สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาเครื่องขึ้นรูปร้อนฟิล์มหรือแผ่นพลาสติกด้วยสุญญากาศโดยใช้แท่งกดช่วย

The Development of Plug-assisted Vacuum Thermoforming

นายวิภู ศรีสืบสาย

นายอุดม จันทร์จรัสสุข

RCH
TP
1150
J6611

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 114485
วัน,เดือน,ปี 20 ส.ค. 2554

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2553

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

b.12290981

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การพัฒนาเครื่องขึ้นรูปร้อนฟิล์มหรือแผ่นพลาสติกด้วยสุญญากาศโดยใช้แท่งกดช่วย
(ภาษาอังกฤษ) The Development of Plug-assisted Vacuum Thermoforming
ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก งบประมาณรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.
ประจำปี 2553 จำนวนเงิน 59,000 บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม พ.ศ. 2552 ถึง กันยายน พ.ศ. 2553
หน่วยงานและผู้ดำเนินการวิจัยพร้อมหน่วยงานที่สังกัดและหมายเลขโทรศัพท์
นายวิภู ศรีสืบสาย สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 ถนนฉลองกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กทม. 10520

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้นี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาและออกแบบเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยสุญญากาศแบบมีแท่งกดช่วย โดยมีอุปกรณ์หลักประกอบด้วยโครงสร้างตัวให้ความร้อน ระบบควบคุม ระบบสุญญากาศและแม่พิมพ์ ชุดให้ความร้อนจะเคลื่อนที่และให้ความร้อนด้วยแท่งอินฟาเรดแก่แผ่นพลาสติกจนถึงอุณหภูมิการขึ้นรูป แม่พิมพ์จากเรซินมีลักษณะเป็นแก้ว แม่พิมพ์ตัวเมียมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางปากถ้วย 7 เซนติเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางก้นถ้วย 5 เซนติเมตร ความลึก 7 เซนติเมตร แม่พิมพ์ตัวผู้มีขนาดเท่ากันแต่ความสูง 5 เซนติเมตร การทำงานทั้งหมดควบคุมด้วยระบบพีแอลซี จากการทดลองโดยขึ้นรูปแผ่นพลาสติกชนิดพอลีสไตลีน ชนิดทนต่อแรงกระแทกสูง พบว่าอุณหภูมิและความดันสุญญากาศมีผลต่อความหนาของผนังแก้ว ถ้าความดันสุญญากาศเพิ่มขึ้นความหนาของผนังแก้วจะบางลง และบางที่สุดที่ก้นแก้ว ในขณะที่ถ้าเพิ่มอุณหภูมิการขึ้นรูปจะทำให้ความหนาของก้นแก้วเพิ่มขึ้น

ABSTRACT

The objectives of this research were to study and design the plug-assist vacuum thermoforming machine. The major parts of this machine consist of heater, control system, vacuum set and mold. The infrared heater moved and generated heat to plastic sheet until it reached forming temperature. The mold was made from resin and its shape liked water glass. The female mold or die was 7 cm. high. The top and bottom diameter of punch and die were 7 cm. and 5 cm. respectively. The male mold was 5 cm. high. The working process was controlled by PLC. The experiments were performed to study the effect of processing temperature and vacuum pressure by forming the high impact polystyrene. The results showed that when vacuum pressure was increased, the wall thickness decreased from the top to bottom of a sample. The wall thickness of the bottom was thickest. However, when the processing temperature was increased, the thickness of the bottom increased.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยการพัฒนาเครื่องขึ้นรูปร้อนฟิล์มหรือแผ่นพลาสติกด้วยสุญญากาศโดยใช้แท่งกดช่วยสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอบพระคุณบุคคลทุกคนที่มีส่วนเกี่ยวข้องส่งผลให้โครงการนี้เสร็จสมบูรณ์โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ดร. อุดม จันทร์จรัสสุข ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาในเรื่องการควบคุมระบบนิวเมติกส์ และนักศึกษา ขจรเกียรติ ดอกพุทธา สุทธิศักดิ์ เชื่อดี และ ภูริภัทร์ แสงแก่นเพ็ชร์ ที่ได้ช่วยงานในด้านการประกอบและทดสอบ

วิภู ศรีสืบสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ..... ก

กิตติกรรมประกาศ ..... ข

สารบัญ ..... ค

สารบัญตาราง ..... จ

สารบัญรูป ..... ฉ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 1

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย 1

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 นิยาม 3

2.2 หลักการทำงานของเครื่องปั้มขึ้นรูปความร้อน 3

2.3 แม่พิมพ์ 7

2.3.1 แม่พิมพ์ตัวเมีย 7

2.3.2 แม่พิมพ์ตัวผู้ 8

2.3.3 วัสดุทำแม่พิมพ์ 8

2.4 ส่วนให้ความร้อน 8

2.4.1 การแผ่รังสีความร้อน 8

2.4.2 แท่งอินฟราเรด 8

2.5 ระบบนิวเมติกส์ 9

2.5.1 ข้อดีและข้อเสียของระบบนิวเมติกส์ 9

2.5.2 ถังเก็บลม 10

2.5.3 กระบอกสูบ 11

2.6 โซลีนอยด์วาล์ว 12

2.6.1 ชนิดของโซลีนอยวาล์ว 13

2.6.2 โซลีนอยด์คอยล์ 13

2.6.3 การติดตั้งโซลีนอยด์วาล์ว 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.7 อุปกรณ์ทางไฟฟ้า 14
2.7.1 เครื่องควบคุมเชิงตรรกะ 14
2.7.2 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ 15
2.8 เทอร์โมดัพเปิล 16
2.8.1 ชนิดของเทอร์โมดัพเปิล 16
2.9 วัสดุที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูป 20
2.9.1 ความต้องการความร้อน 21

3 การออกแบบและวิธีการดำเนินงาน
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง 22
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 23
3.2.1 อุปกรณ์ทางกล 23
3.2.2 อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงาน 23
3.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปและทดสอบชิ้นงาน 23
3.2.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของชุดทำความร้อน 24
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน 24
3.3.1 การออกแบบเครื่องขึ้นรูปร้อนด้วยสุญญากาศแบบใช้แท่งกดช่วย 25
3.3.2 ชุดควบคุมการทำงาน 30
3.3.3 การคำนวณเพื่อเลือกอุปกรณ์ที่เหมาะสม 32
3.3.4 การประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ เข้ากับโครงเหล็ก 36
3.3.5 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือ 37
3.3.6 การขึ้นรูปชิ้นงาน 37

4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง
4.1 เครื่องมือที่สร้างขึ้น 39
4.2 การทดสอบการขึ้นรูปชิ้นงาน 40

5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ
5.1 สรุปผลการทดลอง 44
5.2 ข้อเสนอแนะ 44

บรรณานุกรม 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ชนิดของเทอร์โมคัพเปิลแบบมาตรฐาน..... 17
ตารางที่ 2.2 ชนิดของเทอร์โมคัพเปิลกับเงื่อนไขบรรยากาศที่เหมาะสม..... 17
ตารางที่ 2.3 ข้อดีและข้อเสียของเทอร์โมคัพเปิลแต่ละชนิด..... 18
ตารางที่ 4.1 ความหนาเฉลี่ย($x10^{-2}$ มิลลิเมตร) ณ ตำแหน่งต่างๆ ที่ความดันสุญญากาศ 200 มิลลิเมตรปรอท..... 42
ตารางที่ 4.2 ความหนาเฉลี่ย($x10^{-2}$ มิลลิเมตร) ณ ตำแหน่งต่างๆ ที่ความดันสุญญากาศ 300 มิลลิเมตรปรอท..... 42
ตารางที่ 4.3 ความหนาเฉลี่ย($x10^{-2}$ มิลลิเมตร) ณ ตำแหน่งต่างๆ ที่ความดันสุญญากาศ 400 มิลลิเมตรปรอท..... 42

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

2.1 เทคนิคการขึ้นรูปความร้อนโดยใช้หัวอัดก่อนใช้แรงดันสุญญากาศ..... 4
2.2 การยืดตัวของแผ่นพลาสติกในขณะถูกดึงด้วยแรงดันสุญญากาศ..... 4
2.3 วิเคราะห์กระบวนการขึ้นรูปร้อน..... 5
2.4 ถังเก็บลมแบบตั้งและแบบนอน..... 10
2.16 กระบอกสูบชนิดสองทิศทางก้านสูบเดียว..... 12
2.17 โซลีนอยด์วาล์ว (Solenoid valve)..... 13
2.18 ลำดับการทำงานของระบบนิวเมติกส์ ที่ควบคุมด้วย PLC..... 14
3.1 แผ่นพลาสติกพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกสูง..... 22
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน..... 24
3.3 แม่พิมพ์..... 25
3.4 โต๊ะวางแม่พิมพ์..... 26
3.5 ตัวช่วยกด..... 26
3.6 ส่วนจับยึดแผ่นพลาสติก..... 27
3.7 กระบอกลม..... 27
3.8 โครงหลึก..... 28
3.9 ส่วนให้ความร้อน..... 28
3.10 รางเลื่อน..... 29
3.11 ปั๊มสุญญากาศ..... 29
3.12 ปั๊มลม..... 30
3.13 ลำดับการทำงานของเครื่อง..... 30
3.14 Ladder Diagram..... 31
3.15 แรงที่กระทำกับโครงสร้าง..... 35
4.1 แสดงขั้นตอนการทำงานของเครื่อง..... 40
4.2 ลักษณะของเครื่อง..... 40
4.3 ตำแหน่งต่าง ๆ ในการทดสอบการกระจายตัวของความหนา..... 41
4.4 ตัวอย่างชิ้นงานที่ขึ้นรูปได้..... 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ในอดีต และ ปัจจุบัน พลาสติกเป็นวัตถุดิบที่ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายหลายในทุกภาคส่วน ทั้งในภาคอุตสาหกรรมและภาคครัวเรือน และมีแนวโน้มที่จะถูกนำมาใช้เพิ่มมากขึ้นในอนาคต เนื่องจากพลาสติกเป็นวัตถุดิบที่สามารถนำมาแปรรูปได้ง่าย และยังมีคุณสมบัติที่เหนียวทนทานต่อการแตกหัก เหมาะแก่การนำมาใช้แทนวัตถุดิบบางประเภท มีต้นทุนการผลิตต่ำ รวมทั้งพลาสติกบางชนิดสามารถที่จะรีไซเคิล เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ก่อนที่เราจะสามารถนำพลาสติกไปใช้ประโยชน์ ได้นั้น จำเป็นที่จะต้องผ่านกระบวนการแปรรูปพลาสติกก่อน (เพื่อให้พลาสติกมีรูปร่างและคุณลักษณะที่ต้องการตามแต่ประโยชน์ใช้สอย) ทางกลุ่มจึงได้เล็งเห็นความสำคัญของกระบวนการแปรรูปพลาสติก เนื่องจากเป็นการเพิ่มมูลค่าให้พลาสติกรวมทั้งทางภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการยังไม่มีอุปกรณ์ที่จะให้นักศึกษาทำการเรียนรู้และศึกษาเกี่ยวกระบวนแปรรูปพลาสติก จึงได้ทำการศึกษากระบวนการขึ้นรูปพลาสติก โดยการให้ความร้อนแก่แผ่นพลาสติก ก่อนทำการขึ้นรูปด้วยการปั๊ม(Thermoforming) โดยทำการศึกษากระบวนการทำงานของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบร้อนด้วยสูญญากาศแบบมีแท่งกดช่วยในอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นเครื่องขึ้นรูปขนาดใหญ่ และมีราคาที่สูง จึงนำความรู้ที่ได้จากการศึกษา มาประยุกต์ทำการออกแบบ และสร้างเครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบร้อนด้วยสูญญากาศแบบมีแท่งกดช่วยที่มีขนาดเล็ก และมีต้นทุนที่ไม่สูงมาก สามารถที่จะเปลี่ยนชุด พันช์ และ ดายใหม่ได้ เพื่อรูปแบบที่หลากหลายและประโยชน์ใช้สอยที่มากขึ้น และเครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบร้อนด้วยสูญญากาศแบบมีแท่งกดช่วยที่สร้างขึ้นมาใหม่นี้ ยังสามารถที่จะนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ทางการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของพลาสติกและทฤษฎีทางกลที่ใช้ด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบร้อนด้วยสูญญากาศแบบมีแท่งช่วยกด

1.2.2 เพื่อทำการศึกษาหลักการทำงานและสภาวะการขึ้นรูปที่เหมาะสมของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบร้อนด้วยสูญญากาศแบบมีแท่งกดช่วย

1.2.3 เพื่อศึกษาคุณสมบัติพลาสติกและขั้นตอนในการแปรรูปพลาสติก

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 พัฒนาเครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบร้อนด้วยสูญญากาศแบบมีแท่งกดช่วยในการขึ้นรูป

1.3.2 เครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบร้อนด้วยสุญญากาศแบบมีแท่งกดช่วยในการขึ้นรูป ให้ความร้อนแก่แผ่นพลาสติกด้วยแผงอินฟาเรด ในอุณหภูมิ ก่อนถึงจุดหลอมเหลว ของพลาสติก และทำการปั๊มด้วยระบบลมโดยชุดพันช์ และดาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.3 แผ่นพลาสติกที่ใช้ในการปั๊มเป็นแผ่นพลาสติกรูปสี่เหลี่ยมขนาด 410 x 290 x 1 มม.ใช้ เฟรม เป็นตัวจับยึดก่อนทำการปั๊มขึ้นรูป

1.3.4 ผลิตภัณฑ์ที่ทำการปั๊มขึ้นรูปคือแก้วเครื่องดื่ม

1.3.5 ใช้ระบบนิวเมติกส์ในการช่วยควบคุมการเคลื่อนที่ ได้แก่ กระบอกที่ใช้เป็นตัวปั๊มขึ้นรูป กระบอกที่ใช้เป็นตัวเลื่อนตัวทำความร้อน และกระบอกที่ใช้ทำการเลื่อน เปิดและปิดเฟรม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เครื่องขึ้นรูปพลาสติกที่มีประสิทธิภาพและต้นทุนต่ำ

1.4.2 พัฒนาทักษะในการใช้งานเครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบร้อนด้วยสูญญากาศแบบมีแท่งกดช่วย

1.4.3 ใช้เป็นเครื่องต้นแบบด้านแนวความคิดที่จะนำไปสู่การพัฒนาทางด้านเทคนิคการขึ้นรูปพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีเกี่ยวข้อง

2.1 นิยาม

เทอร์โมฟอร์มมิง (Thermoforming) หรือกระบวนการขึ้นรูปความร้อน หมายถึง การขึ้นรูปพลาสติกในขณะที่พลาสติกอ่อนตัวเนื่องจากความร้อน โดยการทำให้พลาสติกยืดตัวออกภายใต้แรงดันลม (Pneumatic) แรงดันสุญญากาศ (Vacuum) หรือการดึงเชิงกล (Mechanical drawing) ทำให้ได้ชิ้นงานที่มีรปร่างตามแม่พิมพ์วัตถุดิบที่นิยมใช้คือ แผ่นพลาสติกและฟิล์มพลาสติก[1]

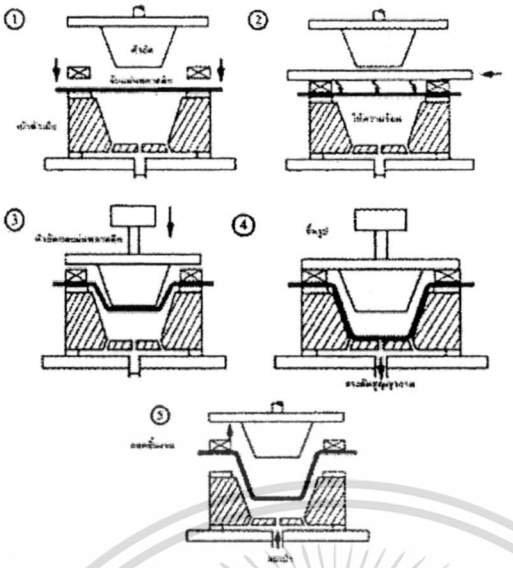
2.2 หลักการทำงานของเครื่องปั้มขึ้นรูปความร้อน

การแปรรูปพลาสติกโดยวิธีขึ้นรูปร้อน ด้วยเทคนิคต่างๆมีขั้นตอนดังนี้ คือเริ่มให้ความร้อนแก่แผ่นพลาสติกจนถึงอุณหภูมิที่ทำให้แผ่นพลาสติกเกิดการอ่อนตัว ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิที่พอลิเมอร์เปลี่ยนจากสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature, T_g) กับ อุณหภูมิที่พอลิเมอร์เริ่มไหล (Flow temperature, T_f) ซึ่งในช่วงอุณหภูมินี้ สามารถทำให้แผ่นพลาสติกเกิดการยืดตัวได้สูงสุดถึง 5 เท่า ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับการแปรรูปโดยใช้เทคนิคขึ้นรูปร้อนเมื่อแผ่นพลาสติกมีอุณหภูมิเหมาะสมแล้วทำการปั๊มขึ้นรูป โดยใช้แรงดันลม แรงดูดสุญญากาศ จากนั้นทำการหล่อเย็นแล้วปลดชิ้นงาน โดยพลาสติกนั้นต้องอยู่ในรูปแบบของแผ่นพลาสติกหรือฟิล์มเท่านั้น มีความหนาอยู่ในช่วง 0.3 – 1 มิลลิเมตร

เทคนิคการขึ้นรูปโดยใช้หัวอัดช่วยก่อนใช้แรงดันสุญญากาศ (Plug- Assist Vacuum Forming)

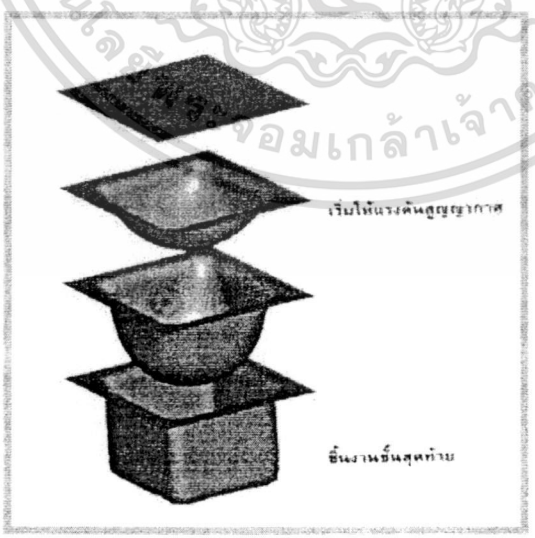
เทคนิคการทำเทอร์โมฟอร์มชนิดนี้ เป็นเทคนิคที่ผสมผสาน ข้อดีของเทคนิคการขึ้นรูปโดยใช้แรงดันสุญญากาศโดยตรง (straight vacuum forming) และเทคนิคการขึ้นรูปโดยใช้เบ้าดันแผ่นพลาสติกก่อนแล้วใช้แรงดันสุญญากาศ (vacuum drape forming) ทำให้สามารถผลิตชิ้นงานที่มีความลึก มีความหนาใกล้เคียงกันตลอดทั้งชิ้นงานและถอดชิ้นงานออกจากเบ้าได้ง่ายขึ้น รายละเอียดของการแปรรูปโดยการใช้หัวอัด (plug) ช่วยก่อนใช้แรงดันสุญญากาศ แสดงรายละเอียดดังรูป เทคนิคการแปรรูปชนิดนี้ เริ่มต้นจากการจับแผ่นพลาสติก แล้วให้ความร้อนเช่นเดียวกับเทคนิคอื่น ๆ หลังจากนั้นใช้หัวอัด เคลื่อนตัวลงมาเพื่ออัดแผ่นพลาสติกให้ยืดตัวลงในช่องว่างส่วนบนของเบ้า (pre- stretching) หัวอัดจะหยุดเคลื่อนเมื่อดันผ่านพลาสติกให้ยืดตัวออกจนเข้าใกล้เบ้าหลังจาก นั้น ใช้แรงดันสุญญากาศดูดให้แผ่นพลาสติกประกบเบ้า แล้วถอดตัวอย่างออกจากเบ้าโดยการใช้ลมเป่า เพื่อให้ชิ้นงานหลุดออกจากเบ้า ลำดับการทำงานแสดงดังรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 เทคนิคการขึ้นรูปความร้อนโดยใช้หัวอัดก่อนใช้แรงดันสุญญากาศ[2]

เทคนิคการใช้แรงดันสุญญากาศเพียงอย่างเดียว มีขั้นตอนน้อยที่สุด ใช้เวลาในการผลิตสั้น ควบคุมการผลิตได้ง่าย แต่มีข้อเสีย คือชิ้นงานที่ได้มีความหนาไม่สม่ำเสมอ กล่าวคือมีส่วนก้นที่บาง ลักษณะการยืดตัวของแผ่นพลาสติกขณะที่ถูกดึงด้วยแรงสุญญากาศดังแสดงในรูปที่ 2.2 ในกรณีที่ต้องการชิ้นงานที่มีความลึกสูง การใช้เทคนิคการขึ้นรูปร้อนโดยใช้หัวอัดช่วยจะเป็นวิธีที่เหมาะสมกว่า หัวอัดที่ใช้เทคนิคนี้ ทำจากโลหะหรือโฟมพลาสติก เพื่อให้การทำงานของหัวอัดมีประสิทธิภาพสูง ต้องมีการคุมอุณหภูมิ และความเร็วของหัวอัดให้เหมาะสม ถ้าหัวอัดมีอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้แผ่นพลาสติกขาดและเหนียวติดที่หัวอัด หรืออาจจะทำให้ส่วนก้น (bottom) ของภาชนะที่ทำการผลิตบางจนเกินไป



รูปที่ 2.2 การยืดตัวของแผ่นพลาสติกในขณะถูกดึงด้วยแรงดันสุญญากาศ[2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์กระบวนการขึ้นรูปร้อน

ถ้าเทอร์โมพลาสติกมีการอ่อนตัวจากความร้อน เมื่อได้รับความดันไปยังด้านหนึ่งของพื้นผิวจะเกิดการยืดตัวได้อย่างอิสระ ซึ่งรูปร่างจะถูกขึ้นรูปแล้วจะมีการกระจายความหนาในระหว่างการขึ้นรูปร้อน ปริมาตรสมดุลของแผ่นพลาสติกและรูปร่างสุดท้ายสามารถที่จะเป็นตัวกำหนดความหนาของผลิตภัณฑ์ได้

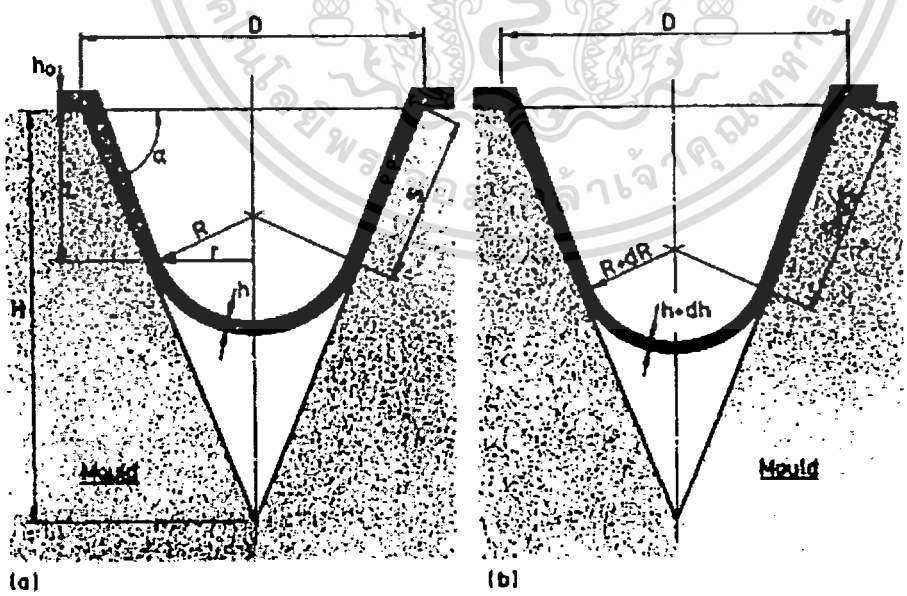
$$A_i h_i = A_f h_f \qquad (2.1)$$

ซึ่ง A = พื้นที่ผิว , h = ความหนาผนัง ('I' และ 'f' บอกถึง ปัจจัยตั้งต้นและปัจจัยสุดท้าย)

การคำนวณที่กล่าวถึงนี้ เป็นประโยชน์ในการประมาณเบื้องต้นของการกำหนดขนาดของชิ้นงานที่ได้รับการขึ้นรูป อย่างไรก็ตามก็ยังขาดความแม่นยำเนื่องจากในสภาวะความเป็นจริง เมื่อแผ่นพลาสติกได้ถูกกดลงไปยังแม่พิมพ์เย็นมันจะเกิดการแข็งตัวที่ความหนาเท่าไหร่ก็ได้ที่มันถูกยืดลงไปเมื่อมันสัมผัสกับแม่พิมพ์

พิจารณากระบวนการขึ้นรูปร้อนของแผ่นพลาสติกที่ความหนา h_0 ไปยังเบ้าแม่พิมพ์ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2.3 (a) ณ เวลา t พลาสติกสัมผัสกับแม่พิมพ์เป็นระยะ S และยังคงมีส่วนหนึ่งของแผ่นที่อยู่ในรูปของโดมกลมรัศมี R และความหนา h จากรูปทรงของแม่พิมพ์รัศมีสามารถหาได้จาก

$$R = (H - S\sin\alpha)/(\sin\alpha \tan\alpha) \qquad (2.2)$$



รูปที่ 2.3 วิเคราะห์กระบวนการขึ้นรูปร้อน [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องด้วยพื้นที่ผิว A ของฟองกลมสามารถหาได้จาก

$$A = 2\pi R^2(1 - \cos \alpha) \qquad (2.3)$$

ที่เวลาใด ๆ (t+dt) แผ่นพลาสติกจะถูกขึ้นรูปมีรูปร่างดังแสดงอยู่ในรูปที่ 2.3 (b) การเปลี่ยนแปลงความหนาของแผ่นพลาสติกในรอบเวลานี้อาจจะประมาณได้ด้วยการสมมติว่าปริมาตรยังคงคงที่

$$2\pi R^2(1 - \cos \alpha)h = 2\pi(R+dR)^2R^2(1 - \cos \alpha)(h+dh) + 2\pi Rh\, dS \sin \alpha$$

ทำการแทนที่ r(= R sin α) และสำหรับ R จากสมการที่ 2.2 สมการนี้อาจจะถูกลดรูปให้อยู่ในรูปแบบต่อไปนี้

$$dh/h = [2 - ((\sin^2 \alpha \tan \alpha)/(1 - \cos \alpha))] \,.\, [(\sin \alpha dS)/(H - S \sin \alpha)] \qquad (2.4)$$

สมการนี้อาจจะถูกอินทิเกรตกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องโดยที่ $h = h_1$ ที่ $S = 0$ ซึ่งการศึกษาความหนา h ที่ระยะ S ไปตามด้านข้างของเบ้าแม่พิมพ์สามารถหาได้จาก

$$h = h_1 [(H - S \sin \alpha)/h]^{\sec \alpha - 1} \qquad (2.5)$$

พิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่ถูกเสนอไว้เบื้องต้นอีกครั้ง เมื่อถึงจุดที่พลาสติกที่อ่อนตัวเริ่มเข้าสู่แม่พิมพ์เป็นครั้งแรก รูปร่างของมันจะเป็นฟองกลม ซึ่งไม่ได้สัมผัสกับด้านใดของแม่พิมพ์รูปโคน ปริมาตรสมดุลจึงเป็น

$$(D^2/4)h_0 = [2(D/2)^2(1 - \cos \alpha)h1]/(\sin^2 \alpha)$$

ดังนั้น $$h_1 = [(\sin^2 \alpha)/(2(1 - \cos \alpha))] \,.\, h_0$$

ทำการแทนที่ h1 ลงในสมการที่ 2.5

$$h = [(\sin^2 \alpha)/(2(1 - \cos \alpha))] [(H- S. \sin \alpha)/h]^{\sec \alpha - 1} \,.\, h_0$$

หรือ $$h/ h_0 = [(1 + \cos \alpha)/2] [(H - L)/H]^{\sec \alpha - 1} \qquad (2.6)$$

สมการนี้อาจถูกนำไปใช้ในการคำนวณหาการกระจายตัวของความหนาผนังในรูปถ้วยโคนลึกที่ถูกตัด แต่พึงจำไว้ว่าการได้มาของมันจะถูกต้องมากขึ้นเมื่อฟองกลมสัมผัสกับจุดศูนย์กลางของฐานเท่านั้น หลังจากนั้นจึงทำการวิเคราะห์เกี่ยวกับปริมาตรสมดุลกับการแข็งตัวที่ฐานและด้านข้างของถ้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 แม่พิมพ์

แม่พิมพ์ในการทดลองครั้งนี้ออกแบบเป็นรูปถ้วยเพื่อประโยชน์ในการศึกษาความแตกต่างของความหนาผนัง ณ ตำแหน่งต่างๆและง่ายต่อการจัดสร้าง โดยทำจากพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัวเนื่องจากมีราคาถูกและสามารถหล่อขึ้นได้เอง โดยผสมเรซิน สารตัวเร่งปฏิกิริยาและสารกระตุ้นตัวเร่งปฏิกิริยา แล้วเทลงในแม่แบบ ที่มีแก้วแสตนเลส เป็นแม่แบบอยู่ในลักษณะคว่ำแก้ว จำนวนสองใบ จนท่วมแก้วในระยะที่ต้องการ รอให้แห้ง แล้วแกะแม่พิมพ์ออก จะได้แม่พิมพ์ตัวเมีย ส่วนแม่พิมพ์ตัวผู้จะมีลักษณะคล้าย ๆ กัน แต่จะทำการเทวัสดุผสมลงในแม่แบบที่มีแก้วสองใบประกบอยู่ เพื่อให้วัสดุผสมไหล ลงแก้วทั้งสองใบ

วิเคราะห์กระบวนการเทอร์โมฟอร์มมิ่งกับแม่พิมพ์

ถ้าเทอร์โมพลาสติกมีการอ่อนตัวจากความร้อน เมื่อได้รับความดันไปยังด้านหนึ่งของพื้นผิวจะเกิดการยืดตัวได้อย่างอิสระ ซึ่งรูปร่างที่ถูกขึ้นรูปแล้วจะมีการกระจายความหนาในระหว่างการเทอร์โมฟอร์มมิ่ง ความสมดุลปริมาตรของแผ่นและรูปร่างสุดท้ายสามารถที่จะเป็นตัวกำหนดความหนาของผลิตภัณฑ์ได้ โดยลักษณะการยืดตัวของแผ่นเริ่มต้นจะถูกกดยืดลงไปสัมผัสกับขอบแม่พิมพ์ตัวเมีย แล้วบริเวณส่วนก้นก็จะถูกดูดให้แผ่นยืดแนบกับก้นแม่พิมพ์ตัวเมียด้วยแรงดูดสุญญากาศ ในระหว่างนี้ควรมีช่วงเวลาในการดูดสุญญากาศหลังจากการปั๊มที่เหมาะสม เนื่องจากพลาสติกที่โดนความร้อนจะเกิดการสูญเสียความร้อนให้กับแม่พิมพ์ตัวผู้และเริ่มเกิดการเย็นตัว ทำให้พลาสติกยืดตัวได้ไม่ดี และกระจายความหนาไม่สม่ำเสมอ ในกระบวนการขึ้นรูปนั้นแม่พิมพ์ตัวผู้จะทำการกดแผ่นพลาสติกเปล่า ผ่านปากแม่พิมพ์ตัวเมียทำให้แม่พิมพ์เกิดการดัดและดัดกลับ เนื้อโลหะที่อยู่ระหว่างแผ่นกดจะมีความเค้นดึงตามแนวการกดของแม่พิมพ์ตัวผู้ และความเค้นอัดตามแนวเส้นรอบวง เนื้อโลหะที่ผนังถ้วยได้รับความเค้นดึงแนวแกน ส่วนที่ก้นถ้วยเนื้อโลหะเกิดสภาวะความเค้นดึงทั้งสองแนวแกน สภาวะความเค้นที่กล่าวมาจะมีผลต่อแรงในการขึ้นรูปและความหมายของถ้วยกลมอย่างมาก ดังนั้นแม่พิมพ์ที่ดีควรได้รับการออกแบบให้เหมาะสมตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการใช้งาน ซึ่งควรพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ร่วมกัน เช่น แรงที่ใช้ในการขึ้นรูป รัศมีขอบแม่พิมพ์ ความลาดชันของแม่พิมพ์ ความลึกของแม่พิมพ์ตัวเมีย และคุณสมบัติของวัสดุที่จะทำการขึ้นรูป เป็นต้น ถ้าหากทำการออกแบบแม่พิมพ์ไม่ดีแล้ว ชิ้นงานก็อาจจะเกิดความเสียหายจากกระบวนการขึ้นรูปได้ เช่น เกิดการย่น หรือเกิดการฉีกขาด ซึ่งรัศมีของแม่พิมพ์ตัวเมีย มีผลต่อการเพิ่มขึ้นและลดลงของแรงที่ใช้ในการขึ้นรูป ถ้ารัศมีแมม่พิมพ์ตัวเมียเพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการขึ้นรูปได้ดีขึ้น แต่ถ้ารัศมีแม่พิมพ์ใหญ่จนเกินไป จะทำให้ชิ้นงานเกิดรอยย่นได้ ถ้ารัศมีแม่พิมพ์เล็กมาก ๆ จะทำให้เกิด necking ที่รัศมีแม่พิมพ์ตัวผู้ นอกจากนี้รูปร่างของแม่พิมพ์ก็มีผลต่อขีดจำกัดอัตราการขึ้นรูปและแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปอีกด้วย ส่วนรัศมีของแม่พิมพ์ตัวผู้จะไม่มีผลต่อแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปมากนัก แต่จะทำให้ความหนาของชิ้นงานบริเวณรัศมีก้นถ้วยและผนังถ้วยมีความหนาลดลง

2.3.1 แม่พิมพ์ตัวเมีย

แม่พิมพ์ประเภทนี้จะมีลักษณะเป็นหลุมลึกลงไป สามารถจะผลิตชิ้นงานที่มีความรายละเอียดทางด้านนอกของผลิตภัณฑ์ได้มากกว่าแม่พิมพ์ตัวผู้ และสะดวกในการปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์แต่มีข้อเสียคือจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ส่วนฐานล่างมีความบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 แม่พิมพ์ตัวผู้

ลักษณะของแม่พิมพ์ประเภทนี้จะมีส่วนของแบบยื่นของมาจากฐานของแม่พิมพ์ทำให้สามารถผลิตชิ้นงานที่มีวามลึกได้มากกว่าแม่พิมพ์ตัวเมีย แต่มีข้อเสียคือถอดชิ้นงานได้ยากกว่าแม่พิมพ์ตัวเมีย

3.3 วัสดุทำแม่พิมพ์

เรซิน คือ วัสดุสังเคราะห์เรซินแข็งตัวได้ในบรรยากาศปกติ เรซินสามารถรวมตัวผสมกับวัสดุอื่นที่นิยมใช้ป็นตัวผสมคือ โลหะเพราะสามารถใช้งานได้ดี แม่พิมพ์ที่ทำจากเรซินมีราคาถูกแต่มีข้อจำกัดในการใช้งาน ถ้าใช้ผลิตย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานแม่พิมพ์อาจเกิดการเสียรูปได้

.4 ส่วนให้ความร้อน

กระบวนการให้ความร้อนมี 3 วิธีคือการนำความร้อน วิธีนี้เหมาะกับชิ้นงานที่มีลักษณะบาง โดยนำแผ่นพลาสติกวางไว้ที่แผ่นความร้อน ปัญหาที่เกิดขึ้นคือพลาสติกจะติดอยู่ที่ผิวของแผ่นให้ความร้อน วิธีที่สองคือการพาความร้อน เป็นวิธีที่ประหยัดไฟฟ้า แต่รอบการทำงานยาว จึงเกิดปัญหาในเรื่องการเสียสภาพของวัสดุ เหมาะกับชิ้นงานที่มีความหนามากกว่า 1 นิ้ว และวิธีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมมากที่สุดคือการแผ่รังสี

2.4.1 การแผ่รังสีความร้อน

การส่งผ่านความร้อนแบบแผ่รังสีความร้อนเป็นการให้ความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง มีการสูญเสียความร้อนต่ำเพราะไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการส่งผ่านความร้อน มีการให้ความร้อนได้ถึงเนื้อในของชิ้นงาน

2.4.2 แท่งอิฟราเรด

ใช้อินฟาเรด ฮีตเตอร์แบบแท่ง ขนาด 1500 วัตต์ มีหลักการทำความร้อน คือ ให้กำเนิดแสงอินฟราเรดและส่งไปยังวัตถุ โดยเป็นแสงคลื่นยาวที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตามนุษย์ ซึ่งรังสีคลื่นยาวนี้ จะทำให้โมเลกุลของวัตถุที่ได้รับรังสีนี้เข้าไปเกิดการสั่น ทำให้เกิดความร้อนขึ้น หลักการนี้จะมีประสิทธิภาพมาก เมื่อนำไปประยุกต์ใช้กับวัตถุที่มีโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่เรียงกันเป็นแถวยาว เช่น สี, กาว, อาหาร, พลาสติกลักษณะของอินฟาเรดฮีตเตอร์ เป็นการส่งผ่านความร้อนแบบแผ่รังสี (เหมือนกับที่ดวงอาทิตย์ส่งความร้อนมายังโลก) จึงมีประสิทธิภาพสูง ความสูญเสียต่ำ ประหยัดไฟได้ 30-50%

1) สามารถให้ความร้อนวัตถุได้ถึงเนื้อใน จึงทำให้ประหยัดเวลาได้ 1-10 เท่า (การให้ความร้อนแบบการพาและ การนำความร้อน จะทำให้วัตถุร้อนเฉพาะที่ผิว แล้วค่อย ๆ ซึมเข้าไปเนื้อใน จึงใช้เวลามาก)
2) มีขนาดเล็กกว่าฮีทเตอร์แบบทั่ว ๆ ไป ทำให้ประหยัดเนื้อที่
3) การติดตั้ง และการถอดเปลี่ยนเพื่อซ่อมบำรุงง่าย
4) มีความปลอดภัยสูง เนื่องจากไม่มีเปลวไฟ ตัวเรือนมีความเป็นฉนวนสูง ไฟไม่รั่ว
5) ให้รังสีช่วง 3 – 10 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นช่วงที่วัสดุเกือบทุกชนิดสามารถดูดซับรังสีได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณความร้อน

ในกระบวนการขึ้นรูปร้อนด้วยการแผ่รังสีความร้อนไปยังวัตถุหนึ่ง ๆ วัตถุนั้น จะมีความสามารถในการดูดซับความร้อนนั้นไว้ได้ และเมื่อถึงขีดจำกัดของวัตถุนั้น ๆ วัตถุก็จะเริ่มมีการเปลี่ยนสถานะ ซึ่งสามารถคำนวณหาพลังงานความร้อนที่วัตถุต้องการในการเปลี่ยนแปลงสถานะได้ดังสมการ

พลังงานความร้อนที่ต้องการ = น้ำหนักของวัตถุ x ความจุความร้อนจำเพาะ x อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป

คำนวณหากำลังฮีตเตอร์ = พลังงานความร้อนที่ต้องการ(J)/เวลาในการให้ความร้อน(s) (Watt)

2.5 ระบบนิวเมติกส์

ระบบนิวเมติกส์ หมายถึง ระบบการส่งถ่ายกำลังโดยอาศัยความดันลมเป็นตัวกลางในการส่งถ่ายกำลัง โดยมีอุปกรณ์ เช่น กระบอกสูบ ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานลมให้เป็นพลังงานกล วาล์วทำหน้าที่กำหนดทิศทางของลม ฯลฯ

2.5.1 ข้อดีและข้อเสียของระบบนิวแมติกส์

ในปัจจุบันได้มีการนำเอาระบบนิวแมติกส์มาใช้แทนระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากการควบคุมด้วยระบบนิวแมติกส์มีข้อดีหลายอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับระบบไฟฟ้า ดังนี้

ข้อดีของระบบนิวเมติกส์

- มีความเร็วในการทำงาน ลมอัดมีความเร็วในการทำงานสูง
- ทนต่อการระเบิด เพราะลมไม่ติดไฟ และไม่ระเบิด
- มีความปลอดภัย เนื่องจากอุปกรณ์ในระบบนิวเมติกส์ไม่เกิดความเสียหายเมื่อใช้งานเกินกำลัง
- สามารถปรับความเร็วในระบบได้ง่าย และสะดวกในการติดตั้ง
- การส่งถ่ายลม สามารถส่งไปตามท่อหรือสายลมในระยะทางไกลๆได้โดยง่าย ส่วนลมที่ใช้แล้วสามารถปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศได้ทันที โดยไม่ก่อให้เกิดมลพิษ

ข้อเสียของระบบนิวเมติกส์

- เมื่อลมมีความชื้นและเมื่อความชื้นเข้าไปในระบบจะเกิดสนิม ทำให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์ที่วัสดุ ทำปฏิกิริยากับความชื้นเสียหายได้
- ความดันลมจะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน ซึ่งเมื่ออุณหภูมิสูงลมอัดจะมีความดันสูง และความดันจะลดลงเมื่ออุณหภูมิต่ำลง
- ลมสามารถอัดตัวได้ จึงทำให้การเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ทำงานไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากการยุบตัวของลมอัด
- มีเสียงดัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 ถังเก็บลม (Receiver)

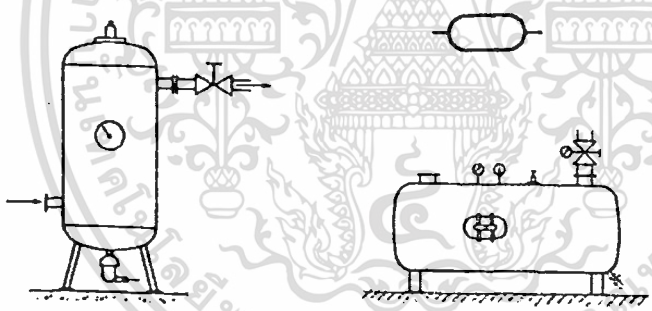
ในอุตสาหกรรมโดยทั่วไป การทำงานของอุปกรณ์นิวแมติกส์ ถ้าการทำงานพร้อมกันหลายๆ ตัว มักจะเกิดปัญหา คือปริมาณลมที่เครื่องอัดลมผลิตออกมานั้นไม่เพียงพอและถ้าอุปกรณ์ไม่ทำงาน ลมที่เครื่องอัดลมผลิตออกมาไม่มีที่เก็บ จึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่สามารถจ่ายอัตราลมได้อย่างต่อเนื่องและตลอดเวลา โดยที่มีความดันคงที่ อุปกรณ์ที่สามารถตอบสนองความต้องการเหล่านี้คือถังเก็บลม (Receiver) หรือ ถังพักลมอัด (Air Receivers) ถังเก็บลมใช้กักเก็บลมที่ถูกอัดตัวไว้ และส่วนใหญ่มักจะติดตั้งที่ทางลมออกของเครื่องอัดลม อาจอยู่ร่วมกับเครื่องอัดลมหรือติดตั้งอีกตัวหนึ่งนอกเครื่องอัดลมก็ได้

ถังเก็บลมทำหน้าที่ต่อไปนี้

1. ทำให้ความดันลมที่จ่ายออกจากเครื่องอัดลมมีค่าสม่ำเสมอ
2. ป้องกันการลดลงของความดันลมอัดอย่างลวดเร็ว เมื่อลมอัดถูกนำไปใช้ในปริมาณมากภายในช่วงระยะเวลาที่สั้นๆ
3. ให้ความดันลมอัดได้ในช่วงเวลาหนึ่งในกรณีฉุกเฉิน เช่น การหยุดทำงานของเครื่องอัดลมเนื่องจากไฟฟ้าดับ
4. ทำให้การแยกน้ำจากลมที่ถูกอัดโดยการทำให้ลมอัดเย็นลงด้วยอากาศที่อยู่รอบ ๆ ถังเก็บลม

ลักษณะของถังเก็บลมมี 2 ประเภท คือ

1) ถังเก็บลมแบบนอน จะใช้เครื่องอัดลมขนาดเล็กและมักจะติดอยู่กับเครื่องอัดลม
2) ถังเก็บลมแบบตั้ง จะใช้กับเครื่องอัดลมขนาดใหญ่ โดยที่ตัวถังเก็บลมจะแยกต่างหากออกจากเครื่องอัดลม ดังแสดงรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ถังเก็บลมแบบตั้งและแบบนอน [4]

การคำนวณอัตราการใช้ลม [5]

$$Q = H \times (q_s + q_t) \times h \qquad (2.7)$$

เมื่อ Q = อัตราการใช้ลม (NL/min)

q_s = อัตราการใช้ลมที่ช่วงชัก 1 ซม. จังหวะดัน

q_t = อัตราการใช้ลมที่ช่วงชัก 1 ซม. จังหวะดึง

H = ช่วงชักของกระบอกสูบ

h = จำนวนครั้งต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ q_s และ q_t สามารถหาได้จากตารางอัตราการใช้ลมระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกและความดันใช้งาน

2.5.3 กระบอกสูบ (Acting cylinder)

กระบอกสูบเป็นอุปกรณ์ทำงานชนิดหนึ่งในระบบนิวแมติกส์ ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานลมอัดให้อยู่ในรูปพลังงานกลในรูปแบบต่างๆ กระบอกลมอัดมีหลายชนิด ได้แก่

2.5.3.1 <u>กระบอกสูบทางเดียว (Single acting cylinder)</u>

กระบอกสูบทางเดียวใช้แรงดันลมอัดกระทำก้านสูบให้เคลื่อนที่พียงด้านเดียว ส่วนการเคลื่อนที่กลับจะอาศัยแรงสปริง กระบอกสูบแบบนี้จะใช้กับงานที่ต้องการแรงกระทำไม่นานนัก เนื่องจากแรงที่กระทำกับโหลดจะถูกต้านด้วยแรงสปริง ขนาดของกระบอกสูบประเภทนี้ที่นิยมผลิตกันจะมีขนาดไม่ต่ำกว่า 10 เซนติเมตร

2.5.3.2 <u>กระบอกสูบสองทาง (Double action cylinder)</u>

กระบอกสูบแบบสองทางจะใช้แรงดันลมกระทำให้ก้านสูบเคลื่อนที่เข้า และออกทั้งสองทาง แรงกระทำที่ได้จากกระบอกสูบชนิดนี้จะมากกว่ากระบอกสูบแบบทางเดียวเพราะไม่มีแรงสปริงเป็นตัวต้านทาน จึงเหมาะสำหรับงานทุกประเภทที่ต้องการการเคลื่อนที่ในลักษณะที่เป็นแนวทางเส้นตรง ดังรูปที่ 2.15 สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1) กระบอกสูบสองทางชนิดมีตัวกันกระแทก (Cushioned cylinder)

ในงานบางอย่างการเคลื่อนที่เข้าและออกของก้านสูบจะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร่งและความเร็วสูงจะทำให้เกิดการกระแทกระหว่างลูกสูบกับฝาสูบ งานลักษณะนี้ถ้าไม่ป้องกันแล้วจะทำให้กระบอกสูบชำรุดหรือมีอายุการใช้งานสั้นลงได้ ดังนั้นจึงต้องออกแบบให้มีเบาะลมคอยต้านการกระแทกของลูกสูบก่อนจะสุดช่วงชัก

การออกแบบเบาะลมนี้เกิดจากการเปิดทางออกปกติของลมที่ใช้แล้วก่อนจะถึงปลายช่วงชักและบังคับให้ลมที่เหลือผ่านออกทางช่องแคบเล็กๆ อย่างช้า จึงทำให้เกิดความต้านกลับ ซึ่งทำหน้าที่เป็นเบาะลมที่ปลายช่วงชัก โดยที่ความดันต้านกลับนี้สามารถปรับให้มากน้อยได้ตามต้องการ

2) กระบอกสูบชนิดมีก้านสูบสองข้าง (Double end rod cylinder)

ในงานบางอย่างการติดตั้งวาล์วควบคุมของกระบอกสูบมีปัญหาเนื่องจากพื้นที่ในการติดตั้งมีจำกัดหรืองานที่ต้องการแรงกระแทกทั้งสองด้าน ซึ่งจะทำให้ประหยัดเวลารวมอีกทั้งยังเพิ่มผลผลิตอีกด้วย โครงสร้างของกระบอกสูบประเภทนี้จะมีลักษณะคล้ายกับกระบอกสูบสองทางแต่จะมีก้านสูบทั้งสองด้าน

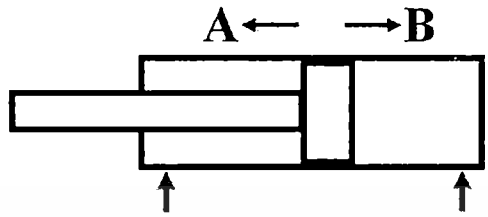
3) กระบอกสูบสองทางแบบสองตอน (Tandem cylinder)

ในงานบางอย่างจะมีปัญหาเรื่องพื้นที่ในการติดตั้งกระบอกสูบมีจำกัด แต่ต้องการกระบอกสูบที่มีขนาดของก้านสูบใหญ่เพื่อต้องการแรงที่กระทำกับงานมาก กระบอกสูบชนิดนี้จึงถูกออกแบบเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว โดยที่กระบอกสูบจะถูกแบ่งเป็นสองตอน ตอนแรกก้านสูบจะมีขนาดเล็กเพื่อให้ได้แรงกระแทกมาก ส่วนตอนที่สองก้านสูบจะมีขนาดใหญ่เพื่อให้เกิดความแข็งแรงเมื่อกระทำกับชิ้นงาน

4) กระบอกสูบชนิดช่วงชักหลายตำแหน่ง (Multi-position cylinder)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบกระบอกสูบชนิดช่วงชักหลายตำแหน่งก็เพื่อสามารถนำไปใช้งานที่ต้องการให้กระบอกสูบเพียงกระบอกเดียวกันสามารถหยุดได้หลายตำแหน่ง โดยนำเอากระบอกสูบชนิดสองทางสองกระบอกมาประกอบรวมกันเป็นกระบอกเดียว ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กระบอกสูบชนิดสองทิศทางก้านสูบเดียว [6]

การคำนวณหาความดันใช้งานของกระบอกสูบสองทาง

ความดันใช้งานของระบบหาได้จากสมการ

$$P = F/A \quad (2.8)$$

$$A = \pi D^2/4 \quad (2.9)$$

เมื่อ P = ความดัน

F = แรง (N/m^2)

A = พื้นที่หน้าตัดในการกดชิ้นงาน

$\pi = 3.14$

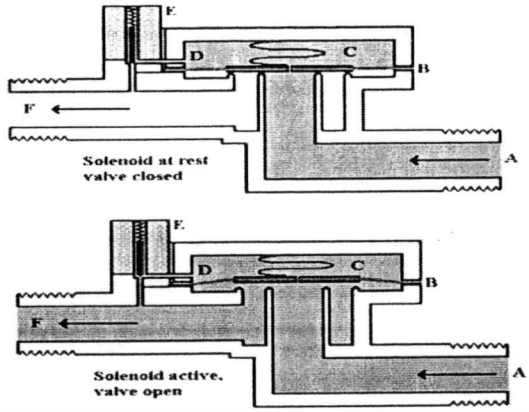
D = เส้นผ่านศูนย์กลางในการกดชิ้นงาน

2.6 โซลีนอยด์วาล์ว

ในการควบคุมอุปกรณ์ทำงานในระบบนิวแมติกส์ให้ทำงานได้ตามต้องการนั้นอุปกรณ์สำคัญที่ทำให้อุปกรณ์ทำงานเปลี่ยนตำแหน่งได้คือ วาล์ว ซึ่งในการเลื่อนวาล์วควบคุมสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเลื่อนวาล์วโดยใช้กล้ามเนื้อ การเลื่อนวาล์วโดยใช้กลไก การเลื่อนวาล์วดดบใช้ลมควบคุม การเลื่อนวาล์วโดยใช้ฟ้าควบคุม ในที่นี้จะกล่าวถึงวาล์วที่ใช้ไฟฟ้าเป็นตัวควบคุมในการเปลี่ยนตำแหน่ง หรือเรียกอีกอย่างว่า โซลีนอยด์วาล์ว

โซลินอยด์ เป็นอุปกรณ์แม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ที่มีหลักการทำงานคล้ายกับรีเลย์ คือ ทำหน้าที่ตัดต่อวงจรลมภายในโครงสร้างประกอบด้วยขดลวดที่พันอยู่รอบแท่งเหล็ก มีชุดบนและชุดล่าง ทำงานเลื่อนลิ้นวาล์วเปิดปิด โดยการตัดและต่อกระแสไฟฟ้าที่ให้กับขดลวด ดังแสดงรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 โซลีนอยด์วาล์ว (Solenoid valve) [4]

2.6.1 ชนิดของโซลีนอยด์วาล์ว

โซลีนอยด์วาล์วสามารถแบ่งออกตามลักษณะการทำงานได้ดังนี้

2.6.1.1 <u>โซลีนอยด์วาล์วแบบใช้ไฟฟ้าโดยตรง</u>

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

2.6.1.2 <u>โซลีนอยด์วาล์วแบบใช้แรงดันช่วย</u>

โซลีนอยด์วาล์วแบบนี้ทำงานโดยอาศัยอำนาจแม่เหล็กที่เกิดจากคอยล์ดูดลูกสูบเปิดรูให้ของไหลผ่านเข้ามาเพื่อยกแผ่นไดอะเฟรมหรือยกลูกสูบตัวใหญ่ ทำให้รูใหญ่ถูกเปิดให้ของไหลผ่านเข้ามา โซลีนอยด์วาล์วแบบนี้แบ่งได้ดังนี้

แบบมาตรฐาน (Standard type) แบบนี้ตัวลูกสูบจะ ไม่ติดกับแผ่นไดอะแฟรมหรือลูกสูบใหญ่ ซึ่งทำให้วาล์วแบบนี้ต้องมีความดันอย่างน้อย 0.3-1 บาร์ เพื่อให้แรงดันจากของไหลมาช่วยยกตัวเปิดในช่วงแรก

แบบสวมติด (Attached type) แบบนี้ตัวลูกสูบจะต่อกับแผ่นไดอะแฟรมหรือลูกสูบใหญ่ทำให้ไม่ต้องมีแรงดันจากของไหลมาช่วยยกเปิดตัวในช่วงแรกแต่จะต้องใช้แรงดันของของไหลช่วยยกเปิดตัวพร้อมกันทั้งชุด

2.6.2 โซลีนอยด์คอยล์

สิ่งที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งของโซลีนอยด์วาล์ว คือส่วนของโซลีนอยด์คอยล์ เป็ยส่วนที่ทำหน้าที่เลื่อนแท่งเหล็กเพื่อปิดรูโซลีนอยด์วาล์วโดยเมื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านคอยล์จะทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กและดูดแท่งเหล็กให้เคลื่อนที่ได้ คดยคอยล์ที่ใช้กันส่วนใหญ่จะมีขนาด 24 V.DC., 110 V.AC. และ 220 V.AC.
โซลีนอยด์คอยล์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมีอยู่ 2 แบบ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบมีไส้ใน แบบนี้ขดลวดจะสามารถถอดออกจากเรือนของคอยล์ได้และเมื่อเสียสามารถที่จะเปลี่ยนเฉพาะไส้ในได้ ตัวเรือนเป็นที่ติดตั้งของขั้วไฟฟ้าและทำหน้าที่ฝาครอบป้องกันเท่านั้น

แบบหุ้มปิด แบบนี้ตัวขดลวดจะหุ้มปิดด้วยวัสดุฉนวนที่มีความแข็งแรงและทนความร้อนได้ดี คอยล์แบบนี้จะโผล่เฉพาะขาออกมาเพื่อเสียบกับปลั๊ก เมื่อเสียต้องเปลี่ยนทั้งตัว

2.6.3 การติดตั้งโซลีนอยด์วาล์ว

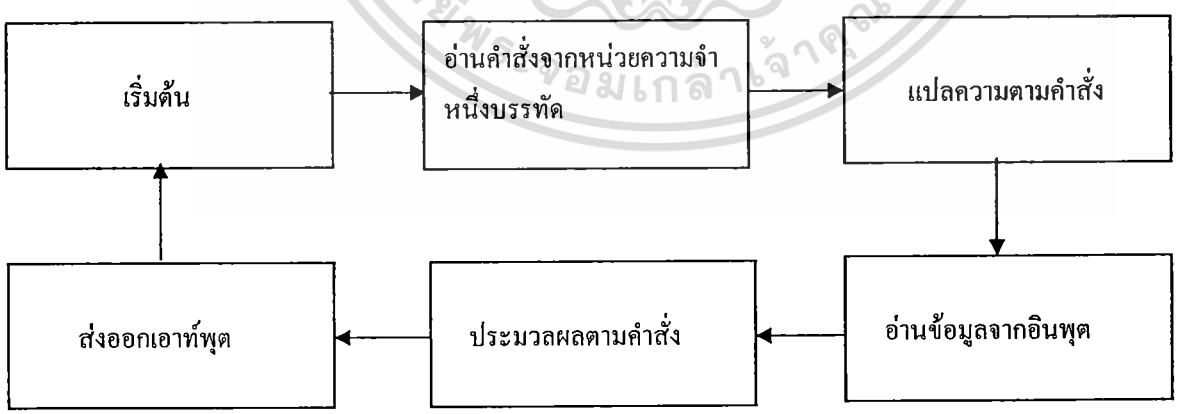
โซลีนอยด์วาล์วแบบใช้ไฟฟ้าโดยตรงนั้นจะติดตั้งในลักษณะใดก็ได้แต่สำหรับแบบใช้แรงดันช่วยนั้นจะต้องติดตั้งตัววาล์วในลักษณะตั้งตรง ได้มุมฉากกับแนวระดับ เพื่อให้ชิ้นส่วนภายใน เช่น ลูกสูบหรือแผ่นไดอะแฟรมอยู่ในลักษณะสมดุล ซึ่งจะทำให้การเปิดปิดกระทำได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์ ส่วนการติดตั้งโซลีนอยด์คอยล์และตัวแกนที่สวมคอยล์เข้ากับตัววาล์วนั้นต้องติดตั้งแล้วแน่นพอดีไม่โยกคลอน เพราะจะทำความเสียหายให้กับตัวคอยล์และตัวแกนที่สวมคอยล์ของตัววาล์วได้

2.7 อุปกรณ์ทางไฟฟ้า

เนื่องจากระบบขับเคลื่อนและระบบทำงานความร้อนของเครื่องขึ้นรูปใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานดังนั้นจึงต้องมีอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมและป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นแก่อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ เหล่านั้น เพื่อความปลอดภัยของอุปกรณ์และผู้ปฏิบัติงาน โดยอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมและป้องกันอุปกรณ์เหล่านั้นมีดังนี้

2.7.1 เครื่องควบคุมเชิงตรรก (Programmable Logic Controller : PLC)

จะควบคุมการทำงานโดยจะถูกคำสั่งที่ป้อนเข้าไปใน PLC ด้วยซอฟแวร์ ซึ่งซอฟแวร์จะถูกตรวจสอบและแก้ไขได้จากคอมพิวเตอร์ โดยจะป้อนและแก้ไขข้อมูลด้วยคีย์บอร์ด ภายในจะมีไมโครโปรเซสเซอร์เป็นตัวควบคุมการทำงานของระบบ โดยสามารถกำหนดเงื่อนไขผ่าน อินพุทและเอาพุท โดยมีลำดับขั้นตอนการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ลำดับการทำงานของระบบนิวเมติกส์ ที่ควบคุมด้วย PLC [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller)

เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิของฮีตเตอร์ โดยเลือกใช้ตัวควบคุมอุณหภูมิแบบอนาล็อก ซึ่งมีสัญญาณอินพุทจากเทอร์โมคัพเปิล และควบคุมเอาพุทด้วยรีเลย์ ใช้ต่อกับไฟความต่างศักย์ 220 โวลต์ อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ตัวตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และสวิตช์ควบคุม ซึ่งใช้ในการควบคุมตัวทำความร้อนเพื่อให้ได้อุณหภูมิตามต้องการวงจรการควบคุมโดยทั่วไป

ปัจจัยในการเลือกตัวควบคุมอุณหภูมิมีดังนี้

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

อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิที่นิยมในปัจจุบันมี 2 แบบคือ

2.7.2.1 <u>ไพโรมิเตอร์ (Pyrometer)</u>

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

1. เทอร์โมคัพเปิล (Thermocouple) อาศัยการเชื่อมต่อของโลหะที่แตกต่างกัน 2 ชนิด เมื่ออุณหภูมิที่ T1 แตกต่างจาก T2 จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Electromotive force, emf) ซึ่งสามารถวัดออกเป็นค่ากระแส เทอร์โมคัพเปิลจะใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิในช่วง 200 ถึง 5000 องศาฟาเรนไฮต์ (93.3 ถึง 2760 องศาเซลเซียส)
2. เทอร์มิสเตอร์ (Thermister) ทำจากวัสดุซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงความต้านทานเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ซึ่งมีผลให้กระแสที่ไหลผ่านเกิดการเปลี่ยนแปลง เทอร์มิสเตอร์จะใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิในช่วง 200 ถึง 5000 องศาฟาเรนไฮต์ (93.3 ถึง 2760 องศาเซลเซียส)
3. ตัววัดแบบต้านทานอุณหภูมิ (Resistance temperature detector, RTD) ประกอบด้วยหลอดที่ทำจากสเตนเลสหรือทองเหลือง ซึ่งมีขดลวดที่ทำจากนิกเกิล แพลตตินัม หรือทองแดง เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะทำให้แรงดันไฟฟ้าในขดลวดเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความต้านทานของขดลวดเพิ่มขึ้น แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงแล้วแปลงเป็นค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ตัววัดแบบต้านทานอุณหภูมิจะใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิในช่วง 200 ถึง 5000 องศาฟาเรนไฮต์ (93.3 ถึง 2760 องศาเซลเซียส)

นอกจากนี้ไพโรมิเตอร์ยังสามารถแบ่งตามชนิดของตัวควบคุมได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มิลลิโวลท์มิเตอร์คอนโทรลเลอร์ (Millivoltmeter controller) เป็นตัวควบคุมที่มีการใช้งานมานาน โดยมีหลักการทำงานคือ เมื่อรับสัญญาณจากเทอร์โมคัพเปิล เข็มของมิลลิโวลท์มิเตอร์ซึ่งมีตัวกันแสงติดที่ปลายจะเคลื่อนมาบังแหล่งแสงที่ส่องไปยังตัวรับสัญญาณแสงที่ควบคุมอุปกรณ์ปิดเปิดตัวให้ความร้อน ตัวควบคุมชนิดนี้มีข้อเสียคือ จะเกิดความผิดพลาดขึ้นหากใช้ในสภาวะที่มีความสั่นสะเทือนและต้องมีการเทียบมาตรฐานของเทอร์โมคัพเปิล
- โพเทนชิโอเมตริกคอนโทรลเลอร์ (Potentiometric controller) ใช้การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมคัพเปิลเทียบกับอุณหภูมิที่คาดไว้ ทำให้ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่จึงไม่ได้รับผลจากแรงสั่นสะเทือน และไม่ต้องเทียบมาตรฐาน แต่การบำรุงรักษายากเนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่มีวงจรความซับซ้อน
- พรอพอร์ชันนอลคอนโทรลเลอร์ (Proportional controller) เนื่องจากไพโรมิเตอร์สองแบบแรกต้องใช้คอนแทกเตอร์ (Contactor) ในการปิดเปิดตัวทำความร้อนซึ่งความร้อนที่ได้จะไม่คงที่ จึงมีการพัฒนาการควบคุมให้อุณหภูมิคงที่โดยจะป้อนกระแสไฟฟ้ากับตัวทำความร้อนตลอดเวลาแต่จะควบคุมพลังงานให้เพียงพอแก่การทำความร้อนให้ได้อุณหภูมิตามที่ต้องการเท่านั้นซึ่งจะใช้ร่วมกับตัวสลับสัญญาณซิลิกอน (Sillicon-controlled rectifier, SCR)

2.7.2.2 สวิตช์อุณหภูมิ (Thermostat)

สวิตช์ควบคุมอุณหภูมิใช้หลักการของความแตกต่างในการขยายตัวของโลหะสองชนิดซึ่งแบ่งการเชื่อมต่อได้ 2 แบบ คือ การเชื่อมต่อแบบเชิงกลและการเชื่อมต่อแบบหลอมรวมกันหรือแบบโลหะผสม

- แบบเชื่อมต่อเชิงกลจะใช้โลหะชิ้นเดียวต่อกับวัตถุที่ต้องการจะวัดอุณหภูมิดดยตรงโลหะขยายหรือหดตัวตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง วึ่งแรงเชิงกลที่เกิดขึ้นจะทำให้สวิตช์ควบคุมทำงานสวิตช์ประเภทนี้ใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 38 ถึง 815 องศาเซลเซียส
- แบบโลหะผสมใช้หลักการขยายตัวของโลหะที่ไม่เท่ากันเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงการเปลี่ยนรูปร่างของโลหะผสมทำให้เกิดแรงเชิงลกไปกระตุ้นการทำงานของสวิตช์ควบคุม

2.8 เทอร์โมคัพเปิล

เทอร์โมคัพเปิลเป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่เกิดจากการนำลวดโลหะ 2 ชนิดที่ไม่เหมือนกันมาเชื่อมปลายด้านหนึ่งเข้าด้วยกันเมื่อปลายลวดด้านนี้ของเทอร์โมคัพเปิลไปวางบริเวณที่ต้องการวัดอุณหภูมิจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้น ทั้งนี้แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะแปรเป็นสัดส่วนกับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างปลายด้านที่เชื่อมกันและด้านที่เปิดอยู่

2.8.1 ชนิดของเทอร์โมคัพเปิล

เทอร์โมคัพเปิลที่ใช้ในปัจจุบันมีหลายชนิดได้แก่ แบบ B, R, S, J, K, T, E แต่ละชนิดมีข้อแตกต่างทั้งในด้านคุณสมบัติและการใช้งาน เช่น ชนิดของลวดที่ใช้ ช่วงอุณหภูมิใช้งาน แรงเคลื่อนฟ้าที่ได้ เงื่อนไขบรรยากาศที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แก้การใช้งาน ลักษณะความเป็นเชิงเส้น ดังแสดงในตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบชนิดของเทอร์โมคัพเปิลแบบมาตรฐาน ชนิดของลวดที่เป็นส่วนประกอบ อุณหภูมิการใช้งาน ตลอดถึงแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้ สำหรับตารางที่ 2.2 เป็นตารางเปรียบเทียบชนิดเทอร์โมคัพเปิลกับเงื่อนไขบรรยากาศที่เหมาะสม และตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของเทอร์โมคัพเปิลแบบต่างๆ

ตารางที่ 2.1 ชนิดของเทอร์โมคัพเปิลแบบมาตรฐาน

แบบ	ส่วนผสม	อุณหภูมิที่ใช้งาน		แรงเคลื่นไฟฟ้า (mV)
		องศาเซลเซียส	องศาฟาเรนไฮต์	
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	Choromel - Alumel	-270 - 1372	-450 - 2500	- 6.458 - 54.875
T	Cu - Constantan	-270 - 400	-450 -750	- 6.258 - 20.869
E	Choromel - Constantan	-270 - 1000	-450 -1830	- 9.835 - 76.538

ตารางที่ 2.2 ชนิดของเทอร์โมคัพเปิลกับเงื่อนไขบรรยากาศที่เหมาะสม

แบบ	Oxidizing	Reducing	Inert	Vacuum	Sulfyrous	มีไอโลหะ
R	ได้	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้
S	ได้	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้
J	ได้	ได้	ได้	ได้	ไม่ได้ถ้า > 500 องศาเซลเซียส	ได้
K	ได้	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ได้
T	ได้	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ได้
E	ได้	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
114485

ตารางที่ 2.3 ข้อดีและข้อเสียของเทอร์โมคัพเปิลแต่ละชนิด

ข้อดี	ข้อเสีย
ทอร์โมคัปเปิลแบบ R - ให้แรงเคลื่อนทางด้านเอาท์พุตสูงกว่าแบบ S - วัดอุณหภูมิต่อเนื่องได้จากช่วง 0 ถึง 1600°c - วัดอุณหภูมิช่วงสั้นได้จากช่วง-50 ถึงประมาณ 1700°c - เหมาะกับการวัดอุณหภูมิสูงๆ เช่น ในเตาหลอมเหล็กอุตสาหกรรมแก้ว านทานต่อการกัดกร่อน และให้เสถียรภาพของอุณหภูมิที่	— ให้ความเป็นเชิงเส้นต่ำเพิ่ม อุณหภูมิต่ำกว่า 540°c — ต้องใช้ท่อป้องกันในทุกสภาวะบรรยากาศ — ไม่เหมาะกับงานที่มีปฏิกิริยาแบบรีดิวซิง (reduzing) — ไม่เหมาะกับงานที่เป็นสูญญากาศ(vacuum) — ไม่เหมาะกับงานที่มีไอโลหะ เช่น สังกะสี ตะกั่ว — ไม่เหมาะกับงานที่มีไอของอโลหะ เช่น จำพวก อาเซนิก ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส เพราะจะมีอายุการใช้งานสั้นลง
ทอร์โมคัปเปิลแบบ S - เหมาะกับการใช้งานในสภาวะที่เกิดปฏิกิริยาเคมีแบบออกซิไดซิง(oxidizing) - เหมาะกับการใช้งานในสภาวะงานเฉื่อย (inert) คืองานที่ไม่เปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาใดๆ ได้ง่าย ๆ - นิยมใช้กับงานวัดตัวแปรที่มีอุณหภูมิสูง เช่น เตาหลอมเหล็ก - วัดอุณหภูมิต่อเนื่องได้จากช่วง 0 ถึง 1550°c และอุณหภูมิช่วงสั้นได้จากช่วงประมาณ –50ถึงประมาณ 1700°c หากอยู่ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมจะให้ความเที่ยงตรงสูงที่สุด ใช้ในการสอบเทียบ ตั้งแต่จุดแข็งตัวของแอนติโมนี (630.74°c) จนถึงจุดแข็งตัวของทองแดง (1064.43°c) ตามมาตรฐาน IPTS 68	— ต้องใช้ท่อป้องกันในทุกสภาวะบรรยากาศ — ไม่เหมาะกับงานที่มีปฏิกิริยาแบบรีดิวซิง (reduzing) — ไม่เหมาะกับงานที่เป็นสูญญากาศ(vacuum) — ไม่เหมาะกับงานที่มีไอโลหะ เช่น สังกะสี ตะกั่ว — ไม่เหมาะกับงานที่มีไอของอโลหะ เช่น จำพวก อาเซนิก ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส เพราะจะมีอายุการใช้งานสั้นลง
เทอร์โมคัปเปิลแบบ J — ให้อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ออุณหภูมิได้ดี — มีราคาถูกกว่าแบบที่ทำจากธาตุบริสุทธิ์ — ตามมาตรฐาน BS 7937 Part 30 สามารถวัดอุณหภูมิได้ต่อเนื่องจากช่วงประมาณ –210 ถึง 1200°c เหมาะกับสภาพงานที่เป็นสุญญากาศงานที่ งานที่	— วัดอุณหภูมิได้ต่ำกว่าแบบ T — ไม่เหมาะสมมากนักกับงานที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 0°c — หากวัดที่อุณหภูมิสูงกว่า 538°c จะเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซิงที่สายซึ่งทำจากเหล็กด้วยอัตราสูง — หากใช้งานนานเกินช่วง 20 ปี ส่วนผสมทางเคมี คือ แมงกานีสในเหล็กจะเพิ่มขึ้น 0.5% ทำให้คุณสมบัติของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ข้อดีและข้อเสียของเทอร์โมคัพเปิลแต่ละชนิด (ต่อ)

ข้อดี	ข้อเสีย
ก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิไดซิง และงานที่อยู่ในสภาพเฉื่อย เมื่ออุณหภูมิไม่เกิน 760 องศาเซียสเซส — นิยมใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติก — เป็นแบบที่นิยมใช้ ราคาไม่แพง	
เทอร์โมคัปเปิลแบบ K — เป็นแบบที่นิยมใช้แพร่หลายมากที่สุด — สำหรับการวัดอุณหภูมิช่วงสั้น ๆ จะวัดได้จาก –180^{0}c ถึงประมาณ 1,350^{0}c — สามารถใช้วัดในงานที่มีปฏิกิริยาออกซิไดซิง หรือสภาวะแบบเฉื่อย(inert) ได้ดีกว่าแบบอื่น ๆ — สามารถใช้กับสภาพงานที่มีการแผ่รังสีความร้อนได้ดี — ให้อัตราการเปลี่ยนแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ออุณหภูมิดีกว่าแบบอื่น ๆ (ความชันเกือบเป็น 1) และมีความเป็นเชิงเส้นมากที่สุดในบรรดาเทอร์โมคัปเปิลด้วยกัน	— ไม่เหมาะกับการวัดที่ต้องสัมผัสกับปฏิกิริยารีดิวซิงและออกซิไดซิงโดยตรง — ไม่เหมาะกับงานที่มีไอของซัลเฟอร์ — ไม่เหมาะกับสภาพงานที่เป็นสุญญากาศ (ยกเว้นจะใช้ในช่วงเวลาสั้นๆ) — หลังการใช้งานไป 30 ปี ทำให้ส่วนผสมทางเคมีเปลี่ยนไป เป็นผลทำให้คุณสมบัติของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนไป
เทอร์โมคัปเปิลแบบ T — ดีกว่าแบบ K ตรงที่สามารถวัดอุณหภูมิได้ต่ำกว่า นั่นคือเหมาะกับการวัดอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ เช่นในห้องเย็น ตู้แช่แข็ง — ให้ความแน่นอนในการวัดดีกว่าแบบ K (ช่วงที่ต่ำกว่า 100^{0}c ความแน่นอนจะเป็น ± 1%) — มีเสถียรภาพในการวัดอุณหภูมิดี — การวัดสภาพงานที่เป็นสุญญากาศงานที่มีปฏิกิริยาแบบออกซิไดซิงรีดิวซิงและงานที่มีปฏิกิริยาแบบเฉื่อยจะทำได้ดี — วัดอุณหภูมิอย่างต่อเนื่องได้จากช่วง –185 ถึง 300^{0}c และวัดอุณหภูมิแบบช่วงสั้นๆ ได้จากช่วง –250 ถึง 400 ^{0}c — ทนต่อบรรยากาศที่มีการกัดกร่อนได้	— เป็นแบบที่วัดอุณหภูมิช่วงบวกได้น้อยกว่าแบบอื่นๆ หากใช้วัดอุณหภูมิที่สูงกว่า 370 ^{0}cจะทำให้เกิดออกไซมาก — ไม่เหมาะกับการวัดอุณหภูมิที่สัมผัสกับการแผ่รังสีความร้อนโดยตรง(ทำให้ส่วนผสมของวัสดุที่ใช้ทำเปลี่ยนไป คุณสมบัติทางไฟฟ้าเปลี่ยนไปด้วย) — เมื่อใช้งานไปนาน ๆ ในช่วง 20 ปี ส่วนผสมของนิเกิลและสังกะสี จะเพิ่มประมาณ 10% ทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน — คุณสมบัติของแรงเคลื่อนต่ออุณหภูมิไม่เป็นเชิงเส้น (แต่ก็ปรับปรุงได้จากวงจรปรับสภาพสัญญาณ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ข้อดีและข้อเสียของเทอร์โมคัพเปิลแต่ละชนิด (ต่อ)

ข้อดี	ข้อเสีย
เทอร์โมคัปเปิลชนิด E – ให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุดเมื่อวัดอุณหภมิเทียบกับแบบอื่น ๆ ในสภาวะเดียวกัน วัดอุณหภูมิต่อเนื่องได้จากช่วง 0 ถึง 800^{0}c	

2.9 วัสดุที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปร้อน

วัสดุที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกด้วยสุญญากาศแบบมีแทงกดช่วยนั้นต้องมีลักษณะที่เป็นแผ่นซึ่งต้องมีความหนาไม่มากนักเนื่องจากกระบวนการขึ้นรูปด้วยวิธีนี้เป็นกระบวนการที่ใช้แรงดันที่ต่ำ นิยมใช้พลาสติกในกลุ่มที่ไม่มีผลึก มากกว่ากลุ่มกึ่งผลึก เนื่องจากพลาสติกในกลุ่มที่ไม่มีผลึกมีช่วงอุณหภูมิในการแปรรูปที่กว้าง จึงทำให้มีความสะดวกในการแปรรูป ตัวอย่างพลาสติกที่ใช้ในการแปรรูป มีดังนี้

- พอลิสไตรีนที่อยู่ในรูปของพอลิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก (high impact polystyrene, HIPS) ของพอลิสไตรีน นิยมใช้ในการทำเทอร์โมฟอร์มมาก เนื่องจากมีราคาไม่แพง ความหนาแน่นต่ำ จึงทำให้ได้ชิ้นงานที่เบา ชิ้นงานมีความแข็งแรงปานกลาง ใช้ทำผลิตภัณฑ์เช่น บรรจุภัณฑ์ที่มีความคงตัว (dimensionally stable packaging) บรรจุภัณฑ์ของบอร์ดคอมพิวเตอร์ และ ใช้บรรจุสินค้าที่ต้องการโชว์ให้เห็นตัวสินค้าภายใน (point-of-purchase displays)เป็นต้น HIPS มีอุณหภูมิในการขึ้นรูป 150 องศาเซลเซียส
- พอลิเมอร์ร่วมระหว่าง อะคริโลไนไตรล์ บิวทาไดอีนและสไตรีน (ABS) ใช้ผลิตเป็นผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความทนทานต่อแรงกระแทกที่อุณหภูมิต่ำๆได้ดี เช่น ส่วนประกอบภายในตู้ทำความเย็นและเครื่องทำน้ำแข็ง ทำส่วนประกอบของเฟอร์นิเจอร์และอุปกรณ์ตกแต่งภายในบ้าน และอุปกรณ์สำนักงาน เป็นต้น
- พอลิเอทิลีน (HDPE) เป็นวัสดุที่มีราคาถูกใช้ผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ประเภทกล่องต่างๆ ถาดใส่ของ แผ่นปูรองกระบะรถยนต์ ทนต่อแรงกระแทกดีมากและทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี
- พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นและน้ำหนักโมเลกุลสูง (HMW-HDPE) มีสมบัติโดยทั่วไปคล้ายกับ HDPE แต่มีความแข็งแรงและทนต่อแรงกระแทกที่อุณหภูมิได้ดีกว่า นิยมใช้ทำถาดในทางการแพทย์ และถาดใส่ของต่างๆ เป็นต้น
- พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) ผลิตภัณฑ์จากวัสดุนี้มีสมบัติเด่น คือ ทนแรงกระแทกสูง แข็ง มีความเงาสูง ทนต่อสารเคมี ทนไฟและทนต่อสถาวะอากาศภายนอก จึงเหมาะแก่การผลิตประตูห้องน้ำ อุปกรณ์ใส่สารเคมี กล่องบรรจุภัณฑ์ อุปกรณ์ที่ใช้ภายนอกบ้าน เป็นต้น
- พอลิโพรพีลีน (PP) เป็นพลาสติกในกลุ่มกึ่งผลึก จึงต้องควบคุมอุณหภูมิในการแปรรูปอย่างละเอียด เนื่องจากมีช่วงอุณหภูมิของการอ่อนตัวแคบ ชนิดที่นิยมใช้ในการขึ้นรูปร้อนมากที่สุด คือ PP ที่ผสมด้วยดินขาว (Clay)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากมีความแข็งและทนแรงกระแทกได้ดีมากนอกจากนี้ยังผลิตผลิตภัณฑ์ได้หลากสีและมีอุณหภูมิการอ่อนตัว (Heat distortion temperature) สูง นิยมใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานที่อุณหภูมิสูง

- พอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเรท (PET) นิยมใช้อย่างมากในการทำบรรจุภัณฑ์อาหารและอุปกรณ์อื่นๆ ที่ต้องการความใส สมบัติเด่นของวัสดุชนิดนี้คือ มีความใส มีสมบัติเชิงกลที่ดี และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ 100 เปอร์เซนต์

ในงานวิจัยนี้จะใช้พอลิสไตรีน ซึ่งเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในกระบวนการขึ้นรูปร้อนมากที่สุด เนื่องจากกระบวนการขึ้นรูปร้อนทำได้ง่าย มีช่วงอุณหภูมิการขึ้นรูปที่กว้าง นอกจากนี้แล้วยังมีราคาถูก ใส ง่ายต่อการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากพอลิสไตรีนส่วนใหญ่ ได้แก่ แก้วน้ำที่ใช้แล้วทิ้ง บรรจุภัณฑ์ต่างๆ พอลิสไตรีนแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1) พอลิสไตรีนเพื่อการใช้งานทั่วๆ ไป (General purpose polystyrene,GPPS) สมบัติเด่น คือมีความใสมาก มีค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ในช่วงระหว่าง 74-105 องศาเซลเซียส ทำให้มีสมบัติแข็งเปราะที่อุณหภูมิห้อง
2) พอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกสูง (High impact polystyrene,HIPS) เตรียมได้จากอิมัลชันพอลิเมอไรเซชันของสไตรีนในพอลิบิวทาไดอีน มีสมบัติเด่น คือ มีความทนทานต่อแรงกระแทกสูง นิยมใช้ในการขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ต่างๆ
3) โฟมพอลิสไตรีน (Expandable polystyrene,EPS) ผลิตจากเม็ดพอลิสไตรีนแลเก๊าซไฮโดรคาร์บอนหรือสารช่วยพองตัว เช่น บิวเทน เพนเทน เป็นต้น ใช้ผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ใส่อาหาร

สำหรับตารางแสดงคุณสมบัติของพลาสติกโพลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกสูง แสดงไว้ในภาคผนวก ค

2.9.1 ความต้องการความร้อน

ในกระบวนการขึ้นรูปร้อนด้วยการแผ่รังสีความร้อนไปยังวัตถุหนึ่ง ๆ วัตถุนั้น จะมีความสามารถในการดูดซับความร้อนนั้นไว้ได้ และเมื่อถึงขีดจำกัดของวัตถุนั้น ๆ วัตถุก็จะเริ่มมีการเปลี่ยนสถานะ ซึ่งสามารถคำนวณหาพลังงานความร้อนที่วัตถุต้องการในการเปลี่ยนแปลงสถานะได้ดังสมการ

พลังงานความร้อนที่ต้องการ = น้ำหนักของวัตถุ x ความจุความร้อนจำเพาะ x อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป (2.10)

คำนวณหากำลังฮีตเตอร์จาก พลังงานความร้อนที่ต้องการ(J)/เวลาในการให้ความร้อน(s) (Watt)

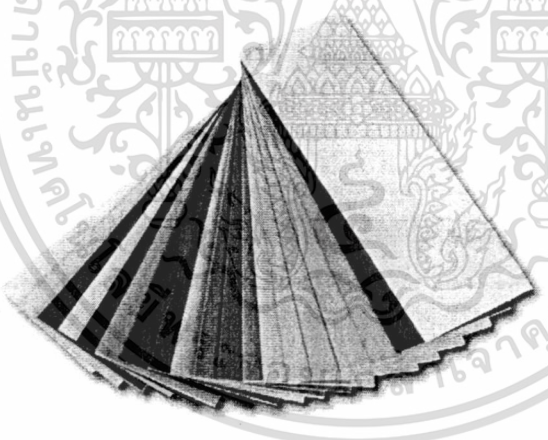
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็นสี่ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเป็นการคำนวณเพื่อเลือกใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมสำหรับระบบ ขั้นตอนที่สองเป็นการออกแบบส่วนประกอบต่าง ๆ เพื่อสร้างเครื่องขึ้นรูปร้อน ขั้นตอนที่สามเป็นการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่อง และขั้นตอนที่สี่เป็นการทดลองขึ้นรูปชิ้นงานจากเครื่องที่ได้จัดสร้าง พร้อมทั้งศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานและทดสอบชิ้นงาน

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1. แผ่นพลาสติกพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกสูง (High Impact Polystyrene) ขนาด 1.8x2.5 m หนา 1 mm แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผ่นพลาสติกพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 อุปกรณ์ทางกล

1) แม่พิมพ์เรซิน 1 ชุด
2) กระบอกลม 2 ทาง 2 ตัว
3) กระบอกลมสไลด์ 1 ตัว
4) ชุดแท่งเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ซม. ยาว 80 ซม. จำนวน 2 แท่ง
5) บุชรางเลื่อน จำนวน 4 ตัว
6) โครงเหล็กสำหรับยึดอุปกรณ์ต่าง ๆ
7) อินฟาเรดฮีเตอร์ ขนาด 800 วัตต์ จำนวน 2 ตัว
8) ฉนวนใยแก้ว
9) สายลมขนาด 6 มิลลิเมตร ยาว 10 เมตร ขนาด 8 มิลลิเมตร จำนวน 1 เมตร และขนาด 12 มิลลิเมตร ยาว 3 เมตร
10) ข้อต่อลม

3.2.2 อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงาน

1) สวิตช์กด 2 ตัว
2) สวิตช์หมุน 2 ตัว
3) เบรกเกอร์ 1 ตัว
4) ชุดควบคุมอุณหภูมิ -40 – 1,200 องศาเซลเซียส (Shimaden R64) 1 ตัว พร้อมเทอร์โมคัพเปิลชนิด K
5) ชุดกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 0 – 30 โวลต์ 1 ชุด
6) โซลินอยด์วาล์วขนาด 24 โวลต์ จำนวน 4 ตัว
7) วาล์วปรับอัตราการไหล
8) พีแอลซียี่ห้อมิตซูบิชิรุ่น FX0s-30MT อินพุทไฟกระแสสลับ 240 โวลต์ เอาพุทไฟกระแสตรง 24 โวลต์ 30 I/O จำนวน 1 ตัว

3.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปและทดสอบชิ้นงาน

1) เครื่องขึ้นรูปร้อนแบบสุญญากาศและมีตัวช่วยกด
2) เครื่องปั๊มอากาศ
3) เครื่องปั๊มดูดอากาศ
4) ไมโครมิเตอร์

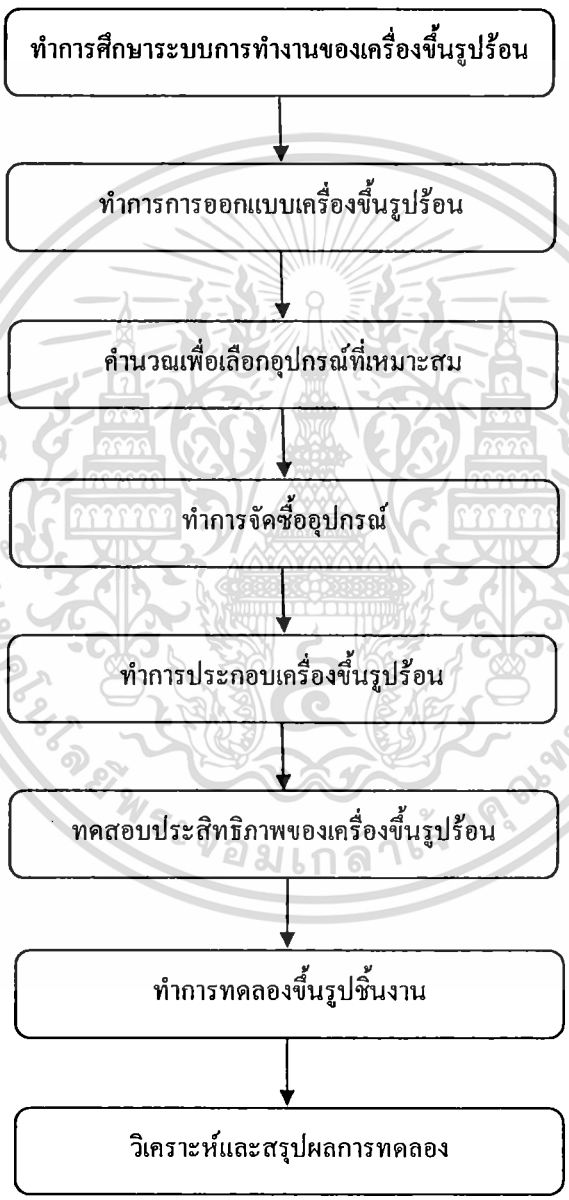
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของชุดทำความร้อน

1) เทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การดำเนินงานวิจัย มีลำดับขั้นตอนในการดำเนินงานดังรูปที่ 3.2



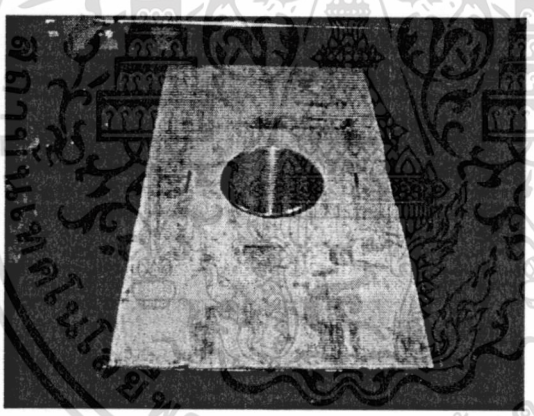
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 การออกแบบเครื่องขึ้นรูปร้อนด้วยสุญญากาศแบบใช้แท่งกดช่วย

3.3.1.1 ส่วนประกอบต่าง ๆของเครื่องขึ้นรูปร้อน

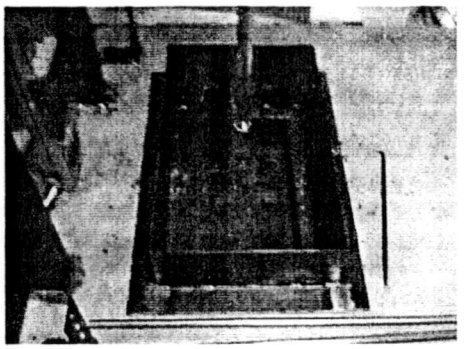
1) เบ้าแม่พิมพ์หรือแม่พิมพ์ตัวเมียในการทดลองนี้ออกแบบเป็นรูปถ้วยเพื่อประโยชน์ในการศึกษาความแตกต่างของความหนาของผนังเมื่อขึ้นรูปด้วยปัจจัยการขึ้นรูปต่าง ๆ กัน และง่ายในการจัดสร้าง โดยที่แม่พิมพ์ทำจากพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัวเนื่องจากมีราคาถูกและสามารถหล่อขึ้นได้เอง โดยผสมเรซิน สารตัวเร่งปฏิกิริยาและตัวทำแข็ง โดยใช้ปริมาณน้ำยาเรซินจำนวน 7 ลิตรและปริมาณการใช้สารตัวเร่งปฏิกิริยามีสัดส่วน 0.5 เปอร์เซ็นต์ และตัวทำแข็งมีสัดส่วน 1-2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แล้วเทลงในแม่แบบให้ได้ขนาด กว้าง 19 ซม. ยาว 31 ซม. และสูง 10 ซม. เมื่อหล่อพอลิเมอร์จนแข็งตัวแล้ว นำมาทำการขึ้นรูปเป็นแม่พิมพ์โดยใช้เครื่องกลึงและเครื่องกัด หลังจากขึ้นรูปแม่พิมพ์ได้ตามแบบที่ต้องการแล้ว ขัดแม่พิมพ์ด้วยกระดาษทรายเบอร์หยาบและละเอียดตามลำดับ วัดขนาดแม่พิมพ์ที่สร้างขึ้นด้วยเวอร์เนียและไม้บรรทัด แม่พิมพ์มีขนาดภายนอก คือ กว้าง 19 ซม. ยาว 31 ซม. และสูง 10 ซม. ซึ่งแม่พิมพ์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขอบถ้วยด้านบน 7 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลางขอบถ้วยด้านก้นถ้วยเท่ากับ 5 ซม. และลึก 8 ซม. เจาะรูดูดอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แม่พิมพ์

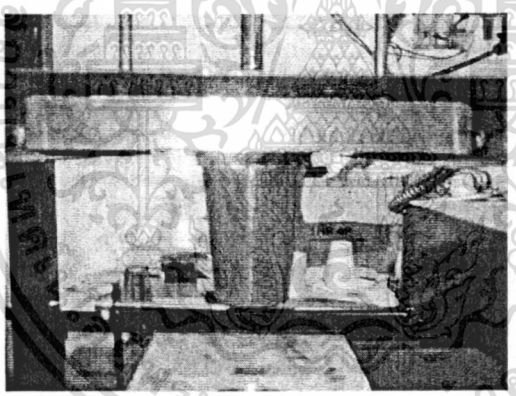
2) โต๊ะวางแม่พิมพ์ เป็นส่วนประกอบสำคัญในการสร้างระบบสุญญากาศและทำหน้าที่รองรับแม่พิมพ์ ทำจากเหล็กแผ่นหนา 1 มม. เชื่อมต่อกันเป็นรูปกล่องขนาดใหญ่กว่าแม่พิมพ์เล็กน้อย ทั้งนี้เพื่อให้การรักษาความดันสุญญากาศในขณะขึ้นรูปสม่ำเสมอ โดยเจาะรู ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 เซนติเมตร และเชื่อมต่อกับท่อดูดอากาศทางด้านล่าง มีลักษณะดังรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 โต๊ะวางแม่พิมพ์

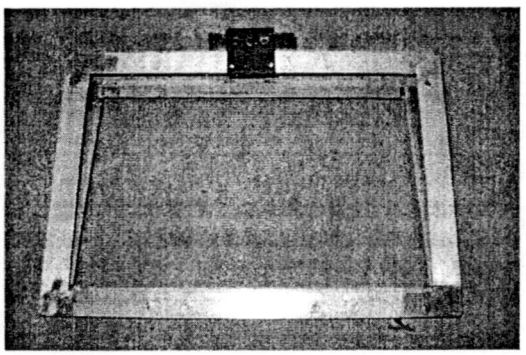
3) ตัวช่วยกดหรือแม่พิมพ์ตัวผู้ เป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการศึกษาการทำงานของเครื่องในระบบสุญญากาศแบบใช้ตัวช่วยกด ซึ่งตัวช่วยกดในการทดลองนี้ทำจากวัสดุชนิดเดียวกับแม่พิมพ์เนื่องจากเหตุผลเดียวกัน ลักษณะของตัวช่วยกดมีรูปร่างคล้ายกับแม่พิมพ์โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านบน 8 เซนติเมตร ด้านล่าง 5 เซนติเมตร และลึก 12 เซนติเมตร จำนวน 1 ชิ้น ยึดติดกับแผ่นเรซินสี่เหลี่ยมขนาด 18x30x2 เซนติเมตร ด้วยตะปูเกลียวลักษณะของตัวช่วยกด แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ตัวช่วยกด

