สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบเครื่องขึ้นรูปร้อนแบบหลายระบบเพื่อใช้ในห้องปฏิบัติการ

DESIGN OF MULTIFUNCTIONAL THERMOFORMING MACHINE FOR LABORATORY

ธีรศักดิ์ พลอยเจริญ

TEERASAK PLOYCHAROEN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2547

ISBN 974-15-1108-6

TW
ธ654ก
2547

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....58520
วัน,เดือน,ปี.....25 ส.ค. 2549

b.....11424373
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN OF MULTIFUNCTIONAL THERMOFORMING MACHINE FOR LABORATORY

TEERASAK PLOYCHAROEN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL 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
2004

ISBN 974-15-1108-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2004
SCHOOL OF GRADUATED STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบเครื่องขึ้นรูปร้อนแบบหลายระบบเพื่อใช้ในห้องปฏิบัติการ
นักศึกษา	นายธีรศักดิ์ พลอยเจริญ
รหัสประจำตัว	43065613
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีพอลิเมอร์
พ.ศ.	2547
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบ การสร้างและการทดสอบเครื่องขึ้นรูปร้อนแบบหลายระบบเพื่อนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการ เครื่องมือที่ออกแบบและจัดสร้างมีระบบขึ้นรูปร้อนรวม 3 ระบบ คือ การขึ้นรูปแบบสุญญากาศโดยตรง การขึ้นรูปโดยใช้ตัวช่วยกด และการขึ้นรูปแบบใช้แม่พิมพ์ช่วยดัน โดยมีการควบคุมการทำงานของส่วนประกอบต่าง ๆ ด้วยไฟฟ้า แม่พิมพ์มีลักษณะเป็นรูปถ้วยมี 2 แบบทำจากเรซินหล่อ โดยแบบที่หนึ่งเป็นแม่พิมพ์ตัวเมีย มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางปากถ้วย 6 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางก้นถ้วย 5 เซนติเมตร ลึก 3 เซนติเมตร ส่วนแบบที่สองเป็นแม่พิมพ์ตัวผู้ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากันแต่มีความสูง 1.5 เซนติเมตร วัสดุที่ใช้เป็นแผ่นพอลิสไตร์นชนิดทนแรงกระแทกสูง โดยทำการปรับเปลี่ยนสภาวะการทดลอง ได้แก่ อุณหภูมิการขึ้นรูป และความดันสุญญากาศ จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้มาวิเคราะห์ความสม่ำเสมอของความหนา จากการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือที่สร้างขึ้นพบว่าส่วนให้ความร้อนและระบบสุญญากาศสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนการทดสอบการขึ้นรูปชิ้นงานพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสามารถขึ้นรูปให้ได้ชิ้นงานที่มีการกระจายความหนาอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นงานคือ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ความดันสุญญากาศ 200 มิลลิเมตรปรอท (0.27 MPa) เท่ากันทั้ง 3 ระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Design of Multifunctional Thermoforming Machine for Laboratory
Student	Mr. Teerasak Ploycharoen
Student ID.	43065613
Degree	Master of Science
Programme	Polymer Technology
Year	2004
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Dr. Somsak Woramongkolchai

ABSTRACT

This research focused on design, construction and testing of a multifunctional thermoforming machine for laboratory. This designed and constructed machine has 3 thermoforming techniques in the system; straight vacuum forming, plug-assisted vacuum forming, and drape forming. All functions are controlled by electrical system. The molds that made of casting resin can be classified into 2 types; one is a female mold of 6 centimeters in diameter on top, 5 centimeters in diameter at the bottom, and 3 centimeters of depth and the other one is a male mold with same both diameters except 1.5 centimeters of height. The tested material was high-impact polystyrene sheet. The operating conditions (forming temperature and pressure) were changed. The thermoformed specimens were measured wall thickness uniformity. The testing of machine efficiency demonstrated that the heater and vacuum system were efficiency. The suitable operating conditions for good wall thickness uniformity were at the temperature of 110°C and vacuum pressure of 200 mmHg (0.27 MPa) for all techniques.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไม่อาจสำเร็จลุล่วงด้วยดีหากขาด คุณพ่อ และ คุณแม่ ที่คอยดูแลติดตามความคืบหน้าของงานวิจัย ให้คำปรึกษา ให้กำลังใจ และให้การศึกษาที่ดีตลอดมา

ขอขอบคุณ รศ.ดร. สมศักดิ์ วรมงคลชัย ที่ให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ และให้ความดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดี ตลอดระยะเวลาทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ ผศ.ดร. เก็จวลี พฤกษาทร และ ดร. สุภารัตน์ รักชลธี ที่กรุณาสละเวลา ให้คำปรึกษา และแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ กรรมการผู้จัดการ บริษัท ชินแม็ก ซิสเต็ม จำกัด ที่กรุณาให้เยี่ยมชมเครื่องขึ้นรูปร้อน พร้อมให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะในการออกแบบและแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ของกระบวนการ

ขอขอบคุณ บริษัท สวนหลวงเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด ที่กรุณาให้คำปรึกษาในการออกแบบ การเลือกใช้ระบบให้ความร้อนพร้อมทั้งส่วนควบคุม

ขอขอบคุณ คุณพลเทพ เลิศวัฒนวัลลี วิศวกรเครื่องกล บริษัท พี เค พีซิชัน จำกัด ที่กรุณาให้คำแนะนำในขั้นตอนการออกแบบ เขียนแบบและจัดสร้าง พร้อมทั้งอนุเคราะห์อุปกรณ์ลมที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณ สิ่ว โจ๊ก ก๊ก ปิ๊ก ต้ม ตี้ มน ปื๊ด ปุ้ย มิ๊งก์ หวาน และ เพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจ ดูแลสอบถามความคืบหน้า ให้คำปรึกษาด้วยดีตลอดมา

นอกจากนี้ยังมีบุคคลอีกหลายท่านที่มิได้กล่าวถึงไว้ ณ ที่นี้ ที่มีส่วนช่วยเหลือ ให้ข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ข้าพเจ้าขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

สุดท้ายนี้ ขออุทิศประโยชน์ จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ธีรศักดิ์ พลอยเจริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VIII

สารบัญรูป IX

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของบัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการทดลอง 2

1.3 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย 2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 นิยาม 3

2.2 หลักการทำงานของเครื่องขึ้นรูปร้อน 3

2.2.1 การอัดรีดแผ่นและฟิล์มพลาสติก 3

2.3 ประเภทของเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปร้อน 5

2.3.1 ประเภทของเทคนิคการขึ้นรูปร้อน 6

2.4 แม่พิมพ์ 14

2.4.1 แม่พิมพ์ตัวผู้ 15

2.4.2 แม่พิมพ์ตัวเมีย 15

2.4.3 วัสดุทำแม่พิมพ์ 15

2.5 ส่วนให้ความร้อน 16

2.6 รองลื่น (Bearing) 18

2.6.1 การจำแนกประเภทของรองลื่น 18

2.6.2 วัสดุที่ใช้ทำรองลื่นแบบกาบเพลา 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.7 ระบบนิวแมติกส์ 21
2.7.1 นิยาม 21
2.7.2 ข้อดีและข้อเสียของระบบนิวแมติกส์ 21
2.7.3 เครื่องอัดลม 22
2.7.4 ถังเก็บลม (Receiver) 24
2.7.5 กระบอกสูบ (Acting cylinder) 25
2.8 โซลีนอยด์วาล์ว 26
2.8.1 ชนิดของโซลีนอยด์วาล์ว 27
2.8.2 โซลีนอยด์คอยล์ 27
2.8.3 การติดตั้งโซลีนอยด์วาล์ว 28
2.9 อุปกรณ์ทางไฟฟ้า 28
2.9.1 เบรกเกอร์ (Circuit breaker) 28
2.9.2 สวิตช์ (Switch) 29
2.9.3 รีเลย์ (Relay) 29
2.9.4 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller) 30
2.10 เทอร์โมคัพเปิล 33
2.10.1 ชนิดของเทอร์โมคัพเปิล 33
2.11 วัสดุที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปร้อน 35
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 36

บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย 38
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 38
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 38
3.2.1 อุปกรณ์ทางเครื่องกล 38
3.2.2 อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงาน 39
3.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปและทดสอบชิ้นงาน 39
3.2.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องขึ้นรูปร้อน 39
3.2.5 อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบสมบัติของพอลิสไตรีน 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 ขั้นตอนการทดลอง 39
3.3.1 การออกแบบเครื่องขึ้นรูปร้อนแบบหลายระบบ 39
3.3.1.1 ส่วนประกอบต่าง ๆ 39
3.3.1.2 การประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ เข้ากับโครงเหล็ก 46
3.3.2 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือ 49
3.3.2.1 การทดสอบความเที่ยงตรงในการปรับอุณหภูมิ 49
3.3.2.2 การทดสอบความสม่ำเสมอของอุณหภูมิในตำแหน่งต่าง ๆ ของส่วนให้ความร้อน.....49
3.3.3 การขึ้นรูปชิ้นงาน 50
3.3.3.1 ศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการขึ้นรูป 50
3.3.3.2 ศึกษาหาความดันสุญญากาศที่เหมาะสมในการขึ้นรูป 50
3.3.3.3 การทดสอบชิ้นงาน 51
3.3.4 การวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกสูง 51

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง 52
4.1 เครื่องมือที่สร้างขึ้น 52
4.1.1 ระบบสุญญากาศโดยตรง (Vacuum forming).....52
4.1.2 ระบบใช้ตัวช่วยกด (Plug-assist forming) 53
4.1.3 ระบบใช้แม่พิมพ์ช่วยดัน (Drape forming) 54
4.2 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือ.....56
4.2.1 การทดสอบประสิทธิภาพของส่วนให้ความร้อน 56
4.3 การทดสอบการขึ้นรูปชิ้นงาน 57
4.3.1 ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการกระจายความหนาของผลิตภัณฑ์ 57
4.3.2 ศึกษาผลของความดันสุญญากาศต่อการกระจายความหนาของผลิตภัณฑ์.....58

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

เอกสารอ้างอิง.....61

ภาคผนวก 63
ภาคผนวก ก 64
ภาคผนวก ข 66
ภาคผนวก ค 67
ภาคผนวก ง 69
ภาคผนวก จ 70

ประวัติผู้เขียน 71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ข้อดีและข้อเสียของการใช้รองลื่นแบบกาบเพลากับแบบลูกปืน....20

2.2 ชนิดของเทอร์โมคัพเปิลแบบมาตรฐาน 34

2.3 ชนิดของเทอร์โมคัพเปิลกับเงื่อนไขบรรยากาศที่เหมาะสม....34

4.1 อุณหภูมิเฉลี่ยของส่วนให้ความร้อนที่วัดได้เทียบกับอุณหภูมิที่ตั้งไว้ 56

4.2 ความสม่ำเสมอของอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของส่วนให้ความร้อนที่ตั้งอุณหภูมิไว้ 130 องศาเซลเซียส 56

4.3 ความหนาเฉลี่ย(มิลลิเมตร) ณ ตำแหน่งต่าง ๆ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงาน เนื่องจากผลของ อุณหภูมิ 57

4.4 ความหนาเฉลี่ย(มิลลิเมตร) ณ ตำแหน่งต่าง ๆ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงาน เนื่องจากผลของความดัน 58

ก-1 ต้นทุนในการสร้างเครื่องขึ้นรูปร้อนแบบหลายระบบ....64

ข-1 แรงที่ได้จากกระบอกลมที่เลือกใช้ในเครื่องขึ้นรูปร้อนที่สร้างขึ้น....66

ค-1 พลังงานความร้อนที่ต้องการเพื่อทำให้วัสดุมีอุณหภูมิตามที่กำหนด 67

ค-2 เวลาที่ใช้ในการทำความร้อนเตาอบให้มีอุณหภูมิตามที่กำหนด 68

ง-1 ข้อมูลทางเทคนิค 69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ดายรูปไม้แขวนเสื้อ 4
2.2 การผลิตพลาสติกแผ่นโดยการอัดรีด 5
2.3 ฟองอากาศที่เกิดขึ้นจากความชื้นที่มีในวัสดุ 6
2.4 เทคนิคการขึ้นรูปร้อนที่ใช้สุญญากาศโดยตรง 7
2.5 การยืดตัวของแผ่นพลาสติกในขณะถูกดึงด้วยแรงดันสุญญากาศ 7
2.6 การขึ้นรูปโดยการใช้แรงดันสุญญากาศแล้วใช้ลมเป่าสวนทาง 8
2.7 การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ดันแผ่นพลาสติกก่อนแล้วใช้แรงดันสุญญากาศ 9
2.8 การขึ้นรูปโดยใช้หัวอัดช่วยก่อนใช้แรงดันสุญญากาศ 10
2.9 การขึ้นรูปโดยการสร้างถุงอากาศก่อนใช้แรงดันสุญญากาศ 11
2.10 การเปลี่ยนรูปของแผ่นพลาสติกเนื่องจากการแปรรูปโดยการสร้างถุงอากาศและหัวอัดร่วม 12
2.11 เทคนิคการขึ้นรูปแบบการสร้างถุงอากาศและหัวอัดร่วมกัน 13
2.12 การขึ้นรูปโดยใช้แรงดันอากาศช่วย 14
2.13 แม่พิมพ์ตัวผู้และผลิตภัณฑ์ 15
2.14 แม่พิมพ์ตัวเมียและผลิตภัณฑ์ 15
2.15 รองลื่นกาบเพลาแบบต่าง ๆ 19
2.16 รองลื่นตลับลูกปืนแบบต่าง ๆ 19
2.17 เครื่องอัดลมแบบลูกสูบ 22
2.18 เครื่องอัดลมแบบไดอะแฟรม 23
2.19 เครื่องอัดลมที่ใช้ใบพัดเลื่อน 23
2.20 เครื่องอัดลมแบบสกรู 23
2.21 เครื่องอัดลมแบบใบพัดหมุน 24
2.22 เครื่องอัดลมแบบกังหัน 24
2.23 ถังเก็บลมแบบนอนและแบบตั้ง 25
2.24 หน้าสัมผัสแบบต่างๆ 29
2.25 รีเลย์ 30
2.26 ตัวอย่างวงจรควบคุมอุณหภูมิ 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.27 วงจรของเทอร์โมคัพเปิล 31

2.28 การควบคุมโดยใช้คอนแทคเตอร์เทียบกับตัวสลับสัญญาณซิลิกอน 33

3.1 ลักษณะของแม่พิมพ์ที่ใช้ในการทดลอง 40

3.2 โต๊ะวางแม่พิมพ์ 41

3.3 ตัวช่วยกด 41

3.4 การประกอบตัวช่วยกดเข้ากับแท่นยึด.....42

3.5 ส่วนจับยึดแผ่นพลาสติก 42

3.6 กระบอกลม 43

3.7 โครงเหล็ก 43

3.8 ส่วนให้ความร้อน 44

3.9 รางเลื่อน 44

3.10 ถังสุญญากาศ 45

3.11 ถังเก็บอากาศ 45

3.12 การติดตั้งปั๊มดูดอากาศและถังสุญญากาศ 46

3.13 การติดตั้งถังเก็บอากาศ 46

3.14 การติดตั้งโต๊ะวางแม่พิมพ์ 47

3.15 การติดตั้งส่วนยึดแผ่นพลาสติก 47

3.16 การติดตั้งส่วนให้ความร้อน 48

3.17 การติดตั้งตัวช่วยกด.....48

3.18 อุปกรณ์ที่ใช้วัดความสม่ำเสมอของอุณหภูมิส่วนให้ความร้อน 49

3.19 ตำแหน่งต่าง ๆ ในการวัดความสม่ำเสมอของส่วนให้ความร้อน 49

3.20 ตำแหน่งต่าง ๆ ในการทดสอบการกระจายตัวของความหนา 51

4.1 ขั้นตอนการทำงานของระบบสุญญากาศโดยตรง 53

4.2 ขั้นตอนการทำงานของระบบตัวช่วยกด 54

4.3 ขั้นตอนการทำงานของระบบใช้แม่พิมพ์ช่วยดัน 55

4.4 เครื่องขึ้นรูปร้อนที่สร้างขึ้น 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลาสติกเป็นวัสดุที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เหตุผลเนื่องมาจากพลาสติกเป็นวัสดุที่สามารถขึ้นรูปได้ตามต้องการ มีความแข็งแรงสูงเมื่อเทียบกับน้ำหนัก ราคาถูก น้ำหนักเบา สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ มีสมบัติทางเคมีและกายภาพที่ดี โดยจะพบเห็นการใช้พลาสติกในอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ เช่น ในอุตสาหกรรมเคมี เครื่องใช้สำหรับงานทางเกษตรกรรม ของใช้ในครัวเรือน เฟอร์นิเจอร์ บรรจุภัณฑ์ เครื่องประดับ เครื่องนุ่งห่ม อุปกรณ์กีฬา เรือ ส่วนประกอบรถยนต์ เครื่องบินและยานอวกาศ ส่วนประกอบของโครงสร้างอาคาร ชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้า และอื่น ๆ อีกมากมาย ทั้งนี้โดยใช้กระบวนการขึ้นรูปพลาสติกแตกต่างกันออกไป [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)

ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาพบว่ามีของโรงงานที่เกี่ยวข้องกับพลาสติกเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากโดยส่วนใหญ่เป็นโรงงานประเภทแปรรูปพลาสติก ซึ่งโรงงานดังกล่าวยังต้องสั่งซื้อเครื่องจักรรวมทั้งเทคโนโลยีที่ใช้ในการแปรรูปจากต่างประเทศ เป็นผลให้เงินลงทุนในช่วงเริ่มต้นกิจการสูง ดังนั้นจึงพบว่ามีแต่ผู้ประกอบการธุรกิจขนาดกลางและขนาดใหญ่เท่านั้นที่สามารถดำเนินธุรกิจประเภทนี้ได้

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาและออกแบบเครื่องมือในการขึ้นรูปพลาสติกที่มีราคาต่ำเพื่อที่จะเพิ่มโอกาสแก่ผู้ประกอบธุรกิจขนาดเล็ก ซึ่งสอดคล้องกับการดำเนินนโยบายของภาครัฐบาลที่มุ่งเน้นส่งเสริมการลงทุนของผู้ประกอบการธุรกิจขนาดเล็กและเพื่อเป็นการกระตุ้นให้มีการพัฒนาทางด้านเทคนิคในการขึ้นรูปร้อน ส่งผลให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีพลาสติกภายในประเทศ และในที่สุดหากสามารถผลิตเครื่องขึ้นรูปร้อนได้เป็นมาตรฐานก็จะสามารถลดการนำเข้าเครื่องจักรจากต่างประเทศได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคการขึ้นรูปร้อน (Thermoforming) เป็นเทคนิคที่ใช้ความดันในการขึ้นรูปต่ำ ส่งผลให้ต้นทุนทางด้านแรงงานและวัสดุที่ใช้ในการสร้างเครื่องมือมีราคาต่ำ อีกทั้งยังใช้เวลาในแต่ละรอบการผลิตสั้น ใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปต่ำ สามารถเปลี่ยนแปลงรูปแบบของผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย และเป็นกระบวนการที่ดำเนินการผลิตไม่ซับซ้อนมากนักจึงเป็นเทคนิคที่ถูกเลือกศึกษาในงานวิจัยนี้ โดยจะมุ่งเน้นการออกแบบและจัดสร้างให้สอดคล้องกับวัสดุอุปกรณ์ที่มีจำหน่ายอยู่ภายในประเทศเพื่อเป็นการลดต้นทุนการจัดสร้างและการดูแลปรับปรุง รวมทั้งเป็นการพัฒนาเทคนิคการขึ้นรูปร้อนในประเทศให้ก้าวหน้าต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ในการทดลอง

1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปร้อนแบบหลายระบบเพื่อใช้ในห้องปฏิบัติการ
2. เพื่อศึกษาสภาวะในการทำงานที่เหมาะสมของเครื่อง รวมทั้งศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการขึ้นรูปร้อน

1.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาหลักการและขั้นตอนการทำงานของเครื่องขึ้นรูปร้อนที่ใช้งานอยู่ในอุตสาหกรรม
2. ออกแบบเครื่องให้สอดคล้องกับหลักการทำงาน และมีขนาดเหมาะสมกับชิ้นงาน
3. ศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้าง และปรับปรุงแบบให้เหมาะสมกับเทคนิคการสร้าง วัสดุที่มีจำหน่ายในท้องตลาด และงบประมาณในการจัดสร้าง
4. สร้างเครื่องขึ้นรูปร้อนแบบหลายระบบ
5. ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องขึ้นรูปร้อนที่สร้างขึ้น เพื่อทราบถึงข้อผิดพลาดและนำไปปรับปรุงการทำงานต่อไป
6. ศึกษาสภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสม รวมทั้งศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการขึ้นรูปร้อนของแผ่นพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกสูง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อสร้างเครื่องขึ้นรูปร้อนที่มีประสิทธิภาพและต้นทุนต่ำ
2. ลดการนำเข้าเครื่องจักรและเทคโนโลยีจากต่างประเทศ
3. พัฒนาทักษะในการใช้งานเครื่องขึ้นรูปร้อน
4. เป็นต้นแบบแนวความคิดที่นำไปสู่การพัฒนาทางด้านเทคนิคการขึ้นรูปร้อนในประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 นิยาม

เทอร์โมฟอร์มมิง (Thermoforming) หรือกระบวนการขึ้นรูปร้อน หมายถึง การขึ้นรูปพลาสติกในขณะที่พลาสติกอ่อนตัวเนื่องจากความร้อน โดยการทำให้พลาสติกยืดตัวออกภายใต้แรงดันลม (Pneumatic) แรงดันสุญญากาศ (Vacuum) หรือการดึงเชิงกล (Mechanical drawing) ทำให้ได้ชิ้นงานที่มีรูปร่างตามแม่พิมพ์ วัตถุดิบที่นิยมใช้คือแผ่นพลาสติกและฟิล์มพลาสติก [2]

2.2 หลักการทำงานของเครื่องขึ้นรูปร้อน

การแปรรูปพลาสติกโดยวิธีขึ้นรูปร้อน ด้วยเทคนิคต่าง ๆ มีขั้นตอนหลักดังนี้ คือเริ่มจากการให้ความร้อนแผ่นพลาสติกจนถึงอุณหภูมิที่ทำให้แผ่นพลาสติกเกิดการอ่อนตัว ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิที่พอลิเมอร์เปลี่ยนจากสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature, T_g) กับอุณหภูมิที่พอลิเมอร์เริ่มไหล (Flow temperature, T_f) ซึ่งในช่วงอุณหภูมินี้ สามารถทำให้แผ่นพลาสติกเกิดการยืดตัวได้สูงถึง 5 เท่า ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับการแปรรูปโดยใช้เทคนิคขึ้นรูปร้อน เมื่อแผ่นพลาสติกมีอุณหภูมิเหมาะสมแล้วทำให้พลาสติกยืดตัวสู่แม่พิมพ์โดยแรงดันลม แรงดูดสุญญากาศ หรือแรงเชิงกล จากนั้นทำการหล่อเย็น แล้วปลดชิ้นงาน เทคนิคนี้ใช้กับการแปรรูปเทอร์โมพลาสติกเท่านั้น พลาสติกที่ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับเทคนิคขึ้นรูปร้อน ต้องอยู่ในรูปแบบของแผ่นพลาสติกหรือฟิล์มพลาสติก ซึ่งมีความหนาอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 12.0 มิลลิเมตร ดังนั้นการศึกษาเรื่องการแปรรูปพลาสติกโดยใช้เทคนิคขึ้นรูปร้อน จำเป็นที่จะต้องเข้าใจเรื่องเทคนิคการผลิตแผ่นฟิล์มและแผ่นพลาสติกด้วย เนื่องจากคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายจากการขึ้นรูปร้อนขึ้นอยู่กับเทคนิคการผลิตฟิล์มและแผ่นพลาสติกเป็นสำคัญ [2]

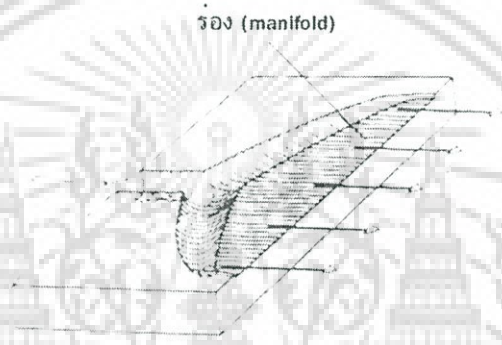
2.2.1 การอัดรีดแผ่นและฟิล์มพลาสติก

ข้อแตกต่างระหว่างแผ่นและฟิล์มพลาสติกคือ ความหนาและลักษณะการม้วนพับกล่าวคือ ฟิล์มพลาสติก คือพลาสติกที่มีหน้ากว้างและผิวเรียบ มีความหนาน้อยกว่า 0.5 มิลลิเมตร นอกจากนี้ยังสามารถม้วนได้โดยไม่มีการเปลี่ยนรูป (Deformation) อย่างถาวร แต่แผ่นพลาสติกจะมีความหนามากกว่า 0.5 มิลลิเมตร และการม้วนพับจะทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร การผลิตแผ่นพลาสติกโดยการอัดรีดจะใช้ดายที่มีหน้ากว้างที่เรียกว่า ดายรูปแผ่นชีท (sheeting die หรือ slit-die) ที่มีพื้นที่หน้าตัดของทางออกเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีหน้ากว้างใกล้เคียงกับความกว้างของแผ่นพลาสติกที่จะผลิต โดยทั่วไปแล้วเทคนิคการอัดรีดสามารถผลิตแผ่นพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้หนาถึง 15 มิลลิเมตร และมีหน้ากว้างได้ถึง 4 เมตร ขั้นตอนในการผลิตเริ่มต้นจาก การดันให้พลาสติกหลอมเหลวไหลผ่านหัวดาย ได้แผ่นพลาสติกที่ร้อนและนิ่มแล้วให้เคลื่อนที่ผ่านช่องว่าง (Nip) ของลูกกลิ้งซึ่งลูกกลิ้งจะทำหน้าที่หล่อเย็นและควบคุมความหนาของแผ่นพลาสติก

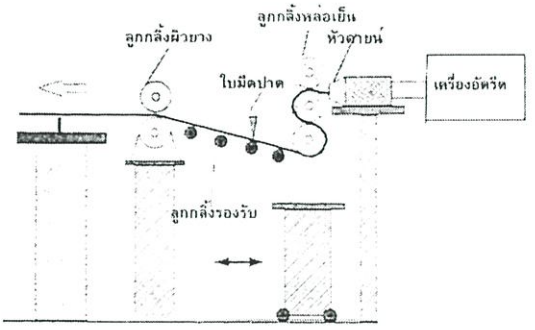
ดายของเครื่องอัดรีดที่นิยมใช้ในการผลิตแผ่นพลาสติก คือ ดายรูปไม้แขวนเสื้อ (Coathanger sheet extrusion die) และ ดายรูปตัวที (Center-fed T die) เนื่องจากดายทั้งสองชนิดนี้ มีส่วนช่วยให้พลาสติกหลอมเกิดการกระจายตัว (Distribution) กล่าวคือ ทำให้ความเร็วในการไหลของพลาสติกหลอมเหลวที่ทางออกดายคงที่ตลอดหน้ากว้างของดาย รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของดายและส่วนที่ทำให้เกิดการกระจายตัวของพลาสติกหลอมในดายไม้แขวนเสื้อ



รูปที่ 2.1 ดายรูปไม้แขวนเสื้อ [2]

เนื่องจากเป็นที่ทราบกันว่า พลาสติกหลอมไหลออกจากกระบอก (Barrel) ของเครื่องอัดรีด มีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอก แต่ในการผลิตแผ่นพลาสติกมีความจำเป็นที่จะต้องให้เกิดการแผ่กระจายของท่อทรงกระบอก ออกเป็นแผ่นบางเต็มช่วงกว้างของดาย ดังนั้นในการออกแบบดายจำเป็นต้องมีร่อง (Manifolds) จำนวนมาก ซึ่งแต่ละร่องต้องมีความยาวและรูปทรงทางเรขาคณิตที่เหมาะสม ลักษณะร่องอาจจะเป็นร่องครึ่งวงกลม หรือรูปสี่เหลี่ยมต่าง ๆ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการต่อต้านการไหลของพลาสติกหลอมที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในดายขณะที่เกิดการไหลให้ใกล้เคียงกันตลอดทุกตำแหน่ง ซึ่งถ้าการต่อต้านการไหลของดายในทุกตำแหน่งใกล้เคียงกัน จะส่งผลให้ความเร็วของการไหล ความดันในขณะไหลออก อุณหภูมิของพลาสติกหลอมและการจัดเรียงตัวของสายโซ่ ของพอลิเมอร์หลอมมีค่าใกล้เคียงกันทั่วแผ่นพลาสติก ทำให้ได้แผ่นพลาสติกที่มีสมบัติเชิงกลดีและมีสมบัติคล้ายกันตลอดทั่วทั้งแผ่น เทคนิคการผลิตแผ่นพลาสติกโดยวิธีการอัดรีดแสดงดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 การผลิตพลาสติกแผ่นโดยการอัดรีด [2]

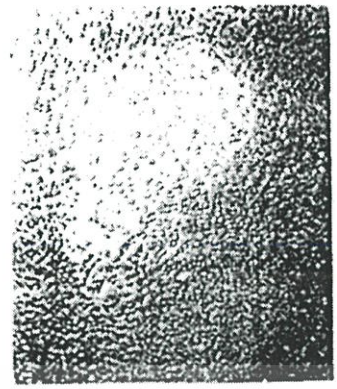
ในส่วนของฟิล์มพลาสติก จะมีลักษณะเรียบและมีความหนาน้อยกว่า 0.5 มิลลิเมตร และเมื่อม้วนพับจะไม่ทำให้เกิดการผิดรูปที่ถาวร สามารถผลิตได้โดยวิธีการอัดรีด ซึ่งจะใช้ดายประเภทเดียวกับการผลิตพลาสติกแผ่น

2.3 ประเภทของเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปร้อน

การแปรรูปพลาสติกโดยเทคนิคขึ้นรูปร้อนมีหลายประเภท แต่ทุกประเภทมีหลักการพื้นฐานที่เหมือนกัน คือ การทำให้พลาสติกอ่อนตัวที่อุณหภูมิเหมาะสม แล้วทำการดึงพลาสติกให้ยืด ตามด้วยการขึ้นรูปโดยการใช้แรงลม แรงดันสุญญากาศ แรงดึงเชิงกล หรือใช้แรงทั้งสามชนิดนี้ร่วมกัน โดยแรงดันลมที่ใช้อยู่ในช่วง 1 ถึง 800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (0.0069-5.52 MPa) ส่วนแรงดันสุญญากาศ อยู่ในช่วง 20 ถึง 27 นิ้วของปรอท ระดับของแรงดันลมและแรงดันสุญญากาศที่ใช้ขึ้นอยู่กับชนิดของเทคนิคขึ้นรูปร้อน คุณภาพและรายละเอียดของชิ้นงานที่ผลิต แต่ละเทคนิคของเครื่องขึ้นรูปร้อนมีขั้นตอนของกระบวนการคล้ายคลึงกันดังนี้

1. การให้ความร้อน วัสดุสามารถรับความร้อนได้หลากหลายวิธี เช่น ใช้เตาอบอย่างง่าย อ่างน้ำมันร้อน แท่นให้ความร้อน จนกระทั่งแหล่งกำเนิดความร้อนแบบรังสีอินฟราเรดซึ่งมีทั้งแบบด้านเดียวและสองด้าน แต่เครื่องจักรขึ้นรูปร้อนที่ทันสมัยส่วนใหญ่แล้วจะใช้แบบสองด้าน เนื่องจากสามารถเปิดปิดได้รวดเร็ว สามารถเลือกส่วนที่ต้องการใช้งานได้ โดยทั่วไปแล้วส่วนให้ความร้อนควรให้ความร้อนได้ถึง 538 องศาเซลเซียส และมีค่าความหนาแน่นของความร้อน 3-6 วัตต์ต่อตารางฟุต สิ่งที่สำคัญที่สุดของระบบให้ความร้อนคือ ความสม่ำเสมอ และในทางอุตสาหกรรมควรจะใช้เวลาในช่วง 15 ถึง 40 วินาที เพื่อให้ความร้อนอย่างสม่ำเสมอ ในวัสดุบางประเภทจำเป็นต้องมีการให้ความร้อนเพื่อไล่ความชื้นเพราะอาจจะทำให้เกิดฟองอากาศซึ่งเป็นปัจจัยทำให้สมบัติเชิงกลลดลง แสดงดังรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ฟองอากาศที่เกิดจากความชื้นที่มีในวัสดุ [4]

2. การขึ้นรูป มีเทคนิคในการขึ้นรูปมากมาย แต่โดยพื้นฐานแล้วมี 2 ประเภทคือ แบบแรกใช้อากาศ ได้แก่ สุญญากาศและลมอัด และแบบใช้แรงเชิงกล เช่น ตัวช่วยกด โดยเมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เหมาะสม จะสังเกตได้ว่าแผ่นพลาสติกมีการห้อยตัวแล้วจึงใช้แรงดังกล่าวเป็นส่วนที่ทำให้แผ่นพลาสติกติดกับแม่พิมพ์

3. การหล่อเย็น หลังจากที่ทำให้แผ่นพลาสติกเป็นรูปร่างที่ต้องการตามแม่พิมพ์แล้ว ชิ้นงานควรได้รับการหล่อเย็นเพื่อไม่ให้เกิดการผิดรูป หรือเกาะติดกับแม่พิมพ์ กระบวนการนี้ใช้เวลาไม่นาน วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ควรมีค่าการนำความร้อนสูง รูปแบบของการให้ความเย็นอาจจะใช้พัดลมเป่าใช้ละอองน้ำพ่นหรือใช้ระบบท่อน้ำวน

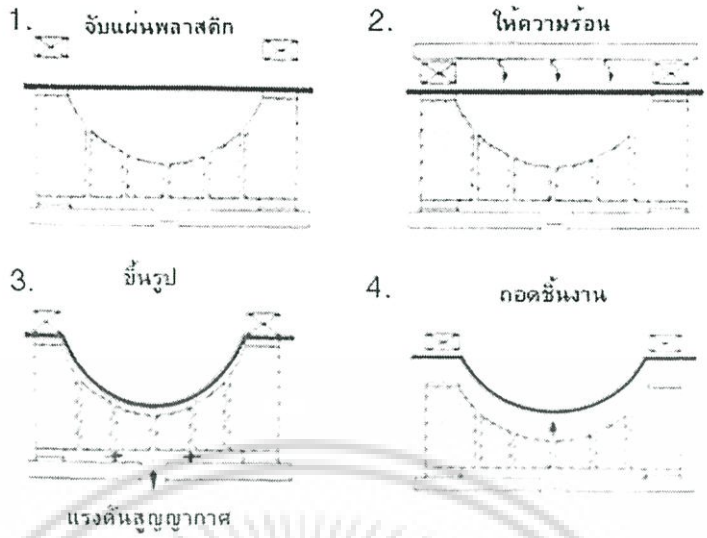
4. การตกแต่ง ก่อนที่จะดำเนินการตกแต่งชิ้นงานจะต้องคำนึงถึงการหดตัวของพลาสติกด้วย เนื่องจากพลาสติกจะเกิดการหดตัวได้จนถึงอุณหภูมิห้อง ดังนั้นการสร้างใบมีดตัดจำเป็นจะต้องคำนวณค่าของการหดตัวด้วย สำหรับชิ้นงานบางประเภท เช่น ถ้วยน้ำดื่ม อาจจะใช้ใบมีดตัดที่ประกอบติดเป็นส่วนเดียวกับแม่พิมพ์ได้ แต่ในชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ต้องใช้ส่วนตัดแยกต่างหาก

2.3.1 ประเภทของเทคนิคขึ้นรูปร้อนที่ใช้กันโดยทั่วไปสรุปได้ดังนี้

(1) การขึ้นรูปร้อนโดยใช้แรงดันสุญญากาศโดยตรง (Straight vacuum forming)

การขึ้นรูปโดยใช้แรงดันสุญญากาศเป็นเทคนิคที่ง่ายที่สุด ใช้กับการแปรรูปได้ทั้งแม่พิมพ์ตัวผู้ (Male mold) และแม่พิมพ์ตัวเมีย (Female mold) วิธีการขึ้นรูปเริ่มต้นจากการให้ความร้อนจนแผ่นพลาสติกอ่อนตัว ซึ่งในเครื่องขึ้นรูปร้อนบางแบบทำการให้ความร้อนด้านบนของแม่พิมพ์ หรืออาจจะให้ความร้อนก่อนแล้วเลื่อนแผ่นพลาสติกมาวางที่แม่พิมพ์ก็ได้ จากนั้นทำการขึ้นรูปโดยใช้แรงดันสุญญากาศ (Vacuum) ดึงให้พลาสติกที่อ่อนตัวยืดมาประกบติดกับแม่พิมพ์และถอดชิ้นงานออกจากเบ้า ลำดับขั้นของเทคนิคขึ้นรูปประเภทนี้แสดงดังรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 เทคนิคการขึ้นรูปร้อนที่ใช้สุญญากาศโดยตรง [2]

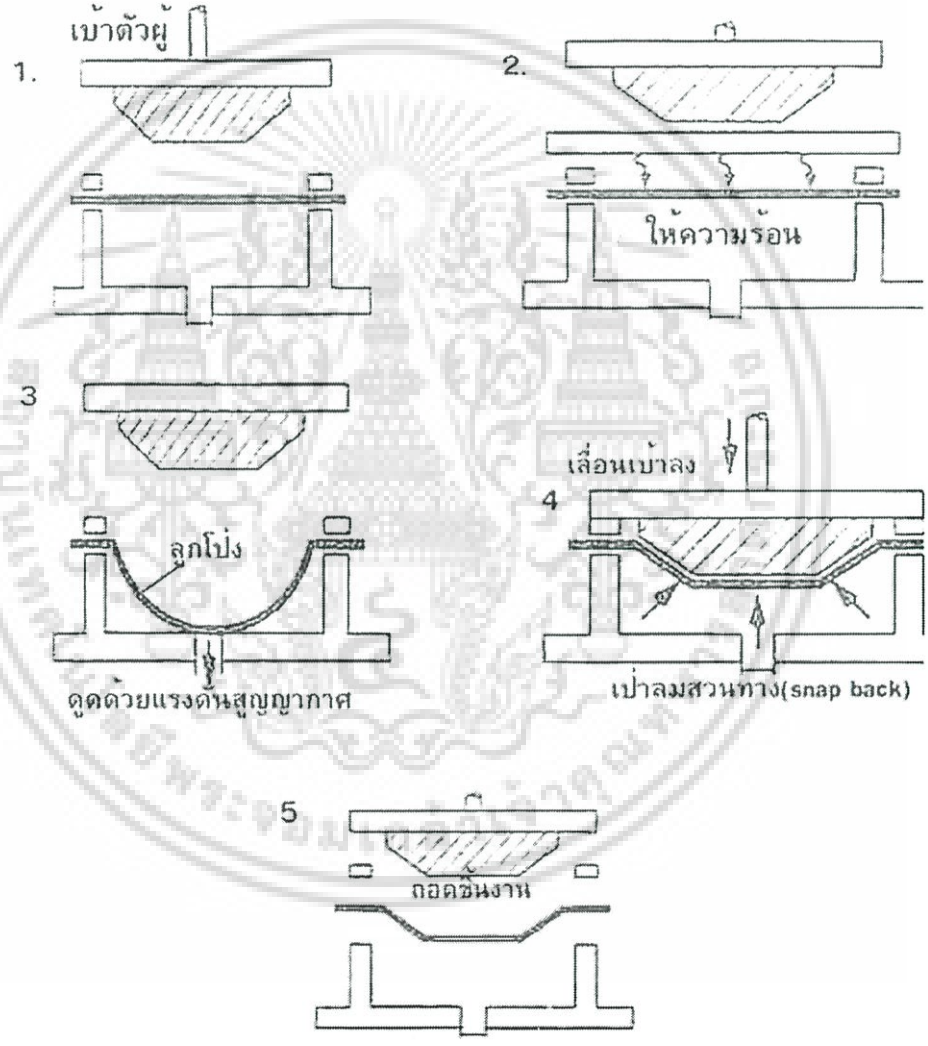
เทคนิคนี้นิยมใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติกที่มีความแข็งแรงสูง มีขั้นตอนน้อยที่สุดใช้เวลาในการผลิตสั้น ควบคุมการผลิตได้ง่าย แต่มีข้อเสีย คือชิ้นงานที่ได้มีความหนาไม่สม่ำเสมอ กล่าวคือ มีส่วนก้นที่บาง ลักษณะการยืดตัวของแผ่นพลาสติก ขณะที่ถูกดึงด้วยแรงดันสุญญากาศแสดงดังในรูปที่ 2.5

รูปที่ 2.5 การยืดตัวของแผ่นพลาสติกในขณะถูกดึงด้วยแรงดันสุญญากาศ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) **การขึ้นรูปร้อนด้วยแรงดันสุญญากาศแล้วเป่าลมสวนทาง** (Vacuum snap-back forming)

เทคนิคนี้เป็นการทำให้พลาสติกยืดตัวออกด้วยแรงดันสุญญากาศก่อน โดยมีการคำนวณระยะในการดึงไว้ล่วงหน้าแล้ว เมื่อดูดให้แผ่นพลาสติกพองตัวเป็นลูกโป่งที่มีขนาดและรูปทรงตามต้องการแล้ว เลื่อนแม่พิมพ์ตัวผู้ลงมาประกบด้านบนของแผ่นพลาสติก จากนั้นค่อย ๆ หยุดแรงดันสุญญากาศ แล้วใช้แรงดันลมอัดสวนทางทำให้ลูกโป่งพลิกตัวกลับไปประกบกับเบ้าที่อยู่ด้านบน ลักษณะของการขึ้นรูปด้วยเทคนิคนี้แสดงดังในรูปที่ 2.6

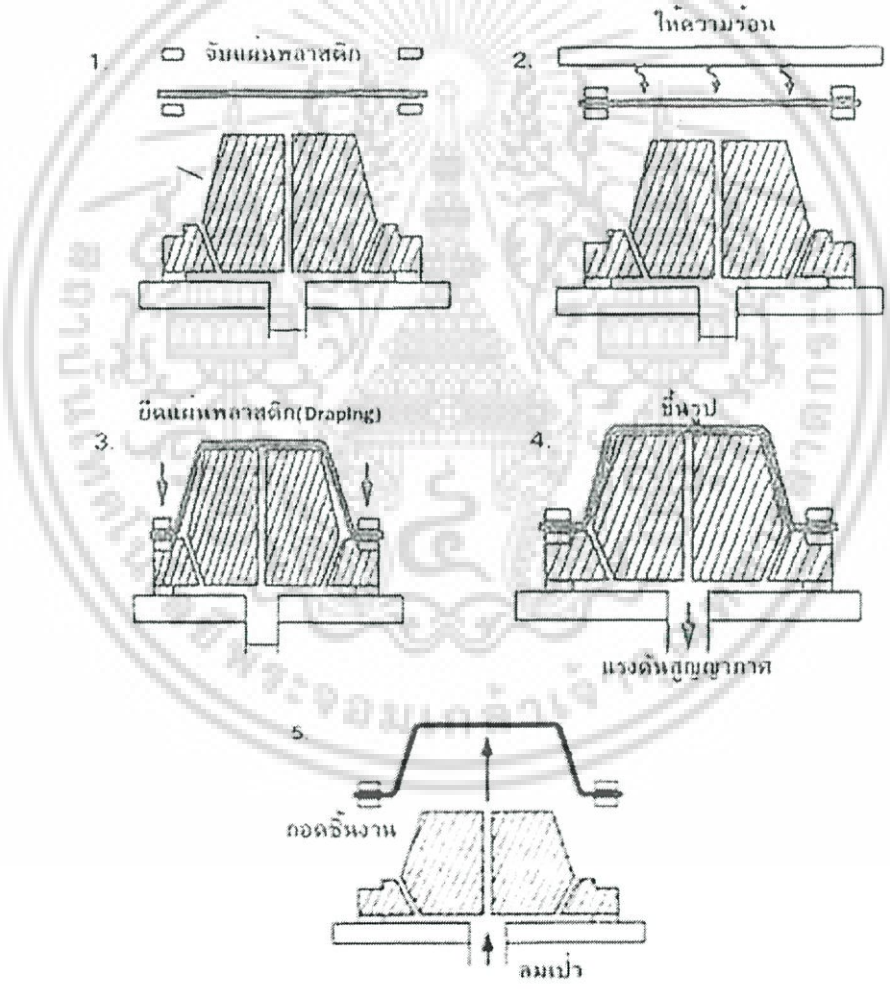


รูปที่ 2.6 การขึ้นรูปโดยการใช้แรงดันสุญญากาศแล้วใช้ลมเป่าสวนทาง [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) **เทคนิคการขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ดันแผ่นพลาสติกก่อนแล้วใช้แรงดันสุญญากาศ** (Vacuum drape forming)

เนื่องจากการผลิตชิ้นงานที่มีความลึกไม่สามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการใช้แรงดันสุญญากาศ (Vacuum forming) เพียงอย่างเดียว เนื่องจากจะต้องมีการยืดตัวสูงก่อนที่จะทำการขึ้นรูป ปัจจุบันนิยมใช้เทคนิคใหม่ โดยใช้พิมพ์ดันพลาสติกทำให้เกิดการยืดตัวก่อนแล้วจึงใช้แรงดันสุญญากาศ ในการขึ้นรูปขั้นสุดท้าย เทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่ง่าย กระบวนการแปรรูปเริ่มจากการให้ความร้อนแก่แผ่นพลาสติกก่อน แล้วใช้พิมพ์ดันแผ่นพลาสติกให้ยืดตัวออกก่อน โดยการยืดตัวส่วนใหญ่ของแผ่นพลาสติกเกิดเนื่องจากการใช้แม่พิมพ์ดัน หลังจากนั้นจึงใช้แรงดันสุญญากาศเพื่อดูดแผ่นพลาสติกให้ประกบติดกับแม่พิมพ์ แล้วถอดตัวอย่างออกโดยการใช้ลมเป่าสวนทางเพื่อให้ชิ้นงานหลุดออกจากเบ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.7

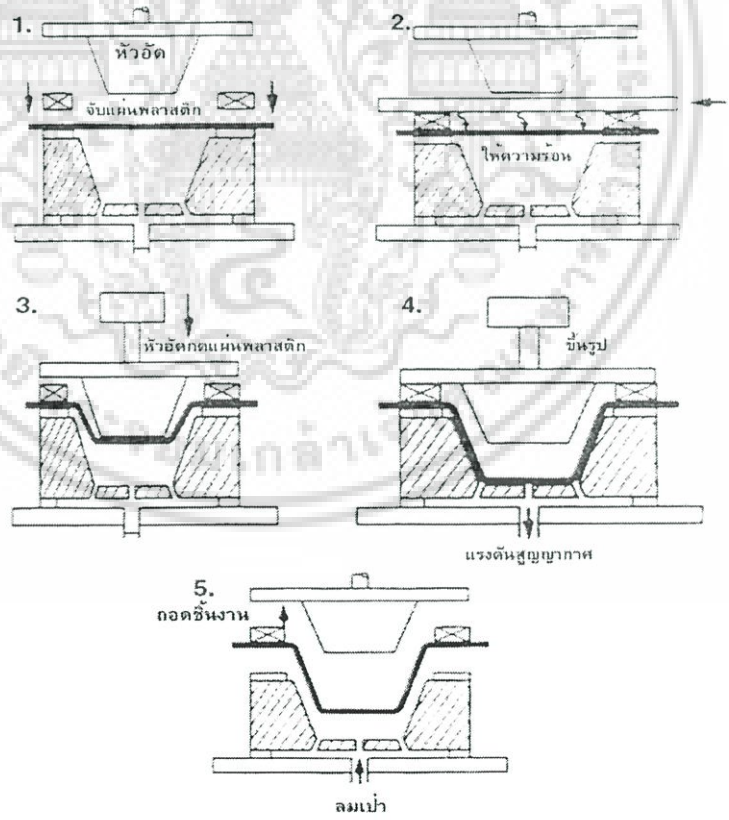


รูปที่ 2.7 การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ดันแผ่นพลาสติกก่อนแล้วใช้แรงดันสุญญากาศ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) **เทคนิคการขึ้นรูปโดยใช้หัวอัดช่วยก่อนใช้แรงดันสุญญากาศ** (Plug-assisted vacuum forming)

เทคนิคนี้เป็นการผสมผสานข้อดีของการขึ้นรูปโดยใช้แรงดันสุญญากาศและเทคนิคการใช้แม่พิมพ์ดันก่อนแล้วจึงใช้แรงดันสุญญากาศ ทำให้สามารถผลิตชิ้นงานที่มีความลึกและมีความหนาใกล้เคียงกันตลอดทั้งชิ้นงาน ทั้งยังสามารถถอดชิ้นงานออกจากพิมพ์ได้ง่ายขึ้น กระบวนการแปรรูปเริ่มต้นด้วยการให้ความร้อนแก่แผ่นพลาสติก หลังจากนั้นใช้หัวอัดเคลื่อนที่ลงมาเพื่อยืดแผ่นพลาสติกให้ยืดออกตรงบริเวณด้านบนของแม่พิมพ์ตัวเมีย หัวอัดจะหยุดเคลื่อนที่เมื่อดันแผ่นพลาสติกให้ยืดตัวออกจนใกล้แม่พิมพ์ หลังจากนั้นใช้แรงดันสุญญากาศดูดให้แผ่นพลาสติกประกบแม่พิมพ์ แล้วถอดตัวอย่างโดยใช้ลมเป่า หัวอัดที่ใช้ในเทคนิคนี้ทำจากโลหะหรือพลาสติก เพื่อให้การใช้งานมีประสิทธิภาพสูง ต้องมีการควบคุมอุณหภูมิและความเร็วของหัวอัดให้เหมาะสม ถ้าหัวอัดมีอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้แผ่นพลาสติกขาดและเหนียวติดที่หัวอัดหรืออาจจะทำให้ส่วนก้นของผลิตภัณฑ์บางจนเกินไป นอกจากนี้ถ้าหัวอัดมีอุณหภูมิต่ำเกินไป ทำให้ได้ชิ้นงานที่ส่วนก้นหนา ถ้าให้หัวอัดเคลื่อนที่เร็วขึ้นทำให้อัตราการผลิตสูง แต่จะต้องมีการไล่อากาศระหว่างผิวของแม่พิมพ์กับแผ่นพลาสติกออกอย่างมีประสิทธิภาพดังแสดงในรูปที่ 2.8

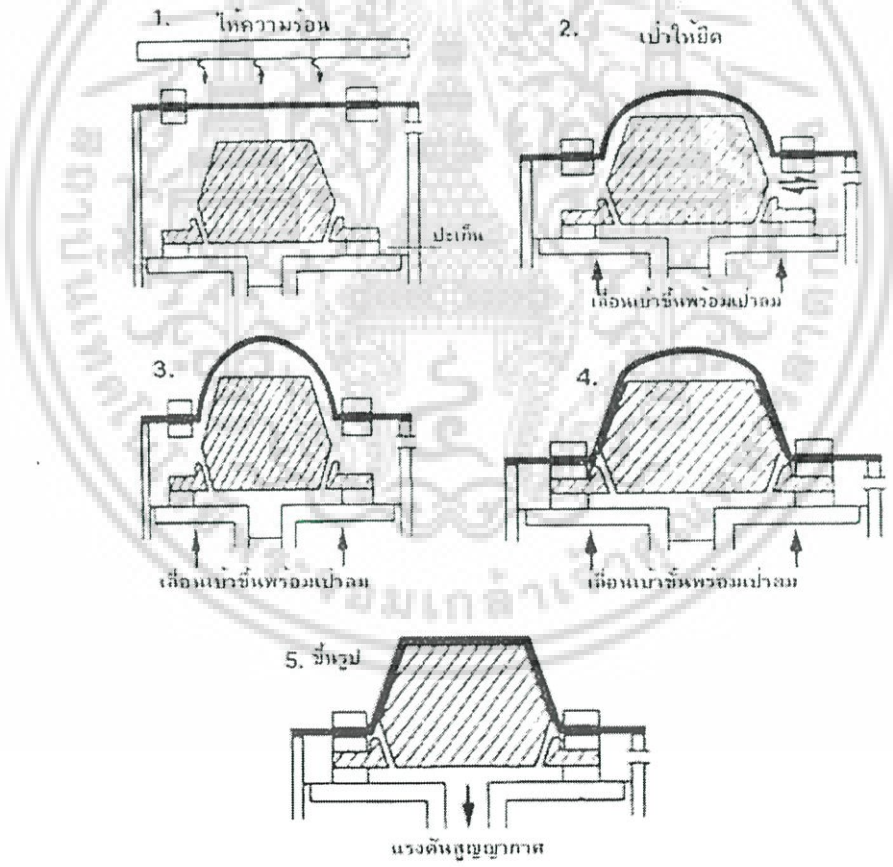


รูปที่ 2.8 การขึ้นรูปโดยใช้หัวอัดช่วยก่อนใช้แรงดันสุญญากาศ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(5) **เทคนิคการขึ้นรูปโดยการสร้างถุงอากาศก่อนใช้แรงดันสุญญากาศ** (Vacuum air-slip forming)

เทคนิคนี้มีลักษณะคล้ายกับการขึ้นรูปโดยใช้เบ้าดันแผ่นพลาสติกก่อนแล้วใช้แรงดันสุญญากาศ แต่มีข้อแตกต่าง คือ ในขณะที่เคลื่อนที่พิมพ์ตัวผู้เข้าหาแผ่นพลาสติกจะใช้ลมเป่าเข้าระหว่างแผ่นพลาสติกกับผิวหน้าของเบ้า ทำให้เกิดถุงอากาศ โดยที่อากาศภายในถุงจะเคลื่อนที่ตลอดเวลาทำให้แผ่นพลาสติกพองตัวออกเป็นลูกโป่งที่มีชั้นอากาศในลักษณะนี้ ทำให้สามารถแก้ปัญหาที่เกิดจากการสัมผัสกันของแผ่นพลาสติกกับเบ้า เช่นการที่ส่วนก้นของชิ้นงานหนาเกินไปและมีส่วนมุมบางเกินไป การแปรรูปเทคนิคนี้ หลังจากให้ความร้อนแก่แผ่นพลาสติกแล้ว ทำการเป่าลมเพื่อทำให้เกิดการยืดตัวก่อนเป็นลูกโป่ง พร้อมค่อย ๆ เคลื่อนแม่พิมพ์ตัวผู้ขึ้นช้า ๆ จนสุดแล้วหยุดเป่าลม แล้วดูดลูกโป่งกลับด้วยแรงสุญญากาศ ทำให้แผ่นพลาสติกประกบติดกับแม่พิมพ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.9

