



การพัฒนาการเคลือบผิววัสดุคอมโพสิตธรรมชาติจากยางพาราผสมเส้นใย
ธรรมชาติสำหรับทำเป็นผลิตภัณฑ์บล็อกยางปูพื้นภายนอกอาคาร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วรณศิริ	จักรบุตร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วารุณี	อริยวิริยะนันท์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ	ฐิติภูมิเดชา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นัทรชัย	กันยาวุธ

ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
งบประมาณประจำปี พ.ศ. 2555

**การพัฒนาการเคลือบผิววัสดุคอมโพสิตธรรมชาติจากยางพาราผสมเส้นใย
ธรรมชาติสำหรับทำเป็นผลิตภัณฑ์บล็อกยางปูพื้นภายนอกอาคาร
(Development of Coating Material for Agro-based Composite Prepared from
Natural Rubber and Natural fiber for Outdoor Block Rubber Application)**

โดย

ผศ. วรณศิริ	จักรบุตร	หัวหน้าโครงการ
ผศ.ดร.วารุณี	อริยวิริยะนันท์	ผู้วิจัยหลัก
ผศ.ดร. สมเกียรติ	ฐิติภูมิเดชา	ผู้ร่วมวิจัย
ผศ.ดร.ฉัตรชัย	กันยาวุธ	ผู้ร่วมวิจัย

**ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
งบประมาณประจำปี พ.ศ. 2555**

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	2
บทที่ 1 บทนำ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	52
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์	61
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	71
เอกสารอ้างอิง	73
ภาคผนวก	74
กิตติกรรมประกาศ	92
เอกสารตีพิมพ์เผยแพร่	93

ส่วนที่ 1 รายละเอียดโครงการ

1. ชื่อโครงการวิจัย การพัฒนาการเคลือบผิววัสดุคอมโพสิตธรรมชาติจากยางพาราผสมเส้นใยธรรมชาติสำหรับทำเป็นผลิตภัณฑ์บล็อกยางปูพื้นภายนอกอาคาร (Development of Coating Material for Agro-based Composite Prepared from Natural Rubber and Natural fiber for Outdoor Block Rubber Application)

2. หน่วยงานหลักที่รับผิดชอบงานวิจัย และสถานที่ตั้งพร้อมทั้งชื่อหน่วยงานและลักษณะของการร่วมงานวิจัยกับหน่วยงานอื่น (ถ้ามี)

หน่วยงานหลักที่รับผิดชอบ

ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ต. คลอง 6 อ. ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทร.0-2549-3484-5 โทรสาร 0-2549-3483

หน่วยงานวิจัยร่วม

1. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
2. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีแห่งเกี่ยวโต

3. คณะผู้วิจัย บทบาทของนักวิจัยแต่ละคนในการทำวิจัย และสัดส่วนที่ทำการวิจัย (%)

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรุณศิริ จักรบุตร	สัดส่วนที่ทำวิจัย	45%
(Asst. Prof. Waroonsiri Jakrabut)		

ผู้ร่วมวิจัย

ผศ. ดร. วา रुณี อริยวิริยะนันท์	สัดส่วนที่ทำวิจัย	40%
(Asst.Prof.Dr. Warunee Ariyawiriyanan)		

ผศ. ดร. สมเกียรติ ฐิติภูมิเดชา	สัดส่วนที่ทำวิจัย	10 %
(Asst. Prof. Dr.Somkiat Thitiphoomdecha)		

ผศ. ดร. ฉัตรชัย กันยารุท	สัดส่วนที่ทำวิจัย	5 %
(Asst. Prof. Dr. Chatchai Kunyawut)		

4. ประเภทของการวิจัย การวิจัยและพัฒนา

5. สาขาวิชาการและกลุ่มวิชาที่ทำการวิจัย สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย

ส่วนที่ 2 เนื้อหาโครงการ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาสารเคลือบผิววัสดุคอมโพสิตธรรมชาติจากยางพาราผสมเส้นใยธรรมชาติสำหรับทำเป็นผลิตภัณฑ์ล้อยางปูพื้นภายนอกอาคาร โดยออกแบบสูตรยางคอมปาวด์และใช้สารตัวเติม คือ เส้นใยรูปท่อนี้เปรียบเทียบกับยางธรรมชาติ (STR20) ในโครงการวิจัยนี้ใช้อัตราส่วนสารตัวเติม ดังนี้ 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60 และ 70 phr ตามลำดับ โดยใช้กระบวนการบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-rolls mill) ขึ้นรูปโดยการอัดด้วยความร้อน (Compression molding) เป็นแผ่น และนำมาทดสอบสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพ จากการศึกษาพบว่า เมื่อปริมาณเส้นใยที่ใช้เป็นสารตัวเติมเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่า scorch time ของยางลดลงคือ จาก 86 วินาทีเป็น 34 วินาทีในขณะที่ค่า cure time เพิ่มขึ้นจาก 5.8 นาทีเป็น 7.0 นาที เมื่อไม่มีการเติมและเติมด้วยเส้นใย 70 phr ลงในยางธรรมชาติ ผลการทดสอบความแข็ง (Hardness) พบว่าค่าความแข็งเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยและให้ค่าสูงที่สุดที่ปริมาณเส้นใย 60 และ 70 phr คือ 70 shore A เทียบกับยางธรรมชาติคือ 45 shore A สมบัติเชิงกลอื่นๆ ได้แก่ การทนต่อแรงดึงพบว่าเมื่อเติมเส้นใยลงไป 10 phr จะให้ค่าสูงสุดคือ 14.21 MPa สูงกว่ายางธรรมชาติถึง 3 เท่า แต่หลังจากเพิ่มปริมาณเส้นใยมากขึ้นส่งผลทำให้ค่าการทนต่อแรงดึงค่อยๆ ลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลของเส้นใย เช่นเดียวกับค่าการดึงยืด (Elongation at break) จะค่อยๆ ลดลงเมื่อเส้นใยเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ค่ายังมอดุลัส (Young's modulus) มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจาก 2.15 MPa (STR20) เป็น 37.41 MPa (เติมเส้นใย 70 phr) เนื่องจากการเติมเส้นใยลงไปในช่วง เส้นใยจะไปขัดขวางการไหลของสายโซ่โมเลกุลยางทำให้เคลื่อนไหวได้ยากขึ้นทำให้ยางมีความแข็งและรับแรงได้สูงขึ้น จากนั้นนำยางคอมปาว์มาขึ้นรูปเป็นล้อกปูพื้นสนามหญ้าและทดสอบชนิดของสารเคลือบผิว คือ สารประเภทอะคริลิก และสารประเภทยูเรเทน และทำการทดสอบสมบัติการทนต่อสภาวะอากาศโดยเครื่องบ่มเร่งสภาวะ (QUV)

คำสำคัญ คอมโพสิตธรรมชาติ ยางธรรมชาติ เส้นใยรูปท่อนี้ การเคลือบผิว

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

การผลิตแผ่นปูพื้นจากยางใช้ยางธรรมชาติเป็นวัตถุดิบหลักเป็นส่วนใหญ่โดยเฉพาะแผ่นปูพื้นที่ใช้นอกอาคารเป็นอุตสาหกรรมการผลิตและเทคโนโลยีที่น่าสนใจมากซึ่งพบว่าในประเทศไทยมีกลุ่มวิจัยด้านนี้น้อย ซึ่งยังเป็นปัญหาในด้านสูตรและเทคนิคการผลิตให้ได้คุณภาพ อย่างไรก็ตามในการใช้งานบางพื้นที่อาจจำเป็นต้องใช้ยางสังเคราะห์ผสมกับยางธรรมชาติเพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพที่จำเป็น เช่น ทนน้ำมัน ทนแสงแดดและความร้อน ตลอดจนสภาพอากาศในกรณีใช้นอกอาคาร โดยสังเกตจากผลิตภัณฑ์ที่ยังคงเป็นวัสดุ ดังนั้น การทดลองจึงมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง คือ ชนิดของยาง สีส้มยาง สารป้องกันสารเสื่อมสภาพ และระบบวัลคาไนเซชัน สำหรับชนิดของยางเลือกใช้ยางธรรมชาติ เติมด้วยสารเติมแต่งได้แก่ สารป้องกันการเสื่อมสภาพ คือ สารป้องกันยางเสื่อม กลุ่มฟีนอล Sunproof wax และ microcrystalline wax และ น้ำมัน และใช้สีผสม สารป้องกันแสงยูวี และสารรักษาสภาพ (UV- stabilizer)

ยางธรรมชาติถือเป็นผลิตภัณฑ์หลักในประเทศไทยที่มีการผลิตและส่งออกมากที่สุดในโลกเมื่อเรานำยางธรรมชาติมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ จะสามารถเพิ่มมูลค่ายางธรรมชาติมากขึ้น โดยมีการคิดค้นและพัฒนาปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของยางธรรมชาติ ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการพัฒนาปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติโดยใช้เส้นใยเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติเพราะมีอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับยางธรรมชาติ รวมถึงกระแสนิยมทางด้านการลดภาวะโลกร้อน จึงได้มีการวิจัยหาวัสดุผสมชนิดใหม่ที่มาจากรubber ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมาทำเป็นวัสดุผสมและมีแนวโน้มว่างานวิจัยในด้านนี้จะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ เพื่อทดแทนวัสดุที่มีสารตั้งต้นมาจากปิโตรเลียม ซึ่งวัสดุจากปิโตรเลียมนี้จะสร้างมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมและย่อยสลายได้ยาก ดังนั้น ผู้วิจัยได้เห็นถึงความสำคัญการใช้วัสดุที่ได้จากธรรมชาตินำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งโครงการวิจัยนี้จะใช้ยางธรรมชาติผสมกับยางธรรมชาติซึ่งใช้เป็นสารตัวเติมเพื่อนำมาทำเป็นวัสดุผสม และทำเป็นแผ่นสำหรับปูพื้นอาคารภายนอกโดยจะศึกษาถึงความสัมพันธ์กับสมบัติต่างๆ ได้แก่ ปริมาณสารตัวเติมในยางธรรมชาติ สมบัติเชิงกล เปอร์เซ็นต์การบวมตัวของวัสดุผสมที่มีต่อสมบัติต่างๆ เช่น ความทนต่อแรงดึง (Tensile strength) ความแข็ง (Hardness) ความดูดซับน้ำ การเคลือบผิวด้วยวัสดุโพลีเมอร์เพื่อให้ทนทานต่อการใช้งาน

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีมุ่งเน้นเพื่อผลิตแผ่นปูพื้นจากยางธรรมชาติโดยการพัฒนาสูตรและการออกแบบโดยใช้เทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นเองเพื่อให้ได้แผ่นปูพื้นหญ้าในสนามที่สามารถรับแรงได้ดี และมีความทนทานต่อการใช้งานกลางแจ้ง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษานิยามของสารเคลือบผิวบนวัสดุคอมโพสิตระหว่างยางและเส้นใยธรรมชาติ
- 1.2.2 เพื่อพัฒนาสูตร การออกแบบและการขึ้นรูปลวดลายปูพื้นจากวัสดุคอมโพสิตระหว่างยางและเส้นใยธรรมชาติตามมาตรฐานอุตสาหกรรม
- 1.2.3 เพื่อทดสอบสมบัติทางกลและสภาวะอากาศเมื่อนำลวดลายปูพื้นที่ทำการเคลือบและไม่เคลือบผิวไปใช้งานภายนอกอาคาร

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. แผ่นวัสดุปูพื้นลักษณะเป็นลวดลายจากยางพารา
2. ยางพาราที่ใช้เป็นยางพาราแท่ง STR20
3. ใช้สารเติมแต่งที่จำหน่ายภายในประเทศ
4. สารเคลือบผิวที่ใช้ คือ สารประเภทอะคริลิก และสารประเภทยูเรเทน
5. ออกสูตรวัสดุผสมยางพารา ไม่น้อยกว่า 3 สูตร
6. ผสมวัสดุเป็นยางคอมปาวด์ด้วยเครื่องผสมแบบเปิด
7. ขึ้นรูปวัสดุผสมแผ่นกระเบื้องยางปูพื้นด้วยวิธีการอัดร้อน
8. ทดสอบสมบัติทางกลของวัสดุแผ่นยาง ตามมาตรฐาน ASTM

1.4 ผลสำเร็จของการวิจัยที่ได้รับ และหน่วยงานที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ กลุ่มอุตสาหกรรมเป้าหมาย

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. เป็นการเพิ่มคุณค่าของยางธรรมชาติให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งานในอุตสาหกรรมก่อสร้างและอุตสาหกรรมการออกแบบและตกแต่งในลักษณะที่เฉพาะมากยิ่งขึ้น ได้แก่ ตามบ้านเรือน ของแต่งบ้าน สนามหญ้า

2. เป็นประโยชน์ต่อประเทศชาติในการใช้แหล่งทรัพยากรที่มีอยู่ในธรรมชาติให้มีคุณค่ามากยิ่งขึ้น
 3. สร้างผลงานวิจัยซึ่งสามารถตีพิมพ์และนำเสนอในงานวิชาการระดับนานาชาติอย่างน้อย 1 เรื่อง
- หน่วยงานที่จะนำไปใช้ประโยชน์

1. ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหะการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
2. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมอุตสาหกรรมพลาสติก คณะวิศวกรรมศาสตร์
3. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาองค์ความรู้พื้นฐานของคณะผู้วิจัยที่มีเทคโนโลยีอยู่แล้ว นำมาพัฒนาเพื่อผลิตเป็นชิ้นงานในทางอุตสาหกรรมที่ใช้จริงในประเทศไทยได้การเลือกใช้วัสดุจากธรรมชาติ โดยจะมีแนวคิดจากการศึกษาวัสดุทดแทนไม้ ซึ่งการทบทวนวรรณกรรมในโครงการวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะทำการค้นคว้าเกี่ยวกับวัสดุผสม โดยที่ส่วนใหญ่ก็จะเน้นไปทางด้านการนำวัสดุทดแทนไม้ เนื่องจากเป็นพื้นฐานที่ใกล้เคียงกับโครงการวิจัยนี้ ซึ่งคณะผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมดังต่อไปนี้

2.1.1 สมควร วัฒนกิจไพบูลย์ และจิตรกร ทองต่อ ศรีสกุล ได้ทำการศึกษาเรื่องการผลิตวัสดุทดแทน แผ่นขึ้นไม้อัดจากวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร 5 ชนิด ได้แก่ ต้นข้าวโพด ชังข้าวโพด ต้นข้าวฟ่าง เปลือกทุเรียน และผักตบชวา โดยกำหนดความชื้นของเศษวัสดุไม่เกิน 5% ทำการอัดโดยเครื่องอัดความร้อน แรงอัดจำเพาะ 150 กก./ตร.ซม. อุณหภูมิอัด 150 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการอัด 10 นาที ความหนาแน่นแผ่นอยู่ในช่วง 6-9 มิลลิเมตร และมีความหนาแน่นที่ 500-800 กก./ลบ.ม. ทดสอบสมบัติตามมาตรฐาน มอก.876-2532 พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสม สำหรับผลิตเป็นวัสดุทดแทนแผ่นขึ้นไม้อัด โดยผสมปริมาณของเศษวัสดุประมาณ 80-85% และผสมปริมาณของกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ประมาณ 15-20% วัสดุทดแทนแผ่นไม้อัดที่ผลิตได้ มีคุณสมบัติด้านการตัดเฉือนด้วยเครื่องมือกลได้เป็นอย่างดี สามารถทำการเลื่อยตัด เจาะรู ตอกตะปู ตลอดจนการขัดผิวเรียบด้วยกระดาษทราย โดยไม่ทำให้เกิดการแตกกร่อน สามารถใช้ทดแทนแผ่นขึ้นไม้อัดที่ผลิตจากวัตถุดิบที่เป็นเนื้อไม้ได้เป็นที่น่าพอใจ แต่มีจุดอ่อนด้านสมบัติการต้านแรงยึดเหนี่ยวสกรูเกลียว การดูดซึมน้ำ การพองตัว และกลิ่นจากวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบ ดังนั้นการนำไปประยุกต์ใช้งานจึงเหมาะกับงานที่ไม่สัมผัสกับ สภาพความชื้นสูง แต่หากมีการใช้สารเคลือบผิวหรือวัสดุเคลือบผิว เช่น แล็กเกอร์ หรือพอร์ไมก้า ก็จะเป็นการแก้ไขจุดอ่อนดังกล่าวได้

2.1.2 นุชนาฏ ณ ระนอง อดุลย์ ณวิเชียร และ วิภาวี พัฒนกุล ได้ศึกษาการพัฒนาเทคนิคผลิตแผ่นยางปูพื้นที่ใช้ในอาคาร โดยใช้ยางธรรมชาติผสม กับยางบิวทิลในไตรล์ ในอัตราส่วน 70 ส่วนของยางบิวทิลในไตรล์ และ 80 ส่วนของยางธรรมชาติ รวมกับสารเพิ่มประสิทธิภาพเสริมแรง ซิลิกา ที่อัตราส่วนตั้งแต่ 40 ส่วนขึ้นไป จากการทดลองพบว่า ยางผสมดังกล่าวจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ได้ และมีสมบัติทนน้ำมันได้ดี

เล็กน้อยต่อสมบัติ เช่นทำให้สมบัติเชิงกลลดลง ไม่เติมพีวีซีผสมหุ้มแล้วก็มีสมบัติ ทนทานต่อการเข้าทำลายของปลวกอยู่ในระดับ “น่าพอใจ” (Satisfactory) มีเปอร์เซ็นต์การเข้าทำลายของปลวก น้อยมาก (น้อยกว่า 5%) ชนิดและปริมาณสารตัวเดิมที่ใช้ ไม่มีผลต่อการเข้าทำลายของปลวก

2.1.5 วารุณี อริยวิริยะนันท์ และคณะ เห็นว่าประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยางพาราส่งออกยางและมีผลิตภัณฑ์จากยางพาราส่งออกเป็นอันดับต้น ๆ ของโลก ดังนั้นในเมื่อวัตถุดิบในประเทศมีมากอยู่แล้วแผ่นยางปูพื้นจากยางพาราผสมจีลีส้อย ดังกล่าว เกิดจากการคิดค้นสูตรและเทคนิคการใช้ยางธรรมชาติคอมโพสิต โดยนำจีลีส้อยจากยางพาราซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์มาผสมกับยางพารา ซึ่ง “ผลการวิจัยพบว่า สูตรที่เหมาะสมในการนำไปผลิตทางการค้าคือสูตรที่เติมจีลีส้อยในอัตราส่วนที่เหมาะสมคือมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ แผ่นกระเบื้องยางปูพื้นที่ได้มีขนาด 25x25x2 ซม.มีความสวยงามสามารถต่อเป็นจิ๊กซอและสามารถรับแสงได้ดี ทนต่อสภาวะอากาศการใช้งานภายนอกอาคาร และจากการทดสอบพบว่า แผ่นกระเบื้องยางปูสนาม มีค่าคุณสมบัติการทนต่อแรงดึงเท่ากับ 4014 MPa ค่าทนทานต่อแรงดึงหลังจากทำการบ่มเร่งสภาวะที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 22 ชั่วโมงคือ 5.45 MPa ค่าความแข็งเท่ากับ 91.8 shore A ค่าการทนทานต่อการขัดถู 100 รอบ คือ 0.431 คุณสมบัติที่กล่าวมาข้างต้นล้วนมีค่าสูงกว่ายางธรรมชาติบริสุทธิ์ และเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำคือ 4.5 %” แต่พบว่าราคาต้นทุนเกิดจากยางพาราเกรด STR 20 นั้นราคาสูง ส่งผลให้แผ่นยางที่ได้มีราคาสูงด้วย

2.1.6 ศุภชัย แก้วจาง และคณะการใช้ยางธรรมชาติผสมยางอีพียีเอ็มเหลือทิ้งทำยางปูพื้นยางธรรมชาติเป็นชนิดยางแท่งสกิมซึ่งเป็นยางที่มีต้นทุนต่ำ ยางอีพียีเอ็มเป็นวัสดุมาจากฉนวนหุ้มท่อแอร์ที่เหลือทิ้งที่มีคุณสมบัติความต้านทานต่ออุณหภูมิได้ดี ทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมโดยมีการแปรผันปริมาณยางอีพียีเอ็มในช่วง 0-300 phr การทดลองพบว่า เวลาที่ทำให้ยางสุกและสมบัติทางด้านความแข็งของยางปูพื้นมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของยางอีพียีเอ็มแต่สมบัติทางด้านแรงฉีกขาดมีค่าลดลง ส่วนคุณสมบัติทางด้านการดูดซับพลังงานเพิ่มขึ้นโดยสามารถดูดซับพลังงานได้มากที่สุดที่ปริมาณอีพียีเอ็ม 300 phr นักวิจัยเห็นว่าในปัจจุบันมีขยะจากฉนวนหุ้มท่อแอร์ (ยาง EPDM (Ethylene-Propylene Diene Rubber)) เหลือทิ้งจากการใช้งานเมื่อมีการเปลี่ยนท่อแอร์หรือท่อแอร์เสื่อมสภาพที่ไม่สามารถจำหน่ายได้มีอยู่มาก ซึ่งฉนวนดังกล่าวมีคุณสมบัติติดไฟยากและสามารถผสมเข้ากับยางธรรมชาติได้ดี ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงศักยภาพในการนำ ของเหลือทิ้งดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ในการทำวัสดุปูพื้นสำหรับลดแรงกระแทกจากการหกล้มได้ โดยผสมผสานลักษณะเด่นของยางธรรมชาติที่มีความยืดหยุ่นสูง ให้ตัวได้ดี (รู้สึกสบาย)ผสมกับยาง EPDM ที่เหลือทิ้งทำเป็นวัสดุปูพื้น ทำให้เวลาหกล้มหรือกระแทกจะช่วยลดอาการบาดเจ็บยืดหยุ่นได้และสามารถดูดซับพลังงานได้มาก ทั้งยังเพิ่มความเหนียวและลดการเกิดรอยแตกร้า

2.1.7 พัฒนะ รักษามวล และคณะ การผลิตจนวนความร้อนจากเส้นใยหญาแฝกและน้ำยางธรรมชาติ โดยนำหญาแฝกสายพันธุ์ราชบุรีมาทำการลดขนาดให้เป็นชิ้นหญาแฝกด้วยเครื่องตีหญา และนำมาปั่นกวนในโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 15% โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 30 นาที จากนั้นล้างน้ำและอบต่อเป็นเวลา 6 ชั่วโมง กระบวนการขึ้นรูปแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ การจุ่มขึ้นรูปเส้นใยหญาแฝกในน้ำยางธรรมชาติและการพันเคลือบประสานเส้นใยหญาแฝกด้วยน้ำยางธรรมชาติ ที่ความหนาแน่นของแผ่นจนวนต่างๆ กัน แล้วทำการอบที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อให้หญาคงรูปและนำไปทดสอบค่าการนำความร้อนตามมาตรฐาน ASTM C 117 ซึ่งผลการทดลองโดยทั่วไปพบว่าค่าการนำความร้อนที่ได้จากกระบวนการพันเคลือบ ให้ค่าการนำความร้อนใกล้เคียงกับจนวนใยแก้วที่มีขายเชิงพาณิชย์

2.2 ยางธรรมชาติ

ยาง (Rubber) เป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ (Macromolecule) ซึ่งทางเคมีจัดเป็นสารประกอบพอลิเมอร์นั้น มีสมบัติพิเศษหลายประการซึ่งที่เด่นชัดที่สุดเป็นเอกลักษณ์ คือ มีความยืดหยุ่น (Elasticity) สูง คำรวมๆ ของยางและสารประกอบที่คล้ายกับยาง (Rubber-like compound) จึงใช้คำว่า “Elastomer” อย่างไรก็ตาม ตำราบางเล่มให้ความหมายคำว่า “Elastomer” หมายถึง Vulcanized product

จากสมบัติความยืดหยุ่นดังกล่าวทำให้ยางถูกใช้เป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในอดีตก่อนสงครามโลกครั้งที่ 1 ประมาณ พ.ศ. 2457 วัตถุดิบยางที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์ยางมีเพียงยางที่ได้มาจากธรรมชาติ คือ จากต้นพืชรูปร่างที่ให้น้ำยางซึ่งนำไปแปรรูปเบื้องต้นเป็นยางดิบชนิดต่างๆ คือ ต้นพืชรูปร่างในสกุล *Hevea Brasilliensis* มีศูนย์กลางการปลูก และซื้อขายอยู่ที่เมืองท่าบนาชายฝั่งแม่น้ำอะเมซอน เมืองพารา ประเทศบราซิล โดยที่ในการซื้อขายยางจากต้นไม้นี้ใช้ชื่อเรียกว่า “ยางพารา” ซึ่งเป็นชื่อที่คุ้นเคยกันโดยทั่วไปสำหรับประเทศไทย และใช้ชื่อนี้เรียกต้นพืชรูปร่างที่ให้น้ำยางว่า “ต้นยางพารา”



รูปที่ 2.1 แสดงภาพต้นยางพารา

ที่มา [http:// www.live-rubber.com](http://www.live-rubber.com)

2.2.1 พืชที่ให้อย่าง

ต้นพืชที่ให้น้ำยางได้มีหลากหลายชนิด เช่น ยางพารา ยางกัตตาเปอชา ยางบาลาตา ยางวายูเล เป็นต้น แต่เนื่องจากยางที่ได้จากต้นพืชแต่ละชนิดจะมีสมบัติ และส่วนประกอบแตกต่างกัน จึงทำให้พืชบางชนิดให้น้ำยางที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง และมีความสำคัญในเชิงพาณิชย์ แต่พืชบางชนิดให้น้ำยางที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เลย ซึ่งจะได้อธิบายถึงพืชเหล่านี้โดยสังเขป ดังต่อไปนี้

1) ยางพารา (Hevea Brasiliensis)

วัตถุดิบที่เริ่มแรกรู้จักกันในชื่อ “Caouchouc” ซึ่งเป็นคำที่เรียกตามที Charles de la Condamine ใช้ (มาจากภาษาอินเดียน หมายถึง ต้นไม้ร้องไห้) เป็นสารไอโซพรีน (Isoprene) ที่ได้จากน้ำเลี้ยงของต้นยาง Hevea Brasiliensis ปัจจุบันรู้จักวัตถุดิบนี้ในนาม Natural Rubber (NR) และเป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่าต้นยางพารานับเป็นแหล่งวัตถุดิบยางธรรมชาติที่สำคัญที่สุดในปัจจุบัน อาจนับเป็นพืชชนิดเดียวที่ให้อย่างธรรมชาติซึ่งนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมผลิตวัตถุดิบสำเร็จรูปยาง เป็นที่ยอมรับและเข้าใจกันโดยทั่วไปว่าเมื่อกล่าวถึงยางธรรมชาติจะหมายถึงยางเฉพาะที่ได้มาจากต้นยางพาราเท่านั้น

2) กัตตาเปอชาและบาลาตา (Gutta-Percha and Balata)

กัตตาเปอชาและบาลาตาเป็นวัตถุดิบที่ได้มาจากต้นไม้ใน Sapotaceae family มีลักษณะคล้ายยางจากต้นยางพารา เนื่องจากเป็น Trans isomer ของ Polyisoprene ในมาเลเซียและอินโดนีเซียเก็บเกี่ยววัตถุดิบนี้จากน้ำเลี้ยงของต้น Palaguium, Isonandra และ Payana การผลิตยางบาลาตาในอเมริกาใต้โดยการให้น้ำเลี้ยงของต้น Mimosa หรือ Ecclinusa Balata แห่ง วัตถุดิบจากกัตตาเปอชาและบาลาตาแตกต่างจากยางจากต้นยางพารา คือ มีปริมาณเรซินสูง ไม่มีความยืดหยุ่น ไม่มีลักษณะการทำให้คงรูปเช่นกรณีของยางพารา และยังมีความเปลี่ยนแปลงในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 70 - 100 องศาเซลเซียส จากการแข็งกระด้างไปเป็นลักษณะคล้ายพลาสติก

ในอดีตมีการใช้ยางกัตตาเปอชาผลิตฉนวนสายเคเบิล และใช้บาลาตาสำหรับผลิตสายพานส่งกำลังปัจจุบันยางกัตตาเปอชาเป็นวัตถุดิบที่ไม่มีความสำคัญเชิงเทคนิคเพราะมีพลาสติกเข้ามาแทนที่

3) วายูเล (Guayule)

วายูเล หรือ Parthnium argentatum เป็นพืชล้มลุกที่มีลักษณะเป็นพุ่มไม้เตี้ยๆ ปลูกในเม็กซิโก ให้สารเรซินที่มีลักษณะคล้ายยาง มีส่วนประกอบของสารไฮโดรคาร์บอนอยู่ประมาณ 70% เรซิน 20% และส่วนประกอบที่ไม่ละลายในเบนซีนประมาณ 10% ในทางเคมียางจากวายูเลเป็น cis- polyisoprene และเนื่องจากมีส่วนของเรซินสูง จึงทำให้สารนี้เหนียวและคล้ายพลาสติกมาก สลายตัวได้ง่าย การทำให้คงรูปช้า และให้สถานะการคงรูป (State of cure) ต่ำกว่ากรณีของ

ยางพารา โดยที่ยางวายุยูเลมี Plasticity สูงมาก จึงได้มีความพยายามที่จะใช้เป็น Thermoplastic NR อนึ่งการที่จะทำยางวายุยูเลให้มีสมบัติเทียบเท่ายางพาราจำเป็นต้องกำจัดสารเรซินออก ซึ่งนับเป็นขั้นตอนที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงมาก ปัจจุบันวายุยูเลจึงมีความสำคัญเฉพาะในท้องถิ่น อนาคตตลาดโลกของยางชนิดนี้ขึ้นอยู่กับการพัฒนาทางการผลิตจะพอเพียงและสามารถแข่งขันเชิงพาณิชย์ได้หรือไม่

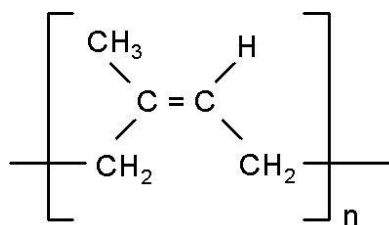
4) Kok-Saghyz

ต้นพืช Kok-Saghyz อยู่ในจำพวกเดียวกับ Dandelion เก็บเกี่ยวผลผลิตภายหลังการปลูก 1 - 2 ปี โดยนำส่วนของรากผ่านกรรมวิธีแยกเอาน้ำยางออก ได้เคยมีสถิติการผลิตเมื่อปี พ.ศ. 2483 ใน USSR ประมาณ 2,000 ตัน และเพิ่มขึ้นประมาณ 3 เท่าในปี พ.ศ. 2493 อย่างไรก็ตาม ต้นไม้นี้เป็นเพียงแหล่งให้น้ำยางที่ใช้เฉพาะกรณีความต้องการฉุกเฉินเท่านั้น

2.2.2 สมบัติของยางธรรมชาติ

1) สมบัติทางเคมี

ยางธรรมชาติเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีหน่วยย่อยของแต่ละหน่วยประกอบด้วยคาร์บอน 5 อะตอม และไฮโดรเจน 8 อะตอม เขียนเป็นสูตรเคมีคือ C_5H_8 เรียกชื่อทางเคมีว่าไอโซพรีน โครงสร้าง 1 โมเลกุลของยางประกอบด้วยหน่วยไอโซพรีนที่ต่อเรียงกันเป็นสายเส้นตรงแบบซีส (Linear cis- 1,4 polyisoprene) [รูปที่ 2.2] ประมาณ 3,000 - 5,000 หน่วยไอโซพรีน มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยประมาณ 200,000 - 400,000 มีการกระจายของน้ำหนักกว้างมาก ซึ่งทำให้ยางธรรมชาติมีลักษณะกระบวนการแปรรูปที่ดัดเลิส อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปยางธรรมชาตินอกจากมีสารไฮโดรคาร์บอนแล้ว ยังมีสิ่งเจือปนอื่นๆ ประมาณ 5% ด้วย ได้แก่ สารโปรตีน เถ้า สารที่สกัดได้ด้วยอะซิโตน (Acetone extractable) และความชื้น



รูปที่ 2.2 แสดงสูตรโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ (cis- 1,4 polyisoprene)

ที่มา [http:// rubber.sc.mahidol.ac.th](http://rubber.sc.mahidol.ac.th)

เนื่องจากแต่ละหน่วยไอโซพรีนของยางธรรมชาติมีพันธะคู่และหมู่อัลฟาเมทิลีน (α -Methylene group) ที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีด้วยกำมะถัน นั่นคือ พันธะคู่ของยางเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการคงรูปด้วยกำมะถัน อย่างไรก็ตามพันธะคู่ดังกล่าวก็ไวต่อการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจน หรือ โอโซน ซึ่งเป็นผลให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพได้ นอกจากนี้ยังสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาอื่นๆ เช่น ทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเกิด Hydrogenated rubber กับคลอรีนเกิด Chlorinated rubber กับไฮโดรเจนคลอไรด์เกิด Hydrochlorinated rubber และสามารถทำให้เกิดยางที่มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นวง (Cyclized rubber) โดยปฏิกิริยา Cyclization

2) สมบัติทางกายภาพ

ยางธรรมชาติมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.934 ที่ 20 องศาเซลเซียส และเพิ่มสูงขึ้นเมื่อทำให้ยางเย็นจนแข็งหรือเมื่อยืดยาง มีอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature; T_g) ประมาณ -70 องศาเซลเซียส คือ ยางจะเปลี่ยนจากมีความยืดหยุ่นเป็นแข็งและแตกได้คล้ายแก้ว ยางธรรมชาติมีความเป็นฉนวนไฟฟ้าสูงโดยมีค่าความต้านทานไฟฟ้า (Specific resistivity) ประมาณ $1 \times 10^{15} - 2 \times 10^{15}$ ohms-cm. อย่างไรก็ตามปัจจัยที่เป็นตัวแปรของสมบัติทางไฟฟ้าของยางธรรมชาติขึ้นอยู่กับสิ่งเจือปนที่ละลายน้ำได้ที่มีอยู่ในยาง

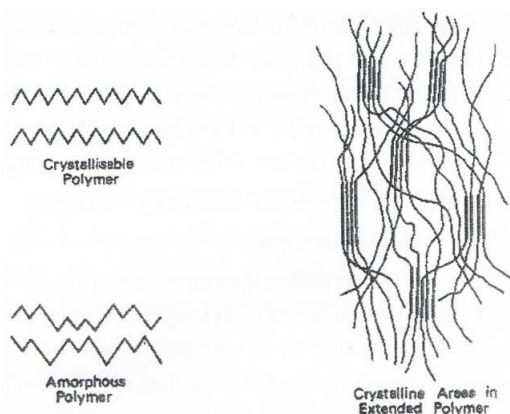
3) การแข็งตัวขณะเก็บรักษา (Storage hardening)

ยางธรรมชาติมีการเปลี่ยนแปลงสถานะความนิ่มหรือความหนืด (Plasticity)¹ เมื่อเก็บรักษาไว้ช่วงระยะเวลาหนึ่งๆ โดยที่ปฏิกิริยาเกิดยางแข็งตัวขณะเก็บรักษาจะยิ่งเพิ่มมากขึ้นภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิสูงและความชื้นต่ำ ซึ่งเชื่อว่าปฏิกิริยาทางแข็งตัวดังกล่าวเนื่องมาจากหมู่ผิดปกติ (Abnormal group) ในโมเลกุลยางซึ่งอาจเป็นสารกลุ่ม Aldehyde สารนี้ทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนของอะมิโนอิสระและโปรตีนเกิดพันธะเชื่อมโมเลกุล ซึ่งหมู่สารดังกล่าวสามารถถูกทำให้ไม่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีและกีดขวางการเกิดปฏิกิริยาทางแข็งตัวขณะเก็บรักษาได้โดยให้ยางทำปฏิกิริยากับ 0.15% Hydroxylamine salt จะได้ยางที่มีค่า Viscosity เสถียร โดยมีความเปลี่ยนแปลงของค่า Viscosity เพียง 4 - 8 หน่วย ภายหลังการเก็บไว้ที่อุณหภูมิปกติประมาณ 5 ปี

4) การเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบของสายโซ่โมเลกุล (Crystallization)

คำว่า Crystallization ในกรณีของ High polymer หมายถึงบริเวณที่สายโซ่โมเลกุลเกิดการเรียงตัวเป็นระเบียบมากกว่า หมายถึง การเกิดผลึก (Crystallization) [รูปที่ 2.3]

¹ คำว่าความหนืด (Viscosity) หรือความต้านทานต่อการไหลหรือต่อการเคลื่อนตัวของสาร แม้ว่าโดยปกติจะใช้กับของเหลว แต่มักใช้แทนที่คำว่า "Plasticity" ในกรณีของยางที่ยังไม่คงรูป (Unvulcanized rubber)



รูปที่ 2.3 แสดงผลของโครงสร้างโมเลกุลต่อการเกิดผลึกของพอลิเมอร์

ที่มา วราภรณ์ ขจรไชยกุล, ยางธรรมชาติ: การผลิตและการใช้งาน. 2554

ยางธรรมชาติในสภาวะอุณหภูมิห้องมีสถานะเป็นอสัณฐาน (Amorphous) แต่โดยที่สายโซ่โมเลกุลมีลักษณะ High stereoregularity ดังนั้นยางธรรมชาติจึงเกิดการเรียงตัวเป็นระเบียบของสายโซ่โมเลกุลได้ในสภาวะอุณหภูมิต่ำหรือสภาวะที่ถูกแรงยืด (Low temperature or Strain-induced crystallization) การเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลที่อุณหภูมิต่ำเกิดได้เมื่อยางถูกเก็บอยู่ไว้ในสภาวะประมาณ -26 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามถ้าเก็บยางไว้ในที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นานประมาณ 2 - 3 สัปดาห์ ยางก็อาจเกิดการเรียงตัวเป็นระเบียบของสายโซ่โมเลกุลได้ ลักษณะที่เกิดขึ้นดังกล่าวเกิดประมาณ 25 - 30% เท่านั้น การเกิดผลึกจะทำให้ยางกระด้างขึ้น แต่ต่างจากลักษณะของ Storage hardening และสามารถทำให้ยางที่เกิดผลึกกลับสู่สภาพเดิม โดยการให้ความร้อน นั่นคือการเก็บยางไว้ในที่มีอุณหภูมิต่ำจนทำให้ยางเกิดผลึกได้ จำเป็นต้องทำให้ยางอ่อนตัวลงโดยให้ความร้อนก่อนนำไปผสมกับสารต่างๆ สามารถป้องกันยางเกิดผลึกได้โดยเปลี่ยนหมู่ cis บ้างเล็กน้อยให้เป็นหมู่ tran โดย Treat กับ Sulfur dioxide

4) วัตถุดิบยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบันเป็นวัตถุดิบที่ได้จากการแปรรูปขึ้นต้นของน้ำยางสดจากต้นยางพาราซึ่งอาจจำแนกได้ 2 ประเภทหลัก คือ ประเภทยางแห้ง (Solid form or dry rubber) และประเภทของเหลว คือ น้ำยางข้น (Concentrated latex) การแปรรูปขึ้นต้นจากผลผลิตของต้นยางพาราซึ่งมีรายละเอียดของการผลิตยางชนิดต่างๆ

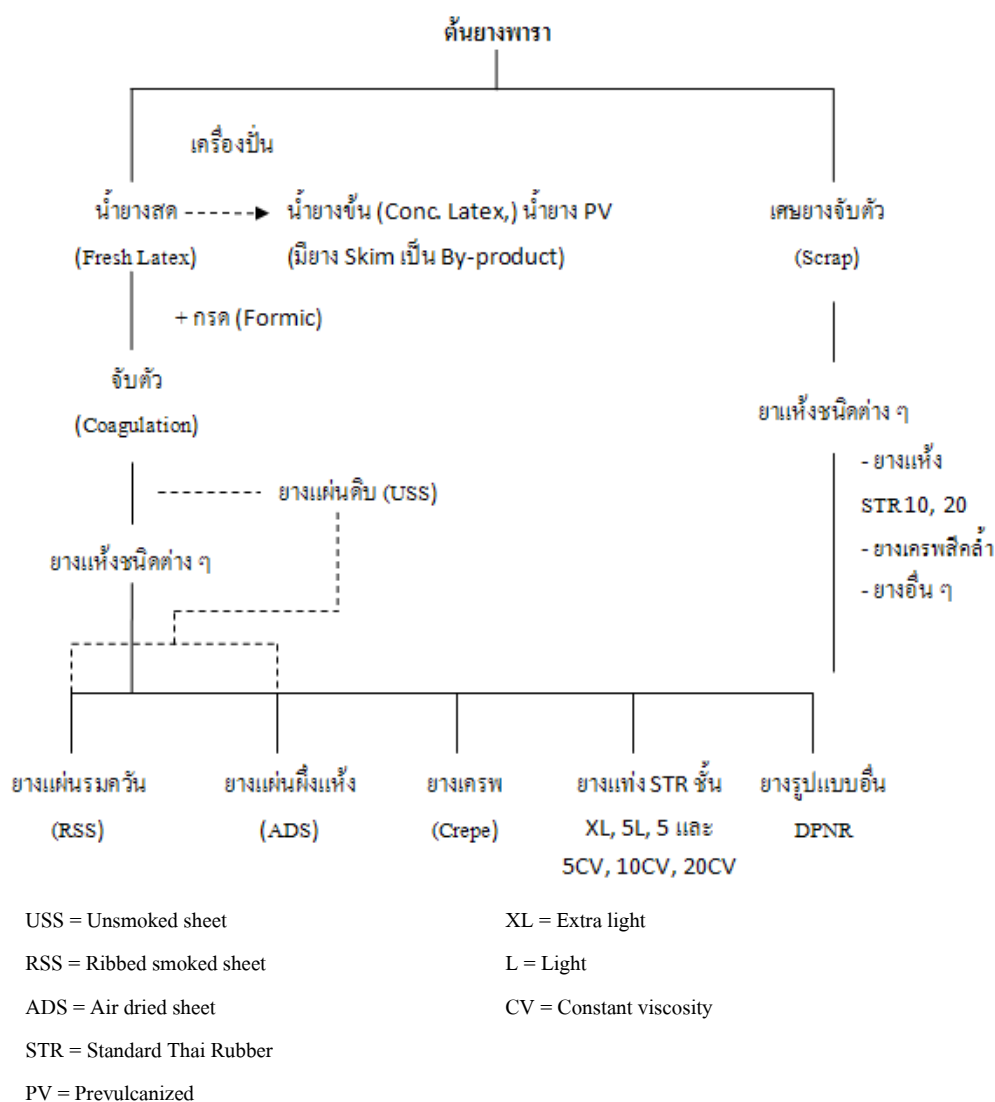
● ยางแห้ง

ยางธรรมชาติในรูปของยางแห้งอาจแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ตามลักษณะของกรรมวิธีการผลิต คือ

- ยางแบบธรรมดา ผลิตโดย Conventional process ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน ยางแผ่นผึ่งแห้ง ยางเครพ
- ยางแบบระบุคุณภาพมาตรฐาน ผลิตโดยมีเงื่อนไขการระบุคุณภาพมาตรฐานตามสากล (Technically specified process) ได้แก่ ยางมาตรฐาน (Standard block rubber)
- ยางแบบอื่นๆ ที่มีวิธีการผลิตเฉพาะตัว เพื่อให้ได้ผลผลิตเหมาะสมกับงานขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ชนิดใดชนิดหนึ่งโดยเฉพาะหรือเพื่อวัตถุประสงค์ที่จะจะปรับปรุงสมบัติบางประการของยางธรรมชาติ ตัวอย่างยางกลุ่มนี้ ได้แก่ ยางที่มีความหนืดคงที่ (Viscosity stabilized rubber, CV) ยางที่มีสมบัติพิเศษในกระบวนการผลิต (Superior processing rubber, SP) ยางผสมน้ำมัน (Oil extended natural rubber, OENR) ยางเทอร์โมพลาสติก ยางอีพอกซีไดซ์ ยางผง และยางเหลวเป็นต้น

วัตถุดิบจากต้นยางพาราที่จะนำไปผลิตเป็นยางแห้งชนิดต่างๆ ได้แก่

- น้ำยางจากสวน (Fresh or field latex) นำไปผลิตเป็นยางแผ่นรมควัน ยางแผ่นผึ่งแห้ง ยางเครพคุณภาพดี และยางแท่งคุณภาพดี
- ยางแห้งที่จับตัวแล้ว (Dried rubber or naturally coagulated) ได้แก่ พวกละเอียด ยางก้อนที่ติดกันด้วยรียับน้ำยาง (Cup lump) เศษยางตามรอยกรีด ยางแห้งตามเปลือกไม้ยางแห้งตามพื้นดิน (Dark scrap, Earth scrap) เป็นต้น พวกละเอียด เหล่านี้หรือที่ชาวสวนเรียกว่า “จี้ยาง” ในอดีตจะถูกนำไปผลิตเป็นยางเครพคุณภาพต่ำ แต่ปัจจุบันเนื่องจากได้มีการพัฒนาการผลิตยางแท่ง จี้ยางดังกล่าว จึงเป็นวัตถุดิบสำคัญสำหรับการผลิตยางแท่งคุณภาพกลาง



รูปที่ 2.4 แสดงแผนผังการแปรรูปขึ้นต้นจากผลผลิตของต้นยางพาราของประเทศไทย

ที่มา วราภรณ์ ขจรไชยกุล, ยางธรรมชาติ: การผลิตและการใช้งาน. 2549

● น้ำยางข้น

น้ำยางข้นที่ผลิตจำหน่ายทั่วไป อาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ น้ำยางข้นธรรมดาที่ไม่ผ่านการทรีด (Treated) กับสารเคมีหรือกรรมวิธีการใดๆ เพื่อให้โมเลกุลยางเปลี่ยนไป ส่วนอีกประเภทหนึ่งเป็นน้ำยางข้นที่ได้ผ่านกระบวนการการทรีดด้วยสารเคมีหรือการฉายรังสีให้โมเลกุลยางเปลี่ยนแปลง ประเภทหลังนี้เรียกว่า “น้ำยางคงรูป” หรือ “น้ำยางพรีวัลคาไนซ์” (Prevulcanized or vulcanized latex) หรือบางครั้งอาจเรียกว่าน้ำยางผสมเสร็จ

2.2.4 ยางแท่ง

กรรมวิธีการผลิตยางดิบชนิดยางแท่งจากยางธรรมชาตินั้น ได้ทำกันแบบง่ายๆ หรือแบบธรรมดา (Conventional method) มาช้านานแล้ว ซึ่งกรรมวิธีดังกล่าวนี้ คือ การกรีดยางรวบรวมน้ำยางทำให้ยางจับตัวเป็นก้อน แล้วทำให้เป็นแผ่นและทำให้แห้ง ขั้นตอนต่างๆ ดังกล่าวนี้อาจสิ้นเปลืองแรงงานมาก แต่วิธีการทำนั้นง่ายไม่ว่าจะเป็นการผลิตปริมาณมากหรือน้อย อย่างไรก็ตามยางดิบซึ่งผลิตโดยวิธีแบบเก่านี้ มีระบบการจัดแยกชั้นยางระบบที่ใช้สายตาตรวจ (Visual grading) ซึ่งเป็นการดูลักษณะต่างๆ ไปของยาง มากกว่าตรวจสอบสมบัติทางเทคนิค (Technical properties) ของยาง ในขณะที่ปริมาณการใช้ยางเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีการผลิตยางสังเคราะห์ เป็นอีกหนึ่งทางเลือกวัตถุดิบสำหรับทำผลิตภัณฑ์ยาง ทางโรงงานผู้ผลิตวัตถุดิบสำเร็จรูปจากยางจึงเกิดความต้องการทราบเกี่ยวกับสมบัติทางเทคนิคของยางธรรมชาติ เช่นเดียวกับที่ผู้ผลิตยางสังเคราะห์สามารถให้ข้อมูลเหล่านั้นได้ อีกทั้งยังมีความต้องการรูปแบบหีบห่อยางธรรมชาติที่ง่ายและสะดวกในการขนส่งด้วย ซึ่งความต้องการของผู้ใช้ยางดังกล่าวนี้ได้เป็นสาเหตุสำคัญในการริเริ่มการผลิตยางดิบแท่งจากยางธรรมชาติโดยวิธีการที่ต่างไปจากเดิม เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้ จึงเป็นที่มาของวิธีการผลิตยางธรรมชาติชนิดที่มีการระบุคุณภาพมาตรฐาน (Technically specified process) และเรียกยางนี้ว่า Technically specified rubber (TSR) หรือมักเรียกกันว่า Block rubber ตามรูปร่างของการหีบห่อยาง

หลักการของวิธีการผลิตยางวิธีนี้ คือ การตัดหรือย่อยยางให้เป็นเม็ดเล็กๆ อย่างรวดเร็ว แล้วอบให้แห้งอัดเป็นแท่ง ดังนั้นชื่อที่เรียกว่า “ยางแท่ง” นั้น มาจากลักษณะของผลผลิตขั้นสุดท้ายที่เป็นรูปแท่งนั่นเอง การหีบห่อเพื่อจำหน่ายก็ได้มีการพัฒนาให้เพิ่มความสะดวกเช่นเดียวกับกรณีของยางสังเคราะห์ เนื่องจากปัจจุบันยางธรรมชาติในรูปแบบยางแท่ง เป็นที่ต้องการของผู้ใช้ส่วนใหญ่และประเทศไทยได้มีนโยบายสนับสนุนการขยายการผลิตยางแท่ง ดังนั้นบทนี้จะกล่าวถึงความเป็นมา การผลิต การควบคุมคุณภาพ ตลอดจนสาระสำคัญที่เกี่ยวข้องกับยางแท่งโดยละเอียด

1) ความเป็นมาของยางแท่ง

ก่อนสงครามโลกครั้งที่ 2 การผลิตผลิตภัณฑ์ยางอาศัยวัตถุดิบยางธรรมชาติเพียงอย่างเดียว แต่ต่อมาหลังจากสงครามโลกสิ้นสุดลง ได้เกิดการผลิตยางสังเคราะห์มาใช้ควบคู่กับยางธรรมชาติ ซึ่งการพัฒนาปรับปรุงทั้งด้านคุณภาพและปริมาณการผลิตยางสังเคราะห์ได้เจริญรุดหน้าอย่างรวดเร็ว จึงเป็นสาเหตุของการตื่นตัวที่จะมีการปรับปรุงรูปแบบการผลิตยางธรรมชาติอันเป็นจุดเริ่มต้นของยางธรรมชาติชนิดระบุคุณภาพมาตรฐาน ที่ปัจจุบันทราบกันในชื่อ ยางแท่ง เป้าหมายสำคัญในการปรับปรุงรูปแบบการผลิตยางธรรมชาติชนิดนี้ คือ เพื่อที่จะแข่งขันกับยางสังเคราะห์ สรุปความสำคัญตลอดจนการพัฒนาการผลิตยางธรรมชาติในรูปของยางแท่งดังนี้ คือ

- กำหนดคุณภาพมาตรฐานทางเทคนิค
- เปลี่ยนแปลงกรรมวิธีการผลิตหรือแปรรูปขั้นต้นจากเดิมที่เป็นวิธี Conventional method
- ปรับปรุงการหีบห่อให้เหมาะสมและสะดวกต่อการขนย้ายและการนำไปใช้งาน
- มีระบบการควบคุมคุณภาพทางวิชาการอย่างเพียงพอ
- เพื่อให้มีความยืดหยุ่นในการปรับและแก้ไขข้อกำหนดคุณภาพมาตรฐานได้ตามความต้องการ

จุดเริ่มต้นของยางแท่งเกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2508 โดยประเทศมาเลเซียเป็นผู้จัดทำมาตรการ (Scheme) SMR (Standard Malaysian Rubber) ขึ้น นับตั้งแต่นั้นมากิจการของอุตสาหกรรมผลิตยางแท่ง SMR ได้เจริญรุดหน้ามาเป็นลำดับ จากการตอบรับของผู้ใช้ทั่วโลก ทำให้ผู้ผลิตยางธรรมชาติประเทศอื่นๆ สนใจและต่างกำหนดมาตรการยางแท่งของตนขึ้น ซึ่งส่วนใหญ่จะอิงจากมาตรการที่ประเทศมาเลเซียได้กำหนดไว้เป็นแนวทาง

ยางแท่งที่ผลิตโดยประเทศต่างๆ จะมีชื่อเรียกต่างกัน เช่น

SMR	:	Standard Malaysian Rubber
SIR	:	Standard Indonesian Rubber
SLR	:	Standard Sri-Lanka Rubber
CSR	:	Standard China Rubber

ผู้บุกเบิกการผลิตยางแท่งเป็นประเทศแรก คือ ประเทศมาเลเซีย ซึ่งได้เริ่มต้นและพัฒนาทั้งกรรมวิธีการผลิตและการตั้งข้อกำหนดสมบัติต่างๆ ซึ่งองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (ISO) ได้นำข้อกำหนดเหล่านี้ไปเป็นแนวทางกำหนดเป็นมาตรฐานสากล (ISO 2000, Natural Rubber (NR), Guide to Specification) อย่างไรก็ตามสถาบันวิจัยยางมาเลเซีย ซึ่งเป็นหน่วยงานรับผิดชอบเรื่องของการผลิตและควบคุมคุณภาพยางแท่ง SMR ได้ทำการปรับปรุงข้อกำหนดและเกรด SMR มาแล้วหลายครั้ง

ในส่วนของประเทศไทย สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ได้เริ่มวางมาตรการยางแท่งไทย (TTR scheme) ครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2511 โดยกำหนดชื่อยางแท่งไทยว่า Thai Tested Rubber (TTR) กำหนดชั้นยาง 5 ชั้น ได้แก่ TTR 5L, TTR 5, TTR 10, TTR 20 และ TTR 50 แต่ละชั้นมีขีดจำกัดของสมบัติต่างๆ ตามมาตรฐานสากล นอกจากกำหนดชั้น

ยางแล้ว ยังได้กำหนดวิธีปฏิบัติในการเป็นผู้ผลิตยางแท่ง TTR เช่น การจดทะเบียนเป็นผู้ผลิต มาตรฐานการหีบห่อ การเก็บตัวอย่างเพื่อตรวจสอบและออกใบรับรองคุณภาพ เป็นต้น

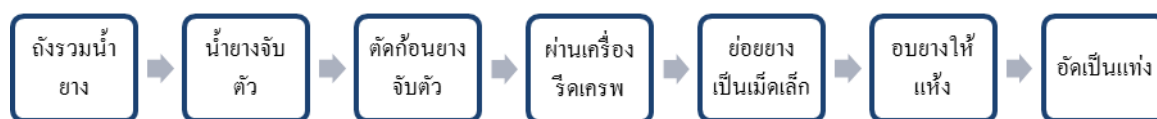
ต่อมาในปี พ.ศ. 2534 สถาบันวิจัยยาง โดยศูนย์วิจัยยางสงขลา ได้จัดพิมพ์คู่มือ มาตรการยางแท่งขึ้นใหม่และได้ระบุนการเปลี่ยนแปลงขีดจำกัดของสมบัติยางแท่งรายการตามที่ สถาบันวิจัยยางได้พิจารณาให้มีการแก้ไขและได้ประกาศให้ผู้เกี่ยวข้องรับทราบตั้งแต่ปี พ.ศ. 2526 ได้แก่ ปรับลดข้อกำหนดปริมาณไนโตรเจน จากเดิมไม่เกิน 0.65% เป็นไม่เกิน 0.60% และปริมาณ ความชื้นจากเดิมไม่เกิน 1.0% เป็นไม่เกิน 0.50% สำหรับผู้ผลิต และไม่เกิน 0.80% สำหรับผู้ใช้ ใน คู่มือดังกล่าวยังระบุถึงการบรรจุหีบห่อ การทำเครื่องหมายบนแท่งยาง ถุงบรรจุยางและถังบรรจุยาง

ในปี พ.ศ. 2537 สถาบันวิจัยยางมีนโยบายให้ทบทวนมาตรการยางแท่งไทย โดย มอบหมายให้ผู้ที่เกี่ยวข้องศึกษาคุณภาพยางแท่งไทยในสถานะขณะนั้นและวิธีปฏิบัติที่ปรับเปลี่ยน ไปตามพัฒนาการการอุปโภคบริโภคของผู้ใช้ยางแท่ง เพื่อนำข้อมูลมาจัดทำมาตรการยางแท่งขึ้นใหม่ ให้ทันสมัย สามารถปฏิบัติได้ทั้งผู้ผลิตและองค์กรภาครัฐซึ่งมีหน้าที่ให้บริการตรวจวิเคราะห์เพื่อ ควบคุมคุณภาพยาง การทบทวนมาตรการยางแท่งไทยครั้งนี้ ได้พิจารณาในส่วนของการเรียกชื่อยาง แท่งไทยจาก TTR เป็น STR (Standard Thai Rubber) เพื่อให้เป็นสากลตามผู้ผลิตประเทศอื่นๆ ขึ้น ยางและขีดจำกัดคุณภาพ ให้สอดคล้องกับความสามารถของผู้ผลิต โดยกำหนดให้ยางแท่ง STR ประกอบด้วยชั้นยาง 8 ชั้น ซึ่งเป็นชั้นยางเหมือนเดิม 4 ชั้น ได้แก่ STR 5L, STR 5, STR 10 และ STR 20 คัดชั้นยาง TTR 50 ออก เนื่องจากมีการซื้อ - ขายน้อยมาก เพิ่มชั้นยางใหม่ 4 ชั้น ประกอบ STR XL, STR 5CV, STR 10CV และ STR 20CV และทบทวนวิธีปฏิบัติของการบรรจุหีบห่อ การ ควบคุมคุณภาพ ตลอดจนการส่งออกยาง แล้วจัดทำเป็นเอกสาร “คู่มือมาตรการยางแท่งเอสทีอาร์ (STR Scheme Manual)” ภายในคู่มือฉบับดังกล่าวได้รวบรวมระเบียบเงื่อนไข แบบฟอร์มการขอ อนุญาตต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งรายละเอียดอื่นๆ ที่เกี่ยวกับการเป็นผู้ผลิต การเป็นห้องปฏิบัติการ ทดสอบยางแท่ง STR เพื่อให้ผู้ประกอบการผลิตยางแท่ง STR ได้ทราบและถือปฏิบัติอย่างถูกต้อง และมีประสิทธิภาพ ซึ่งให้มีผลบังคับใช้มาตรการดังกล่าวตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2539

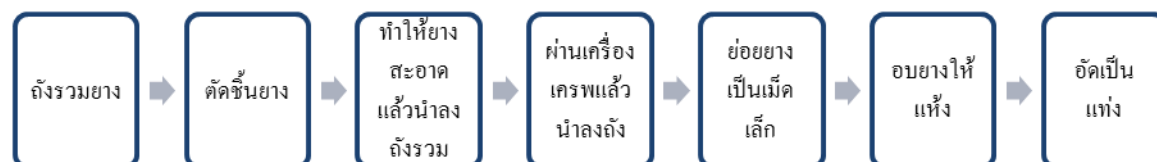
2) กระบวนการผลิตยางแท่ง

วัตถุดิบที่ใช้ผลิตเป็นยางแท่ง สามารถใช้ตั้งแต่วัตถุดิบที่สะอาด คือ น้ำยางสด (Fresh or field latex) ไปจนถึงวัตถุดิบยางแห้ง คือ ยางที่จับตัวแล้ว (Field coagula material) ซึ่ง ขั้นตอนของกระบวนการผลิตโดยใช้ยางทั้ง 2 ประเภทนี้จะแตกต่างกันออกไปดังแสดงในผังรูปที่

จากน้ำยาง



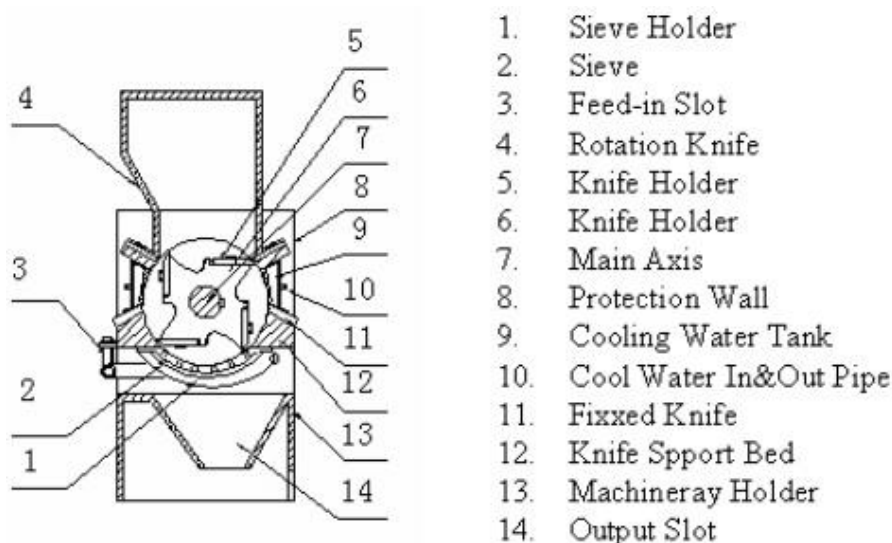
จากยางแห้ง



รูปที่ 2.5 แสดงแผนผังการผลิตยางแท่งจากน้ำยางและจากยางแห้งที่มา วราภรณ์ ขจรไชยกุล, ยางธรรมชาติ: การผลิตและการใช้งาน. 2549

• การผลิตยางแท่งจากน้ำยาง

เริ่มต้นจากการรวบรวมน้ำยางสดลงในถังรวมน้ำยาง ทำการกรองน้ำยางให้สะอาดแล้วทำให้น้ำยางจับตัวโดยใช้กรดฟอร์มิกหรือกรดอะซิติกหรือสารเคมีอื่นๆ เมื่อได้ยางที่จับตัวแล้วนำไปผ่านเครื่องตัด ซึ่งจะตัดหรือย่อยยางเป็นชิ้นเล็กๆ ในขณะที่ยางกำลังผ่านเครื่องตัดนี้จะต้องฉีดน้ำเพื่อชะล้างสิ่งสกปรกที่อาจติดมากับยาง ในการผ่านยางเข้าเครื่องตัดหากก้อนยางที่ได้มีลักษณะจับตัวอย่างหลวมๆ คือ ลักษณะของก้อนยางเป็นรูปรูนคล้ายๆ ฟองน้ำ ก็อาจนำยางเข้าเครื่องตัดชนิดที่เรียกว่าแกรนูลเลเตอร์ (Granulator) [รูปที่ 2.6] ได้ แต่หากว่าก้อนยางจับตัวกันแน่นให้นำก้อนยางเข้าเครื่องเครฟเพื่อรีดยางออกให้เป็นแผ่นเสียบก่อน และในขณะที่รีดยางเป็นแผ่น ยางจะถูกฉีดด้วยน้ำเพื่อชะล้างสิ่งสกปรก จากนั้นจึงนำแผ่นเครฟที่ได้ไปผ่านเข้าเครื่องตัดยาง ซึ่งอาจเป็นชนิดแฮมเมอร์มิล (Hammer mill) [รูปที่ 2.10 ก] หรือแกรนูลเลเตอร์หรือเชร็ดเดอร์ (Shredder) [รูปที่ 2.11] เมื่อได้ยางอยู่ในลักษณะเป็นเม็ดหรือชิ้นเล็กๆ แล้ว รวบรวมยางเหล่านี้ลงกระบะอบนำเข้าเครื่องอบใช้ลมร้อนอุณหภูมิประมาณ 100 - 120 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบจนแห้งประมาณ 4 ชั่วโมง แล้วจึงใช้ลมเย็นเป่ายางที่แห้งแล้วให้เย็นลง อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส นำยางที่อบแห้งแล้วมาชั่งน้ำหนักและอัดเป็นแท่งๆ ละ 33.33 กิโลกรัม ขนาด $670 \times 330 \times 170$ มิลลิเมตร หรือขนาดอื่นๆ ตามที่ผู้ใช้งานต้องการและห่อแท่งยางด้วยพลาสติกพอลิเอทิลีน (Polyethylene) แล้วบรรจุลงถัง



รูปที่ 2.6 แสดงภาพหน้าตัดของเครื่องแกรนูลเตอร

ที่มา [http:// www.san-lan.com](http://www.san-lan.com)

● การผลิตยางแท่งจากยางแห้ง

ยางแห้งที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตเป็นยางแท่ง ได้แก่ ยางแผ่นดิบ (Unsmoked sheet; USS) ยางก้อนถ้วย (Cup lump) และเศษยางต่างๆ โดยปกติผู้ผลิตมักใช้วิธีการผสมระหว่างยางที่มีความสะอาดพอควร ซึ่งยางเหล่านี้จะมีราคาสูง ได้แก่ ยางแผ่นดิบผสมกับยางที่มีความสกปรกกว่าแต่มีราคาต่ำ ขึ้นแรกของการผลิต ยางคุณภาพต่ำหรือยางที่มีความสกปรกอันเนื่องมาจากการมีสารอื่นเจือปนจะถูกรวบรวมลงในถังแช่ด้วยน้ำเพื่อปล่อยให้สิ่งสกปรกต่างๆ มีโอกาสตกตะกอนไปก่อนบ้าง แล้วจึงผ่านยางที่แช่น้ำแล้วไปยังเครื่องตัดย่อยให้เป็นชิ้นเล็กๆ ซึ่งจำนวนครั้งและจำนวนเครื่องที่ใช้ ขึ้นอยู่กับความสกปรกมากน้อยของยาง ต่อไปยางจะถูกนำผ่านเครื่องเครฟ จากนั้นจะมีการผสมยางแผ่นที่มีความสะอาดพอควรลงไป โดยจะปล่อยให้ยางแผ่นผสมคลุกเคล้ากับเศษยาง (ที่ผ่านกระบวนการทำความสะอาดมาแล้ว) ในบ่อรวม จากนั้นจะนำยางผสมผ่านเครื่องรีดเครฟและเครื่องตัดย่อยตามลำดับ ในกรณีของการใช้ยางแห้งทำเป็นยางแท่ง ทุกขั้นตอนจะอาศัยน้ำฉีดชะล้างยางอย่างมาก เมื่อได้ยางออกมาในลักษณะเป็นเม็ดหรือชิ้นเล็กๆ แล้วขั้นตอนต่อไปก็เช่นเดียวกับกรณีของการใช้น้ำยางผลิตเป็นยางแท่ง

3) เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตยางแท่ง

ในกระบวนการผลิตยางแท่งนั้น มีเครื่องจักรที่ใช้อยู่หลายชนิดและที่ควรรู้จัก ได้แก่ เครื่องจักรต่างๆ ดังต่อไปนี้

- **เครื่องตัดก้อนยางที่จับตัวแล้ว**

ในการผลิตยางแท่งจากน้ำยาง เมื่อทำให้น้ำยางจับตัวแล้วจะได้ก้อนยางที่มีลักษณะเป็นก้อนใหญ่ๆ ซึ่งจำเป็นต้องใช้เครื่องจักรบางชนิดตัดก้อนยางจับตัวแล้วนี้ เครื่องจักรที่ใช้ตัดก้อนยางจะตัดก้อนยางให้ได้ชิ้นยางหนาประมาณ 2 นิ้ว เพื่อสะดวกแก่การขนย้ายไปสู่กรรมวิธีขั้นต่อไป

ครีชเชอร์ (Crusher) เป็นเครื่องตัดก้อนยางที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน เครื่องชนิดนี้ประกอบด้วยลูกกลิ้ง 2 ลูก ลักษณะและหลักการทำงานของเครื่องคล้ายๆ กับการทำงานของเครื่องเครพ แตกต่างกันที่ร่องบนลูกกลิ้งของครีชเชอร์มีลักษณะเป็นคลื่นและรอยลึกกว่ารอยบนลูกกลิ้งของเครื่องเครพและไม่มีแรงเสียดทานระหว่างลูกกลิ้งของเครื่องครีชเชอร์ ทั้งนี้เพื่อป้องกันการบิดขาดของก้อนยางขณะผ่านเครื่องโดยปกติก้อนยางขนาดความหนาประมาณ 10 - 14 นิ้ว จะถูกป้อนเข้าเครื่องครีชเชอร์และความหนาของแผ่นยางที่ออกจากเครื่องจะขึ้นอยู่กับการปรับช่องระหว่างลูกกลิ้งทั้งสองของเครื่อง ปกติจะปรับลูกกลิ้งให้ได้แผ่นยางหนาประมาณ 1 ใน 4 นิ้ว จุดมุ่งหมายของการใช้ครีชเชอร์ในขั้นนี้ เพื่อทำให้ขนาดของก้อนยางสะดวกในการขนย้ายและเหมาะสมที่จะผ่านไปสู่กรรมวิธีขั้นต่อไป

- **เครื่องจักรชุดแรก**

เครื่องจักรชุดแรก (Pre-machining) ที่ใช้เพื่อการทำความสะดวกยางและทำให้แผ่นยางบางลงระดับหนึ่ง เครื่องจักรที่ใช้กันแพร่หลายได้แก่ เครื่องเครพและเครื่องมาซิเรเตอร์ (Crepe/macerator) หลักการของเครื่องเหล่านี้ประกอบด้วยลูกกลิ้งทำด้วยเหล็กกล้า 2 ลูกกลิ้ง หมุนได้ในทิศทางตรงกันข้าม ผิวหน้าของลูกกลิ้งจะเป็นร่อง เพื่อช่วยให้ชิ้นยางเกาะลูกกลิ้งและเพื่อให้เกิดแรงอัด ขณะใช้เครื่องจักรยางที่ป้อนเข้าเครื่องจะถูกรีดอัดให้กระจายเต็มผิวหน้าของลูกกลิ้งแล้วชิ้นยางก็จะถูกรีดออกจากเครื่อง ซึ่งความหนาบางของแผ่นยางจะสม่ำเสมอและโดยที่มีที่อน้ำตามแนวยาวของลูกกลิ้งและติดอยู่เหนือลูกกลิ้ง ขณะเดินเครื่องรีดยางจะฉีดน้ำลงบนลูกกลิ้ง สิ่งสกปรกบางอย่างในยางจึงหลุดออกไปบ้าง ความแตกต่างระหว่างเครื่องเครพกับมาซิเรเตอร์ก็คือความกว้างและความลึกของร่องบนผิวหน้าของลูกกลิ้ง โดยในเครื่องมาซิเรเตอร์จะกว้างและลึกกว่ากรณีของเครื่องเครพและมาซิเรเตอร์มีผลหลายอย่างกว่า

- **เครื่องจักรใช้ย่อยยางเป็นชิ้น (เม็ด) เล็กๆ**

เครื่องจักรที่ใช้เพื่อการย่อยยางเป็นชิ้นเล็กๆ ที่นิยมใช้กัน ได้แก่

- **แกรนูลเลเตอร์หรือคอมมินูเตอร์ (Granulators or Comminutors)** [รูปที่ 2.6]

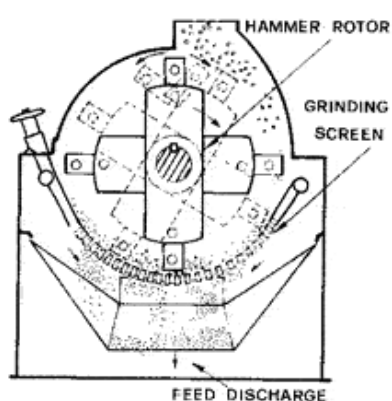
ซึ่งเครื่องนี้ประกอบด้วยโรเตอร์ซึ่งมีใบมีด 3 - 5 ใบติดอยู่ ห้องสำหรับตัดยาง (Cutting chamber) มีใบมีดติดกับที่ 2 ใบ ห้องนี้ตั้งอยู่ตามแนวนอนของเครื่อง ที่ครึ่งล่างของห้องมีตะแกรงติดอยู่ หลักการทำงานของเครื่องชนิดนี้คือ ยางจะถูกป้อนเข้าในช่องระหว่างใบมีดที่ติดอยู่กับที่ กับใบมีด

ที่หมุนตามแกนหมุนของโรเตอร์ ซึ่งการหมุนของใบมีดจะตัดย่อยอย่างเป็นชิ้นเล็กๆ ชิ้นยางที่ถูกตัดซึ่งมีขนาดเล็กพอลอดรูตะแกรงที่อยู่ใต้ที่ตัดยางได้ก็จะผ่านออกไป ส่วนชิ้นยางที่มีขนาดใหญ่กว่ารูตะแกรงก็จะถูกหมุนกลับไปถูกตัดใหม่ จะเป็นเช่นนี้จนกว่ายางที่ป้อนเข้าเครื่องทั้งหมดถูกตัดจนมีขนาดผ่านรูตะแกรงได้ออกมาหมด

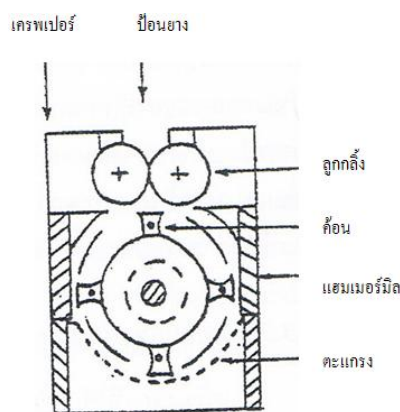
เครื่องจักรชนิดนี้ ใช้เพื่อกรรมวิธีขั้นแรก และ/หรือ เพื่อการทำให้ยางสะอาดในกรณีการใช้ยางแห้งและใช้สำหรับย่อยอย่างเป็นชิ้นเล็กๆ ในกรณีของการใช้น้ำยางหรือยางแห้งหากต้องการใช้เพื่อวัตถุประสงค์ให้ยางมีความสะอาด จำเป็นต้องปั้มน้ำปริมาณมากเข้าไปในห้องตัดยาง ทั้งนี้เพื่อช่วยขจัดสิ่งสกปรกออกจากยาง

แฮมเมอร์มิล (Hammer mill) [รูปที่ 2.7 ก] ลักษณะทั่วไปของเครื่องนี้คล้ายๆ กับเครื่องแกรนูลเตเตอร์ ต่างกันเพียงแต่ว่าแฮมเมอร์มิลมีชุดของค้อน (Hammer) แทนที่จะเป็นใบมีดหมุนอยู่ในห้องตัดยาง แฮมเมอร์มิลใช้สำหรับกรรมวิธีขั้นแรก/การทำความสะอาดยางในกรณีการใช้ยางแห้งและใช้สำหรับการย่อยยางลักษณะต่างๆ ให้เป็นชิ้นเล็กๆ เนื่องจากลักษณะการตัดยางโดยเครื่องแบบนี้เป็นการตัดโดยการตีหรือทุบยาง ดังนั้น ชิ้นยางที่ได้รับจึงมีลักษณะฉีกย่อย ซึ่งง่ายต่อการอบให้แห้งและยางมีความสะอาดดี

ในปัจจุบันนิยมใช้เครื่องเครพเปอร์ - แฮมเมอร์มิล [รูปที่ 2.10 ข] ซึ่งเป็นเครื่องที่ประกอบด้วยคู่ลูกกลิ้งของเครื่องเครพ ดัดอยู่เหนือแฮมเมอร์มิลโดยมีระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งกับแฮมเมอร์มิลเพียงเล็กน้อย ข้อดีของเครพเปอร์ - แฮมเมอร์มิล คือ ใช้กำลังงานต่ำ ทั้งนี้ เพราะยางที่ป้อนเข้าแฮมเมอร์มิลได้ผ่านการรีดโดยเครพที่ดัดอยู่เหนือแฮมเมอร์มิลแล้ว



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.7 (ก) แสดงภาพหน้าตัดขวางของเครื่องแฮมเมอร์มิล

ที่มา <http://www.feedmachinery.com>

(ข) แสดงภาพหน้าตัดขวางของเครื่องเครพเปอร์ - แฮมเมอร์มิล

ที่มา วราภรณ์ ขจรไชยกุล, ยางธรรมชาติ: การผลิตและการใช้งาน. 2549

เพเลไทเซอร์ (Pelletizer) หลักการทำงานของเครื่องคล้ายๆ กับการทำงานของเครื่องบดเนื้อ เครื่องชนิดนี้ใช้เพื่อการตัดหรือย่อยยางให้เป็นชิ้นเล็กๆ ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องมีใบมีดอยู่ที่หลังและหน้าของแผ่นเหล็กที่เจาะรู ชิ้นยางที่ถูกตัดออกมาจะมีขนาดสม่ำเสมอดี แต่การจัดสิ่งสกปรกจากยางจะไม่เกิดขึ้นโดยการใช้เครื่องแบบนี้

เชร็ดเดอร์ (Shredder) เครื่องเชร็ดเดอร์มีลักษณะคล้ายๆ กับเครื่องเครพ แต่ขณะทำงานมีแรงเสียดทานสูงกว่าเครื่องเครพ หลักการของเครื่องประกอบด้วยลูกกลิ้ง 2 ลูกสำหรับป้อนยางเข้าเครื่องและมีลูกกลิ้งสำหรับตัดยาง 1 ลูก ซึ่งลูกกลิ้งตัดยางจะหมุนอยู่บนแผ่นเหล็กที่ติดอยู่กับที่ [รูปที่ 2.8] ยางที่ผ่านเครพแล้วจะถูกป้อนผ่านลูกกลิ้งคู่แรกเข้าช่องระหว่างลูกกลิ้งกับแผ่นเหล็กที่ติดกับที่ ลูกกลิ้งจะบดขยี้ยางเป็นชิ้นย่อยๆ ซึ่งจะเหมาะสมในการอบยางเพื่อให้แห้ง ในการใช้เครื่องชนิดนี้เพื่อวัตถุประสงค์การย่อยยางให้เป็นชิ้นเล็กๆ นิยมใช้เพื่อย่อยยางที่จับตัวแข็งแล้วซึ่งได้ผลดีมาก



รูปที่ 2.8 แสดงภาพเครื่องเชร็ดเดอร์ (Shredder)

ที่มา <http://www.li-hoe.com>

• เตอบยาง (Driers)

การออกแบบสำหรับเตอบยางที่เป็นเม็ดเล็กๆ (Crumb rubber) จะออกแบบให้ มีอุณหภูมิสูงกว่าการอบยางแบบธรรมดา นั่นคือ

อบแห้งด้วยอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

ยางที่ตัดย่อยเป็นเม็ดเล็กๆ (เตอบ)	100 - 120
ยางแผ่นรมควัน (โรงรม)	50 - 60
ยางแผ่นผึ่งแห้ง (โรงอบแห้ง)	50 - 60
ยางเครพ (โรงผึ่งเครพ)	45

โดยปกติเมื่อด่างเปียกที่ผ่านกรรมวิธีผลิตยางแท่งมาแล้วจะถูกบรรจุอย่างหลวมๆ ลงในกระบะ [รูปที่ 2.8] นำเข้าเตาอบเพื่อเป่าลมร้อนไปที่กระบะยาง ลมร้อนจะถูกทำให้หมุนเวียนในเตาอบอย่างทั่วถึง โดยอาศัยระบบของพัดลม ส่วนความชื้นจากยางจะแยกออกโดยระบบการระบายตามแรงโน้มถ่วง (Gravitational drainage) ระบบซินเริซิส (Syneresis) การระเหย ตลอดจนการกระจายออก

เตาที่ใช้เพื่อการอบให้ยางแท่งแห้งนั้นมีด้วยกันหลายแบบ แต่อย่างไรก็ตามเตาแบบต่างๆ [รูปที่ 2.10] เหล่านี้มีหลักการเหมือนกัน นั่นคือ การใช้กระบะอบยางรูปทรงลึก ใช้ความร้อนหมุนเวียนประมาณ 100 - 120 องศาเซลเซียส ความแตกต่างของเตาอยู่ที่การออกแบบสร้างที่เหมาะสมกับสายการผลิต การป้อนยางเข้าเตา ชนิดและจำนวนของอุปกรณ์ที่จะให้ความร้อน พัดลมหมุนเวียนในเตา เป็นต้น จุดประสงค์สำคัญของการใช้เตาอบยาง คือ การอบให้ยางแห้งภายในเวลาอันสั้นและจะต้องมีราคาประหยัดโดยปราศจากการทำให้ผลกระทบต่อสมบัติของยางแท่ง



รูปที่ 2.9 แสดงภาพตัวอย่างกระบะบรรจุยาง
ที่มา <http://www.sisawad.com>



รูปที่ 2.10 แสดงภาพตัวอย่างเตาอบยางแท่ง
ที่มา <http://hitechengineeringworks.in>

- เครื่องอัดแท่งยาง

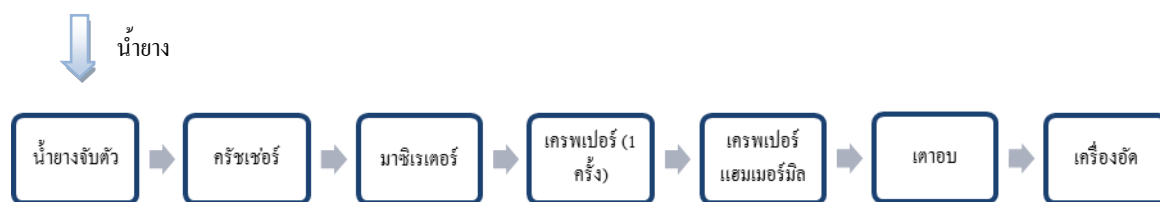
เครื่องอัดยางแท่ง (Baling press) ที่นิยมใช้เป็นแบบ Hydraulic press [รูปที่ 2.11] ใช้แรงอัดขนาด 30 - 70 ตัน และอัดนาน 1 - 4 นาที จุดมุ่งหมายของการใช้เครื่องอัดยางแท่งเพื่ออัดให้แท่งยางมีผิวเรียบสม่ำเสมอ เพื่อประโยชน์ในการขนย้ายได้สะดวกและเพื่อลดเนื้อที่บรรจุยางขณะทำการขนส่ง ขนาดของแท่งยางที่ถูกอัดแล้วประมาณ ขนาด $670 \times 330 \times 170$ มิลลิเมตร หรือขนาดอื่นๆ ตามความต้องการของผู้ใช้

ในสายของการผลิตยางแท่งจากน้ำยาง จะวางลำดับเครื่องจักรต่างๆ แตกต่างจากสายการผลิตยางแท่งจากยางแห้ง รูปที่ 2.12 แสดงแบบอย่างของการวางเครื่องจักรผลิตยางแท่งจากน้ำยางและจากยางแห้ง



รูปที่ 2.11 แสดงภาพเครื่อง Hydraulic balling press
ที่มา <http://hitechengineeringworks.in>

สายการผลิตยางแท่งจากน้ำยาง



สายการผลิตยางแท่งจากยางแห้ง : (ยางก้นถ้วย/เศษยาง ยางก้นถ้วยที่สะอาด)



รูปที่ 2.12 แสดงแผนผังลำดับการเรียงเครื่องจักรต่างๆ เพื่อผลิตยางแท่ง
ที่มา วราภรณ์ ขจรไชยกูล, ยางธรรมชาติ: การผลิตและการใช้งาน. 2549

4) การบรรจุหีบห่ออย่างแน่น

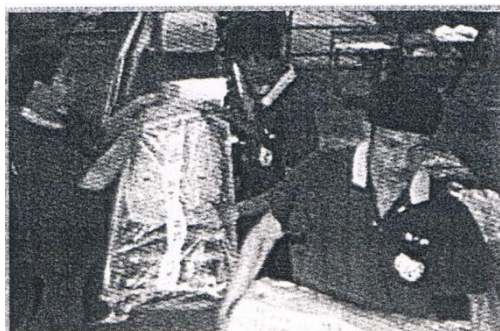
- พลาสติกพอลิเอทิลีน (Polyethylene film)

ชนิดความหนาแน่นต่ำ เป็นพลาสติกที่ใช้เพื่อการห่ออย่างแน่นแต่ละแห่ง [รูปที่ 2.13] และเพื่อวางคั่นระหว่างแต่ละชั้นของแท่งยางและยังใช้บุ (Inner lining) รอบๆ ภายในถังบรรจุแท่งยางพอลิเอทิลีนจะต้องมีความเหนียวแข็งแรงไม่ฉีกขาดง่ายและจะต้องกระจายห่อลมเข้าเป็นเนื้อเดียวกับยางได้ ณ อุณหภูมิของการบดผสมยางกับสารเคมีขณะเข้ากระบวนการทำผลิตภัณฑ์ยาง

พลาสติกที่ใช้ห่อแท่งยาง ใช้วางคั่นแต่ละชั้นของแท่งยางและใช้บุรอบๆ ภายในถังยาง จะหนาประมาณ 0.04 ± 0.01 มิลลิเมตร และมีสมบัติดังนี้

จุดหลอมตัว (ไม่เกิน)	109 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิที่สามารถกระจายผสมในยาง (ไม่เกิน)	110 องศาเซลเซียส

เมื่ออัดยางเป็นแท่งแล้ว ก่อนจะห่อแท่งยางจะต้องทำให้อุณหภูมิของแท่งยางต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส เสียก่อน จึงทำการห่อและเย็บถุงพลาสติกให้ติดกันเรียบร้อยด้วยเครื่องเย็บพลาสติกหรือหัวแรงบีดกรีดก็ได้



รูปที่ 2.13 แสดงภาพการห่ออย่างแน่น

ที่มา วราภรณ์ ขจรไชยกุล, ยางธรรมชาติ: การผลิตและการใช้งาน. 2549

- ถังบรรจุยางแท่ง

ถ้าใช้ถังไม้ ไม้ที่นำมาประกอบเป็นถังจะต้องเป็นไม้ใหม่ที่ผึ่งแห้งแล้วและปราศจากแมลงไขไม้และแมลงอื่นๆ ไม่มีเปลือกไม้และกะพี้ ตะปูที่ใช้ตอกถังต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่ต่ำกว่า 2.5 มิลลิเมตร และยาว 60 มิลลิเมตร ขนาดของถังไม้ที่ใช้บรรจุยางแท่งจะต้องมี

ความแข็งแรงสามารถรับน้ำหนักยาง 1 ตัน ซึ่งมีจำนวน 30 แท่ง แต่ละแท่งหนัก 33.33 กิโลกรัม หรือแท่งยางขนาดน้ำหนักอื่นๆ ตามที่ตกลงระหว่างผู้ผลิตกับผู้ซื้อ

ลึงบรรจุยางแท่งมีขนาดภายนอกดังนี้ $1,425 \times 1,100$ มิลลิเมตร (56×43 นิ้ว) สูงประมาณ 915 มิลลิเมตร (36 นิ้ว) หรือลึงที่ใช้วัสดุอื่นประกอบและมีขนาดอื่นๆ ที่ลูกค้าระบุ

● การบรรจุแท่งยางลงลึง

ในการบรรจุแท่งยางลงลึง [รูปที่ 2.14] ควรวางแท่งยางให้สามารถมองเห็นเครื่องหมายชั้นยางแท่งบนก้อนยางได้ แต่ละชั้นของแท่งยางที่บรรจุในลึงจะต้องคั่นด้วยพลาสติกพอลิเอทิลีนขนาดความหนา 0.04 ± 0.01 มิลลิเมตร และพลาสติกพอลิเอทิลีนนี้จะต้องคลุมมิดแท่งยางทั้งหมดของแต่ละชั้นและเหลือชายฝั่งลงไปประมาณ 150 มิลลิเมตร เมื่ออัดเรียงยางแท่งเต็มลึงแล้ว พลาสติกที่ใช้ห่อรอบลึงยางจะถูกพับคลุมยางทั้งหมดและมีชายพลาสติกเหลือพับได้ จากนั้นก็วางกระดาดแข็งบนยางแล้วปิดฝาหลังและตอกลึงยาง



รูปที่ 2.14 แสดงภาพการบรรจุแท่งยางลงลึง

ที่มา วราภรณ์ ขจรไชยกุล, ยางธรรมชาติ: การผลิตและการใช้งาน. 2549

● แถบเหล็กคาคหลังบรรจุยาง

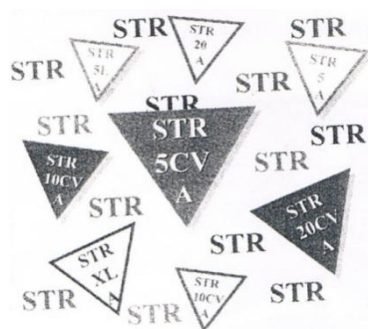
แถบเหล็กที่ใช้ควรมีขนาดไม่ต่ำกว่าขนาดดังต่อไปนี้

ความกว้าง	16	มิลลิเมตร (0.630 นิ้ว)
ความหนา	0.55	มิลลิเมตร (0.022 นิ้ว)
หรือมีความสามารถด้านแรงดึง	580	กิโลกรัม (1,300 ปอนด์)

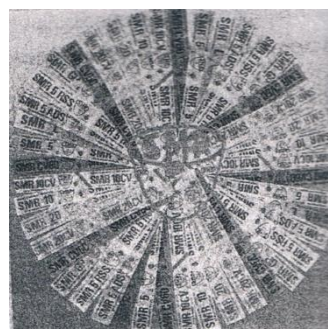
● การทำเครื่องหมาย

บนแท่งยาง โดยทั่วไปยางแท่งของประเทศต่างๆ จะมีการแสดงเครื่องหมายบนแท่งยางดังนี้

1. ผลิตภัณฑ์ของประเทศ.....
2. สัญลักษณ์ยางแท่ง เช่น ของประเทศไทยใช้สัญลักษณ์สามเหลี่ยมหัวกลับ ของประเทศมาเลเซียใช้สัญลักษณ์รูปถ้วยน้ำยาง [รูปที่ 2.15] เป็นต้น
3. ชั้นยาง เช่น STR 5 หรือ 20 เป็นต้น
4. อักษรรหัสประจำโรงงานผลิต (สำหรับประเทศไทย กรมวิชาการเกษตรจะเป็นผู้กำหนดให้)
5. น้ำหนักยางแท่ง.....กิโลกรัม (ระบุตามที่ผลิต)
6. ชื่อบริษัทผู้ผลิต



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.15 (ก) แสดงภาพสัญลักษณ์ยางแท่งไทย

(ข) แสดงภาพสัญลักษณ์ยางแท่งมาเลเซีย

ที่มา วราภรณ์ ขจรไชยกุล, ยางธรรมชาติ: การผลิตและการใช้งาน. 2549

ที่ล้างยาง การประทับตราเครื่องควรรจะพิมพ์หรือแกะตราประทับหรือทาสีบนลึงบรรจุยาง รายละเอียดที่แสดงบนลึงยางมีดังนี้

1. ผลิตภัณฑ์ของประเทศ.....
2. สัญลักษณ์ยางแท่ง
3. ชั้นยาง
4. แถบสีรหัสของชั้นยาง
5. อักษรรหัสประจำโรงงานผลิต
6. น้ำหนักสุทธิ 1,000 กิโลกรัม สำหรับยาง 1 ลึง หรือน้ำหนักอื่นๆ ตามที่ตกลงกันระหว่างผู้ผลิตและผู้บริโภค

7. น้ำหนักสุทธิ 33.33 กิโลกรัม สำหรับยาง 1 แท่ง หรือน้ำหนักอื่นๆ ตามที่ตกลงกัน
8. เลขที่ชุดของการผลิต
9. เลขที่ลังยางที่ผลิต
10. ชื่อสถานที่ปลายทาง
11. เครื่องหมายอื่นๆ เช่น เครื่องหมายบริษัทหรือตราการค้า

5) แมลงทำลายล้างไม้บรรจุยางแท่ง

เนื่องจากปรากฏว่าประเทศผู้ใช้อย่างแท่งบางประเทศ เช่น อเมริกา ออสเตรเลีย นิวซีแลนด์และจีน ได้พบปัญหาเกี่ยวกับลังไม้บรรจุยางแท่งมีแมลงเจาะเนื้อไม้ ดังนั้น ประเทศผู้ผลิตยางแท่งจึงต้องหาวิธีการกำจัดแมลงเหล่านั้น ซึ่งอาจอาศัยวิธีการพ่นหรือรมยาฆ่าแมลงกับไม้ที่ใช้ประกอบลังยาง แต่อย่างไรก็ตาม การพ่นหรือรมยาไม่สามารถจะป้องกันได้อย่างยาวนาน

แมลงที่พบทำลายลังยางส่วนใหญ่เป็นพวกมอดไซไม้และที่สำคัญมีอยู่ด้วยกัน 2 ตระกูล ดังนี้ คือ

Bostrychidae Family	:	Heterobatyrychus acquallis
		Sinoxylon Sp.
Lyctidae Family	:	Lychus Sp.
		Minthea nigicollis

สำหรับการป้องกัน กำจัดโดยใช้สารเคมีจะมีประสิทธิภาพ คือ ใช้ 1% Solution of insecticide Gamma Benzac Hexachloride (20% Emulsifiable concentrate) นำไม้ที่จะประกอบลังยางแช่ลงในน้ำยาประมาณ 2 ชั่วโมง และน้ำยาที่ใช้ต้องเตรียมทุกๆ 2 สัปดาห์ ไม้ที่ได้ผ่านกรรมวิธีกำจัดแมลงจะไม่มีการระบุน้ำที่ลังยาง ดังนี้

“Pallet Timber Treated with Approved Formula”

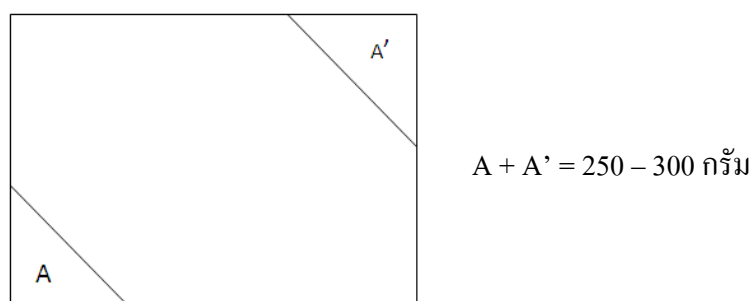
อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันได้มีการพัฒนาลังบรรจุยางแท่งโดยใช้วัสดุอื่นๆ ทดแทนการใช้ไม้ ซึ่งจะหลีกเลี่ยงปัญหาแมลงทำลายเนื้อไม้ที่ใช้ประกอบลังยางได้

6) การจำแนกชั้นยางแท่ง

การจำแนกชั้นยางแท่งเป็นการจำแนกชั้นโดยวิธีการทางเทคนิค ซึ่งมีวิธีการดังนี้คือ

- การเก็บรวบรวมตัวอย่าง

โดยปกติการผลิตยางแท่งจะจัดยางแท่งเป็นชุดๆ (Lot) โดยที่ชุดหนึ่งๆ มียางแท่งจำนวน 2, 5 หรือ 6 ตัน (60, 150 หรือ 180 แท่ง) การเก็บตัวอย่างยางแท่งให้ใช้วิธีสุ่มเก็บตัวอย่างชุดละ 10% ให้ตัดตัวอย่างจากมุมทแยงของแท่งยางมุมละ 1 ชิ้น [รูปที่ 2.16] แล้วนำ 2 ชิ้นมาปะกบกันให้ได้น้ำหนักตัวอย่างของ 2 ชิ้น ประมาณ 250 - 300 กรัม จัดทำฉลากบันทึกรายละเอียดของตัวอย่างยางแล้วบรรจุตัวอย่างยาง พร้อมฉลากดังกล่าวลงถุงปิดผนึกเพื่อกันความชื้น รวบรวมถุงตัวอย่างยางส่งให้ห้องทดสอบสมบัติยางแท่งเพื่อดำเนินการทดสอบ และจัดจำแนกชั้นยางต่อไป



รูปที่ 2.16 แสดงภาพการตัดตัวอย่างยางแท่งสำหรับการทดสอบ

ที่มา วราภรณ์ ขจรไชยกุล, ยางธรรมชาติ: การผลิตและการใช้งาน. 2549

- สมบัติมาตรฐานยางแท่ง

สมบัติมาตรฐานซึ่งระบุเป็นหลักไว้ในการทดสอบยางแท่งเพื่อการวิเคราะห์ผลและจำแนกชั้น คือ ปริมาณสิ่งสกปรก เถ้า ในโตรเจนและสิ่งระเหย (Dirt, Ash, Nitrogen, and Volatile matter contents) และค่าความอ่อนตัวเริ่มแรกกับดัชนีความอ่อนตัวของยาง (Initial plasticity retention; Po and plasticity retention index; PRI)

การระบุขีดจำกัดสมบัติยางแท่งของแต่ละประเทศส่วนใหญ่จะอิงการกำหนดขีดจำกัดตามมาตรฐานขององค์การมาตรฐานระหว่างประเทศ (ISO) ตารางที่ 2.2 แสดงรายการกำหนดขีดจำกัดสมบัติต่างๆ ของยางแท่งไทย

ตารางที่ 2.2 การระบุคุณภาพมาตรฐานของยางแท่ง STR

ที่มา วราภรณ์ ขจรไชยกูล, ยางธรรมชาติ: การผลิตและการใช้งาน. 2549

สมบัติ	ชั้นยาง							
	STR XL	STR 5L	STR 5	STR 5CV	STR 10	STR 10CV	STR 20	STR 20CV
ปริมาณสิ่งสกปรก, % ไม่เกิน	0.02	0.04	0.04	0.04	0.08	0.08	0.16	0.16
ปริมาณเถ้า, % ไม่เกิน	0.40	0.40	0.60	0.60	0.60	0.60	0.80	0.80
ปริมาณไนโตรเจน, % ไม่เกิน	0.50	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
ปริมาณสิ่งระเหย, % ไม่เกิน [#]	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
ค่าความอ่อนตัวเริ่มแรก (Po), ไม่ต่ำกว่า	35	35	30	-	30	-	30	-
ดัชนีความอ่อนตัวของยาง (PRI), ไม่ต่ำกว่า	60	60	60	60	50	50	40	40
สี วัดด้วยโลวิบอนด์สเกล ไม่เกิน	4.0	6.0	-	-	-	-	-	-
ความหนืด ML (1'+4'), 100 °C	-	-	-	##	-	##	-	##
รหัสชั้น ใช้สี	ฟ้า	เขียว อ่อน	เขียว อ่อน	ตัวอักษร ขาวบน พื้นเขียว อ่อน	น้ำตาล	ตัวอักษร ขาวบน พื้น น้ำตาล	แดง	ตัวอักษร ขาวบน พื้นแดง

เป็นขีดจำกัดสำหรับผู้ใช้ กรณีของผู้ผลิตต้องมีปริมาณสิ่งระเหย ไม่เกิน 0.50%

ขีดจำกัดของผู้ผลิต คือ : STR 5CV มีค่าความหนืด 70 (+7, -5), 60 (+7, -5) และ 50 (+7, -5)
 STR 10CV มีค่าความหนืด 60 (+7, -5)
 STR 20CV มีค่าความหนืด 65 (+7, -5)

7) ความสำคัญของสมบัติต่างๆ ที่กำหนดในมาตรฐานยางแท่ง

● สิ่งสกปรก

ส่วนใหญ่จะเป็นเศษวัสดุต่างๆ ได้แก่ ดิน ทราย กรวด ใบไม้ เปลือกไม้ เป็นต้น สิ่งสกปรกเหล่านี้มีผลต่อกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง ทำให้ต้องเพิ่มขั้นตอนการแยกเศษสิ่งสกปรกเหล่านี้ออก เช่น การนำยางไปผ่านเครื่องแยกผง เพราะมีฉะนั้นเศษผงดังกล่าวอาจมีผลทำให้ชิ้นงานเสีย ใช้งานไม่ได้ นอกจากนี้หากเศษผลติดไปกับชิ้นงานสำเร็จรูปแล้ว ก็จะมีผลต่อสมบัติ

ความแข็งแรงทนทานของผลิตภัณฑ์ยาง ความทนต่อการสึกหรอและความทนต่อการเกิดรอยแตก ลดลง เป็นต้น

อนึ่งสิ่งสกปรกที่เจือปนที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก คือ การเจือปนเศษยางคงรูปแล้ว (Vulcanized rubber) ที่อาจเจือปนโดยไม่ได้ตั้งใจหรือตั้งใจของผู้ผลิตก็ตาม เพราะยางดังกล่าวจัดว่าเป็น “ยางตาย” จะไม่สามารถบดผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกับยางปกติ การแยกออกก็ทำได้ยากและมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เป็นอย่างมาก ซึ่งหากผู้ผลิตยางแท่งรายใดผลิตยางแท่งที่มียางตายเจือปนก็จะมีความเสียหายจากการเรียกร้องของผู้ซื้อ

● พงเจ้า

ส่วนใหญ่จะเป็นสารที่เหลือจากการเผายางที่อุณหภูมิ 500 - 600 องศาเซลเซียส (ตามวิธีการทดสอบปริมาณพงเจ้า) ซึ่งได้แก่ สารตัวเติมต่างๆ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต ดินขาว เป็นต้น สารเหล่านี้มิได้มีอยู่ในยาง หากแต่อาจมีการเติมเพื่อเพิ่มน้ำหนักยาง ผลกระทบของสารเหล่านี้ต่อสมบัติของยาง คือ ทำให้สมบัติของวัสดุสำเร็จรูปยางมีสมบัติความแข็งแรงลดลง เช่นเดียวกับกรณีของผลกระทบอันเนื่องมาสิ่งสกปรก

● สิ่งระเหย

สารต่างๆ ที่ระเหยได้ที่ตรวจพบในยางส่วนใหญ่ คือ น้ำ การกำหนดขีดจำกัดของสิ่งระเหย เพื่อต้องการให้ผู้ผลิตยางแท่งอบยางให้แห้ง มิฉะนั้นจะเท่ากับขายยางในน้ำหนักที่มีน้ำอยู่ส่วนหนึ่ง อย่างไรก็ตามในทางเทคนิค น้ำหรือความชื้นในยางจะมีผลต่อกระบวนการบดผสมยางกับสารต่างๆ เพื่อการเตรียมยางคอมพาวด์ (Compound rubber) ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ เพราะจะต้องใช้เวลาและอุณหภูมิบดผสมเพื่อให้ความชื้นออกเสียก่อน มิฉะนั้นแล้วสารต่างๆ ที่จะเติมผสมกับยางจะคลุกเคล้าเป็นเนื้อเดียวกับยางได้ยาก บางครั้งผู้ประกอบการทำผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องเติมสารช่วยดูดความชื้น ซึ่งนับเป็นความยุ่งยากมากของผู้ใช้ยาง

● ไนโตรเจน

การกำหนดปริมาณไนโตรเจน มีที่มาจากกรณีที่ในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นจะมีผลพลอยได้ คือ น้ำยางskim ซึ่งมีปริมาณของสารที่ไม่ใช่ยางส่วนใหญ่เป็นโปรตีนอยู่มาก หากผู้ผลิตนำน้ำยางskimหรือยางskimแห้งแล้วก็ตาม มาผสมผลิตเป็นยางแท่ง ปริมาณไนโตรเจนจากสารโปรตีนก็จะสูง ซึ่งปริมาณไนโตรเจนสูงจะมีผลกระทบต่อลักษณะของการคงรูปของยาง ทำให้ต้องเข้มงวดในการควบคุมระบบสารที่จะใช้ทำให้ยางคงรูป อนึ่งในทางเทคนิคแล้ว สารที่มีองค์ประกอบของไนโตรเจนเป็นตัวช่วยเร่งในการทำให้ยางคงรูป หากสามารถควบคุมปริมาณให้สม่ำเสมอและแน่นอนได้ก็จะให้ผลในเชิงบวกต่อกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ เพราะอาจลดปริมาณการใช้สารตัวเร่งในสูตรทำผลิตภัณฑ์ยางได้

- **ความอ่อนตัวเริ่มแรก (Po)**

เป็นค่าที่บ่งชี้ความนิ่ม - แข็งของยางซึ่งจะบ่งบอกว่ายางนั้นๆ จะบดยากหรือ ง่ายเพียงใด ถ้าค่าต่ำก็หมายความว่ายางนิ่ม การบดจะง่าย ใช้พลังงานและเวลาบดน้อย อย่างไรก็ตาม หากค่าต่ำมากเกินไป ยางก็จะนิ่มมากจนเหลว ผสมสารต่างๆ เพื่อให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันยาก ผู้ใช้ยางแต่ละรายจะมีความต้องการค่า Po ในระดับต่างๆ กันตามความเหมาะสมของเครื่องมือและสายการผลิต อนึ่ง โดยทางวิชาการแล้วหากยางมีค่า Po สูง แม้ว่าจะบดยากต้องใช้พลังงานและเวลามาก แต่ยางนั้นมีสถานะโมเลกุลที่ค่อนข้างจะไม่ได้รับการกระทบกระเทือนจากปัจจัยต่างๆ จึงให้สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่ายางที่มีค่า Po ต่ำ ดังนั้นผู้ใช้งานจำเป็นต้องพิจารณาความสมดุลระหว่างความยาก - ง่ายของกระบวนการผลิต (Processibility) กับคุณภาพของผลผลิตขั้นสุดท้าย

- **ดัชนีความอ่อนตัวของยาง (PRI)**

เป็นค่าที่ได้มาจากการหาเปอร์เซ็นต์ความอ่อนตัวของยางภายหลังการอบบ่มเร่งให้ยางเสื่อมสภาพ แล้วเปรียบเทียบกับค่าความอ่อนตัวเริ่มแรก (Po) ก่อนการเร่งให้เสื่อมสภาพ (ตามวิธีการทดสอบ PRI) ค่า PRI สูงแสดงว่ายางมีความเสถียรต่อการเสื่อมสภาพ ผู้ผลิตยางแท่งจึงจำเป็นต้องควบคุมการใช้วัตถุดิบที่จะนำมาผลิตยางแท่งโดยเฉพาะเกรด STR 20 จะต้องไม่ใช่สัดส่วนผสมของซียางที่ออกซิไดซ์มาแล้วมากเกินไป มิฉะนั้นจะได้ยางแท่งที่ตกขีดจำมาตรฐานของค่า PRI

- **สี**

เป็นสมบัติที่วัดจากการเทียบสีมาตรฐาน ให้ประโยชน์ในด้านการนำยางไปใช้งานขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ เน้นความสะอาด ต้องการแต่งเติมสีสันต่างๆ กรณีเรื่องของสียางจะทดสอบเฉพาะกับยางแท่งที่ผลิตจากน้ำยางสดโดยตรง ค่าสูงมีความหมายว่า สีคล้ำกว่าค่าต่ำ

- **ความหนืด**

ปกติจะวัดโดยเครื่อง Mooney Viscometer จึงมักเรียกกันว่าความหนืด Mooney เป็นค่าที่บ่งชี้หรือมีความหมายทำนองเดียวกับค่า Po เพียงแต่การใช้เครื่องมือทดสอบที่มีระบบการทำงานของเครื่องต่างกัน กล่าวคือ การทดสอบ Po โดยเครื่อง Wallace Plastimeter (ที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง) ใช้หลักการกดขึ้นทดสอบด้วยแรงและความร้อนของแท่นกดที่แน่นอน แล้ววัดความหนาของชิ้นทดสอบที่ถูกกด ส่วนเครื่อง Mooney Viscometer ใช้ระบบการหมุนของโรเตอร์เหนี่ยวนำงานทดสอบ แล้วหาแรงที่ยางต้านหมุนของโรเตอร์ของเครื่อง ดังนั้นค่า Po และค่า Mooney ของยางตัวอย่างจากยางแท่งก้อนเดียวกัน จึงไม่จำเป็นต้องมีค่าตัวเลขเหมือนกัน แต่แนวโน้มของค่าจะคล้อยตามไปในทางเดียวกัน คือ ถ้ายางแท่งก้อนหนึ่งมีค่า Po สูง ยางแท่งก้อนนั้นเมื่อวัดด้วยเครื่อง Mooney ก็จะมีค่า Mooney สูงเช่นกัน

2.3 ต้นธูปฤาษี

ต้นธูปฤาษี (ชื่อสามัญ Cat-tail, Elephant Grass, Lesser Reedmace, Narrow-leaved Cat-tail ชื่อวิทยาศาสตร์ *Typha angustifolia* L.)ถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปยุโรป และอเมริกา



รูปที่ 2.20 แสดงภาพต้นธูปฤาษี

ที่มา : <http://www.gotoknow.org/file/nuvall/view/345307?locale=en>

ลักษณะ ไม้ล้มลุกสองปี เหง้ากลมแทงหน่อขึ้นเป็นระยะสั้นๆ ใบเดี่ยวเรียงสลับระนาบเดียว รูปแถบยาวประมาณ 2 ม. แผ่นใบด้านบนโค้งเล็กน้อย ส่วนด้านล่างแบน ช่อดอกแบบช่อเชิงลด ดอกจำนวนมาก ติดกันแน่น สีน้ำตาลลักษณะคล้ายรูปดอกใหญ่ ก้านช่อดอกกลม แข็ง ดอกแยกเพศ แบ่งเป็นตอนเห็นได้ชัดกลุ่มดอกเพศผู้อยู่ปลายก้าน รูปทรงกระบอกกลุ่มดอกเพศเมียรูปทรงกระบอกเช่นกันแต่ใหญ่กว่ากลุ่มดอกเพศผู้ดอกแก่จะแตกเห็นเป็นขนขาวฟูผลเล็กมาก เมื่อแก่แตกตามยาว

ประโยชน์ ใบยาวและเหนียวนิยมใช้ทำเครื่องจักสาน เช่น เสื่อ ตะกร้า ไซ่มุงหลังคา และทำเชือกดอกแก่จัดมีขนปุยนุ่มมือลักษณะคล้ายปุยขนจึงนิยมใช้แทนขนอ่อนกินได้ทั้งสดและทำให้สุก ช่อดอกปิ้งกินได้แบ่งที่ได้จากลำต้นได้ดินและรากใช้บริโภคได้เช่นกันในอินเดียเคยใช้ก้านช่อดอกทำปากกาและเชื่อว่าลำต้นได้ดินและรากใช้เป็นยาบำบัดโรคบางชนิด เช่น ขับปัสสาวะ เยื่อ (pulp) ของต้นกกช้ำนำมาใช้ทำใยเทียม (rayon) และกระดาษได้ มีเส้นใย (fibre) ถึงร้อยละ 40 เส้นใยนี้มีความชื้นร้อยละ 8.9 เซลลูโลส (cellulose) ร้อยละ 63 เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ร้อยละ 8.7 ลิกนิน (lignin) ร้อยละ 9.6 ไข (wax) ร้อยละ 1.4 และเถ้า (ash) ร้อยละ 2 เส้นใยมีสีขาวหรือน้ำตาลอ่อนนำมาทอเป็นผ้าใช้แทนฝ้ายหรือขนสัตว์

2.4 พอลิเมอร์เชิงประกอบ (Polymer composite)

พอลิเมอร์เชิงประกอบเป็นวัสดุที่มีหลายเฟส (Multiphase materials) ผลิตจากการผสมวัสดุที่เป็นองค์ประกอบ 2 ชนิดหรือมากกว่า โดยมีพอลิเมอร์ที่เรียกว่าเป็นเมทริกซ์ (Matrix) เป็นเฟสต่อเนื่อง (Continuous phase) ผสมกับวัสดุเสริมแรง (Reinforcing agent) เพื่อผลิตวัสดุที่มีสมบัติเชิงกลเด่นจากการผสมผสานสมบัติของวัสดุที่นำมาผสม เหตุผลในการผลิตพอลิเมอร์เชิงประกอบคือ ข้อจำกัดของการประยุกต์ใช้พอลิเมอร์ในทางวิศวกรรม เนื่องจากพอลิเมอร์ที่มีความแข็งแรงน้อยกว่าโลหะมาก กล่าวคือ มีค่าโมดูลัสต่ำกว่าประมาณ 100 เท่า และมีความแข็งแรงต่ำกว่าประมาณ 5 เท่า การผลิตวัสดุเชิงประกอบจึงเป็นการปรับปรุงสมบัติของวัสดุ เพื่อการใช้งานในทางวิศวกรรมเป็นหลัก โดยการผลิตวัสดุที่มีความแข็งแรงพอๆ กับโลหะหรือสูงกว่า ซึ่งมีการประยุกต์ใช้งานพอลิเมอร์เชิงประกอบในงานที่ต้องการความแข็งแรงสูงแต่ต้องการวัสดุที่มีน้ำหนักน้อย เช่น ในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องบิน รถยนต์ เรือเดินสมุทร อุตสาหกรรมการผลิตยานอวกาศ อาวุธ การก่อสร้างอาคารสูง การขนส่งและใช้ในการผลิตเครื่องมือที่ทนต่อการกัดกร่อนสูงเป็นต้น

การผลิตพอลิเมอร์เชิงประกอบในอุตสาหกรรมทำกันมานานแล้ว โดยพอลิเมอร์เชิงประกอบชนิดแรกผลิตจากการใช้เส้นใยเซลลูโลส (Cellulose fiber) เป็นตัวเสริมแรงเมทริกซ์ เรซินฟีนอลิกต่อมาได้พัฒนาผลิตจากเมทริกซ์ที่เป็นเทอร์โมเซตชนิดอื่นๆ คือ เรซินยูเรียฟอर्मัลดีไฮด์ และเมลามีนฟอर्मัลดีไฮด์ ในช่วงต่อได้ผลิตพอลิเมอร์เชิงประกอบที่รู้จักกันมากที่สุดจนถึงปัจจุบัน คือ ไฟเบอร์กลาส (Fiberglass®) ซึ่งเป็นเครื่องหมายการค้าของพอลิเมอร์เชิงประกอบที่ผลิตจากการใช้เส้นใยแก้วเสริมแรงเมทริกซ์ที่เป็นพอลิเอสเทอร์ที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated polyester; UPE) ในปัจจุบันมีการผลิตพอลิเมอร์เชิงประกอบ ที่ใช้สารเสริมแรงที่เป็นผงละเอียด (Particulate reinforcement) และสารเสริมแรงที่เป็นเส้นใย (Reinforcing fibers) พอลิเมอร์เชิงประกอบที่ผลิตจากการใช้เส้นใยชนิดต่างๆเป็นวัสดุเสริมแรง มีชื่อเรียกว่า พลาสติกเสริมแรงด้วยเส้นใย (Fiber-Reinforced Plastic; FRP) ซึ่งวัสดุชนิดนี้มีการประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมต่างๆ มากกว่าพอลิเมอร์เชิงประกอบประเภทแรกมาก

2.4.1 เมทริกซ์ (Matrix Materials)

พอลิเมอร์ที่ใช้เป็นเมทริกซ์ส่วนใหญ่เป็นเทอร์โมเซต ตัวที่ใช้กันมากที่สุดตัวหนึ่งคือ พอลิเอสเทอร์ที่อิ่มไม่ตัว (UPE) หรือมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเทอร์โมเซตพอลิเอสเทอร์ เนื่องจากพอลิเมอร์ชนิดนี้ ผลิตได้ง่าย ราคาถูก นิยมใช้ในการผลิตพอลิเมอร์เชิงประกอบที่ใช้เป็นเส้นใยเสริมแรง เพื่อใช้ในการผลิตถังเก็บน้ำและสารเคมีขนาดใหญ่ ท่อขนาดใหญ่ กระจุกของเรือ ทำที่นั่งในสนามกีฬา สถานีขนส่งและที่ป้ายรถเมล์ เป็นต้น เทอร์โมเซตอีกชนิดหนึ่งที่ใช้ในปริมาณสูงเช่นกัน คือ เรซินอีพอกซี ซึ่งจะผลิตวัสดุที่มีสมบัติเชิงกลดีกว่าเทอร์โมเซตชนิดแรก โดยเฉพาะ

ความเหนียว แต่มีราคาแพงกว่าวัสดุที่ผลิตจาก UPE สาเหตุที่นิยมใช้เทอร์โมเซตเป็นเมทริกซ์เนื่องจากเหตุผลดังต่อไปนี้

- เนื่องจากก่อนการเชื่อมโยงเมทริกซ์จะอยู่ในรูปของเหลวที่มีความหนืดต่ำ ทำให้สามารถเข้ากันได้ดีกับการเสริมแรง ก่อนที่จะนำไปอบเพื่อให้เรซินแข็งตัว
- ทำการผลิตชิ้นงานขนาดใหญ่ได้ง่าย
- สามารถผลิตวัสดุที่มีอุณหภูมิการอ่อนตัวสูง จากการลงทุนที่ไม่สูง

เมื่อไม่นานมานี้ได้มีการพัฒนาใช้เทอร์โมพลาสติกเป็นเมทริกซ์ ตัวอย่างของพลาสติกที่ใช้กันมาก คือ พลาสติกในกลุ่มกึ่งผลึก (Semi-crystalline polymers) เช่น PP และ ไนลอน เป็นต้น ข้อได้เปรียบของการใช้เทอร์โมพลาสติกเหนือเทอร์โมเซต คือ สามารถแปรรูปโดยเทคนิคการฉีด และการอัดรีดที่ใช้กันทั่วไปได้ ซึ่งทำให้ลดต้นทุนในการแปรรูป จะต้องพิจารณาถึงผลของการเสริมแรงที่ผสมเข้าไป เนื่องจากทำให้ความหนืดของพอลิเมอร์หลอมเพิ่มขึ้นและทำให้เครื่องแปรรูปสึกหรอได้ง่ายเนื่องจากความมีเหลี่ยมคมของสารเสริมแรงบางชนิด เช่น เส้นใยแก้วสั้น (Chopped strand glass fiber) และซิลิกา เป็นต้น ดังนั้นในบางกรณีจึงมีการออกแบบเครื่องมือสำหรับแปรรูปพอลิเมอร์ชนิดนี้โดยเฉพาะ

เทอร์โมพลาสติกชนิดอื่นๆที่นิยมนำมาใช้เป็นเมทริกซ์ เช่น พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน (Polyetheretherketone, PEEK) เป็นพอลิเมอร์ที่ทนต่อแรงกระแทกและทนต่อตัวทำละลายดีมาก นอกจากนี้ มีการใช้พอลิอิมิด (Polyimide, PI) ที่เป็นทั้งเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซต ในการผลิตวัสดุสำหรับอุตสาหกรรมยานอวกาศ เทอร์โมพลาสติก PI จะแปรรูปได้ง่ายและทนต่อความร้อนสูง ส่วนเทอร์โมเซต PI จะมีความเหนียวสูง พอลิซัลโฟน (Polysulfone, PSU) ก็เป็นเทอร์โมพลาสติกอีกชนิดหนึ่งก็นำมาใช้เป็นเมทริกซ์

2.4.2 วัสดุเสริมแรง (Reinforcements)

วัสดุเสริมแรงที่ใช้ในการผลิตพอลิเมอร์เชิงประกอบแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1) วัสดุเสริมแรงชนิดผงละเอียด (Particulate reinforcement) มักจะเป็นสารตัวเติมจากสินแร่ (เช่น ซิลิกาและแคลเซียมคาร์บอเนต เป็นต้น) ผงโลหะ แก้วเม็ดกลมและสารตัวเติมอินทรีย์ (เช่น ผงไม้และผงถ่าน เป็นต้น)

2) วัสดุเสริมแรงที่เป็นเส้นใย โดยเส้นใยที่ใช้เป็นวัสดุเสริมแรง เช่น เส้นใยแก้ว เส้นใยคาร์บอน เส้นใยอะรามิดและเส้นใยโลหะ เป็นต้น

2.4.3 การเพิ่มแรงดึงดูดระหว่างเมทริกซ์กับวัสดุเสริมแรง

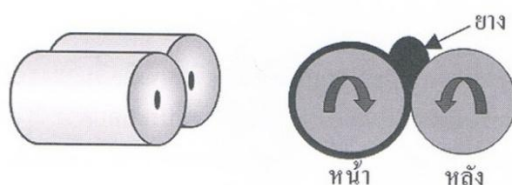
การใช้วัสดุเสริมแรงกับเมทริกซ์เพื่อผลิตพอลิเมอร์เชิงประกอบ เพื่อที่จะให้ได้วัสดุที่มีความแข็งแรงสูงสุด จึงมีความจำเป็นที่จะต้องเพิ่มแรงดึงดูด (Adhesion) ที่ผิวของเฟสทั้งสอง การใช้สารเสริมแรงอนินทรีย์บางประเภทที่มีหมู่ไฮดรอกซิลที่ผิว เช่น เส้นใยแก้ว ซิลิกา แก้วเม็ดกลม เป็นต้น ไม่สามารถเกิดพันธะเคมีหรือแรงดึงดูดกับพลาสติกโดยเฉพาะเทอร์โมพลาสติกส่วนใหญ่ได้ เนื่องจากการมีธรรมชาติทางเคมีที่ต่างกัน นอกจากนี้สารประเภทนี้มักจะดูดความชื้นและทำให้เกิดการสะสมน้ำที่ผิวประจัญ ส่งผลให้สูญเสียสมบัติอย่างแรงภายใต้สภาวะที่มีความชื้น ด้วยเหตุนี้จึงนิยมใช้สารเคมีอีกกลุ่มหนึ่ง ที่มีชื่อเรียกว่าสารเชื่อมประสาน (Coupling agents) เคลือบสารเสริมแรงที่เป็นทั้งชนิดผงละเอียดและเส้นใย ก่อนที่จะทำการผสมกับเมทริกซ์พอลิเมอร์ สารเชื่อมประสานที่ใช้กันมากที่สุดมี 2 ชนิด คือ สารประกอบของซิลเลน (Silane) และไททานเทท (Titanate) ซึ่งมีความสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยากับทั้งผิวของพอลิเมอร์และสารเสริมแรง

2.4.4 พลาสติกเสริมแรงด้วยเส้นใย (Fiber-Reinforced Plastic, FRP)

เส้นใยที่มีการใช้มากที่สุดได้แก่ เส้นใยแก้ว ซึ่งผลิตพอลิเมอร์เชิงประกอบที่เรียกว่าพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว (Glass reinforces plastics; GRP) เส้นใยที่นำมาใช้จะต้องมีการจัดเตรียมโครงสร้างให้มีลักษณะเหมาะสม เพื่อให้ได้วัสดุที่มีความแข็งแรงเหมาะกับการประยุกต์ใช้งานมากที่สุด เรียกโครงสร้างเหล่านี้ว่าเป็นไฟร์ฟอร์ม (Fiber preform) ซึ่งมีการจัดเตรียมเป็นรูปทรงทั้งสองมิติและสามมิติ

2.5 เครื่องบดผสมระบบเปิด แบบ 2 ลูกกลิ้ง (Two-roll mill)

การผสมขงมีจุดประสงค์สำคัญก็เพื่อให้องค์ประกอบต่างๆ โดยเฉพาะสารตัวเติมแตกตัวได้ดี (Dispersive mixing) และกระจายตัวได้อย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งเนื้อยาง (Distributive mixing) เครื่องผสมยางที่นิยมใช้กันมากในอดีต คือ เครื่องบดผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง ซึ่งมีลักษณะการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2.21

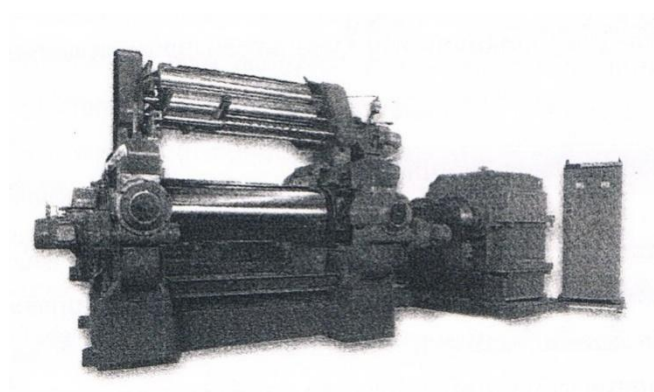


รูปที่ 2.21 แสดงลักษณะการทำงานของเครื่องบดผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง

ทีมา พงษ์ธร แซ่ฮูย และ ชาคริต สิริสิงห, ยาง: กระบวนการผลิตและการทดสอบ. 2550

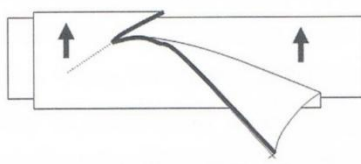
จากรูปจะเห็นว่าลูกกลิ้ง 2 ลูกจะหมุนเข้าหากัน แต่อัตราเร็วของการหมุนของลูกกลิ้งแต่ละลูกจะแตกต่างกัน กล่าวคือ ลูกกลิ้งด้านหน้า (ด้านที่ติดกับผู้ปฏิบัติงาน) จะหมุนด้วยอัตราเร็วที่ต่ำกว่าลูกกลิ้งด้านหลังประมาณ 1.05 ถึง 1.20 เท่า ซึ่งอัตราส่วนของความเร็วของลูกกลิ้งนี้ (1: 1.05 หรือ 1: 1.20) เรียกว่า “Friction ratio” การที่ลูกกลิ้ง 2 ลูกหมุนด้วยอัตราเร็วที่ต่างกันจะทำให้เกิดแรงเสียดทานในบริเวณช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งทั้งสอง นอกจากนี้ ภายในบริเวณด้านในของลูกกลิ้งแต่ละลูกจะมีการเจาะรูให้เป็นช่องหรือโพรงสำหรับให้ของเหลว เช่น น้ำหรือน้ำมัน ไหลผ่านเพื่อให้ความร้อนหรือระบายความร้อนที่เกิดขึ้นจากการขัดสี (Frictional heat)

การผสมยางจะเริ่มต้นจากการนำยางไปรีดผ่านลูกกลิ้งหลายๆ รอบ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นตรงช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง (Gap) จะทำให้โมเลกุลของยางถูกตัดขาด ส่งผลให้ความหนืดของยางลดลงจนสามารถหุ้มติดกับลูกกลิ้งด้านหน้าได้ จากนั้นก็เริ่มทำการปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งทั้งสองเพื่อให้มียางบางส่วนเหลืออยู่ที่บริเวณเหนือช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง เรียกยางส่วนนี้ว่า “ยางแบงก์ (Bank)” โดยปกติแล้วในระหว่างที่ทำการผสม ยางแบงก์จะหมุนเวียนผ่านเข้าไปในช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งอยู่ตลอดเวลา องค์ประกอบต่างๆ ก็จะถูกเติมเข้าไปในยาง ณ บริเวณนี้ โดยเริ่มจากสารเคมีต่างๆ ที่เป็นผงรวมถึงสารตัวเติมด้วย ส่วนน้ำมันและสารทำให้นิ่มก็จะถูกเติมหลังจากที่สารตัวเติมบางส่วนได้ถูกเติมเข้าไปในยางเรียบร้อยแล้ว หลังจากที่ได้เติมสารเคมีแต่ละชนิดลงไปในยาง ผู้ผสมต้องทำการกรีดยางด้วยมีดตัดยาง (Mill knife) ซึ่งยางจะอยู่เป็นแถบบนผิวด้านหน้าของลูกกลิ้งแล้วทำการสลับไขว้เพื่อให้สารเคมีที่เป็นองค์ประกอบต่างๆ กระจายตัวในยางได้อย่างสม่ำเสมอ [รูปที่ 2.23] และเมื่อสิ้นสุดการผสมก็ทำการรีดยางคอมพาวด์ให้เป็นแผ่น จากนั้นก็ทำให้ยางเย็นลงสู่อุณหภูมิห้องก่อนที่จะนำไปขึ้นรูปต่อไป



รูปที่ 2.22 แสดงภาพตัวอย่างเครื่องบดผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง (Two-roll mill)

ทีมา พงษ์ธร แซ่ฮุย และ ชาคริต ลีริสิงห์, ยาง: กระบวนการผลิตและการทดสอบ. 2550



รูปที่ 2.23 แสดงภาพการกรีดยางและสลับไขว้เพื่อให้สารเคมีกระจายตัวได้ดียิ่งขึ้น
 ที่มา พงษ์ธร แซ่อูย และ ชาคริต สิริสิงห, ยาง: กระบวนการผลิตและการทดสอบ. 2550

จุดเด่นหลักของเครื่องบดผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง คือ แรงเฉือนที่เกิดขึ้นตรงช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งมีค่าค่อนข้างสูง (หากปรับช่องว่างของลูกกลิ้งให้แคบๆ) ทำให้องค์ประกอบต่างๆ ผสมเข้าไปในยางได้ดีและทำให้สารตัวเติมเกิดการแตกตัวที่ดี นอกจากนี้ เนื่องจากการผสมนั้นยางมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศสูงมาก ดังนั้นการระบายความร้อนจึงเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ยางยังคงมีความหนืดสูงในระหว่างการผสม อย่างไรก็ตาม เครื่องบดผสมแบบ 2 ลูกกลิ้งก็มีข้อเสียหลายประการ เช่น ใช้ระยะเวลาในการผสมค่อนข้างนาน ประสิทธิภาพการผสมขึ้นอยู่กับทักษะของผู้ปฏิบัติการ มีฝุ่นละอองและความสกปรกสูงและควบคุมความสม่ำเสมอทางคุณภาพของการผสมในแต่ละครั้งได้ยาก เป็นต้น ขนาดของเครื่องบดผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง มีขนาดต่างๆ ตารางที่ 2.3 แสดงตัวอย่างขนาดของเครื่องบดผสม ปริมาณยางที่จะบดได้และกำลังของเครื่อง

ตารางที่ 2.3 รายละเอียดบางประการของเครื่องบดแบบ 2 ลูกกลิ้ง
 ที่มา วราภรณ์ ขจรไชยกุล, ยางธรรมชาติ: การผลิตและการใช้งาน. 2549

ขนาดของลูกกลิ้ง* (นิ้ว)	ปริมาณยางที่บดได้*** (กิโลกรัม)	กำลังของเครื่องบด (แรงม้า)
6 × 13	0.5 - 2	7.5
8 × 16	1 - 2	10 - 15
10 × 20	2 - 4	15 - 20
12 × 24	5 - 10	30 - 40
14 × 30	10 - 15	40 - 55
16 × 42	15 - 25	70 - 75
18 × 48	20 - 35	75 - 100
22 × 60	30 - 60	125 - 150
24 × 72	60 - 100	150 - 200
26 × 84	70 - 120	150 - 200
28 × 84	80 - 140	200 - 250

เส้นผ่าศูนย์กลาง × ความยาว

ปริมาณ (โดยประมาณ) คิดเทียบจากยางคอมพาวด์ที่มี ถ.พ. 100

ด้วยเหตุนี้ ปัจจุบันจึงนิยมใช้เครื่องบดผสมแบบ 2 ลูกกลิ้งสำหรับรีดยางให้เป็นแผ่นหรือใช้สำหรับผสมสารเคมีกลุ่มที่ทำให้ยางคงรูปให้กระจายตัวเข้าไปในยางมาสเตอร์แบทช์ (Masterbatch)² มากกว่าที่จะใช้ในการผสมยางกับสารตัวเติมชนิดต่างๆ

2.6 การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบกดอัด (Compression Molding) [11]

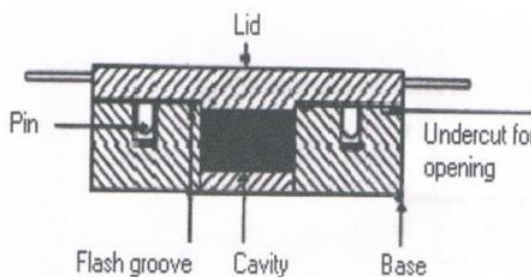
การใช้แม่พิมพ์ขึ้นรูปยาง เป็นการขึ้นรูปยางพร้อมๆ กับการคงรูป (Vulcanization) โดยอาศัยความร้อนและแรงอัด การขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์เป็นวิธีการที่ใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน ผลิตภัณฑ์ยางส่วนใหญ่ไม่ว่าจะเป็นยางโอริง ประเก็น ยางรองแท่นเครื่อง พื้นรองเท้า หรือแม้แต่ยางล้อรถยนต์ ก็ล้วนแล้วแต่ใช้วิธีการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ทั้งสิ้น การขึ้นรูปด้วยวิธีนี้จำเป็นต้องให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ก่อนที่จะนำยางไปใส่ลงในเบ้าพิมพ์เพราะความร้อนจากแม่พิมพ์จะทำให้ยางมีความหนืดต่ำลง ยางจึงไหลเต็มเบ้าพิมพ์ได้ง่ายยิ่งขึ้น และเมื่อยางไหลเต็มเบ้าพิมพ์แล้วความร้อนจากแม่พิมพ์ก็จะทำให้ยางเกิดปฏิกิริยาคงรูปต่อไป แม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปยางในโรงงานอุตสาหกรรมมีหลายแบบ ได้แก่ แม่พิมพ์แบบกดอัด (Compression mould) แม่พิมพ์แบบกึ่งฉีด (Transfer mould) และแม่พิมพ์แบบฉีด (Injection mould) เป็นต้น

การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบกดอัดเป็นวิธีการขึ้นรูปที่ใช้กันมากที่สุดในโรงงานอุตสาหกรรมเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบอื่นๆ เพราะเป็นวิธีที่ง่ายและไม่ต้องลงทุนด้านเครื่องจักรสูง เพราะทั้งเครื่องกดอัดและแม่พิมพ์มีราคาไม่สูงมากนัก เครื่องกดอัดที่นิยมใช้ ได้แก่ เครื่องกดอัดระบบแผ่น (บน - ล่าง) หรือในบางกรณีอาจมีมากกว่า 2 แผ่น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบเครื่องกดอัดให้เหมาะกับกระบวนการผลิต แผ่นกดอัดจะทำหน้าที่เลื่อนขึ้นลงด้วยระบบไฮดรอลิกเพื่ออัดและส่งผ่านแรงดันไปสู่แม่พิมพ์ที่อยู่ตรงกลางระหว่างแผ่นกดอัดทั้งสอง นอกจากเครื่องกดอัดจะต้องได้รับการออกแบบให้มีแรงอัดที่สูงเพียงพอสำหรับการใช้งานแล้ว ยังต้องได้รับการออกแบบให้มีระบบให้ความร้อนและควบคุมอุณหภูมิของแผ่นกดอัดให้คงที่ในระหว่างการใช้งานอีกด้วย โดยทั่วไป แหล่งให้ความร้อนแก่แผ่นกดอัด ได้แก่ ใช้น้ำ น้ำมันร้อนหรือไฟฟ้า เป็นต้น

แม่พิมพ์แบบกดอัด เป็นแม่พิมพ์แบบง่าย ราคาถูก ลักษณะโดยทั่วไปของแม่พิมพ์แบบกดอัดประกอบด้วยแม่พิมพ์ 2 ส่วน คือ แม่พิมพ์ส่วนบน (Lid) และแม่พิมพ์ส่วนล่าง (Base) ดังแสดงในรูปที่ 2.24 แม่พิมพ์ส่วนล่างจะมีช่องเป็นรูปร่างของผลิตภัณฑ์ เรียกว่า เบ้าพิมพ์ (Cavity) ซึ่งเวลาขึ้นรูปยางก็จะนำยางคอมพาวด์ใส่ลงในเบ้าพิมพ์นี้ จากนั้นจึงนำแม่พิมพ์ส่วนบนมาปิดทับด้านบน ตัว

² ยางมาสเตอร์แบทช์ในทางเทคโนโลยียาง หมายถึง ยางผสมที่ประกอบด้วยยางกับสารอื่น ซึ่งปกติมักเป็นสารหลักชนิดใดชนิดหนึ่ง เพื่อความสะดวก ความสะดวกหรือความแน่นอนของการชั่งน้ำหนักสาร

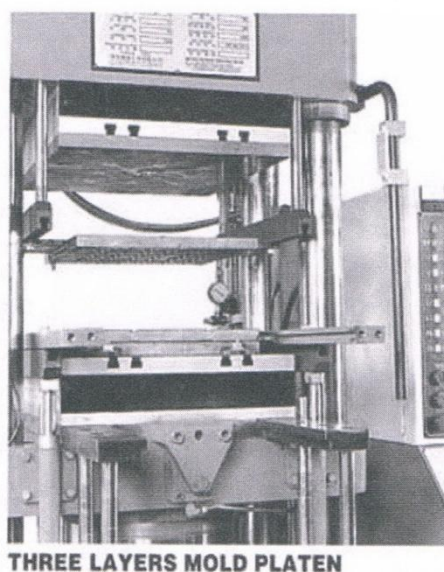
สลัก (Pin) ที่ติดอยู่กับที่แม่พิมพ์ส่วนบนจะช่วยเป็นไกด์นำทางเพื่อให้แม่พิมพ์ส่วนบนและส่วนล่างปิดทับกันได้อย่างแนบสนิทและช่วยล็อกไม่ให้แม่พิมพ์ส่วนบนเกิดการเคลื่อนตัวในแนวระนาบในขณะที่ได้รับแรงกดอัด หลังจากนั้นก็จะนำแม่พิมพ์ไปวางในเครื่องกดอัด เมื่อให้แรงดันแก่แม่พิมพ์ยางคอมพาวด์ก็จะถูกบังคับให้หลจนเต็มเบ้าของแม่พิมพ์และความร้อนจากแม่พิมพ์ก็จะทำให้ยางเกิดการคงรูป



รูปที่ 2.24 แสดงลักษณะพื้นฐานของแม่พิมพ์แบบกดอัด

ที่มา พงษ์ธร แซ่ฮุย และ ชาคริต สิริสิงห, ยาง: กระบวนการผลิตและการทดสอบ. 2550

ในการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบกดอัด ผู้ขึ้นรูปจำเป็นต้องเตรียมยางคอมพาวด์ให้มีปริมาณหรือขนาด (ในบางกรณีอาจรวมถึงรูปร่าง เช่น ยางล้อรถยนต์) ที่เหมาะสมเพื่อลดปริมาณของเสียที่อาจเกิดขึ้น โดยทั่วไป น้ำหนักยางคอมพาวด์ที่ใส่เข้าไปในเบ้าพิมพ์มักจะสูงกว่าน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ยางเล็กน้อย (ประมาณ 2 - 10%) ทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจว่ายางคอมพาวด์จะไหลได้เต็มเบ้าพิมพ์และทำให้การไล่อากาศออกจากแม่พิมพ์เกิดได้ดียิ่งขึ้น ก่อนที่จะนำยางคอมพาวด์ที่เตรียมได้ใส่ลงไปในเบ้าของแม่พิมพ์ ผู้ที่ทำการขึ้นรูปต้องให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์โดยการนำแม่พิมพ์ไปวางไว้ระหว่างแผ่นกดอัดที่มีการตั้งอุณหภูมิตามที่ต้องการ เมื่ออุณหภูมิของแม่พิมพ์เข้าสู่ภาวะสมดุล (มีอุณหภูมิเท่ากับแผ่นกดอัด) จึงเปิดแม่พิมพ์และนำยางคอมพาวด์ที่ใส่เข้าไปในเบ้าพิมพ์ หลังจากนั้นจึงนำแม่พิมพ์ส่วนบนมาปิดก่อนที่จะทำการกดอัดยาง เมื่อเครื่องกดอัดทำงาน แผ่นกดอัดอันบนก็จะเลื่อนลงมาอัดและส่งผ่านแรงอัดสู่แม่พิมพ์ แรงดันที่เกิดขึ้นจะบังคับให้ยางไหลเข้าไปเต็มเบ้าพิมพ์ ยางคอมพาวด์ส่วนที่เกินออกมาก็จะถูกบีบให้ออกมาทางช่องที่เตรียมไว้สำหรับไล่อากาศ (Venting hole) หรือบางครั้งก็ไหลออกมาตรงช่องรอยต่อระหว่างแม่พิมพ์ส่วนบนและส่วนล่าง เมื่อยางไหลเต็มเบ้าพิมพ์แล้ว ความร้อนจากแม่พิมพ์ก็จะทำให้ยางเกิดการคงรูปและเมื่อปฏิกิริยาการคงรูปเกิดขึ้นสมบูรณ์ ผู้ผลิตก็จะนำแม่พิมพ์ออกจากเครื่องกดอัด เปิดแม่พิมพ์ออกและนำยางคงรูปออกมา

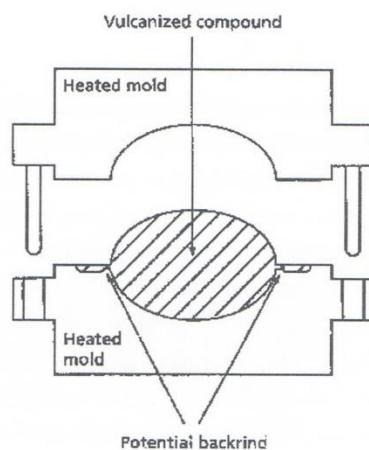


รูปที่ 2.25 แสดงภาพตัวอย่างของเครื่องขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบกดอัดแบบ 3 ชั้น
 ที่มา พงษ์ธร แซ่อูย และ ชาคริต สิริสิงห์, ยาง: กระบวนการผลิตและการทดสอบ. 2550

ปัจจุบัน โรงงานส่วนใหญ่มักนำแม่พิมพ์ส่วนบนยึดติดกับแผ่นกดอัดตัวบนและนำแม่พิมพ์ส่วนล่างยึดติดกับแผ่นกดอัดตัวล่าง [รูปที่ 2.25] ทั้งนี้เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในกระบวนการผลิต เพราะเมื่อแผ่นกดอัดตัวล่างเลื่อนขึ้น - ลง แม่พิมพ์ก็จะถูกปิด - เปิด โดยอัตโนมัติ ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตสูงขึ้น

อย่างไรก็ตาม การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบกดอัด มีข้อควรระวังคือ ในการกดอัดยางหากไล่อากาศออกไม่หมด ก็จะทำให้ยางคงรูปที่ได้มีฟองอากาศอยู่ภายใน ส่งผลให้สมบัติเชิงกลและประสิทธิภาพการใช้งานของผลิตภัณฑ์นั้นๆ ด้วยลง ด้วยเหตุนี้ ในระหว่างการอัดยางให้ไหลเต็มเบ้าพิมพ์ควรทำการเปิด - ปิดแม่พิมพ์ซ้ำประมาณ 3 - 4 ครั้งเพื่อไล่อากาศที่อยู่ภายในเบ้าพิมพ์ออกให้หมดก่อนที่จะทำการอัดจริง การไล่อากาศด้วยวิธีดังกล่าวมีชื่อเรียกทางเทคนิคว่า “Bumping” นอกจากนี้ ในบางครั้ง การขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบกดอัดอาจก่อให้เกิดปัญหาที่เรียกว่า “Backrind” กล่าวคือ เมื่อยางคอมพาวด์ไหลเข้าเต็มเบ้าพิมพ์และอุณหภูมิสูงเรื่อยๆ ยางก็จะเกิดการขยายตัวก่อให้เกิดแรงดันภายในขึ้น ซึ่งถ้าขณะนั้นยางที่อยู่บริเวณพื้นผิวเริ่มเกิดการคงรูปแล้ว และแรงดันภายในมีค่าสูงพอก็สามารถดันทะลุพื้นผิวยางและดันให้แม่พิมพ์เปิดออกเพื่อระบายแรงดันภายในที่เกิดขึ้นสู่บรรยากาศภายนอก การระบายแรงดันภายในนี้จะทำให้พื้นผิวของยางคงรูปในบริเวณที่เป็นรอยต่อของแม่พิมพ์เกิดรอยแตกหรือรอยฉีกขาด [รูปที่ 2.26] ปรากฏการณ์เช่นนี้พบได้บ่อยในการ

ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ เช่น ยางล้อรถยก (Forklift tire) หรือในผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาตรต่อพื้นที่ผิวสูง เป็นต้น



รูปที่ 2.26 แสดงภาพบริเวณที่มักจะเกิดปัญหา “Backring”

ที่มา พงษ์ธร แซ่ฮุย และ ชาคริต สิริสิงห, ยาง: กระบวนการผลิตและการทดสอบ. 2550

วิธีการพื้นฐานในการลดการเกิด Backring ได้แก่

- ทำการให้ความร้อนกับยางคอมพาวด์ก่อนที่จะใส่ยางลงในแม่พิมพ์ เพื่อลดการขยายตัวของยางขณะที่อยู่ในแม่พิมพ์
- ทำการเจาะแม่พิมพ์เพื่อให้มีช่องว่างสำหรับยางคอมพาวด์ที่ขยายตัวไหลออกมาได้อย่างอิสระ ซึ่งช่องว่างที่เจาะควรมีขนาดเหมาะสม ไม่ควรเจาะช่องว่างให้มีขนาดใหญ่เกินไป เพราะจะทำให้แรงดันภายในของยางในระหว่างการกดอัดมีค่าต่ำเกินไปไม่เพียงพอที่จะไล่อากาศออกจากแม่พิมพ์ได้หมดและตำแหน่งของการเจาะช่องก็ควรเลือกตำแหน่งที่มีความสำคัญน้อยที่สุดหรือเป็นตำแหน่งที่ไม่มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของผลิตภัณฑ์มากนัก
- การลดอุณหภูมิของการคงรูปจะช่วยให้การขยายตัวของยางลดลงและทำให้ยางมีระยะเวลาสกอร์ชที่ยาวขึ้น ก็จะช่วยลดปัญหา “Backring” ได้ แต่ระยะเวลาที่ให้ในการคงรูปก็จะยาวขึ้นด้วยเช่นกัน
- ปรับสูตรยางให้มีค่าระยะเวลาสกอร์ชที่ยาวขึ้น เพื่อให้มีเวลาเพียงพอสำหรับการระบายแรงดันภายในก่อนที่ยางบริเวณพื้นผิวจะเริ่มเกิดการคงรูป

2.7 การทดสอบสมบัติต่างๆ

2.7.1 การทดสอบลักษณะการคงรูปด้วยเครื่อง Moving Die Rheometer (MDR)

หลังจากการผสม ยางคอมพาวด์ที่ได้ควรได้รับการตรวจสอบคุณภาพหรือทดสอบสมบัติก่อนการนำไปผ่านกระบวนการขึ้นรูปต่างๆ ต่อไป เพราะการตรวจสอบสมบัติของยางคอมพาวด์จะช่วยให้ผู้ผลิตรู้ว่าเกิดความผิดพลาดขึ้นในระหว่างการผสมหรือไม่ ส่วนใหญ่แล้วยางคอมพาวด์ทุกแบบที่ผสมได้ควรได้รับการทดสอบเพื่อดูว่าเกิดความแปรปรวนในระหว่างแต่ละแบบมากน้อยเพียงใด (เพราะในการผสมแต่ละครั้งอาจมีสาเหตุที่ทำให้เกิดความแปรปรวนได้มากมาย) อย่างไรก็ตาม ในกรณีของการผสมยางมาสเตอร์แบชที่มีองค์ประกอบเพียงไม่กี่ชนิด (ไม่มีการเติมสารทำให้ยางคงรูป) หรือในกรณีที่ความสม่ำเสมอทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์นั้นๆ ไม่มีความสำคัญมากนัก ผู้ทดสอบก็อาจปรับลดระดับความถี่ของการทดสอบลงได้ ซึ่งในกรณีของยางคอมพาวด์ที่มีการเติมสารทำให้ยางคงรูปลงไปด้วย ภายหลังการผสมทุกครั้ง ผู้ผลิตควรศึกษาลักษณะของการคงรูปของยางคอมพาวด์โดยใช้เครื่องทดสอบการคงรูป เช่น เครื่อง Oscillation Disc Rheometer (ODR) หรืออาจใช้เครื่องรุ่นใหม่ที่เรียกว่า Moving Die Rheometer (MDR) เพราะกราฟที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องเหล่านี้จะช่วยบอกได้ว่าเกิดความผิดพลาดขึ้นในระหว่างที่ทำการผสมสารทำให้ยางคงรูปลงไปหรือไม่

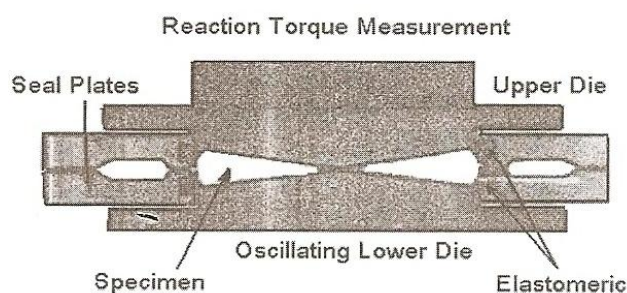


รูปที่ 2.27 แสดงภาพเครื่อง Moving Die Rheometer (MDR)

ทีมา พงษ์ธร แซ่อูย และ ชาคริต สิริสิงห, ยาง: กระบวนการผลิตและการทดสอบ. 2550

เครื่อง MDR มีหลักการทำงานและวิธีการทดสอบเหมือนกับเครื่อง ODR ยกเว้นแต่เครื่อง MDR จะไม่มีโรเตอร์ (มีเพียงคายนบนและคายนล่าง) เมื่อเริ่มการทดสอบ คายนล่างจะแกว่งไป - มาเป็นมุมแคบๆ (ส่วนใหญ่จะเท่ากับ 0.5° หรือ 1° ซึ่งต่ำกว่าเครื่อง ODR) ด้วยความถี่ 1.67 Hz จากนั้นเครื่องก็จะเริ่มบันทึกค่าแรงบิดที่เปลี่ยนไปตามเวลา ผลการทดสอบที่ได้จึงมีลักษณะ

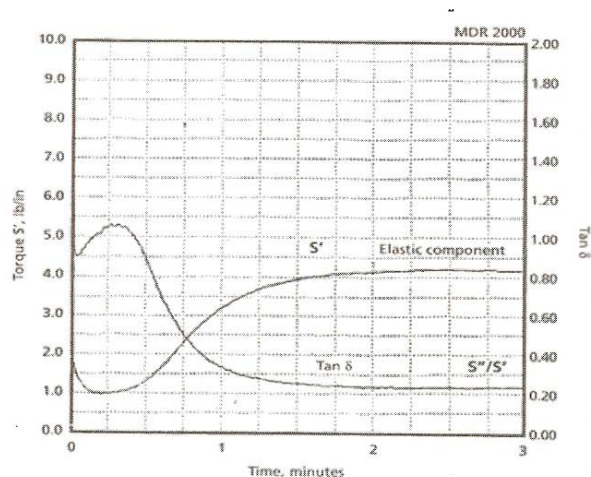
เช่นเดียวกับผลการทดสอบที่ได้จากเครื่อง ODR แต่ค่าระยะเวลาสกอร์ชที่วัดได้จากเครื่อง MDR คือ ระยะเวลาที่ทำให้ค่าแรงบิดสูงกว่าจุดต่ำสุด 1 เดซินิวตัน - เมตร โดยไม่ต้องขึ้นอยู่กับมุมแกว่งของเครื่อง



รูปที่ 2.28 แสดงลักษณะของเครื่อง MDR

ที่มา พงษ์ธร แซ่อูย และ ชาคริต สิริสิงห, ยาง: กระบวนการผลิตและการทดสอบ. 2550

เครื่องมือวัด MDR มีข้อดีที่เหนือกว่าเครื่อง ODR คือ มีแรงเสียดทานต่ำกว่า การถ่ายเทความร้อนจากโลหะ (ดาบ) สู่อากาศสามารถเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วเพราะชิ้นงานทดสอบมีขนาดเล็กกว่า (ใช้ตัวอย่างยางประมาณ 3 - 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร) อีกทั้งยังสามารถนำชิ้นงานทดสอบออกจากเครื่องได้ค่อนข้างง่ายหลังจากที่การทดสอบได้สิ้นสุดลง นอกจากนี้ เครื่อง MDR ยังสามารถแยกค่าแรงบิดที่วัดได้ออกเป็น 2 องค์ประกอบย่อย คือ องค์ประกอบส่วนที่เป็นของแข็งยืดหยุ่น (Elastic component; S') และองค์ประกอบส่วนที่เป็นของเหลวหนืด (Viscous component; S'') ทั้งนี้ เครื่อง MDR สามารถพล็อตกราฟการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทั้ง 2 ตามเวลาได้อีกด้วย อย่างไรก็ตาม การทดสอบโดยทั่วไปจะนิยมแสดงผลการทดสอบในรูปของค่า S' และค่า $\tan \delta$ (ซึ่งมีค่าเท่ากับ S''/S') ดังแสดงในรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 แสดงตัวอย่างของกราฟที่ได้จากเครื่อง MDR

ทีมา พงษ์ธร แซ่อูย และ ชาคริต สิริสิงห, ยาง: กระบวนการผลิตและการทดสอบ. 2550

จากรูปจะเห็นว่าเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของค่า S' จะเพิ่มขึ้นในขณะที่ค่า $\tan \delta$ จะลดลง และค่าเหล่านี้จะเริ่มคงที่เมื่อการเปลี่ยนแปลงของค่า S' ได้ถึงค่าคงที่ มาตรฐานการทดสอบลักษณะการคงรูปของยางด้วยเครื่อง MDR ได้แสดงรายละเอียดไว้ใน ASTM D 5289 และ ISO 6502

2.7.2 การทดสอบวัดความแข็ง (Hardness testing)

ความแข็งเป็นสมบัติพื้นฐานที่สำคัญของยางซึ่งมักจะใช้ร่วมกับสมบัติแรงดึงในการกำหนดคุณภาพของยาง ความแข็งจะแตกต่างจากความแข็งเกร็ง (Stiffness) เพราะความแข็งเป็นการวัดความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเฉพาะที่บริเวณพื้นผิวเท่านั้น แต่ความแข็งเกร็งเป็นการวัดความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของยางก้อน หลักการพื้นฐานของการทดสอบของหัวกด (Indenter) ไปกดลงบนชิ้นทดสอบภายใต้สภาวะที่กำหนด ความลึกของการทะลุทะลวงของหัวกด (Depth of penetration) จะสะท้อนถึงค่าความแข็งของยางที่มีความแข็งสูงก็จะมีค่าความลึกของการทะลุทะลวงต่ำ

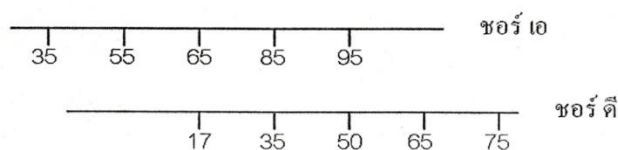


รูปที่ 2.30 แสดงภาพเครื่อง Durometer

เครื่องวัดความแข็งที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง มี 2 แบบ คือ เครื่องดูโรมิเตอร์ (Durometer) [รูปที่ 2.30] ซึ่งมีหลายแบบ เช่น แบบชอร์ เอ (Shore A) และชอร์ ดี (Shore D) และเครื่องวัดความแข็งในหน่วยของ IRHD (International Rubber Hardness Degree) เนื่องจากเครื่องดูโรมิเตอร์ ส่วนใหญ่ใช้แรงกดจากสปริงจึงมีความแม่นยำต่ำกว่าเครื่องวัดความแข็งในหน่วย IRHD ซึ่งใช้น้ำหนักที่คงที่เป็นตัวกดอย่างไรก็ตาม เครื่องดูโรเมอร์ก็ยังเป็นเครื่องนิยมนำมาใช้กันมากที่สุดในโรงงานอุตสาหกรรมเนื่องจากตัวเครื่องมีราคาค่อนข้างต่ำ

เครื่องดูโรมิเตอร์ แบบชอร์ เอ นิยมใช้วัดความแข็งสำหรับยางทั่วไปที่มีความแข็งต่ำกว่า 90 ชอร์ เอ แต่สำหรับยางที่มีความแข็งสูงกว่านี้ก็จะนิยมใช้เครื่องวัดแบบชอร์ ดี รูปที่ 2.30 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งระหว่างชอร์ เอ และชอร์ ดี อย่างไรก็ตาม ผู้ทดสอบควรตระหนักไว้เสมอว่าค่า 100 ชอร์ เอ เท่ากับค่า 100 ชอร์ ดี ดังนั้น สเกลจาก 95 - 100 ของชอร์ เอ จึงเทียบเท่ากับสเกลจาก 50 - 100 ของชอร์ ดี

ปัจจุบัน การวัดค่าความแข็งสามารถทำได้โดยใช้วิธีการตามมาตรฐานต่างๆ มากมาย ดังแสดงในตารางที่ 2.4 แม้ว่ามาตรฐาน ISO จะไม่ได้กำหนดวิธีวัดค่าความแข็งของยางด้วยเครื่องดูโรมิเตอร์แต่มาตรฐาน ISO 868 ที่ออกแบบสำหรับทดสอบทดสอบพลาสติกและยางแข็งอีโบนิต์ (Ebonite) ก็สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทดสอบสมบัติความแข็งของยางทั่วไปได้



รูปที่ 2.31 แสดงการเปรียบเทียบสเกลความแข็งของชอร์ เอ และ ชอร์ ดี

ทีมา พงษ์ธร แซ่ฮุย และ ชาคริต สิริสิงห, ยาง: กระบวนการผลิตและการทดสอบ. 2550

ตารางที่ 2.4 วิธีการมาตรฐานในการทดสอบสมบัติความแข็ง

ทีมา พงษ์ธร แซ่ฮุย และ ชาคริต สิริสิงห, ยาง: กระบวนการผลิตและการทดสอบ. 2550

มาตรฐาน ISO	การทดสอบ	มาตรฐานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง
868	Plastic and ebonite-Determination of indentation hardness by means of a Durometer (Shore hardness)	ASTM D 2240, BS 2719, DIN 53505
48	Vulcanized rubber-Determination of hardness (hardness between 10 and 100 IRHD)	ASTM D 1415, BS 903 Part A26, DIN 53519
7619-1	Rubbers, vulcanized of thermoplastic-Determination of indentation hardness Part 1: Durometer method (Shore hardness)	ASTM D 2240, BS 2719, DIN 53505

2.7.3 การทดสอบสมบัติการยืดดึง (Testing of tensile properties)

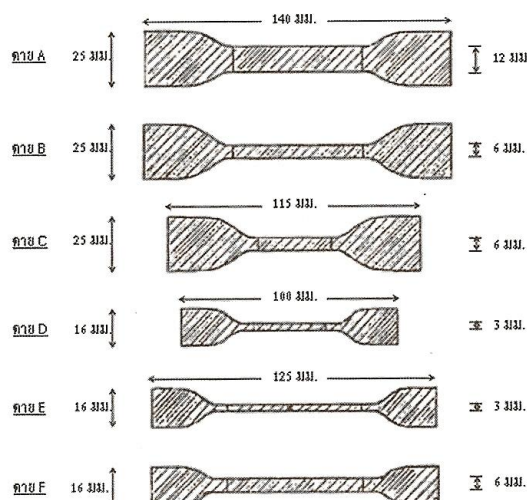
สมบัติแรงดึงที่นิยมใช้ในการควบคุมคุณภาพของยางได้แก่ ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) การยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) และโมดูลัส (Modulus) มาตรฐานที่ใช้ทดสอบสมบัติแรงดึงมีหลายแบบ ได้แก่ มาตรฐาน ASTM D 412 มาตรฐาน ISO 37 มาตรฐาน BS 903 Part A2 และมาตรฐาน DIN 53504

สมบัติแรงดึงของยางสามารถวัดได้โดยการดึงขึ้นทดสอบมาตรฐานจนขาดด้วยอัตราเร็วในการดึงคงที่ (มาตรฐาน ASTM D 412 ได้กำหนดอัตราเร็วในการดึงเท่ากับ 500 ± 50 มิลลิเมตร/นาที) เครื่องที่ใช้ทดสอบส่วนใหญ่จะเรียกว่าเครื่อง Universal testing machine หรือ Tensile testing machine [รูปที่ 2.32] ในระหว่างการดึง เครื่องจะทำการวัดและบันทึกค่าแรงดึงที่เปลี่ยนไปตามระยะการยืดตัวของยางแล้วนำแล้วนำค่าที่วัดได้ไปคำนวณและพล็อตเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด พร้อมทั้งคำนวณหาค่าความทนทานต่อแรงดึง การยืดตัว ณ จุดขาด และค่าโมดูลัสที่ความเครียดต่างๆ



รูปที่ 2.32 แสดงภาพเครื่อง Universal testing machine

โดยทั่วไป ชิ้นทดสอบที่จะนำทดสอบควรได้รับการคงรูปแล้วไม่น้อยกว่า 16 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าชิ้นทดสอบนั้นได้รับการคงรูปอย่างสมบูรณ์แล้ว แต่ไม่ควรเก็บชิ้นทดสอบไว้นานเกิน 28 วันหลังการคงรูป (ยกเว้นในกรณีเตรียมชิ้นทดสอบจากผลิตภัณฑ์) สำหรับรูปร่างของชิ้นทดสอบมาตรฐาน รูปดัมป์เบลล์ ดังแสดงในรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 แสดงรูปร่างของชิ้นงานทดสอบรูปดัมป์เบลล์แบบต่างๆ ตามมาตรฐาน ASTM D 412
ที่มา พงษ์ธร แซ่อูย และ ชาคริต สิริสิงห, ยาง: กระบวนการผลิตและการทดสอบ. 2550

ชิ้นงานทดสอบรูปดัมป์เบลล์ควรได้จากการขึ้นรูปด้วยการฉีดเข้าสู่วัสดุแม่พิมพ์หรือการตัดจากยางแผ่นเรียบที่มีความหนาในช่วง 1.3 ถึง 3.3 มิลลิเมตร โดยยางแผ่นเรียบนี้อาจได้มาจากการเตรียมโดยตรงจากการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์หรืออาจได้จากการนำผลิตภัณฑ์ยางมาตัดให้เป็นแผ่นและขัดผิวให้เรียบ ซึ่งในกรณีหลังนี้ ผู้ทดสอบต้องแน่ใจว่าชิ้นงานทดสอบที่เตรียมได้ต้องมีผิวที่

เรียบและไม่มีชั้นผ้าใบอยู่ภายใน หากทำการเตรียมยางแผ่นเรียบโดยใช้วิธีตามมาตรฐาน ASTM Practice D 3182 ชิ้นงานทดสอบควรมีความหนาอยู่ในช่วง 2 ± 0.2 มิลลิเมตร และในระหว่างทำการตัดชิ้นงานทดสอบด้วยค้ายรูปดัมป์เบลล์ ผู้ตัดควรตัดยางให้ขาดด้วยด้วยการกดค้ายเพียงครั้งเดียว (Single impact stroke) ทั้งนี้เพื่อให้พื้นที่ผิวที่เกิดจากการตัดเรียบปราศจากรอยตำหนิ (พื้นผิวที่ไม่เรียบหรือมีรอยขีดข่วนเพียงเล็กน้อยจะทำให้ความทนทานต่อแรงดึงที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง) นอกจากนี้ ผู้ตัดต้องแน่ใจว่าได้ทำการตัดชิ้นงานทดสอบตามแนวความยาวในทิศทางที่ขนานกับทิศทางที่ออกมาจากเครื่องรีดแบบ 2 ลูกกลิ้ง เพราะการตัดชิ้นงานทดสอบในแนวที่ตั้งฉากกับทิศทางที่ยางไหลออกมาจากลูกกลิ้งจะทำให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง ส่วนการวัดความหนาของชิ้นงานทดสอบนั้น มาตรฐาน ASTM D 412 ได้กำหนดให้ทำการวัดความหนา 3 จุด คือ ที่บริเวณกึ่งกลางและที่บริเวณปลายทั้งสองด้านของคอดัมป์เบลล์ จากนั้นก็นำค่ากลางไปใช้ในการคำนวณหาพื้นที่หน้าตัด อย่างไรก็ตาม ผู้ทดสอบไม่ควรนำชิ้นงานทดสอบที่มีความหนาค่าสุดและสูงสุดต่างกันเกิน 0.08 มิลลิเมตร มาใช้ในการทดสอบ

2.7.4 การทดสอบการดูดซับน้ำ (Water absorption) ตามมาตรฐาน ASTM D 570

ตัดชิ้นทดสอบเป็นแผ่นรูปสี่เหลี่ยมยาว 76 mm. กว้าง 25 mm. หนา 3 mm. นำไปแช่น้ำหนักของชิ้นงานก่อนการทดสอบแล้วนำชิ้นงานทดสอบแช่ลงในน้ำที่อุณหภูมิ 23 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วนำชิ้นงานที่ได้ไปชั่งหาน้ำหนัก คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การบวมตัว

คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ} = 100 \times \left[\frac{W_s - W_u}{W_u} \right]$$

เมื่อ W_s = น้ำหนักของตัวอย่างหลังแช่ในน้ำ
 W_u = น้ำหนักของตัวอย่างก่อนแช่ในน้ำ

บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

1. ยาง/สารเคมี

- 1) ยางแท่ง STR 20 จากบริษัท Thai Hua rubber public company limited
- 2) กำมะถัน
- 3) สารกระตุ้นปฏิกิริยา (Activators)
 - ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide)
 - กรดสเตียริก (Stearic acid)
- 4) สารเร่งปฏิกิริยา (Accelerators)
 - Dibenzothiazyl disulphide (MBTS)
 - Diphenyl guanidine (DPG)
- 5) สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Antidegradants)
 - Anti oxidants
- 6) สารตัวเติม คือ
 - เส้นใยรูปถั่ว

2. อุปกรณ์

- 1) เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์
- 2) เกียงทองเหลือง
- 3) แบบแม่พิมพ์ชิ้นงานทดสอบ
- 4) ถังมือฝ้ากันความร้อน
- 5) เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier Caliper) ของ Mitutoyo ความละเอียด 0.02 mm.
- 6) บีกเกอร์ขนาด 250 ml.

3. เครื่องมือ

- 1) เตาอบ (Hot Air Oven) ยี่ห้อ Memmert
- 2) เครื่องบดผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง (Two-roll mill) ของ บริษัท ไทยสุริยะ จำกัด
- 3) เครื่องวัดความชื้น ยี่ห้อ Mettler Toledo
- 4) เครื่องอัดไฮโดรลิก (Compression molding) ของ บริษัท ไทยสุริยะ จำกัด

5) เครื่องตัดชิ้นงานทดสอบสำหรับทดสอบแรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM D 412 ยี่ห้อ Ceast type 6051 ของ Ceast, Torino, Italy

6) เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal testing machine) ยี่ห้อ Hounsfield รุ่น TX 0121 Model: H50KS ของ Hounsfield Test Equipment,

7) เครื่องทดสอบความแข็ง Durometer Model: 473 ของ Pacific Transducer Corp., LA., CA., USA

8) เครื่องบ่มเร่งสภาวะแวดล้อม (Accelerated Weathering Tester, QUV) ยี่ห้อ The Q Panel Lab Products จำกัด

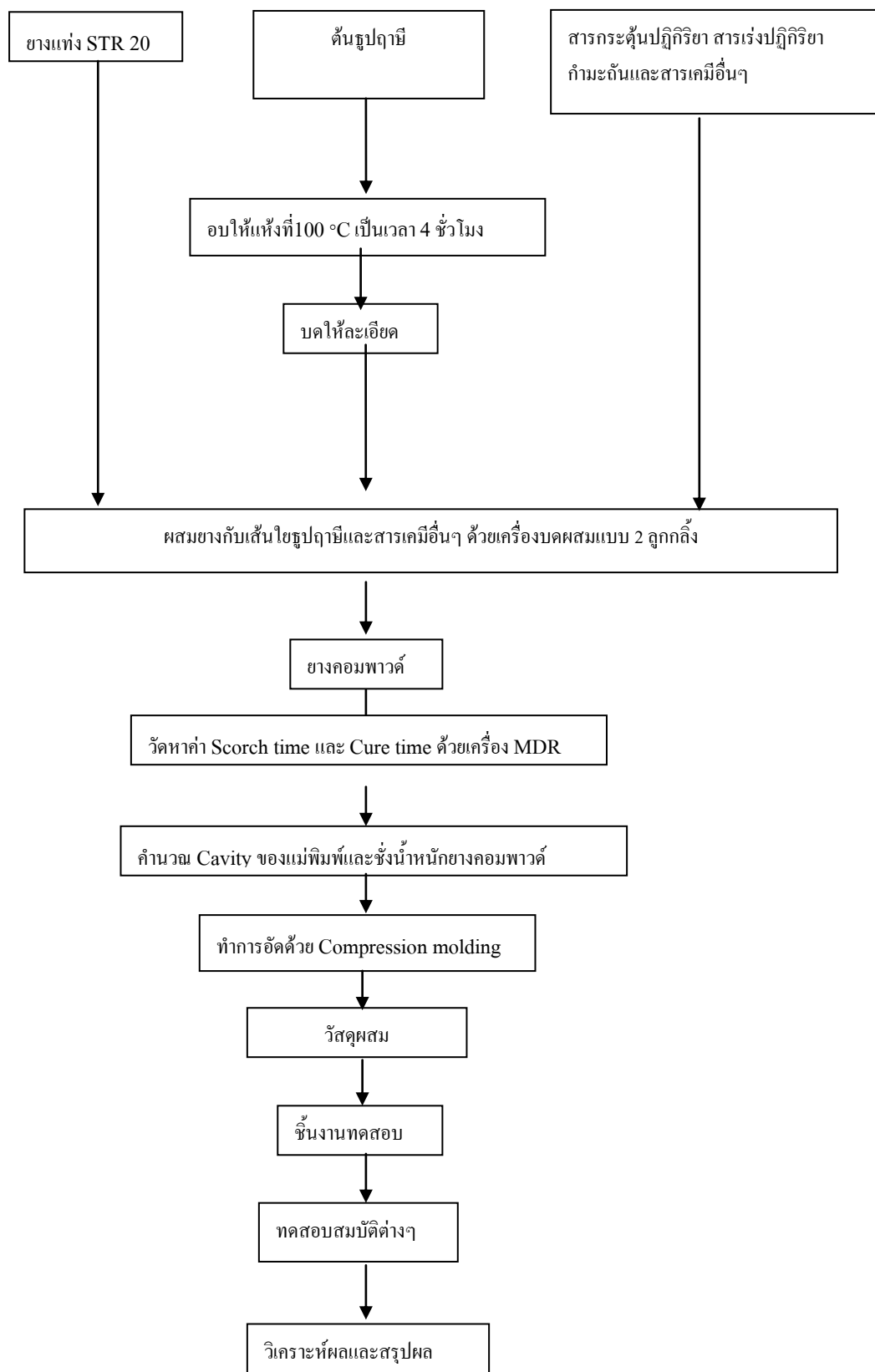
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. แผนการทดลองและการออกสูตรยาง

ตารางที่ 3.2 แสดงสูตรยางที่ใช้ในการทดลองของยางแท่ง STR 20 คงที่ผสมต้นรูปถ่าย

ยาง/สารเคมี	สูตรยาง (หน่วย : phr)						
	1	2	3	4	5	6	7
STR 20	100	100	100	100	100	100	100
ZnO	5	5	5	5	5	5	5
Stearic acid	1	1	1	1	1	1	1
Sulphur	5	5	5	5	5	5	5
MBTS	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
DPG	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Antioxidants	1	1	1	1	1	1	1
ต้นรูปถ่าย	0	10	20	30	40	50	60

2. แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน



3.3 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน

1. การเตรียมเส้นใยรูปถา

- 1) นำต้นรูปถาที่ผ่านการทาบแล้วมาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น
- 2) นำต้นรูปถาที่มัดและบดให้ละเอียด
- 3) จะได้เส้นใยรูปถาพร้อมที่จะนำไปผสมกับยางธรรมชาติ

2. การเตรียมยางคอมพาวด์

- 1) ชั่งยางแท่ง STR 20 เส้นใยต้นรูปถาสารเคมีอื่นๆ ตามสูตรยางคอมพาวด์ที่ได้ออกสูตรไว้แล้ว
- 2) นำยางแท่ง STR 20 บดด้วยเครื่องบดผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง จนยางนิ่ม
- 3) นำสารเคมีและสารตัวเติมใส่ในยางที่กำลังบดอยู่ในเครื่องบดผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง
- 4) บดตามเวลาที่กำหนด (15 นาที) จนได้ยางคอมพาวด์

3. การเตรียมวัสดุผสม

- 1) นำยางคอมพาวด์ที่ได้ไปหาค่า Scorch time และ Cure time ด้วยเครื่อง MDR
- 2) ทำการคำนวณปริมาตรของ Cavity
- 3) ชั่งยางคอมพาวด์ให้เกินกว่าปริมาตรของ Cavity ประมาณ 8 - 10 % เพื่อให้ยางคอมพาวด์ไหลเต็มแบบ
- 4) ทำการอุ่นเครื่อง Compression molding และใส่ค่าต่างๆ ที่ต้องมีการควบคุม
- 5) ทำการใส่ยางคอมพาวด์ที่ชั่งได้ลงในแม่พิมพ์
- 6) ทำการเดินเครื่องกดอัด
- 7) เมื่อกดอัดเสร็จเรียบร้อยแล้วนำออกจากแม่พิมพ์และตั้งทิ้งไว้เพื่อนำไปตัดเป็นชิ้นงานทดสอบ

3.4 การทดสอบสมบัติของวัสดุผสม

3.4.1 การหาเวลา Cure Time และ Scorch Time ด้วยเครื่อง Moving Die Rheometer (MDR): ASTM D 5289

1) วัสดุอุปกรณ์

- (1) Moving Die Rheometer (MDR)
- (2) ยางคอมปาวด์

2) วิธีการทดลอง

(1) นำยางคอมปาวด์มารีดให้มีความหนาประมาณ 5 มิลลิเมตร ตัวอย่างต้องมีปริมาตรที่เหมาะสมที่จะให้ยางไหลเข้าไปตลอดช่องว่างในห้อง ใส่ยางนั้น ถ้ามียางมากเกินไป จะทำให้ความร้อนของห้องอัดยางตกลงมากในช่วงระยะต้นๆ ของการทดลอง ตัวอย่างยางที่จะทดลองอบควรจะมีอุณหภูมิห้องก่อนที่จะใส่เข้าไปในเครื่อง

(2) ตั้งอุณหภูมิทดสอบที่ 150 °C ตั้งเวลาที่ทดสอบ 30 นาที มุมแกว่ง 1°

(3) เมื่อตั้งค่าข้อมูลที่ใช้ทดสอบแล้วตัดตัวอย่างชิ้นงานเข้าเครื่องทดสอบ

(4) กดปุ่ม Close ทั้งสองปุ่มพร้อมกันค้างไว้ รอเวลาให้ยางสุก (ตามเวลาที่ตั้งไว้ 30 นาที) เมื่อครบกำหนดเวลาแล้วเครื่องจะแสดงผลข้อมูลในรูปกราฟของการคงรูป

3.4.2 การทดสอบความแข็ง (Hardness) ตามมาตรฐาน ASTM D 2240

ASTM D 2240 โดยใช้เครื่อง Durometer ที่อุณหภูมิ (23 ±2) องศาเซลเซียสเครื่องวัดความแข็งของยางชนิด เอ (Type A) เป็นเครื่องวัดวิเคราะห์อีกชนิดหนึ่งที่ใช้เป็นตัวชี้บอค่าความแข็งทางด้านยางซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงเครื่องวัดความแข็งของยางชนิด เอ ที่ใช้เป็นมาตรฐานในปัจจุบันและได้รับการผลิตตามมาตรฐาน ASTM D 2240 ซึ่งในข้อกำหนดที่เป็นมาตรฐานสากลเครื่องวัดความแข็งรายละเอียด ชนิด Shore A มีดังนี้

ชนิด	การใช้วัสดุ	มาตรฐาน	แรงสปริง นิวตัน (กรัม) ความแข็ง 0-100	ขนาดของหัวกด (มม) ขนาด/ความสูง
A	สำหรับยางทั่วไป/ วัสดุที่มีความ ยืดหยุ่น	ASTM D 2240	0.550 – 8.050 N	ทรงรูปกรวยปลายตัดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.79 มม. ทำมุม 35 องศา/2.50 ± 0.04

การเตรียมชิ้นงาน

ชิ้นงานทดสอบมีความหนาอย่างน้อย 6 มิลลิเมตร

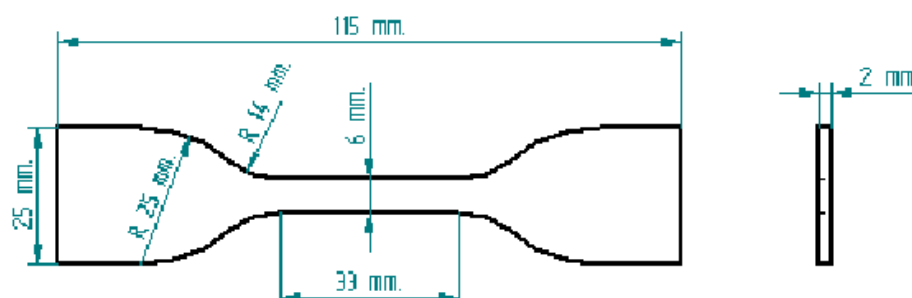
วิธีการทดสอบ

1. กดหัวกดลงบนชิ้นทดสอบด้วยความเร็วและต้องออกแรงกดให้มากพอที่จะทำให้ฐานของหัวกดแนบสนิทกับชิ้นทดสอบ
2. เมื่อฐานของหัวกดแนบสนิทกับชิ้นทดสอบ จึงอ่านค่าความแข็งภายใน 1 วินาที
3. ทำการวัดความแข็งอย่างน้อย 5 จุดบนชิ้นทดสอบและรายงานค่าเฉลี่ยที่วัดได้
4. สรุปผลการทดสอบ

3.4.3 การทดสอบสมบัติการยืดดึงตามมาตรฐาน ASTM D 412

สมบัติแรงดึงของยางสามารถวัดได้โดยการดึงชิ้นทดสอบมาตรฐานขนาดด้วยอัตราเร็วในการดึงคงที่ (มาตรฐาน ASTM D 412 ได้กำหนดอัตราเร็วในการดึงเท่ากับ 500 ± 50 มิลลิเมตร/นาที) เครื่องที่ใช้ทดสอบส่วนใหญ่จะเรียกว่าเครื่อง Universal testing machine หรือ Tensile testing machine [รูปที่ 2.32] ในระหว่างการดึง เครื่องจะทำการวัดและบันทึกค่าแรงดึงที่เปลี่ยนไปตามระยะการยืดตัวของยางแล้วนำแล้วนำค่าที่วัดได้ไปคำนวณและพล็อตเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด พร้อมทั้งคำนวณหาค่าความทนทานต่อแรงดึง การยืดตัว ณ จุดขาด และค่าโมดูลัสที่ความเครียดต่างๆ

โดยทั่วไป ชิ้นทดสอบที่จะนำทดสอบควรได้รับการคงรูปแล้วไม่น้อยกว่า 16 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าชิ้นทดสอบนั้นได้รับการคงรูปอย่างสมบูรณ์แล้ว แต่ไม่ควรเก็บชิ้นทดสอบไว้นานเกิน 28 วันหลังการคงรูป (ยกเว้นในกรณี que เตรียมชิ้นทดสอบจากผลิตภัณฑ์) สำหรับรูปร่างของชิ้นทดสอบมาตรฐาน รูปดัมป์เบลล์ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงรูปร่างชิ้นงานทดสอบดัมป์เบลล์ตามมาตรฐาน ASTM D 412 (Die C)

วิธีการทดสอบ

1. นำแผ่นยางที่ขึ้นรูปแล้วตัดเป็นชิ้นงานทดสอบ เพื่อทดสอบสมบัติการยืดดึง โดยตัดชิ้นงานทดสอบเป็นรูปคัมป์เบลล์ ตามมาตรฐาน ASTM D 412 ซึ่งใช้เครื่องตัดชิ้นงานทดสอบแบบ Die C ดังรูป 3.1 แล้ววัดความหนาของชิ้นตัวอย่างในช่วงกลางและปลายทั้ง 2 ข้าง ของคอดัมป์เบลล์ รวมทั้งวัดความกว้างในช่วงดังกล่าวด้วย
2. นำชิ้นงานทดสอบไปทดสอบความทนต่อแรงดึงด้วยเครื่อง Universal testing machine (UTM) โดยใช้ความเร็วในการดึงยึด 500 mm./min
3. บันทึกค่าความเค้นที่จุดขาด (Stress at break) หรือค่าความทนต่อแรงดึง (Tensile strength) และค่าการยืด ณ จุดขาด (Elongation at break)
4. สรุปผลการทดสอบ

3.4.4 การทดสอบการดูดซับน้ำ (Water absorption) ตามมาตรฐาน ASTM D 570

วิธีการทดสอบ

1. ตัดชิ้นทดสอบเป็นแผ่นรูปสี่เหลี่ยมยาว 76 mm. กว้าง 25 mm. หนา 3 mm.
2. ชั่งน้ำหนักของชิ้นทดสอบ
3. นำชิ้นงานทดสอบแช่ลงในน้ำที่อุณหภูมิ 23 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
4. นำชิ้นงานที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก
5. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การบวมตัว
6. สรุปผลการทดสอบ

คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ} = 100 \times \left[\frac{W_s - W_u}{W_u} \right]$$

เมื่อ W_s = น้ำหนักของตัวอย่างหลังแช่ในน้ำ
 W_u = น้ำหนักของตัวอย่างก่อนแช่ในน้ำ

3.4.5 การทดสอบหาเวลาในการคงรูปของยาง (Moving Die Rheometer , MDR) มาตรฐาน ASTM D5289

เครื่องหาอุณหภูมิและเวลาคงรูปของยาง เป็นเครื่องที่ใช้หาอุณหภูมิและเวลาที่ใช้สำหรับการทำให้ยางคงรูป (Vulcanize หรือ Cure) มีประโยชน์มากเพราะทำให้รู้ถึงเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์นั้นมีคุณภาพดี ใช้งานทนทานและเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด ยิ่งไปกว่านั้นการรู้ถึงเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์ยังก่อให้เกิดการประหยัดค่าใช้จ่ายลดความเสียหายและความสูญเสียของชิ้นงานให้มีน้อยที่สุดนอกจากนั้นเครื่องหาอุณหภูมิและเวลาคงรูปของยาง ยังช่วยให้โรงงานสามารถพัฒนาสูตรใหม่ๆ เพื่อพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ให้ดียิ่งขึ้นหรือพัฒนาให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ได้อีกด้วย

วิธีการทดสอบ

- นำยางที่ผสมเสร็จแล้วมาทดสอบด้วยเครื่อง Moving Die Rheometer ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เพื่อหาเวลาในการขึ้นรูป

3.4.6 การทดสอบการบ่มเร่งสภาวะแวดล้อมด้วยเครื่อง QUV (Accelerated Weathering Testing) ตามมาตรฐาน ASTM G 154

วิธีการทดสอบ

นำชิ้นงานที่เตรียมไว้เป็นรูปคัมเบลแบบเอวแคบ มาทำการบ่มเร่งสภาวะแวดล้อมด้วยเครื่อง QUV (Accelerated Weathering Testing) ตามมาตรฐาน ASTM G 154 Cycle 7 ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งสภาวะในการบ่มเร่งเริ่มต้นจากการฉายแสงยูวีเอ ความยาวคลื่นหลัก 340 นาโนเมตร ค่าความเข้มแสง 0.55 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นทำการให้ความชื้นแก่ชิ้นงานในสภาวะควบแน่นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 45 นาที และทำการสเปรย์น้ำบนผิวชิ้นงานเป็นเวลา 15 นาที และทำการเก็บชิ้นงานที่เวลา 168 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปทดสอบสมบัติทางกลต่างๆ ได้แก่ โดยการทดสอบความทนทานต่อแรงดึง



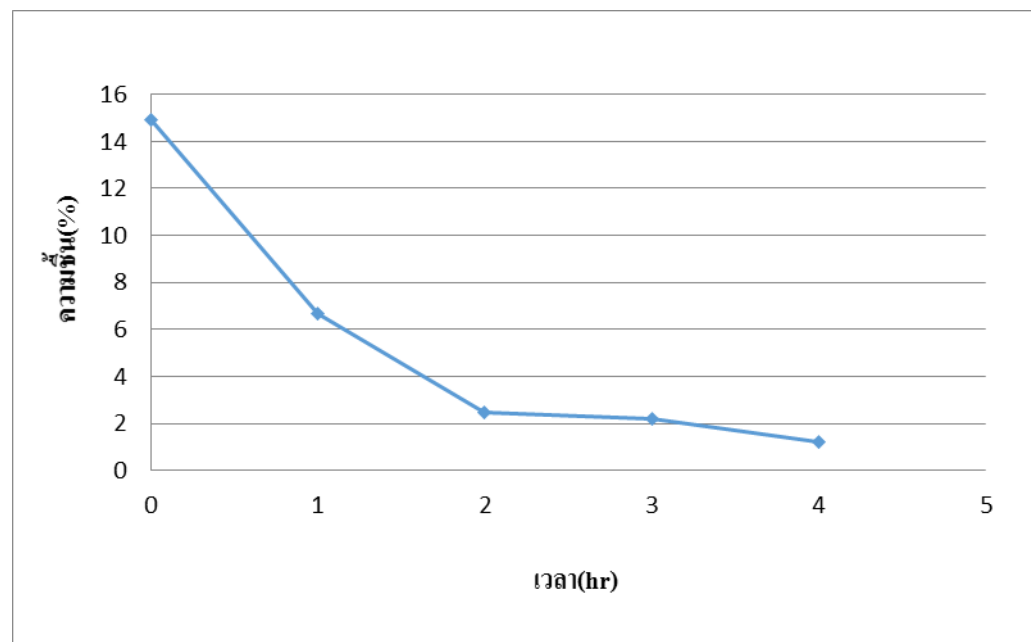
รูปที่ 3.2 เครื่องทดสอบการบ่มเร่งสภาวะแวดล้อม

บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 ผลการทดสอบความชื้นของเส้นใยรูปถาวยี่

4.1.1 ค่าความชื้นของเส้นใยรูปถาวยี่

จากการทดสอบค่าความชื้นของเส้นใยรูปถาวยี่มีช่วงเวลา 0,1,2,3,4 ชั่วโมงแสดงในรูปที่ 4.1



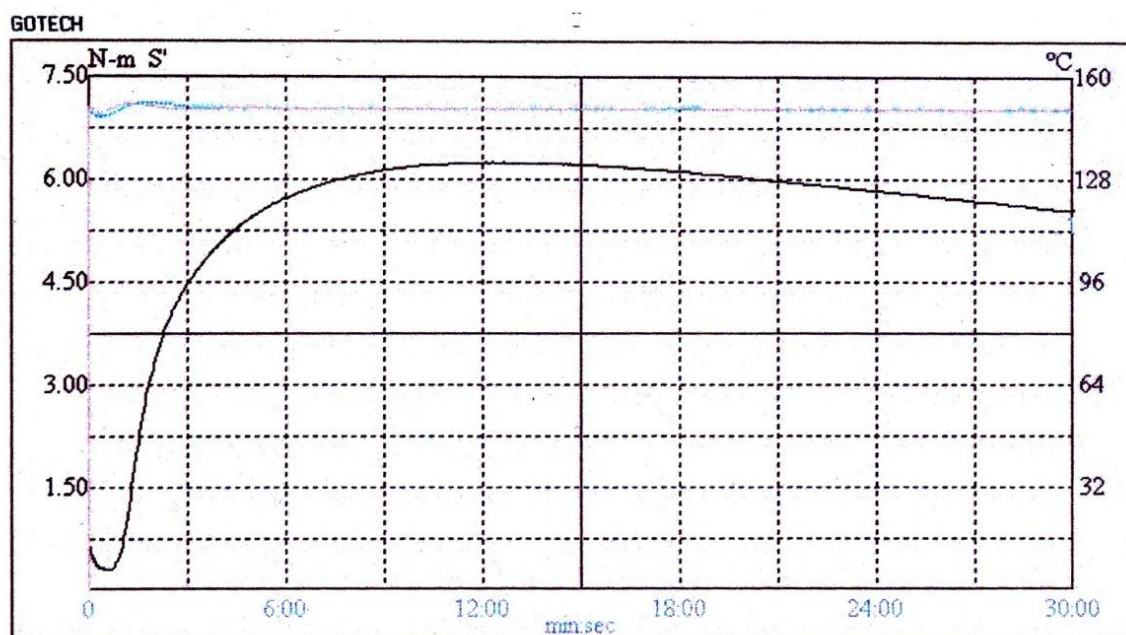
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าความชื้นของเส้นใยรูปถาวยี่

จากรูปที่4.1 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความชื้นของเส้นใยรูปถาวยี่ในระยะเวลาการอบต่างๆซึ่งผลที่ได้จากการอบที่ 100 °C เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง เปอร์เซ็นต์ความชื้นลดลงจาก 14.91% เป็น 1.24 % ดังนั้นตลอดการทดลองนี้จะพิจารณาการอบเส้นใยที่ 4 ชั่วโมงเป็นเวลาทำกันทั้งหมด

4.2 ผลการทดสอบสมบัติการคงรูป

4.2.1 การวัด MDR ของยาง STR 20 ผสมกับเส้นใยรูปถาญี

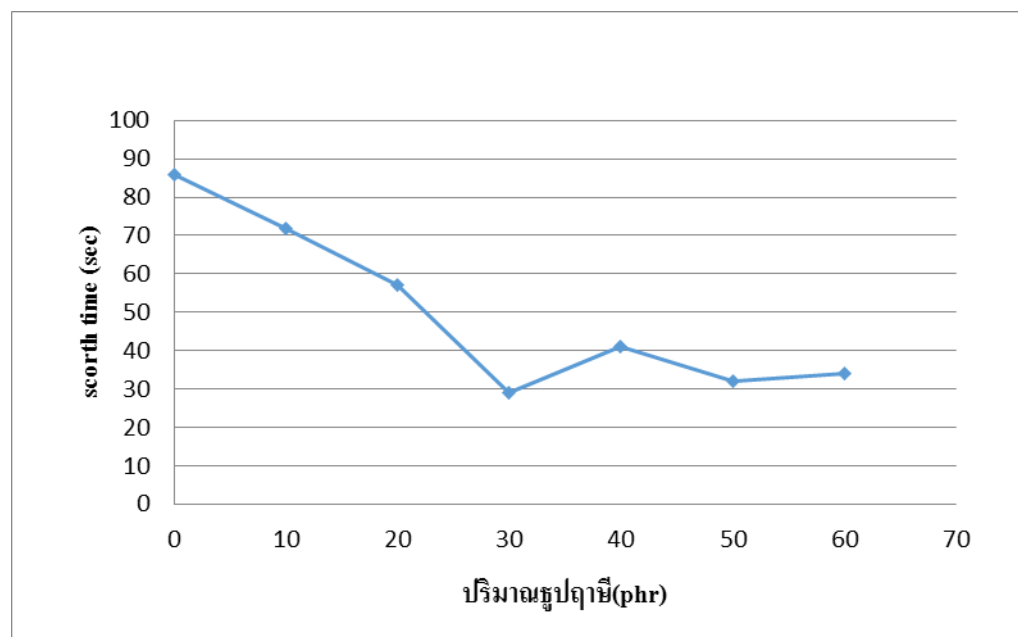
จากการทดสอบค่า MDR ของยาง STR 20 ผสมกับเส้นใยรูปถาญีในช่วง 60 phr แสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าการวัดจากเครื่อง MDR ของยาง STR 20 ผสมกับเส้นใยรูปถาญี 60 phr

4.2.2 ค่า Scorch time ของยาง STR 20 ผสมกับเส้นใยรูปถาญี

จากการทดสอบค่า Scorch time ของยาง STR 20 ผสมกับเส้นใยรูปถาญีในช่วง 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 phr แสดงในรูปที่ 4.3

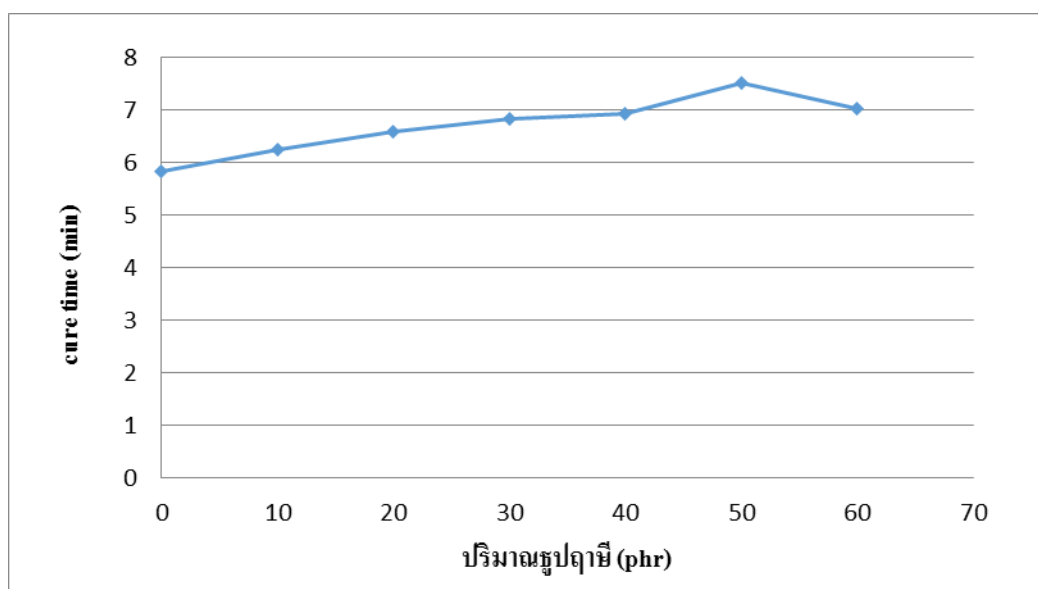


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่า Scorch time ของยาง STR 20 ผสมกับเส้นใยรูปถาญีที่ปริมาณต่างๆกัน

จากรูปที่ 4.3 เป็นกราฟแสดงค่า Scorch time ของยางซึ่งบอกถึงระยะเวลาที่ยางเริ่มจะเกิดการคงรูป หรือบอกถึงระยะเวลาที่ยางสามารถไหลได้ในขณะผลิตก่อนเกิดการคงรูป สามารถหาได้โดยใช้เครื่อง Moving Die Rheometer (MDR) จากรูปจะเห็นได้ว่าเมื่อเติมเส้นใยรูปถาญีลงไปจะเห็นว่าระยะเวลาที่ยางจะเกิดการคงรูปมีการใช้เวลาที่น้อยลง อาจเนื่องมาจากการใช้ปริมาณยางที่น้อยลงทำให้ยางเกิดการคงรูปได้เร็วยิ่งขึ้น

4.2.3 ค่า Cure time ของยาง STR 20 ผสมกับเส้นใยรูปถาญี

จากการทดสอบค่า Cure time ของยาง STR 20 ผสมกับเส้นใยรูปถาญีในช่วง 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 phr แสดงในรูปที่ 4.4



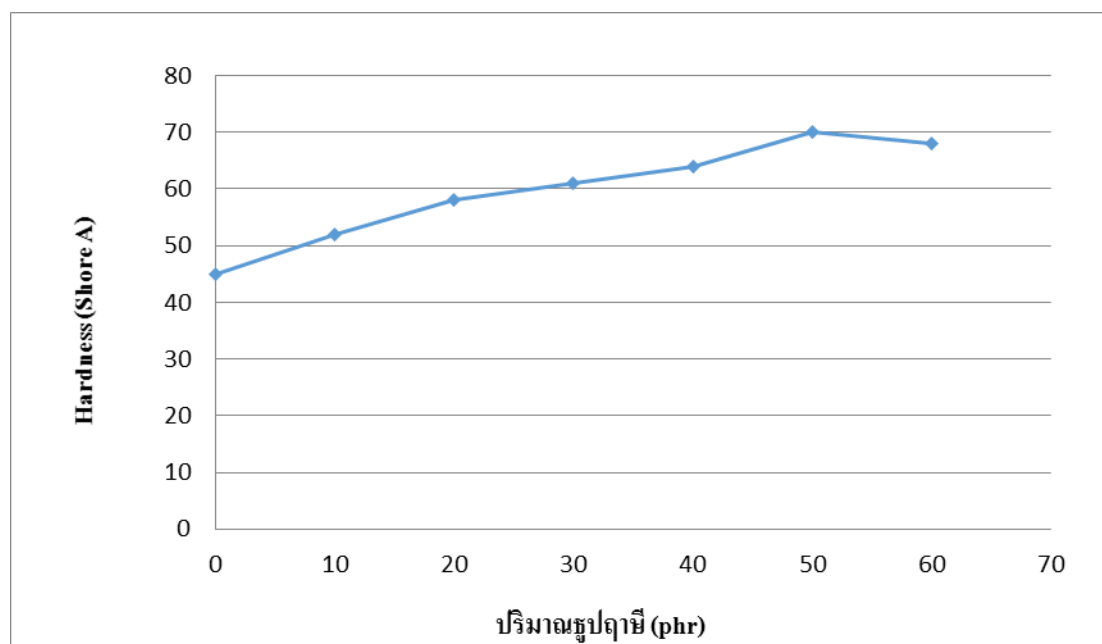
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่า Cure time ของยาง STR 20 ผสมกับเส้นใยรูปถาญี

จากรูปที่ 4.4 แสดงถึงกราฟค่า Cure time ของยางซึ่งบอกเวลาที่ใช้ในการคงรูปหรือการบ่ม ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปครั้งนี้คือ 150°C จะพบว่าเมื่อเติมเส้นใยรูปถาญีลงไปจะใช้เวลาในการคงรูปที่มากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเติมเส้นใยรูปถาญีลงไปมากเท่าไรเวลาในการคงรูปก็จะยิ่งเพิ่มสูงขึ้น

4.3 ผลการทดสอบความแข็ง (Hardness)

4.3.1 ค่าความแข็งของยาง STR 20 ผสมกับเส้นใยรูปถาวยี่

จากการทดสอบค่าความแข็งของยาง STR 20 ผสมกับเส้นใยรูปถาวยี่ในช่วง 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 phr แสดงในรูปที่ 4.5



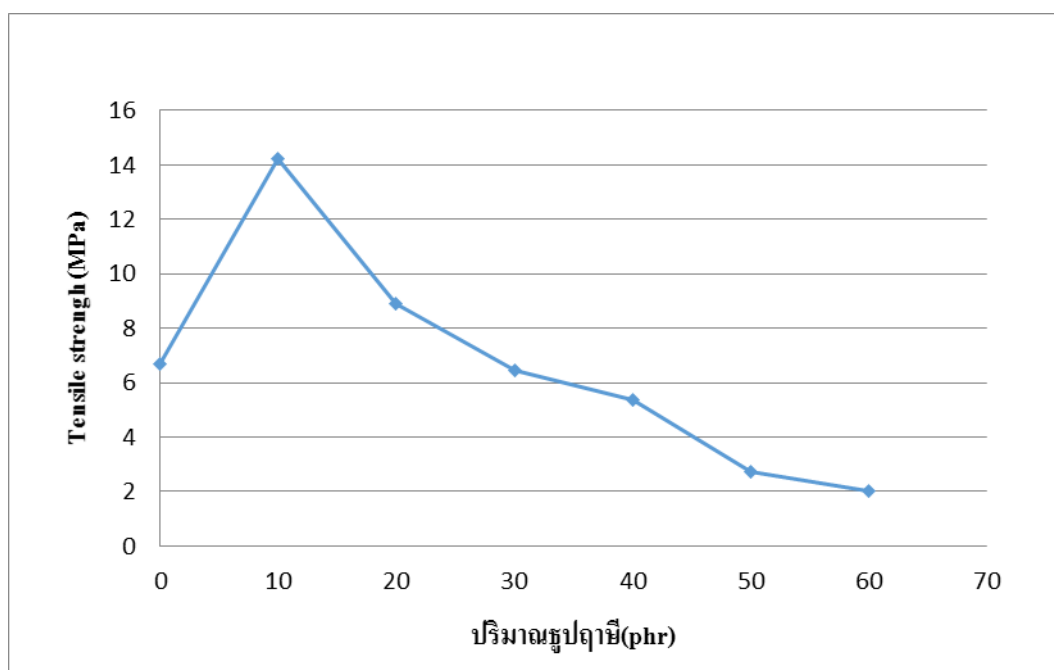
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็ง (Hardness) ต่อปริมาณเส้นใยรูปถาวยี่

จากรูปที่ 4.5 การทดสอบค่าความแข็ง (Shore A) ของยาง STR 20 ผสมกับเส้นใยรูปถาวยี่ในอัตราส่วนต่างๆ ค่าความแข็งเป็นความสามารถของวัสดุในการต้านทานต่อการกด โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้การทดสอบแบบ Durometer แบบ Shore A (ASTM D 2240) จากกราฟพบว่าเมื่อมีการเติมเส้นใยรูปถาวยี่ในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นมีผลให้ค่าความแข็งของยางมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากทดสอบค่าความแข็งจะทดสอบที่พื้นผิวของวัสดุ เมื่อเติมเส้นใยรูปถาวยี่มากขึ้นจะเข้าไปกระจายตัวในเนื้อยาง ส่งผลให้มีค่าความแข็งเพิ่มมากขึ้น

4.4 ผลการทดสอบสมบัติการยึดดึง (Tensile Strength)

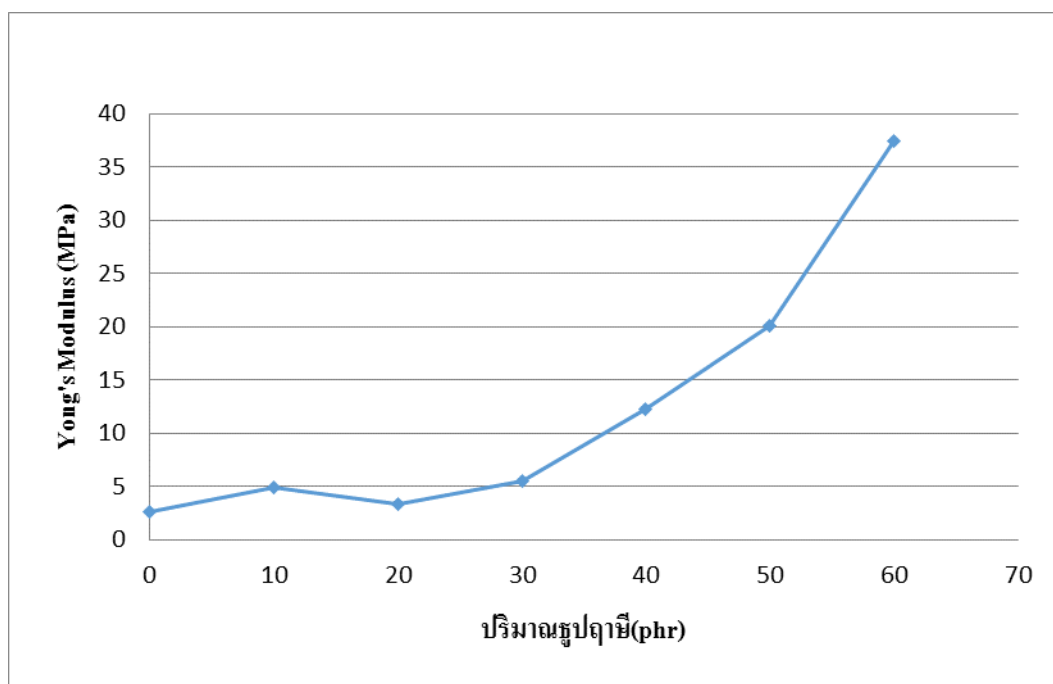
4.4.1 ผลการทดสอบการทนต่อแรงดึงของ ยาง STR 20 ผสมกับเส้นใยรูปถาญี

จากการทดสอบการทนต่อแรงดึงของยาง STR 20 ผสมกับเส้นใยรูปถาญีในช่วง 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 phr



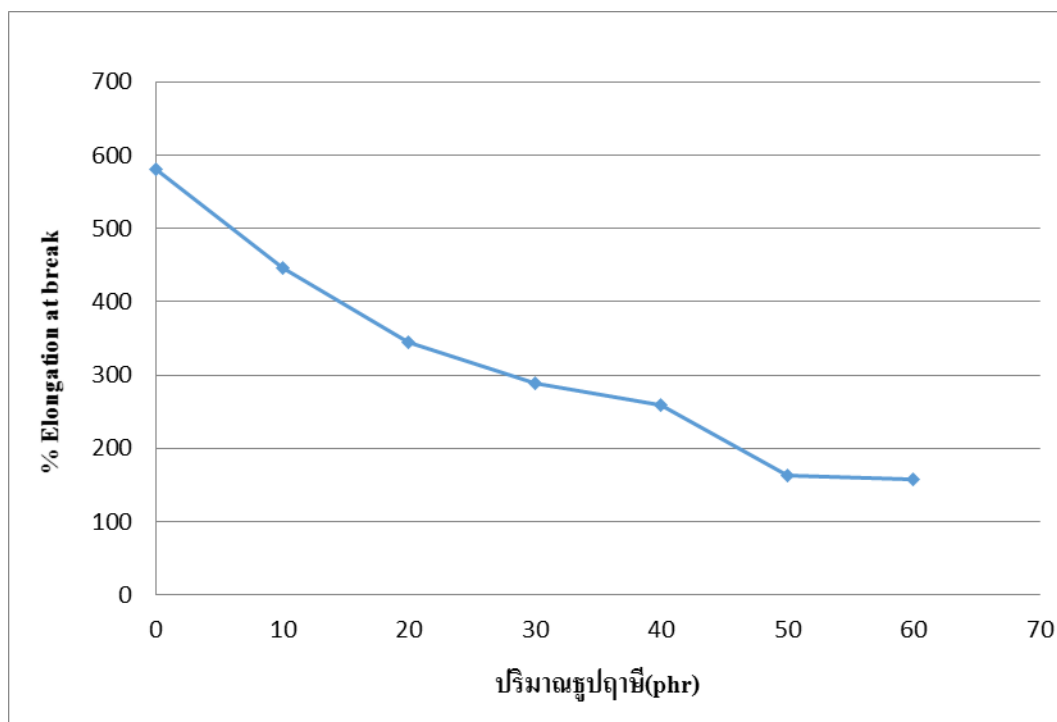
รูปที่ 4.6 แสดงกราฟการทดสอบการทนต่อแรงดึง

จากรูปที่ 4.6 การทดสอบค่าการทนต่อแรงดึง (Tensile strength) ของยาง STR 20 ผสมกับเส้นใยรูปถาญีในอัตราส่วนต่างๆ จากการทดลองพบว่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณเส้นใยรูปถาญี 10 phr ทำให้ค่าการทนต่อแรงดึงมีค่า 14.21 Mpa ซึ่งสูงกว่ายาง STR 20 ประมาณ 3 เท่าหลังจากเติมเส้นใยรูปถาญีมากกว่า 10 phr ทำให้ค่าการทนต่อแรงดึงลดลงเนื่องมาจากการกระจายตัวของเส้นใยรูปถาญีไม่ค่อยดี เนื่องจากไม่สามารถควบคุมการกระจายตัวของเส้นใยรูปถาญีให้สม่ำเสมอได้ในขั้นตอนกระบวนการบดผสมยาง



รูปที่ 4.7 แสดงค่าการต้านทานการเสียรูปแบบ Young's Modulus ของการเติมรูปถ่ายผสมกับยางธรรมชาติ

จากรูปที่ 4.7 การทดสอบค่าการต้านทานการเสียรูปแบบ Young's Modulus ของยาง STR 20 ผสมกับเส้นใยรูปถ่ายในอัตราส่วนต่างๆ จากการทดลองนั้นจะมีประโยชน์ใช้ในการคำนวณพฤติกรรมในการรับแรงของวัสดุ เช่น ความยืดของยางขณะรับแรงดึง ซึ่งจากการทดลองพบว่ามีค่าการการต้านทานการเสียรูปแบบ Young's Modulus มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเติมปริมาณของเส้นใยรูปถ่ายมากกว่า 40 phr เนื่องจากเติมเส้นใยรูปถ่ายลงไปยาง เส้นใยรูปถ่ายจะไปขัดขวางการไหลของสายโซ่โมเลกุลทำให้เคลื่อนไหวได้ยากขึ้น ทำให้ยางมีความแข็งแรงมากขึ้น และรับแรงดึงได้เพิ่มขึ้น

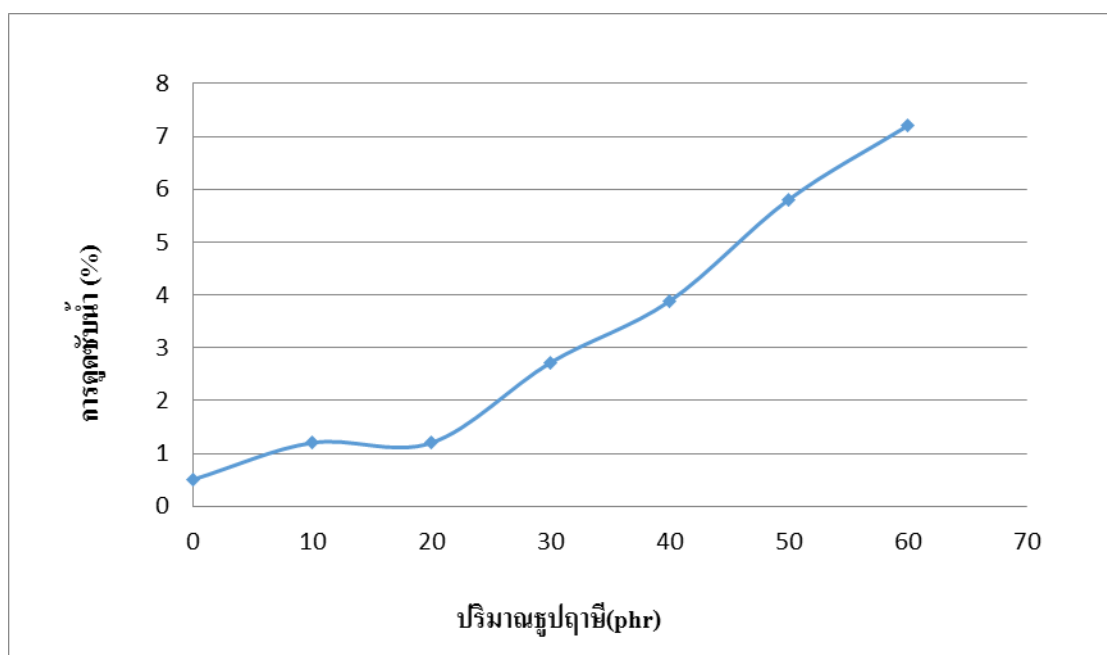


รูปที่ 4.8 แสดงกราฟค่าระยะยืด ณ จุดขาดของยางธรรมชาติผสมกับเส้นใยพอลิเอทิลีนไกลคอล

จากรูปที่ 4.8 การทดสอบค่าระยะยืด ณ จุดขาด (Elongation at break) ของยาง STR 20 ผสมกับเส้นใยพอลิเอทิลีนไกลคอลในอัตราส่วนต่างๆ จากการทดลองพบว่าเมื่อมีการเติมเส้นใยพอลิเอทิลีนไกลคอลจะทำให้ค่า Elongation at break ลดลงและจะได้ค่าคงที่ ที่ปริมาณเส้นใยพอลิเอทิลีนไกลคอล 50 phr เนื่องจากปริมาณเส้นใยพอลิเอทิลีนไกลคอลจะเข้าไปขัดขวางสายโซ่โมเลกุลของยางทำให้ค่าระยะยืด ณ จุดขาดลดลง

4.5 ผลการทดสอบการดูดซับน้ำของยาง STR 20 ผสมกับเส้นใยรูปถาผี

จากการทดสอบการดูดซับน้ำของยาง STR 20 ผสมกับเส้นใยรูปถาผีในช่วง 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 phr แสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำ

จากรูปที่ 4.9 การทดสอบค่าการดูดซับน้ำของยาง STR 20 ผสมกับเส้นใยรูปถาผีในอัตราส่วนต่างๆจากการทดลองพบว่าเมื่อมีการเติมเส้นใยรูปถาผีปริมาณมากขึ้นจะมีผลต่อการบวมน้ำมากยิ่งขึ้น เนื่องจากเส้นใยรูปถาผีดูดซับน้ำได้ดี ทำให้ยิ่งเติมปริมาณเส้นใยรูปถาผีมาก การดูดซับน้ำยิ่งมากขึ้นตามไปด้วย

4.6 ผลการทดสอบการบ่มเร่งสภาวะ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลการการบ่มเร่งสภาวะแวดล้อมของวัสดุยางคอมโพสิตทำการเคลือบด้วยสาร PU 201, PU202, PU203, PU201+202 และ PU201+203 ตามลำดับ ซึ่งผลการทดสอบของค่าความต้านทานต่อแรงดึง การยืดตัว ณ จุดขาด และค่าโมดูลัส ดังตารางที่ 1,2 และ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ค่าความต้านทานต่อแรงดึง

สูตร	PU201	PU202	PU203	PU201+202	PU201+203
100/0	2.3678	4.2013	2.1617	2.1755	2.4527
80/20	2.4318	5.5353	2.1442	2.1895	1.7220
50/50	2.6208	2.1307	2.528	2.5280	3.2540
40/60	4.8730	3.7803	4.1039	4.9346	5.0927

ตารางที่ 4.2 ค่าการยืดตัว ณ จุดขาด

สูตร	PU201	PU202	PU203	PU201+202	PU201+203
100/0	6.7369	471.9623	191.2500	16.6980	16.0130
80/20	7.4733	438.9645	119.9400	27.5030	70.3400
50/50	11.581	192.8500	49.2010	15.3570	15.3300
40/60	8.5149	17.8707	19.9240	13.7470	12.78338

ตารางที่ 4.3 ค่าโมดูลัสของยัง

สูตร	PU201	PU202	PU203	PU201+202	PU201+203
100/0	118.9200	1.700039	3.2530	68.55487	83.54663
80/20	102.8100	4.181014	10.5633	60.97826	49.40845
50/50	116.5438	20.35487	29.4192	59.84716	77.95174
40/60	187.2734	102.8041	95.1847	152.6423	154.1907

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลการใช้เส้นใยรูปทากีเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ โดยการใช้สารตัวเติมเส้นใยรูปทากีในยาง ในปริมาณ 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 phr ตามลำดับ ซึ่งได้ทำการศึกษาสมบัติการคงรูป สมบัติเชิงกลและการดูดซับน้ำ โดยการปรับปริมาณของสารตัวเติมส่งผลต่อสมบัติต่างๆ ดังนี้ รวมถึงต่อการทนต่อสภาวะอากาศ

5.1 สรุป

5.1.1 ผลการทดสอบสมบัติการคงรูปของยาง STR 20 ที่ใช้เส้นใยรูปทากีกับยาง STR 20 ที่ใช้เส้นใยรูปทากีเป็นสารตัวเติม พบว่า ปริมาณของสารตัวเติมคือเส้นใยรูปทากีที่เพิ่มมากขึ้น จะส่งผลทำให้ค่า Scorch time ของยางคงรูปนั้นลดลง แต่จะส่งผลให้ค่า Cure time เพิ่มมากขึ้น

5.1.2 ผลการทดสอบความแข็งของยาง STR 20 พบว่าปริมาณของสารตัวเติมเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งที่พื้นผิวเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ

5.1.3 ผลการทดสอบสมบัติการดึงยึด (Tensile strength) ของยาง STR 20 ที่ใช้เส้นใยเป็นสารตัวเติม พบว่าปริมาณของสารตัวเติมที่ 10 phr ทำให้ค่าการทนต่อการดึงยึดเพิ่มเป็น 14.21 Mpa ซึ่งสูงกว่ายาง STR 20 ประมาณ 3 เท่า หลังจากเติมเส้นใยมากกว่า 10 phr ทำให้ค่าการทนต่อการดึงยึดลดลง ส่วนค่าโมดูลัสของยัง (Young's Modulus) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเติมปริมาณของเส้นใยมากกว่า 40 phr เนื่องจากเติมเส้นใยลงไปยาง เส้นใยจะไปขัดขวางการไหลของสายโซ่โมเลกุลทำให้เคลื่อนไหวได้ยากขึ้น ทำให้ยางมีความแข็งมากขึ้น และรับแรงดึงได้เพิ่มขึ้น และค่าการทดสอบค่าระยะยืด ณ จุดขาด (Elongation at break) ของยาง STR 20 ผสมกับเส้นใยในอัตราส่วนต่างๆ จากการทดลองพบว่าเมื่อมีการเติมเส้นใยจะทำให้ค่า Elongation at break ลดลง และจะคงที่ ที่ปริมาณเส้นใย 50 phr เนื่องจากปริมาณเส้นใยจะเข้าไปขัดขวางสายโซ่โมเลกุลของยางทำให้ค่าระยะยืด ณ จุดขาดลดลง

5.1.4 ผลการทดสอบการดูดซับน้ำของยาง STR 20 ที่ใช้เส้นใยเป็นสารตัวเติม พบว่าเมื่อมีการเติมเส้นใยปริมาณมากขึ้นจะมีผลต่อการบวมน้ำมากยิ่งขึ้น เนื่องจากเส้นใยดูดซับน้ำได้ดี ทำให้ยังเติมปริมาณเส้นใยมาก การดูดซับน้ำยิ่งมากขึ้นตามไปด้วย

5.1.5 ผลการทดสอบการเคลือบผิวด้วยโพลียูเรเทน พบว่าวัสดุคอมโพสิตยางผสมเส้นใยธรรมชาติมีค่าการทนต่อแรงดึง การยืดตัว ณ จุดขาดและโมดูลัสเพิ่มขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาผลการใช้เส้นใยรูปถ่ายเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ มีข้อเสนอแนะดังนี้

- จากการเติมสารตัวเติมเส้นใยรูปถ่ายสามารถช่วยในการลดต้นทุน ช่วยเพิ่มเนื้อ สำหรับการนำไปใช้งานที่ต้องการความแข็งที่พื้นผิวให้เติมเส้นใยรูปถ่ายไม่เกิน 50 phr สำหรับงานที่ต้องการการรับแรงดึงและทนต่อการยืดดึงสูง ให้เติมเส้นใยรูปถ่ายที่ 10 phr

- งานวิจัยนี้หากมีผู้สนใจนำไปศึกษาวิเคราะห์ต่อควรมีการทดสอบด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM) เพื่อหาการกระจายตัวของเส้นใยรูปถ่ายในยางธรรมชาติ และควรมีการทดสอบ %cross link และหาความหนาแน่นของดินรูปถ่าย

- หากนำวัสดุคอมโพสิตนี้ไปทำการคงรูปควรใช้ระยะเวลาในการคงรูปตามการทดสอบค่า Cure time

เอกสารอ้างอิง

- [1] ผศ.ดร.วราวุฒิ อริยวิริยะนันท์ และคณะ. (2552) . “แผ่นปูพื้นจาก"ยาง-จีเลื่อย."ฝีมือนักวิจัย หอสมุด.ธัญบุรี.” ข่าวสดรายวัน. (วันที่ 05 สิงหาคม พ.ศ. 2553 ฉบับที่ 7189) : หน้า 26
- [2] ศุภชัย แก้วจิง, ธเนศ รัตนวิไล, วิริยะ ทองเรือง และ สุกฤทธิรา รัตนวิไล . ศักยภาพการใช้ยางธรรมชาติและอีพดีเอ็มเหลือทิ้งทำยางปูพื้น. 2550
- [3] พัฒนะ รักความสุข, และคณะ. 2545. การผลิตจนวนความร้อนจากเส้นใยหญ้าแฝกและน้ำยางธรรมชาติ. การประชุมการป่าไม้ ประจำปี 2545 : ด้านวัสดุทดแทนไม้.
- [4] วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2549. ยางธรรมชาติ : การผลิตและการใช้งาน (Natural rubber : production and application). กรุงเทพฯ : สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.).
- [5] เจริญ นาคะสรรค์. 2546. เทคโนโลยีเบื้องต้นทางพลาสติก (Introduction to plastic technology). กรุงเทพฯ : โพรเพซ.
- [6] พงษ์ธร แซ่อูย, และชาคริต สิริสิงห. 2550. ยาง : กระบวนการผลิตและการทดสอบ. ปทุมธานี : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค).
- [7] Pravin L. Shas, Handbook of Plastics Materials and Technology, John Willey and Sons: New York; 1990. pp. 433-458.
- [8] สมควร วัฒนกิจไพบูลย์ และ จิตตกร ทรงต่อศรีสกุล, การผลิตวัสดุทดแทนแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษวัสดุเหลือใช้, Engineering Today, ปีที่ 3, ฉบับที่ 34, 2548, หน้า 132-138.
- [9] นุชนาฏ ณ ระนอง อดุลย์ ณ วิเชียร และวิภาวี พัฒนกุล, การพัฒนาเทคนิคผลิตแผ่นยางปูพื้นที่ใช้ในอาคาร, สถาบันวิจัยยาง, กรมวิชาการเกษตร.2546
- [10] ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ จักริน พรหมจิรสุข เสกสรร อินทร์ เอกมัย วิมลมาลาและ ชัชวาล กัลป์ทะลา.2547.การผลิตไม้พีวีซีจากผงจีเลื่อยไม้ยางพาราสายวิชาเทคโนโลยีวัสดุและคณะพลังงานและวัสดุ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพมหานคร
- [11] อิทธิพล แจ่มชัด และวรรณม อุ่นจิตติชัย. วัสดุประกอบไม้เทียมพอลิเมอร์คอมโพสิตจากหญ้าแฝกและพีวีซี : อิทธิพลของสารตัวเติม. 2547

ภาคผนวก ก

แสดงตารางผลการทดสอบค่าความชื้นในเส้นใยต้นธูปฤาษี ผลการทดสอบค่าเวลาในการขึ้นรูปของ
ยางคอมพาวด์และผลการทดสอบสมบัติทางกล

ผลการทดสอบความชื้นของเส้นใยรูปถาญี

ตารางที่ ก-1 แสดงผลการทดสอบค่าความชื้นของเส้นใยรูปถาญีมีช่วงเวลา 0,1,2,3,4 ชั่วโมง

เวลา (hr)	ความชื้น(%)
0	14.91
1	6.68
2	2.49
3	2.20
4	1.24

ผลการทดสอบสมบัติการคงรูป

ตารางที่ ก-2 แสดงผลการทดสอบค่า Scorch time ของยาง STR 20 ผสมกับเส้นใยรูปถาญี ในช่วง 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 phr

ปริมาณเส้นใยรูปถาญี(phr)	Scorch time(sec)
0	86
10	72
20	57
30	29
40	41
50	32
60	34

ตารางที่ ก-3 แสดงผลการทดสอบค่า Cure time ของยาง STR 20 ผสมกับเส้นใยทุปถาญี
ในช่วง 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 phr

ปริมาณเส้นใยทุปถาญี	Cure time(min)
0	5.8370
10	6.2420
20	6.5820
30	6.8200
40	6.9200
50	7.5171
60	7.0163

ผลการทดสอบความแข็ง (Hardness)

ตารางที่ ก-4 แสดงผลการทดสอบค่าความแข็งของยาง STR 20 ผสมกับเส้นใยทุปถาญีในช่วง
0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 phr

ชั้นทดสอบ	ค่าความแข็ง(Hardness) Shore A						
	สูตร0	สูตร1	สูตร2	สูตร3	สูตร4	สูตร5	สูตร6
1	45	52	57	62	63	69	68
2	45	52	58	60	64	70	69
3	45	50	57	60	65	70	68
4	45	54	59	62	65	72	67
5	45	52	57	61	65	70	68
เฉลี่ย	45	52	58	61	64	70	68

ผลการทดสอบสมบัติการยึดดึง (Tensile Strength)

ตารางที่ ก-5 แสดงผลการทดสอบการทนต่อแรงดึงของยาง STR 20 ผสมกับเส้นใยรูปถาวยี
ในช่วง 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 phr

ชั้นทดสอบ	ค่า Tensile strength (MPa)						
	สูตร0	สูตร1	สูตร2	สูตร3	สูตร4	สูตร5	สูตร6
1	5.64	15.16	6.40	5.17	4.59	2.83	2.25
2	6.52	13.31	7.53	6.34	5.45	3.26	1.70
3	6.62	13.19	10.27	6.08	5.45	2.31	1.98
4	6.63	15.48	8.64	7.38	6.24	2.83	2.05
5	7.04	13.95	9.19	6.64	5.17	2.56	2.25
เฉลี่ย	6.70	14.21	8.90	6.63	5.38	2.75	2.04

ตารางที่ ก-6 แสดงผลการทดสอบค่า Young's Modulus ของยาง STR 20 ผสมกับเส้นใย
รูปถาวยี

ชั้นทดสอบ	ค่า Young's Modulus (MPa)						
	สูตร0	สูตร1	สูตร2	สูตร3	สูตร4	สูตร5	สูตร6
1	1.62	5.25	5.59	5.33	15.38	25.44	27.02
2	1.98	4.51	4.19	5.83	11.53	14.56	44.02
3	2.13	5.02	3.05	6.37	10.7	23.95	46.32
4	2.42	5.29	3.20	3.79	11.8	14.60	23.59
5	2.07	4.81	2.94	4.58	12.78	14.26	32.31
เฉลี่ย	2.15	4.97	3.34	5.52	12.31	20.11	37.41

ตารางที่ ก-7 แสดงผลการทดสอบค่า % Elongation at break ของยาง STR 20 ผสมกับเส้นใย
รูปถ่าน

ชั้นทดสอบ	ค่า % Elongation at break						
	สูตร0	สูตร1	สูตร2	สูตร3	สูตร4	สูตร5	สูตร6
1	602.73	466.73	281.71	260.74	243.90	159.93	165.72
2	566.33	439.54	333.63	277.73	259.31	179.34	124.15
3	573.02	437.62	379.63	287.72	257.51	140.48	149.65
4	540.78	462.82	323.12	317.46	280.65	166.42	156.01
5	611.36	423.15	339.57	297.11	251.94	148.74	162.39
เฉลี่ย	578.76	446.24	343.98	288.67	258.58	163.60	158.44

ผลการทดสอบสมบัติการดูดซับน้ำ

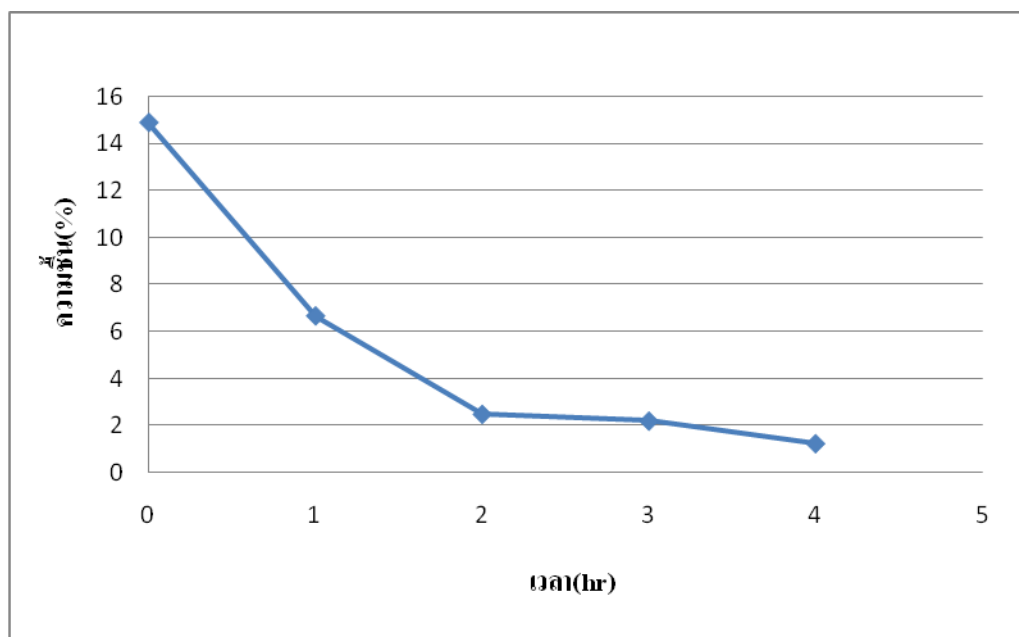
ตารางที่ ก-8 แสดงผลการทดสอบค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของยาง STR 20 ผสมกับเส้นใย
รูปถ่าน

ปริมาณต้นรูปถ่าน	เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ
0	0.506
10	1.202
20	1.202
30	2.719
40	3.883
50	5.805
60	7.203

ภาคผนวก ข

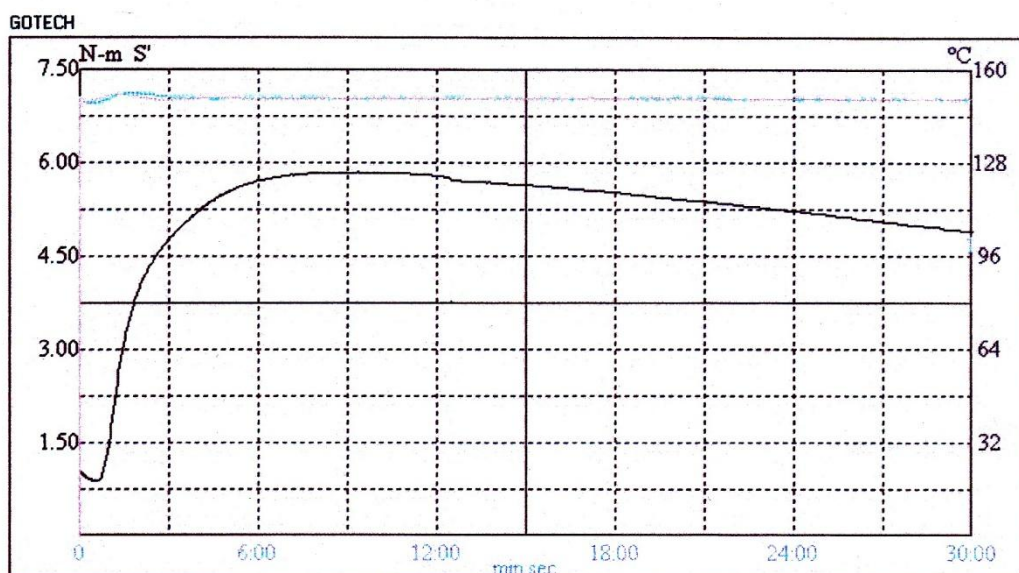
แสดงกราฟผลการทดสอบค่าความชื้นในเส้นใยต้นรูปถั่วฝักยาว ผลการทดสอบค่าเวลาในการขึ้นรูปของยางคอมพาวด์และผลการทดสอบสมบัติทางกล

แสดงผลการทดสอบค่าความชื้นของเส้นใยรูปถาขีมีช่วงเวลา 0,1,2,3,4 ชั่วโมง

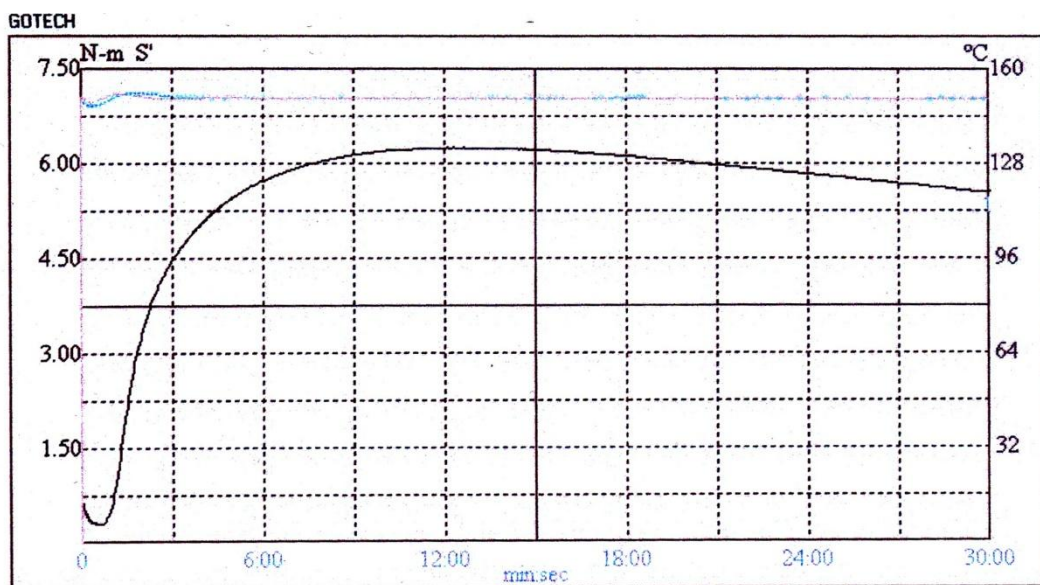


รูปที่ ข-1 แสดงผลการทดสอบค่าความชื้นของเส้นใยรูปถาขี

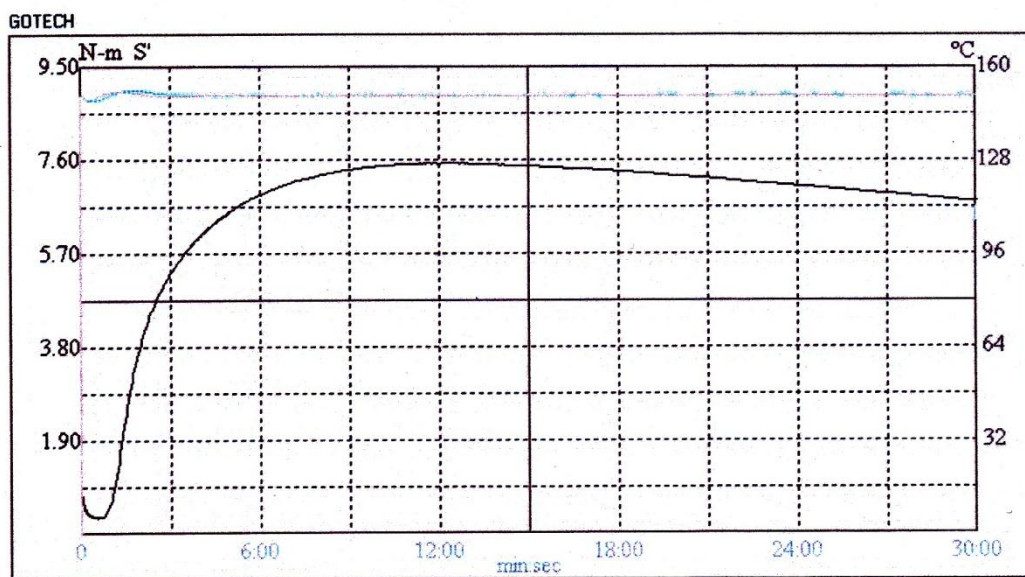
แสดงผลการทดสอบสมบัติการคงรูป ในการศึกษายาง STR 20 ผสมกับเส้นใยรูปถาขีในช่วง 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 phr



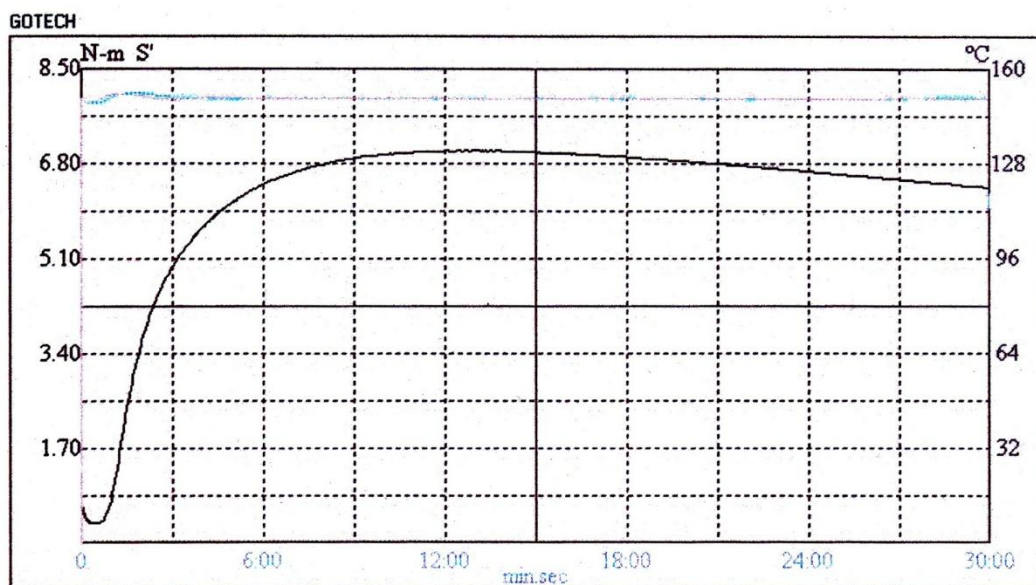
รูปที่ ข-2 แสดงผลการวัด MDR ของยาง STR 20



รูปที่ ข-3 แสดงผลการวัด MDR ของยาง STR 20 ผสมเส้นใยรูปถาวยี่ 30 phr

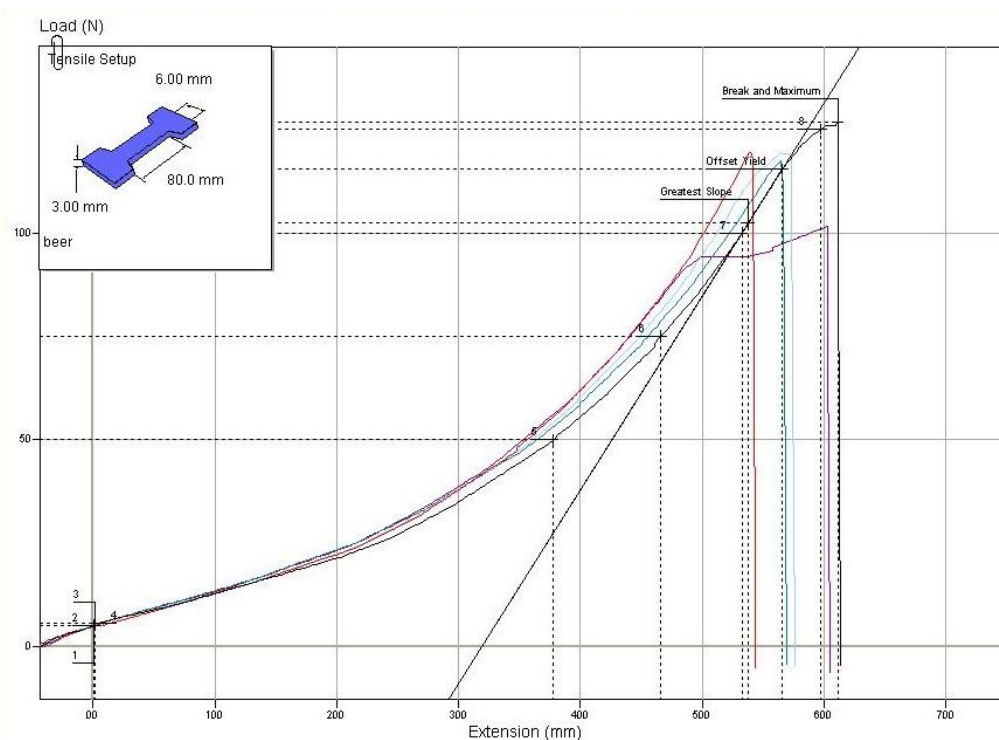


รูปที่ ข-4 แสดงผลการวัด MDR ของยาง STR 20 ผสมเส้นใยรูปถาวยี่ 50 phr

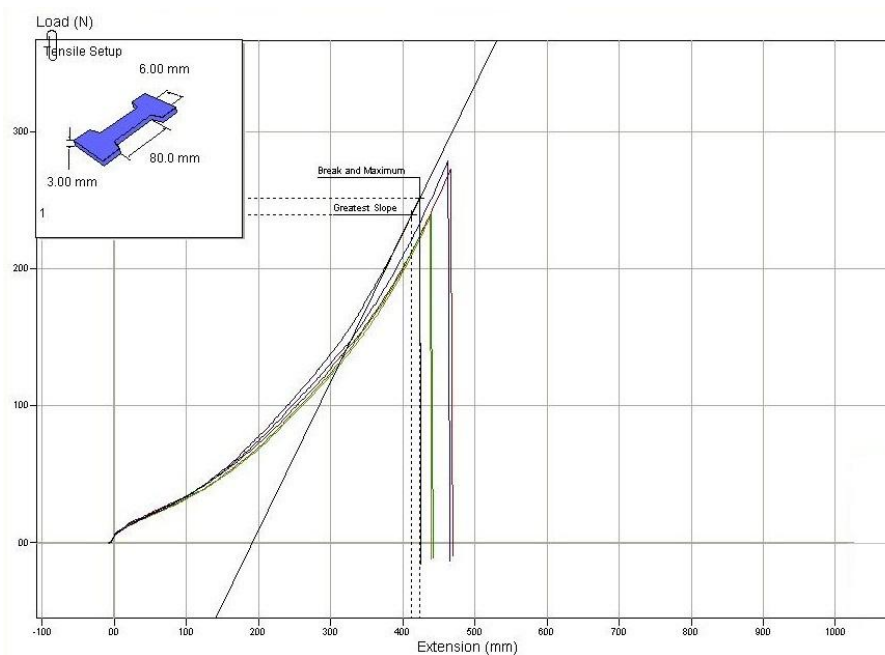


รูปที่ ข-5 แสดงผลการวัด MDR ของยาง STR 20 ผสมเส้นใยรูปถาผี 60 phr

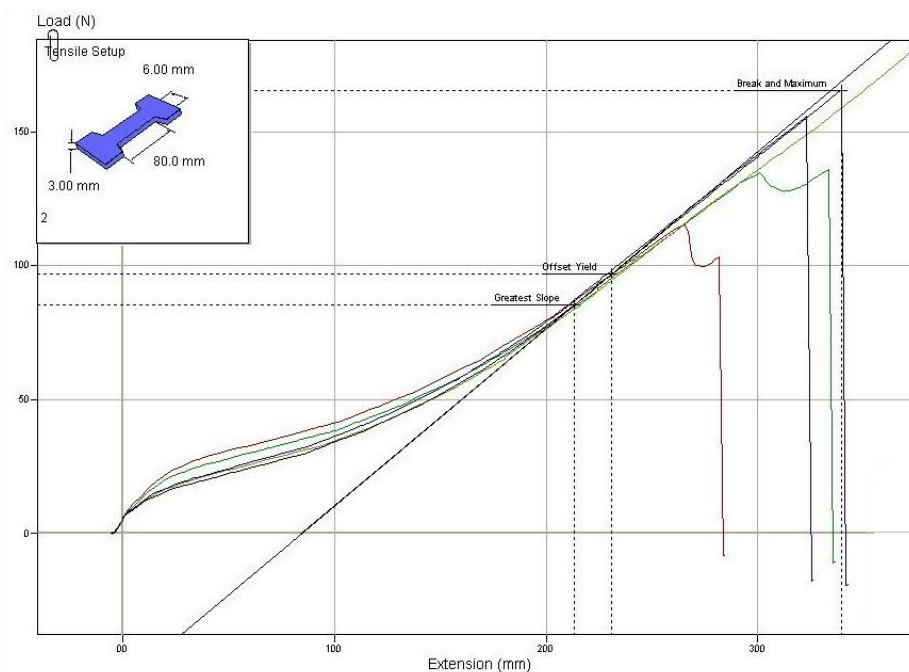
แสดงผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง ทดสอบการต้านทานการเสียรูปแบบยืดหยุ่นและค่าการทดสอบค่าระยะยืด ณ จุดขาด ในการศึกษาของ STR 20 ผสมกับเส้นใยรูปถาผีในช่วง 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 phr



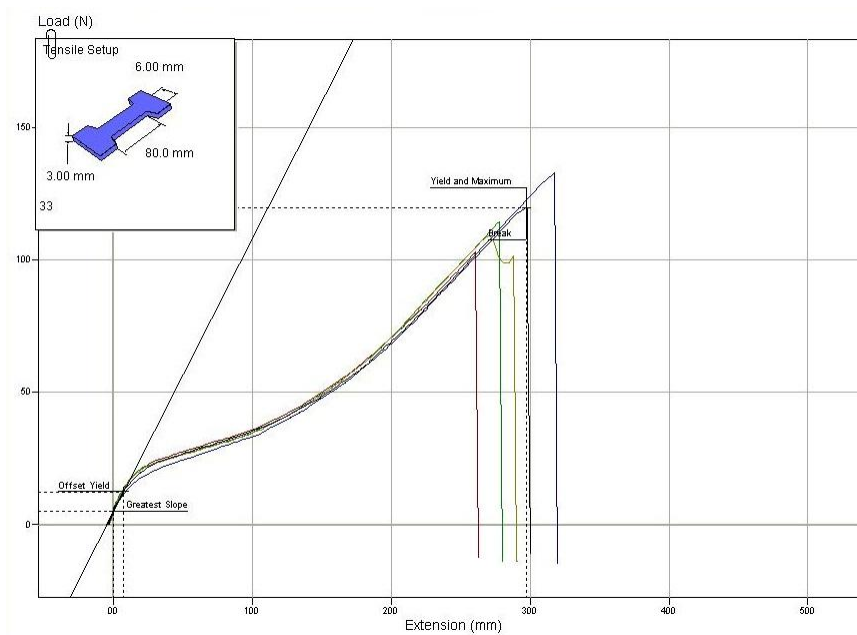
รูปที่ ข-6 แสดงผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง ทดสอบการต้านทานการเสียรูปแบบยืดหยุ่นและค่าการทดสอบค่าระยะยืด ณ จุดขาด ของยาง STR 20



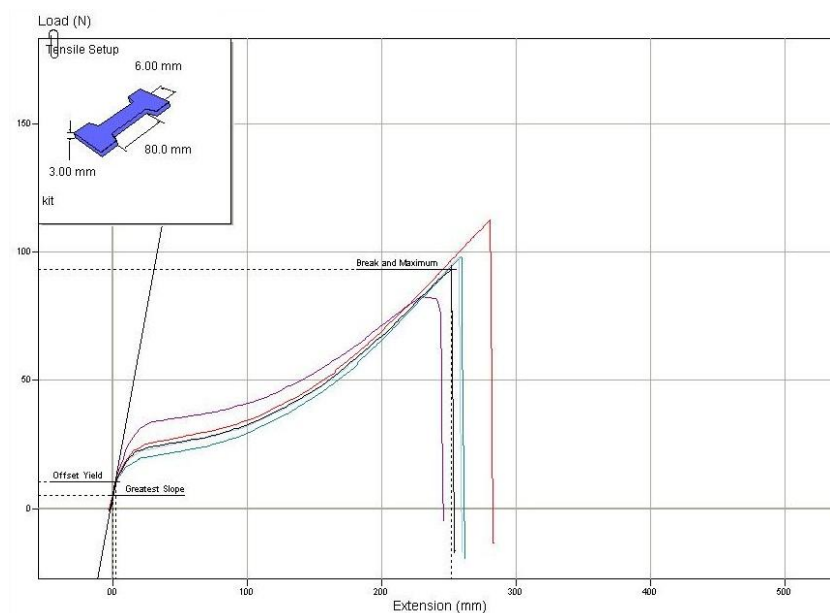
รูปที่ ข-7 แสดงผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง ทดสอบการต้านทานการเสียรูปแบบยืดดึงและค่าการทดสอบค่าระยะยืด ณ จุดขาด ของยาง STR 20 ผสมกับเส้นใยูปถาณีย 10 phr



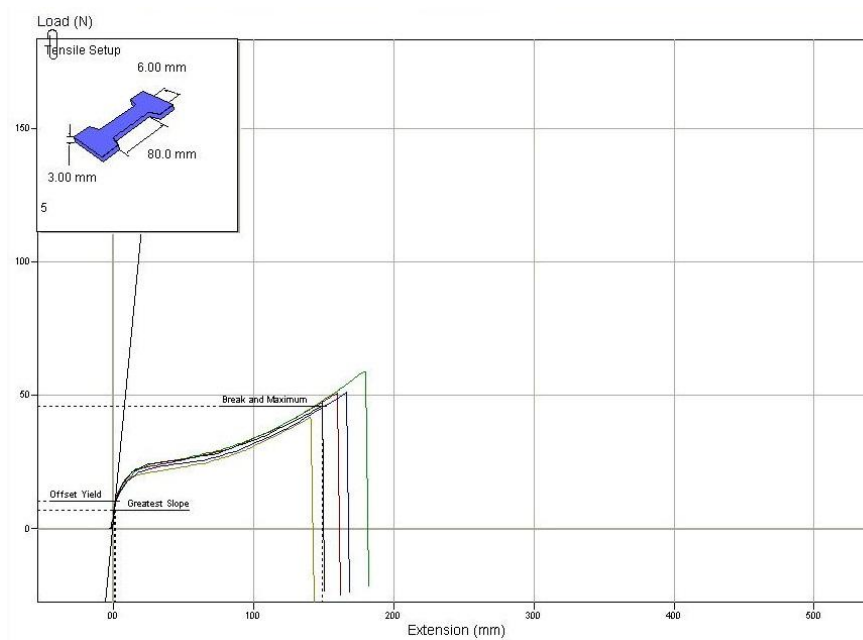
รูปที่ ข-8 แสดงผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง ทดสอบการต้านทานการเสียรูปแบบยืดดึงและค่าการทดสอบค่าระยะยืด ณ จุดขาด ของยาง STR 20 ผสมกับเส้นใยูปถาณีย 20 phr



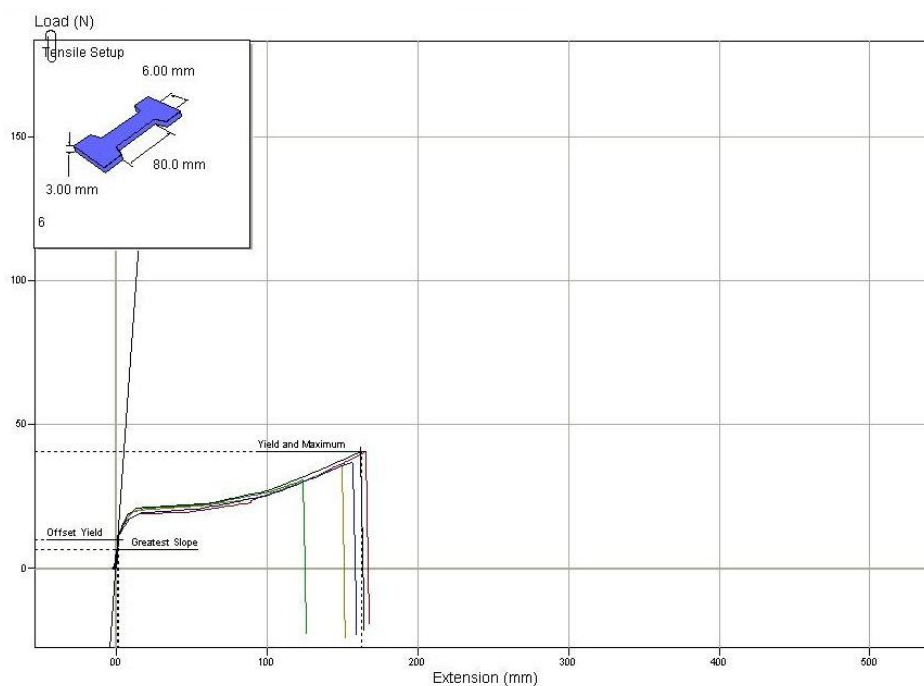
รูปที่ ข-9 แสดงผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง ทดสอบการต้านทานการเสียรูปแบบยืดดึงและค่าการทดสอบค่าระยะยืด ณ จุดขาด ของยาง STR 20 ผสมกับเส้นใยรูปถาวยี่ 30 phr



รูปที่ ข-10 แสดงผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง ทดสอบการต้านทานการเสียรูปแบบยืดดึงและค่าการทดสอบค่าระยะยืด ณ จุดขาด ของยาง STR 20 ผสมกับเส้นใยรูปถาวยี่ 40 phr

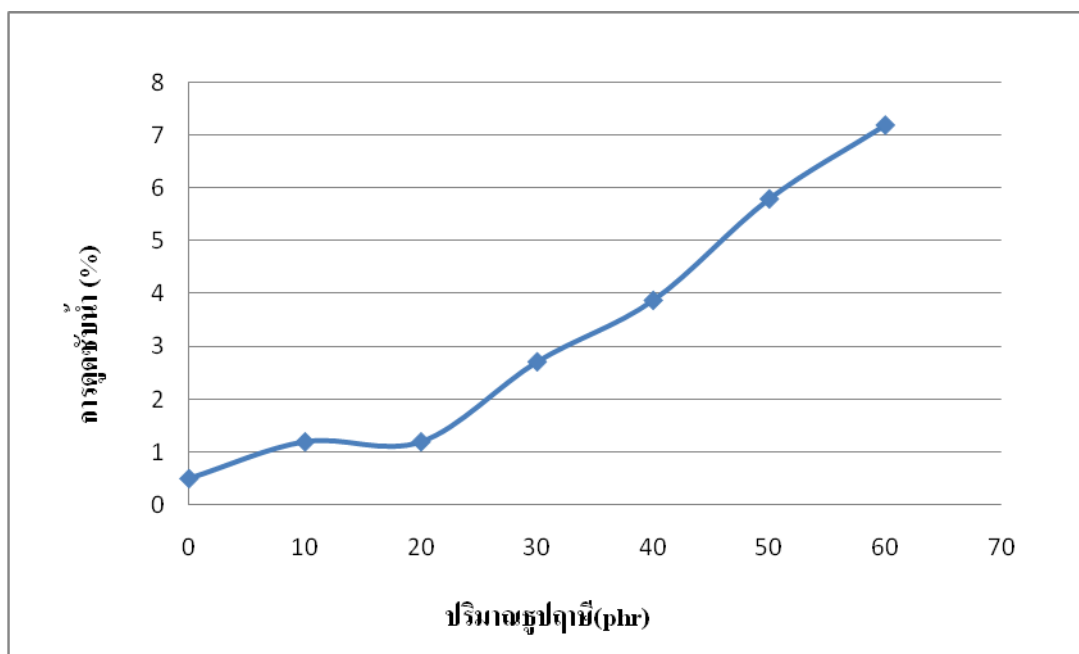


รูปที่ ข-11 แสดงผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง ทดสอบการต้านทานการเสียรูปแบบยึดดึงและค่าการทดสอบค่าระยะยืด ณ จุดขาด ของยาง STR 20 ผสมกับเส้นใยคาร์บอน 50 phr



รูปที่ ข-12 แสดงผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง ทดสอบการต้านทานการเสียรูปแบบยึดดึงและค่าการทดสอบค่าระยะยืด ณ จุดขาด ของยาง STR 20 ผสมกับเส้นใยคาร์บอน 60 phr

แสดงผลการทดสอบสมบัติการดูดซับน้ำในการศึกษาของ STR 20 ผสมกับเส้นใยรูปถาวยี่
ในช่วง 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 phr



รูปที่ ข-13 แสดงผลการทดสอบสมบัติการดูดซับน้ำ ของยาง STR 20 ผสมกับเส้นใยรูปถาวยี่ในช่วง 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 phr

ภาคผนวก ค

แสดงภาพอุปกรณ์เครื่องมือเครื่องใช้ในการเตรียมวัสดุคอมโพสิตในการขึ้นรูปชิ้นงานและใช้ในการ
ทดสอบสมบัติเชิงกล



รูปที่ ค-1 เครื่องบดผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง (Two-rolls mill)



รูปที่ ค-2 เครื่องอัดไฮโดรลิก (Compression molding)



รูปที่ ค-3 เตาอบ (Hot Air Oven) ยี่ห้อ Memmert



รูปที่ ค-4 เครื่องวัดความชื้น ยี่ห้อ Mettler Toledo



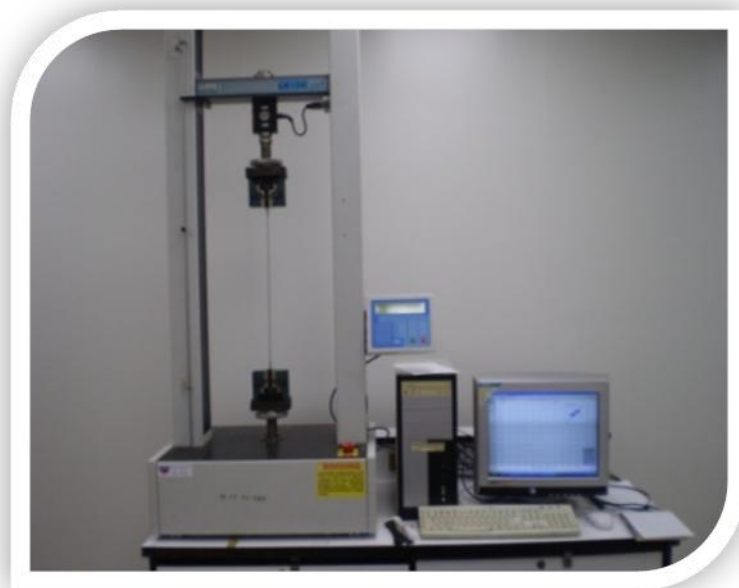
รูปที่ ค-5 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo



รูปที่ ค-6 เครื่องทดสอบการคงรูปยาง (Moving DieRheometer; MDR)



รูปที่ ค-7 เครื่องทดสอบความแข็ง Durometer (Shore A)



รูปที่ ค-8 เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal testing machine)

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณองค์กรและบุคคลต่างๆ ที่ให้ความอนุเคราะห์โครงการวิจัยเรื่องการพัฒนาการเคลือบผิววัสดุคอมโพสิตธรรมชาติจากยางพาราผสมเส้นใยธรรมชาติสำหรับทำเป็นผลิตภัณฑ์เปลือกยางปูพื้นภายนอกอาคาร ให้ดำเนินการไปได้ด้วยดี

ภาควิชาวิศวกรรมพลาสติกและโลหะกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการขึ้นรูปต่างๆ การทดสอบ รวมทั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองทำให้โครงการนี้ดำเนินไปด้วยดี

บริษัท ไทยสุริยะ จำกัด ที่ให้การสนับสนุนทางด้านเครื่องจักรในการทำโครงการวิจัยตลอดจนเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ท้ายนี้คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติและมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่สนับสนุนทุนวิจัยงบประมาณประจำปี 2555 ทำให้โครงการนี้ดำเนินไปด้วยดี

คณะผู้วิจัย

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

1. วรณศิริ จักรบุตร วารุณี อริยวิริยะนันท์ สมเกียรติ จิตติภูมิเดชา และนัตรชัยกันยาธุ “การพัฒนาการเคลือบผิววัสดุคอมโพสิตธรรมชาติจากยางพาราผสมเส้นใยธรรมชาติสำหรับทำเป็นผลิตภัณฑ์ล้อยางปูพื้นภายนอกอาคาร” การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลครั้งที่ 5, กรุงเทพฯ, 15-16 มิถุนายน 2556. ได้รับรางวัลโปสเตอร์ระดับดีเยี่ยม สาขาวิศวกรรมศาสตร์.

**การพัฒนาการเคลือบผิววัสดุคอมโพสิตธรรมชาติจากยางพาราผสม เส้นใยธรรมชาติ
สำหรับทำเป็นผลิตภัณฑ์ล้อยางปูพื้นภายนอกอาคาร**

**Development of Coating Material for Agro-based Composite Prepared from Natural Rubber and Natural
fiber for Outdoor Block Rubber Application**

วรุณศิริ จักรบุตร¹, วารุณี อริยวิริยะนันท์*, สมเกียรติ ฐิติภูมิเดชา¹ และ ฉัตรชัย กันยาวิธ²

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จ.อุบลราชธานี 34190

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาสารเคลือบผิววัสดุคอมโพสิตธรรมชาติจากยางพาราผสมเส้นใยธรรมชาติสำหรับทำเป็นผลิตภัณฑ์ล้อยางปูพื้นภายนอกอาคาร โดยออกแบบสูตรยางคอมปาวด์และใช้สารตัวเติม คือ เส้นใยรูปถาวยีเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติ (STR20) ในโครงการวิจัยนี้ใช้อัตราส่วนสารตัวเติม ดังนี้ 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60 และ 70 phr ตามลำดับ โดยใช้กระบวนการบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-rolls mill) ขึ้นรูปโดยการอัดด้วยความร้อน (Compression molding) เป็นแผ่น และนำมาทดสอบสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพ จากการศึกษาพบว่า เมื่อปริมาณเส้นใยที่ใช้เป็นสารตัวเติมเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่า scorch time ของยางลดลงคือ จาก 86 วินาทีเป็น 34 วินาที ในขณะที่ค่า cure time เพิ่มขึ้นจาก 5.8 นาทีเป็น 7.0 นาที เมื่อไม่มีการเติมและเติมด้วยเส้นใย 70 phr ลงในยางธรรมชาติ ผลการทดสอบความแข็ง (Hardness) พบว่าค่าความแข็งเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยและให้ค่าสูงที่สุดที่ปริมาณเส้นใย 60 และ 70 phr คือ 70 shore A เทียบกับยางธรรมชาติคือ 45 shore A สมบัติเชิงกลอื่นๆ ได้แก่ การทนต่อแรงดึงพบว่าเมื่อเติมเส้นใยลงไป 10 phr จะให้ค่าสูงสุดคือ 14.21 MPa สูงกว่ายางธรรมชาติถึง 3 เท่า แต่หลังจากเพิ่มปริมาณเส้นใยมากขึ้นส่งผลทำให้ค่าการทนต่อแรงดึงค่อยๆ ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากมาจากผลของเส้นใย เช่นเดียวกับค่าการดึงยืด (Elongation at break) จะค่อยลดลงเมื่อเส้นใยเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ค่ายังมอดุลัส (Young's modulus) มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจาก 2.15 MPa (STR20) เป็น 37.41 MPa (เติมเส้นใย 70 phr) เนื่องจากการเติมเส้นใยลงไปในช่วงเส้นใยจะไปขัดขวางการไหลของสายโซ่โมเลกุลยางทำให้เคลื่อนไหวได้ยากขึ้นทำให้ยางมีความแข็งแรงและรับแรงได้สูงขึ้น จากนั้นนำยางคอมปาว์มาขึ้นรูปเป็นบล็อกปูพื้นสนามหญ้าและทดสอบชนิดของสารเคลือบผิว คือ สารประเภทอะคริลิก และสารประเภทยูเรเทน และทำการทดสอบสมบัติการทนต่อสภาวะอากาศโดยเครื่องบ่มเร่งสภาวะ (QUV)

คำสำคัญ : คอมโพสิตธรรมชาติ ยางธรรมชาติ เส้นใยรูปถาวยี การเคลือบผิว

Keywords : Agro-based composite, Natural rubber, Cat-tail fiber, Surface coating

*ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ warunee.a@en.rmutt.ac.th โทร. 0 2549 3484-5