

# เทคโนโลยีการคงรูปยาง (Vulcanization)

หลังจากขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แล้ว กระบวนการต่อมา คือ การทำให้ยางคงรูป (vulcanization) โดยอาศัยความร้อน กระตุ้นให้สารเคมี (ที่ผสมอยู่ในยางคอมพาวด์แล้ว) เกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงโมเลกุลให้เป็นโครงสร้างตาข่ายสามมิติ ซึ่งจะทำให้ยางคอมพาวด์ (หรือยางดิบที่ยังไม่สามารถใช้งานได้) เปลี่ยนสภาพเป็นยางคงรูป (หรือยางสุก) ที่มีความยืดหยุ่น ทนทาน มีสมบัติที่เสถียรไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ จึงจะสามารถนำผลิตภัณฑ์ยางดังกล่าวไปใช้งานได้

การคงรูปยางสามารถใช้สารเคมี (บวกกับความร้อน) หรืออาจจะใช้รังสีหรือคลื่นพลังงาน เช่น รังสีแกมมา ลำโวลต์ตรอน คลื่นไมโครเวฟ ก็ได้ แต่การคงรูปโดยใช้รังสีจำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่มีราคาแพงและใช้ได้ในพื้นที่เป็นชิ้นงานบางๆ เท่านั้น ดังนั้นการคงรูปที่ได้รับความนิยมในอุตสาหกรรม คือ การใช้สารเคมี (ร่วมกับความร้อน)

ระบบการคงรูปที่ใช้สารเคมีแบ่งออกเป็น 3 ระบบใหญ่ๆ ได้แก่

1. ระบบการคงรูปด้วยกำมะถัน (sulfur vulcanization)
2. ระบบการคงรูปด้วยเพอร์ออกไซด์ (peroxide vulcanization)
3. ระบบการคงรูปด้วยสารเคมีอื่นๆ

## ระบบการคงรูปด้วยกำมะถัน (sulfur vulcanization)

ระบบการคงรูปด้วยกำมะถันเป็นระบบที่ใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน เพราะเป็นระบบที่มีต้นทุนต่ำ การคงรูปสามารถเกิดขึ้นได้เร็ว และยางคงรูปที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ดี ระบบนี้นิยมใช้กับยางทุกชนิดที่มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุล โดยเฉพาะยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่ เช่น SBR, IR, BR, NBR เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ระบบนี้ก็มีข้อจำกัดหลัก คือ ไม่สามารถใช้ในการคงรูปยางที่ไม่มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุล เช่น ยางซิลิโคน หรือยาง EPM

## ระบบการคงรูปด้วยเพอร์ออกไซด์ (peroxide vulcanization)

แม้ว่าระบบการคงรูปด้วยเพอร์ออกไซด์จะสามารถใช้ได้กับยางส่วนใหญ่ (ทั้งที่มีพันธะคู่และไม่มีพันธะคู่ในโมเลกุล) แต่เนื่องจากระบบนี้มีต้นทุนสูงกว่าระบบการคงรูปด้วยกำมะถันและยางคงรูปที่ได้มีสมบัติทั้งเชิงกลและเชิงพลวัตต่ำกว่ายางที่ได้จากการคงรูปด้วยกำมะถัน ประกอบกับเพอร์ออกไซด์จัดเป็นสารเคมีที่ค่อนข้างอันตราย การขนย้ายและการเก็บรักษาต้องทำด้วยความระมัดระวัง ดังนั้นการคงรูปด้วยเพอร์ออกไซด์นั้นจึงนิยมใช้กับยางที่ไม่มีพันธะคู่ในโมเลกุล (เช่น EPM, EVA, CPE หรือ Q เป็นต้น) หรือยางที่มีปริมาณพันธะคู่ในโมเลกุลต่ำเท่านั้น (เช่น HNBR, EPDM) สำหรับยางอื่นๆ นิยมคงรูปด้วยกำมะถันมากกว่า ยกเว้นกรณีที่ต้องการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ทนต่อความร้อนได้ดีและ/หรือมีค่าการเสีรูปถาวรหลังกด (compression set) ต่ำเท่านั้น

## ระบบการคงรูปด้วยสารเคมีอื่นๆ

นอกจากระบบหลักๆ 2 ระบบดังกล่าวมาแล้ว ยังมีการนำสารทำให้ยางคงรูปชนิดอื่นๆ มาใช้ในการคงรูปด้วยเช่นกัน แต่มีการใช้น้อยหรือใช้ในกรณีที่เป็น เช่น การคงรูปของยางคลอโรพรีน (chloroprene; CR) เป็นต้น สารเคมีอื่นๆ ได้แก่ ซิลิเนียม เทลลูเรียม โลหะออกไซด์ (ซิงก์ออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ ออกไซด์ของตะกั่ว) สารประกอบที่มีหมู่ฟังก์ชัน 2 หมู่ (difunctional compounds)



## เทคนิคที่ใช้ในการคงรูป (vulcanization techniques)

เทคนิคที่ใช้ในการคงรูปมีหลายวิธี ขึ้นกับความเหมาะสมและรูปร่างของผลิตภัณฑ์

### 1. การคงรูปของยางที่ขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์

ผลิตภัณฑ์ยางที่ขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์จะทำให้ยางคงรูปได้ด้วยวิธีอัด (press) โดยวางแม่พิมพ์ที่มียางคอมพาวด์ อยู่ภายในลงบนแผ่นกดอัด (platen) ของเครื่องกดอัดระบบไฮดรอลิก (hydraulic press) ที่สามารถเลื่อนขึ้นลงได้ (ดู การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบกดอัดประกอบ)

### 2. การคงรูปของยางที่ขึ้นรูปด้วยวิธีอัดผ่านตายโดยใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูด

การคงรูปของเอ็กซ์ทรูดแตกแบ่งได้เป็น 2 เทคนิค ได้แก่ เทคนิคการคงรูปแบบไม่ต่อเนื่อง (การคงรูปในหม้ออบไอน้ำความดันสูง) และ เทคนิคการคงรูปแบบต่อเนื่อง (การคงรูปในถังของเหลว หรือ การคงรูปใน fluidized bed)

#### 2.1 การคงรูปในหม้ออบไอน้ำความดันสูง

หม้ออบไอน้ำความดันสูงหรือที่เรียกกันว่า หม้อออโตคลเรฟ (autoclave) รูปทรงกระบอกวางในแนวตั้งหรือแนวนอน มีไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อน อุณหภูมิของไอน้ำจะขึ้นกับความดันภายในหม้ออบ น้ำเอ็กซ์ทรูดแตกที่ได้จากการขึ้นรูปส่งผ่านไปยังถังใส่สารหล่อลื่นเพื่อป้องกันการติดกันก่อนที่จะถูกส่งต่อไปพันรอบ วงล้อกลมและนำเข้าไปอบในหม้อออโตคลเรฟ



[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Autoclave\\_Laminacion\\_de\\_Vidrio.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Autoclave_Laminacion_de_Vidrio.jpg)

รูปที่ 12 หม้ออบไอน้ำความดันสูง (autoclave)

#### 2.2. การคงรูปในถังของเหลว

ถังของเหลวมีลักษณะคล้ายรางน้ำที่มีขนาดไม่กว้างมากนักแต่จะค่อนข้างยาวและมักจะวางต่อจากเครื่องเอ็กซ์ทรูด เมื่อเอ็กซ์ทรูดแตกผ่านออกมาจากหัวตายแล้วจะถูกส่งต่อไปยังถังของเหลวอย่างต่อเนื่อง ความร้อนจากของเหลวจะทำให้ยางเกิดการคงรูป (เอ็กซ์ทรูดแตกจะต้องจุ่มอยู่ใต้ระดับของเหลวตลอดเวลา) ของเหลวที่สามารถใช้เป็นตัวกลางให้ความร้อน ได้แก่ ซิลิโคน กลีเซอริน และที่นิยมใช้มากที่สุด คือ เกลือผสม (salt mixtures)



<http://bainasb.en.made-in-china.com/productimage/xqwJfAncTLWt-2f0j00uCdESzncSJkl/China-Salt-Bath-Continuous-Curing-System.html>

รูปที่ 13 ถังของเหลว (liquid bath)

### 2.3. การคงรูปด้วย fluidized bed

การคงรูปด้วย fluidized bed มีหลักการคล้ายกับการคงรูปในถังของเหลว แต่มีตัวกลางการให้ความร้อนต่างกัน คือ ในถัง fluidized bed จะมีการปล่อยก๊าซให้ไหลจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนผ่านชั้นของเม็ดลูกแก้วกลมเล็กๆ ที่เรียกว่า บัลโลตินี (ballotini) เม็ดบัลโลตินีจะฟุ้งกระจายและแขวนลอยอยู่ในก๊าซที่เคลื่อนที่อยู่ภายในถัง ความร้อนจากเม็ดบัลโลตินีจะถูกถ่ายเทให้กับยางทำให้ยางเกิดการคงรูปขึ้นได้ การคงรูปด้วยวิธีนี้เหมาะสำหรับเอ็กซ์ทรูดเตตที่บีบเป็ยวได้ง่าย

นอกจากนี้ยังมีการคงรูปด้วยวิธีอื่นๆ เช่น การใช้อากาศร้อนในอุโมงค์ (hot air tunnel) การใช้คลื่นไมโครเวฟ หรือรังสีที่มีพลังงานสูง เป็นต้น

### 3. การคงรูปของยางที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องคาลเลนเดอร์

ยางที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องคาลเลนเดอร์สามารถคงรูปได้โดยใช้หม้ออบความดันสูงหรือการใช้อากาศร้อน แต่ปัจจุบันมีเทคนิคการคงรูปแบบใหม่ที่เรียกว่า “เทคนิคการคงรูปแบบหมุน (rotational vulcanization or rotorcure)” ซึ่งประกอบด้วยลูกกลิ้ง 3 ลูก ติดตั้งห่างกันเป็นรูปสามเหลี่ยม บริเวณตรงกลางของลูกกลิ้งทั้งสามจะมีการติดตั้งลูกกลิ้งขนาดใหญ่ที่เรียกว่า “drum” โดยที่ภายใน drum จะมีการเจาะรูเป็นโพรงให้ไอน้ำหรือตัวกลางความร้อนชนิดอื่นๆ ไหลผ่าน ลูกกลิ้งทั้งสามและ drum จะเชื่อมกันด้วยแถบเหล็กลักษณะคล้ายสายพาน ยางจะถูกป้อนเข้ามาตามแถบเหล็ก เมื่อ drum หมุนทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของยางซึ่งจะถูกกดให้แนบติดกับ drum ความร้อนจาก drum ทำให้เกิดการคงรูป



[http://www.alibaba.com/product-gs/517220670/Rubber\\_rotocure\\_rubber\\_machine\\_for\\_tire.html](http://www.alibaba.com/product-gs/517220670/Rubber_rotocure_rubber_machine_for_tire.html)

รูปที่ 14 เครื่องการคงรูปแบบหมุน (rotorcure)

## ขั้นตอนการตกแต่งผลิตภัณฑ์ (finishing)

หลังจากผ่านการคงรูปและแกะผลิตภัณฑ์ออกจากแม่พิมพ์ (หรือการคงรูปด้วยวิธีอื่น) ขั้นตอนสุดท้ายคือ การตกแต่งผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีวิธีการหลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะของผลิตภัณฑ์ เช่น การตกแต่งโดยใช้กรรไกรขลิบ หรือ ตกแต่งเศษบางส่วนเกิน (scrap) หรือใช้เครื่องตกแต่งขัดผิวหน้าผลิตภัณฑ์ เป็นต้น

### เอกสารอ้างอิง

1. พรพรรณ นิธิอุทัย, “เอกสารประกอบการอบรมเทคโนโลยียางระยะสั้น เรื่อง เทคนิคการออกสูตรยาง”, 29 เมษายน ถึง 1 พฤษภาคม 2535, โรงแรมเอเชีย กรุงเทพฯ
2. พงษ์ธร แซ่อู๋ และ ชาศริต สิริสิงห, “ยาง: กระบวนการผลิตและการทดสอบ”, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, พิมพ์ครั้งที่ 1 มิถุนายน 2550.
3. วราภรณ์ ขจรไชยกูล, “ผลิตภัณฑ์ยาง: กระบวนการผลิตและเทคโนโลยี”, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, พิมพ์ครั้งที่ 2 กันยายน 2554.