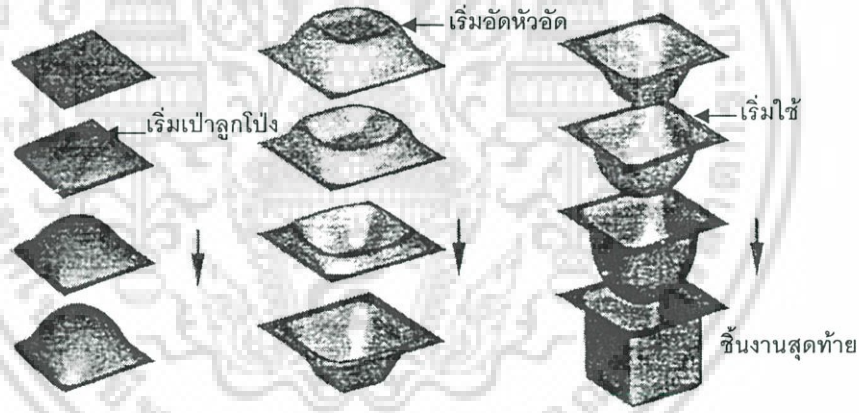


รูปที่ 2.9 การขึ้นรูปโดยการสร้างถุงอากาศก่อนใช้แรงดันสุญญากาศ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

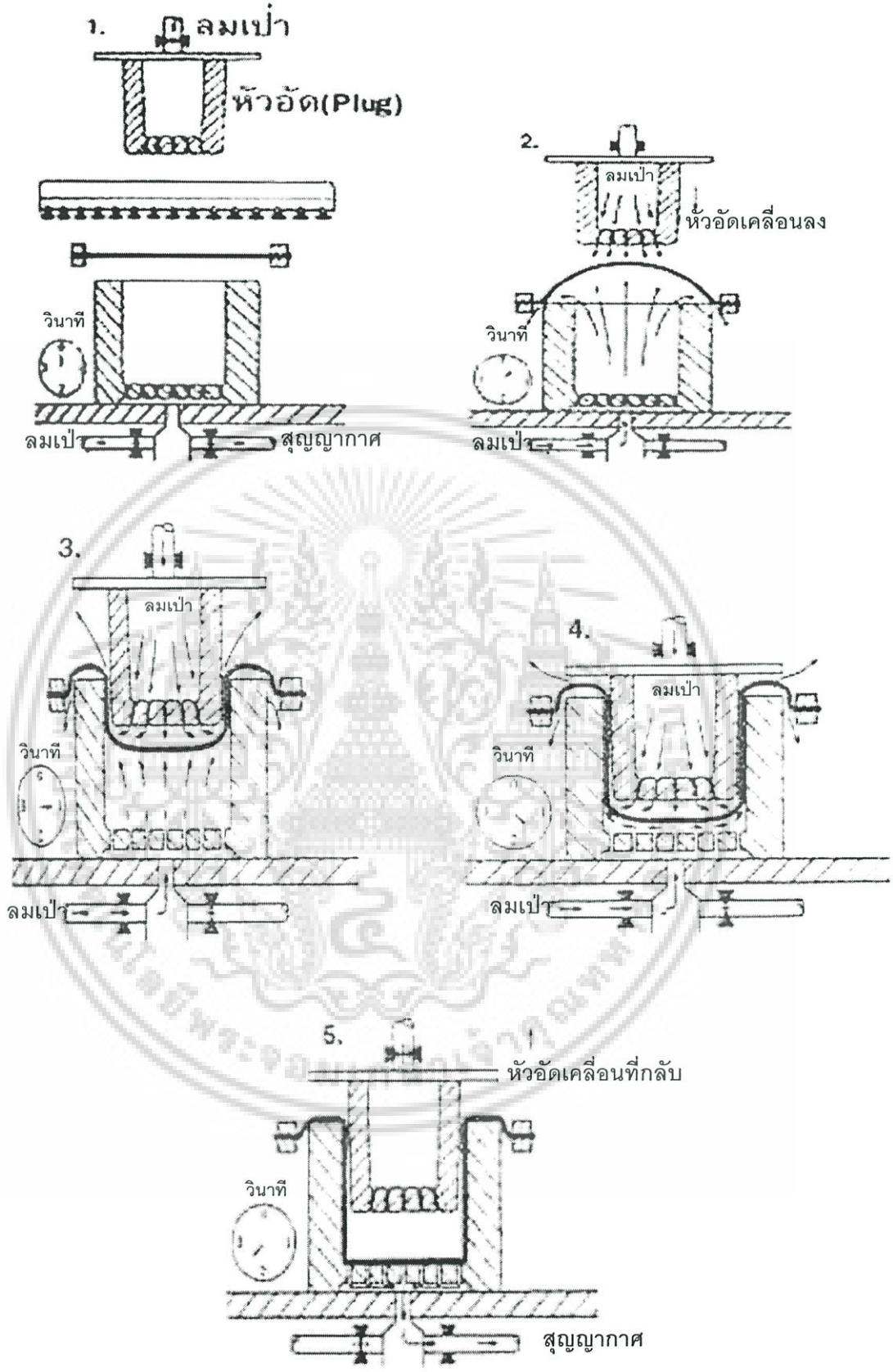
(6) **การขึ้นรูปโดยการสร้างถุงอากาศและหัวอัดร่วมกัน** (Air cushioning vacuum forming)

การผลิตชิ้นงานที่มีรายละเอียดซับซ้อนและมีความลึกมาก จำเป็นต้องใช้แผ่นพลาสติกที่มีการยืดตัวดีและมีความหนาสม่ำเสมอมาก จึงจำเป็นต้องนำข้อดีของแต่ละเทคนิคในการขึ้นรูปร้อนแบบต่าง ๆ มาผสมกัน ในเทคนิคที่จะกล่าวในหัวข้อนี้เป็นการผสมผสานกันระหว่างเทคนิคการใช้หัวอัดและเทคนิคการสร้างถุงอากาศร่วมกัน การแปรรูปโดยเทคนิคนี้เริ่มจากการให้ความร้อนแก่แผ่นพลาสติกแล้วเป่าลมเข้าทางด้านล่าง เพื่อให้แผ่นพลาสติกเกิดการพองตัวเป็นลูกโป่ง หลังจากนั้นค่อย ๆ เลื่อนหัวอัดลงมากดอัดลูกโป่ง เพื่อให้เกิดการยืดตัวในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางการเป่าครั้งแรก หัวอัดที่ใช้ในเทคนิคนี้ออกแบบเป็นพิเศษ เพื่อให้สามารถเป่าลมได้ ในขณะที่กำลังกดลูกโป่งทำให้เกิดถุงของอากาศไหลระหว่างผิวของหัวอัดกับผิวด้านนอกของลูกโป่งทำให้ลูกโป่งไม่สัมผัสกับผิวของหัวอัด ในขณะเลื่อนหัวอัดลงมาจะมีการเป่าลมจากด้านล่างสวนทางอย่างต่อเนื่อง ซึ่งทำให้เกิดถุงอากาศระหว่างผิวด้านในของลูกโป่งกับผิวของแม่พิมพ์ ทำให้พลาสติกเกิดการยืดตัวได้สูงมาก หลังจากเลื่อนหัวอัดจนเข้าใกล้ผิวแม่พิมพ์ หยุดเป่าลม แล้วขึ้นรูปด้วยแรงดันสุญญากาศทันทีดังแสดงในรูปที่ 2.10 และ รูปที่ 2.11



รูปที่ 2.10 การเปลี่ยนรูปของแผ่นพลาสติกเนื่องจากการแปรรูปโดยการสร้างถุงอากาศและหัวอัดร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

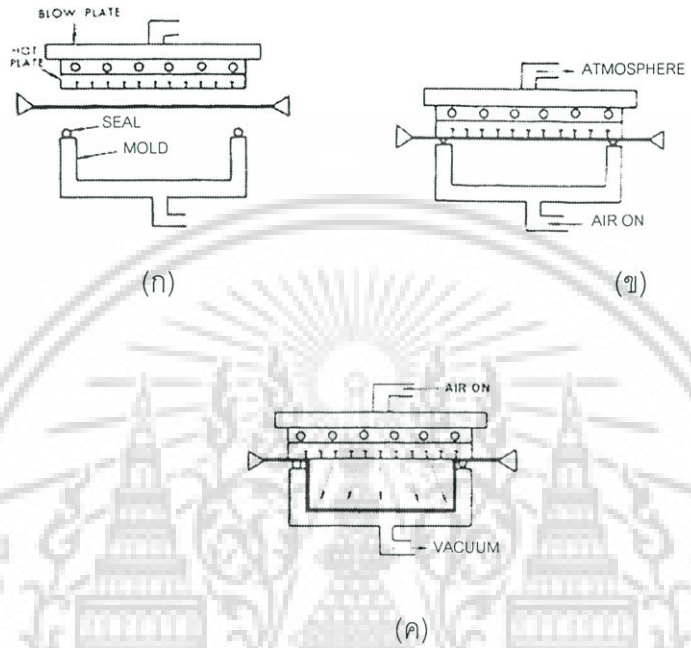


รูปที่ 2.11 เทคนิคการขึ้นรูปแบบการสร้างถุงอากาศและหัวอัดร่วมกัน [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(7) **เทคนิคการขึ้นรูปโดยใช้แรงดันอากาศช่วย** (Pressure forming)

เทคนิคนี้เป็นการใช้อากาศอัดเพื่อทำให้แผ่นพลาสติกยืดตัวไปติดแม่พิมพ์ โดยที่ความดันที่ใช้จะต้องมีค่ามากกว่าความดันบรรยากาศ ซึ่งอากาศจะถูกอัดโดยปั๊มอัดอากาศผ่านท่อที่ต่อกับกล่องความดัน ดังแสดงในรูปที่ 2.12 [3,4,17]



รูปที่ 2.12 การขึ้นรูปโดยใช้แรงดันอากาศช่วย [4]

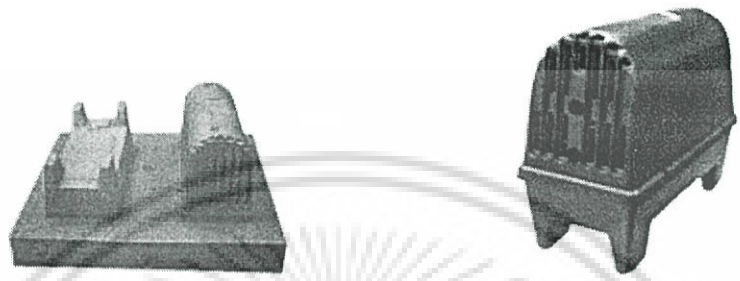
2.4 แม่พิมพ์

สำหรับเครื่องขึ้นรูปร้อนนั้นส่วนประกอบที่มีความสำคัญอีกส่วนหนึ่งคือแม่พิมพ์ ซึ่งหากมีการผลิตชิ้นงานน้อยชิ้นก็สามารถที่จะใช้วัสดุ เช่น ไม้ เรซินหล่อ หรือ ปูนปลาสเตอร์ มาใช้ได้แต่ถ้าหากเป็นการผลิตระดับอุตสาหกรรมแล้วส่วนมากจะใช้แม่พิมพ์ที่ทำจากอลูมิเนียมเนื่องจากสามารถถ่ายเทความร้อนได้อย่างรวดเร็วและการสร้างทำได้ง่าย แม่พิมพ์ที่มีความลึกหรือมีรายละเอียดมากจำเป็นจะต้องมีการเจาะรูเพื่อดูดอากาศระหว่างแผ่นพลาสติกกับแม่พิมพ์ออก ซึ่งรูที่เจาะนี้จะขึ้นกับความหนาของแผ่นพลาสติก ถ้าเป็นแผ่นพลาสติกบางควรเจาะรูให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.01-0.015 นิ้ว สำหรับแผ่นพลาสติกหนาควรเจาะรูขนาด 0.4-0.6 นิ้ว นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติกอีกด้วย เช่น พอลิสไตรีนรูดูดอากาศจะมีขนาดเล็กกว่า 0.02 นิ้ว ในขณะที่พอลิคาร์บอเนตมีขนาดใหญ่กว่า 0.135 นิ้ว [1,20,21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 แม่พิมพ์ตัวผู้

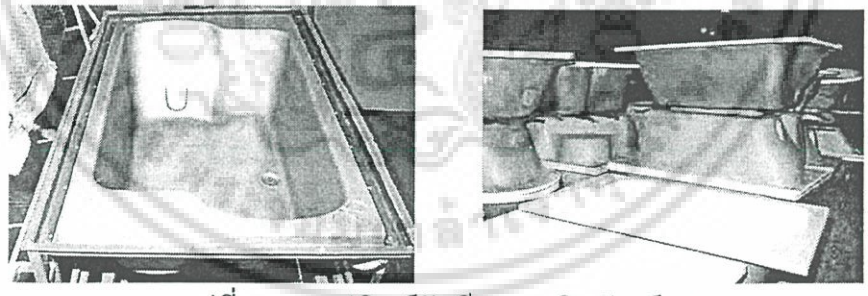
ลักษณะของแม่พิมพ์ประเภทนี้จะมีส่วนของแบบยื่นออกมาจากฐานแม่พิมพ์ทำให้สามารถผลิตชิ้นงานที่มีความลึกได้มากกว่าแม่พิมพ์ตัวเมียและมีราคาที่ถูกเนื่องจากการจัดสร้างทำได้ง่าย แต่มีข้อเสียคือถอดชิ้นงานยากกว่าแม่พิมพ์ตัวเมีย การสร้างแม่พิมพ์ตัวผู้ด้วยการหล่อเป็นวิธีที่ดีที่สุดโดยเฉพาะการทำแม่พิมพ์หลาย ๆ ตัวดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แม่พิมพ์ตัวผู้และผลิตภัณฑ์ [5]

2.4.2 แม่พิมพ์ตัวเมีย

แม่พิมพ์ประเภทนี้จะมีลักษณะเป็นหลุมลึกลงไป สามารถจะผลิตชิ้นงานที่มีรายละเอียดทางด้านนอกของผลิตภัณฑ์ได้มากกว่าแม่พิมพ์ตัวผู้ และสะดวกในการปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์แต่มีข้อเสียคือจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ส่วนฐานล่างมีความบาง ดังแสดงในรูปที่ 2.14 [5]



รูปที่ 2.14 แม่พิมพ์ตัวเมียและผลิตภัณฑ์ [5]

2.4.3 วัสดุทำแม่พิมพ์

(1) ไม้

สำหรับการผลิตชิ้นงานเพื่อเป็นตัวอย่างแนะนำลูกค้าที่มีปริมาณผลิตไม่มาก แม่แบบที่ทำด้วยไม้จะมีราคาถูกที่สุดและทำง่าย ไม้ที่ใช้ต้องเป็นไม้เนื้อละเอียด แน่น ไม่มีรูพรุน มีลักษณะแห้ง ไม้เป็นตัวนำความร้อนที่เลว แม่แบบที่ทำด้วยไม้จะใช้ที่อุณหภูมิต่ำ และควรเคลือบวานิชเพื่อความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คงทนในการใช้งาน สำหรับชิ้นงานที่ใหญ่และชิ้นงานที่ต้องผลิตจำนวนมากต้องระวังเรื่องการฉีกขาด

(2) ปูนปั้น

ปูนปั้นสามารถใช้ปั้นหรือเทเป็นแม่แบบสำหรับดึงขึ้นรูป อย่างไรก็ตาม ความนิยมใช้มีไม่มากนัก เนื่องจากมีขีดจำกัดในการสร้างเหลี่ยมคมให้ได้ขนาดที่ต้องการ แม่แบบปูนปั้นจะต้องแห้งสนิทตลอดความหนาของเนื้อ โดยการทิ้งไว้ในอากาศตามธรรมชาติ ถ้าแห้งเร็วเกินไปปูนจะแตก ปูนปั้นที่เทขึ้นรูปแล้วควรปล่อยให้แข็งตัวในที่ที่มีอากาศแห้งประมาณสามวัน ปูนปั้นที่ดีจะต้องมีความแข็งแรงสูงและมีผิวละเอียด เนื้อปูนปั้นที่มีรูพรุนไม่จำเป็นต้องทำท่อดูดอากาศ

(3) โลหะ

แม่พิมพ์ส่วนใหญ่จะผลิตจากโลหะ มีความทนทาน โลหะที่ใช้ทำแม่พิมพ์ได้แก่ อลูมิเนียม สังกะสีผสมทองเหลือง หรือเหล็ก แม่พิมพ์อลูมิเนียมจะเบามีน้ำหนักน้อย และสามารถผลิตได้ง่าย เมื่อใช้งานที่อุณหภูมิต่ำจะมีการยืดหดตัวน้อย แม่พิมพ์ที่ต้องการรูปร่างชิ้นงานที่มีขนาดแน่นอน เป็นริ้วควรใช้โลหะสังกะสีผสม แม่พิมพ์ที่ทำด้วยทองเหลืองหรือเหล็กนิยมเคลือบผิวด้วยนิกเกิล หรือโครเมียม ทั้งนี้เพื่อป้องกันการสึกกร่อนเป็นสนิมจากความชื้น ในการประกอบแต่ละเบ้าของแม่พิมพ์หลายเบ้าควรทำจากโลหะชนิดเดียวกัน เพราะมีค่าการนำความร้อนค่าเดียวกัน ทำให้ไม่มีผลกระทบต่อชิ้นงาน แม่พิมพ์เหล็กจะร้อนช้ากว่าแม่พิมพ์โลหะเบา และจะเก็บความร้อนไว้ได้นานกว่า

(4) เรซิน

วัสดุสังเคราะห์เรซินแข็งตัวได้ในบรรยากาศปกติ เรซินสามารถรวมตัวผสมกับวัสดุอื่นที่นิยมใช้เป็นตัวผสมคือโลหะเพราะสามารถใช้งานได้ดี แม่พิมพ์ที่ทำจากเรซินนี้มีราคาถูกแต่มีข้อจำกัดในการใช้งาน ถ้าใช้ผลิตอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานแม่พิมพ์อาจเกิดการเสียรูปได้ [6,7]

2.5 ส่วนให้ความร้อน

กระบวนการให้ความร้อนมี 3 วิธีคือการ นำความร้อน วิธีนี้เหมาะกับชิ้นงานที่มีลักษณะบาง โดยนำแผ่นพลาสติกวางไว้ที่แผ่นความร้อน ปัญหาที่เกิดขึ้นคือพลาสติกจะติดอยู่ที่ผิวของแผ่นให้ความร้อนนั้น วิธีที่สองคือการพาความร้อน เป็นวิธีที่ประหยัดไฟฟ้าแต่รอบการทำงานยาว จึงเกิดปัญหาในเรื่องการเสียสภาพของวัสดุ เหมาะกับชิ้นงานที่มีความหนามากกว่า 1 นิ้ว และวิธีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมมากที่สุดคือการแผ่รังสี ซึ่งแหล่งกำเนิดรังสีมีดังนี้

(1) ท่อโลหะ (Metal tube) มีลักษณะเป็นแถบหรือแท่งให้ความร้อนมีความคงทนสูง ราคาถูก และทำความสะอาดได้ง่าย แต่มีปัญหาในเรื่องการให้ความร้อน เนื่องจากความเข้มทางความร้อนจะลดลงไปตามเวลา ต้องการตัวสะท้อน ควบคุมและแยกเป็นบริเวณได้ยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

(2) ลวดนิโครม (Ni/Cr resistance wire) การแผ่รังสีอินฟราเรดของแหล่งกำเนิดชนิดนี้จะขึ้นกับเวลา นิยมใช้กับการขึ้นรูปร้อน ข้อเสียคือจะมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อมีการใช้งานเป็นเวลานานจึงต้องปรับเปลี่ยนตามเวลาให้เหมาะสม

(3) แผงอินฟราเรดที่ได้จากการยิงด้วยก๊าซ (Gas fired IR panel) วิธีนี้เป็นการอาศัยความร้อนที่ได้จากการเผาก๊าซ ช่วยในการพาความร้อนมาที่แผงอินฟราเรด ซึ่งจะเกิดการแผ่รังสีต่อไปยังแผ่นพลาสติก

(4) แผงเซรามิกส์ (Ceramic panels) วิธีนี้อาศัยวัสดุเซรามิกซ์เป็นตัวนำความร้อนแล้วส่งผ่านให้แก่ลวดนิโครม ซึ่งจะเกิดการแผ่รังสีต่อไปยังแผ่นพลาสติก ความร้อนที่ได้จากแหล่งกำเนิดประเภทนี้จะมีความสม่ำเสมอและมีประสิทธิภาพมาก สามารถกำหนดบริเวณให้ความร้อนได้ แต่มีราคาสูง

(5) แผงควอทซ์ (Quartz panels) วิธีนี้อาศัยวัสดุควอทซ์เป็นตัวนำความร้อนและแผ่รังสีให้แก่แผ่นพลาสติก มีความสามารถในการแบ่งบริเวณให้ความร้อนได้ดีมาก แต่มีข้อเสียคือเปราะและแตกหักง่าย

การให้ความร้อนจะต้องคำนึงถึงเรื่องคุณภาพของความร้อนที่ใช้ ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทำความร้อน เนื่องจากถ้าให้ความร้อนแก่วัสดุมากเกินไปจะทำให้วัสดุสูญเสียสมบัติความเป็นยาง และความแข็งแรงในการหลอมเหลวไป [1,7,8]

- ความร้อนที่ต้องใช้หาได้จาก สมการที่ 2.1

$$E_s = \rho C h \Delta T \qquad (2.1)$$

เมื่อ E_s = พลังงานที่จำเป็นต้องใช้ต่อหน่วยพื้นที่

ρ = ความหนาแน่นของแผ่นพลาสติก

C = ค่าความร้อนจำเพาะ

h = ความหนาของแผ่นพลาสติก

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

- ปริมาณความร้อนที่ส่วนให้ความร้อนให้ออกมา หาได้จากสมการที่ 2.2

$$E_H = \rho C h M_\rho \Delta T \qquad (2.2)$$

เมื่อ E_H = ความร้อนที่สูญเสียไป

M_ρ = ประสิทธิภาพของกระบวนการ

ρ = ความหนาแน่นของแผ่นพลาสติก

C = ค่าความร้อนจำเพาะ

h = ความหนาของแผ่นพลาสติก

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
58520

จากที่กล่าวมาพบว่าองค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีผลต่อวงรอบการให้ความร้อนมีดังนี้

1. อุณหภูมิของแหล่งกำเนิดความร้อน
2. ความหนาแน่นของเครื่องให้ความร้อน(วัตต์ต่อตารางนิ้ว)
3. ระยะห่างระหว่างเครื่องให้ความร้อนกับแผ่นพลาสติก
4. ความหนาของแผ่นพลาสติก
5. ความชื้นที่มีอยู่
6. ความสามารถในการนำความร้อน
7. ความร้อนจำเพาะของวัสดุที่ใช้

2.6 รองลื่น (Bearing)

รองลื่น คือชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลใช้รองรับเพลาที่กำลังรับแรง เพื่อให้การหมุนหรือการเลื่อนไถลกลับไปกลับมาของเพลาเป็นไปอย่างนุ่มนวล ปลอดภัย และมีอายุการใช้งานนาน นอกจากนี้จะต้องแข็งแกร่งพอจะประกันการทำงานของเพลา และของเครื่องจักรกลได้ มิฉะนั้นแล้ว การทำงานของชิ้นส่วนทั้งหมดอาจจะลดลง หรือผิดพลาดไปหมดสิ้น ด้วยเหตุนี้ รองลื่นจึงทำหน้าที่เสมือนรากฐานของอาคาร [9]

2.6.1 การจำแนกประเภทของรองลื่น

รองลื่นแยกออกได้เป็นประเภทต่าง ๆ ดังนี้

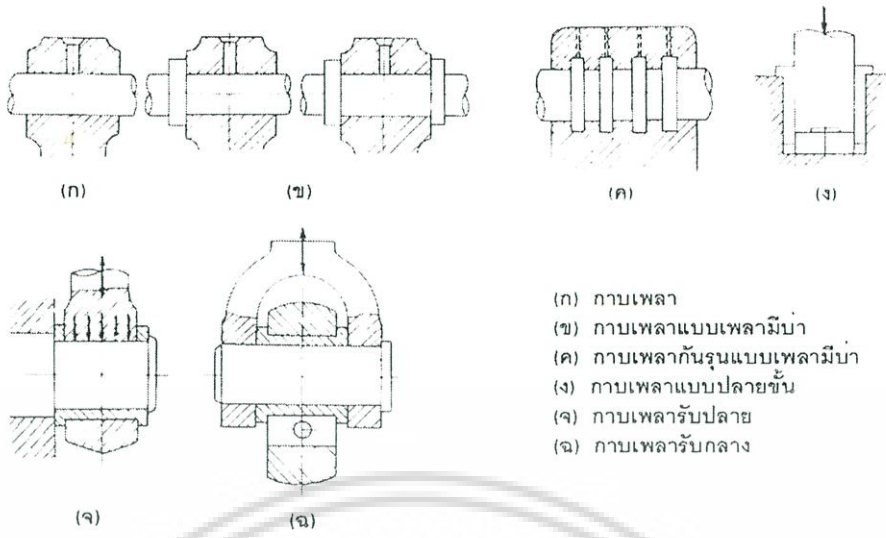
(1) กาบเพลา (Plain bearing)

แบบนี้เพลาจะกดอยู่บนผิวของรองลื่นโดยตรง โดยที่ระหว่างผิวรองลื่นและผิวเพลามีชั้นของน้ำมันหล่อลื่นบาง ๆ คั่นอยู่ เมื่อเกิดการเคลื่อนที่ขึ้น จะมีความฝืดเลื่อนไถลระหว่างผิวหน้าทั้งสอง รองลื่นกาบเพลาแบบต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 2.15

(2) ตลับลูกปืน (Rolling bearing)

แบบนี้ระหว่างผิวทั้งสองจะมีลูกปืนคั่นอยู่ ลูกปืนอาจจะเป็นลูกกลม หรือลูกกลึงทรงกระบอก (มีหน้าตัดเท่ากันตลอด หรือไม่เท่ากันก็ได้) เมื่อเกิดการเคลื่อนที่ขึ้น จะเกิดความฝืดกลิ้งขึ้นระหว่างผิวทั้งสองกับลูกปืน รองลื่นแบบลูกปืนมีรูปแบบที่หลากหลายตามลักษณะการใช้งานที่ต่างกัน ดังรูปที่ 2.16 ส่วนการเปรียบเทียบระหว่างรองลื่นแบบกาบเพลากับแบบลูกปืนแสดงในตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 รองลื่นกาบเพลาแบบต่าง ๆ [9]

รูปที่ 2.16 รองลื่นตลับลูกปืนแบบต่าง ๆ [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบระหว่างรองลื่นแบบกาบเพลากับแบบลูกปืน [9]

กาบเพลา	ตลับลูกปืน
ข้อดี	**ข้อดี**
1. รับแรงได้มาก	1. รับแรงได้จำกัด
2. ทำงานได้ในช่วงความเร็วที่กว้าง	2. ทำงานที่ความเร็วต่ำได้ดี
3. เสียงเงียบ	3. ใช้แรงบิดขณะเริ่มหมุนต่ำ
4. โครงสร้างง่าย ถอดประกอบง่าย	4. มีการหล่อลื่นในตัว
5. ราคาถูก	
ข้อเสีย	**ข้อเสีย**
1. ต้องใช้แรงบิดมากขณะเริ่มหมุน	1. ราคาแพง
	2. มีเสียงดังขณะทำงานที่ความเร็วสูง

2.6.2 **วัสดุที่ใช้ทำรองลื่นแบบกาบเพลา**

วัสดุที่ใช้ทำรองลื่นควรจะมีลักษณะและสมบัติดังนี้

1) ต้องมีความแข็งแรงพอ (ความต้านทานต่อการรับน้ำหนักและการล้าตัว)
2) ต้องมีสมบัติปรับตัวให้เข้ากับการโก่งของเพลา
3) มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนสูง
4) ต้องมีสมบัติต้านการเกาะติดกับเพลา
5) ทนทานต่อการสึกหรอได้พอประมาณ
6) สามารถปล่อยฝุ่นผงให้จมลงไปในเนื้อรองลื่น
7) ไม่เปลี่ยนสมบัติไปตามอุณหภูมิ
8) ราคาถูก

แต่ในทางปฏิบัติ วัสดุใด ๆ ที่มีสมบัติครบถ้วนจริง ๆ ค่อนข้างจะหาได้ยาก วัสดุสำหรับทำรอง ลื่นแบบกาบเพลาที่ใช้ในงานทั่ว ๆ ไป มีดังนี้

1) ทองแดงผสม รวมทั้ง ฟอสฟอรัสสัมฤทธิ์ ตะกั่วสัมฤทธิ์ พวกนี้มีความแข็งแรง ทนต่อการกัดกร่อน ต้านทานต่อการล้าตัว และมีสมบัติที่เป็นตัวนำดีเยี่ยม ความแข็งแกร่งของทองแดงผสมทำให้มีสมบัติทำรองลื่นของเครื่องมือกลได้อย่างดีเยี่ยม และถ้ามีตะกั่วผสมอยู่มากจะทำให้สมบัติในการต้านการเกาะติดกับเพลาดีขึ้น

2) โลหะขาว รวมทั้งโลหะขาวที่มีดีบุกเป็นเนื้อหลัก (โดยทั่วไปเรียกรวมกันว่า โลหะแบบบิท (babbit metal) และโลหะขาวที่มีตะกั่วเป็นหลักใช้เคลือบลงบนผิวของโครงโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุที่ใช้ทำรองลื่นดังกล่าวข้างต้น ได้รับการพัฒนาให้มีสมบัติดีขึ้นโดยการผสมสารบางอย่างเข้าไป เช่น ดีบุก ทองแดง ถึงแม้ว่าสารเหล่านี้จะไม่ทำให้ความแข็งแรง และความต้านทานการล้าตัว หรือความต้านทานต่ออุณหภูมิสูง ลดลงก็ตาม แต่ก็ทำให้ความต้านทานต่อการกัดกร่อนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเพิ่มตะกั่วเข้าไป จะทำให้สมบัติการปรับตัวให้เข้ากับการโก่งของเพลาดีขึ้น นอกจากนี้รองลื่นอาจทำจากวัสดุอื่น เช่น ไม้ ยาง กราไฟท์ หรือ อัญมณี โดยใช้ในเครื่องมือพิเศษหรืออุปกรณ์เฉพาะทาง

2.7 ระบบนิวแมติกส์

2.7.1 นิยาม

ความหมายของคำว่า นิวแมติกส์ ที่คนส่วนใหญ่เข้าใจกันคือการนำเอาอากาศมาเป็นวัตถุดิบใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ด้านการขับเคลื่อนหรือควบคุมเครื่องจักรในกระบวนการผลิตต่าง ๆ เพื่อให้มีความชัดเจนยิ่งขึ้น ผู้ที่เกี่ยวข้องทางด้านนี้ได้ให้ความหมายของคำว่า นิวแมติกส์ ไว้ว่าเป็นระบบที่ส่งกำลังจากต้นทางไปยังปลายทางโดยอาศัยลมเป็นตัวกลางในการส่งกำลังและการควบคุมการทำงาน [10,11]

2.7.2 ข้อดีและข้อเสียของระบบนิวแมติกส์

ในปัจจุบันได้มีการนำเอาระบบนิวแมติกส์มาใช้แทนระบบควบคุมด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากการควบคุมด้วยระบบนิวแมติกส์มีข้อดีหลายอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับระบบไฟฟ้า

- ข้อดี

- การเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงสามารถกระทำได้ง่ายและสะดวกกว่า เพราะมีอุปกรณ์ที่ทำงานในแนวเส้นตรง

- การหยุดการทำงานในระบบนิวแมติกส์สามารถกระทำได้โดยง่ายและสะดวกกว่า เช่น ถ้าต้องการให้การทำงานของเครื่องจักรหยุดอยู่ที่ตำแหน่งใด ก็สามารถเลือกกระบอกสูบที่มีระยะชักตามตำแหน่งที่ต้องการ

- การปรับความเร็วสามารถกระทำได้โดยง่าย กล่าวคือจะใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วต่อเข้ากับระบบ

- มีความปลอดภัยสูงเพราะอุปกรณ์ลมไม่เกิดการเสียหาย ถึงแม้ว่าจะใช้งานเกินกำลัง เมื่อเกิดข้อบกพร่องในวงจรก็ไม่เกิดอันตรายต่อผู้ใช้เครื่องจักร

- การบำรุงรักษาและซ่อมบำรุงสามารถกระทำได้โดยง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ข้อเสีย

- เกิดเสียงดังในขณะที่ระบบทำงาน เพราะอุปกรณ์ทำงานต่าง ๆ ของระบบจะต้องระบายลมออกทางด้านวาล์วควบคุม แม้ว่าจะมีวาล์วเก็บเสียงติดอยู่ก็ตาม

- ความดันของลมจะเปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง เป็นผลทำให้การควบคุมในระบบอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้

- เนื่องจากลมสามารถอัดตัวได้ จะทำให้การเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ทำงานในขณะที่มีน้ำหนักกระทำมีโอกาสเคลื่อนที่ไม่สม่ำเสมอ

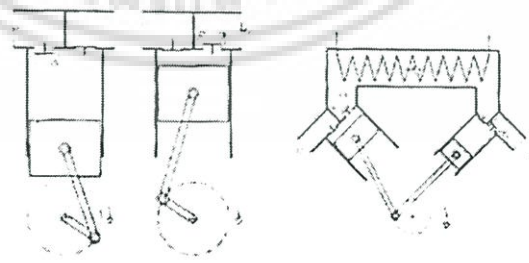
- ลมอัดมีความชื้น เมื่อลมอัดถูกทำให้เย็นลงหลังจากอัดเข้าไปในถังเก็บลมจะทำให้เกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำและเมื่อความชื้นที่ปนเข้ามากับลมอัดเข้าไปในระบบควบคุมจะทำให้อุปกรณ์ทำงานและวาล์วควบคุมต่าง ๆ เกิดสนิมเป็นเหตุให้การทำงานผิดพลาดไป และอายุการใช้งานของอุปกรณ์สั้นลงแต่ทั้งนี้ก็มีอุปกรณ์ที่สามารถลดความชื้นได้

2.7.3 เครื่องอัดลม

การนำเอาอากาศมาใช้โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านการขับเคลื่อนหรือควบคุมเครื่องจักรและอุปกรณ์เครื่องช่วยต่าง ๆ นั้น จำเป็นจะต้องมีเครื่องจ่ายลมแรงดันสูง ซึ่งอุปกรณ์ชนิดนี้จะทำหน้าที่ผลิตลมให้ได้ตามความดันที่ต้องการ จากนั้นจะส่งลมไปตามท่อสู่อุปกรณ์อื่น ๆ เครื่องอัดลมที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันมีหลายประเภท สามารถจำแนกได้ดังต่อไปนี้

(1) เครื่องอัดลมแบบลูกสูบ

เครื่องอัดลมแบบนี้นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากสามารถอัดลมได้ตั้งแต่ความดันต่ำ ๆ จนถึงความดันสูง คือสามารถสร้างความดันได้ตั้งแต่หนึ่งบาร์จนกระทั่งถึงเป็นพันบาร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.17

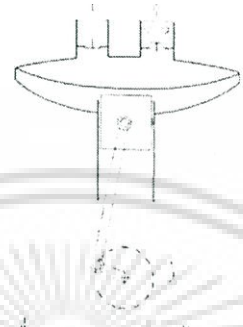


รูปที่ 2.17 เครื่องอัดลมแบบลูกสูบ [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) เครื่องอัดลมแบบไดอะแฟรม

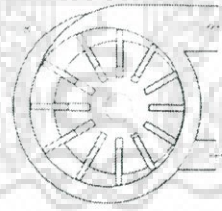
เครื่องอัดลมชนิดนี้ จัดอยู่ในหลักการของเครื่องอัดลมแบบลูกสูบโดยจะใช้ไดอะแฟรมเป็นตัวทำให้ลูกสูบและห้องดูดอากาศแยกออกจากกัน นั่นหมายถึงว่าลมที่ถูกดูดในเครื่องอัดลมจะปราศจากน้ำมันหล่อลื่นด้วยเหตุนี้เครื่องอัดลมแบบนี้จึงนิยมใช้กันในอุตสาหกรรมยาและอุตสาหกรรมเคมี ดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 เครื่องอัดลมแบบไดอะแฟรม [11]

(3) เครื่องอัดลมที่ใช้ใบพัดเลื่อน

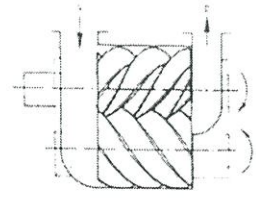
เครื่องอัดลมแบบใบพัดเลื่อน การหมุนจะเรียบสม่ำเสมอ เสียงไม่ดัง การผลิตลมเป็นไปอย่างคงที่ สามารถผลิตลมได้ 4 ถึง 100 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ความดันที่สร้างได้ 4 ถึง 10 บาร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 เครื่องอัดลมที่ใช้ใบพัดเลื่อน [11]

(4) เครื่องอัดลมแบบสกรู

เครื่องอัดลมชนิดนี้สามารถจ่ายลมอัดได้ถึง 170 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีและสร้างความดันได้ถึง 10 บาร์ การผลิตสกรูของเครื่องอัดลมแบบนี้ต้องใช้ความประณีตสูง เครื่องจึงมีราคาแพง ดังแสดงในรูปที่ 2.20

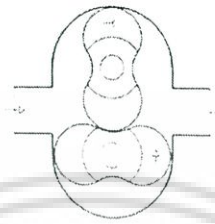


รูปที่ 2.20 เครื่องอัดลมแบบสกรู [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(5) เครื่องอัดลมแบบใบพัดหมุน

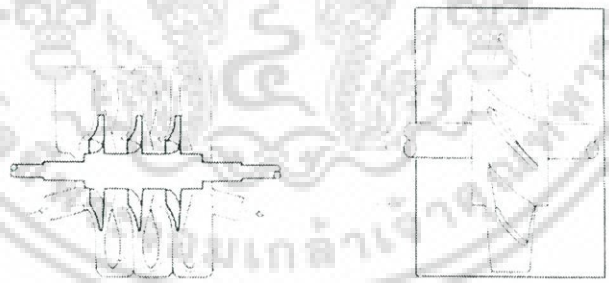
เครื่องอัดลมแบบใบพัดหมุน เมื่อโรเตอร์ทั้งสองหมุน อากาศจะถูกดูดจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรทำให้อากาศไม่ถูกอัดตัวแต่อากาศจะถูกอัดตัวในกรณีที่อากาศถูกส่งเข้าไปยังถังเก็บลม เครื่องอัดลมแบบนี้ต้นทุนการผลิตสูงไม่มีลิ้นไม่ต้องการการหล่อลื่นระหว่างการใช้งาน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการระบายความร้อนดังแสดงในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 เครื่องอัดลมแบบใบพัดหมุน [11]

(6) เครื่องอัดลมแบบกังหัน

เครื่องอัดลมแบบกังหันทั้งสองแบบนี้ ใช้การเคลื่อนที่ของโรเตอร์ด้วยความเร็วสูงทำให้ลมถูกดูดจากอีกด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง เครื่องอัดลมแบบนี้เหมาะกับงานที่ต้องการอัตราการไหลของลมสูง คือสามารถผลิตลมได้ในอัตรา 170 ถึง 2000 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที แต่ความดันไม่สูงมากนักคือ 4 ถึง 10 บาร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.22



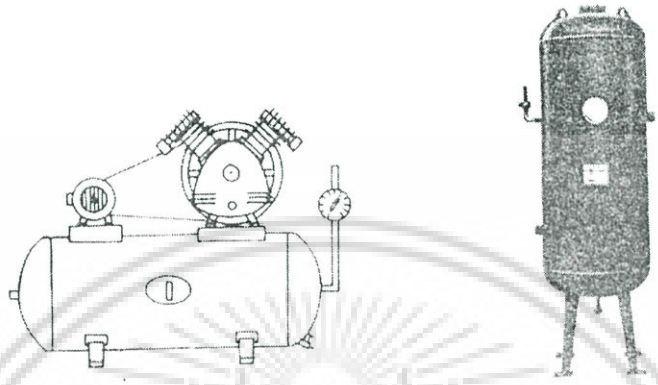
รูปที่ 2.22 เครื่องอัดลมแบบกังหัน[11]

2.7.4 **ถังเก็บลม** (Receiver)

ในงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไป การทำงานของอุปกรณ์นิวแมติกส์ ถ้าการทำงานพร้อมกันหลาย ๆ ตัว มักจะเกิดปัญหา คือปริมาณลมที่เครื่องอัดลมผลิตออกมานั้นไม่เพียงพอและถ้าอุปกรณ์ไม่ได้ทำงาน ลมที่เครื่องอัดลมผลิตออกมาไม่มีที่เก็บ จึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่สามารถจ่ายอัตราลมได้อย่างต่อเนื่องและตลอดเวลา โดยที่มีความดันคงที่ อุปกรณ์ที่สามารถตอบสนองความต้องการเหล่านี้คือถังเก็บลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของถังเก็บลมมี 2 ประเภทด้วยกันคือ แบบนอนและแบบตั้งโดยถังเก็บลมแบบนอนจะใช้กับเครื่องอัดลมขนาดเล็กและมักจะติดอยู่กับเครื่องอัดลม ส่วนถังเก็บลมแบบตั้งจะใช้กับเครื่องอัดลมขนาดใหญ่ โดยที่ตัวถังเก็บลมจะแยกออกจากเครื่องอัดลม มักจะใช้กับโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ 2.23 [10]



รูปที่ 2.23 ถังเก็บลมแบบนอนและแบบตั้ง [10]

2.7.5 **กระบอกสูบ** (Acting cylinder)

กระบอกสูบเป็นอุปกรณ์ทำงานชนิดหนึ่งในระบบนิวแมติกส์ ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานลมอัดให้อยู่ในรูปพลังงานกลในรูปแบบต่าง ๆ กระบอกลมอัดมีหลายชนิด ได้แก่ [10]

(1) กระบอกสูบทางเดียว (Single acting cylinder)

กระบอกสูบทางเดียวใช้แรงดันลมอัดกระทำก้านสูบให้เคลื่อนที่เพียงด้านเดียว ส่วนการเคลื่อนที่กลับจะอาศัยแรงสปริง กระบอกสูบแบบนี้จะใช้กับงานที่ต้องการแรงกระทำไม่นานนัก เนื่องจากแรงที่กระทำกับโหลดจะถูกต้านด้วยแรงสปริง ขนาดของกระบอกสูบประเภทนี้ที่นิยมผลิตกันจะมีขนาดไม่ต่ำกว่า 10 เซนติเมตร

(2) กระบอกสูบสองทาง (Double acting cylinder)

กระบอกสูบแบบสองทางจะใช้แรงดันลมกระทำให้ก้านสูบเคลื่อนที่เข้า และออกทั้งสองทาง แรงกระทำที่ได้จากกระบอกสูบชนิดนี้จะมากกว่ากระบอกสูบแบบทางเดียวเพราะไม่มีแรงสปริงเป็นตัวต้าน จึงเหมาะสำหรับงานแทบทุกประเภทที่ต้องการการเคลื่อนที่ในลักษณะที่เป็นแนวเส้นตรง

2.1) กระบอกสูบสองทางชนิดมีตัวกันกระแทก (Cushioned cylinder)

ในงานบางอย่างการเคลื่อนที่เข้าและออกของก้านสูบจะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร่งและความเร็วสูงจะทำให้เกิดการกระแทกระหว่างลูกสูบกับฝาสูบ งานลักษณะนี้ถ้าไม่มีการป้องกันแล้วจะทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบอกสูบชำรุดหรือมีอายุการใช้งานสั้นลงได้ ดังนั้นจึงต้องออกแบบให้มีเบาะลมคอยต้านการกระแทกของลูกสูบก่อนจะสุดช่วงชัก

การออกแบบเบาะลมนี้เกิดจากการเปิดทางออกปกติของลมที่ใช้แล้วก่อนจะถึงปลายช่วงชัก และบังคับให้ลมที่เหลือผ่านออกทางช่องแคบเล็ก ๆ อย่างช้า จึงทำให้เกิดความต้านกลับ ซึ่งทำหน้าที่เป็นเบาะลมที่ปลายช่วงชัก โดยที่ความดันต้านกลับนี้สามารถปรับให้มากน้อยได้ตามต้องการ

2.2) กระบอกสูบชนิดมีก้านสูบสองข้าง (Double end rod cylinder)

ในงานบางอย่างการติดตั้งวาล์วควบคุมของกระบอกสูบมีปัญหาเนื่องจากพื้นที่ในการติดตั้งมีจำกัดหรืองานที่ต้องการแรงกระทำทั้งสองด้าน ซึ่งจะทำให้ประหยัดเวลารวมอีกทั้งยังเพิ่มผลผลิตอีกด้วย โครงสร้างของกระบอกสูบประเภทนี้จะมีลักษณะคล้ายกับกระบอกสูบสองทางแต่จะมีก้านสูบทั้งสองด้าน

2.3) กระบอกสูบสองทางแบบสองตอน (Tandem cylinder)

ในงานบางอย่างจะมีปัญหาเรื่องพื้นที่ในการติดตั้งกระบอกสูบมีจำกัด แต่ต้องการกระบอกสูบที่มีขนาดของก้านสูบใหญ่เพื่อต้องการแรงที่กระทำกับงานมาก กระบอกสูบชนิดนี้จึงถูกออกแบบเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว โดยที่กระบอกสูบจะถูกแบ่งออกเป็นสองตอน ตอนแรกก้านสูบจะมีขนาดเล็กเพื่อให้ได้แรงกระทำมาก ส่วนตอนที่สองก้านสูบจะมีขนาดใหญ่เพื่อให้เกิดความแข็งแรงเมื่อกระทำกับชิ้นงาน

2.4) กระบอกสูบชนิดช่วงชักหลายตำแหน่ง (Multi-position cylinder)

การออกแบบกระบอกสูบชนิดช่วงชักหลายตำแหน่งก็เพื่อสามารถนำไปใช้งานที่ต้องการให้กระบอกสูบเพียงกระบอกเดียวกันสามารถหยุดได้หลายตำแหน่ง โดยนำเอากระบอกสูบชนิดสองทางสองกระบอกมาประกอบรวมกันเป็นกระบอกเดียว

2.8 โซลีนอยด์วาล์ว

ในการควบคุมอุปกรณ์ทำงานในระบบนิวแมติกส์ให้ทำงานได้ตามต้องการนั้นอุปกรณ์สำคัญที่ทำให้อุปกรณ์ทำงานเปลี่ยนตำแหน่งได้คือ วาล์ว ซึ่งในการเลื่อนวาล์วควบคุมสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเลื่อนวาล์วโดยใช้กล้ามเนื้อ การเลื่อนวาล์วโดยใช้กลไก การเลื่อนวาล์วโดยใช้ลมควบคุม การเลื่อนวาล์วโดยใช้ไฟฟ้าควบคุม ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวถึงวาล์วที่ใช้ไฟฟ้าเป็นตัวควบคุมในการเปลี่ยนตำแหน่ง หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า โซลีนอยด์วาล์ว [11,12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1 ชนิดของโซลีนอยด์วาล์ว

โซลีนอยด์วาล์วสามารถแบ่งออกตามลักษณะการทำงานได้ดังนี้

(1) โซลีนอยด์วาล์วแบบใช้ไฟฟ้าโดยตรง

โซลีนอยด์วาล์วแบบนี้ทำงานโดยอาศัยอำนาจแม่เหล็กที่เกิดจากการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวด ทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กชนะแรงดันของสปริงทำให้ลูกสูบถูกดูดให้ยกตัวขึ้น เพื่อเปิดรูให้ของไหลไหลผ่านในวาล์วแบบปกติปิด (Normally closed) และดูดลูกสูบเพื่อปิดรูของของไหลในวาล์วแบบปกติเปิด (Normally open)

(2) โซลีนอยด์วาล์วแบบใช้แรงดันช่วย

โซลีนอยด์วาล์วแบบนี้ทำงานโดยอาศัยอำนาจแม่เหล็กที่เกิดจากคอยล์ดูดลูกสูบเปิดรูให้ของไหลผ่านเข้ามา เพื่อยกแผ่นไดอะแฟรมหรือยกลูกสูบตัวใหญ่ ทำให้รูใหญ่ถูกเปิดให้ของไหลผ่านเข้ามา โซลีนอยด์วาล์วแบบนี้ยังแบ่งออกได้ตามแบบดังนี้

- แบบมาตรฐาน (Standard type) แบบนี้ตัวลูกสูบจะไม่ติดกับแผ่นไดอะแฟรมหรือลูกสูบใหญ่ ซึ่งทำให้วาล์วแบบนี้ต้องมีความดันอย่างน้อย 0.3-1 บาร์ เพื่อให้แรงดันจากของไหลมาช่วยยกตัวเปิดในช่วงแรก
- แบบสวมติด (Attached type) แบบนี้ตัวลูกสูบจะต่อกับแผ่นไดอะแฟรมหรือลูกสูบใหญ่ทำให้ไม่ต้องมีแรงดันจากของไหลมาช่วยยกเปิดตัวในช่วงแรกแต่จะต้องใช้แรงดันของของไหลช่วยยกตัวเปิดพร้อมกันทั้งชุด

2.8.2 โซลีนอยด์คอยล์

สิ่งที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งของโซลีนอยด์วาล์วคือส่วนของโซลีนอยด์คอยล์ ซึ่งเป็นส่วนที่ทำหน้าที่เลื่อนแท่งเหล็กเพื่อปิดรูโซลีนอยด์วาล์วโดยเมื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านคอยล์จะทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กและดูดแท่งเหล็กให้เคลื่อนที่ได้ โดยคอยล์ที่ใช้กันส่วนใหญ่จะมีขนาด 24 V.DC. 110 V.AC. และ 220 V.AC. [12,19]

โซลีนอยด์คอยล์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมีอยู่ 2 แบบคือ

(1) แบบมีไส้ใน แบบนี้ขดลวดจะสามารถถอดออกจากเรือนของคอยล์ได้และเมื่อเสียสามารถที่จะเปลี่ยนเฉพาะไส้ในได้ ตัวเรือนเป็นที่ติดตั้งของขั้วไฟฟ้าและทำหน้าที่ฝาครอบป้องกันเท่านั้น

(2) แบบหุ้มปิด แบบนี้ตัวขดลวดจะหุ้มปิดด้วยวัสดุฉนวนที่มีความแข็งแรงและทนความร้อนได้ดี คอยล์แบบนี้จะโผล่เฉพาะขาออกมาเพื่อเสียบกับปลั๊ก เมื่อเสียต้องเปลี่ยนทั้งตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3 การติดตั้งโซลีนอยด์วาล์ว

โซลีนอยด์วาล์วแบบใช้ไฟฟ้าโดยตรงนั้นจะติดตั้งในลักษณะใดก็ได้แต่สำหรับแบบใช้แรงดันช่วยนั้นจะต้องติดตั้งตัววาล์วในลักษณะตั้งตรง ได้มุมฉากกับแนวระดับ เพื่อให้ชิ้นส่วนภายใน เช่น ลูกสูบหรือแผ่นไดอะแฟรมอยู่ในลักษณะสมดุล ซึ่งจะทำให้การเปิดปิดกระทำได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์ ส่วนการติดตั้งโซลีนอยด์คอยล์เข้ากับตัววาล์วนั้นต้องติดตั้งแล้วแน่นพอดีไม่โยกคลอนเพราะจะทำความเสียหายให้กับตัวคอยล์และตัวแกนที่สวมคอยล์ของตัววาล์วได้

2.9 อุปกรณ์ทางไฟฟ้า

เนื่องจากระบบขับเคลื่อนและระบบทำความร้อนของเครื่องขึ้นรูปร้อนใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานดังนั้นจึงต้องมีอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมและป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นแก่อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ เหล่านั้น เพื่อความปลอดภัยของอุปกรณ์ และผู้ปฏิบัติงาน โดยอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมและป้องกันอุปกรณ์เหล่านั้นมีดังนี้ [13]

2.9.1 เบรกเกอร์ (Circuit breaker)

เบรกเกอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปิดปิดวงจรหลักและช่วยป้องกันความเสียหายกรณีที่เกิดไฟฟ้าลัดวงจรในอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อภายในวงจรหลัก โดยเบรกเกอร์จะแบ่งได้ 4 แบบดังนี้

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

เบรกเกอร์แบบไม่อัตโนมัติ ใช้เป็นสวิตช์ปิดเปิดวงจรหลักเท่านั้นไม่สามารถป้องกันความเสียหายได้ จึงได้มีการเพิ่มตัวตัดวงจรโดยความร้อนเข้าไป เรียกว่า "เบรกเกอร์แบบความร้อน" เบรกเกอร์ชนิดนี้จะมีตัวตัดกระแสไฟฟ้าที่ทำจากโลหะสองชนิด ซึ่งจะต่อกับขั้วแต่ละด้านของเบรกเกอร์ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าเกินปกติจะเกิดความร้อนขึ้น ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้ตัวตัดกระแสไฟฟ้าทำงาน อย่างไรก็ตามเบรกเกอร์ชนิดนี้ไม่สามารถป้องกันการเกิดความเสียหายในกรณีที่เกิดไฟฟ้าลัดวงจรได้เนื่องจากทำงานช้า ดังนั้นจึงมีการเพิ่มตัวตัดกระแสไฟฟ้าแบบแม่เหล็กซึ่งจะทำงานทันทีที่เกิดกระแสไฟฟ้าลัดวงจร เบรกเกอร์ที่ใช้ในปัจจุบันทั้งหมดจะเป็นแบบที่มีทั้งตัวตัดกระแสไฟแบบความร้อนและแบบแม่เหล็ก ซึ่งจะป้องกันทั้งไฟฟ้าเกินและไฟฟ้าลัดวงจร ขนาดของเบรกเกอร์จะแบ่งตามกระแสสูงสุดที่ยอมให้ผ่านโดยไม่ตัดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยในการเลือกเบรกเกอร์

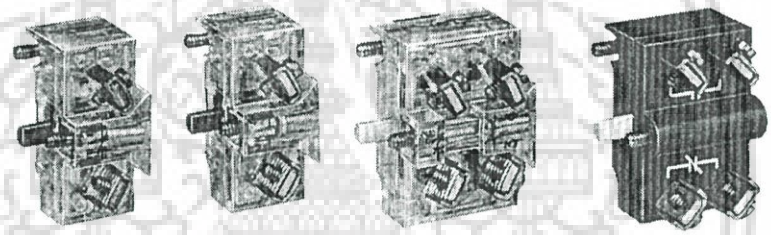
- ขนาดเบรกเกอร์ (ตามขนาดกระแส มีหน่วยเป็นแอมแปร์, A)
- อุณหภูมิห้องขณะใช้งาน
- จำนวนเฟสของกระแสไฟฟ้า
- แรงดันไฟฟ้า (Voltage rating)
- การติดตั้ง

2.9.2 **สวิตช์** (Switch)

สวิตช์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการปิดเปิดวงจรไฟฟ้า สามารถแบ่งเป็นประเภทต่างๆได้ดังนี้

1. สวิตช์แบบกด (Push-button switch)

สวิตช์แบบกดประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ หน้าสัมผัส และตัวควบคุม หน้าสัมผัสของสวิตช์จะมีสองสถานะคือสถานะเปิดและสถานะปิด หน้าสัมผัสของสวิตช์ ดังแสดงในรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 หน้าสัมผัสแบบต่างๆ [13]

2. สวิตช์แบบเลือก (Selector switch)

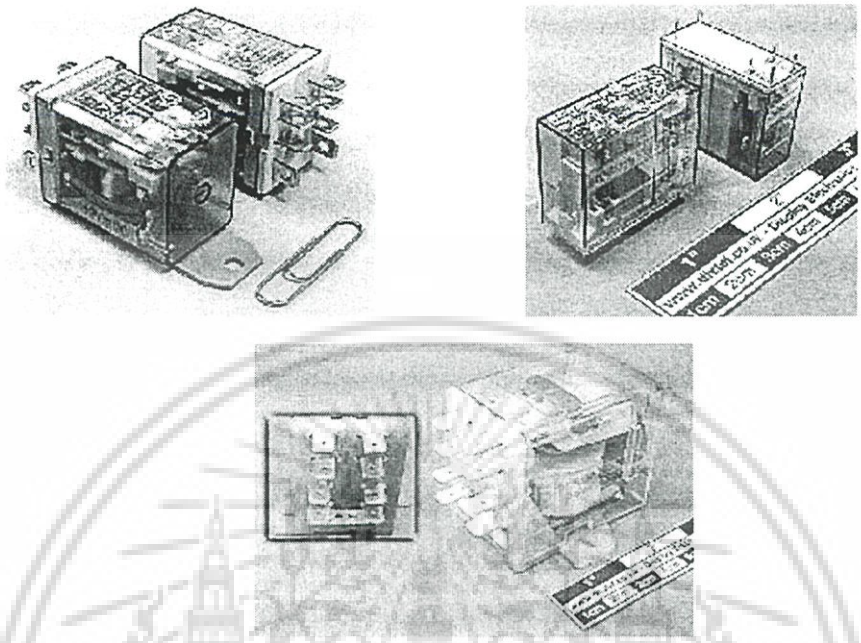
สวิตช์แบบนี้จะมีหน้าสัมผัสหลายชุดซึ่งสามารถเลือกจับคู่หน้าสัมผัสโดยใช้ตัวควบคุมตำแหน่งของหน้าสัมผัส

2.9.3 **รีเลย์** (Relay)

รีเลย์หรืออิเล็กโตรแมกเนติกรีเลย์ เป็นอุปกรณ์สำหรับหน่วงการทำงานของวงจรให้ต่อเนื่องโดยจะรับสัญญาณกระตุ้นจากสวิตช์หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าและจะตัดวงจรเมื่อมีสัญญาณยกเลิก รีเลย์ที่ใช้ในปัจจุบันมีทั้งชนิดที่เป็นไฟกระแสตรง มีขนาดของแรงดันดังนี้ 6 V 12 V 24 V 48 V และ 110 V และชนิดที่เป็นไฟกระแสสลับ มีขนาดของแรงดันดังนี้ 6 V 12 V 24 V 48 V 120 V และ 240 V ดังนั้นการเลือกใช้งาน สิ่งที่ควรคำนึงถึงคือ แรงดันของคอยล์รีเลย์และควรรักษาระดับแรงดันให้มีค่า ±20% ของค่าแรงดันใช้งาน ถ้าหากแรงดันสูงเกินไปคอยล์อาจไหม้ได้ หรือหากให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

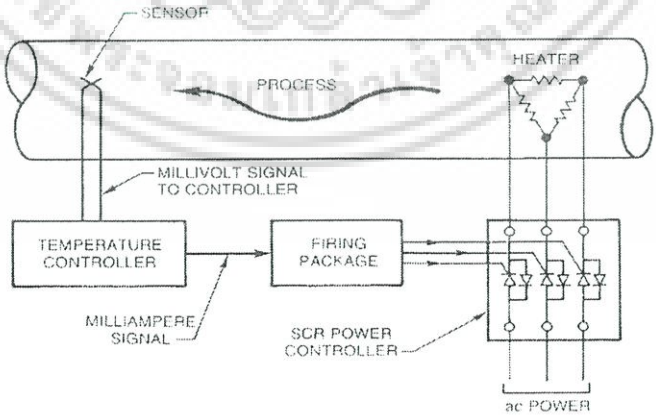
แรงดันมีค่าต่ำเกินไปการทำงานของรีเลย์อาจไม่แน่นอน ตัวอย่างของรีเลย์แสดงดังรูปที่ 2.25 [11,14]



รูปที่ 2.25 รีเลย์ [14]

2.9.4 **อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ** (Temperature controller)

อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ ตัวตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และสวิตช์ควบคุม ซึ่งใช้ในการควบคุมตัวทำความร้อนเพื่อให้ได้อุณหภูมิตามต้องการ วงจรการควบคุมโดยทั่วไปแสดงในรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 ตัวอย่างวงจรค่วบคุมอุณหภูมิ [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยในการเลือกตัวควบคุมอุณหภูมิมีดังนี้

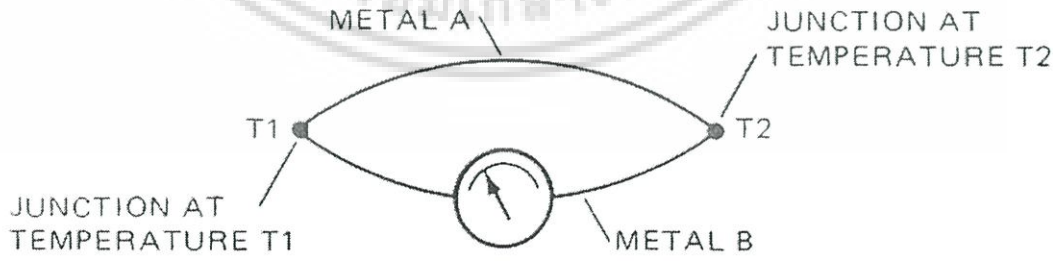
1. ช่วงอุณหภูมิที่ต้องการ
2. ชนิดของตัวตรวจจับอุณหภูมิ ซึ่งแบ่งได้ 3 แบบ คือ 1) แบบอิเล็กทริก 2) แบบการขยายตัวของโลหะ 3) แบบการขยายตัวของของไหล
3. เวลาในการตอบสนอง (Response time) โดยจะขึ้นกับชนิดของตัวตรวจจับ และการแปลงสัญญาณจากตัวตรวจจับเป็นสัญญาณควบคุม
4. ความไวของการตรวจจับ (Sensitivity) คือช่วงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ตัวควบคุมสามารถอ่านค่าได้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

อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิที่นิยมในปัจจุบันมี 2 แบบคือ

1. ไพโรมิเตอร์ (Pyrometer)

ไพโรมิเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีราคาสูง เนื่องจากมีความไวสูง และมีการตอบสนองที่รวดเร็ว ตัวตรวจจับมีขนาดเล็กและติดตั้งง่าย มีความแม่นยำในช่วง $\pm$0.25 ถึง $\pm$1.25 เปอร์เซ็นต์ ของช่วงที่อ่านค่าได้ ตัวตรวจจับที่ใช้กับไพโรมิเตอร์มี 3 แบบคือ

(1) เทอร์โมคัพเปิล (Thermocouple) อาศัยการเชื่อมต่อของโลหะที่แตกต่างกัน 2 ชนิด เมื่ออุณหภูมิที่ T1 แตกต่างจาก T2 จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Electromotive force, emf) ซึ่งสามารถวัดออกมาเป็นค่ากระแส เทอร์โมคัพเปิลจะใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิในช่วง 200 ถึง 5000°F (93.3 ถึง 2760 องศาเซลเซียส) ดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 วงจรของเทอร์โมคัพเปิล [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) เทอร์มิสเตอร์ (Thermister) ทำจากวัสดุซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงความต้านทานเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ซึ่งมีผลให้กระแสที่ไหลผ่านเกิดการเปลี่ยนแปลง เทอร์มิสเตอร์จะใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิในช่วง 200 ถึง 5000°F (93.3 ถึง 2760 องศาเซลเซียส)

(3) ตัววัดแบบต้านทานอุณหภูมิ (Resistance temperature detector, RTD) ประกอบด้วยหลอดที่ทำจากสเตนเลส หรือทองเหลือง ซึ่งมีขดลวดที่ทำจาก นิกเกิล แพลตตินัม หรือทองแดง เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะทำให้แรงดันไฟฟ้าในขดลวดเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความต้านทานของขดลวดเพิ่มขึ้น แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงแล้วแปลงเป็นค่าอุณหภูมิที่แปลี่ยนไป ตัววัดแบบต้านทานอุณหภูมิจะใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิในช่วง 200 ถึง 5000°F (93.3 ถึง 2760 องศาเซลเซียส)

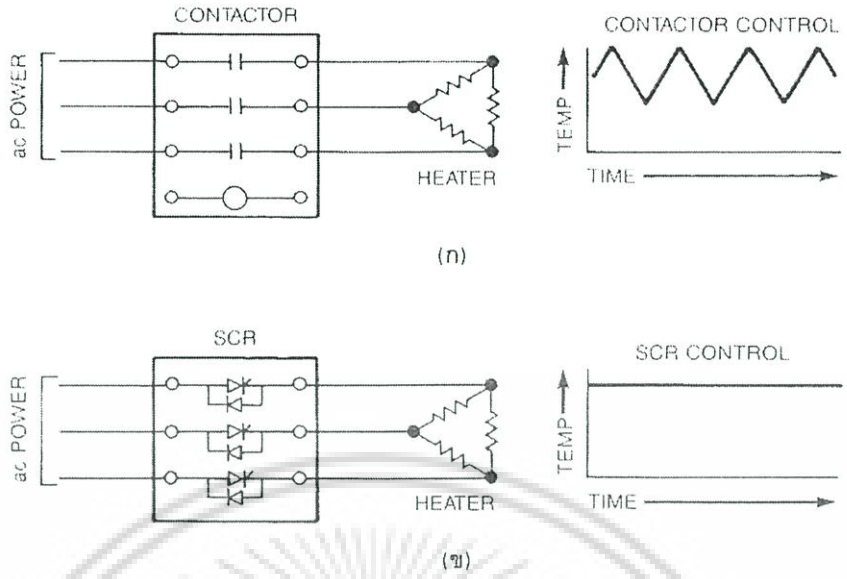
นอกจากนี้ไพโรมิเตอร์ยังสามารถแบ่งตามชนิดของตัวควบคุมได้ดังนี้

1. มิลลิโวลท์มิเตอร์คอนโทรลเลอร์ (Millivoltmeter controller) เป็นตัวควบคุมที่มีการใช้งานมานาน โดยมีหลักการทำงานคือ เมื่อรับสัญญาณจากเทอร์โมคัพเปิล เข็มของมิลลิโวลท์มิเตอร์ซึ่งมีตัวกั้นแสงติดที่ปลายจะเคลื่อนมาบังแหล่งแสงที่ส่องไปยังตัวรับสัญญาณแสงที่ควบคุมอุปกรณ์ปิดเปิดตัวให้ความร้อน ตัวควบคุมชนิดนี้มีข้อเสียคือ จะเกิดความผิดพลาดขึ้นหากใช้ในสภาวะที่มีความสั่นสะเทือนและต้องมีการเทียบมาตรฐานของเทอร์โมคัพเปิล

2. โพเทนชิโอเมตริกคอนโทรลเลอร์ (Potentiometric controller) ใช้การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมคัพเปิลเทียบกับอุณหภูมิที่ตั้งไว้ ทำให้ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่จึงไม่ได้รับผลจากแรงสั่นสะเทือน และไม่ต้องเทียบมาตรฐาน แต่การบำรุงรักษายากเนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่มีวงจรซับซ้อน

3. พรอพอร์ชันนอลคอนโทรลเลอร์ (Proportional controller) เนื่องจากไพโรมิเตอร์สองแบบแรกต้องใช้คอนแทกเตอร์ (Contactor) ในการปิดเปิดตัวทำความร้อนซึ่งความร้อนที่ได้จะไม่คงที่ ดังรูปที่ 2.28 ก จึงมีการพัฒนาการควบคุมให้อุณหภูมิคงที่โดยจะป้อนกระแสไฟฟ้ากับตัวทำความร้อนตลอดเวลาแต่จะควบคุมพลังงานให้เพียงพอแก่การทำความร้อนให้ได้อุณหภูมิตามที่ต้องการเท่านั้นซึ่งจะใช้ร่วมกับตัวสลับสัญญาณซิลิกอน (Silicon-controlled rectifier, SCR) ดังรูปที่ 2.28 ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.28 การควบคุมโดยใช้คอนแทคเตอร์เทียบกับตัวสลับสัญญาณซิลิกอน [13]

2. สวิตช์อุณหภูมิ (Thermostat)

สวิทช์ควบคุมอุณหภูมิใช้หลักการของความแตกต่างในการขยายตัวของโลหะสองชนิดซึ่งแบ่งการเชื่อมต่อได้ 2 แบบ คือ การเชื่อมต่อแบบเชิงกลและการเชื่อมต่อแบบหลอมรวมกันหรือแบบโลหะผสม

แบบเชื่อมต่อเชิงกลจะใช้โลหะชิ้นเดียวต่อกับวัตถุที่ต้องการจะวัดอุณหภูมิโดยตรงโลหะจะขยายหรือหดตัวตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งแรงเชิงกลที่เกิดขึ้นจะทำให้สวิตช์ควบคุมทำงาน สวิตช์ประเภทนี้ใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 38 ถึง 815 องศาเซลเซียส

แบบโลหะผสมใช้หลักการขยายตัวของโลหะที่ไม่เท่ากันเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของโลหะผสมทำให้เกิดแรงเชิงกลไปกระตุ้นการทำงานของสวิตช์ควบคุม

2.10 เทอร์โมคัพเปิล

เทอร์โมคัพเปิลเป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่เกิดจากการนำเอาลวดโลหะ 2 ชนิดที่ไม่เหมือนกันมาเชื่อมปลายด้านหนึ่งเข้าด้วยกันเมื่อนำปลายด้านนี้ของเทอร์โมคัพเปิลไปวางบริเวณที่ต้องการวัดอุณหภูมิจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้น ทั้งนี้แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะแปรเป็นสัดส่วนกับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างปลายด้านที่เชื่อมกันและด้านที่เปิดอยู่ [15,18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.1 ชนิดของเทอร์โมคัพเปิล

เทอร์โมคัพเปิลที่ใช้ในปัจจุบันมีหลายชนิดได้แก่ แบบ B, R, S, J, K, T, E แต่ละชนิดมีข้อแตกต่างทั้งในด้านคุณสมบัติและการใช้งาน เช่น ชนิดของลวดที่ใช้ ช่วงอุณหภูมิใช้งาน แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้ เงื่อนไขบรรยากาศที่เหมาะสมแก่การใช้งาน ลักษณะความเป็นเชิงเส้น ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบชนิดของเทอร์โมคัพเปิลแบบมาตรฐาน ชนิดของลวดที่เป็นส่วนประกอบ อุณหภูมิการใช้งาน ตลอดถึงแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้ สำหรับตารางที่ 2.3 เป็นตารางเปรียบเทียบชนิดของเทอร์โมคัปเปิลกับเงื่อนไขบรรยากาศที่เหมาะสม

ตารางที่ 2.2 ชนิดของเทอร์โมคัพเปิลแบบมาตรฐาน [18]

แบบ	ส่วนผสม	อุณหภูมิที่ใช้งาน		แรงเคลื่อนไฟฟ้า
		°C	°F	(mV)
B	Pt - 30% Rh Pt - 6% Rh	0 - 1820	32-3310	0 – 13.814
R	Pt - 13% Rh Pt	-50 - 1768	- 60 - 3210	-0.226 – 21.108
S	Pt - 10% Rh Pt	-50 - 1768	- 60 - 3210	-0.236 – 18.698
J	Fe - Constantan	-210 - 760	- 350 - 1400	- 8.096 - 42.922
K	Chromel - Alumel	- 270 - 1372	- 450 - 2500	- 6.458 – 54.875
T	Cu - Constantan	- 270 - 400	- 450 - 750	- 6.258 – 20.869
E	Chromel-Constantan	- 270 - 1000	- 450 – 1830	- 9.835 – 76.538

ตารางที่ 2.3 ชนิดของเทอร์โมคัพเปิลกับเงื่อนไขบรรยากาศที่เหมาะสม [18]

แบบ	Oxidizing	Reducing	Inert	Vacuum	Sulfurous	มีไอโลหะ
R	ได้	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้
S	ได้	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้
J	ได้	ได้	ได้	ได้	ไม่ได้ถ้า > 500°C	ได้
K	ได้	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ได้
T	ได้	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ได้
E	ได้	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 วัสดุที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปร้อน

วัสดุที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปร้อนมีข้อจำกัดคือต้องมีลักษณะที่เป็นแผ่นซึ่งต้องมีความหนาไม่มากนักเนื่องจากกระบวนการขึ้นรูปร้อนเป็นกระบวนการที่ใช้แรงดันต่ำ และนิยมใช้เทอร์โมพลาสติกในกลุ่มที่ไม่มีผลึก (Amorphous thermoplastics) มากกว่ากลุ่มกึ่งผลึก (Semi-crystalline thermoplastics) เนื่องจากพลาสติกในกลุ่มแรกมีช่วงอุณหภูมิในการแปรรูปกว้าง จึงทำให้มีความสะดวกในการแปรรูป แต่ในกลุ่มหลังมีการใช้ในผลิตภัณฑ์ที่มีราคาแพงกว่า ต้องการความทนทาน มีสมบัติเชิงกลสูงกว่า ตัวอย่างพลาสติกที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปร้อน มีดังนี้ [2,7,8]

- พอลิสไตรีน นิยมใช้ชนิดที่ทนต่อแรงกระแทกสูง (High impact polystyrene, HIPS) อย่างมากเนื่องจากมีราคาถูก มีความหนาแน่นต่ำ จึงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เบา มีความแข็งแรงปานกลาง ใช้ทำบรรจุภัณฑ์ที่มีความคงตัว บรรจุภัณฑ์แผงคอมพิวเตอร์และใช้บรรจุสินค้าที่ต้องการให้เห็นตัวสินค้าภายใน เป็นต้น
- พอลิเมอร์ร่วมระหว่าง อะคริโลไนไตรล์ บิวทาไดอีนและสไตรีน (ABS) ใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความทนทานต่อแรงกระแทกที่อุณหภูมิต่ำ ๆ ได้ดี เช่น ส่วนประกอบภายในตู้ทำความเย็นและเครื่องทำน้ำแข็ง ทำส่วนประกอบของเฟอร์นิเจอร์และอุปกรณ์ตกแต่งภายในบ้าน อุปกรณ์เครื่องใช้สำนักงาน เป็นต้น
- พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) เป็นวัสดุที่มีราคาถูกใช้ผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ประเภทกล่องต่าง ๆ ถาดใส่ของ แผ่นปูรองกระบะรถยนต์ ทนต่อแรงกระแทกดีมากและทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี
- พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นและน้ำหนักโมเลกุลสูง (HMW-HDPE) มีสมบัติโดยทั่วไปคล้ายกับ HDPE แต่มีความแข็งและทนต่อแรงกระแทกที่อุณหภูมิต่ำได้ดีกว่า นิยมใช้ทำถาดในทางการแพทย์ และถาดใส่ของต่าง ๆ เป็นต้น
- พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) ผลิตภัณฑ์จากวัสดุชนิดนี้มีสมบัติเด่น คือ ทนแรงกระแทกสูง แข็ง มีความเงาสูง ทนต่อสารเคมี ทนไฟและทนต่อสภาวะอากาศภายนอก จึงเหมาะแก่การผลิตประตูห้องน้ำ อุปกรณ์ใส่สารเคมี กล่องบรรจุภัณฑ์ อุปกรณ์ที่ใช้ภายนอกบ้าน เป็นต้น
- พอลิพรอพิลีน (PP) เป็นพลาสติกในกลุ่มกึ่งผลึก จึงต้องความคุมอุณหภูมิในการแปรรูปอย่างละเอียด เนื่องจากมีช่วงอุณหภูมิของการอ่อนตัวแคบ ชนิดที่นิยมใช้ในการขึ้นรูปร้อนมากที่สุดคือ PP ที่ผสมด้วยดินขาว (Clay) เนื่องจากมีความแข็งและทนแรงกระแทกได้ดีมาก นอกจากนี้ยังผลิตผลิตภัณฑ์ได้หลากสีและมีอุณหภูมิการอ่อนตัว (Heat distortion temperature) สูง นิยมใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานที่อุณหภูมิสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเรท (PET) นิยมใช้อย่างมากในการทำบรรจุภัณฑ์อาหารและอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ต้องการความใส สมบัติเด่นของวัสดุชนิดนี้คือ มีความใส มีสมบัติเชิงกลที่ดี และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ 100 เปอร์เซ็นต์

ในงานวิจัยนี้จะใช้พอลิสไตรีนซึ่งเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในกระบวนการขึ้นรูปร้อนมากที่สุด เนื่องจากกระบวนการขึ้นรูปร้อนทำได้ง่าย มีช่วงอุณหภูมิการขึ้นรูปที่กว้าง นอกจากนี้แล้วยังมีราคาถูก ใส ง่ายต่อการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากพอลิสไตรีนส่วนใหญ่ ได้แก่ แก้วน้ำที่ใช้แล้วทิ้ง บรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ พอลิสไตรีนแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ คือ [3]

1) พอลิสไตรีนเพื่อการใช้งานทั่ว ๆ ไป (General purpose polystyrene, GPPS) สมบัติเด่นคือมีความใสมาก มีค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ในช่วงระหว่าง 74-105 องศาเซลเซียส ทำให้มีสมบัติแข็งเปราะที่อุณหภูมิห้อง

2) พอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกสูง (High impact polystyrene, HIPS) เตรียมได้จากอิมัลชันพอลิเมอไรเซชันของสไตรีนในพอลิบิวทาไดอีน มีสมบัติเด่น คือ มีความทนทานต่อแรงกระแทกสูง นิยมใช้ในการขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ

3) โฟมพอลิสไตรีน (Expandable polystyrene, EPS) ผลิตจากเม็ดพอลิสไตรีนและก๊าซไฮโดรคาร์บอนหรือสารช่วยพองตัว เช่น บิวเทน เพนเทน เป็นต้น ใช้ผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ใส่อาหาร

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปี 1985 Allard R. [22] ได้เสนอกระบวนการการขึ้นรูปร้อน โดยมีลักษณะของส่วนให้ความร้อนเป็นแบบแผ่นประกบทั้งด้านบนและล่างและมีอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิติดตั้งอยู่ 3 จุด ได้แก่ ตรงกลาง ขอบ และระหว่างแผ่นความร้อน มีอุปกรณ์วัดการห้อยตัวของแผ่นพลาสติกแบบใช้แสงติดตั้งไว้ระหว่างแผ่นให้ความร้อน แม่พิมพ์รูปทรงกระบอกและทรงลูกบาศก์สามารถปรับความลึกได้ อุปกรณ์ควบคุมปริมาณลมใช้วาล์วแบบอิเล็กทรอนิกส์เพื่อความแม่นยำ อุปกรณ์ตรวจวัดความดันจะติดตั้งระหว่างแม่พิมพ์กับวาล์ว

ปี 1985 Hughes P. [23] ศึกษาการออกแบบเครื่องขึ้นรูปร้อนระบบใช้ตัวช่วยกด ได้เสนอรูปแบบส่วนประกอบเครื่องขึ้นรูปร้อนที่เหมาะสม คือ แม่พิมพ์ควรทำจากอะลูมิเนียมมีมุมเอียง 3 องศา พร้อมเจาะรูใส่ท่อสแตนเลสเพื่อช่วยหล่อเย็น ตัวช่วยกดต้องสามารถกดลงไปในแม่พิมพ์เป็นระยะ 3 ใน 4 จากผลการทดลองพบว่าชิ้นงานที่ได้มีความหนาสม่ำเสมอ

ปี 1992 Taylor C. A. และ Kazmer D.O. [24] ศึกษาเปรียบเทียบผลระหว่างการคำนวณโดยใช้การวิเคราะห์แบบไฟไนต์อิลิเมนต์และการทดลอง ต่อการกระจายของความหนาของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการขึ้นรูปร้อนแบบสุญญากาศ พบว่าผลการทดลองที่ได้มีค่าการกระจายความหนาใกล้เคียงกันในทุก ๆ ตำแหน่งของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปี 1994 Ryan M. E. [25] ได้ทดลองขึ้นรูปพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกสูง ใช้เทคนิคแบบสุญญากาศโดยตรง ใช้ใยแก้วนำแสงในการวัดอัตราการยืดตัวของแผ่นพลาสติก ณ ตำแหน่งความลึกต่าง ๆ ของแม่พิมพ์ แม่พิมพ์มีลักษณะเป็นทรงกระบอกสามารถปรับความลึกได้ ในการทดลองนี้ศึกษาผลของอัตราการดูดอากาศและอุณหภูมิพบว่าปัจจัยทั้งสองมีผลต่อการกระจายตัวของความหนาของชิ้นงาน โดยเมื่ออัตราการดูดอากาศและอุณหภูมิมีค่าสูงขึ้น ทำให้การกระจายความหนาของชิ้นงานสม่ำเสมอมากขึ้น

ปี 1997 Stephenson M.J. และ Ryan M.E. [26] ศึกษาการขึ้นรูปร้อนโดยใช้แผ่นพลาสติกพอลิเมอร์ร่วมผสมระหว่างพอลิสไตรีน-บิวทาไดอีน โคพอลิเมอร์ กับ พอลิสไตรีน ความหนา 30 และ 46 มิลล์ ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ผลิตถ้วยในระดับอุตสาหกรรม อุณหภูมิในการขึ้นรูป คือ 130 140 และ 150 องศาเซลเซียส โดยใช้แม่พิมพ์อะลูมิเนียมรูปทรงกระบอกภายในติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความดัน จากผลการทดลองพบว่าเวลาใน 1 รอบการผลิตรวดเร็วมาก (0.25-0.60 วินาที) การกระจายของความหนาใกล้เคียงกันทุกอุณหภูมิการขึ้นรูป

ปี 1997 Arojalian A. และ Ngadi M.O. [27] ศึกษาผลของอุณหภูมิของแผ่นพลาสติก ความเร็วของตัวช่วยกด และอุณหภูมิของตัวช่วยกด ที่มีอิทธิพลต่อการกระจายตัวของความหนาของภาชนะบรรจุสตรอเบอรี่สดที่ผลิตด้วยเทคนิคการขึ้นรูปร้อนแบบใช้ตัวช่วยกด ซึ่งใช้พอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกสูงเป็นวัตถุดิบ ปรับเปลี่ยนค่าของตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้ อุณหภูมิแผ่นพลาสติกเป็น 118 125 136 150 และ 165 องศาเซลเซียส ความเร็วของตัวช่วยกด 0.15 0.20 และ 0.27 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิของตัวช่วยกดเป็น 25 60 100 123 และ 135 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วของตัวช่วยกดและลดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างแผ่นพลาสติกกับตัวช่วยกดส่งผลให้การกระจายความหนาดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็นสามขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเป็นการออกแบบส่วนประกอบต่าง ๆ เพื่อสร้างเครื่องขึ้นรูปร้อน ขั้นตอนที่สองเป็นการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือ และขั้นตอนที่สามเป็นการทดลองขึ้นรูปชิ้นงานจากเครื่องที่ได้จัดสร้าง พร้อมทั้งศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานและทดสอบชิ้นงานที่ได้

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. พอลิสไตรีน ชนิดแผ่น หนา 0.5 มิลลิเมตร (Thermoform Grade, บริษัท ชินแมกซิสเต็ม (Shin Max System))
2. พอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว
3. สารตัวเร่งปฏิกิริยา (Methyl ethyl ketone peroxide)
4. สารกระตุ้นตัวเร่งปฏิกิริยา (Cobalt napthenate)

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 อุปกรณ์ทางเครื่องกล

1. แม่พิมพ์เรซิน 3 ชุด
2. กระบอกลมสองทาง 3 ตัว
3. กระบอกสไลด์ (บริษัท เฟสโต) 1 ตัว
4. ล้อเลื่อนเหล็ก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร 1 คู่
5. โครงเหล็กสำหรับยึดอุปกรณ์ต่าง ๆ
6. ลวดความร้อนชนิดเส้น ขนาด 2000 วัตต์ (บริษัท สวนหลวง เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด)
7. ฉนวนใยหิน ขนาด 35 x 40 x 0.5 เซนติเมตร (กว้าง x ยาว x หนา) 2 แผ่น
8. ถังแก๊ส ขนาด 15 ลิตร 1 ถัง และ ขนาด 35 ลิตร 2 ถัง
9. สายลมขนาด 6 มิลลิเมตร (บริษัท พีแอนด์พี นิวแมติกส์) ยาว 10 เมตร
10. ข้อต่อลม (บริษัท พีแอนด์พี นิวแมติกส์)
11. วาล์วปรับความดัน (บริษัท พีแอนด์พี นิวแมติกส์)
12. เกจวัดความดัน (บริษัท พีแอนด์พี นิวแมติกส์)
13. สายยางชนิดอ่อน
14. วาล์วชนิดมือหมุน (บริษัท พีแอนด์พี นิวแมติกส์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงาน

1. สวิตช์กด
2. สวิตช์คันโยก
3. เบรกเกอร์ (MS-50, บริษัท มัทสึคามิ) 1 ตัว
4. ชุดควบคุมอุณหภูมิ 0-400 องศาเซลเซียส (SP2 บริษัท ซุปเปอร์) 1 ตัว
5. คอนแทกเตอร์แม่เหล็ก ขนาด 20 แอมแปร์ (S-N10 บริษัท มิตซูบิชิ) 2 ตัว
6. รีเลย์ (บริษัท โอมรอน) 4 ตัว
7. ชุดกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง 0-30 โวลต์ ขนาด 2 แอมแปร์ 1 ชุด
8. โซลีนอยด์วาล์ว ขนาด 24 V (บริษัท พีแอนด์พี นิวแมติกส์) 4 ตัว
9. ตู้เหล็กรวมอุปกรณ์

3.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปและทดสอบชิ้นงาน

1. เครื่องขึ้นรูปร้อนแบบหลายระบบ
2. เครื่องปั๊มอากาศ (0.4 OP-7S บริษัท ฮิตาชิ)
3. เครื่องปั๊มดูดอากาศ
4. ไมโครมิเตอร์แบบดิจิตอลทศนิยม 3 ตำแหน่ง

3.2.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องขึ้นรูปร้อน

1. เครื่องวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส (บริษัท เรย์เทก)

3.2.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสมบัติของพอลิสไตรีน

1. เครื่องวิเคราะห์ทางความร้อนเชิงกลพลวัต (Dynamic mechanical thermal analysis, DMTA)

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1 การออกแบบเครื่องขึ้นรูปร้อนแบบหลายระบบ

3.3.1.1 ส่วนประกอบต่าง ๆ

(1) แม่พิมพ์ในการทดลองนี้ออกแบบเป็นรูปถ้วยเพื่อประโยชน์ในการศึกษาการกระจายตัวของความหนาและง่ายในการจัดสร้าง ทำจากพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัวเนื่องจากมีราคาถูกและสามารถหล่อขึ้นได้เอง โดยผสมเรซิน สารตัวเร่งปฏิกิริยาและสารกระตุ้นตัวเร่งปฏิกิริยา แล้วเทลงในแม่แบบให้ได้ขนาด กว้าง 30 ยาว 30 สูง 10 เซนติเมตร เมื่อหล่อพอลิเมอร์จนแข็งตัวแล้วนำมาทำการขึ้นรูปเป็นแม่พิมพ์โดยใช้เครื่องกลึงและเครื่องกัด หลังจากขึ้นรูปแม่พิมพ์ได้ตามแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ต้องการแล้ว ขัดแม่พิมพ์ด้วยกระดาษทรายเบอร์หยาบและละเอียดตามลำดับ วัดขนาดแม่พิมพ์ที่สร้างขึ้นด้วยเวอร์เนียและไม้บรรทัด แม่พิมพ์ทุกระบบมีขนาดภายนอกเท่ากันคือ กว้าง 20 ยาว 20 และสูง 5 เซนติเมตร ซึ่งแม่พิมพ์แต่ละระบบแตกต่างที่รายละเอียดดังนี้ แม่พิมพ์ที่ใช้กับเทคนิคสุญญากาศโดยตรง และเทคนิคใช้ตัวช่วยกด (ดังรูปที่ 3.1 ก และ ข ตามลำดับ) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขอบถ้วยด้านบน 6 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางด้านก้นถ้วยเท่ากับ 5 เซนติเมตร และลึก 3 เซนติเมตร มีลักษณะเป็นแม่พิมพ์ตัวเมีย เจาะรูดูดอากาศจำนวน 6 รูห่างกันประมาณ 60 องศา สำหรับแม่พิมพ์ที่ใช้เทคนิคแม่พิมพ์ดันช่วย (ดังรูปที่ 3.1 ค) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขอบถ้วยด้านบน 5 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางด้านล่างถ้วยเท่ากับ 4 เซนติเมตร และ ลึก 1.5 เซนติเมตร มีลักษณะเป็นแม่พิมพ์ตัวผู้ ยึดตัวแบบด้วยน๊อตจากทางด้านล่าง

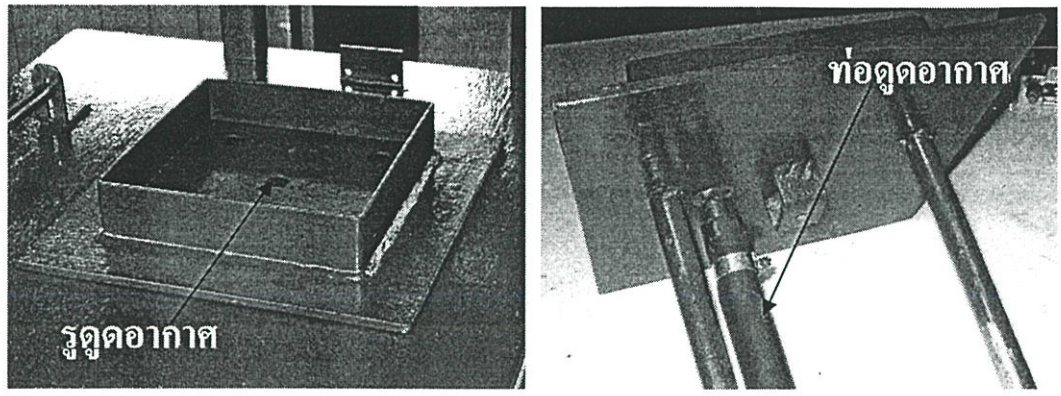
(ก) แม่พิมพ์เทคนิคสุญญากาศโดยตรง (ข) แม่พิมพ์เทคนิคใช้ตัวช่วยกด

(ค) แม่พิมพ์เทคนิคใช้แม่พิมพ์ช่วยดัน

รูปที่ 3.1 ลักษณะของแม่พิมพ์ที่ใช้ในการทดลอง

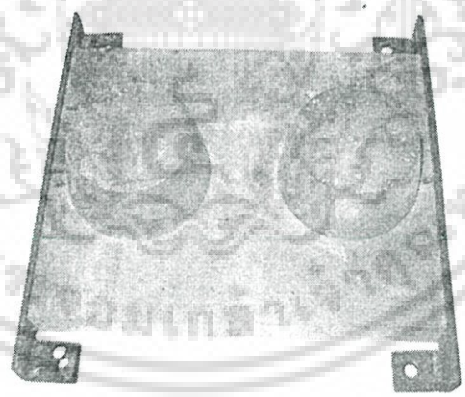
(2) โต๊ะวางแม่พิมพ์ เป็นส่วนประกอบสำคัญในการสร้างระบบสุญญากาศและทำหน้าที่รองรับแม่พิมพ์ ทำจากเหล็กเชื่อมต่อกันเป็นรูปกล่องขนาดใหญ่กว่าแม่พิมพ์เล็กน้อย ทั้งนี้เพื่อให้การรักษาความดันสุญญากาศในขณะขึ้นรูปสม่ำเสมอ โดยเจาะรู 5 รูขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตรและเชื่อมต่อกับท่อดูดอากาศทางด้านล่าง มีลักษณะดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



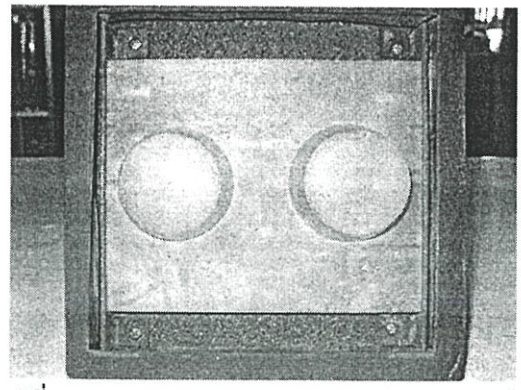
รูปที่ 3.2 โต๊ะวางแม่พิมพ์

(3) ตัวช่วยกด เป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการศึกษาการทำงานของเครื่องในระบบสุญญากาศแบบใช้ตัวช่วยกด ซึ่งตัวช่วยกดในการทดลองนี้ทำจากวัสดุชนิดเดียวกับแม่พิมพ์ เนื่องจากเหตุผลเดียวกัน ลักษณะของตัวช่วยกดมีรูปร่างคล้ายกับแม่พิมพ์โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านบน 5 เซนติเมตร ด้านล่าง 4 เซนติเมตร และลึก 4 เซนติเมตร จำนวน 2 ชิ้น ยึดติดกับแผ่นเรซินสี่เหลี่ยมขนาด 10 x 12 x 1 เซนติเมตร (กว้าง x ยาว x หนา) ด้วยตะปูเกลียว ลักษณะของตัวช่วยกด แสดงดังรูปที่ 3.3



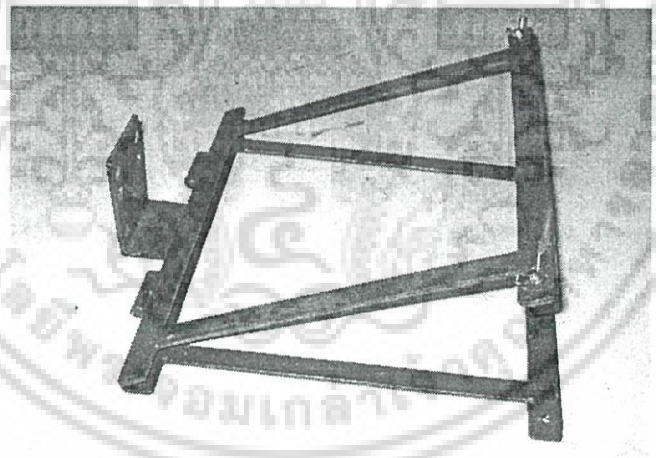
รูปที่ 3.3 ตัวช่วยกด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 การประกอบตัวช่วยกดเข้ากับแท่นยึด

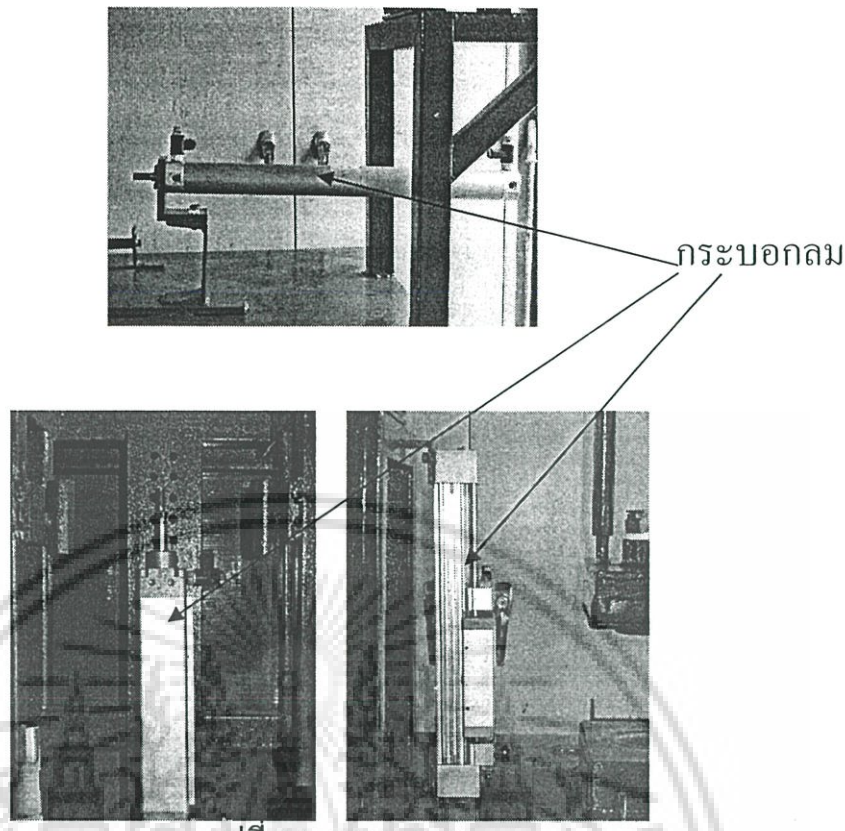
(4) ส่วนจับยึดแผ่นพลาสติก ทำจากเหล็กแผ่นเชื่อมเป็นกรอบสี่เหลี่ยมสองกรอบ ขนาด 33 x 35 เซนติเมตร เหตุผลเนื่องจากขนาดของแผ่นวัตถุดิบจะต้องเว้นระยะห่างจากขอบแม่พิมพ์อย่างน้อยด้านละ 1 นิ้ว [7] เนื่องจากพลาสติกส่วนที่เว้นไว้นี้จะห้อยตัวต่ำกว่าขอบโต๊ะวางแม่พิมพ์ ส่งผลให้การสร้างระบบสุญญากาศสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น โดยเหล็กทั้งสองกรอบประกบกันด้วยบานพับ แล้วเจาะรูยึดน็อตหางปลาเพื่อทำหน้าที่ยึดแผ่นพลาสติกให้แน่นหนาขึ้น ลักษณะของส่วนจับยึดแผ่นพลาสติก ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ส่วนจับยึดแผ่นพลาสติก

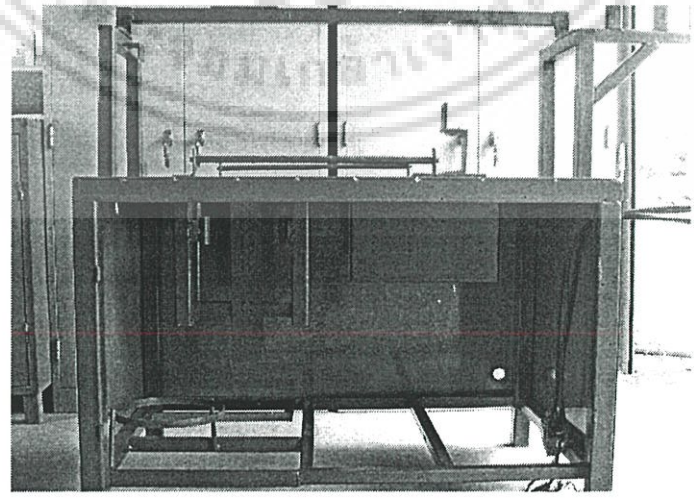
(5) กระบอกลม เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเลื่อนตำแหน่งของส่วนประกอบหลักต่าง ๆ ของเครื่องขึ้นรูปร้อนซึ่งได้แก่ ส่วนให้ความร้อน โต๊ะวางแม่พิมพ์ ตัวช่วยกด และที่จับยึดแผ่นพลาสติก ดังรูปที่ 3.6 หลักการในการเลือกใช้กระบอกลมควรคำนึงถึงน้ำหนักหรือภาระงานที่จะใช้กับกระบอกลมนั้น นอกจากนี้ยังต้องให้ความสำคัญกับทิศทางและระยะของการเคลื่อนที่ด้วย สำหรับเครื่องมือที่ออกแบบนี้มีแนวทางในการเลือกใช้กระบอกลมแสดงอยู่ในภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 กระบอกลม

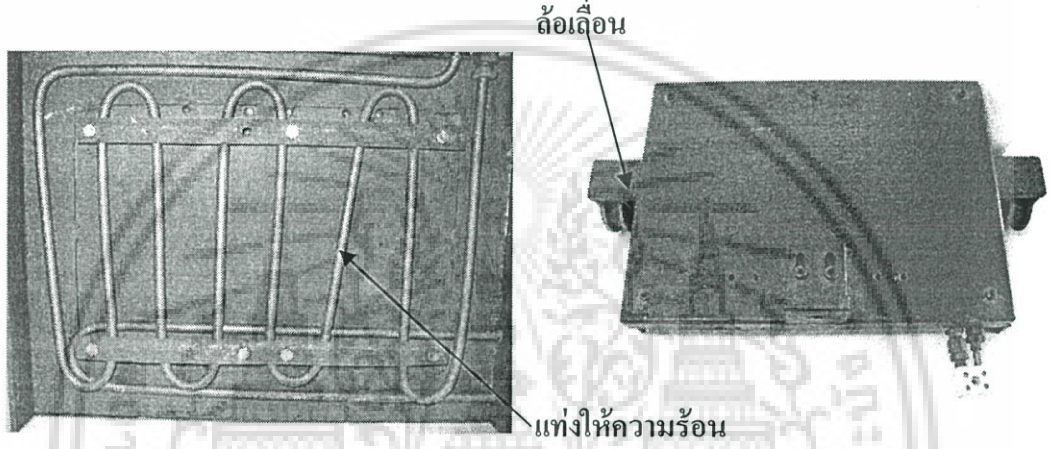
(6) โครงเหล็ก ใช้ในการยึดส่วนประกอบหลักต่าง ๆ เข้าด้วยกัน ทำจากเหล็กกล่องขนาด 1.5 x 1.5 นิ้ว และ 1 x 1 นิ้ว หนา 0.04 นิ้ว มาเชื่อมต่อกัน จากนั้นเชื่อมประกบเป็นพื้นโต๊ะด้วยแผ่นเหล็กขนาด 70 x 110 x 0.5 เซนติเมตร จากนั้นทาสีรองพื้นกันสนิมพร้อมทั้งทาสีน้ำมันเคลือบทับอีกชั้นหนึ่ง โครงเหล็กที่ได้รับการประกอบแล้วจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 โครงเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(7) ส่วนให้ความร้อน ทำจากเหล็กหนา 5 มิลลิเมตรเชื่อมเป็นรูปกล่องแบบฝาเปิดขนาด กว้าง 35 ยาว 40 และลึก 10 เซนติเมตร ขนาดของส่วนให้ความร้อนถูกออกแบบให้มีขนาดใหญ่กว่าแผ่นพลาสติกเนื่องจากในกระบวนการขึ้นรูปจริง จะต้องมีการสูญเสียความร้อนเนื่องจากลม เพราะเครื่องมือที่สร้างเป็นระบบเปิด ป้องกันการสูญเสียความร้อนทางด้านบนด้วยฉนวนใยหิน ขนาด กว้าง 34.5 ยาว 39.5 หนา 0.5 เซนติเมตร จำนวน 2 แผ่น แล้วนำแผ่นเหล็กขนาดเท่ากันเชื่อมปิดทับให้ฉนวนสนิทกับกล่องจากนั้นยึดขดลวดความร้อนชนิดเส้น ขนาด 2000 วัตต์ เข้ากับกล่องเหล็กด้านใน นำชิ้นส่วนที่ประกอบได้ในขั้นตอนนี้ไปติดกับล้อเลื่อนทั้งสองด้าน จะได้ลักษณะดังรูปที่ 3.8 ซึ่งรายละเอียดในการเลือกใช้ส่วนให้ความร้อนแสดงในภาคผนวก ค



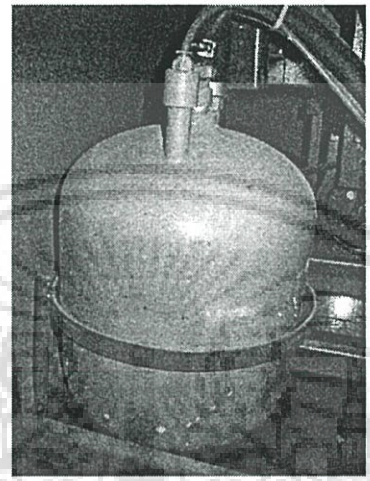
รูปที่ 3.8 ส่วนให้ความร้อน

(8) รางเลื่อน ทำหน้าที่กำหนดทิศทางของส่วนให้ความร้อน ทำจากเหล็กกลมแท่ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ยาว 80 เซนติเมตร จำนวน 2 แท่ง ดังรูปที่ 3.9

รูปที่ 3.9 รางเลื่อน

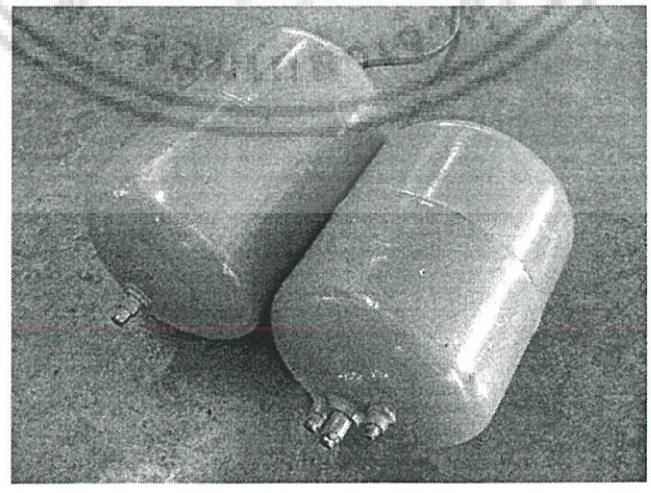
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(9) ถังสุญญากาศ เป็นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างปั๊มสุญญากาศและโต๊ะวางแม่พิมพ์ มีหน้าที่ลดระยะเวลาในการสร้างความดันสุญญากาศ ซึ่งเป็นผลให้ระยะเวลาโดยรวมของรอบการผลิตลดลง ซึ่งถังสุญญากาศนี้ดัดแปลงจากถังแก๊สขนาด 15 ลิตร มีความสามารถในการรับแรงดันได้สูง ขนาดถังสุญญากาศถูกออกแบบให้มีความสัมพันธ์กับอัตราการทำงานของปั๊ม ลักษณะถังสุญญากาศของเครื่องมือที่สร้างขึ้นแสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ถังสุญญากาศ

(10) ถังเก็บอากาศ สำหรับระบบซึ่งมีการใช้ลมจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีอุปกรณ์สำรองลมอัด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องจักรให้ทำงานได้อย่างต่อเนื่องโดยที่ขนาดของถังสำรอง ลมอัดนั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดของอุปกรณ์ลมและความถี่ในการใช้งาน ในการทดลองนี้ใช้ถังแก๊สขนาด 35 ลิตร จำนวน 2 ถัง เป็นถังเก็บอากาศ เนื่องจากสามารถทนความดันได้สูง แสดงดังรูปที่ 3.11



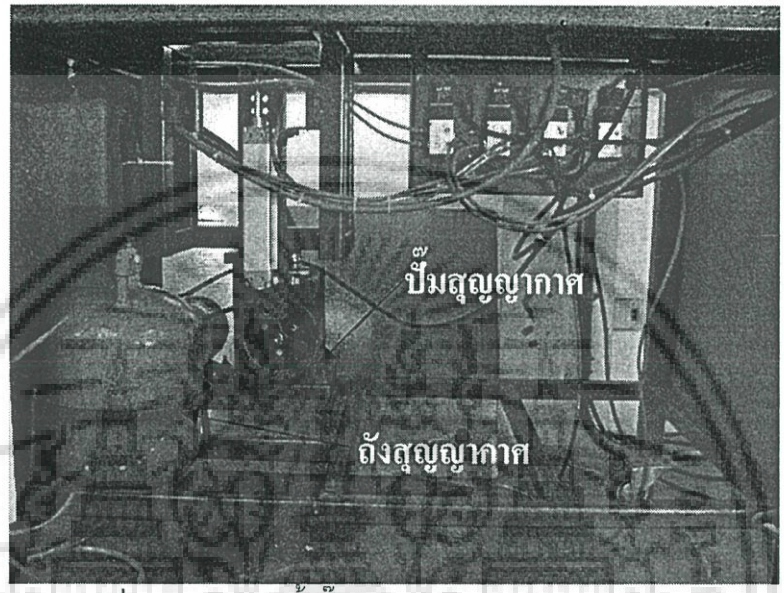
รูปที่ 3.11 ถังเก็บอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.2 **การประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ เข้ากับโครงเหล็ก**

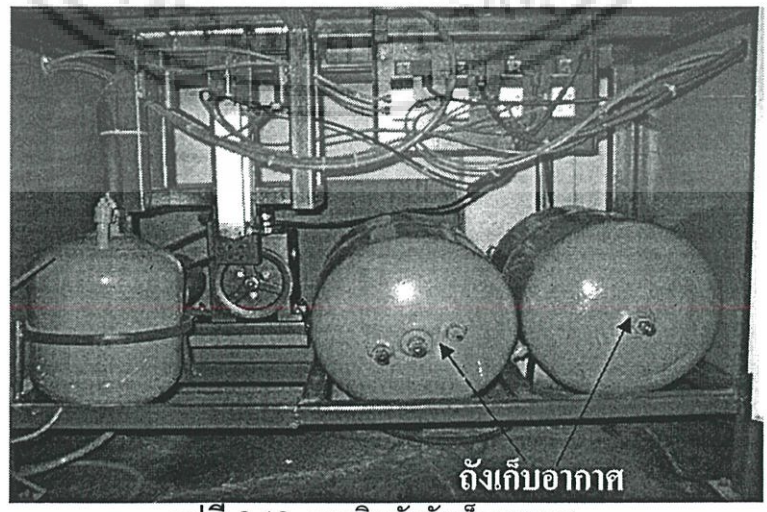
(1) การติดตั้งปั๊มดูดอากาศและถังสุญญากาศ

ปั๊มดูดอากาศและถังสุญญากาศจะถูกติดตั้งทางด้านล่างของโครงเหล็ก ซึ่งมีเหล็กเชื่อมเป็นฐานเพื่อรองรับ และต่อท่อลมจากปั๊มดูดอากาศไปยังถังเก็บอากาศ จากนั้นต่อท่อจากถังเก็บอากาศผ่านวาล์วแบบมือหมุนไปยังโต๊ะวางแม่พิมพ์ ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 การติดตั้งปั๊มดูดอากาศและถังสุญญากาศ

(2) การติดตั้งถังเก็บอากาศ ถังเก็บอากาศจะติดตั้งทางด้านล่างของโครงเหล็ก โดยถังทางด้านขวามือจะต่อกับปั๊มอัดอากาศ ส่วนถังทางด้านซ้ายมือจะต่อออนุกรมกับถังใบแรกและทำหน้าที่จ่ายลมเข้าสู่โซลีนอยด์วาล์ว ดังรูปที่ 3.13

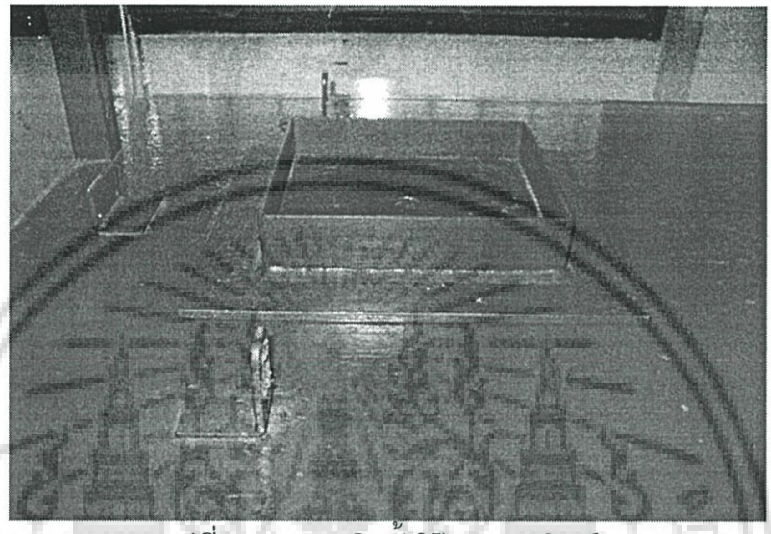


รูปที่ 3.13 การติดตังถังเก็บอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) การติดตั้งโต๊ะวางแม่พิมพ์

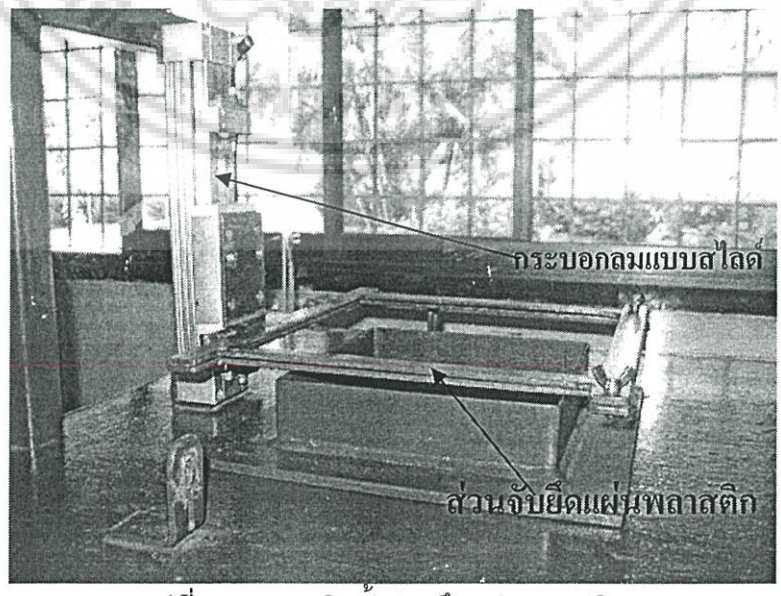
แม่พิมพ์จะมีส่วนของโต๊ะวางแม่พิมพ์เป็นส่วนรองรับและอากาศระหว่างแม่พิมพ์กับแผ่นพลาสติกจะถูกดูดไปยังถังเก็บอากาศโดยผ่านท่อที่ต่อกับโต๊ะวางแม่พิมพ์ การติดตั้งทำได้โดยนำโต๊ะวางแม่พิมพ์วางลงบนรูที่เจาะไว้ที่พื้นโต๊ะโครงเหล็ก จากนั้นนำกระบอกลมต่อเข้ากับฐานด้านล่างซึ่งมีรูสำหรับใส่ก้านสูบ ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 การติดตั้งโต๊ะวางแม่พิมพ์

(4) การติดตั้งส่วนยึดแผ่นพลาสติก

อุปกรณ์ในส่วนยึดแผ่นพลาสติกนี้จะถูกติดตั้งอยู่เหนือโต๊ะวางแม่พิมพ์โดยประกอบติดกับกระบอกลมแบบสไลด์ ซึ่งยึดกับโครงเหล็กในแนวดิ่ง ดังรูปที่ 3.15

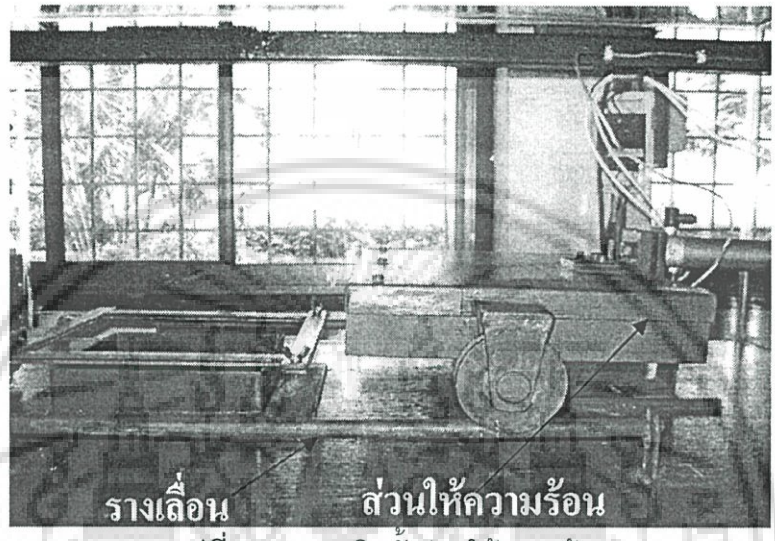


รูปที่ 3.15 การติดตั้งส่วนยึดแผ่นพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(5) การติดตั้งรางเลื่อนและส่วนให้ความร้อน

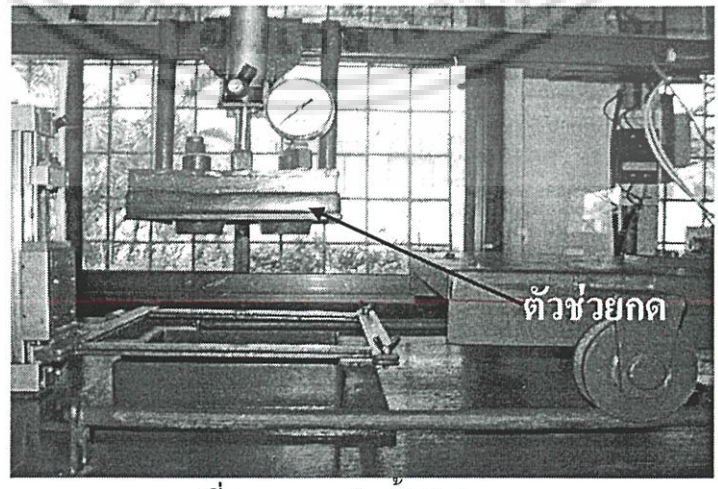
รางเลื่อนจะถูกประกอบเข้ากับพื้นโต๊ะโดยยึดด้วยน๊อตบริเวณปลายทั้งสองด้าน พร้อมทั้งปรับระดับให้เสมอกัน ส่วนให้ความร้อนที่ประกอบเสร็จแสดงดังรูปที่ 3.8 จะถูกติดตั้งทางด้านตรงข้ามของส่วนยึดจับแผ่นพลาสติก และนำไปวางไว้บนรางเลื่อน การเลื่อนส่วนให้ความร้อนไปตามรางเลื่อนนี้ใช้กระบอกลมซึ่งประกอบติดที่ขอบด้านหนึ่งของส่วนให้ความร้อน ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 การติดตั้งส่วนให้ความร้อน

(6) การติดตั้งตัวช่วยกด

เมื่อติดตั้งตัวช่วยกดดังรูปที่ 3.4 นำกระบอกลมมาประกอบในแนวดิ่งดังรูปที่ 3.17 จากนั้นนำไปติดตั้งกับโครงเหล็กบริเวณเหนือโต๊ะวางแม่พิมพ์ พร้อมทั้งปรับตำแหน่งให้ตรงกับแม่พิมพ์พอดี ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 การติดตั้งตัวช่วยกด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

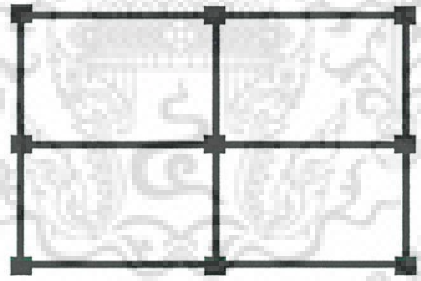
3.3.2 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือ

3.3.2.1 การทดสอบความเที่ยงตรงในการปรับอุณหภูมิ

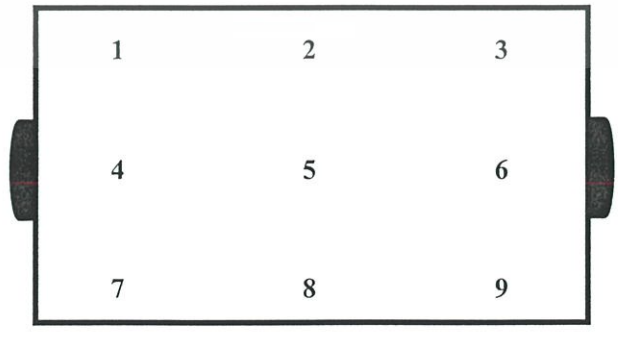
1. เปิดส่วนให้ความร้อน ตั้งอุณหภูมิที่ 110 องศาเซลเซียส
2. ใช้เทอร์โมมิเตอร์อ่านค่าอุณหภูมิของส่วนให้ความร้อนบริเวณเทอร์โมคัพเปิลเมื่อตัวควบคุมอุณหภูมิตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้า จำนวน 5 ครั้ง บันทึกผลการทดลอง
3. ทำการทดลองข้อ 1 และ 2 ซ้ำโดยเปลี่ยนอุณหภูมิเป็น 120 130 140 150 และ 160 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

3.3.2.2 การทดสอบความสม่ำเสมอของอุณหภูมิในตำแหน่งต่าง ๆ ของส่วนให้ความร้อน

1. นำอุปกรณ์ซึ่งทำจากเหล็กแผ่นเชื่อมต่อกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.18 ติดตั้งขนานใต้ส่วนให้ความร้อน ระยะห่าง 1.5 เซนติเมตร โดยจัดให้ตรงกับตำแหน่งต่าง ๆ รวม 9 ตำแหน่งดังรูปที่ 3.19
2. เปิดส่วนให้ความร้อน ตั้งอุณหภูมิที่ 130 องศาเซลเซียส
3. รอจนกระทั่งส่วนควบคุมอุณหภูมิตัดการทำงานแล้ว 5 นาที
4. ใช้เทอร์โมมิเตอร์อ่านค่าอุณหภูมิของส่วนให้ความร้อนที่ตำแหน่งต่าง ๆ รวม 9 ตำแหน่ง ตำแหน่งละ 3 ครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.19 บันทึกผลการทดลอง



รูปที่ 3.18 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความสม่ำเสมอของอุณหภูมิส่วนให้ความร้อน



รูปที่ 3.19 ตำแหน่งต่าง ๆ ในการวัดความสม่ำเสมอของส่วนให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 **การขึ้นรูปชิ้นงาน**

3.3.3.1 **ศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการขึ้นรูป**

1. ตัดแผ่นพอลิสไตรีนขนาด 33 x 35 เซนติเมตร วางบนที่ยึดแผ่นพลาสติกยึดให้แน่น
2. เปิดส่วนให้ความร้อน ตั้งอุณหภูมิที่ 110 องศาเซลเซียส
3. เมื่อถึงอุณหภูมิที่กำหนดจึงเลื่อนส่วนให้ความร้อนมายังแผ่นพลาสติก จากนั้นให้ความร้อนจนกระทั่งพลาสติกห้อยตัว
4. เปิดปั๊มสุญญากาศ เมื่อแผ่นพลาสติกห้อยตัวจึงเลื่อนส่วนให้ความร้อนออก จากนั้นเลื่อนโต๊ะวางแม่พิมพ์ขึ้นไปยังส่วนยึดจับแผ่นพลาสติกพร้อมกับเปิดวาล์ว ในขณะที่ความดันสุญญากาศมีค่า 400 มิลลิเมตรปรอท เพื่อทำการขึ้นรูป ทิ้งไว้ให้พลาสติกเย็นตัวและคงรูป จึงเลื่อนโต๊ะวางแม่พิมพ์ลง ถอดชิ้นงาน
5. นำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบการกระจายตัวของความหนา
6. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-5 แต่เปลี่ยนอุณหภูมิเป็น 130 และ150 องศาเซลเซียส ตามลำดับ
7. ทำการทดลองซ้ำแต่เปลี่ยนเทคนิคในการขึ้นรูปร้อนเป็นแบบใช้ตัวช่วยกดและใช้แม่พิมพ์ช่วยดัน

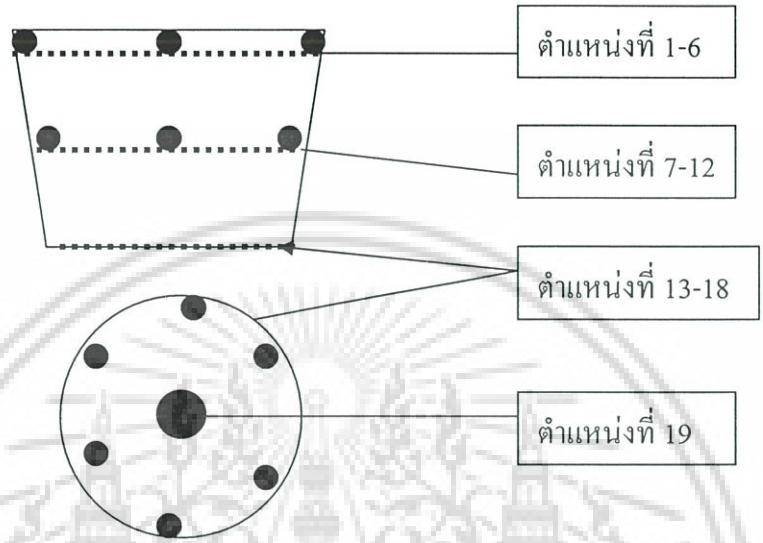
3.3.3.2 **ศึกษาหาความดันสุญญากาศที่เหมาะสมในการขึ้นรูป**

1. ตัดแผ่นพอลิสไตรีนขนาด 33 x 35 เซนติเมตร วางบนที่ยึดแผ่นพลาสติกแล้วยึดให้แน่น
2. เปิดส่วนให้ความร้อน ตั้งอุณหภูมิที่ได้จากข้อ 3.3.3.1
3. เมื่ออุณหภูมิถึงที่กำหนด จึงเลื่อนส่วนให้ความร้อนมายังแผ่นพลาสติก ให้ความร้อนจนกระทั่งพลาสติกห้อยตัว
4. เปิดปั๊มสุญญากาศ รักษาความดันไว้ที่ 200 มิลลิเมตรปรอท เมื่อแผ่นพลาสติกห้อยตัว จึงเลื่อนส่วนให้ความร้อนออก จากนั้นเลื่อนโต๊ะวางแม่พิมพ์ขึ้นไปยังส่วนยึดจับแผ่นพลาสติกพร้อมกับเปิดวาล์ว เพื่อทำการขึ้นรูป ทิ้งไว้ให้พลาสติกเย็นตัวและคงรูป จึงเลื่อนโต๊ะวางแม่พิมพ์ลง ถอดชิ้นงาน
5. นำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบการกระจายตัวของความหนา
6. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-5 แต่เปลี่ยนความดันเป็น 600 มิลลิเมตรปรอท
7. ทำการทดลองซ้ำแต่เปลี่ยนเทคนิคในการขึ้นรูปร้อนเป็นแบบใช้ตัวช่วยกดและใช้แม่พิมพ์ช่วยดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3.3 **การทดสอบชิ้นงาน**

ชิ้นงานที่ได้จากตอนที่ 3.3.3.1-3.3.3.2 จะถูกนำมาทดสอบสมบัติการกระจายตัวของความหนา โดยใช้ไมโครมิเตอร์เป็นอุปกรณ์ในการวัด บริเวณทดสอบแบ่งเป็น 3 บริเวณ คือ บริเวณขอบถ้วยด้านบน กึ่งกลางถ้วย บริเวณก้นถ้วยด้านล่าง โดยวัดค่าระดับละ 6 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ตำแหน่งต่าง ๆ ในการทดสอบการกระจายตัวของความหนา

3.3.4 **การวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกสูง**

ตัดชิ้นงานตัวอย่างแผ่นพอลิสไตรีน ขนาดกว้าง 0.5 เซนติเมตร ยาว 2.5 เซนติเมตร ช่วงอุณหภูมิวิเคราะห์ตั้งแต่ 23 ถึง 110 องศาเซลเซียส เลือกวิธีการวิเคราะห์แบบความเครียดกวาดเชิงพลวัต (Dynamic strain sweep) ความถี่ในการกวาดเชิงมุม 1 เรเดียนต่อวินาที ความเครียดตั้งแต่ 0.002 ถึง 3.000 เปอร์เซนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

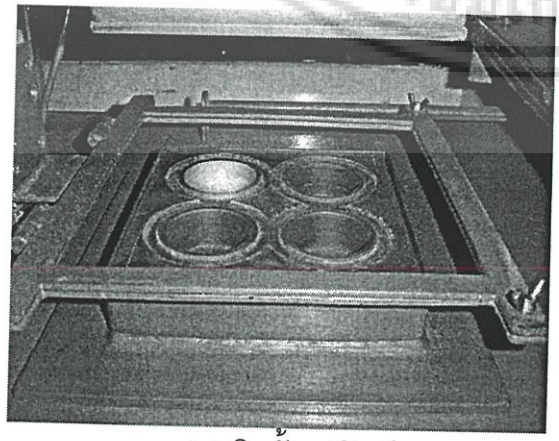
4.1 เครื่องมือที่สร้างขึ้น

เครื่องขึ้นรูปร้อนแบบหลายระบบที่ได้จากการออกแบบและจัดสร้างตามหัวข้อ 3.3.1 ประกอบไปด้วย 3 ระบบ คือ การขึ้นรูปร้อนแบบสุญญากาศโดยตรง (Vacuum forming) การขึ้นรูปโดยใช้หัวอัดช่วย (Plug-assist forming) และ การขึ้นรูปร้อนโดยใช้แม่พิมพ์ดันช่วย (Drape forming) มีส่วนประกอบหลักและระบบการทำงานแต่ละเทคนิคเป็นดังนี้

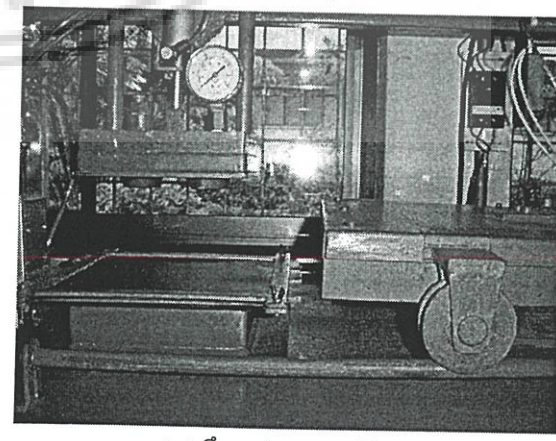
4.1.1 ระบบสุญญากาศโดยตรง (Vacuum forming)

ส่วนประกอบหลักสำหรับระบบสุญญากาศโดยตรงสำหรับเครื่องมือที่สร้างขึ้นคือ ส่วนประกอบของแม่พิมพ์ซึ่งมีลักษณะเป็นรูถ้วยหงาย มีความลึกลงไปจากระดับขอบบน ของโต๊ะวางแม่พิมพ์หรือแม่พิมพ์ตัวเมีย

ขั้นตอนการทำงานของระบบสุญญากาศโดยตรง เริ่มต้นจากการนำแม่พิมพ์ชนิด 4 โพรงแบบติดตั้งบนโต๊ะวางแม่พิมพ์ (แสดงดังรูปที่ 4.1 ก) จากนั้นยึดแผ่นพลาสติกด้วยส่วนจับยึด (แสดงดังรูปที่ 4.1 ข) เมื่ออุณหภูมิเหมาะสมจึงเลื่อนส่วนให้ความร้อนมาทางด้านซ้ายมือเพื่อให้ความร้อนแก่แผ่นพลาสติก (แสดงดังรูปที่ 4.1 ค) เมื่อแผ่นพลาสติกได้รับความร้อนจะเกิดการห้อยตัว จึงเลื่อนส่วนให้ความร้อนกลับ จากนั้นเปิดสวิทช์ปั๊มสุญญากาศ เมื่อระบบสุญญากาศสร้างความดันได้เหมาะสม จึงเลื่อนโต๊ะวางแม่พิมพ์ขึ้นพร้อมกับเปิดวาล์วระบบสุญญากาศ (แสดงดังรูปที่ 4.1 ง) เมื่อชิ้นงานเย็นตัว จึงเลื่อนโต๊ะวางแม่พิมพ์ลง (แสดงดังรูปที่ 4.1 จ) จากนั้นจึงปลดชิ้นงานออกจากส่วนจับยึด

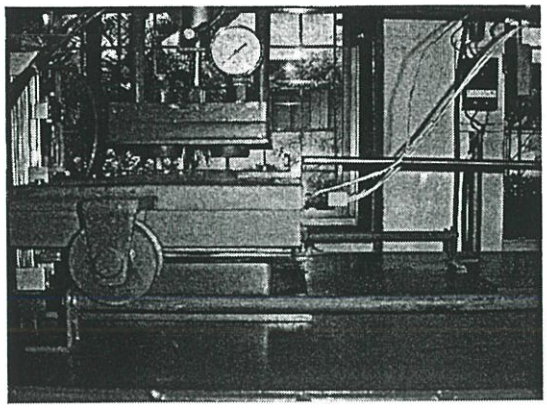


(ก) ติดตั้งแม่พิมพ์

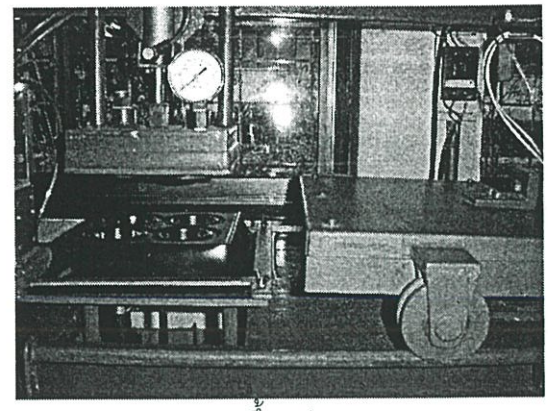


(ข) ยึดแผ่นพลาสติก

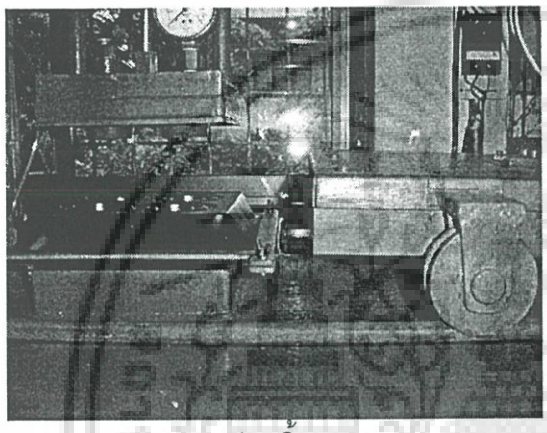
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



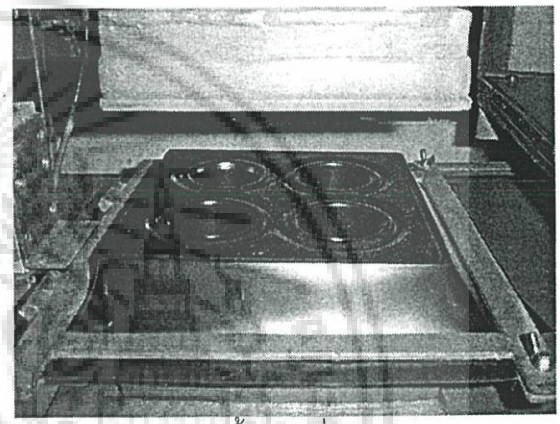
(ค) ให้ความร้อน



(ง) ขึ้นรูป



(จ) ปลดชิ้นงาน



(ฉ) ชิ้นงานที่ได้

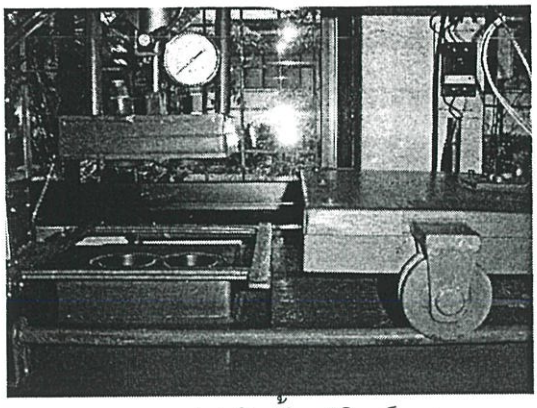
รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการทำงานของระบบสุญญากาศโดยตรง

4.1.2 **ระบบใช้ตัวช่วยกด** (Plug-assist forming)

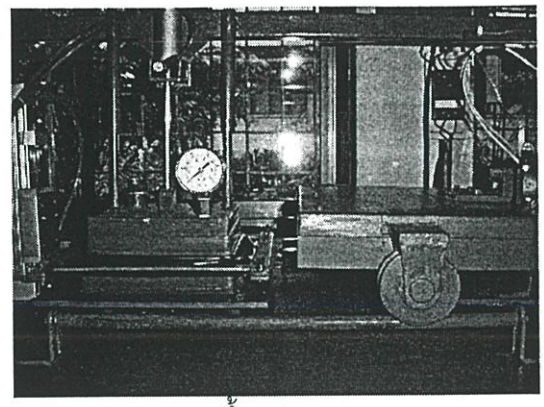
ส่วนประกอบของระบบใช้ตัวช่วยกดมีข้อแตกต่างจากระบบสุญญากาศโดยตรงคือ ส่วนของตัวช่วยกดที่ติดตั้งเหนือโต๊ะวางแม่พิมพ์ ซึ่งทำหน้าที่ยืดแผ่นพลาสติก เพื่อให้เนื้อพลาสติกลงสู่ก้นถ้วยมากยิ่งขึ้น แม่พิมพ์ในระบบนี้เป็นแม่พิมพ์ตัวเมีย 2 โพรงแบบมีขนาดเท่ากับระบบสุญญากาศโดยตรง

ขั้นตอนการทำงานของระบบใช้ตัวช่วยกด มีลักษณะคล้ายกับระบบสุญญากาศโดยตรง เมื่อติดตั้งแม่พิมพ์บนโต๊ะวางแม่พิมพ์แล้ว (แสดงดังรูปที่ 4.2 ก) ให้ความร้อนจนกระทั่งแผ่นพลาสติกเกิดการห้อยตัว จากนั้นสร้างสภาวะสุญญากาศให้ได้ค่าความดันที่เหมาะสม จึงเลื่อนโต๊ะวางแม่พิมพ์ขึ้นพร้อม ๆ กับเลื่อนตัวช่วยกดลงและเปิดวาล์วระบบสุญญากาศเพื่อขึ้นรูป (แสดงดังรูปที่ 4.2 ข) เมื่อชิ้นงานคงรูป เลื่อนตัวช่วยกดขึ้นและเลื่อนโต๊ะวางแม่พิมพ์ลง ปลดชิ้นงาน (แสดงดังรูปที่ 4.2 ค และ ง)

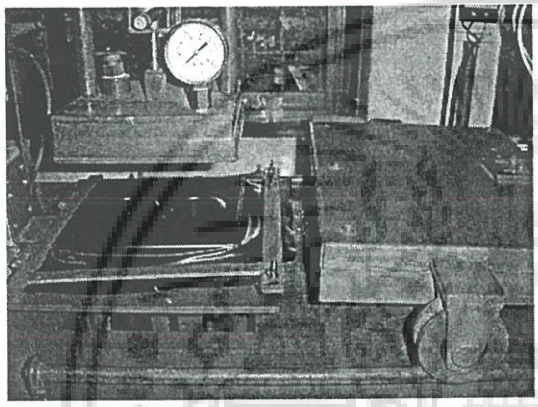
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



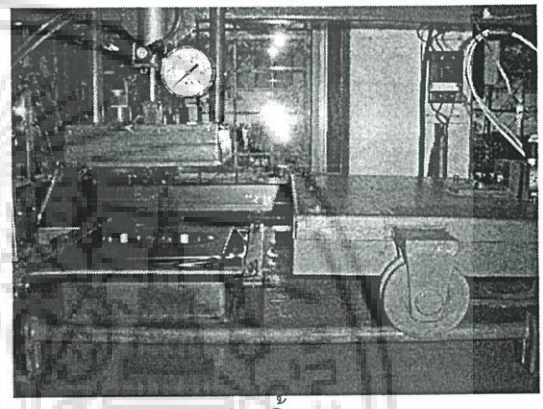
(ก) ติดตั้งแม่พิมพ์



(ข) ขึ้นรูป



(ค) หล่อเย็น



(ง) ปลดชิ้นงาน

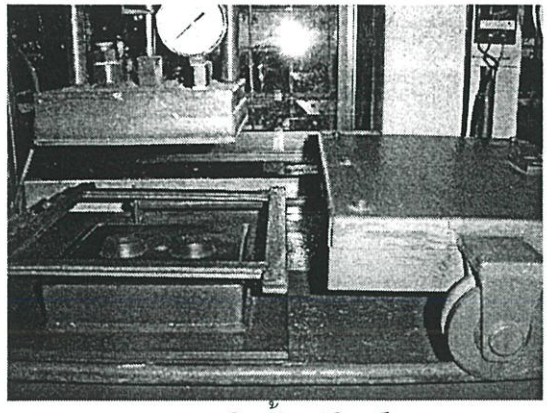
รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการทำงานของระบบตัวช่วยกด

4.1.3 ระบบใช้แม่พิมพ์ช่วยดัน (Drape forming)

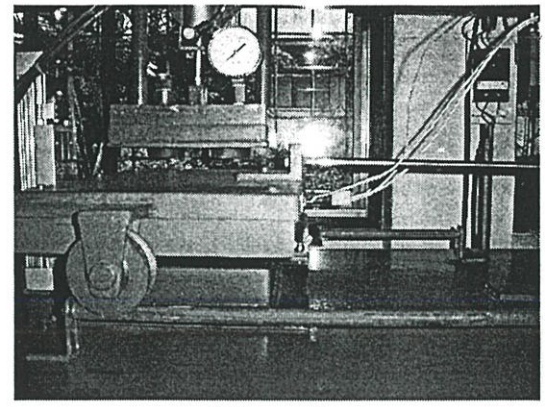
การขึ้นรูปร้อนด้วยระบบใช้แม่พิมพ์ช่วยดันนี้ใช้แม่พิมพ์ซึ่งมีลักษณะแตกต่างจากสองระบบที่ผ่านมา โดยแม่พิมพ์มีลักษณะเป็นถ้วยคว่ำมีความสูงจากระดับขอบบนของโต๊ะวางแม่พิมพ์หรือแม่พิมพ์ตัวผู้ ส่วนประกอบที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งในระบบนี้คือกระบอกลมชนิดสไลด์ที่ประกอบเข้ากับส่วนจับยึดแม่พิมพ์ ทำหน้าที่เลื่อนแผ่นพลาสติกขึ้นลงในแนวดิ่ง

เมื่อติดตั้งแม่พิมพ์บนโต๊ะวางแม่พิมพ์แล้ว (แสดงดังรูปที่ 4.3 ก) ให้ความร้อน และสร้างระบบสุญญากาศเช่นเดียวกับ 2 ระบบข้างต้น (แสดงดังรูปที่ 4.3 ข) จากนั้นเลื่อนกระบอกลมแบบสไลด์ที่ต่อกับส่วนจับยึดแม่พิมพ์ลงและเปิดวาล์วระบบสุญญากาศ (แสดงดังรูปที่ 4.3 ค) เมื่อชิ้นงานคงรูป เลื่อนส่วนจับยึดแม่พิมพ์ขึ้น แล้วปลดชิ้นงานออก (แสดงดังรูปที่ 4.3 ง)

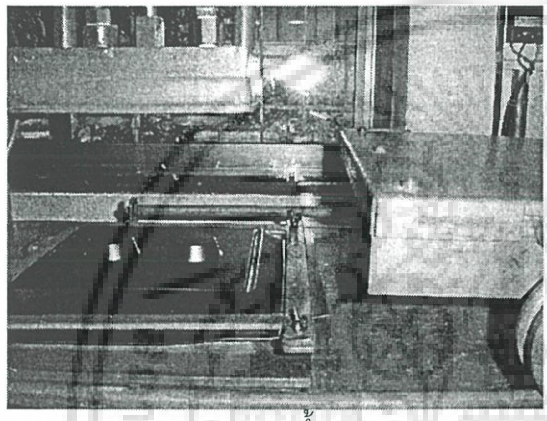
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



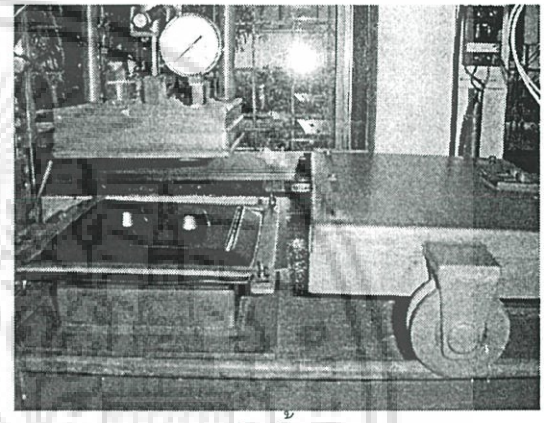
(ก) ติดตั้งแม่พิมพ์



(ข) ให้ความร้อน



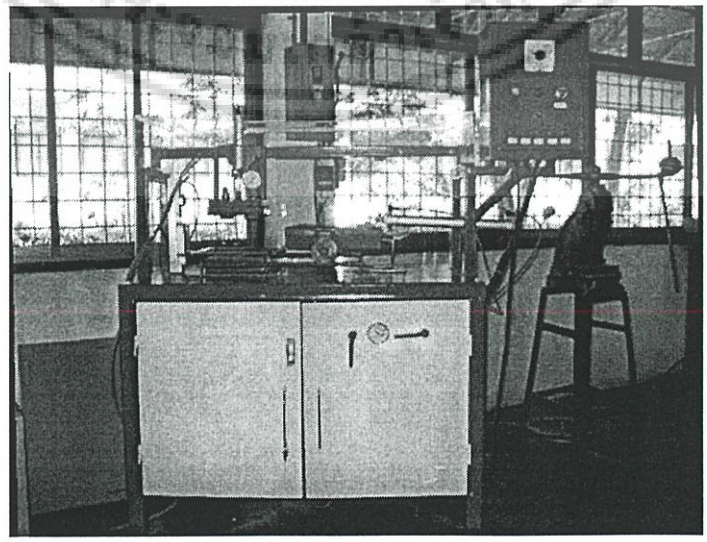
(ค) ขึ้นรูป



(ง) ปลดชิ้นงาน

รูปที่ 4.3 ขั้นตอนการทำงานของระบบใช้แม่พิมพ์ช่วยดัน

ลักษณะภายนอกของเครื่องขึ้นรูปร้อนแบบหลายระบบที่ได้รับการออกแบบและจัดสร้างขึ้นมีลักษณะดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 เครื่องขึ้นรูปร้อนที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือ

ในกระบวนการขึ้นรูปร้อน ไม่ว่าจะเป็นเทคนิคแบบใดก็ตาม ตัวแปรที่ต้องให้ความสำคัญคือความร้อนที่แผ่นพลาสติกได้รับ ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับประสิทธิภาพของส่วนให้ความร้อน

4.2.1 การทดสอบประสิทธิภาพของส่วนให้ความร้อน

ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของส่วนให้ความร้อนมีดังนี้

1. ความเที่ยงตรงของอุณหภูมิ จากผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 4.1 พบว่าอุณหภูมิที่วัดได้จริงจากส่วนให้ความร้อนมีค่าร้อยละความแตกต่างจากอุณหภูมิที่ตั้งไว้ 1.75-4.36% ซึ่งค่าความผิดพลาดนี้จะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น สามารถอธิบายได้ว่าเมื่ออุณหภูมิของระบบให้ความร้อนสูงขึ้น สมบัติความเป็นฉนวนของวัตถุมีค่าลดลง ในทางกลับกันมีค่าการนำความร้อนเพิ่มขึ้น ทำให้ส่งผ่านความร้อนได้ดีขึ้น

2. ความสม่ำเสมอของอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของส่วนให้ความร้อน จากผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของส่วนให้ความร้อนนั้นมีความไม่สม่ำเสมออย่างมาก โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 11.96 สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากแหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้เป็นแท่งให้ความร้อนแบบดัดงอให้ได้รูป เป็นผลให้การกระจายความร้อนไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งตำแหน่งที่มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ตั้งไว้มากที่สุดคือ ตำแหน่งที่ 5 เนื่องจากตำแหน่งนี้อยู่บริเวณกึ่งกลางของส่วนให้ความร้อน จึงมีการสูญเสียความร้อนเนื่องจากสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าตำแหน่งอื่น

ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิเฉลี่ยของส่วนให้ความร้อนที่วัดได้เทียบกับอุณหภูมิที่ตั้งไว้

อุณหภูมิที่ตั้งไว้ (องศาเซลเซียส)	110	120	130	140	150	160
อุณหภูมิเฉลี่ยที่วัดได้ (องศาเซลเซียส)	105.2	115.7	128.4	138.4	148.3	157.2
ความผิดพลาด (%)	4.36	3.58	1.23	1.14	1.13	1.75

ตารางที่ 4.2 ความสม่ำเสมอของอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของส่วนให้ความร้อนที่ตั้งอุณหภูมิไว้ 130 องศาเซลเซียส

ตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)	98.7	114.2	101.9	92.1	121.4	93.0	83.4	97.1	90.5	11.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดสอบการขึ้นรูปชิ้นงาน

4.3.1 ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการกระจายความหนาของผลิตภัณฑ์

จากผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.3 พบว่าเทคนิคการขึ้นรูปร้อนแบบสุญญากาศโดยตรง แบบใช้ตัวช่วยกด และใช้แม่พิมพ์ช่วยดัน เมื่ออุณหภูมิมีค่าเพิ่มสูงขึ้น การกระจายตัวของความหนาชิ้นงานสม่ำเสมอมากขึ้นด้วย ดังจะสังเกตได้จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ลดลง ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่าเทคนิคสุญญากาศโดยตรงและใช้ตัวช่วยกด ใช้แม่พิมพ์ตัวเมียในการผลิต เมื่อแผ่นพลาสติกมีอุณหภูมิต่ำ บริเวณที่สัมผัสแม่พิมพ์ก่อนจะเกิดการถ่ายเทความร้อนให้แก่แม่พิมพ์และเย็นตัวลง ซึ่งส่งผลให้เนื้อพลาสติกสะสมทางขอบถ้วยด้านบนเป็นจำนวนมากกว่าที่จะยืดลงมาด้านก้นถ้วย ชิ้นงานจึงมีลักษณะบางลงและในตำแหน่งที่ 19 พบว่ามีความหนามากกว่าตำแหน่งที่ 13 ถึง 18 ทั้งนี้เนื่องจากตำแหน่งที่ 19 คือบริเวณกึ่งกลางก้นถ้วย ซึ่งเป็นบริเวณที่แผ่นพลาสติกสัมผัสกับแม่พิมพ์ก่อน แต่เมื่ออุณหภูมิสูงเหนืออุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วมากขึ้น แม้ว่าแผ่นพลาสติกจะสัมผัสกับขอบถ้วยด้านบนและเกิดการถ่ายเทความร้อนก็ตาม แต่ก็ยังมีความร้อนสะสมเพียงพอที่ทำให้เนื้อพลาสติกทางด้านบนยืดตัวลงมาที่ก้นถ้วยได้ ในทำนองเดียวกันเทคนิคใช้แม่พิมพ์ช่วยดันซึ่งใช้แม่พิมพ์ตัวผู้ในการผลิต ส่งผลให้แผ่นพลาสติกสัมผัสด้านก้นถ้วยก่อน ความหนาที่ก้นถ้วยจึงมีค่ามากกว่าขอบถ้วยด้านบน แต่จากผลการทดลองดังกล่าวมีค่าของความหนาเฉลี่ยในแต่ละระดับชั้นของชิ้นงานและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่แตกต่างกันอย่างเด่นชัด ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการผลิตด้วยเทคนิคสุญญากาศโดยตรง เทคนิคใช้ตัวช่วยกด และเทคนิคใช้แม่พิมพ์ช่วยดันคือ 110 องศาเซลเซียส ทั้งนี้หากดูจากอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว(ภาคผนวก จ) พบว่าอุณหภูมิที่เลือกนี้มีค่ามากกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว จึงแน่ใจได้ว่าแผ่นพอลิสไตรีนอยู่ในสถานะคล้ายยาง การเลือกผลิตที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยลดต้นทุนในการผลิตและเป็นการประหยัดเวลาด้วย

ตารางที่ 4.3 ความหนาเฉลี่ย(มิลลิเมตร) ณ ตำแหน่งต่าง ๆ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงานเนื่องจากผลของอุณหภูมิ

	สุญญากาศโดยตรง			ใช้ตัวช่วยกด			ใช้แม่พิมพ์ช่วยดัน		
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	110	130	150	110	130	150	110	130	150
ตำแหน่ง 1-6	0.401	0.398	0.377	0.450	0.452	0.426	0.400	0.396	0.392
ตำแหน่ง 7-12	0.276	0.309	0.274	0.302	0.298	0.305	0.439	0.426	0.413
ตำแหน่ง 13-18	0.130	0.139	0.127	0.146	0.149	0.150	0.488	0.481	0.470
ตำแหน่ง 19	0.197	0.202	0.198	0.198	0.216	0.221	0.487	0.492	0.473

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เพิ่มอุปกรณ์ทางไฟฟ้าเพื่อควบคุมการทำงานในแต่ละระบบให้มีความง่ายมากขึ้น
8. พัฒนาระบบตรวจวัดและควบคุมอุณหภูมิให้มีความเที่ยงตรงมากยิ่งขึ้น
9. พัฒนาระบบตรวจวัดความดันลมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น
10. ออกแบบและพัฒนาให้เครื่องสามารถทำงานได้เป็นระบบอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[21] Griskey, R.G. **Polymer Process Engineering**. New York : Chapman & Hall. 1987.

[22] Allard, R. "Thermoformability of Thermoplastic Sheets." **SPE ANTEC Tech**. 1985(1) : 1324-1327.

[23] Hughes, P. "Design for Thermoforming." **SPE ANTEC Tech**. 1985(1) : 1334-1336.

[24] Tayloy, C.A. and Kazmer, D.O. "Experimental and Numerical Investigations of the Vacuum- Forming Process." **Polymer Engineering and Science**. 1992(32) : 1163-1173.

[25] Ryan, M.E. "Experimental Study on the Dynamics of Thermoforming of Polystyrene." **Polymer Engineering and Science**. 1994(34) : 102-107.

[26] Stephenson, M.J. and Ryan, M.E. "Experimental Study of the Thermoforming of a Blend of Styrene-Butadiene Copolymer With Polystyrene." **Polymer Engineering and Science**. 1997(37) : 450-458.

[27] Aroujalian, A. and Ngadi, M.O. "Wall Thickness Distribution in Plug-Assist Vacuum Formed Strawberry Containers." **Polymer Engineering and Science**. 1997(37) : 178-182

[28] Milwaukee CO.Ltd. 2001. **Product**. [Online]. Available : http://www.milwaukee-cylinder.com/seriesmn/seriesmn.asp.

[29] Parker Co.Ltd. 2001. **Pneumatic Cylinder**. [Online]. Available : http://www.parker.com/ead/cm1.asp.

[30] Danfoss Co.Ltd. 2002. **Solenoid valve**. [Online]. Available : http://www.danfoss.com/productportal/solenoid valves/solenoid valves.htm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก-1 ต้นทุนในการสร้างเครื่องขึ้นรูปร้อนแบบหลายระบบ

รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	จำนวนเงิน
1. แม่พิมพ์เรซิน	3	ชิ้น	600	1,800
2. กระบอกลมสไลด์	1	กระบอก	1,400	1,400
3. กระบอกลมระยะชัก 400 มิลลิเมตร	1	กระบอก	700	700
4. กระบอกลมระยะชัก 200 มิลลิเมตร	2	กระบอก	800	800
5. มาตรวัดความดันสุญญากาศ	1	อัน	300	300
6. วาล์วมือหมุน	1	ตัว	70	70
7. วาล์วปรับความดัน	8	ตัว	70	560
8. โซลีนอยด์วาล์ว (24 V DC.)	4	ตัว	250	1,000
9. ฉนวนใยหิน	1	แผ่น	400	400
10. ล้อเลื่อนส่วนให้ความร้อน	2	ล้อ	150	300
11. แท่งให้ความร้อน 1000 วัตต์	2	เส้น	800	1,600
12. สายวัดอุณหภูมิ	1	เส้น	400	400
13. ล้อเลื่อนตัวเครื่อง	4	ล้อ	250	1,000
14. สายลม	10	เมตร	15	150
15. ข้อต่อลม	16	ตัว	40	640
16. ถังแก๊สขนาด 15 ลิตร	1	ใบ	100	100
17. ถังแก๊สขนาด 35 ลิตร	2	ใบ	200	400
18. ท่อดูดสุญญากาศ	3	เมตร	150	450
19. ปั๊มสุญญากาศขนาด 50 ลิตรต่อนาที	1	ตัว	2,600	2,600
20. ฉนวนไฟฟ้าแบบเซรามิก	1	ตัว	50	50
21. อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ	1	ตัว	1,500	1,500
22. อุปกรณ์ทางไฟฟ้าอื่น ๆ	1	ชุด	3,500	3,500
23. ตู้เหล็กรวมอุปกรณ์	1	ใบ	400	400
24. รางเลื่อน	1	ชุด	200	200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	จำนวนเงิน
25. โต๊ะวางแม่พิมพ์	1	ชิ้น	500	500
26. ส่วนยึดจับแม่พิมพ์	1	ชิ้น	100	100
27. ชุดตัวช่วยกด	1	ชุด	1,000	1,000
28. โครงเหล็ก	1	ชิ้น	4,000	3,500
29. เบ็ดเตล็ด				1,500
รวม				26,920

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การคำนวณขนาดของกระบอกลม

ส่วนเคลื่อนที่สำหรับเครื่องขึ้นรูปร้อนที่สร้างขึ้นนี้ สามารถเคลื่อนที่โดยใช้ระบบลมเป็นแรงขับเคลื่อน โดยที่แรงดันลมจะเปลี่ยนเป็นแรงเชิงกลโดยใช้กระบอกลม ซึ่งสามารถคำนวณหาขนาดของกระบอกลมได้จากสมการ ข-1 และ ข-2 และค่าที่ได้แสดงดังตารางที่ ข-1 โดยกำหนดค่าความดันใช้งาน 6 บาร์

ในขณะที่ลูกสูบวิ่งออก

$$F_1 = 10(A \times P) - F_R \qquad (ข\text{-}1)$$

ในขณะที่ลูกสูบวิ่งเข้า

$$F_2 = 10(A' \times P) - F_R \qquad (ข\text{-}2)$$

เมื่อ F คือ แรงที่ได้จากกระบอกลม (นิวตัน)

F_R คือ แรงเสียดทาน (นิวตัน)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ (ตารางเซนติเมตร)

A' คือ พื้นที่วงแหวนของลูกสูบ (ตารางเซนติเมตร)

P คือ ความดันใช้งาน (บาร์)

ค่าความต้านทานจากความเสียดทานจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความดันที่ใช้งาน ความเร็วของลูกสูบ คุณภาพของการหล่อลื่น คุณภาพของผิวภายในกระบอกสูบ

ตารางที่ ข-1 แรงที่ได้จากกระบอกลมที่เลือกใช้ในเครื่องขึ้นรูปร้อนที่สร้างขึ้น

ตัวแปร	ตำแหน่งต่าง ๆ ของกระบอกลม			
	ส่วนให้ความร้อน	โต๊ะวางแม่พิมพ์	ชุดตัวช่วยกด	ส่วนยึดจับแผ่นพลาสติก
พื้นที่หน้าตัดลูกสูบ (cm^2)	8.04	8.04	7.07	7.07
พื้นที่วงแหวน (cm^2)	6.9	6.9	5.9	5.9
แรงดันสุทธิ (N)	434	434	382	382
แรงดึงสุทธิ (N)	373	373	319	319
ภาระงาน (N)	120	50	40	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การคำนวณพลังงานความร้อนที่ต้องการ

การสร้างความร้อนสำหรับกระบวนการขึ้นรูปร้อน ใช้แหล่งกำเนิดพลังงานความร้อนเป็นแท่งความร้อน ซึ่งจะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานความร้อน ซึ่งพลังงานความร้อนที่ทำให้ส่วนให้ความร้อนมีอุณหภูมิที่ต้องการสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ ค-1

$$\text{กำลังไฟฟ้าที่ต้องการ (kW)} = \frac{\text{น้ำหนักวัตถุ (lb) x ความจุความร้อนจำเพาะ X (อุณหภูมิที่ต้องการ – อุณหภูมิเริ่มต้น)(°F)}}{3412 \times \text{เวลาในการให้ความร้อน (hour)}} \qquad \text{(ค-1)}$$

จากการคำนวณโดยกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ต้องการเท่ากับ 110 130 และ 150 องศาเซลเซียส และกำหนดให้ประสิทธิภาพของเครื่องทำความร้อนเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ จะได้พลังงานความร้อนที่ต้องการดังแสดงในตารางที่ ค-1

ตารางที่ ค-1 พลังงานความร้อนที่ต้องการเพื่อทำให้วัสดุมีอุณหภูมิตามที่กำหนด

วัสดุ	น้ำหนัก (lb)	พลังงานความร้อนที่ต้องการ (วัตต์)		
		110 °C	130 °C	150 °C
แผ่นพลาสติก	0.02	0.02	0.026	0.032
ฉนวนใยหิน	1.76	181	226.3	271.6
แผ่นเหล็ก	6.6	393.4	491.8	590.2
กล่องส่วนให้ความร้อน	2.2	131.2	164	196.7
รวม		705.6	882.2	1058

แต่ส่วนให้ความร้อนที่สร้างขึ้นใช้แท่งความร้อนขนาด 2000 วัตต์ เมื่อให้ความร้อนเต็มที่สามารถลดเวลาในการให้ความร้อนลง ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ ค-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{เวลาที่ใช้ (นาที)} = \frac{60 \times \text{พลังงานที่ต้องใช้ (วัตต์)}}{\text{ขนาดของขดลวดความร้อน (วัตต์)}} \qquad \text{(ค-2)}$$

ตารางที่ ค-2 เวลาที่ใช้ในการทำความร้อนเตาอบให้มีอุณหภูมิตามที่กำหนด

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	110	130	150
พลังงานความร้อนที่ต้องการ (วัตต์)	705.6	882.2	1058
เวลาที่ได้จากการคำนวณ (นาที)	21.2	26.4	31.7
เวลาที่ได้จากการทดลอง (นาที)	24.4	29	35.3
ประสิทธิภาพ (เปอร์เซนต์)	86.8	91	89.8

เมื่อเปรียบเทียบเวลาที่ได้จากการคำนวณและผลที่ได้จากการทดลองพบว่า ส่วนให้ความร้อนที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพประมาณ 89 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเนื่องมาจากในการปฏิบัติงานจริงต้องมีอิทธิพลจากสภาวะแวดล้อมอื่น เช่น การสูญเสียความร้อนจากลม สภาพความเป็นฉนวนที่ดีของอากาศ อุณหภูมิ ประสิทธิภาพของส่วนควบคุมอุณหภูมิ เป็นต้น

$$\text{กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)} = \text{กำลังไฟฟ้า (วัตต์)} / \text{แรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลต์)} \qquad \text{(ค-3)}$$

ผู้วิจัยเลือกแท่งให้ความร้อนขนาด 2000 วัตต์และใช้กับแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าที่คำนวณด้วยสมการ ค-3 เท่ากับ 9 แอมแปร์ ดังนั้นการเลือกใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้กับส่วนให้ความร้อนควรมีความสามารถในการทนกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดประมาณ 10 แอมแปร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

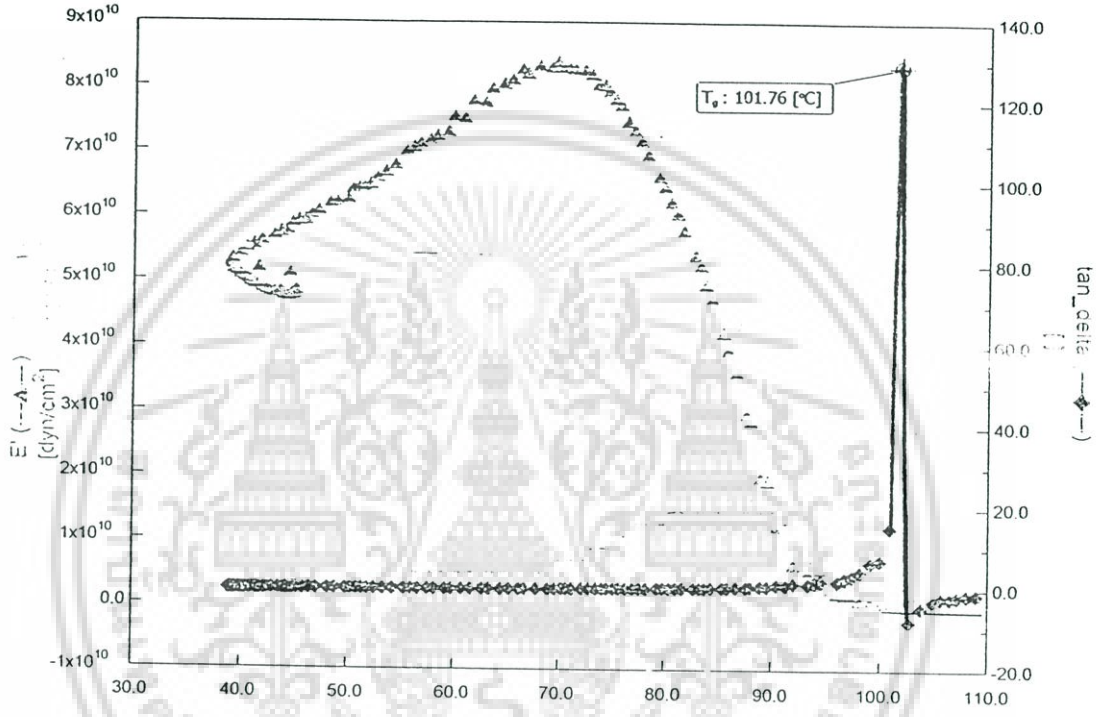
ตาราง ง-1 ข้อมูลทางเทคนิค

ขนาดเครื่องขึ้นรูปร้อน	700 x 1100 x 1400 มิลลิเมตร
กำลังมอเตอร์	1 / 4 แรงม้า
กำลังส่วนให้ความร้อน	2 กิโลวัตต์
อุณหภูมิสูงสุดที่สามารถผลิตได้	400 องศาเซลเซียส
ความลึกของชิ้นงานสูงสุดที่สามารถผลิตได้	50 มิลลิเมตร
ขนาดแผ่นพลาสติก	330 x 350 มิลลิเมตร
ความหนาแผ่นพลาสติก	0.03 – 1 มิลลิเมตร
พื้นที่ขึ้นรูป	200 x 200 มิลลิเมตร
ชนิดของแผ่นพลาสติก	พอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกสูง (HIPS)
กำลังการผลิต	
- เทคนิคสุญญากาศโดยตรง	20 - 40 รอบต่อชั่วโมง
- เทคนิคใช้ตัวช่วยกด	18 - 32 รอบต่อชั่วโมง
- เทคนิคใช้แม่พิมพ์ช่วยดัน	25 - 45 รอบต่อชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ผลการวิเคราะห์หาอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ทางความร้อนเชิงกลพลวัต (Dynamic Mechanical Thermal Analysis , DMTA)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายธีรศักดิ์ พลอยเจริญ

เกิดเมื่อ วันที่ 28 พฤศจิกายน 2521

สถานที่เกิด จังหวัดกรุงเทพ

การศึกษา - ระดับปริญญาตรี (วท.บ. เคมีอุตสาหกรรม) จากภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2539-2542

- ระดับปริญญาโท (วท.ม. เทคโนโลยีพอลิเมอร์) คณะบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2543-2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้