

การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติของยางแผ่นรมควันเกรดพรีเมียม



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์เพื่ออุตสาหกรรม
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

STUDY FACTORS AFFECTING QUALITY OF PREMIUM GRADE RUBBER SMOKED SHEET



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Science for Industry

FACULTY OF SCIENCE

Chulalongkorn University

Academic Year 2022

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติของยางแผ่นรมควันเกรดพรีเมียม
โดย	น.ส.สายสุณี จิตกล้า
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์เพื่ออุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.กนกทิพย์ บุญเกิด
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริลักษณ์ พุ่มประดับ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ แสงวณิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.จิรารัตน์ อนันตกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.กนกทิพย์ บุญเกิด)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริลักษณ์ พุ่มประดับ)

..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ประณัฐ โปธิยะราช)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.อิทธิพล แจ่มชัด)

สายสุณี จิตกล้า : การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติของยางแผ่นรมควันเกรดพรีเมียม. (STUDY FACTORS AFFECTING QUALITY OF PREMIUM GRADE RUBBER SMOKED SHEET) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.กนกทิพย์ บุญเกิด, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ. ดร.ศิริลักษณ์ พุ่มประดับ

ถึงแม้ว่าสมบัติเชิงกลของยางแผ่นรมควันจะเหนือกว่ายางแห้งชนิดอื่นก็ตาม แต่ความไม่สม่ำเสมอในคุณภาพของยางส่งผลให้ปริมาณการใช้งานยางแผ่นรมควันในอุตสาหกรรมล้อยางลดลงอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันการยางแห่งประเทศไทยได้กำหนดมาตรฐานการผลิตยางแผ่นรมควันขึ้นเพื่อควบคุมและให้ได้ยางแผ่นรมควันที่มีสมบัติต่าง ๆ กันที่ ซึ่งยางที่ได้จะเรียกว่า “ยางแผ่นรมควันเกรดพรีเมียม” หรือ “ยางแผ่นรมควันเกรด P” เพื่อให้เข้าใจถึงสาเหตุที่ส่งผลให้สมบัติต่าง ๆ ของยางแผ่นรมควันแปรปรวนดียิ่งขึ้น งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงอิทธิพลด้านภาวะการผลิต ช่วงฤดูการกรีดยาง รวมไปถึงพื้นที่ปลูกยางต่อสมบัติทั้งทางกายภาพและเชิงกลของยางแผ่นรมควัน ผลการทดลองที่ได้พบว่า เมื่อใช้น้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งแตกต่างกันและใช้ความเข้มข้นกรดฟอร์มิคในการจับตัวเนื้อยางแตกต่างกัน สมบัติของยางแผ่นรมควันจะแตกต่างกันไป โดยพบว่าเมื่อปริมาณเนื้อยางแห้งและความเข้มข้นกรดฟอร์มิคเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าสิ่งระเหยในยางแผ่นรมควันเพิ่มขึ้น เนื่องจากก่อนยางที่ได้จากการจับตัวของเนื้อยางด้วยกรดค่อนข้างแข็ง ทำให้เมื่อนำไปรีดเป็นแผ่นบางทำได้ยาก น้ำในเนื้อยางจึงระเหยออกมาได้ไม่ดี เมื่อเพิ่มปริมาณเนื้อยางแห้งจะทำให้ค่า P_0 , PRI และความหนืดมูนิเพิ่มขึ้น การแปรปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางจาก 20% (ภาวะใช้ในการผลิตยางแผ่นรมควันพรีเมียม) เป็น 18, 20 และ 25% โดยน้ำหนักส่งผลให้ความทนต่อแรงดึงของยางแตกต่างกันมากที่สุดอยู่ที่ 2.1 MPa การเพิ่มความเข้มข้นกรดฟอร์มิคจะส่งผลทำให้ค่า P_0 , PRI และความหนืดมูนิลดลง การแปรความเข้มข้นกรดฟอร์มิคจาก 4% (ภาวะที่ใช้ในการผลิตยางแผ่นรมควันเกรดพรีเมียม) เป็น 2, 3, 5, 8 และ 10% โดยปริมาตร ส่งผลให้ความทนต่อแรงดึงของยางแตกต่างกันมากที่สุดอยู่ที่ 3.2 MPa เมื่อพิจารณาฤดูการกรีดยางแตกต่างกัน น้ำยางที่ได้จากช่วงการผลิตใบของต้นยางจะมีปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางลดลง และปริมาณธาตุต่างๆ ในยางเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อค่าถ่วงและไนโตรเจนในยางแผ่นรมควันแตกต่างกัน ค่าความหนืดมูนิของยางแผ่นรมควันขึ้นอยู่กับช่วงฤดูการกรีดยางค่อนข้างชัดเจน โดยยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่ได้จากการกรีดยางในช่วงกรีดยางปกติจะมีความหนืดมูนิที่สูงกว่ายางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่ได้จากการกรีดยางในช่วงก่อนปิดกรีดยาง ยางแผ่นรมควันที่ได้จากภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีปริมาณถ่วงมากกว่าที่ได้จากภาคใต้ ซึ่งปริมาณถ่วงเกิดจากปริมาณสารและแร่ธาตุต่าง ๆ ในดินที่ไม่เหมือนกัน อย่างไรก็ตาม ยางที่ได้จากทั้งสองบริเวณที่มีค่า P_0 , PRI และ ความหนืดมูนิ ไม่ได้แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์เพื่ออุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2565

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

6472031423 : MAJOR SCIENCE FOR INDUSTRY

KEYWORD: Rubber ribbed smoked sheet Dry rubber content Formic acid Seasonal Area of
Plantation Physical properties and Mechanical properties.

Saisunee Jitkla : STUDY FACTORS AFFECTING QUALITY OF PREMIUM GRADE RUBBER SMOKED
SHEET. Advisor: Assoc. Prof. KANOKTIP BOONKERD Co-advisor: Assoc. Prof. SIRILUX
POOMPRADUB

Although the mechanical properties of ribbed smoke sheet (RSS) are superior to other types of dry rubber, the inconsistency in quality of rubber resulted in the continuous decline in the consumption of RSS in the tire industry. Currently, Rubber Authority of Thailand has set the production standard to control and obtain the RSS with high consistence in both physical and mechanical properties. The obtained RSS is called “RSS premium grade” or “RSS-P” to better understand the parameters that cause variation in the properties of RSS. This research studied the influence of production conditions, rubber tapping season and rubber planting area on both physical and mechanical properties of RSS. The results showed that when using latex with different dry rubber contents and different formic acid concentrations for coagulation, the properties of the RSS were not the same. It was found that when the dry rubber content and the concentration of formic acid increased, it resulted in an increase in volatile matter of the RSS. Because the rubber lump obtained from the coagulation of latex with acid was hard, making it difficult to roll into thin sheets. Therefore, the water in rubber did not completely evaporate. When increasing the amount of dry rubber, P_o , PRI and Mooney viscosity increased. Changing the dry rubber content in latex from 20% (condition used in the production of RSS premium grade) to 18, 20 and 25% by weight resulted in differences in tensile strength. The maximum difference was 2.1 MPa. Increasing the formic acid concentration resulted in a decrease in P_o , PRI and Mooney viscosity. Changing formic acid concentration from 4% (condition used in the production of RSS premium grade) to 2, 3, 5, 8 and 10% by volume resulted in the maximum difference in tensile strength of rubber at 3.2 MPa. When considering rubber tapping seasons, the latex obtained during the defoliation of the rubber tree had a lower dry rubber content and higher amounts of various elements. This led to the different values of ash and nitrogen in RSS. Mooney viscosity of RSS notably depends on the rubber tapping season. The RSS prepared from the latex obtained during normal tapping had higher Mooney viscosity than the one obtained from the closing tapping period. RSS obtained from the Northeastern

Field of Study: Science for Industry

Student's Signature

Academic Year: 2022

Advisor's Signature

Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.กนกทิพย์ บุญเกิด อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริลักษณ์ พุ่มประดับ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ องค์กรความรู้ ความใส่ใจ ความห่วงใย ให้คำแนะนำในข้อผิดพลาด และคำชี้แนะแนวทางในการจัดทำสารนิพนธ์ฉบับนี้อย่างดี จึงทำให้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ประจำหลักสูตรสาขาวิชาวิทยาศาสตร์เพื่ออุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้องค์ความรู้ คำแนะนำ และให้คำปรึกษา ตลอดจนเจ้าหน้าที่ประจำหลักสูตร และเจ้าหน้าที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่เกี่ยวข้อง

ขอขอบพระคุณเครือข่ายการอุดมศึกษาเพื่ออุตสาหกรรมภายใต้แผนงานย่อย “การส่งเสริมและพัฒนาบุคลากรผ่านการเรียนรู้ปฏิบัติจริง” สำนักงานปลัดกระทรวง กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ที่ให้องค์ความรู้ แนวคิด ทฤษฎี ประสบการณ์การทำงานจริง ตลอดจนเจ้าหน้าที่ของโครงการที่ให้การสนับสนุนและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ บริษัท เคมี อินโนเวชั่น จำกัด บริษัทในเครือ บริษัท อินโนเวชั่น กรุ๊ป (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้คำปรึกษา ประสบการณ์การทำงานจริง และให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการทำงานวิจัยทำให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง เพื่อน และบุคคลท่านอื่นๆ ที่มีได้กล่าวถึงในครั้งนี้ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ กำลังใจ และความช่วยเหลือจนทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า สารนิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจ ศึกษา และค้นคว้าเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าว หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยต้องขออภัยไว้ ณ.ที่นี้ด้วย

สายสุณี จิตกล้า

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
บทที่ 1	1
บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2	3
ทฤษฎีที่สำคัญและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ยางธรรมชาติ	3
2.2 สารเคมีสำหรับการจับตัวน้ำยาง.....	4
2.3 ยางแผ่นรมควัน.....	5
2.4 สมบัติของยางธรรมชาติ	7
2.5 สมบัติของดิน	8
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
บทที่ 3	12

วิธีการดำเนินงาน	12
3.1 วัตถุประสงค์และสารเคมี	12
3.1.1 น้ำยางสด (Fresh latex).....	12
3.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	12
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ.....	12
3.3 ขั้นตอนการทดสอบ.....	13
3.3.1 การเตรียมยางแผ่นรมควัน.....	13
3.3.2 การเตรียมยางคอมพาวด์.....	14
3.3.3 การวิเคราะห์และทดสอบ	14
3.3.3.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบในดิน.....	14
3.3.3.2 วิเคราะห์สมบัติของน้ำยางและยางแผ่นรมควัน	17
3.3.3.3 การวิเคราะห์ยางคอมพาวด์	21
บทที่ 4	1
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	1
4.1 ผลของปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางต่อลักษณะของยางระหว่างการผลิตและหลังผลิตและ สมบัติทางกายภาพและเชิงกลของยางแผ่นรมควัน.....	1
4.1.1 ผลของปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางต่อลักษณะการจับตัวของยาง	1
4.1.2 ผลของปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางต่อปริมาณสิ่งระเหยในยางแผ่นรมควัน	3
4.1.3 ผลของปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางต่อความหนืดและคุณสมบัติเริ่มต้นของยาง แผ่นรมควัน	4
4.1.4 ผลของปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางต่อปริมาณไนโตรเจนและปริมาณโปรตีนของยาง แผ่นรมควัน	4
4.1.5 ผลของปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางต่อค่าดัชนีความอ่อนตัวของยางแผ่นรมควัน	5
4.1.6 ผลของปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางต่อน้ำหนักโมเลกุลของยางแผ่นรมควัน	5
4.1.7 ผลของปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางต่อการเกิดเจลของยางแผ่นรมควัน	7

4.1.8	ผลของปริมาณเนื้อเยื่อแห้งในน้ำยางต่อสมบัติการคงรูปของยางแผ่นรมควัน	7
4.1.9	ผลของปริมาณเนื้อเยื่อแห้งในน้ำยางต่อสมบัติเชิงกลของยางแผ่นรมควัน	8
4.2	ผลของความเข้มข้นกรดฟอร์มิกที่ใช้ในการจับตัวน้ำยางต่อลักษณะและสมบัติของยางแผ่นรมควัน	9
4.2.1	ผลของความเข้มข้นกรดฟอร์มิกต่อลักษณะการจับตัวของยาง	9
4.2.2	ผลของความเข้มข้นกรดฟอร์มิกต่อปริมาณสิ่งระเหยในยางแผ่นรมควัน	10
4.2.2	ผลของความเข้มข้นกรดฟอร์มิกต่อความหนืดมูนิและความอ่อนตัวเริ่มต้นของยางแผ่นรมควัน	11
4.2.3	ผลของความเข้มข้นกรดฟอร์มิกต่อดัชนีความอ่อนตัวของยางแผ่นรมควัน	11
4.2.4	ผลของความเข้มข้นกรดฟอร์มิกต่อปริมาณไนโตรเจน	12
4.2.5	ผลของความเข้มข้นกรดฟอร์มิกต่อน้ำหนักโมเลกุลของยาง	12
4.2.6	ผลของความเข้มข้นกรดฟอร์มิกต่อปริมาณการเกิดเจลในยางแผ่นรมควัน	13
4.2.7	ผลของความเข้มข้นกรดฟอร์มิกต่อสมบัติการคงรูปของยางแผ่นรมควัน	14
4.2.7	ผลของความเข้มข้นกรดฟอร์มิกต่อสมบัติเชิงกลของยางแผ่นรมควัน	14
4.3	ผลของฤดูกาลกรีดยางต่อสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของยางแผ่นรมควัน	16
4.3.1	ผลของฤดูกาลกรีดยางที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำยาง	16
4.3.2	ผลของฤดูกาลกรีดยางต่อสมบัติทางกายภาพของยางแผ่นรมควัน	16
4.4	ผลของพื้นที่ปลูกยางต่อสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของยางแผ่นรมควัน	17
4.4.1	สมบัติของดินจากบริเวณพื้นที่ปลูกยางที่ต่างกัน	17
4.4.2	ผลของพื้นที่ปลูกยางต่อสมบัติของยางแผ่นรมควัน	18
บทที่ 5	20
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	20
5.1	สรุปผลการวิจัย	20
5.2	ข้อเสนอแนะ	21

บรรณานุกรม.....23

ประวัติผู้เขียน.....27



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 สมบัติของยางแผ่นรมควันเกรดพรีเมียม	5
ตารางที่ 2 สารเคมีที่ใช้ในการจับตัวน้ำยางและใช้ในการผสมยางเพื่อขึ้นรูป	12
ตารางที่ 3 สูตรที่ใช้ในการเตรียมยางคอมพาวด์	14
ตารางที่ 4 อิทธิพลของปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางต่อลักษณะการจับตัวของน้ำยาง	2
ตารางที่ 5 ปริมาณสิ่งระเหยของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งต่างกัน .	4
ตารางที่ 6 ความหนืดมูนิและความอ่อนตัวเริ่มต้นของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งต่างกัน	4
ตารางที่ 7 ปริมาณไนโตรเจนของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งต่างกัน	5
ตารางที่ 8 ดัชนีความอ่อนตัวของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งต่างกัน	5
ตารางที่ 9 น้ำหนักโมเลกุล (Number average molecular weight: M_n และ Weight average molecular weight: M_w) และการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight distribution: MWD) ของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งต่างกัน	6
ตารางที่ 10 ปริมาณเจลของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งต่างกัน	7
ตารางที่ 11 สมบัติการคงรูปของยางที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งแตกต่างกัน	7
ตารางที่ 12 ความทนต่อแรงดึงของยางแผ่นที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งแตกต่างกัน .	8
ตารางที่ 13 อิทธิพลของความเข้มข้นกรดฟอร์มิคที่แตกต่างกันต่อลักษณะของก้อนยางหลังจับตัว .	10
ตารางที่ 14 ปริมาณสิ่งระเหยของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากกรดฟอร์มิคความเข้มข้นแตกต่างกัน	10
ตารางที่ 15 ค่าความหนืดมูนิและความอ่อนตัวเริ่มต้นของยางแผ่นรมควันที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิคที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน	11
ตารางที่ 16 ค่าดัชนีความอ่อนตัวของยางแผ่นรมควันที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิคที่ความเข้มข้นต่างกัน	12
ตารางที่ 17 ปริมาณไนโตรเจนของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิคที่ความเข้มข้นต่างกัน	12

ตารางที่ 18 น้ำหนักโมเลกุล (Number average molecular weight: **Mn** และ Weight average molecular weight: **Mw**) และการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight distribution: MWD) ของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิกที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน..... 13

ตารางที่ 19 แสดงปริมาณการเกิดเจลในยางแผ่นรมควันที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิกความเข้มข้นต่างกัน 13

ตารางที่ 20 สมบัติการคงรูปของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิกที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 14

ตารางที่ 21 สมบัติความทนต่อแรงดึงของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิกที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 15

ตารางที่ 22 คุณภาพของน้ำยางที่ได้จากการกรีตในช่วงฤดูกาลกรีตต่างกัน 16

ตารางที่ 23 สมบัติทางกายภาพของยางแผ่นรมควันที่ได้จากน้ำยางในช่วงฤดูกาลกรีตต่างกัน 17

ตารางที่ 24 สมบัติของดินต่างพื้นที่ปลูกยางที่ใช้ในการทดลอง..... 18

ตารางที่ 25 สมบัติของยางแผ่นรมควันจากพื้นที่ปลูกยางที่ต่างกัน 19

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 โครงสร้างของยางธรรมชาติ.....	3
รูปที่ 2 กระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันเกรดพรีเมียมโดยการยางแห่งประเทศไทย	6
รูปที่ 3 เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding).....	14
รูปที่ 4 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer).....	16
รูปที่ 5 เครื่องวิเคราะห์โลหะหนัก (Atomic absorption spectrophotometer: AAS).....	16
รูปที่ 6 เครื่องพลาสติกมิเตอร์ (Plastimeter).....	18
รูปที่ 7 เครื่องทดสอบความหนืด (Mooney viscometer).....	21
รูปที่ 8 เครื่องวัดความหนาแน่น (Densimeter).....	22
รูปที่ 9 เครื่องทดสอบการคงรูปของยางชนิดตายน์เคลื่อนที่ (Moving die rheometer, MDR).....	22
รูปที่ 10 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine).....	23
รูปที่ 11 เครื่องวัดความแข็ง (durometer).....	23
รูปที่ 12 ลักษณะของก้อนยางที่ผ่านการจับตัวด้วยกรดอย่างสมบูรณ์.....	2
รูปที่ 13 ลักษณะของแผ่นยางที่ขาดหลังผ่านการรีด.....	3
รูปที่ 14 ลักษณะของยางแผ่นที่ไม่แข็งหลังจากการรมควัน	3
รูปที่ 15 ลักษณะการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งต่างกัน.....	6

