รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด

---

1. **แผนงานวิจัย** : วิจัยและพัฒนาตามพระราชบัญญัติควบคุมยางเพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตและส่งออกยาง

2. **โครงการวิจัย** : การผลิตวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบยางธรรมชาติ
   กิจกรรม : -
   กิจกรรมย่อย (ถ้ามี) : -

3. **ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย)** : การผลิตวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่
   ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ) : Production of Internal Reference Material for Mooney Viscosity Testing

4. **คณะผู้ดำเนินงาน**
   หัวหน้าการทดลอง : นายกิตติคุณ บุญวานิช สังกัด กลุ่มวิชาการ กองการยาง
   ผู้ร่วมงาน : นางสาวพัชรา อินทะแสง สังกัด กลุ่มวิชาการ กองการยาง
   นางสาววิภาวี พัฒนกุล สังกัด กลุ่มวิชาการ กองการยาง
   นายจรัญ ยะฝา สังกัด สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

กรมวิชาการเกษตร

5. **บทคัดย่อ**

การควบคุมคุณภาพผลการทดสอบสมบัติความหนืดมูนนี่ของสินค้ายางแท่งเอสทีอาร์ทำได้โดยการใช้ยางมาตรฐานความหนืดมูนนี่ในการตรวจสอบเครื่องทดสอบความหนืดมูนนี่เป็นประจำ แต่เนื่องจากยางมาตรฐานมีราคาสูงเพราะต้องนำเข้าจากต่างประเทศ งานวิจัยนี้จึงศึกษาการผลิตวัสดุอ้างอิงภายในยางธรรมชาติสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ โดยการนำน้ำยางสดมาเติมสารควบคุมความหนืดไฮดรอกซิลเอมีนนิวทรัลซัลเฟตความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาณ 0.15 ส่วนต่อน้ำหนักเนื้อยางแห้ง 100 ส่วน เพื่อควบคุมค่าความหนืดมูนนี่ของยางให้คงที่ และปรับค่าความหนืดของยางให้ได้ 3 ระดับ ด้วยวิธีการลดน้ำหนักโมเลกุลโดยวิธีทางเคมีและวิธีทางกล พบว่า การลดน้ำหนักโมเลกุลของยางโดยวิธีทางเคมี เมื่อใส่สารลดน้ำหนักโมเลกุล ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตลงใน

น้ำยางสดที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย ส่งผลให้ไม่สามารถจับตัวเนื้อยางด้วยกรดฟอร์มิกได้ ในขณะที่การลดน้ำหนักโมเลกุลของยางโดยวิธีทางกล โดยการนำน้ำยางสดที่เติมสารควบคุมความหนืดมาจับตัวด้วยกรด อบยางจนได้ยางแห้ง บดยางแห้งที่มีค่าความหนืดมูนนี่ประมาณ 62 หน่วย ด้วยเครื่องบดยางสองลูกกลิ้งจำนวน 50 ครั้ง ได้วัสดุอ้างอิงภายในยางธรรมชาติสำหรับทดสอบความหนืดมูนนี่ที่ระดับ 45 $\pm$ 3 หน่วย และบดยางแห้งที่มีค่าความหนืดมูนนี่ประมาณ 80 หน่วย จำนวน 50 และ 20 ครั้ง ได้วัสดุอ้างอิงภายในยางธรรมชาติสำหรับทดสอบความหนืดมูนนี่ที่ระดับ 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย ตามลำดับ นำวัสดุอ้างอิงภายในดังกล่าวมาทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity) โดยใช้เกณฑ์ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เกิน 3 หน่วย การวิเคราะห์หาความแปรปรวน (ANOVA) ค่า P-value มากกว่า 0.05 และ $F_{cal.}$ น้อยกว่า $F_{crit.}$ ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 พบว่าวัสดุอ้างอิงภายในยางธรรมชาติสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ทั้ง 3 ระดับ มีความเป็นเนื้อเดียวกัน และศึกษาความเสถียร (Stability) ของวัสดุอ้างอิงภายในโดยใช้การประเมินการถดถอย (Regression Analysis) พบว่าความเสถียรของวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ที่ระดับ 45 $\pm$ 3 หน่วย และระดับ 65 $\pm$ 3 หน่วย มีความเสถียรที่ระยะเวลาการเก็บ 150 วัน และความหนืดมูนนี่ระดับ 75 $\pm$ 3 หน่วย มีความเสถียรที่ระยะเวลาการเก็บ 195 วัน

Quality control for mooney viscosity property test result of Standard Thai Rubber (STR) was carried out by regular inspection of the mooney viscometer with constant viscosity standard rubber (CV-Rubber). CV-Rubber was expensive because it was imported from foreign country, therefore this research studied the production of internal reference material for mooney viscosity testing (IRM-MV). IRM-MV was prepared by treating fresh field latex with 0.15 parts per hundred of rubber (phr) of 10 % (w/v) hydroxylamine neutral sulfate to stabilize mooney viscosity and adjust mooney viscosity value to three level by two methods including chemical and mechanical method to reduce molecular weight. Chemical method was not successful method because the latex preservation with ammonia and the molecular weight reduction of rubber by using hydrogen peroxide and potassium persulfate affected treated latex sothat such latex could not be coagulated by formic acid. Mechanical method was carried out by treating fresh field latex with viscosity stabilizers agents before coagulating the rubber in latex with formic acid and drying the rubber. Dry rubber which had mooney viscosity about 62 units was passed 50 times through a two-roll mill to get IRM-MV which had mooney viscosity of 45±3 units. Dry rubber which had

กรมวิทยาศาสตร์

mooney viscosity about 80 units was passed 50 and 20 times through a two-roll mill to get IRM-MV which had mooney viscosity of 65±3 and 75±3 units, respectively. IRM-MV would pass the homogeneity testing if its standard deviation less than 3 units, p-value more than 0.05 and F_{cal} less than F_{cal} at 95% confidence level for ANOVA analysis. IRM-MV of 3 levels in this research were homogeneous. The stability of IRM-MV was studied by Regression Analysis. IRM-MV having mooney viscosity of 45±3, 65±3 and 75±3 units were stable at 150, 150 and 195 days, respectively.

6. คำนำ

ยางแท่งเอสทีอาร์ (Standard Thai Rubber) เป็นยางธรรมชาติที่อาศัยการทดสอบทางวิทยาศาสตร์เป็นเกณฑ์ในการแบ่งเกรดยาง ปัจจุบันประเทศไทยแบ่งเกรดยางแท่งเอสทีอาร์ตามประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เล่ม 122 ตอนพิเศษที่ 106 ง วันที่ 27 กันยายน 2548 (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2548) เรื่องการกำหนดมาตรฐานยาง และวิธีการมัดยางและการบรรจุหีบห่อยางเพื่อการส่งออก ประกาศดังกล่าวได้กำหนดมาตรฐานและจัดชั้นยางแท่งเอสทีอาร์ จำนวน 8 ชั้น คือ STR XL, STR 5L, STR5, STR 5CV, STR 10, STR 10 CV, STR 20 และ STR 20CV โดยยางแท่งเอสทีอาร์แต่ละชั้นจะผ่านการทดสอบสมบัติยางแท่งจากห้องปฏิบัติการ จำนวน 8 รายการ ได้แก่ ปริมาณสิ่งสกปรก ปริมาณเถ้า ปริมาณสิ่งระเหย ปริมาณไนโตรเจน ความอ่อนตัวเริ่มแรก ดัชนีความอ่อนตัว ความหนืดมูนนี่ และสี ปัจจุบันห้องปฏิบัติการยางแท่งของภาครัฐ มี 4 แห่ง และห้องปฏิบัติการยางแท่งเอสทีอาร์ของภาคเอกชนที่ได้รับอนุญาตจากกองการยาง กรมวิชาการเกษตร มี 77 แห่ง (ข้อมูลจากระบบบริการออนไลน์กรมวิชาการเกษตร National Single Window; NSW เดือนกุมภาพันธ์ 2564) เพื่อให้การควบคุมกำกับการดำเนินงานของห้องปฏิบัติการยางแท่งเอสทีอาร์ของภาคเอกชนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและน่าเชื่อถือ กองการยางจึงได้มีการตรวจสอบความสามารถของห้องปฏิบัติการยางแท่งเอสทีอาร์ของภาคเอกชนจากการตรวจติดตามและประเมินห้องปฏิบัติการยางแท่งอย่างน้อย 1 ครั้งต่อปี และมีการทดสอบเปรียบเทียบผลระหว่างห้องปฏิบัติการยางแท่งของภาครัฐกับภาคเอกชน โดยกองการยาง กรมวิชาการเกษตร เตรียมตัวอย่างทดสอบเปรียบเทียบส่งให้ห้องปฏิบัติการยางแท่งเอสทีอาร์ของภาครัฐและภาคเอกชนทดสอบตามวันเวลาที่กำหนด แล้วนำผลการทดสอบมาประเมิน อย่างไรก็ตามห้องปฏิบัติการยางแท่งเอสทีอาร์ของกองการยาง กรมวิชาการเกษตร ในฐานะที่เป็นผู้ควบคุมกำกับก็ต้องรักษาประสิทธิภาพและความสามารถของห้องปฏิบัติการเป็นประจำด้วย ดังนั้น ห้องปฏิบัติการยางแท่งเอสทีอาร์ทั้งภาครัฐจำเป็นต้องใช้วัสดุอ้างอิงยาง

เป็นเครื่องมือกำกับดูแลความสามารถของห้องปฏิบัติการ และห้องปฏิบัติการยางภาคเอกชนใช้วัสดุอ้างอิงยางเพื่อการประกันคุณภาพผลการทดสอบ

วัสดุอ้างอิงมีการแบ่งตามแหล่งการผลิต ได้ 3 ชนิด คือ วัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Material, CRM) เป็นวัสดุอ้างอิงที่ระบุค่าสมบัติหนึ่งหรือหลายอย่าง ที่ผลิตและรับรองโดยองค์กรที่ได้รับการยอมรับในความสามารถทางวิชาการวัสดุอ้างอิงมาตรฐาน (Standard Reference material, SRM) เป็นวัสดุอ้างอิงรับรองที่ผลิตโดยสำนักงานมาตรฐานแห่งชาติ (Nation Bureau of Standard, NBS หรือ National Institute of Standards and Technology, NIST) และวัสดุอ้างภายใน (Internal Reference Material, IRM) เป็นวัสดุอ้างอิงที่ห้องปฏิบัติการพัฒนาขึ้นมา เพื่อใช้ประโยชน์ในห้องปฏิบัติการ

ความหนืดมูนนี่ เป็นสมบัติการต้านทานการไหลหรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของยาง ซึ่งสัมพันธ์โดยตรงต่อน้ำหนักโมเลกุลของยาง ยางที่มีความหนืดสูงหมายความว่ายางนั้นมีน้ำหนักโมเลกุลมาก ยางที่มีความหนืดสูง จะแข็งมาก แต่ความหนืดของยางธรรมชาติเปลี่ยนแปลงตามสภาวะแวดล้อมและระยะเวลาเก็บ หากเก็บยางธรรมชาติเป็นระยะเวลานานจะเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การเกิดความแข็งขณะเก็บ (Storage Hardening Phenomena) (Yungyongwattanakorn, 2007) ไม่เป็นที่ต้องการสำหรับโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ยาง เนื่องจากสิ้นเปลืองเวลาและพลังงานในการบดให้ยางนิ่ม (พรรษา, 2538) ดังนั้นการตรวจสอบค่าความหนืดในยางธรรมชาติจึงมีความสำคัญต่อกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ยาง ส่งผลให้โรงงานผู้ผลิตยางแท่ง 89 แห่ง (ข้อมูลจากระบบบริการออนไลน์กรมวิชาการเกษตร National Single Window; NSW เดือนกุมภาพันธ์ 2564) ในประเทศไทยจำเป็นต้องนำเข้ายางมาตรฐานความหนืดคงที่มาใช้ในการควบคุมคุณภาพของยางแท่งในห้องปฏิบัติการ สูญเสียเงินกว่าปีละ 2,000,000 บาท (คำนวณจากการใช้ยางมาตรฐานความหนืดคงที่จำนวน 2 ชิ้น ราคาชิ้นละ 40 บาท สำหรับตรวจสอบเครื่องทดสอบความหนืดมูนนี่ประจำวันของผู้ผลิตยางแท่งจำนวน 89 แห่ง) ซึ่งนอกจากเป็นการเพิ่มต้นทุนในการผลิตยางแท่งในขบวนการทดสอบต้องใช้วัสดุอ้างอิงยางมาตรฐาน ซึ่งหาซื้อยาก และมีอายุการใช้งานสั้น งานวิจัยนี้จึงตระหนักถึงความจำเป็นในการผลิตวัสดุอ้างอิงภายใน (Internal reference material, IRM) เพื่อใช้เป็นวัสดุอ้างอิงในห้องปฏิบัติการ ซึ่งใช้น้ำยางสดเป็นวัตถุดิบ โดยได้ศึกษากระบวนการผลิตยางธรรมชาติความหนืดคงที่ และกระบวนการปรับค่าระดับความหนืดจากวิธีลดน้ำหนักโมเลกุลจาก

Yungyongwattanakorn และคณะ (2006) ศึกษาสมบัติทางกายภาพของยางแท่งเกรด STR XL, STR 5Lและ STR CV60 โดยเก็บยางไว้เป็นเวลา 14 เดือน พบว่ายางทั้งสามชนิดมีปริมาณเจล ค่าความหนืดมูนนี่ และค่าความอ่อนตัวเริ่มแรกเพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดโครงสร้างแบบโซ่กิ่งขึ้นระหว่างการเก็บที่เรียกว่าความแข็งขณะเก็บ โดยยางเกรด STR CV60 มีอัตราการเพิ่มของทั้งสามสมบัติน้อยที่สุด เนื่องจาก

กรมวิชาการเกษตร

ยางชนิดนี้เติมสารไฮดรอกซิลเอมีนซึ่งเป็นสารควบคุมความหนืดที่มีประสิทธิภาพยับยั้งการเกิดเจลได้และเมื่อทดสอบค่าความหนืดมูนนี่เมื่อคลายตัว (Mooney relaxation) พบว่ายางเกรด STR CV60 มีค่าความหนืดมูนนี่เมื่อคลายตัวน้อยที่สุดเนื่องจากยางชนิดนี้มีโครงสร้างที่เป็นโซ่กิ่งลดลงจึงส่งผลให้ความยืดหยุ่นลดลง

หรรษา และคณะ (2541) ศึกษาวิธีผลิตยางแท่งเอสทีอาร์ 5 ชนิดความหนืดคงที่ โดยการเติมสารควบคุมความหนืดลงในน้ำยาง การฉีดพ่นสารควบคุมความหนืดบนก้อนยางฝอย และทั้งเติมและฉีดพ่นสารควบคุมความหนืดลงในยาง ยางที่ผลิตได้มีสมบัติตามมาตรฐานยางแท่งเอสทีอาร์ จากนั้นเก็บยางไว้เป็นเวลาหนึ่งปี พบว่ายางที่ฉีดพ่นสารควบคุมความหนืดบนก้อนยางฝอยไม่สามารถทำให้ความหนืดของยางคงที่ แต่ยางที่ผลิตจากการเติมสารควบคุมความหนืดลงในน้ำยาง ทั้งที่เติมและฉีดพ่นสารควบคุมความหนืดลงในยาง ส่งผลทำให้ความหนืดของยางคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บ แต่อย่างไรก็ตามวิธีการเติมสารควบคุมความหนืดลงในน้ำยางเป็นวิธีใช้สารในปริมาณน้อย สามารถทำการผลิตได้สะดวกและรวดเร็ว

Sekhar*et al*. (1962) การเติมสารควบคุมความหนืด (Viscosity stabilizer) ในยางธรรมชาติโดยเลือกใช้ semicarbazide, hydroxylamine sulphate และ dimedone (1,1 dimethyl cyclohexane-3,5-dione) อย่างไรก็ตามสารแต่ละตัวยังมีข้อจำกัด เพราะผลที่ได้ยังไม่มีความสม่ำเสมอ ดังนั้นการเลือกใช้สารแต่ละชนิดต้องแน่ใจว่าสารเคมีทั้งหมดต้องไปจับหมู่อัลดีไฮด์หรือหมู่ที่คล้ายกัน ซึ่งเป็นสาเหตุการแข็งตัวของยาง รวมทั้งสารเคมีจะต้องกระจายในยางได้เป็นอย่างดี

อรสา และคณะ (2546) ศึกษาการผลิตยางธรรมชาติประหยัดพลังงานโดยวิธีการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติโดยวิธีบดยางแท่งธรรมชาติด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้ง และการเติมสารเคมีลงในน้ำยางสด ได้แก่ สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โซเดียมไนไตรท์ โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ไนโตรเบนซีน และสารย่อยยาง พบว่าสมบัติความหนืดของยางธรรมชาติมีค่าลดลงตามระยะเวลาการบดยางแท่งธรรมชาติและปริมาณสารเคมีที่เติมลงในน้ำยางสด เมื่อนำยางดังกล่าวมาบดผสมสารเคมีเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ ใช้พลังงานในการผสมลดลงประมาณร้อยละ 20 การแปรรูปง่ายขึ้น สมบัติยางวัลคาไนซ์และสมบัติทางฟิสิกส์ใกล้เคียงกับยางธรรมชาติเกรดปกติ อีกทั้งยางที่ผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุลเมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลา 3 เดือน สมบัติความหนืดมูนนี่ น้ำหนักโมเลกุล ความอ่อนตัว และปริมาณเจลยังมีแนวโน้มลดลง จึงมีแนวโน้มในการใช้พลังงานในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยางน้อยลง

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการผลิตวัสดุอ้างอิงภายในยางธรรมชาติสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ โดยการนำน้ำยางสดมาการเจือจางให้มีปริมาณเนื้อยางแห้งร้อยละ 20-22 โดยน้ำหนัก และเติมสารควบคุมความหนืดไฮดรอกซิลเอมีนนิวทรัลซัลเฟต ที่มีประสิทธิภาพยับยั้งการเกิดเจล (Yungyongwattanakorn, 2003) ส่งผลทำให้ความหนืดมูนนี่ของยางคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บ จากนั้นนำยางแห้งที่มีความหนืดมูนนี่คงที่ไปลดน้ำหนักโมเลกุลโดยบดยางด้วยเครื่องบดยางสองลูกกลิ้งเพื่อปรับ

ระดับค่าความหนืดมูนนี่ให้อยู่ในช่วงที่กำหนด ซึ่งงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือการผลิตวัสดุอ้างอิงภายในยางธรรมชาติสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ที่ระดับ 45 $\pm$ 3, 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย ทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity) ของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในที่ผลิตได้โดยการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการหาความแปรปรวน (ANOVA) รวมทั้งศึกษาความเสถียร (Stability) ของของวัสดุอ้างอิงภายในโดยใช้การประเมินการถดถอย (Regression Analysis) (จันทรัตน์, 2557)

7. วิธีดำเนินการ :

- อุปกรณ์

1. ตัวกรอง ขนาด 40 เมซ และ 80 เมซ
2. เครื่องรีดยางแผ่น
3. ตู้อบลมร้อน
4. เครื่องทดสอบความหนืดมูนนี่
5. เครื่องเจลเพอร์มีเอชันโครมาโทกราฟี
6. เครื่องบดสองลูกกลิ้ง
7. เครื่องกวน
8. กรดฟอร์มิก
9. ไฮดรอกซิลเอมีนนิวทรัลซัลเฟต
10. ฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์
11. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
12. โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต

- วิธีการ

1. ทดสอบสมบัติของยางธรรมชาติก่อนเตรียมวัสดุอ้างอิงภายใน
   - 1.1 คัดเลือกต้นยางพันธุ์ RRIM 600 อายุ 15-16 ปี จำนวน 50 ต้น
   - 1.2 เก็บน้ำยางสดจากต้นยางและกรองน้ำยางสดผ่านตัวกรอง ขนาด 40 เมซ และ 80 เมซ ตามลำดับ
   - 1.3 ทดสอบสมบัติน้ำยางสด ได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณเนื้อยางแห้ง ปริมาณกรดไขมันระเหย และปริมาณแมกนีเซียม
   - 1.4 เจือจางน้ำยางสดให้มีปริมาณเนื้อยางแห้งร้อยละ 22 โดยน้ำหนัก

ศูนย์วิชาการเกษตร

1.5 นำน้ำยางสดมาจับตัวเนื้อยางด้วยกรดฟอร์มิกความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาณ 4 ส่วนต่อน้ำหนักเนื้อยางแห้ง 100 ส่วน แล้วปล่อยให้น้ำยางจับตัวที่อุณหภูมิห้อง

1.6 ล้างก้อนยางด้วยน้ำสะอาดและรีดก้อนยางให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องรีดให้มีความหนาไม่เกิน 5 มิลลิเมตร แล้วอบยางให้แห้งในตู้อบ

1.7 นำตัวอย่างยางแห้งไปทดสอบสมบัติความหนืดมูนนี่ (Mooney Viscosity; MV) และน้ำหนักโมเลกุลและการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลโดยวิธีเจลเพอร์มีเอชันโครมาโทกราฟ (Gel Permeation Chromatography; GPC)

2. การผลิตวัสดุอ้างอิงภายในยางธรรมชาติความหนืดคงที่ซึ่งมีค่าความหนืดมูนนี่ 45 $\pm$ 3, 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย

2.1 เตรียมวัสดุอ้างอิงภายในยางธรรมชาติความหนืดคงที่จากวิธีการลดน้ำหนักโมเลกุลโดยวิธีทางกล

2.1.1 เตรียมน้ำยางสดตามขั้นตอนที่ 1.2 - 1.4

2.1.2 เติมสารควบคุมความหนืดไฮดรอกซิลเอมีนนิวทรัลซัลเฟตความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาณ 0.15 ส่วนต่อน้ำหนักเนื้อยางแห้ง 100 ส่วน ลงในน้ำยางสดและจับตัวเนื้อยางด้วยกรดฟอร์มิกความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาณ 4 ส่วนต่อน้ำหนักเนื้อยางแห้ง 100 ส่วน แล้วปล่อยให้น้ำยางจับตัวที่อุณหภูมิห้อง

2.1.3 ล้างก้อนยางด้วยน้ำสะอาดและรีดให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องรีดให้มีความหนาไม่เกิน 5 มิลลิเมตรแล้วอบยางให้แห้งในตู้อบ

2.1.4 นำตัวอย่างยางมาบดด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้ง ซึ่งมีการควบคุมอุณหภูมิของลูกกลิ้งที่ 30-40 องศาเซลเซียส ที่จำนวนครั้งของการบดยาง 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 ครั้งจำนวนละ 3 ซ้ำ

2.1.5 นำตัวอย่างที่ได้ไปทดสอบสมบัติความหนืดมูนนี่ (Mooney Viscosity; MV) การทดสอบความแข็งที่ภาวะเร่ง(Accelerated storage hardening test; A.S.H.T.)และน้ำหนักโมเลกุลและการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลโดยวิธีเจลเพอร์มีเอชันโครมาโทกราฟ (Gel Permeation Chromatography; GPC)

2.1.6 เลือกกรรมวิธีที่สามารถให้ตัวอย่างมีสมบัติค่าความหนืดมูนนี่อยู่ในช่วง 45 $\pm$ 3, 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วยและมีค่าความแข็งที่ภาวะเร่งไม่เกิน 8 หน่วยไปผลิตวัสดุอ้างอิงต่อไป

2.1.7 หากกรรมวิธีในข้อ 2.1.4 ไม่ได้ตัวอย่างที่มีค่าความหนืดมูนนี่ตามที่กำหนด ให้แปรจำนวนครั้งของการบดยางจนได้ค่าความหนืดมูนนี่ที่กำหนด

2.2 เตรียมวัสดุอ้างอิงภายในยางธรรมชาติความหนืดคงที่จากวิธีการลดน้ำหนักโมเลกุลโดยวิธีทางเคมี

2.2.1 เก็บน้ำยางสดจากต้นยางและกรองน้ำยางสด ผ่านตัวกรอง ขนาด 40 เมช และ 80 เมช ตามลำดับ รักษาสภาพน้ำยางสดด้วยแอมโมเนียและทดสอบสมบัติน้ำยางสด ได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณเนื้อยางแห้ง ปริมาณความเป็นด่าง ปริมาณกรดไขมันระเหย และปริมาณแมกนีเซียม

กรมวิชาการเกษตร

2.2.2 เจือจางน้ำยางสดให้มีปริมาณเนื้อยางแห้งร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก

2.2.3 เติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ลงในน้ำยางสดปริมาณ 1.0 ส่วนต่อน้ำหนักเนื้อยางแห้ง 100 ส่วน กวนน้ำยาง เป็นเวลา 30 นาทีแล้วเติมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ลงในน้ำยางสด ปริมาณ 10.0 ส่วนต่อน้ำหนักเนื้อยางแห้ง 100 ส่วนโดยใช้ระยะเวลากวนผสมน้ำยางกับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 0, 30, 60, 120 และ 240 นาทีระยะเวลาละ 3 ซ้ำ

2.2.4 เติมสารละลายไฮดรอกซิลเอมีนนิวทรัลซัลเฟตความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ลงในน้ำยางสดปริมาณ 0.15 ส่วนต่อน้ำหนักเนื้อยางแห้ง 100 ส่วน กวนน้ำยางเป็นเวลา 30 นาที

2.2.5 จับตัวเนื้อยางด้วยกรดฟอร์มิกความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาณ 4 ส่วนต่อน้ำหนักเนื้อยางแห้ง 100 ส่วน แล้วปล่อยให้น้ำยางจับตัวที่อุณหภูมิห้อง

2.2.6 ล้างก้อนยางด้วยน้ำสะอาดและรีดก้อนยางให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องรีดให้มีความหนาไม่เกิน 5 มิลลิเมตร แล้วอบยางให้แห้งในตู้อบ

2.2.7 เตรียมตัวอย่างแต่ละชุดสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ (Mooney Viscosity; MV) การทดสอบความแข็งที่ภาวะเร่ง (Accelerated storage hardening test; A.S.H.T.) และน้ำหนักโมเลกุลและการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลโดยวิธีเจลเพอร์มีเอชันโครมาโทกราฟ (Gel Permeation Chromatography; GPC)

2.2.8 หากกรรมวิธีในข้อ 2.2.3 ไม่ได้ตัวอย่างที่มีค่าความหนืดมูนนี่ตามที่กำหนด ให้แปรระยะเวลาในการกวนผสมน้ำยางกับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตจนได้ค่าความหนืดมูนนี่ที่กำหนด

3. ทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity) ของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายใน

3.1 เตรียมตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในจากกรรมวิธีที่ให้ค่าความหนืดมูนนี่ 45$\pm$ 3, 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย จำนวน 3 ซ้ำ

3.2 สุ่มตัวอย่างจากจุดต่างๆ ของแผ่นยางที่เตรียมได้ จำนวน 10 ตัวอย่าง

3.3 ส่งตัวอย่างไปทดสอบสมบัติความหนืดมูนนี่ยังห้องปฏิบัติการที่ได้รับรองมาตรฐาน ISO/IEC 17025

3.4 นำผลการทดสอบจากข้อ 3.3 มาประเมินความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity) ของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในโดยมีเกณฑ์การพิจารณา ดังนี้

3.4.1 ค่าเฉลี่ย ± ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ไม่เกิน 45$\pm$ 3, 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย

3.4.2 วิเคราะห์หาความแปรปรวน (ANOVA) แล้ว ได้ค่า P-valueมากกว่า 0.05 และ $F_{cal.}$ น้อยกว่า $F_{crit.}$ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

กรมวิชาการเกษตร

4. การให้ค่าระดับ (Assigned Value) ของความหนืดมูนนี่ในยางสำหรับตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายใน

นำค่าเฉลี่ยความหนืดมูนนี่ของตัวอย่างยางที่ผ่านการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity) ในข้อ 3 มากำหนดเป็นค่าระดับของความหนืดมูนนี่ในตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายใน

5. ศึกษาความเสถียร (Stability) ของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายใน

5.1 เตรียมตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในจากกรรมวิธีที่ให้ค่าความหนืดมูนนี่ 45$\pm$ 3, 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย จำนวน 3 ซ้ำ

5.2 เตรียมตัวอย่างทดสอบโดยบดตัวอย่างด้วยเครื่องบด 2 ลูกกลิ้ง จำนวน 6 ครั้ง ที่ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 1.65 มิลลิเมตร ตัดตัวอย่างทดสอบจำนวน 2 ชิ้น แต่ละชิ้นมีความหนาประมาณ 6 มิลลิเมตร และมีน้ำหนักประมาณ 12.5 กรัม บรรจุใส่ถุงพอลิเอทิลีนและปิดให้สนิท จำนวน 72 ถุงต่อหนึ่งชุด

5.3 ทดสอบความหนืดมูนนี่ของตัวอย่างทดสอบ ทุกระดับค่าความหนืดมูนนี่ทุก 15 วัน เป็นระยะเวลา 1 ปี

5.4 ประเมินความเสถียรของวัสดุอ้างอิงภายในโดยใช้การประเมินการถดถอย (Regression Analysis)

6. รวบรวม วิเคราะห์ และสรุปผล

- เวลาและสถานที่

ระยะเวลาโครงการ 3 ปี 0 เดือน

วันที่เริ่มต้น 1 ตุลาคม 2560 วันที่สิ้นสุด 30 กันยายน 2563

สถานที่ทำการทดลอง

กองการยาง และศูนย์ควบคุมยางฉะเชิงเทรา กรมวิชาการเกษตร

กรมวิชาการเกษตร

8. ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ทดสอบสมบัติของยางธรรมชาติก่อนเตรียมวัสดุอ้างอิงภายใน

1.1. สมบัติน้ำยางสด

เก็บน้ำยางสดซึ่งเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ จำนวน 4 แปลง เพื่อเป็นแปลงสำรองในการผลิตวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ และทดสอบสมบัติน้ำยางสด ได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณเนื้อยางแห้ง จำนวนกรดไขมันระเหย และปริมาณแมกนีเซียม ผลการทดสอบสมบัติน้ำยางสด ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติน้ำยางสด จำนวน 4 แปลง

แปลงที่	สมบัติน้ำยางสด			
	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ปริมาณเนื้อยางแห้ง (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	จำนวนกรดไขมันระเหย	ปริมาณแมกนีเซียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
1	39.20	36.47	0.019	673
2	43.37	40.50	0.018	820
3	39.19	36.17	0.029	950
4	39.93	37.05	0.021	751

จากตารางที่ 1 สมบัติน้ำยางสดที่ได้เป็นสมบัติพื้นฐาน ซึ่งสมบัติต่างๆ จะใช้ในการเตรียมยางธรรมชาติในรูปของยางแห้ง และบ่งชี้ถึงการเสียสภาพของน้ำยาง ดังนี้

1) ปริมาณของแข็งทั้งหมด และปริมาณเนื้อยางแห้ง ใช้ในการคำนวณปริมาณแมกนีเซียม และคำนวณปริมาณสารควบคุมความหนืดไฮดรอกซิลเอมีนนิวทรัลซัลเฟต และกรดฟอร์มิก ที่จะเติมลงในน้ำยางสดเพื่อเตรียมตัวอย่างธรรมชาติในรูปของยางแห้ง

2) จำนวนกรดไขมันระเหยบ่งชี้ว่าน้ำยางสดเสียสภาพหรือไม่โดยมีค่าไม่เกิน ร้อยละ 0.05 ซึ่งผลที่ได้ตามตารางที่ 1 มีค่าจำนวนกรดไขมันระเหยไม่เกิน ร้อยละ 0.05 จึงเป็นน้ำยางสดที่ไม่เสียสภาพ

3) ปริมาณแมกนีเซียม มีผลต่อการเสียสภาพของน้ำยางสดในการผลิตน้ำยางข้น สำหรับงานวิจัยนี้ทดสอบปริมาณแมกนีเซียมเพื่อเก็บเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับน้ำยางสดที่นำมาใช้ผลิตวัสดุอ้างอิงภายใน

1.2 สมบัติยางธรรมชาติก่อนเตรียมวัสดุอ้างอิงภายใน

ศึกษาสมบัติยางแห้งโดยเก็บน้ำยางสดจากทั้ง 4 แปลง มาจับตัวเนื้อยางด้วยกรดฟอร์มิก รีดเป็นแผ่น และอบให้แห้ง ได้แผ่นยางแห้งสำหรับเป็นตัวอย่างยางธรรมชาติก่อนเตรียมวัสดุอ้างอิงภายใน แล้วทดสอบสมบัติของยางธรรมชาติก่อนเตรียมวัสดุอ้างอิงภายใน ได้แก่ ความหนืดมูนนี่ น้ำหนักโมเลกุล และการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล ได้ผลการทดสอบ ตามตารางที่ 2

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 2 สมบัติความหนืดมูนนี่ น้ำหนักโมเลกุล และการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล ของยางธรรมชาติก่อนเตรียมวัสดุอ้างอิงภายใน จำนวน 4 แปลง

แปลงที่	สมบัติความหนืดมูนนี่ (หน่วย)	น้ำหนักโมเลกุล ($x10^6$ กรัมต่อโมล)	การกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล (M_w/M_n)
1	66.4	2.74	1.21
2	67.9	2.73	1.27
3	66.8	2.85	1.22
4	82.85	2.99	1.51

จากสมบัติยางธรรมชาติก่อนเตรียมวัสดุอ้างอิงภายในที่ได้ตามตารางที่ 2 สมบัติที่จะนำมาพิจารณา คือ สมบัติความหนืดมูนนี่ ในการเลือกแปลงยางมาเตรียมวัสดุอ้างอิงภายในที่ระดับความหนืดมูนนี่ที่กำหนด เมื่อพิจารณาค่าความหนืดมูนนี่ พบว่า ความหนืดมูนนี่เริ่มต้นของแปลงที่ 1 - 3 มีค่าประมาณ 66 หน่วย จะใช้สำหรับเตรียมวัสดุอ้างอิงภายในที่ระดับความหนืดมูนนี่ 45 $\pm$ 3 หน่วย และความหนืดมูนนี่เริ่มต้นของแปลงที่ 4 มีค่าประมาณ 82 หน่วย ใช้สำหรับเตรียมวัสดุอ้างอิงภายในที่ระดับความหนืดมูนนี่ 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย

2. การผลิตวัสดุอ้างอิงภายในยางธรรมชาติความหนืดคงที่ซึ่งมีค่าความหนืดมูนนี่ 45 $\pm$ 3, 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย

การผลิตวัสดุอ้างอิงภายในยางธรรมชาติความหนืดคงที่ซึ่งมีค่าความหนืดมูนนี่ 45 $\pm$ 3, 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย ประกอบด้วย 2 วิธี ได้แก่ การเตรียมวัสดุอ้างอิงภายในยางธรรมชาติความหนืดคงที่จากวิธีการลดน้ำหนักโมเลกุลด้วยวิธีทางกล โดยการแปรจำนวนครั้งของการบดยางเพื่อให้ได้ตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในยางธรรมชาติความหนืดคงที่ ที่ระดับ 45 $\pm$ 3, 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย และการเตรียมวัสดุอ้างอิงภายในยางธรรมชาติความหนืดคงที่จากวิธีการลดน้ำหนักโมเลกุลด้วยวิธีทางเคมี โดยแปรจำนวนสารโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตจนได้ค่าความหนืดมูนนี่ที่กำหนด

2.1. เตรียมวัสดุอ้างอิงภายในยางธรรมชาติความหนืดคงที่จากวิธีการลดน้ำหนักโมเลกุลโดยวิธีทางกล

เตรียมวัสดุอ้างอิงภายในยางธรรมชาติความหนืดคงที่ซึ่งมีค่าความหนืดมูนนี่ 45 $\pm$ 3 หน่วย โดยเก็บน้ำยางสดจากแปลงที่ 1 มาเติมสารควบคุมความหนืดไฮดรอกซิลเอมีนนิวทรัลซัลเฟต จับตัวเนื้อยางด้วยกรดฟอร์มิก รีดเป็นแผ่น และอบให้แห้ง จากนั้นนำยางแห้งที่ผลิตได้ไปบดด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้ง ที่

กรมวิชาการเกษตร

อัตราส่วนความเร็วของลูกกลิ้งหน้าต่อลูกกลิ้งหลัง 1:1.4 และคุมอุณหภูมิของลูกกลิ้งที่ 30-40 องศาเซลเซียส ซึ่งแปรระยะเวลาการบดยาง 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 นาที ปริมาณ 750 กรัม ต่อ 1 ระยะเวลาการบดยาง และทดสอบสมบัติความหนืดมูนนี่ ความแข็งที่ภาวะเร่ง น้ำหนักโมเลกุล และการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของยางแห้ง ได้ผลการทดสอบตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สมบัติความหนืดมูนนี่ ความแข็งที่ภาวะเร่ง น้ำหนักโมเลกุล และการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล ของยางธรรมชาติความหนืดคงที่ ที่แปรระยะเวลาบดยาง 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 นาที

ระยะเวลาบดยาง (นาที)	สมบัติความหนืดมูนนี่ (หน่วย)			ความแข็งที่ภาวะเร่ง (หน่วย)			น้ำหนักโมเลกุล ($\times 10^6$ กรัมต่อโมล)			การกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล (M_w/M_n)		
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3
0	61.9	62.1	62.2	-1.5	-2.0	-1.0	2.60	2.61	2.48	1.08	1.42	1.37
1	60.2	60.4	60.7	-1.0	-1.0	0.5	2.46	2.44	2.47	1.38	1.39	1.43
2	57.4	57.7	57.3	0.5	1.0	1.5	2.39	2.39	2.34	1.33	1.39	1.32
3	53.3	53.6	50.1	0.5	1.5	1.0	2.33	2.26	2.06	1.69	1.72	1.68
4	50.0	49.8	50.1	1.0	1.5	2.0	1.82	1.99	1.98	1.52	1.52	1.64
5	45.0	45.5	46.0	1.5	2.0	1.0	1.58	1.89	1.97	1.77	1.63	1.73

จากตารางที่ 3 เมื่อระยะเวลาการบดยางแห้งเพิ่มขึ้น สมบัติความหนืดมูนนี่และน้ำหนักโมเลกุลยางมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากยางธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์ที่มีสายโซ่โมเลกุลยาว ทำให้มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ส่งผลให้มีสมบัติความหนืดมูนนี่สูง ดังนั้นการบดยางด้วยเครื่องบด 2 ลูกกลิ้ง ซึ่งเป็นวิธีทางกล ทำให้สายโซ่โมเลกุลยางแตกหักและขาดออกจากกัน ส่งผลให้ยางมีสายโซ่โมเลกุลสั้นลง น้ำหนักโมเลกุลและความหนืดมูนนี่จึงมีค่าลดลง

การวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์อาจแสดงค่าเป็นน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยแบบน้ำหนัก (Weight average molecular weight, Mw) หรือ น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยแบบจำนวน (Number average molecular weight, Mn) การหาค่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยแบบน้ำหนักด้วยน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยแบบจำนวน แสดงถึงค่าการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล (Polydispersity index, PDI) ถ้าการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล เท่ากับ 1 หมายความว่า พอลิเมอร์มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากันทุกโมเลกุล ดังนั้น ค่าการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติที่แปรระยะเวลาการบดยาง ตามตารางที่ 3 พบว่า เมื่อระยะเวลาบดยางเพิ่มขึ้น ค่าการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น เนื่องจากเวลาการบดยางที่เพิ่มขึ้น นอกจากจะทำให้สายโซ่โมเลกุลสั้นลงแล้ว ยังทำให้เกิดลักษณะของการแตกหักของสายโซ่โมเลกุลยางที่มีความยาวและสั้นไม่เท่ากัน

กรมวิชาการเกษตร

การทดสอบความแข็งที่ภาวะเร่งของยางเป็นการทดสอบที่แสดงถึงการเกิดความแข็งของยางที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บ ถ้าผลการทดสอบความแข็งที่ภาวะเร่งของยางมีค่าไม่เกิน 8 หน่วย แสดงว่า ยางมีสมบัติความหนืดคงที่ จากผลการทดสอบในตารางที่ 3 พบว่า เมื่อระยะเวลาบดยางเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งที่ภาวะเร่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ยางที่ทุกระยะเวลาการบดยาง มีค่าความแข็งที่ภาวะเร่งไม่เกิน 8 หน่วย แสดงว่า ยางที่เตรียมได้ยังมีสมบัติเป็นยางธรรมชาติความหนืดคงที่

เตรียมวัสดุอ้างอิงภายในยางธรรมชาติความหนืดคงที่ จากการลดน้ำหนักโมเลกุลโดยวิธีทางกลน้ำหนัก 2,000 กรัม เพื่อใช้เตรียมศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกัน แต่พบว่าระหว่างการบดยางที่เวลา 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 นาที ยางบางส่วนจะรวมอยู่ด้านบนของลูกกลิ้ง ส่งผลให้ไม่สามารถเตรียมตัวอย่างปริมาณมากสำหรับนำไปทดสอบได้ จึงปรับวิธีการบดยางจากแปรระยะเวลาการบดยาง เป็นการแปรจำนวนครั้งของการบดยางที่ 0, 5, 10, 15, 25, 30, 35, 40, 45 และ 50 ครั้ง และทดสอบสมบัติของตัวอย่างยางธรรมชาติความหนืดคงที่ ที่แปรจำนวนครั้งของการบดยาง ได้แก่ ความหนืดมูนนี่ ความแข็งที่ภาวะเร่ง น้ำหนักโมเลกุล และการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล ได้ผลการทดสอบตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สมบัติความหนืดมูนนี่ ความแข็งที่ภาวะเร่ง น้ำหนักโมเลกุลและการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล ของยางธรรมชาติความหนืดคงที่ ที่แปรจำนวนครั้งของการบดยางที่ 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 และ 50 ครั้ง

ระยะเวลาบดยาง (นาที)	สมบัติความหนืดมูนนี่ (หน่วย)			ความแข็งที่ภาวะเร่ง (หน่วย)			น้ำหนักโมเลกุล ($\times 10^6$ กรัมต่อโมล)			การกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล (M_w/M_n)		
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3
0	62.2	62.4	62.5	1.0	1.5	1.5	2.78	2.85	2.71	1.41	1.27	1.15
5	61.4	61.7	61.6	0.5	0.5	1.0	2.74	2.69	2.73	1.37	1.46	1.42
10	59.9	60.0	59.9	1.0	2.0	1.0	2.70	2.61	2.58	1.48	1.45	1.41
15	58.1	58.5	58.3	1.5	1.0	0.5	2.53	2.47	2.36	1.62	1.57	1.69
20	56.4	56.8	56.8	1.0	1.5	0.5	2.37	2.29	2.26	1.59	1.64	1.61
25	54.3	54.6	54.2	1.5	2.0	1.0	2.09	1.96	1.99	1.73	1.82	1.65
30	52.0	52.7	52.5	1.0	0.5	1.0	2.10	2.06	2.03	1.84	1.79	1.81
35	50.2	50.5	50.3	0.5	0.5	0.5	1.78	1.69	1.83	1.87	1.80	1.77
40	48.5	48.8	49.0	1.5	2.0	0.5	1.67	1.72	1.74	2.01	1.98	1.85
45	47.3	47.7	47.9	1.0	1.5	2.0	1.51	1.59	1.65	2.23	2.39	2.07
50	44.4	44.9	45.9	2.0	0.5	1.0	1.52	1.61	1.56	2.19	2.43	2.27

จากตารางที่ 4 พบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนครั้งของการบดยาง ความหนืดมูนนี่ของยางมีค่าลดลงเช่นเดียวกับการเพิ่มระยะเวลาการบดยาง แต่การเพิ่มจำนวนครั้งของการบดยางสามารถบดยางได้ในปริมาณมากกว่าการเพิ่มระยะเวลาการบดยาง อีกทั้งตัวอย่างยางที่ได้จากวิธีแปรจำนวนครั้งการบดยางมีความหนาสม่ำเสมอมากกว่าวิธีแปรเวลาการบดยาง ดังนั้นวิธีแปรจำนวนครั้งการบดยางจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับเตรียมตัวอย่างวัสดุอ้างอิง โดยยางที่ได้มีค่าความหนืดมูนนี่และน้ำหนักโมเลกุลเริ่มต้น

กรมวิชาการเกษตร

ประมาณ 62 หน่วย และ 2.8 x 10^6 กรัมต่อโมล ตามลำดับ ผ่านการบดจำนวน 50 ครั้ง ทำให้โมเลกุลยางเกิดการแตกหัก และได้ยางที่มีค่าความหนืดมูนนี่และน้ำหนักโมเลกุลลดลง ซึ่งมีค่าประมาณ 45 หน่วย และ 1.5 x 10^{-6} กรัมต่อโมล ตามลำดับ โดยมีค่าการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลยาง ประมาณ 2.4 บ่งถึงลักษณะของการแตกหักของสายโซ่โมเลกุลยางที่มีความยาวและสั้นไม่เท่ากัน สำหรับค่าความแข็งที่ภาวะเร่งของยางที่ผ่านการบด 50 ครั้ง พบว่า มีค่าในช่วง 0.5 – 2.0 หน่วย ซึ่งต่ำกว่า 8 หน่วย แสดงว่ายางที่ได้มีความหนืดคงที่ ดังนั้น วิธีผลิตวัสดุอ้างอิงภายในยางธรรมชาติความหนืดคงที่ ซึ่งมีค่าความหนืดมูนนี่ 45 $\pm$ 3 หน่วย คือ การบดยางที่มีค่าความหนืดมูนนี่ ประมาณ 62 หน่วย จำนวน 50 ครั้ง

เตรียมวัสดุอ้างอิงภายในยางธรรมชาติความหนืดคงที่ซึ่งมีค่าความหนืดมูนนี่ 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย โดยเก็บน้ำยางสดจากแปลงที่ 4 มาผ่านกระบวนการผลิตเช่นเดียวกับการเตรียมยางธรรมชาติความหนืดคงที่ความหนืดมูนนี่ 45 $\pm$ 3 หน่วย ได้ยางธรรมชาติที่มีความหนืดมูนนี่เริ่มต้น 82.85 หน่วย จากนั้นบดยางธรรมชาติโดยแปรจำนวนครั้งของการบดยางที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 ครั้ง ยางที่บดได้มีค่าความหนืดมูนนี่ ความแข็งที่ภาวะเร่ง น้ำหนักโมเลกุล และการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 สมบัติความหนืดมูนนี่ ความแข็งที่ภาวะเร่ง น้ำหนักโมเลกุล และการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติความหนืดคงที่ ที่แปรจำนวนครั้งของการบดยางที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 ครั้ง

ระยะเวลาบดยาง (นาที)	สมบัติความหนืดมูนนี่ (หน่วย)			ความแข็งที่ภาวะเร่ง (หน่วย)			น้ำหนักโมเลกุล (x10^6 กรัมต่อโมล)			การกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล (M_w/M_n)		
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3
0	80.9	81.0	80.9	-1.0	0.5	1.5	2.85	2.84	2.89	1.19	1.18	1.23
10	78.4	78.1	78.3	0.5	1.5	1.5	2.84	2.79	2.80	1.34	1.30	1.25
20	75.3	75.4	74.8	1.5	1.0	1.0	2. 77	2.63	2.71	1.35	1.34	1.39
30	72.7	72.0	72.4	1.5	2.0	1.0	2.56	2.59	2.61	1.40	1.59	1.42
40	68.5	68.2	68.3	1.5	1.0	2.0	2.40	2.39	2.40	1.66	1.67	1.59
50	65.3	64.5	65.4	0.5	2.0	1.5	2.25	2.28	2.20	1.72	1.81	1.79

จากตารางที่ 5 พบว่า ยางธรรมชาติความหนืดคงที่ มีค่าความหนืดเริ่มต้นประมาณ 80 หน่วย โดยยางที่เตรียมได้มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆ เช่นเดียวกับยางธรรมชาติความหนืดคงที่ ที่ระดับ 45±3 หน่วย กล่าวคือ มีค่าความหนืดมูนนี่ และน้ำหนักโมเลกุลลดลงตามจำนวนครั้งการบด ในขณะที่การกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้นตามจำนวนครั้งของการบด และความแข็งที่ภาวะเร่งต่ำกว่า 8 หน่วย ซึ่งยางธรรมชาติความหนืดคงที่ ที่ระดับ 75±3 และ 65±3 หน่วย เตรียมได้โดยการนำยางที่มีค่าความหนืดมูนนี่ประมาณ 80 หน่วย มาบดจำนวน 20 และ 50 ครั้ง ตามลำดับ

กรมวิชาการเกษตร

2.2 เตรียมวัสดุอ้างอิงภายในยางธรรมชาติความหนืดคงที่จากวิธีการลดน้ำหนักโมเลกุลโดยวิธีทางเคมี

เตรียมวัสดุอ้างอิงภายในยางธรรมชาติความหนืดคงที่จากการลดน้ำหนักโมเลกุลโดยวิธีทางเคมี โดยใช้น้ำยางสดแปลงที่ 1 ซึ่งรักษาสภาพด้วยแอมโมเนียปริมาณร้อยละ 0, 0.1, 0.2 และ 0.3 โดยน้ำหนัก มาเติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต และไฮดรอกซิลเอมีนนิวทรัลซัลเฟต แล้วกวนน้ำยาง พบว่า เมื่อนำน้ำยางสดที่ไม่เติมสารรักษาสภาพแอมโมเนียมาเติมสารและกวนเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง น้ำยางมีลักษณะจับตัวเป็นก้อนเล็กๆ ซึ่งเกิดจากการเสื่อมสภาพของน้ำยาง แต่เมื่อเติมสารรักษาสภาพแอมโมเนียในปริมาณไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก น้ำยางสามารถคงลักษณะสารคอลลอยด์ได้โดยไม่มีการจับตัว จากนั้นนำน้ำยางที่มีปริมาณสารรักษาสภาพแอมโมเนียทั้ง 4 ระดับ ที่ผ่านกระบวนการลดน้ำหนักโมเลกุลทางเคมีมาจับตัวด้วยกรด ระยะเวลาการจับตัวของน้ำยางที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนียปริมาณร้อยละ 0, 0.1 และ 0.2 โดยน้ำหนัก คือ 3, 12 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ แต่น้ำยางที่มีปริมาณแอมโมเนีย ร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนัก ไม่สามารถจับตัวได้ ดังนั้นปริมาณแอมโมเนียที่เหมาะสมสำหรับใช้รักษาสภาพน้ำยางสดสำหรับนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นสำหรับการเตรียมวัสดุอ้างอิงภายในยางธรรมชาติความหนืดคงที่จากการลดน้ำหนักโมเลกุลโดยวิธีทางเคมี คือ ไม่เกิน ร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก

เตรียมวัสดุอ้างอิงภายในยางธรรมชาติความหนืดคงที่จากการลดน้ำหนักโมเลกุลโดยวิธีทางเคมี โดยเติมสารรักษาสภาพแอมโมเนียปริมาณร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก ลงในน้ำยางสด จากนั้นเติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ปริมาณ 1.0 ส่วนต่อน้ำหนักเนื้อยางแห้ง 100 ส่วน กวนน้ำยางเป็นเวลา 30 นาที เติมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ปริมาณ 10.0 ส่วนต่อน้ำหนักเนื้อยางแห้ง 100 ส่วน กวนน้ำยาง เป็นเวลา 0, 30, 60, 120 และ 240 นาที เติมสารละลายไฮดรอกซิลเอมีนนิวทรัล ซัลเฟต ปริมาณ 0.15 ส่วนต่อน้ำหนักเนื้อยางแห้ง 100 ส่วน กวนน้ำยาง เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำน้ำยางไปจับตัวเนื้อยางด้วยกรดฟอร์มิกและอบให้แห้ง พบว่า น้ำยางสดที่แปรระยะเวลาการกวน (ระยะเวลาการกวนภายหลังจากการเติมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ปริมาณ 10.0 ส่วนต่อน้ำหนักเนื้อยางแห้ง 100 ส่วน) ที่เวลาต่างๆ ให้ผลการทดลองดังนี้

1) ระยะเวลาการกวน 0 และ 30 นาที น้ำยางสดผสมสารเคมีมีสภาพเป็นของเหลว เมื่อนำน้ำยางสดที่ได้ไปจับตัวเนื้อยางด้วยกรดฟอร์มิก พบว่าน้ำยางสดบางส่วนไม่จับตัวเป็นเนื้อยาง เนื่องจากการเติมสารรักษาสภาพแอมโมเนียและสารเคมีส่งผลให้น้ำยางจับตัวเป็นเนื้อยางไม่สมบูรณ์

2) ระยะเวลาการกวน 60 120 และ 240 นาที น้ำยางสดบางส่วนจับตัวเป็นเนื้อยางในขณะกวนน้ำยาง จึงไม่สามารถนำมาจับตัวเนื้อยางด้วยกรดฟอร์มิกได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จากผลการแปรระยะเวลาการกวนน้ำยางสดหลังเติมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเป็นเวลา 0, 30, 60, 120 และ 240 นาที แสดงให้เห็นว่า การเตรียมวัสดุอ้างอิงภายในยางธรรมชาติความหนืดคงที่จากการลดน้ำหนักโมเลกุลโดยวิธีทางเคมี ไม่สามารถเตรียมวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ได้

ดังนั้น จึงได้เลือกวิธีการลดน้ำหนักโมเลกุลโดยวิธีทางกลสำหรับการผลิตวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ซึ่งมีค่าความหนืดมูนนี่ 45 $\pm$ 3, 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย คือ นำน้ำยางสดมาเติมสารควบคุมความหนืดไฮดรอกซิลเอมีนนิวทรัลซัลเฟต ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาณ 0.15 ส่วนต่อน้ำหนักเนื้อยางแห้ง 100 ส่วน และเติมกรดฟอร์มิกความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาณ 4 ส่วนต่อน้ำหนักเนื้อยางแห้ง 100 ส่วน เพื่อเตรียมเป็นยางแห้ง แล้วนำยางแห้งที่ผลิตได้ไปบดด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้ง ที่อัตราส่วนความเร็วของลูกกลิ้งหน้าต่อลูกกลิ้งหลัง 1:1.4 และคุมอุณหภูมิของลูกกลิ้งที่ 30-40 องศาเซลเซียส โดยใช้จำนวนครั้งของการบดยาง ดังนี้

1) วัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 45 $\pm$ 3 หน่วย คือ บดยางที่มีค่าความหนืดมูนนี่ ประมาณ 62 หน่วย จำนวน 50 ครั้ง

2) วัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 65 $\pm$ 3 หน่วย คือ บดยางที่มีค่าความหนืดมูนนี่ ประมาณ 80 หน่วย จำนวน 50 ครั้ง

3) วัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 75 $\pm$ 3 หน่วย คือ บดยางที่มีค่าความหนืดมูนนี่ ประมาณ 80 หน่วย จำนวน 20 ครั้ง

3. การทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity) ของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายใน

เตรียมตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 45 $\pm$ 3, 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย ระดับละ 3 ชุด จากนั้นสุ่มตัวอย่างยางแห้ง จำนวน 10 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 2 ซ้ำ ส่งให้ห้องปฏิบัติการที่ได้รับรองมาตรฐาน ISO/IEC 17025 ทดสอบสมบัติความหนืดมูนนี่ นำผลการทดสอบที่ได้มาประเมินความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity) ด้วยการคำนวณค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) แล้ววิเคราะห์หาความแปรปรวน (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 การประเมินความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity) ของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ทั้ง 3 ระดับ มีเกณฑ์การพิจารณา 2 เกณฑ์ ได้แก่

1) ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ไม่เกิน 45 $\pm$ 3, 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย

2) วิเคราะห์หาความแปรปรวน (ANOVA) แล้ว ได้ค่า P-value มากกว่า 0.05 และ $F_{cal.}$ น้อยกว่า $F_{crit.}$ ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

กรมวิทยาศาสตร์

ได้ผลการประเมินความเป็นเนื้อเดียวกันของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ทั้ง 3 ระดับ จากการพิจารณา 2 เกณฑ์ ดังนี้

3.1 การประเมินความเป็นเนื้อเดียวกันของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายใน โดยการพิจารณาค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

นำผลการทดสอบความหนืดมูนนี่ของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 45 $\pm$ 3, 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ได้ผลแสดงในตารางที่ 6, 7 และ 8 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบความหนืดมูนนี่ของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 45 $\pm$ 3 หน่วย

ตัวอย่างที่	ความหนืดมูนนี่ (หน่วย)					
	ยางชุดที่ 1		ยางชุดที่ 2		ยางชุดที่ 3	
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
1	45.3	45.6	45.8	46.1	45.4	45.9
2	45.7	45.2	45.6	45.2	45.8	45.3
3	45.2	45.8	46.0	45.3	46.1	46.4
4	44.9	45.3	45.3	44.6	45.3	45.6
5	45.1	45.7	44.7	45.3	44.6	45.0
6	44.6	45.0	44.9	45.7	44.3	45.3
7	45.5	45.9	45.1	45.4	45.4	45.5
8	45.7	45.3	45.3	44.6	45.9	45.2
9	44.8	45.1	45.7	45.2	44.3	45.1
10	45.3	45.2	45.4	44.9	45.0	45.8
Mean	45.3		45.3		45.4	
SD	0.3493		0.4310		0.5557	

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบความหนืดมูนนี่ของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับทดสอบความหนืดมูนนี่ที่ระดับ 65 ± 3 หน่วย

ตัวอย่างที่	ความหนืดมูนนี่ (หน่วย)					
	ยางชุดที่ 1		ยางชุดที่ 2		ยางชุดที่ 3	
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
1	65.4	65.1	65.2	65.6	65.7	65.2
2	65.3	65.9	65.4	65.1	65.4	65.7
3	66.0	65.7	65.6	65.9	65.5	65.1
4	64.7	65.1	65.5	65.1	65.1	65.5
5	65.1	65.5	65.3	64.8	65.8	65.4
6	65.4	65.5	65.7	65.0	65.4	65.6
7	64.9	65.3	65.4	65.3	65.3	65.6
8	65.3	65.7	65.2	65.8	65.9	65.6
9	65.8	65.2	64.8	65.4	65.1	65.5
10	64.8	65.0	65.9	65.3	64.8	65.3
Mean	65.3		65.4		65.4	
SD	0.3617		0.3233		0.2731	

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบความหนืดมูนนี่ของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ที่ระดับ 75 ± 3 หน่วย

ตัวอย่างที่	ความหนืดมูนนี่ (หน่วย)					
	ยางชุดที่ 1		ยางชุดที่ 2		ยางชุดที่ 3	
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
1	75.9	75.3	74.6	75.1	74.9	75.4
2	75.1	75.4	75.1	75.4	75.4	75.5
3	75.5	75.4	75.8	75.5	75.6	75.1
4	75.2	75.8	75.3	75.8	75.9	75.3
5	75.8	75.7	75.1	74.9	74.4	74.5
6	75.5	75.6	74.6	75.1	75.4	75.6
7	74.8	75.4	76.0	75.4	75.6	75.3
8	75.3	74.9	75.6	75.2	75.7	75.0
9	75.4	75.9	75.3	75.7	75.1	74.9
10	76.0	75.6	74.8	75.3	75.4	75.6
Mean	75.5		75.3		75.3	
SD	0.3259		0.3874		0.3901	

กรมวิชาการเกษตร

จากตารางที่ 6, 7 และ 8 ผลการทดสอบตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 45 $\pm$ 3, 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย ได้ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังนี้

1) วัสดุอ้างอิงภายในสำหรับทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 45 $\pm$ 3 มีค่าผลการทดสอบ 45.3 ± 0.3493, 45.3 ± 0.4310 และ 45.4 ± 0.5557 หน่วย

2) วัสดุอ้างอิงภายในสำหรับทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 65 $\pm$ 3 มีค่าผลการทดสอบ 65.3 ± 0.3617, 65.4 ± 0.3233 และ 65.4 ± 0.2731 หน่วย

3) วัสดุอ้างอิงภายในสำหรับทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 75 $\pm$ 3 มีค่าผลการทดสอบ 75.5 ± 0.3259, 75.3 ± 0.3874 และ 75.3 ± 0.3901 หน่วย

เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับทดสอบความหนืดมูนนี่ของทั้ง 3 ระดับ พบว่าตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับทดสอบความหนืดมูนนี่ดังกล่าว มีค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผ่านตามเกณฑ์การประเมิน คือ มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ไม่เกิน ±3

3.2 การประเมินความเป็นเนื้อเดียวกันของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายใน โดยการพิจารณาความแปรปรวน (ANOVA) แล้ว ได้ค่า P-value มากกว่า 0.05 และ $F_{cal.}$ น้อยกว่า $F_{crit.}$ ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

นำผลการทดสอบความหนืดมูนนี่ของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 45 $\pm$ 3, 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย มาวิเคราะห์หาความแปรปรวน (ANOVA) แบบ Single Factor ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 แสดงผลการวิเคาะห์ตามตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลการประเมินความเป็นเนื้อเดียวกันของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 45 $\pm$ 3, 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย ด้วยการวิเคราะห์หาความแปรปรวน (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

ผลการประเมิน	ตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ (หน่วย)								
	45 $\pm$ 3			65 $\pm$ 3			75 $\pm$ 3		
	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3
MS of Between Groups	0.1576	0.2083	0.4509	0.1878	0.0912	0.0769	0.1258	0.2113	0.2336
MS of within Groups	0.0900	0.1655	0.1810	0.0795	0.1165	0.0725	0.0885	0.0950	0.0790
P-value	0.1977	0.3607	0.0857	0.0983	0.6386	0.4599	0.2948	0.1145	0.0532
F_{Cal}	1.7506	1.2585	2.4911	2.3627	0.7825	1.0613	1.4218	2.2246	2.9564
F_{Crit}	3.0204								

จากตารางที่ 9 พิจารณาค่า P-value และ $F_{cal.}$ ของตัวอย่างตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 45 $\pm$ 3, 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย พบว่า วัสดุอ้างอิงภายในสำหรับ

กรมวิทยาศาสตร์

การทดสอบความหนืดมูนนี่ ทั้ง 3 ระดับ มีค่า P-value มากกว่า 0.05 และค่า $F_{cal.}$น้อยกว่า $F_{crit.}$ ($F_{crit.}$ ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 เท่ากับ 3.0204) ซึ่งผ่านตามเกณฑ์การประเมิน คือ ค่า P-value มากกว่า 0.05 และ $F_{cal.}$น้อยกว่า F_{crit} ผลที่ได้นี้แปลว่าที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ค่าเฉลี่ยของข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

จากการประเมินความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity) ของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ที่ระดับ 45 $\pm$ 3, 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย พบว่า ตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ทั้ง 3 ระดับ มีค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ไม่เกิน 45 $\pm$ 3, 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย ค่า P-value มากกว่า 0.05 และ $F_{cal.}$น้อยกว่า $F_{crit.}$ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 แสดงว่าตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในทั้ง 3 ระดับ มีความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity)

4. การให้ค่าระดับ (Assigned Value) ของความหนืดมูนนี่ในยางสำหรับตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายใน

ได้ค่าระดับ (Assigned Value) ของวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 45 $\pm$ 3 หน่วย 65 $\pm$ 3 หน่วย และที่ระดับ 75 $\pm$ 3 หน่วย โดยนำค่าความหนืดมูนนี่ของตัวอย่างยางที่ผ่านการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity) มาคำนวณค่าเฉลี่ย $\pm$ 2SD ได้ผลการหาค่าระดับ (Assigned Value) ของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ที่ระดับ 45 $\pm$ 3 หน่วย 65 $\pm$ 3 หน่วย และที่ระดับ 75 $\pm$ 3 หน่วย ตามตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ค่าระดับ (Assigned Value) ของวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 45 $\pm$ 3 หน่วย 65 $\pm$ 3 หน่วย และที่ระดับ 75 $\pm$ 3 หน่วย

วัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ (หน่วย)	**ค่าระดับความหนืดมูนนี่ (หน่วย)**		
	ยางชุดที่ 1	**ยางชุดที่ 2**	**ยางชุดที่ 3**
45 $\pm$ 3	45.3 ± 0.6986	45.3 ± 0.8620	45.4 ± 1.1114
65 $\pm$ 3	65.3 ± 0.7234	65.4 ± 0.6466	65.4 ± 0.5462
75 $\pm$ 3	75.5 ± 0.6518	75.3 ± 0.7748	75.3 ± 0.7802

5. ศึกษาความเสถียร (Stability) ของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายใน

5.1 ผลการทดสอบสมบัติความหนืดมูนนี่ของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่

เตรียมตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ จำนวน 3 ระดับ ได้แก่ ระดับ 45 $\pm$ 3, 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย ระดับละ 3 ซ้ำ จากนั้นส่งตัวอย่างไปทดสอบยังห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน ISO/IEC 17025 ทุก 15 วัน โดยมีอุณหภูมิการเก็บตัวอย่าง อยู่ในช่วง 25.1 – 26.3

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 55 - 59 ได้ผลการทดสอบความหนืดมูนนี่ของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ทั้ง 3 ระดับ ตามตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ผลการทดสอบความหนืดมูนนี่ของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ที่ระดับ 45 ± 3, 65 ± 3 และ 75 ± 3 หน่วย ที่ระยะเวลาการเก็บ 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165 180, 195, 210, 225, 240, 255 และ 270 วัน

ระยะเวลา (วัน)	ความหนืดมูนนี่ (หน่วย) ของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ (หน่วย)											
	45 ± 3				65 ± 3				75 ± 3			
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	เฉลี่ย	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	เฉลี่ย	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	เฉลี่ย
0	44.5	44.3	44.1	44.3	65.0	65.1	64.8	65.0	75.4	75.7	74.9	75.3
15	44.4	44.3	44.6	44.4	65.4	66.1	65.4	65.6	75.9	75.2	75.1	75.4
30	44.5	44.4	44.3	44.4	65.7	65.6	66.1	65.8	75.1	75.1	75.9	75.4
45	44.1	44.5	44.1	44.2	64.0	65.8	64.7	64.8	75.2	75.0	75.3	75.2
60	44.1	44.0	44.5	44.2	64.2	64.0	65.2	64.5	75.3	75.0	75.9	75.4
75	44.5	44.1	44.7	44.4	64.7	65.1	64.9	64.9	75.7	74.8	75.2	75.2
90	44.7	44.8	44.1	44.5	65.2	65.3	65.1	65.2	74.6	75.3	75.8	75.2
105	45.3	45.1	45.4	45.3	65.8	65.3	64.7	65.3	75.1	74.4	75.3	74.9
120	46.7	46.1	45.9	46.2	65.2	66.1	64.3	65.2	76.1	76.9	75.8	76.3
135	44.4	45.6	44.1	44.7	65.3	66.1	66.5	66.0	75.6	74.8	75.2	75.2
150	45.5	44.8	44.2	44.8	64.2	65.7	64.7	64.9	75.6	75.7	75.1	75.5
165	45.0	44.9	45.3	45.1	65.2	65.1	64.9	65.1	75.2	75.4	75.7	75.4
180	45.6	46.1	44.7	45.5	65.7	65.9	64.5	65.4	75.8	75.3	75.1	75.4
195	46.7	46.1	45.8	46.2	67.0	67.9	67.6	67.5	76.5	76.8	75.4	76.2
210	46.1	46.4	46.1	46.2	66.4	66.9	67.6	67.0	76.1	76.6	77.1	76.6
225	46.2	47.2	46.6	46.7	67.2	67.7	67.5	67.5	75.9	76.3	77.2	76.5
240	46.5	46.4	45.7	46.2	67.5	68.2	68.1	67.9	77.2	77.5	77.8	77.5
255	46.4	46.8	45.9	46.4	68.1	68.9	67.5	68.2	75.9	77.8	79.1	77.6
270	46.9	47.4	46.2	46.8	68.2	69.1	67.9	68.4	79.8	76.5	77.3	77.9

กรมวิทยาศาสตร์

5.2 การประเมินการถดถอย (Regression Analysis) ของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่

ศึกษาความเสถียรจากการประเมินการถดถอยของวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 45 ± 3, 65 ± 3 และ 75 ± 3 หน่วย ทุก 90 วัน โดยการประเมินการถดถอย (Regression Analysis) โดยสร้างกราฟระหว่างค่าความหนืดมูนนี่กับระยะเวลาการเก็บตามสมการที่ (1)

$$Y = b_1X + b_0 \qquad (1)$$

เมื่อ X = ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายใน

Y = ค่าความหนืดมูนนี่ของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายใน

b_0 = จุดตัดแกน Y

b_1 = ความชันของเส้นถดถอย (Slope)

คำนวณค่าความชันของเส้นถดถอย (b_1) ค่าจุดตัดแกน Y (b_0) ค่า standard deviation of slope ($S(b_1)$) ค่าวิกฤตของการทดสอบแบบที ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($t_{0.025,n-2}$) และค่า P-Value ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เพื่อประเมินความเสถียรของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายใน ซึ่งตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่จะมีความเสถียรเมื่อ

1. ค่า $|b_1|/S(b_1)$ น้อยกว่า $t_{0.025,n-2}$

เมื่อ $|b_1|$ คือ ค่าสัมบูรณ์ของความชันของเส้นถดถอย

$S(b_1)$ คือ standard deviation of slope หรือ SD of Slope

$t_{0.025,n-2}$ คือ ค่า t critical ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95)

2. ค่า P-value มีค่ามากกว่า 0.05 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95)

ได้ผลการประเมินความเสถียรของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ทั้ง 3 ระดับ ดังนี้

5.2.1 การศึกษาความเสถียรของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ที่ระยะเวลาการเก็บ 90 วัน

นำข้อมูลผลการทดสอบความหนืดมูนนี่ของวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 45 $\pm$ 3, 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย จากตารางที่ 11 มาประเมินการถดถอย แสดงผลการประเมินความเสถียรที่ระยะเวลาการเก็บ 0, 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 วัน แสดงตามตารางที่ 12

กรมวิทยาศาสตร์

ตารางที่ 12 การศึกษาความเสถียร (Stability) ของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 45 $\pm$ 3, 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย ที่ระยะเวลาการเก็บ 0, 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 วัน โดยการประเมินการถดถอย ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

การประเมินการถดถอย (Regression Analysis)	**ตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ (หน่วย)**		
	45 $\pm$ 3	**65 $\pm$ 3**	**75 $\pm$ 3**
Slope (b_1)	0.0012	-0.0050	-0.0014
SD of Slope ($S(b_1)$)	0.0016	0.0061	0.0011
$\lvert b_1 \rvert / S(b_1)$	0.7532	0.8255	1.2805
P-value	0.4853	0.4467	0.2566
$t_{0.025,n-2}$	12.71	12.71	12.71

จากตารางที่ 12 ได้ผลการประเมินความเสถียรของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ของแต่ละระดับ ดังนี้

1) วัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ระดับ 45 $\pm$ 3 หน่วย มีค่า Slope (b_1) และ SD of Slope ($S(b_1)$) เท่ากับ 0.0012 และ 0.0016 ตามลำดับ จะได้ค่า $\lvert b_1 \rvert / S(b_1)$ เท่ากับ 0.7532 และค่า P-value เท่ากับ 0.4853

2) วัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ระดับ 65 $\pm$ 3 หน่วย มีค่า Slope (b_1) และ SD of Slope ($S(b_1)$) เท่ากับ -0.0050 และ 0.0061 ตามลำดับ จะได้ค่า $\lvert b_1 \rvert / S(b_1)$ เท่ากับ 0.8255 และค่า P-value เท่ากับ 0.4467

3) วัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ระดับ 75 $\pm$ 3 หน่วย มีค่า Slope (b_1) และ SD of Slope ($S(b_1)$) เท่ากับ -0.0014 และ 0.0011 ตามลำดับ จะได้ค่า $\lvert b_1 \rvert / S(b_1)$ เท่ากับ 1.2805 และค่า P-value เท่ากับ 0.2566

จากผลการประเมิน พบว่าวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ที่ระดับ 45 $\pm$ 3, 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย มีค่า $\lvert b_1 \rvert / S(b_1)$ น้อยกว่า $t_{0.025,n-2}$ (12.71) และค่า P-value มากกว่า 0.05 แสดงว่าตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ทั้ง 3 ระดับ ที่ระยะเวลาการเก็บ 90 วัน มีความเสถียร

5.2.2 การศึกษาความเสถียรของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ที่ระยะเวลาการเก็บ 180 วัน

นำข้อมูลผลการทดสอบความหนืดมูนนี่ของวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 45 $\pm$ 3, 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย จากตารางที่ 13 มาประเมินการถดถอย

กรมวิทยาศาสตร์

แสดงผลการประเมินความเสถียรที่ระยะเวลาการเก็บ 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165 และ 180 วัน แสดงตามตารางที่ 13

ตารางที่ 13 การศึกษาความเสถียรของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 45 $\pm$ 3, 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย ที่ระยะเวลาการเก็บ 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165 และ 180 วัน โดยการประเมินการถดถอย ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

การประเมินการถดถอย (Regression Analysis)	**ตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ (หน่วย)**		
	45 $\pm$ 3	**65 $\pm$ 3**	**75 $\pm$ 3**
Slope (b_1)	0.0067	0.0004	0.0009
SD of Slope ($S(b_1)$)	0.0023	0.0022	0.0016
$Ib_1I/S(b_1)$	2.8863	0.1807	0.5900
P-value	0.0148	0.8599	0.5671
t_{crit}	12.71	12.71	12.71

จากตารางที่ 13 ได้ผลการประเมินความเสถียรของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ของแต่ละระดับ ดังนี้

1) วัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ระดับ 45 $\pm$ 3 หน่วย มีค่า Slope (b_1) และ SD of Slope ($S(b_1)$) เท่ากับ 0.0067 และ 0.0023 ตามลำดับ จะได้ค่า $Ib_1I/S(b_1)$ เท่ากับ 2.8863 และค่า P-value เท่ากับ 0.0148

2) วัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 65 $\pm$ 3 หน่วย มีค่า Slope (b_1) และ SD of Slope ($S(b_1)$) เท่ากับ 0.0004 และ 0.0022 ตามลำดับ จะได้ค่า $Ib_1I/S(b_1)$ เท่ากับ 0.1807 และค่า P-value เท่ากับ 0.8599

3) วัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 75 $\pm$ 3 หน่วย มีค่า Slope (b_1) และ SD of Slope ($S(b_1)$) เท่ากับ 0.0009 และ 0.0016 ตามลำดับ จะได้ค่า $Ib_1I/S(b_1)$ เท่ากับ 0.5900 และค่า P-value เท่ากับ 0.5671

จากผลการประเมิน พบว่าวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 45 $\pm$ 3 หน่วย มีค่า $Ib_1I/S(b_1)$ น้อยกว่า $t_{0.025,n-2}$ (12.71) แต่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 45 $\pm$ 3 หน่วย ที่ระยะเวลาการเก็บ 180 วัน ไม่มีความเสถียร ในขณะที่วัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ที่ระดับ 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย

กรมวิชาการเกษตร

มีค่า $|b_1|/S(b_1)$ น้อยกว่า $t_{0.025,n-2}$ (12.71) และค่า P-value มากกว่า 0.05 แสดงว่าตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ทั้ง 2 ระดับ ที่ระยะเวลาการเก็บ 180 วัน มีความเสถียร

วัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 45 $\pm$ 3 หน่วย ไม่มีความเสถียรที่ระยะเวลาการเก็บที่ 180 วัน จึงนำผลการทดสอบสมบัติความหนืดมูนนี่ของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 45 $\pm$ 3 หน่วย ที่ระยะเวลาการเก็บ 0 – 165 วัน (ระยะเวลาการเก็บ 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, และ 165 วัน) และ 0 – 150 วัน (ระยะเวลาการเก็บ 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150 วัน) มาประเมินความเสถียร (Stability) โดยการประเมินการถดถอย แสดงตามตารางที่ 14

ตารางที่ 14 การศึกษาความเสถียรของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 45 $\pm$ 3 หน่วย ที่ระยะเวลาการเก็บ 0 – 165 วัน และ 0 – 150 วัน โดยการประเมินการถดถอย ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

การประเมินการถดถอย	**ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง (วัน)**	
(Regression Analysis)	**0 – 165**	**0 – 150**
Slope (b_1)	0.0064	0.0071
SD of Slope ($S(b_1)$)	0.0027	0.0032
$|b_1|/S(b_1)$	2.3453	2.1726
P-value	0.0401	0.0579
t_{crit}	12.71	12.71

จากตารางที่ 14 ได้ผลการประเมินความเสถียรของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 45 $\pm$ 3 หน่วย ที่ระยะเวลาการเก็บ 165 และ 150 วัน ดังนี้

1) ระยะเวลาการเก็บ 165 วัน มีค่า Slope (b_1) และ SD of Slope ($S(b_1)$) เท่ากับ 0.0064และ 0.0027 ตามลำดับ จะได้ค่า $|b_1|/S(b_1)$ เท่ากับ 2.3453 และค่า P-value เท่ากับ 0.0401

2) ระยะเวลาการเก็บ 150 วัน มีค่า Slope (b_1) และ SD of Slope ($S(b_1)$) เท่ากับ 0.0071และ 0.0032 ตามลำดับ จะได้ค่า $|b_1|/S(b_1)$ เท่ากับ 2.1726 และค่า P-value เท่ากับ 0.0579

จากผลการประเมิน พบว่า ตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 45 $\pm$ 3 หน่วย ที่ระยะเวลาการเก็บ 165 วัน มีค่า $|b_1|/S(b_1)$ น้อยกว่า $t_{0.025,n-2}$ (12.71) และมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 45 $\pm$ 3 หน่วย ไม่มีความเสถียร แต่ที่ระยะเวลาการเก็บ 150 วัน มีค่า $|b_1|/S(b_1)$ น้อยกว่า $t_{0.025,n-2}$ (12.71)

กรมวิชาการเกษตร

และมีค่า P-value มากกว่า 0.05 แสดงว่าตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ที่ระดับ 45 $\pm$ 3 หน่วย มีความเสถียร ที่ระยะเวลาการเก็บ 150 วัน

5.2.3 การศึกษาความเสถียรของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ที่ระยะเวลาการเก็บ 270 วัน

นำข้อมูลผลการทดสอบความหนืดมูนนี่ของวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย จากตารางที่ 11 มามาประเมินการถดถอย เพื่อหาระยะเวลาการเก็บของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ของทั้ง 2 ระดับ รวมทั้งนำข้อมูลผลการทดสอบความหนืดมูนนี่ของวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 45 $\pm$ หน่วย จากตารางที่ 11 มาประเมินการถดถอยเพื่อเป็นการศึกษาความเสถียรอย่างต่อเนื่อง แสดงผลการประเมินความเสถียรที่ระยะเวลาการเก็บ 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165, 180, 195, 210, 225, 240, 255 และ 270 วัน แสดงตามตารางที่ 15

ตารางที่ 15 การศึกษาความเสถียร (Stability) ของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 45 $\pm$ 3, 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย ที่ระยะเวลาการเก็บ 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165, 180, 195, 210, 225, 240, 255 และ 270 วัน โดยการประเมินการถดถอย ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

การประเมินการถดถอย (Regression Analysis)	**ตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ (หน่วย)**		
	45 $\pm$ 3	**65 $\pm$ 3**	**75 $\pm$ 3**
Slope (b_1)	0.0098	0.0122	0.0086
SD of Slope ($S(b_1)$)	0.0012	0.0022	0.0016
$|b_1|/S(b_1)$	7.9126	5.4735	5.4755
P-value	4.24×10^{-7}	4.12×10^{-5}	4.10×10^{-5}
t_{crit}	12.71	12.71	12.71

จากตารางที่ 15 ได้ผลการประเมินความเสถียรของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ของแต่ละระดับ ดังนี้

1) วัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ระดับ 45 $\pm$ 3 หน่วย มีค่า Slope (b_1) และ SD of Slope ($S(b_1)$) เท่ากับ 0.0098 และ 0.0012 ตามลำดับ จะได้ค่า $|b_1|/S(b_1)$ เท่ากับ 7.9126 และค่า P-value เท่ากับ 4.24×10^{-7}

กรมวิชาการเกษตร

2) วัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ระดับ 65 $\pm$ 3 หน่วย มีค่า Slope (b_1) และ SD of Slope ($S(b_1)$) เท่ากับ 0.0122 และ 0.0022 ตามลำดับ จะได้ค่า $|b_1|/S(b_1)$ เท่ากับ 5.4735 และค่า P-value เท่ากับ 4.12×10^{-5}

3) วัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ระดับ 75 $\pm$ 3 หน่วย มีค่า Slope (b_1) และ SD of Slope ($S(b_1)$) เท่ากับ 0.0086 และ 0.0016 ตามลำดับ จะได้ค่า $|b_1|/S(b_1)$ เท่ากับ 5.4755 และค่า P-value เท่ากับ 4.10×10^{-5}

จากผลการประเมินที่ได้ พบว่า วัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 45 $\pm$ 3, 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย มีค่า $|b_1|/S(b_1)$ น้อยกว่า $t_{0.025,n-2}$ (12.71) และมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ทั้ง 3 ระดับ ไม่มีความเสถียร ที่ระยะเวลาการเก็บ 270 วัน

วัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 45 $\pm$ 3, 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย ไม่มีความเสถียรที่ระยะเวลาการเก็บที่ 270 วัน จึงนำผลการทดสอบสมบัติความหนืดมูนนี่ของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ทั้ง 3 ระดับ ที่ระยะเวลาการเก็บ 0 – 195, 0 – 210, 0 – 225, 0 - 240 และ 0 – 255 วัน มาประเมินความเสถียรโดยการประเมินการถดถอย ได้ผลการศึกษาความเสถียร ที่ระยะเวลาการเก็บ 0 – 195, 0 – 210, 0 – 225, 0 - 240 และ 0 – 255 วัน ของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 45 $\pm$ 3, 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย ตามตารางที่ 16, 17 และ 18 ตามลำดับ

ตารางที่ 16 การศึกษาความเสถียรของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 45 $\pm$ 3 หน่วย ที่ระยะเวลาการเก็บ 0 – 195, 0 – 210, 0 – 225, 0 - 240 และ 0 – 255 วัน โดยการประเมินการถดถอย ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

การประเมินการถดถอย	**ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง (วัน)**				
(Regression Analysis)	**0 - 195**	**0 - 210**	**0 – 225**	**0 - 240**	**0 – 255**
Slope (b_1)	0.0080	0.0087	0.0097	0.0096	0.0095
SD of Slope ($S(b_1)$)	0.0021	0.0019	0.0017	0.0015	0.0014
$|b_1|/S(b_1)$	3.7733	4.6253	5.5655	6.2089	6.9314
P-value	0.0026	0.0005	6.96×10^{-5}	1.67×10^{-5}	3.38×10^{-6}
t_{crit}	12.71	12.71	12.71	12.71	12.71

กรมวิทยาศาสตร์

ตารางที่ 17 การศึกษาความเสถียรของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 65 $\pm$ 3 หน่วย ที่ระยะเวลาการเก็บ 0 – 195, 0 – 210, 0 – 225, 0 - 240 และ0 – 255 วัน โดยการประเมินการถดถอย ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

การประเมินการถดถอย (Regression Analysis)	ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง (วัน)				
	0 - 195	0 - 210	0 – 225	0 - 240	0 – 255
Slope (b_1)	0.0047	0.0065	0.0083	0.0100	0.0112
SD of Slope ($S(b_1)$)	0.0031	0.0029	0.0027	0.0026	0.0024
$\lvert b_1 \rvert / S(b_1)$	1.5157	2.2565	3.0452	3.8502	4.6550
P-value	0.1555	0.0419	0.0087	0.0016	0.0003
t_{crit}	12.71	12.71	12.71	12.71	12.71

ตารางที่ 18 การศึกษาความเสถียรของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 75 $\pm$ 3 หน่วย ที่ระยะเวลาการเก็บ 0 – 195, 0 – 210, 0 – 225, 0 - 240 และ 0 – 255 วัน โดยการประเมินการถดถอย ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

การประเมินการถดถอย (Regression Analysis)	ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง (วัน)				
	0 - 195	0 - 210	0 – 225	0 - 240	0 – 255
Slope (b_1)	0.0024	0.0039	0.0046	0.0064	0.0076
SD of Slope ($S(b_1)$)	0.0016	0.0016	0.0015	0.0016	0.0016
$\lvert b_1 \rvert / S(b_1)$	1.5087	2.3992	3.1217	3.8558	4.6595
P-value	0.1573	0.0321	0.0075	0.0016	0.0003
t_{crit}	12.71	12.71	12.71	12.71	12.71

จากตารางที่ 16 ได้ผลการประเมินความเสถียรของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 45 $\pm$ 3 หน่วย ที่ระยะเวลาการเก็บ 0 - 195, 0 - 210, 0 - 225, 0 - 240 และ 0 - 255 วัน พบว่าวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ทั้ง 3 ระดับ มีค่า $\lvert b_1 \rvert / S(b_1)$ น้อยกว่า $t_{0.025,n-2}$ (12.71) และมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ที่ระดับ 45 $\pm$ 3 หน่วย ไม่มีความเสถียร ที่ระยะเวลาการเก็บ 0 - 195, 0 - 210, 0 - 225, 0 - 240 และ 0 - 255 วัน

กรมวิชาการเกษตร

จากตารางที่ 17 และ 18 ได้ผลการประเมินความเสถียรของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย ที่ระยะเวลาการเก็บ 0 - 195 วัน พบว่าวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ทั้ง 2 ระดับ มีค่า $|b_1|/S(b_1)$ น้อยกว่า $t_{0.025,n-2}$ (12.71) และมีค่า P-value มากกว่า 0.05 แสดงว่าตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ทั้ง 2 ระดับ มีความเสถียร ที่ระยะเวลาการเก็บ 0 - 195 วัน แต่ที่ระยะเวลาการเก็บ 0 – 210, 0 – 225, 0 - 240 และ 0 – 255 วัน วัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย มีค่า $|b_1|/S(b_1)$ น้อยกว่า $t_{0.025,n-2}$ (12.71) และมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ทั้ง 2 ระดับ ไม่มีความเสถียร ที่ระยะเวลาการเก็บ 0 - 210, 0 - 225, 0 - 240 และ 0 - 255 วัน

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การเตรียมวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ที่ระดับ 45 $\pm$ 3, 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย สำหรับควบคุมคุณภาพผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการยางแท่งเอสทีอาร์ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่

1. ศึกษาสภาวะการเตรียมวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ทำได้โดยการนำน้ำยางสดมาเติมเติมสารควบคุมความหนืดไฮดรอกซิลเอมีนนิวทรัลซัลเฟต และเติมกรดฟอร์มิก เพื่อเตรียมเป็นยางแห้ง แล้วนำยางแห้งที่ผลิตได้ไปบดด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้ง ที่อัตราส่วนความเร็วของลูกกลิ้งหน้าต่อลูกกลิ้งหลัง 1:1.4 และคุมอุณหภูมิของลูกกลิ้งที่ 30-40 องศาเซลเซียส โดยวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ระดับ 45 $\pm$ 3 หน่วย เตรียมโดยบดยางที่มีค่าความหนืดมูนนี่ ประมาณ 62 หน่วย จำนวน 50 ครั้ง วัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ที่ระดับ 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย เตรียมโดยบดยางที่มีค่าความหนืดมูนนี่ ประมาณ 80 หน่วย จำนวน 50 ครั้ง และ 20 ครั้ง ตามลำดับ

2. ศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันของวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับทดสอบความหนืดมูนนี่โดยมีเกณฑ์การประเมินความเป็นเนื้อเดียวกัน 2 เกณฑ์ ดังนี้

2.1 ผลการทดสอบความหนืดมูนนี่ของวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับทดสอบความหนืดมูนนี่แต่ละระดับต้องมีค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน อยู่ในช่วง 75 $\pm$ 3 หน่วย 65 $\pm$ 3 หน่วย และ 45 $\pm$ 3 หน่วย ได้ผลการทดสอบผ่านเกณฑ์ดังกล่าว ทั้ง 3 ระดับ ได้แก่

1) วัสดุอ้างอิงภายในสำหรับทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 45 $\pm$ 3 หน่วย จำนวน 3 ชุดตัวอย่าง ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของความหนืดมูนนี่ เท่ากับ 45.3 ± 0.3493, 45.3 ± 0.4310 และ 45.4 ± 0.5557 หน่วย

กรมวิชาการเกษตร

2) วัสดุอ้างอิงภายในสำหรับทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 65 $\pm$ 3 หน่วย จำนวน 3 ชุดตัวอย่าง ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของความหนืดมูนนี่ เท่ากับ 65.3 ± 0.3617, 65.4 ± 0.3233 และ 65.4 ± 0.2731 หน่วย

3) วัสดุอ้างอิงภายในสำหรับทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 75 $\pm$ 3 หน่วย จำนวน 3 ชุดตัวอย่าง มีค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของความหนืดมูนนี่ เท่ากับ 75.5 ± 0.3259, 75.3 ± 0.3874 และ 75.3 ± 0.3901 หน่วย

2.2 ผลการประเมินความเป็นเนื้อเดียวกันจากการวิเคราะห์หาความแปรปรวน (ANOVA) ของวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับทดสอบความหนืดมูนนี่แต่ละระดับ ต้องมีค่า P-value มากกว่า 0.05 และ $F_{cal.}$น้อยกว่า $F_{crit.}$ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 (3.0204) ได้ผลการทดสอบผ่านเกณฑ์ดังกล่าว ทั้ง 3 ระดับ ได้แก่

1) วัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 45 $\pm$ 3 หน่วย จำนวน 3 ชุดตัวอย่าง มีค่า P-value 0.1977, 0.3607 และ 0.0857 โดยมีค่า $F_{cal.}$เท่ากับ 1.7506, 1.2585 และ 0.0857 ตามลำดับ

2) วัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 65 $\pm$ 3 หน่วย จำนวน 3 ชุดตัวอย่าง มีค่า P-value 0.0983, 0.6386 และ 0.4599 โดยมีค่า $F_{cal.}$เท่ากับ 2.3627, 0.7825 และ 1.0613 ตามลำดับ

3) วัสดุอ้างอิงภายในสำหรับทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 75 $\pm$ 3 หน่วย มีค่า P-value 0.2948, 0.1145 และ 0.0532 โดยมีค่า $F_{cal.}$เท่ากับ 1.4218, 2.2246 และ 2.9564 ตามลำดับ

3. ศึกษาความเสถียรของตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ ที่ระดับ 45 $\pm$ 3, 65 $\pm$ 3 และ 75 $\pm$ 3 หน่วย ดำเนินการโดยทดสอบตัวอย่าง ระดับละ 3 ซ้ำ ทุก 15 วัน โดยมีระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 270 วัน วัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่มีความเสถียรเมื่อผลการประเมินการถดถอย (Regression Analysis) มีค่า $|b_1|/S(b_1)$ น้อยกว่า $t_{0.025,n-2}$ (12.71) และมีค่า P-value มากกว่า 0.05 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ทั้ง 3 ระดับ มีความเสถียรที่ระยะเวลาการเก็บ ดังนี้

1) ตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ที่ระดับ 45 $\pm$ 3 หน่วย มีความเสถียรถึงระยะเวลาการเก็บที่ 150 วัน โดยมีค่า $|b_1|/S(b_1)$ เท่ากับ 2.1726 และค่า P-value เท่ากับ 0.0579

2) ตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ที่ระดับ 65 $\pm$ 3 หน่วย มีความเสถียรถึงระยะเวลาการเก็บที่ 195 วัน โดยมีค่า $|b_1|/S(b_1)$ เท่ากับ 1.5157 และค่า P-value เท่ากับ 0.1555

กรมวิชาการเกษตร

3) ตัวอย่างวัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่ที่ระดับ 75 $\pm$ 3 หน่วย มีความเสถียรถึงระยะเวลาการเก็บที่ 195 วัน โดยมีค่า $|b_1|/S(b_1)$ เท่ากับ 1.5087 และค่า P-value เท่ากับ 0.1573

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

10.1 ได้วิธีการผลิตยางธรรมชาติความหนืดคงที่ ซึ่งเป็นยางธรรชาติที่เป็นที่ต้องการของตลาด เนื่องจากความแข็งของยางไม่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บ จึงประหยัดพลังงานในการบดยาง

10.2 ได้วัสดุอ้างอิงภายในสำหรับการทดสอบความหนืดมูนนี่สำหรับใช้ควบคุมคุณภาพผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการยางแท่งเอสทีอาร์ทั้งภาครัฐและภาคเอกชน

กรมวิชาการเกษตร

11. คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ห้องปฏิบัติการยางแห้ง ศูนย์ควบคุมยางฉะเชิงเทรา กรมวิชาการเกษตร ศูนย์บริการทดสอบรับรองภาคกลาง และศูนย์บริการทดสอบรับรองภาคตะวันออก ฝ่ายวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยาง การยางแห่งประเทศไทย ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัย การทดสอบน้ำยางสด ยางแห้ง และอำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาการทำวิจัย รวมทั้งขอขอบคุณคณะกรรมการที่ปรึกษาด้านวิชาการกองการยางที่ให้คำปรึกษา แนะนำ จนกระทั่งงานวิจัยนี้สำเร็จสมบูรณ์

12. เอกสารอ้างอิง

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2548. ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง การกำหนดมาตรฐานยางและวิธีการมัดยางและการบรรจุหีบห่อยางเพื่อการส่งออก พ.ศ. 2548 ประกาศ ณ วันที่ 27 กันยายน 2548 ประกาศในราชกิจจานุเบกษา วันที่ 24 สิงหาคม 2548.

Yungyongwattanakorn, J. and Sakdapipanich, J. 2006. Physical Property Changs in Commercial Natural Rubber during Long Term Storage. *Rubber Chemistry and Techology* 79(1): 72-81.

หรรษา อเนกชัย จักรี เลื่อนราม ปรีดิ์เปรม ทัศนกุล และสุรศักดิ์ สุทธิสงค์. 2541. การผลิตยางแท่งเอสทีอาร์ 5 ชนิดความหนืดคงที่. *รายงานผลการวิจัยยางพารา*15(3): 1-14.

Sekhar, B. C. 1962. Inhibition of Hardening in Natural Rubber. *Rubber Chemistry and Technology* 35(4): 889–895.

อรสา ภัทรไพบูลย์ชัย ชลดา เลวิส โสภา อิสระ ณัฐการณ์ ชูใหม่ อัจฉรีย์ ศรีประพันธ์ และสมคิด ศรีสุวรรณ. 2546. การปรับสภาพยางธรรมชาติเพื่อลดพลังงานที่ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ยาง. *รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์*: 1-156

Yunyongwattanakorn, J. Sakdapipanich, J. T. Kawahara, S. Hikosaka, M. and Tanaka, Y. 2007. Effect of Gel on Crystallization Behavior of Natural Rubber after Accelerated Storage Hardening Test. *Journal of Applied Polymer Science* 106(1): 455-461.

พรรษา อดุลยธรรม. 2538. ยางแท่งความคงที่. *วารสารยางพารา*15(3): 163-174

Yunyongwattanakorn, J., Tanaka, Y., Kawahara, S., Klinklai, W., and Sakdapipanich, J. 2003. Effect of Non-rubber Components on Storage Hardenig and Gel Formation of Natural Rubber During Accelerated Storage Under Various Conditions. *Rubber Chemistry and Techology* 76(5): 1228-1240.

จันทรัตน์ วรสรรพวิทย์. 2557. การศึกษาความเสถียรของวัสดุอ้างอิง/วัสดุอ้างอิงรับรอง โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอย. *วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ*. 62(194): 26-29

13. ภาคผนวก : -

กรมวิชาการเกษตร