บทที่ 3
วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้มีการนำเอาวัสดุ สารเคมี อุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆมาใช้ในการเตรียมตัวอย่าง ในบทนี้ได้มีการกล่าวถึงรายละเอียดวิธีการทดลอง ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง และการทดสอบหาค่าการนำความร้อน ทดสอบการทนต่อการดึง ทดสอบสมบัติการไหล และค่าความหนาแน่น ซึ่งสามารถศึกษารายละเอียดต่างๆดังนี้

3.1 วัสดุและสารเคมี

3.1.1 ยางแท่ง (NR (STR 5L))

3.1.2 ยางรีเคลม

3.1.3 สารเคมี

3.1.3.1 ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO) ชนิด White seal

3.1.3.2 กรดสเตียริก (Stearic acid)

3.1.3.3 Tetramethylthiuram Disulphide (TMTD)

3.1.3.4 N-phenyl-N´-1, 3-dimethylbutyl-p-phenylenediamine (6PPD)

3.1.3.5 กำมะถัน (Sulphur)

3.1.4 สารตัวเติม

3.1.3.1 โซเดียมไบคาร์บอเนต

3.1.3.2 เศษแผ่นฟิล์ม LDPE

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.01 กรัม

3.2.2 เครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง (two-roll Mill)

เครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง เป็นเครื่องมือที่ใช้ทำให้ยางมีความแข็งลดลงหรือนิ่มลง ในกระบวนดังกล่าว โมเลกุลของยางเกิดการฉีกขาดจากกัน ทำให้ขนาดของโมเลกุลของยางเล็กลง การที่

Prince of Songkla University Pattani Campus

ยางนิ่มลงทำให้สามารถแปรรูปยางได้ รวมทั้งสามารถนำสารเคมีมาผสมในยางให้มีสมบัติตามต้องการได้ กระบวนการที่ทำให้ยางนิ่มนี้มีชื่อเรียกว่า masticate การที่เครื่องบดยางสองลูกกลิ้งทำให้ยางนิ่มลงได้นั้น เกิดจากปัจจัยหลายประการ (บุญธรรมและปรีชา, 2534) เช่น

3.2.2.1 ความเร็วของผิวของลูกกลิ้งทั้งสองไม่เท่ากัน ซึ่งจะทำให้โมเลกุลของยางเกิดการฉีกขาดได้

3.2.2.2 ออกซิเจนในบรรยากาศ จะทำให้โมเลกุลของยางที่ขาดออกจากกันนั้น ไม่อาจกลับมารวมตัวกันใหม่ได้

3.2.2.3 อุณหภูมิของลูกกลิ้ง มีผลทำให้ยางนิ่มช้าหรือเร็วได้ ถ้าให้อุณหภูมิของลูกกลิ้งต่ำ ยางจะแข็งตัว

ภาพที่ 3.1 เครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง (two roll mill)

3.2.4 เครื่อง Oscillating Disc Rheometer (ODR)

เครื่อง Oscillating Disc Rheometer เป็นเครื่องที่ใช้สำหรับหาเวลาการสุกของยาง

3.2.4.1 หลักการทำงานโดยย่อของเครื่อง

ทำได้โดยการนำยางที่ผสมสารเคมีเรียบร้อยแล้วใส่ลงในห้องใส่ยางที่ปิดมิดชิด ใช้ความดันกดยางให้อยู่ภายในห้องนั้น รักษาอุณหภูมิของห้องให้สูงตามกำหนดที่ต้องการจะทดสอบภายในห้องจะมีจานโลหะรูปกรวยป้านสองด้านประกบกันอยู่ จานโลหะดังกล่าวจะถูกห่อหุ้มด้วยยางตัวอย่างที่ใส่เข้าไป จานโลหะนี้จะหมุนทำมุมน้อยๆกลับไปกลับมาตามแนวแกนตั้ง การหมุนเช่นนี้ก่อให้เกิดแรงเฉือนกระทำต่อยาง แรงที่ต้องใช้ในการหมุนจานโลหะในตำแหน่งสูงสุดจะขึ้นกับความแข็งหรือ shear modulus ของตัวอย่างยางนั้น แรงบิดดังกล่าวจะแสดงผลบันทึกตามเวลาที่ผ่านไป ความแข็งของยางจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในระหว่างวัลคาไนซ์การทดสอบจะถือว่าสิ้นสุดเมื่อแรงบิด

ที่บันทึกได้ถึงจุดสมดุลหรือถึงจุดสูงสุดหรือถึงเวลาที่กำหนดไว้ เวลาดังกล่าวขึ้นอยู่กับส่วนผสมสารเคมีในยางและอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบ (บุญธรรมและปรีชา, 2534)

สูตรคำนวณการหาเวลาวัลคาไนซ์ (cure time)

$$t_{90} = \frac{90}{100}(M_H - M_L) + M_L$$

เมื่อ t_{90} คือ เวลาเป็นนาที ที่เส้นกราฟจะสูงเป็น 90% ของแรงบิดที่เพิ่มขึ้น หน่วย min

M_H คือ ค่าทอร์กหรือโมเมนต์สูงสุด หน่วย dN.m

และ M_L คือ ค่าทอร์กหรือโมเมนต์ต่ำสุด หน่วย dN.m

ภาพที่ 3.2 เครื่อง Oscillating Disc Rheometer (ODR)

3.2.5 เครื่องขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบอัด (Compression Moulding)

การอัดยางเข้าเบ้าพิมพ์เป็นกระบวนการแปรรูปยางชนิดหนึ่ง เพื่อผลิตยางให้มีรูปร่างตามแบบพิมพ์ที่ต้องการ ซึ่งในการอัดยางแบบ compression moulding จะใช้ระบบไฮโดรลิคเป็นหลัก กระบวนการการทำผลิตภัณฑ์ยางโดยใช้วิธี Compression Moulding มีดังต่อไปนี้ (บุญธรรมและปรีชา, 2534)

3.2.5.1 การเตรียม Rubber Compound (ยางที่ทำการผสมสารเคมีแล้ว)

นำยางที่ผสมสารเคมีแล้ว มาทำการตัดให้ได้ขนาด รูปร่าง และน้ำหนักตามต้องการโดยทั่วไปมักจะให้ยางคอมปาวน์นี้มีปริมาตรมากกว่าปริมาตรของแบบพิมพ์อยู่ประมาณ 5 – 15%

3.2.5.2 การเตรียมแบบพิมพ์เพื่ออัดยาง

แบบพิมพ์ที่ใช้ในการอัดยางมักจะทำด้วยเหล็กหรืออลูมิเนียม แบบพิมพ์จะมีช่องที่จะให้ยางไหลเข้าไปอยู่รอบๆ ของแบบพิมพ์และจะมีช่องให้ยางที่ใส่เกินปริมาตรไหลล้นออกมา นอกจากนี้ก่อนที่จะนำยางใส่ลงไปในแบบพิมพ์จะต้องอุ่นแบบพิมพ์ให้ร้อนเท่ากับอุณหภูมิที่จะอัดยางเสียก่อน

3.2.5.3 การอัดยาง

นำยางคอมปาวน์ใส่เข้าไปในแบบพิมพ์ที่ให้ความร้อนแล้วปิดฝา นำเข้าไปอัดในเครื่องอัดไฮโดรลิคแล้วทำการอัดยางโดยเร็ว จนกระทั่งฝาบนของแบบพิมพ์ใกล้จะสัมผัสกับแผ่นอัดบนจากนั้นลดความเร็วในการอัดลงเพื่อให้ยางไหลเข้าไปในแบบพิมพ์อย่างสม่ำเสมอและไล่อากาศออกไป เพราะในบางครั้งการอัดครั้งเดียวไม่อาจที่จะไล่อากาศที่ขังในเนื้อยางและแบบพิมพ์ได้ จะต้องมีการไล่อากาศโดยการอัดแล้วคลายการอัดออกเล็กน้อยแล้วอัดใหม่ อาจจะทำ 1 - 2 ครั้งหรือมากกว่านั้น

3.2.5.4 การกำหนดอุณหภูมิและเวลาในการอัดยาง

เวลาและอุณหภูมิของการอัดเป็นสิ่งที่สำคัญที่ต้องกำหนดในการอัดทุกครั้ง เวลาและอุณหภูมิมีความสัมพันธ์กันอย่างยิ่ง โดยทั่วไปถ้าเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอีก 10 องศาเซลเซียส เวลาในการอัดจะลดลงได้ประมาณครึ่งหนึ่ง แต่ระยะเวลาที่ใช้จริงๆนั้นขึ้นอยู่กับสูตรของยางและความหนาของยาง

ภาพที่ 3.3 เครื่องขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบอัด (Compression Moulding)

3.2.6 ชุดทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของฉนวนความร้อน

ชุดทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของฉนวนกันความร้อน เป็นเครื่องมือสำหรับวัดสมบัติการถ่ายเทความร้อนของฉนวนกันความร้อนประกอบด้วยตัวเก็บข้อมูลรุ่น EASY SENSE Advanced หัววัดอุณหภูมิรุ่น Smart Temperature Sensor และหัววัดค่าการส่งผ่านความร้อนรุ่น Smart Q Heat flow Sensor ผลิตโดย DATA HARVEST (นพดล ผลไชย,2551)

3.2.6.1 หลักการทำงานโดยย่อของเครื่องมือ

ชุดทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของฉนวนกันความร้อนสร้างขึ้นมาเพื่อกันความร้อนจากภายนอกเป็นพิเศษ สร้างตู้หุ้มฉนวน 3 ชั้น พร้อมควบคุมอุณหภูมิและเวลาในการทดสอบ ชุดทดสอบจะประกอบไปด้วยตู้ 2 ตู้ โดยจะให้ความร้อนจากตู้ที่ 1 ส่งผ่านตัวอย่างไปยังตู้ที่ 2 ในตู้ที่ 1 นั้นจะประกอบด้วยหลอดไฟทำหน้าที่ให้ความร้อน พัดลมทำหน้าที่กระจายความร้อนให้คงที่ทั้งตู้และมีแท่งวัดอุณหภูมิ 2 ตัว คือ แท่งวัดอุณหภูมิห้องและแท่งวัดอุณหภูมิสัมผัสตัวอย่าง ส่วนในตู้ที่ 2 นั้นจะไม่มีการให้ความร้อนใด ภายในห้องที่ 2 จะประกอบไปด้วยแท่งวัดอุณหภูมิ 3 ตัว คือ แท่งวัดอุณหภูมิห้อง แท่งวัดอุณหภูมิสัมผัสตัวอย่างและ Heat flow ที่ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิที่ส่งผ่านแผ่นตัวอย่าง อุณหภูมิที่ได้ทุกตัวจะถูกบันทึกไว้ด้วยเครื่อง Data loger ควบคุมด้วยระบบอิเล็คทรอนิกส์มีความไวในการวัดข้อมูลทุกวินาทีและวัดข้อมูลละเอียดถึงทศนิยม 4 ตำแหน่ง

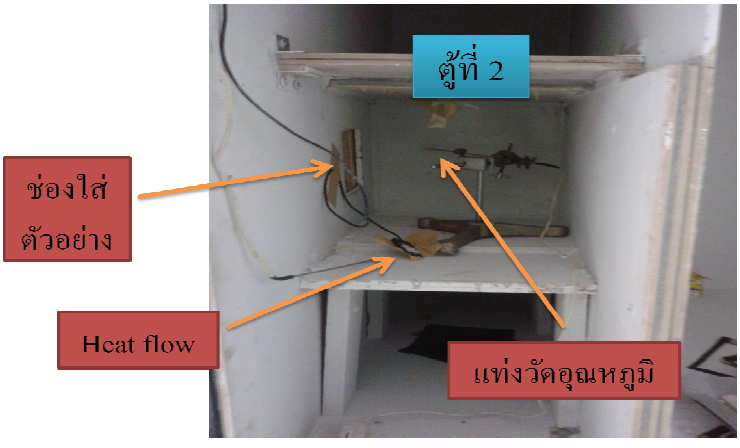
Prince of Songkla University Pattani Campus

3.2.6.2 การเตรียมตัวอย่าง

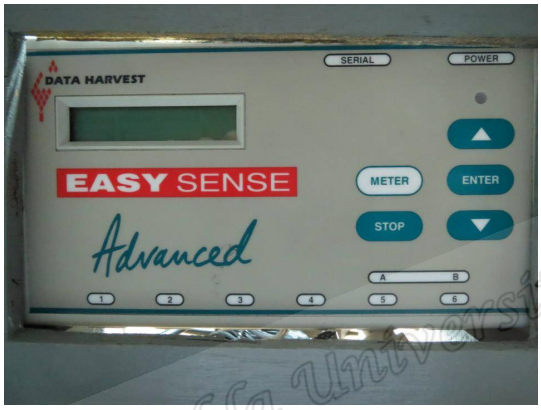
ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบการเป็นฉนวนนั้น เตรียมได้จากการนำยางที่ผสมสารเคมีแล้วไปอัดเบ้าเพื่อให้คงรูป แล้วนำมาตัดให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 16×16 cm^2 ความหนาที่ใช้คือ 0.1 mm

3.2.6.3 การทดสอบ

จะทำการทดสอบโดยการให้ความร้อนภายในตู้ที่ 1 อุณหภูมิที่ใช้ คือ 79°C เวลาในการทดสอบ คือ 24 ชั่วโมง ให้ความร้อนไปจนถึง 12 ชั่วโมง จากนั้นทำการปิดเครื่องหรือลดความร้อนใน 12 ชั่วโมงหลัง เพื่อเป็นการเปรียบเทียบในสภาวะจริง จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่อไป



ภาพที่ 3.4 ชุดทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของฉนวนกันความร้อน



ภาพที่ 3.5 ตัวเก็บข้อมูลรุ่น EASY SENSE Advanced ของบริษัท DATA HARVEST (นพดล ผลไชย, 2551)

Prince of Songkla University Pattani Campus

3.2.7 เครื่องทดสอบสมบัติการดึง (Tensile Meter) รุ่น H10KS

การทดสอบด้วยการดึงเป็นการทดสอบเพื่อหาสมบัติของวัสดุด้านความยืดหยุ่นหรือจุดที่วัสดุรับแรงได้สูงสุดโดยไม่เสียรูป การทดสอบโดยการดึงจะเป็นการให้แรงในแนวแกนเดียว แรงจะทำการกระจายไปทั่วพื้นผิวอย่างสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ หากนำแรงดังกล่าวมาหารด้วยพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบจะได้ค่าความเค้น (Stress, σ) ของชิ้นทดสอบ มีหน่วยเป็น N/m^2 หรือ Pa ในขณะที่ให้แรงแก่วัสดุทดสอบจะเกิดระยะยืดขึ้น หากนำระยะยืดดังกล่าวมาหารกับความยาวเริ่มต้นของชิ้นทดสอบจะได้ค่าความเครียด (Strain, ε) ค่าความเครียดของชิ้นทดสอบจะไม่มีหน่วย และหากนำค่าความเค้นมาหารด้วยความเครียดจะได้ค่ามอดูลัสของยัง (Young's Modulus, γ) ของชิ้นทดสอบ

3.2.7.1 การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมตัวอย่างโดยการนำยางที่ทำการอัดเบ้าแล้วไปตัดเป็นรูปดัมเบลเพื่อให้ง่ายต่อการยึดกับเครื่องมือในขณะที่ทำการทดสอบ

3.2.7.2 การทดสอบ

การทดสอบนั้นทำได้โดยการเปิดโปรแกรมที่ใช้ในการดึง ทำการป้อนข้อมูลต่างๆ เช่น ความยาว อัตราเร็วที่ใช้ เป็นต้น โดยการทดสอบนี้คือ 50, 100, 200, 300 และ 400 มม./นาที ทำการทดสอบจนกระทั่งชิ้นทดสอบขาดออกจากกัน จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาค่ามอดูลัสต่อไป

รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบสมบัติการดึง (Tensile Meter)

3.2.8 เครื่องทดสอบสมบัติการไหล (Capillary Rheometer) รุ่น Geottfert-Rheograph 20

การทดสอบสมบัติการไหลด้วยเครื่อง Capillary เป็นการทดสอบการไหลของตัวอย่าง โดยจะทำการผสมยางกับสารเคมีต่างๆ แล้วนำไปทดสอบด้วยเครื่อง Capillary การไหลของพลาสติกเหลวเป็นการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของตัวอย่างจากความเค้นเฉือน ในช่วงที่ตัวอย่างมีความเค้นเฉือนมากระทำนั้นโมเลกุลของตัวอย่างจะเกิดการเรียงตัวใหม่เพื่อทำให้เคลื่อนที่ผ่านโมเลกุลอื่นได้ง่าย ข้อดีของการทำให้ความหนืดลดลงนั้นมีหลายประการ เช่น ทำให้ลดพลังงานที่ใช้ในการแปรรูป เครื่องจักรใช้ในการผลิตมีขนาดลดลง เพิ่มปริมาณการผลิตได้มากขึ้น เป็นต้น

Prince of Songkla University Pattani Campus

ภาพที่ 3.7 เครื่องทดสอบสมบัติการไหล (Capillary Rheometer) รุ่น Geottfert-Rheograph 20

3.2.9 กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM) รุ่น Quanta 400 โดยมีกำลังขยายสูงสุดถึง 300,000 เท่า

การทดสองสมบัติทางกายภาพของชิ้นทดสอบเพื่อต้องการดูโครงสร้างภายในของตัวอย่างทดสอบได้โดยใช้เครื่อง SEM การสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวของชิ้นตัวอย่าง ภาพที่ได้เครื่อง SEM นี้มีลักษณะเป็นสามมิติ ดังนั้นเครื่อง SEM จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น พื้นที่หน้าตัดของวัสดุ ลักษณะพื้นผิวด้านนอกและด้านในของวัสดุ เป็นต้น

ภาพที่ 3.8 กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM) รุ่น Quanta 400

3.2.10 เครื่องวัดความหนาแน่น Electric Densimeter รุ่น MD – 300S และ Minimum density resolution: 0.001

การทดสอบหาค่าความหนาแน่นโดยใช้หลักการแทนที่ของน้ำ เมื่อนำชิ้นทดสอบไปหาน้ำหนักโดยการชั่งในอากาศและในน้ำจะสามารถนำค่าที่ได้ไปหาค่าความหนาแน่นได้จากสูตร

$$\rho = \frac{m}{V}$$

โดยที่

ρ คือ ความหนาแน่น (Kg/m^3)

m คือ มวลของชิ้นตัวอย่าง (Kg)

V คือ ปริมาตรของชิ้นตัวอย่าง (m^3)

ภาพที่ 3.9 เครื่องวัดความหนาแน่น Electric Densimeter

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมสารตัวเติม

3.3.1.1 เศษแผ่นฟิล์ม LDPE (Low Density Polyethylene; LDPE)

เศษแผ่นฟิล์ม LDPE ที่นำมาเป็นสารตัวเติมนั้นเป็นถุงพลาสติกที่ใช้บรรจุผักและผลไม้ ผลิตโดย บริษัท ทานตะวันอุตสาหกรรม จ.นครปฐม ก่อนนำไปผสมในเนื้อยางจะต้องตัดถุงเป็นชิ้นเล็กๆ เพื่อให้เกิดกระจายตัวในเนื้อยางอย่างสม่ำเสมอ

3.3.1.2 ยางรีเคลม (Reclaimed Rubber; RR)

RR มาจากเศษยางรถยนต์ที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว นำมาอัดรีดเพื่อให้ได้แผ่นยางที่สามารถใช้ได้อีกครั้ง

3.3.1.3 โซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium Bicarbonate; BA)

BA เป็นสารเคมีที่นำมาใส่ในการผสมยางเป็นสารเคมีตัวสุดท้ายเพื่อป้องกันไม่ให้ BA ทำปฏิกิริยากับยางคอมปาวน์

3.3.2 ออกแบบสูตรยาง

ตารางที่ 3.1 สูตรการผสมยางสูตร BA 0 phr

Chemical	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
NR	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
RR	0	0	0	0	200	200	200	200	400	400	400	400
ZnO	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Stearic acid	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
TMTD	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
6PPD	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
LDPE	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8
Blowing agent	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sulphur	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

ตารางที่ 3.2 สูตรการผสมยางสูตร BA 10 phr

Chemical	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
NR	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
RR	0	0	0	0	200	200	200	200	400	400	400	400
ZnO	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Stearic acid	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
TMTD	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
6PPD	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
LDPE	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8
Blowing agent	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Sulphur	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

Prince of Songkla University Pattani Campus

3.3.3 การผสมยาง

นำยางและสารเคมีบดผสมกันด้วยเครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง (two-roll mill) โดยใส่สารเคมีลงไปในเนื้อยางตามลำดับ

3.3.4 การหาเวลาสุกของยาง

ตัดชิ้นยางผสมสารเคมี (Rubber Compound) ที่ได้ไปหาเวลาสุกของยางด้วยเครื่อง Oscillating Disc Rheometer (ODR)

3.3.5 การอัดเบ้า

นำยางผสมสารเคมีไปอัดขึ้นรูป ด้วยเครื่องขึ้นรูปแม่พิมพ์แบบอัด (Compression Moulding) ใช้แม่พิมพ์ขนาดความหนา 0.1

3.3.6 ทดสอบสมบัติเชิงความร้อน

นำยางที่ผ่านการอัดเบ้าแล้วไปทดสอบการเป็นฉนวน ทดสอบการส่งผ่านความร้อน โดยเครื่องทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของฉนวนกันความร้อน โดยเตรียมชิ้นตัวอย่างที่จะทดสอบขนาด กว้าง 16 cm. ยาว 16 cm. และหนา 0.1 cm. ใส่ไว้ในช่องทดสอบระหว่างตู้ทั้งสองหลังจากนั้นเลื่อนตู้เข้าหากัน ขันน็อตให้แน่นพร้อมทดสอบ และทำการเปิดชุดความร้อนในตู้ที่ 1 พร้อมกับเก็บข้อมูล (Data loger) เวลาที่ทดสอบ 24 ชั่วโมง อุณหภูมิที่ใช้ทดสอบคือ 79°C ซึ่งเปรียบเทียบกับอุณหภูมิกลางแดดในเวลากลางวัน ทำการให้ความร้อนใน 12 ชั่วโมงแรก และจะลดอุณหภูมิในอีก 12 ชั่วโมงหลัง จากนั้นนำข้อมูลในเครื่องเก็บข้อมูลลงในคอมพิวเตอร์เพื่อไปวิเคราะห์ผลและนำค่าอุณหภูมิที่สัมผัสตัวอย่างในตู้ที่ 1 และ 2 มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจากสมการ (นพดล ผลไชย,2551)

$$Q = kAt\frac{\Delta T}{\Delta x}$$

โดยที่

Q คือ ปริมาณความร้อนทั้งหมด (J)

k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K)

A คือ พื้นที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของฟลั๊กความร้อน (m^2)

ΔT คือ อุณหภูมิที่สัมผัสตัวอย่างระหว่างตู้ที่ 1 และ 2 (K)

Δx คือ ความหนาของวัตถุ (m)

t คือ เวลาที่ใช้ในการทดสอบ (s)

3.3.7 การหาความหนาแน่น

หาความหนาแน่นของชิ้นทดสอบ โดยการนำชิ้นทดสอบมาตัดเป็นสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ 4 x 4 cm^2 หาความหนาแน่นโดยใช้เครื่องเครื่องวัดความหนาแน่น Electric Densimeter รุ่น MD – 300S และ Minimum density resolution: 0.001

3.3.8 การทดสอบสมบัติการดึง

3.3.8.1 เตรียมชิ้นตัวอย่างโดยนำแผ่นยางที่ได้จากการผสมยางธรรมชาติ สารเคมี และสารตัวเติมต่างๆ นำไปอัดเบ้าเพื่อให้ยางคงรูปแล้วนำไปตัดให้เป็นรูปดัมเบล ความยาวที่ใช้คือ 40 ซม.

3.3.8.2 วัดค่า A_0 และ l_0 ของชิ้นตัวอย่าง แล้วนำไปทดสอบสมบัติการดึงโดยเครื่อง Tensile Meter ยึดตัวอย่างกับเครื่องทดสอบให้แน่น แผ่นตัวอย่างที่ยึดนั้นจะต้องไปเอนไปข้างใดข้างนึงและดึงตัวอย่างไม่ให้หย่อนเพื่อความแม่นยำในการทดสอบ ทำการคีย์ข้อมูลลงในลงโปรแกรมพร้อมทั้งกำหนดความเร็วในการดึงตัวอย่าง ความเร็วที่ใช้ในการดึงคือ 50, 100, 200, 300 และ 400 มม./นาที ทำการทดลองซ้ำอีก 3 รอบ เพื่อหาค่าเฉลี่ยของข้อมูล

3.3.8.3 นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาค่า $\varepsilon, \sigma_n, \sigma_t(t), \lambda$ และค่า E(t) โดยใช้สมการ

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} - 1$$

$$\sigma_n = \frac{F}{A_0}$$

$$\sigma_t(t) = \sigma_n(1+\varepsilon)$$

$$\lambda = \varepsilon + 1$$

$$E(t) = \frac{\sigma_t(t)}{\lambda^2 - \frac{1}{\lambda}}$$

โดยที่

ε	คือ ความเครียด Nominal stress (N/m^2)
Δl	คือ ความยาวที่เปลี่ยนไป (m)
l_0	คือ ความยาวเริ่มต้น (m)
σ_n	คือ ความเค้น Nominal strain (N/m^2)
F	คือ แรงดึง (N)
A_0	คือ พื้นที่หน้าตัดเริ่มต้น (m^2)
$\sigma_t(t)$	คือ ความเค้นที่เวลาใด ๆ (N/m^2)

Prince of Songkla University Pattani Campus

$\lambda^2 - \frac{1}{\lambda}$ คือ ค่าการเปลี่ยนรูปของโคชี (N/m^2)

3.3.9 การทดสอบสมบัติการไหล

3.3.9.1 เตรียมตัวอย่างสำหรับนำไปทดสอบสมบัติการไหล ผสมยางกับสารเคมีตามสูตรแต่โดยไม่ต้องผสมกำมะถันเพื่อที่จะไม่ให้ยางสุกก่อนที่จะไหลในไดน์ ในการทดลองนี้ได้ศึกษาเฉพาะตัวอย่างที่ไม่ได้ผสมสารตัวเติมใดๆ และตัวอย่างที่ผสมเศษแผ่นฟิล์ม LDPE ที่ 2, 4, 6, และ 8 phr เท่านั้น เพื่อนำมาเปรียบเทียบอิทธิพลของสารตัวเติมและอุณหภูมิต่อความหนืดของตัวอย่างดังกล่าว

3.3.9.2 นำยางที่ผสมแล้วไปทดสอบโดยใช้เครื่อง Capillary Rheometer ใช้อุณหภูมิในการทดสอบคือ 100°C, 115°C และ 130°C และใช้อัตราเฉือน 0.1, 1, 10, 100, 300, 600, 800 และ 1,000 จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปหาค่าความหนืดปรากฏของตัวอย่างโดยใช้สมการ

$$\eta_a(T,\dot{\gamma}) = \pi R^3 \Delta P / 8LQ = \tau_w / \dot{\gamma}_a$$

โดยที่

η_a	คือ ความหนืด (Pa.s)
$\dot{\gamma}_a$	คือ อัตราเฉือนปรากฏ (s^{-1})
τ_w	คือ ความเค้นที่ผนังไดน์ (N/m^2)
ΔP	คือ ความดันต่างที่ปากทางเข้าและปลายไดน์ (Pa)
Q	คือ อัตราการไหล (m^3/s)
R	คือ รัศมีของไดน์ (m)
L	คือ ความยาวของไดน์ (m)

3.3.10 การทดสอบสมบัติทางกายภาพโดยใช้เครื่อง SEM

3.3.10.1 เตรียมตัวอย่างสำหรับนำไปทดสอบโดยตัดชิ้นตัวอย่างเป็นชิ้นเล็ก นำไปติดกับวัสดุรองรับตัวอย่างที่ส่วนใหญ่ทำมาจากทองเหลือง เรียกว่า stub นำเทปคาร์บอนมาเป็นตัวช่วยยึดตัวอย่างให้ติดกับ stub แล้วยังเป็นตัวเชื่อมการนำไฟฟ้าของตัวอย่างกับ stub อีกด้วย

3.3.10.2 ก่อนนำเข้าเครื่อง SEM ควรอบไล่ความชื้นจากตัวอย่างเสียก่อนเพราะภายในเครื่อง SEM เป็นระบบสุญญากาศ ซึ่งถ้าตัวอย่างมีความชื้นสูงอาจทำให้ระบบสุญญากาศไม่สามารถลดความดันจนเหมาะสมสำหรับการทำงานของเครื่อง SEM ได้

3.3.10.3 นำชิ้นตัวอย่างที่เตรียมไว้แล้วไปทดสอบสมบัติทางกายภาพโดยใช้เครื่อง SEM โดยเลือกกำลังขยาย 5,000 เท่า, 10,000 เท่า และ 20,000 เท่า

Prince of Songkla University Pattani Campus