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปี ค.ศ. 2021 ปริมาณการส่งออกยางธรรมชาติของโลกมีปริมาณรวม 16.80 ล้านตัน [1] ประเทศไทยมีการส่งออกยางธรรมชาติสูงเป็นอันดับแรกของโลก โดยมีปริมาณการส่งออกถึง 4.13 ล้านตัน [2] ผลิตภัณฑ์ยางที่มีการผลิตและส่งออกมากที่สุดในไทย คือ ยางแท่ง น้ำยางสด และยางแผ่นรมควันตามลำดับ จากสถิติ 11 ปีที่ผ่านมา พบว่าปริมาณการใช้ยางแผ่นรมควันของโลกทยอยลดลง จาก 1.7 ล้านตันในปี ค.ศ. 2010 ลดลงเหลือ 0.6 ล้านตันในปี ค.ศ. 2021 [3] ส่วนหนึ่งเกิดจากการหันไปใช้ยางแท่งเนื่องจากมีมาตรฐานมารองรับในระดับสากล ทำให้ในปัจจุบันอุตสาหกรรมยางล้อรถยนต์หันไปใช้ยางแท่งในการผลิตแทนที่ยางแผ่น แต่ยังมีบางส่วนประกอบของล้อ เช่น แก้มยางที่ต้องการคุณภาพและความสะอาดสูงจึงยังมีความจำเป็นที่ต้องใช้ยางแผ่นรมควัน รวมถึงยางในรถมอเตอร์ไซด์และจักรยานที่ต้องการการกักเก็บอากาศ

ผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติเกิดจากการนำน้ำยางสดที่กรีตมาจากต้นยางพันธุ์ *Hevea Brasiliensis* มาเข้าสู่กระบวนการการผลิต โดยน้ำยางประกอบไปด้วย 2 องค์ประกอบหลัก ได้แก่ cis-1,4- polyisoprene และ องค์ประกอบที่ไม่ใช่ยาง (Non-rubber component) เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และสารประกอบอื่น ๆ ปัจจัยที่ส่งผลต่อองค์ประกอบของยางเหล่านี้มีทั้งสภาพอากาศ พื้นที่ปลูก และพันธุ์ของยาง นอกจากนี้พันธุ์ยางยังส่งผลโดยตรงกับน้ำหนักโมเลกุลและการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของน้ำยาง โดยน้ำหนักโมเลกุลยังส่งผลกระทบโดยตรงต่อความสามารถในการขึ้นรูปและสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ ปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานมารองรับทำให้อุตสาหกรรมยางแผ่นเกิดปัญหาดังที่กล่าวไว้ข้างต้น เพื่อเป็นการยกระดับมาตรฐานการผลิตยางแผ่นรมควัน ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์และวิธีปฏิบัติที่ดีสำหรับการผลิตยางแผ่นรมควันมาตรฐาน Good manufacturing practice (GMP) ในปี ค.ศ. 2019 การยางแห่งประเทศไทยจึงออกประกาศเรื่องมาตรฐานยางแผ่นรมควันเกรดพรีเมียม เพื่อเป็นแนวทางและวิธีปฏิบัติสำหรับการผลิตยางแผ่นรมควันให้มีความสม่ำเสมอ มีคุณภาพและมาตรฐานที่ดี สร้างความเชื่อมั่นให้ผู้ซื้อและผู้ขายสามารถสู้กับคู่แข่งทางการตลาดต่างประเทศได้ ปัจจุบันโรงผลิตยางแผ่นรมควันเกรดพรีเมียมที่ได้รับการรับรองตามมาตรฐาน GMP มีน้อย แม้ว่าโรงงานจะได้รับการรับรองแล้วแต่ยังไม่สามารถผลิตยางแผ่นรมควันให้มีความสม่ำเสมอได้ ทำให้ปริมาณยางแผ่นเกรดพรีเมียมที่ได้ยังไม่มากพอที่ตอบสนองต่อความต้องการของตลาด อาจเพราะกระบวนการผลิตที่ไม่ถูกต้อง คนงานไม่มีความรู้ความเข้าใจ หรือ

มีการเปลี่ยนผ่านของแรงงานอยู่บ่อยครั้ง รวมถึงบางพื้นที่ที่มีการทำเกษตรแบบผสมผสานคือ มีการทำผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรหลาย ๆ อย่าง เกษตรกรจึงมีเวลาในการกรีดยางและทำยางแผ่นที่จำกัด อาจมีการใส่สารรักษาสภาพเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำยางเสียไว้ ส่งผลกระทบกับคุณภาพยางแผ่น หรือยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ยังไม่สามารถควบคุมได้อยู่อีก

นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาคุณภาพและสมบัติของยางแผ่นรมควันเกรดพรีเมียมที่เตรียมจากน้ำยางที่มาจากต่างพื้นที่เพาะปลูกและต่างฤดูกาลเพื่อให้ทราบว่าปัจจัยทั้งสองมีผลอย่างไรต่อสมบัติของยางแผ่นรมควันเกรดพรีเมียม เพื่อทราบถึงความแปรปรวนของสมบัติต่างๆ ที่เกิดขึ้นของยางแผ่นรมควันเกรดพรีเมียม

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาผลของแหล่ง ช่วงเวลาการกรีดยาง และภาวะในการผลิตที่ต่างกันต่อสมบัติกายภาพและสมบัติเชิงกลของยางแผ่นรมควันเกรดพรีเมียมที่ผลิตภายใต้หลักการการผลิต GMP และที่ผลิตโดยกระบวนการที่ไม่ได้มาตรฐาน GMP

1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน

1.3.1 ศึกษาผลของภาวะการเตรียมยางแผ่นที่แตกต่างกัน คือ ผลิตตามมาตรฐาน GMP และผลิตโดยกระบวนการที่ไม่ได้มาตรฐาน GMP ต่อสมบัติต่าง ๆ ของยางแผ่นรมควันที่ได้

1.3.2 ศึกษาผลของฤดูการกรีดยางได้แก่ ช่วงกรีดยาง ช่วงก่อนปิดกรีดยาง และช่วงเปิดกรีดยางใหม่ ต่อสมบัติต่าง ๆ ของยางแผ่นรมควันที่ได้

1.3.3 ศึกษาผลของพื้นที่ปลูกยางได้แก่ ภาคอีสาน และภาคใต้ ต่อสมบัติต่าง ๆ ของยางแผ่นรมควันที่ได้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

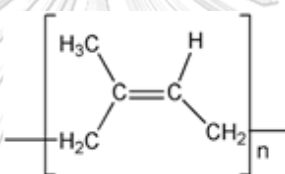
ได้แนวทางในการควบคุมคุณภาพของยางแผ่นรมควันให้ได้คุณภาพและสมบัติตามมาตรฐานยางแผ่นรมควันเกรดพรีเมียม

บทที่ 2

ทฤษฎีที่สำคัญและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติส่วนมากได้มาจากต้นยางพาราสายพันธุ์ *Hevea Brasiliensis* เป็นพอลิเมอร์ที่มีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักร้อยละ 94 โดยน้ำหนัก ยางธรรมชาติประกอบด้วยหน่วยไอโซพรีน (C_5H_8) มาต่อกันเป็นโมเลกุลยาวเรียกว่า พอลิไอโซพรีน (Polyisoprene: $(C_5H_8)_n$) มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยประมาณ $1.6 \times 10^6 - 2.3 \times 10^6$ กรัมต่อโมล และมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลกว้าง [4] โครงสร้างของโมเลกุลยางธรรมชาติมีลักษณะเป็นไอโซเมอร์ชนิด cis-isomer ดังนั้นมักเรียกกยางธรรมชาติว่า cis-1,4-polyisoprene ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างของยางธรรมชาติ

องค์ประกอบของน้ำยาง แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเนื้อยางและส่วนที่ไม่ใช่เนื้อยาง ดังนี้

2.1.1 ส่วนที่เป็นเนื้อยาง

เนื้อยางเป็นสารประกอบของพอลิไอโซพรีน อยู่รวมกันในลักษณะอนุภาค โดยพื้นผิวของอนุภาคยางจะถูกห่อหุ้มด้วยไขมันและโปรตีน ชั้นของไขมันจะอยู่ระหว่างอนุภาคยางและโปรตีน และส่วนใหญ่เป็นสารพวกฟอสโฟไลปิด ทำหน้าที่ยึดไฮโดรคาร์บอนของอนุภาคยางกับโปรตีน ส่วนโปรตีนที่ห่อหุ้มผิวรอบอนุภาคยางเป็นโปรตีนพวกฮีวิน (Hevin) ซึ่งสามารถละลายน้ำและป้องกันการรวมตัวกันของอนุภาคยาง [5]

2.1.2 ส่วนที่ไม่ใช่เนื้อยาง

ประกอบด้วย สารประกอบต่าง ๆ ที่อยู่ในเซรัม (Serum) เช่น กรดอะมิโน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต แร่ธาตุ อนุภาคลูทอยด์ และสารอื่น ๆ

โปรตีน: น้ำยางประกอบไปด้วยโปรตีนประมาณ 1-2% โปรตีนครึ่งหนึ่งละลายอยู่ในส่วนที่เป็นน้ำในน้ำยาง อีกครึ่งหนึ่งในสีถูกดูดซับอยู่รอบ ๆ อนุภาคของยางเพื่อป้องกันการจับตัว และส่วนที่เหลืออยู่ในอนุภาคของลูทอยด์ [6] หากยางธรรมชาติมีปริมาณโปรตีนมาก ค่าดัชนีความอ่อนตัวของยาง (Plasticity retention index: PRI) จะมากตามไปด้วย เนื่องจากโปรตีนทำหน้าที่เป็นแอนติออก

ซีแดนซ์โดยธรรมชาติของยาง [7] แต่ถึงอย่างไรก็ตามหากในยางมีปริมาณโปรตีนมากเกินไปก็จะส่งผลให้ยางเกิดการคงรูปด้วยซัลเฟอร์เร็วขึ้น เนื่องจากโปรตีนทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของซัลเฟอร์ [8]

ไขมัน: บนอนุภาคน้ำยางสดประกอบด้วยไขมันชนิด Sterols, Sterol esters (ประมาณ 0.4% m/m), Fats และ Waxes (ประมาณ 0.6% m/m) และฟอสโฟไลปิด (ประมาณ 2% m/m) ส่วนใหญ่อยู่ในอนุภาคยาง อาจละลายอยู่ในเนื้อยางไฮโดรคาร์บอน ไขมันที่อยู่ระหว่างผิวของอนุภาคยางและโปรตีนส่วนใหญ่เป็นสารพวกฟอสโฟไลปิด ชนิด Lecithin ทำหน้าที่ยึดโปรตีนให้เกาะอยู่บนผิวยาง เนื่องจาก Lecithin แสดงประจุบวกที่ pH ของน้ำยางสดในขณะที่โปรตีนแสดงประจุลบ ทำให้เกิดพันธะไอออนิกระหว่างกัน [9]

คาร์โบไฮเดรต: ที่พบในน้ำยางส่วนใหญ่ คือ คิวบราซิทอล (Quebrachitol) ซึ่งมีอยู่ประมาณ 1% ในน้ำยาง และสารกลุ่มซูโครส (Sucrose) กลูโคส (Glucose) กาแลคโทส (Galactose) ฟรุคโทส (Fructose) แรฟฟิโนส (Raffinose) และเพนโทส (Pentose) [5] น้ำตาลเหล่านี้สามารถย่อยสลายด้วยแบคทีเรีย ทำให้ในระบบของน้ำยางมีความเป็นกรด เป็นเหตุให้น้ำยางเกิดการเสียสภาพและจับตัวได้

แร่ธาตุ: ในยางธรรมชาติประกอบไปด้วยสารอนินทรีย์ แร่ธาตุโดยรวมในยางธรรมชาติ รู้จักในชื่อ ปริมาณเถ้า (Ash content) ซึ่งปริมาณเถ้าในยางธรรมชาติจะขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัยหลัก ๆ คือ พันธุ์ยางและฤดูกาล ซึ่งปริมาณเถ้าจะสูงในช่วงเดือน มกราคม-พฤษภาคม เป็นช่วงเดือนที่ฝนตกน้อย

ลูทอยด์: มีลักษณะเป็นอนุภาคทรงกลมมีเยื่อหุ้มปกคลุมอนุภาคเอาไว้ ภายในอนุภาคลูทอยด์ประกอบด้วยสารที่เป็นของเหลว เรียกว่า B-serum ประกอบด้วย โปรตีน เกลือแร่ น้ำตาล ฟอสโฟไลปิด และพอลิฟีนอลออกซิเดส (Polyphenoloxidase) มีผลต่อความเสถียรของน้ำยางสด และมีผลทำให้ยางเป็นสีเหลืองเมื่อสัมผัสกับอากาศ และยังประกอบด้วยแคลเซียมและแมกนีเซียมทำให้มีผลต่อการจับตัวกันของอนุภาคยาง [5]

2.1.3 การเกิดเจลในยางธรรมชาติ

เจลในยางธรรมชาติเกิดจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างปลายสายโซ่ของยางที่มีโปรตีนและหมู่ฟอสโฟไลปิดอยู่ ซึ่งปลายสายโซ่นี้จะเกิดพันธะไฮโดรเจนเกิดเป็นการเชื่อมขวาง (Crosslink) และจะเกิดเป็นเจลซึ่งเรียกว่าเจลแบบอ่อนนุ่ม (Soft gel) เป็นส่วนที่เป็นของแข็งและไม่ละลายในตัวทำละลายที่ไม่มีขี้ [10]

2.2 สารเคมีสำหรับการจับตัวน้ำยาง

การใช้สารละลายกรดในการจับตัวน้ำยางเป็นวิธีที่ใช้เพื่อให้ยางหมดความเสถียร เนื่องจากพื้นผิวของอนุภาคยางจะถูกห่อหุ้มด้วยไขมันและโปรตีนซึ่งเป็นประจุลบ ซึ่งทำหน้าที่ยึด

ไฮโดรคาร์บอนของอนุภาคยางกับโปรตีน ป้องกันการรวมตัวกันของอนุภาคยาง โดยกรดที่แนะนำให้ใช้นี้คือกรดฟอร์มิก ซึ่งกรดฟอร์มิกเป็นกรดอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก มีคาร์บอนเพียงตัวเดียว โครงสร้างโมเลกุล คือ HCOOH ในทางการค้ามีความเข้มข้น 94% และ 90% ขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิต ซึ่งกรดฟอร์มิกทำให้น้ำยางเกิดการจับตัวได้อย่างสมบูรณ์ อีกทั้งยังไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สามารถสลายตัวได้ง่ายมีความแรงไม่มากนักเมื่อเทียบกับกรดชนิดอื่น ๆ และหากใช้ตามอัตราที่แนะนำจะไม่มีกรดตกค้างในยาง กรดฟอร์มิกจึงเป็นสารจับตัวที่นิยมใช้ในการผลิตยางแผ่นดิบ ยางก้อนถ้วย และยางแท่ง (STR5L) [11]

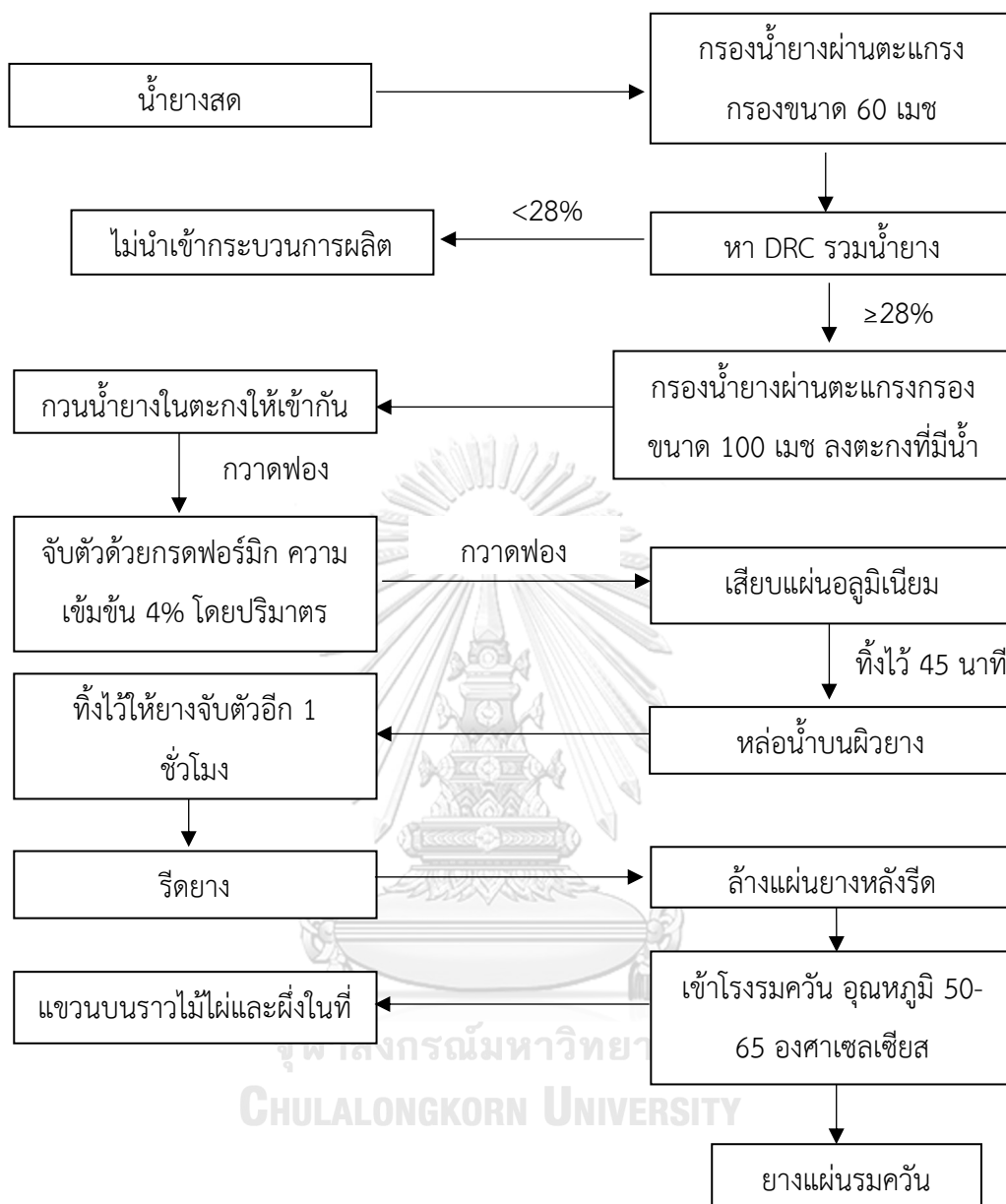
2.3 ยางแผ่นรมควัน

ยางแผ่นรมควันเกิดจากการนำน้ำยางสดมาเจือจางปริมาณเนื้อยาง (Dry rubber content: DRC) จากนั้นเติมสารอินทรีย์คือ กรดฟอร์มิกเพื่อให้ น้ำยางจับตัว ประจุของกรดจะเข้าไปทำการแยกผิวรอบนอกและเนื้อยางออกจึงทำให้น้ำยางจับตัวกัน ได้เป็นก้อนยาง หลังจากนั้นนำเข้าเครื่องรีดแล้วนำไปเข้าโรงรมควันให้ยางแห้งและได้ยางแผ่นรมควันเพื่อนำเข้าอุตสาหกรรมต่อไป