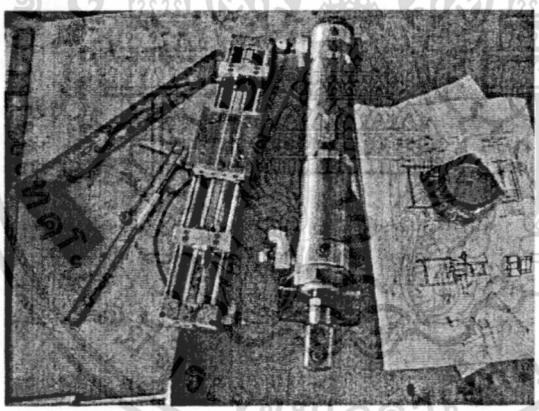
4) ส่วนจับยึดแผ่นพลาสติก ทำจากเหล็กแผ่นเชื่อมเป็นกรอบสี่เหลี่ยมสองกรอบ ขนาด 29x41 ตารางเซนติเมตร เหตุผลเนื่องจากขนาดของแผ่นวัตถุดิบจะต้องเว้นระยะห่างจากขอบแม่พิมพ์อย่างน้อยด้านละ 1 นิ้ว เนื่องจากพลาสติกส่วนที่เว้นไว้นี้ จะห้อยตัวต่ำกว่าขอบโต๊ะวางแม่พิมพ์ส่งผลให้การสร้างระบบสุญญากาศสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น โดยเหล็กทั้งสองกรอบประกบกันด้วยบานพับ แล้วเจาะรูยึดน็อตเพื่อทำหน้าที่ยึดแผ่นพลาสติกระหว่างการขึ้นรูป ลักษณะของส่วนจับยึดแผ่นพลาสติก แสดงในรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.6 ส่วนจับยึดแผ่นพลาสติก

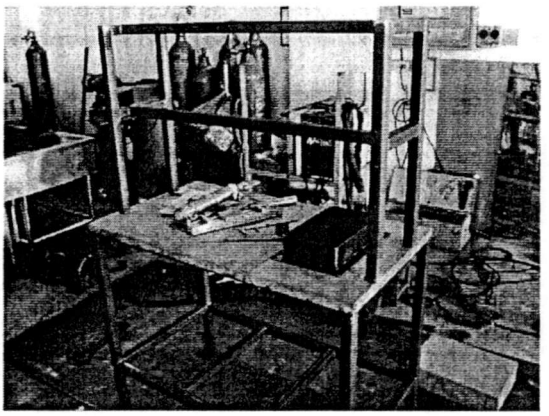
) กระบอกลมดังแสดงในรูปที่ 3.7 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเลื่อนตำแหน่งของส่วนประกอบหลักต่าง ๆ ของเครื่องขึ้นรูปร้อน ซึ่งได้แก่ ส่วนให้ความร้อน โต๊ะวางแม่พิมพ์ ตัวช่วยกด และที่จับยึดแผ่นพลาสติกดังรูปที่ 3.7 หลักการในการเลือกใช้กระบอกลมควรคำนึงถึงน้ำหนักหรือภาระงานที่จะใช้กับกระบอกลมนั้น นอกจากนี้ยังต้องให้ความสำคัญกับทิศทางและระยะของการเคลื่อนที่ด้วย สำหรับเครื่องมือที่ออกแบบนี้มีแนวทางการเลือกใช้กระบอกลมสามารถคำนวณจากสมการที่ 2.2



รูปที่ 3.7 กระบอกลม

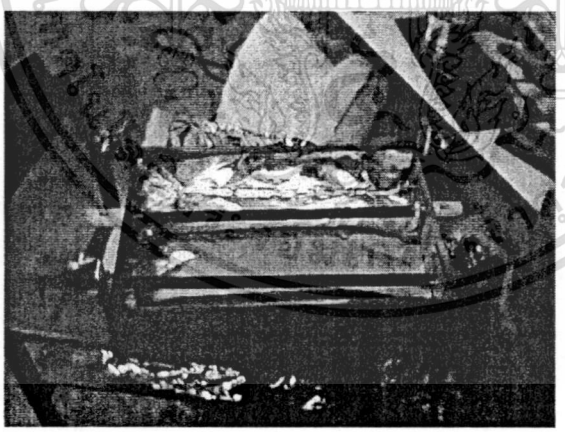
) โครงเหล็ก ใช้ในการยึดส่วนประกอบต่าง ๆ เข้าด้วยกัน ทำจากเหล็กกล่องขนาด 1.5x1.5 นิ้ว และ หนา 0.04 นิ้ว มาเชื่อมต่อกัน จากนั้นเชื่อมประกบเป็นพื้นโต๊ะด้วย แผ่นเหล็กขนาด 60x110 เซนติเมตร จากนั้นทาสีรองพื้นกันสนิม พร้อมทั้งทาสีน้ำมันเคลือบทับอีกชั้นหนึ่ง โครงเหล็กที่ได้รับการประกอบแล้วจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 โครงหล็ก

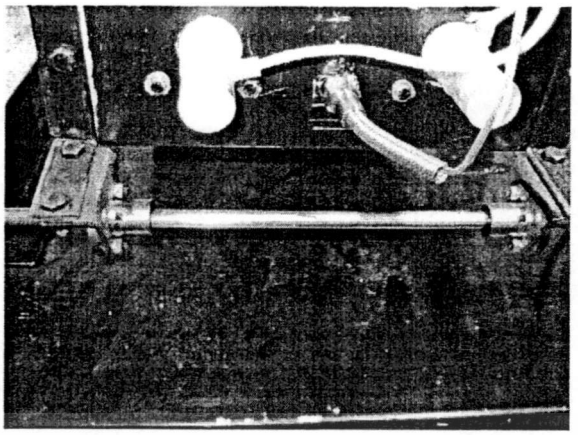
) ส่วนให้ความร้อน โครงสร้างภายนอกทำจากเหล็กแผ่นหนา 1 มิลลิเมตร เชื่อมเป็นรูปกล่องฝาเปิดขนาด 28x40x10 เซนติเมตร ขนาดของส่วนให้ความร้อนถูกออกแบบให้ใหญ่กว่าแผ่นพลาสติกเนื่องจากกระบวนการขึ้นรูปจริง เพราะจะได้ความร้อนทั่วถึงในทุกส่วนของแผ่น ป้องกันการสูญเสียความร้อนด้วยการบุฉนวน ตัวกล่องมีการเจาะรูจำนวน 4 รู เพื่อใช้ในการประกอบและติดตั้งอินฟาเรดฮีตเตอร์ ขนาด 800 วัตต์ จำนวน 2 ตัว เข้ากับกล่องเหล็กด้านใน โดยวางขนานกัน และมีแผ่นเหล็กรูปฉาก ยึดอินฟาเรดฮีตเตอร์ทั้งสี่มุมให้แน่น นำชิ้นส่วนที่ประกอบได้ในขั้นตอนนี้ไปติดกับตัวบุชทั้งสี่ด้านของกล่องเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวเลื่อนส่วนให้ความร้อน จะได้ลักษณะดังรูปที่ 3.9 ซึ่งรายละเอียดในการเลือกใช้ส่วนให้ความร้อนสามารถหาได้ด้วยสมการที่ 2.5



รูปที่ 3.9 ส่วนให้ความร้อน

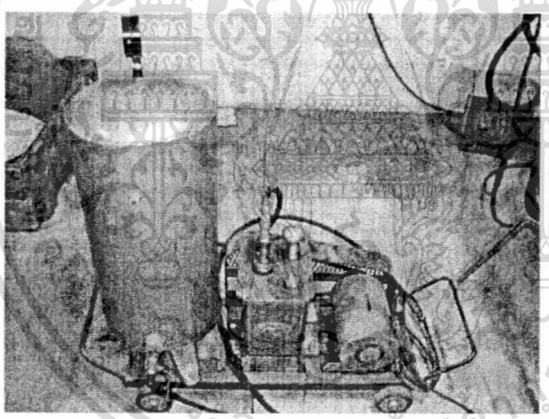
) รางเลื่อน ทำหน้าที่เป็นแนวเคลื่อนที่ของส่วนให้ความร้อน ทำจากเหล็กกลมแท่ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ยาว 8 เซนติเมตร จำนวน 2 แท่ง ดังรูปที่ 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 รางเลื่อน

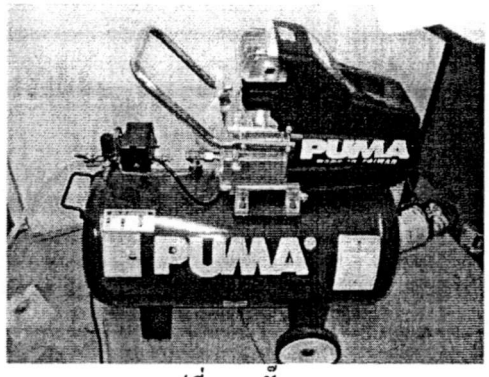
9) ปั๊มสุญญากาศ เป็นส่วนที่ใช้สร้างระบบสุญญากาศของกระบวนการปั๊มขึ้นรูปพลาสติก ซึ่งมีความสามารถในการสร้างสุญญากาศความดัน $1.1x10^{5}$ MPa เพียงพอต่อความต้องการในแต่ละรอบของการทำงาน ลักษณะของปั๊มสุญญากาศ แสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ปั๊มสุญญากาศ

10) ปั๊มลม สำหรับระบบที่ต้องมีการใช้ลมอัด จำเป็นที่จะต้องมีปั๊มลมอัด ซึ่งประกอบไปด้วยถังเก็บลมและมอเตอร์อัดอากาศ ซึ่งขนาดของถังเก็บลมต้องมีความเพียงพอต่อการใช้งาน ขึ้นอยู่กับขนาดของอุปกรณ์ลมและความถี่ในการใช้งาน ในการทดลองนี้ใช้ปั๊มลมขนาด 3 HP สามารถสำรองลมอัดได้ 50 ลิตร แสดงดังรูปที่ 3.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 ปั๊มลม

3.3.2 ชุดควบคุมการทำงาน

ชุดควบคุมการทำงานของเครื่องประกอบด้วยชุดควบคุมระบบการทำงาน (PLC) และชุดควบคุมส่วนให้ความร้อน

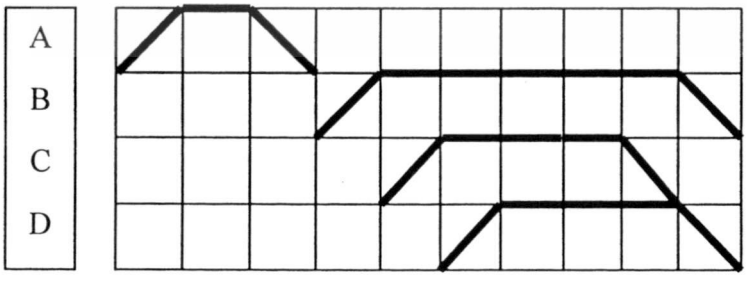
3.3.2.1 ชุดควบคุมระบบการทำงานของเครื่อง (PLC)

ชุดควบคุมระบบการทำงานของเครื่อง (PLC)เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดลำดับขั้นตอนการทำงานให้กับอุปกรณ์ทางกลของเครื่อง ซึ่งก็คือ กระบอกลม โดยผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่าโซลินอยด์วาล์ว ซึ่งมีหน้าที่ปิดเปิดลม และพวกสวิตช์บอกตำแหน่งต่าง ๆ ซึ่งทำหน้าที่ส่ง Input ให้กับ PLC โดยก่อนที่ PLC จะสั่งงานได้ ก็จะต้องมีการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เหล่านี้ รวมถึงจะต้องมีการเขียนโปรแกรมเพื่อใส่เข้าไปในหน่วยความจำของ PLC เพื่อที่จะได้ทำการประมวลผลและจัดลำดับการทำงานต่อไป ซึ่งการออกแบบวงจรการทำงานของระบบนิวเมติกส์ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.13 และ 3.14 ซึ่งแสดงลำดับการทำงานแบบ Sequence และวงจร Ladder Diagram ตามลำดับ

Sequence : A+ delay / A- {B+ delay} C+ delay D+/ C- { B- D-}

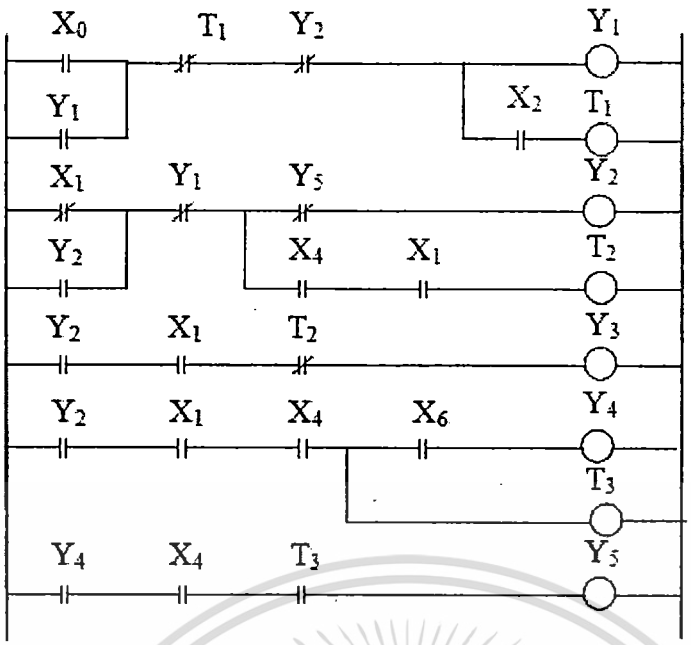
A = กระบอกลมที่เลื่อนส่วนให้ความร้อน B = กระบอกลมไสลด์

C = กระบอกลมตัวปั้ม D = ปั๊มสุญญากาศ



รูปที่ 3.13 ลำดับการทำงานของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 Ladder Diagram

Y_1 = โซลินอยควบคุมกระบอก A

Y_2 = โซลินอยควบคุมกระบอก B

Y_3 = โซลินอยควบคุมกระบอก C

Y_4 = โซลินอยควบคุมปั๊มสุญญากาศ

$X_{1,2}$ = sensor ระบุตำแหน่งกระบอกลม A

$X_{3,4}$ = sensor ระบุตำแหน่งกระบอกลม B

$X_{5,6}$ = sensor ระบุตำแหน่งกระบอกลม C

$T_{1,2,3}$ = Timer หน่วงเวลา

ลำดับการทำงานของวงจร Ladder Diagram สามารถอธิบายได้ ดังนี้

Line 1 เมื่อเปิดสวิต X_0 ให้เครื่องเริ่มทำงาน จะทำให้ Y_1 คือ โซลินอยควบคุมกระบอก A ทำงาน และเมื่อกระบอก A เลื่อไปจนถึงตำแหน่ง X_2 ทำให้ T_1 Timer จะหน่วงเวลาในการทำงานเมื่อ Timer ทำงาน แล้วจะไปตัดไฟ ทำให้ Y_1 แล T_1 หยุดทำงาน

Line 2 เมื่อ Y_1 หยุดทำงานแล้วไฟจะวิ่งผ่านทำให้ Y_2 คือ โซลินอยควบคุมกระบอก B ทำงาน และเมื่อกระบอก B เลื่อไปจนถึงตำแหน่ง X_4 T_2 Timer จะหน่วงเวลาในการทำงาน

Line 3 เมื่อ Y_2 ทำงานและกระบอก A เลื่อนไปกลับจนถึงตำแหน่ง X_1 ทำให้ Y_3 คือ โซลินอยควบคุมกระบอก C ทำงาน และเมื่อ T_2 ทำงานแล้วจะไปตัดไฟทำให้ Y_3 หยุดทำงาน

Line4 เมื่อ Y_2 ทำงานและกระบอก A เลื่อนไปกลับจนถึงตำแหน่ง X_1 ทำให้ T_3 Timer จะหน่วงเวลาในการทำงาน และเมื่อกระบอก C เลื่อนไปจนถึงตำแหน่ง X_6 ทำให้ Y_4 คือโซลินอยควบคุมปั๊มสุญญากาศทำงาน

Line 5 เมื่อ T_3 ทำงานทำให้ Y_5 ทำงาน ซึ่ง Y_5 จะไปหยุดดการทำงานของ Y_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.2 ชุดควบคุมส่วนให้ความร้อน

ชุดควบคุมส่วนให้ความร้อน (Temperature Controll) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายกระแสไฟให้กับฮีตเตอร์เพื่อทำความร้อน โดยจะถูกต่อเชื่อมด้วยโซลิดสเตจรีเลย์ ซึ่งทำหน้าที่ในการตัดต่อกระแสไฟที่จ่ายไปยังฮีตเตอร์ และเทอร์โมคัพเปิล ซึ่งทำหน้าที่วัดอุณหภูมิแล้วส่งกลับมายังชุดควบคุมอุณหภูมิ โดยเริ่มแรก จะต้องมีการตั้งค่าอุณหภูมิที่ต้องการให้กับชุดควบคุมก่อน พร้อมทั้งตั้งค่าช่วงอุณหภูมิสูงสุดต่ำสุดไว้ด้วย เพื่อรักษาอุณหภูมิที่ต้องการไว้ โดยชุดควบคุมอุณหภูมิมีหลักการทำงาน คือ ถ้าอุณหภูมิของฮีตเตอร์เพิ่มสูงเกินกว่าอุณหภูมิสูงสุดที่ตั้งไว้ ชุดควบคุมจะสั่งให้โซลิดสเตจรีเลย์ทำการตัดกระแสไฟไม่ให้จ่ายไปยังฮีตเตอร์ แต่ถ้าอุณหภูมิของฮีตเตอร์ลดลงจนต่ำกว่าอุณหภูมิต่ำสุดที่ได้ตั้งค่าไว้ ชุดควบคุมอุณหภูมิจะสั่งให้โซลิดสเตจรีเลย์ทำการจ่ายกระแสไฟให้กับฮีตเตอร์

3.3.3 การคำนวณเพื่อเลือกอุปกรณ์ที่เหมาะสม

สมการการคำนวณ

ความดันใช้งาน

สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$P = F/A \quad (2.2)$$

$$A = \pi D^2/4 \quad (2.3)$$

เมื่อ P คือ ความดัน

A คือ พื้นที่หน้าตัดในการกดชิ้นงาน

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางในการกดชิ้นงาน

กำหนดแรงที่ใช้ในการปั๊ม จากกราฟการทดลองการปั๊มแผ่นพลาสติกพอลิเอทิลีนหนา 1 มม.(ดังแสดงในภาคผนวก จ.) ซึ่งมีค่ามอดดูลัสยืดหยุ่นน้อยกว่าพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกสูงเกือบสองเท่า จะเกิดการเสียรูปเมื่อมีแรงกดของพันช์ที่ 450 นิวตัน ในการปั๊มแผ่นพลาสติกพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกสูงจึงทำการปรับแรงในการปั๊มเป็น สองเท่า เพื่อเป็นการเผื่อแรงในการปั๊ม เป็น 900 นิวตัน แล้วทำการ คำนวณหาขนาดกระบอกลมเพื่อใช้ในการปั๊ม ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 2.2

เส้นผ่านศูนย์กลางในการกดชิ้นงาน 5 เซนติเมตร

$A = (3.14)x(0.05)^2/4 = 1.96X10^3$ ตารางเมตร

จะได้ $P = 900\ (N)/(1.9x10^3)(m^2) = 4.73x10^5\ N/m^2$

$= 4.73$ bar

เลือกใช้ค่าความดันใช้งาน 6 bar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณหาขนาดกระบอกลมที่ใช้ปั๊มขึ้นรูป [1]

กำหนดค่าความดันใช้งาน 6 bar

แรงที่ใช้ในการปั๊ม 900 N

จากสมการ $A = F/P$ (2.2)

$A = \pi D^2/4$ (2.3)

จะได้ $\pi D^2/4 = 900\ (N)/6x10^5\ (N/m^2)$

$D^2 = (0.0015\ m^2 \times 4)/\ \pi$

$D = 0.043\ m$

$= 4.3\ cm$

ดังนั้นเลือกใช้กระบอกในการปั๊มขึ้นรูปเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 5 cm ในการปั๊มขึ้นรูป

อัตราการใช้ลม

$$Q = H \times (q_s + q_t) \times h \quad (2.1)$$

กำหนดให้ Q = อัตราการใช้ลม (NL/min) q_s = อัตราการใช้ลมที่ช่วงชัก 1 ซม. จังหวะดัน

H = ช่วงชักของกระบอกสูบ q_t = อัตราการใช้ลมที่ช่วงชัก 1 ซม. จังหวะดึง

h = จำนวนครั้งต่อนาที

หมายเหตุ q_s และ q_t สามารถหาได้จากตารางอัตราการใช้ลมระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกและความดันใช้งาน ซึ่งได้ทำการคำนวณกระบอกลมจำนวน 3 ตัว แล้วทำการหาอัตราการใช้ลมรวม ซึ่งจากผลการคำนวณสามารถที่จะเลือกใช้ถังเก็บลมขนาด 50 ลิตรได้

ในที่นี้ได้สมมติให้กระบอกทั้ง 3 ตัว มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เท่ากันคือ 7 cm เพื่อหาอัตราการใช้ลมรวมสูงสุด และที่ค่าความดันใช้งาน 6 bar ซึ่งเป็นการเผื่อค่าไว้เกินกว่าที่คำนวณได้

จากตารางอัตราการใช้ลม จะได้

$q_s = 0.272$

$q_t = 0.246$

กระบอกลมกระบอกที่ 1 มีช่วงชัก 35 cm

$Q_1 = 35x(0.272+0.246)x1 = 18.13$ Nl/min

กระบอกลมกระบอกที่ 2 มีช่วงชัก 34 cm

$Q_2 = 34x(0.272+0.246)x1 = 17.61$ Nl/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบอกลมกระบอกที่ 3 มีช่วงชัก 3 cm

$$Q_3 = 3x(0.272+0.246)x1 = 1.55 \quad Nl/min$$

$$Q_{รวม} = 37.29 \quad Nl/min$$

ความต้องการความร้อน

พลังงานความร้อนที่ต้องการ = น้ำหนักของวัตถุ x ความจุความร้อนจำเพาะ x อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป

จาก น้ำหนักของวัตถุ = ปริมาตรxความหนาแน่น

$$= (0.41x0.29x0.001)(m^2) \times (1045)(Kg/m^2)$$

$$= 0.124 \quad Kg$$

ความจุความร้อนจำเพาะ 1402 J/Kg.K

อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป 120 K

จะได้พลังงานความร้อนที่ต้องการ = $(0.124)(Kg) \times (1402)(J/Kg.K) \times (120)(K)$

$$= 20,862 \ J$$

คำนวณหากำลังฮีตเตอร์จาก พลังงานความร้อนที่ต้องการ(J)/เวลาในการให้ความร้อน(s) (Watt)

เลือกใช้ฮีตเตอร์ขนาด 800 W จำนวนสองตัว มาต่อกัน

หมายเหตุ คุณสมบัติทางความร้อนของแผ่นพลาสติก HIPS แสดงดังตารางคุณสมบัติในภาคผนวก ค.

คำนวณหา ปริมาตรถังลมสุญญากาศ

จากสูตร $(V_0 \times P_0) + (V_m \times P_m) = V_t \times P_t$

เมื่อ V_0 = ปริมาตรถังลม, ประกอบด้วยท่อที่ต่อไปยังวาล์วควบคุมสุญญากาศ

V_m = ปริมาตรของโมล

$V_t = V_0 + Vm$

P_0 = ความดันสมบูรณ์ในถังลม (0.5 psi)

P_m = ความดันเริ่มต้นในโมลที่ระดับน้ำทะเล (14.7 psi)

P_t = ความดันใช้งานที่ต้องการ (7.63 psi)

ปริมาตรของโมล = $4x30x18 \ cm^3$

$$= 0.0762 \quad ft^3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตรของท่อลมสุญญากาศ เส้นผ่านศูนย์กลาง 12 mm ยาว 3 m

$$\pi r^2 h = \pi(0.6)^2 (300) \quad cm^3$$
$$= 339 \quad cm^3$$
$$= 0.0119 \quad ft^3$$

แทนค่าในสมการ จะได้ $(V_0 x0.5) + (0.0762x14.7) = (V0 + 0.0762)x7.63$

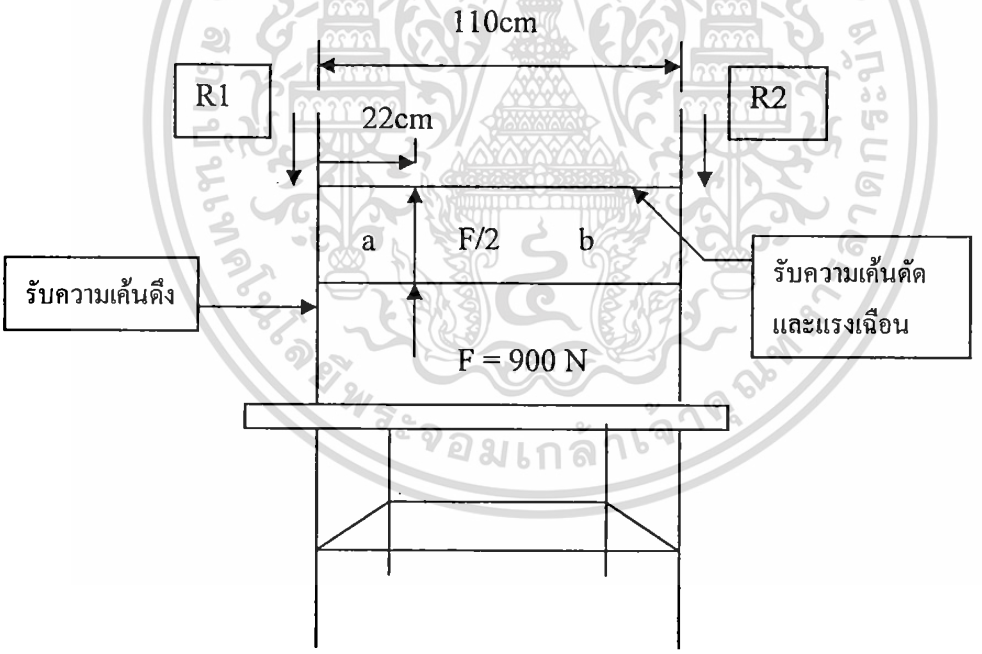
$V_0 = 0.0757 \quad ft^3$

$V_0 = (0.0757 - 0.0119) \; ft^3$

$V_0 = 0.0638 \; ft^3$

คำนวณแรงกระทำกับโครงสร้าง [8]

โครงสร้างทำจากเหล็กกล่อง พื้นที่หน้าตัดขนาด 1.5x1.5 นิ้ว หนา 1.5 มิลลิเมตร คิดเฉพาะเหล็กท่อนบน ซึ่งรับแรงปฏิกิริยาจากกระบอกลมปั๊มขนาด 900 N ซึ่งแบ่งแรงให้กับท่อนเหล็กที่ติดตั้งกระบอกจำนวน 2 ท่อนเท่าๆ กัน ท่อนละ 450 N เพื่อใช้ในการคำนวณ ดังแสดงรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.15 แรงที่กระทำกับโครงสร้าง

จากตารางเหล็กกล่องรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีพื้นที่หน้าตัด

$A = 2.432 \; cm^2 I_x$

$I_x, I_y = 5.2 \; cm^4$ (I_x, I_y ดังแสดงในตารางภาคผนวก ง.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาโมเมนต์ดัดในคาน $M_x = Fbx/L$

$= (0.45x\ 0.88x0.22)/1.1$

$= 0.08$ kN.m

หาแรงเฉือน $V = Fb/L$

$= (0.45x0.88)/1.1$

$= 0.36$ kN.m

หาความเค้นดัดสูงสุดในคาน

$R_1 = Fb/L = (0.45x0.88)/1.1 = 0.36$ kN

$R_2 = Fa/L = (0.45x0.22)/1.1 = 0.09$ kN

3.3.4 การประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ เข้ากับโครงเหล็ก

3.3.4.1 <u>การติดตั้งปั๊มสุญญากาศ</u>

ปั๊มสุญญากาศจะถูกติดตั้งทางด้านล่างของโครงเหล็ก และต่อท่อลมจากปั๊มสุญญากาศเข้าโซลินอยด์วาล์ว ควบคุมการดูดอากาศ จากนั้นต่อท่อจากโซลินอยด์วาล์ว ไปยังบล็อกวางแม่พิมพ์

3.3.4.2 <u>การติดตั้งปั๊มลมอัด</u>

ปั๊มอากาศจะติดตั้งทางด้านล่างของโครงเหล็ก ต่อท่อลมเข้ากับข้อต่อแยก แล้วต่อท่อลมจากข้อต่อแยก เพื่อนำลมจ่ายไปยังโซลินอยด์วาล์วที่ใช้ควบคุมกระบอกลมทั้ง 3 ตัว

3.3.4.3 <u>การติดตั้งโต๊ะวางแม่พิมพ์</u>

แม่พิมพ์จะมีส่วนของโต๊ะวางแม่พิมพ์เป็นส่วนรองรับและอากาศระหว่างแม่พิมพ์กับแผ่นพลาสติกจะถูกดูดไปยังปั๊มสุญญากาศโดยผ่านท่อที่ต่อกับโต๊ะวางแม่พิมพ์ การติดตั้งทำได้โดยนำโต๊ะวางแม่พิมพ์วางลงบนรูที่เจาะไว้ที่พื้นโต๊ะโครงเหล็ก

3.3.4.4 <u>การติดตั้งส่วนยึดแผ่นพลาสติก</u>

อุปกรณ์ในส่วนยึดแผ่นพลาสติกนี้จะถูกติดตั้งอยู่เหนือโต๊ะวางแม่พิมพ์ โดยประกอบติดกับกระบอกลมแบบสไลด์ ซึ่งยึดกับโครงเหล็กในแนวดิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4.5 <u>การติดตั้งรางเลื่อนและส่วนให้ความร้อน</u>

รางเลื่อนจะถูกประกอบเข้ากับพื้นโต๊ะ โดยยึดด้วยน็อตบริเวณปลายทั้งสองด้าน พร้อมทั้งปรับระดับให้เสมอกัน ส่วนให้ความร้อนที่ประกอบเสร็จ จะถูกติดตั้งทางด้านบนของส่วนยึดแผ่นพลาสติก และนำไปวางไว้บนรางเลื่อน การเลื่อนส่วนให้ความร้อนไปตามรางเลื่อนนี้ ใช้กระบอกลมซึ่งประกอบติดที่ขอบด้านหนึ่งของส่วนให้ความร้อน

3.3.4.6 <u>การติดตั้งตัวช่วยกด</u>

เมื่อติดตั้งตัวช่วยกด นำกระบอกลมมาประกอบในแนวดิ่ง จากนั้นนำไปติดตั้งกับโครงเหล็กบริเวณเหนือโต๊ะวางแม่พิมพ์ พร้อมทั้งปรับตำแหน่งให้ตรงกับแม่พิมพ์พอดี

3.3.5 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือ

3.3.5.1 <u>การทดสอบความเที่ยงตรงในการปรับอุณหภูมิ</u>

ในขั้นตอนการทดสอบความเที่ยงตรงในการปรับอุณหภูมิ

1. เปิดส่วนให้ความร้อนตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 110 องศาเซลเซียส
2. ใช้เทอร์โมมิเตอร์อ่านค่าอุณหภูมิของส่วนให้ความร้อนบริเวณเทอร์โมคัพเปิลเมื่อตัวควบคุมอุณหภูมิตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้า จำนวน 3 ครั้ง บันทึกผลการทดลอง
3. ทำการทดลองข้อ 1 และ 2 ซ้ำ โดยเปลี่ยนอุณหภูมิเป็น 130 และ 150 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

3.3.6 การขึ้นรูปชิ้นงาน

ในขั้นตอนการนี้จะอธิบายถึงขั้นตอนในการขึ้นรูปชิ้นงาน ทำการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูป และทำการทดสอบชิ้นงาน

3.3.6.1 <u>ศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการขึ้นรูป</u>

1) ตัดแผ่นพอลิสไตรีนขนาด 29x41 เซนติเมตร วางบนที่ยึดแผ่นพลาสติกยึดให้แน่น
2) เปิดส่วนให้ความร้อน ตั้งอุณหภูมิที่ 110 องศาเซลเซียส
3) เมื่อถึงอุณหภูมิที่กำหนดจึงเลื่อนส่วนให้ความร้อนมายังแผ่นพลาสติก จากนั้นให้ความร้อนจนกระทั่งพลาสติกอ่อนตัว
4) เลื่อนส่วนให้ความร้อนกลับ ส่วนจับยึดแผ่นพลาสติกจะเลื่อนลงไปติดขอบแม่พิมพ์ตัวเมีย แล้วกดแผ่นพลาสติกด้วยตัวช่วยกดจนสุด พร้อมทั้งทำการปั๊มสุญญากาศที่ค่า 400 มิลลิเมตรปรอท เพื่อทำการขึ้นรูป ทิ้งไว้ให้พลาสติกเย็นตัวและคงรูป จึงเลื่อนตัวช่วยกดและตัวจับยึดแผ่นพลาสติกขึ้น ถอดชิ้นงาน
5) นำชิ้นงานที่ได้ ไปวัดความหนาของผนังแก้วที่ตำแหน่งต่าง ๆ
6) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-5 แต่เปลี่ยนอุณหภูมิเป็น 130 และ 150 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6.2 ศึกษาหาความดันสุญญากาศที่เหมาะสมในการขึ้นรูป

1) ตัดแผ่นพอลิสไตรีนขนาด 29x41 เซนติเมตร วางบนที่ยึดแผ่นพลาสติกแล้วยึดให้แน่น
2) เปิดส่วนให้ความร้อน ตั้งอุณหภูมิที่ได้จากข้อ 3.3.5.1
3) เมื่ออุณหภูมิถึงที่กำหนด จึงเลื่อนส่วนให้ความร้อนมายังแผ่นพลาสติก ให้ความร้อนจนกระทั่ง พลาสติกอ่อนตัว
4) เปิดปั๊มสุญญากาศ รักษาความดันไว้ที่ 200 มิลลิเมตรปรอท เมื่อแผ่นพลาสติกห้อยตัวจึงเลื่อน ส่วนให้ความร้อนออก จากนั้นเลื่อนตัวจับยึดแผ่นพลาสติกให้ไปแนบกับหน้าแม่พิมพ์ตัวเมีย พร้อมทั้งใช้ตัวช่วยกดกดจนสุดแม่พิมพ์ตัวเมีย แล้วโซลินอยด์วาล์วจะทำการเปิดปั๊มสุญญากาศ เพื่อทำการขึ้นรูป ทิ้งไว้ให้พลาสติกเย็นตัวและคงรูป จึงเลื่อนส่วนจับยึดแผ่นพลาสติกขึ้น ถอดชิ้นงาน
5) นำชิ้นงานที่ได้ไปวัดความหนาของผนังแก้วที่ตำแหน่งต่าง ๆ
6) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-5 แต่เปลี่ยนความดันเป็น 600 มิลลิเมตรปรอท

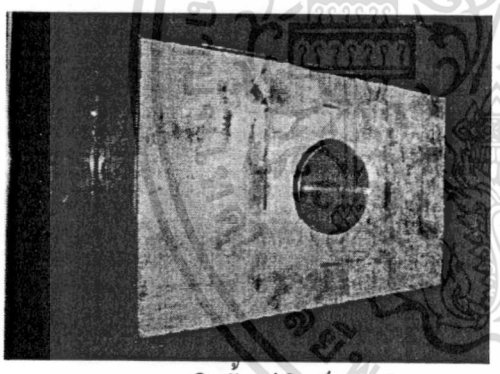
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

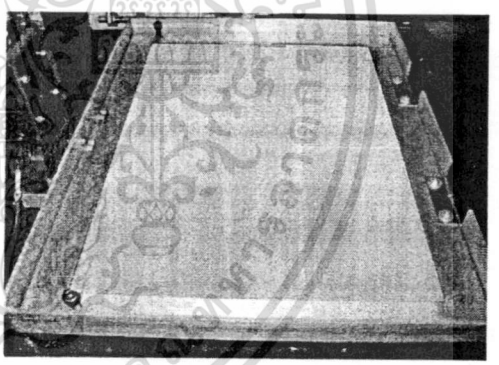
4.1 เครื่องมือที่สร้างขึ้น

เครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบร้อนด้วยสุญญากาศแบบมีแท่งกดช่วย ที่จัดสร้างขึ้น มีส่วนประกอบหลักคือ ระบบสุญญากาศ แม่พิมพ์ตัวเมียซึ่งมีลักษณะเป็นรูปแก้วหงายมีความลึกลงไปจากระดับขอบบนของโต๊ะวางแม่พิมพ์ และตัวช่วยกดซึ่งลักษณะเดียวกันกับแม่พิมพ์ตัวเมีย

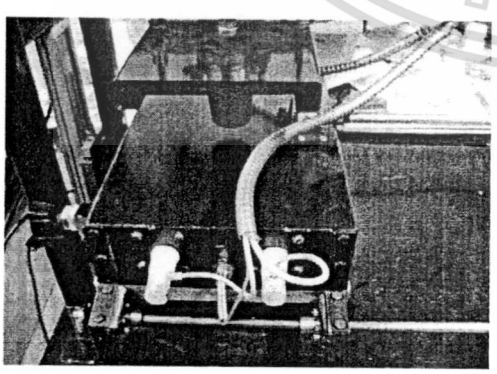
ขั้นตอนการทำงาน เริ่มต้นจากการนำแม่พิมพ์ไปติดตั้งบนโต๊ะวางแม่พิมพ์ (แสดงดังรูปที่ 4.1 ก) จากนั้นยึดแผ่นพลาสติกด้วยส่วนจับยึด (แสดงดังรูปที่ 4.1 ข) เมื่ออุณหภูมิเหมาะสมจึงเลื่อนส่วนให้ความร้อนมายังแผ่นพลาสติก (แสดงดังรูปที่ 4.1 ค) ซึ่งให้ความร้อนจนแผ่นพลาสติกเกิดการห้อยตัวจึงเลื่อนส่วนให้ความร้อนกลับ จากนั้นส่วนจับยึดแผ่นพลาสติกจะเลื่อนลงเพื่อให้แผ่นพลาสติกแนบกับหน้าแม่พิมพ์ตัวเมีย (แสดงดังรูปที่ 4.1 ง) จากนั้นตัวช่วยกดจะเลื่อนลงเพื่อกดแผ่นพลาสติกลงจนสุดแล้วระบบสุญญากาศจึงทำงานเพื่อให้แผ่นพลาสติกแนบสนิทกับแม่พิมพ์ตัวเมีย (แสดงดังรูปที่ 4.1จ) หลังจากนั้นตัวช่วยกดก็จะเลื่อนขึ้นพร้อมทั้งหยุดระบบสุญญากาศ (แสดงดังรูปที่ 4.1 ฉ) จากนั้นส่วนจับยึดแผ่นพลาสติกจึงเลื่อนขึ้น แล้วทำการปลดขึ้นงานออก



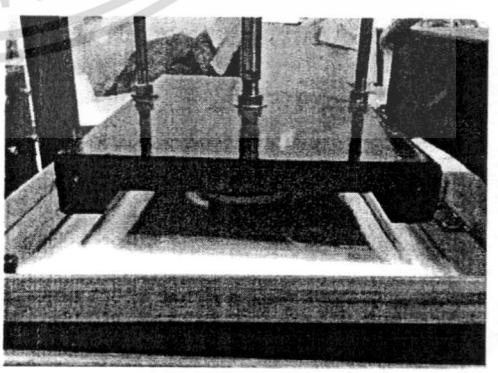
(ก) ติดตั้งแม่พิมพ์



(ข) ยึดแผ่นพลาสติก

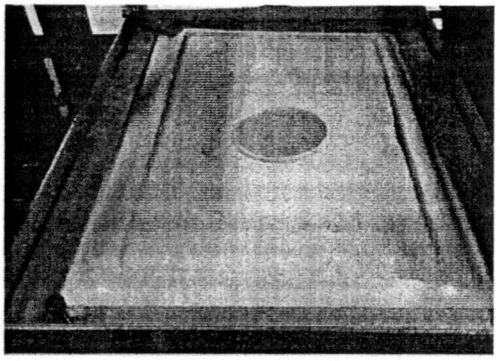


(ค) ให้ความร้อน

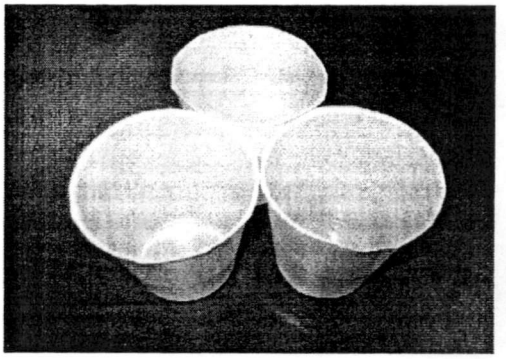


(ง) ขึ้นรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



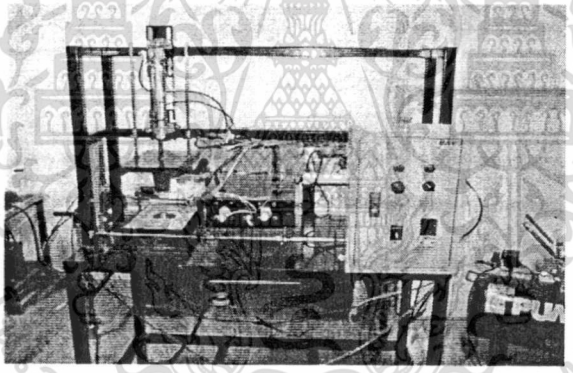
(จ) ปลดชิ้นงาน



(ฉ) ชิ้นงานที่ได้

รูปที่ 4.1 แสดงขั้นตอนการทำงานของเครื่อง

ลักษณะภายนอกของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบร้อนด้วยสุญญากาศแบบมีแท่งกดช่วย ที่ได้รับการออกแบบและจัดสร้างขึ้นลักษณะดังรูปที่ 4.2

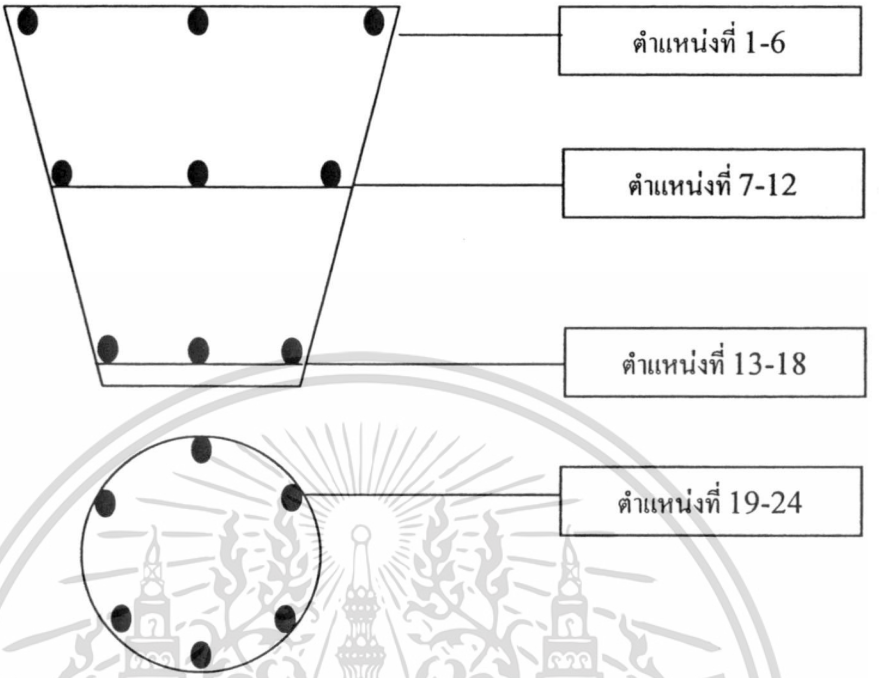


รูปที่ 4.2 ลักษณะของเครื่อง

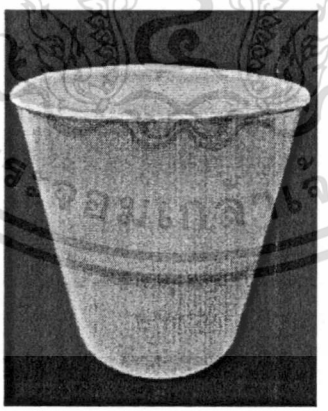
4.2 การทดสอบการขึ้นรูปชิ้นงาน

ชิ้นงานที่ได้จากตอนที่ 3.3.5.1-3.5.5.2 จะถูกนำมาทดสอบความหนาของผนัง โดยใช้ไมโครมิเตอร์เป็นอุปกรณ์ในการวัด โดยบริเวณทดสอบแบ่งเป็น 3 บริเวณ คือ บริเวณขอบถ้วยด้านบน กึ่งกลางถ้วย บริเวณด้านล่าง และบริเวณก้นถ้วย โดยวัดค่าระดับละ 6 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 4.3 รูปที่ 4.4 แสดงตัวอย่างชิ้นงานที่ขึ้นรูปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ตำแหน่งต่าง ๆ ในการทดสอบการกระจายตัวของความหนา



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างชิ้นงานที่ขึ้นรูปได้

จากการทดสอบการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยปัจจัยที่แตกต่างกัน ซึ่งได้แก่ปัจจัยของอุณหภูมิ ซึ่งทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 3 ค่า คือ 110,130 และ 150 องศาเซลเซียส และความดัน 3 ค่า คือ 200,300 และ 400 มิลลิเมตรปรอท โดยทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ารวัดค่าความหนาผนังของแก้วพลาสติก ณ ตำแหน่งต่าง ๆ กัน ให้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 ามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ความหนาเฉลี่ย($x10^{-2}$ มิลลิเมตร) ณ ตำแหน่งต่างๆ ที่ความดันสุญญากาศ 200 มิลลิเมตรปรอท

ตำแหน่งที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
	110	130	150
1 - 6	47.75	56.92	62.17
7 - 12	24.75	20.92	20.50
13 -18	16.33	17.25	18.50
19 - 24	13.92	16.83	16.75

ตารางที่ 4.2 ความหนาเฉลี่ย($x10^{-2}$ มิลลิเมตร) ณ ตำแหน่งต่างๆ ที่ความดันสุญญากาศ 300 มิลลิเมตรปรอท

ตำแหน่งที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
	110	130	150
1 - 6	45.17	57.33	61.67
7 - 12	23.08	20.92	19.00
13 -18	11.17	15.00	15.33
19 - 24	10.33	16.33	15.08

ตารางที่ 4.3 ความหนาเฉลี่ย($x10^{-2}$ มิลลิเมตร) ณ ตำแหน่งต่างๆ ที่ความดันสุญญากาศ 400 มิลลิเมตรปรอท

ตำแหน่งที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
	110	130	150
1 - 6	57.83	58.33	62.17
7 - 12	23.17	19.50	20.47
13 -18	12.25	13.58	13.83
19 - 24	12.17	14.00	13.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบวัดความหนาของแก้วพลาสติกที่ขึ้นรูปได้ ณ ปัจจัยที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิและความดันสุญญากาศมีผลต่อความหนาของผนังแก้วพลาสติกที่แตกต่างด้วยเช่นกัน ซึ่งพบว่าจากตารางการทดสอบตำแหน่งที่ 1-6 มีความหนามากกว่าส่วนอื่นมาก เนื่องจากเป็นส่วนที่มีการยืดตัวน้อยที่สุด ซึ่งเป็นอิทธิพลมาจากพฤติกรรมการยืดตัวของพลาสติก ที่เมื่อได้รับความร้อนแล้วจะเกิดการยืดตัวได้โดยง่ายเมื่อมีแรงดึงมากระทำ จึงทำให้พลาสติกยืดออกได้อย่างรวดเร็วในส่วนล่าง ในขณะที่ส่วนบนยังมีความหนาแน่นเยอะกว่า จึงส่งผลให้ส่วนบนมีความหนามากกว่าส่วนอื่น ๆ และจะไม่ค่อยเห็นความแตกต่างของแต่ละปัจจัยมากนัก เมื่อพิจารณาในส่วนอื่น ๆ ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอุณหภูมิที่มีผลต่อความหนาของผนังแก้วพลาสติก คือ ถ้าเพิ่มความดันสุญญากาศให้สูงขึ้นเรื่อย ๆ จะทำให้ความหนาผนังของแก้วพลาสติกนั้นบางลงเรื่อย ๆ เนื่องจากแรงดูดสุญญากาศมีความแรงมากกว่าเดิม ทำให้แผ่นพลาสติกเกิดการยืดตัวที่รวดเร็ว ในส่วนของอุณหภูมิถ้าอุณหภูมิน้อยเกินไป จะทำให้ไม่สามารถขึ้นรูปพลาสติกได้ เพราะพลาสติกไม่สามารถยืดตัวได้อย่างสมบูรณ์ แต่ถ้าให้ความร้อนแก่แผ่นพลาสติกด้วยอุณหภูมิที่สูงจนเกินไป หรือสูงเกินกว่าอุณหภูมิขึ้นรูป ในที่นี้คือ 150 องศาเซลเซียส จะทำให้แผ่นพลาสติกเริ่มเกิดการละลาย ทำให้ไม่สามารถขึ้นรูปได้ หรือเกิดการเกาะติดกับตัวช่วยกดได้ จากตารางการทดสอบความหนา ถ้าเพิ่มอุณหภูมิจาก 110 องศาเซลเซียส เป็น 130 และ 150 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จะเห็นว่าความหนาของผนังแก้วพลาสติกในส่วนก้นจะเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นและอยู่ในช่วงที่ขึ้นรูปได้ แผ่นพลาสติกจะมีการยืดตัวที่ดีขึ้นทำให้การกระจายตัวของความหนาจากส่วนบนลงมาส่วนล่างทำได้ดีขึ้น

จากเหตุผลดังกล่าว จึงได้กำหนดช่วงของอุณหภูมิที่เหมาะสมในการขึ้นรูปในช่วง 110-150 องศาเซลเซียสเท่านั้น ซึ่งจากผลการวิจัยพบว่า อุณหภูมิและความดันที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้เกิดการกระจายตัวของความหนาที่ดีในทุก ๆ ส่วน และทำให้ได้แก้วพลาสติกที่สมบูรณ์ที่สุด คือ อุณหภูมิที่ 110 องศาเซลเซียส และความดันที่ 200 มิลลิเมตรปรอท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบประสิทธิภาพและทดสอบการขึ้นรูปชิ้นงานของเครื่องขึ้นรูปร้อนที่ได้รับการออกแบบและสร้างขึ้น สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. เครื่องมือที่ได้รับการออกแบบ มีระบบการทำงานร่วมกันสองระบบ คือ ระบบสุญญากาศและระบบตัวช่วยกด สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. ส่วนควบคุมอุณหภูมิมีค่าไม่คงที่ตามที่ตั้งไว้ แต่มีความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิบวกลบไม่เกิน 5 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถยอมรับได้
3. ส่วนให้ความร้อนที่สร้างขึ้นมีความสม่ำเสมอในการกระจายอุณหภูมิที่ดี เนื่องจากเป็นการกระจายความร้อนแบบแผ่รังสี และไม่ต้องอาศัยตัวกลาง
4. ความดันสุญญากาศ (200 – 400 มิลลิเมตรปรอท) ไม่ส่งผลต่อการกระจายตัวของความหนาของชิ้นงาน สำหรับเครื่องมือที่สร้างขึ้น ถ้ามีการทำงานทันทีที่ตัวช่วยกดกดลงจนสุดแล้ว ถ้าทำงานช้าเกินกว่านั้น จะส่งผลให้ชิ้นงานเย็นตัว และระบบสุญญากาศจะทำงานได้ประสิทธิภาพต่ำลง
5. อุณหภูมิที่เหมาะสมในการขึ้นรูปร้อน ซึ่งใช้แผ่นพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกสูงเป็นวัตถุดิบ มีค่าเป็น 150 องศาเซลเซียส ส่วนความดันสุญญากาศที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 200 มิลลิเมตรปรอท (0.27 MPa)

5.2 ข้อเสนอแนะ

แม้ว่างานวิจัยนี้สามารถออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปร้อนเพื่อใช้งานระดับห้องปฏิบัติการได้ดีในระดับหนึ่ง แต่ทางผู้วิจัยมีความเห็นว่ายังมีสิ่งที่เป็นข้อบกพร่องและมีสิ่งที่ต้องศึกษาเพิ่มเติมอีกหลายประการ เพื่อปรับปรุงพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่องขึ้นรูปร้อนนี้ให้มีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงขอเสนอแนะแนวทางในการศึกษาข้อมูลเพื่อปรับปรุงและพัฒนาเครื่องขึ้นรูปร้อนนี้ให้มีความสมบูรณ์มากขึ้นดังนี้

1. ศึกษาความเร็วในการดูดอากาศ ต่อคุณภาพของชิ้นงาน
2. ศึกษาผลของระยะกดของตัวช่วยกด ต่อการกระจายความหนาของชิ้นงาน
3. ศึกษาผลของความหนาของแผ่นพลาสติกต่อสภาวะในการขึ้นรูป และขีดจำกัดที่สามารถขึ้นรูปได้
4. ศึกษาและออกแบบส่วนจับยึดและโต๊ะวางแม่พิมพ์เพื่อลดปริมาณของเศษเหลือจากการขึ้นรูป เนื่องจากส่วนจับยึดและโต๊ะวางแม่พิมพ์เดิม มีขนาดใหญ่เกินความจำเป็น
5. พัฒนาระบบตรวจวัดความดันลมให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
6. ออกแบบและพัฒนาให้เครื่องสามารถตัดเศษและคัดแยกระหว่างเศษ และชิ้นงานดีออกจากกัน โดยอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

] คู่มือตารางเหล็ก
http://www.ziddu.com/download.php?uid=abGenZmlZq2clpmtsKyZlJyiYq2WlpSn2

] สมศักดิ์ วรมงคลชัย. เทคโนโลยีพอลิเมอร์ 1. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,2543

] R.J. Crawford, Plastics Engineering, third edition 1998
http://books.google.co.th/books?id=gHer87pMVEC&lpg=PA311&ots=oiw1Ii39DA&dq=Fig.%204.55%20Analysis%20of%20thermo%20forming&pg=PP1#v=onepage&q=&f=false

] ปานเพชร ชินินทร และขวัญชัย สินทิพย์สมบูรณ์. นิวแมติกส์ อุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น.2541

] ดำรง ไชยธีรานุวัฒศิริ. การออกแบบแม่พิมพ์พลาสติก. กรุงเทพฯ: เม็ดทรายพริ้นติ้ง. 2539.

5] แสดงกระบอกสูบชนิดสองทิศทางก้านสูบเดียว
http://www.vcharkarn.com/vcafe/38500/20

7] ผู้ช่วยศาสตราจารย์อนุชา หิรัญวัฒน์, สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น, การควบคุมอัตโนมัติและการควบคุมพีแอลซีเบื้องต้น,2551

8] พรจิตร ประทุมสุวรรณ. การควบคุมนิวแมติกส์. กรุงเทพฯ: เรือนแก้วการพิมพ์. 2521.

9] B. Hegemann, P. Eyerer, N. Tessier, T. Bush, SPE ANTEC 2002 Proceedings, In Process

10] B. Hegemann, A. Kech, U Goschel, K. Belina and P. Eyerer, Journal of Macromolecular Science, In process.

11] Dominick V. Rosato, Nick R. Schott, Donald V. Rosato, Plastics engineering, Manufacturing and Data Handbook volume 1,Fundamental processes

12] Harper, C.A. Modern Plastics Handbook. New York : McGraw-Hill. 1994.

13] M. Keuerleber, B. Hegemann, A. Kech and P. Eyerer, PPS-12, Montreal, Canada, 2001

[14] Technology of Thermoforming By throue, James L, Hanser Publishers 1996

15] คุณสมบัติแผ่นพลาสติกพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกสูง
http://www.cityplastics.com.au/pdf/styrene%20data.pdf
http://www.matbase.com/material/polymers/commodity/ps-hips/properties

[16] เจริญ นาคะสรรค์. กระบวนการแปรรูปพลาสติก. กรุงเทพฯ: นิติธรรม. 2542.

[17] วริทธิ์ อึ้งภากรณ์, การออกแบบเครื่องจักรกลเล่ม1, สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น, 7/2544

[18] แสดงตลับลูกปืนแบบต่างๆ
http://www.saneengineer.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=538964117&Ntype=68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้