลักษณะของแม่พิมพ์ แสดงดังรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



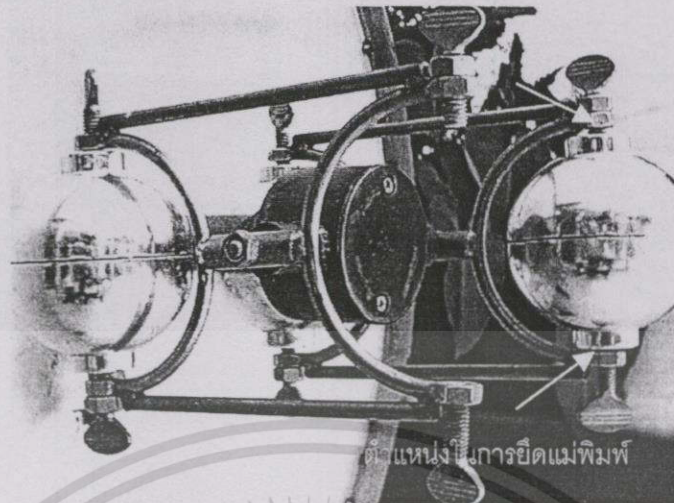
รูปที่ 3.1 ลักษณะของแม่พิมพ์ที่ใช้ในการทดลอง

- (2) ตัวยึดแม่พิมพ์ ทำหน้าที่ยึดแม่พิมพ์เข้ากับแกนหมุนโดยใช้ตัวยึดแม่พิมพ์ 2 อัน มีลักษณะเป็นพลาสติกเคลือบเป็นรูปครึ่งวงกลมปลายทั้งสองด้านมีนอตตัวเมียเชื่อมติดอยู่สำหรับยึดแม่พิมพ์ จุดกึ่งกลางของตัวยึดแม่พิมพ์จะทำเป็นเกลียวขนาด 8 มม. สำหรับต่อกับแกนหมุนลักษณะของตัวยึดแม่พิมพ์แสดงดังรูปที่ 3.2 และเมื่อประกอบเข้ากับแม่พิมพ์จะแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 ตัวยึดแม่พิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



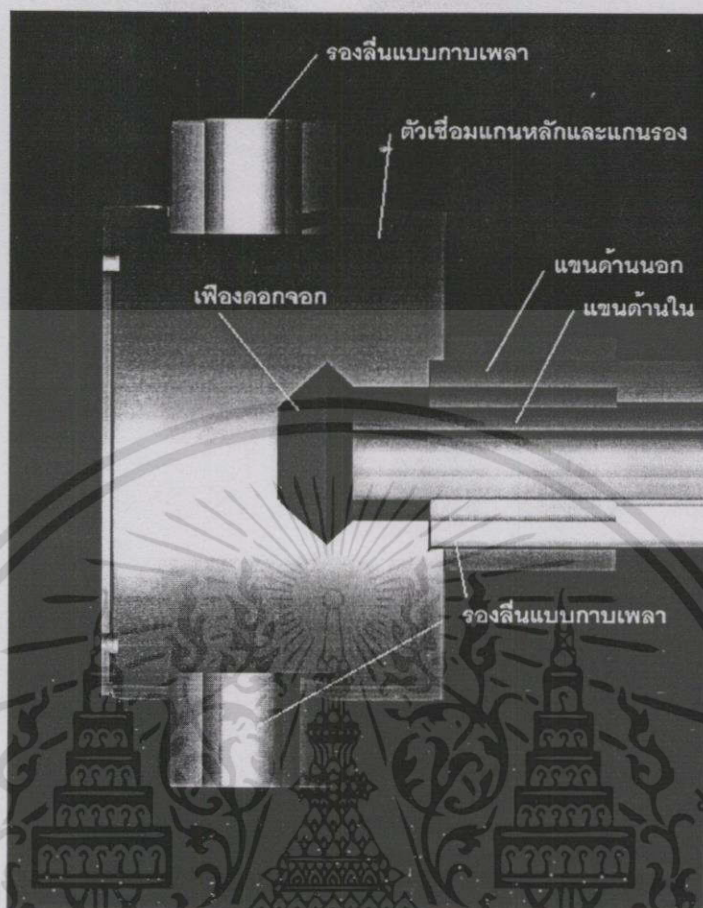
รูปที่ 3.3 การประกอบแม่พิมพ์เข้ากับตัวยึดแม่พิมพ์

- (3) แขนหมุน แบ่งเป็นสองส่วนได้แก่ แกนหลัก และแกนรอง
- (3.1) แกนหลัก มีหน้าที่หมุนแม่พิมพ์ในแนวขนานกับพื้น ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้
- (ก) แขนด้านนอก เป็นตัวหมุนแขนทั้งหมด ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์กระแสตรงผ่านชุดเฟือง รongรับด้วยรอนกลื่นแบบลูกปืน ส่วนด้านในที่ติดกับแขนด้านในหลอ่ลื่นด้วยรอนกลื่นแบบกาบเพลลา แสดงดังรูปที่ 3.4
 - (ข) แขนด้านใน เป็นเพลลาที่ใช้ส่งกำลังในการหมุนแกนรองซึ่งส่วนนี้จะขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์กระแสตรงซึ่งยึดอยู่กับแขนด้านนอก แล้วส่งแรงบิดไปยังแกนรองด้วยเฟืองดอกจอก แสดงดังรูปที่ 3.4
 - (ค) ตัวเชื่อมระหว่างแกนหลักและแกนรอง มีลักษณะเป็นทรงกระบอก ส่วนที่รongรับแกนรองจะหลอ่ลื่นด้วยรอนกลื่นแบบกาบเพลลา แสดงดังรูปที่ 3.4 และ 3.5



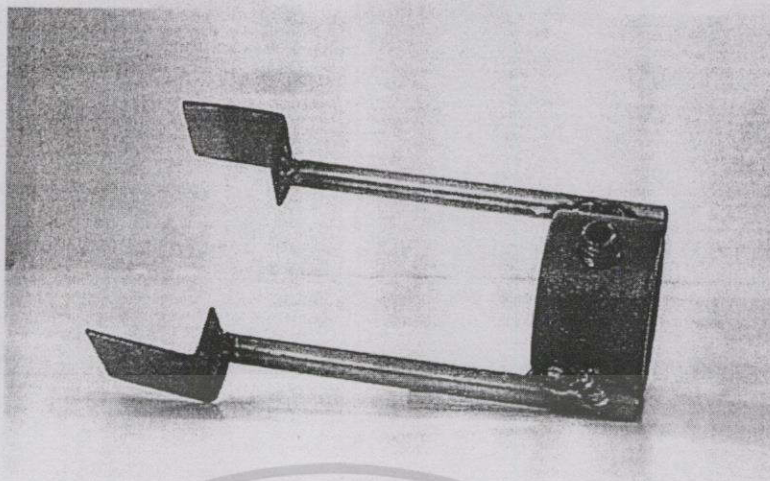
รูปที่ 3.4 แกนหลักของแขนหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

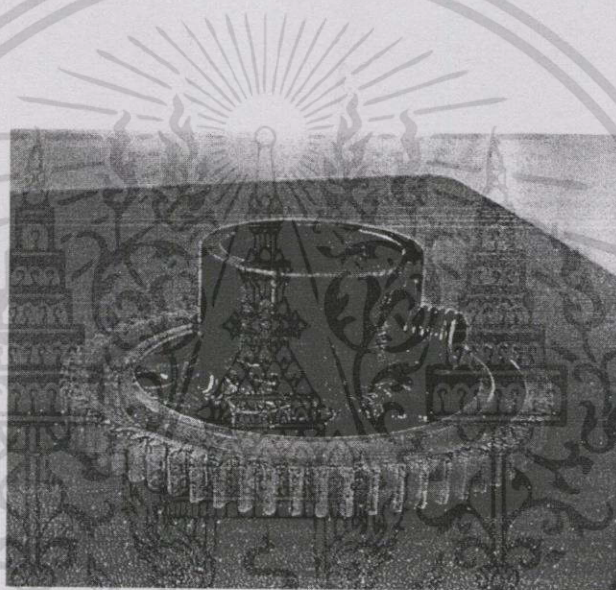


รูปที่ 3.5 ตัวเชื่อมระหว่างแกนหลักและแกนรอง

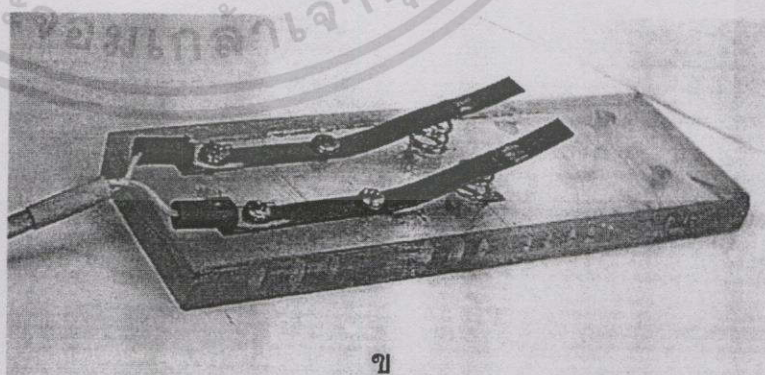
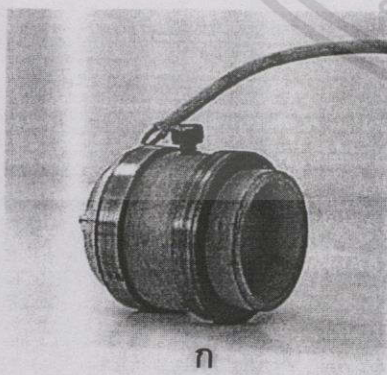
- (ง) ตัวยึดมอเตอร์ มีหน้าที่ยึดมอเตอร์สำหรับขับเคลื่อนแกนด้านใน แสดงดังรูปที่ 3.6
- (จ) เฟืองขับ เป็นเฟืองที่ใช้ในการส่งผ่านแรงบิดจากมอเตอร์ภายนอกเพื่อขับเคลื่อนแกนหลัก แสดงดังรูปที่ 3.7
- (ฉ) สะพานไฟ เป็นตัวเชื่อมกระแสไฟฟ้าจากตัวกำเนิดมายังมอเตอร์ที่ยึดอยู่บนแกนด้านนอกของแกนหลัก แบ่งเป็น 2 ส่วนคือส่วนที่หมุนไปพร้อมกับแกนหลัก(ก) กับส่วนที่ยึดอยู่กับโครงเหล็ก(ข) วัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้าทำจากไนลอน และตัวนำไฟฟ้าทำจากทองเหลือง แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.6 ตัวยีดมอเตอร์



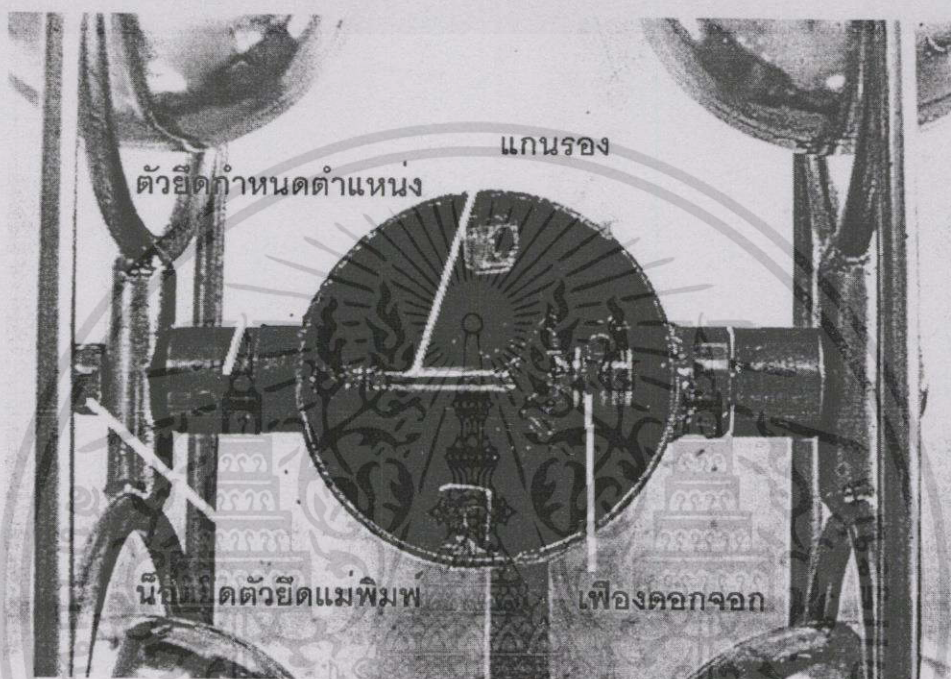
รูปที่ 3.7 เฟืองขับ



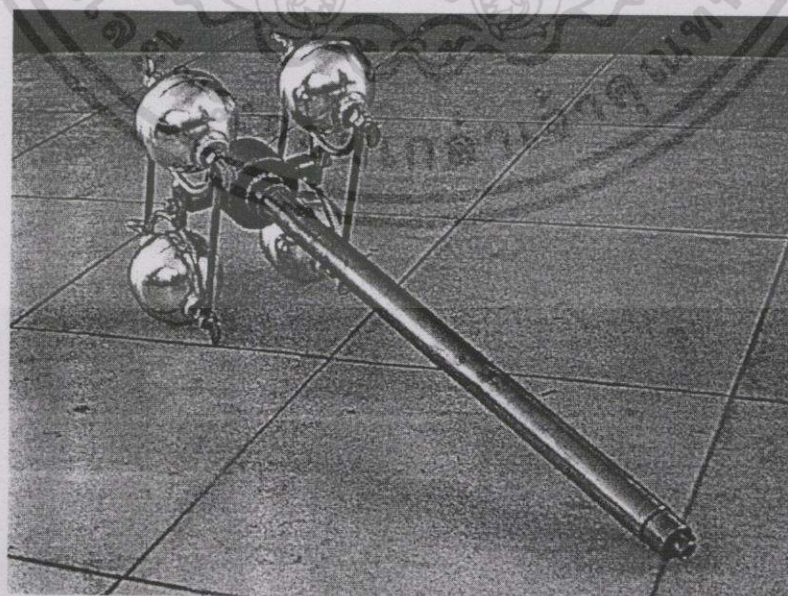
รูปที่ 3.8 สะพานไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (3.2) แกนรอง เป็นแกนที่ทำหน้าที่หมุนแม่พิมพ์ในแนวตั้งฉากกับแกนหลัก ทำจาก เหล็กสเตนเลสขนาด 10 มิลลิเมตรปลายทั้งสองด้านทำเป็นเกลียวขนาด 8 มิลลิเมตร สำหรับยึดกับตัวยึดแม่พิมพ์ ตรงกลางแกนจะมีเฟืองดอกจอก และมีตัว ยึดป้องกันการเลื่อนตำแหน่ง รูปแกนรองแสดงดังรูปที่ 3.9 และเมื่อประกอบแกน หลักเข้ากับแกนรองจะได้แขนหมุนดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.9 แกนรอง



รูปที่ 3.10 แขนหมุนของเครื่องอัดแบบชนิดหมุน

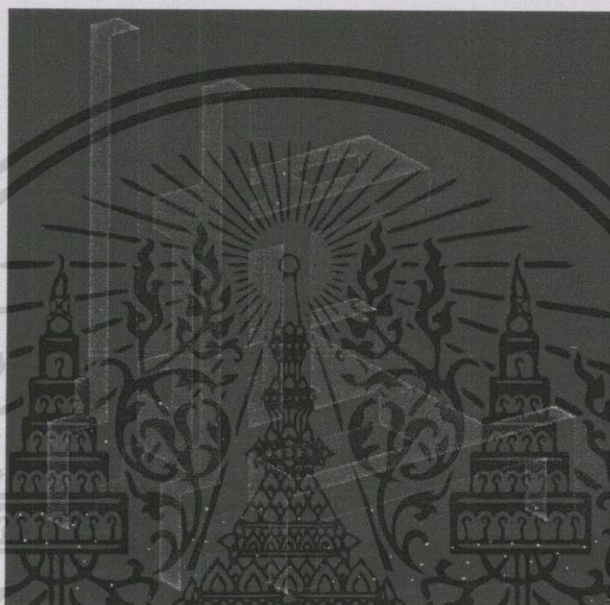
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) แผ่นครอบ

เนื่องจากการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนขณะที่เครื่องมือทำงาน ดังนั้นเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นจากภายนอก และความปลอดภัยแก่ผู้ใช้ จึงต้องมีแผ่นครอบป้องกันบริเวณดังกล่าว

(5) โครงเหล็ก

โครงเหล็กจะใช้ในการยึดส่วนประกอบต่างๆ เข้าด้วยกัน ทำจากเหล็กขนาดหน้าตัด 50x50 มิลลิเมตร หนา 1 มิลลิเมตร นำมาเชื่อมต่อกันดังรูปที่ 3.11 แล้วเคลือบสีเพื่อป้องกันสนิม



รูปที่ 3.11 โครงเหล็ก

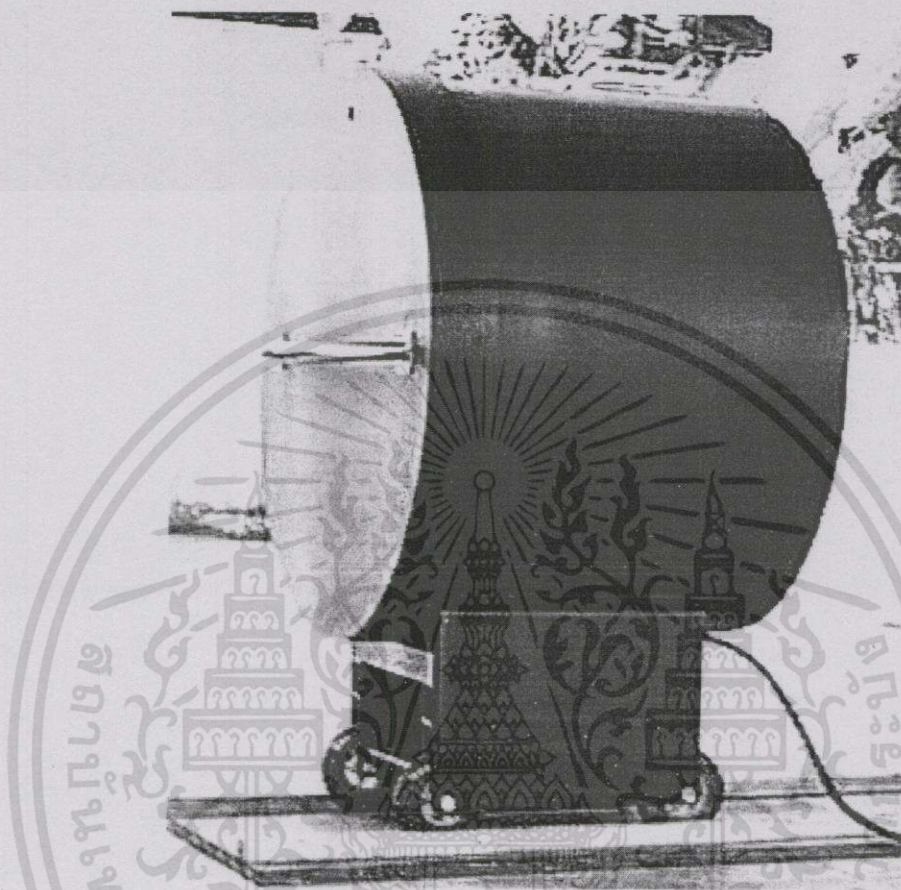
(6) เตาอบ

โครงเตาอบทำจากแผ่นเหล็กหนา 1.2 มิลลิเมตรตัดเป็นทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 เซนติเมตร 1 ชั้น เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร 1 ชั้น แต่ละชั้นสูง 40 เซนติเมตร ฝาปิดทั้งสองด้านทำด้วยวัสดุชนิดเดียวกันตัดเป็นรูปวงกลม 2 ชั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 61 เซนติเมตร นำชิ้นส่วนทั้งหมดมาเชื่อมต่อกันและบุช่องว่างระหว่างแผ่นเหล็กทั้งสองด้วยฉนวนที่ทำจากใยแก้ว

ภายในเตาอบจะมีตะแกรงเหล็กหนา 1.2 มิลลิเมตร กว้าง 110 เซนติเมตร ยาว 55 เซนติเมตร ใช้สำหรับยึดด้วยเซรามิกซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับกำหนดตำแหน่งของขดลวดให้ความร้อน ส่วนประกอบของเตาอบและการติดตั้งขดลวดความร้อนแสดงดังรูปที่ 3.12 และ 3.13

ฝาเตาอบจะถูกเชื่อมยึดอยู่กับโครงเหล็ก ที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของฝาเตาอบจะถูกเจาะเป็นรูสำหรับสอดแขนหมุน และติดตั้งตัววัดอุณหภูมิ แสดงดังรูปที่ 3.14 ด้านล่างของเตาอบจะมีล้อขนาด 4 นิ้ว จำนวน 4 ล้อ เพื่อให้เตาอบเลื่อนไปมาบนรางที่ทำจากไม้ได้สะดวก

- (7) รางเลื่อน ทำจากไม้อัดหนา 15 มิลลิเมตร ใช้สำหรับกำหนดตำแหน่งของเตาอบให้สวม
ปิดกับฝาเตาอบได้สนิท แสดงดังรูปที่ 3.15

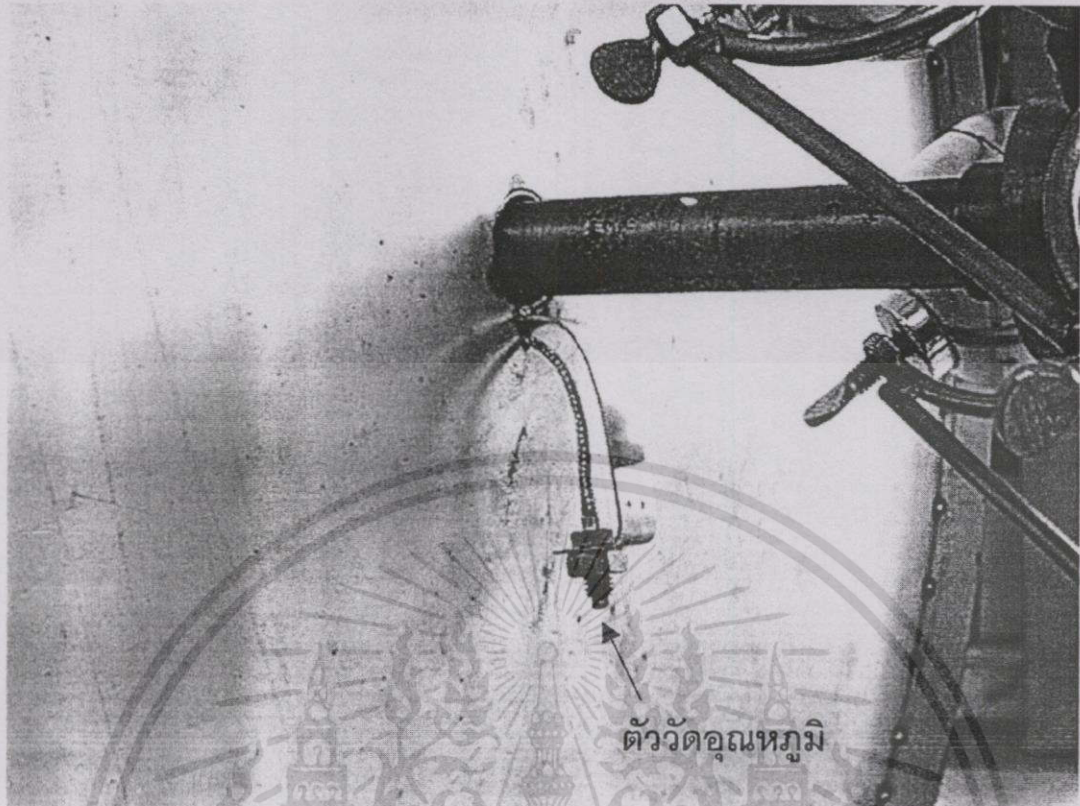


รูปที่ 3.12 ส่วนประกอบของเตาอบ

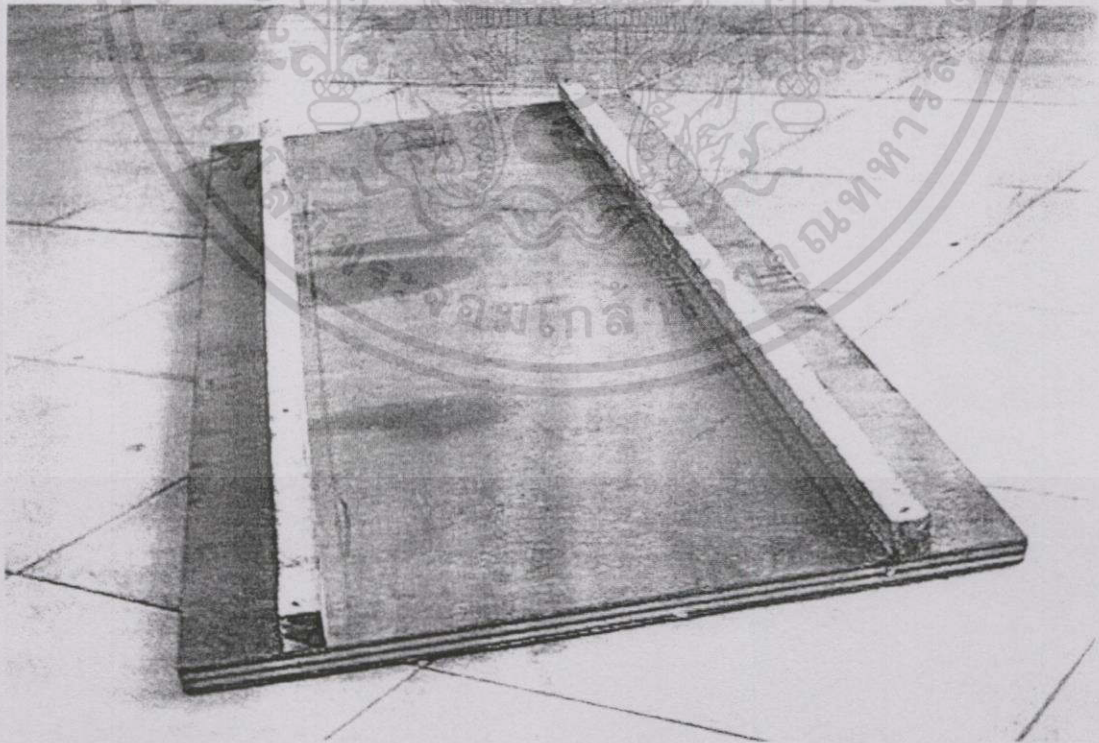


รูปที่ 3.13 การวางตำแหน่งของขดลวดให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 ฝาเตาอบ และการติดตั้งตัววัดอุณหภูมิ



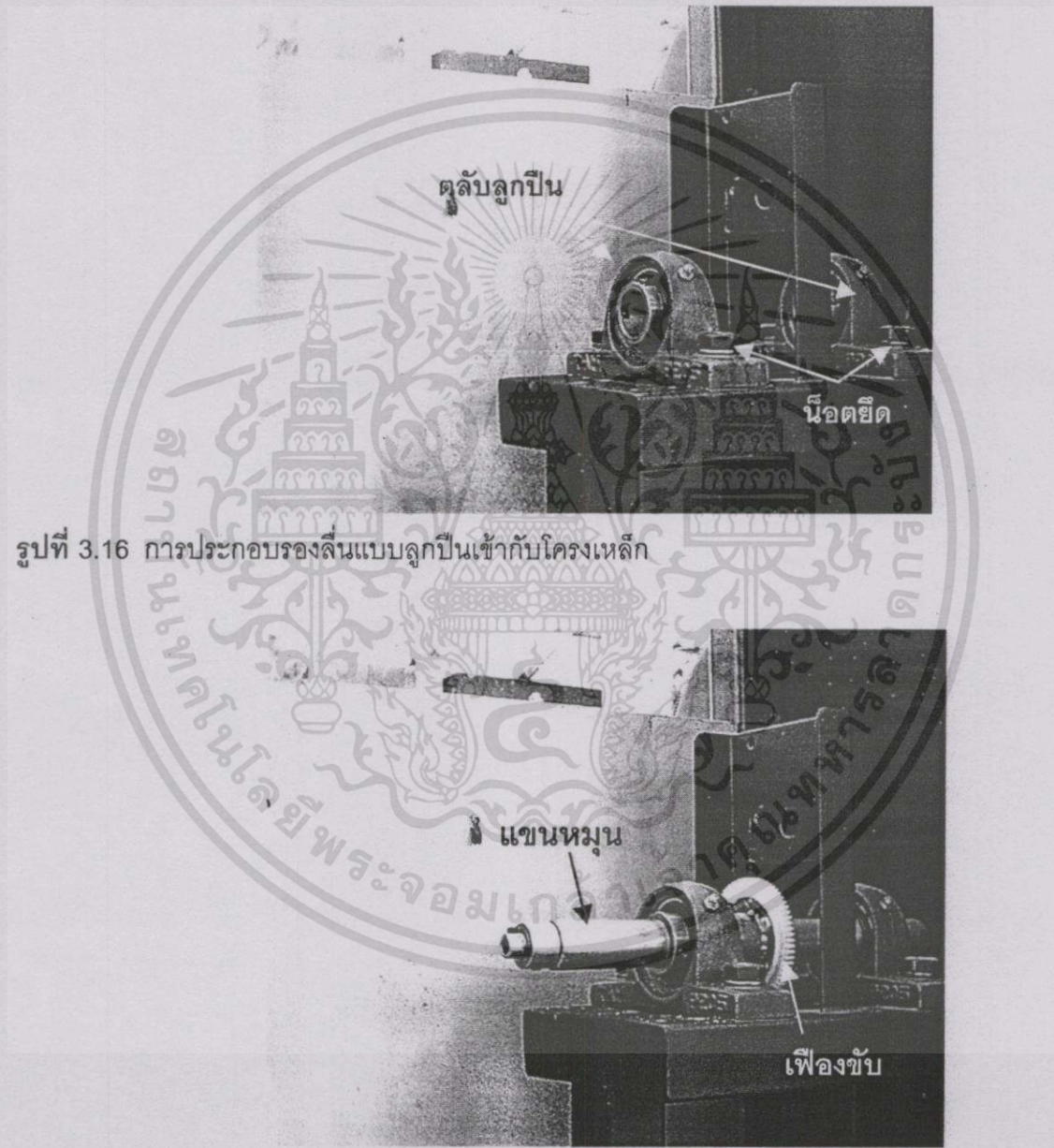
รูปที่ 3.15 รางเลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.2 การประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เข้ากับโครงเหล็ก

(1) การประกอบแกนหมุนเข้ากับโครงเหล็ก

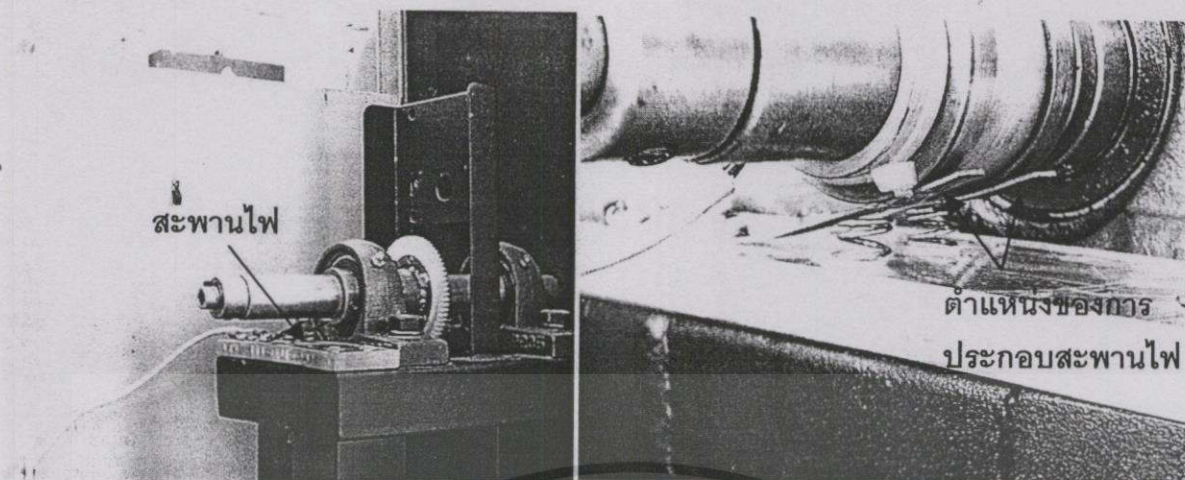
แกนหมุนที่ประกอบแล้วดังรูปที่ 3.10 จะนำมาสวมเข้ากับรองลื่นแบบตลับลูกปืนที่ยึดอยู่บนโครงเหล็ก จากนั้นประกอบเฟืองขับเข้ากับแกนหมุน และประกอบสะพานไฟทั้งสองชิ้นเข้ากับโครงเหล็กและกับแกนหมุน โดยให้ตำแหน่งของตัวนำไฟฟ้าตรงกัน ดังรูปที่ 3.16 – 3.18



รูปที่ 3.16 การประกอบรองลื่นแบบลูกปืนเข้ากับโครงเหล็ก

รูปที่ 3.17 การประกอบแกนหมุนและเฟืองขับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 การประกอบสะพานไฟเข้ากับโครงเหล็ก

(2) การประกอบมอเตอร์ขั้วแกนหลัก

มอเตอร์จะถูกยึดกับแผงยึดมอเตอร์บริเวณส่วนบนของโครงเหล็ก โดยให้ร่องเฟืองที่ติดกับมอเตอร์เข้ากับร่องเฟืองขั้วของแกนหลักพอดี ดังรูปที่ 3.19

(3) การประกอบมอเตอร์ขั้วแกนรอง

ติดตั้งตัวยึดมอเตอร์เข้ากับแกนหลัก ดังรูปที่ 3.20 สวมมอเตอร์เข้ากับตัวยึดมอเตอร์ โดยให้แกนของมอเตอร์สวมเข้ากับแกนรองและยึดด้วยสกรูแบบตัวหนอน ดังรูปที่ 3.21

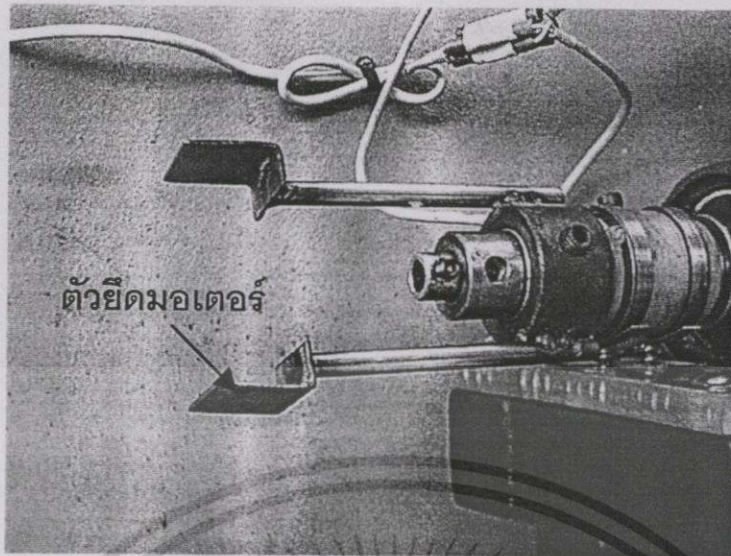
(4) การประกอบตู้ควบคุมและแผ่นครอบเครื่อง

ตู้ควบคุมจะยึดอยู่บนโครงเหล็กดังรูปที่ 3.22 และแผ่นครอบจะถูกสวมจากด้านหลังเครื่องแล้วยึดเข้ากับโครงเหล็กด้วยสกรู ดังรูปที่ 3.23

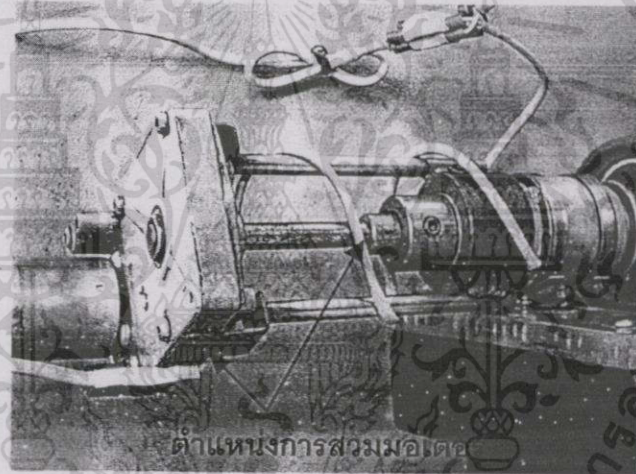


รูปที่ 3.19 ตำแหน่งของเฟืองมอเตอร์กับเฟืองขั้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 การประกอบตัวยึดมอเตอร์เข้ากับแขนหมุน



รูปที่ 3.21 การประกอบมอเตอร์เข้ากับตัวยึดมอเตอร์และแกนรอง



รูปที่ 3.22 การประกอบตู้ควบคุมเข้ากับโครงเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 การติดแผ่นครอบเครื่อง

3.3.2 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือ

3.3.2.1 การทดสอบความเที่ยงตรงในการปรับอุณหภูมิและการรักษาอุณหภูมิในเตาอบ

1. เปิดเตาอบ ตั้งอุณหภูมิเตาอบที่ 150 องศาเซลเซียส ตั้งเวลาให้ความร้อน 10 นาที
2. ใช้เทอร์โมมิเตอร์อ่านค่าอุณหภูมิภายในเตาอบทุกๆ 30 วินาที จนครบ 10 นาที พร้อมทั้งบันทึกผลการทดลองที่ได้
3. ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนอุณหภูมิเป็น 180 200 และ 250 องศาเซลเซียส

3.3.2.2 การทดสอบอัตราการทำความร้อน

1. วัดอุณหภูมิภายในเตาอบ
2. ตั้งอุณหภูมิเตาอบที่ 150 องศาเซลเซียส แล้วเปิดเตาอบ
3. จับเวลาตั้งแต่เริ่มทำความร้อนจนกระทั่งตัวควบคุมอุณหภูมิตัดการให้ความร้อน บันทึกผลการทดลองที่ได้
4. ทำการทดลองซ้ำในข้อ 1-3 โดยเปลี่ยนอุณหภูมิเป็น 180 200 และ 250 องศาเซลเซียส
5. ทดลองเหมือนข้อ 1-4 โดยเปลี่ยนเตาอบเป็นรุ่น ULM 400, Isotemp 825F, Isotemp 750F, และ Furnace 6000

3.3.2.3 การทดสอบความสามารถในการปรับความเร็วรอบ

1. ปรับแรงดันไฟฟ้าที่ให้กับมอเตอร์ไปที่ 1 โวลต์
2. วัดความเร็วรอบของแกนหมุน บันทึกผลการทดลองที่ได้
3. ทำการทดลองซ้ำในข้อ 1-2 โดยปรับแรงดันไฟฟ้าครั้งละ 1 โวลต์จนกระทั่งแรงดันไฟฟ้าที่ให้กับมอเตอร์มีค่า 24 โวลต์
4. นำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความเร็วยรอบของแกนหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การขึ้นรูปชิ้นงาน

3.3.3.1 การคำนวณปริมาณพอลิเอทิลีนที่เติมลงในแม่พิมพ์

ในการทดลองจะกำหนดให้ชิ้นงานที่ได้มีความหนาเฉลี่ย 1 มิลลิเมตร จากการคำนวณดังตัวอย่างในภาคผนวก จ ต้องใช้ผงพอลิเอทิลีน 10 กรัม

3.3.3.2 ศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการขึ้นรูปผงพอลิเอทิลีน

1. ชั่งผงพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ 10 กรัม ใส่ลงในแม่พิมพ์ที่เคลือบด้วยสารป้องกันชิ้นงานติดแม่พิมพ์
2. ปิดแม่พิมพ์ให้สนิท
3. ยึดแม่พิมพ์เข้ากับแขนหมุนของเครื่องอัดแบบชนิดหมุนให้แน่น
4. ตั้งอุณหภูมิเตาอบที่ 150 องศาเซลเซียส ความเร็วของแกนหลัก 10 รอบต่อนาที ความเร็วของแกนรอง 10 รอบต่อนาที ตั้งเวลาการให้ความร้อนไว้ 5 นาที จากนั้นจึงเริ่มเดินเครื่อง
5. เมื่อถึงเวลาที่ตั้งไว้ เปิดฝาเตาอบออก หล่อเย็นแม่พิมพ์ด้วยน้ำและอากาศเย็น
6. เปิดแม่พิมพ์ ถอดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ และเก็บชิ้นงานไว้ทดสอบต่อไป
7. ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนอุณหภูมิเตาอบเป็น 180 200 230 และ 250 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

3.3.3.3 ศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในการขึ้นรูปผงพอลิเอทิลีน

ทำการทดลองคล้ายกับข้อ 3.3.3.2 โดยใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปที่ดีที่สุด (250 °C) แล้วเปลี่ยนเวลาการให้ความร้อนเป็น 10 15 20 และ 25 นาทีตามลำดับ

3.3.3.4 ศึกษาผลของความเร็วแกนหลักที่มีต่อลักษณะของชิ้นงาน

1. ชั่งผงพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ 10 กรัม ใส่ลงในแม่พิมพ์ที่เคลือบด้วยสารป้องกันชิ้นงานติดแม่พิมพ์
2. ปิดแม่พิมพ์ให้สนิท และยึดด้วยสกรู
3. ยึดแม่พิมพ์เข้ากับแขนหมุนของเครื่องอัดแบบชนิดหมุนให้แน่น
4. ตั้งอุณหภูมิเตาอบที่ดีที่สุดจากข้อ 3.3.3.2 ความเร็วของแกนหลัก 5 รอบต่อนาที ความเร็วของแกนรอง 5 รอบต่อนาที ตั้งเวลาการให้ความร้อนเท่ากับค่าที่ดีที่สุดจากข้อ 3.3.3.3 จากนั้นเริ่มเดินเครื่อง
5. เมื่อถึงเวลาที่ตั้งไว้ เปิดฝาเตาอบออก หล่อเย็นแม่พิมพ์ด้วยน้ำและอากาศเย็น
6. เปิดแม่พิมพ์ ถอดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ และเก็บชิ้นงานไว้ทดสอบต่อไป
7. ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนความเร็วของแกนหลักเป็น 10 15 และ 20 รอบต่อนาที ตามลำดับ

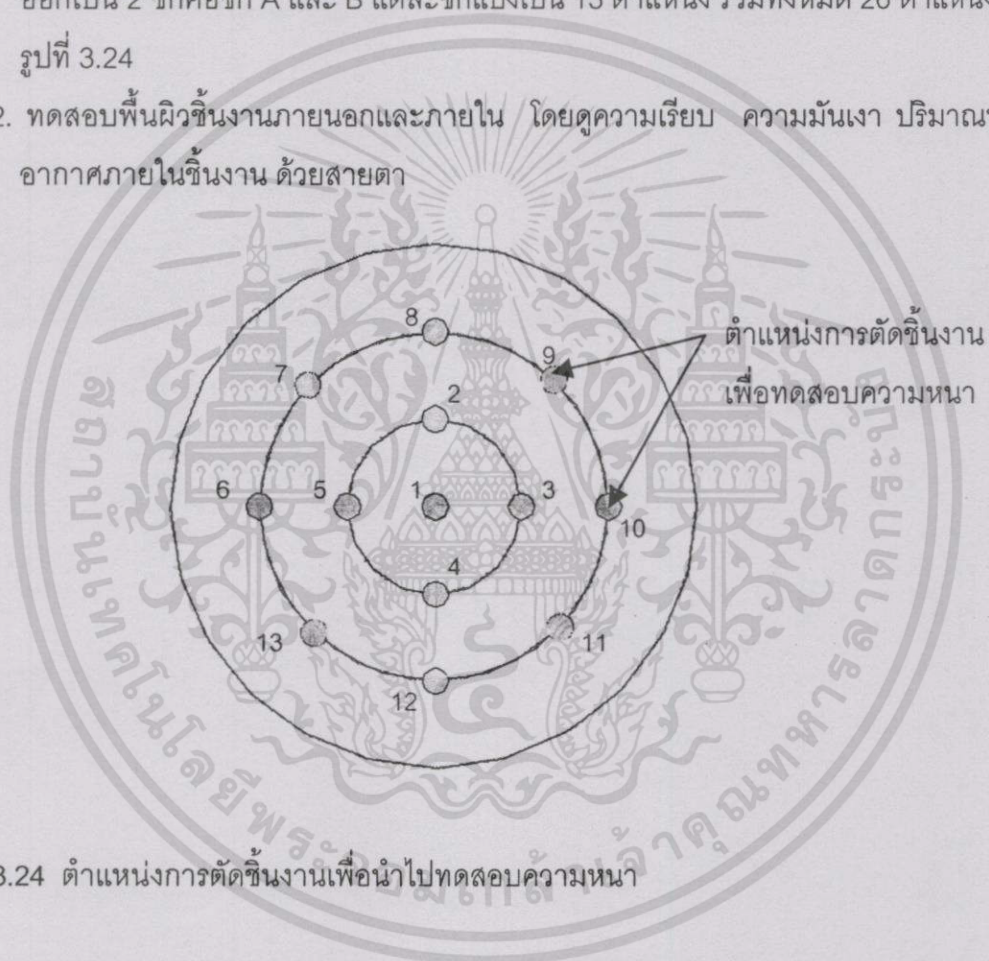
3.3.3.5 ศึกษาผลของความเร็วแกนรองที่มีต่อลักษณะของชิ้นงาน

ทำการทดลองคล้ายกับ 3.3.3.4 โดยในแต่ละความเร็วของแกนหลักจะเปลี่ยนความเร็วของแกนรองเป็น 10 15 และ 20 รอบต่อนาที ตามลำดับ

3.3.4 การทดสอบชิ้นงาน

นำชิ้นงานที่ได้จากตอนที่ 3.3.3.1-3.3.3.5 มาทดสอบสมบัติดังนี้

1. ทดสอบความหนาของชิ้นงาน โดยใช้ไมโครมิเตอร์ ซึ่งจะแบ่งตำแหน่งที่จะทดสอบชิ้นงาน ออกเป็น 2 ซีกคือซีก A และ B แต่ละซีกแบ่งเป็น 13 ตำแหน่ง รวมทั้งหมด 26 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 3.24
2. ทดสอบพื้นผิวชิ้นงานภายนอกและภายใน โดยดูความเรียบ ความมันเงา ปริมาณฟองอากาศภายในชิ้นงาน ด้วยสายตา



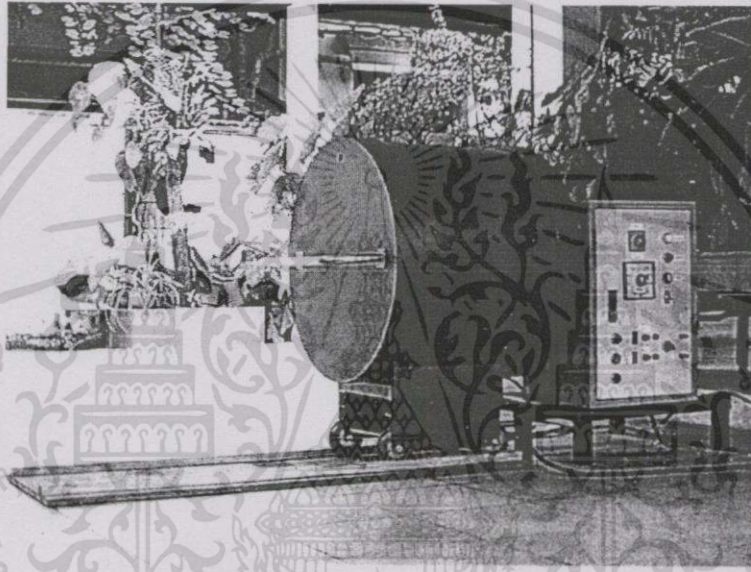
รูปที่ 3.24 ตำแหน่งการตัดชิ้นงานเพื่อนำไปทดสอบความหนา

บทที่ 4

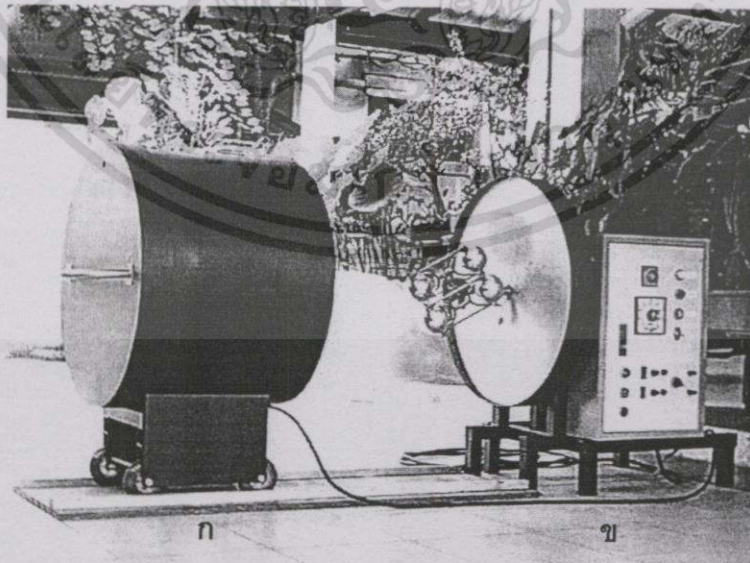
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 เครื่องมือที่สร้างขึ้น

จากการออกแบบและสร้างเครื่องมือตามหัวข้อ 3.3.1 จะได้เครื่องอัดแบบชนิดหมุนตามรูปที่ 4.1 ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นสองส่วนคือ ส่วนที่เป็นเตาอบซึ่งสามารถเลื่อนปิด-เปิดได้ และส่วนที่เป็นตัวขับเคลื่อนแขนหมุนและแม่พิมพ์ ดังรูปที่ 4.2



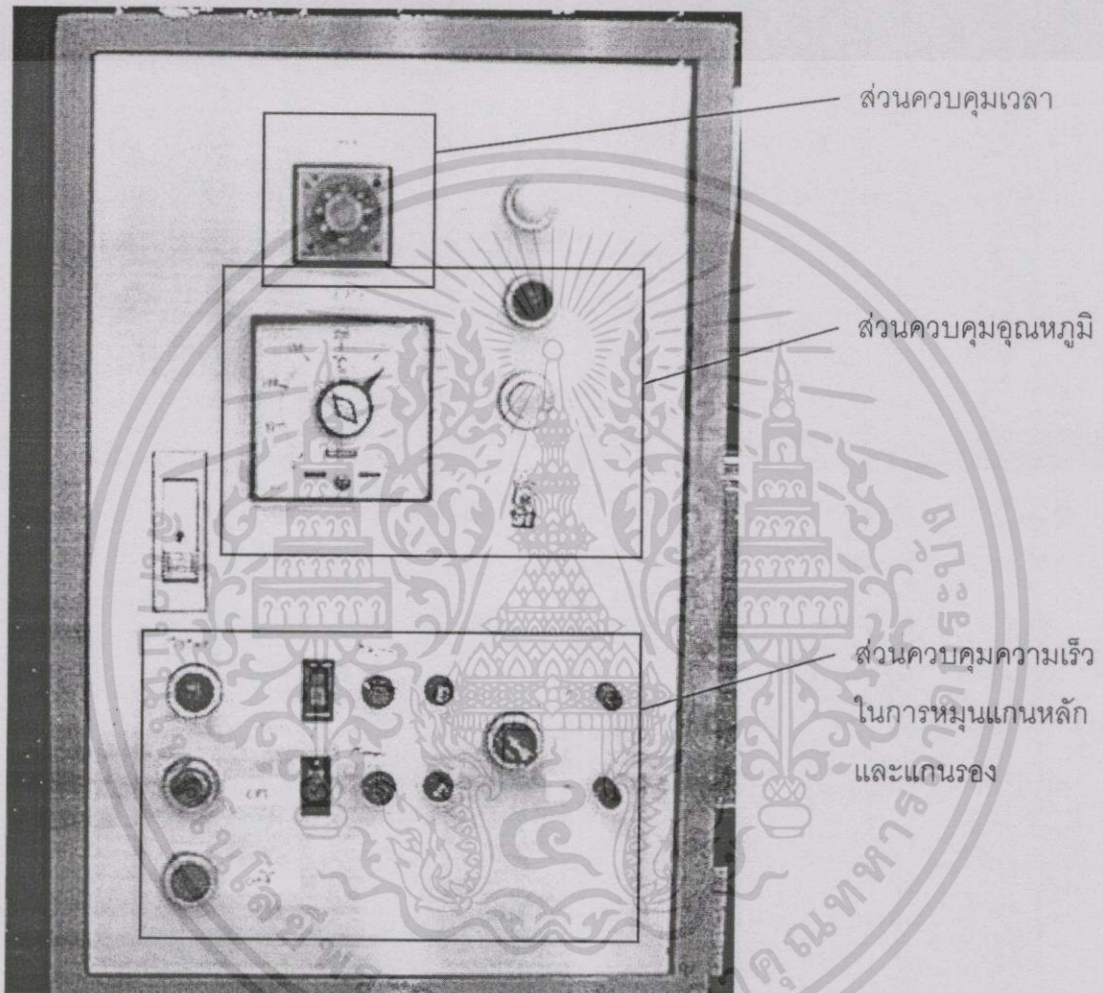
รูปที่ 4.1 เครื่องอัดแบบชนิดหมุนที่สร้างขึ้น



รูปที่ 4.2 ส่วนประกอบของเครื่องอัดแบบชนิดหมุน (ก) ส่วนที่เป็นเตาอบซึ่งสามารถเลื่อนปิด-เปิดได้ (ข) ส่วนที่เป็นตัวขับเคลื่อนแขนหมุนและแม่พิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของการควบคุมการทำงานของเครื่องอัดแบบชนิดหมุนจะสามารถแยกออกได้เป็น 3 ส่วนคือ ส่วนควบคุมเวลา ส่วนควบคุมอุณหภูมิ และส่วนควบคุมความเร็วของแกนหลักและแกนรอง โดยส่วนควบคุมแต่ละส่วนจะถูกรวมไว้ในตู้ควบคุมดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แผงควบคุมการทำงานของเครื่องอัดแบบชนิดหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือ

การขึ้นรูปพลาสติกด้วยกระบวนการอัดแบบชนิดหมุน ตัวแปรสำคัญคือการให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ซึ่งสัมพันธ์กับประสิทธิภาพของเตาอบ และการหมุนแม่พิมพ์ซึ่งสัมพันธ์กับการควบคุมมอเตอร์ที่ใช้หมุนแกน

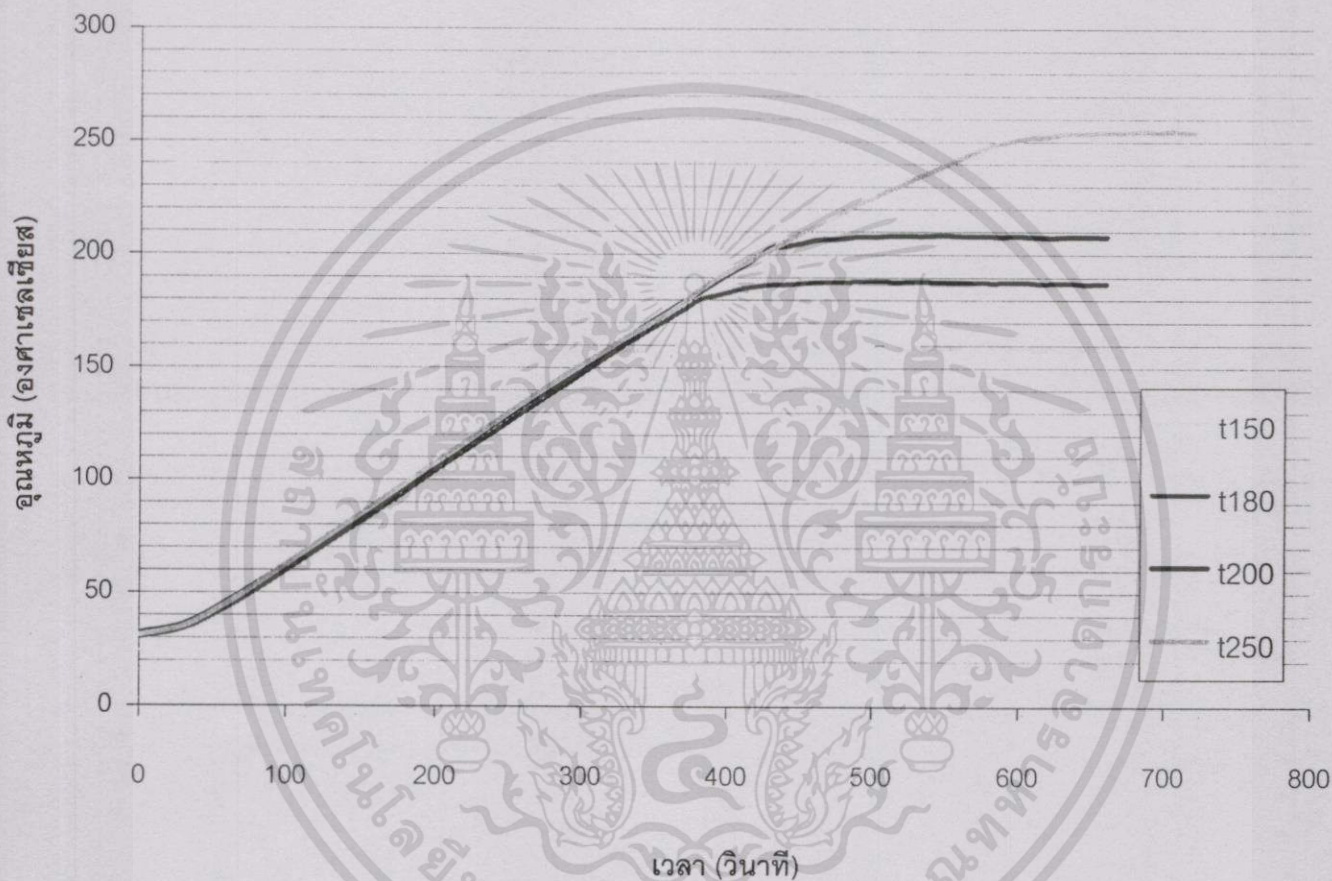
4.2.1 การทดสอบประสิทธิภาพของเตาอบ

ตัวแปรที่กำหนดประสิทธิภาพของเตาอบมีดังนี้

1. ความเที่ยงตรงของอุณหภูมิ จากผลการทดลองในตารางที่ 4.1 พบว่าเตาอบที่สร้างขึ้นมีอุณหภูมิสูงกว่าที่ตั้งไว้ 1.68 – 5.87 % ซึ่งค่าความผิดพลาดจะมีค่าน้อยลงเมื่อตั้งอุณหภูมิของเตาอบให้สูงขึ้น สาเหตุที่ผลการทดลองเป็นเช่นนี้เนื่องจากประสิทธิภาพในการเก็บความร้อนลดลงเมื่ออุณหภูมิของเตาอบมากขึ้น
2. การรักษาอุณหภูมิให้คงที่ จากรูปที่ 4.4 พบว่าเมื่ออุณหภูมิเตาอบสูงขึ้นจนถึงค่าที่ตั้งไว้ อุณหภูมิจะเริ่มคงที่โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง ± 0.24 ถึง ± 1.6 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิของเตาอบจะสัมพันธ์กับประสิทธิภาพของตัวควบคุมอุณหภูมิโดยตรง
3. อัตราเร็วในการทำความร้อน เป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดเวลาของรอบการขึ้นรูปของชิ้นงาน และส่งผลต่ออัตราการผลิตโดยตรง จากผลการทดลองในตารางที่ 4.2 รูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 พบว่าเตาอบที่สร้างขึ้นใช้เวลาในการทำความร้อนน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเตาอบรุ่นอื่นที่นำมาทดสอบ ทั้งนี้เนื่องจากสาเหตุสำคัญ 3 ประการคือ ประการแรกคือการติดตั้งชดลวดให้ความร้อน โดยเตาอบ รุ่น ULM400, Isotemp 825F, Isotemp 750F และ Furnace 6000 จะมีแผ่นกั้นระหว่างชดลวดให้ความร้อนกับช่องว่างภายในเตาอบ ซึ่งทำให้ต้องมีการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในเตาอบสองขั้นตอนคือ ถ่ายเทความร้อนจากชดลวดไปที่แผ่นกั้น และถ่ายเทความร้อนจากแผ่นกั้นไปยังช่องว่างภายในเตาอบ การติดตั้งแผ่นกั้นนี้มีข้อดีคือ ช่วยให้อุณหภูมิของเตาอบสม่ำเสมอ และช่วยป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับชดลวดให้ความร้อน และผู้ใช้งาน แต่ใช้เวลาในการทำความร้อนมาก ต่างจากเตาอบที่สร้างขึ้นที่ไม่ได้ติดแผ่นกั้นซึ่งสามารถถ่ายเทความร้อนจากชดลวดเข้าสู่เตาอบได้โดยตรงทำให้มีอัตราการทำความร้อนสูง แต่มีข้อเสียคืออุณหภูมิไม่สม่ำเสมอ และต้องใช้ความระมัดระวังในการใช้งานสูง ประการที่สอง ผนังด้านในเตาอบที่แตกต่างกัน โดยในรุ่น ULM400, Isotemp 825F และ Isotemp 750F จะมีรางสำหรับใส่ตะแกรงวางชิ้นงานที่ต้องการอบทำให้ต้องออกแบบให้ผนังมีความหนาพอที่จะรับน้ำหนักได้ ซึ่งต่างจากผนังเตาอบที่สร้างขึ้นไม่จำเป็นต้องรับแรงทำให้ใช้ผนังที่มีความบางได้ ผลก็คือเตาอบที่มีผนังด้านในบางจะสูญเสียพลังงานน้อยกว่าเตาอบที่มีผนังด้านในหนา ประการสุดท้ายคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังวัตต์ของตัวทำความร้อนต่อปริมาตรของเตาอบ ซึ่งเตาอบที่มีอัตราส่วนกำลังวัตต์ของตัวทำความร้อนต่อปริมาตรของเตาอบสูงจะสามารถทำความร้อนได้เร็วกว่าเตาอบที่มีอัตราส่วนกำลังวัตต์ของตัวทำความร้อนต่อปริมาตรของเตาอบต่ำ และเมื่อเปรียบเทียบเตาอบแต่ละรุ่นที่นำมาทดสอบพบว่าเตาอบที่สร้างขึ้นมาอัตราส่วนกำลังวัตต์ต่อปริมาตรสูงสุด (ภาคผนวก จ)



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเตาอบกับเวลา

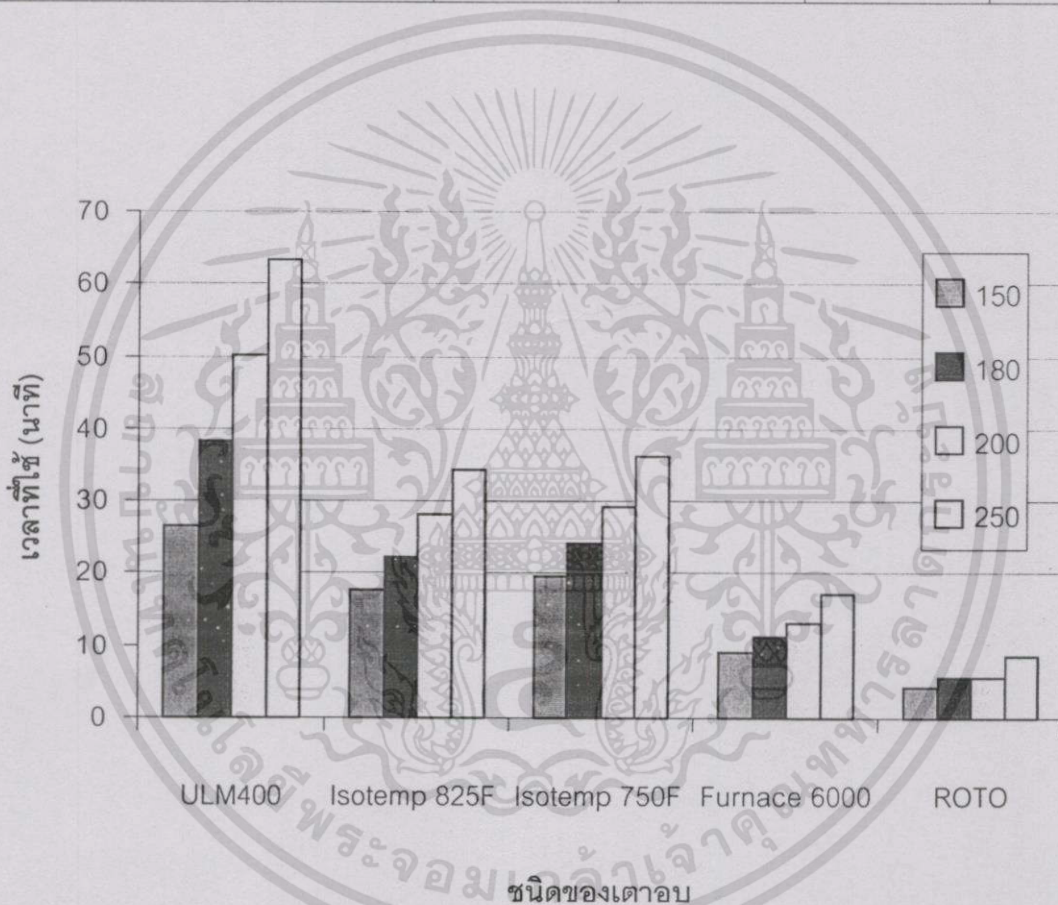
ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิเฉลี่ยที่วัดได้ในเตาอบเทียบกับอุณหภูมิที่ตั้งไว้

อุณหภูมิที่ตั้งไว้ (°C)	150	180	200	250
อุณหภูมิเฉลี่ยที่วัดได้ (°C)	159	188	207	254
ความผิดพลาด (%)	5.87	4.28	3.50	1.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

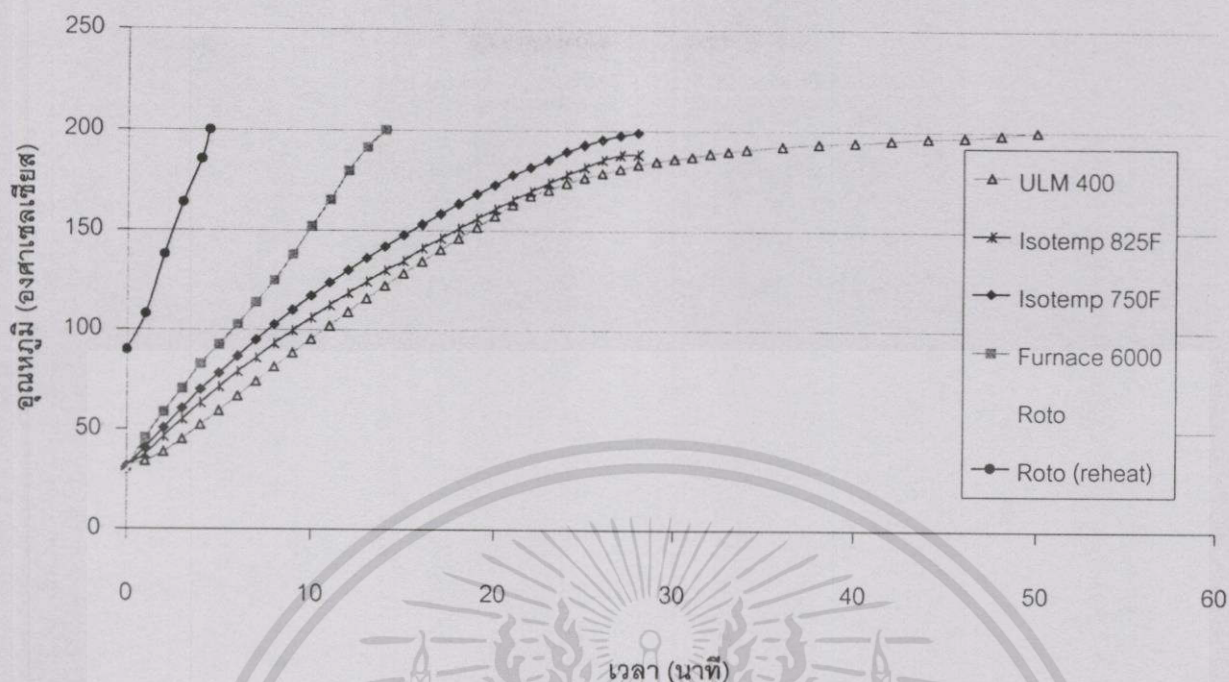
ตารางที่ 4.2 เวลาที่เตาอบรุ่นต่างๆ ใช้ในการทำความร้อนให้ได้ตามอุณหภูมิที่ตั้งไว้

อุณหภูมิที่ตั้งไว้ (°C)	เวลาที่เตาอบรุ่นต่างๆ ใช้ในการทำความร้อน (นาที)				
	ULM400	Isotemp 825F	Isotemp 750F	Furnace 6000	ROTO
150	26.43	17.59	19.47	9.22	4.42
180	38.29	22.32	24.12	11.37	5.53
200	50.20	28.19	29.34	13.11	5.55
250	63.33	34.42	36.09	17.22	8.52



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำความร้อนของเตาอบแต่ละรุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบอัตราการทำความร้อนของเตาอบแต่ละเครื่องที่อุณหภูมิ 200 °C

4.2.2 การทดสอบประสิทธิภาพในการปรับความเร็วรอบ

จากการทดลองที่ 3.3.2.3 สามารถนำผลการทดลองมาสร้างเป็นกราฟมาตรฐานสำหรับการปรับความเร็วรอบของแกนหมุนที่ขับเคลื่อนโดยมอเตอร์กระแสตรงได้ดังรูปที่ 4.7 และ 4.8 พบว่าได้กราฟที่เป็นเส้นตรง ซึ่งสอดคล้องกับกฎของโอห์ม (Ohm's Laws) และกฎทางแม่เหล็กไฟฟ้า [34] ดังสมการ 4.1 – 4.3

$$V = IR \quad (4.1)$$

$$F = BLI \quad (4.2)$$

$$F = BLV/R \quad (4.3)$$

เมื่อกำหนดให้

V = แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)

I = กระแสภายในขดลวดตัวนำ (แอมแปร์)

R = ความต้านทานของขดลวดตัวนำ (โอห์ม)

F = แรงที่กระทำต่อขดลวดตัวนำ (นิวตัน)

L = ความยาวของขดลวดตัวนำ (เมตร)

B = ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (เทสลา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ 4.3 แสดงให้เห็นถึงความแปรผันโดยตรงระหว่างแรงที่ทำให้เกิดการหมุนของมอเตอร์ กับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ กล่าวคือเมื่อให้แรงดันไฟฟ้ามากความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ใช้ควบคุมความเร็วของแกนหลักและแกนรองจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตามหากมีการปรับแต่งชิ้นส่วนของเครื่องมือ หรือการบำรุงรักษาที่มีการถอดชิ้นส่วนแล้วประกอบใหม่จำเป็นต้องสร้างกราฟมาตรฐานใหม่เพื่อความถูกต้องของเครื่องมือให้แม่นยำมากขึ้น

4.3 การทดสอบการขึ้นรูปชิ้นงาน

ในการขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติกด้วยกระบวนการอัดแบบชนิดหมุน วัสดุจะถูกหลอมเหลวและถูกเหวี่ยงให้เคลือบผิวภายในของแม่พิมพ์อย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นการขึ้นรูปชิ้นงานที่สมบูรณ์จะต้องให้ความร้อนและเวลาเพียงพอที่จะทำให้วัสดุนั้นเกิดการหลอมเหลวให้มีความหนืดที่เหมาะสมโดยที่วัสดุไม่เกิดการเสียคุณภาพ และต้องอาศัยการหมุนของแกนหลักและแกนรองที่เหมาะสมจึงจะเกิดการเคลือบผิวที่สม่ำเสมอ

4.3.1 ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการขึ้นรูปผงพอลิเอทิลีนด้วยเครื่องมือที่จัดสร้างขึ้น จากผลการทดลองในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.9 พบว่าอุณหภูมิของเตาอบมีผลต่อชิ้นงานดังนี้

1. ผลของอุณหภูมิเตาอบที่มีต่อปริมาณฟองอากาศภายในชิ้นงาน จากรูปที่ 4.9 พบว่าเมื่ออุณหภูมิของเตาอบเพิ่มขึ้นปริมาณฟองอากาศในชิ้นงานจะลดลง เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นพลาสติกจะมีความหนืดลดลงทำให้ฟองอากาศภายในชิ้นงานสามารถเคลื่อนที่ได้ดีขึ้น ซึ่งทำให้โอกาสที่ฟองอากาศจะเคลื่อนมาที่ผิวแล้วเกิดการสลายตัวได้มากขึ้น
2. ผลของอุณหภูมิเตาอบที่มีต่อผิวภายนอกชิ้นงาน จากตารางที่ 4.3 พบว่าผิวภายนอกของชิ้นงานจะเรียบและเป็นเงามันเมื่อใช้อุณหภูมิขึ้นรูปในช่วง $150-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ แต่เมื่ออุณหภูมิของเตาอบเพิ่มขึ้นมากกว่า $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ผิวภายนอกของชิ้นงานจะมีความมันเงาลดลงและสีของชิ้นงานเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งเนื่องมาจากการเสื่อมสภาพของพลาสติกที่ใช้
3. ผลของอุณหภูมิเตาอบที่มีต่อผิวภายในชิ้นงาน จากตารางที่ 4.3 พบว่าเมื่ออุณหภูมิของเตาอบเพิ่มขึ้นจะทำให้ผิวภายในของชิ้นงานเรียบ เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นพลาสติกจะมีความหนืดลดลง พอลิเมอร์ไหลไปตามผิวแม่พิมพ์ได้ง่าย ทำให้ผิวแม่พิมพ์ด้านในเรียบ
4. ผลของอุณหภูมิเตาอบที่มีต่อการปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ จากตารางที่ 4.3 พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิเตาอบในช่วง $150-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ จะสามารถปลดชิ้นงานได้ง่ายเนื่องจากพอลิเมอร์และสารป้องกันชิ้นงานติดแม่พิมพ์ยังไม่เกิดการเสียสภาพ แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเกิน $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ อาจเกิดการเสื่อมสภาพของวัสดุและสารป้องกันชิ้นงานติดแม่พิมพ์ และอากาศภายในแม่พิมพ์เกิดการขยายตัวมากทำให้ดันวัสดุให้ติดกับแม่พิมพ์จนแน่น ทำให้ปลดชิ้นงานได้ยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ลักษณะของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกัน (ใช้เวลา 15 นาที)

อุณหภูมิในการขึ้นรูป (°C)	ผิวภายนอก	ผิวภายใน	สีของชิ้นงาน	การถอดแบบ
150	เรียบ และ มันเงา	ขรุขระ	ขาว	ง่าย
180	เรียบ และ มันเงา	ขรุขระ	ขาว	ง่าย
200	เรียบ และ มันเงา	เรียบ	ขาว	ง่าย
230	เรียบ แต่ มันเงาลดลง	เรียบ	ขาวปนเหลือง	ยากขึ้น
250	เรียบ แต่ มันเงาลดลง	เรียบ	สีเข้มขึ้น	ยากมาก

ตารางที่ 4.4 ลักษณะของชิ้นงานที่ใช้เวลาขึ้นรูปแตกต่างกัน (อุณหภูมิขึ้นรูป 250 °C)

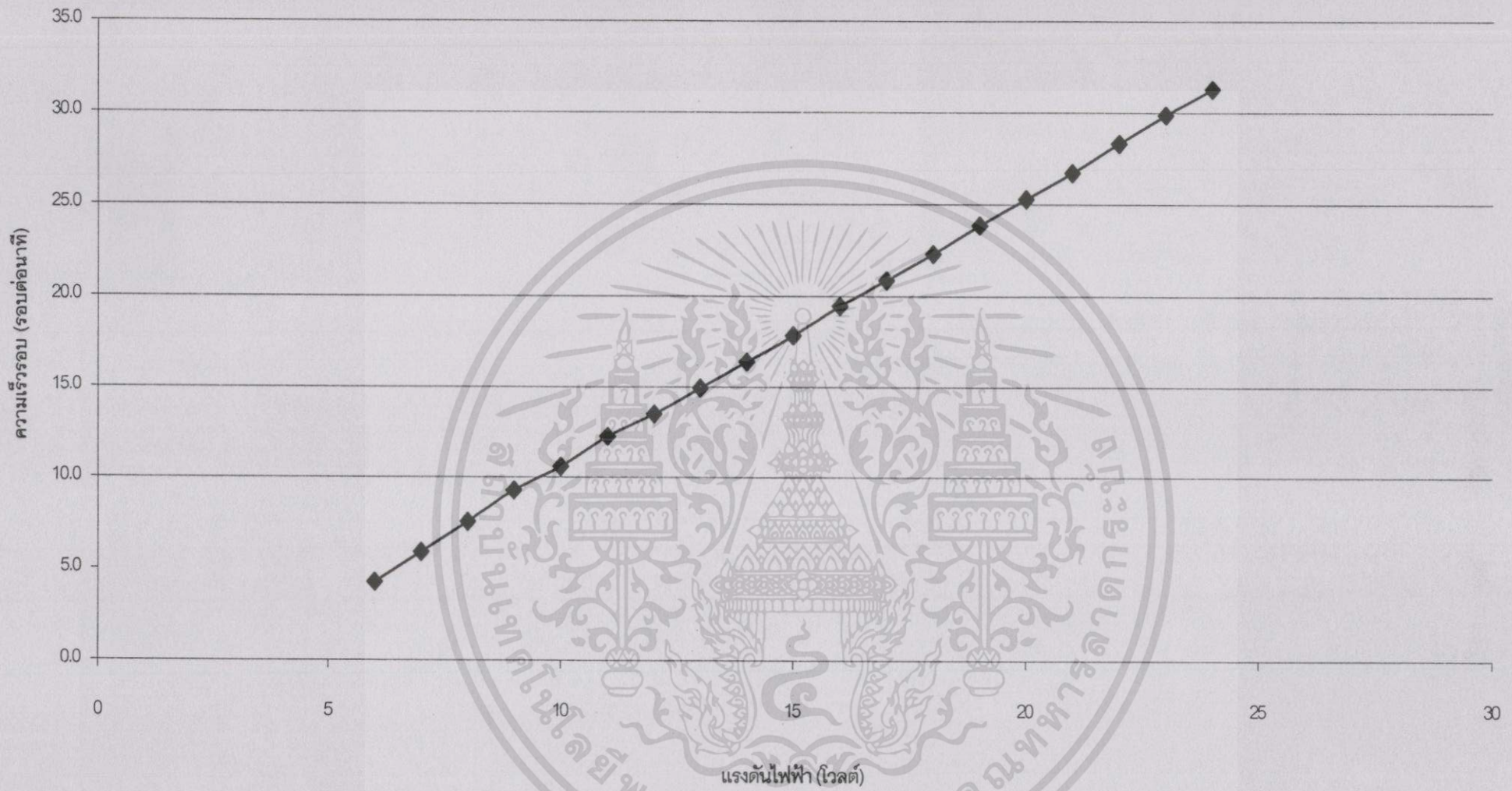
เวลาในการขึ้นรูป (นาที)	ผิวภายนอก	ผิวภายใน	สีของชิ้นงาน
5	เรียบ และ มันเงา	ขรุขระ	ขาว
10	เรียบ และ มันเงา	ขรุขระ	ขาว
15	เรียบ และ มันเงา	เรียบ	ขาว
20	เรียบ แต่ มันเงาลดลง	เรียบ	ขาวปนเหลือง

4.3.2 ศึกษาผลของเวลาที่มีต่อการขึ้นรูปผงพอลิเอทิลีน

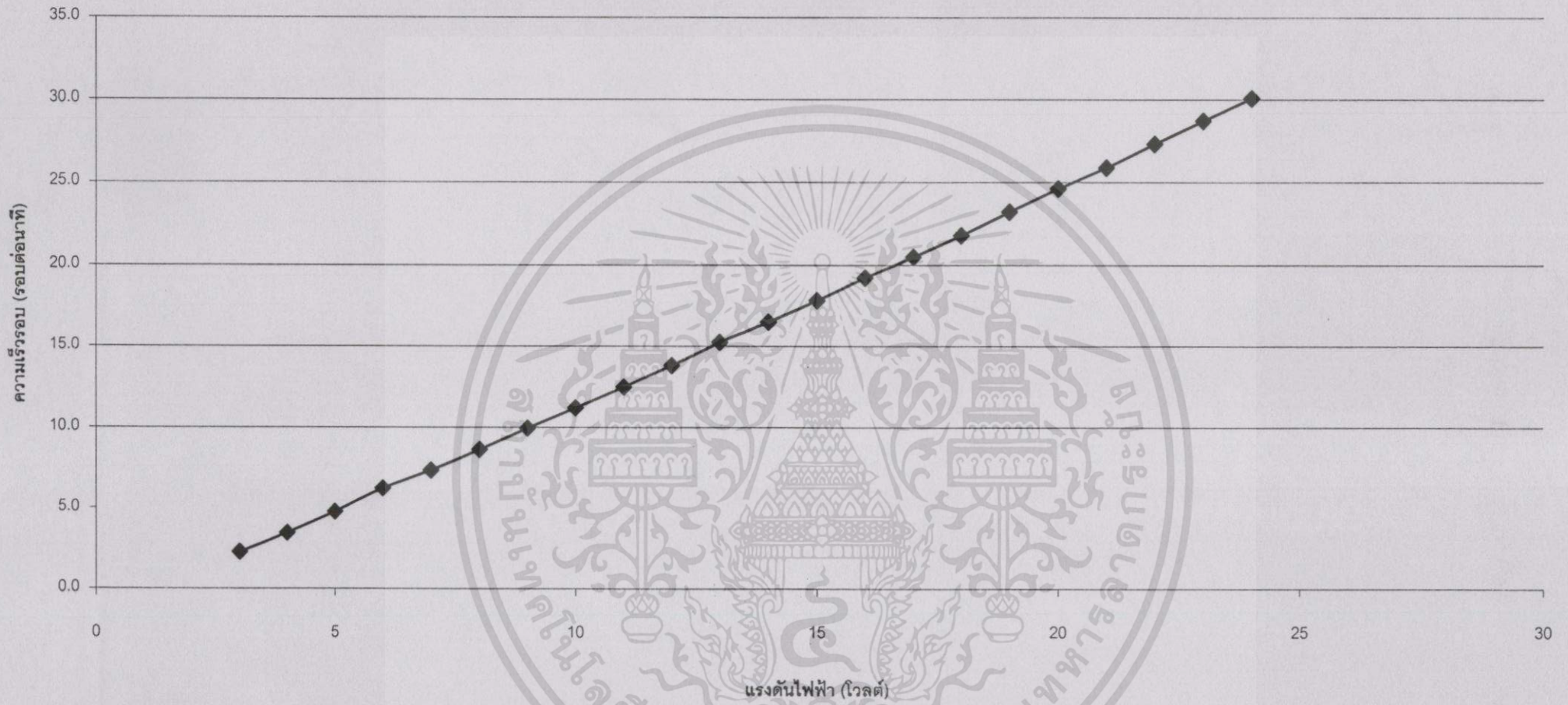
ผลการทดลองในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.10 พบว่าเวลาในการขึ้นรูปมีผลต่อชิ้นงานดังนี้

1. ผลของเวลาในการขึ้นรูปที่มีต่อปริมาณฟองอากาศภายในชิ้นงาน จากรูปที่ 4.10 พบว่าเมื่อใช้เวลาในการขึ้นรูปไม่เกิน 10 นาที ชิ้นงานที่ได้จะมีฟองอากาศมาก แต่เมื่อใช้เวลาในการขึ้นรูปเพิ่มขึ้นปริมาณฟองอากาศในชิ้นงานจะลดลง เนื่องจากเมื่อใช้เวลามากขึ้นพอลิเมอร์เกิดการหลอมอย่างสมบูรณ์ซึ่งทำให้ความหนืดลดลงดังนั้นโอกาสที่ฟองอากาศจะเคลื่อนมาที่ผิวแล้วเกิดการสลายตัวจึงมีมากขึ้น
2. ผลของเวลาในการขึ้นรูปที่มีต่อผิวภายนอกชิ้นงาน จากตารางที่ 4.4 พบว่าผิวภายนอกของชิ้นงานจะเรียบและเป็นเงามันเมื่อใช้เวลาในการขึ้นรูป 5-15 นาที แต่เมื่อใช้เวลาในการขึ้นรูปมากกว่า 15 นาที ที่อุณหภูมิ 250 °C ผิวภายนอกของชิ้นงานจะมีความมันเงาลดลงและสีของชิ้นงานเปลี่ยนแปลง ซึ่งเนื่องมาจากการเสื่อมสภาพของพลาสติกที่ใช้
3. ผลของเวลาในการขึ้นรูปที่มีต่อผิวภายในชิ้นงาน จากตารางที่ 4.4 พบว่าเวลาในการขึ้นรูปนานขึ้นจะทำให้ผิวภายในของชิ้นงานเรียบ เนื่องจากในขณะที่ใช้เวลาน้อยๆ การถ่ายเทความร้อนจากเตาอบไปยังแม่พิมพ์และจากแม่พิมพ์ไปยังพลาสติกยังทำได้ไม่ดีเนื่องจากแม่พิมพ์ยังมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเตาอบ พลาสติกจึงยังหลอมไม่สมบูรณ์ทำให้ความหนืดสูงไหลได้ไม่ดีทำให้ผิวภายในขรุขระ แต่เมื่อใช้เวลาในการขึ้นรูปมากขึ้นแม่พิมพ์มีอุณหภูมิสูงขึ้นเท่ากับเตาอบทำให้การถ่ายเทความร้อนทำได้ดีขึ้น พลาสติกเกิดการหลอมอย่างสมบูรณ์ทำให้ความหนืดลดลงไหลได้ดี มีผลให้ผิวด้านในของชิ้นงานเรียบ

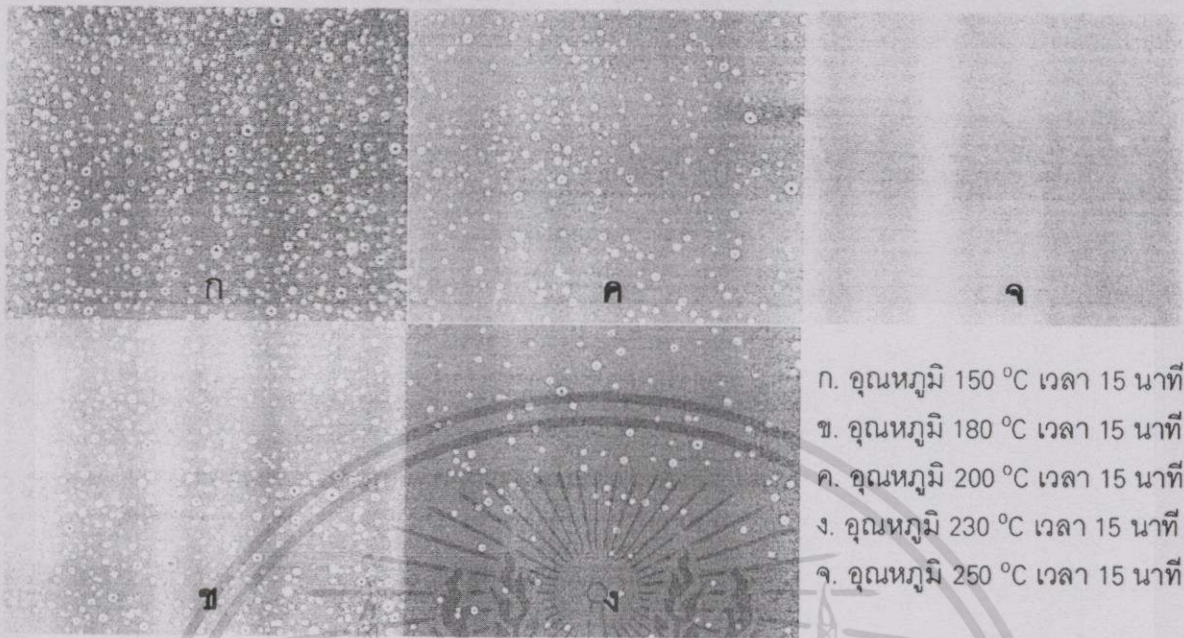
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็รรอบของแกนรอกกับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของแกนหลักกับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้



ก. อุณหภูมิ 150 °C เวลา 15 นาที
 ข. อุณหภูมิ 180 °C เวลา 15 นาที
 ค. อุณหภูมิ 200 °C เวลา 15 นาที
 ง. อุณหภูมิ 230 °C เวลา 15 นาที
 จ. อุณหภูมิ 250 °C เวลา 15 นาที

รูปที่ 4.9 ปริมาณฟองอากาศในชิ้นงานเมื่อใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปแตกต่างกัน



อุณหภูมิ 250 °C เวลา 5 นาที อุณหภูมิ 250 °C เวลา 15 นาที
 อุณหภูมิ 250 °C เวลา 10 นาที อุณหภูมิ 250 °C เวลา 20 นาที

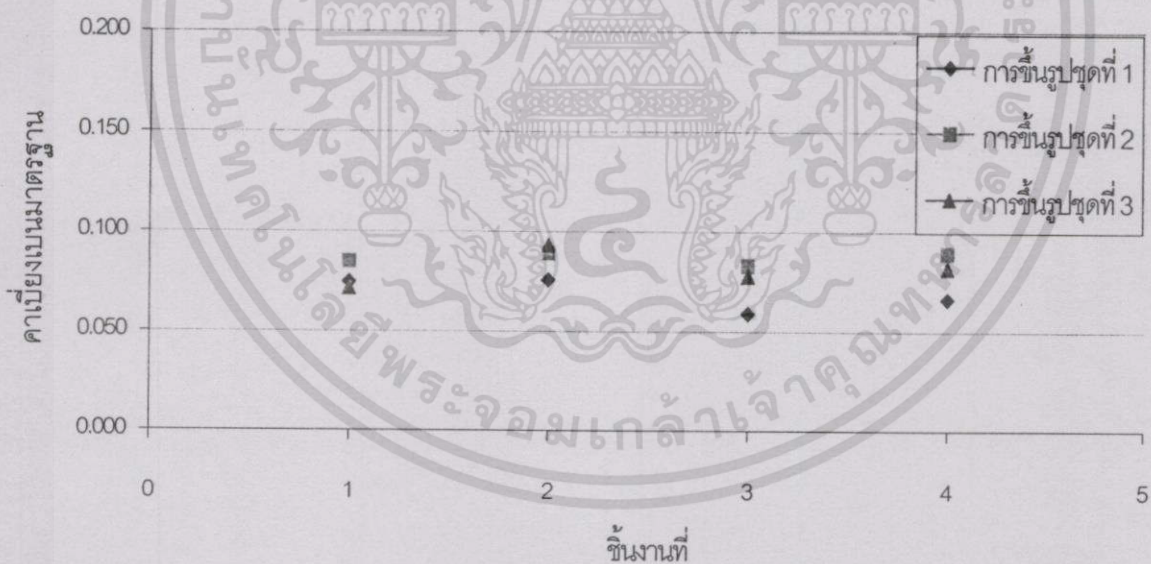
รูปที่ 4.10 ปริมาณฟองอากาศในชิ้นงานเมื่อใช้เวลาในการขึ้นรูปแตกต่างกัน

จากผลของการศึกษาอุณหภูมิเตาอบและเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป POLENE 520W จากข้อ 4.3.1 และ 4.3.2 ผู้วิจัยได้เลือกใช้อุณหภูมิ 200 °C และเวลา 15 นาทีในการศึกษาผลของความเร็ว แกนหมุนที่มีต่อความหนาของชิ้นงาน เนื่องจากสภาวะดังกล่าวสามารถขึ้นรูปชิ้นงานที่ให้ผิวชิ้นงานเรียบทั้งสองด้าน ชิ้นงานไม่เกิดการเสียคุณภาพและปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ได้ง่าย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ศึกษาความสัมพันธ์ของการขึ้นรูปชิ้นงาน

เครื่องมือที่สร้างขึ้นควรมีความสามารถในการผลิตชิ้นงานให้มีความสม่ำเสมอทั้งชิ้นงานภายในรอบการผลิตเดียวกันและชิ้นงานที่ผลิตในรอบการผลิตต่างกัน ซึ่งในเครื่องอัดแบบชนิดหมุนที่สร้างขึ้นสามารถผลิตชิ้นงานมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความหนาเฉลี่ย 0.068 ภายในรอบการผลิตเดียวกัน และ 0.073 ระหว่างรอบการผลิต ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.5 โดยค่าเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นอาจมีสาเหตุดังนี้

1. ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์กับแขนหมุนที่ไม่เท่ากันเนื่องจากข้อจำกัดทางเทคนิคที่ใช้ขึ้นรูปตัวยึดแม่พิมพ์ ทำให้แรงที่กระทำต่อแม่พิมพ์แต่ละคู่แตกต่างกัน
2. น้ำหนักและความหนาของแม่พิมพ์ที่สร้างขึ้นไม่เท่ากันทุกชิ้นเนื่องจากข้อจำกัดในการขึ้นรูป มีผลให้แรงเหวี่ยงในการทำให้ผงวัสดุเคลือบผนังแม่พิมพ์ไม่สม่ำเสมอ และความสามารถในการถ่ายเทความร้อนจากเตาอบเข้าสู่พอลิเมอร์ได้ไม่เท่ากันซึ่งอาจทำให้พอลิเมอร์ที่หลอมเหลวมีความหนืดแตกต่างกันในแต่ละแม่พิมพ์
3. การยึดมอเตอร์ขับเคลื่อนรูปที่ 3.21 ทำให้การหมุนแกนหลักไม่สม่ำเสมอเป็นผลให้แรงเหวี่ยงภายในแม่พิมพ์ไม่สม่ำเสมอ



รูปที่ 4.11 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานความหนาของชิ้นงานที่ผลิตในรอบการผลิตเดียวกันและระหว่างรอบการผลิต โดยใช้ความเร็วแกนหลัก:แกนรอง 5:10 รอบต่อนาที เวลา 15 นาที อุณหภูมิ 200 °C

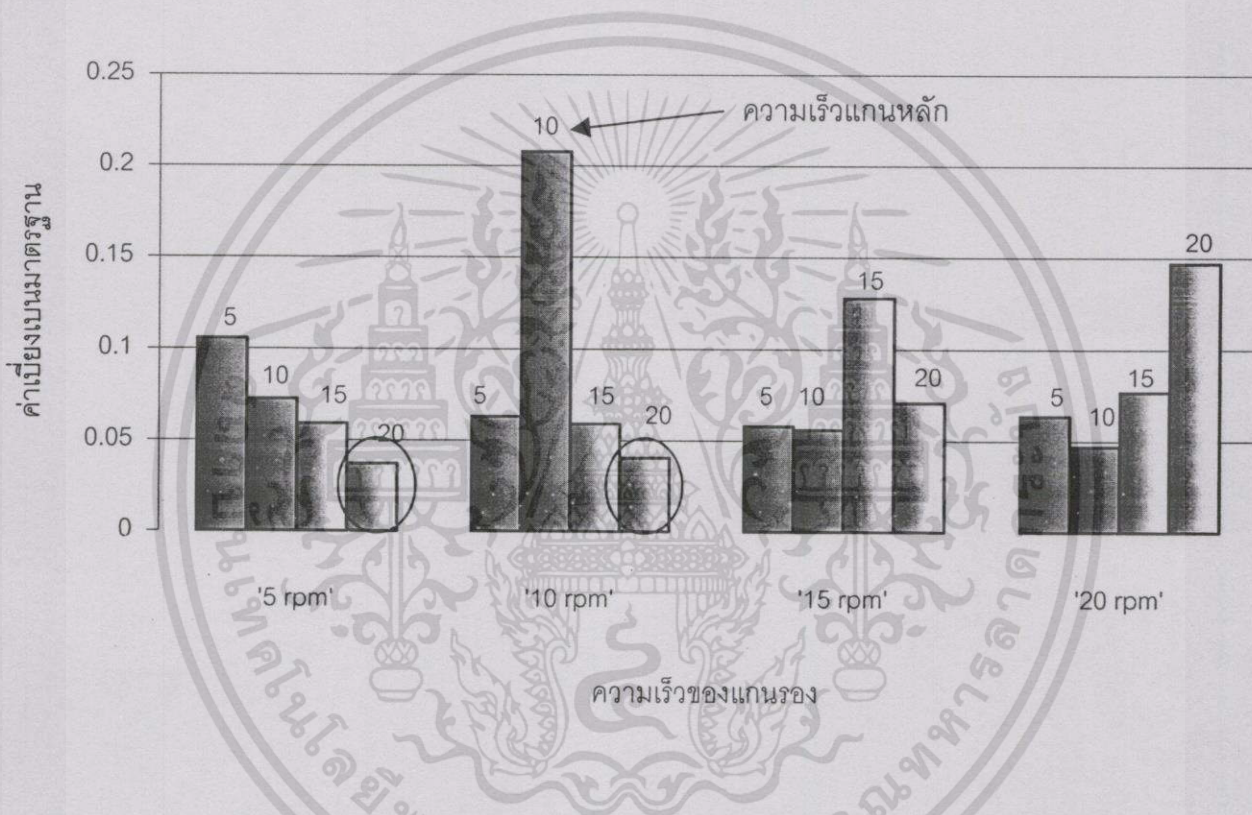
ตารางที่ 4.5 ความหนาในตำแหน่งต่างๆ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความหนาชิ้นงานที่ผลิต
 ในรอบการผลิตที่ 1 โดยใช้ความเร็วแกนหลัก:แกนรอง 5:10 รอบต่อนาที เวลา 15
 นาที อุณหภูมิ 200 °C

ตำแหน่งใน การวัด ความหนา	รอบการผลิตที่ 1								ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของแต่ละตำแหน่ง
	ชิ้นงานลูกที่ 1		ชิ้นงานลูกที่ 2		ชิ้นงานลูกที่ 3		ชิ้นงานลูกที่ 4		
	ซีก A	ซีก B	ซีก A	ซีก B	ซีก A	ซีก B	ซีก A	ซีก B	
1	1.195	1.069	1.131	1.158	1.096	1.186	1.155	1.020	0.061
2	1.105	1.034	1.040	0.941	1.122	1.144	1.108	1.116	0.075
3	1.158	1.072	1.047	1.093	0.965	1.130	0.966	1.146	
4	1.229	1.012	0.994	1.137	1.116	1.206	1.083	1.191	
5	1.019	1.041	1.040	1.175	1.144	1.132	1.115	0.968	
6	1.050	1.034	1.057	1.066	1.129	1.130	1.138	1.129	0.070
7	1.201	1.003	1.197	1.208	1.154	1.230	0.946	1.109	
8	1.082	1.007	1.142	0.983	1.163	1.091	1.091	1.113	
9	1.140	1.108	1.042	1.136	1.117	1.190	1.184	1.150	
10	1.180	1.135	0.935	1.058	1.082	1.183	1.191	1.124	
11	1.079	1.189	1.050	1.139	1.197	1.207	1.082	1.028	
12	1.184	1.208	1.067	1.141	1.123	1.072	1.119	1.139	
13	1.215	1.052	0.974	1.040	1.168	1.022	1.063	1.087	
ความหนาเฉลี่ย (มม.)	1.108		1.077		1.135		1.099		เฉลี่ย 0.068
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ ความหนาในลูกเดียวกัน	0.074		0.076		0.059		0.066		เฉลี่ย 0.069

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ศึกษาผลของความเร็วกแกนหลักและแกนรองที่มีต่อลักษณะของชิ้นงาน

จากรูปที่ 4.12 พบว่ามีชิ้นงานที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความหนาแน่นที่สุดใกล้เคียงกัน อยู่ 2 ค่า ซึ่งแสดงว่าชิ้นงานมีความหนาแน่นสม่ำเสมอของความหนาแน่นมากที่สุด โดยใช้ความเร็วกแกนหลักต่อความเร็วกแกนรอง เท่ากับ 20:5 รอบต่อนาที (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความหนา 0.0374) และ 20:10 รอบต่อนาที (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความหนา 0.0408) ซึ่งในการผลิตจริงควร เลือกใช้ความเร็วกแกนหลักต่อความเร็วกแกนรอง เท่ากับ 20:5 รอบต่อนาที เพราะใช้พลังงานน้อยกว่า



รูปที่ 4.12 ผลของความเร็วกแกนหลักและแกนรองที่มีต่อค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความหนาของชิ้นงาน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

จากผลทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือที่สร้างขึ้นและการทดสอบการขึ้นรูปชิ้นงาน สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. เต้าอบที่สร้างขึ้นใช้เวลาในการทำความร้อนน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับเต้าอบที่นำมาทดสอบทั้งหมด
2. ในการปรับความเร็วของแกนหมุนสามารถทำได้โดยการปรับแรงดันไฟฟ้าที่ให้กับมอเตอร์ โดยที่แรงดันไฟฟ้าจะแปรผันโดยตรงกับความเร็วรอบของมอเตอร์
3. ในการทดลองขึ้นรูปชิ้นงานด้วยวัสดุ POLENE N520W พบว่าสภาวะที่สามารถขึ้นรูปให้ได้ชิ้นงานที่มีผิวเรียบทั้งสองด้านและไม่มีฟองอากาศคือ อุณหภูมิเต้าอบ 250 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที
4. เครื่องอัดแบบชนิดหมุนที่สร้างขึ้นสามารถผลิตชิ้นงานมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความหนา ระหว่าง 0.061-0.084 ภายในรอบการผลิตเดียวกัน และ 0.069-0.089 ระหว่างรอบการผลิต
5. ความเร็วการหมุนของแกนหลักต่อแกนรองที่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานจาก POLENE N520W ให้มีความสม่ำเสมอของความหนามากที่สุดเท่าที่ได้ทดลองในงานวิจัยนี้คือ ความเร็วแกนหลักต่อแกนรอง 20:5 รอบต่อนาที

ข้อเสนอแนะ

แม้งานวิจัยชิ้นนี้จะสามารถสร้างเครื่องอัดแบบชนิดหมุนที่สามารถใช้งานได้ดี แต่ยังมีข้อบกพร่องหลาย ๆ ด้านซึ่งต้องมีการปรับปรุงแก้ไข เพื่อให้เครื่องมือสามารถใช้งานได้ดียิ่งขึ้น มีความเที่ยงตรงและถูกต้องรวมทั้งมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ผู้วิจัยจึงขอเสนอแนวทางในการวิจัยเพื่อหาข้อมูลในการพัฒนาเครื่องมือ และกระบวนการดังนี้

1. ควรมีการเปลี่ยนรูปร่างของแม่พิมพ์ เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยแม่พิมพ์รูปร่างอื่นๆ
2. ศึกษาผลของวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ที่แตกต่างกันต่อคุณภาพและสภาวะในการขึ้นรูปชิ้นงาน
3. ศึกษาผลของตำแหน่งในการวางขดลวดทำความร้อนในเต้าอบ ที่มีต่อเวลาในการทำความร้อน ความสม่ำเสมอของอุณหภูมิภายในเต้าอบ และคุณภาพของชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ศึกษาอุณหภูมิของแม่พิมพ์ อุณหภูมิของพอลิเมอร์ ขณะขึ้นรูป เพื่อให้สามารถคาดคะเนการเปลี่ยนแปลงของวัสดุที่ใช้ และนำมาปรับปรุงเครื่องมือและวัสดุให้เหมาะสมกับกระบวนการ
5. ศึกษาผลของสภาวะการหล่อเย็นที่แตกต่างกันที่มีต่อชิ้นงาน
6. ศึกษาวิธีในการลดปริมาณฟองอากาศในชิ้นงาน
7. ศึกษาผลของขนาดผงวัสดุที่แตกต่างกันที่มีต่อสภาวะการขึ้นรูปและคุณภาพของชิ้นงาน
8. พัฒนาให้เป็นเครื่องอัดแบบชนิดหมุนแบบหลายแขน เพื่อเพิ่มอัตราการผลิต และประหยัดพลังงาน
9. ศึกษาความเป็นไปได้ในทางธุรกิจ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

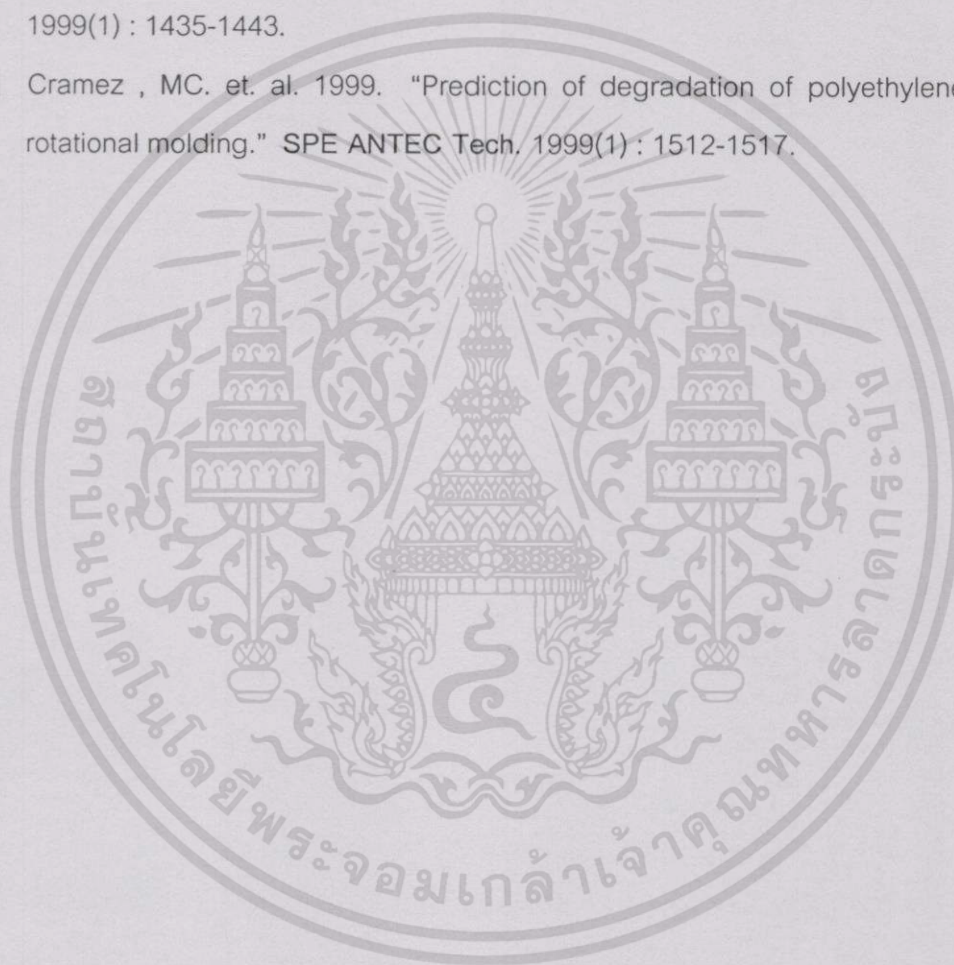
- [1] สมศักดิ์ วรมงคลชัย. 2543. เทคโนโลยีพอลิเมอร์ 1. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [2] Beall, G. 1998. Rotational molding Design, Materials, and Processing. New York : Hanser Publishers.
- [3] Excelsior Rotational Moulding Ltd. 2000. The Rotational Moulding Process, Tooling and Design and Application. [Online]. Available : <http://www.excelsior-rotomould.co.uk./process.htm>.
- [4] สมยศ จันเกษม และคิโยคัตสึ ซึเงะ. 2523. การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องกล. กรุงเทพฯ : ดวงกลม.
- [5] วุฒิชัย กปิลกาญจน์. ม.ป.ป. เฟือง. กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซนเตอร์.
- [6] พีรศักดิ์ วรสุนทรโรสถ และมานูชี่ มาการิชาวา. 2537. เทคนิคการซ่อมแซมเลือกประเภทและการติดตั้งมอเตอร์เหนี่ยวนำ. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- [7] Rexford, K. 1992. Electrical Control for Machines. 4th ed. New York. : Delmar Publishers.
- [8] Control System Co. 2000. Product Information. [Online]. Available : <http://www.controlparts.com>.
- [9] Highly Electric Co. 2000. Products. [Online]. Available : <http://www.highly.com>.
- [10] Advanced Packaging, Inc. 2000. A World of Applications Rotational Molding The Versatile Plastic Process. [Online]. Available : <http://www.advpack.com>.
- [11] Feldman, D. and Barbalata, A. 1996. Synthetic Polymer. 1st ed. London : Chapman & Hall Publishers.
- [12] Excelsior Rotational Moulding Ltd. 2000. Exhibition Display System Moulded Cases. [Online]. Available : <http://www.excelsior-rotomould.co.uk./standard.htm>.
- [13] Multi Plastic Co. 2000. Product Support. [Online]. Available : <http://www.multiplasticsco.com>.
- [14] Frank, R. et. al. Rotational Molding Machine. U.S patent no. 3829272, August 1974.
- [15] Chujoo, Y. et. al. Bi-axially Rotational Synthetic Resin Molding Machine. U.S patent no. 3909179, September 1975.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [16] Friesen, R.R. Rotational Molding Machine. U.S patent no. 4767299, August 1988.
- [17] Kontopoulou, M. et. al. 1999. "Polymer Melt Formation And Densification in Rotational Molding." SPE ANTEC Tech. 1999(1) : 1458-1432.
- [18] Weber, M. and Gonzales, R. 1999. "Viscoelastic Properties of Rotational Molding Resin." SPE ANTEC Tech. 1999(1) : 1468-1470.
- [19] สมชัย นรเศรษฐ์โสภณ. 2533. กลศาสตร์ของแข็ง. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [20] มนตรี พิรุณเกษตร. 2538. คู่มือกลศาสตร์ของวัสดุ. กรุงเทพฯ : อักษรกราฟฟิค.
- [21] Hall, et. al. 2539. ทฤษฎีและตัวอย่างโจทย์ การออกแบบเครื่องจักรกล. แปลจาก Theory and Problems of Machine Design. โดย กรมมันต์ ชูประเสริฐ และคณะ. กรุงเทพฯ : แมคกรอ-ฮิล.
- [22] Hannah, J. and Hillier, M.J. 1991. Mechanical Engineering Science. 2nd ed. London : Longman Publishers.
- [23] Charles, E. and Wilson 1997. Computer Integrated Machine Design. New Jersey : Prentice-Hall Publishers.
- [24] Spotts, M. and Shoup, T.E. 1998. Design of Machine Elements. 7th ed. New Jersey : Prentice-Hall Publishers.
- [25] Hamrock, B.J. et. al. 1999. Fundamentals of Machine Element. New York : McGraw-Hill Publishers.
- [26] Esposito, A. and Thrower. J.R. 1991. Machine Design. 2nd ed. New York : Delmar Publishers.
- [27] Carvil, J. 1993. Mechanical Engineer's Data Handbook. Florida : CRC-Press.
- [28] Welty, J.R. et. al. 1984. Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Transfer. New York : John Wiley & Sons, Inc.
- [29] เจริญ นาคะสรรค์. กระบวนการแปรรูปพลาสติก. ปัตตานี : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
- [30] ธนบูรณ์ ศศิภาณุเดช. 2532. การออกแบบระบบไฟฟ้า. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- [31] Excelsior Rotational Moulding Ltd. 2000. Custom Moulding and Design. [Online]. Available : <http://www.excelsior-rotomould.co.uk./custom.htm>.
- [32] Core77 Design Supplis and Sources. 2000. Rotational Molding. [Online]. Available : <http://www.core77.com/resorce/plastique/rot.html>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [33] Ferry Industric. 2000. Rotospeed. [Online]. Available :
<http://www.ferryindustrics.com>.
- [34] ไชยชาญ หินเกิด. 2543. เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมไทย-ญี่ปุ่น.
- [35] ประเสริฐ ปิ่นปฐมรัฐ. 2540. ทฤษฎีไฟฟ้าเบื้องต้น (ภาคทฤษฎี). กรุงเทพฯ : สกายบุ๊คส์.
- [36] สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว. 2540. ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น. กรุงเทพฯ : ดวงกมล.
- [37] George Gogos. 1999. "Bubble removal in rotational molding." SPE ANTEC Tech. 1999(1) : 1435-1443.
- [38] Cramez , MC. et. al. 1999. "Prediction of degradation of polyethylene during rotational molding." SPE ANTEC Tech. 1999(1) : 1512-1517.



ภาคผนวก ก

สมบัติของผงพอลิเอทิลีนที่ใช้ในการทดลองแสดงในตารางที่ ก-1

ตารางที่ ก-1 สมบัติของผงพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ POLENE N520W

สมบัติ	หน่วย	ค่า	มาตรฐานการทดสอบ
ดัชนีการไหล	g / 10 min	45	ASTM D 1238
ความหนาแน่น	g / cm ³	0.916	ASTM D 1505
ค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด	N / mm ²	>7	ASTM D 882
ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด	N / mm ²	>8	ASTM D 882
การดึงยืด ณ จุดขาด	เปอร์เซ็นต์	>200	ASTM D 882
อุณหภูมิอ่อนตัว	°C	80	ASTM D 1525
ขนาดอนุภาค	micron Avg.	500	DIN 53477

ที่มา : THAI PETROCHEMICAL CO.,LTD. INDUSTRY PUBLIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ค่าต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ

1. ความหนาแน่น

- เหล็กอ่อน (mild steel) 7820 kg/m^3 หรือ $488 \text{ lb}_m/\text{ft}^3$
- อะลูมิเนียม 2701 kg/m^3 หรือ $168.6 \text{ lb}_m/\text{ft}^3$
- สแตนเลส 7820 kg/m^3 หรือ $168.6 \text{ lb}_m/\text{ft}^3$
- ทองเหลือง 8520 kg/m^3
- อากาศ $0.075 \text{ lb}_m/\text{ft}^3$

2. ความจุความร้อนจำเพาะ

- เหล็กอ่อน (mild steel) $0.113 \text{ Btu/lb}_m^\circ\text{F}$
- อะลูมิเนียม $0.224 \text{ Btu/lb}_m^\circ\text{F}$
- อากาศ $0.240 \text{ Btu/lb}_m^\circ\text{F}$

3. ตารางเทียบอุณหภูมิ

องศาเซลเซียส	องศาฟาเรนไฮท์
30	86
150	302
180	356
200	392
250	482
300	572

ภาคผนวก ค

น้ำหนักของชิ้นส่วนต่างๆ สามารถคำนวณจากโปรแกรม Mechanical Desktop เวอร์ชัน 4.0 โดยป้อนค่าความหนาแน่นของวัสดุ ลงในโปรแกรม จากการคำนวณจะได้ค่าน้ำหนักของชิ้นส่วนต่างๆ ดังตารางที่ ค-1

ตารางที่ ค-1 น้ำหนักของชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องอัดแบบชนิดหมุน

ชิ้นส่วน	น้ำหนัก (กรัม)
แม่พิมพ์ตัวผู้	88
แม่พิมพ์ตัวเมีย	88
ตัวยึดแม่พิมพ์	60
แกนรอง	
- แกนสแตนเลส	59
- เฟือง	35
- ตัวยึดแกน (2 ชิ้น)	58
- ตัวเชื่อมแกนหลักกับแกนรอง+ฝาปิด	288
- ร่องลึนกาบเพลลาสำหรับแกนรอง (2 ชิ้น)	16
แกนหลัก	
- แชนด้านใน	329
- ร่องลึนกาบเพลลาสำหรับแชนด้านใน (2 ชิ้น)	44
- เฟือง	35
- แชนด้านนอก	1154
- เฟืองขับ	85
- สะพานไฟ	58
- ตัวยึดมอเตอร์	166
- มอเตอร์สำหรับขับแชนด้านใน	317

ภาคผนวก ง

การคำนวณกำลังมอเตอร์สำหรับเดินเครื่อง

การคำนวณกำลังมอเตอร์สามารถคำนวณได้จากค่าผลรวมแรงบิด (torque) ที่จำเป็นในการหมุนเพลาส่วนต่างๆ คูณกับค่าความเร็วเชิงมุมของเพลานั้น ดังสมการที่ ง-1 ถึง ง-5

$$\text{Power} = \text{Torque} \times \omega \quad (\text{ง-1})$$

$$\text{Torque} = \text{Friction torque} + \text{Rotation torque} \quad (\text{ง-2})$$

$$\text{Friction torque} = 0.5 \times \mu \times W \times d \quad (\text{ง-3})$$

$$\text{Rotation torque} = \text{แรงต้านในทิศทางของการบิด(N)} \times \text{รัศมีของเพลานี้(m)} \quad (\text{ง-4})$$

$$\omega = 2\pi \times N \quad (\text{ง-5})$$

เมื่อ Power = กำลังมอเตอร์ (Watt)

Torque = แรงบิด (N-m)

ω = ความเร็วเชิงมุม

Friction torque = แรงบิดที่เอาชนะแรงเสียดทาน (N-m)

Rotation torque = แรงบิดที่ใช้ในการหมุนแกน (N-m)

W = แรงที่กดลงบนรองเดิน (N)

μ = สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของเพลานี้ (m)

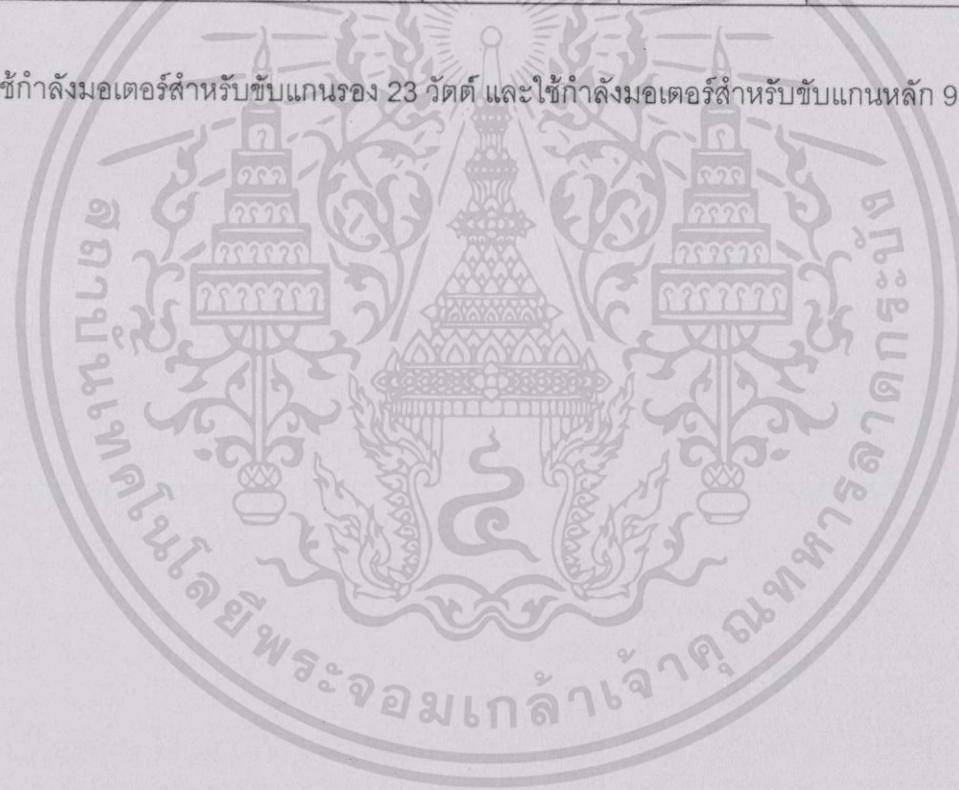
N = ความเร็วรอบของเพลานี้ (รอบต่อนาที)

ผลจากการคำนวณกำลังที่ใช้ในการหมุนเพลานี้แสดงในตารางที่ ง-1

ตารางที่ ง-1 ผลการคำนวณแรงบิดและกำลังของมอเตอร์

ส่วนประกอบ	มวล (kg)	แรง (N)	เส้นผ่านศูนย์กลางเพลลา (m)	แรงบิด (N-m)	สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	แรงบิดจากแรงเสียดทาน (N-m)	แรงบิดรวม (N-m)	ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วเชิงมุม	กำลัง (Watt)
แกนรอง	0.92	9.00	0.008	0.0360	0.0800	0.0058	0.0417	40	251.2	10.49
แขนในแกนหลัก	0.68	6.67	0.013	0.0434	0.0800	0.0069	0.0503	40	251.2	12.64
แขนนอกแกนหลัก	3.14	30.78	0.025	0.3848	0.0016	0.0012	0.3860	40	251.2	97

จากการคำนวณพบว่าต้องใช้กำลังมอเตอร์สำหรับขับแกนรอง 23 วัตต์ และใช้กำลังมอเตอร์สำหรับขับแกนหลัก 97 วัตต์



ภาคผนวก จ

การคำนวณพลังงานความร้อนที่ต้องการ

การคำนวณพลังงานความร้อนที่ใช้ทำให้เตาอบมีอุณหภูมิที่ต้องการสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ จ-1

$$\text{กำลังไฟฟ้าที่ต้องการ (kW h)} = \frac{\text{น้ำหนักวัตถุ (lb)} \times \text{ความจุความร้อนจำเพาะ} \times (\text{อุณหภูมิที่ต้องการ} - \text{อุณหภูมิเริ่มต้น})(^{\circ}\text{F})}{3412 \times \text{เวลาการให้ความร้อน (ชั่วโมง)}} \quad (\text{จ-1})$$

จากการคำนวณโดยกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 30 °C อุณหภูมิที่ต้องการเท่ากับ 150, 180, 200, และ 250 °C เวลาในการทำความร้อนให้ถึงอุณหภูมิที่ต้องการ 1 ชั่วโมงและกำหนดให้ประสิทธิภาพของการให้ความร้อนเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ จะได้พลังงานความร้อนที่ต้องการดังแสดงในตารางที่ จ-1

ตารางที่ จ-1 พลังงานความร้อนที่ต้องการเพื่อให้วัสดุมีอุณหภูมิตามที่กำหนด

วัสดุ	น้ำหนัก (lb)	พลังงานความร้อนที่ต้องการ (วัตต์)				
		150 °C	180 °C	200 °C	250 °C	300 °C
อากาศ	0.21	3.19	3.99	4.52	5.85	7.18
แม่พิมพ์	1.55	22.01	27.51	31.18	40.35	49.52
ตัวยึดแม่พิมพ์	0.13	0.95	1.18	1.34	1.73	2.13
แกนรอง	0.13	0.93	1.16	1.32	1.71	2.09
ตัวยึดแกนรอง	0.13	0.91	1.14	1.30	1.68	2.06
ตัวเชื่อมแกน	0.63	4.54	5.68	6.43	8.33	10.22
เฟืองดอกจอก	0.15	1.10	1.38	1.56	2.02	2.48
แขนนอกแกนหลัก	0.85	6.07	7.59	8.60	11.13	13.66
แขนในแกนหลัก	0.23	1.64	2.05	2.32	3.01	3.69
ผนังของเตาอบ	13.22	94.59	118.23	134.00	173.41	212.82
ตะแกรงในเตาอบ	2.18	15.59	19.49	22.09	28.59	35.09
พอลิเอทิลีน	0.09	0.63	0.79	0.89	1.16	1.42
รวม		152.16	190.20	215.56	278.96	342.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่เตาอบที่สร้างขึ้นใช้ขดลวดความร้อนขนาด 2000 วัตต์ เมื่อให้ความร้อนเต็มที่จะสามารถลดเวลาในการให้ความร้อนลงซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ จ-2 และค่าที่คำนวณได้แสดงในตารางที่ จ-2

$$\text{เวลาที่ใช้ (นาท)} = \frac{60 \times \text{พลังงานที่ต้องใช้ (วัตต์)}}{\text{ขนาดของขดลวดความร้อน (วัตต์)}} \quad (\text{จ-2})$$

ตารางที่ จ-2 เวลาที่ใช้ในการทำความร้อนเตาอบให้มีอุณหภูมิตามที่กำหนด

อุณหภูมิ (°C)	150	180	200	250	300
พลังงานความร้อนที่ต้องการ (วัตต์)	152.16	190.20	215.56	278.96	342.37
เวลาที่ได้จากการคำนวณ (วินาที)	274	342	388	502	616
เวลาที่ได้จากการทดลอง (วินาที)	282	353	415	532	-
ประสิทธิภาพ (%)	97.12	96.99	93.50	94.38	-

เมื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลการทดลองพบว่า เตาอบที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพประมาณ 97 % และมีประสิทธิภาพลดลงเล็กน้อย (93.5 %) เมื่อใช้ที่อุณหภูมิสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก การสูญเสียความร้อนออกมาทางรูระบายอากาศและจากช่องว่างระหว่างตัวเตาอบกับฝาเตาอบที่ประกบกันไม่สนิท

กำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้ข้างต้นจะนำมาคำนวณกระแสในวงจร เพื่อใช้ในการเลือกอุปกรณ์ควบคุม และอุปกรณ์ป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นจากกระแสเกินกำลัง โดยกระแสในวงจรสามารถคำนวณได้จากสมการที่ จ-3

$$\text{กระแส (แอมแปร์)} = \text{กำลังไฟฟ้า (Watt)} / \text{แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Volt)} \quad (\text{จ-3})$$

เมื่อกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าสำหรับเตาอบ 2000 วัตต์ และแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ ดังนั้นเมื่อคำนวณตามสมการ จ-3 ได้ค่ากระแสเท่ากับ $2000 \text{ W} / 220 \text{ V} = 9$ แอมแปร์ อุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับเตาอบจึงควรมีความสามารถรับกระแสสูงสุดประมาณ 10 แอมแปร์

ตารางที่ จ-3 ค่ากำลังของเตาอบต่อปริมาตรของเตาอบแต่ละรุ่น (วัตต์/ลิตร)

	ULM 400	Isotemp 825F	Isotemp 750F	Furnace 6000	Roto
วัตต์	1400	1300	1800	3095	2000
ปริมาตร	52.8	68.8	135.7	14.7	78.5
วัตต์/ลิตร	26.5	18.9	13.3	210.5	25.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

การคำนวณปริมาณวัสดุที่เติมลงในแม่พิมพ์

การคำนวณหาปริมาณวัสดุที่เติมลงในแม่พิมพ์เพื่อให้ได้ความหนาตามที่กำหนดทำได้ดังนี้

1. กำหนดความหนาของชิ้นงาน
2. คำนวณปริมาตรของชิ้นงานภายนอก
3. คำนวณปริมาตรของชิ้นงานภายใน
4. ปริมาณวัสดุที่เติมในแม่พิมพ์คำนวณได้จาก ผลต่างของปริมาตรของชิ้นงานภายนอกกับปริมาตรของชิ้นงานภายในคูณด้วยความหนาแน่นของวัสดุ

งานวิจัยนี้กำหนดความหนาของชิ้นงาน 1 มิลลิเมตร แม่พิมพ์มีรูปร่างเป็นทรงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร วัสดุที่ใช้คือพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ มีความหนาแน่น 0.916 g/cm³ สามารถคำนวณปริมาณวัสดุได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรวัสดุ} &= \frac{4}{3} \times \pi \times (\text{รัศมีของชิ้นงานภายนอก}^3 - \text{รัศมีของชิ้นงานภายใน}^3) \\ &= \frac{4}{3} \times \pi \times (3^3 - 2.9^3) \\ &= 10.93 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักของวัสดุ} &= \text{ปริมาตรของวัสดุ} \times \text{ความหนาแน่นของวัสดุ} \\ &= 10.93 \times 0.916 \\ &= 10.01 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข-1 ต้นทุนในการสร้างเครื่องอัดแบบชนิดหมุน

รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	จำนวนเงิน
1. แม่พิมพ์อะลูมิเนียม	4	ชุด	550	2,200
2. ตัวยึดแม่พิมพ์	2	อัน	250	500
3. แกนรอง	1	ชิ้น	50	50
4. ตัวยึดแกนรอง	2	ชิ้น	20	40
5. เฟืองดอกจอก	2	ตัว	350	700
6. ตัวเชื่อมแกนหลักและแกนรอง	1	ชุด	550	550
7. แขนด้านนอกแกนหลัก	1	ชิ้น	550	550
8. แขนด้านในแกนหลัก	1	ชิ้น	350	350
9. ตัวยึดมอเตอร์	1	ตัว	50	50
10. มอเตอร์กระแสตรง (24 V. 40 rpm)	2	ลูก	250	500
11. สะพานไฟ	1	ชุด	250	250
12. เฟืองขับ	2	ชิ้น	50	100
13. รอกเส้นแบบตลับลูกปืน	2	ชุด	50	100
14. โครงเหล็ก	1	ชิ้น	2,000	2,000
15. โครงเตาอบ	1	ชิ้น	3,500	3,500
16. ล้อเตาอบ	4	ล้อ	20	80
17. ขดลวดทำความร้อน 1000 วัตต์	1	เส้น	1,000	1,000
18. เซรามิกทนความร้อน	11	อัน	50	550
19. ไม้อัด	1	แผ่น	200	200
20. สายวัดอุณหภูมิ	1	เส้น	400	400
21. ตู้ควบคุม				
- ตัวควบคุมเวลา	1	ตัว	2,100	2,100
- ตัวควบคุมอุณหภูมิ	1	ตัว	1,500	1,500
- ชุดควบคุมไฟฟ้ากระแสตรง	2	ชุด	600	1,200
- ตู้เหล็ก	1	ใบ	300	300
- อุปกรณ์ประกอบตู้อื่นๆ	1	ชุด	3,000	3,000
22. เบ็ดเตล็ด			1,000	1,000
รวม				22,770

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ซ

การคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าใช้จ่าย

ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานต่อหนึ่งรอบการผลิตหรือชิ้นงาน 4 ชิ้น สามารถคำนวณจากปริมาณของกำลังไฟฟ้า (P) ที่ใช้คูณกับระยะเวลาที่ใช้ (t) ดังสมการ

$$W = Pt \quad (\text{ซ-1})$$

เมื่อ W = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh)

P = กำลังไฟฟ้า มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ (kW)

t = ระยะเวลาที่ใช้ไฟฟ้า มีหน่วยเป็นชั่วโมง (h)

ค่าใช้จ่าย (Cost) มีค่าเท่ากับ อัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วย (Rate) คูณกับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้

$$\text{Cost} = \text{Rate} \times W \quad (\text{ซ-2})$$

ในการขึ้นรูปชิ้นงานจาก POLYNE N520W กำหนดให้ชิ้นงานมีความหนา 1 มิลลิเมตร อุณหภูมิในการขึ้นรูป 200 °C เวลาในการให้ความร้อน 15 นาที ความเร็วในการหมุนของแกนหลัก ต่อแกนรอง 20 : 5 รอบต่อนาที มีข้อมูลทางการใช้ไฟฟ้างดังนี้

ตารางที่ ซ-1 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของเครื่องอัดแบบชนิดหมุน

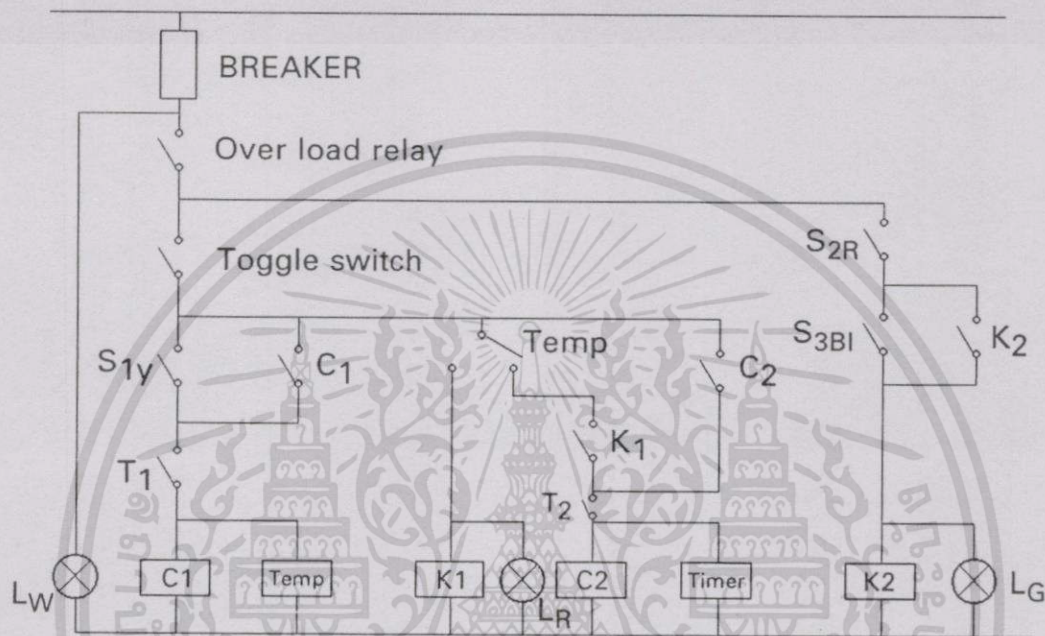
ขั้นตอนการทำงาน	เปิดเครื่อง	หมุนแกน	ทำความร้อน
แรงดันไฟฟ้า (โวลต์, V)	233	226	220
กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์, I)	0.014	0.120	14.1
เวลาที่ใช้ (นาที)	25	25	15
กำลังไฟฟ้า (วัตต์, P = IV)	3.26	27.12	3,102.00
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (วัตต์-ชั่วโมง)	1.36	11.30	775.50

ดังนั้นค่าการใช้ไฟฟ้าในการขึ้นรูปชิ้นงานต่อชิ้นงาน 1 ชิ้นจะมีค่าเท่ากับ (กำหนดให้อัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยเท่ากับ 3 บาทต่อ 1 kWh)

$$\begin{aligned} \text{ค่าการใช้ไฟฟ้าในการขึ้นรูปต่อชิ้นงาน 1 ชิ้น} &= [(1.36+11.30+775.50)/1000 \times 3]/4 \\ &= 0.59 \text{ บาท} \end{aligned}$$

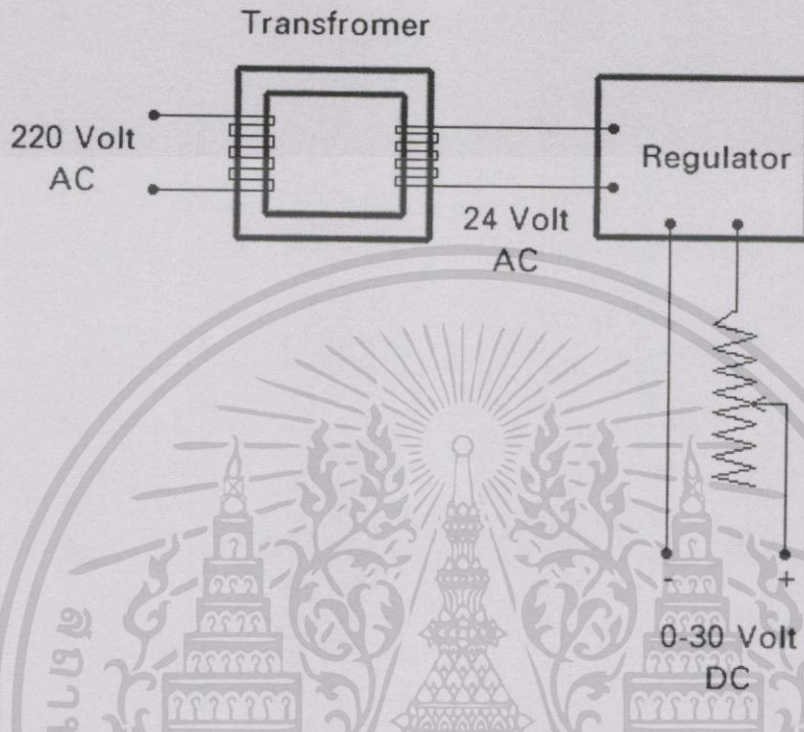
ภาคผนวก ฉ

วงจรไฟฟ้าของการเชื่อมต่ออุปกรณ์ควบคุม และตัวปรับแรงดันมอเตอร์ แสดงดังรูปที่ ฉ-1 และ รูปที่ ฉ-2



- S_{1y} = สวิตช์กดสีเขียว
- S_{2R} = สวิตช์กดสีแดง
- S_{3BI} = สวิตช์กดสีน้ำเงิน
- L_w = หลอดไฟสีเขียว
- L_R = หลอดไฟสีแดง
- L_G = หลอดไฟสีเขียว
- C₁ - C₂ = รีเลย์
- T₁ - T₂ = สวิตช์ภายในตัวควบคุมอุณหภูมิ
- K₁ - K₂ = สวิตช์แม่เหล็ก

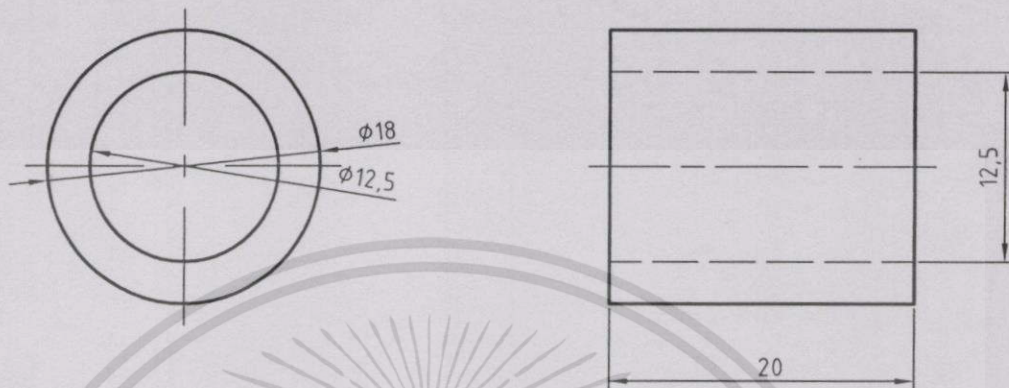
รูปที่ ฉ-1 แสดงวงจรการเชื่อมต่ออุปกรณ์ควบคุมทางไฟฟ้า



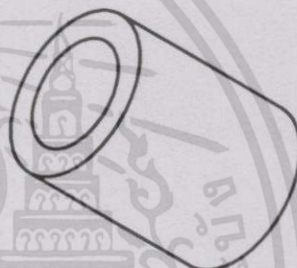
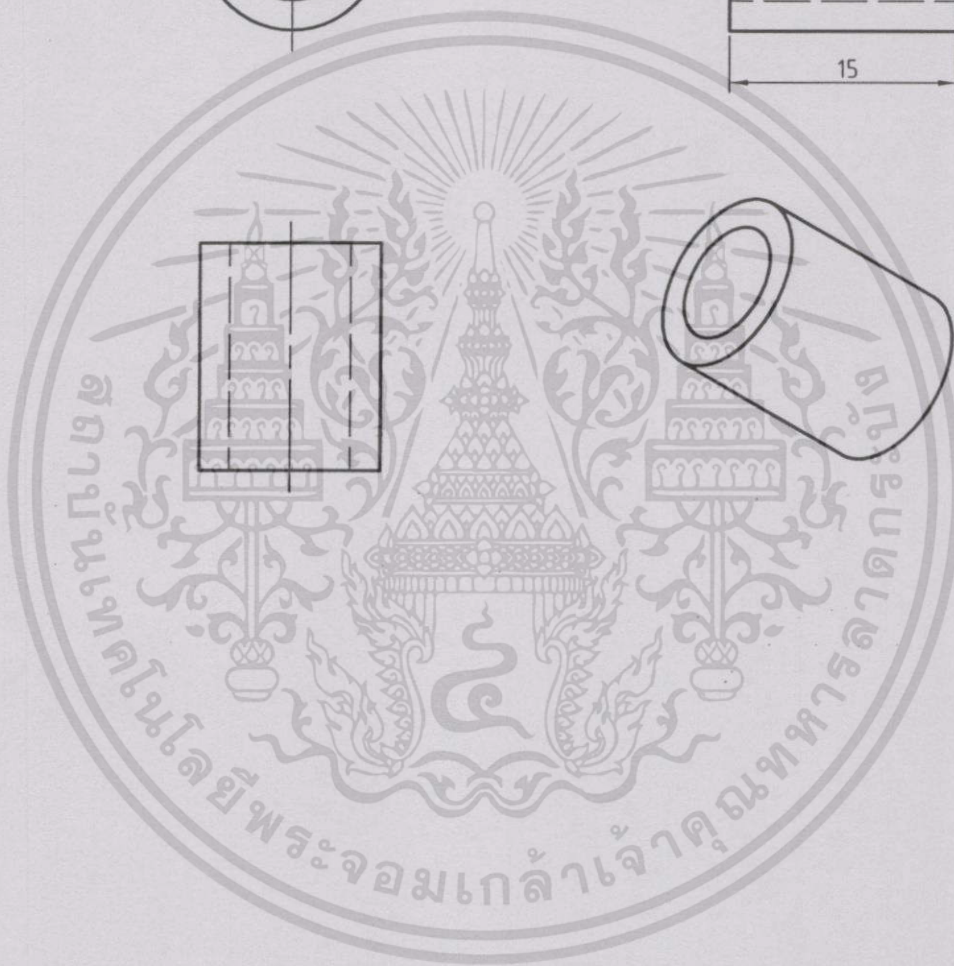
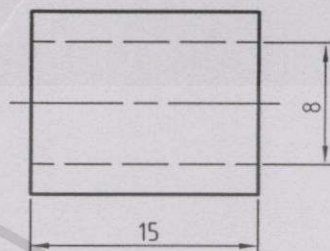
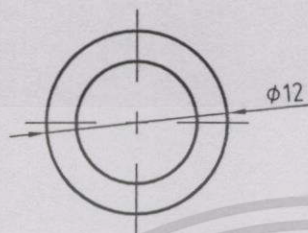
รูปที่ ๘-2 วงจรของตัวปรับแรงดันไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์

ภาคผนวก ก

ขนาดของส่วนประกอบเครื่องมือ



FILE NAME	main plain bearing.dwg		
CONTRACT NO	-		
DRAWN	07.27.2000 Pukdee		
CHECK			
APPR.			
ISSUED			
<h2>Main Plain Bearing</h2>			
SIZE	FSCM NO	DWG NO	REV
A4			
SCALE	2:1	WEIGHT	SHEET

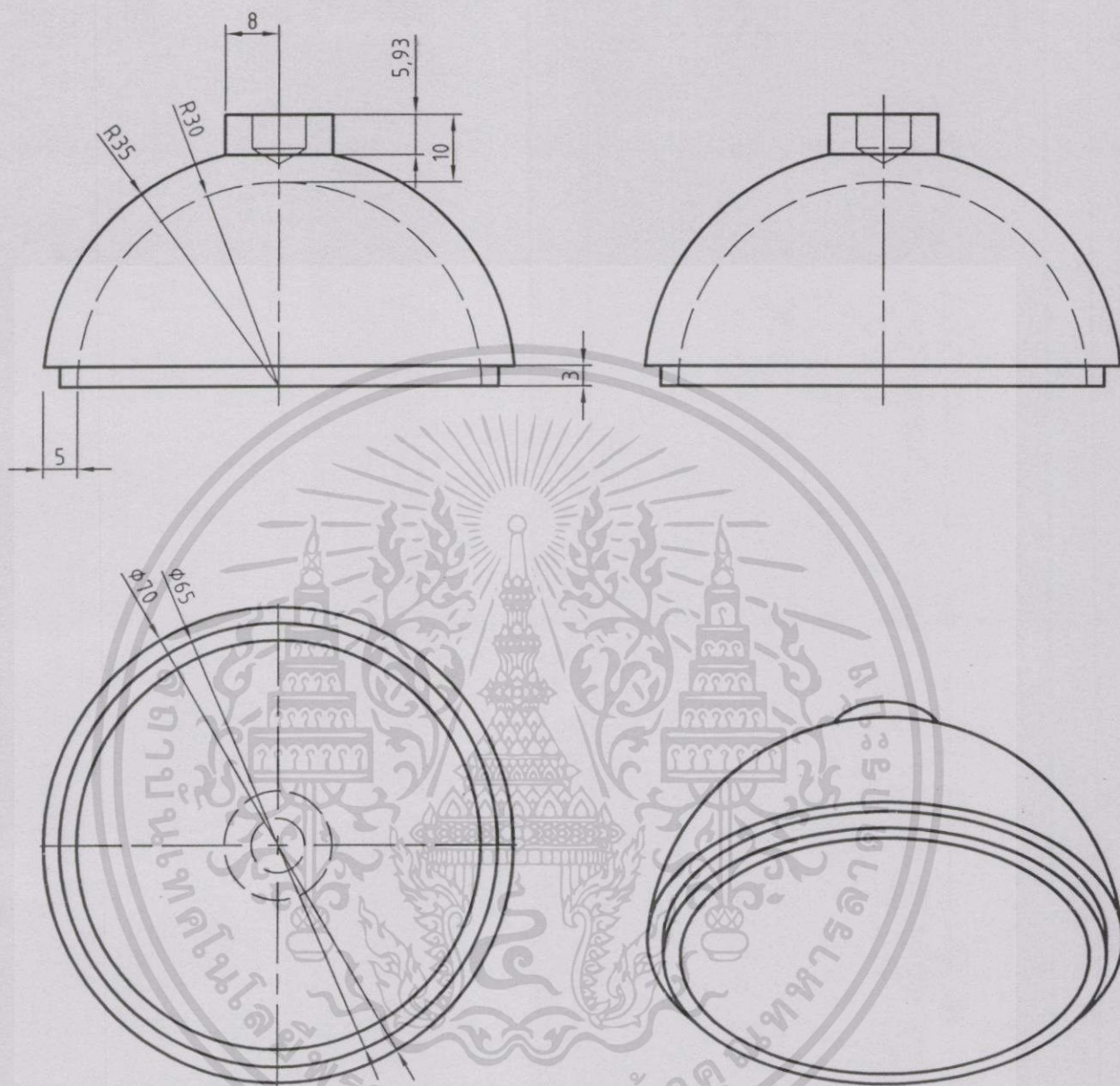


FILE NAME	minor plain bearing.dwg
CONTRACT NO	-
DRAWN	07.27.2000 Pukdee
CHECK	
APPR.	
ISSUED	

Minor Plain Bearing

(Bronze)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะโครงการนี้เท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต	SIZE	FSCM NO	เพื่อการศึกษาค้นคว้า	DWG NO	เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา	REV
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้	A4					
	SCALE	2:1		WEIGHT		SHEET



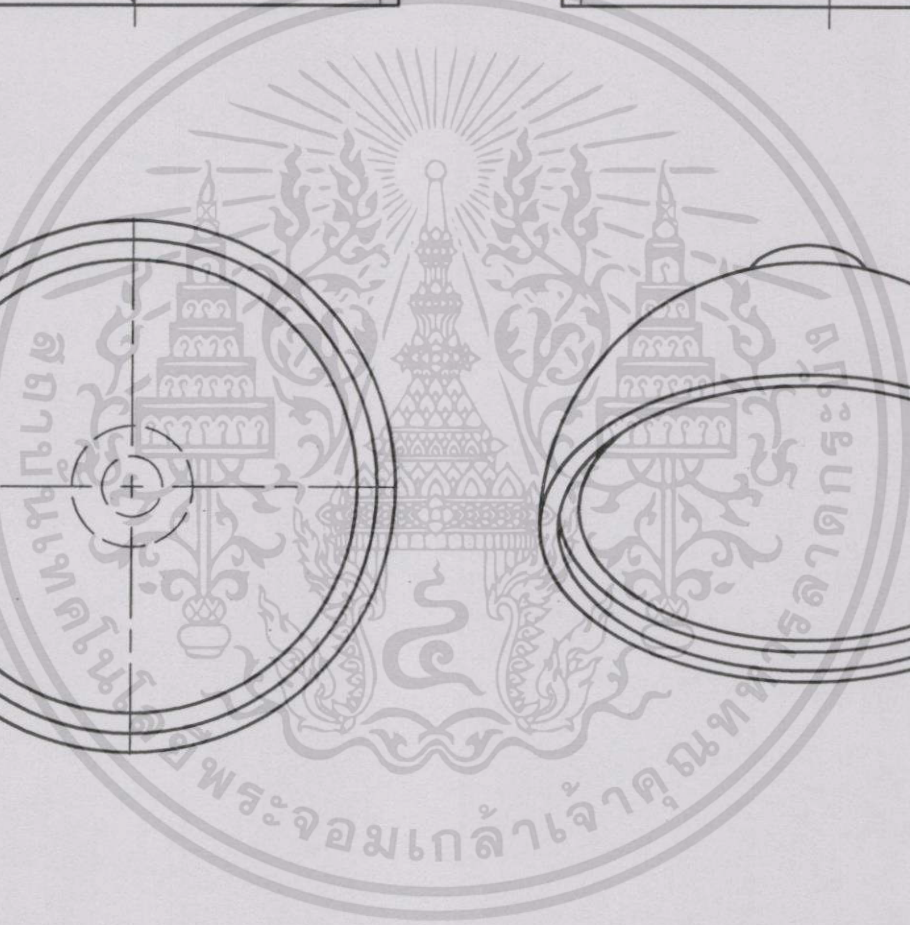
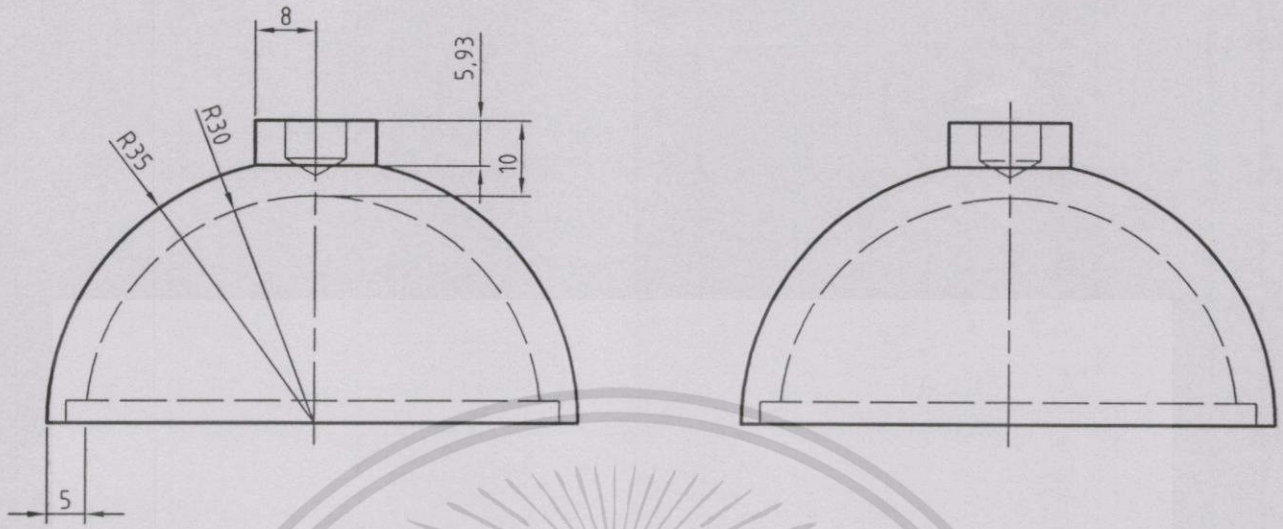
FILE NAME	male mold.dwg			
CONTRACT NO	-			
DRAWN	07.27.2000 Pukdee Rattanachan			
CHECK				
APPR.				
ISSUED				
		Male Mold		
		(Aluminum)		
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะโครงการเท่านั้น ไม่ควรเปิดเผยต่อผู้อื่น	SIZE	FSCM NO	DWG NO	REV
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม	A4			
	SCALE	WEIGHT		SHEET
	1:1			

A

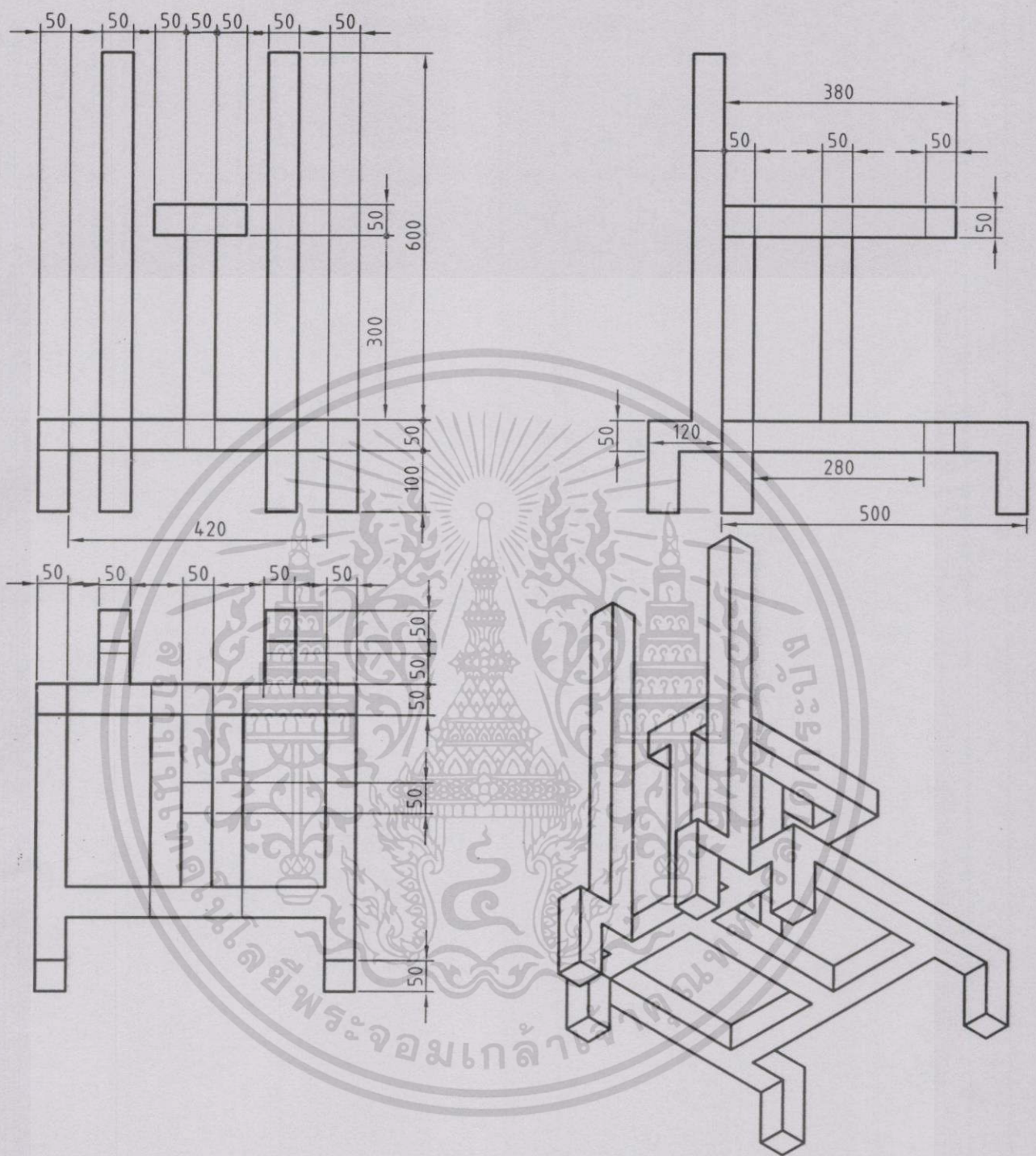
B

C

D

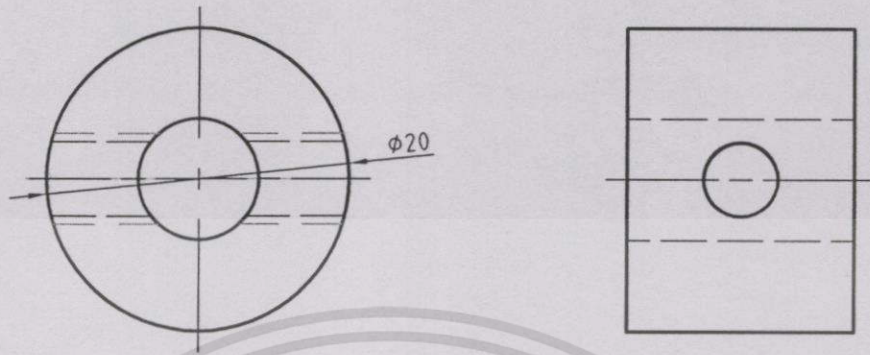


FILE NAME	female mold.dwg			<h1>Female Mold</h1>
CONTRACT NO	-			
DRAWN	07.27.2000 Pukdee Rattananachan			
CHECK				
APPR.				
ISSUED				
SIZE	FSCM NO	DWG NO	REV	
A4				
SCALE	1:1	WEIGHT	SHEET	

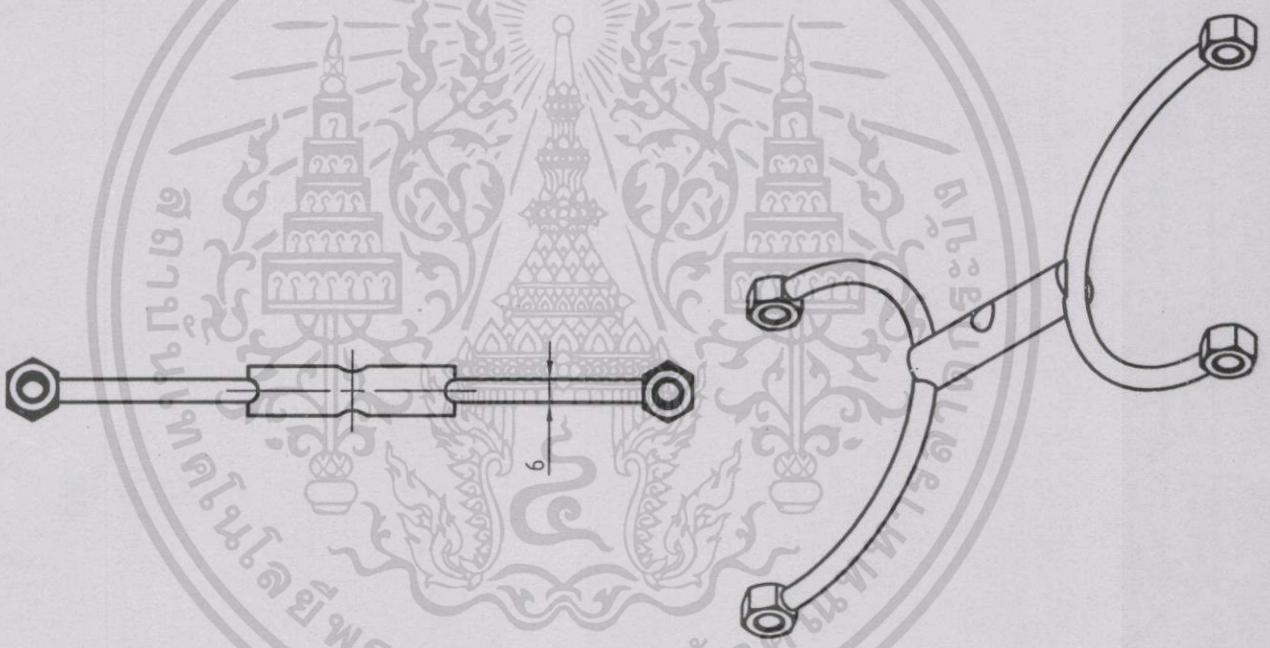
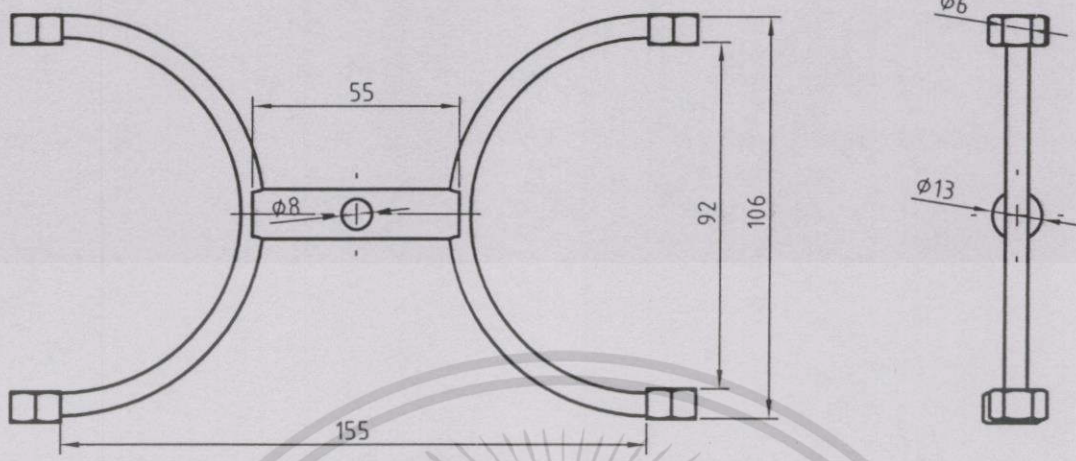


FILE NAME	body.dwg				
CONTRACT NO	-				
DRAWN	07.27.2000 Pukdee				
CHECK					
APPR.					
ISSUED					
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามนำไปใช้โดยไม่ขออนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้		SIZE	FSCM NO	DWG NO	REV
		A4			
SCALE		1:10	WEIGHT		SHEET

Main Body



FILE NAME	shaft lock.dwg				
CONTRACT NO	-				
DRAWN	07.27.2000 Pukdee				
CHECK	<h2 style="text-align: center;">Shaft Lock</h2>				
APPR.					
ISSUED					
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะโครงการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้	SIZE	FSCM NO	DWG NO	REV	
	A4				
	SCALE	2:1	WEIGHT	SHEET	



FILE NAME	spider.dwg				
CONTRACT NO	-				
DRAWN	07.27.2000 Pukdee				
CHECK					
APPR.					
ISSUED					
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ใดๆทั้งสิ้น หากต้องการใช้เอกสารนี้ กรุณาแจ้งไปยังฝ่ายที่เกี่ยวข้อง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้		SIZE	FSCM NO	DWG NO	REV
		A4			
SCALE	1:2	WEIGHT	SHEET		

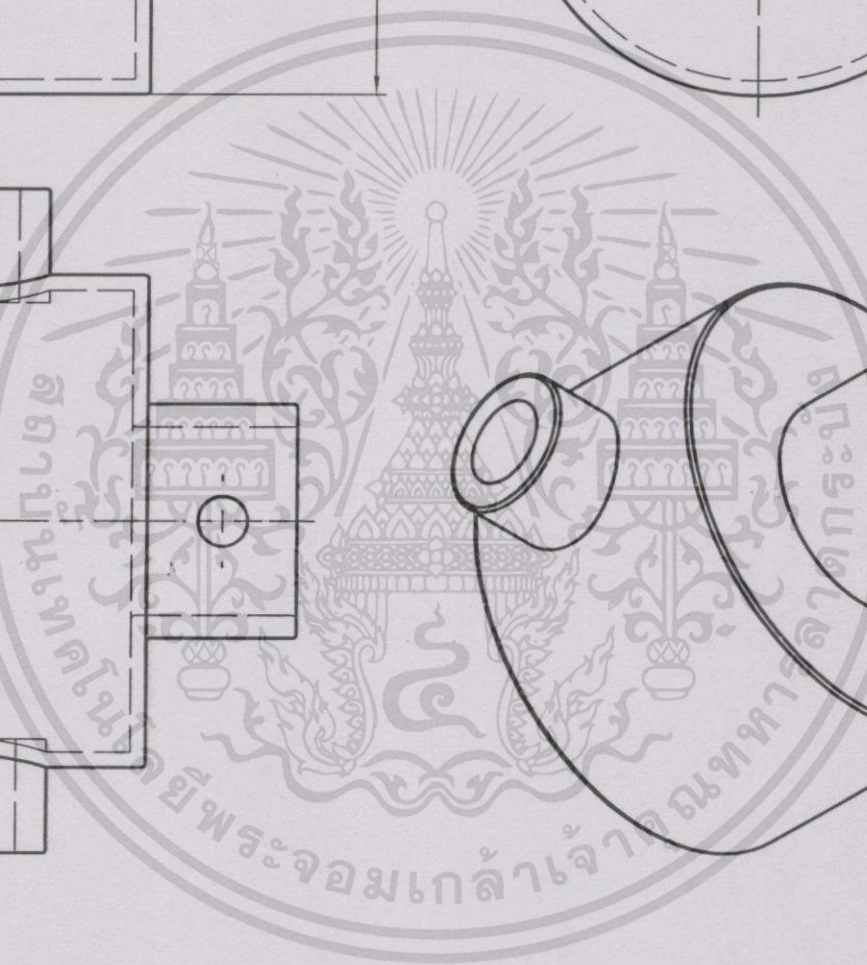
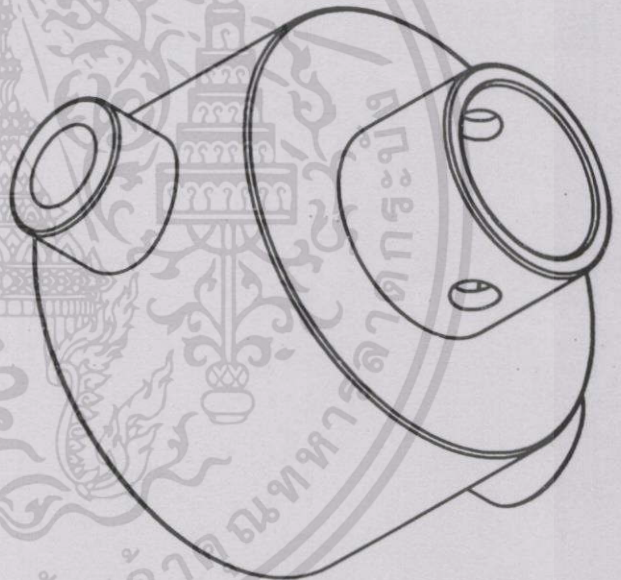
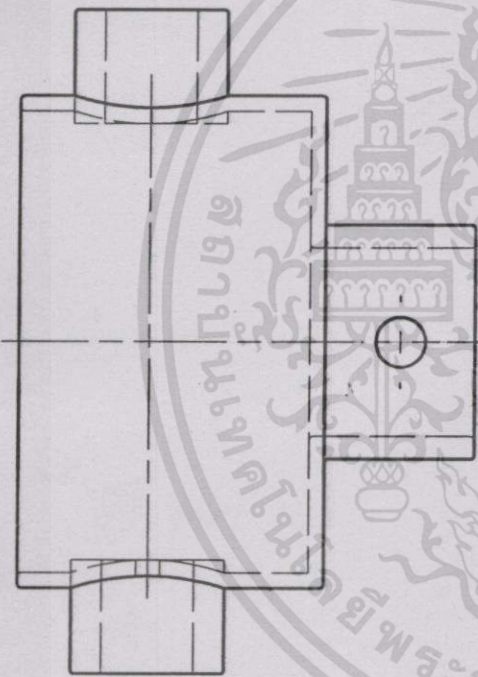
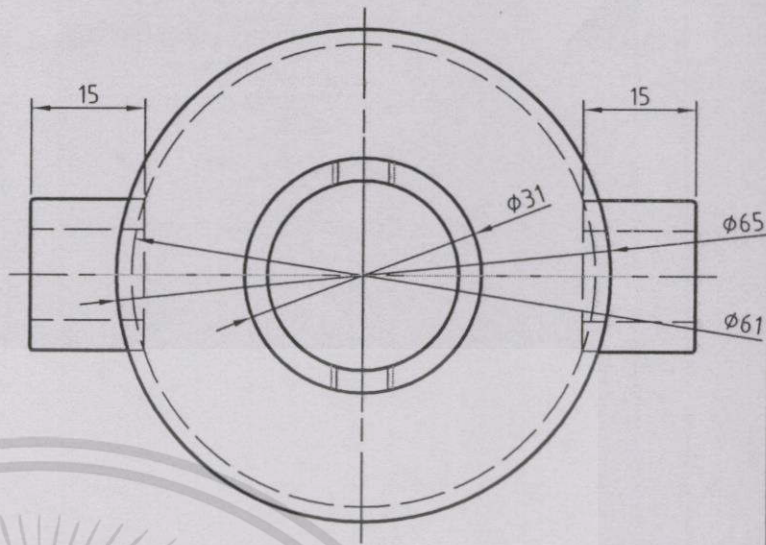
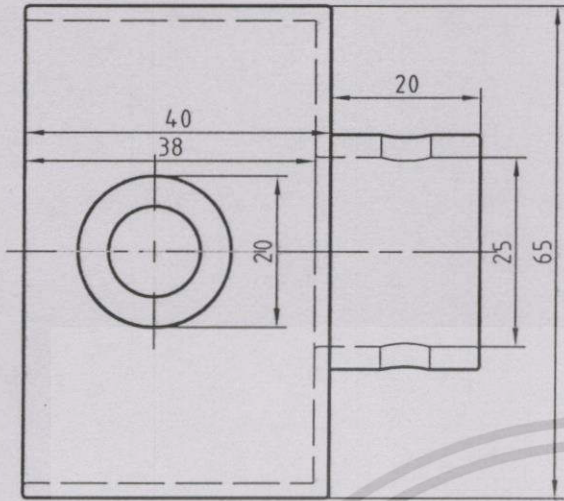
Spider

A

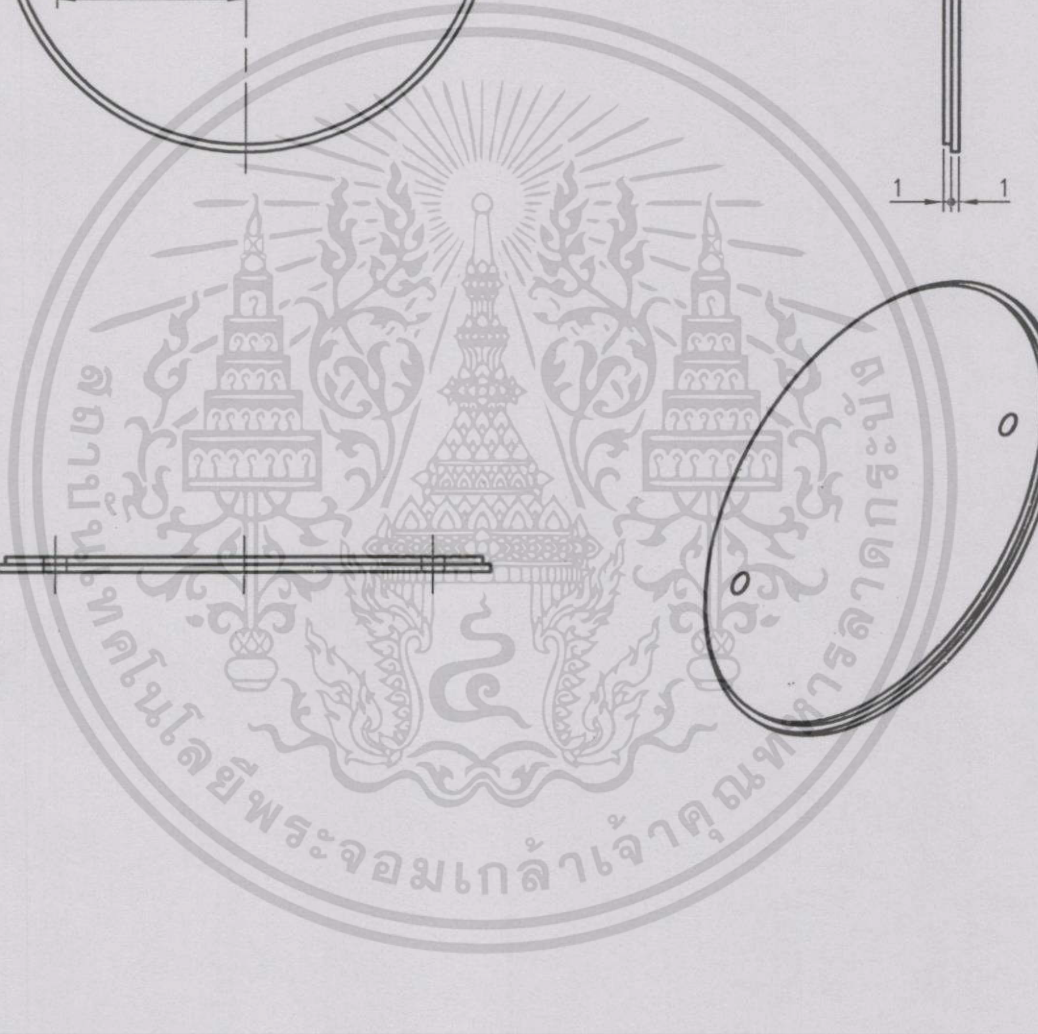
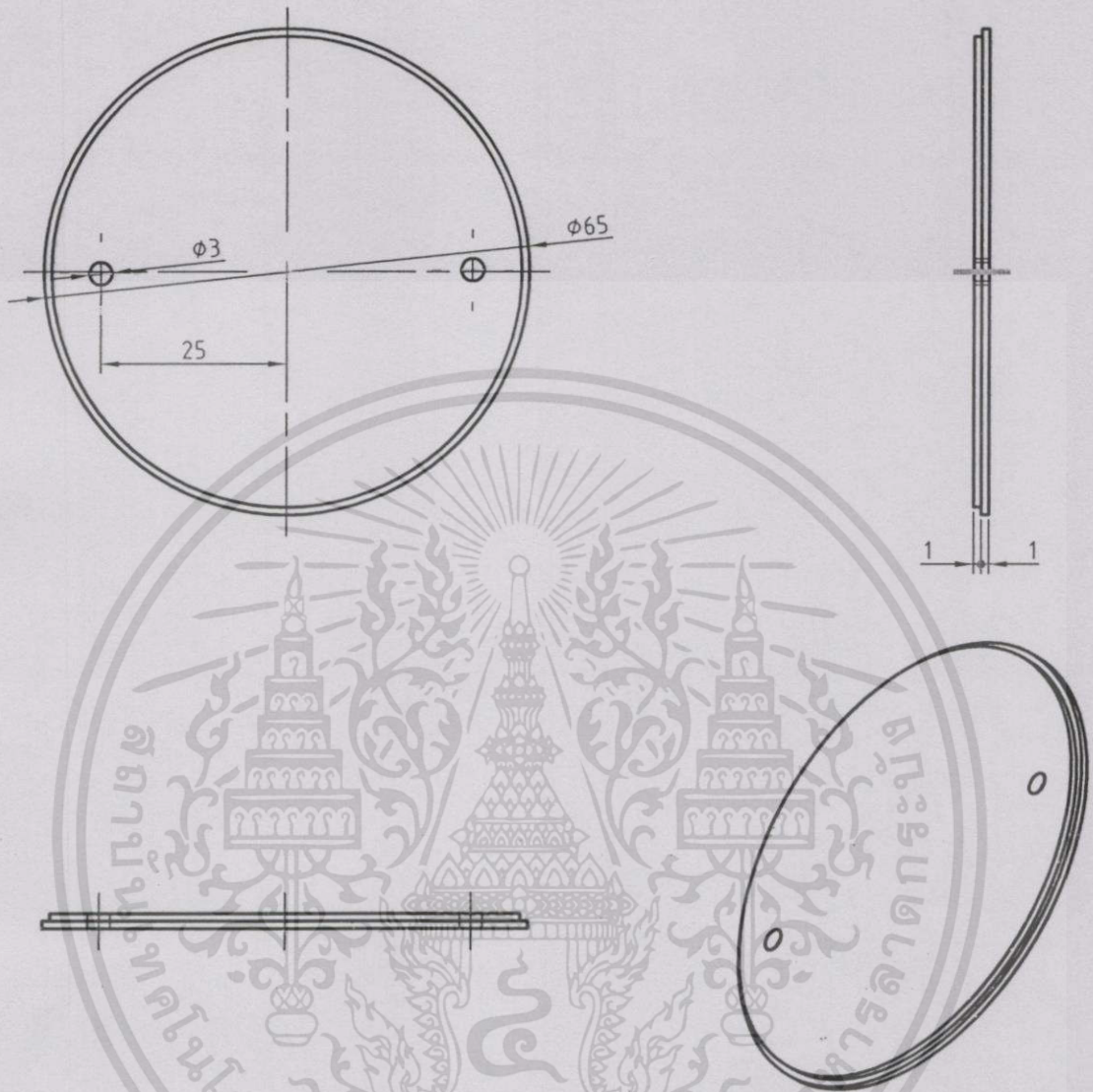
B

C

D



FILE NAME	combiner.dwg		
CONTRACT NO	-		
DRAWN	07.27.2000 Pukdee Rattanachan		
CHECK			
APPR.			
ISSUED			
Combiner		Free	
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะโครงการเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต	SIZE	FSCM NO เพื่อการควบคุม	DWG NO
ไม่ทำกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำไปเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต	A4		เมื่ออนุญาตให้มาใช้ประโยชน์ด้านการค้า
	SCALE	WEIGHT	REV
	1:1		
		SHEET	



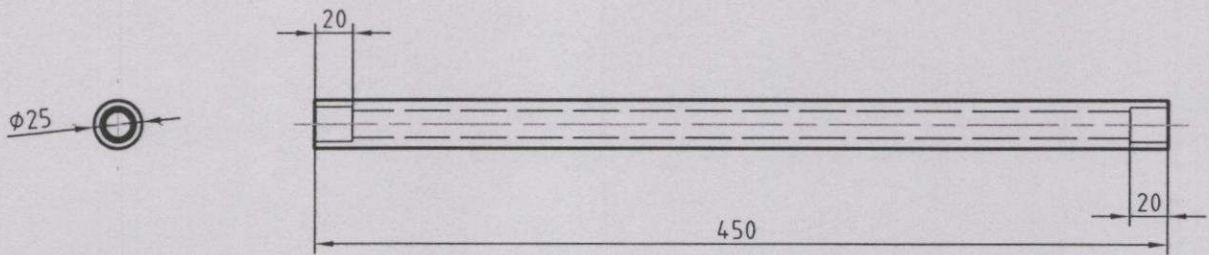
FILE NAME	combiner cap.dwg
CONTRACT NO	-
DRAWN	07.27.2000 Pukdee Rattfanachan
CHECK	
APPR.	
ISSUED	

Combiner cap

Mid Steel

<p>เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต</p> <p>ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ทำซ้ำ, คัดลอก, ผลิตเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้</p>	SIZE	FSCM NO	DWG NO	REV
	A4			
SCALE	1:1	WEIGHT	SHEET	

A



B

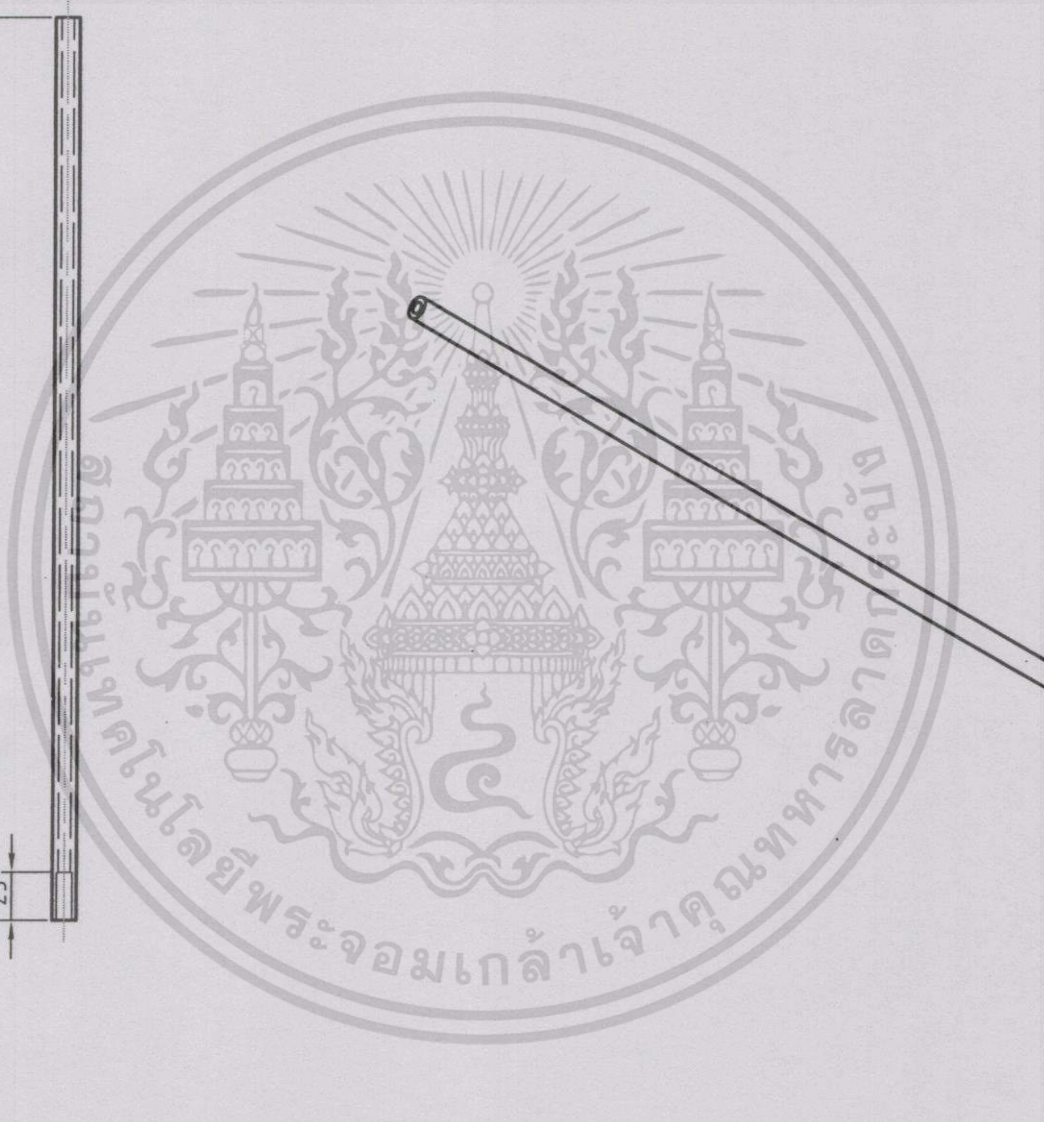
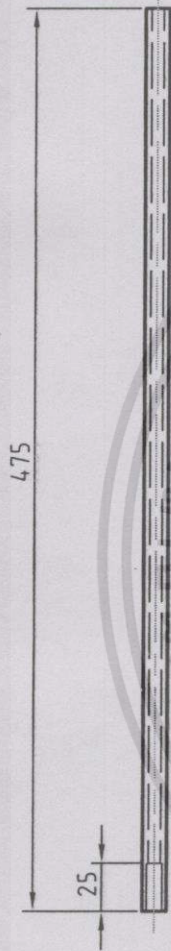
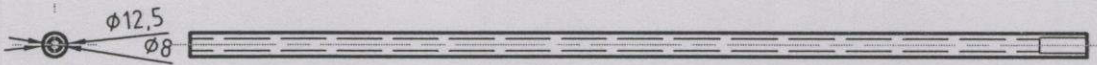


C

D

FILE NAME	out main.dwg				
CONTRACT NO	-				
DRAWN	07.27.2000 Pukdee				
CHECK					
APPR.					
ISSUED					
Main Arm (outside)		SIZE	FSCM NO	DWG NO	REV
		A4			
SCALE		1:4		WEIGHT	SHEET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับคนในองค์กรศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ได้แก่บุคคล
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



FILE NAME	in main.dwg			
CONTRACT NO	-			
DRAWN	07.27.2000 Pukdee			
CHECK				
APPR.				
ISSUED				
	Main Arm (inside)			
	(Mid steel)			
ขนาดนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต	SIZE	FSCM NO	DWG NO	REV
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต	A4	-		
	SCALE	1:4	WEIGHT	SHEET

ประวัติผู้เขียน

- ชื่อ นายภักดี รัตนจันทร์
- เกิดเมื่อ วันที่ 3 กันยายน พ.ศ. 2521
- สถานที่เกิด จังหวัดน่าน ประเทศไทย
- การศึกษา - ระดับมัธยมจาก โรงเรียนศรีสวัสดิ์วิทยาคาร จังหวัดน่าน พ.ศ. 2533-2537
 - ระดับปริญญาตรี (วท.บ. เคมีอุตสาหกรรม) จากภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2538-2541
 - ระดับปริญญาโท (วท.ม. เทคโนโลยีพอลิเมอร์) คณะบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2542-2544

