



รายงานการวิจัย

กรดอินทรีย์ในน้ำหมักชีวภาพต่อการเป็นสารจับตัวยางสำหรับการผลิต
ยางแผ่น

Organic acid of bioextract as a rubber coagulant for natural
rubber sheets production

ฉานิกา แซ่แง ชุกลิน

Chanika Saenge Chooklin

สุภาชิต ชุกลิน

Supasit Chooklin

เดี้ยว สายจันทร์

Diew Saijan

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี พ.ศ. 2564

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่อง กรดอินทรีย์ในน้ำหมักชีวภาพต่อการเป็นสารจับตัวสำหรับการผลิตยางแผ่น
ครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากมหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรวิทยานิคมปีงบประมาณ 2564
ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรังที่ให้การสนับสนุนทุนสนับสนุนใน
การวิจัย อุปกรณ์ เครื่องมือและสถานที่ในการดำเนินการวิจัย ให้สำเร็จลุล่วงไปได้

ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่และครอบครัว ที่คอยให้คำแนะนำ และให้กำลังใจในการทำ
โครงการวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้คำแนะนำ และให้กำลังใจตลอดการ
ทำงานวิจัยครั้งนี้ด้วย

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณผู้ร่วมวิจัยทุกท่านที่ร่วมมือกันในการทำวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จตามเป้าหมาย

ฉานิกา แซ่แซ่ ชุกกลิ่น
มิถุนายน 2565

กรดอินทรีย์ในน้ำหมักชีวภาพต่อการเป็นสารจับตัวสำหรับการผลิตยางแผ่น ฉนวนกา แฉ่ง ชุกลิน¹ สุภาจิต ชุกลิน² เดี่ยว สายจันทร์³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ศึกษาผลของการใช้น้ำหมักชีวภาพซึ่งเตรียมจากผลไม้ 3 ชนิดคือ มังคุด ส้มโอ มะกรูด ต่อความสามารถในการจับตัวยาง สมบัติกายภาพของยางแผ่นดิบ และสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์ ซึ่งพบว่าน้ำหมักชีวภาพสามารถจับตัวน้ำยางสดเพื่อผลิตเป็นยางแผ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพโดย ในการผลิตยางแผ่นดิบ 1 แผ่น อัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำยางสดต่อน้ำหมักชีวภาพ คือ 3 ลิตร ต่อ 600 มิลลิลิตร ในขณะที่อัตราส่วนสำหรับน้ำยางสดต่อกรดฟอร์มิก (เข้มข้น 3%) ที่เหมาะสม คือ 3 ลิตร ต่อ 270 มิลลิลิตร ทั้งนี้ น้ำหมักแต่ละชนิดให้ชนิดและปริมาณกรดที่ต่างกัน โดยน้ำหมักที่หมักจากส้มโอและมะกรูดพบกรดหลักชนิดเดียวกันคือ กรดซิตริก ในขณะที่น้ำหมักที่หมักจากมังคุดให้กรดหลักที่ต่างออกไปคือ กรดแลกติก และกรดอะซิติก ทั้งนี้เมื่อนำยางแผ่นไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ พบว่า ค่าที่ทดสอบอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานยางแท่งและเมื่อทดสอบสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์ที่จับตัวด้วยน้ำหมัก เปรียบเทียบกับยางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิก ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: น้ำยางธรรมชาติ น้ำหมักชีวภาพ การจับตัว

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ศรีวิชัย

² คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ศรีวิชัย

³ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ศรีวิชัย

Organic acid of bioextract as a rubber coagulant for natural rubber sheets production

Chanika Saenge Chooklin¹ Supasit Chooklin¹ Diew Saijan¹

Abstract

In this work, coagulating efficiency, physical properties of gum rubber and mechanical properties of vulcanized rubber were studied by using of three types of bio-organic liquids: mangosteenes, pomelo, kaffir lime. The efficiency and physical properties were compared with those of formic acid. It was found that bio-organic liquids can be use as an coagulant to produce a rubber sheet. The suitable ratio of natural latex and bio-organic juices to from one green rubber sheets is 3 L and 600 mL, respectively, while that of natural latex and 3 % formic acid is 3 L and 270 mL. Three different types of bio-organic juices showed different acid types and quantities. The bio- organic liquid prepared from pomelo and kaffir lime contains citric acid as a major acid. The coagulant prepared from mangoteen contains lactic acid as a major acid. In addition, the physical and mechanical properties of vulcanized rubbers coagulated from bio-organic liquid and formic acid gave no significant differences in mechanical properties.

Keyword: natural rubber latex, bio-organic liquid, coagulation

¹Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya,Trang.

²Faculty of Agro-indutry, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Nakonsrithammarat.

³Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Nakonsrithammarat.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่	
1 บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
ตรวจเอกสาร	1
วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	9
ขอบเขตโครงการวิจัย	9
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	9
2 วัสดุ อุปกรณ์ วิธีการวิเคราะห์และวิธีการทดลอง	10
วัสดุและอุปกรณ์	10
วิธีการวิเคราะห์	10
วิธีการทดลอง	10
3 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	12
กิตติกรรมประกาศ	17
4 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	18
5 เอกสารอ้างอิง	19

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ในน้ำหมักจากผลไม้แต่ละชนิด	12
2 ผลการเจริญเติบโตของเชื้อราบนยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักชนิดต่างๆ	13
3 สมบัติทางกายภาพของยางแผ่นดิบที่ได้จากการจับตัวยางด้วยน้ำหมักชีวภาพชนิดต่างๆ และ กรดฟอร์มิก	15
4 สมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์ที่ได้จากการจับตัวยางด้วยน้ำหมักชีวภาพชนิดต่างๆ และ กรด	16

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ลำดับการผสมยางกับสารเคมี	11

บทที่ 1

บทนำ

บทนำตั้งเรื่อง

เกษตรกรชาวสวนยางส่วนใหญ่มีการใช้กรดที่ได้จากการสังเคราะห์ เช่น กรดฟอร์มิก (formic acid) กรดอะซิติก (acetic acid) หรือกรดซัลฟูริก (sulfuric acid) เพื่อเป็นสารจับตัวในน้ำยาง ทำให้น้ำยางเป็นก้อนเร็วขึ้น (Baimark&Niamsa, 2009 ; John et al., 2011) ซึ่งหมายถึงการต้องใช้กรดในปริมาณมาก และทั้งสู่สิ่งแวดล้อมในรูปของเสียจากกระบวนการผลิต นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตยังต้องใช้น้ำจำนวนมากเพื่อล้างกรดออกจากแผ่นยาง เพราะหากมีกรดตกค้างจะทำให้ยางเฝิ้มเหนียว และน้ำทั้งดังกล่าวชาวสวนยางได้ทิ้งลงสู่บริเวณพื้นที่ทำการกรีดยางซึ่งอยู่ในสวนยาง ทำให้ต้นยางในบริเวณโดยรอบตายเร็วขึ้น อีกทั้งกรดเหล่านี้ยังเป็นอันตรายต่อชาวสวนยางขณะทำยางแผ่นอีกด้วย (พรไทย ศิริสาธิตกิจ, 2549) ปัจจุบันมีนักวิจัยจำนวนมากพยายามใช้สารจากธรรมชาติมาใช้ในการจับตัวยางแทนการใช้กรดสังเคราะห์ ไม่ว่าจะเป็นน้ำส้มควันไม้ (Baimark and Niamsa; 2009) น้ำผัก-ผลไม้ที่มีฤทธิ์เป็นกรด (นิศากร แก้วกิ่ง และวชิรา เสือรัมย์; 2550) หรือน้ำหมักชีวภาพ (สายสมร ลำลอง และจารวี นามวิชัย; 2554)

น้ำหมักชีวภาพเป็นการเตรียมน้ำให้มีฤทธิ์เป็นกรดจากการหมักผักหรือผลไม้ที่มาจากธรรมชาติ ซึ่งน้ำหมักชีวภาพสามารถนำมาใช้ในการจับตัวยางเนื่องจากไม่มีอันตรายต่อผู้ใช้เหมือนกรดเคมี ทั้งยังเป็นประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อม แต่น้ำหมักชีวภาพมีสารต่าง ๆ อยู่มากมาย ไม่ว่าจะเป็นกรดของผลไม้ที่นำมาใช้น้ำหมัก กรดที่เกิดจากการหมัก และสารแขวนลอยต่าง ๆ ซึ่งมีสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้อาจตกค้างอยู่ในยางแผ่น และอาจมีผลกระทบต่อสมบัติของยางแผ่นและสมบัติการนำไปใช้งาน นอกจากนี้โดยปกติยางแผ่นในปัจจุบันแม้ว่าจะมีกระบวนการอบรมควันเพื่อไล่ความชื้น และเชื้อรา แต่ยังคงพบว่ามีวอยางแผ่น ยางก้อน หรือขึ้นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากยางทั้งไวัระยะเวลาดหนึ่งจะเกิดการเจริญเติบโตของเชื้อราขึ้นได้ ซึ่งเราดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อสภาวะในการคงรูปของยาง ดังนั้น จึงนิยมเติมสารยับยั้งเชื้อรา (Antifungal agents) ลงไปในขณะผสมยางก่อนขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งสารต้านเชื้อราส่วนใหญ่มีความเป็นพิษสูง ไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และไม่สารลดลงไปนยางดิบในขณะที่สต็อกยางก่อนการคอมพาวนด์ได้ สารยับยั้งเชื้อราที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มีความเป็นพิษต่ำ จึงเป็นที่ต้องการสำหรับอุตสาหกรรมยางมาก ซึ่งน้ำหมักชีวภาพในมะนาว และพืชตระกูลส้มพบว่ามีสมบัติยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราหลายสายพันธุ์ได้ดี (ภัสจันท์ หิรัญ และคณะ, 2552; Chutia *et al.*, 2009; Viuda-Martos *et al.*, 2008) ดังนั้นในงานวิจัยชิ้นนี้จึงสนใจศึกษาผลของการใช้น้ำหมักชีวภาพซึ่งเตรียมจากผลไม้ 3 ชนิดคือ มังคุด มะกรูด ส้มโอ ต่อความสามารถในการจับตัวยาง และสมบัติด้านต่าง ๆ ของยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพ ทั้งยางดิบ ยางคอมพาวนด์ และยางวัลคไนซ์ ตลอดจนศึกษาการเจริญเติบโตของเชื้อราบนยางแผ่นดิบที่เตรียมได้ เปรียบเทียบกับการจับตัวยางด้วยกรดฟอร์มิก

ตรวจเอกสาร

1 น้ำหมักชีวภาพ

น้ำหมักชีวภาพเกิดจากการนำเศษวัสดุอินทรีย์ เช่น พืช สัตว์ ที่มีลักษณะสดหรืออบน้ำ เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตร ไปหมักกับน้ำตาลหรือกากน้ำตาลเข้มข้น ซึ่ง

เป็นตัวการให้น้ำและสารประกอบอินทรีย์ที่อยู่ในเซลล์พืช (cell sap) หรือเซลล์สัตว์แตกออกมาจากเซลล์ ด้วยแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ซึ่งจุลินทรีย์ธรรมชาติที่ติดมากับวัสดุที่นำมาหมักจะเจริญเติบโต และเพิ่มจำนวนโดยใช้น้ำตาลเป็นแหล่งพลังงาน จุลินทรีย์เหล่านี้จะย่อยสลายอินทรีย์วัตถุให้มีโมเลกุลเล็กลง อยู่ในรูปสารประกอบฮิวมิก กรดอะมิโน ธาตุอาหารในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ นอกจากนี้ในน้ำหมักยังมีส่วนควบคุมการเจริญเติบโตของพืชหรือฮอร์โมน สารควบคุมแมลงและสารป้องกันกำจัดโรค ซึ่งคุณภาพและปริมาณของสารเหล่านี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาใช้หมักเป็นหลัก (อานัฐตันโซ, 2549) น้ำหมักชีวภาพเป็นผลิตภัณฑ์ที่รู้จักในประเทศไทยครั้งแรกเมื่อประมาณปี พ.ศ. 2540 และมีการใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องมาจากภาวะเศรษฐกิจ (สมพร แซ่ลี, 2547) ทำให้เกษตรกรหันมาใช้ผลิตภัณฑ์ที่สามารถผลิตได้เอง น้ำหมักชีวภาพจึงได้รับความนิยมและเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวาง ทั้งนี้เนื่องจากสามารถนำน้ำหมักชีวภาพไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน ทั้งการใช้เป็นปุ๋ยพืชโดยตรง ใช้เพื่อการปรับปรุงดิน แต่เนื่องจากน้ำหมักชีวภาพมีปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ค่อนข้างน้อย เมื่อเทียบกับปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยเคมี จุดประสงค์หลักของการใช้น้ำหมักชีวภาพจึงเน้นที่การใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำหมักชีวภาพเป็นสำคัญ (อานัฐตันโซ, 2549) กล่าวว่า ปัจจัยการผลิตน้ำหมักชีวภาพ นอกจากเศษพืชและซากสัตว์ที่เป็นวัตถุดิบในการผลิตแล้วการหมักน้ำหมักชีวภาพยังต้องอาศัยจุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยสลายวัตถุดิบดังกล่าวด้วย ซึ่งการทำงานของจุลินทรีย์จำเป็นต้องให้อาหารแก่จุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยสลาย จุลินทรีย์ต้องการอาหารที่เป็นสารอินทรีย์ที่มีขนาดเล็กที่สุดที่สามารถนำไปใช้ได้เลย เช่น กลูโคส หรือ ฟรุคโตส ซึ่งในสภาพธรรมชาติจุลินทรีย์ดังกล่าว จะได้รับสารอินทรีย์จากการปลดปล่อยมาจากรากพืช เช่น รากต้นไม้ หรือ รากพืชปลูก ดังนั้นในการนำเศษพืช หรือซากสัตว์มาหมักจำเป็นต้องเพิ่มธาตุอาหารให้แก่จุลินทรีย์ด้วย เช่น กากน้ำตาล น้ำตาลทรายแดง น้ำตาลกรวด ซึ่งในระบบเกษตรธรรมชาติแนะนำให้ใช้น้ำตาลทรายแดง เนื่องจากน้ำตาลทรายแดงเป็นน้ำตาลที่ยังไม่ผ่านการฟอกทำให้ไม่เป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ แต่กระบวนการผลิตน้ำหมักชีวภาพขนาดใหญ่ระดับอุตสาหกรรมใช้กากน้ำตาลแทน เนื่องจากราคาถูกกว่า มีสารอาหารที่จุลินทรีย์ต้องการครบถ้วน สามารถใช้แทนน้ำตาลทรายแดงได้ (สุริยา สาสนรักกิจ, 2547) ได้แบ่งประเภทของน้ำหมักชีวภาพตามประเภทของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. น้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากสัตว์ ได้จากการหมักชิ้นส่วนของสัตว์หรือเศษเหลือจากสัตว์ เช่น เศษปลาจากโรงงาน หอยเชอรี่ น้ำล้างปลา เป็นต้น