การยางแห่งประเทศไทยออกมาตรฐานยางแผ่นรมควันเกรดพรีเมียม (Ribbed smoked sheets – Premium grade: RSS-P) โดยผลิตภายใต้หลักการทำสวนที่ดี (Good agricultural practice: GAP) และหลักการผลิตที่ดี (Good manufacturing practice: GMP) โดยควบคุมกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันเกรดพรีเมียมตั้งรูปที่ 2 ควบคุมคุณภาพและที่มาแบบตรวจสอบได้ เพื่อใช้เป็นแนวทางและวิธีปฏิบัติสำหรับการผลิตยางแผ่นรมควันให้มีความสม่ำเสมอ มีคุณภาพและมาตรฐานที่ดี โดยการกำหนดวิธีการทำยางที่เป็นมาตรฐานขึ้นมาเพื่อควบคุมสมบัติของยาง ซึ่งสมบัติของยางที่ถูกกำหนดไว้ในมาตรฐานแสดงในตารางที่ 1 [12] อีกทั้งยังควบคุมการบรรจุ หีบห่อ และการนำเทคโนโลยีการจัดการเชิงอุตสาหกรรมมาใช้เพื่อที่จะพัฒนายางไทยให้โดดเด่นเหนือจากยางของประเทศคู่แข่งในตลาดโลกได้

ตารางที่ 1 สมบัติของยางแผ่นรมควันเกรดพรีเมียม

สมบัติ	ยางแผ่นรมควันเกรดพรีเมียม (RSS-P)
สิ่งสกปรก (สูงสุด, %wt), ISO249	0.02
เถ้า (สูงสุด, %wt.), ISO 247	0.35
ไนโตรเจน (สูงสุด, %wt.), ISO1656	0.4
สิ่งระเหย (สูงสุด, %wt.), ISO 248-1	0.6
ความอ่อนตัวเริ่มต้น (P ₀), ISO2007	42-52
ดัชนีความอ่อนตัว (PRI), ISO 2930	80-100
ความหนืดมูนี่ (ML 1+4, 100°C), ISO 289-1	70-80



รูปที่ 2 กระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันเกรดพรีเมียมโดยการยางแห่งประเทศไทย

2.4 สมบัติของยางธรรมชาติ

2.4.1 ปริมาณสิ่งสกปรก (Dirt content)

ปริมาณสิ่งสกปรก คือ ปริมาณของสารที่ได้จากการกรองด้วยตัวกรอง ที่มีแผ่นตะแกรงกรองขนาด 325 เมช (mesh) หรือ 44 ไมครอน ปริมาณและชนิดของสิ่งสกปรกมีผลต่อกระบวนการแปรรูปยาง หากยางมีปริมาณสิ่งสกปรกสูง จะมีผลกระทบต่อกระบวนการแปรรูปและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ยาง

2.4.2 ปริมาณเถ้า (Ash content)

เถ้า คือ ปริมาณสารอนินทรีย์ที่มีอยู่ในยางหลังจากที่เผาสารอินทรีย์หมดแล้ว ประกอบด้วย เกลืออนินทรีย์ (Inorganic salt) ประเภทคาร์บอนเนต ออกไซด์ และฟอสเฟต ของ โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม โซเดียม และแร่ธาตุอื่นๆ นอกจากนี้ เถ้าอาจเป็นพวกซิลิกา หรือซิลิเกต ที่มีอยู่ในยางหรือปะปนมาจากภายนอก ซึ่งปริมาณเถ้าเป็นตัวบ่งชี้ปริมาณแร่ธาตุที่มีอยู่ในยางดิบและเป็นการบ่งชี้ของการเติมสารตัวเติม (Filler) ลงไปในยางธรรมชาติ

2.4.3 ปริมาณสิ่งระเหย (Volatile matter content)

ปริมาณสิ่งระเหย คือ ปริมาณความชื้นในยางธรรมชาติรวมถึงปริมาณสารชนิดอื่นในยางที่สามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส การกำจัดปริมาณความชื้นเป็นการป้องกันไม่ให้ความชื้นในยางมากเกินไป รวมถึงป้องกันการปนเปื้อนของตัวทำละลายจากกระบวนการแปรรูปยาง

2.4.4 ปริมาณไนโตรเจน (Nitrogen)

ปริมาณไนโตรเจน ในยางดิบ ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของโปรตีน การหาปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่างสามารถใช้บ่งบอกคุณภาพตัวอย่าง และสามารถบ่งบอกปริมาณโปรตีนเบื้องต้นในยางได้

2.4.5 การทดสอบดัชนีความอ่อนตัว (Plasticity retention index)

ดัชนีความอ่อนตัว คือ อัตราส่วนของค่าความอ่อนตัว หลังจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ต่อค่าความอ่อนตัวก่อนการให้ความร้อนซึ่งค่าดัชนีความอ่อนตัวนี้จะบ่งบอกถึงความต้านทานต่อการแตกหักของโมเลกุลที่อุณหภูมิสูงและความต้านทานต่อการเกิดออกซิเดชันของยาง

2.4.6 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืด เป็นสมบัติความต้านทานการไหลหรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของยางโดยค่าความหนืดสัมพันธ์โดยตรงกับน้ำหนักโมเลกุล กล่าวคือ ยางที่มีความหนืดสูงจะมีน้ำหนักโมเลกุลสูงและมีลักษณะค่อนข้างแข็งเมื่อนำไปใช้งานต้องใช้เวลาในการบดยางให้นิ่มหรือทำให้ยางมีความหนืดลดลง เมื่อยางมีค่าความหนืดตามต้องการแล้วจึงจะสามารถผสมสารเคมีต่างๆ และขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ได้

2.5 สมบัติของดิน

ดิน คือ วัตถุที่เกิดตามธรรมชาติจากการสลายตัวทางกายภาพของหินและแร่ ร่วมกับสารอินทรีย์ซากพืชและซากสัตว์เกิดเป็นชั้นผิวห่อหุ้มโลก ซึ่งดินจะมีลักษณะและสมบัติต่างกันไปตามพื้นที่และสภาพอากาศ ภูมิประเทศ วัตถุต้นกำเนิด ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะไขทำให้สมบัติหรือแร่ธาตุในดินแตกต่างกัน ซึ่งสมบัติและแร่ธาตุเหล่านั้นเป็นปัจจัยในการเติบโตของต้นไม้ ซึ่งดินที่มีสมบัติแตกต่างกันก็จะให้ความสามารถในการเติบโตของต้นไม้ต่างกันด้วย โดยสมบัติเบื้องต้นที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติดิน มีดังนี้

2.5.1 ปริมาณไนโตรเจน

ไนโตรเจน มีส่วนสำคัญในการเมตาบอลิซึมของพืช ซึ่งจำเป็นต่อการสร้างสารประกอบหลายชนิด เช่น กรดนิวคลีอิก โปรตีน และน้ำตาล [13] ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช พืชที่ได้รับไนโตรเจนที่เพียงพอ ใบจะมีสีเขียวสด มีความแข็งแรง ทำให้ออกดอกและผลที่สมบูรณ์ แต่ถ้าหากพืชได้รับไนโตรเจนมากเกินไปก็ส่งผลเสียได้เช่นกัน คือ พืชจะอวบน้ำมาก ล้มง่าย จะมีโรคและแมลงเข้ารบกวนและทำลายได้ง่าย ง่ายพารากก็เช่นเดียวกัน ถ้าดินที่ปลูกมีปริมาณไนโตรเจนที่เพียงพอจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นยางและผลผลิตยางที่จะสูงกว่าต้นยางที่ปลูกในดินที่มีปริมาณไนโตรเจนต่ำ

2.5.2 ปริมาณฟอสฟอรัส

ปริมาณฟอสฟอรัสในดินมีส่วนช่วยในการเจริญเติบโตของราก จำเป็นสำหรับการออกดอก ติดเมล็ดและการพัฒนาของเมล็ดและผล [14] เกิดจากการสลายตัวของแร่บางชนิดในดิน ธาตุฟอสฟอรัสในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ จะต้องอยู่ในรูปของสารประกอบที่เรียกว่า ฟอสเฟตไอออน (H_2PO_4^- และ HPO_4^{2-}) ซึ่งต้องละลายอยู่ในน้ำ สารประกอบฟอสฟอรัสส่วนใหญ่จะละลายน้ำยาก จึงมักพบปัญหาเสมอว่าถึงแม้ดินจะมีฟอสฟอรัสมาก แต่พืชก็ยังแสดงอาการขาดฟอสฟอรัสเพราะส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ละลายน้ำยาก โดยอาการที่พืชแสดงการขาดฟอสฟอรัสคือ ใต้ท้องใบเป็นสีบรอนซ์และสีม่วงปรากฏให้เห็น รากพืชชะงักการเจริญเติบโตและไม่ออกดอกและผล

2.5.3 ปริมาณโพแทสเซียมและซิงค์

โพแทสเซียมมีความสำคัญในการสร้างและลำเลียงอาหาร เช่น แป้งและน้ำตาล เพิ่มการสร้างผนังเซลล์ ช่วยให้ทุกส่วนของต้นพืชและระบบรากแข็งแรง ทำให้พืชต้านทานโรคและแมลงดีขึ้น โพแทสเซียมจะพบมากในดินเหนียว และจะพบน้อยกว่าในดินทราย ดังนั้นเนื้อดินเป็นปัจจัยสำคัญที่สามารถควบคุมปริมาณโพแทสเซียมได้ พืชที่ขาดโพแทสเซียมจะเหี่ยวง่าย ไม่ต้านทานโรค ทำให้ปริมาณและคุณภาพของผลผลิตลดลง [15]

ซิงค์ เป็นธาตุที่จำเป็นต่อพืชในการสังเคราะห์โปรตีน และช่วยในการสร้างโปรตีน ธาตุสังกะสี ที่มีอยู่ในดินจะเป็นประโยชน์ต่อต้นพืชก็ต่อเมื่ออยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้รากจึงจะสามารถดูดซิงค์ไปใช้ได้ การขาดซิงค์ในพืชจะทำให้ต้นเกิดการโตช้า ใบจะเริ่มมีขนาดเล็กลง [16] ต้นจะอ่อนแอและเกิดโรคได้ง่าย จึงจะส่งผลให้ผลผลิตลดลงไป

2.5.4 ค่าความเป็น กรด-ด่าง

ค่าความเป็นกรด-ด่างในดินมีความสำคัญมากในการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากสภาพความเป็นกรด-ด่างในดินสามารถบ่งบอกได้ถึงระดับธาตุอาหารที่ดินสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ [14, 17] การบอกสภาพความเป็นกรด-ด่างของดินจะบอกเป็นค่า pH ตั้งแต่ 1 ถึง 14 โดยสภาพความเป็นกลางของดินจะอยู่ที่ 7 โดยถ้า pH มีค่าต่ำกว่า 5.5 แสดงว่าในดินมีธาตุอาหารที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ค่อนข้างต่ำ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียม และเมื่อค่า pH สูงกว่า 8.5 แสดงว่าธาตุโซเดียมในดินมีมากเกินไปจนทำให้พืชแสดงอาการขาดธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียม ซึ่งการขาดธาตุเหล่านี้นำไปสู่การเกิดโรคในยางพาราและทำให้ต้นยางไม่ต้านทานโรค อย่างไรก็ตามยางพาราชอบดินที่เป็นกรด โดยความเป็นกรดที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 4.5-5.5 ซึ่งจะเป็นลักษณะดินที่มีธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียมและฟอสฟอรัสต่ำ

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อิทธิพลของสภาพภูมิอากาศต่อสมบัติของยางธรรมชาติ [18] โดยสมบัติที่ศึกษาในงานวิจัยนี้คือ ปริมาณผลผลิตของน้ำยาง ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณเถ้า และปริมาณเนื้อยางแห้ง พบว่า เมื่อเข้าสู่ฤดูฝนหรือมีฝนตกเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณเนื้อยางแห้งเพิ่มขึ้นแต่ปริมาณเถ้าและไนโตรเจนลดลง เนื่องจากการเจือจางน้ำที่มากขึ้นในน้ำยาง และเมื่อเข้าสู่ฤดูหนาวที่ฝนตกน้อย ปริมาณเนื้อยางแห้งจะลดลง แต่ปริมาณไนโตรเจนและปริมาณเถ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเข้าสู่ช่วงผลัดใบ ปริมาณผลผลิตและปริมาณเนื้อยางแห้งของน้ำยางจะลดลง เนื่องจากการสังเคราะห์อาหารที่ลดลง ปริมาณไนโตรเจนและปริมาณเถ้าจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากการย้ายสารอาหารจากใบมาที่ลำต้น และเมื่อต้นยางเริ่มผลิดอกและออกใบ ปริมาณไนโตรเจนและเถ้าจะลดลง แต่ปริมาณผลผลิตจะเริ่มสูงขึ้นจนถึงช่วงที่ใบเต็มต้น

ความแตกต่างของสมบัติของน้ำยางจากต้นยาง 2 ชนิด ที่ปลูกในสภาวะเดียวกัน คือ *Hancornia speciosa* Gomes และ *Hevea brasiliensis* (RRIM 600) [19] โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาน้ำหนักโมเลกุล โปรตีน ไนโตรเจน และความหนืดมูนิ พบว่าน้ำยางจากต้น *Hancornia* มีน้ำหนักโมเลกุลและโครงสร้างจุลภาคคล้ายกับน้ำยางจากต้น *Hevea* จากการศึกษาปริมาณเนื้อยางแห้งของต้นยางทั้ง 2 ชนิด พบว่าปริมาณเนื้อยางแห้งของต้นยาง *Hevea* (41.6%) มีปริมาณสูงกว่าของต้นยาง

Hancornia (30.3%) และปริมาณไนโตรเจนของต้นยาง *Hancornia* มีค่าต่ำกว่าปริมาณไนโตรเจนของต้นยาง *Hevea* เนื่องจากปริมาณโปรตีนของต้นยาง *Hevea* ($32,300 \pm 167 \mu\text{g/g}$) สูงกว่าปริมาณโปรตีนของต้นยาง *Hancornia* ($1,900 \pm 32 \mu\text{g/g}$) อธิบายได้ถึงปริมาณการสังเคราะห์โปรตีนของต้นยางที่ทำได้ต่างกัน นอกจากนี้ปริมาณโปรตีนที่สูงกว่าของ *Hevea* ส่งผลให้ค่าดัชนีความอ่อนตัวของ *Hevea* สูงขึ้น เนื่องจากองค์ประกอบที่ไม่ใช่ยางทำหน้าที่เป็นสารป้องกันการเสื่อมสภาพโดยธรรมชาติของน้ำยางอีกด้วย ต้นยางทั้ง 2 ชนิด นี้มีค่าความหนืดมูนิและความอ่อนตัวเริ่มต้นที่ใกล้เคียงกัน เพราะค่าน้ำหนักโมเลกุลของยางทั้ง 2 ชนิดนี้มีค่าใกล้เคียงกัน ค่าน้ำหนักโมเลกุลของ *Hancornia* คือ 1.13×10^6 กรัมต่อโมล การกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล คือ 1.24 และ *Hevea* คือ 1.0×10^6 กรัมต่อโมล การกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล คือ 1.24

ผลของพันธุ์ยาง (GT1, PR255, FX3864 และ RRIM 600) และสภาพอากาศต่อปริมาณเนื้อยางแห้ง ความอ่อนตัวเริ่มต้น ความหนืดมูนิ และดัชนีความอ่อนตัว [20] พบว่าปริมาณเนื้อยางแห้งลดลงช่วงหน้าแล้งและช่วงยางผลัดใบในเดือนพฤษภาคมและกรกฎาคม และเพิ่มขึ้นเมื่อยางเริ่มผลิใบและเข้าสู่หน้าฝน สิ่งที่ส่งผลต่อค่าความหนืดมูนิและค่าความอ่อนตัวเริ่มต้น คือ ความยาวสายโซ่ของพอลิไอโซพรีน และปริมาณส่วนที่ไม่ใช่เนื้อยางที่ส่งผลต่อการเกิดเครือข่ายร่างแห (Cross-linking) ซึ่งพันธุ์ PR 255 ให้ค่าความอ่อนตัวเริ่มต้นสูงที่สุด (49.5) และพันธุ์ RRIM 600 ให้ค่าต่ำที่สุด (35.6) นอกจากนี้กระบวนการผลิต ภาวะในการทำให้ยางแห้ง และการบดยาง ส่งผลต่อค่าความหนืดมูนิและค่าความอ่อนตัวเริ่มต้นอีกด้วย ค่าดัชนีความอ่อนตัวมีความแตกต่างกันเห็นได้ชัดจากการเปลี่ยนของสภาพภูมิอากาศและพันธุ์ยางเนื่องจากปัจจัยของการสังเคราะห์ส่วนที่ไม่ใช่ยางที่ทำหน้าที่เป็นสารต้านการเสื่อมสภาพโดยธรรมชาติของยางที่ต่างกัน ซึ่งพันธุ์ PR 255 มีความแปรปรวนต่ำที่สุดแสดงถึงการต้านทานต่อสภาพอากาศที่สูงที่สุด

ปัจจัยของอายุของต้นยางที่มีผลต่อน้ำหนักโมเลกุลและการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของยางพันธุ์ *Hevea* ที่มีอายุต่างกัน [21] โดยอายุตั้งแต่ 3 ปีขึ้นไป และเปิดกรีดครั้งแรกได้ผ่านการสลายโครงสร้างหมู่เอสเทอร์เพื่อลดโครงสร้างโมเลกุลที่เป็นกึ่งก้านสาขา จากการตรวจวัดน้ำหนักโมเลกุล และการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของยาง พบว่าน้ำยางจากต้นยางพันธุ์ RRIM 600 อายุ 1 และ 2 ปี แสดงการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลแบบเชิงเดียว (Unimodal distribution) ในขณะที่น้ำยางจากต้นยางอายุ 3 ถึง 7 ปี แสดงการกระจายตัวเชิงเดี่ยวแบบเบ้ (Skewed unimodal) ที่ค่อนข้างน้ำหนักโมเลกุลสูง น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของน้ำยางเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดจาก 3.3×10^5 ไป 1.2×10^6 กรัมต่อโมล เพิ่มขึ้นตามอายุยางที่เพิ่มขึ้น และน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนักและจำนวนก็เพิ่มขึ้นตามอายุของต้นยางด้วยเช่นกัน

ผลของปุ๋ยและสารเร่งน้ำยาง (ET 2.5%) ที่มีต่อแร่ธาตุและสมบัติทางกายภาพของยาง เช่น ความอ่อนตัวเริ่มต้น ดัชนีความอ่อนตัว ความเสถียรเชิงกลของน้ำยาง (Mechanical stability time:

MST) ปริมาณเนื้อมะพร้าวแห้ง (DRC) พันธุ์ Hevea [22] พบว่า ปุ๋ยและสารเร่งไม่ได้ส่งผลต่อค่าความอ่อนตัวเริ่มต้นและดัชนีความอ่อนตัว แต่จะส่งผลต่อความเสถียรเชิงกลของน้ำยางซึ่งแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเทียบระหว่างน้ำยางที่มาจากต้นยางที่ใส่ปุ๋ย (52.8 sec) ซึ่งมีค่าความเสถียรเชิงกลของน้ำยางต่ำกว่าน้ำยางที่มาจากต้นยางที่ไม่ใส่ปุ๋ย (58.1 sec) และจากการทดสอบค่าไนโตรเจนที่มีอยู่ในยาง ด้วยวิธี LECO CHN628 พบปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นจากตัวอย่างฟิล์มยางที่ไม่ใส่ปุ๋ย (6,284 ppm) เทียบกับตัวอย่างฟิล์มยางที่ใส่ปุ๋ย (6,633 ppm) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นจากตัวอย่างฟิล์มยางที่ไม่ใส่ปุ๋ย (1,480 ppm) เทียบกับตัวอย่างฟิล์มยางที่ใส่ปุ๋ย (1,530 ppm) และปริมาณโพแทสเซียมที่แตกต่างจากตัวอย่างฟิล์มยางที่ไม่ใส่ปุ๋ย (4,144 ppm) เทียบกับตัวอย่างฟิล์มยางที่ใส่ปุ๋ย (4,256 ppm)



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

3.1.1 น้ำยางสด (Fresh latex)

น้ำยางสดได้จากต้น *Hevea brasiliensis* พันธุ์ RRIM 600 อายุ 15-20 ปี ต้องเป็นน้ำยางสดที่ไม่ทำการเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพ หรือสารอื่นๆ โดยศึกษาน้ำยางจากหลายพื้นที่ และนำน้ำยางมาจากทั้งทาง ภาคตะวันออก (อ.เมืองระยอง จังหวัดระยอง) ภาคใต้ (อ.ทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช) และภาคอีสาน (อำเภอโนนสุวรรณ จังหวัดบุรีรัมย์)

3.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 2 แสดงสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 2 สารเคมีที่ใช้ในการจับตัวน้ำยางและใช้ในการผสมยางเพื่อขึ้นรูป

สารเคมี	ผู้จำหน่าย
กรดฟอร์มิก ความเข้มข้น 94 %wt.	บริษัท บีเอสเอสเอฟ จำกัด, ประเทศเยอรมัน
กรดสเตียริก (Stearic acid)	บริษัท เอฟบี (ประเทศไทย) จำกัด, ประเทศไทย
ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO)	บริษัท อูทิสเอ็นเตอร์ไพรส์ จำกัด, ประเทศไทย
N-tert-butyl-2-benzothiazole sulphenamide (TBBS)	บริษัท คอสโมส เคมีคอล จำกัด, ประเทศไต้หวัน
กำมะถัน (Sulfur)	บริษัท สยามเคมี จำกัด (มหาชน), ประเทศไทย
เตตระไฮโดรฟิวแรน (THF)	บริษัท อาร์ซีไอ แล็บสแกน จำกัด ประเทศไอร์แลนด์
โทลูอีน (Toluene)	บริษัท อาร์ซีไอ แล็บสแกน จำกัด ประเทศไอร์แลนด์

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

3.2.1 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) ของบริษัท เทอร์โม ฟิชเชอร์ ไซแอนทิฟิก โมเดล Genesys 20 เป็นเครื่องวัดสารโดยอาศัยหลักการดูดกลืนรังสีของสารที่อยู่ในช่วง 190-1000 นาโนเมตร ใช้เพื่อวัดปริมาณฟอสฟอรัสในดิน

3.3.2 เครื่องวิเคราะห์โลหะหนัก (Atomic absorption spectrophotometer: AAS) ของบริษัท วาเรียน (Varian) จำกัด โมเดล AA2280FS สามารถใช้วิเคราะห์ธาตุต่างๆได้มากกว่า 70 ธาตุ เนื่องจากธาตุแต่ละชนิดมีระดับของการดูดกลืนพลังงานที่แตกต่างกัน โดยใช้ความยาวคลื่นระดับหนึ่งซึ่งขึ้นอยู่กับธาตุต่างๆ ที่จะศึกษา โดยในงานวิจัยนี้ใช้เครื่อง AAS ในการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมและซิงค์ในตัวอย่างดิน

3.3.3 พลาสติมิเตอร์ (Plastimeter) จากบริษัท ซีจี เอ็นจิเนียริง จำกัด โมเดล H-01 มอนเทค-ที่ใช้ในการวัดความอ่อนตัวเริ่มต้น (P_0) และดัชนีความอ่อนตัว (PRI) อ้างอิงตามมาตรฐาน ISO 2007

3.3.4 เครื่องทดสอบความหนืด (Mooney viscometer) เพื่อทดสอบความหนืดของยาง ของบริษัท มอนเทค จำกัด โมเดล MV2000

3.3.5 เครื่องทดสอบการคงรูปของยางชนิดตายน์เคลื่อนที่ (Moving die rheometer, MDR) ของบริษัท เอ็คทรอน เท็ค จำกัด โมเดล EKT-2000P ถูกใช้เพื่อทดสอบการคงรูปของยางคอมพาวด์น

3.3.6 เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding) ของบริษัท พงษ์ จำกัด โมเดล TYC-V-12-3RT-2-S-PCD ใช้ในการอัดเพื่อขึ้นรูปยางคอมพาวด์น

3.3.7 เครื่องวัดความหนาแน่น (Densimeter) ของบริษัท เมทเลอร์ เลโด จำกัด โมเดล 1125031140

3.3.8 เครื่องวัดความแข็ง (Durometer) ของบริษัท เท็คสล็อก จำกัด โมเดล GS-719G

3.3.9 เครื่องทดสอบความทนต่อแรงดึง (Universal testing machine, UTM) ของบริษัท Testmetric รุ่น M500-25AT

3.3 ขั้นตอนการทดสอบ

3.3.1 การเตรียมยางแผ่นรมควัน

กระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันเตรียมโดยใช้กระบวนการตามรูปที่ 2.2 โดยนำน้ำยางสดกรองด้วยตะแกรงกรองเบอร์ 60 เมช หลังจากนั้น หาปริมาณเนื้อยางแห้งในปอรวม โดยปริมาณเนื้อยางแห้งต้องมากกว่า 28% จึงจะนำเข้ากระบวนการผลิต หลังจากนั้นนำมากรองน้ำยางผ่านตะแกรงกรองเบอร์ 100 เมช และเทลงในตะกที่มีน้ำเตรียมไว้ กวนน้ำยางให้เข้ากัน เทกรดฟอร์มิกที่ผสมไว้ลงไป ในตะก กวนให้เข้ากัน จากนั้นกวาดฟองแล้วเสียบแผ่นอลูมิเนียม ทิ้งไว้ให้น้ำยางจับตัว 45 นาที หล่อน้ำบนผิวยางและทิ้งให้จับตัวอีก 1.30 ชั่วโมง หรือจนกว่าจะจับตัวสมบูรณ์ นำก้อนยางไปล้างน้ำ แล้วนำไปรีดผ่านเครื่องรีด แล้วนำแผ่นยางไปผึ่งลมให้หมาด และเข้าโรงรมควันที่ควบคุมอุณหภูมิ 50-65 องศาเซลเซียส

3.3.2 การเตรียมยางคอมพาวด์

บดผสมยางแผ่นรมควัน ใช้สูตรยางคอมพาวด์แสดงดังตารางที่ 3.1 ด้วยเครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer) ขนาด 0.5 ลิตร ใช้ Fill factors 0.80 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็ว 60 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นเก็บยางคอมพาวด์ที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง จากนั้นนำยางคอมพาวด์ปริมาณ 3-5 กรัม ไปทดสอบสมบัติการคงรูป (Cure properties) ด้วยเครื่องทดสอบลักษณะการคงรูปของยางชนิด Moving die rheometer: MDR ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และนำยางคอมพาวด์ไปขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบกดอัด (Compression mold) ดังแสดงในรูปที่ 3 ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 3 สูตรที่ใช้ในการเตรียมยางคอมพาวด์

วัตถุดิบ	ปริมาณ (Phr.)
ยางแผ่นรมควัน	100
ซิงค์ออกไซด์	6.0
กรดสเตียริก	0.5
ทีบีบีเอส (TBBS) ^a	0.7
วิงสเตย์ แอล	1.0
กำมะถัน	3.5

^aN-tert-butyl-2-benzothiazole sulfenamide



รูปที่ 3 เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding)

3.3.3 การวิเคราะห์และทดสอบ

3.3.3.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบในดิน

- ปริมาณไนโตรเจน

ทดสอบด้วยการหาปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินด้วยวิธีของ Walkey and Black โดยชั่งตัวอย่างดิน 1 กรัม แล้วบีบเปิด สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมท 1 N 10 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 15 มิลลิลิตร เขย่าขวดและตั้งทิ้งไว้ 30 นาที แล้วเติมน้ำกลั่น ประมาณ 50 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น หยดอินดิเคเตอร์ออร์โทโทปีแนนโทรลีน ไทเทรตด้วยสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต เพื่อหาปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมทจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง บันทึกปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมท และเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ จากนั้นคำนวณหาอินทรีย์คาร์บอน และอินทรีย์วัตถุตั้งสมการที่ 1 และหาปริมาณไนโตรเจนตั้งสมการที่ 2

$$\text{ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (\%)} = \frac{(B-T)N}{B} \times \frac{100}{77} \times \frac{100}{58} \times \frac{3}{10^3} \times \frac{100}{W} \times 10 \quad (1)$$

เมื่อ

B = ปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับ blank (มิลลิลิตร)

T = ปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับตัวอย่างดิน (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไดโครเมท (นอร์มอล)

W = น้ำหนักดิน (g)

$$\text{ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (\%)} = \text{ปริมาณอินทรีย์วัตถุ} \times 0.05 \quad (2)$$

- ปริมาณฟอสฟอรัส

ทดสอบด้วยวิธี Bray II โดยชั่งดิน 1 กรัม เติมสารละลายสกัด Bray II (0.10 M HCL+0.03 M NH₄F) 10 มิลลิลิตร เขย่า 1 นาที กรองด้วยกระดาษกรอง No.5 ขนาด 11.0 เซนติเมตร นำไปอ่านความเข้มข้นด้วยเครื่อง Spectrophotometer ตั้งรูปีที่ 4 ที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร และนำมาคำนวณตั้งสมการที่ 3

$$\text{ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช} = \frac{B \times R}{A} \text{ mg kg}^{-1} \quad (3)$$

เมื่อ

A = น้ำหนักของตัวอย่างดิน (กรัม)

B = สารละลายสกัด (มิลลิลิตร)

R = ค่าที่อ่านได้ เมื่อวัดค่าเทียบกับ standard set



รูปที่ 4 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer)

- ปริมาณโพแทสเซียม

ชั่งดิน 8 กรัม ใส่หลอดหยั่งพลาสติกขนาด 50 มิลลิเมตร เติมน้ำที่ปราศจากไอออน 40 มิลลิลิตร (ดิน : น้ำ = 1 : 5) เขย่า 5 นาที วางทิ้งไว้ครึ่งชั่วโมง กรองใส่ผ่านกระดาษกรองวัดแมนเบอร์ 5 นำสารละลายที่ได้วิเคราะห์โพแทสเซียมในสารละลายดินด้วยวิธีการเปล่งแสงของอะตอม (Atomic emission spectrophotometry: AAS) แสดงดังรูปที่ 5 ที่ความยาวคลื่น 383 นาโนเมตร เทียบกับค่าความเข้มของแสงที่เครื่องอ่านได้ของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 0, 0.5, 1, 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ปรับปริมาตรด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน



รูปที่ 5 เครื่องวิเคราะห์โลหะหนัก (Atomic absorption spectrophotometer: AAS)

- ซิงค์หรือสังกะสี

ชั่งดิน 10 กรัม เติมสารละลายดีทีพีเอ (DTPA extracting solution) 20 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 42 จากนั้นนำสารละลายมาตรฐานของ Zn ความเข้มข้นต่างๆ และสารละลายที่กรองได้ ถ้ามีความเข้มข้นมากเกินไปให้เจือจางด้วยสารละลายสกัด แล้วนำไปวัดค่าสังกะสีที่เป็นประโยชน์ด้วย Atomic absorption spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 213.9 นาโนเมตร และนำค่าที่ได้มาคำนวณดังสมการที่ 4

$$\text{สังกะสีที่เป็นประโยชน์} = \frac{B \times df \times D}{A} \quad \text{มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม} \quad (4)$$

เมื่อ

A = น้ำหนักของตัวอย่างดิน (กรัม)

B = ปริมาตรของสารละลาย DTPA ที่ใช้สกัด (มิลลิลิตร)

df = อัตราส่วนการเจือจาง (Dilution factor) (เท่า)

D = ความเข้มข้นของสังกะสีเมื่อเทียบกับความเข้มข้นมาตรฐานที่อ่านได้จากเครื่อง AAS (มิลลิกรัมต่อลิตร)

- ความเป็น กรด-ด่าง

ชั่งดิน 20 กรัม ใส่ในบีกเกอร์พลาสติก เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันด้วยแท่งแก้วเป็นระยะๆ ในระยะ 30 นาทีแรก หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้อีก 30 นาที จึงวัด pH ของดินในส่วนที่เป็นน้ำใสด้วย pH meter หรือใช้ช้อนตวงตักดินและตวงน้ำแทนการชั่งดิน เพื่อวัด pH (1:1, v/v)

3.3.3.2 วิเคราะห์สมบัติของน้ำยางและยางแผ่นรมควัน

- ปริมาณของแข็งที่มีอยู่ในยาง (Total solid content: TSC)

เทน้ำยางลงจานแก้วให้ได้น้ำหนัก 2 ± 0.5 กรัม บันทึกน้ำหนักที่แท้จริง เอียงและหมุนจานแก้วให้น้ำยางกระจายทั่วแผ่นแก้ว ผสมน้ำกลั่นปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร และเอียงจานแก้วแล้วหมุนให้เข้ากัน นำจานแก้วเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำออกมาจากตู้อบแล้วตั้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งและบันทึกน้ำหนัก และนำเข้าตู้อบอีกครั้งที่อุณหภูมิ 105 ± 5 องศาเซลเซียส อีก 15 นาที นำออกมาตั้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ทำซ้ำอีกจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ บันทึกน้ำหนักสุดท้ายและคำนวณตามสมการที่ 5

$$\text{ปริมาณของแข็งที่มีอยู่ในยาง (TSC)} = \frac{m_1}{m_0} \times 100 \quad (5)$$

เมื่อ

m_0 = น้ำหนักน้ำยางก่อนเข้าอบ (กรัม)

m_1 = น้ำหนักน้ำยางหลังเข้าอบ (กรัม)

- ปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry rubber content: DRC)

เทน้ำยางลงจานแก้วให้ได้น้ำหนัก 10 ± 1 กรัม ชั่งน้ำหนักและบันทึกน้ำหนักน้ำยางที่แท้จริง เจือจางน้ำยางให้ได้ปริมาณของแข็งทั้งหมด 20 ± 1 % โดยน้ำหนัก ด้วยน้ำกลั่น จากนั้นเติมกรดอะซิติกความเข้มข้น 20 กรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร ปริมาตร 35 ± 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ค่อยๆ หยดบนตัวอย่างทดสอบ ใช้แท่งแก้วกดแผ่นยางที่จับตัว วางจานแก้วบนอ่างน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิ 70 ± 5 องศาเซลเซียส 15-30 นาที จนได้เซรัมใส จากนั้นล้างด้วยน้ำจน pH ของน้ำเท่ากับ 7 จากนั้นรีดยางเพื่อไล่น้ำออก ล้างแผ่นยางด้วยน้ำไหลเป็นเวลา 5 นาที และวัดความหนาแผ่นยาง ผึ่งยางไว้จนหมาด

ก่อนนำเข้าสู่อบอุณหภูมิ 70 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง จะไม่มีจุดขาว ทำให้เย็นใน โถดูดความชื้น 30 นาที ชั่งและบันทึกน้ำหนัก ทำซ้ำจนกว่าน้ำหนักจะคงที่หรือต่างกันไม่เกิน 1 มิลลิกรัม และนำน้ำหนักไปคำนวณดังสมการที่ 6

$$\text{ปริมาณเนื้อยางแห้งในยาง (DRC)} = \frac{m_1}{m_0} \times 100 \quad (6)$$

เมื่อ

$$m_0 = \text{น้ำหนักน้ำยางก่อนเข้าอบ (กรัม)}$$

$$m_1 = \text{น้ำหนักน้ำยางหลังเข้าอบ (กรัม)}$$

- ความอ่อนตัวเริ่มต้นและดัชนีความอ่อนตัว

นำยางที่เตรียมไว้ 20 ± 5 กรัม มาผ่านเครื่องผสมยางสองลูกกลิ้งแล้วพับครึ่งให้ได้ ความหนา 3.2-3.6 มิลลิเมตร ตัดตัวอย่างเป็นวงกลมให้ได้ 6 ชิ้น ซึ่งแบ่งขึ้นทดสอบออกเป็น 2 ชุด ชุดละ 3 ชิ้น เพื่อใช้ทดสอบค่าความอ่อนตัวเริ่มต้น (P_0) และทดสอบค่าความอ่อนตัวหลังอบ 30 นาที (P_{30}) นำตัวอย่างชุดที่ 1 วางขึ้นทดสอบระหว่างม้วนกระดาษบุหรีและนำเข้าเครื่องพลาสติกมิเตอร์ แสดงดังรูปที่ 6 เป็นเวลา 15 วินาที เพื่ออัดขึ้นงานทดสอบ อ่านค่าความอ่อนตัวจากเครื่อง ซึ่งจะได้ค่าความอ่อนตัวเริ่มต้น (P_0) จากนั้นนำตัวอย่างชุดที่ 2 มาหาค่าดัชนีความอ่อนตัวโดยนำยางไปอบที่ อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที ทดสอบเช่นเดียวกันกับการหาค่าความอ่อนตัว เริ่มต้นซึ่งจะได้ค่าความอ่อนตัวของยางที่ผ่านการอบ 30 นาที (P_{30}) แล้วจึงนำไปเข้าสู่สูตรดังสมการที่ 7 เพื่อหาค่าดัชนีความอ่อนตัว

$$\text{ดัชนีความอ่อนตัว (PRI)} = \frac{P_{30}}{P_0} \times 100 \quad (7)$$

เมื่อ

$$P_0 = \text{ค่ามัธยฐานความอ่อนตัวของยางชุดเริ่มแรก}$$

$$P_{30} = \text{ค่ามัธยฐานความอ่อนตัวของยางชุดที่หลังอบ}$$



รูปที่ 6 เครื่องพลาสติกมิเตอร์ (Plastimeter)

- สิ่งระเหย (Volatile matter)

ซึ่งตัวอย่างน้ำหนัก 10-11 กรัม ความละเอียด 0.0001 กรัม นำไปผ่านเครื่องบดที่มีน้ำหล่อเย็น 1 ครั้ง และนำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 100 ± 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างใส่ถุงปิดปากถุง และนำไปอบที่ห้องควบคุมอุณหภูมิ เป็นเวลาประมาณ 30 นาที จากนั้นชั่งน้ำหนักด้วยตาชั่งที่มีความละเอียด 0.0001 กรัม และนำน้ำหนักมาคำนวณดังสมการที่ 8

$$\text{ปริมาณสิ่งระเหย (\%)} = \frac{A-B}{A} \times 100 \quad (8)$$

เมื่อ

A = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

B = น้ำหนักยางหลังอบ (กรัม)

- ปริมาณเถ้า (Ash content)

ซึ่งย่างให้ได้น้ำหนัก 5-6 กรัม นำมาห่อด้วยกระดาษกรองชนิดไร้เถ้า ใส่ในถ้วยทนความร้อนที่ผ่านการเผาแล้ว ชั่งและบันทึกน้ำหนัก จากนั้นนำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 ± 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-4 ชั่วโมง หรือจนเผาไหม้สมบูรณ์ แล้วนำไปทำให้เย็นในโถแก้วดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักและเข้าสู่สูตรคำนวณดังสมการที่ 9

$$\text{ปริมาณเถ้า (\%)} = \frac{C-B}{D} \times 100 \quad (9)$$

เมื่อ

B = น้ำหนักถ้วยทนความร้อน (กรัม)

C = น้ำหนักถ้วยทนความร้อนพร้อมเถ้า (กรัม)

D = น้ำหนักยางก่อนทดสอบ (กรัม)

- ปริมาณไนโตรเจน (Nitrogen content)

ซึ่งย่างที่เตรียมไว้ น้ำหนัก 0.1 กรัม ความละเอียด 0.0001 กรัม ใส่ในขวดแก้วสำหรับย่อยแบบ Micro-Kjeldahl เติมส่วนผสมของสารเร่งปฏิกิริยา 0.65 กรัม และกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ให้ความร้อนจนได้สารละลายใสสีเขียวหรือไม่มีสี เจือจางสารละลายที่เย็นแล้วด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร ถ่ายสารละลายลงในชุดกลั่นที่เตรียมผ่านไอน้ำร้อนไว้แล้ว และล้างขวดแก้วที่ใส่สารละลายด้วยน้ำกลั่น 2-3 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงในชุดกลั่น ทำซ้ำ 2-3 ครั้ง เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 67% ปริมาตร 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงในชุดกลั่นและล้างด้วยน้ำกลั่น หยดสารละลายอินดิเคเตอร์รวม 2-3 หยดในสารละลายบอร์ริก 2% ปริมาตร 10

ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำการกลั่นประมาณ 5 นาที จะได้สารละลายที่เป็นสีเขียว นำไปไตเตรตทันทีกับ สารละลายซัลฟิวริก 0.005 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร ที่จุดยุติสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสี ม่วงอ่อน ทำการคำนวณตามสูตรในสมการที่ 10

$$\text{ปริมาณไนโตรเจน (\%)} = \frac{(A-B)N \times 0.028}{W} \times 100 \quad (10)$$

เมื่อ

A = ปริมาตรกรดซัลฟิวริก ที่ใช้ในการไตเตรตสิ่งที่กลั่น (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

B = ปริมาตรกรดซัลฟิวริก ที่ใช้ในการไตเตรต BLANK (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

N = ความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก (โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร)

W = น้ำหนักชิ้นทดสอบ (กรัม)

- ค่าสิ่งสกปรก (Dirt content)

นำยางน้ำหนัก 30 กรัม ผ่านเครื่องบดซึ่งมีน้ำหล่อเย็นผ่านลูกกลิ้งที่ปรับระยะห่าง 0.33 ± 0.05 มิลลิเมตร 2 ครั้ง แล้วตัดเป็นชิ้นเล็กน้ำหนัก 10 กรัม และบันทึกน้ำหนัก นำยางไปแช่ใน Toly mercaptan ที่ละลายแล้วปริมาตร 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อเร่งการละลายและให้ความ ร้อนร่วมด้วย เมื่อยางละลายหมด นำสารละลายที่ยังร้อนเทผ่านตัวกรอง และล้างสิ่งสกปรกด้วยตัวทำ ละลายร้อนจนมั่นใจว่าล้างสิ่งสกปรกหมด นำตัวกรองพร้อมสิ่งสกปรกเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศา เซลเซียส 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้นและบันทึกน้ำหนัก และคำนวณดังสมการที่ 11

$$\text{ปริมาณสิ่งสกปรก (\%)} = \frac{B-A}{W} \times 100 \quad (11)$$

เมื่อ

A = น้ำหนักตัวกรอง (กรัม)

B = น้ำหนักตัวกรองพร้อมสิ่งสกปรก (กรัม)

W = น้ำหนักชิ้นทดสอบ (กรัม)

- ความหนืดมูนิ

ตัดยางที่เตรียมไว้ให้น้ำหนักประมาณ 25 กรัม จากนั้นนำยางไปประกบกับโรเตอร์ ทั้งบนและล่าง แล้วนำไปวิเคราะห์ค่าความหนืดมูนิโดยใช้เครื่องทดสอบความหนืดมูนิ (Mooney viscometer) แสดงดังรูปที่ 7 ใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลาในการอุ่นยาง 1 นาที และช่วงที่ โรเตอร์หมุน 4 นาที จากนั้นบันทึกผล



รูปที่ 7 เครื่องทดสอบความหนืด (Mooney viscometer)

- ปริมาณเจล

หาปริมาณเจลได้ตามมาตรฐาน ISO 1166 ทำได้โดยการนำตัวอย่างยางน้ำหนัก 0.1 กรัม แช่ในโทลูอีนปริมาตร 30 มิลลิลิตร เก็บไว้ในห้องมืด ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 14,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นแยกส่วนที่เป็นของเหลวออกจากเจลและตกตะกอนเจลด้วยอะซิโตน นำส่วนเจลใส่จานแก้วแล้วนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำไปคำนวณปริมาณเจลดังสมการที่ 12

$$\text{ปริมาณเจล (\%)} = \left(\frac{m_1}{m_0} \right) \times 100 \quad (12)$$

เมื่อ

m_0 = น้ำหนักของตัวอย่างยาง (กรัม)

m_1 = น้ำหนักของส่วนเจลที่ตกตะกอน (กรัม)

- เจลเพอร์มิเอชันโครมาโตกราฟี (Gel permeation chromatography: GPC)

เป็นเครื่องมือในการทดสอบน้ำหนักโมเลกุลของยางโดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gel permeation chromatograph, 1260 infinity II GPC/SEC MDS ใช้ตัวอย่างประมาณ 10±5 มิลลิกรัม ละลายในเตตระไฮโดรฟิวแรน (Tetrahydrofuran: THF) ใช้อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

3.3.3.3 การวิเคราะห์ยางคอมพาวนด์

- ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

วัดความถ่วงจำเพาะ โดยใช้เครื่องวัดความหนาแน่น (Densimeter) แสดงดังรูปที่ 8 ในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิ 23-25 องศาเซลเซียส โดยเปรียบเทียบกับน้ำกลั่น ทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่าง

ในอากาศ และจดบันทึกน้ำหนัก หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปชั่งในน้ำ และจดบันทึกน้ำหนัก แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณดังสมการที่ 13

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = \frac{W_a}{(W_a - W_w)} \quad (13)$$

เมื่อ

W_a = น้ำหนักตัวอย่างในอากาศ (กรัม)

W_w = น้ำหนักตัวอย่างในน้ำ (กรัม)



รูปที่ 8 เครื่องวัดความหนาแน่น (Densimeter)

- ลักษณะการคงรูป (Cure characteristic)

ลักษณะการคงรูปของยางจะทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D5289 ด้วยเครื่องทดสอบสมบัติการคงรูปชนิด Moving die rheometer: MDR แสดงดังรูปที่ 9 ใช้ตัวอย่างน้ำหนัก 3-4 กรัม และใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เพื่อหา ค่าแรงบิดสูงสุด (M_H) ค่าแรงบิดต่ำสุด (M_L) ค่าผลต่างแรงบิด ($M_H - M_L$) ระยะเวลาสกอริช (T_{s2}) และระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ (T_{c90})



รูปที่ 9 เครื่องทดสอบการคงรูปของยางชนิดดายน์เคลื่อนที่ (Moving die rheometer, MDR)

- สมบัติแรงดึง (Tensile properties)

ตามมาตรฐาน ASTM D412 (Die C) ด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing machine) แสดงดังรูปที่ 10 ใช้โหลดเซลล์ (Load cell) ขนาด 1000 N อัตราการดึงคงที่ที่

500 มิลลิเมตรก่อนนำที่ ทดสอบที่อุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส โดยตัดตัวอย่างที่ผ่านการอัดแผ่นขึ้นรูปมาแล้ว ความหนาที่ 2 มิลลิเมตร เป็นรูปดัมเบล (Dumbbell specimen) และใช้ตัวอย่างในการทดสอบ 5 ชิ้น แล้วนำค่าเฉลี่ยมาวิเคราะห์และรายงานผล โดยสมบัติที่ศึกษาได้แก่ ความทนต่อแรงดึง (Tensile strength) ระยะยืด ณ จุดขาด (Elongation at break) และค่ามอดุลัส (Modulus)



รูปที่ 10 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine)

- ความแข็ง (Hardness)

ตามมาตรฐาน ASTM D2240 ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแบบชอร์ดูโรมิเตอร์สเกล A (Shore durometer: Shore A) แสดงดังรูปที่ 11 เป็นการทดสอบความแข็งของวัสดุยางโดยตัวอย่างยางที่ใช้วัดต้องมีความหนามากกว่า 6 มิลลิเมตรขึ้นไป



รูปที่ 11 เครื่องวัดความแข็ง (durometer)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของภาวะในการผลิต ถูการกรีดยาง รวมไปถึงพื้นที่ในการปลูกต้นยางต่อลักษณะและสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของยางแผ่นรมควัน โดยผลการทดลองแบ่งออกเป็น 5 หัวข้อย่อย ดังนี้

- 1) ผลของปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางที่แตกต่างกัน ได้แก่ 15, 18, 20 และ 25% โดยปริมาตร ต่อลักษณะของยางระหว่างการผลิตและหลังผลิต และสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของยางแผ่นรมควันที่ได้
- 2) ผลของความเข้มข้นกรดฟอร์มิกที่ใช้ในการตกตะกอนน้ำยางที่แตกต่างกัน ได้แก่ 2, 3, 4, 5, 8 และ 10 % โดยปริมาตร ต่อลักษณะของยางระหว่างการผลิตและหลังผลิต และสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของยางแผ่นรมควันที่เตรียมได้
- 3) ผลของช่วงฤดูที่กรีดยาง ได้แก่ ช่วงกรีดปกติ (ธันวาคม: 2022) ,ช่วงก่อนปิดกรีด (กุมภาพันธ์: 2023), และ ช่วงเปิดกรีดใหม่ (พฤษภาคม: 2023) ต่อลักษณะของยางระหว่างการผลิตและหลังผลิต และสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของยางแผ่นรมควันที่เตรียมตามมาตรฐาน GMP
- 4) ผลของพื้นที่ปลูก ได้แก่ ภาคใต้ (จังหวัดนครศรีธรรมราช) และ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (จังหวัดบุรีรัมย์) ต่อลักษณะของยางระหว่างการผลิตและหลังผลิต สมบัติทางกายภาพและเชิงกลของยางแผ่นรมควันที่เตรียมตามมาตรฐาน GMP

4.1 ผลของปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางต่อลักษณะของยางระหว่างการผลิตและหลังผลิตและสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของยางแผ่นรมควัน

4.1.1 ผลของปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางต่อลักษณะการจับตัวของยาง

ตารางที่ 4 แสดงลักษณะของก้อนยางที่ได้จากการจับตัวน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งต่างๆ กัน เบื้องต้นพบว่าก้อนยางจากน้ำยางที่จับตัวตามภาวะที่กำหนดในมาตรฐาน GMP (ปริมาณเนื้อยางแห้งที่ 20% ใช้กรดฟอร์มิกความเข้มข้น 4% และใช้เวลาในการจับตัว 2.30 ชั่วโมง) มีการจับตัวอย่างสมบูรณ์ดังรูปที่ 12 และเมื่อนำก้อนยางที่ได้ไปรีดเป็นแผ่นไม่พบการฉีกขาดแต่อย่างใด เมื่อทำการแปรภาวะที่ใช้ในการจับตัวน้ำยางโดยลดปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางจาก 20% เป็น 15% พบว่าที่ปริมาณเนื้อยางแห้ง 15% เมื่อใช้กรดฟอร์มิกความเข้มข้น 4% น้ำยางสามารถจับตัวได้ แต่เมื่อเทียบ

กับภาวะอื่นที่ใช้เวลาในการจับตัวเท่ากัน ลักษณะก้อนยางของภาวะนี้มีความนิ่มและเมื่อนำไปรีดเป็นแผ่น ยางเกิดการขาดเป็นชิ้น ๆ เมื่อลดปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางจาก 20% เป็น 18% เวลาในการจับตัวและลักษณะก้อนยางที่ได้ไม่แตกต่างจากการจับตัวด้วยภาวะการผลิตตามมาตรฐาน GMP คือ ยางจับตัวสมบูรณ์และเมื่อนำก้อนยางที่ได้ไปรีดยางไม่เกิดการขาด และเมื่อเพิ่มปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางจาก 20% เป็น 25% ก้อนยางเกิดการจับตัวได้เร็วกว่าสูตรอื่น ๆ และเมื่อนำก้อนยางที่จับตัวสมบูรณ์แล้วไปเข้าเครื่องรีดแผ่นยาง ยางที่ได้จากการใช้น้ำยางที่มีปริมาณยางแห้ง 25% จะมีความหนาและแข็งกว่าที่ได้จากภาวะอื่นๆ

เมื่อมีการใช้ภาวะในการจับตัวน้ำยางที่แตกต่างจากที่กำหนดไว้ในมาตรฐานการทำยางแผ่นรมควันเกรด GMP จะพบว่ายางที่ได้มีลักษณะแตกต่างกันออกไป ถ้าใช้ปริมาณเนื้อยางแห้งน้อยเกินไป ยางจะนิ่มเมื่อนำไปรีดอาจจะขาดได้ ดังแสดงในรูปที่ 13 เนื่องจากปริมาณเนื้อยางที่มีน้อยเกินไปในการจับตัว แต่ถ้าใช้ปริมาณเนื้อยางแห้งมากเกินไป ยางจะจับตัวเร็วแต่จะทำให้ก้อนยางและแผ่นยางมีลักษณะแข็ง เมื่อนำไปยางไปรมควันเพื่อทำให้แห้งจะแห้งช้าหรืออาจจะไม่แห้งเนื่องจากความหนาของยางแผ่นที่มากเกินไปทำให้ในแผ่นยางมีการกักเก็บน้ำที่มากขึ้น เมื่อใช้อุณหภูมิปกติเหมือนในสูตรอื่นๆ ความสามารถในการระเหยของน้ำจะเป็นไปได้ยากและช้ากว่าในสูตรอื่นๆจึงทำให้ยางแผ่นไม่แห้งและจะมีลักษณะแสดงดังรูปที่ 14

ตารางที่ 4 อิทธิพลของปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางต่อลักษณะการจับตัวของน้ำยาง

ตัวแปร	ปริมาณเนื้อยางแห้ง (%DRC)			
	15%	18%	20%*	25%
pH (หลังจากเติมกรด)	4	4	4	3
เวลาในการจับตัว (ชั่วโมง)	2.30	2.30	2.30	2.00
ลักษณะการจับตัว	สมบูรณ์	สมบูรณ์	สมบูรณ์	สมบูรณ์
การรีดแผ่น	ขาด	สมบูรณ์	สมบูรณ์	สมบูรณ์

*ยางแผ่นรมควันที่เตรียมตามมาตรฐาน GMP



รูปที่ 12 ลักษณะของก้อนยางที่ผ่านการจับตัวด้วยกรดอย่างสมบูรณ์ (ภาวะที่ใช้ในการจับตัวน้ำยาง: ปริมาณเนื้อยางแห้ง 20% และกรดฟอร์มิกที่ความเข้มข้น 4%)



รูปที่ 13 ลักษณะของแผ่นยางที่ขาดหลังจากการรีด

(ภาวะที่ใช้ในการจับตัวน้ำยาง: ปริมาณเนื้อยางแห้ง 15% และกรดฟอร์มิคที่ความเข้มข้น 4%)



รูปที่ 14 ลักษณะของยางแผ่นที่ไม่แห้งหลังจากการรมควัน

(ภาวะที่ใช้ในการจับตัวน้ำยาง: ปริมาณเนื้อยางแห้ง 25% และกรดฟอร์มิคที่ความเข้มข้น 4%)

4.1.2 ผลของปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางต่อปริมาณสิ่งระเหยในยางแผ่นรมควัน

ตารางที่ 5 แสดงปริมาณสิ่งระเหยของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งต่างกัน พบว่า ยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 25% มีค่าปริมาณสิ่งระเหยที่สูงกว่าในสูตรอื่นๆ เนื่องจากความสามารถในการระเหยของน้ำเป็นไปได้ยาก เพราะยางแผ่นหลังรีดมีลักษณะหนาและแข็ง ทำให้การระเหยของน้ำในยางแผ่นจึงไม่สามารถเกิดได้อย่างสมบูรณ์เมื่อเทียบกับยางแผ่นสูตรอื่นๆ ดังนั้นหากมีการเปลี่ยนความเข้มข้นของปริมาณเนื้อยางแห้ง จะต้องเปลี่ยนภาวะในกระบวนการผลิต เช่น เตรียมแผ่นยางให้มีความหนาที่ลดลงโดยการลดปริมาณน้ำยางที่เติมลงในตะกวดเพื่อให้ก้อนยางบางลงและสามารถรีดแผ่นได้บางมากขึ้น

ตารางที่ 5 ปริมาณสิ่งระเหยของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งต่างกัน

ปริมาณเนื้อยางแห้ง (%)	ปริมาณสิ่งระเหย (%wt.)
15	0.43±0.02
18	0.41±0.01
20*	0.43±0.02
25	0.68±0.06

4.1.3 ผลของปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางต่อความหนืดมูนิและความอ่อนตัวเริ่มต้นของยางแผ่นรมควัน

ตารางที่ 6 แสดงค่าความหนืดมูนิและค่าความอ่อนตัวเริ่มต้นของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งแตกต่างกัน พบว่า น้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งแตกต่างกันจะทำให้ยางแห้งที่ได้มีค่าความหนืดมูนิต่างกัน ยิ่งน้ำยางที่ใช้มีปริมาณเนื้อยางแห้งมาก ค่าความหนืดมูนิของยางแผ่นรมควันที่ได้จะสูงขึ้น ยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 15% จะมีค่าความหนืดมูนิที่ต่ำกว่ายางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งที่ 25% อย่างเห็นได้ชัด ผลของความหนืดมูนิที่ได้สอดคล้องกับผลของความอ่อนตัวเริ่มต้นของยาง กล่าวคือยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 15% มีค่าความอ่อนตัวเริ่มต้นที่ต่ำกว่ายางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 25%

ตารางที่ 6 ความหนืดมูนิและความอ่อนตัวเริ่มต้นของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งต่างกัน

ปริมาณเนื้อยางแห้ง (%)	ความหนืดมูนิ (ML 1+4, 100°C)	ความอ่อนตัวเริ่มต้น (P ₀)
15	68.8±3.7	36.3±2.6
18	74.4±0.9	40.5±0.8
20*	74.9±0.8	42.0±1.5
25	78.6±0.6	44.3±1.3

*ยางแผ่นรมควันที่เตรียมตามมาตรฐาน GMP

4.1.4 ผลของปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางต่อปริมาณไนโตรเจนและปริมาณโปรตีนของยางแผ่นรมควัน

ตารางที่ 7 แสดงปริมาณไนโตรเจนและปริมาณโปรตีนของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งแตกต่างกัน พบว่า ปริมาณไนโตรเจนและปริมาณโปรตีนในยางแผ่น

รมควัน ไม่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สรุปได้ว่าการเจือจางปริมาณเนื้อยางแห้งไม่ได้ส่งผลปริมาณไนโตรเจนและปริมาณเนื้อยางแห้ง

ตารางที่ 7 ปริมาณไนโตรเจนของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งต่างกัน

ปริมาณเนื้อยางแห้ง (%)	ปริมาณไนโตรเจน (%)	ปริมาณโปรตีน (%)
15	0.420±0.006	2.652±0.035
18	0.434±0.007	2.715±0.041
20*	0.435±0.003	2.715±0.019
25	0.444±0.005	2.777±0.032

*ยางแผ่นรมควันที่เตรียมตามมาตรฐาน GMP

4.1.5 ผลของปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางต่อค่าดัชนีความอ่อนตัวของยางแผ่นรมควัน

ตารางที่ 8 แสดงค่าดัชนีความอ่อนตัว ของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งแตกต่างกัน พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งค่าดัชนีความอ่อนตัวบ่งบอกถึงการต้านทานการเสื่อมสภาพของยางและสามารถอ้างอิงถึงปริมาณโปรตีนได้ เนื่องจากโปรตีนสามารถทำหน้าที่ต้านทานการเสื่อมสภาพโดยธรรมชาติของยาง [23] ยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 15% และ 25% ให้ผลของปริมาณโปรตีนแตกต่างกันอยู่ที่ 0.125% มีค่าดัชนีความอ่อนตัวแตกต่างกันอยู่ที่ 5.2 หน่วย

ตารางที่ 8 ดัชนีความอ่อนตัวของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งต่างกัน

ปริมาณเนื้อยางแห้ง (%)	ดัชนีความอ่อนตัว (PRI)
15	72.6±1.5
18	73.1±1.3
20*	77.4±1.8
25	77.8±2.0

*ยางแผ่นรมควันที่เตรียมตามมาตรฐาน GMP

4.1.6 ผลของปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางต่อน้ำหนักโมเลกุลของยางแผ่นรมควัน

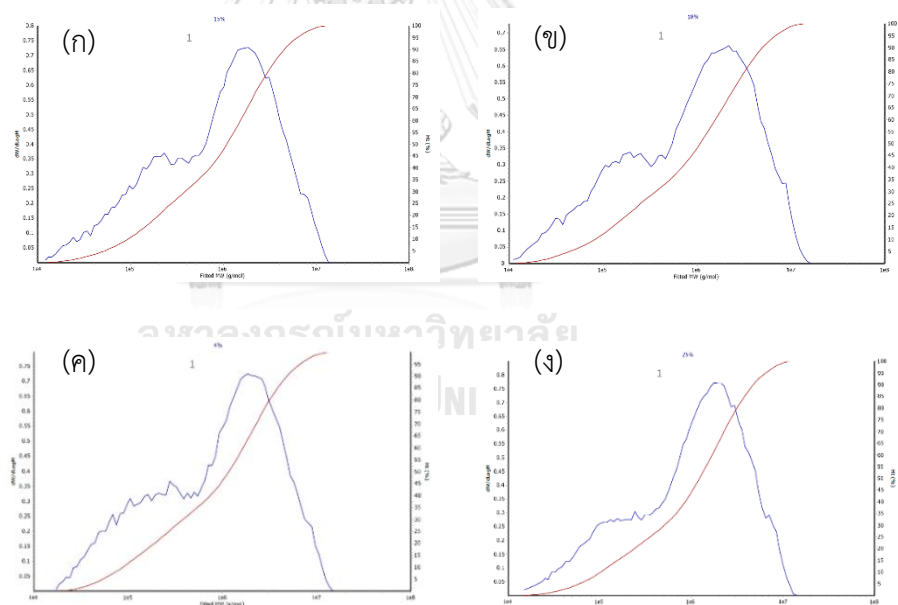
ตารางที่ 9 แสดงผลของน้ำหนักโมเลกุลและการกระจายตัวของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งที่แตกต่างกัน พบว่า ยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 15% มีค่าน้ำหนักโมเลกุล (\bar{M}_n และ \bar{M}_w) ไม่แตกต่างจากยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 25% แต่อยู่ที่ปริมาณเนื้อยางแห้ง % เกิดการจับตัวของอนุภาคขนาดเล็กของยางได้มากขึ้นดูได้จากกราฟการกระจายตัวดังรูปที่ 15 (ก) ซึ่งอาจจะส่งผลต่อค่าความหนืดมูนิและ

ความอ่อนตัวเริ่มต้นของยางโดยผลของปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางต่อน้ำหนักโมเลกุลของยางแผ่นรมควันเป็นไปในทางเดียวกันกับผลการทดสอบค่าความหนืดมูนี้และความอ่อนตัวเริ่มต้น กล่าวคือ เมื่อน้ำยางที่ใช้เตรียมยางแผ่นรมควันมีปริมาณเนื้อยางแห้งน้อยจะทำให้สมบัติข้างต้นต่ำ

ตารางที่ 9 น้ำหนักโมเลกุล (Number average molecular weight: \bar{M}_n และ Weight average molecular weight: \bar{M}_w) และการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight distribution: MWD) ของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งต่างกัน

ปริมาณเนื้อยางแห้ง (%)	\bar{M}_n , g/mol	\bar{M}_w , g/mol	MWD
15%	246,886	1,786,602	7.237
18%	219,871	1,903,953	8.659
20%*	261,818	1,898,821	7.252
25%	284,951	1,907,069	6.693

*ยางแผ่นรมควันที่เตรียมตามมาตรฐาน GMP



(ก) 15% (ข) 18% (ค) 20% และ (ง) 25%

รูปที่ 15 ลักษณะการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งต่างกัน

4.1.7 ผลของปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางต่อการเกิดเจลของยางแผ่นรมควัน

ตารางที่ 10 แสดงปริมาณเจลในยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งต่างกัน พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเนื้อยางแห้งทำให้ปริมาณเจลเกิดได้มากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณเนื้อยางแห้งทำให้การเกิดการเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่ของยางเพิ่มมากขึ้น ซึ่งปริมาณเจลที่เพิ่มขึ้นเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อสมบัติอื่นๆ ของยางแห้งได้

ตารางที่ 10 ปริมาณเจลของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งต่างกัน

ปริมาณเนื้อยางแห้ง (%)	ปริมาณเจล (%)
15	33.56±1.97
18	39.29±2.09
20*	41.78±0.88
25	46.65±3.14

*ยางแผ่นรมควันที่เตรียมตามมาตรฐาน GMP

4.1.8 ผลของปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางต่อสมบัติการคงรูปของยางแผ่นรมควัน

ตารางที่ 11 แสดงสมบัติการคงรูปของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งแตกต่างกัน พบว่าเมื่อน้ำยางที่ใช้การเตรียมยางแผ่นรมควันเมื่อมีปริมาณเนื้อยางแห้งที่แตกต่างกันไม่ได้ส่งผลต่อค่าแรงบิดต่ำสุดและสูงสุด (M_L , M_H) และค่าผลต่างของแรงบิด ($M_H - M_L$) อย่างมีนัยสำคัญ แต่ในส่วนของเวลาในการคงรูป (T_{s2} และ T_{c90}) พบว่ายางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งสูงจะมีค่า T_{s2} และ T_{c90} ลดลง คาดว่าการเพิ่มปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางทำให้มีส่วนที่ไม่ใช่ยาง เช่น กรดไขมันและโปรตีน ถูกจับตัวร่วมกับก้อนยางเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสารประกอบดังกล่าวมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาการเกิดการคงรูปจึงทำให้การคงรูปเกิดขึ้นเร็วขึ้น [8]

ตารางที่ 11 สมบัติการคงรูปของยางที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งแตกต่างกัน

ปริมาณเนื้อยางแห้ง (%)	M_L (dNm)	M_H (dNm)	$M_H - M_L$ (dNm)	T_{s2} (min)	T_{c90} (min)
15	0.72	5.8	5.1	8.4	12.0
18	0.70	5.9	5.2	8.1	12.0
20%*	0.89	6.1	5.2	6.7	10.3
25	0.75	6.1	5.4	6.6	10.4

*ยางแผ่นรมควันที่เตรียมตามมาตรฐาน GMP

4.1.9 ผลของปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางต่อสมบัติเชิงกลของยางแผ่นรมควัน

ตารางที่ 12 แสดงผลการทดสอบเชิงกลของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งที่แตกต่างกัน พบว่า เมื่อเทียบผลการทดสอบระหว่างยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งที่ 15% และ 25% จะเห็นว่า ค่าความทนต่อแรงดึง (Tensile strength) ของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 15% ให้ค่าที่ต่ำกว่าที่ 25% ซึ่งอาจเป็นผลมาจากน้ำหนักโมเลกุลของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งที่ 15% มีค่าต่ำกว่าและยังมีค่าการกระจายตัวที่กว้างกว่าจึงทำให้ความแข็งแรงเชิงกลต่ำกว่า อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบผลระหว่างยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 15% 18% 20% และ 25% กลับพบว่าผลการทดสอบไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน โดยยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งที่ 15% มีค่าความทนต่อแรงดึงสูงกว่าที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งที่ 18 และ 20%

ตารางที่ 12 ความทนต่อแรงดึงของยางแผ่นที่เตรียมจากน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งแตกต่างกัน

ปริมาณเนื้อยางแห้ง (%)	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	100% Modulus (MPa)	300% Modulus (MPa)
15%	28.3±1.4	671±10	1.06±0.06	2.66±0.01
18%	24.3±1.5	653±4	1.10±0.07	2.62±0.06
20%*	26.4±1.1	667±80	1.00±0.03	2.49±0.04
25%	29.8±2.5	682±34	1.05±0.02	2.61±0.06

*ยางแผ่นรมควันที่เตรียมตามมาตรฐาน GMP

จากผลการทดสอบ พบว่าการใช้น้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งที่แตกต่างกันส่งผลต่อลักษณะการจับตัวของน้ำยางและแผ่นยาง คือ เมื่อนำน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งน้อยกว่าที่มาตรฐาน GMP กำหนด (มาตรฐาน GMP กำหนดให้ใช้น้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 20%) คือ ใช้น้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 15% จะทำให้เวลาในการจับตัวอย่างสมบูรณ์ของน้ำยางเป็นไปได้ช้าลงเนื่องจากที่ค่า pH ของน้ำยางหลังเติมกรดฟอสฟอริกเพิ่มขึ้น อีกทั้งหลังการจับตัวอย่างสมบูรณ์พบวก่อนยางที่ได้มีลักษณะนิ่ม เมื่อนำไปรีดแผ่นยางจึงเกิดการขาด เมื่อนำปริมาณเนื้อยางแห้งสูงกว่าที่มาตรฐาน GMP กำหนดน้ำยางจะใช้เวลาในการจับตัวเร็วขึ้นเนื่องจากที่ค่า pH ของน้ำยางหลังเติมกรดลดลง อีกทั้งก่อนยางที่ได้จะมีลักษณะแข็งเมื่อนำไปผ่านเครื่องรีดแผ่นยางที่ได้จะมีความหนาสูง เมื่อนำไปรมควันเพื่อทำให้แห้งโดยใช้อุณหภูมิเท่ากับสูตรอื่นๆ การระเหยของน้ำในยางแผ่นไม่สมบูรณ์ทำให้ยางแผ่นไม่แห้ง ซึ่งเมื่อนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ พบว่า ปริมาณสิ่งระเหยในยางเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการเพิ่มปริมาณเนื้อยางแห้งยังส่งผลให้ค่าความอ่อนตัวเริ่มต้น ดัชนีความอ่อนตัวและความ

หนืดมูนี้ของยางแผ่นรมควันเพิ่มขึ้นอีกด้วย เนื่องจากเมื่อปริมาณเนื้อยางเพิ่มขึ้นโอกาสที่จะเกิดการเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่จะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งยืนยันได้จากปริมาณเจลในยางที่เกิดได้เพิ่มขึ้นเป็นผลให้สมบัติต่างๆ ข้างต้นเพิ่มขึ้นและเมื่อนำตัวอย่างยางไปทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่า เมื่อใช้น้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งแตกต่างกันพบว่าสมบัติเชิงกลของยางแผ่นรมควันไม่แตกต่างกัน ดังนั้นในเบื้องต้นสามารถสรุปได้ว่าน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อให้ได้ยางที่มีสมบัติทางกายภาพแตกต่างกัน แต่จะไม่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งการที่จะควบคุมสมบัติของยางแผ่นรมควันให้คงที่และสม่ำเสมอจำเป็นต้องควบคุมปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางให้คงที่

4.2 ผลของความเข้มข้นกรดฟอร์มิกที่ใช้ในการจับตัวน้ำยางต่อลักษณะและสมบัติของยางแผ่นรมควัน

4.2.1 ผลของความเข้มข้นกรดฟอร์มิกต่อลักษณะการจับตัวของยาง

ตารางที่ 13 แสดงลักษณะการจับตัวของยางเมื่อใช้ความเข้มข้นกรดฟอร์มิกแตกต่างกัน พบว่าลักษณะของก้อนยางที่ได้แตกต่างกันไป ก้อนยางที่จับตัวตามภาวะต่าง ๆ ที่กำหนดตามมาตรฐาน GMP มีการจับตัวอย่างสมบูรณ์ แสดงดังรูปที่ 4.1 และเมื่อนำก้อนยางที่ได้ไปรีด ยางไม่เกิดการขาดแต่อย่างใด เมื่อเปลี่ยนภาวะในการจับตัวโดยลดปริมาณความเข้มข้นกรดฟอร์มิกจาก 4% เป็น 2% และ 3% พบค่า pH ของน้ำยางหลังเติมกรดที่สูงขึ้นจึงส่งผลให้การจับตัวของก้อนยางใช้เวลานานขึ้น และเมื่อนำก้อนยางที่จับตัวสมบูรณ์แล้วนำไปรีด ยางไม่เกิดการขาดแต่อย่างใด เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดฟอร์มิกไปที่ 5% ซึ่งสูงกว่าความเข้มข้นของกรดที่ใช้ตามมาตรฐาน GMP การจับตัวของยางใช้เวลาเทียบเท่ากับที่ใช้ตามมาตรฐาน GMP แต่เมื่อนำก้อนยางไปรีดพบว่ายางเกิดการขาดเนื่องจากก้อนยางมีลักษณะแข็ง และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นกรดมากขึ้นไปที่ 8% จนถึง 10% พบค่า pH ของน้ำยางหลังเติมกรดน้อยลงเหลือ 3 และเวลาในการจับตัวเร็วขึ้น แต่เมื่อนำก้อนยางไปรีดแผ่นยางที่ได้เกิดการขาดและมีความแข็งมากกว่าสูตรอื่นๆ เมื่อนำยางแผ่นที่ได้ไปเข้าห้องรมควันพบว่ายางแผ่นที่ใช้ความเข้มข้นกรดสูงที่ 8% และ 10% ยางแผ่นจะแห้งไม่สมบูรณ์เนื่องจากการระเหยของน้ำเป็นไปได้น้อยกว่าเมื่อยางแผ่นมีลักษณะหนาและแข็งมากเกินไป และยางแผ่นที่ความเข้มข้นกรด 8% และ 10% จะมีสีที่เข้มกว่าสูตรที่ความเข้มข้นกรดต่ำกว่าและแผ่นยางมีลักษณะเยิ้มเนื่องจากการเสื่อมสภาพของยางแผ่นรมควัน

ตารางที่ 13 อิทธิพลของความเข้มข้นกรดฟอร์มิกที่แตกต่างกันต่อลักษณะของก้อนยางหลังจับตัว

ตัวแปร	ภาวะการจับตัวของก้อนยาง					
	ความเข้มข้นกรดฟอร์มิก					
	2%	3%	4%	5%	8%	10%
pH (หลังจากเติมกรด)	5	5	4	4	3	3
เวลาในการจับตัว (ชั่วโมง)	3.00	3.00	2.30	2.30	2.00	2.00
ลักษณะการจับตัว	สมบูรณ์	สมบูรณ์	สมบูรณ์	สมบูรณ์	สมบูรณ์	สมบูรณ์
การรีดแผ่น	สมบูรณ์	สมบูรณ์	สมบูรณ์	ขาด	ขาด	ขาด

4.2.2 ผลของความเข้มข้นกรดฟอร์มิกต่อปริมาณสิ่งระเหยในยางแผ่นรมควัน

ตารางที่ 14 แสดงปริมาณสิ่งระเหยของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำการใช้กรดฟอร์มิกที่ความเข้มข้นต่างกัน พบว่า ยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่มีกรดฟอร์มิกความเข้มข้น 8% และ 10% มีค่าปริมาณสิ่งระเหยที่สูงกว่าในสูตรอื่นๆ เนื่องจากความสามารถในการระเหยของน้ำเป็นไปได้ยาก เพราะยางแผ่นหลังรีดมีลักษณะหนาและแข็ง ทำให้การระเหยของน้ำในยางแผ่นจึงไม่สามารถเกิดได้อย่างสมบูรณ์เมื่อเทียบกับยางแผ่นสูตรอื่นๆ

ตารางที่ 14 ปริมาณสิ่งระเหยของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากกรดฟอร์มิกความเข้มข้นแตกต่างกัน

ความเข้มข้นกรดฟอร์มิก (%wt.)	ปริมาณสิ่งระเหย (%wt.)
2	0.41±0.07
3	0.49±0.03
4*	0.43±0.02
5	0.51±0.05
8	0.69±0.04
10	0.72±0.04

4.2.2 ผลของความเข้มข้นกรดฟอร์มิกต่อความหนืดมูนิและความอ่อนตัวเริ่มต้นของยางแผ่นรมควัน

ตารางที่ 15 แสดงค่าความหนืดมูนิของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิกที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่าความหนืดมูนิของยางแผ่นรมควันลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นกรดจาก 2% ไปที่ 10% และสอดคล้องกับความอ่อนตัวเริ่มต้นของยางที่ลดลงเช่นเดียวกันเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดฟอร์มิก ซึ่งค่าความหนืดมูนิและความอ่อนตัวเริ่มต้นจะขึ้นอยู่กับความยาวสายโซ่ของพอลิไอโซพรีน อาจสรุปได้ว่าปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้นทำให้สายโซ่ของยางถูกตัดขาดได้มากขึ้น จึงทำให้ค่าความหนืดมูนิและความอ่อนตัวเริ่มต้นของยางลดลงไปด้วย

ตารางที่ 15 ค่าความหนืดมูนิและความอ่อนตัวเริ่มต้นของยางแผ่นรมควันที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิกที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

ความเข้มข้นกรดฟอร์มิก (%wt.)	ความหนืดมูนิ (ML 1+4, 100°C)	ความอ่อนตัวเริ่มต้น (P ₀)
2	75.9±1.6	41.6±0.6
3	75.5±0.3	42.1±0.7
4*	74.9±0.8	42.0±1.5
5	70.8±0.3	43.3±1.6
8	69.8±0.7	41.0±0.7
10	66.9±1.6	36.9±1.6

*ยางแผ่นรมควันที่เตรียมตามมาตรฐาน GMP

4.2.3 ผลของความเข้มข้นกรดฟอร์มิกต่อดัชนีความอ่อนตัวของยางแผ่นรมควัน

ตารางที่ 16 แสดงค่าดัชนีความอ่อนตัวของยางแผ่นรมควันที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิกที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่า ที่ความเข้มข้นกรดฟอร์มิก 2% ยางแผ่นรมควันที่ได้มีค่าดัชนีความอ่อนตัวที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับยางแผ่นรมควันที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิกที่ความเข้มข้นอื่น และที่ 10% มีค่าดัชนีความอ่อนตัวที่ต่ำที่สุด ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการที่ความเข้มข้นของกรดฟอร์มิกมากเกินไปจะทำให้ยางธรรมชาติเกิดการเสื่อมสภาพจึงเป็นผลให้ดัชนีความอ่อนตัวต่ำลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรด อย่างไรก็ตามการใช้กรดฟอร์มิกที่ความเข้มข้นต่ำจะทำให้การจับตัวของน้ำยางเกิดได้อย่างไม่สมบูรณ์

ตารางที่ 16 ค่าดัชนีความอ่อนตัวของยางแผ่นรมควันที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิคที่ความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้นกรดฟอร์มิค (%wt.)	ดัชนีความอ่อนตัว (PRI)
2	85.5±1.1
3	84.1±0.7
4*	77.4±1.8
5	76.5±1.9
8	73.3±1.3
10	60.6±1.1

*ยางแผ่นรมควันที่เตรียมตามมาตรฐาน GMP

4.2.4 ผลของความเข้มข้นกรดฟอร์มิคต่อปริมาณไนโตรเจน

ตารางที่ 17 แสดงปริมาณไนโตรเจนของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิคที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่า ปริมาณไนโตรเจนของตัวอย่างแต่ละสูตรไม่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากน้ำยางที่ใช้มาจากแหล่งเดียวกัน พันธุ์และอายุยางเท่ากัน ซึ่งการเพิ่มปริมาณของกรดฟอร์มิคไม่ได้ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนเพิ่มหรือลดลงแต่อย่างใด

ตารางที่ 17 ปริมาณไนโตรเจนของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิคที่ความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้นกรดฟอร์มิค (%wt.)	ปริมาณไนโตรเจน (%)
2	0.42±0.01
3	0.44±0.01
4*	0.42±0.01
5	0.43±0.02
8	0.45±0.01
10	0.43±0.01

*ยางแผ่นรมควันที่เตรียมตามมาตรฐาน GMP

4.2.5 ผลของความเข้มข้นกรดฟอร์มิคต่อน้ำหนักโมเลกุลของยาง

ตารางที่ 18 แสดงผลของน้ำหนักโมเลกุลและการกระจายตัวของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิคที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่า ยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิคที่ความเข้มข้นกรด 2% ให้ค่าน้ำหนักโมเลกุลที่ต่ำทั้งการหาต่อจำนวนและน้ำหนัก และให้ค่าการกระจายตัวที่ค่อนข้างกว้าง อาจเนื่องมาจากความสามารถในการจับตัวของสายโซ่ที่ทำได้น้อยเพราะปริมาณความเข้มข้นของกรดน้อยจึงทำให้ค่าการกระจายตัวมีค่าสูงกว่ายางแผ่น

รมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิคที่ความเข้มข้นสูงขึ้น และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นกรดความสามารถในการจับตัวเพิ่มมากขึ้นค่าการกระจายตัวจึงต่ำลงไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มความเข้มข้นกรดไปที่ 10% กลับพบว่าค่าน้ำหนักโมเลกุลที่ต่ำที่สุดทั้งการหาต่อจำนวนและน้ำหนักและให้ค่าการกระจายตัวที่ค่อนข้างกว้าง อาจเนื่องมาจากการตัดสายโซ่ของกรดฟอร์มิคที่มากเกินไปที่ใช้ในการจับตัวจึงทำให้ได้ผลเช่นนี้

ตารางที่ 18 น้ำหนักโมเลกุล (Number average molecular weight: \bar{M}_n และ Weight average molecular weight: \bar{M}_w) และการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight distribution: MWD) ของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิคที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

ความเข้มข้นกรดฟอร์มิค (%wt.)	\bar{M}_n (g/mol)	\bar{M}_w (g/mol)	MWD
2	47,505	1,354,407	28.510
3	217,076	1,655,373	7.626
4*	284,210	2,001,543	7.042
5	410,642	1,935,842	4.714
8	194,660	2,021,174	10.380
10	42,429	1,402,443	33.050

*ยางแผ่นรมควันที่เตรียมตามมาตรฐาน GMP

4.2.6 ผลของความเข้มข้นกรดฟอร์มิคต่อปริมาณการเกิดเจลในยางแผ่นรมควัน

ตารางที่ 19 แสดงปริมาณการเกิดเจลในยางแผ่นรมควันที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิคความเข้มข้นต่างกัน พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดฟอร์มิคจะส่งผลให้ปริมาณเจลเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เพราะสายโซ่ของยางเกิดการเชื่อมโยงเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากกรดฟอร์มิคที่ใช้ในการจับตัวเข้มข้นขึ้น ตารางที่ 19 แสดงปริมาณการเกิดเจลในยางแผ่นรมควันที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิคความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้นกรดฟอร์มิค (%wt.)	ปริมาณเจล (%)
2	20.77±1.57
3	23.66±0.09
4*	30.95±0.18
5	30.07±0.19
8	33.01±0.02
10	35.23±1.22

4.2.7 ผลของความเข้มข้นกรดฟอร์มิกต่อสมบัติการคงรูปของยางแผ่นรมควัน

ตารางที่ 20 แสดงสมบัติการคงรูปของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่จับตัวน้ำยางด้วยกรดฟอร์มิกที่ความเข้มข้นต่างกัน พบว่าเมื่อใช้กรดฟอร์มิกที่ความเข้มข้นแตกต่างกันในการจับตัวน้ำยางไม่ได้ส่งผลต่อค่าแรงบิดต่ำสุดและสูงสุด (M_L , M_H) และค่าผลต่างของแรงบิด ($M_H - M_L$) อย่างมีนัยสำคัญ แต่ในส่วนของเวลาในการคงรูป (T_{s2} และ T_{c90}) ความเข้มข้นของกรดฟอร์มิกที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า T_{s2} และ T_{c90} เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้เป็นผลมาจากอาจมีกรดที่หลงเหลือในเนื้อยาง ซึ่งกรดสามารถหน่วงปฏิกิริยาการคงรูปของยาง จึงทำให้การคงรูปของยางช้าลง

ตารางที่ 20 สมบัติการคงรูปของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิกที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

ความเข้มข้นกรดฟอร์มิก (%wt.)	M_L (dNm)	M_H (dNm)	$M_H - M_L$ (dNm)	T_{s2} (min)	T_{c90} (min)
2	0.67	5.9	5.3	5.94	8.95
3	0.66	6.0	5.3	6.22	9.34
4*	0.89	6.1	5.2	5.94	9.54
5	0.63	5.6	4.9	6.13	9.12
8	0.67	6.2	5.5	6.15	9.91
10	0.65	6.3	5.6	6.72	10.30

*ยางแผ่นรมควันที่เตรียมตามมาตรฐาน GMP

4.2.7 ผลของความเข้มข้นกรดฟอร์มิกต่อสมบัติเชิงกลของยางแผ่นรมควัน

ตารางที่ 21 แสดงผลการทดสอบเชิงกลของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิกที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่า ความทนต่อแรงดึงของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิกที่ความเข้มข้น 10% ไม่ได้แตกต่างจากของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิกที่ความเข้มข้นที่ต่ำกว่า ถึงแม้ว่ายางแผ่นรมควันจะเกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจากการตัดขาดของสายโซ่ แต่พบว่ามีปริมาณเจลสูงกว่าในสูตรยางที่เตรียมโดยใช้กรดฟอร์มิกที่ความเข้มข้นอื่น ด้วยเหตุผลนี้เมื่อนำยางไปทำคอมพาวนด์และขึ้นรูป จึงส่งผลให้ค่าความทนต่อแรงดึงไม่ได้ต่ำกว่าในสูตรอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตามพบว่าระยะยืดสูงสุดมีค่าสูงสุดเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดฟอร์มิกไปที่ 5% และจะเริ่มลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดฟอร์มิกไปที่ 8% และ 10% เนื่องจากการเสื่อมสภาพของยางแผ่นรมควันจะทำให้การยืดของยางเป็นไปได้น้อยลงซึ่งจะทำให้ค่าความยืดหยุ่นของยางลดต่ำลงไปด้วย เมื่อพิจารณาค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 100% และ 300% พบว่าการแปรความเข้มข้นของกรดฟอร์มิกที่ใช้จับตัวน้ำยางไม่ส่งผลต่อค่ามอดูลัสของยางคงรูปที่ได้

ตารางที่ 21 สมบัติความทนต่อแรงดึงของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิคที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

ความเข้มข้น กรดฟอร์มิค (%wt.)	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	100% Modulus (MPa)	300% Modulus (MPa)
2	27.1±0.8	644±10	1.2±0.02	3.0±0.07
3	26.0±0.8	639±2	1.1±0.04	2.7±0.10
4*	26.0±0.4	667±15	1.0±0.02	2.5±0.06
5	28.1±0.2	686±6	1.0±0.04	2.4±0.11
8	28.9±0.9	640±6	1.2±0.02	3.0±0.04
10	29.2±0.1	650±1	1.2±0.02	3.0±0.07

*ยางแผ่นรมควันที่เตรียมตามมาตรฐาน GMP

จากผลการทดสอบ พบว่า การใช้ความเข้มข้นกรดฟอร์มิคในการเตรียมยางแผ่นรมควันจะส่งผลสมบัติของยางแผ่นรมควันแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด คือ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดฟอร์มิคจะทำให้ยางแผ่นรมควันไม่แห้งเนื่องจากยางแผ่นหลังรีดมีความหนาและแข็งกว่าสูตรที่ใช้กรดฟอร์มิคที่ความเข้มข้นต่ำ และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดฟอร์มิคจะทำให้ยางแผ่นรมควันมีลักษณะเยิ้มเหนียวและมีสีเข้มเกิดจากการเสื่อมสภาพของยางแผ่นรมควัน เป็นผลให้ดัชนีความอ่อนตัว ความอ่อนตัวเริ่มต้น และความหนืดมูลดลงตามไปด้วย และผลของน้ำหนักรีดเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดฟอร์มิคจาก 3% ไป 5% พบว่าน้ำหนักรีดจะเพิ่มขึ้น และการกระจายตัวของน้ำหนักรีดจะแคบลง แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดฟอร์มิคไปที่ 8% และ 10% พบว่าน้ำหนักรีดจะลดลง และการกระจายตัวของน้ำหนักรีดจะกว้างขึ้น เมื่อทำการทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่า ผลของความทนต่อแรงดึงไม่ได้มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดที่ความเข้มข้นกรดแตกต่างกัน เนื่องจากปริมาณเจลในยางแผ่นรมควันที่ 8% และ 10% เกิดขึ้นได้มาก แต่ผลของการทดสอบระยะยืด ณ จุดขาดพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดฟอร์มิคไปที่ 5% ระยะยืด ณ จุดขาดจะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นกรดฟอร์มิคไปที่ 8% และ 10% จะทำให้ระยะยืด ณ จุดขาดลดลง เนื่องมาจากการเสื่อมสภาพของยาง ดังนั้นการที่จะควบคุมสมบัติของยางแผ่นรมควันให้ดี จำเป็นต้องใช้กรดฟอร์มิคที่ความเข้มข้นในช่วง 4% และ 5% ซึ่งจะใช้เวลาในการจับตัวที่เหมาะสม และสมบัติทางกายภาพและทางกลที่ดี

4.3 ผลของฤดูกาลกรีดยางต่อสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของยางแผ่นรมควัน

4.3.1 ผลของฤดูกาลกรีดยางที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำยาง

ตารางที่ 22 แสดงคุณภาพของน้ำยางสดจากช่วงฤดูกาลกรีดยางที่ต่างกัน คือ ช่วงกรีดปกติ ในเดือนธันวาคม และช่วงก่อนปิดกรีด ในเดือนกุมภาพันธ์ พบว่าในช่วงกรีดปกติ ทั้งปริมาณของแข็งรวม (Total solid content, TSC) และ ปริมาณของยางแห้งรวม (Dry rubber content, DRC) สูงกว่าในช่วงก่อนปิดกรีด เนื่องจากความสามารถในการสังเคราะห์เนื้อยางของต้นยางขึ้นอยู่กับปริมาณใบและฤดูกาล [24] ซึ่งในช่วงเดือนกุมภาพันธ์เป็นช่วงที่ต้นยางเริ่มเกิดการผลัดใบและในช่วงนี้ปริมาณน้ำฝนลดลงเป็นอย่างมาก ด้วยสาเหตุเหล่านี้จึงทำให้การสังเคราะห์เนื้อยางของต้นยางเกิดได้น้อย จึงทำให้ผลของปริมาณ TSC และ DRC ลดลงไปจากช่วงเดือนธันวาคม และเมื่อต้นยางผลิใบใหม่คือในช่วงเดือนพฤษภาคม ซึ่งถือเป็นช่วงเปิดกรีดใหม่ของยาง จะพบค่า DRC และ TSC เริ่มเพิ่มขึ้นเนื่องจากการสังเคราะห์เนื้อยางได้เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของใบ

ตารางที่ 22 คุณภาพของน้ำยางที่ได้จากการกรีดในช่วงฤดูกาลกรีดต่างกัน

สมบัติของน้ำยาง	ช่วงฤดูกาล		
	ช่วงกรีดปกติ (ธันวาคม: 2022)	ช่วงก่อนปิดกรีด (กุมภาพันธ์: 2023)	ช่วงเปิดกรีดใหม่ (พฤษภาคม: 2023)
DRC, %	36.66±0.49	31.23±0.94	34.20±0.80
TSC, %	39.03±0.55	35.75±0.61	36.98±0.56

4.3.2 ผลของฤดูกาลกรีดต่อสมบัติทางกายภาพของยางแผ่นรมควัน

ตารางที่ 23 แสดงผลการทดสอบทางกายภาพของยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่ได้จากการกรีดในช่วงฤดูกาลต่างกัน พบว่า ในช่วงกรีดปกติคือในเดือนธันวาคม ยางแผ่นรมควันมีค่าเถ้าและค่าไนโตรเจนที่ต่ำกว่ายางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่ได้จากช่วงใกล้ปิดกรีดคือเดือนกุมภาพันธ์ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากในช่วงใกล้ปิดกรีดยาง จะเป็นช่วงที่ใบของต้นยางร่วง ทำให้ช่วงนี้ธาตุอาหารต่าง ๆ ที่อยู่ในต้นยางไม่จำเป็นต้องส่งขึ้นไปหล่อเลี้ยงใบ จึงทำให้ธาตุอาหารต่าง ๆ เหล่านี้ย้อนกลับมาอยู่ที่ลำต้นจึงทำให้ปริมาณเถ้าและปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นในฤดูกาลใกล้ปิดกรีด และจะเริ่มลดลงเมื่อต้นยางเริ่มผลิใบใหม่จึงทำให้ค่าไนโตรเจนเริ่มลดลงเมื่ออยู่ในช่วงเปิดกรีดใหม่ในเดือนพฤษภาคม

เมื่อพิจารณาผลของฤดูกาลกรีดต่อความอ่อนตัวเริ่มต้น ดัชนีความอ่อนตัว และค่าความหนืดมูนิ พบว่ายางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่ได้จากการกรีดในช่วงกรีดปกติจะมีค่าความอ่อนตัวเริ่มต้นและค่าดัชนีความอ่อนตัวที่สูงกว่ายางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่ได้จากการกรีดในช่วงก่อนปิดกรีดเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม พบว่าค่าความหนืดมูนิของยางแผ่นรมควันขึ้นอยู่กับช่วงฤดูกาลกรีดค่อนข้างชัดเจน โดยยางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่ได้จากการกรีดในช่วงกรีดปกติจะมีความหนืดมูนิที่สูงกว่ายางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่ได้จากการกรีดในช่วงก่อนปิดกรีด 6 หน่วย

ตารางที่ 23 สมบัติทางกายภาพของยางแผ่นรมควันที่ได้จากน้ำยางในช่วงฤดูกาลกรีดต่างกัน

สมบัติทางกายภาพ	ช่วงฤดูกาล		
	ช่วงกรีดปกติ (ธันวาคม: 2022)	ช่วงก่อนปิดกรีด (กุมภาพันธ์: 2023)	ช่วงเปิดกรีดใหม่ (พฤษภาคม: 2023)
ปริมาณสิ่งสกปรก, %wt.	0.018±0.003	0.020±0.001	0.017±0.004
ปริมาณเถ้า, %wt.	0.220±0.020	0.510±0.026	0.24±0.05
ปริมาณสิ่งระเหย, %wt.	0.350±0.026	0.553±0.032	0.38±0.03
ปริมาณไนโตรเจน, %wt.	0.48±0.015	0.67±0.032	0.35±0.04
ความอ่อนตัวเริ่มต้น (P_0)	45.5±1.0	43.5±1.7	43.3±2.1
ดัชนีความอ่อนตัว (PRI)	85.6±0.8	84.3±1.0	83.0±2.4
ความหนืดมูนิ (ML 1+4, 100°C)	74±1.1	66.1±2.1	77.3±2.4

4.4 ผลของพื้นที่ปลูกยางต่อสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของยางแผ่นรมควัน

4.4.1 สมบัติของดินจากบริเวณพื้นที่ปลูกยางที่ต่างกัน

จากตารางที่ 24 แสดงค่าการวิเคราะห์ดินในพื้นที่ปลูกยางต่างกันที่คนละภาคของประเทศไทย คือที่ภาคใต้ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่าพีเอชในดินของทั้งสองพื้นที่ปลูกมีค่าไม่แตกต่างกันมาก คือ $5.33±0.09$ และ $5.26±0.07$ (ภาคใต้และภาคอีสาน) ซึ่งถือว่าเป็นค่าพีเอชที่เหมาะสมในการปลูกยางพารา โดยจากรายงานพบว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมในการปลูกยางพารา คือ 4.5-5.5 (นุชนารถ, 2008) ปริมาณไนโตรเจนในดินมีส่วนสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการเพิ่มผลผลิตของต้นยาง ซึ่งจากตารางที่ 24 พบว่าปริมาณไนโตรเจนของทั้ง 2 พื้นที่ปลูกไม่มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด อาจส่งผลต่อค่าไนโตรเจนในยางที่จะกล่าวถึงในผลการทดลองต่อไป ค่าโพแทสเซียมและค่าฟอสฟอรัสจะพบมากในดินที่มีปริมาณดินเหนียวสูงและจะพบน้อยในดินที่เป็นดินทราย ซึ่งจากตารางที่ 24 พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสในดินจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าสูงกว่าดินจากภาคใต้ เนื่องจากว่าดินของทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีลักษณะเป็นดินเหนียวที่มากกว่าจึงทำ

ให้ปริมาณฟอสฟอรัสมีค่ามากกว่า ผลของปริมาณซิงค์จากตารางที่ 24 พบว่า ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีปริมาณซิงค์ที่ต่ำกว่าภาคใต้เนื่องจากผลของปริมาณฟอสฟอรัสที่สูงทำให้ความเป็นประโยชน์ของซิงค์ในดินลดลง ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณน้ำยาที่ลดลงและทำให้ต้นยางอ่อนแอได้

ตารางที่ 24 สมบัติของดินต่างพื้นที่ปลูกยางที่ใช้ในการทดลอง

ค่าวิเคราะห์ดิน	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (จังหวัดบุรีรัมย์)	ภาคใต้ (จังหวัดนครศรีธรรมราช)
พีเอช (pH)	5.33±0.09	5.26±0.07
ไนโตรเจน (%)	0.23±0.02	0.21±0.03
โพแทสเซียม (mg/kg)	45.92±0.37	35.66±1.64
ฟอสฟอรัส (mg/kg)	20.64±0.10	6.33±0.11
ซิงค์ (mg/kg)	0.109±0.001	0.194±0.001

4.4.2 ผลของพื้นที่ปลูกยางต่อสมบัติของยางแผ่นรมควัน

จากตารางที่ 25 แสดงสมบัติของยางแผ่นรมควันจากต่างพื้นที่ปลูก พบว่าปริมาณสิ่งสกปรกและปริมาณสิ่งระเหยของยางแผ่นรมควันจากทั้ง 2 พื้นที่ปลูกไม่ได้มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเนื่องจากการควบคุมการผลิตตามมาตรฐาน GMP ซึ่งจะกำหนดขนาดของตะแกรงกรองและอุณหภูมิในการผลิต จึงทำให้ตัวแปร 2 ค่านี้ไม่ได้แตกต่างกันเมื่อผลิตจากต่างพื้นที่ ส่วนของปริมาณเถ้าของยางแผ่นรมควันจากตารางที่ 25 พบว่ายางจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีปริมาณเถ้ามากกว่ายางจากภาคใต้ ซึ่งปริมาณเถ้าเกิดจากปริมาณสารและแร่ธาตุต่าง ๆ ตลอดจนแร่ธาตุที่ต้นยางดูดซับมาจากดิน เช่น เหล็ก แคลเซียม โพแทสเซียม และฟอสฟอรัส เป็นต้น [25] จากผลการวิเคราะห์ดินจากตารางที่ 24 พบว่าปริมาณโพแทสเซียมและฟอสฟอรัสของยางจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีมากกว่ายางจากภาคใต้ จึงทำให้ปริมาณเถ้าของยางจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีค่ามากกว่า ส่วนของปริมาณไนโตรเจนของยางแผ่นรมควันที่มาจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคใต้ผลพบไม่ได้แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งปริมาณไนโตรเจนในยางสามารถเกิดได้จากความต่างของฤดูกาล [7] [24] และการดูดซับสารอาหารจากดิน [26] ซึ่งการเตรียมยางแผ่นรมควันนี้เตรียมจากช่วงเวลาและฤดูกาลเดียวกันผลของฤดูกาลจึงไม่มีผล ในส่วนของการวิเคราะห์ดินจากตารางที่ 24 พบว่าปริมาณไนโตรเจนไม่ได้แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดจึงทำให้ปริมาณไนโตรเจนในยางแผ่นรมควันไม่แตกต่างกันมากนัก ส่วนของค่า P_0 , PRI และ ความหนืดมูนิ พบว่าไม่ได้แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเนื่องจากการควบคุมอายุต้นยางให้อยู่ในช่วงเดียวกันและพันธุ์ยางเดียวกัน ดังนั้นถึงแม้จะมีการเตรียมยางแผ่นรมควันโดยควบคุมมาตรฐานการผลิตตาม GMP แต่พบว่าหากพื้นที่ปลูกของยางแตกต่างกัน เนื่องจาก

สมบัติของดิน เช่น ปริมาณแร่ธาตุของดินในแต่ละพื้นที่แตกต่างกัน จึงทำให้สมบัติของยางแผ่นรมควันแตกต่างกัน

ตารางที่ 25 สมบัติของยางแผ่นรมควันจากพื้นที่ปลูกยางที่ต่างกัน

สมบัติทางกายภาพ	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (จังหวัดบุรีรัมย์)	ภาคใต้ (จังหวัดนครศรีธรรมราช)
ปริมาณสิ่งสกปรก, %wt.	0.015±0.003	0.013±0.002
ปริมาณสิ่งระเหย, %wt.	0.36±0.05	0.36±0.01
ปริมาณเถ้า, %wt.	0.38±0.01	0.23±0.03
ปริมาณไนโตรเจน, %wt.	0.46±0.04	0.47±0.05
ความอ่อนตัวเริ่มต้น (P_o)	45.2±0.6	47.96±0.6
ดัชนีความอ่อนตัว (PRI)	77.3±2.6	73.9±1.5
ความหนืดมูนิ (ML 1+4, 100°C)	76.6±2.1	75.6±1.1

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่ายางที่เตรียมภายใต้ภาวะเดียวกันอาจจะมีสมบัติแตกต่างกัน เช่น ปริมาณเถ้าและปริมาณไนโตรเจน ทั้งนี้เป็นผลมาจากพื้นที่เพาะปลูกที่มีปริมาณแร่ธาตุในดินแตกต่างกัน



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ยางแผ่นรมควันถือเป็นสินค้าการเกษตรที่สำคัญของประเทศไทย การพัฒนาให้มีสมบัติทั้งกายภาพและเชิงกลให้สม่ำเสมอจึงเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง งานวิจัยได้ทำการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ภาวะของกระบวนการผลิตซึ่งประกอบด้วย ปริมาณของยางแห้งในน้ำยางที่นำมาเตรียมเป็นยางแผ่นรมควันและความเข้มข้นของกรดที่ใช้ในกระบวนการจับตัวน้ำยาง ปัจจัยของฤดูกาล และพื้นที่การปลูก ต่อสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของยางแผ่นรมควัน โดยสามารถสรุปได้ว่า

กระบวนการผลิตส่งผลต่อสมบัติของยางแผ่นรมควันเป็นอย่างมาก โดยการศึกษาอิทธิพลของปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางต่อสมบัติของยางแผ่นรมควันพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเนื้อยางแห้ง จะทำให้อายุการใช้งานของยางแผ่นรมควันมีปริมาณสิ่งระเหยเพิ่มขึ้น เนื่องจากความสามารถในการแห้งอย่างสมบูรณ์เป็นไปได้ยาก เพราะยางแผ่นหลังรีดมีลักษณะแข็งและหนา เมื่อนำไปเข้าห้องรมควันยางแผ่นจะมีการระเหยของน้ำช้าและไม่สมบูรณ์ซึ่งจะทำให้มีปริมาณความชื้นและสิ่งระเหยสูงกว่าในสูตรอื่น และปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลทำให้ค่า P_0 , PRI และความหนืดมูนิ เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งเป็นผลมาจากการเมื่อน้ำยางมีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น ระหว่างกระบวนการจับตัวด้วยกรด สายโซ่ยางอาจสามารถเกิดการเชื่อมขวางได้มากขึ้นซึ่งบ่งชี้ได้จากปริมาณเจลที่เพิ่มมากขึ้นตามปริมาณเนื้อยางแห้ง แต่ในขณะเดียวกันสมบัติเชิงกลทั้งความทนต่อแรงดึงและระยะยืด ณ จุดขาด ไม่แตกต่างกันเนื่องจากระหว่างกระบวนการคงรูป ยางเกิดการเชื่อมขวาง (Crosslink density) ในปริมาณที่เท่ากัน ผลของสมบัติเชิงกลจึงไม่ได้แตกต่างกันมากนัก ซึ่งถ้าจะควบคุมสมบัติของยางแผ่นรมควันให้เป็นไปได้อย่างสม่ำเสมอก็ควรที่ควบคุมปริมาณเนื้อยางแห้งให้คงที่ในทุกๆการผลิต แต่ถ้าหากมีความจำเป็นที่จะต้องปรับเปลี่ยนปริมาณเนื้อยางแห้ง ก็ควรที่จะปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตด้วย เช่น ลดปริมาณน้ำยางในตะกอนเพื่อให้ได้ก้อนยางที่เล็กลง ซึ่งจะได้แผ่นยางที่บางลงเมื่อผ่านเครื่องรีด หรือทำการปรับระยะของลูกกลิ้งที่เครื่องรีดเพื่อเพิ่มความสามารถในการรีดให้แผ่นยางมีความหนาลดลงได้

การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นกรดฟอร์มิกที่ใช้ในการจับตัวน้ำยางต่อสมบัติของยางแผ่นรมควันพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นกรดฟอร์มิก จะทำให้น้ำยางมีค่า pH ที่ลดลง และเกิดการจับตัวได้เพิ่มขึ้น แต่ยางจะมีลักษณะแข็งและความสามารถในการแห้งอย่างสมบูรณ์เป็นไปได้ยากซึ่งจะส่งผลต่อค่าสิ่งระเหยที่เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดฟอร์มิก ค่า P_0 , PRI และความหนืดมูนิจะลดลง เนื่องจากปริมาณกรดที่มากเกินไปทำให้เกิดการตัดขาดสายโซ่ในยางแผ่นรมควันมากขึ้น เมื่อนำยางคอมพาวนด์ที่ได้ไปทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่าความทนต่อแรงดึงไม่แตกต่างกันนักเมื่อ

ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของกรด เนื่องจากการที่เพิ่มความเข้มข้นกรดที่ใช้ในการจับตัวการเกิดการเชื่อมขวางในยางเป็นไปได้อย่างมากขึ้นหรือการเกิดเจลที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งถึงแม้ว่ายางจะเกิดการเสื่อมสภาพ แต่เมื่อนำมาผสมสารเคมีเพื่อให้เกิดการเชื่อมขวาง การเชื่อมขวางจะเป็นไปได้ในอัตราที่เทียบเท่ากับสูตรอื่นๆ จึงส่งผลให้ค่าความทนต่อแรงดึงไม่ได้แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นการใช้กรดฟอร์มิกในการจับตัวยางแผ่นรมควันควรใช้ความเข้มข้นกรดฟอร์มิกในปริมาณที่เหมาะสม คือ ที่ 4% และ 5% เนื่องจากใช้เวลาในการจับตัวที่เหมาะสม และให้สมบัติทางกายภาพและทางกลที่ดี

ช่วงฤดูการกรีดยางเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติของน้ำยางและยางแผ่นรมควัน โดยพบว่าในช่วงกรีดยาง ยางที่ได้จะมีปริมาณของแข็งรวม (Total solid content, TSC) และ ปริมาณของยางแห้งรวม (Dry rubber content, DRC) สูงกว่ายางที่กรีดยางในช่วงก่อนปิดกรีดยาง เนื่องจากความสามารถในการสังเคราะห์เนื้อยางของต้นยางขึ้นอยู่กับปริมาณใบและฤดูกาล ซึ่งในช่วงเดือนกุมภาพันธ์เป็นช่วงที่ต้นยางเริ่มเกิดการผลัดใบและในช่วงนี้ปริมาณน้ำฝนลดลงเป็นอย่างมาก ด้วยสาเหตุเหล่านี้จึงทำให้การสังเคราะห์เนื้อยางของต้นยางเกิดได้น้อย จึงทำให้ผลของปริมาณ TSC และ DRC ลดลงไปจากช่วงเดือนธันวาคม และเมื่อต้นยางผลัดใบใหม่ คือในช่วงเดือนพฤษภาคม ซึ่งถือเป็นช่วงเปิดกรีดยางใหม่ของยาง จะพบค่า DRC และ TSC เริ่มเพิ่มขึ้นเนื่องจากการสังเคราะห์เนื้อยางได้เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของใบ ผลของฤดูกาลต่อสมบัติของยางแผ่นรมควัน พบว่า ในช่วงกรีดยางคือในเดือนธันวาคม ยางแผ่นรมควันมีค่าแฉะและค่าไนโตรเจนที่ต่ำกว่ายางแผ่นรมควันที่เตรียมจากน้ำยางที่ได้จากช่วงใกล้ปิดกรีดยางคือเดือนกุมภาพันธ์ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากในช่วงใกล้ปิดกรีดยางจะเป็นช่วงที่ใบของต้นยางร่วง ทำให้ช่วงนี้ธาตุอาหารต่าง ๆ ที่อยู่ในต้นยางไม่จำเป็นต้องส่งขึ้นไปหล่อเลี้ยงใบ จึงทำให้ธาตุอาหารต่าง ๆ เหล่านี้ย้อนกลับมาอยู่ที่ลำต้นจึงทำให้ปริมาณแฉะและปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นในฤดูกาลใกล้ปิดกรีดยาง และจะเริ่มลดลงเมื่อต้นยางเริ่มผลัดใบใหม่จึงทำให้ค่าไนโตรเจนเริ่มลดลงเมื่ออยู่ในช่วงเปิดกรีดยางใหม่ในเดือนพฤษภาคม

การศึกษาอิทธิพลของพื้นที่ปลูกต่อสมบัติของยางแผ่นรมควัน กล่าวคือ สมบัติของดินสามารถส่งผลต่อสมบัติของยางแผ่นรมควัน โดยในพื้นที่ปลูกยางทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งมีลักษณะดินเป็นดินเหนียว จะทำให้ค่าฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในดินสูงกว่ายางที่มาจากทางภาคใต้ จึงส่งผลต่อค่าแฉะที่สูงกว่าเพราะ ค่าแฉะในยางเกิดจากสารประกอบและแร่ธาตุต่าง ๆ ในต้นยางทั้งจากที่ดูดซับขึ้นมาจากดินและจากการสังเคราะห์ของต้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของอิทธิพลขององค์ประกอบที่ไม่ใช่ยาง เช่น โปस्टินและไขมัน ต่อสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของยางแผ่นรมควัน

5.2.2 ศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของยางแผ่นรมควันที่ได้จากการกรีดยางหลังเปิดกรีดใหม่ คือ ในช่วงเดือนมิถุนายน ถึง เดือนพฤศจิกายน เพื่อจะได้ผลของฤดูกาลให้ครบ 1 ปี จะได้ทราบถึงอิทธิพลของฤดูกาลกรีดยางครบทุกช่วง



บรรณานุกรม



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1. Statista. *Export of rubber worldwide 2011 to 2021*. 2022 [cited 2022 12 March]; Available from: <https://www.statista.com/statistics>.
2. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. สถิติการส่งออก. 2022 [cited 2022 12 มีนาคม]; Available from: <http://impexp.oae.go.th>
3. กรุงศรี. แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2564-2566: อุตสาหกรรมยางพาราแปรรูป 2022; Available from: <https://www.krungsri.com/th/research>
4. Jindapaisan, S., *Preparation of liquid natural rubber with controlled molecular weight*, in *Polymer science and technology 2010*, Prince of songkla. p. 5.
5. Atisakkul, W., *Method of Sampling and Storage of Fresh Rubber Latex and Serum for Nutrient and Biochemical Composition Analysis*, in *Soil in Resources Management*. 2014, Prince of Songkla. p. 5.
6. Bottier, C., *Biochemical composition of Hevea brasiliensis latex: A focus on the protein, lipid, carbohydrate and mineral contents*. . In *Advances in Botanical Research 2020*. Vol. 93.
7. Galiani, P.D., et al., *Seasonal and clonal variations in technological and thermal properties of raw Hevea natural rubber*. *Journal of Applied Polymer Science*, 2011. 122(4): p. 2749-2755.
8. Smitthipong, W., et al., *Effect of Non-Rubber Components on Properties of Sulphur Crosslinked Natural Rubbers*. *Advanced Materials Research*, 2013. 844: p. 345-348.
9. กรมการยางแห่งประเทศไทย. ความรู้เกี่ยวกับน้ำยางและองค์ประกอบต่างๆ ในน้ำยาง. 2017.
10. Tanaka, J.T.a.Y., *CHARACTERIZATION OF SOL AND GEL IN HEV EA NATURAL RUBBER*. *Rubber Chemistry and Technology*, 1997. 70(5).
11. ปรีดีเปรม, ท., *หยุดการใช้กรดซัลฟิวริกในการจับตัวยาง*. *วารสารยางพารา*, 2015. (4): p. 20-23.
12. การยางแห่งประเทศไทย. *มาตรฐานการยางแห่งประเทศไทย ยางแผ่นรมควันเกรดพีเอ็มเอ็ม: ข้อกำหนด*. 2022; Available from: <https://km.raot.co.th>
13. ปัทมา, ว., *ความอุดมสมบูรณ์ของดินและโภชนาการพืช*. 2004.
14. กังพิศดาร, น., *การใช้ปุ๋ยยางพาราตามค่าวิเคราะห์ดิน*. *วารสารยางพารา*, 2008. 40.

15. Mouhamad, R., Ameera Alsaede, and Munawar Iqbal, *Behavior of potassium in soil: A mini review*. Chemistry International, 2016. 2(1): p. 58-69.
16. Broadley, M.R., et al., *Zinc in plants*. New Phytol, 2007. 173(4): p. 677-702.
17. นุชนารถ, ก., การใช้ปุ๋ยยางพาราตามค่าวิเคราะห์ดิน. วารสารยางพารา, 2008. 40.
18. Moreno, R.M.B., Ferreira, M., Gonçalves, P. D. S., & Mattoso, L. H. C. , *Technological properties of latex and natural rubber of Hevea brasiliensis clones*. . Scientia Agricola 2005. Vol 62: p. 122-126. .
19. Malmonge, J.A., Camillo, E. C., Moreno, R. M. B., Mattoso, L. H. C., & McMahan, C. M. , *Comparative study on the technological properties of latex and natural rubber from Hancornia speciosa Gomes and Hevea brasiliensis*. . Journal of Applied Polymer Science, 2009. 111(6): p. 2986-2991.
20. Galiani, P.D., Martins, M. A., de Souza Gonçalves, P., McMahan, C. M., & Capparelli Mattoso, L. H. , *Seasonal and clonal variations in technological and thermal properties of raw Hevea natural rubber*. Journal of Applied Polymer Science 2011: p. 2749-2755.
21. Kovuttikulrangsie, S., & Sakdapipanich, J. T., *The molecular weight (MW) and molecular weight distribution (MWD) of NR from different age and clone Hevea trees*. Songklanakarin J Science Technological, 2005. 27(2): p. 337-342.
22. Vaysse, L., Sathornluck, S., Bottier, C., Liengprayoon, S., Char, C., Bonfils, F., & Gay, F. , *Effect of fertilization and stimulation of Hevea brasiliensis trees on mineral compositions and properties of produced latex and rubber*. IRRDB. 2017.
23. Altman, R.F.A., *Natural antioxidants in Hevea latex*. Rubber Chemistry and Technology, 1948. 21(3): p. 752-764.
24. Rogério Manoel Biagi Moreno, M.F., Paulo de Souza Gonçalves, Luiz Henrique Capparelli Mattoso, *TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF LATEX AND NATURAL RUBBER OF Hevea brasiliensis CLONES*. Science Agricultural, 2005: p. 122-126.
25. ศูนย์บริการทดสอบรับรองภาคใต้, การตรวจสอบคุณภาพยางแห้ง. 2021.

26. Saeteng, P., J. Onthong, and K. Khawmee, *Nutrient status in rubber growing soil, rubber leaf and nutrient concentration in latex under different rubber-based intercropping plantation*. The Journal of Applied Science, 2022. 21(1).



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	สายสุณี จิตกล้า
วัน เดือน ปี เกิด	20 มีนาคม 1998
สถานที่เกิด	จ.สุรินทร์
วุฒิการศึกษา	ปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมพอลิเมอร์ คณะเทคโนโลยี อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ที่อยู่ปัจจุบัน	135 ม.6 ต.เมืองที อ.เมือง จ.สุรินทร์ 32000



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY