

## บทที่ 3 ระเบียบวิธีการทดลอง

การทดลองนี้เริ่มจากการสังเคราะห์ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (Epoxydized natural rubber, ENR) จากน้ำยางธรรมชาติ เพื่อใช้เป็นการสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ยางธรรมชาติคลอโรอะซิเตท 1 (Chloroacetate natural rubber1, CNR1), ยางธรรมชาติคลอโรอะซิเตท 2 (Chloroacetate natural-rubber2, CNR2) และยางธรรมชาติไฮดรอกซิล (Hydroxyl natural rubber, HNR) โดยโครงสร้างโมเลกุลของยาง CNR1, ยาง CNR2 และยาง HNR จะถูกตรวจวัดด้วยเทคนิค FTIR จากนั้นนำไปผสมกับยางสังเคราะห์ได้แก่ยางคลอโรพรีน (CR) หรือยางไนไตรล์ (NBR) แล้วทดสอบหาความเข้ากันได้โดยวัดจากค่า  $T_g$  ด้วยเทคนิค DSC วัดค่าผลต่างแรงบิดด้วยเทคนิค RPA รวมทั้งค่าอริลาสติกมอดูลัส (G') และความสามารถในการไหล ( $\tan \delta$ ) จากนั้นนำยางผสมมาผสมกับสารเคมีตามสูตรที่กำหนดไว้แล้วทดสอบหาพฤติกรรมการคงรูปของยางผสม จากนั้นขึ้นรูปยางผสมเพื่อตรวจหาสมบัติเชิงกลและสมบัติความทนต่อการเสื่อมสภาพด้วยความร้อน น้ำมันไฮดรอลิก และตัวทำละลายโทลูอีน

### 3.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์

- 3.1.1. เครื่องรีดยาง (Rubber presser)
- 3.1.2. เครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) บริษัท ชัยเจริญการช่าง จำกัด
- 3.1.3. เครื่องให้ความร้อน (Hot plate)
- 3.1.4. แท่งแม่เหล็กกวนสาร (Magnetic bar)
- 3.1.5. บีกเกอร์ (Beaker) บริษัท Pyrex ขนาด 50, 100, 250, 600, 1000 และ 2000 ml
- 3.1.6. กระจกตวง (Graduated cylinder) ขนาด 25, 50 และ 100 ml
- 3.1.7. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer) ขนาด 100 °C
- 3.1.8. อ่างน้ำร้อน (Water bath)
- 3.1.9. แท่งแก้ว (Stirring rod)
- 3.1.10. ช้อนตักสาร (Spatular)
- 3.1.11. กระจกตวงขนาด 50 ml และ 100 ml
- 3.1.12. เทอร์โมมิเตอร์ ขนาด 100 °C
- 3.1.13. เครื่องตัดตัวอย่าง (Wallace punch)
- 3.1.14. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Balance) ยี่ห้อ เมทเลอร์ รุ่น PJ 3000 บริษัท ดิทีแฮลล์ จำกัด ประเทศสหรัฐอเมริกา

- 3.1.15. เครื่องดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC) ยี่ห้อ เมทเลอร์ รุ่น DSC1 บริษัท เมทเลอร์ โทเลโด
- 3.1.16. เครื่องฟูริเยร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared-Spectroscopy, FT-IR) รุ่น Nicolet 6700 บริษัท Thermo Scientific
- 3.1.17. เครื่อง Rubber Process Analyser (RPA) รุ่น RPA2000 บริษัท Alpha Technology จำกัด
- 3.1.18. เครื่องอัดยางระบบไฮดรอลิก (Compression moulding) รุ่น #3925 บริษัท Carver
- 3.1.19. เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal testing) รุ่น LR50K บริษัท Intro Enterprise Co., Ltd.
- 3.1.20. ตู้อบสูญญากาศ (Vacuum oven) รุ่น Model 282A ยี่ห้อ ESSOM บริษัท ESSOM จำกัด

## 3.2 สารเคมี

- 3.2.1. น้ำยางธรรมชาติ 60 %DRC (Cocentrated latex) บริษัท Bond Chemicals จำกัด
- 3.2.2. ยางธรรมชาติชนิดแท่งเกรด STR5L บริษัท ทุงดาเสารับเบอร์ จำกัด
- 3.2.3. ยางคลอโรพรีน (Chloroprene rubber, CR) เกรด MT-40 บริษัท ออนนิค จำกัด
- 3.2.4. ยางไนไตรล์ (Nitrile rubber, NBR) เกรด N3335 บริษัท Q.C. roll จำกัด
- 3.2.5. สารละลายกรดฟอร์มิก (Formic acid,  $\text{CH}_2\text{O}_2$ ) เกรด AR บริษัท Fisher Chemical จำกัด
- 3.2.6. สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) เกรด AR บริษัท Ajax Finechem จำกัด
- 3.2.7. สารลดแรงตึงผิว (Triton-x) เกรด AR บริษัท Panreac จำกัด
- 3.2.8. กรดอะซิติก (Acetic acid) เกรด AR บริษัท Merck จำกัด
- 3.2.9. สารละลายกรดคลอโรอะซิติก (Chloroacetic acid,  $\text{ClCH}_2\text{COOH}$ ) บริษัท Merck จำกัด
- 3.2.10. ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาเกรด Commercial บริษัท Q.C. roll จำกัด
- 3.2.11. กรดสเตียริก (Stearic acid) เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาเกรด Commercial บริษัท Q.C. roll จำกัด
- 3.2.12. สารกันเสื่อม (Antioxidant) ที่ใช้คือ Flectol H เกรด Commercial บริษัท Q.C. roll จำกัด
- 3.2.13. กำมะถัน ใช้เป็นสารทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงเกรด Commercial บริษัท Q.C. roll จำกัด
- 3.2.14. Ethylene thio urea (ETU) เป็นสารเร่งปฏิกิริยาให้กับยางคลอโรพรีน บริษัท Q.C. roll จำกัด
- 3.2.15. N-cyclohexyl-2-benzothiazole sulfonamide (CBS) เป็นสารเร่งปฏิกิริยา บริษัท Q.C. roll
- 3.2.16. Tetramethyl thiuram disulfide (TMTD) เป็นสารเร่งปฏิกิริยา บริษัท Q.C. roll จำกัด
- 3.2.17. ตัวทำละลายโทลูอิน บริษัท Merck จำกัด
- 3.2.18. น้ำมันหล่อลื่นแบบไม่มีขี้ผึ้งหรือ non-polar hydraulic oil (Shell-Tellus 100)
- 3.2.19. เหมำดำเกรด N330 บริษัท ไทโต ไทคาร์บอนโปรดักท์ จำกัด

### 3.3 ขั้นตอนการทดลอง

#### 3.3.1 การสังเคราะห์ยางธรรมชาติอีพอกซีไคซ์และการหาปริมาณหมู่อีพอกซี

เริ่มจากนำน้ำยางธรรมชาติที่มีปริมาณเนื้อยางเท่ากับ 60.6 % DRC มาเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และกรดฟอร์มิก ลงในน้ำยางธรรมชาติในอัตราส่วนน้ำยางธรรมชาติ : ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ : กรดฟอร์มิก เท่ากับ 1 : 0.5 : 0.5 โดยโมล โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลานาน 3 ชั่วโมง ได้น้ำยางธรรมชาติอีพอกซีไคซ์แบบที่ 1 (ENR1) และนำน้ำยางธรรมชาติมาเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และกรดฟอร์มิก ที่อัตราส่วน 1 : 1 : 1 โดยmol ที่อุณหภูมิและเวลาเท่ากันกับการสังเคราะห์น้ำยาง ENR1 ก็จะได้น้ำยางธรรมชาติอีพอกซีไคซ์แบบที่ 2 (ENR2) จากนั้นนำยาง ENR1 และ ENR2 ไปตรวจหาปริมาณของหมู่อีพอกซี โดยการวัดค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของยาง โดยชั่งตัวอย่างอย่างประมาณ 5 g ใส่ลงในอุโมงิเนียมแพนแล้วนำมาหาปริมาณหมู่อีพอกซี ด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimeter, DSC) รุ่น DSC1 ที่อุณหภูมิ -100 °C ถึง 25 °C โดยใช้อัตราการให้ความร้อนเท่ากับ 10 °C/min แล้วนำมาเทียบกับกราฟยางอีพอกซีมาตรฐาน

#### 3.3.2 การสังเคราะห์ยาง CNR และยาง HNR

นำน้ำยาง ENR1 มาเติมกรดคลอโรอะซีติกในอัตราส่วน 1 : 1 โดยโมล ของกรดคลอโรอะซีติกต่อปริมาณหมู่อีพอกซีบนน้ำยางธรรมชาติอีพอกซีไคซ์ที่ได้จากข้อ 3.3.1 โดยปั่นกวนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก็จะได้ผลิตภัณฑ์คือ ยาง CNR1 จากนั้นนำน้ำยาง ENR2 มาเติมกรดคลอโรอะซีติกด้วยอัตราส่วน 1 : 1 ก็จะได้ยาง CNR2 การสังเคราะห์ยาง HNR ทำได้โดยการนำน้ำยาง ENR1 มาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

#### 3.3.3 การทดสอบโครงสร้างของยางธรรมชาติหลังผ่านการเพิ่มหมู่ฟังก์ชัน

##### 3.3.3.1 การทดสอบโครงสร้างโมเลกุลของยางแต่ละชนิดโดยใช้เทคนิค FTIR

นำตัวอย่างยางธรรมชาติ (STR5L), ยาง CNR1, ยาง CNR2 และยาง HNR มาวิเคราะห์หาโครงสร้างโมเลกุลด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR) รุ่น Nicolet 6700 โดยใช้ช่วงการสแกนตั้งแต่เลขคลื่นเท่ากับ 4,000 ถึง 650  $\text{cm}^{-1}$

### 3.3.3.2 การทดสอบเพื่อยืนยันผลของการเพิ่มหมู่ฟังก์ชันของยางแต่ละชนิด โดยใช้เทคนิค DSC

นำตัวอย่างยาง STR5L, ยาง ENR1, ยาง ENR2, ยาง CNR1, ยาง CNR2 และยาง HNR มาวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วโดยใช้เครื่อง DSC ที่อุณหภูมิ  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$  ถึง  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  โดยใช้อัตราการให้ความร้อนเท่ากับ  $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$  ภายใต้สภาวะบรรยากาศไนโตรเจน อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของยางแต่ละชนิดจะบ่งบอกถึงลักษณะความสามารถในการเคลื่อนไหวของสายโซ่โมเลกุลของตัวอย่างตลอดจนอันตรกิริยาระหว่างสายโซ่โมเลกุลของยางแต่ละชนิดซึ่งสัมพันธ์กับอันตรกิริยาระหว่างหมู่ฟังก์ชันบนยางแต่ละชนิด

### 3.3.4 การผสมยาง (Blending)

ผสมยาง STR5L หรือยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชัน (ยาง CNR1, ยาง CNR2, ยาง HNR) กับยางสังเคราะห์ (ยางคลอโรพรีนหรือยางไนไตรล์) โดยใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง โดยอัตราส่วนในการผสมระหว่างยางธรรมชาติหรือยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางสังเคราะห์เท่ากับ 70:30, 50:50 และ 30:70 โดยน้ำหนัก ผสมภายในเวลาไม่เกิน 10 นาทีโดยทั้งนี้ในกรณีของยาง STR5L, ยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันและยางสังเคราะห์ที่ไม่ผสมกับยางชนิดอื่นก็จะถูกบดด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งเช่นเดียวกัน

### 3.3.5 การศึกษาความเข้ากันได้ของยางผสม

#### 3.3.5.1 การศึกษาค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ( $T_g$ )

นำยางผสมจากข้อ 3.3.4 มาทำการวิเคราะห์หาค่า  $T_g$  โดยใช้เครื่อง DSC รุ่น DSC1 ที่อุณหภูมิ  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$  ถึง  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  โดยใช้อัตราการให้ความร้อนเท่ากับ  $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$  ภายใต้สภาวะบรรยากาศไนโตรเจน เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงของค่า  $T_g$  ของยางผสมซึ่งจะบ่งบอกถึงความเข้ากันได้ของยางแต่ละชนิด

#### 3.3.5.2 การศึกษาค่าผลต่างแรงบิด ( $\Delta S'$ )

นำยางที่ผสมได้จากข้อ 3.3.4 ไปทดสอบด้วยเครื่อง Rubber Process Analyser (RPA) รุ่น RPA2000 ทำการวัด โดยให้ % strain คงที่ที่  $0.5\%$ , ความถี่การออกแรงเฉือนของหัวคายนกที่  $100\text{ cpm}$  และอุณหภูมิของหัวคายนกที่  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  ทำการทดสอบเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำค่าแรงบิดสูงสุดของยางผสมมาหักลบกับค่าแรงบิดต่ำสุด ผลต่างแรงบิดที่ได้จะบ่งบอกถึงอันตรกิริยาหรืออันตรกิริยาภายในยางผสมระหว่างสายโซ่โมเลกุลของยางกับยาง

3.3.5.3 การศึกษาค่าอีลาสติคโมดูลัส (Elastic modulus, G') และความสามารถในการไหล (tan  $\delta$ ) ของยางผสม โดยใช้เทคนิค RPA ภายใต้การเปลี่ยนแปลงความถี่และอุณหภูมิหัวคายน

นำตัวอย่างยางผสมแต่ละชนิดประมาณ 5 g มาวัดด้วยเครื่อง RPA ที่ความถี่หัวคายนตั้งแต่ 0 – 2000 cpm ที่อุณหภูมิ 150 °C และ % strain เท่ากับ 7 % การเปลี่ยนแปลงของค่า G' ซึ่งสัมพันธ์กับความถี่เป็นอีลาสติค และค่า tan  $\delta$  ซึ่งสัมพันธ์กับความสามารถในการไหลของยางผสม ภายใต้การเปลี่ยนแปลงความถี่การให้แรงของหัวคายนผลที่ได้สามารถใช้งบอกลถึงอันตรกิริยาระหว่างสายโซ่โมเลกุลของยางผสมได้

และเมื่อนำตัวอย่างยางผสมแต่ละชนิดประมาณ 5 g มาทำการเปลี่ยนแปลงของค่า G' และค่า tan  $\delta$  ภายใต้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของหัวคายนตั้งแต่ 50 - 200 °C, % strain เท่ากับ 7 % และความถี่หัวคายนเท่ากับ 100 cpm คงที่ ผลที่ได้สามารถใช้งบอกลถึงอันตรกิริยาระหว่างสายโซ่โมเลกุลของยางผสมได้เช่นกัน

### 3.3.6 การเตรียมยางคอมโพสิต

นำยางผสมที่ได้จากข้อ 3.3.4 ไปผสมกับสารตัวเติมเสริมแรงเขม่าดำเกรด N330 ด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง โดยใช้ปริมาณของเขม่าดำเท่ากับ 30 phr จากนั้นเก็บไว้เพื่อรอการตรวจวัดต่อไป

### 3.3.7 การศึกษาอันตรกิริยาระหว่างยางกับอนุภาคเขม่าดำของยางคอมโพสิต

3.3.7.1 การหาค่าบาวด์รับเบอร์ (% bound rubber) ของยางคอมโพสิต

ในการหาค่าบาวด์รับเบอร์ต้องทิ้งตัวอย่างยางคอมโพสิตไว้ใน อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน 0.5 g ใส่ในตะแกรงอะลูมิเนียม หลังจากนั้นแช่ยางคอมโพสิตในโทลูอิน ปริมาตร 300.00 ml ปิดด้วยกระดาษฟรอยล์ ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำยางคอมโพสิตมาอบด้วยตู้อบสูญญากาศ ณ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอนอีกครั้ง คำนวณหาค่า % ของยางที่ไม่ถูกสกัดออกจากสารตัวเติมเสริมแรงดังสมการที่ 3.1

$$\% \text{ bound rubber} = \left[ \frac{W_{ig} - W_r}{W_r} \right] \times 100 \quad (3.1)$$

เมื่อ  $W_{ig}$  = น้ำหนักของตัวอย่างยางคอมโพสิตหลังแช่ในโทลูอินแล้วอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

$W_r$  = น้ำหนักของเขม่าดำในตัวอย่างคอมโพสิตปริมาณ 0.5 g

$W_r$  = น้ำหนักของยางในตัวอย่างคอมโพสิตปริมาณ 0.5 g

ในส่วน of ยางที่ไม่ผสมเขม่าดำให้ทำการทดลองและคำนวณออกมาด้วยขั้นตอนเดียวกัน

### 3.3.7.2 การตรวจวัดค่าอีลาสติคโมดูลัส ( $G'$ ) ของคอมโพสิตภายใต้สภาวะ Strain sweep

ทำได้โดยการนำตัวอย่างยางคอมโพสิตมาวัดด้วยเครื่อง RPA ที่ % strain หัวคายตั้งแต่ 0.28 – 50 % ที่อุณหภูมิ 70 °C และความถี่หัวคายเท่ากับ 500 cpm คงที่ เพื่อหาค่า  $G'$

### 3.3.8 การเตรียมยางคอมปาวด์

ทำการบดผสมยางกับสารเคมีตามสูตรข้างดั่งที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 โดยใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง เริ่มจากบดยางให้ نرم 1-2 นาที จากนั้นผสมสารเคมีต่างๆตามลำดับที่แสดงในตารางที่ 3.1 เวลาในการผสมต่อหนึ่งตัวอย่างไม่เกิน 10 นาที เมื่อเสร็จแล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนการผสมยางคอมปาวด์ [20]

สารที่ใช้ในการผสม	อัตราส่วน (phr)	
	CR	NBR
ยางผสมจากข้อ 3.3.4*	100	100
Carbon Black N330	30	30
ZnO	3.5	3.5
Stearic acid	2.5	2.5
Flectol H	1	1
ETU	1.5	-
TMTD	0.5	0.5
CBS	0.5	0.5
กำมะถัน	2	2

### 3.3.9 การทดสอบพฤติกรรมการคงรูปของยางคอมปาวด์

นำยางคอมปาวด์ที่ผสมได้ไปทดสอบพฤติกรรมการคงรูป ได้แก่ ระยะเวลาที่ตัวอย่างยางแต่ละชนิด เริ่มเกิดการคงรูป ( $t_{s2}$ ), ระยะเวลาที่ยางเกิดการคงรูปที่ 90 % ( $t_{90}$ ), ค่าดัชนีการคงรูป (Cure Rate Index, CRI) และค่าผลต่างแรงบิด ( $\Delta S'$ ) ด้วยเครื่อง RPA โดยใช้สภาวะการทดลองเดียวกันกับการศึกษาค่าผลต่างแรงบิดในหัวข้อที่ 3.3.5.2 ดังนี้คือ % strain คงที่ที่ 0.5 %, ความถี่การออกแรงเนียนของหัวคาย คงที่ที่ 100 cpm และอุณหภูมิของหัวคายคงที่ 150 °C ทำการทดสอบเป็นเวลา 30 นาที

### 3.3.10 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง

ชั่งตัวอย่างยางคอมปาวด์ประมาณ 50 g มาใส่ในแม่พิมพ์รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดกว้าง 13.00 เซนติเมตร ยาว 15 cm และหนา 0.50 cm ด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก (Hydraulic hot press) ที่ความดัน 250 kg/cm<sup>2</sup> อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลาสั้นๆ 3 ครั้ง เพื่อไล่ฟองอากาศ จากนั้นทำการอัดยางตามค่า  $t_{90}$  ของยางแต่ละชนิดซึ่งหาได้จากข้อ 3.3.9

### 3.3.11 การทดสอบสมบัติความทนต่อการเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์ยาง

นำผลิตภัณฑ์ยางตัวอย่างที่ผ่านการขึ้นรูปแล้วจากข้อ 3.3.10 มาตัดให้เป็นรูปดัมเบล จากนั้นนำไปทดสอบความทนต่อการเสื่อมสภาพด้วยความร้อน โดยแขวนไว้ในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ASTM D 573 ใช้ตัวอย่างในการทดสอบ 3 ตัวอย่าง

การทดสอบความทนต่อการเสื่อมสภาพด้วยน้ำมันไฮดรอลิก โดยนำผลิตภัณฑ์ยางรูปดัมเบล 3 ตัวอย่าง มาแช่ไว้ในน้ำมันไฮดรอลิกที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ASTM D 751 จากนั้นซับด้วยกระดาษจนแห้งแล้วอบในตู้อบสุญญากาศ ที่อุณหภูมิประมาณ 40 °C จนแห้งสนิท

การทดสอบความทนต่อการเสื่อมสภาพด้วยตัวทำละลายโทลูอิน ทำได้โดยนำผลิตภัณฑ์ยางรูปดัมเบล 3 ตัวอย่าง มาแช่ไว้ในตัวทำละลายโทลูอินที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ASTM D 471 จากนั้นซับด้วยกระดาษจนแห้งแล้วอบในตู้อบสุญญากาศ ที่อุณหภูมิประมาณ 40 °C จนแห้งสนิท

นำผลิตภัณฑ์ยางที่ผ่านการเสื่อมสภาพแล้วและผลิตภัณฑ์ยางที่ไม่ผ่านการเสื่อมสภาพ ไปวัดสมบัติเชิงกล ได้แก่ ค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ค่าการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) และค่ามอดูลัส (Modulus) ด้วยเครื่อง Universal testing รุ่น LR50K อัตราเร็วในการดึง 500 mm/min ตามมาตรฐาน ASTM D412 และวัดความแข็ง (Hardness) ด้วยเครื่องวัดความแข็งรุ่น SH-21-E1 โดยวัดในหน่วย shore A คำนวณค่าสมบัติสัมพัทธ์ (Relative property) ดังสมการที่ 3.2

$$\text{Relative property} = \frac{\text{ค่าสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ยางหลังเสื่อมสภาพ}}{\text{ค่าสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ยางก่อนเสื่อมสภาพ}} \quad [20] \quad (3.2)$$