



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ เปรียบเทียบสมบัติยางแท่งเกรด 20 ของไทยและอินโดนีเซีย
Comparison Properties of Technically Specified Rubber 20 of Thailand and
Indonesia

โดย ผศ.ดร. อรสา ภัทรไพบุญย์ชัย และคณะ

ตุลาคม 2553

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ เปรียบเทียบสมบัติยางแท่งเกรด 20 ของไทยและอินโดนีเซีย
Comparison Properties of Technically Specified Rubber 20 of Thailand and
Indonesia

คณะผู้วิจัย

1. ผศ.ดร. อรสา ภัทรไพบูลย์ชัย
2. ดร. ตุลยพงษ์ ตุลยพิทักษ์
3. น.ส. มัชฌิมา คงสกุล

สังกัด

- คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชุดโครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา คณะวิทยาศาสตร์ มอ.หาดใหญ่

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

บทสรุปย่อรายงานสำหรับผู้บริหาร

ชื่อโครงการ : การเปรียบเทียบสมบัติยางแท่งเกรด 20 ของไทยและอินโดนีเซีย

Comparison Properties of Technically Specified Rubber 20 of Thailand and Indonesia

ชื่อหัวหน้าโครงการ **หน่วยงานสังกัด และที่อยู่**

ชื่อ-สกุล ผศ.ดร. อรสา ภัทรไพบุญชัย

หน่วยงาน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ที่อยู่ สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ. หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

โทรศัพท์ 074-288199 **โทรสาร** 074-288199

E-mail address orasa.p@psu.ac.th

นักศึกษา / ผู้ร่วมวิจัย ดร. ตุลยพงษ์ ตุลยพิทักษ์ และ น.ส.มัชฌิมา คงสกุล

ระยะเวลาดำเนินการ 10 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม 2552 ถึงวันที่ 30 เมษายน 2553

ปัญหาที่ทำวิจัยและความสำคัญ

อุตสาหกรรมยางธรรมชาติถือเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ ไทย ซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตและมีปริมาณการส่งออกยางธรรมชาติมากเป็นอันดับหนึ่งของโลก โดยประเทศคู่แข่งที่สำคัญคือ ประเทศอินโดนีเซีย และเนื่องด้วยการสัมมนาของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ในวันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2552 ณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ได้มีการกล่าวกันว่ายางแท่งของประเทศอินโดนีเซียมีสมบัติที่ดีกว่ายางของประเทศไทย ซึ่งคำกล่าวอ้างเหล่านี้จะทำให้ลดความเชื่อมั่นของผู้ที่ใช้อย่างแท่งของประเทศไทย ดังนั้นหากนักวิจัยยังไม่ทำการพิสูจน์และหาแนวทางแก้ไข ในอนาคตอุตสาหกรรมยางแท่งไทยอาจได้รับผลกระทบอย่างมาก

วัตถุประสงค์

เพื่อพิสูจน์ความเชื่อของผู้ใช้อย่างแท่งอินโดนีเซียว่าถูกต้องหรือเข้าใจผิด

ผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติยางแท่งเกรด 20 ของประเทศไทยและอินโดนีเซีย โดยทำการศึกษาสมบัติเบื้องต้นของยางดิบ สมบัติของยางคอมเพานด์ และนำมาขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบ

ต่างๆ ด้วยวิธีการอัดเบ้า ที่อุณหภูมิ 150 °C เพื่อศึกษาสมบัติของยางวัลคาไนซ์ พบว่ายางของอินโดนีเซียมีน้ำหนักโมเลกุล ปริมาณสิ่งสกปรก ปริมาณเถ้า และดัชนีความอ่อนตัวที่สูงกว่ายางของไทย ยกเว้น ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณสิ่งระเหย ที่ยางของไทยมีค่าสูงกว่ายางของอินโดนีเซีย โดยการที่ยางของไทยมีปริมาณไนโตรเจนสูงนั้น ส่งผลให้ยางคอมเพานด์ที่ได้มีเวลาคงรูปก่อนกำหนด (scorch time) ที่ยาวกว่า และมีเวลาที่ใช้ในการคงรูป (cure time) ที่สั้นกว่า ยางของอินโดนีเซีย และเมื่อทำการศึกษาสมบัติของยางวัลคาไนซ์พบว่า ยางของอินโดนีเซียมีสมบัติที่เหนือกว่ายางของไทยในด้านการกระเด็งตัว การสะสมความร้อน การเสียรูปหลังการกด โมดูลัส 300% และความต้านทานต่อการสึกหรอ โดยเป็นผลมาจากการที่ยางของอินโดนีเซียมีน้ำหนักโมเลกุลที่สูงจึงส่งผลให้ยางของอินโดนีเซียมีสมบัติเชิงกลที่ดี รวมไปถึงการมีปริมาณไนโตรเจนต่ำส่งผลให้ยางของอินโดนีเซียมีสมบัติทางไดนามิกส์ที่ดี แต่อย่างไรก็ตามยางของไทยยังมีความสมบัติที่เหนือกว่ายางของอินโดนีเซีย ในด้านความยืดหยุ่นสุด ณ จุดขาด ความต้านทานต่อการบ่มเร่ง และความต้านทานต่อการหักงอ ส่วนสมบัติด้านความต้านทานต่อแรงดึง และความต้านทานต่อโอโซนพบว่า ยางไทยและอินโดนีเซีย มีสมบัติที่เทียบเท่ากัน

สรุปผลการวิจัย

- สมบัติเบื้องต้นของยางดิบ: ยางของอินโดนีเซียมีน้ำหนักโมเลกุล ปริมาณสิ่งสกปรก ปริมาณเถ้า และดัชนีความอ่อนตัวสูงกว่ายางของไทยคิดเป็น 6.00%, 19.79%, 10.64% และ 5.03% ตามลำดับ ส่วนปริมาณไนโตรเจน และปริมาณสิ่งระเหย ยางของไทยมีปริมาณสูงกว่ายางของอินโดนีเซีย 5.71% และ 17.78% ตามลำดับ
- สมบัติของยางคอมเพานด์: ยางแท่งของไทยมีเวลาคงรูปก่อนกำหนด (scorch time) ที่ยาวกว่า และมีเวลาที่ใช้ในการคงรูป (cure time) ที่สั้นกว่า ยางแท่งของอินโดนีเซีย
- สมบัติของยางวัลคาไนซ์: ยางของอินโดนีเซียมีสมบัติด้านการกระเด็งตัว การสะสมความร้อน การเสียรูปหลังการกด โมดูลัส 300% และความต้านทานต่อการสึกหรอ เหนือกว่ายางของไทยคิดเป็น 7.34%, 26.67%, 40.16%, 28.77% และ 1.63% ตามลำดับ ส่วนยางของไทยมีสมบัติที่ดีกว่ายางของอินโดนีเซียด้านความยืดหยุ่นสุด ณ จุดขาด โดยคิดเป็น 16.23% นอกจากนี้ความต้านทานต่อการบ่มเร่ง และความต้านทานต่อการหักงอ พบว่ายางที่มีสมบัติที่ดีที่สุดเป็นตัวอย่างยางของไทย ส่วนสมบัติด้านความต้านทานต่อแรงดึง และความต้านทานต่อโอโซนพบว่า ยางไทยและอินโดนีเซีย มีสมบัติที่เทียบเท่ากัน

ดังนั้นจากการวิจัยแสดงให้เห็นทราบว่ายางแท่งเกรด 20 ของอินโดนีเซียไม่ได้มีสมบัติที่ดีกว่ายางของไทยทุกประการ กล่าวคือยางของทั้งสองประเทศ มีสมบัติเด่นและด้อยแตกต่างกันไป รวมทั้งมีสมบัติบางประการที่ให้ผลเทียบเท่ากัน

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะวิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

ควรมีการทำวิจัยในเชิงลึกเพื่อศึกษาถึงพันธุ์ยาง และสภาพแวดล้อมในการปลูกยาง โดยอาจกำหนดให้มีการแปรฤดูกาลของยางที่ใช้ และอาจมีการสุ่มตัวอย่างยางจากทุกภูมิภาคของประเทศ ซึ่งการศึกษาปัจจัยเหล่านี้จะช่วยพัฒนาให้ยางแท่งของไทยมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติยางแท่งเกรด 20 ของประเทศไทยและอินโดนีเซีย โดยทำการศึกษาสมบัติเบื้องต้นของยางดิบ สมบัติของยางคอมเพาണ്ട് และนำมาขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบต่างๆ ด้วยวิธีการอัดเบ้า ที่อุณหภูมิ 150 °C เพื่อศึกษาสมบัติของยางวัลคาไนซ์ จากการทดสอบสมบัติเบื้องต้นของยางดิบ พบว่ายางของอินโดนีเซียมีน้ำหนักโมเลกุล ปริมาณสิ่งสกปรก ปริมาณเถ้า และดัชนีความอ่อนตัวที่สูงกว่ายางของไทย ยกเว้น ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณสิ่งระเหย ที่ยางของไทยมีค่าสูงกว่ายางของอินโดนีเซีย ส่วนในด้านสมบัติของยางคอมเพาണ്ട്พบว่ายางแท่งของไทยมีเวลาคงรูปก่อนกำหนด (scorch time) ที่ยาวกว่า และมีเวลาที่ใช้ในการคงรูป (cure time) ที่สั้นกว่า ยางแท่งของอินโดนีเซีย และเมื่อทำการศึกษาสมบัติของยางวัลคาไนซ์พบว่า ยางของอินโดนีเซียมีสมบัติที่เหนือกว่ายางของไทย ในด้านการกระด้างตัว การสะสมความร้อน การเสียรูปหลังการกด โมดูลัส 300% และความต้านทานต่อการสึกหรอ แต่อย่างไรก็ตามยางของไทยยังมีคุณสมบัติที่เหนือกว่ายางของอินโดนีเซีย ในด้านความยืดสูงสุด ณ จุดขาด ความต้านทานต่อการบ่มเร่ง และความต้านทานต่อการหักงอ ส่วนสมบัติด้านความต้านทานต่อแรงดึง และความต้านทานต่อโอโซนพบว่า ยางไทยและอินโดนีเซีย มีสมบัติที่เทียบเท่ากัน ดังนั้นจากการวิจัยแสดงให้เห็นว่ายางแท่งเกรด 20 ของอินโดนีเซียไม่ได้มีสมบัติที่ดีกว่ายางของไทยทุกประการ กล่าวคือยางของทั้งสองประเทศ มีสมบัติเด่นและด้อยแตกต่างกันไป รวมทั้งมีสมบัติบางประการที่ให้ผลเทียบเท่ากัน

Abstract

Comparison properties of Technically Specified Rubber 20 of Thailand and Indonesia were studied on this research. In this study, basic properties of Technically Specified Rubber and rubber compound are investigated then rubber compound was compression at 150 °C for studying the physical properties. From basic properties of Technically Specified Rubber testing, it was found that Indonesia's rubber have higher molecular weight, dirt content, ash content and plasticity retention index than Thailand's rubber but showing lower in nitrogen content and volatile matter content than Thailand's rubber. For the rubber compound properties, it was found that the Thailand's rubber provides longer scorch time and shorter cure time than Indonesia's rubber. From the physical properties of vulcanized rubber studied, it was shown that Indonesia's rubber has properties over Thailand's rubber in resilience, heat build up, compression set, 300% modulus and abrasion resistance. However, Thailand's rubber is capable of superior Indonesia's rubber in ability to elongation at break, heat aging and resistant to flexing. For tensile strength and resistant to ozone, it was found that rubber from Thailand and Indonesia has equivalent properties. Therefore, this research indicates that Indonesia's rubber did not have all good properties over Thailand's rubber. That is both rubbers have different advantage and disadvantage properties itself, as well as provide some equivalent properties.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณหน่วยงานต่างๆ ที่ทำให้การดำเนินงานวิจัยเสร็จสมบูรณ์ดังต่อไปนี้

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้ทุนอุดหนุนการทำวิจัย งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

สมาคมยางพาราไทยและบริษัทศรีตรัง แอโกรอินดัสทรี จำกัด(มหาชน) ที่ช่วยประสานติดต่อการจัดหายางจากประเทศอินโดนีเซียมาใช้ในการวิจัย

สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่และเครื่องมือในการวิจัย

ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องทดสอบการกระด้างตัวและการสะสมความร้อน

คณะผู้วิจัย

14 ตุลาคม 2553

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปย่อรายงานสำหรับผู้บริหาร	I
บทคัดย่อภาษาไทย	IV
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	V
กิตติกรรมประกาศ	VI
สารบัญ	VII
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูปภาพ	IX
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง	2
2. วิธีดำเนินงานวิจัย	6
2.1 ทดสอบสมบัติเบื้องต้นของยางแท่ง	6
2.2 เตรียมยางคอมเพานด์และทดสอบสมบัติยางคอมเพานด์	6
2.3 ทดสอบสมบัติของยางวัลคาไนซ์	8
3. ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย	9
3.1 สมบัติเบื้องต้นของยางแท่ง	9
3.2 สมบัติของยางคอมเพานด์	14
3.3 สมบัติของยางวัลคาไนซ์	15
4. สรุปผลการวิจัย	24
เอกสารอ้างอิง	25
ภาคผนวก	27

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	7
ตารางที่ 3.1	14
ตารางที่ 3.2	15
ตารางที่ 3.3	20
ตารางที่ ก.1	28
ตารางที่ ก.2	28
ตารางที่ ก.3	29
ตารางที่ ก.4	29
ตารางที่ ก.5	30
ตารางที่ ก.6	30
ตารางที่ ก.7	31

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 3.1 น้ำหนักโมเลกุล (Mw, ซ้าย) และปริมาณเจล (ขวา) ของยางแท่ง STR 20 (A-E) และ SIR 20 (F-H)	9
รูปที่ 3.2 ปริมาณสิ่งสกปรก (ซ้าย) และปริมาณเถ้า (ขวา) ในยางแท่ง STR 20 (A-E) และ SIR 20 (F-H)	10
รูปที่ 3.3 ปริมาณสิ่งระเหย (ซ้าย) และปริมาณไนโตรเจน (ขวา) ในยางแท่ง STR 20 (A-E) และ SIR 20 (F-H)	11
รูปที่ 3.4 ความอ่อนตัวเริ่มแรก (ซ้าย) และค่าดัชนีความอ่อนตัว (ขวา) ของยางแท่ง STR 20 (A-E) และ SIR 20 (F-H)	12
รูปที่ 3.5 ค่าความหนืด (ML (1+4)100°C) ของยางแท่ง STR 20 (A-E) และ SIR 20 (F-H)	13
รูปที่ 3.6 ค่าแรงบิด (Torque) ของตัวอย่างยางคอมเพานด์จาก STR 20 (A-E) และ SIR 20 (F-H) ที่เวลาต่างๆ	15
รูปที่ 3.7 โมดูลัสที่ 300% (ซ้าย) และความยืดสูงสุด ณ จุดขาด (ขวา) ของยางไทย (A-E) และอินโดนีเซีย (F-H)	16
รูปที่ 3.8 ความสามารถในการทนต่อแรงดึง (Tensile strength) ของยางไทย (A-E) และอินโดนีเซีย (F-H)	17
รูปที่ 3.9 ความสามารถในการทนต่อแรงดึง (ซ้าย) และความยืดสูงสุด ณ จุดขาด (ขวา) ของยางไทย (A-E) และอินโดนีเซีย (F-H) ก่อนและหลังการบ่มเร่ง	18
รูปที่ 3.10 ค่า abrasion index (ซ้าย) และ ค่าน้ำหนักที่หายไปภายหลังการขัดถู 1000 รอบ (ขวา) ของยางไทย (A-E) และอินโดนีเซีย (F-H) ที่มาจากต่างบริษัท	19
รูปที่ 3.11 ความแข็งของยางที่เตรียมจากยางแท่งเกรด 20 ของไทย (A-E) และ อินโดนีเซีย (F-H) ที่มาจากต่างบริษัท	19
รูปที่ 3.12 การกระเด็งตัวของยาง ณ อุณหภูมิห้อง (ซ้าย) และการสะสมความร้อน (ขวา) ของยางแท่ง STR 20 (A-E) และ SIR 20 (F-H)	21
รูปที่ 3.13 การเสียรูปหลังการกด (Compression set) ของยางแท่งเกรด 20 ของไทย (A-E) และอินโดนีเซีย (F-H)	22
รูปที่ 3.14 รอยแตกของยางวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากยางแท่งเกรด 20 ของไทย (A-E) และอินโดนีเซีย (F-H) ภายหลังการทดสอบโอโซนโดยใช้ความเข้มข้นโอโซน 25 pphm เป็นเวลา 3 วัน	22

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)**หน้า**

รูปที่ 3.15 ลักษณะสัณฐานวิทยาของยางตัวอย่างไทย (C, E) และอินโดนีเซีย (F-H)
เมื่อตรวจสอบด้วยเครื่อง SEM ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

23

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

อุตสาหกรรมยางธรรมชาติถือเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยยางธรรมชาติจัดเป็นสินค้าที่มีมูลค่าการส่งออกเป็นอันดับต้นๆ ของสินค้าส่งออกทั้งหมด อุตสาหกรรมยางจึงมีความสำคัญต่อประเทศไทยทั้งในแง่ของการจ้างงานและการส่งออก โดยการปลูกยางพาราทำให้เกิดการสร้างงานในชนบทหลากหลายมากขึ้น ทำให้มีการใช้แรงงานในครัวเรือน อย่างมีประสิทธิภาพตลอดปี จึงสามารถตรึงแรงงาน ให้อยู่ในพื้นที่ได้ ลดการเคลื่อนย้าย แรงงานจากชนบทสู่เมือง ทำให้สังคมครอบครัวอบอุ่น

ประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตและมีปริมาณการส่งออกยางธรรมชาติมากเป็นอันดับหนึ่งของโลก โดยในปี 2552 (ม.ค. - ก.ย.) ประเทศไทยมีปริมาณการผลิตยางธรรมชาติ 2.15 ล้านตัน และมีปริมาณการส่งออกยางธรรมชาติ 1.91 ล้านตัน โดยประเทศคู่แข่งที่สำคัญของประเทศไทย คือ ประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งในปี 2552 ประเทศอินโดนีเซียมีปริมาณการผลิตยางธรรมชาติ 1.99 ล้านตัน และมีปริมาณการส่งออก 1.53 ล้านตัน ประเทศอินโดนีเซียจึงนับเป็นประเทศคู่แข่งที่น่าเฝ้าระวังสำหรับประเทศไทย โดยปัจจุบันเนื้อที่ปลูกยางของประเทศอินโดนีเซียมีมากกว่าประเทศไทย กล่าวคือ เนื้อที่ปลูกยางของอินโดนีเซียทั้งหมดเท่ากับ 21.08 ล้านไร่ ในขณะที่เนื้อที่ปลูกยางทั้งหมดของประเทศไทยเท่ากับ 12.38 ล้านไร่ ดังนั้นจึงมีโอกาสสูงที่ประเทศอินโดนีเซียจะนำหน้าประเทศไทยขึ้นไปเป็นอันดับหนึ่งในการส่งออกยางธรรมชาติ (สถาบันวิจัยยาง, 2549) และเนื่องด้วยการสัมมนาของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ในวันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2552 ณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ได้มีการกล่าวกันว่ายางแท่งของประเทศอินโดนีเซียดีกว่ายางของประเทศไทย กล่าวคือมีสมบัติที่ดีกว่า โดยหากมีราคาเท่ากัน เป็นที่แน่นอนว่าผู้บริโภคคงเลือกใช้อย่างแท่งของอินโดนีเซียก่อน ซึ่งคำกล่าวอ้างเหล่านี้จะทำลายความเชื่อมั่นของผู้ที่ใช้อย่างแท่งของประเทศไทย โดยเป็นจุดเริ่มต้นที่ส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมการผลิตและการส่งออกยางแท่งของประเทศไทยอย่างแน่นอน ดังนั้นหากนักวิจัยยังนิ่งเฉยไม่ทำการพิสูจน์และหาแนวทางแก้ไข ในอนาคตอุตสาหกรรมยางแท่งไทยอาจได้รับผลกระทบอย่างมาก

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อพิสูจน์ความเชื่อของผู้ใช้อย่างแท่งอินโดนีเซียว่าเป็นเรื่องถูกต้องหรือเข้าใจผิด

1.3 ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง

1.3.1 ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย

1.3.1.1 ทดสอบสมบัติเบื้องต้นของยางแท่งตามมาตรฐานการทดสอบยางแท่ง ในขั้นนี้ทำให้ทราบสมบัติเบื้องต้นต่างๆ ทำให้สามารถใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ความแตกต่างขององค์ประกอบในการผลิต โดยสมบัติที่ทดสอบคือ

- น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight)
- ปริมาณเจล (Gel Content)
- ปริมาณสิ่งสกปรก (Dirt Content)
- ปริมาณเถ้า (Ash Content)
- ปริมาณไนโตรเจน (Nitrogen Content)
- ปริมาณสิ่งระเหย (Volatile Matter Content)
- ดัชนีความอ่อนตัว (Plasticity Retention Index)
- ความหนืด (Mooney viscosity)
- สี (Colour)

1.3.1.2 เตรียมยางผสมสารเคมีเพื่อทำยางคอมปาวด์ (Rubber compound) ตามสูตรมาตรฐานของ ASTM D3192 -02 ด้วยเครื่องผสมสองลูกกลิ้ง (two-roll mill) ทดสอบหา scorch time, cure time

1.3.1.3 ทดสอบสมบัติของยางวัลคาไนซ์ โดยสมบัติที่ทดสอบคือ

- ความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength)
- ความยืดสูงสุด ณ จุดขาด (Elongation at break)
- โมดูลัสที่ 300% (300% Modulus)
- การบ่มเร่งด้วยความร้อน (Heat Ageing)
- ความทนทานต่อการสึกหรอ
- ความแข็ง (Hardness)
- ความต้านทานต่อการหักงอ
- การกระเด็งตัว
- การสะสมความร้อน
- การเสียรูปหลังการกด (Compression set)
- ความต้านทานโอโซน

1.3.1.4 การทดสอบได้ลุ่มตัวอย่างยางแท่งไทย (STR 20) 5 บริษัท (A-E) และลุ่มตัวอย่างจากอินโดนีเซีย (SIR 20) 3 บริษัท (F-H) ซึ่งมีข้อจำกัดในการจัดหายาง โดยทำการ

ทดสอบซ้ำเพื่อยืนยันผลการทดลองรวมทั้งหมด 3 ครั้ง แต่สำหรับการทดสอบสมบัติเบื้องต้นของยางแท่ง ทำการทดสอบเพียงครั้งเดียว

1.3.1.5 วิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดสอบ

1.3.2 ผลงานที่เกี่ยวข้อง

Allen and Bristow (2003) ได้ศึกษาส่วนที่เป็นเจลในยางธรรมชาติซึ่งเป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นว่ามีเฟสของเจลอยู่จริงในยางธรรมชาติ ซึ่งเป็นการประกอบด้วยอนุภาคเล็กๆ ของน้ำยางที่เกิดการเชื่อมโยงกัน (cross-linked) ซึ่งอธิบายโดยใช้เทคนิคการกระเจิงแสง (light scattering) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (electron microscopy) โดยเป็นการรวมกันเป็นเมทริกซ์กับโมเลกุลยางส่วนที่สามารถละลายได้ เกิดเป็นส่วนของเจล อัตราของสารละลายของเฟสนี้ขึ้นอยู่กับตัวทำละลายและเป็นไปตามอัตราการแพร่ของตัวทำละลายไปยังยาง แล้วสกัดเอาส่วนที่ละลายออกไปละลายและไปละลายอีกครั้งขององค์ประกอบที่ละลายได้เป็นไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นเพียงพันธะปฐมภูมิกับอนุภาคไมโครเจล เมื่อทำการบดย่อยให้เมทริกซ์แตกออก อนุภาคในส่วนไมโครเจล พบได้ในสารละลายเนื่องจากไมโครเจลเป็นส่วนที่สามารถละลายได้ในตัวทำละลาย

Lucksanaporn และคณะ (2003) ยางที่ได้จากน้ำยางที่มีแอมโมเนียเข้มข้นมีปริมาณเจลเพิ่มมากขึ้นหลังจากที่เก็บรักษาน้ำยางเป็นเวลานานด้วย 1% เททราเมทิลไทูแรมไดซัลไฟด์และซิงค์ออกไซด์ ปริมาณของแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟตที่มากเกินไปสามารถเร่งการเกิดเจลในน้ำยางสดที่ใส่แอมโมเนียและในน้ำยางข้น อย่างไรก็ตามน้ำยางข้นมีปริมาณเจลลดลงหลังจากการเติมแอมโมเนียมซัลเฟต น้ำยางข้นที่ถูกเก็บเป็นเวลานาน มีส่วนเจลเกิดขึ้นมากกว่า 50% และไม่มี การลดลงของปริมาณของเจลหลังจากการเติมแอมโมเนียมซัลเฟต เจลที่เกิดขึ้นนี้ไม่สามารถละลายได้ในโทลูอีนที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างเอโนไซม์กับน้ำยางสดหรือสารละลายผสมระหว่างเมทานอลกับโทลูอีน จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเจลที่เกิดขึ้นในน้ำยางข้นบางส่วนเกิดจากโครงสร้างร่างแหด้วยพันธะไฮดรอกซิลของแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ในขณะที่เจลที่เกิดขึ้นในน้ำยางข้นที่ถูกเก็บเป็นเวลานานอาจเกิดเป็นเจลที่มีโครงสร้างร่างแหถาวรซึ่งเกิดจากพันธะโควาเลนต์

Tanaka และคณะ (2002) กล่าวว่าคุณสมบัติเด่นของยางธรรมชาติ เช่น ความแข็งแรงในสภาพไม่คงรูป (green strength) และการเกิดผลึกอย่างรวดเร็ว เป็นลักษณะการเชื่อมโยงทางเคมีที่ปลายสายโซ่ทั้งสองข้างของโมเลกุลยางในระหว่างการเก็บรักษาน้ำยางโดยใช้แอมโมเนีย ปริมาณเจลของยางจากสภาพเริ่มต้นเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บ และมีการลดลงหลังการขจัดโปรตีนในน้ำยางออก การเกิดผลึกของยางที่ถูกสกัดด้วยอะซิโตน (acetone) ถูกทำลายเล็กน้อย ส่งผลให้

ปริมาณเจลเพิ่มมากขึ้น การเพิ่มความแข็งแรงระหว่างการเก็บจึงเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณเจลและปริมาณการเชื่อมโยงของโมเลกุลยาง

นิตยา และคณะ (2537) ได้ทำการศึกษาความไม่คงที่ของสมบัติต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตยางธรรมชาติ เช่น สมบัติการวัลคาไนซ์และสมบัติการไหลของยางธรรมชาติ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาผลของความไม่คงที่ของสมบัติต่างๆ ดังกล่าวนี้นี้ ต่อการผสมในเครื่องผสมแบบปิด "haak Rheocord 90" ในการศึกษาครั้งนี้ได้เตรียมตัวอย่างยาง 2 ชนิดคือยางที่ไม่ได้เอาส่วนประกอบที่ไม่ใช่ยางออก (whole NR: WNR) และยางที่เอาส่วนประกอบที่ไม่ใช่ยางออก (purified NR:PNR) จากน้ำยางธรรมชาติ 3 พันธุ์ คือ GT1 RRIM600 และ KRS156 โดยเก็บตัวอย่างในฤดูกาลที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เพื่อศึกษาผลของความแปรปรวนของสารประกอบที่ไม่ใช่ยางพันธุ์ยาง และฤดูกาลที่มีต่อสมบัติต่างๆของยางธรรมชาติ ผลการศึกษาพบว่าความแปรปรวนของพันธุ์ยางและฤดูกาลไม่ค่อยมีผลต่อสมบัติการ วัลคาไนซ์ของยางทั้งสองชนิด แต่ส่วนประกอบที่ไม่ใช่ยางที่มีอยู่ในยางธรรมชาติ มีผลในการเร่งให้ยางธรรมชาติเกิดการวัลคาไนซ์เร็วขึ้นได้ อย่างไรก็ตามความแปรปรวนของพันธุ์ยาง และฤดูกาลดังกล่าวนี้นี้ มีผลให้ยางธรรมชาติมีสมบัติการไหลไม่คงที่โดยเฉพาะที่อัตราแรงเฉือน (shear rate) ต่ำๆ แต่ความไม่คงที่ของสมบัติการไหลนี้ลดลงที่อัตราแรงเฉือนสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าความหนืดของยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บยางไว้ระยะหนึ่งก่อนการนำไปใช้งาน โดยการเปลี่ยนแปลงสมบัติการไหลของยางธรรมชาติดังกล่าวนี้นี้ไม่มีความสัมพันธ์ กับน้ำหนักโมเลกุล การกระจายของน้ำหนักโมเลกุลและปริมาณ gel ที่มีอยู่ในตัวอย่างยางที่ใช้ในการศึกษา ผลการทดลองที่น่าสนใจจากการวิจัยนี้พบว่า ความคงที่ของสมบัติการไหลของยางธรรมชาติไม่มีผลต่อความยากง่ายในการผสมยาง ธรรมชาติกับผงเขม่าดำ

เอกสิทธิ์ และคณะ (2546) ศึกษาอิทธิพลของการแช่ยางดิบในสารละลายต่างต่อสมบัติของยางแท่ง ซึ่งยางแท่งได้ถูกเตรียมขึ้นโดยการใช้ยางดิบ 3 ชนิด คือ น้ำยางสด ยางแผ่นแห้ง และเศษยางก้อน พร้อมทั้งศึกษาถึงผลของขนาดของยางดิบที่ใช้ ผลของเวลาที่ใช้ในการแช่ยางดิบ ผลของชนิดและความเข้มข้นของสารละลายต่างที่ใช้ในการแช่ยาง และผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบยางต่อสมบัติของยางแท่งที่ได้ พบว่า ยางแท่งที่เตรียมจากน้ำยางสดให้สมบัติที่ดีกว่ายางแท่งที่เตรียมจากแผ่น แห้งและเศษยางก้อนตามลำดับ การใช้ยางดิบที่มีขนาดเล็กในการแช่น้ำสำหรับเตรียมยางแท่ง พบว่า ให้สมบัติที่ดีกว่าการใช้ยางดิบที่มีขนาดใหญ่กว่า และเมื่อเวลาในการแช่ยางดิบในน้ำเพิ่มขึ้น ปริมาณสิ่งสกปรก ปริมาณเถ้า ปริมาณสิ่งระเหย และปริมาณไนโตรเจนของยางแท่งมีแนวโน้มลดลง แต่ค่าความหนืดมูนิ ความอ่อนตัวเริ่มต้น และค่าดัชนีความอ่อนตัวมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย แต่เมื่อเวลาในการแช่ยางดิบมากกว่า 48 ชั่วโมง สมบัติต่างๆของยางแท่งที่ได้มีแนวโน้มคงที่ สำหรับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบยางดิบ พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิในการอบยางสูงขึ้นเวลาในการอบยางแห้งลดลง แต่ถ้าอุณหภูมิที่อบสูงเกินไปจะเกิดการเหนียวแข็ง อุณหภูมิ

และเวลาในการอบย่างที่เหมาะสมคือ 100°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หรือ 70°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ส่วนยางแท่งที่เตรียมโดยการแช่ยางดิบในสารละลายต่างแทนการแช่น้ำ พบว่า เมื่อเวลาในการแช่ยางดิบเพิ่มขึ้นปริมาณสิ่งสกปรก ปริมาณเถ้า ปริมาณสิ่งระเหย และปริมาณไนโตรเจนลดลงอย่างมาก ส่วนค่าความหนืดมูนี้ ความอ่อนตัวเริ่มต้น และค่าดัชนีความอ่อนตัวมีแนวโน้มลดลงเช่นกัน แต่เมื่อเวลาในการแช่ในสารละลายต่างมากกว่า 48 ชั่วโมง สมบัติต่างๆ ค่อนข้างคงที่ ปริมาณความเข้มข้นของสารละลายต่างที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 2-3% และเมื่อเปรียบเทียบชนิดของสารละลายต่างที่ใช้ในการแช่ยางดิบ พบว่า สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ให้ยางแท่งมีปริมาณไนโตรเจนต่ำกว่ายางแท่งที่ได้จากการแช่ยางดิบในสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ ส่วนสมบัติด้านความหนืดมูนี้ ความอ่อนตัวและค่าความเข้มข้นสปีโกลิโบนด์มีค่าใกล้เคียงกัน

บุญธรรม และคณะ (2538) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความกระด้างตัวและความร้อนสะสมของยางวัลคาไนซ์ โดยใช้ยางธรรมชาติ 4 ชนิด และยางสังเคราะห์ 5 ชนิด กับการใช้สารตัวเติม 4 ชนิดรวม 7 เกรด พบว่า ยางที่มีค่าความกระด้างต่ำกว่า เกิดความร้อนสะสมสูงกว่า ความกระด้างตัวของยางเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ยางธรรมชาติเป็นยางที่มีความกระด้างตัวสูง และเกิดความร้อนสะสมต่ำกว่ายางสังเคราะห์ทั่วไป ยางธรรมชาติต่างชนิดกันมีค่าความกระด้างตัวและความร้อนสะสมไม่เท่ากัน สารตัวเติมทำให้ความกระด้างตัวของยางลดลงและความร้อนสะสมเพิ่มขึ้น สารตัวเติมชนิดเสริมประสิทธิภาพ หรือชนิดที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า มีผลต่อความกระด้างตัวและความร้อนสะสมของยางมากกว่า ผลการศึกษาสรุปได้ว่าความร้อนสะสมของยางวัลคาไนซ์แปรผกผันกับความกระด้างตัวในรูปของ Natural logarithmic scale

บทที่ 2

วิธีดำเนินงานวิจัย

2.1 ทดสอบสมบัติเบื้องต้นของยางแท่ง

- 2.1.1 น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight)
- 2.1.2 ปริมาณเจล (Gel Content)
- 2.1.3 ปริมาณสิ่งสกปรก (Dirt Content)
- 2.1.4 ปริมาณเถ้า (Ash Content)
- 2.1.5 ปริมาณไนโตรเจน (Nitrogen Content)
- 2.1.6 ปริมาณสิ่งระเหย (Volatile Matter Content)
- 2.1.7 ดัชนีความอ่อนตัว (Plasticity Retention Index)
- 2.1.8 ความหนืด (Mooney viscosity)
- 2.1.9 สี (Colour)

ในขั้นการทดสอบสมบัติเบื้องต้นของยางแท่งบางประการ ได้แก่ การทดสอบปริมาณสิ่งสกปรก การทดสอบปริมาณเถ้า การทดสอบปริมาณสิ่งระเหย และการทดสอบปริมาณไนโตรเจน ทำการส่งตัวอย่างให้แก่ศูนย์วิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร จังหวัดสงขลา เพื่อทำการทดสอบสมบัติดังกล่าว โดยการเตรียมตัวอย่างยางแท่งสำหรับส่งตรวจทำได้โดยการนำตัวอย่างยางแท่งที่เลือกวางบนโต๊ะ ใช้มีดสะอาดตัดยางที่มุม 2 มุม ของแท่งยางที่อยู่ตรงข้ามกัน และนำตัวอย่างทั้ง 2 ชิ้นมาประกบกัน และต้องได้น้ำหนักไม่ต่ำกว่า 300 กรัม

2.2 เตรียมยางคอมปอนด์และทดสอบสมบัติยางคอมปอนด์

2.2.1 การเตรียมยางคอมปอนด์

ตัวแปรที่ใช้ศึกษาคือยางแท่ง STR 20 ของไทย และ SIR 20 ของอินโดนีเซีย โดยมีการสุ่มตัวอย่างยางแท่ง STR 20 จาก 5 บริษัท และยางแท่ง SIR 20 จำนวน 3 บริษัท (เนื่องด้วยข้อจำกัดในการจัดหายางส่งผลให้ยางอินโดนีเซียมีจำนวนตัวอย่างที่น้อยกว่ายางไทย) โดยทำการเตรียมยางคอมปอนด์ ตามสูตรมาตรฐาน ASTM D3192-02 ซึ่งแสดงดังตารางที่ 2.1 และทำการผสมโดยเครื่องผสมสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) และทำการเตรียมตัวอย่างยางคอมปอนด์ซ้ำทั้งหมดตัวอย่างละ 3 ครั้ง เพื่อยืนยันผลการทดสอบ

ตารางที่ 2.1 สูตรยางมาตรฐาน ASTM D3192-02

ยางและสารเคมี	ปริมาณ (ส่วนโดยน้ำหนัก)
Natural rubber	100
Stearic acid	3
Zinc oxide	5
MBTS	0.6
Sulfur	2.5
Carbon black	50
Total	161.1

ในการวิจัยนี้มีการใช้เขม่าดำในปริมาณสูงถึง 50 phr ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการผสมยางตัวอย่างต่างๆ กับเขม่าดำ จึงได้เตรียมเขม่าดำให้อยู่ในรูปของมาสเตอร์แบทช์ 50% ของยางแต่ละตัวอย่าง เนื่องจากป้องกันการฟุ้งกระจายของเขม่าดำ และช่วยลดเวลาในการผสม

ลำดับการผสมสารเคมีเพื่อเตรียมยางคอมเพานด์

ขั้นที่	เวลา (นาที)
1. ตั้งระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.50 มม. นำยางเข้าบด โดยไม่ให้พันลูกกลิ้ง 2 ครั้ง	1
2. ตั้งระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 1.40 มม. ให้พันลูกกลิ้งหน้า ตัดยางระยะ 3/4 ของยางจากแต่ละด้าน สลับด้านซ้ายและขวา 3 ครั้ง	0.75
3. เติมหาสเตอร์แบทช์เขม่าดำลงบดรวมกับยาง ตัดยางระยะ 3/4 ของยางจากแต่ละด้านสลับด้านซ้ายและขวา บดจนยางเริ่มเรียบ	2
4. เติมกรดสเตียริก	2.5
5. เติมซิงค์ออกไซด์ ตัดยางระยะ 3/4 ของยางจากแต่ละด้าน	2.5
6. เติมสารตัวเร่ง (MBTS) ตัดยางระยะ 3/4 ของยางจากแต่ละด้าน	2
7. เติมหำมะถัน ตัดยางระยะ 3/4 ของยางจากแต่ละด้าน	2
8. ตัดยางผสมสารเคมีออกจากลูกกลิ้ง ตั้งระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเป็น 0.80 มม. นำยางผ่านลูกกลิ้ง 6 ครั้ง ยางที่ผ่านลูกกลิ้งออกมาแต่ละครั้งม้วนเป็นรูปทรงกระบอกใส่ปลายข้างหนึ่งเข้าเครื่องในการบดครั้งต่อไป ส่วนครั้งที่ 6 รีดยางออกมาเป็นแผ่นให้มีความหนาไม่น้อยกว่า 6 มม.	2
รวมเวลา	14.75

2.2.2 ทดสอบสมบัติของยางคอมเพานด์

ทำการทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ ซึ่งได้แก่การทดสอบหา scorch time, cure time ด้วยเครื่อง Moving Die Rheometer (MDR) เมื่อทำการทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางคอมเพานด์ หลังจากนั้นทำการนำยางคอมเพานด์ไปขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดเข้าโดยใช้ความดัน ที่อุณหภูมิ 150°C ตามระยะเวลาการคงรูปที่ได้ทดสอบมา เพื่อเตรียมเป็นชิ้นทดสอบต่างๆ สำหรับการทดสอบสมบัติทางกายภาพของยางวัลคาไนซ์ต่อไป

2.3 ทดสอบสมบัติของยางวัลคาไนซ์

2.3.1 ความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength)

2.3.2 ความยืดสูงสุด ณ จุดขาด (Elongation at break)

2.3.3 โมดูลัสที่ 300% (300% Modulus)

2.3.4 การบ่มเร่งด้วยความร้อน (Heat Ageing)

2.3.5 ความทนทานต่อการสึกหรอ

2.3.6 ความแข็ง (Hardness)

2.3.7 ความต้านทานต่อการหักงอ

2.3.8 การกระเดื่องตัว

2.3.9 การสะสมความร้อน

2.3.10 การเสียรูปหลังการกด (Compression set)

2.3.11 ความต้านทานไอโซน

2.3.12 ตรวจสอบสัณฐานวิทยาของยางวัลคาไนซ์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy: SEM)

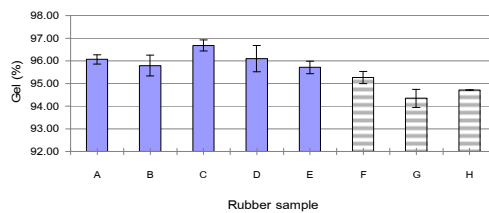
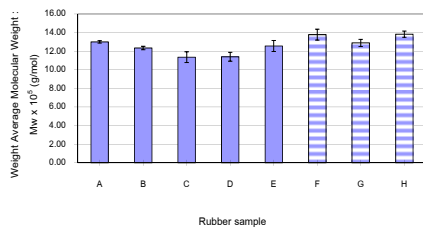
บทที่ 3

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

3.1 สมบัติเบื้องต้นของยางแท่ง

3.1.1 น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight)

จากการทดสอบหาน้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight) ยางแท่ง STR 20 (A-E) และ SIR 20 (F-H) พบว่า ตัวอย่างยางทั้งหมดที่ทำการทดสอบมีน้ำหนักโมเลกุลที่ต่างกัน โดยน้ำหนักโมเลกุลของตัวอย่างยางแท่ง STR 20 และ SIR 20 ที่ทำการทดสอบมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง $11.36 \times 10^5 - 13.83 \times 10^5$ g/mol ดังรูปที่ 3.1 (ซ้าย) ซึ่งยางตัวอย่าง H ของยาง SIR 20 มีน้ำหนักโมเลกุลสูงสุด และยางตัวอย่าง C ของ STR 20 มีน้ำหนักโมเลกุลที่ต่ำที่สุด โดยในภาพรวมยางแท่งจากยาง SIR 20 มีน้ำหนักโมเลกุลที่สูงกว่ายางแท่ง STR 20 โดยน้ำหนักโมเลกุลของยางส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของยางวัลคาไนซ์ ซึ่งหากตัวอย่างยางมีน้ำหนักโมเลกุลที่สูง มีผลให้ยางนั้นมีสมบัติเชิงกลที่ดี



รูปที่ 3.1: น้ำหนักโมเลกุล (Mw, ซ้าย) และปริมาณเจล (ขวา) ของยางแท่ง STR 20 (A-E) และ SIR 20 (F-H)

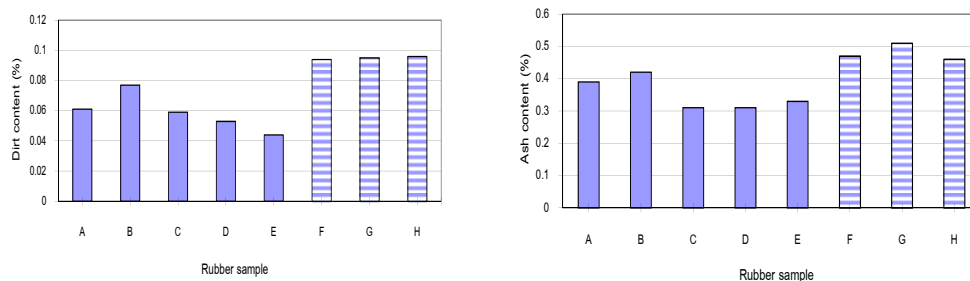
3.1.2 ปริมาณเจลในยางแท่ง (Gel content)

ยางแท่ง STR 20 (A-E) และ SIR 20 (F-H) มีปริมาณเจลในยางที่แตกต่างกันไม่มากสังเกตได้จากรูปที่ 3.1 (ขวา) โดยปริมาณเจลในที่นี้เป็นส่วนของมาโครเจล (Macrogel) ซึ่งบวมพองและไม่ละลายในตัวทำละลาย (Sekhar, 1961) ซึ่งพบว่ายางบริษัท C มีปริมาณเจลที่สูงที่สุด โดยปริมาณเจลที่แตกต่างกันมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย เช่น เป็นผลมาจากการเตรียมวัตถุดิบในกระบวนการผลิต ประกอบด้วยยางที่ต่างกัน ได้แก่ ส่วนของเศษยางหรือยางก้นถ้วย ซึ่งมาจากการจับตัวกันเองตามธรรมชาติ ซึ่งส่งผลต่อปริมาณเจล โดยยางที่จับตัวเองตามธรรมชาติ มีปริมาณเจลที่สูงกว่ายางที่จับตัวด้วยกรด เพราะมีโอกาสเกิดเป็นโครงสร้งตาข่ายได้ง่ายเพราะมีช่วงระยะเวลาการจับตัวที่นาน (โสภา, 2546)

นอกจากนี้ยางที่เก็บไว้เป็นเวลานานมีปริมาณเจลที่สูง เพราะโครงสร้างร่างแหในยาง แข็งแรงมากขึ้นจนละลายในตัวทำละลายได้ยาก (Sekhar, 1961) ส่งผลให้มีปริมาณเจลที่สูงซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้คือยางจากบริษัท C เป็นยางที่มีอายุการเก็บที่นานส่งผลให้มีปริมาณเจลที่สูงที่สุด นอกจากนี้อายุของต้นยางที่ให้น้ำยางเพื่อมาใช้ในการกระบวนการผลิตมีผลต่อปริมาณเจล กล่าวคือ หากเป็นยางที่ได้จากต้นยางที่มีการเจริญเติบโตเต็มที่หรือมีอายุมากให้ยางที่มีปริมาณเจลที่สูง (เสาวนีย์, 2542) ส่วนยาง SIR 20 มีปริมาณเจลที่ต่ำกว่ายางแท่ง STR 20 เล็กน้อยทั้งนี้สาเหตุที่ยาง SIR 20 มีปริมาณเจลที่ต่ำ อาจเป็นผลมาจากวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตซึ่งอาจใช้สัดส่วนของยางแผ่นมากกว่าชียางที่จับตัวกันเองตามธรรมชาติ โดยยางแผ่นเป็นยางที่ได้จากการจับตัวด้วยกรดซึ่งเกิดโครงสร้างตาข่ายได้น้อยโดยเกิดจากการจับตัวกันอย่างรวดเร็ว หรือยางที่นำมาใช้อาจเป็นยางที่ได้จากต้นยางที่มีอายุน้อยจึงส่งผลให้ยางแท่งที่ได้มีปริมาณเจลที่ต่ำ

3.1.3 ปริมาณสิ่งสกปรก (Dirt Content)

การทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกของตัวอย่างยางดิบที่เตรียมมาจากยางแท่ง STR20 (A-E) และ SIR 20 (F-H) ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 3.2 (ซ้าย) พบว่า ยางแท่งของ SIR 20 มีปริมาณสิ่งสกปรกมากกว่า STR 20 อย่างเห็นได้ชัด โดยสิ่งสกปรกนี้หมายถึงสิ่งที่เจือปนในยาง เช่น เศษไม้ ดิน และสิ่งสกปรกอื่น ซึ่งปะปนมาในกระบวนการผลิตยางแท่ง เนื่องจากยางแท่งเกรด 20 ผลิตมาจากยางแผ่น เศษยาง และชียาง ทำให้มีปริมาณสิ่งสกปรกที่ไม่ใช่ยางมากกว่ายางแท่งเกรดที่ผลิตจากน้ำยาง (TSR XL TSR 5L) โดยในที่นี้ยางแท่ง SIR 20 มีปริมาณสิ่งสกปรกสูงกว่ายางแท่ง STR 20 ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากในขั้นตอนของการนำยางไปแช่น้ำหรือสารละลายต่างเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกออกในกระบวนการผลิตยางแท่ง SIR 20 อาจใช้เวลาในการแช่น้อยกว่า จึงส่งผลให้ยางแท่ง SIR 20 มีปริมาณสิ่งสกปรกที่สูงกว่ายางแท่ง STR 20



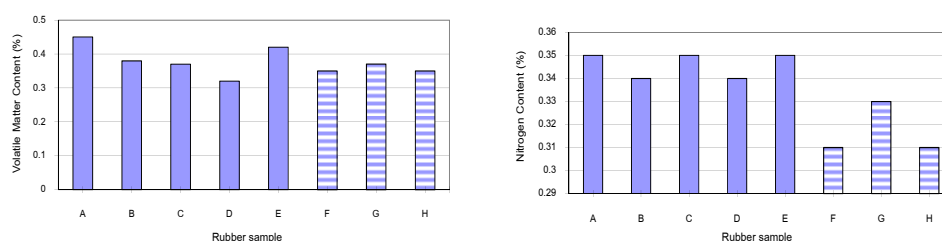
รูปที่ 3.2: ปริมาณสิ่งสกปรก (ซ้าย) และปริมาณเถ้า (ขวา) ในยางแท่ง STR 20 (A-E) และ SIR 20 (F-H)

3.1.4 ปริมาณเถ้า (Ash content)

การทดสอบปริมาณเถ้าในตัวอย่างยางแท่ง STR 20 และ SIR 20 ได้ผลการทดสอบ ดังรูปที่ 3.2 (ขวา) โดยจากการทดสอบพบว่ายางจากบริษัท G ซึ่งเป็นยาง SIR 20 มีปริมาณเถ้ามากที่สุด โดยภาพรวมสังเกตได้ว่ายางแท่ง SIR 20 มีปริมาณเถ้าสูงกว่ายางแท่ง STR 20 ซึ่งเถ้าในยางประกอบด้วยเกลืออนินทรีย์ พวงคาร์บอนเนตออกไซด์ แมกนีเซียม ไฮเดรียม และธาตุอื่นๆ นอกจากนี้อาจเป็นพวกซิลิกา หรือซิลิเกต ที่อยู่ในยางเองหรือปะปนมาจากภายนอก ปริมาณเถ้าจึงเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณแร่ธาตุในยางดิบ และเป็นตัวบ่งชี้ว่าการเติมสารตัวเติมไปช่วยเพิ่มน้ำหนักยางหรือไม่ โดยตามมาตรฐานกำหนดให้มีปริมาณเถ้าในยางแท่งเกรด 20 ได้ไม่เกิน 0.8% และพบว่าค่าของปริมาณเถ้าในยางตัวอย่างจากทุกบริษัทมีค่าอยู่ในเกณฑ์ตามที่มาตรฐานที่กำหนด

3.1.5 ปริมาณสิ่งระเหย (Volatile Matter Content)

การทดสอบปริมาณสิ่งระเหยในยางที่มาจากยางแท่ง STR 20 และ SIR 20 ได้ผลการทดสอบรูปที่ 3.3 (ซ้าย) พบว่า ค่าปริมาณสิ่งระเหยในยางจากทั้ง 2 ประเภท มีค่าอยู่ในเกณฑ์ตามที่มาตรฐานระบุ คือ ไม่เกิน 0.6% โดยสิ่งระเหยในยางส่วนใหญ่เป็นความชื้น หากมีปริมาณสูง ทำให้ยางเกิดราได้ง่าย มีกลิ่นเหม็น และเกิดปัญหาการระหว่างการแปรรูป เป็นผลิตภัณฑ์ โดยทำให้ยางลื่นบดผสมกับสารเคมีอื่นได้ยาก ซึ่งจากการทดสอบพบว่า โดยตัวอย่าง A ซึ่งเป็นยางแท่ง STR 20 มีปริมาณสิ่งระเหยที่สูงที่สุดคือ 0.45 แต่ทั้งนี้ในภาพรวมค่าปริมาณสิ่งระเหยในตัวอย่างยางแท่ง STR 20 และ SIR 20 มีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.32 -0.45



รูปที่ 3.3: ปริมาณสิ่งระเหย (ซ้าย) และปริมาณไนโตรเจน (ขวา) ในยางแท่ง STR 20 (A-E) และ SIR 20 (F-H)

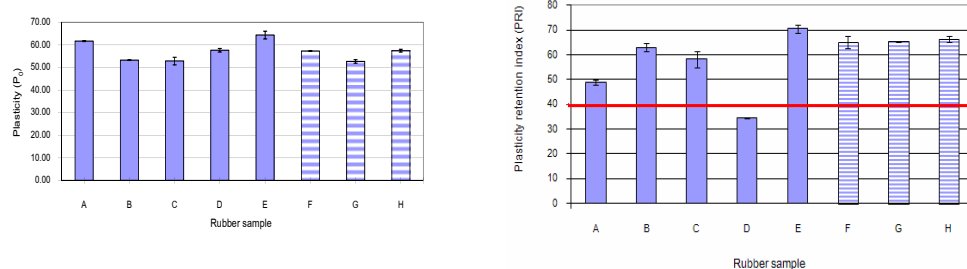
3.1.6 ปริมาณไนโตรเจน (Nitrogen Content)

การทดสอบปริมาณไนโตรเจนในยางดิบ ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 3.3 (ขวา) พบว่า ยางแท่ง STR 20 และ SIR 20 ให้ค่าที่แตกต่างกันไม่มากนัก โดยไนโตรเจนในยางดิบอยู่ในรูปโปรตีน จึงเป็นตัวบ่งชี้ว่าในยางดิบมีโปรตีนมากน้อยเพียงใด การกำหนดขีดปริมาณ

ไนโตรเจนในยางแท่งเพื่อป้องกันไม่ให้ผู้ผลิตนำยางซึ่งมีไนโตรเจนสูงมาผลิตยางแท่งในยางน้ำยางมีปริมาณไนโตรเจนสูง ซึ่งไนโตรเจนอยู่ในรูปโปรตีน และรวมทั้งสารที่ไม่ใช่ยาง (Non rubber) หากปริมาณโปรตีนและสารที่ไม่ใช่ยางสูงมีผลเกี่ยวกับการเร่งปฏิกิริยาคัลคาไนซ์ คือทำให้ปฏิกิริยาคัลคาไนซ์เกิดเร็วขึ้น (fast cure) และหากนำยางน้ำยางไปผลิตวัตถุสำเร็จรูป ทำให้ได้วัตถุสำเร็จรูปที่มีคุณสมบัติทางไดนามิกส์ไม่ดี เช่น การกระด้างกระดอนต่ำเมื่อมีปริมาณไนโตรเจนสูง (สถาบันวิจัยยาง, 2544) โดยผลจากการทดสอบยางจากบริษัทต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกันซึ่งค่าที่ได้คือ 0.31-0.35% โดยเป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานซึ่งได้กำหนดให้ไม่เกิน 0.6%

3.1.7 ดัชนีความอ่อนตัว (Plasticity Retention Index Content; PRI)

การทดสอบค่าดัชนีความอ่อนตัวและค่าความอ่อนตัวเริ่มแรกของยางแท่ง STR 20 และ SIR 20 ด้วยเครื่อง Wallace Rapid Plastometer ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 3.4 พบว่าค่า P_0 และค่า PRI ของยางแต่ละบริษัท มีค่าแตกต่างกันเนื่องมาจากระบวนการผลิตที่แตกต่างกันจึงส่งผลให้ค่าดัชนีความอ่อนตัวที่ได้จึงแตกต่างกันด้วย โดยยางแท่งเกรด 20 ที่มีคุณภาพดี ต้องมีค่า P_0 มากกว่า 30 และมีค่า PRI สูงเกิน 40 โดยจากผลการทดสอบในภาพรวมยางแท่ง SIR 20 มีค่า PRI ที่สูง แต่อย่างไรก็ตามยังมียางแท่ง STR 20 ของบางบริษัท ให้ค่าสูงกว่าและมีบางบริษัทที่ให้ค่าเทียบเคียงกันได้กับยางแท่ง SIR20 ส่วนยางตัวอย่าง D ถึงแม้มีค่า P_0 มากกว่า 30 แต่เมื่อพิจารณาค่า PRI พบว่ามีค่าต่ำกว่ามาตรฐานด้วยคุณภาพในการผลิตที่อาจไม่ได้ใช้ยางแผ่นผสมลงไปจึงส่งผลให้ค่า PRI ที่ได้ต่ำลง ยางจากบริษัท D จึงจัดเป็นยางที่ไม่ได้มาตรฐานหากพิจารณาด้วยค่าดัชนีความอ่อนตัว

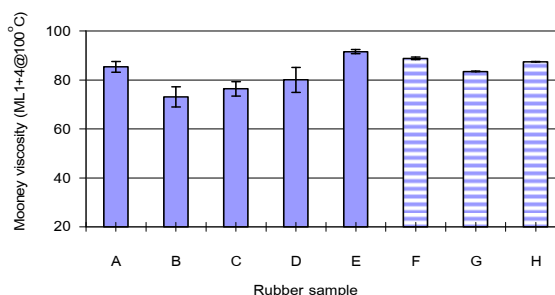


รูปที่ 3.4: ความอ่อนตัวเริ่มแรก (ซ้าย) และค่าดัชนีความอ่อนตัว (ขวา) ของยางแท่ง STR 20 (A-E) และ SIR 20 (F-H)

3.1.8 ความหนืด (Mooney viscosity)

การทดสอบหาค่าความหนืดของแท่ง STR 20 และ SIR 20 ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 3.5 พบว่ายางแท่ง STR 20 และ SIR 20 ให้ค่าความหนืดที่แตกต่างกัน ซึ่งความหนืดของ

ตัวอย่างยางที่ทำการทดสอบมีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 73. – 91. โดยความหนืดเป็นสมบัติที่ระบุคุณภาพด้านการนำไปใช้งาน ยางที่มีความหนืดสูงเป็นยางแท่งที่มีลักษณะแข็งกระด้างเมื่อนำไปใช้ต้องใช้เวลาในการบดยางให้นิ่มหรือให้ยางมีความหนืดลดลง จึงสามารถผสมสารเคมีต่างๆ ได้ โดยสาเหตุที่ตัวอย่างยางเหล่านี้มีค่าความหนืดที่แตกต่างมาจากหลายปัจจัย เนื่องจากความหนืดของยางธรรมชาติมีความแปรปรวนแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น พันธุ์ยาง ฤดูกาลที่กรีดยาง อายุต้นยาง และวิธีการผลิต ซึ่งความหนืดของยางเพิ่มขึ้นได้เองตามธรรมชาติธรรมชาติเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ในกระบวนการผลิต ระหว่างการเก็บ (Storage hardening) และระหว่างการขนส่ง (พรรษา, 2538) นอกจากนี้จากการทดสอบพบว่า ยาง SIR20 มีความหนืดสูงกว่ายางตัวอย่าง B C D ซึ่งเป็นยาง STR20 เนื่องมาจากค่าความหนืดมีความสัมพันธ์โดยตรงกับน้ำหนักโมเลกุล โดยยางที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมักมีความหนืดสูง (สถาบันวิจัยยาง, 2544)



รูปที่ 3.5: ค่าความหนืด [ML (1+4)100^oC] ของยางแท่ง STR 20 (A-E) และ SIR 20 (F-H)

3.1.9 การทดสอบสี

จากการทดสอบค่าสีของยางตัวอย่างโดยเปรียบเทียบกับสีมาตรฐาน Lovibond พบว่ายางตัวอย่าง B มีสีเข้มมากที่สุดซึ่งมีค่ามากกว่า 16 Lovibond ซึ่งสังเกตได้ดังตารางที่ 3.1 ทั้งนี้เนื่องมาจากยางตัวอย่าง B มีปริมาณสิ่งสกปรกที่สูงถึง 0.077 ดังรูปที่ 3.2 (ซ้าย) โดยค่าสีมีผลต่อการนำยางดิบไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ โดยหากยางมีสีอ่อนทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีสีสนสวยงามตามต้องการได้ อีกนัยหนึ่งใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงสิ่งสกปรกในยาง หากยางมีสีเข้ม แสดงว่ายางนั้นมีปริมาณสิ่งสกปรกที่สูง ซึ่งจากการทดสอบความสกปรก ยางแท่ง SIR 20 มีค่าความสกปรกที่สูง ซึ่งส่งผลให้ค่าสีของยางแท่งนั้นมีค่าสูงตามไปด้วย และเช่นเดียวกันกับยางตัวอย่าง E ซึ่งมีค่าสีต่ำ โดยเป็นผลสอดคล้องมาจากการที่ยางตัวอย่าง E มีปริมาณสิ่งสกปรกที่ต่ำดังที่แสดงรูปที่ 3.2 (ซ้าย)

ตารางที่ 3.1: ค่าสีของยางแท่ง STR 20 (A-E) และ SIR 20 (F-H) ที่มาจากต่างบริษัท ซึ่งเทียบกับสีมาตรฐาน Lovibond

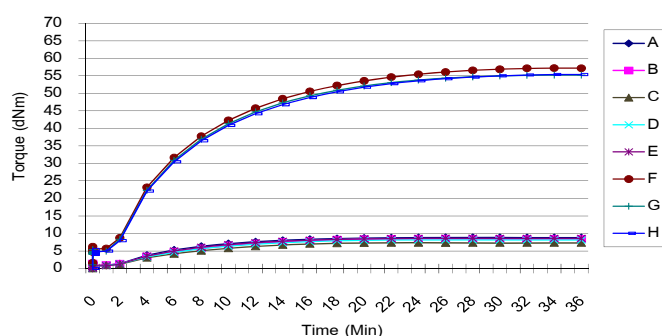
ยางตัวอย่าง	ค่าสี (Lovibond)	ลักษณะตัวอย่าง
A	15	
B	>16	
C	16	
D	16	
E	14	
F	16	
G	16	
H	16	

3.2 สมบัติของยางคอมเพานด์

การทดสอบสมบัติของยางคอมเพานด์ เพื่อหา cure time และ scorch time พบว่า ยาง SIR 20 มี scorch time ที่สั้น และมี cure time ที่ยาวกว่า STR 20 ดังตารางที่ 3.2 โดยทั้งนี้เป็นผลมาจากการที่ยาง STR 20 มีปริมาณไนโตรเจนที่สูงกว่ายาง SIR 20 ดังรูปที่ 3.3 (ขวา) โดยหากปริมาณไนโตรเจนที่อยู่ในรูปโปรตีนมีในปริมาณสูงมีผลเกี่ยวกับการเร่งปฏิกิริยาคัลคาไนซ์ คือทำให้ปฏิกิริยาคัลคาไนซ์เกิดเร็วขึ้น ปริมาณไนโตรเจนในยางแท่งจึงเป็นสาเหตุให้ยาง STR 20 cure ได้เร็วกว่ายาง SIR 20 นอกจากนี้การทดสอบสมบัติยางคอมเพานด์ด้วยเครื่อง MDR สามารถบอกถึงค่าแรงบิดที่ใช้ในการทดสอบ ดังรูปที่ 3.6 โดยสังเกตได้ว่ายาง SIR 20 มีค่าแรงบิดที่สูงกว่ายาง STR 20 เป็นอย่างมากทั้งนี้เป็นผลมาจากยางแท่ง SIR 20 มีน้ำหนักโมเลกุลที่สูงกว่ายางแท่ง STR 20

ตารางที่ 3.2: ค่าแรงบิดสูงสุด ($Torque_{max}$) เวลาในการคงรูป (cure time) และเวลาในการไหม้ (scorch time) ของยางคอมปอนด์ที่เตรียมจากยางแท่ง STR 20 (A-E) และ SIR 20 (F-H)

Rubber sample	$Torque_{max}$ (dNm)	Scorch time (min:sec)	Cure time (min:sec)
A	8.74 $\pm$ 0.23	2.09 $\pm$ 0.01	13.59 $\pm$ 0.42
B	8.32 $\pm$ 0.32	2.16 $\pm$ 0.01	14.95 $\pm$ 0.53
C	7.38 $\pm$ 0.06	2.34 $\pm$ 0.01	15.76 $\pm$ 0.79
D	8.27 $\pm$ 0.17	2.10 $\pm$ 0.01	15.61 $\pm$ 0.50
E	8.73 $\pm$ 0.09	2.10 $\pm$ 0.01	15.71 $\pm$ 0.72
F	57.75 $\pm$ 0.28	1.06 $\pm$ 0.03	17.60 $\pm$ 0.40
G	55.31 $\pm$ 0.01	1.04 $\pm$ 0.01	17.70 $\pm$ 0.28
H	56.05 $\pm$ 0.59	1.02 $\pm$ 0.01	18.51 $\pm$ 0.05



รูปที่ 3.6: ค่าแรงบิด (Torque) ของตัวอย่างยางคอมปอนด์ของยาง STR 20 (A-E) และ SIR 20 (F-H) ที่เวลาต่างๆ

3.3 สมบัติของยางวัลคาไนซ์

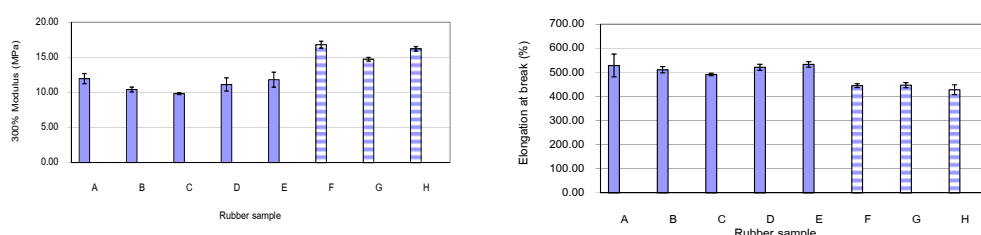
ผลจากการทดสอบสมบัติของยางวัลคาไนซ์ทั้งหมดเป็นผลที่ได้จากการทดสอบยืนยันผลซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง

3.3.1 สมบัติทางกล

3.3.1.1 โมดูลัสที่ 300% (300% Modulus)

จากการทดสอบหาค่าความต้านทานต่อแรงดึงที่ระยะยืดที่กำหนด คือ 300% ของยางแท่ง STR 20 (A-E) และ SIR 20 (F-H) ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile testing machine, LLOYD T.M LR 10K) โดยใช้ความเร็วในการดึงที่ 500 mm/min และใช้

Load cell 1000 N ซึ่งได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 3.7 (ซ้าย) พบว่า ยางตัวอย่าง C มีค่าความทนทานต่อการแรงดึงที่ระยะยืด 300% ที่ต่ำซึ่งสอดคล้องกับการที่ C มีน้ำหนักโมเลกุลที่ต่ำที่สุดจึงอาจมีผลให้สมบัติเชิงกลต่ำ และเช่นเดียวกันกับการที่ยาง SIR 20 มีน้ำหนักโมเลกุลที่สูง จึงส่งผลให้มีสมบัติเชิงกลในด้านการต้านทานต่อการเสียรูปสูงตามไปด้วย นอกจากนี้ค่าแรงบิด (Torque) มีความสัมพันธ์ต่อค่าความต้านทานต่อการเสียรูปโดยตัวอย่างยาง STR 20 (A-E) มีค่าแรงบิดที่ต่ำกว่ายาง SIR 20 (F-H) ส่งผลให้ยาง SIR 20 มีค่าความต้านทานต่อแรงดึงที่ระยะยืด 300% สูงกว่ายาง STR 20



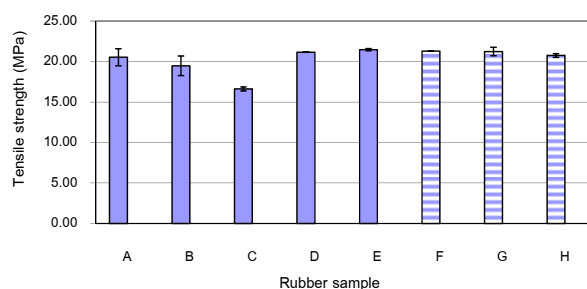
รูปที่ 3.7: โมดูลัสที่ 300% (ซ้าย) และความยืดสูงสุด ณ จุดขาด (ขวา) ของยาง STR 20 (A-E) และ SIR 20 (F-H)

3.3.1.2 ความยืดสูงสุด ณ จุดขาด (Elongation at break)

จากการทดสอบหาค่าความยืดสูงสุด ณ จุดขาด (Elongation at break) ของยางแท่ง STR 20 (A-E) และ SIR 20 (F-H) ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile testing machine, LLOYD T.M LR 10K) โดยใช้ความเร็วในการดึงที่ 500 mm/min และใช้ Load cell 1000 N ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 3.7 (ขวา) พบว่าจากการทดสอบยาง STR 20 มีความยืดสูงสุด ณ จุดขาด (Elongation at break) สูงกว่า ยาง SIR 20 ทั้งนี้ปัจจัยหนึ่งที่อาจส่งผลให้ยาง STR 20 สามารถยืดตัวได้สูงกว่าอาจมีสาเหตุมาจากสมบัติของยางดิบซึ่งสังเกตว่ายางแท่ง STR 20 มีปริมาณเถ้า (Ash content) ต่ำกว่าในยางแท่ง SIR 20 ซึ่งเถ้าในยางประกอบด้วย เกลืออนินทรีย์ พวกคาร์บอนเนตออกไซด์ แมกนีเซียม โซเดียม และธาตุอื่นๆ กล่าวคือการมีปริมาณเถ้าที่มากอาจมาจากการเติมสารตัวเติมเพื่อช่วยเพิ่มน้ำหนักของยางในกระบวนการผลิต ซึ่งโดยปกติยางธรรมชาติมีความสามารถในการยืดตัวได้สูงและความสามารถในการยืดตัวของยางลดลงเมื่อมีปริมาณสารตัวเติมหรือปริมาณเถ้าที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นปริมาณเถ้าในยางดิบจึงอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลให้ยางแท่ง STR20 สามารถยืดตัวได้สูงกว่ายางแท่ง SIR 20

3.3.1.3 ความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength)

จากการทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ของยางแท่ง STR 20 (A-E) และ SIR 20 (F-H) ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile testing machine, LLOYD T.M LR 10K) โดยใช้ความเร็วในการดึงที่ 500 mm/min และใช้ Load cell 1000 N ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 3.8 พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงของยางแท่ง STR 20 และ SIR 20 มีค่าความต้านทานแรงดึงที่ใกล้เคียงกัน โดยในการทดสอบสังเกตได้ว่ายางจากบริษัท C มีค่าความต้านทานแรงดึงที่ต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับการที่ C มีปริมาณเจลที่สูงซึ่งอาจหมายถึงในกระบวนการผลิตอาจมีส่วนผสมของซียางในปริมาณสูงบวกกับการมีน้ำหนักโมเลกุลที่ต่ำที่สุดจึงอาจมีผลให้สมบัติเชิงกลในด้านการต้านทานแรงดึงต่ำไปด้วย นอกจากนี้ปัจจัยที่ส่งผลให้ยางตัวอย่าง C มีค่าความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength) ที่ต่ำอาจเป็นผลมาจากยางตัวอย่าง C ที่ใช้ในการทดสอบเป็นยางเก่าที่ถูกเก็บไว้เป็นเวลานาน อย่างไรก็ตามแม้ว่ายางจากบริษัท C ซึ่งเป็นยาง STR 20 มีค่าความต้านทานแรงดึงที่ต่ำที่สุด แต่ยาง STR 20 อื่นหลายตัวอย่างและถือเป็นตัวอย่างในภาพรวมมีค่าความต้านทานแรงดึงที่เทียบเท่ากับยางแท่ง SIR 20

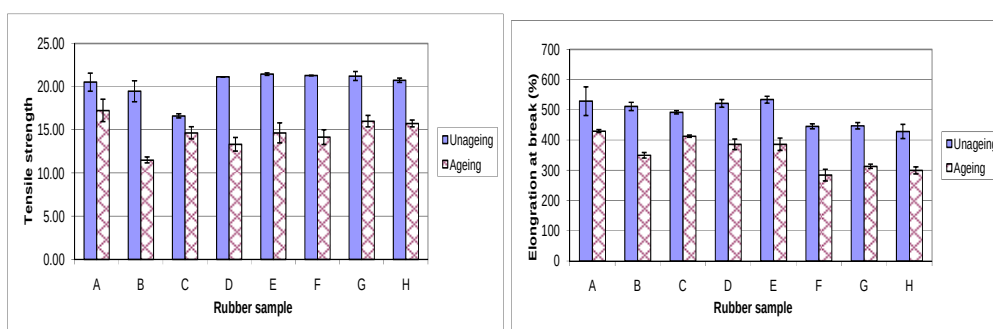


รูปที่ 3.8: ความสามารถในการทนต่อแรงดึง (Tensile strength) ของยาง STR 20 (A-E) และ SIR 20 (F-H)

3.3.2 การบ่มเร่งด้วยความร้อน (Heat ageing)

จากการทดสอบการบ่มเร่งด้วยความร้อนซึ่งให้อุณหภูมิสูง 70°C แก่ยางเป็นเวลา 4 วัน ซึ่งโดยปกติการนำยางวัลคาไนซ์มาตั้งทิ้งไว้ สมบัติของยางค่อยๆ เปลี่ยนไปตามอายุ โดยในที่นี้การเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเป็นการเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเร็วขึ้น ซึ่งภายหลังจากการบ่มเร่งด้วยความร้อน ทำการนำยางมาทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง และความยืดสูงสุด ณ จุดขาด ซึ่งได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 3.9 ส่วนความต้านทานต่อแรงดึงที่ระยะยืด 300% มีบางตัวอย่างไม่สามารถยืดตัวได้ถึง 300% จึงไม่นำเสนอ โดยจากการทดสอบพบว่า ภายหลังจากการบ่มเร่งด้วยความร้อนค่าความต้านทานแรงดึงของยางลดลง โดยในการทดสอบพบว่ายางตัวอย่าง B ซึ่งเป็นยาง STR 20 มีการลดลงของความต้านทานแรงดึงมากที่สุด

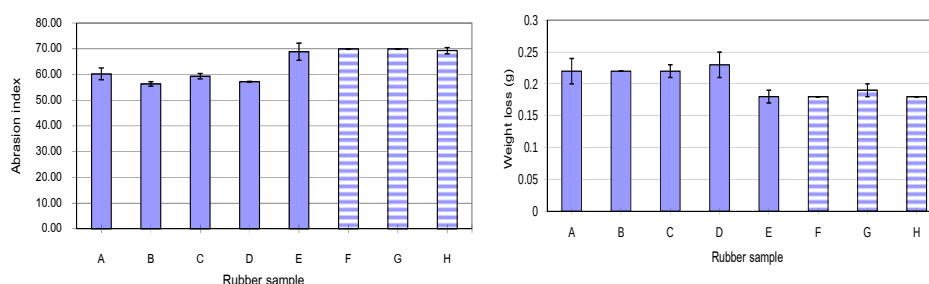
โดยมีสมบัติที่เปลี่ยนไปจากเดิม 41% เนื่องจากยางตัวอย่าง B มีปริมาณสิ่งสกปรกที่สูง และมีน้ำหนักโมเลกุลที่ต่ำ ส่วนยาง SIR 20 ถึงแม้ว่ามีปริมาณสิ่งสกปรกสูงกว่ายางตัวอย่าง B แต่มีน้ำหนักโมเลกุลที่สูงกว่า จึงทำมีสมบัติหลังการบ่มเร่งเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า และตัวอย่างยางที่สามารถทนต่อการบ่มเร่งด้วยความร้อนได้สูงสุดคือยางตัวอย่าง C ซึ่งเป็นยาง STR 20 เช่นกันซึ่งสังเกตได้ตามรูปที่ 3.9 (ซ้าย) ส่วนการทดสอบความยืดสูงสุด ณ จุดขาด (รูปที่ 3.9 ขวา) พบว่าค่าความสามารถในการยืดตัวของยางลดลงเช่นกัน โดยพบว่ายางตัวอย่าง C มีความสามารถการยืดตัวลดลงจากก่อนการบ่มเร่งน้อยที่สุด กล่าวคือหลังการบ่มเร่งมีการเปลี่ยนแปลงของสมบัติที่น้อยที่สุด ดังนั้นจากการทดสอบสมบัติทั้งความสามารถในการต้านทานต่อแรงดึงและความยืดสูงสุด ณ จุดขาดของยางตัวอย่างภายหลังการบ่มเร่งให้ผลในการทดสอบเช่นเดียวกัน คือยางตัวอย่าง C ซึ่งเป็นยาง STR 20 มีความสามารถในการทนต่อความร้อนได้สูงสุด ทั้งนี้สันนิษฐานว่าปริมาณเจลอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลเนื่องจากยางตัวอย่าง C มีปริมาณเจลสูง ซึ่งแสดงถึงการมีโครงสร้างร่างแหในยางดิบที่สูง กล่าวคือ มี C-C cross-links มาก ซึ่งมีความทนทานกว่าแบบ C-S_x-C cross-links นั่นคือมีพลังงานพันธะที่สูงกว่า ซึ่งพลังงานพันธะเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติด้านการเสื่อมสภาพของยาง โดยเฉพาะในด้านการเสถียรต่อความร้อน ดังนั้นการมีปริมาณเจลที่สูงของยางตัวอย่าง C จึงส่งผลให้มีความทนทานต่อการบ่มเร่งด้วยความร้อน แต่อย่างไรก็ดีเป็นเพียงปัจจัยหนึ่งเท่านั้น โดยแท้จริงแล้วสมบัตินี้จำเป็นต้องเกิดมาจากหลายปัจจัยประกอบกัน นอกจากนี้สังเกตได้จากจากรูปที่ 3.4 (ขวา) ยาง SIR 20 มีค่า PRI ที่สูงกว่ายาง STR 20 แต่สมบัติการบ่มเร่งนี้ไม่สูงกว่ายาง STR 20 ดังนั้นอาจสันนิษฐานได้ว่ายาง SIR 20 อาจมีการ treat ยางเพื่อเพิ่มค่าดัชนีความอ่อนตัว (PRI)



รูปที่ 3.9: ความสามารถในการทนต่อแรงดึง (ซ้าย) และความยืดสูงสุด ณ จุดขาด (ขวา) ของยาง STR 20 (A-E) และ SIR 20 (F-H) ก่อนและหลังการบ่มเร่ง

3.3.3 ความทนทานต่อการสึกหรอ

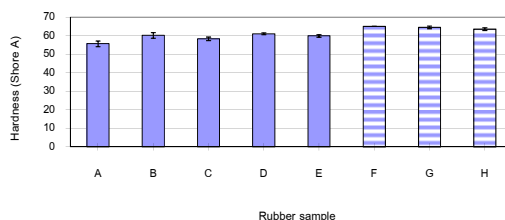
จากการทดสอบความสึกหรอของยางวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากยางต่างบริษัทกัน โดยใช้เครื่องทดสอบแบบ Akron ที่ใช้ตุ้มน้ำหนักในการกดทับเท่ากับ 3000 กรัม และขึ้นตัวอย่างกับหินขัดทำมุมกันเท่ากับ 15 องศา ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 3.10 พบว่าจากค่า Abrasion index ของยางที่เตรียมจากยางแท่ง SIR 20 มีค่า Abrasion index ที่สูง รูปที่ 3.10 (ซ้าย) และมีน้ำหนักที่หายไป (weight loss) ที่ต่ำรูปที่ 3.10 (ขวา) แสดงให้เห็นว่ายาง SIR 20 มีความสามารถในการต้านทานต่อการสึกหรอได้มากกว่ายางที่เตรียมจากยางแท่ง STR 20 แต่อย่างไรก็ตามยังมียางตัวอย่าง E ของยาง STR 20 ที่ให้ผลใกล้เคียงกันกับยางแท่ง SIR20



รูปที่ 3.10: ค่า abrasion index (ซ้าย) และ ค่าน้ำหนักที่หายไปภายหลังการขัดถู 1000 รอบ (ขวา) ของยาง STR 20 (A-E) และ SIR 20 (F-H) ที่มาจากต่างบริษัท

3.3.4 ความแข็ง (Hardness)

จากการวัดความแข็งของยางที่เตรียมได้จากยางแท่ง STR 20 และ SIR 20 ซึ่งวัดโดย Durometer Shore A ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 3.11 พบว่าค่าความแข็งของยาง SIR 20 มีค่าสูงกว่ายางแท่ง STR 20 ประมาณ 5 Shore A ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากการที่ยาง SIR 20 มีน้ำหนักโมเลกุลที่สูงกว่ายาง STR 20 อย่างมาก และเมื่อนำยางดิบที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่สูงมาเตรียมเป็นยางคอมปาวด์สังเกตุได้ว่ายาง SIR 20 มีค่าแรงบิดที่สูงดังรูปที่ 3.6 ดังนั้นจากการมีน้ำหนักโมเลกุลที่สูงจึงอาจส่งผลให้ยางมีความแข็งเพิ่มขึ้น



รูปที่ 3.11: ความแข็งของยางที่เตรียมจากยางแท่ง STR 20 (A-E) และ SIR 20 (F-H) ที่มาจากต่างบริษัท

3.3.5 ความต้านทานต่อการหักงอแบบ De Mattia

การทดสอบความต้านทานต่อการหักงอด้วยเครื่อง Flexing cracking tester, TOYOSEIKI, De Mattia Type D.M.01 ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 3.3 พบว่ายางวัลคาไนส์ที่เตรียมจากยางแท่ง STR 20 และ SIR 20 สามารถทนต่อการพับงอได้ประมาณ 16000 รอบจึงเริ่มมีรอยแตกเล็กๆประมาณ 0.1 mm เกิดขึ้น และเมื่อทำการทดสอบโดยให้แรงพับงออย่างต่อเนื่อง 30000 รอบ พบว่า ยางตัวอย่าง A และ C ซึ่งเป็นยาง STR 20 มีความต้านทานต่อการหักงอมากที่สุดโดยระดับความรุนแรงอยู่ที่ระดับ 2 คือมีรอยแตกเล็กเท่าปลายเข็มมากกว่า 10 รอย ส่วนยาง D ที่มีความต้านทานต่อการพับงอต่ำสุดเป็นยาง STR 20 โดยมีระดับความรุนแรงของรอยแตกอยู่ที่ระดับ 4 คือมีรอยแตกใหญ่กว่า 1 มม. แต่ไม่เกิน 1.5 มม. เนื่องจากยางตัวอย่าง D มีค่า PRI ต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนดซึ่งส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อการหักงอต่ำ

ตารางที่ 3.3: ระดับความรุนแรงของตัวอย่าง (ISO 132-1983) ทำการทดสอบโดยให้จำนวนรอบในการพับงอเท่ากับ 30000 รอบ

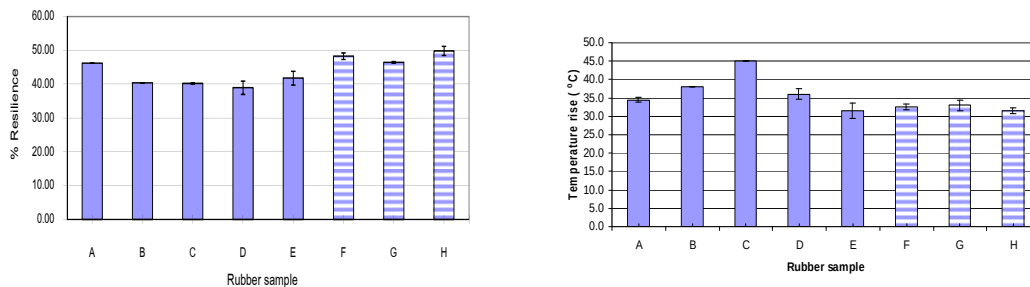
Rubber sample	ระดับความรุนแรงของรอยแตก
A	2
B	3
C	2
D	4
E	3
F	3
G	3
H	3

หมายเหตุ : ระดับ 1 รอยแตกเล็ก เท่าปลายเข็ม เห็นได้ด้วยตาเปล่า
 ระดับ 2 รอยแตกเล็ก เท่าปลายเข็ม มากกว่า 10 รอย
 ระดับ 3 รอยแตกเล็กๆ มารวมกันขนาดโตกว่า 0.5 มม. แต่ไม่เกิน 1 มม.
 ระดับ 4 รอยแตกใหญ่กว่า 1 มม. แต่ไม่เกิน 1.5 มม.

3.3.6 การกระเดັงตัว (Resilience)

จากการทดสอบการกระเดັงตัวของยาง ด้วยเครื่อง Dunlop Tripsometer ที่ อุณหภูมิห้อง ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 3.12 (ซ้าย) พบว่า ยางแท่ง SIR 20 มีความสามารถในการกระเดັงตัวได้ดีกว่ายางแท่ง STR 20 ทั้งนี้อาจเป็นผลดังที่กล่าวมาแล้วคือการมี

ปริมาณไนโตรเจนในยางดิบที่สูงของยางแท่ง STR 20 ส่งผลให้สมบัติทางไดนามิกส์ซึ่งได้แก่ การกระด้างตัวของยางไม่ดีตามไปด้วย



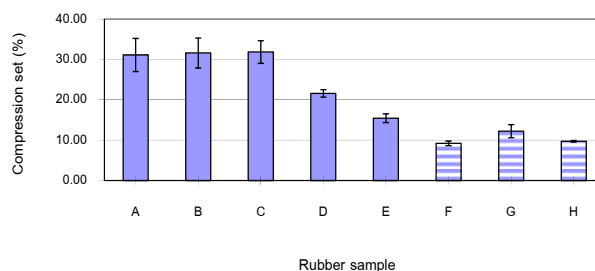
รูปที่ 3.12: การกระด้างตัวของยาง ณ อุณหภูมิห้อง (ซ้าย) และการสะสมความร้อน (ขวา) ของยางแท่ง STR 20 (A-E) และ SIR 20 (F-H)

3.3.7 การสะสมความร้อน (Heat build-up)

จากการทดสอบการสะสมความร้อนของยางด้วยเครื่อง Goodrich Flexometer โดยให้ความถี่ในการกดตัวอย่างเท่ากับ 1800 รอบ/นาที ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 3.12 (ขวา) พบว่ายางตัวอย่าง C มีการสะสมความร้อนที่สูงที่สุดเนื่องจากยางตัวอย่าง C มีปริมาณไนโตรเจนที่สูงประกอบกับการมีน้ำหนักโมเลกุลที่ต่ำจึงส่งผลให้ยางตัวอย่าง C มีการสะสมความร้อนสูง นอกจากนี้ยางแท่ง SIR 20 มีการสะสมความร้อนที่ต่ำกว่ายาง STR 20 ในหลายตัวอย่าง แต่อย่างไรก็ตามยังมียางตัวอย่าง E ซึ่งเป็นยาง STR 20 ให้ค่าการสะสมความร้อนที่ใกล้เคียงกับยางแท่ง SIR 20 ซึ่งผลจากการทดสอบได้เป็นไปตามทฤษฎี คือยางที่มีค่าการกระด้างตัวสูงมีค่าการสะสมความร้อนที่ต่ำ โดยความสัมพันธ์ของการกระด้างตัวและการสะสมความร้อนแปรผกผันกันตามทฤษฎี

3.3.8 การเสียรูปหลังการกด (Compression set)

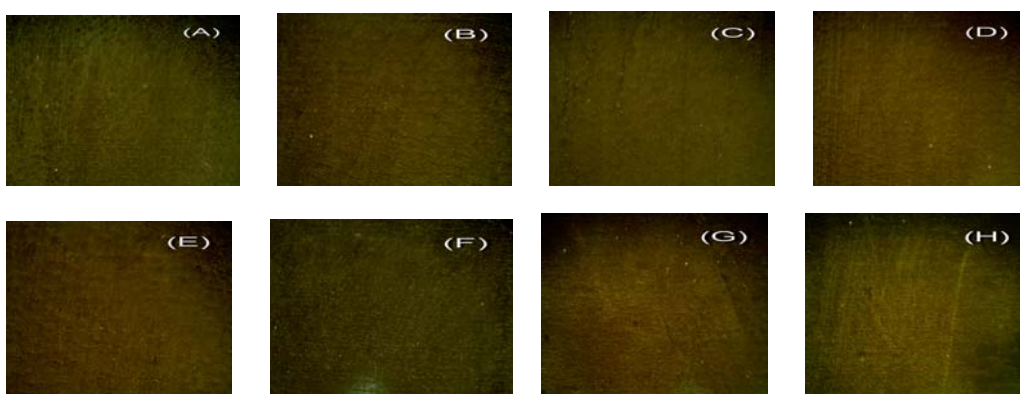
จากการทดสอบการเสียรูปหลังการกด (Compression set) ของยางด้วยเครื่อง Goodrich Flexometer ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 3.13 พบว่ายางตัวอย่าง C ซึ่งเป็นยาง STR 20 เกิดการเสียรูปภายหลังการกดมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการที่ยางตัวอย่าง C เป็นยางที่มีค่า 300% โมดูลัส ที่ต่ำที่สุดประกอบกับการมีน้ำหนักโมเลกุลที่ต่ำที่สุด ในขณะที่ยางตัวอย่าง F ซึ่งเป็นยาง SIR 20 เกิดการเสียรูปภายหลังการกดน้อยที่สุด สอดคล้องกับการที่ยางตัวอย่าง F เป็นยางที่มีค่า 300% โมดูลัส ที่สูงที่สุด



รูปที่ 3.13: การเสียรูปหลังการกด (Compression set) ของยางแท่ง STR 20 (A-E) และ SIR 20 (F-H)

3.3.9 ความต้านทานโอโซน

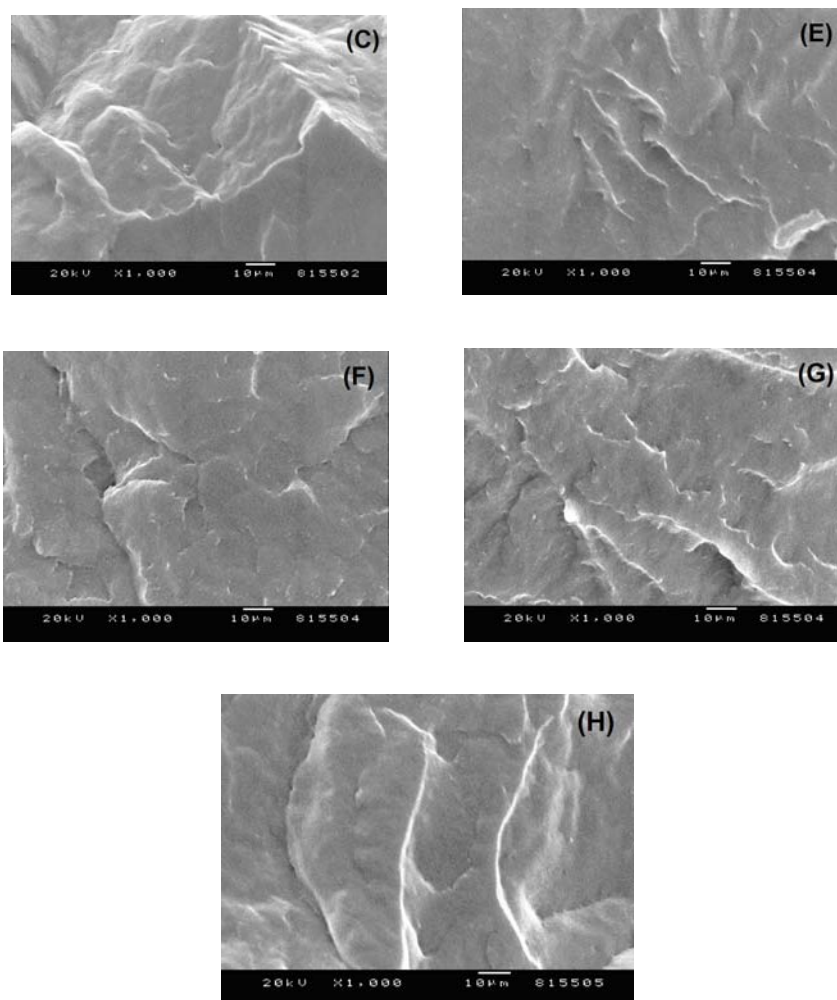
จากการทดสอบความต้านทานต่อโอโซนของยางวัลคาไนซ์ โดยทำการทดสอบโดยใช้ความเข้มข้นโอโซนเท่ากับ 25 pphm และใช้อุณหภูมิในการทดสอบเท่ากับ 40°C และก่อนทำการทดสอบ ทำการยืดตัวอย่างอย่างไว้ 20% ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 3.14 พบว่ายางแท่ง STR 20 และ SIR 20 ไม่ทนต่อการเสื่อมสภาพด้วยโอโซนในสภาวะดังกล่าวโดยเกิดรอยแตกจำนวนมากตั้งฉากกับทิศทางการยืดบนผิวของยางเช่นเดียวกัน เนื่องจากยางธรรมชาติมีสมบัติด้อยด้านการทนต่อการเสื่อมสภาพด้วยความร้อนและโอโซนนอกจากนี้ยังสังเกตเห็นว่าลักษณะรอยแตกของยาง STR 20 และ SIR 20 มีลักษณะแตกต่างกันโดยยางแท่ง STR 20 มีลักษณะยาวและมีความลึก ส่วนยางแท่ง SIR 20 มีลักษณะเป็นรอยแตกสั้นๆ สั้นๆ หลายรอย ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการที่ยาง SIR 20 มีค่าดัชนีความอ่อนตัวที่สูงกว่ายาง STR 20 ซึ่งทำให้ทนต่อการเสื่อมสภาพได้ดีกว่าลักษณะรอยแตกที่สังเกตเห็นจึงเป็นเพียงรอยแตกสั้นๆ และสั้นกว่ายาง STR 20



รูปที่ 3.14: รอยแตกของยางวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากยางแท่ง STR 20 (A-E) และ SIR 20 (F-H) ภายหลังการทดสอบโอโซนโดยใช้ความเข้มข้นโอโซน 25 pphm เป็นเวลา 3 วัน

3.3.10 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy; SEM) โดยในการทดลองไม่ได้ทำการทดสอบทุกตัวอย่างเนื่องจากตัวอย่าง STR 20 มีหลายตัวอย่าง จึงทำการเลือกตัวอย่างบาง STR 20 ที่ให้สมบัติเชิงกล เช่นความสามารถในการต้านทานแรงดึง ความยืดหยุ่น จุดขาด เป็นต้น โดยที่ที่ดีที่สุด (E) และต่ำที่สุด (C) ไปทำการทดสอบ และทำการทดสอบทุกตัวอย่างสำหรับยาง SIR 20 ซึ่งได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 3.15 ซึ่งได้จากการใช้กำลังขยาย 1000 เท่า โดยจากการทดสอบนี้เป็นการวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของยางตัวอย่างสังเกตได้ว่าในทุกตัวอย่างที่ทำการทดสอบยางและสารเคมีต่างรวมทั้งเขม่าดำสามารถเข้ากันได้ดีกับยาง เนื่องจากรูปที่ปรากฏมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันไม่เกิดการแยกเฟสขึ้น ดังนั้นการมีสมบัติเชิงกลที่แตกต่างกันในแต่ละตัวอย่างเป็นผลมาจากสมบัติของยางแต่ละตัว ไม่ได้มีผลมาจากการไม่เข้ากันของยางและสารเคมีซึ่งยืนยันผลได้โดยการใช้เทคนิค SEM



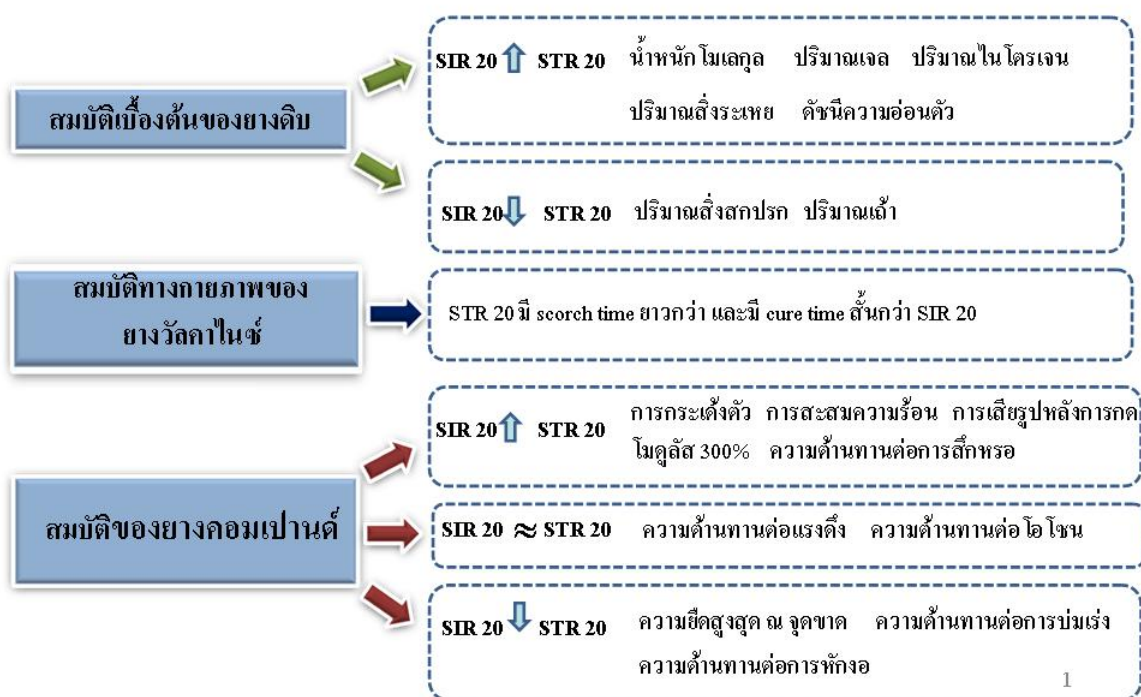
รูปที่ 3.15: ลักษณะสัณฐานวิทยาของยางตัวอย่าง STR 20 (C, E) และ SIR 20 (F-H) เมื่อตรวจสอบด้วยเครื่อง SEM ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

บทที่ 4

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยได้พิสูจน์ให้เห็นว่ายางแท่ง SIR 20 (อินโดนีเซีย) ไม่ได้มีสมบัติที่ดีกว่ายางแท่ง STR 20 (ไทย) ทุกประการ กล่าวคือยางของทั้งสอง มีสมบัติเด่นและด้อยแตกต่างกันไป รวมทั้งมีสมบัติบางประการที่ให้ผลเทียบเท่ากัน ซึ่งในการสรุปผลเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของสมบัติต่างๆ เป็นเปอร์เซ็นต์ โดยทำการคิดจากตัวอย่างที่ให้สมบัติที่ดีที่สุดของแต่ละประเทศ ซึ่งสามารถสรุปผลตามหัวข้อต่างๆ ได้ดังนี้



เอกสารอ้างอิง

- นิตยา รัตนโสม. 2537. การศึกษาเพื่อปรับปรุงความแปรปรวนของยางธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรโพลีเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- บุญธรรม นิธิอุทัย ปรีชา ป้องภัย และโสภณ ภักดีจิตร. 2538. ความสัมพันธ์ระหว่างความกระตังตัวกับความร้อนสะสมของยางวัลคาไนซ์. วิทยานิพนธ์สาขาเทคโนโลยียาง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 51 หน้า.
- พรพรรณ นิธิอุทัย. 2540. ยางเทคนิคการออกสูตร. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พรรษา อุดลยธรรม. 2538. ยางแท่งความหนืดคงที่, วารสารยางพารา, 15(3), 163-174
- พงษ์ธร แซ่ฮุ่ย. 2547. ยาง: ชนิด สมบัติ การใช้งาน. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- พงษ์ธร แซ่ฮุ่ย และชาคริต สิริสิงห. 2550. ยาง: กระบวนการผลิตและการทดสอบ. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 170 หน้า.
- วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2523. วิทยาการขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับยางแท่ง. งานอุตสาหกรรมยาง ศูนย์วิจัยการยาง หาดใหญ่. หน้า 45-54.
- วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2524. การผลิตยางธรรมชาติ (Natural rubber Processing). งานอุตสาหกรรมยาง ศูนย์วิจัยการยาง หาดใหญ่. หน้า 37-45.
- วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2552. ผลิตภัณฑ์ยาง: กระบวนการผลิตและเทคโนโลยี. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.). 200 หน้า.
- สถาบันวิจัยยาง. 2544. การทดสอบตามมาตรฐานยางแท่งเอสทีอาร์. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. 71 หน้า.
- เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี. 2542. ขนาดอนุภาคยาง น้ำหนักโมเลกุลและปริมาณเจลในน้ำยางธรรมชาติพันธุ์ RRIM 600. ผลงานวิจัยภาคใต้: รากฐานการพัฒนาสู่อนาคต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
- โสภา อิสระ. 2546. การปรับสภาพยางธรรมชาติเพื่อลดพลังงานที่ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ยาง. รายงานสาขาเทคโนโลยียาง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 181 หน้า
- เอกสิษฐ์ อนันต์เจริญวงศ์. 2546. อิทธิพลของการแช่ยางดิบในสารละลายต่างต่อสมบัติของยางแท่ง. วิทยานิพนธ์เทคโนโลยีโพลีเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

- Allen, P.W. and Bristow, G.M. 2003. **The gel phase in natural rubber**, J. Applied Polymer science. 603-615.
- Blackley, D.C. 1997. **Polymer Latices Science and Technology** Vol. 2 Type of Latices, 2nd ed., Chapman & Hall, London, 78-82.
- Fred, W. Barlow. 1988. **Rubber compounding**. 1st ed. New York: Marcel Dekker, Inc., 320
- Lucksanaporn, T. 2003. **Gel formation in natural rubber-effect of additives and Mg²⁺**, Institute of Science and Technology for Research and Development, Mahidol University.
- Sekhar, B.C. 1961. **Inhibition of Hardening in Natural Rubber**, Proc. Nat. Rub. Res. Conf. RRIM., 512.
- Tanaka, Y. 2001. **Structure Characterization of Natural Polyisoprene**, Rubb. Chem. Technol., 74, 355-375.
- Tanaka, Y. 2002. **Effect of gel on the green strength of natural rubber**, Rubber Division, ACS. 75, 739-746.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ค่าการทดสอบสมบัติต่างๆ ของยางไทย (A-E) และอินโดนีเซีย (F-H)

ตารางที่ ก.1 น้ำหนักโมเลกุล การกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล และปริมาณเจลของยางแท่งเกรด 20 ของไทย (A-E) และ อินโดนีเซีย (F-H)

Rubber sample	$\overline{M}_w \times 10^5$ (g/mol)	MWD	Gel (%)
A	13.00 $\pm$ 0.13	3.045 $\pm$ 0.06	96.06 $\pm$ 0.20
B	12.34 $\pm$ 0.18	2.985 $\pm$ 0.04	95.79 $\pm$ 0.46
C	11.36 $\pm$ 0.58	3.31 $\pm$ 0.03	96.68 $\pm$ 0.25
D	11.40 $\pm$ 0.48	3.185 $\pm$ 0.04	96.10 $\pm$ 0.57
E	12.56 $\pm$ 0.60	2.895 $\pm$ 0.09	95.71 $\pm$ 0.28
F	13.78 $\pm$ 0.59	3.09 $\pm$ 0.08	95.27 $\pm$ 0.27
G	12.89 $\pm$ 0.39	3.44 $\pm$ 0.14	94.35 $\pm$ 0.39
H	13.83 $\pm$ 0.34	2.99 $\pm$ 0.10	93.75 $\pm$ 1.38

ตารางที่ ก.2 ปริมาณสิ่งสกปรก ปริมาณเถ้า ปริมาณสิ่งระเหย และปริมาณไนโตรเจนของยางแท่งเกรด 20 ของไทย (A-E) และอินโดนีเซีย (F-H)

Rubber sample	Dirt content (%)	Ash content (%)	Volatile matter content (%)	Nitrogen content (%)
A	0.061	0.39	0.45	0.35
B	0.077	0.42	0.38	0.34
C	0.059	0.31	0.37	0.35
D	0.053	0.31	0.32	0.34
E	0.044	0.33	0.42	0.35
F	0.094	0.47	0.35	0.31
G	0.095	0.51	0.37	0.33
H	0.096	0.46	0.35	0.31

ตารางที่ ก.3: ค่าดัชนีความอ่อนตัว (Plasticity Retention Index) ความอ่อนตัวเริ่มแรกและค่าความหนืด (Mooney viscosity) ของยางแท่งเกรด 20 ของไทยและอินโดนีเซีย

Rubber sample	Plasticity Retention Index (PRI)	ความอ่อนตัวเริ่มแรก (P_0)	Mooney viscosity ML (1+4)100°C
A	46.80 $\pm$ 3.85	61.75 $\pm$ 0.21	85.33 $\pm$ 2.21
B	63.09 $\pm$ 1.55	53.30 $\pm$ 0.14	73.08 $\pm$ 4.06
C	56.50 $\pm$ 3.14	52.90 $\pm$ 1.70	76.41 $\pm$ 2.95
D	34.48 $\pm$ 0.90	57.65 $\pm$ 0.78	80.03 $\pm$ 5.13
E	70.61 $\pm$ 1.50	64.40 $\pm$ 1.70	91.51 $\pm$ 0.84
F	65.10 $\pm$ 2.55	57.30 $\pm$ 0.14	88.82 $\pm$ 0.57
G	65.50 $\pm$ 0.30	52.75 $\pm$ 0.78	83.44 $\pm$ 0.06
H	66.43 $\pm$ 1.32	57.50 $\pm$ 0.57	87.40 $\pm$ 0.06

ตารางที่ ก.4: สมบัติทางกล (Tensile strength, Elongation at break, 300% Modulus) ของยางแท่งของไทย (A-E) และอินโดนีเซีย (F-H)

Rubber sample	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	300% Modulus (MPa)
A	20.52 $\pm$ 1.05	528.7 $\pm$ 47.38	11.96 $\pm$ 0.72
B	19.47 $\pm$ 1.21	511.1 $\pm$ 13.44	10.42 $\pm$ 0.35
C	16.61 $\pm$ 0.24	491.5 $\pm$ 5.16	9.83 $\pm$ 0.13
D	21.15 $\pm$ 0.00	521.3 $\pm$ 12.62	11.13 $\pm$ 0.94
E	21.46 $\pm$ 0.13	533.6 $\pm$ 11.46	11.81 $\pm$ 1.08
F	21.28 $\pm$ 0.00	445.1 $\pm$ 8.03	16.79 $\pm$ 0.50
G	21.22 $\pm$ 0.52	447.0 $\pm$ 10.82	14.73 $\pm$ 0.27
H	20.74 $\pm$ 0.24	428.3 $\pm$ 20.45	16.21 $\pm$ 0.33

ตารางที่ ก.5: ความต้านทานแรงดึง และความยืดสูงสุด ณ จุดขาด ของยางแท่งเกรด 20 ของไทย และอินโดนีเซีย ก่อนและหลังการบ่มเร่งด้วยความร้อน

Rubber sample	Tensile strength (Mpa)			Elongation at break (%)		
	Unageing	ageing	สมบัติที่เปลี่ยนแปลง (%)	Unageing	ageing	สมบัติที่เปลี่ยนแปลง (%)
A	20.52 ±1.05	17.25 ±1.30	15.94	528.7 ±47.38	429.5 ±4.74	18.77
B	19.47 ±1.21	11.51 ±0.35	40.88	511.1 ±13.44	349.8 ±9.08	31.56
C	16.61 ±0.24	14.65 ±0.70	11.80	491.5 ±5.16	412.9 ±3.61	16.00
D	21.15 ±0.00	13.32 ±0.74	37.02	521.3 ±12.62	385.9 ±17.50	25.98
E	21.46 ±0.13	14.65 ±1.16	31.73	533.6 ±11.46	386.0 ±20.30	27.66
F	21.28 ±0.00	14.15 ±0.85	33.51	445.1 ±8.03	284.0 ±19.52	36.18
G	21.22 ±0.52	16.00 ±0.67	24.60	447.0 ±10.82	313.0 ±7.21	29.98
H	20.74 ±0.24	15.74 ±0.41	24.11	428.3 ±20.45	299.6 ±11.50	30.04

ตารางที่ ก.6: ความทนทานต่อการสึกหรอ น้ำหนักที่หายไปจากการขัดถู 1000 รอบ และความแข็งของยางวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากยางแท่งเกรด 20 ของไทย (A-E) และอินโดนีเซีย (F-H)

Rubber sample	Abrasion index	Weight loss (g)	Hardness (Shore A)
A	60.24 ±2.31	0.22 ±0.02	56 ±1.5
B	56.34 ±0.86	0.22 ±0.00	60 ±1.5
C	59.35 ±1.06	0.22 ±0.01	58 ±0.9
D	57.22 ±0.15	0.23 ±0.02	61 ±0.5
E	68.86 ±3.35	0.18 ±0.01	60 ±0.7
F	70.00 ±0.00	0.18 ±0.00	65 ±0.0
G	70.00 ±0.00	0.19 ±0.01	65 ±0.7
H	69.29 ±1.22	0.18 ±0.00	64 ±0.7

ตารางที่ ก.7: ความสามารถในการกระเด็งตัว การสะสมความร้อน และการเสียรูปหลังการกด
ของยางที่เตรียมจากยางแท่งเกรด 20 ของไทย (A-E) และอินโดนีเซีย (F-H)

Rubber sample	% Resilience	Temperature rise ($^{\circ}\text{C}$)	Compression set (%)
A	46.20 $\pm$ 0.00	35 $\pm$ 0.71	31.13 $\pm$ 4.11
B	40.38 $\pm$ 0.02	38 $\pm$ 0.00	31.63 $\pm$ 3.72
C	40.21 $\pm$ 0.22	45 $\pm$ 0.00	31.86 $\pm$ 2.82
D	38.97 $\pm$ 1.97	36 $\pm$ 1.41	21.60 $\pm$ 0.93
E	41.80 $\pm$ 2.03	32 $\pm$ 2.12	15.44 $\pm$ 1.08
F	48.29 $\pm$ 0.94	33 $\pm$ 0.71	9.24 $\pm$ 0.58
G	46.48 $\pm$ 0.26	33 $\pm$ 1.41	12.26 $\pm$ 1.62
H	49.86 $\pm$ 1.35	32 $\pm$ 0.71	9.75 $\pm$ 0.21

สรุปข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิต่อโครงการ
“เปรียบเทียบสมบัติยางแท่งเกรด 20 ของไทยและอินโดนีเซีย” สัญญาเลขที่ RDG5250034

ข้อคิดเห็น/ข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ	ชี้แจงโดยนักวิจัย
<u>ความเห็นด้านการพิมพ์ (Editorial)</u> - ตรวจสอบด้านการพิมพ์ ผิดหลายแห่งเช่น หน้า 22 บรรทัดที่ 2 เหนือรูปที่ 3.14 เป็นต้น - ควรระบุชื่อยางไทยและอินโดนีเซียเป็น STR 20 และ SIR20 หรือยางแท่งเอสทีอาร์ 20, ยางแท่งเอสไออาร์ 20 แทนการเรียกยางแท่งไทยเกรด 20, ยางแท่งอินโดนีเซียเกรด 20 และ Thailand's rubber หรือ Indonesia's rubber - การรายงานไม่ควรบรรยายเป็นอนาคตโดยใช้คำว่า “จะ” ดำเนิน/การทดสอบ เพราะรายงานคือสิ่งที่ทำไปแล้ว	- ได้แก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ - ได้แก้ไขเป็น STR 20 และ SIR20 ตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ - ได้ตัดคำว่า“จะ” ออกตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ
<u>ความเห็นด้านวิชาการ (Technical)</u> หน้า 6 บทที่ 2 การหา “gel” ด้วยวิธีโคโปรตระบุ และการทดสอบรายการ 2.1.2-2.1.8 ควรระบุวิธีการใช้ ซึ่งเข้าใจว่าใช้คู่มือทดสอบยางแท่ง STR ของกรมวิชาการเกษตร	เนื่องจากมีเนื้อหาที่จำกัดในการเขียนรายงานจึงไม่สามารถใส่รายละเอียดได้ครบถ้วน วิธีทดสอบยางแท่ง STR ใช้คู่มือทดสอบของกรมวิชาการเกษตรสำหรับการทดสอบหาปริมาณเจลในยางธรรมชาติ ทำดังนี้ นำตัวอย่างยางมาชั่งให้ได้น้ำหนัก 0.25 กรัม (เทคนิค 4 ตำแหน่ง) ละลายยางในโทลูอิน 6 มิลลิลิตร ในหลอดเซนตริฟิวจ์ ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วนำไปเซน

2. อาจหาข้อมูลเพิ่มเติมว่า STR 20 ใช้วัตถุดิบผลิตแบบไหน และ SIR20ใช้วัตถุดิบผลิตแบบไหนแล้วนำข้อมูลมาสรุปประกอบ จะทำให้รายงานสมบูรณ์ขึ้น	ตริฟิวจ์ ด้วยความเร็ว 4000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที ด้วยเครื่อง Hettich zentrifugen คัดสารละลายส่วนบนออก 5 มิลลิลิตร แล้วเติมโทลูอินลงไป 5 มิลลิลิตร เซนตริฟิวจ์ซ้ำอีก 3 ครั้ง นำยางที่เหลือไปตกตะกอนในเอทานอล 95% ปริมาตร 50 มิลลิลิตร นำไปอบในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักยางที่ได้ (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) <u>การคำนวณ</u> $\text{Gel (\%)} = \frac{B}{A} \times 100 \quad (3.1)$ เมื่อ A = น้ำหนักยางเริ่มต้น หน่วยเป็นกรัม B = น้ำหนักยางที่ตกตะกอนได้และอบแห้งแล้ว หน่วยเป็นกรัม 2. เนื่องจาก STR 20 ที่ใช้มาจากหลายแหล่งจากภาคใต้และภาคตะวันออก ส่วนใหญ่ทำจากขี้ยางผสมยางแผ่น แต่มีบริษัทหนึ่งใช้เพียงขี้ยางเพียงอย่างเดียวซึ่งจากการทดสอบให้ผลยืนยันได้ว่าค่า PRI ไม่ผ่าน สำหรับยาง SIR20 นั้นได้หาข้อมูลจากการสอบถามและค้นทาง internet ทราบว่าส่วนใหญ่ทำจากยางก้อนถ้วย และ/หรือจากยาง polybag เป็นต้น ทำให้ยาง SIR20 มีน้ำหนักโมเลกุลที่สูง และได้สมบัติทางกลที่ดีกว่า ทนทานต่อการสึกหรอมากกว่า และสมบัติอื่นๆ ตามที่รายงานผลเป็นต้น
--	--