

การขึ้นรูปยาง (Forming)

ดารณี เจริญสุข

หน่วยสารสนเทศและการสื่อสาร

ศูนย์วิจัยเทคโนโลยียาง มหาวิทยาลัยมหิดล

การผลิตผลิตภัณฑ์จากยาง หลังจากที่ได้ออกสูตรยางแล้ว นำยางและสารเคมีมาผสมด้วยเครื่องบดผสมได้ ยางคอมพาวนด์ แล้วนำยางคอมพาวนด์มาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ก่อนที่จะนำไปวัลคาไนซ์เป็นผลิตภัณฑ์ในขั้นต่อไป แต่ในบางกรณีการขึ้นรูปและการวัลคาไนซ์เกิดได้ในขั้นตอนเดียว เช่น การขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ บางกรณีการขึ้นรูป และวัลคาไนซ์จะแยกออกจากกัน เช่น การขึ้นรูปด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูด หรือ การใช้เครื่องคาเลนเดอร์

การขึ้นรูปยาง (Forming) มี 3 วิธี

1. การขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ (molding)

1.1 แม่พิมพ์แบบกดอัด (compression molding)

แม่พิมพ์แบบกดอัดนี้ประกอบด้วยแม่พิมพ์ 2 ส่วน คือ แม่พิมพ์ส่วนบน (lid) และแม่พิมพ์ส่วนล่าง (base)



โดยแม่พิมพ์ส่วนล่างจะมีช่องตามรูปร่างของผลิตภัณฑ์ นำยางคอมพาวนด์ ใส่ลงในแม่พิมพ์ จากนั้น กดปิดแม่พิมพ์โดยใช้ความดันสูงพร้อมกับให้ความ ร้อน เมื่อให้แรงดันแก่แม่พิมพ์ ยางคอมพาวนด์จะถูกบังคับให้ไหลจนเต็ม เบ้าพิมพ์ และความร้อนจากแม่พิมพ์จะ

ทำให้ยางเกิดการวัลคาไนซ์และคงรูป
ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยวิธีนี้:
ยางโอริง ยางรองแท่นเครื่อง ฟันรองเท้า



ตารางที่ 1 ปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบกดอัด

ปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบกดอัด	
อุณหภูมิ	ถ้าผลิตภัณธ์ยางหนา การขึ้นรูปควรใช้อุณหภูมิต่ำ เพื่อไม่ให้ยางด้านนอกเกิดการวัลคาไนซ์เร็วเกินไปหรือทำให้เกิดการเสื่อมสภาพได้
เวลา	- ยางที่บางหรือยางที่นำความร้อนได้ดี ใช้เวลาในการขึ้นรูปสั้น - ยางหนาใช้เวลาในการขึ้นรูปนานขึ้น และอาจต้องลดอุณหภูมิในการอัดด้วย เพื่อป้องกันไม่ให้ยางภายนอกเกรียมก่อนที่ยางด้านในสุก
ความดัน	- ยางที่มีความหนืดต่ำใช้ความดันประมาณ 15 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือ 200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว - ยางที่มีความหนืดสูงใช้ความดันประมาณ 100 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือ 1400 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ตารางที่ 2 ข้อดี-ข้อเสียของการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบกดอัด

ข้อดี	ข้อเสีย
ใช้เวลาการปรับตั้งแม่พิมพ์น้อย	อัตราการผลิตต่ำกว่าแบบฉีดและแบบกึ่งฉีด
สามารถขึ้นรูปชิ้นงานขนาดใหญ่ได้	ไม่เหมาะกับชิ้นงานที่บาง และมีรูปร่างซับซ้อน
การขึ้นรูปยางติดโลหะ การวางชิ้นส่วนประกอบได้ง่าย	การเกิดครีบบางสูง

ตารางที่ 3 ปัญหาและการแก้ไขสำหรับการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบกดอัด

ปัญหาที่มักจะมีขึ้นเมื่อขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบกดอัด	การแก้ไข
การเกิดฟองอากาศในชิ้นงาน	- การไล่ฟองอากาศด้วยวิธีการกดอัดย้ำ (bumping)

ปัญหาที่มักจะเกิดเมื่อขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบกดอัด	การแก้ไข
ผิวชิ้นงานบริเวณรอยต่อแม่พิมพ์แตกหรือฉีกขาด	<ul style="list-style-type: none"> - การให้ความร้อนยางคอมพาวด์ก่อนใส่ในแม่พิมพ์เพื่อลดการขยายตัวของยางในแม่พิมพ์ - การปรับลดอุณหภูมิลง

1.2 แม่พิมพ์แบบฉีด (injection molding)

การขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบฉีดเหมาะกับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างซับซ้อน และต้องการผลิตในปริมาณมาก เครื่องฉีดที่นิยมใช้มี 2 ชนิด

1.2.1 เครื่องฉีดยางแบบสกรู (screw-type injection molding machine) การขึ้นรูปยางด้วยวิธีนี้ต้องตั้งอุณหภูมิของสกรูและกระบอกเครื่อง ก่อนการขึ้นรูป แล้วทำการป้อนยางคอมพาวด์ที่ป้อนเข้าสู่เครื่องส่วนใหญ่จะเป็นแถบยาง (rubber strip) หรืออาจจะอยู่ในรูปเม็ด (rubber pellets) การหมุนของสกรูจะทำให้ยางคอมพาวด์ไหลเข้าไปในกระบอกเครื่อง (barrel) ของห้องฉีดอย่างต่อเนื่อง ข้อควรระวังในระหว่างที่ทำการฉีดยางเข้าสู่แม่พิมพ์ อาจมียางบางส่วนไหลย้อนกลับไปที่ด้านหลัง ทำให้การควบคุมปริมาตรยางไม่เป็นไปตามต้องการ



1.2.2 เครื่องฉีดยางแบบผสมระหว่างสกรูและแท่งกด (plunger screw injection molding machine) การขึ้นรูปยางด้วยวิธีนี้ต้องตั้งอุณหภูมิของสกรูและกระบอกเครื่องก่อนการขึ้นรูป ยางคอมพาวด์ถูกป้อนเข้าสู่กระบอกเครื่องที่มีสกรูอยู่ภายใน การหมุนของสกรูจะทำให้ยางไหลไปด้านหน้าเข้าสู่ช่องว่างเก็บยาง (chamber) แล้วแท่งกดเลื่อนเพื่อฉีดยางเข้าแม่พิมพ์ เครื่องฉีดยางชนิดนี้จึงสามารถควบคุมปริมาตรของยางคอมพาวด์ได้ ไม่มียางไหลย้อนกลับในขณะที่ทำการฉีดยางเข้าแม่พิมพ์

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปโดยวิธีนี้ : ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างซับซ้อน เช่น ชิ้นส่วนยานยนต์

ตารางที่ 4 ปัญหาและการแก้ไขสำหรับการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบฉีด

ปัญหาที่มักจะเกิดเมื่อขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบฉีด	การแก้ไข
การเกิดการบวมตัวของยางคอมพาวนด์ (die swell)	<ul style="list-style-type: none"> - การใช้สารช่วยแปรรูป เช่น แพททิซ น้ำมัน - การปรับอุณหภูมิ - การปรับความยาวของตาย
ชิ้นงานไม่เต็มแม่พิมพ์	<ul style="list-style-type: none"> - การปรับเพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์ - การปรับเพิ่มความดันในการฉีด - การปรับเพิ่มความเร็วในการฉีด
การหดตัวของชิ้นงาน	<ul style="list-style-type: none"> - การเพิ่มเวลาในการฉีดให้นานขึ้น - การเพิ่มความดันในการฉีด - การลดอุณหภูมิแม่พิมพ์ หากใช้อุณหภูมิแม่พิมพ์ต่ำจะทำให้การหดตัวน้อยลง แต่อาจจะเกิดการหดตัวหลังการฉีด (post shrinkage) เกิดขึ้นได้

ตารางที่ 5 ข้อดี-ข้อเสียของการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบฉีด

ข้อดี	ข้อเสีย
สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่ซับซ้อนได้	การออกแบบแม่พิมพ์มีความซับซ้อน แม่พิมพ์ราคาสูง
อัตราเร็วในการผลิตสูง ราคาต้นทุนต่อหน่วยต่ำ	ช่องอัดยางน้อยกว่าแม่พิมพ์แบบกดอัด
เวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปหรือวัลคาไนซ์สั้น	การวางชิ้นส่วนโลหะที่จะประกอบได้ยาก
การเกิดของเสียในกระบวนการขึ้นรูปน้อย	
การขึ้นรูปยางติดโลหะ ยางเชื่อมโลหะได้ดี	

1.3 แม่พิมพ์แบบกึ่งฉีด (transfer molding)

แม่พิมพ์ชนิดนี้ประกอบด้วย 3 ส่วน 1) ส่วนบนมีลักษณะเป็นแท่งกด 2) ส่วนล่างเป็นแม่พิมพ์ที่มีรูปร่างตามแบบชิ้นงาน 3) ส่วนตรงกลางเป็นช่องว่างสำหรับใส่ยางคอมพาวนด์ การขึ้นรูปโดยเริ่มจากการให้ความร้อนแม่พิมพ์แล้วนำยางคอมพาวนด์ใส่ลงในช่องใส่ยางส่วนตรงกลางแม่พิมพ์ ทำการอัดโดยแท่งกดของแม่พิมพ์ส่วนบนจะดันยางให้ไหลผ่านหัวฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์จนเต็ม นิยมใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างซับซ้อน หรือผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของโลหะอยู่ด้วย

ตารางที่ 6 ข้อดี-ข้อเสียของการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบกึ่งฉีด

ข้อดี	ข้อเสีย
เวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปหรือวัลคาไนซ์สั้น	แม่พิมพ์มีน้ำหนักมาก ราคาสูง
การเกิดของเสียในกระบวนการขึ้นรูปน้อย	ช่องอัดยางน้อยกว่าแม่พิมพ์แบบกดอัด
ยางเชื่อมกับโลหะได้ดี สามารถวางโลหะได้ง่าย	การเปลี่ยนยางเข้าออกในแต่ละครั้งใช้เวลาานเพราะต้องเอาเศษยางที่ติดแม่พิมพ์ออก

ตารางที่ 7 ปัญหาและการแก้ไขสำหรับการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบกึ่งฉีด

ปัญหาที่มักเกิดเมื่อขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบกึ่งฉีด	การแก้ไข
เศษยางติดแม่พิมพ์	การใช้สารหล่อลื่นแม่พิมพ์หรือใช้สารถอดแบบ (mold release agent)

2. การขึ้นรูปโดยการอัดผ่านตายด้วยเครื่องเอ็กชทรูด (extrusion)

การขึ้นรูปยางคอมพาวนด์เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความยาวต่อเนื่องโดยใช้เครื่องเอ็กชทรูด เพื่ออัดยางให้ไหลผ่านหัวตายมีรูปร่างตามต้องการ เครื่องเอ็กชทรูด มี 2 แบบ

2.1 เครื่องเอ็กชทรูดใช้แรงดันจากแรม (ram extruder)

การขึ้นรูปโดยที่ยางคอมพาวนด์ที่ร้อนป้อนเข้าสู่ห้องอัด (chamber) แล้วแรมจะอัดยางให้ไหลผ่านหัวตายด้วยระบบไฮดรอลิก ขึ้นงานยางที่ถูกอัดออกมา (extrudate) นิยมใช้สำหรับขึ้นรูปยางคอมพาวนด์ให้เป็นพรีฟอร์ม (pre-form) ก่อนที่จะนำไปขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ต่อไป



2.2 เครื่องเอ็กชทรูดใช้แรงดันจากสกรู (screw extruder)

ตัวเครื่องประกอบด้วยสกรูที่หมุนอยู่ในกระบอกเครื่อง ยางคอมพาวนด์ที่ป้อนเข้าสู่เครื่องส่วนใหญ่จะเป็นแถบยาง หรืออาจจะอยู่ในรูปเม็ด การหมุนของสกรูจะทำให้ยางคอมพาวนด์ไหลเข้าไปในกระบอกเครื่อง (barrel) อย่างต่อเนื่อง

ตัวเครื่องประกอบด้วยสกรูที่หมุนอยู่ในกระบอกเครื่อง

เครื่องเอ็กชทรูดที่ใช้แรงดันจากสกรู มี 2 ชนิด คือ

2.2.1 เครื่องเอ็กชทรูดแบบป้อนร้อน (Hot-feed extruder) เป็น

เครื่องเอ็กชทรูดที่สั้น มีอัตราส่วนความยาวสกรูต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 6:1 ยางคอมพาวนด์ที่ใช้ป้อนเครื่องเป็นยางคอมพาวนด์ที่ร้อน



2.2.2 เครื่องเอ็กชทรูดแบบป้อนเย็น (Cold-feed extruder) เป็น

เครื่องเอ็กชทรูดที่ยาว มีอัตราส่วนความยาวสกรูต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 12:1 ยางคอมพาวนด์ที่ใช้ป้อนเครื่องเป็นยางคอมพาวนด์ที่อุณหภูมิห้อง

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดยวิธีนี้: ท่อยาง ยางขอบกระจก ยางหุ้มสายเคเบิล

ตารางที่ 8 ปัญหาและการแก้ไขสำหรับการขึ้นรูปการอัดผ่านตายด้วยเครื่องเอ็กชทรูด

ปัญหาที่มักเกิดเมื่อขึ้นรูปการอัดผ่านตายด้วยเครื่องเอ็กชทรูด	การแก้ไข
การเกิดการบวมตัว (die swell) ของยางคอมพาวนด์ที่เอ็กชทรูดออกผ่านตาย	<ul style="list-style-type: none"> - การใช้สารช่วยในกระบวนการผลิต เช่น แฟกทิส น้ำมัน - การปรับเพิ่มอุณหภูมิ - การปรับความยาวของตาย

ปัญหาที่มักจะเกิดขึ้นรูปการอัดผ่านตายด้วยเครื่องเอ็กซ์ทруд	การแก้ไข
ผิวชิ้นงานไม่เรียบ	<ul style="list-style-type: none"> - การลดความเร็วในการเอ็กซ์ทруд - การปรับเพิ่มอุณหภูมิในการเอ็กซ์ทруд - การใช้สารช่วยในกระบวนการผลิต เช่น แฟกทิกซ์ น้ำมัน - ระวังไม่ให้มีสิ่งปลอมปน บางกรณีผู้ผลิตอาจนำตะแกรงขนาดเล็กมาติดตั้งไว้ในเครื่องก่อนถึงหัวตายเพื่อช่วยกรองสิ่งแปลกปลอมออกก่อนที่จะไหลผ่านหัวตาย

3. การขึ้นรูปด้วยเครื่องคาเลนเดอร์ (calendaring)

การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางด้วยเครื่องคาเลนเดอร์ เป็นวิธีขึ้นรูปยางเป็นแผ่น ยางคอมพาวนด์ที่จะป้อนเข้าเครื่องจะต้องอุ่น หากว่าตั้งยางคอมพาวนด์ทิ้งไว้ เมื่อนำไปขึ้นรูปต้องทำการบดให้ยางอุ่นก่อนที่จะป้อนเข้าเครื่องคาเลนเดอร์



ตารางที่ 9 เครื่องคาเลนเดอร์แบบต่างๆ ที่ใช้สำหรับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง

เครื่องคาเลนเดอร์	การเรียงตัวของลูกกลิ้ง	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ยาง
แบบ 2 ลูกกลิ้ง	ลูกกลิ้ง 1 ลูกอยู่กับที่ ลูกกลิ้งอีกลูกสามารถเคลื่อนที่/ปรับระดับได้	การเตรียมแผ่นยางสำหรับใช้ผลิตผลิตภัณฑ์บางประเภท เช่น ยางปูพื้น พื้นรองเท้า
แบบ 3 ลูกกลิ้ง	ลูกกลิ้งตรงกลางเคลื่อนที่ไม่ได้ ส่วนลูกกลิ้งบนและลูกกลิ้งล่างจะสามารถเคลื่อนที่/ปรับระดับได้ การเรียงตัวได้หลายแบบ เช่น I-Form, Inclined Form, L-Form	การขึ้นรูปแผ่นยางที่มีความหนา 0.3 – 1 มิลลิเมตร การเคลือบยางลงผ้าใบ

เครื่องคาลเลนเดอร์	การเรียงตัวของลูกกลิ้ง	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ยาง
แบบ 4 ลูกกลิ้ง	ลูกกลิ้งทั้ง 4 ลูกสามารถจัดเรียงตัวได้หลายแบบ เช่น F-Form, S-Form, L-form และ Z-Form	นิยมใช้ในอุตสาหกรรมยาง - การขึ้นรูปแผ่นยาง (L-Form และ S-Form) - การเคลือบยางลงบนผ้าใบ (Z-Form)

3.1 การขึ้นรูปยางเป็นแผ่น

การรีดแผ่นยางให้เรียบ จะนิยมใช้เครื่องคาลเลนเดอร์แบบ 3 ลูกกลิ้ง ลูกกลิ้งกลางเคลื่อนที่ไม่ได้ ส่วนลูกกลิ้งด้านบนและล่างสามารถปรับช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งได้ โดยลูกกลิ้งทั้ง 3 จะหมุนด้วยความเร็วเท่ากัน หรือต่างกันเพียงเล็กน้อย (friction ratio 1.5:1) การขึ้นรูปโดยนำยางคอมพาวนด์ที่อุ่นป้อนเข้าไประหว่างลูกกลิ้งคู่บน ยางจะพันตามลูกกลิ้งกลาง แล้วผ่านมายังลูกกลิ้งคู่ล่าง พันตามลูกกลิ้งล่างและม้วนออกมา

3.2 การอัดยางบนผ้า

การอัดยางบนผ้า ใช้ยางคอมพาวนด์ที่นิ่มและมีความเหนียว เพื่อให้รีดยางเข้าไปติดกับผ้าได้ดี นำยางคอมพาวนด์ป้อนเข้าสู่เครื่องคาลเลนเดอร์ทางช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งคู่บนของเครื่องคาลเลนเดอร์แบบ 3 ลูกกลิ้ง ยางจะถูกรีดให้เป็นแผ่นและพันรอบลูกกลิ้งกลางที่หมุนด้วยความเร็วสูงกว่าลูกกลิ้งบนและล่าง (friction ratio 1: 1.5) แล้วป้อนผ้าใบเข้าสู่ช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งคู่ล่าง แล้วยางจะถูกอัดลงผ้าใบ ข้อควรระวังเรื่องการควบคุมอุณหภูมิของลูกกลิ้งให้เหมาะสมกับสูตรยาง หากว่าอุณหภูมิต่ำเกินไปอาจเกิดปัญหายางแข็ง ทำให้การอัดยางลงผ้าได้ไม่ดี แต่หากว่าอุณหภูมิของลูกกลิ้งสูงอาจทำให้ยางเหนียวติดลูกกลิ้งได้

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปโดยวิธีนี้: ส่วนประกอบรองเท้า แผ่นยางสำหรับทำสายพาน

ตารางที่ 10 ตัวอย่างการตั้งอุณหภูมิเครื่องคาลเลนเดอร์แบบ 3 ลูกกลิ้งสำหรับการอัดยางชนิดต่างๆ บนเนื้อผ้า

ชนิดยาง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
	ลูกกลิ้งบน	ลูกกลิ้งกลาง	ลูกกลิ้งล่าง
ยางธรรมชาติ (NR)	80-110	75-100	60-100
ยางไนไตรล์ (NBR)	70-95	60-85	100
ยางคลอโรพรีน (CR)	90-120	50-90	50-65

ชนิดยาง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
	ลูกกลิ้งบน	ลูกกลิ้งกลาง	ลูกกลิ้งล่าง
ยางบิวไทล์ (IIR)	85-105	75-90	90-115

3.3 การเคลือบยางบนผ้า

การเตรียมผ้าเพื่อนำเคลือบยาง นำผ้าไปไปปรับสภาพผิวทางเคมีก่อนเพื่อให้ยางสามารถติดบนผ้าได้ดี หากจะเคลือบยางบนผ้าด้านเดียวใช้เครื่องคาเลนเดอร์แบบ 3 ลูกกลิ้ง หากต้องการเคลือบ 2 ด้าน ใช้เครื่องคาเลนเดอร์แบบ 4 ลูกกลิ้ง

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปโดยวิธีนี้: ผลิตภัณฑ์ที่เคลือบบนผิวหรือฉาบยางลงในวัสดุเส้นใย/ผ้าใบ ผลิตภัณฑ์แผ่นเรียบมีความหนาและความกว้างสม่ำเสมอ

ตารางที่ 11 ปัญหาและการแก้ไขสำหรับการขึ้นรูปด้วยเครื่องคาเลนเดอร์

ปัญหาที่มักจะมีขึ้นรูปด้วยเครื่องคาเลนเดอร์	การแก้ไข
เกิดรอยบวมพองใต้ผิวยาง	การปรับลดอุณหภูมิของลูกกลิ้ง
ผิวชิ้นงานไม่เรียบ	การปรับเพิ่มอุณหภูมิของลูกกลิ้ง
ผิวชิ้นงานเกิดฟองอากาศ	การปรับลดอุณหภูมิของลูกกลิ้ง
เกิดรอยตำหนิบนผิวด้านเดียว	การปรับอุณหภูมิของลูกกลิ้งทั้ง 2 ให้เท่ากัน

ดังนั้น การเลือกการขึ้นรูปแบบใด ขึ้นกับรูปร่างของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิต เช่น ผลิตภัณฑ์ที่บางหรือแบบมีความซับซ้อนควรเลือกการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบฉีดหรือกึ่งฉีด หากผลิตภัณฑ์ที่หนาหรือแบบมีความซับซ้อนน้อยเลือกการขึ้นรูปแบบกดอัด นอกจากนี้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางแต่ละวิธี จำเป็นต้องคำนึงถึงสมบัติของยางคอมพาวด์ที่นำมาใช้ด้วย เนื่องจากจะมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิต เช่น ความแข็ง ความหนืด อัตราการไหล โดยทั่วไปแล้วยางที่มีความหนืดต่ำอาจจะใช้การฉีดขึ้นรูป ถ้ายางมีความหนืดสูงอาจจะใช้การอัดขึ้นรูป

เอกสารอ้างอิง

1. กฤษณา สุชีวะ เอกสารการอบรมหลักสูตรเทคโนโลยียางสำหรับบุคคลทั่วไป ศูนย์วิจัยเทคโนโลยียาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล 15 กุมภาพันธ์ 2561
2. พงษ์ธร แซ่อู๋, ชาคritt สิริสิงห, ยาง: กระบวนการผลิตและการทดสอบ. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. 2550.
3. วราภรณ์ ขจรไชยกูล, ผลิตภัณฑ์ยาง: กระบวนการผลิตและเทคโนโลยี. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) 2552.
4. J. Sommer, Elastomer Molding Technology: Elastech, January 2003.