2. น้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพืช ได้จากการใช้เศษชิ้นส่วนของพืช ผัก ผลไม้ หรือพืชเศรษฐกิจอื่นๆ เช่น เศษผัก ผลไม้ที่เสีย เศษชิ้นส่วนพืชที่เหลือทิ้งในแปลงเกษตร เป็นต้น นอกจากนี้ ยังมีการประยุกต์เอาสุมไพโร ปุ๋ยคอก และสารธรรมชาติต่างๆ มาผสมในน้ำหมักชีวภาพ เพื่อเพิ่มสมบัติอื่นๆ นอกเหนือจากการช่วยการเจริญเติบโตของพืช เช่น การไล่ตะไคร้ และสะเดา ลงในถังหมัก จะได้น้ำหมักอินทรีย์ที่สามารถกำจัดแมลงศัตรูพืชได้ (ทัศนีย์ และพนารัตน์, 2544) และยังมีการนำเศษอาหารจากครัวเรือนมาหมักเป็นน้ำหมักชีวภาพเพื่อใช้เองในบ้านเป็นการช่วยลดขยะอินทรีย์ได้อีกทางหนึ่ง

2. สมบัติของน้ำหมักชีวภาพ

1. ค่ากรดต่าง(pH) น้ำหมักชีวภาพส่วนใหญ่จะมีสภาพเป็นกรด จะอยู่ในช่วง 3.5-5.6 (กรมวิชาการเกษตร, 2545)

2. ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity: EC) เป็นตัวบ่งบอกถึงระดับความเค็มของน้ำหมักชีวภาพ

3. ปริมาณธาตุอาหาร ในน้ำหมักอินทรีย์ประกอบด้วยสารอินทรีย์ประเภทต่างๆ ทั้งรูปอิสระและองค์ประกอบที่มีลักษณะเป็นประจุไฟฟ้าในของเหลว (ionic plasma) จึงสามารถดึงธาตุอาหารพืชที่มีประจุบวกได้ ปริมาณธาตุอาหารในน้ำหมักอินทรีย์มีปริมาณน้อยมาก แต่มีเกือบทุกธาตุ (มงคล ตะอุน, 2548) ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามชนิดวัสดุใช้หมัก สูตรการหมัก รวมทั้งระยะเวลาการหมัก โดยทั่วไปน้ำหมักอินทรีย์จากสัตว์จะมีปริมาณธาตุอาหารสูงกว่าน้ำหมักชีวภาพจากพืช

4. เอนไซม์ จุลินทรีย์ที่มีอยู่ในระบบจะผลิตน้ำย่อยหรือเอนไซม์เพื่อแปรสภาพสารอินทรีย์ นอกจากนี้ในกระบวนการหมัก เอนไซม์ที่อยู่ในพืชได้แก่ ไพรูเวตดีไฮโดรจีเนสฟอสฟอทรานส์อะซีติลเลส และอะซีเทตโคเนส จะทำหน้าที่เปลี่ยนกลูโคส เป็นไพรูเวตจนในที่สุดได้กรดอะซีตริกซึ่งสามารถรวมตัวกับธาตุอาหารรองที่พืชและจุลินทรีย์สามารถใช้ประโยชน์ต่อไป (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545)

5. ฮอร์โมนพืช น้ำสกัดชีวภาพแต่ละชนิดพบว่ามีความและชนิดของฮอร์โมนพืชที่สำคัญคือ ออกซิน จิบเบอเรลลิน และไซโตไคนิน

6. จุลินทรีย์ในกระบวนการหมักน้ำหมักชีวภาพ จุลินทรีย์ที่มีในน้ำหมักชีวภาพมีหลายประเภทแต่จุลินทรีย์ที่มีบทบาทในกระบวนการหมักได้แก่ แบคทีเรีย รา โดยมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุและเกิดปฏิกิริยาทางชีวภาพเคมีต่างