บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุ

3.1.1 ยางแท่งชนิด เอสทีอาร์ 5 แอล (Standard Thai Rubber, STR 5L) ผลิตโดย บริษัท ฉลองอุตสาหกรรมน้ำยางข้น จำกัด ทำมาจากน้ำยางซึ่งกรองสิ่งสกปรกออก ทำให้สิ่งสกปรกในยางไม่เกินตามที่มาตรฐานกำหนด

3.1.2 กรดสเตียริค (Stearic acid) ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้น (Activator) ในปฏิกิริยาวัลคาไนซ์มีลักษณะเป็นเกล็ดสีขาว เป็นเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาง ผลิตโดย บริษัท อิมพีเรียล อินดัสเตรียล เคมีคัลส์ (ประเทศไทย) จำกัด

3.1.3 ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO) ชนิด White seal ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้น (Activator) ในปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ มีลักษณะเป็นผงสีขาวละเอียด เป็นเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาง ผลิตโดย Univenures Public Company Thailand

3.1.4 2- เมอร์แคบโตเบนโซไธอาโซล (2 – Mercaptobenzothiazole, MBTS) ทำหน้าที่เป็นสารตัวเร่ง (Accelerator) ในปฏิกิริยาวัลคาไนซ์เป็นสารตัวเร่งในกลุ่มไธอาโซล ชื่อทางการค้า Vulkacit Mercapto ผลิตโดย Bayer Antwerpen NV. Belgium. จัดจำหน่ายโดย ห้างหุ้นส่วนจำกัด ไทยกิจดี

3.1.5 ไดเอทธิลีนไกลคอล (Diethylene glycol, DEG) ทำหน้าที่เป็นสารลดประสิทธิภาพ (deactivater) มีลักษณะเป็นของเหลวใส ความถ่วงจำเพาะ 1.18 จุดเดือด 224-245 องศาเซลเซียส จัดจำหน่ายโดย บริษัท จีโอเซาท์ จำกัด สงขลา

3.1.6 กำมะถัน (Sulphur, S) ทำหน้าที่เป็นสารวัลคาไนซ์ (Vulcanizing agent) มีลักษณะเป็นผงสีเหลือง เป็นเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาง จัดจำหน่ายโดย บริษัท เคเอสพี อินเตอร์เคม จำกัด หาดใหญ่

3.1.7 ซิลิกา (Silica) ทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมเสริมประสิทธิภาพ มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว เป็นเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาง ชื่อทางการค้า PERKASIL KS 404T ผลิตโดย Oriental Silica Co., Ltd.

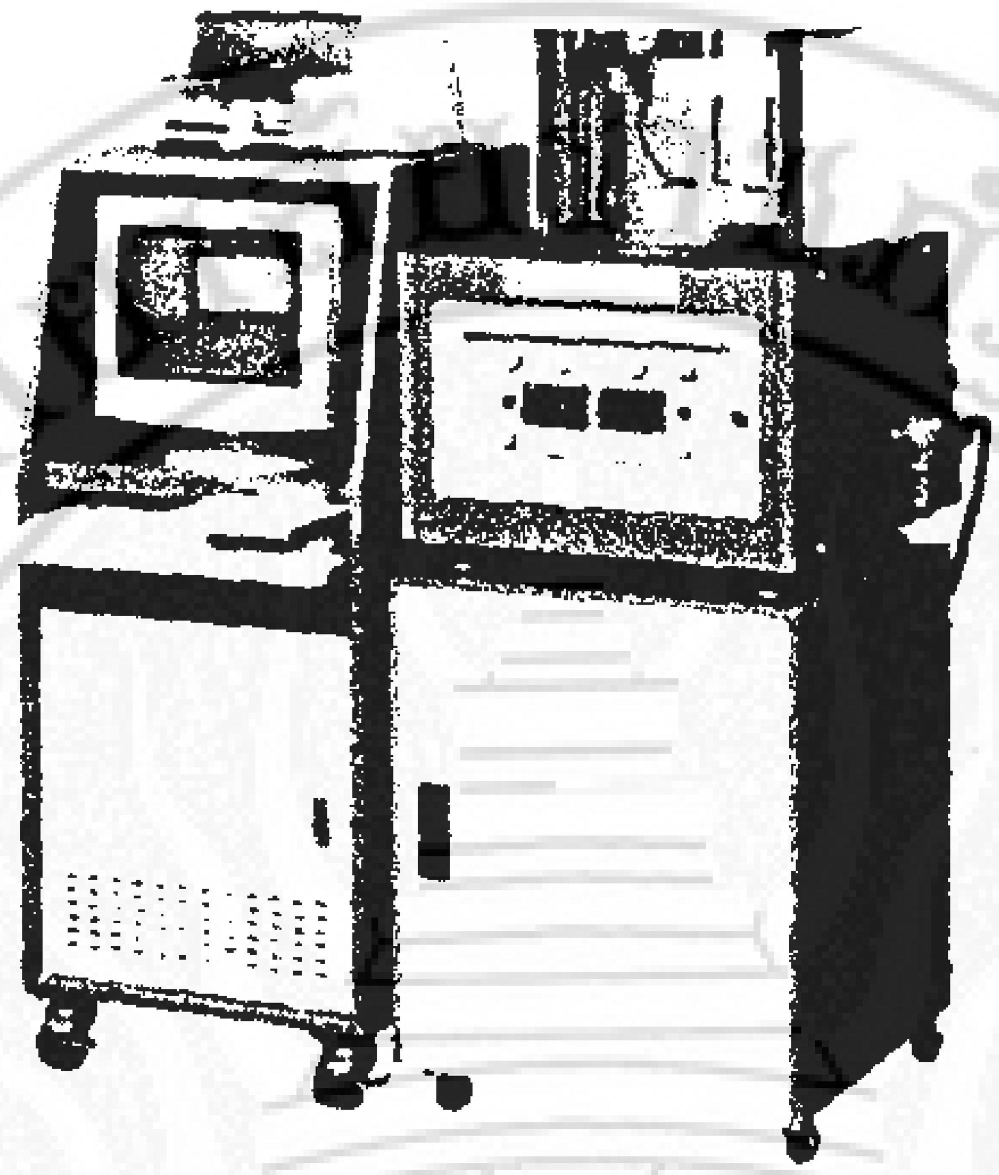
3.1.8 แกลบข้าว (Rice Husk) ใช้เป็นวัตถุดิบในการเตรียมเถ้าแกลบ เตรียมโดยการนำแกลบข้าวมาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ได้เถ้าแกลบมีลักษณะเป็นผงละเอียดสีเทา

