การปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนสำหรับหล่อเย็นของแม่พิมพ์แบบฉีด

THERMAL PERFORMANCE IMPROVEMENT FOR COOLING SYSTEM OF INJECTION MOLD

ธันวา จรกิจ
THANWA JORAKIT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2561

KMITL-2018-EN-M-220-064

การปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนสำหรับหล่อเย็นของแม่พิมพ์แบบฉีด

THERMAL PERFORMANCE IMPROVEMENT FOR COOLING SYSTEM OF INJECTION MOLD

ธันวา จรกิจ
THANWA JORAKIT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2561

KMITL-2018-EN-M-220-064

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน … ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้าม … รั้งที่มีการนำไปใช้

THERMAL PERFORMANCE IMPROVEMENT FOR COOLING SYSTEM OF INJECTION MOLD

THANWA JORAKIT

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2018

KMITL-2018-EN-M-220-064

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด [illegible] มิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2018
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT’S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนสำหรับหล่อเย็นของแม่พิมพ์แบบฉีด
นักศึกษา	นางธันวา จรกิจ
รหัสประจำตัว	56601212
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
พ.ศ.	2561
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.สันติ วัฒนานุสรณ์

บทคัดย่อ

ในการปรับปรุงการออกแบบและผลิตระบบหล่อเย็นสำหรับแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางในกระบวนการฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางนั้น การสูญเสียวัตถุดิบไปในบางส่วนของระบบหล่อเย็นจะส่งผลต่อต้นทุนในการผลิต ยิ่งวัตถุดิบที่มีราคาสูงหรือมีปริมาณการผลิตสูงยิ่งมีผลกระทบมาก ดังนั้นระบบหล่อเย็นจึงถูกนำมาใช้เพื่อลดปริมาณยางที่สูญเสียลง ในวิทยานิพนธ์นี้จึงเป็นการออกแบบและปรับปรุงระบบหล่อเย็นของแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง ซึ่งระบบหล่อเย็นที่ออกแบบขึ้นมาต้องสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตามต้องการ ทำให้ยางที่ไหลในแม่พิมพ์ไม่เกิดการคงรูปขณะทำการฉีดขึ้นรูป ผลการทดลองพบว่าการปรับปรุงระบบหล่อเย็นของแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางจะช่วยให้ผู้ประกอบการสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ 187,200 บาทต่อปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	THERMAL PERFORMANCE IMPROVEMENT FOR COOLING SYSTEM OF INJECTION MOLD
Student	Mr. Thanwa Jorakit
Student ID.	56601212
Degree	Master of Engineering
Program	Chemical Engineering
Year	2018
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Santi Wattananusorn

ABSTRACT

Generally, the excessive rubber material loss in the runner system in the injection molding process significantly leads to increasing raw material cost. Therefore, the application of novel cool runner system is recently used to reduce the waste of rubber in the runner. This research is proposed to improve and design of the cool runner system used in rubber injection molding. The characteristics of the rubber rheology and the temperature profile during injection were investigated. It was found that the temperature profile during injection controls the heat distribution in the runner system leading to prohibiting the rubber to scorch before it was subsequently injection into the mold. As a result, the better understanding of the cool runner system design and fabrication can be gained in this work so the wasted rubber raw material (cost) can be greatly reduced of about 187,200 baht a year.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สันติ วัฒนานุสรณ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ จนสามารถทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณ บริษัท ไทย นิฮอน ซิลล์ จำกัดที่ให้การสนับสนุนการอุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องจักรในการทำงานวิทยานิพนธ์นี้

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่งตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ธันวา จรกิจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย...I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ...II
กิตติกรรมประกาศ...III
สารบัญ...IV
สารบัญตาราง...VI
สารบัญรูป...VII
บทที่ 1 บทนำ...1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา...1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา...1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ...1
1.4 ขอบเขตการศึกษา...1

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง...3
2.1 การขึ้นรูปยางคอมปาวด์ด้วยแม่พิมพ์ (Rubber molding)...3
2.1.1 แม่พิมพ์แบบกดอัด...3
2.1.2 แม่พิมพ์แบบกึ่งฉีด...4
2.1.3 แม่พิมพ์แบบฉีด...5
2.2 แม่พิมพ์ (Mold)...14
2.2.1 พื้นฐานการออกแบบแม่พิมพ์...15
2.3 ชนิดของยางคอมปาวด์...19
2.3.1 ยางธรรมชาติ (Natural rubber; NR)...19
2.3.2 ยางสังเคราะห์ (Synthetic Rubber; SR)...20
2.4 ลักษณะการวัลคาไนซ์ (Cure characteristic)...23
2.4.1การทดสอบด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์แบบจานแกว่ง...23
2.5 ปัญหาของเสียจากการขึ้นรูปยางคอมปาวด์ด้วยแม่พิมพ์...25
2.5.1 ปัญหาของเสียจากเศษยางปนเปื้อนกับชิ้นงาน (Cure rubber)...25
2.5.2 ปัญหาของเสียจากพุพองในชิ้นงาน...26
2.5.3 ปัญหาของเสียจากการหดตัว (Shrinkage)...26
2.5.4 ปัญหาของเสียจากชิ้นงานฉีดไม่เต็ม (Short shots)...27
2.5.5 การปนเปื้อนบนผิวของชิ้นงาน (Contamination)...27
2.6 ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตจริง...27
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง...28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง 30
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 30
3.1.1 เครื่องจักรสำหรับการพิมพ์ฉีดยาง 30
3.1.2 เครื่องทดสอบสมบัติการคงรูป 31
3.1.3 ยางคลอโรพรีน 31
3.1.4 แม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีด 24 หลุม 31
3.2 ขั้นตอนการทดลอง 32
3.2.1 ทดสอบสมบัติการคงรูปของยาง 32
3.2.2 ปรับปรุงระบบทางวิ่งเย็นของแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีด 32
3.2.3 ติดตามปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต 32

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง 33
4.1 การทดสอบสมบัติการคงรูป 33
4.2 การวิเคราะห์อุณหภูมิในแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีด 36

บทที่ 5 สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ 42
5.1 สรุปผลการวิจัย 42
5.2 ข้อเสนอแนะ 42

เอกสารอ้างอิง 43
ประวัติผู้เขียน 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ส่วนประกอบพื้นฐานของแม่พิมพ์....................14
3.1 คุณสมบัติของยางคลอโรพรีนที่อุณหภูมิ 160 ˚C x 10 min.................... 31
4.1 คุณสมบัติยางคอมปาวด์คลอโรพรีนที่อุณหภูมิอยางคอมปาวด์ 95 ˚C.................... 33
4.2 คุณสมบัติยางคอมปาวด์คลอโรพรีนที่อุณหภูมิอยางคอมปาวด์ 105 ˚C.................... 33
4.3 คุณสมบัติยางคอมปาวด์คลอโรพรีนที่อุณหภูมิอยางคอมปาวด์ 115 ˚C.................... 34
4.4 อุณหภูมิแต่ละตำแหน่งของส่วนประกอบของแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีด.................... 36
4.5 อุณหภูมิของระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีดในแต่ละรูปแบบ.................... 39
4.6 อุณหภูมิเฉลี่ยของยางคอมปาวด์ที่ผ่านระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีด.................... 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แม่พิมพ์แบบกดอัด.... 3

2.2 เครื่องกดอัดระบบไฮดรอลิค.... 4

2.3 แม่พิมพ์แบบกึ่งฉีด.... 4

2.4 เครื่องจักรแม่พิมพ์แบบกึ่งฉีด.... 5

2.5 เครื่องจักรแม่พิมพ์แบบฉีด (Injection molding machine).... 6

2.6 ส่วนประกอบของเครื่องฉีดยาง.... 6

2.7 แสดงส่วนประกอบของสกรูป้อนยางคอมปาวด์.... 7

2.8 เครื่องจักรแม่พิมพ์แบบฉีดแนวตั้ง (Vertical Injection molding machine).... 8

2.9 ลักษณะภายในของระบบฉีด.... 9

2.10 กราฟการสุกตัวของยางคอมปาวด์.... 9

2.11 ตัวอย่างเพลทที่มีจุดเข้าและจุดออกหนึ่งจุด และเพลทที่มีจุดเข้าและจุดออกหลายจุด.... 10

2.12 เพลทที่มีฮีตเตอร์ขนาดวัตต์เท่ากัน (ซ้าย) เพลทที่มีฮีตเตอร์ที่มีวัตต์แตกต่างกัน (ขวา).... 10

2.13 แผนผังของแม่พิมพ์สำหรับฉีดที่มี cavity ทรงกลม.... 11

2.14 หน้าตัดของแม่พิมพ์สำหรับฉีดที่มี cavity รูปวงแหวน.... 13

2.15 ส่วนประกอบพื้นฐานของ Two Plate Mold.... 14

2.16 ตัวอย่างการจัดเรียง cavity ของแม่พิมพ์.... 16

2.17 แม่พิมพ์ cavity ธรรมดา (ซ้าย) แม่พิมพ์ cavity แบบแทรก (ขวา).... 16

2.18 การวางรูปแบบที่มีจำนวนของ cavity เท่ากัน แต่มีรูปแบบของ runner ต่างกัน.... 18

2.19 การวางรูปแบบของ cavity ที่ไม่สมดุลและไม่สมมาตร.... 19

2.20 สูตรโครงสร้างของยางคลอโรพรีน.... 22

2.21 เครื่องรีโอมิเตอร์แบบจานแกว่ง.... 24

2.22 กราฟที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่อง ODR.... 24

2.23 ตัวอย่างปัญหาของพื้นผิวของชิ้นงานมีเศษยางติด.... 28

3.1 Rubber injection molding.... 30

3.2 เครื่องวัดการไหลแบบจานสั้นรุ่น R100.... 31

3.3 แม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีด 24 หลุม.... 32

4.1 คุณสมบัติยางคอมปาวด์ที่อุณหภูมิยางคอมปาวด์คลอโรพรีน 95 °C 101 °C 115 °C ในช่วง อุณหภูมิ 100-190 °C.... 34

4.2 คุณสมบัติยางคอมปาวด์ที่อุณหภูมิยางคอมปาวด์คลอโรพรีน 95 °C 101 °C 115 °C ในช่วงอุณหภูมิ 100-190 °C (กราฟขยายเฉพาะช่วงอุณหภูมิ 130-190 °C).... 35

4.3 คุณสมบัติยางคอมปาวด์ที่อุณหภูมิยางคอมปาวด์คลอโรพรีน 95 °C 101 °C 115 °C ในช่วงอุณหภูมิ 100-190 °C (กราฟขยายเฉพาะช่วงอุณหภูมิ 100-130 °C).... 35

4.4 ส่วนประกอบของแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีดและตำแหน่งตรวจสอบอุณหภูมิ.... 36

4.5 ทิศทางการไหลของระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีดแบบ T1.... 37

4.6 ทิศทางการไหลของระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีดแบบ T2.... 38

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า
4.7 ทิศทางการไหลของระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีดแบบ T3 38
4.8 ปริมาณยางคอมปาวด์ที่ฉีดทิ้ง (free shot) ก่อนเริ่มรอบการฉีดต่อไป 40
4.9 การเปรียบเทียบปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต 41
4.10 การเปรียบเทียบกำลังการผลิต 41
4.11 การเปรียบเทียบต้นทุนในการผลิต 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมยาง และผลิตภัณฑ์ยาง เป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศไทยอย่างมาก โดยเกี่ยวข้องกับเกษตรกรไม่ต่ำกว่า 6 ล้านคน มีมูลค่าทางเศรษฐกิจรวมกว่า 1 แสนล้านบาท ทั้งในรูปการส่งออก ตลอดจนถึงการผลิตขึ้นเพื่อใช้ภายในประเทศ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์มีการเติบโตและการแข่งขันทางการตลาดสูง การลดต้นทุน และระยะเวลาในการผลิตจึงมีความสำคัญ ดังนั้นการลดของเสียจึงเป็นส่วนหนึ่งในการลดต้นทุนให้กับองค์กร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลของผลผลิต เพื่อสร้างความพึงพอใจและทันต่อความต้องการของลูกค้า เป็นการสร้างจุดแข็งให้กับองค์กร เพื่อที่จะดำเนินธุรกิจไปได้อย่างมั่นคงและยาวนาน จึงเป็นที่มาของการจัดทำวิทยานิพนธ์นี้ขึ้น

ปัญหาของเสียในกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีด (Injection molding) แยกได้เป็นสองสาเหตุหลักคือ ปัญหาของเสียที่เกิดจากเครื่องจักร ประกอบไปด้วยสภาวะของการฉีดขึ้นรูปแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยาง ตลอดจนองค์ประกอบทางสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเกิดของเสีย และปัญหาของเสียที่เกิดจากการทำงานของผู้ปฏิบัติงาน โดยการศึกษาการลดปัญหาของเสียในวิทยานิพนธ์นี้ จะมุ่งเน้นในการแก้ปัญหาของเสียที่เกิดจากสภาวะการดำเนินงานและส่วนประกอบของเครื่องฉีด

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

ศึกษาสภาวะของเครื่องจักรที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปชิ้นงาน เพื่อแก้ปัญหาชิ้นงานที่เกิดการปนเปื้อนของเศษยางที่สุกตัวแล้วภายในกระบอกฉีดผสมกับยางที่ถูกป้อนเข้ามาใหม่

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ได้สภาวะที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปชิ้นงาน

1.3.2 ได้แนวทางสำหรับการออกแบบและพัฒนาระบบหล่อเย็นของแม่พิมพ์แบบฉีด

1.3.3 ลดปัญหาของเสียที่เกิดจากกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงาน

1.4 ขอบเขตการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.1 ศึกษาคุณสมบัติของวัตถุดิบที่สภาวะการขึ้นรูปชิ้นงานของยางคลอโรพรีน

1.4.2 ศึกษาองค์ประกอบและการทำงานของเครื่องฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

1.4.3 ศึกษาองค์ประกอบและระบบระบบหล่อเย็นของแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีดโดยพิจารณาแก้ปัญหาชิ้นงานที่เกิดการปนเปื้อนของเศษยางที่สุกตัวไปแล้วภายในกระบอกฉีดผสมกับยางที่ถูกป้อนเข้ามาใหม่ในการผลิตครั้งต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

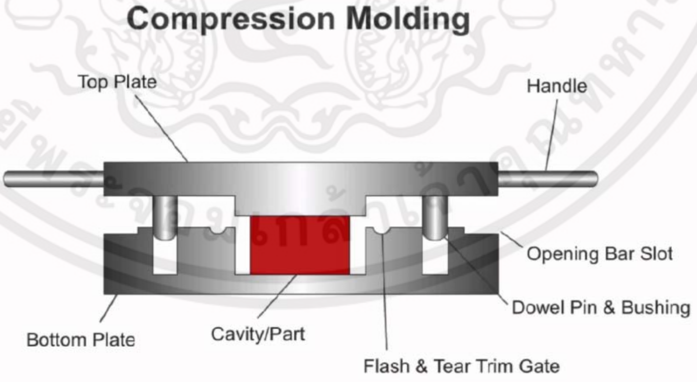
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การขึ้นรูปยางคอมปาวด์ด้วยแม่พิมพ์ (Rubber molding) [1-5]

การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์นั้นเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดทั้งการขึ้นรูป (Forming) และการคงรูป (Vulcanizing) ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนเดียวกัน โดยอาศัยความร้อนและแรงอัด เริ่มจากการให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ก่อน จากนั้นจึงนำยางคอมปาวด์ไปใส่ลงในแม่พิมพ์ เมื่อยางไหลเต็มเบ้าพิมพ์แล้ว ความร้อนจากแม่พิมพ์จะทำให้ยางเกิดปฏิกิริยาคงรูปต่อไป แม่พิมพ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมแบ่งได้เป็น 3 แบบ ได้แก่

2.1.1 แม่พิมพ์แบบกดอัด

การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบกดอัด (Compression molding) เป็นวิธีที่ใช้กันมากที่สุดในอุตสาหกรรมเมื่อเทียบกับการขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบอื่น เพราะเป็นวิธีที่ง่ายและมีราคาไม่สูงมากนัก ซึ่งแม่พิมพ์แบบกดอัดที่นิยมใช้ได้แก่ เครื่องกดอัดระบบไฮดรอลิค (Hydraulic press) ซึ่งประกอบด้วยแผ่นกดอัด (Plate) จำนวน 2 แผ่น หรือมากกว่า 2 แผ่นขึ้นอยู่กับการออกแบบ แผ่นกดอัดจะเลื่อนขึ้นลงด้วยระบบไฮดรอลิคเพื่ออัดและส่งผ่านแรงดันไปสู่แม่พิมพ์ที่อยู่ตรงกลางระหว่างแผ่นกดอัด เครื่องจะสามารถตั้งอุณหภูมิและควบคุมความร้อนให้คงที่ระหว่างการผลิต โดยแผนภาพของแม่พิมพ์กดอัดและเครื่องกดอัดระบบไฮดรอลิคสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ



รูปที่ 2.1 แม่พิมพ์แบบกดอัด

แม่พิมพ์แบบกดอัดนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ แม่พิมพ์ส่วนบน (Lid) และแม่พิมพ์ส่วนล่าง (Base) โดยแม่พิมพ์ส่วนล่างจะมีช่องเป็นรูปร่างของผลิตภัณฑ์ เรียกว่า เบ้าพิมพ์ (Cavity) สำหรับใส่ยางคอมปาวด์ที่จะใช้ในการขึ้นรูป จากนั้นนำแม่พิมพ์ส่วนบนมาปิดทับ สลัก (Pin) ที่ติดอยู่กับแม่พิมพ์ส่วนบนจะช่วยล็อคไม่ให้เกิดการเคลื่อนตัวในแนวระนาบขณะที่ได้รับแรงกดอัด เมื่อให้แรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แก่แม่พิมพ์ ยางคอมปาวด์จะถูกบังคับให้ไหลจนเต็มเบ้าพิมพ์ และความร้อนจากแม่พิมพ์จะทำให้ยางเกิดการคงรูป ผลิตภัณฑ์ยางส่วนใหญ่ เช่น ยางล้อ ยางโอริง ยางรองแท่นเครื่อง พื้นรองเท้า ฯลฯ จะขึ้นรูปด้วยวิธีนี้

รูปที่ 2.2 เครื่องกดอัดระบบไฮดรอลิค

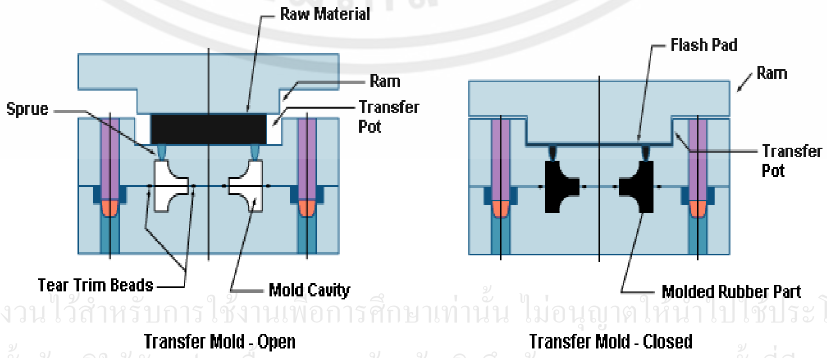
2.1.2 แม่พิมพ์แบบกึ่งฉีด

การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบกึ่งฉีด (Transfer molding) เป็นวิธีที่ไม่นิยมใช้ในปัจจุบัน ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.3 โดยแม่พิมพ์แบบกึ่งฉีดนี้มีส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน ได้แก่

- แม่พิมพ์ส่วนบน ซึ่งออกแบบมาให้มีลักษณะคล้ายแท่งกด

- แม่พิมพ์ส่วนล่าง เป็นส่วนเบ้าพิมพ์ที่มีรูปร่างต่างๆ ตามต้องการ

- แม่พิมพ์ส่วนกลาง เป็นส่วนที่มีแอ่งหรือช่องว่างสำหรับใส่ยางคอมพาวด์ เรียกว่า “Pot” และที่บริเวณด้านล่างของ Pot จะมีหัวฉีด (Injection nozzle) เพื่อเป็นช่องให้ยางไหลลงไปสู่เบ้าพิมพ์ส่วนล่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 แม่พิมพ์แบบกึ่งฉีด

การขึ้นรูปยางด้วยวิธีนี้เริ่มจากให้ความร้อนกับแม่พิมพ์ นำยางคอมปาวด์ใส่ลงไปในช่องใส่ยางของแม่พิมพ์ส่วนตรงกลาง ปิดแม่พิมพ์ แท่งกด (Ram) ของแม่พิมพ์ส่วนบนจะดันยางให้ไหลผ่านหัวฉีดเข้าสู่เบ้าพิมพ์จนเต็ม เทคนิคนี้มีข้อดีคือสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างซับซ้อนเกินกว่าที่จะใช้แม่พิมพ์แบบกดอัดได้ แต่ก็มีข้อเสียที่สำคัญ คือ ต้องเสียเวลานานในการขึ้นรูปแต่ละครั้ง เนื่องจากหลังการขึ้นรูปต้องนำแม่พิมพ์ส่วนตรงกลางมาทำความสะอาด โดยกำจัดเศษยางคงรูป (Scrap) ที่ติดอยู่บริเวณหัวฉีดหรือบริเวณฐานของช่องใส่ยางออกให้หมดก่อนที่จะทำการขึ้นรูปครั้งต่อไปได้ โดยตัวอย่างของเครื่องจักรแม่พิมพ์แบบกึ่งฉีด (Transfer molding machine) สามารถแสดงได้ในรูปที่ 2.4

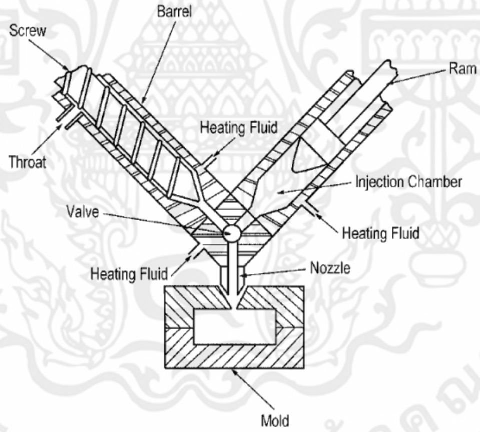
รูปที่ 2.4 เครื่องจักรแม่พิมพ์แบบกึ่งฉีด

2.1.3 แม่พิมพ์แบบฉีด

แม่พิมพ์แบบฉีด (Injection mold) พัฒนามาจากแม่พิมพ์ 2 แบบแรก วิธีนี้มีอัตราเร็วในการผลิตสูงและผลิตภัณฑ์ที่ได้มีขนาดที่ถูกต้องมากกว่าการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบอื่น จึงเหมาะกับการผลิตชิ้นส่วนที่มีความซับซ้อน เครื่องฉีดยางแบบนี้มีทั้งแบบเกลียวหนอน (Screw-type injection molding machine) หรือแบบผสมระหว่างเกลียวหนอนกับแท่งกด (Plunger screw injection molding machine) หลักการคือจะต้องทำให้ยางนิ่มไหลได้ก่อนที่จะฉีดยางเข้าสู่เบ้าแม่พิมพ์ โดยเกลียวหนอนจะหมุนทำให้ยางถูกป้อนเข้าสู่กระบอกหุ้มสกรูของเครื่องฉีดอย่างต่อเนื่อง (ตั้งค่าอุณหภูมิของกระบอกหุ้มสกรูเพื่อทำให้ยางนิ่ม) ยางจะไหลไปด้านหน้าของเกลียวหนอน เมื่อมีปริมาณและอุณหภูมิสูงเพียงพอแล้ว เกลียวหนอนก็จะหยุดหมุนและถูกดันไปข้างหน้าเพื่อฉีดยางคอมปาวด์ให้ไหลเข้าสู่เบ้าพิมพ์ที่ร้อน หลังจากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาคงรูปจนสมบูรณ์และแม่พิมพ์จะเปิดออก นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ แม่พิมพ์จะปิด เกลียวหนอนก็จะเริ่มหมุนพร้อมทั้งเคลื่อนตัวไปทางด้านหลังเพื่อให้ยางคอมปาวด์ชุดใหม่ไหลลงมาสำหรับการฉีดในรอบถัดไป โดยตัวอย่างของแม่พิมพ์ประเภทนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.5

รูปที่ 2.5 เครื่องจักรแม่พิมพ์แบบฉีด (Injection molding machine)

ส่วนประกอบของเครื่องฉีดยาง (Injection molding) สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.6 โดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งหน่วยการทำงานหลักของเครื่องฉีดยางได้ดังต่อไปนี้

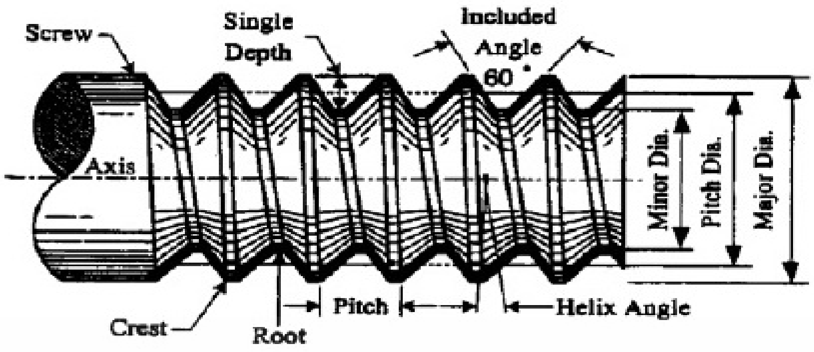


รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของเครื่องฉีดยาง

- Injection unit มีหน้าที่รับยางจากกรวยเติมสาร (Hopper) แล้วทำการหลอมเหลวก่อนที่จะฉีดยางเหลวเข้าไปในช่องว่างของแม่พิมพ์

- สกรู (Screw) มีหน้าที่หลักในกระบวนการ Rubber injection อยู่สองประการคือ การหลอมยางและป้อนยางเข้าสู่กระบอกฉีด โดยการหมุนของสกรูทำให้เกิดการลำเลียงยางไปด้านหน้า พร้อมกันนี้ความร้อนที่เกิดขึ้นจากแรงเฉือนระหว่างยางกับสกรูและยางกับกระบอกหุ้มสกรูเป็นความร้อนหลักที่ทำให้ความหนืดของยางลดลง ส่วนฮีตเตอร์ที่กระบอกหุ้มสกรูทำหน้าที่ให้ความร้อนเสริมและควบคุมอุณหภูมิ นอกจากนี้แรงเฉือนที่เกิดขึ้นทำให้ยางเกิดกระบวนการผสมซ้ำอีกครั้ง (Remix) โดยแผนภาพของสกรูสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แสดงส่วนประกอบของสกรูป้อนยางคอมปาวด์

ลักษณะของสกรูตลอดจนส่วนประกอบอื่นของเครื่องฉีดยางมีหน้าที่ทำไม่ให้ยางคอมปาวด์เกิดการวัลคาไนซ์ก่อนในสันสกรู ในพื้นที่ด้านหน้าสกรูหรือแม้แต่ในหัวฉีด ทั้งนี้สามารถทำได้โดยการใช้กระบอกฉีดที่ควบคุมอุณหภูมิได้ สกรูที่ใช้จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 30-120 มิลลิเมตร นอกจากนั้นจะมีความยาวของสกรูสั้น และความลึกของสันสกรูจะค่อยๆลดลงจากส่วนป้อนส่งสาร (หรือไม่ค่อยมีความแตกต่างของความลึกของสันสกรู) และถ้าใช้ความดันย้อนกลับในการขึ้นรูปด้วย จะต้องควบคุมไม่ให้เกิดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่สกรู ดังนั้น สกรูจึงมักจะกลวงด้านในเพื่อให้สามารถหล่อเย็นด้วยน้ำได้

- หัวฉีด (Nozzle) เป็นส่วนประกอบหนึ่งของชุดฉีดยาง มีหน้าที่เป็นทางผ่านของยางเหลวจากกระบอกฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ ซึ่งหัวฉีดจะเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างปลายกระบอกฉีดกับ Sprue Bush ของแม่พิมพ์ ในขณะทำการฉีดยางเข้าไปในแม่พิมพ์ ขนาดรัศมีของปลายหัวฉีดต้องมีขนาดพอดีที่จะสวมหรือสัมผัสกับขนาดรัศมีของ Sprue Bush ของแม่พิมพ์ และต้องไม่มีรอยยุบรอยกระแทกที่บริเวณใกล้กับรูฉีดของหัวฉีด เพราะอาจทำให้การฉีดมีปัญหาได้

- Clamping unit เป็นชุดอุปกรณ์ที่มีหน้าที่ในการติดตั้งแม่พิมพ์ เปิด-ปิดแม่พิมพ์ และกระทุ้งชิ้นงานที่ฉีดเสร็จแล้วออกจากแม่พิมพ์ โดยเฉพาะการปิดแม่พิมพ์นั้น Clamp unit จะต้องมีแรงในการปิดที่สามารถต้านทานแรงดันของยางเหลวในขั้นตอนการฉีดได้ โดยทั่วไป Clamp unit จะมีอยู่ 2 ระบบหลัก ดังนี้

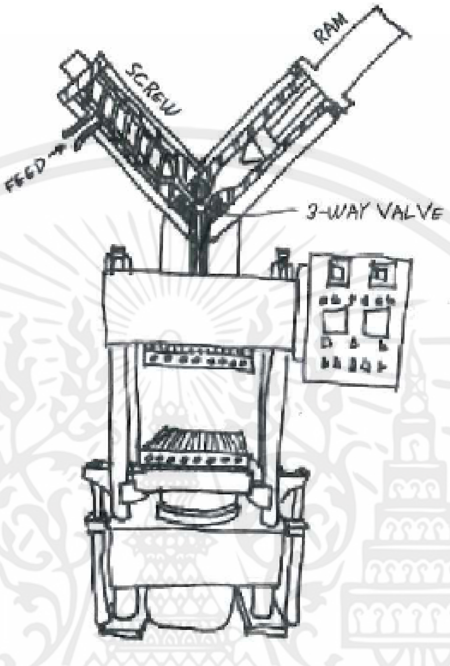
Direct Clamp เป็นระบบการเปิด-ปิดแม่พิมพ์โดยตรงผ่านต้นกำลัง ซึ่งก็คือลูกสูบไฮดรอลิค (Hydraulic Cylinder) ระบบนี้เป็นระบบที่นิยมใช้ในเครื่องฉีดระบบไฮดรอลิคซึ่งมีข้อดีก็คือสามารถตั้งค่าได้ง่าย

Toggle Clamp เป็นระบบการเปิด-ปิดแม่พิมพ์ผ่านกลไกหรือระบบเชิงกล ซึ่งสามารถใช้กับต้นกำลังที่เป็นเซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) หรือไฮดรอลิคก็ได้ ซึ่งมีข้อดีก็คือแรงในการปิดแม่พิมพ์จะเที่ยงตรงและสม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Control unit มีหน้าที่ในการควบคุมการทำงานทุกระบบของเครื่องฉีด เช่น การควบคุมอุณหภูมิของกระบอกฉีด (Barrel) การควบคุมแรงดันและความเร็วในการฉีด การควบคุมความเร็วในการเปิด-ปิดแม่พิมพ์ การควบคุมเวลาของการทำงานในแต่ละขั้นตอน เป็นต้น

โดยส่วนใหญ่กระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีดนิยมใช้เครื่องจักรแม่พิมพ์แบบฉีดแนวตั้ง (Vertical Injection molding machine) ดังรูปที่ 2.8



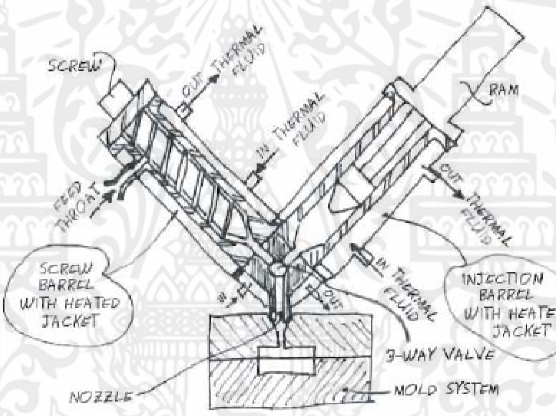
รูปที่ 2.8 เครื่องจักรแม่พิมพ์แบบฉีดแนวตั้ง (Vertical Injection molding machine)

สำหรับเครื่องจักรแม่พิมพ์แบบฉีดแนวตั้งในรูปที่ 2.8 จะมีระบบฉีดสำหรับเติมยางเข้าสู่ cavity ซึ่งเป็นกระบวนการอัตโนมัติเมื่อเทียบกับกระบวนการกดอัดหรือทรานสเฟอร์ ส่วนประกอบหลักของระบบฉีดประกอบด้วย สกรู มีหน้าที่รับยางที่เป็นเส้นและป้อนเข้าสู่ด้าน Feed โดยในสกรูจะมีเกลียวพิเศษที่เรียกว่า Fligth ซึ่งทำหน้าที่ส่งยางผ่านช่องเล็กๆ ไปสู่วาล์วสามทาง (3 ways valve) จากนั้นวาล์วสามทางจะปล่อยให้ยางไหลเข้าสู่ holding chamber ที่มี piston ram การควบคุมการกดลูกสูบจะทำให้สามารถป้อนยางเข้าสู่ holding chamber ได้อย่างแม่นยำ เมื่อมีคำสั่ง ก้านกดจะดันยางให้ออกจาก chamber ผ่านวาล์วสามทาง ผ่าน runner และ sprue เข้าไปเติมที่ cavity เครื่องฉีดชิ้นงานโดยทั่วไปจะมีสองแบบคือแบบแนวตั้วและแนวนอน โดยเครื่องฉีดแนวตั้งจะตั้งอยู่คู่กับ main cylinder ram ที่เป็นแนวตั้งเหมือนกัน ส่วนเครื่องฉีดแนวนอนจะคู่กับ main cylinder ram ที่เป็นแนวนอนเหมือนกัน โดยเครื่องฉีดแนวตั้งจะใช้พื้นที่ในการติดตั้งเครื่องน้อยกว่าเครื่องฉีดแบบแนวนอนและส่วนใหญ่จะใช้กับงานที่ฉีดยางติดกับโลหะหรือการใช้งานที่ซ้อนทับกัน ส่วนเครื่องฉีดแนวนอน มีข้อดีตรงที่สามารถซ่อมและบำรุงรักษาได้ง่าย พนักงานไม่จำเป็นต้องปีนหรือใช้บันได โดยเครื่องฉีดแนวนอนเหมาะสมกับการขึ้นรูปแบบอัตโนมัติ

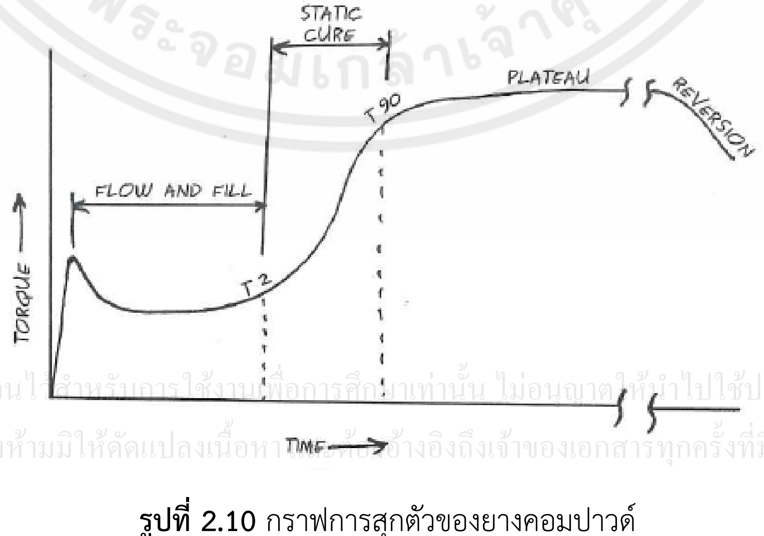
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณของยางที่อยู่ใน holding chamber จะเรียกว่า Shot ซึ่งผู้ผลิตเครื่องฉีดจะมีการอธิบายถึงลักษณะของเครื่องฉีดโดยมีการระบุ Shot size สูงสุดของเครื่อง โดยเครื่องฉีดจะถูก

ออกแบบหน่วยการฉีดตามที่ลูกค้าระบุ Shot capacities ระบบการฉีดจะมีความซับซ้อนมากกกว่าเมื่อเทียบกับระบบการกดอัดหรือการทรานสเฟอร์ ในรูปที่ 2.9 แสดงถึงลักษณะภายในของระบบฉีด ในระบบการฉีดนี้ประกอบด้วย Feed opening สกรู วาล์วสามทาง ก้านกด และหัวฉีด นอกจากนี้ส่วนประกอบที่อยู่ภายในบาร์เรล มีระบบไหลเวียนทางความร้อนด้วยของเหลว เพื่อใช้ในการรักษาอุณหภูมิในแต่ละส่วนของระบบฉีด เมื่อยางไหลผ่านสกรู ผ่านวาล์วสามทาง อัดอยู่ใน ram chamber ถูกอัดผ่านวาล์วสามทาง และผ่านหัวฉีด จะทำให้เกิดความร้อนขึ้น ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นเพียงพอสำหรับการทำให้บางส่วนของยางสุกตัวในขณะที่อยู่ในระบบการฉีด ซึ่งเป็นสถานการณ์ที่ไม่ต้องการ ซึ่งตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2.10 ซึ่งมีการอ้างอิงและกล่าวถึง TS2 ซึ่งเป็นส่วนที่ควรเกิดขึ้นเมื่อสิ้นสุดการไหลและเติมสู่ cavity ส่วนที่สำคัญคือยางต้องไหลผ่านทุกส่วนของระบบฉีดและเข้าสู่ cavity ก่อนที่จะถึง TS2 ซึ่งต้องทำให้มีระบบไหลเวียนทางความร้อนเพื่อหล่อเย็นหรือให้ความร้อนในบริเวณที่ต้องการเพื่อป้องกันยางเกิด TS2 ก่อนที่จะเข้าสู่ cavity ซึ่งระบบการฉีดที่มีประสิทธิภาพสามารถตั้งค่าเพื่อให้ความร้อนกับยางในบริเวณที่ต้องการให้ยางอ่อนตัว ทำให้ไหลผ่านระบบได้ง่าย และปิดการให้ความร้อนในส่วนอื่นๆของระบบเพื่อป้องการยางได้รับความร้อนมากเกินไป



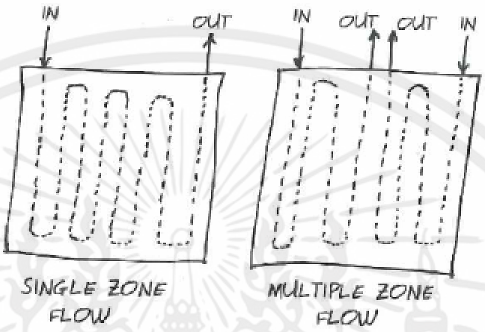
รูปที่ 2.9 ลักษณะภายในของระบบฉีด



รูปที่ 2.10 กราฟการสุกตัวของยางคอมปาวด์

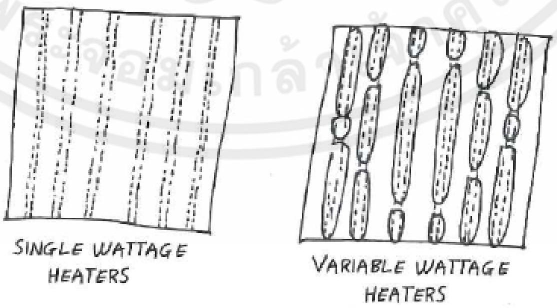
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในเครื่องกดอัดที่ผ่านมาจะกล่าวถึงการใช้เพลทให้ความร้อนเป็นแหล่งกำเนิดของอุณหภูมิไปสู่แม่พิมพ์ เพลท และทำให้ยางสุกตัว ซึ่งหลายบริษัทใช้เพลทที่มีช่องผ่านเพลทเพื่อการไหลของน้ำมันร้อน ของไหลร้อน น้ำร้อน หรือไอน้ำ ของไหลร้อนที่ไหลผ่านเพลททำให้ความร้อนไหลสู่เพลทหรือแม่พิมพ์ ซึ่งทำให้ของไหลที่ร้อนขณะไหลเข้าเพลทเย็นตัวลงเมื่อไหลออกจากเพลท ซึ่งเป็นผลจากการถ่ายเทความร้อนโดยธรรมชาติสู่เพลทและแม่พิมพ์ ในรูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างเพลทที่มีจุดเข้าและออกหนึ่งจุด และเพลทที่มีจุดเข้าและออกหลายจุด การที่รูปแบบการไหลมีหลายโซนจะทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิในแม่พิมพ์มีน้อย



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างเพลทที่มีจุดเข้าและจุดออกหนึ่งจุด และเพลทที่มีจุดเข้าและจุดออกหลายจุด

การให้ความร้อนแบบอื่นที่นิยมคือ การใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้า (Electronic cartridge) เสียบผ่านเข้าไปในเพลท ส่วนใหญ่ฮีตเตอร์ที่ใช้ในเพลทจะมีวัตต์เท่ากัน ซึ่งเป็นวิธีปฏิบัติทั่วไปเนื่องจากต้องการลดจำนวนและประเภทของฮีตเตอร์ที่ต้องเตรียมไว้สำหรับการซ่อมบำรุงรักษาและอะไหล่สำรอง อย่างไรก็ตาม บริเวณตรงกลางของเพลทจะมีความร้อนที่สูงกว่าบริเวณรอบๆ หนึ่งวิธีการที่ใช้ในการลดความแตกต่างของอุณหภูมิคือการใช้ฮีตเตอร์ที่มีวัตต์ที่แตกต่างกันในเพลท ในรูปที่ 2.12 รูปแรกจะแสดงถึงเพลทที่มีฮีตเตอร์ขนาดวัตต์เท่ากัน ส่วนอีกรูปเป็นเพลทที่มีฮิตเตอร์ที่มีวัตต์แตกต่างกัน โดยฮีตเตอร์ที่อยู่บริเวณกลางแม่พิมพ์จะมีวัตต์ที่ต่ำกว่าฮีตเตอร์ที่อยู่ด้านนอก ส่งผลให้ความร้อนนำเข้าสู่บริเวณกลางของเพลท ทำให้อุณหภูมิในเพลทแตกต่างกันน้อยลง

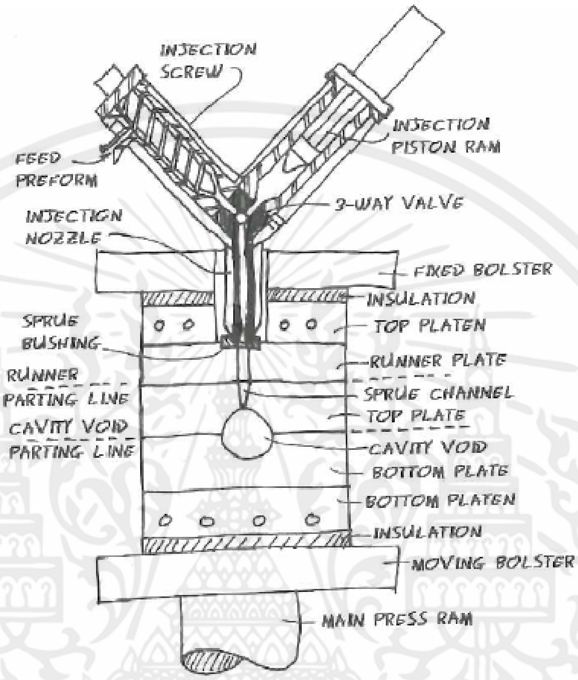


รูปที่ 2.12 เพลทที่มีฮีตเตอร์ขนาดวัตต์เท่ากัน (ซ้าย) เพลทที่มีฮีตเตอร์ที่มีวัตต์แตกต่างกัน (ขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

การฉีดขึ้นรูปเป็นวิธีการหนึ่งของกระบวนการขึ้นรูปยาง ในขณะที่ยางอยู่ในรูปของสายยาวหรือริบบิ้น ถูกป้อนเข้าสู่ส่วนที่เป็นกลไกของเครื่องกด ในพื้นที่ที่แยกจากแม่พิมพ์ จากนั้นจะถูกดันให้ไหลผ่าน chamber และ runner ซึ่งก่อนที่ยางจะเข้าสู่ cavity บริเวณ cavity จะถูกหนีบไว้

อย่างแน่นหนาที่ parting line โดยใช้แรงกดจาก main primary ram ซึ่งเป็นระบบแรก ในส่วนของระบบที่สอง จะไม่ขึ้นกับ primary ram โดยยางจะถูกผลักให้ไหลด้วยกลไกเพื่อเติมเต็ม cavity ซึ่งกลไกที่เกี่ยวข้องกับเครื่องฉีดจะประกอบด้วยสกรู และ ram piston ปกติเครื่องฉีดมีอยู่หลายรูปแบบ แต่หลักการพื้นฐานคือปริมาณหรือปริมาตรยางที่วัดได้จะถูกรวบรวมไปสู่ holding chamber จากนั้นจะดันออกจาก chamber ผ่านช่องทางต่างๆเข้าสู่ cavity ซึ่งการใช้ช่องต่างๆจึงทำให้ถูกเรียกว่า การฉีด ซึ่งมีกลไกคล้ายกับการใช้เข็มฉีดยาในการถ่ายโอนยาจาก holding chamber เข้าสู่ผู้ป่วย



รูป 2.13 แผนผังของแม่พิมพ์สำหรับฉีดที่มี cavity ทรงกลม

ในรูปที่ 2.13 แสดงแผนผังของแม่พิมพ์สำหรับฉีดที่มี cavity ทรงกลม จากในรูปจะเห็นว่ายางเป็นเส้นถูกป้อนเข้าสกรู แล้วถูกผลักเข้าไปใน piston ram chamber โดยการผ่านวาล์วสามทาง จากนั้น piston ram จะดันยางที่ถูกวัดปริมาตรใน chamber ให้ไหลผ่านวาล์วสามทางเข้าสู่หัวฉีด โดยหัวฉีดจะสัมผัสกับ sprue bushing ที่ติดอยู่ด้านบนของ runner plate โดยยางจะไหลผ่าน sprue bushing เข้าสู่ช่องที่นำไปสู่ cavity ทรงกลม parting line ของ cavity ถูกหนีบไว้ด้วย primary press ram ในช่องของ runner จะมี parting line ของ runner ดังแสดงในภาพ ดังนั้น จึงสามารถดึง runner ออกจากแม่พิมพ์ได้หลังจากจบกระบวนการ cure โดยที่ parting line ของ runner ก็ถูกหนีบด้วย primary press ram เหมือนกัน จากรูปจะเห็นว่า runner ประกอบด้วย tapered break point อยู่ 2 ตำแหน่งคือที่ cavity และ sprue bushing โดยที่ตำแหน่งที่ติดกับ cavity ยางจะสุกตัว ส่วนที่ติดกับ sprue bushing ยางจะอยู่ระหว่างสุกและไม่สุกในช่อง runner ในส่วนของระบบแรงที่สองจะมีหน้าที่ในการป้อนยางเข้าสู่สกรู หมุนสกรู เติมยางเข้าสู่ chamber และผลักยางให้ไหลผ่าน runner เข้าสู่ cavity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

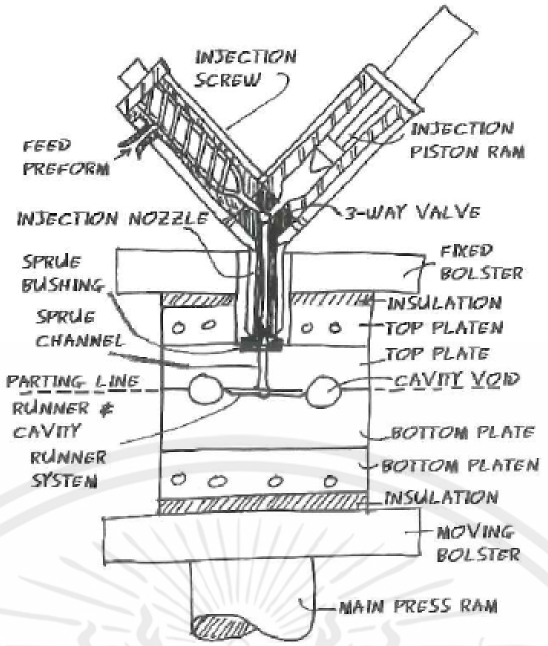
ข้อดีของการขึ้นรูปด้วยการฉีดคือทำให้ยางถูกบดขณะที่กำลังลำเลียงในสกรู ทำให้ยางนุ่มลงหรือมีความหนืดต่ำลงจึงไหลง่ายขึ้น ซึ่งความหนืดของยางระหว่างกระบวนการไม่ได้เปลี่ยนแปลงตามสูตรที่ออกแบบมาของยาง แต่เป็นการตอบสนองต่อแรงที่เกิดขึ้นในกระบวนการ ซึ่งถ้ายางถูกกระทำมาก อาจทำให้ยางในเครื่องฉีดเกิดการสุกตัว แต่ถ้ายางมีความหนืดมากเกินไป ยางจะไม่ไหลและทำให้การทำงานหยุดชะงักได้

สำหรับเหตุผลที่ส่วนของเครื่องฉีดมี fluid chamber รอบๆ สกรู prison ram หัวฉีดและตำแหน่งอื่นๆ เพื่อให้ของไหลนำความร้อนไหลผ่านเข้าไปในระบบ โดยของไหลมีหน้าที่ดึงความร้อนออกจากยาง เพื่อชะลอการสุกตัวของยางก่อนที่ถูกฉีดไปที่ cavity ซึ่งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนถูกใช้เพื่อกำจัดความร้อนออกจากของไหล ก่อนนำเข้าไปหมุนเวียนในระบบ

สำหรับของไหลนำความร้อน สามารถใช้น้ำได้ในบางงาน แต่สำหรับแม่พิมพ์ที่อุณหภูมิสูง ต้องใช้ของไหลนำความร้อนเฉพาะเช่น น้ำมัน หรือ ไกลคอลเบส เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะไม่เพียงแต่ลดความร้อนส่วนเกินที่เกิดจากเครื่องกดอัด แต่ยังต้องสามารถให้ความร้อนเข้าสู่เครื่องกดอัดได้ด้วย กล่าวคือเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต้องสามารถสร้างและรักษาช่องอุณหภูมิที่ต้องการสำหรับเครื่องกดอัดได้ โดยเครื่องฉีดโดยทั่วไปจะมีส่วนที่อุณหภูมิแตกต่างกันหลายจุด ซึ่งโดนควบคุมด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ในส่วนต่อมาจะกล่าวถึงแม่พิมพ์สำหรับฉีดที่มี cavity รูปวงแหวนดังแสดงในรูปที่ 2.14 จากรูปจะเห็นว่ายางเป็นเส้นถูกป้อนเข้าสกรู แล้วถูกผลักเข้าไปใน piston ram chamber โดยการผ่านวาล์วสามทาง จากนั้น piston ram จะดันยางที่ถูกวัดปริมาตรใน chamber ให้ไหลผ่านวาล์วสามทาง ผ่านหัวฉีด และผ่าน sprue bushing ที่ติดอยู่ด้านบนของแม่พิมพ์ ช่อง sprue ต่อจาก sprue bushing ที่ด้านบนของแม่พิมพ์ไปสู่ parting line โดยจะออกแบบให้ช่อง sprue ที่ติดกับ sprue bushing มีความเรียว เพื่อให้เป็นจุดที่แยกยางที่สุกตัวแล้วกับยางที่ไม่สุก ที่ Parting line ช่อง sprue จะเปลี่ยนเป็น runner บนผิวหน้าของแม่พิมพ์เพลทและป้องยางเข้าสู่ cavity ซึ่งในการออกแบบสามารถให้ runner อยู่บนผิวของแม่พิมพ์ล่างดังในรูปภาพ หรืออยู่บนผิวแม่พิมพ์บนหรือทั้งสองก็ได้ Parting line จะถูกหนีบไว้ด้วย Primary press ram จากในรูปภาพระบบ runner จะเป็นแบบ runner สั้นอยู่บริเวณตรงกลางของ cavity วงแหวน ในส่วนของระบบแรงที่สองจะมีหน้าที่ในการป้อนยางเข้าสู่สกรู หมุนสกรู เติมยางเข้าสู่ chamber และผลักยางให้ไหลผ่าน runner เข้าสู่ cavity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 หน้าตัดของแม่พิมพ์สำหรับฉีดที่มี cavity รูปวงแหวน

โดยทั่วไปของเสียทางวิศวรรมของกระบวนการฉีดเป็นสิ่งสำคัญและมีราคาแพงสำหรับผู้ผลิตที่จะปรับเปลี่ยน ซึ่งต่อมาจะส่งผลให้กำไรลดน้อยลง โดยของเสียทางวิศวกรรมหลักที่เกิดในกระบวนการคือ runner parting line flash gate และ sprue ซึ่งโดยปกติ parting line flash จะไม่ใช่ส่วนที่เป็นของเสียทางวิศวกรรม เมื่อเทียบกับปริมาตรของ runner พบว่า parting line flash มีปริมาณที่น้อยกว่ามาก ซึ่งในบางกระบวนการฉีดพบว่าของเสียทางวิศวกรรมมีปริมาตรมากกว่าปริมาตรของตัวชิ้นงานถึง 2 เท่าขึ้นไป

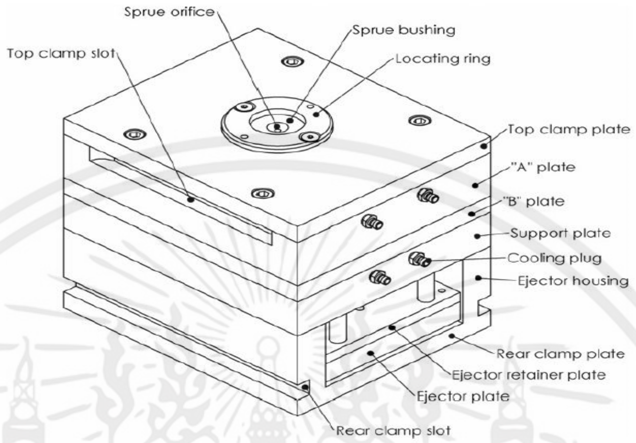
เพื่อที่จะลดปริมาณของเสียทางวิศวกรรมในกระบวนการฉีด ผู้ผลิตจะต้องรวมระบบ cold runner เข้าไปในการออกแบบแม่พิมพ์ ซึ่งระบบ cold runner ที่มีประสิทธิภาพจะทำช่องทางของของไหลนำความร้อยในตำแหน่งที่ต้องการ ซึ่งคล้ายกับระบบทำความร้อนของเครื่องกดอัดและเครื่องฉีด โดยจะใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อสร้างหรือรักษาระดับอุณหภูมิในส่วนต่างๆของแม่พิมพ์เพื่อที่จะทำให้ยางมีการสุกตัวที่ไวขึ้น ในขณะเดียวกันก็รักษาระดับอุณหภูมิของยางจากการร้อนเกินไปหรือสุกตัวก่อนที่จะถูกฉีดเข้าสู่ cavity

ยางที่ค้างอยู่ในระบบ cold runner จะอยู่ในช่องนั้นจนกว่าจะมีการฉีดในรอบถัดไป ในขณะที่ซ่อมบำรุงพนักงานไม่จำเป็นต้องดึงยางจาก cold runner ออก ซึ่งจะช่วยลดเวลาการซ่อมบำรุงและลดของเสียทางวิศวกรรม นอกจากนี้ เนื่องจากในช่อง runner ถูกเติมด้วยยางของรอบก่อนหน้า ซึ่งจะทำให้รอบเวลาน้อยลงเพราะไม่ต้องใช้เวลาในการเติมยาง ส่งผลให้รอบเวลาลดลงเมื่อใช้ระบบ cold runner เทียบกับ hot runner

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 แม่พิมพ์ (Mold) [1-5]

แม่พิมพ์เป็นส่วนสำคัญในการกำหนดรูปร่างของชิ้นงาน ทำหน้าที่รองรับเนื้อยางหลอม ที่ถูกฉีดมาจากหน่วยฉีด (Injection Unit) ผ่านหัวฉีดเข้ามาทางรูฉีด (Sprue) บังคับให้เนื้อยางหลอมเข้าสู่รูวิ่ง (Runner) ผ่านประตูฉีด (Gate) ก่อนเข้าสู่โพรงแบบ (Cavity) โดยรูปตัวอย่างของแม่พิมพ์และส่วนประกอบพื้นฐานของแม่พิมพ์แสดงดังรูป 2.15 และตารางที่ 2.1 ตามลำดับ



รูปที่ 2.15 ส่วนประกอบพื้นฐานของ Two Plate Mold

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบพื้นฐานของแม่พิมพ์

ชื่อส่วนประกอบ	หน้าที่
Front clamping plate	ยึดแม่พิมพ์ด้าน Fixed (Cavity) ให้ติดอยู่กับ Fixed/Stationary Platen ของเครื่อง
A-plate (Cavity plate)	ติดตั้ง cavity inserts
B-plate (Core plate)	ติดตั้ง core inserts
Support plate (Core back-up plate)	รองรับและเพิ่มความแข็งแรงให้ B-Plate
Support rails	รองรับ B-Plate และสร้างระยะสำหรับการเคลื่อนที่ของ Ejector plate
Ejector retainer plate	ติดตั้งและกำหนดตำแหน่งของ Ejector pins
Ejector plate	ดัน Ejector pins ทั้งชุดเพื่อดันปลดชิ้นงาน
Rear clamping plate	ยึดแม่พิมพ์ด้าน Move (Core) ให้ติดอยู่กับ Moving Platen ของเครื่องฉีด
Core insert	ขึ้นรูปชิ้นงาน
Locating ring	กำหนดตำแหน่งของแม่พิมพ์บนเครื่องให้ Sprue bushing ตรงกับหัวฉีดเครื่อง
Sprue bushing	เชื่อมต่อกับหัวฉีด เพื่อเป็นทางเข้าของน้ำพลาสติกเหลว

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ชื่อส่วนประกอบ	หน้าที่
Leader pin (Guide Pin/Post)	เพิ่มความเที่ยงตรงในการปิดแม่พิมพ์ให้อยู่ในแนวเส้น (alignment) เดียวกัน
Leader pin bushing (Guide Bush)	ปลอกนำของ Leader pin
Sprue puller (Sprue lock pin)	ดึงให้ Sprue หลุดออกจาก Sprue bushing ในขณะเปิดแม่พิมพ์
Ejector pins	ดันปลดชิ้นงานให้หลุดออกจากแม่พิมพ์
Return pin	ดันชุด Ejector plate กลับตำแหน่งเดิมในขณะปิดแม่พิมพ์
Ejector stop pin	รองรับ Ejector plate ในตำแหน่งกลับสุด

2.2.1 พื้นฐานการออกแบบแม่พิมพ์

สำหรับวัสดุที่จะนำมาใช้เป็นแม่พิมพ์มีหลายชนิด ซึ่งตัวเลือกที่ดีที่สุดคือการดูถึงจุดประสงค์ของการใช้ส่วนต่างๆของแม่พิมพ์ โดยส่วนมากจะใช้เหล็กรีดร้อน (hot rolled steel: HRS) ซึ่งทำจากการใช้เศษเหล็กที่ให้ความร้อนแล้วนำไปรีดผ่านลูกกลิ้งออกมาเป็นแผ่น จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็น เหล็กจะมีเสถียรภาพทางความร้อน ซึ่งหมายความว่าเหล็กจะไม่งอตัวเมื่อได้รับความร้อนจากการให้อุณหภูมิแม่พิมพ์ HRS เป็นเหล็กทั่วไปที่อ่อน ง่ายต่อการใช้งาน แต่เนื่องจากมีความอ่อนทำให้ง่ายต่อการเกิดความเสียหายบนผิวของ cavity ซึ่งข้อดีของ HRS คือราคาถูกเมื่อเทียบกับวัสดุชนิดอื่น ดังนั้น HRS จึงเป็นวัสดุที่นิยมใช้เป็นโครงสร้างของแม่พิมพ์ โดยเฉพาะการใช้เป็น backup plate ซึ่งทำให้ผิวหน้าของ HRS เรียบนั้นทำยากและต้องการวิธีการขัดที่เฉพาะ ดังนั้นเหล็กอัลลอยชนิดอื่นจึงถูกนำมาใช้สำหรับเป็นผิวหน้าของ cavity ปกติแล้วไม่แนะนำให้ใช้เหล็กรีดเย็น (Cold rolled steel: CRS) ในการใช้เป็นแม่พิมพ์หรือผิวหน้าของ cavity เนื่องจากเหล็ก CRS ไม่มีเสถียรภาพทางความร้อน ซึ่งหมายความว่าเหล็กจะมีขนาดที่ไม่แน่นอนและงอตัวเมื่อได้รับความร้อน ซึ่งเหล็ก CRS สามารถใช้เป็นด้ามจับ สลักติดตั้ง บานพับ หรือส่วนประกอบอื่นๆของแม่พิมพ์ที่อยู่ด้านนอกของเพลทแม่พิมพ์

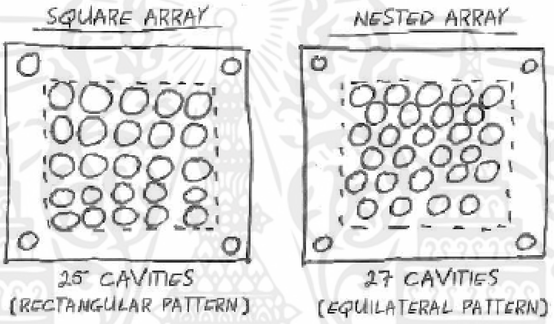
โดยทั่วไปเหล็ก HRS มีอยู่หลายชนิด ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติด้านไหน เมื่อพิจารณาเหล็ก HRS ทั่วไป (เหล็ก 4140 HT เหล็ก FM 15 เหล็ก FM 45 เหล็ก P20 เหล็ก PX5 เหล็ก NAK55 เหล็ก Ultraclean และเหล็ก 420 SS HT) พบว่า เหล็ก 4140 HT และ P20 คือเหล็ก 2 ชนิดที่เป็นเหล็กทั่วไปที่ใช้ทำแม่พิมพ์เพื่อใช้งานกับยาง โดยเฉพาะส่วนของ Main mold plate

อลูมิเนียมไม่นิยมนำมาใช้เป็นแม่พิมพ์สำหรับการขึ้นรูปยางเนื่องจากเป็นโลหะที่อ่อน อย่างไรก็ตามอลูมิเนียมสามารถนำมาใช้งานได้ง่าย และทำให้ผิวเรียบได้ง่าย จึงเป็นจุดที่น่าสนใจสำหรับนำมาทดลองผลิตเพื่อพิจารณา แม่พิมพ์อลูมิเนียมและที่ผิวหน้าของ cavity สำหรับขึ้นรูปยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

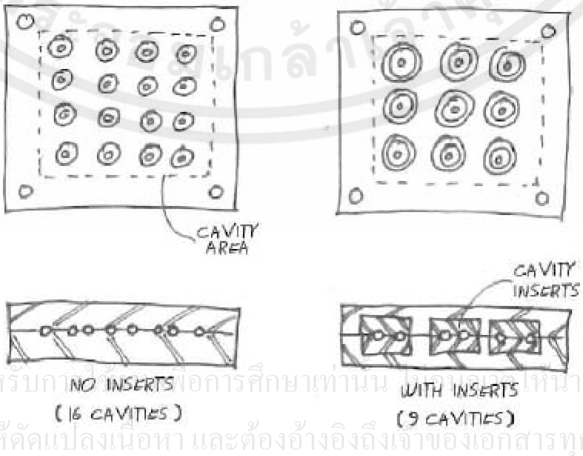
จะมีข้อจำกับของปริมาตรที่ผลิตและไม่ต้องการรอบการบีบที่มาก โดยปกติแล้วแม่พิมพ์สำหรับยางควรจะมีรอบการทำงานที่ยาวซึ่งการใช้เหล็กในการทำแม่พิมพ์จะมีความเหมาะสมมากกว่า

เมื่อไม่คำนึงชนิดของวัสดุที่ใช้สร้างแม่พิมพ์ การออกแบบจะต้องมีการพิจารณาการว่างตำแหน่งของ cavity การประกอบเพลทแม่พิมพ์ การหดตัวที่ยอมรับได้ และการออกแบบทั่วไปอื่นๆ เมื่อมีการวางผังของ cavity จะมีการพิจารณาถึงจำนวนของ cavity ที่จะวางได้ ซึ่งดูเหมือนว่าควรจะวาง cavity ให้ได้มากที่สุดในเพลท แต่บางครั้งอาจจะไม่ใช้วิธีที่ดีที่สุดหรือไม่สามารถปฏิบัติได้ สำหรับขนาดของแม่พิมพ์ ในช่องว่างระหว่าง cavity ควรคำนึงถึง tear trims over flow vent หรือความแข็งแรงของวัสดุระหว่าง cavity นอกจากนี้ cavity ที่ติดกัน สามารถเรียงกันเพื่อเพิ่มจำนวน cavity เทียบกันหลายๆแบบ โดยมีระยะห่างระหว่าง cavity ที่เท่ากัน ซึ่งพื้นที่ของช่องว่างระหว่าง cavity ของแม่พิมพ์ทั้งสองแบบในรูปที่ 2.16 มีขนาดเท่ากัน อย่างไรก็ตาม การจัดเรียงรูปแบบซ้อนกันหรือเฉียงจะมีจำนวน cavity มากกว่ารูปแบบสี่เหลี่ยม



รูปที่ 2.16 ตัวอย่างการจัดเรียง cavity ของแม่พิมพ์

เมื่อมีการใช้ cavity แบบแทรก (cavity insert) จะทำให้จำนวนของ cavity ในแม่พิมพ์มีจำนวนที่น้อยลง แม้ว่าจะมีขนาดช่องว่างระหว่าง cavity ที่เท่ากัน เนื่องจาก cavity แบบแทรกต้องการพื้นที่มากกว่า ดังในรูปที่ 2.17 ทั้ง 2 แม่พิมพ์มีขนาดเพลทและ cavity เท่ากัน โดยแม่พิมพ์แรกเป็น cavity ธรรมดา ส่วนอีกแม่พิมพ์เป็น cavity แบบแทรก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.17 แม่พิมพ์ cavity ธรรมดา (ซ้าย) แม่พิมพ์ cavity แบบแทรก (ขวา)

มีหลายเหตุผลสำหรับการเลือกใช้ cavity แบบแทรก แม้ว่าราคาของแม่พิมพ์จะสูงขึ้น เมื่อเทียบกับการเจาะ cavity ลงบนเพลทแม่พิมพ์ และทำให้มีจำนวน cavity น้อยลง ซึ่ง cavity แบบแทรกเหมาะสำหรับงานที่มีความซับซ้อน หรืองานที่มีความความคาดเคลื่อนที่น้อยและขนาดที่ถูกต้อง ซึ่งอีกหนึ่งเหตุผลที่แนะนำให้ใช้ cavity แบบแทรก คือเป็นการลดความแปรปรวนระหว่าง cavity นอกจากนี้ cavity แบบแทรกยังง่ายต่อการซ่อมแซมหรือเปลี่ยนเมื่อเกิดความเสียหาย และยังมีค่าใช้จ่ายต่ำรวมถึงเสียเวลาน้อยเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนหรือซ่อมแม่พิมพ์ทั้งหมด เมื่อมีการใช้ cavity แบบแทรก ก็ควรเลือกวัสดุที่เหมาะสมกับกระบวนการ การใช้งานของชิ้นงาน ความคลาดเคลื่อนของขนาดที่ยอมรับได้ พื้นผิวของงาน อายุการใช้งานของแม่พิมพ์และปัจจัยอื่นๆ โดยทั่วไปเหล็กที่ถูกนำมาใช้เป็น cavity แบบแทรก มีดังนี้

- เหล็ก 4140 HT
- เหล็ก P20
- เหล็ก PX5
- เหล็ก 420SS
- เหล็ก 416SS
- เหล็ก 440SS

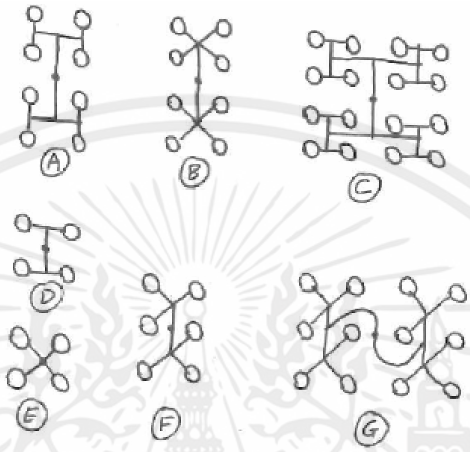
แนวทางการเลือกใช้ cavity แบบแทรกอีกข้อหนึ่งคือ วัสดุของ cavity แบบแทรกควรจะมีความแข็งอย่างน้อยเท่ากับเพลทแม่พิมพ์ ซึ่งควรจะมีความแข็งกว่าเพียงเล็กน้อย ซึ่งเหล็กพิเศษบางชนิดมีคุณสมบัติแข็งที่ดีเยี่ยมสำหรับการใช้งานที่ต้องการพื้นผิวที่มีความแข็งสูง เช่น ใช้กับการสร้างเหรียญ แม่พิมพ์ที่มีคุณภาพหรือความแม่นยำสูง ส่วนมากจะผลิตจากแม่พิมพ์ที่มีความแข็ง และใช้วัสดุทำ cavity แบบแทรกดังนี้

- เหล็ก 420 SS
- เหล็ก 440 SS
- เหล็ก A2
- เหล็ก D2
- เหล็ก S7

เมื่อต้องการพื้นผิวของแม่พิมพ์ที่มันเงา การใช้วัสดุสำหรับทำผิว cavity ควรเป็นเหล็ก Nak55 เหล็ก Nak80 และเหล็ก 440SS ซึ่งเป็นวัสดุที่ให้พื้นผิวที่มันเงา โดยเหล็กชนิดอื่นก็สามารถทำได้เหมือนกัน แต่ต้อใช้เวลาและความละเอียดในการสร้างจนกว่าจะได้พื้นผิวที่ต้องการ ทำให้สุดท้ายแล้วมีค่าใช้จ่ายที่สูงเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม่พิมพ์สำหรับการฉีดจะใช้ runner เป็นตัวกำหนดทิศทางการไหลของยางจากหน่วยฉีดไปสู่ cavity รูปแบบของการจัดวางตำแหน่งของ cavity และ sprue จะถูกจัดเรียงให้มีความสมมาตรและสมดุล โดยรูปแบบการจัดเรียงแสดงในรูปที่ 2.18 จะเห็นได้ว่าบางรูปแบบ มีจำนวนของ cavity เท่ากัน แต่มีรูปแบบของ runner ต่างกัน รูปแบบ A และ B มี 8 cavity โดยรูปแบบ A จะมีเส้นทางของ runner เป็นแบบตัว H ในขณะที่รูปแบบ B จะเป็นแบบตัว X ซึ่งรูปแบบ D และ E ต่างก็มีการจัดวางแบบตัว H และ X ตามลำดับ



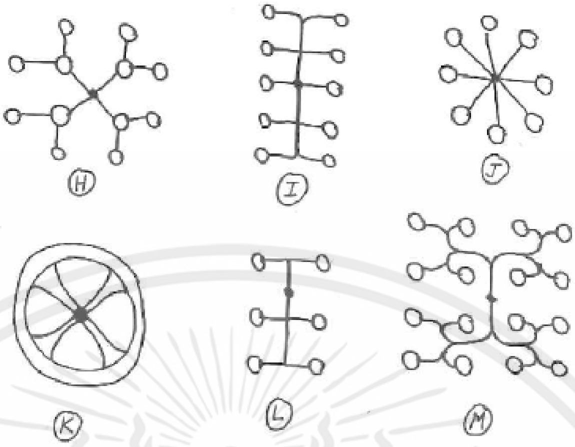
รูปที่ 2.18 การวางรูปแบบที่มีจำนวนของ cavity เท่ากัน แต่มีรูปแบบของ runner ต่างกัน

รูปแบบ C จะเป็นเพิ่มจำนวนของ cavity โดยจะขยายจำนวนของ runner เป็นสองเท่า โดยเริ่มจากรูปแบบ 1 cavity จะนำมาเพิ่มเป็น 2 เท่าและ 4 เท่า ตามลำดับ จากนั้นก็เพิ่มเป็น 8 เท่า และ 16 เท่า ซึ่งจะได้ 16 cavity ซึ่งการขยายรูปแบบที่เท่ากัน จะเป็นการรักษาความสมมาตรของผัง cavity ในส่วนของรูปแบบ G จะไม่ได้ใช้กฎการขยายรูปแบบที่เท่ากันซึ่งมี 12 cavity โดยที่ทั้ง 12 cavity ของรูปแบบ G มีความสมมาตรซึ่งมีระยะของ runner จากจุดศูนย์กลางไปยัง cavity เท่ากันหมด แต่รูปแบบการการจัดวางนี้อาจจะก่อให้เกิดปัญหาการไหลหรือการเติมระหว่างขึ้นรูปได้

ซึ่งในบางครั้งอาจต้องมีการออกแบบรูปแบบ runner ที่ไม่มีความสมมาตร ซึ่งเป็นรูปแบบที่ควรจะหลีกเลี่ยง เพราะทำให้ปัญหาในกระบวนการได้ ในรูปที่ 2.19 รูปแบบ H I และ L เป็นรูปแบบที่ไม่สมดุลและไม่สมมาตร รูปแบบ H เป็นรูปแบบที่ไม่ควรออกแบบมาใช้งานอย่างยิ่ง เพราะด้านในมี 4 cavity มีระยะจากตรงกลางเท่ากัน ซึ่งจะทำให้ cavity ด้านนอก 8 cavity จะไม่ถูกเติมเต็มจนกระทั้งยางจะไหลเข้า cavity ด้านในและไหลไป cavity ด้านนอก ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหามากมายระหว่างการผลิต ซึ่งในความเป็นจริง ขณะที่พัฒนาหรือออกแบบแม่พิมพ์ควรจะหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกิดขึ้นด้วยการทำให้ runner มีความสมดุลก่อน

รูปแบบ M เป็นตัวอย่างของรูปแบบ runner ที่โค้งมนสำหรับ 16 cavity ซึ่งเป็นรูปแบบลดปัญหาการไหลและการเติมยางน้อยกว่ารูปแบบ C เนื่องจากมีการทำเส้นทางให้โค้งมนเพื่อลดความร้อนที่เกิดขึ้นจากการไหลเข้าสู่ cavity โดยรูปแบบ J จะเป็นรูปแบบที่เป็นวง ซึ่งจะกระจาย runner ออกจากตรงกลาง โดยแต่ละ runner จะป้อนเข้าสู่ 1 cavity ส่วนรูปแบบ K แสดง sprue อยู่ตรง

กลางและมี runner ตามแนวรัศมี (ในรูปมี 4 runner) แล้วป้อนเข้าสู่วงแหวน รูปแบบ runner แบบวงกลมจะมีลักษณะคล้ายกับซี่ล้อ แล้วป้อนเข้าไปสู่แต่ละ cavity ตราบเท่าที่ระยะของ cavity กับศูนย์กลาง Runner มีขนาดเท่ากัน จะสามารถเพิ่มจำนวน cavity ได้ตามที่จะสามารถจัดเรียงได้



รูปที่ 2.19 การวางรูปแบบของ cavity ที่ไม่สมดุลและไม่สมมาตร

2.3 ชนิดของยางคอมปาวด์ [1-5]

ยางมีมากมายหลายชนิด ทั้งยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ การเลือกใช้ชนิดของยางให้เหมาะสมเป็นเรื่องที่จำเป็นต่อการออกสูตรยาง

2.3.1 ยางธรรมชาติ (Natural rubber; NR)

ยางธรรมชาติมีสมบัติเด่น คือ มีความยืดหยุ่น (Elasticity) สูง ทั้งที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิต่ำ ความเหนียวติดกัน (tack) ในสภาพที่ยังไม่คงรูปที่ดีเยี่ยม มีความทนต่อแรงดึง (Tensile strength) สูงมากโดยไม่ต้องเติมสารตัวเติมเสริมแรง มีความทนต่อการฉีกขาด (Tear strength) สูงมาก ทั้งที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิสูง มีสมบัติเชิงพลวัต (Dynamic properties) ที่ดี มีการสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนต่ำระหว่างการใช้งาน มีความต้านทานต่อการล้าตัว (Fatigue resistance) ที่สูงมาก มีความต้านทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) สูง แต่ยังด้อยกว่ายางสไตรีนบิวทาไดอีน

ยางธรรมชาติจัดเป็นยางเอนกประสงค์ที่สามารถนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย เช่น ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย ลูกโป่ง ยางรัดของ ท่อยาง สายพานลำเลียง ยางกระเป๋าน้ำร้อน ยางล้อรถบรรทุก ยางล้อรถยก ยางล้อเครื่องบิน หรือใช้ผสมกับยางสังเคราะห์ในการผลิตยางล้อรถยนต์ เป็นต้น

สำหรับข้อด้อยของยางธรรมชาติ ได้แก่ ไม่ทนต่อโอโซน ความร้อน แสงแดด น้ำมัน (ละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน โทลูอีน) และสารเคมีอื่นๆ

2.3.2 ยางสังเคราะห์ (Synthetic Rubber; SR)

ยางสังเคราะห์ผลิตขึ้นมาเพื่อแทนที่ยางธรรมชาติที่มีข้อด้อยหลัก คือ ไม่ทนต่อโอโซน ความร้อน แสงแดด น้ำมัน และสารเคมี สามารถแบ่งได้เป็นหลายชนิดตามชนิดของโมโนเมอร์ที่เข้ามาทำปฏิกิริยากัน

- ยางโพลิไอโซพรีน (cis-1,4-polyisoprene; IR) เป็นยางที่เกิดจากความพยายามในการสังเคราะห์ยางที่มีโครงสร้างทางเคมีและสมบัติเหมือนกับยางธรรมชาติ ดังนั้นจึงสามารถใช้ยางโพลิไอโซพรีนแทนยางธรรมชาติในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆได้ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติแล้ว ยางโพลิไอโซพรีนมีสมบัติทางกล เช่น ความทนต่อแรงดึงและความทนต่อการฉีกขาดต่ำกว่าเล็กน้อย และมีราคาสูงกว่ายางธรรมชาติอีกด้วย แต่ยางโพลิไอโซพรีนก็มีข้อดีที่เหนือกว่ายางธรรมชาติ คือ ยางจะมีคุณภาพสม่ำเสมอกว่า มีสิ่งเจือปนน้อยกว่า และมีสีขาวสวย บางครั้งจึงนิยมใช้ยางโพลิไอโซพรีนแทนยางธรรมชาติในการผลิตจุกนมยางและอุปกรณ์การแพทย์บางชนิด

- ยางสไตรีนบิวทาไดอีน (Styrene-Butadiene Rubber; SBR) เป็นยางสังเคราะห์จากโมโนเมอร์ของสไตรีนและบิวทาไดอีน จัดเป็นยางสังเคราะห์เอนกประสงค์ที่สำคัญและใช้กันมากที่สุดในโรงงานอุตสาหกรรมเพราะเป็นยางที่ใช้กันได้ทั่วไปเช่นเดียวกับยางธรรมชาติและยางโพลิไอโซพรีน สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆได้อย่างกว้างขวาง มีคุณภาพสม่ำเสมอ และราคาค่อนข้างคงที่ นอกจากนั้นข้อดีของยางสไตรีนบิวทาไดอีนที่เหนือกว่ายางธรรมชาติ คือ มีกระบวนการแปรรูปที่ง่ายกว่า ประหยัดทั้งกำลังงานและเวลาตลอดจนต้นทุนการผลิต นอกจากนั้น ยางสไตรีนบิวทาไดอีนมีความต้านทานต่อการขัดถูสูงกว่ายางธรรมชาติเล็กน้อย ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากยางสไตรีนบิวทาไดอีน ได้แก่ สายพาน พื้นรองเท้า ฉนวนหุ้มสายไฟ ท่อยาง ผลิตภัณฑ์ยางทางการแพทย์ บรรจุภัณฑ์อาหารรวมถึงดอกยางล้อรถยนต์โดยสาร เป็นต้น

- ยางไนไทรล์ (Nitrile หรือ Acrylonitrile-Butadiene Rubber; NBR) เป็นยางที่สังเคราะห์จากโมโนเมอร์ของอะคลีโลไนไทรล์และบิวทาไดอีน ยางไนไทรล์มีสมบัติเด่น คือ ทนต่อน้ำมันปิโตรเลียมและตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วต่างๆได้ดี ทนต่อการเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากความร้อน ออกซิเจน และโอโซนสูงกว่ายางธรรมชาติและสไตรีนบิวทาไดอีน และเป็นยางที่มีความต้านทานต่อการขัดถูที่สูงมาก สำหรับข้อด้อย คือ เป็นยางที่มีสมบัติความเหนียวติดต่ำ เมื่อผ่านการวัลคาไนซ์ ยางจะมีความยืดหยุ่น ความทนทานต่อแรงดึง และความทนต่อการฉีกขาดขาดค่อนข้างต่ำ หากต้องการนำไปใช้งานในทางวิศวกรรมก็จำเป็นต้องเติมสารตัวเติมเสริมแรงเข้าช่วย

ยางไนไทรล์ส่วนใหญ่นิยมนำไปใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ยางที่ทนน้ำมัน เช่น ปะเก็นน้ำมัน ยางโอริง ยางซีล ยางเชื่อมข้อต่อ สายพานลำเลียง ท่อดูดหรือส่งน้ำมัน ท่อยางเสริมแรง ยางบุภาชนะ ยางเคลือบลูกกลิ้ง รองเท้าบูท พื้นและสันรองเท้า เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ยางบิวไทล์ (Butyl Rubber; IIR) เป็นยางที่สังเคราะห์จากโมโนเมอร์ของไอโซพรีนและไอโซบิวทิลีน สมบัติเด่นของยางชนิดนี้ คือ ความสามารถในการเก็บกักก๊าซได้ดีเยี่ยม (มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซต่ำกว่ายางธรรมชาติประมาณ 8-10เท่า) มีความทนต่อแรงดึงและความต้านทานต่อการ

ขัดถูอยู่ในเกณฑ์ที่ดี และสามารถทนต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากสารเคมี ออกซิเจน โอโซน ไอน้ำ ความร้อน และสภาพอากาศได้อย่างดีเยี่ยมอีกด้วย แต่ยางบิวไทล์มีข้อด้อย คือ ความยืดหยุ่นค่อนข้างต่ำ ยางบิวไทล์นิยมใช้ในการผลิตยางโอริงหรือปะเก็นยางชนิดที่ต้องทนต่อสารเคมี ท่อไอน้ำ ยางในรถบรรทุก ยางบุด้านในของยางล้อแบบไม่มียางใน สายพาน ยางบุต่างๆ รวมถึงจุกปิดขวดยา เป็นต้น

- ยางบิวทาไดอีน (Butadiene Rubber; BR) มีสมบัติเด่น คือ เมื่อผ่านการวัลคาไนซ์แล้ว ยางจะมีความยืดหยุ่นและความต้านทานต่อการขัดถูสูงที่สุดในบรรดายางทั้งหมด มีความเป็นฉนวนสูงและมีสมบัติการหักงอที่อุณหภูมิต่ำดีมาก อย่างไรก็ตาม ยางชนิดนี้มีความทนต่อแรงดึงต่ำ ไม่ทนต่อน้ำมันหรือตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วเช่นเดียวกับยางธรรมชาติ รวมทั้งยังเสื่อมสภาพได้เร็วเหมือนยางที่ไม่อิ่มตัวชนิดอื่นๆ และยางยังมีคุณสมบัติเหนียวติดต่ำ (ในสภาพที่ยังไม่คงรูป) อีกด้วย ส่วนใหญ่นิยมนำยางบิวทาไดอีน ไปใช้ในการผลิตดอกยางล้อรถยนต์ ไส้ในลูกกอล์ฟ ลูกฟุตบอล ยางพื้นรองเท้า สายพานลำเลียง ยางกันกระแทก สายพานส่งกำลัง และยางกันสะเทือน เป็นต้น

- ยางเอทิลีนโพรพิลีนไดอีนโมโนเมอร์ (Ethylene Propylene Diene Rubber; EPDM) เป็นยางที่สังเคราะห์จากโมโนเมอร์ของเอทิลีน โพรพิลีน และไดอีน มีสมบัติดีเยี่ยมในด้านความทนต่อการเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากความร้อน ออกซิเจน โอโซน และสารเคมี เป็นยางที่มีความยืดหยุ่น มีความเป็นฉนวน และมีความต้านทานต่อการล้าตัวค่อนข้างสูง สามารถนำไปใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 150 $^{\circ}$C จึงนิยมใช้ในการผลิตท่อยางเครื่องซักผ้า ยางหุ้มท่อแอร์ สายพานลำเลียง แผ่นยางกันน้ำ แผ่นยางมุงหลังคา ฉนวนหุ้มสายเคเบิล รวมถึงชิ้นส่วนรถยนต์ เช่น ยางขอบหน้าต่าง ยางขอบประตู แก้มยาง ท่อยางหม้อน้ำ เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม ยางเอทิลีนโพรพิลีนไดอีนโมโนเมอร์เป็นยางที่มีสมบัติเหนียวติดต่ำ มีความทนต่อแรงดึงต่ำ และไม่ทนน้ำมันหรือตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว

- ยางซิลิโคน (Silicone Rubber; Q) จัดเป็นยางชนิดพิเศษที่มีสมบัติเด่น คือ มีความทนต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน ออกซิเจน และโอโซนสูงมาก จึงสามารถใช้งานในที่อุณหภูมิสูงหรือต่ำมากๆได้ ยางซิลิโคนมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลต่ำ ส่วนใหญ่จึงอยู่ในรูปของเหลวที่มีความหนืดสูงหรืออยู่ในรูปของแข็งที่มีความหนืดต่ำ สามารถอัดตัวได้มาก (highly compressible) และยอมให้ก๊าซซึมผ่านได้ง่าย นอกจากนี้ยางชนิดนี้ต้องวัลคาไนซ์ด้วยระบบเพอร์ออกไซด์ จึงทำให้ยางทนต่อแรงดึง ความทนต่อการฉีกขาด และความต้านทานการขัดถูต่ำมาก ทนน้ำมันได้ในระดับปานกลาง

ยางซิลิโคนมีหลายชนิด เช่น ไดเมทิลซิลิโคน (MQ) ไดเมทิลไวนิลซิลิโคน (VMQ) ไดเมทิลฟีนิลซิลิโคน (PMQ) ไดเมทิลไวนิลฟีนิลซิลิโคน (PVMQ) รวมถึงยางฟลูออโรซิลิโคน (FVMQ) ซึ่งเป็นยางที่มีทั้งหมู่ไวนิลเมทิล และหมู่ที่มีธาตุฟลูออรีนเป็นองค์ประกอบ

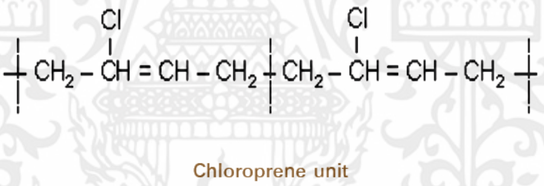
ส่วนใหญ่นิยมใช้ในการผลิตยางที่เป็นชิ้นส่วนของยางอวกาศ เครื่องบิน และรถยนต์ ใช้ทำฉนวนหุ้ม สายเคเบิ้ล ยางโอริง หน้ากากออกซิเจน และใช้ในงานทางการแพทย์และเภสัชกรรม รวมถึงผลิตภัณฑ์ยางที่ต้องสัมผัสกับอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ห้ามทำการดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ยางฟลูออโรคาร์บอน (Fluorocarbon Rubber; FKM) เป็นยางที่มีฟลูออรีนเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณสูง มีสมบัติเด่น คือ มีความเป็นขั้วและมีความเสถียรสูงมาก จึงทนน้ำมันและตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วได้ดีเยี่ยม ทนต่อการเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากความร้อน ออกซิเจน โอโซน เปลวไฟ และสารเคมีต่างๆ ได้อย่างดีเยี่ยมด้วย (ทนความร้อนได้สูงที่สุดในบรรดายางทั้งหมด) นอกจากนี้ ยังมีอัตราซึมผ่านของก๊าซที่ต่ำมากอีกด้วย อย่างไรก็ดี ยางชนิดนี้ก็มีราคาที่สูงมากและเป็นยางที่มีความยืดหยุ่นและมีสมบัติเชิงกลที่ด้วยกว่ายางไดอีนชนิดอื่นๆ

ยางฟลูออโรคาร์บอนสามารถใช้ในการผลิตปลอกหุ้มสายไฟหรือสายเคเบิ้ล ในกรณีที่ต้องการความทนต่อความร้อน โอโซน สารเคมี และเปลวไฟสูงเป็นพิเศษ นอกจากนี้ ยังใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์อื่นๆ โดยเฉพาะชิ้นส่วนยานยนต์ (รวมถึงชิ้นส่วนของเครื่องบินและจรวด) ได้แก่ ท่อน้ำมันเชื่อเพลิง ยางโอริง ปะเก็น ยางซีล เป็นต้น

- ยางคลอโรพรีน (Chloroprene Rubber; CR) เป็นยางที่สังเคราะห์จากโมโนเมอร์ของคลอโรพรีน มีสมบัติความเหนียวติดที่ดี ยางวัลคาไนซ์ มีความทนต่อแรงดึงและความทนต่อการฉีกขาดสูงโดยที่ไม่ต้องเติมสารตัวเติมเสริมแรง (แต่ยังต่ำกว่ายางธรรมชาติเล็กน้อย) มีความต้านทานการขัดถูสูง สามารถทนต่อน้ำมันหรือตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วได้ในระดับปานกลางถึงดี มีความทนต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน ออกซิเจน และโอโซนสูงกว่ายางไดอีนทั่วๆไปและยังไม่ลามไฟอีกด้วย โดยยางคลอโรพรีนมีสูตรโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 สูตรโครงสร้างของยางคลอโรพรีน

แม้ว่ายางคลอโรพรีนเป็นยางที่มีสมบัติโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ที่ดี แต่ก็เป็นยางที่มีราคาค่อนข้างแพง นิยมนำไปใช้ในการผลิตแผ่นยางรองรางรถไฟ ยางซีล ท่อยางเสริมแรง สายพานลำเลียงในเหมืองแร่ สายพานรูปตัววี ยางรองคอสะพาน ยางบุผนัง พื้นรองเท้า ยางขอบหน้าต่าง และยางขอบหลังคา

นอกจากการแบ่งกลุ่มตามลักษณะการใช้งานแล้ว ยางคลอโรพรีนยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มตามชนิดของการสารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์ อันได้แก่

ยางกลุ่มที่มีกำมะถันเป็นส่วนประกอบ (sulfur modified CR) โดยในระหว่างกระบวนการการสังเคราะห์ยางคลอโรพรีนจะมีการใส่กำมะถันลงไปเพื่อควบคุมน้ำหนักโมเลกุลของยาง กำมะถันที่เติมลงไปจะเข้าไปทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรซ์เซชั่นร่วม (copolymerization) และแทรกอยู่ในสายโซ่พอลิเมอร์ในรูปของ S จากนั้นจึงเติมสารประกอบของโธยูแรมไดซัลไฟล์ลงไปเพื่อทำให้ยางที่ได้มีความเสถียรสูงขึ้น ดังนั้น ในบางครั้งจึงรียกยางเกรดนี้ว่า “Thiuram grade”

ยางกลุ่มที่มีเมอแคพแทนเป็นองค์ประกอบ (mercaptan modified CR) ในการสังเคราะห์ยางเกรดนี้ จะทำการควบคุมน้ำหนักโมเลกุลของยางโดยการเติม n-dodecyl mercaptan ลงไป ยางกลุ่มนี้จะไม่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นจึงเรียกว่า “non-sulfur modified grade”

ยางคลอโรพรีนชนิดที่มีกำมะถันเป็นส่วนประกอบและไม่มีกำมะถันเปป็นองค์ประกอบจะมีสมบัติในการแปรรูปที่แตกต่างกัน โดยยางเกรดที่ไม่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบจะไม่นิ่มของอีกขณะทำการบดในกระบวนการมาสติเคชั่น การผลมกับสารเคมีอื่นๆ จะเกิดได้เร็วกว่าและเกิดความร้อนต่ำกว่าด้วย แต่ยางเกรดที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบจะมี “nerve” ที่ต่ำกว่า ทำให้สามารถอัดผ่านดายหรือรีดด้วยเครื่องคาเลนเดอร์ได้ง่ายกว่า ยางรักษารูปทรงได้ดี มีผิวเรียบ และมีการหดตัวน้อยกว่า เป็นต้น

2.4 ลักษณะการวัลคาไนซ์ (Cure characteristic) [1-5]

ลักษณะการวัลคาไนซ์ เช่น ระยะเวลาสกอร์ช (Scorch time) และระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ (Curing time) จัดเป็นสมบัติสำคัญของยางคอมปาวด์ที่ส่งผลต่อกระบวนการผลิตเพราะถ้ายางเกิดการวัลคาไนซ์เร็วเกินไปหรือมีระยะการสกอร์ชที่สั้นเกินไปก็อาจก่อให้เกิดปัญหาการไหลในระหว่างการขึ้นรูปได้ เช่น ยางไหลได้ไม่เต็มพิมพ์ ดังนั้น ในการออกสูตรเคมียาง จึงต้องออกสูตรให้ยางคอมปาวด์มีระยะเวลาสกอร์ชที่ยาวเพียงพอที่จะไม่ก่อให้เกิดปัญหาในกระบวนการผลิต และยางคอมปาวด์ก็ควรจะมีระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ที่สั้นเพื่อทำให้ต้นทุนการผลิตลดลงและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต

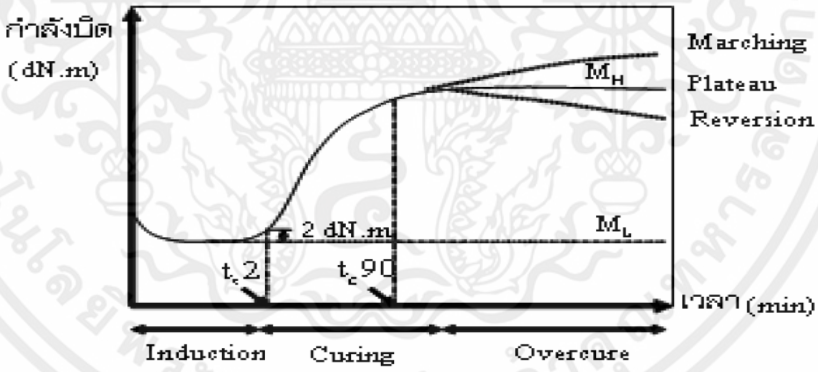
ยิ่งไปกว่านั้น การทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางยังเป็นหนึ่งในขั้นตอนของการควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตอีกด้วย เช่น หากมีการชั่งน้ำหนักของสารเคมีในกลุ่มที่ทำให้ยางวัลคาไนซ์ผิดหรืออาจเติมสารเคมีดังกล่าวผิดขั้นตอนก็จะส่งผลทำให้ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางผิดปกติได้ ปัจจุบัน เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางมี 3 ชนิด ได้แก่ เครื่องมูนนี่วิสโคมิเตอร์ (Mooney viscometer) เครื่องรีโอมิเตอร์แบบจานแกว่ง (Oscillating disc rheometer: ODR) และเครื่องรีโอมิเตอร์แบบดายส์เคลื่อนที่ (Moving die rheometer; MDR)

2.4.1 การทดสอบด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์แบบจานแกว่ง

เครื่อง ODR ดังแสดงในรูปที่ 2.21 เป็นเครื่องมือที่ได้รับการออกแบบมาเพื่อใช้สำหรับศึกษาลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางโดยตรง ตัวเครื่องประกอบด้วยโรเตอร์ที่เคลื่อนที่อยู่ในช่องว่างระหว่างดายบนและดายล่างเช่นเดียวกับเครื่องมูนนี่วิสโคมิเตอร์ อย่างไรก็ดีโรเตอร์ของเครื่อง ODR มีรูปร่างเป็นรูปโคนคู่ประกบ (biconical shape) และการเคลื่อนที่ของโรเตอร์ในระหว่างการทดสอบจะเป็นแบบแกว่ง (ไม่ใช้แบบหมุนเหมือนในกรณีของเครื่องมูนนี่วิสโคมิเตอร์) โดยการแกว่งของโรเตอร์จะเกิดขึ้นเป็นมุมแคบๆ (1° หรือ 3°) ด้วยความถี่ 1.67 Hz หรือ 100 รอบต่อนาทีเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการทำลายโครงสร้างตาข่าย 3 มิติของยางวัลคาไนซ์ จากนั้นเครื่องก็จะบันทึกแรงบิดที่เปลี่ยนไปตามระยะเวลาของการทดสอบซึ่งจะได้กราฟที่มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.21 เครื่องรีโอมิเตอร์แบบจานแกว่ง



รูปที่ 2.22 กราฟที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่อง ODR

จากรูป จะเห็นว่าลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงใหญ่ๆ คือ

- ช่วงเริ่มต้น (Introduction) เมื่อยางได้รับความร้อน ยางก็จะนิ่มลงทำให้แรงบิดลดลงในระยะแรกจนกระทั่งเมื่ออุณหภูมิของยางเริ่มเข้าสู่สมดุล ความหนืดของยางก็จะมีค่าต่ำสุดและจะมีค่าคงที่อยู่ ณ จุดนี้เป็นระยะเวลาหนึ่งก่อนที่จะเริ่มเกิดการวัลคาไนซ์ ใช้สัญลักษณ์ว่า M_L

- ช่วงการวัลคาไนซ์ (Curing) หลังจากที่ยางเริ่มเกิดการวัลคาไนซ์ ความหนืดของยางก็จะเริ่มสูงขึ้น (แรงบิดจึงเริ่มสูงขึ้นตามเวลา) ระยะเวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มปิดดายจนถึงเวลาที่ยางเริ่มเกิดการวัลคาไนซ์ เรียกว่า “ระยะเวลาสกอร์ช (scorch time)” และใช้สัญลักษณ์เป็น t_s ในกรณีที่ใช้มุม

แกว่งเท่ากับ 1° ค่าระยะเวลาสกอร์ชคือ ระยะเวลาที่ทำให้ค่าแรงบิดสูงกว่าจุดต่ำสุด 1 เดซินิวตัน-เมตร (dN.m) ใช้สัญลักษณ์ว่า t_s1 แต่ในกรณีที่ใช้มุมแกว่งเท่ากับ 3° ค่าระยะเวลาสกอร์ชคือ ระยะเวลาที่ทำให้ค่าแรงบิดสูงกว่าจุดต่ำสุด 2 เดซินิวตัน-เมตร (dN.m) ใช้สัญลักษณ์ว่า t_s2 ระยะเวลาสกอร์ชเป็นตัวบ่งชี้ถึงระยะเวลาที่ยางยังคงสามารถไหลขึ้นรูปได้ ณ อุณหภูมินั้นๆ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงความปลอดภัยในกระบวนการผลิต

เมื่อทดสอบต่อไป ค่าแรงบิดก็จะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามระดับของการวัลคาไนซ์จนกระทั่งถึงจุดที่การวัลคาไนซ์เกิดขึ้นสมบูรณ์ แรงบิด ณ จุดนี้จะมีค่าสูงที่สุดและใช้สัญลักษณ์ว่า M_Hซึ่งจะเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงค่ามอดูลัสเฉือนของยางวัลคาไนซ์ ณ อุณหภูมิของการทดสอบ

ตัวแปรสำคัญอีกตัวหนึ่งที่เป็นตัวบ่งชี้ลักษะของการวัลคาไนซ์ยาง คือ “ระยะเวลาของการวัลคาไนซ์ (curing time)” โดยทั่วไปใช้สัญลักษณ์เป็น t_cx เมื่อ x คือร้อยละการเพิ่มขึ้นของแรงบิดจากจุดต่ำสุด (M_L) เมื่อเปรียบเทียบกับจุดสูงสุด (M_H) ซึ่งค่า t_c90 จัดเป็นค่า “ระยะเวลาของการวัลคาไนซ์ที่เหมาะสม (optimum curing time)” หมายถึงระยะเวลาที่ใช้ในการทำให้ยางวัลคาไนซ์ไปร้อยละ 90 หรือระยะเวลาที่ทำให้แรงบิดมีค่าเท่ากับค่าแรงบิดต่ำสุดบวกด้วย 90% ของผลต่างระหว่างค่าแรงบิดต่ำสุดและค่าแรงบิดสูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากการวัลคาไนซ์ ณ จุดนี้จะทำให้ยางมีสมบัติทางกลส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ที่ดี ส่วนการวัลคาไนซ์ไปจนถึง 100% ส่วนใหญ่มักจะส่งผลทำให้สมบัติเชิงกลบางประการของยางด้อยลง โดย t_c90 สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.1)

t_c90 = ระยะเวลาที่ทำให้แรงบิดมีค่าเท่ากับ $M_L + [90(M_H - M_L) / 100]$ (2.1)

นอกจากตัวแปรต่างๆที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังมีตัวแปรอีกตัวหนึ่งที่สามารถใช้แสดงลักษณะการวัลคาไนซ์ของยาง นั่นคือ ดัชนีอัตราการวัลคาไนซ์ (Cure rate index; CRI) ซึ่งแสดงถึงอัตราการเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ที่สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.2)

CRI = 100/(ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ที่เหมาะสม-ระยะเวลาสกอร์) (2.2)

- ช่วงของการวัลคาไนซ์ที่มากเกินไป (Overcure) เมื่อปฏิกิริยาวัลคาไนซ์เกิดได้สมบูรณ์แล้ว แต่ยังคงทดสอบต่อไป ค่าแรงบิดหรือมอดูลัสของยางอาจจะคงที่ตามเวลา เรียกว่าเกิด “plateau” แต่ในบางกรณีอาจพบว่าค่ามอดูลัสของยางอาจจะสูงขึ้นเรื่อยๆ เรียกว่าเกิด “marching” หรืออาจจะมีค่าต่ำลง เรียกว่าเกิด “reversion” ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของยางและสูตรเคมีที่ใช้

2.5 ปัญหาของเสียจากการขึ้นรูปยางคอมปาวด์ด้วยแม่พิมพ์ [1-5]

2.5.1 ปัญหาของเสียจากเศษยางปนเปื้อนกับชิ้นงาน (Cure rubber)

ปัญหาเศษยางปนเปื้อนกับชิ้นงาน เป็นอีกปัญหาใหญ่ที่พบ โดยสามารถแยกได้เป็น 3 ลักษณะ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เศษยางที่เกิดจากการสุกตัวไปแล้ว (Scorch) ปนเปื้อนอยู่ภายในชิ้นงาน เนื่องจากโมเลกุลของยางเกิดปฏิกิริยา (Crosslink) ไปแล้วบางส่วน ซึ่งเศษยางชนิดนี้จะปนเปื้อนอยู่ภายในของชิ้นงาน โดยสังเกตได้จากชิ้นงานจะมีรอยนูนที่พื้นผิว อาจจะมีลักษณะเป็นรอยนูนขนาดเล็กไปจนถึงรอยนูนยาวขนาดใหญ่ มีสาเหตุมาจากอุณหภูมิในการฉีดขึ้นรูปในส่วนของหน่วยฉีด (Injection Unit) สูงเกินไป และระยะเวลาในกระบวนการฉีดขึ้นรูป (Cycle time) นานเกินไป

- เศษยางที่เกิดจากความไม่สะอาดของแม่พิมพ์ เนื่องจากมีเศษยางที่เกิดจากการฉีด (Scrap) จากชิ้นงานก่อนหน้ายังติดค้างอยู่ภายในแม่พิมพ์ มีสาเหตุมาจากการทำความสะอาดแม่พิมพ์โดยการเป่าครีบยางออกไม่หมดยังคงหลงเหลือติดอยู่ในโพรงแบบ (Cavity) หรือแกน (Core) ของแม่พิมพ์ หรือส่วนโพรงแบบ (Cavity) หรือแกน (Core) อาจจะมีตำแหน่งที่ทำให้ครีบยางติดแน่นไม่สามารถหลุดออกไปได้

- เศษยางที่เกิดจากยางขาด ยางที่ป้อนเข้าเครื่องฉีด ได้รับความร้อนทำให้ยางเกิดการอ่อนตัว และน้ำหนักของยางดึงลงมา ทำให้ยางในช่วงที่ต่อเข้ากับสกรูขาด ความเร็วรอบของสกรูมีค่ามากขึ้น ทำให้ยางเกิดการสกอร์ชเร็วขึ้น

2.5.2 ปัญหาของเสียจากพุพองในชิ้นงาน

ฟองอากาศพุพอง (Blister) เป็นอีกปัญหาที่มีความร้ายแรงอย่างมากในการขึ้นรูปด้วยกระบวนการพิมพ์ฉีดยาง (Rubber injection molding) ปัญหาฟองพุพองสามารถเกิดขึ้นแบบสุ่มหรือซ้ำอยู่บริเวณเดิมของชิ้นงาน ความไม่ชัดเจนนี้ส่งผลต่อแนวทางการแก้ไขปัญหา ส่วนใหญ่แล้วมักจะเกิดจากการกักเก็บอากาศรูปแบบหนึ่ง สิ่งที่แตกต่างจากปัญหาฟองอากาศคือ ส่วนใหญ่ปัญหาฟองอากาศ (Air bubble) จะเกิดกับส่วนของชิ้นงานที่มีความหนากว่าส่วนอื่นๆและจะอยู่ภายในของชิ้นงานที่ลึกกว่า ลักษณะเป็นฟองอากาศขนาดใหญ่ ส่วยปัญหารอยพุพองจะเกิดได้โดยไม่ขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นงานและจะสังเกตได้ชัดเจนที่พื้นผิวของชิ้นงาน ลักษณะเป็นฟองขนาดเล็กจำนวนมาก ปัญหารอยพุพองไม่ได้มีสาเหตุจากการกักอากาศ (Air trap) ในทุกกรณี แนวทางการตรวจสอบปัญหาทำได้หลากหลายวิธี เช่น ตรวจสอบความชื้น หรือสภาวะการกักเก็บอากาศของยางคอมปาวด์ เพิ่มความดันย้อนกลับ (Back pressure) ตรวจสอบความเร็วในการฉีด (Injection speed) ความเร็วในการฉีดอาจจะสูงเกินไป ตรวจสอบความดันฉีด (Injection pressure) ความดันฉีดที่ใช้อาจสูงเกินไป อุณหภูมิแม่พิมพ์สูงเกินไป ตรวจสอบน้ำหนักยางฉีดว่าเหมาะหรือไม่ ตรวจสอบระบบระบายอากาศของแม่พิมพ์ ลดความเร็วในการป้อนยางคอมปาวด์ เป็นต้น การแก้ปัญหาควรมีการตรวจสอบสาเหตุของปัญหาให้แน่ชัดก่อนเพื่อการแก้ปัญหาที่ตรงจุดและใช้แนวทางแก้ปัญหาได้ถูกต้อง

2.5.3 ปัญหาของเสียจากการหดตัว (Shrinkage)

โดยทั่วไปแล้วการเกิดรอยยุบบนผิวของชิ้นงานเกิดขึ้นภายหลังจากปรับตั้งค่าปริมาตรการฉีดที่เหมาะสม แต่ยังไม่ได้มีการให้ความดันคงค้าง (Holding pressure) ภายหลังจากในจังหวะการฉีดขึ้นรูป (Injection phase) ซึ่งการเกิดรอยยุบบนผิวของชิ้นงานมีสาเหตุหลักมาจากการหดตัวของชิ้นงาน (Shrinkage) ในขณะที่เย็นตัวภายในแม่พิมพ์ฉีด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการฉีดชิ้นงานที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนามาก หรือที่บริเวณแนวเสริมความแข็งแรงของชิ้นงาน อย่างไรก็ตามหากมีการให้แรงดันคงค้างแล้วรอยยุบยังคงปรากฏอยู่บนผิวของชิ้นงานอาจจะมีแนวทางการแก้ไข ดังนี้

- เพิ่มปริมาตรของพลาสติกหลอมเหลว ที่สามารถไหลเข้าในแม่พิมพ์ฉีดในจังหวะที่ให้ความดันคงค้าง หรือที่เรียกว่า ครูชั่น (Cushion)

- เพิ่มความดันคงค้างและ/หรือเวลาใน การให้ความดันคงค้าง

- ลดอุณหภูมิฉีดของพลาสติกหลอมเหลวและ/หรือลดอุณหภูมิของแม่พิมพ์ฉีด และ/หรือลดความเร็วฉีด (หากพบรอยยุบเกิดขึ้น ใกล้บริเวณทางเข้า หรือในกรณีพบรอยยุบในชิ้น งานหนา)

- เพิ่มอุณหภูมิฉีดของพลาสติกหลอมเหลวและ/หรือเพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์ฉีดและ/หรือเพิ่มความเร็วฉีด (หากพบรอยยุบเกิดขึ้นห่าง จากบริเวณทางเข้า หรือในกรณีพบรอยยุบในชิ้นงานบาง)

2.5.4 **ปัญหาของเสียจาก**ชิ้นงานฉีดไม่เต็ม (Short shots)

ข้อบกพร่องแรกที่พบมากในกระบวนการ ฉีดขึ้นรูปคือ ชิ้นงานฉีดไม่เต็มแบบ ซึ่งพบทุกครั้งในขั้นตอนแรกของการ ฉีดขึ้นรูป เพื่อการปรับตั้งปริมาตรการฉีดหรือ ระยะการฉีด (Shot size) ที่เหมาะสม อย่างไร ก็ตามหากปัญหาดังกล่าวยังคงเกิดขึ้น ทั้งที่ได้ทำการตั้งปริมาตรการฉีดที่เหมาะสมแล้ว แนวทางการแก้ ไขปัญหาอาจสามารถทำได้ โดย

- เพิ่มอุณหภูมิฉีดของพลาสติกหลอมเหลว (Injection temperature)
- เพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์ฉีด (Mold temperature)
- เพิ่มความดันในการฉีด (Injection pressure)
- เพิ่มความเร็วในการฉีด (Injection speed)

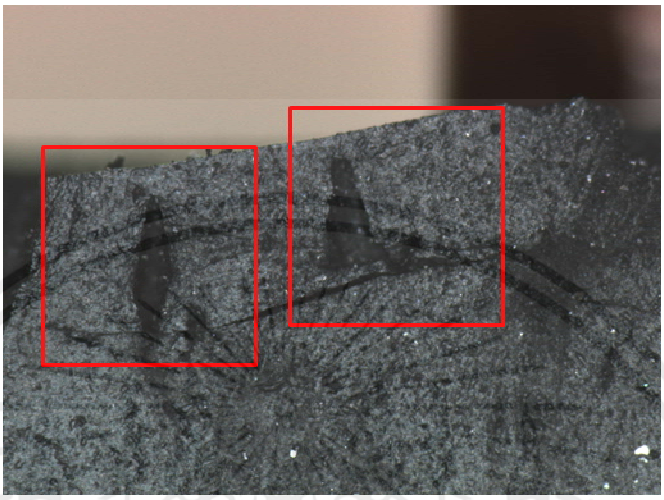
2.5.5 การปนเปื้อนบนผิวของชิ้นงาน (Contamination)

การปนเปื้อนบนผิวของชิ้นงานโดยทั่วไปแล้วมีหลายสาเหตุซึ่งมาจากการควบคุมในกระบวนการผลิตที่ไม่เหมาะสม ยกตัวอย่างเช่น การเกิดการปนเปื้อนของผงสีเม็ดสี (Pigment) หรือเม็ดเคมี ในบางกรณีอาจเกิดจากการทำความสะอาดแม่พิมพ์ไม่ดี แนวทางแก้ไข คือ ตรวจสอบสิ่งปนเปื้อนที่บริเวณด้านหน้าของแม่พิมพ์ และทำความสะอาดแม่พิมพ์ซึ่งอาจมีคราบน้ำมันติดอยู่

2.6 ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตจริง

สำหรับกระบวนการการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมการฉีดยาง ปัญหาของการฉีดขึ้นรูปยางผลิตภัณฑ์ที่มักพบเจอประกอบด้วย บริเวณปากของชิ้นงานด้านในไม่เต็มพิมพ์ (Short shot) บริเวณ Cutting Line มีรอยฉีกขาด หรือแหว่ง (Tear) บริเวณด้านในของชิ้นงานเป็นฟองอากาศ (Air bubble) บริเวณขอบของชิ้นงานมีรอยพับ พื้นผิวของชิ้นงานมีเศษยางติด (Cure rubber) โดยปัญหา

ที่สำคัญในกระบวนการฉีดขึ้นรูปยางผลิตภัณฑ์ คือ พื้นผิวของชิ้นงานมีเศษยางติด ดังแสดงในรูปที่ 2.23 ซึ่งก่อให้เกิดการสิ้นเปลืองวัตถุดิบในการฉีดทิ้งก่อนเริ่มต้นการฉีดใหม่ในรอบถัดไปและเกิดของเสียในกระบวนการผลิตสูง ดังนั้นวิธีป้องกันไม่ให้ปัญหานี้เกิดขึ้นจึงเป็นสิ่งจำเป็นต้องได้รับการพัฒนา



รูปที่ 2.23 ตัวอย่างปัญหาของพื้นผิวของชิ้นงานมีเศษยางติด

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แม่พิมพ์แบบฉีดเป็นแม่พิมพ์ที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับงานอย่างแพร่หลายในงานอุตสาหกรรม ดังนั้นแม่พิมพ์ประเภทนี้จึงเป็นแม่พิมพ์ที่ถูกนำมาศึกษาอย่างแพร่หลายเช่นกัน โดยงานวิจัยที่น่าสนใจบางส่วนสามารถแสดงได้ดังนี้

Seow และ Lam [6] ศึกษาวิธีที่มีประสิทธิภาพที่ใช้หาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเกิดการสมดุลของการไหลภายใน Cavity ของแม่พิมพ์แบบฉีด โดยใช้โปรแกรม Moldflow นอกจากนี้ Holm และ Langtangen [7] Farina และ Preziosi [8] และ Bikas และคณะ [9] ยังใช้เทคนิคเชิงตัวเลขเพื่อหาสภาวะและแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับแม่พิมพ์แบบฉีด

Pantani และคณะ [10] พัฒนาการจำลองวิวัฒนาการเชิงสัณฐานวิทยาภายในแม่พิมพ์แบบฉีดของพอลิเมอร์แบบเทอร์โมพลาสติก Müller และคณะ [11] พัฒนากระบวนการฉีดขึ้นรูปด้วยวิธี dual energy signatures

จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่างานวิจัยส่วนใหญ่พยายามมที่จะหากระบวนการที่เหมาะสมสำหรับการฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ แต่ยังมีนักวิจัยอีกส่วนหนึ่งที่ทำการศึกษาระบบหล่อเย็นของแม่พิมพ์แบบฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Smith และคณะ [12] และ Zhou และคณะ [13] พัฒนาแบบจำลองเพื่อศึกษาระบบหล่อเย็นของแม่พิมพ์แบบฉีด Dimla และคณะ [14] Li และคณะ [15] และ Jauregui-Becker และคณะ [16] ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบระบบหล่อเย็นของแม่พิมพ์แบบฉีด

จากงานวิจัยข้างต้น จะเห็นว่างานวิจัยเกี่ยวแม่พิมพ์แบบฉีดและระบบหล่อเย็นของแม่พิมพ์แบบฉีดยังคงเป็นหัวข้อที่น่าสนใจที่จะนำมาศึกษา ทั้งนี้ปัญหาเกี่ยวกับของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตก็เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องได้รับการแก้ไขดังได้กล่าวมาในหัวข้อที่ 2.6 ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงทำการทดลองเพื่อแก้ปัญหาของเสียโดยการปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนภายในระบบหล่อเย็นของแม่พิมพ์แบบฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง

3.1 อุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 เครื่องจักรสำหรับการพิมพ์ฉีดยาง

เครื่องจักรสำหรับการพิมพ์ฉีดยาง (Rubber injection molding machine) ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.1 และคุณสมบัติของเครื่องจักรสำหรับการพิมพ์ฉีดยางแสดงได้ดังนี้

- แรงดันอัด	250 ตัน (ความดันไฮโดรลิค 210 kg/cm2)
- เส้นผ่านศูนย์กลางสูกสูบ	400 มิลลิเมตร
- ขนาดเพลทความร้อน	600x600 มิลลิเมตร
- ความหนาแม่พิมพ์ต่ำสุด	100 มิลลิเมตร
- ระยะปิดแม่พิมพ์	500-650 มิลลิเมตร
- ระยะสูกสูบ	400 มิลลิเมตร
- ปริมาตรฉีด	2000 ตารางเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 Rubber injection molding

3.1.2 เครื่องทดสอบสมบัติการคงรูป

สำหรับการทดสอบสมบัติการคงรูปของยางคอมปาวด์ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้เครื่องวัดการไหลแบบจานสั่น (Oscillating Disc Rheometers, ODR) รุ่น R100 ดังแสดงในรูปที่ 3.2 และมีคุณสมบัติดังนี้

- Torque $\pm$0.33 lbf-in
- Temperature $\pm 1\ ^{\circ}C$

รูปที่ 3.2 เครื่องวัดการไหลแบบจานสั่นรุ่น R100

3.1.3 ยางคลอโรพรีน

ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้ยางคลอโรพรีนในการทดลอง โดยคุณสมบัติของยางคลอโรพรีนที่ใช้สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.1

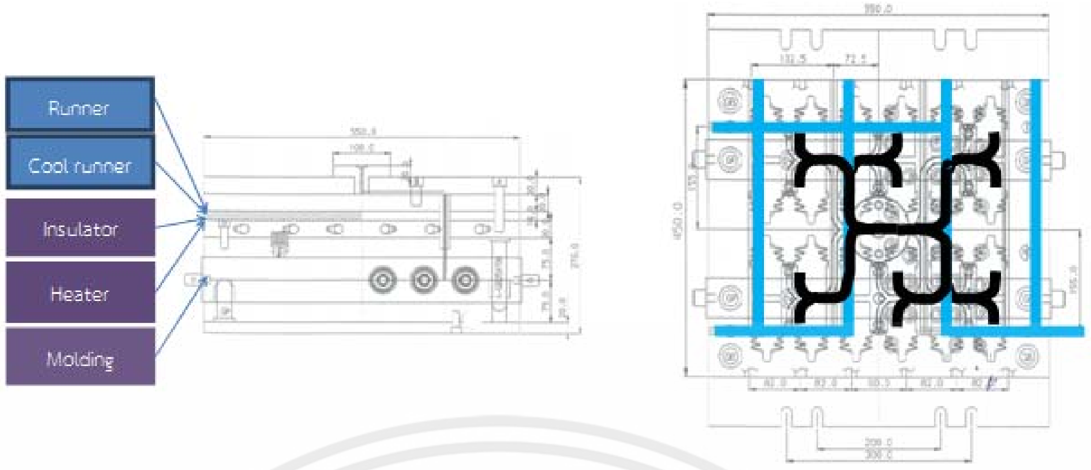
ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของยางคลอโรพรีนที่อุณหภูมิ 160 $^{\circ}C$ x 10 min

Tmax	18.86$\pm$3.77 lbf-in
Ts2	115.5$\pm$23.50 sec.
T90	283.5$\pm$56.50 sec.

3.1.4 แม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

แม่พิมพ์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้เป็นแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีด 24 หลุม โดยวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์เป็นเหล็ก S50C โดยโครงสร้างของแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีด 24 หลุมแสดงได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีด 24 หลุม

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนทดลองของวิทยานิพนธ์นี้มีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 ทดสอบสมบัติการคงรูปของยาง

กำหนดอุณภูมิยางคอมปาวด์ให้มีอุณหภูมิเป็น $95^{\circ}C$ $105^{\circ}C$ และ $115^{\circ}C$ แล้วนำไปทดสอบสมบัติการคงรูปด้วยเครื่องวัดการไหลแบบจานสั่นรุ่น R100 และศึกษารอบเวลาในการทำงานของแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีดและอุณหภูมิขององค์ประกอบของแม่พิมพ์ในแต่ละชั้น เพื่อหาอุณหภูมิของยางคอมปาวด์คลอโรพรีนที่เหมาะสมกับกระบวนการฉีด

3.2.2 ปรับปรุงระบบทางวิ่งเย็นของแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีด

- ปรับปรุงรูปแบบของต่อน้ำเข้า-ออกระบบทางวิ่งเย็นของแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีด
- ลดอุณหภูมิน้ำเข้า-ออกระบบทางวิ่งเย็นของแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีด

3.2.3 ติดตามปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

ติดตามปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นเป็นระยะเวลา 2 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การทดสอบสมบัติการคงรูป

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการทดสอบสมบัติการคงรูปของยางคอมปาวด์คลอโรพรีนเพื่อศึกษาการเกิดปฏิกิริยาคงรูปของชั้นการไหลของยางภายในแม่พิมพ์ การทดสอบสมบัติการคงรูปนี้ทำได้โดยนำยางคอมปาวด์คลอโรพรีนที่อุณหภูมิ 95 105 และ 115 °C ไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสมบัติการคงรูปแบบจานสั่นรุ่น R100 ที่อุณหภูมิ 100 130 160 และ190 °C โดยผลการทดสอบของยางคอมปาวด์คลอโรพรีนที่อุณหภูมิ 95 105 และ 115 °C แสดงได้ดังตารางที่ 4.1 ตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 ตามลำดับ นอกจากนี้จากข้อมูลในตารางที่ 4.1-4.3 สามารถนำมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่เริ่มเกิดปฏิกิริยาคงรูป (Ts2) และอุณหภูมิแสดงเพื่อกำหนดรอบเวลาของการฉีดยางคอมปาวด์คลอโรพรีนดังรูปที่ 4.1-4.3

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติยางคอมปาวด์คลอโรพรีนที่อุณหภูมิยางคอมปาวด์ 95 °C

Test Condition		Torque		เวลาการเกิดปฏิกิริยาคงรูป			
Temp. (°C)	Time. (min)	Tmin (lb-in)	Tmax (lb-in)	Ts2 (sec.)	T10 (sec.)	T50 (sec.)	T90 (sec.)
100	90	9.7	12.4	4786.5	1356.5	3690	5075
130	60	6.6	32.5	623.3	686.7	1421.7	2786.7
160	15	5.8	34.7	154.7	169.0	285.3	642.7
190	5	5.2	30.2	67.0	70.3	105.7	177.7

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติยางคอมปาวด์คลอโรพรีนที่อุณหภูมิยางคอมปาวด์ 105 °C

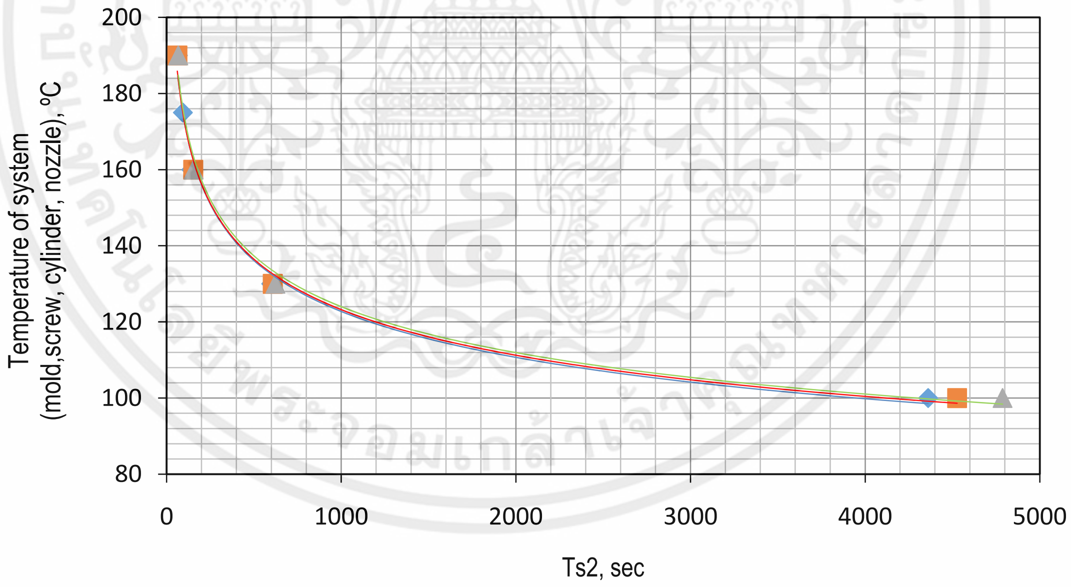
Test Condition		Torque		เวลาการเกิดปฏิกิริยาคงรูป			
Temp. (°C)	Time. (min)	Tmin (lb-in)	Tmax (lb-in)	Ts2 (sec.)	T10 (sec.)	T50 (sec.)	T90 (sec.)
100	90	9.75	12.45	4526.5	1433	3651	5072
130	60	6.6	33.1	607.7	671.7	1429.0	2833.0
160	15	5.7	34.5	152.7	166.7	283.0	622.0
190	5	5.2	32.8	61.7	66.0	103.7	186.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติยางคอมปาวด์คลอโรพรีนที่อุณหภูมิอยางคอมปาวด์ 115 $^{\circ}$C

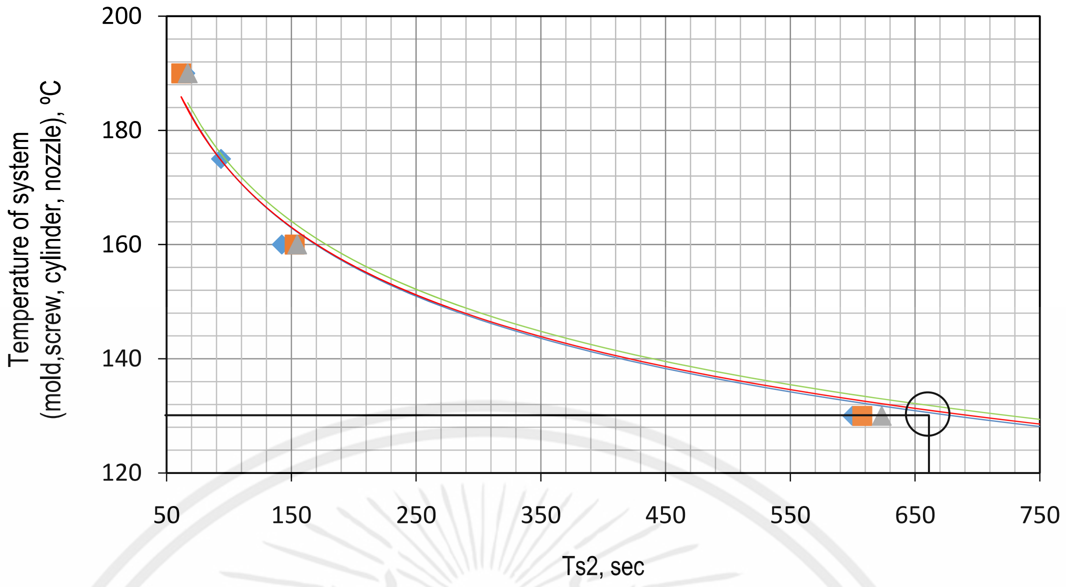
Test Condition		Torque		เวลาการเกิดปฏิกิริยาคงรูป			
Temp. ($^{\circ}$C)	Time. (min)	Tmin (lb-in)	Tmax (lb-in)	Ts2 (sec.)	T10 (sec.)	T50 (sec.)	T90 (sec.)
100	90	8.75	11.25	4361	1519	3539.5	5061.5
130	60	5.8	32.9	599.7	671.7	1430.3	2850.3
160	15	4.8	33.2	142.3	154.0	272.0	619.0
190	5	4.2	29.9	65.0	68.7	105.0	179.3

จากการวิเคราะห์ข้อมูลคุณสมบัติยางคอมปาวด์ที่อุณหภูมิยางคอมปาวด์ 95 105 115 ℃ ดังแสดงในตารางที่ 4.1-4.3 และรูปที่ 4.1-4.3 เทียบกับรอบเวลาในการทำงานโดยเฉลี่ยของการทำงาน 660 วินาที พบว่ายางคอมปาวด์ที่มีอุณหภูมิ 105 115 ℃ จะสุกตัวก่อนที่จะถูกฉีดเข้าสู่ cavity เนื่องจากชั้น insulator มีอุณหภูมิเฉลี่ย 130 ℃ (โดยข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยของชั้น insulator อธิบายในหัวข้อที่ 4.2) โดยอุณหภูมิของชั้น insulator นี้เป็นอุณหภูมิที่ใช้กำหนดสภาวะในการฉีดยาง เพื่อป้องกันไม่ให้ยางสุกตัวก่อนไหลเข้าสู่ cavity ดังนั้นจึงต้องแก้ปัญหาด้วยการปรับอุณหภูมิของระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีดให้ได้อุณหภูมิยางคอมปาวด์ไม่เกิน 95 ℃ ดังแสดงในรูปที่ 4.2

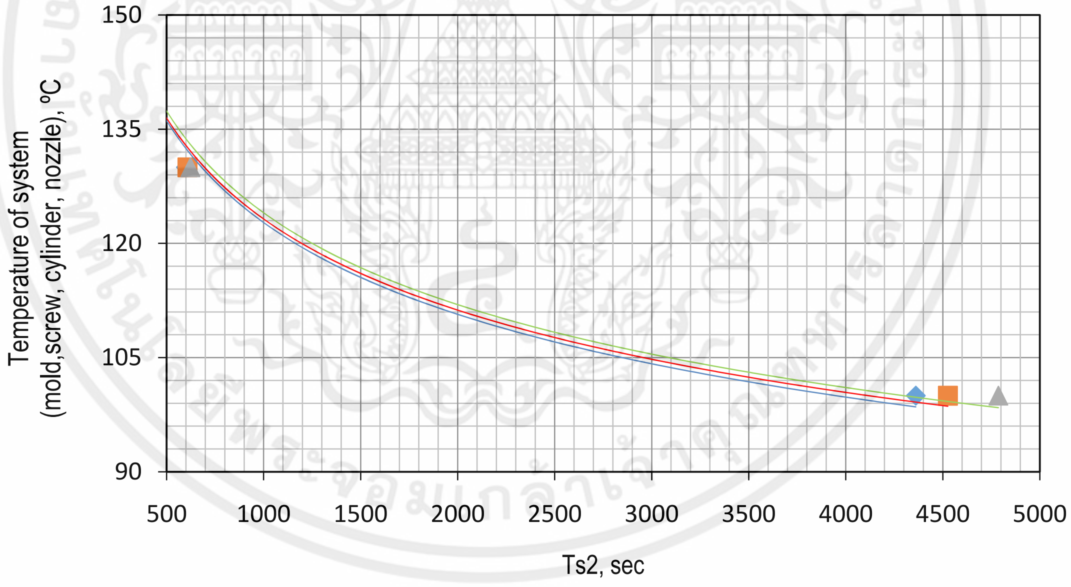


รูปที่ 4.1 คุณสมบัติยางคอมปาวด์ที่อุณหภูมิยางคอมปาวด์คลอโรพรีน 95 $^{\circ}$C 101 $^{\circ}$C 115 $^{\circ}$C ในช่วงอุณหภูมิ 100-190 $^{\circ}$C: ▲ อุณหภูมิ 95 $^{\circ}$C; ■ อุณหภูมิ 105 $^{\circ}$C; ◆ อุณหภูมิ 115 $^{\circ}$C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 คุณสมบัติยางคอมปาวด์ที่อุณหภูมิยางคอมปาวด์คลอโรพรีน 95 °C 101 °C 115 °C ในช่วงอุณหภูมิ 100-190 °C (กราฟขยายเฉพาะช่วงอุณหภูมิ 130-190 °C): ▲ อุณหภูมิ 95 °C; ■ อุณหภูมิ 105 °C; ◆ อุณหภูมิ 115 °C

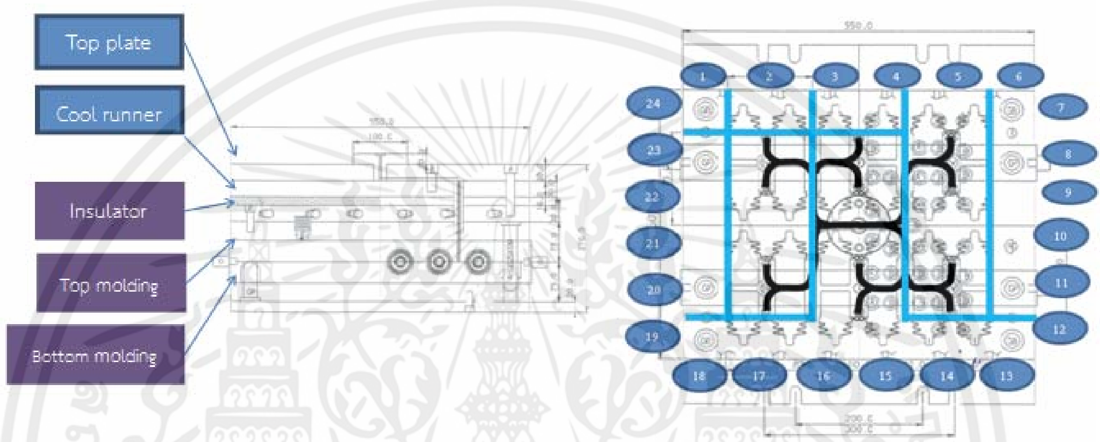


รูปที่ 4.3 คุณสมบัติยางคอมปาวด์ที่อุณหภูมิยางคอมปาวด์คลอโรพรีน 95 °C 101 °C 115 °C ในช่วงอุณหภูมิ 100-190 °C (กราฟขยายเฉพาะช่วงอุณหภูมิ 100-130 °C): ▲ อุณหภูมิ 95 °C; ■ อุณหภูมิ 105 °C; ◆ อุณหภูมิ 115 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การวิเคราะห์อุณหภูมิในแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีด

จากการทดสอบในส่วนที่ 4.1 ทำให้ทราบอุณหภูมิที่เหมาะสมในการดำเนินงาน (อุณหภูมิยางคอมปาวด์ไม่เกิน 95.3 ˚C) ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงทำการศึกษาหาระบบน้ำหล่อเย็นของแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีดที่เหมาะสมเพื่อควบคุมการเกิดปฏิกิริยาการคงรูปของยางคอมปาวด์คลอโรพรีน ซึ่งโดยปกติแล้วการไหลของยางจะถูกควบคุมด้วยระบบหล่อเย็น (Cool runner) ดังแสดงในรูปที่ 4.4 นอกจากนี้ข้อมูลอุณหภูมิของแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีดก่อนการศึกษาแสดงได้ดังตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ส่วนประกอบของแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีดและตำแหน่งตรวจสอบอุณหภูมิ

ตารางที่ 4.4 อุณหภูมิแต่ละตำแหน่งของส่วนประกอบของแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีด

ตำแหน่ง	อุณหภูมิ (˚C)				
	Top plate	Cool runner	Insulator	Top mold	Bottom mold
1	50.7	52.8	119.0	172	168
2	51.0	49.0	123.0	172	171
3	49.5	48.0	120.0	168	169
4	50.0	48.0	121.0	169	170
5	59.0	59.0	126.0	171	171
6	60.0	65.0	125.0	170	167
7	63.7	68.3	139.3	170	165
8	64.3	68.1	140.2	171	165
9	64.4	63.6	138.2	173	168
10	64.3	68.1	138.7	172	167
11	63.7	67.0	140.3	171	165
12	63.2	68.0	139.1	170	166
13	58.6	63.0	127.0	169	167

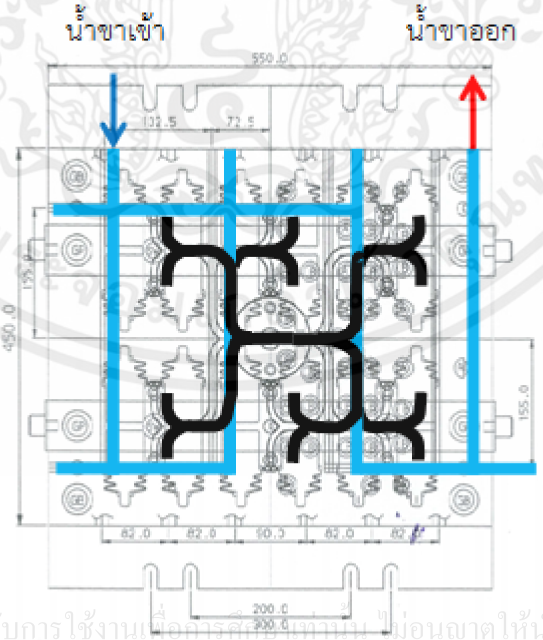
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

ตำแหน่ง	อุณหภูมิ (°C)				
	Top plate	Cool runner	Insulator	Top mold	Bottom mold
14	58.2	59.8	130.0	174	170
15	51.2	54.2	128.0	173	171
16	49.2	50.7	124.0	172	171
17	50.1	50.1	128.0	172	170
18	51.1	54.8	123.0	168	161
19	54.0	57.8	113.0	169	166
20	53.0	56.6	124.0	170	166
21	54.0	57.3	128.0	171	165
22	53.6	57.2	127.0	169	166
23	53.4	57.4	123.0	170	166
24	53.5	57.5	113.0	171	165

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.4 และตารางที่ 4.4 ร่วมกัน จึงทำการทดสอบระบบน้ำหล่อเย็นสำหรับ Cool runner แบบปกติ กับระบบที่ออกแบบใหม่ 4 รูปแบบ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

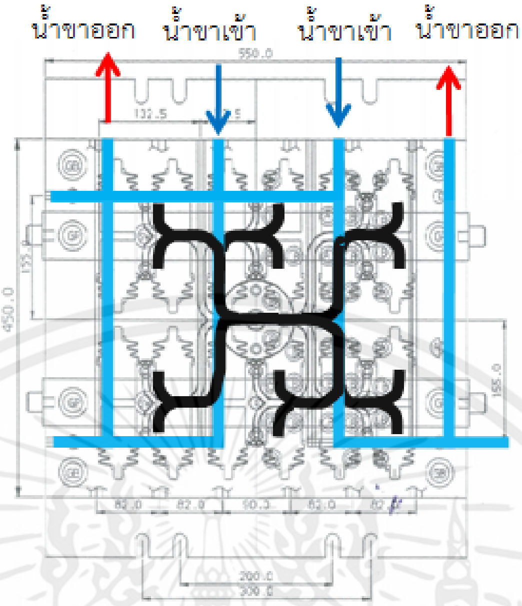
1. การต่อระบบน้ำรูปแบบที่ 1 (T1) อุณหภูมิน้ำเข้า 28 °C และอัตราการไหลเชิงปริมาตรของน้ำเข้า 10 ลิตรต่อนาที ซึ่งเป็นรูปแบบปกติสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

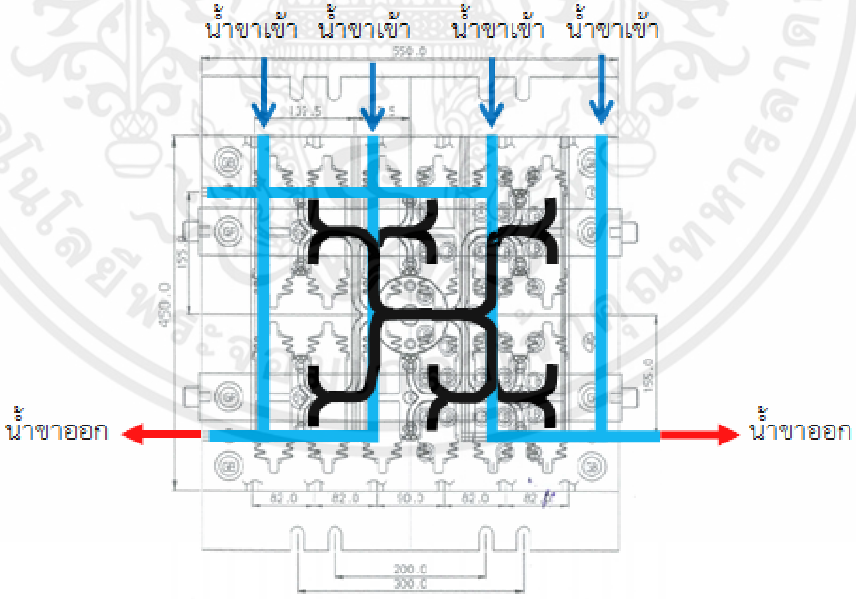
รูปที่ 4.5 ทิศทางการไหลของระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีดแบบ T1

2. การต่อระบบน้ำรูปแบบที่ 2 (T2) อุณหภูมิน้ำเข้า 28 °C และอัตราการไหลเชิงปริมาตรของน้ำเข้ารวม 20 ลิตรต่อนาที ผังการไหลของน้ำหล่อเย็นในระบบ T2 แสดงได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ทิศทางการไหลของระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีดแบบ T2

3. การต่อระบบน้ำรูปแบบที่ 3 (T3) อุณหภูมิน้ำเข้า 28 °C และอัตราการไหลเชิงปริมาตรของน้ำเข้ารวม 40 ลิตรต่อนาที ผังการไหลของน้ำหล่อเย็นในระบบ T3 แสดงได้ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ทิศทางการไหลของระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีดแบบ T3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

4. การต่อระบบน้ำรูปแบบเดียวกับ T2 แต่อุณหภูมิน้ำเข้าเท่ากับ 20 °C (T4)

5. การต่อระบบน้ำรูปแบบเดียวกับ T2 แต่อุณหภูมิน้ำเข้าเท่ากับ 16 °C (T5)

หลังจากนั้นจึงทำการทดสอบวัดอุณหภูมิของระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีดในแต่ละรูปแบบดังแสดงในตารางที่ 4.5 นอกจากนี้อุณหภูมิเฉลี่ยของยางคอมปาวด์ที่ผ่านระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีดสามารถแสดงได้ในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 อุณหภูมิของระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีดในแต่ละรูปแบบ

ตำแหน่ง	**อุณหภูมิ (℃)**				
	T1	T2	T3	T4	T5
1	52.8	44.7	43.7	45.7	44.7
2	49.0	43.1	44.0	44.2	43.7
3	48.0	44.5	44.2	40.3	39.5
4	48.0	41.1	41.3	40.0	40.2
5	59.0	43.9	44.0	45.0	47.0
6	65.0	45.1	44.0	46.0	48.0
7	68.3	46.5	47.0	49.8	51.8
8	68.1	47.4	46.5	50.5	51.9
9	63.6	48.0	48.0	50.8	52.9
10	68.1	48.3	48.0	51.7	52.7
11	67.0	48.2	48.2	51.7	52.9
12	68.0	48.9	51.0	51.3	53.0
13	63.0	47.7	50.2	48.5	50.3
14	59.8	47.9	50.3	48.0	48.9
15	54.2	51.3	51.5	48.4	46.0
16	50.7	49.2	51.0	47.8	45.4
17	50.1	46.2	48.0	48.5	46.9
18	54.8	47.9	49.2	49.4	48.0
19	57.8	48.6	48.3	51.4	49.4
20	56.6	47.6	47.3	51.0	49.4
21	57.3	47.4	47.0	51.1	49.1
22	57.2	48.4	48.0	49.9	48.8
23	57.4	47.9	47.5	49.8	48.1
24	57.5	47.1	47.0	49.2	47.3

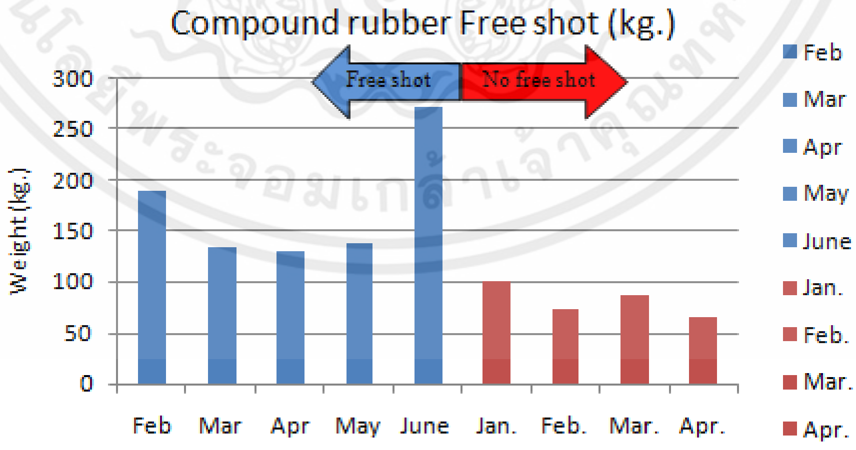
ตารางที่ 4.6 อุณหภูมิเฉลี่ยของยางคอมปาวด์ที่ผ่านระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิเฉลี่ยของยางคอมปาวด์ (℃)				
T1	T2	T3	T4	T5
113.2	92.1	91.5	90.2	89.9

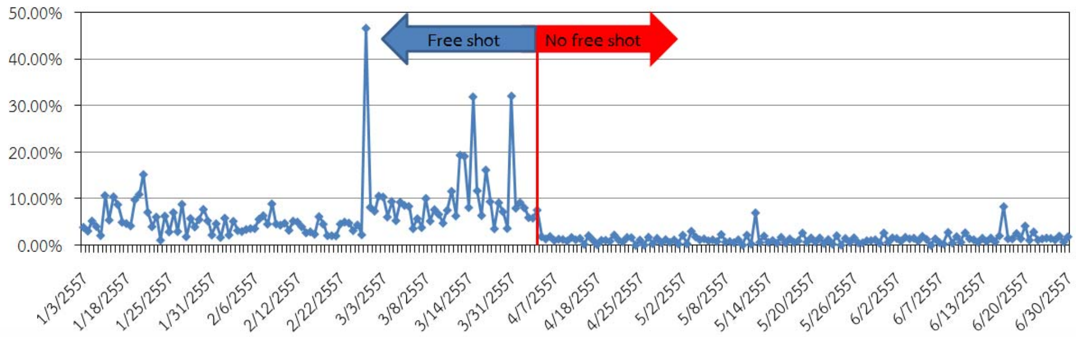
จากการวิเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิของระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีดในแต่ละรูปแบบและอุณหภูมิของยางคอมปาวด์ที่ผ่านระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีดในแต่ละรูปแบบดังแสดงในตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6 ตามลำดับ พบว่าทิศทางการไหลของระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีดแบบ T2 และ T3 สามารถใช้ในการลดอุณหภูมิของยางคอมปาวด์ให้มีค่าต่ำกว่า 95 ℃ ก่อนที่จะถูกฉีดเข้าสู่ cavity ได้ เนื่องจากการเพิ่มทางเข้าและทางออกใน Cool runner ทำให้เส้นทางการไหลของน้ำสั้นลง จึงลดการสะสมของอุณหภูมิในน้ำ อุณหภูมิน้ำขาออกของระบบ T2 และ T3 จึงมีค่าต่ำกว่าระบบ T1 เพราะฉะนั้นเกรเดียนของอุณหภูมิของระบบ T2 และ T3 จึงสูงกว่าระบบ T1 ซึ่งจะส่งผมทำให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนของระบบ T2 และ T3 ดีกว่าระบบ T1 นอกจากนี้ระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีดแบบ T4 และ T5 สามารถใช้ในการลดอุณหภูมิของยางคอมปาวด์ก่อนที่จะถูกฉีดเข้าสู่ cavity ได้เช่นกัน แต่เมื่อพิจารณาความคุ้มทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการผลิต รูปแบบของระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบฉีดที่เหมาะสมคือ ระบบหล่อเย็นแบบ T2 เพราะไม่ต้องเสียพลังงาน (ต้นทุน) ในการลดอุณหภูมิน้ำที่ออกจากหอทำความเย็น (อุณหภูมิน้ำที่ได้จากหอทำความเย็นเท่ากับ 28 ˚C)

นอกจากนี้การลดอุณหภูมิของยางคอมปาวด์ให้ได้ต่ำกว่า 95 ˚C ก่อนที่จะถูกฉีดเข้าสู่ cavity นั้น จะทำให้ยางคอมปาวด์ไม่สุกตัวก่อนที่จะถูกฉีดเข้าสู่ cavity จึงไม่ต้องทำการฉีดยางทิ้ง (free shot) ก่อนเริ่มรอบการฉีดต่อไปดังแสดงในรูป 4.8 ซึ่งเป็นการลดปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตจาก 5-10% เหลือ 2-3% ดังแสดงในรูป 4.9 พร้อมทั้งยังเพิ่มกำลังการผลิตจาก 150 ชิ้นต่อชั่วโมงเพิ่มเป็น 180 ชิ้นต่อชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 4.10 จึงทำให้ต้นทุนในการผลิตลดลงจาก 4.66 บาทต่อชิ้น เหลือ 4.14 บาทต่อชิ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.11 โดยประมาณ 187,200 บาทต่อปี (ยอดขาย 30,000 ชิ้นต่อเดือน)

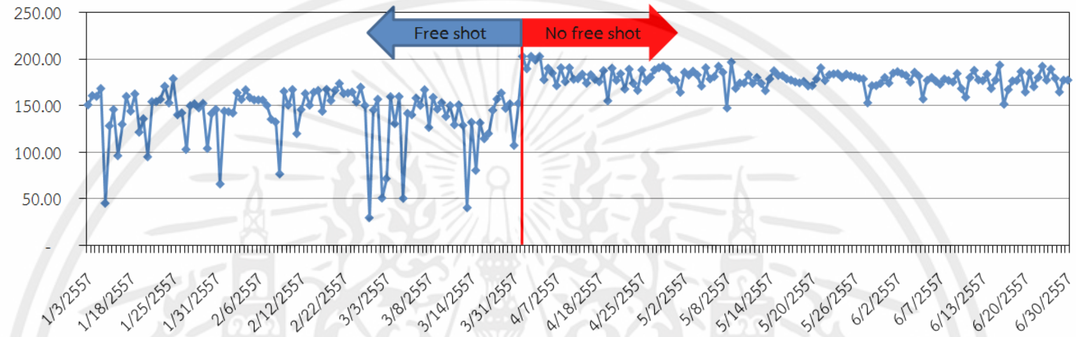


รูปที่ 4.8 ปริมาณยางคอมปาวด์ที่ฉีดทิ้ง (free shot) ก่อนเริ่มรอบการฉีดต่อไป

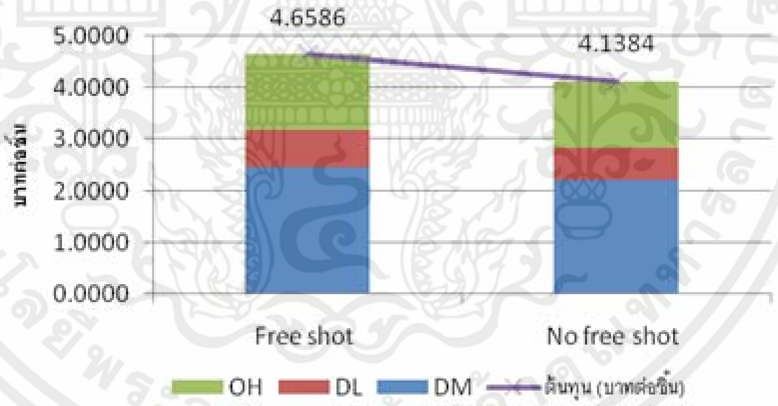
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต



รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบกำลังการผลิต



รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบต้นทุนในการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแม่พิมพ์แบบฉีดเพื่อการควบคุมยางคอมปาวด์ไม่สุกตัวก่อนที่จะถูกฉีดเข้าสู่ cavity โดยปรับปรุงทิศทางการไหลของน้ำในระบบหล่อเย็นของแม่พิมพ์แบบฉีดที่มีรอบเวลาในการทำงานโดยเฉลี่ยของการทำงาน 660 วินาที และมีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในระบบแม่พิมพ์ 130 $^{\circ}$C (ชั้น Insulator) ซึ่งผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า

อุณหภูมิของยางคอมปาวด์คลอโรพรีนที่เหมาะสมกับกระบวนการฉีดต้องอุณหภูมิต่ำกว่า 95 $^{\circ}$C ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมนี้เกิดจากการควบคุมทิศทางการไหลของระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางแบบ T2 ซึ่งมีการกระจายตัวของอุณหภูมิโดยรอบชั้นระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์ที่ดี และใช้ต้นทุนในการดำเนินการต่ำ (ไม่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องจากกการลดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น) ทั้งนี้ระบบหล่อเย็นแบบ T2 นี้ยังสามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตโดยประมาณ 187,200 บาทต่อปี

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการนำผลจากการศึกษาในเรื่องคุณสมบัติของยางคอมปาวด์ควบคู่กับการออกแบบทิศทางการไหลของระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยาง เพื่อการใช้งานระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์ยางในการควบคุมยางคอมปาวด์ไม่สุกตัวก่อนที่จะถูกฉีดเข้าสู่ cavity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] ดร.พงษ์ธร แซ่อุย. 2547. ยาง : ชนิด สมบัติ และการใช้งาน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค)

[2] ดร.พงษ์ธร แซ่อุย. 2548. สารเคมียาง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค)

[3] ดร.พงษ์ธร แซ่อุย. 2549. สารเคมียาง. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค)

[4] Van Walworth. **Rubber Molding Principles**. Bangkok : TechnoBiz Communications Co., Ltd. 2013.

[5] H.-J. Graf. **Cost Reduction in Rubber Processing**. Bangkok : TechnoBiz Communications Co., Ltd. 2014.

[6] Seow, L.W. and Lam, Y.C. “Optimizing flow in plastic injection molding” **Journal of Materials Processing Technology**, vol. 72, 1997. pp. 333-341.

[7] Holm, E.J. and Langtangen, H.P. “A unified finite element model for the injection molding process” **Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering**, vol. 178, 1999. pp. 413-429.

[8] Farina, A. and Preziosi, L. “Non-isothermal injection molding with resin cure and preform deformability” **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, vol. 31, 2000. pp. 1355-1372.

[9] Bikas, A., Pantelelis, N. and Kanarachos, A. “Computational tools for the optimal design of the injection moulding process” **Journal of Materials Processing Technology**, vol. 122, 2002. pp. 112-126.

[10] Pantani, R., Coccorullo, I., Speranza, V. and Titomanlio, G. “Modeling of morphology evolution in the injection molding process of thermoplastic polymers” **Progress in Polymer Science**, vol. 30, 2005. pp. 1185-1222.

[11] Müller, E., Schillig, R., Stock, T. and Schmeiler, M. “Improvement of injection moulding processes by using dual energy signatures” **Procedia CIRP**, vol. 17, 2014. pp. 704-709.

[12] Smith, A.G., Wrobel, L.C., McCalla, B.A., Allan, P.S. and Hornsby, P.R. "A computational model for the cooling phase of injection moulding" **Journal of Materials Processing Technology**, vol. 195, 2008. pp. 305-313.

[13] Zhou, H., Zhang, Y., Wen, J. and Li, D. "An acceleration method for the BEM-based cooling simulation of injection molding" **Engineering Analysis with Boundary Elements**, vol. 33, 2009. pp. 1022-1030.

[14] Dimla, D.E., Camilotto, M. and Miani, F. "Design and optimisation of conformal cooling channels in injection moulding tools" **Journal of Materials Processing Technology**, vol. 164-165, 2005. pp. 1294-1300.

[15] Li, C.L., Li, C.G. and Mok, A.C.K. "Automatic layout design of plastic injection mould cooling system" **Computer-Aided Design**, vol. 37, 2005. pp. 645-662.

[16] Jauregui-Becker, J.M., Tosello, G., van Houten, F.J.A.M. and Hansen, H.N. "Performance evaluation of a software engineering tool for automated design of cooling systems in injection moulding" **Procedia CIRP**, vol. 7, 2013. pp. 270-275.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายธันวา จรกิจ
วัน เดือน ปีเกิด	13 ธันวาคม พ.ศ. 2530 ที่จังหวัดจันทบุรี
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2556-ปัจจุบัน	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2549-2552	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้