3.2 อุปกรณ์

3.2.1 เครื่องบดผสมยางแบบปิด (Internal Mixer) ความจุของห้องเสื้อมีขนาด 1 ลิตร ผลิตโดยบริษัท ชัยเจริญการช่าง ประเทศไทย เป็นเครื่องมือที่ใช้บดยางและใช้ผสมสารเคมีเข้าไปในยาง เครื่องบดผสมยางแบบปิดประกอบด้วยโรเตอร์ 2 อันวางในแนวนอนอยู่ใน "เสื้อ" (mixing chamber) ลักษณะของโรเตอร์ ไม่เรียบกลมแบบทรงกระบอกเหมือนเครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง แต่จะมีส่วนยื่น-เว้าที่ผิวของมัน เพื่อที่จะทำให้ยางมีการเคลื่อนไหวจนเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีโรเตอร์ ทั้งสองหมุนเข้าหากัน

อุปกรณ์สำคัญในเครื่องบดผสมยางแบบปิดประกอบด้วยโรเตอร์ เสื้อ(mixing chamber) และประตูปล่อยยางออก (Discharge door) Ram ทำหน้าที่กดยางลงสู่ "เสื้อ" ในอุปกรณ์ทั้งหมดนี้จะมีการหล่อน้ำเพื่อควบคุมอุณหภูมิของเครื่องให้คงที่ รูปร่างของโรเตอร์ อธิบายได้ยากในบางครั้งอาจบอกกว้างๆว่าคล้ายเกลียว หรืออาจบอกว่ามีแง่ง หรือเป็นปีก ความเร็วของ โรเตอร์ อยู่ในช่วง 16-100 รอบต่อนาทีตามขนาดของเครื่อง เช่นในเครื่องขนาดเล็ก ความเร็วของ โรเตอร์ อาจจะเท่ากับ 45 รอบต่อนาที จนถึง 100 รอบต่อนาที ส่วนในเครื่องขนาดใหญ่จะใช้รอบช้าลงคือ 16-60 รอบต่อนาที

3.2.2 เครื่องผสมยางสองลูกกลิ้ง (Two-Roll Mill) รุ่น SK-B ผลิตโดยบริษัท สหวัฒนา จำกัด เป็นเครื่องมือที่ใช้บดผสมยางและสารเคมีต่างๆ เข้าด้วยกัน ลูกกลิ้งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.54 นิ้ว ขนาดความกว้างของลูกกลิ้งหน้าและลูกกลิ้งหลัง 19.5 นิ้ว เส้นรอบวง 30 นิ้ว ลูกกลิ้งหน้าหมุนด้วยความเร็ว 13 รอบต่อนาที ลูกกลิ้งหลังหมุนด้วยความเร็ว 14 รอบต่อนาที อัตราส่วนระหว่างความเร็วผิวของลูกกลิ้งหน้าต่อลูกกลิ้งหลัง (Friction ratio) เท่ากับ 1:1.07 ใช้ระบบน้ำหล่อเย็นเพื่อระบายความร้อนของลูกกลิ้งหน้าและลูกกลิ้งหลัง

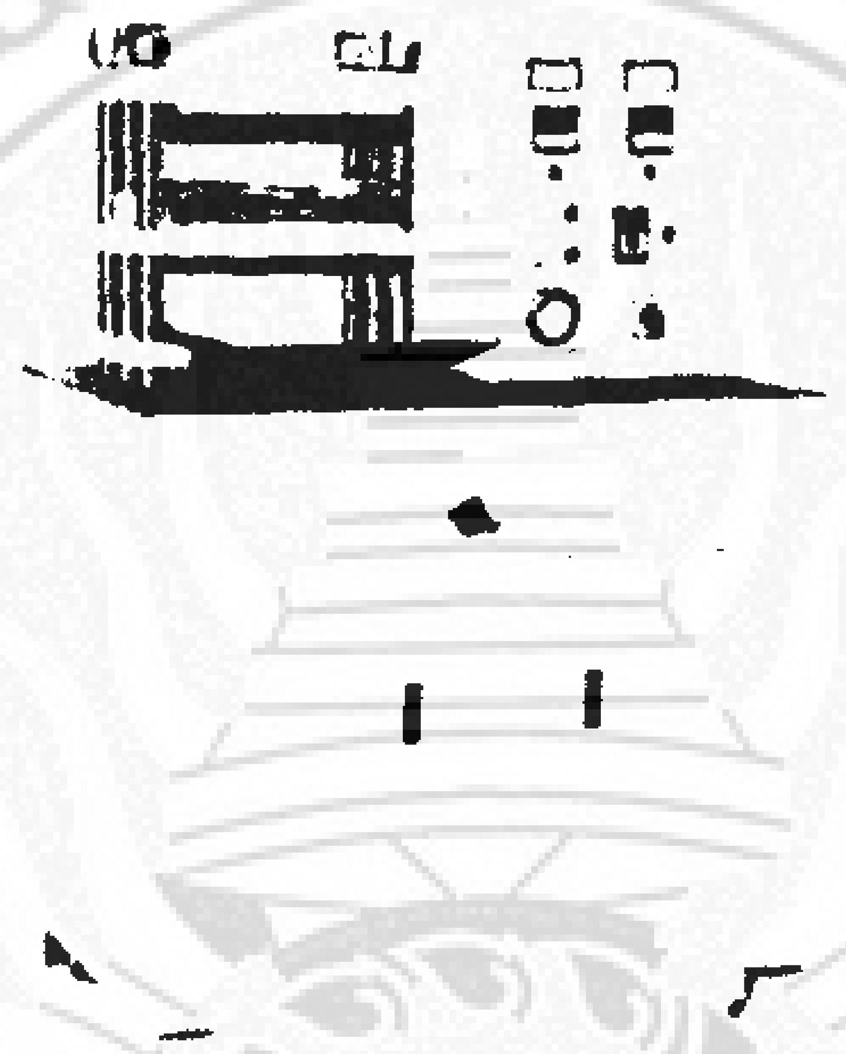


รูปที่ 3.1 เครื่องทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ของยาง

(http://www.gotech.com.tw/gb2312/products/products-1.,2003)

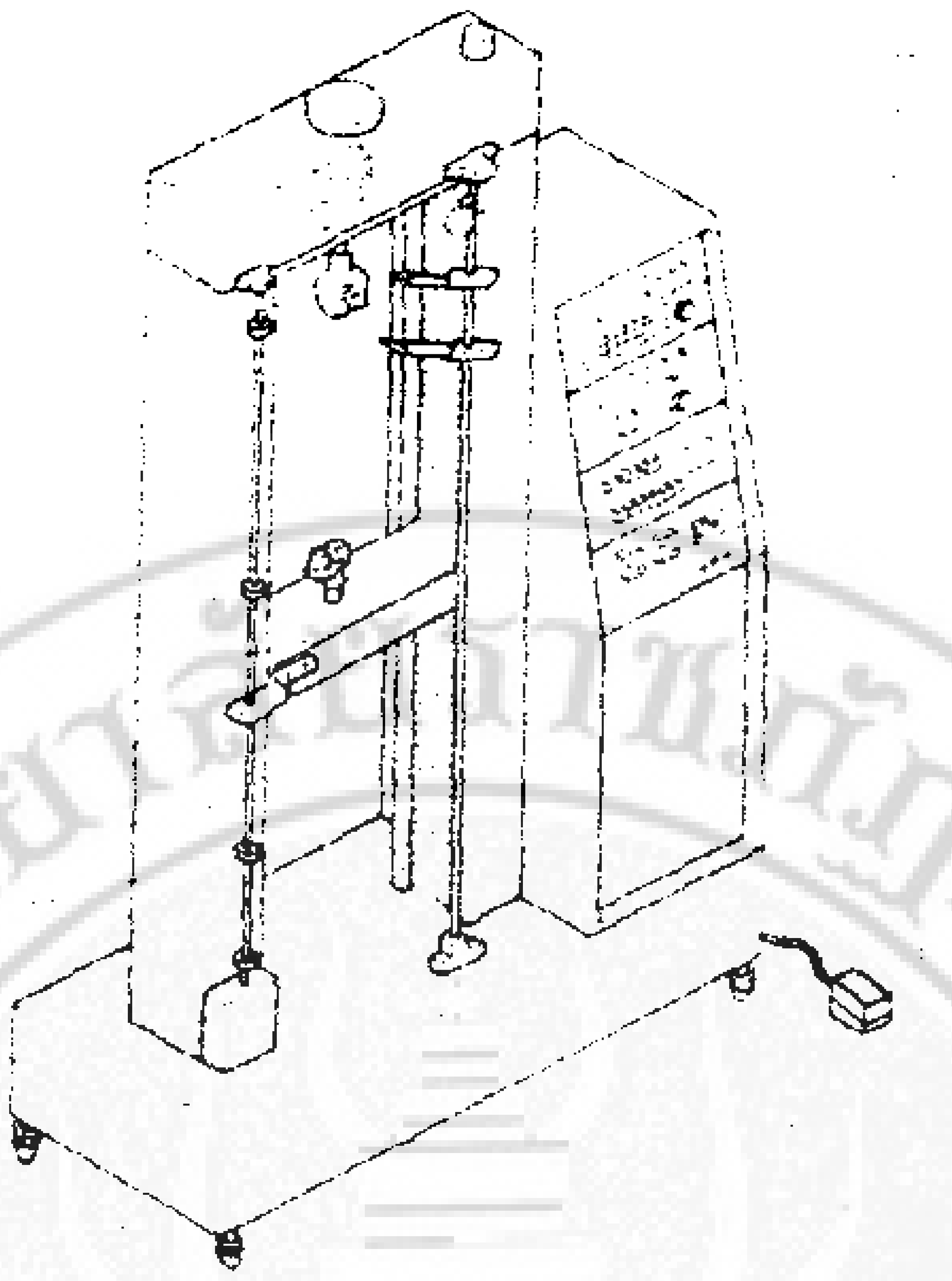
3.2.3 เครื่องทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ของยาง (Oscillating Disk Rheometer (ODR) 2000) เป็นเครื่องทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ของยาง (Cure characteristics) ประกอบด้วยโรเตอร์ (Rotor) รูปกรวยป้านสองด้านประกบกันอยู่ (Biconical disk) จานโลหะจะถูกห่อหุ้มด้วยยางที่ต้องการหาค่าระยะเวลาที่ยางสามารถแปรรูปได้ จานโลหะนี้จะแกว่งทำมุม 1 , 3 หรือ 5 องศา การแกว่งเช่นนี้ก่อให้เกิดแรงเฉือนกระทำต่อตัวอย่างยาง เมื่อยางเริ่มต้นเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลโมดูลัสของยางจะสูงขึ้นทำให้แรงบิดของโรเตอร์สูงขึ้น

3.2.4 เครื่องอัดเบ้ายาง (Compression moulding machine) เป็นเครื่องจักรที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ ที่ทำให้ยางขึ้นรูป สามารถปรับตั้งค่าอุณหภูมิและความดันที่กระทำต่อยางได้ตามต้องการ ผลิตโดยบริษัท GOTECH TESTING MACHINES INC. รุ่น GT-7014-A10C ยี่ห้อ GOTECH ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 เครื่องอัดเบ้ายาง รุ่น GT-7014-A10C
(http://www.gotech.com.tw/gb2312/products/products-1.,2003)

3.2.5 เครื่องทดสอบสมบัติด้านการดึง (Micro Computer Tensile Tester) ยี่ห้อ Gotech รุ่น KT-7010A ผลิตโดยบริษัท TAICHUNG INDUSTRY PARK ประเทศไต้หวัน ดังแสดงในรูปที่ 3.3 สามารถรับแรงได้สูงสุด 200 กิโลกรัม หน้าจอเป็นระบบดิจิตอลและสามารถตั้งค่าต่างๆได้ สามารถตั้งความเร็วในการเคลื่อนที่ได้ ตั้งแต่ 20 ถึง 500 มิลลิเมตรต่อนาที มีเซลล์รับแรง (load cell) เป็นตัวแปลงสัญญาณจากค่าแรงดึง ผ่านวงจรอิเล็คทรอนิกเป็นค่าแรงมีหน่วยเป็นนิวตัน ใช้ทดสอบหาความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength) ความสามารถในการยืดจนขาด (Elongation at break) หาค่ามอดูลัสของยาง (Modulus) ความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear strength) และทดสอบหาค่าการคงตัวอย่างถาวร (Tension set) ของยาง



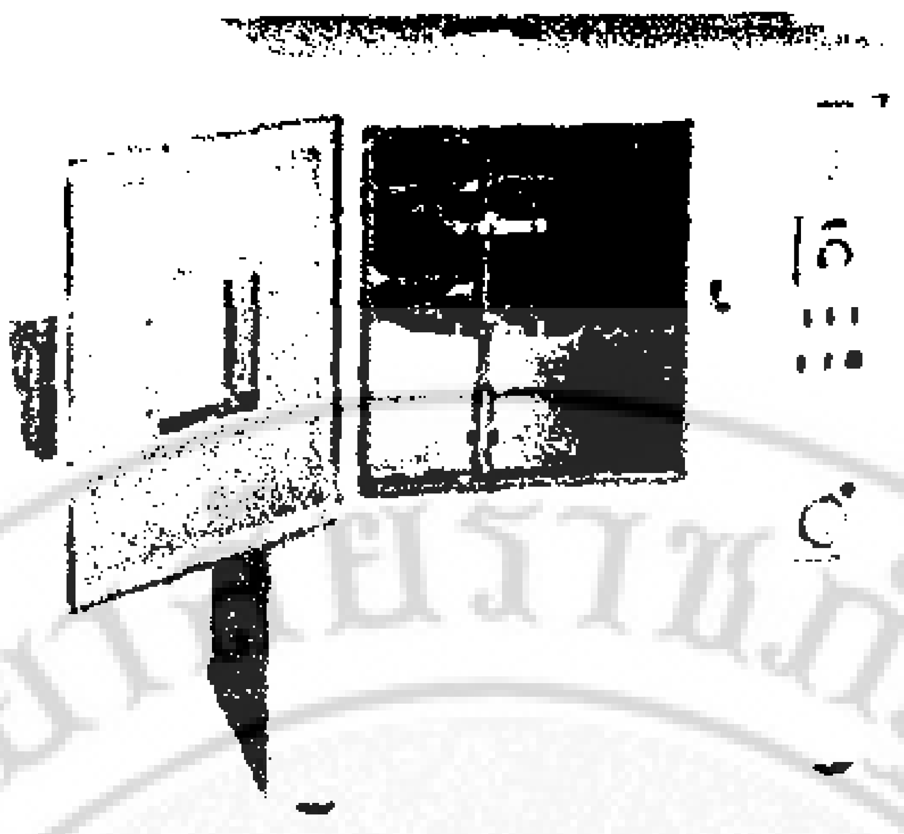
รูปที่ 3.3 เครื่องทดสอบสมบัติด้านการดึง

3.2.6 เตาเผา ยี่ห้อ CARBOLITE รุ่น RWF 1100 ขนาดกว้าง 17 นิ้ว ยาว 10 นิ้วและสูง 8.5 นิ้ว มีช่วงการปรับตั้งอุณหภูมิตั้งแต่ 0 - 1100 องศาเซลเซียส นำเข้าโดยบริษัท เบคไทยกรุงเทพอุปกรณ์เคมีภัณฑ์ จำกัด

3.2.7 เครื่องชั่งไฟฟ้า (Electrical balance) ยี่ห้อ SHIMADSU รุ่น LIBAOR EB-220HU ผลิตโดยบริษัท SHIMADSU CORPORATION ชั่งได้ละเอียด 0.01 กรัม สามารถรับน้ำหนักได้สูงสุด 2200.00 กรัม

3.2.8 เครื่องชั่งไฟฟ้า (Electrical balance) ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น AB204-S ผลิตโดยบริษัท METTLER จำกัด จำหน่ายโดย เค.เอส.พี อินเตอร์เคม จำกัด ชั่งได้ละเอียด 0.0001 กรัม สามารถรับน้ำหนักได้สูงสุด 220 กรัม

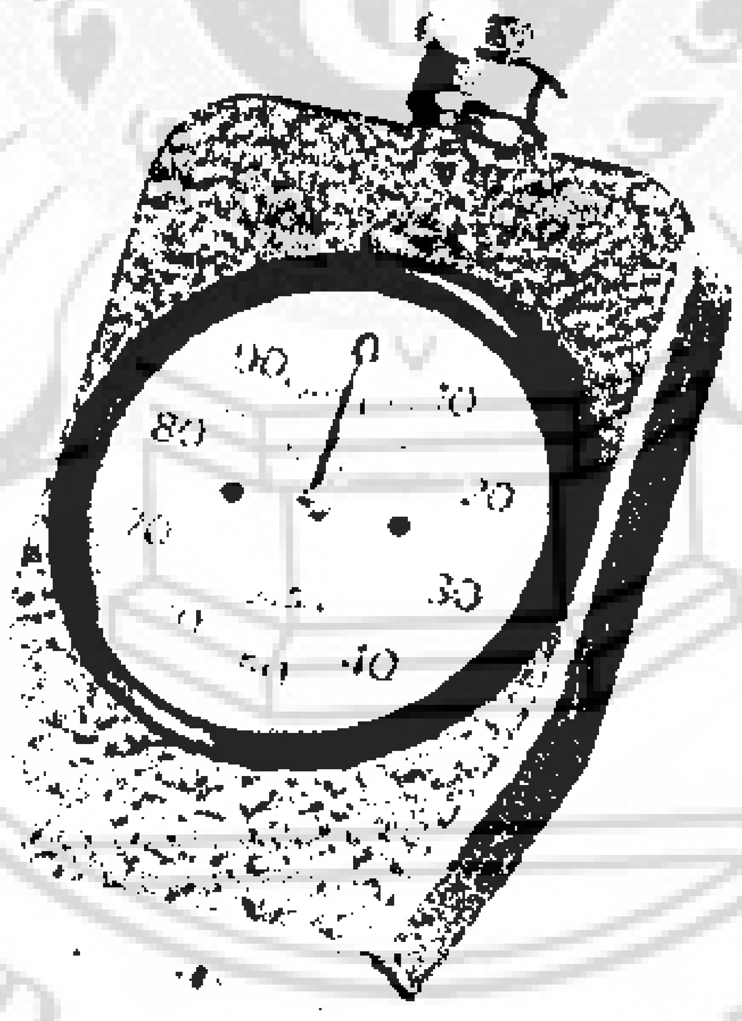
3.2.9 เตาอบบ่มเร่ง (Ageing oven) รุ่น GEER OVEN GPHH – 200 ขนาดกว้าง 26 นิ้ว ยาว 23 นิ้วและสูง 23 นิ้ว มีช่วงการปรับตั้งอุณหภูมิตั้งแต่ 0 - 200 องศาเซลเซียส ผลิตโดยบริษัท OSAKA TABAI ESPEC Corp. ประเทศ ญี่ปุ่น มีที่แขวนชิ้นทดสอบซึ่งหมุนตลอดเวลา ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 เตาอบบ่มเร่ง

3.2.10 เครื่องวัดความหนา (Micrometer) ยี่ห้อ TECLOCK ผลิตโดยบริษัท TECLOCK CORPORATION ประเทศ ญี่ปุ่น สามารถวัดได้ละเอียด 0.01 มิลลิเมตร ใช้วัดความหนาชิ้นทดสอบ

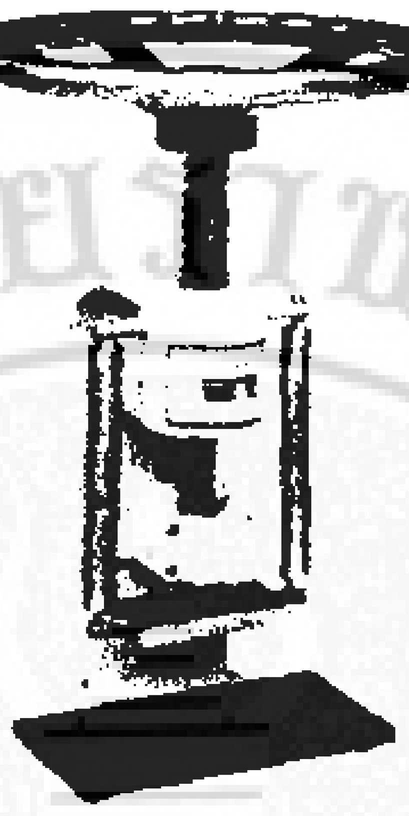
3.2.11 เครื่องวัดความแข็ง (Hardness Tester) เป็นเครื่องวัดความแข็งแบบชอร์ดูโรมิเตอร์ (Shore durometer) ยี่ห้อ TECLOCK รุ่น GS – 706N ผลิตโดยบริษัท TECLOCK CORPORATION ประเทศญี่ปุ่น ใช้วัดความแข็งของชิ้นทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.5



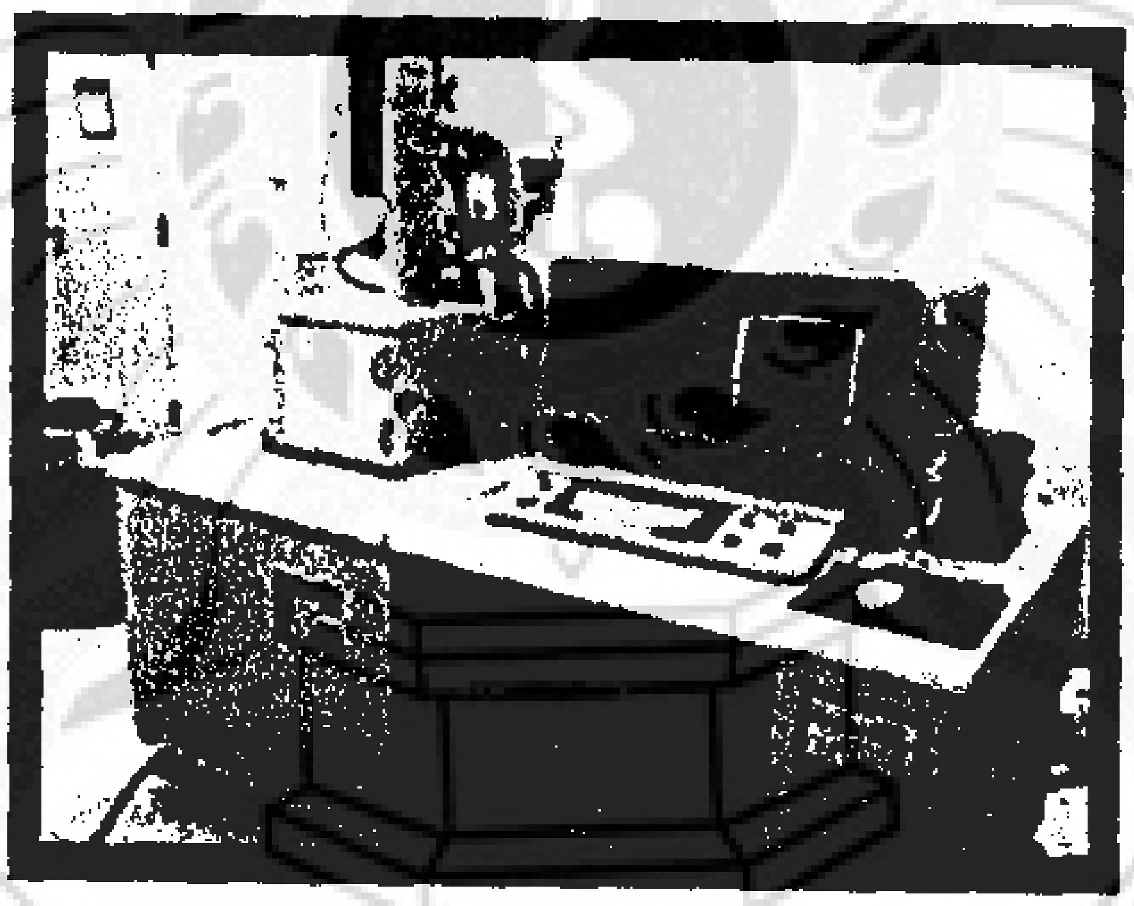
รูปที่ 3.5 เครื่องวัดความแข็ง

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

3.2.12 เครื่องตัดชิ้นทดสอบ (Cut press) ยี่ห้อ GOTECH ผลิตโดยบริษัท TAICHUNG INDUSTRY PARK ประเทศไต้หวัน เป็นเครื่องที่ใช้สำหรับตัดชิ้นทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 เครื่องตัดชิ้นทดสอบ GOTECH รุ่น GT-7016
(http://www.gotech.com.tw/gb2312/products/products-1.,2002)



รูปที่ 3.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น JSM-5800LV JEOL
(http://www.sec.psu.ac.th)

3.2.13 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น JSM-5800 LV ผลิตโดยบริษัท JEOL ประเทศญี่ปุ่น เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยาย 18-300,000 เท่า ทำงานได้ทั้งภายใต้สูญญากาศต่ำและสูง การทำงานของเครื่องควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ สามารถบันทึก

ภาพและเก็บข้อมูลในคอมพิวเตอร์ สามารถขยายภาพที่ต้องการโดยใช้กำลังขยายสูงและได้ภาพสามมิติมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุในโครงสร้างจุลภาคชนิดแจกแจงพลังงาน (Energy Dispersive X-ray Spectrometer) วิเคราะห์ธาตุที่มีเลขอะตอมได้ตั้งแต่ 6C - 92U ทั้งการวิเคราะห์เชิงปริมาณและคุณภาพ สามารถบันทึกภาพการกระจายของธาตุต่างๆได้

รูปที่ 3.8 เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์

(http://www.sec.psu.ac.th)

3.2.14 เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (XRD) รุ่นX- 'Pxert MTD ผลิตโดยบริษัท Philip ประเทศไต้หวัน เป็นเครื่องมือวิเคราะห์หาสูตรโมเลกุลของสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ที่มีโครงสร้าง เป็นผลึก ตัวอย่าง อยู่ในรูปของแข็งผิวเรียบ หรือผง ใช้เวลาในการวิเคราะห์ผลประมาณ 2-3 นาที เป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายตัวอย่าง จึงเป็นวิธีที่สะดวกในการศึกษารูปแบบโครงสร้างผลึกสารประกอบ และสามารถทำการวิเคราะห์ได้ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณ ควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ที่ทันสมัย มีฐานข้อมูลมาตรฐานรูปแบบโมเลกุลของผลึกสารประกอบมากกว่า 70,000 เฟส ที่สามารถค้นหาได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ

3.2.15 เครื่องเลเซอร์พาร์ติเคิลไซส์อนาลเซอร์ รุ่น LS 230 บริษัท COULTER เป็นเครื่องมือวัดขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของสาร โดยวัดขนาดอนุภาคที่กระจายตัวอยู่ในผงแห้ง สารแขวนลอยและของเหลว (น้ำ) ด้วยความเร็ว 60 % Model Garnet.rfd

3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.3.1 การเตรียมเถ้าแกลบ

1. ล้างแกลบข้าวด้วยน้ำสะอาดแล้วนำมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 นาที (นริศรา และคณะ, 2540)

2. นำแกลบข้าวมาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้เตาเผา (Jitcharoen, *et. al.*, 2003)

3. ทิ้งให้เย็นลงในดิสซิเคเตอร์ เป็นเวลา 30 นาที

4. คำนวณหาค่าปริมาณเถ้าแกลบที่ได้ โดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณเถ้าแกลบ} (\%) = \frac{\text{(น้ำหนักหลังเผา)}}{\text{น้ำหนักก่อนเผา}} \times 100$$

5. ทดสอบสมบัติเปรียบเทียบระหว่างเถ้าแกลบที่เตรียมได้กับซิลิกาดังนี้

5.1 ทดสอบขนาดอนุภาคของเถ้าแกลบ

นำเถ้าแกลบที่เตรียมจากข้อ 3.3.1 และซิลิกามาวัดขนาดอนุภาค โดยใช้เครื่อง Laser Particle Size Analyzer (COULTER LS 230) ซึ่งเครื่องจะวัดขนาดของอนุภาคสารที่กระจายตัวอยู่ในของเหลว (น้ำ) ด้วยความเร็ว 60% Model Garnet.rfd สามารถวัดขนาดอนุภาคได้ในช่วง 0.04 - 2000 ไมครอน เครื่องจะรายงานผลการทดสอบมีหน่วยเป็นไมครอน ทดสอบโดยศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

5.2 ทดสอบความเป็นผลึก

การวิเคราะห์ความเป็นผลึกโดยใช้ X-Ray Diffractometer (XRD) ทำโดยนำเถ้าแกลบที่เตรียมจากข้อ 3.3.1 และซิลิกามาบดให้ละเอียดแล้วอัดลงบนแผ่นกระจกรองตัวอย่าง ทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง เอ็กซ์เรย์ ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ (PHILIPS X ' Pert MPD) ทดสอบโดยศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

3.3.2 ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการใช้เถ้าแกลบกับซิลิกาเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ

ในการทดลองนี้ใช้ยางธรรมชาติ คือ ยางเอสทีอาร์ 5 แอล โดยใช้การวัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ ผสมยางกับสารเคมีตามสูตร ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ปริมาณสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในสูตรยางคอมเปานด์

Ingredients	Quantity (phr)						
	1	2	3	4	5	6	7
STR 5L	100	100	100	100	100	100	100
Stearic acid	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Zinc Oxide	5	5	5	5	5	5	5
MBT	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
DEG	-	1.25	2.5	3.75	1.25	2.5	3.75
RHA	-	25	50	75	-	-	-
Silica	-	-	-	-	25	50	75
Sulphur	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5

ทำการบดผสมยางกับสารเคมีโดยใช้เครื่องบดผสมแบบปิด ตามมาตรฐาน ASTM D3184-80 ซึ่งมีลำดับขั้นตอนและระยะเวลาดังตารางที่ 3.2 หลังจากนั้นนำยางคอมเปานด์ที่ได้ไปทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางคอมเปานด์ สมบัติของยางวัลคาไนซ์และสมบัติทางสัณฐานวิทยา

ตารางที่ 3.2 ลำดับขั้นตอนการผสมสารเคมี

ขั้นตอน	เวลา (นาที)
1. บดยาง	0.5
2. เติมเอ็มบีที	0.5
3. เติมกรดสเตียริก	1.0
4. เติมซิงค์ออกไซด์ + ½ สารตัวเติม + ½ ไดเอทธีลีนไกลคอล	1.5
5. เติม ½ สารตัวเติม + ½ ไดเอทธีลีนไกลคอล	2.0
6. เติมกำมะถัน	1.0
7. รีดแผ่น	1.0

3.3.3 การทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางคอมเปานด์

นำยางคอมเปานด์มาทำการทดสอบคุณสมบัติลักษณะการวัลคาไนซ์ ด้วยเครื่องทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ รุ่น GOTECH GT-7070-2S ตามมาตรฐาน ASTM 2084-81 ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส จานโลหะมีมุมบิด 1 องศา หาค่าแรงบิดต่ำสุดที่เกิดจากการเฉือนระหว่างยางกับจานโลหะ (minimum torque (M_L), lb-in) ค่าแรงบิดสูงสุดที่เกิดจากการเฉือนระหว่างยางกับจานโลหะ (maximum torque (M_H), lb-in) หาช่วงเวลาที่ยังสามารถแปรรูปยางคอมเปานด์ได้ (scorch time (t_s1), min) หาเวลาในการวัลคาไนซ์ (cure time (t 90), min) ซึ่งเป็นเวลาที่ยางมีค่าแรงบิดเป็น M_L+90(M_H-M_L)/100 ดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ (cure rate index (CRI), min^{-1}) คำนวณตามสมการที่ 3.1

Cure rate index (CRI) :

$$CRI\ (min^{-1}) = \frac{100}{curetime - scorchtime} \quad \text{------------------- (3.1)}$$

3.3.4 การทดสอบสมบัติของยางวัลคาไนซ์

นำยางคอมเปานด์ที่เตรียมจากข้อ 3.3.2 มาอัดเบ้าเพื่อเตรียมชิ้นทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 3181-74 ด้วยเครื่องอัดเบ้ายางแบบไฮโดรลิคตามระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 5 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร หลังจากนั้นนำชิ้นทดสอบที่ได้ไปทดสอบ ตามรายละเอียดต่อไปนี้

3.3.4.1 การทดสอบหาความหนาแน่น (Density) ของยาง

ตัดชิ้นตัวอย่างยางวัลคาไนซ์จากบริเวณที่แตกต่างกันของแผ่นยางให้ได้ชิ้นตัวอย่างยางที่มีผิวเรียบน้ำหนักไม่เกิน 5 กรัม สูตรละ 2 ตัวอย่าง ชั่งน้ำหนักของชิ้นยางอย่างละเอียด บันทึกน้ำหนักเป็น W ชั่งน้ำหนักชิ้นตัวอย่างยางในน้ำ โดยจะต้องไล่ฟองอากาศที่เกาะบนผิวของชิ้นตัวอย่างยางออกให้หมด บันทึกน้ำหนักเป็น W_1 คำนวณความหนาแน่นของยางตามสมการที่ 3.2 รายงานโดยใช้ค่าเฉลี่ย

$$\text{ความหนาแน่น } (g/cm^3) = \frac{W}{W-W_1} \quad \text{----------------- (3.2)}$$

เมื่อ W คือ น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างเมื่อชั่งในอากาศ (กรัม)

W_1 คือ น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างยางเมื่อชั่งในน้ำ (กรัม)

3.3.4.2 การทดสอบสมบัติด้านการดึง (Tensile properties)

ตัวอย่างชิ้นทดสอบสำหรับทดสอบค่า ความต้านทานต่อแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D 412-80 ทำโดยนำแผ่นยางที่ได้จากการอัดเบ้ามาตัดชิ้นทดสอบเป็นรูปดัมเบลขนาด Die Type C ตัวอย่างชิ้นทดสอบที่ใช้ทดสอบจะต้องแบนหนาไม่ต่ำกว่า 1.5 มิลลิเมตร และไม่เกิน 3 มิลลิเมตร มาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบด้านการดึง ใช้อัตราเร็วในการดึงชิ้นทดสอบ 500 มิลลิเมตรต่อนาที วัดแรงดึงและระยะที่ยางยืดจนขาดแล้วนำไปคำนวณสมบัติต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.3.4.2.1 การทดสอบความต้านทานต่อการดึง (Tensile strength, TS)

สูตรการคำนวณความต้านทานต่อการดึงแสดงดังสมการที่ 3.3

$$\text{TS (MPa)} = \frac{F}{A} \qquad \text{.....................(3.3)}$$

เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ดึงชิ้นทดสอบจนขาด (นิวตัน)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบก่อนการดึง (ตารางมิลลิเมตร)

3.3.4.2.2 การทดสอบค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 300 เปอร์เซ็นต์ (300 % Modulus)

สูตรการคำนวณค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 300 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังสมการที่ 3.4

$$\text{300\% Modulus (MPa)} = \frac{F_{300}}{A} \qquad \text{..................................(3.4)}$$

เมื่อ F_{300} คือ แรงที่ใช้ดึงชิ้นทดสอบที่ระยะ 300 เปอร์เซ็นต์ของระยะเดิม (นิวตัน)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบก่อนการดึง (ตารางมิลลิเมตร)

3.3.4.2.3 การทดสอบความสามารถในการยืด (Elongation at break, EB)

สูตรการทดสอบความสามารถในการยืด แสดงดังสมคารที่ 3.5

$$\text{EB (\%)} = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100 \qquad \text{........................ (3.5)}$$

เมื่อ L คือ ระยะห่างของรอยขีดบนชิ้นทดสอบขณะชิ้นทดสอบขาด (เซนติเมตร)

L_0 คือ ระยะห่างของรอยขีดบนชิ้นทดสอบก่อนการดึง (เซนติเมตร)

3.3.4.3 การทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear strength, Ts)

ทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาดตามมาตรฐาน ASTM D 624-81 ทำโดยนำ แผ่นยางที่ได้จากการอัดเบ้ามาตัดเป็นชิ้นทดสอบแบบมุม ขนาด Die Type B ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบด้านการดึง ใช้อัตราเร็วในการดึงชิ้นทดสอบ 500 มิลลิเมตรต่อนาที วัดแรงดึงสูงสุดที่ชิ้นทดสอบขาดออกจากกันแล้วนำไปคำนวณค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดตามสมการที่ 3.6

$$Ts\ (N/mm) = \frac{F}{d} \quad \text{..................... (3.6)}$$

เมื่อ F คือ แรงดึงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นทดสอบขาดออกจากกัน (นิวตัน)

d คือ ความหนาของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)

3.3.4.4 การทดสอบค่าความแข็ง (Hardness)

ทดสอบค่าความแข็งตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 2240-81 ทำโดยนำชิ้นทดสอบที่ได้จากการอัดเบ้า มาทดสอบค่าความแข็ง ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแบบ Durometer Shore A แล้วบันทึกค่าความแข็งที่วัดได้

3.3.4.5 การทดสอบคุณสมบัติหลังการบ่มเร่ง (Aging)

นำชิ้นทดสอบที่ได้จาก ข้อ 3.3.4.2 มาทดสอบการบ่มเร่งตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 573 – 81 โดยใช้ตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 72 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดแล้วตั้งชิ้นทดสอบไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 16 ชั่วโมง แต่ไม่เกิน 76 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นทดสอบไปทดสอบตามข้อ 3.3.4.2.1, 3.3.4.2.3 และ 3.3.4.4 บันทึกผลการทดสอบ

3.3.5 การทดสอบสมบัติทางสัณฐานวิทยา (Morphological properties)

นำยางวัลคาไนซ์ ตามตารางที่ 3.1 มาแช่ในไนโตรเจนเหลวแล้วหักและนำไปติดบนฐานรองโดยใช้เทปกาวคาร์บอน และนำไปเคลือบผิวด้วยทองโดย sputtering technique ก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ทดสอบโดยศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

3.3.6 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณเถ้าแกลบต่อสมบัติของยางธรรมชาติ

ทำการบดผสมยางธรรมชาติ ในการทดสอบนี้ใช้ยางเอสทีอาร์ 5 แอล กับสารเคมีโดยใช้เครื่องบดผสมแบบปิดตามรายละเอียดในตารางที่ 3.3 โดยแปรปริมาณเถ้าแกลบ (RHA) เป็น 0, 10, 25, 40, 50, 60 และ 75 phr ตามมาตรฐาน ASTM D 3184-80 ซึ่งมีลำดับขั้นตอนและระยะเวลาดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.3 ปริมาณสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในสูตรยางคอมเปานด์

Ingredients	**Quantity (phr)**						
	1	2	3	4	5	6	7
STR 5L	100	100	100	100	100	100	100
Stearic acid	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Zinc Oxide	5	5	5	5	5	5	5
MBT	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
DEG	-	0.5	1.25	2	2.5	3	3.75
RHA	-	10	25	40	50	60	75
Sulphur	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5

หลังจากนั้นนำยางคอมเปานด์ที่ได้ไปทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์เช่นเดียวกับข้อ 3.3.3 และทดสอบสมบัติของยางวัลคาไนซ์เช่นเดียวกับข้อ 3.3.4

3.3.7 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณการใช้ไดเอทธีลีนไกลคอลร่วมกับเถ้าแกลบต่อสมบัติของยางธรรมชาติ

ทำการบดผสมยางธรรมชาติ ในการทดสอบนี้ใช้ยางเอสทีอาร์ 5 แอล กับสารเคมีโดยใช้เครื่องบดผสมแบบปิดตามรายละเอียดในตารางที่ 3.4 โดยใช้เถ้าแกลบปริมาณ 50 phr ร่วมกับไดเอทธีลีนไกลคอลในปริมาณ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณเถ้าแกลบตามมาตรฐาน ASTM D 3184-80 ซึ่งมีลำดับขั้นตอนและระยะเวลาดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.4 ปริมาณสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในสูตรยางคอมเปานด์

Ingredients	Quantity (phr)					
	1	2	3	5	6	7
STR 5L	100	100	100	100	100	100
Stearic acid	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Zinc Oxide	5	5	5	5	5	5
MBT	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
DEG	-	1	2	3	4	5
RHA	50	50	50	50	50	50
Sulphur	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5

หลังจากนั้นนำยางคอมเปานด์ที่ได้ไปทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์เช่นเดียวกับข้อ 3.3.3 และทดสอบสมบัติของยางวัลคาไนซ์เช่นเดียวกับข้อ 3.3.4

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY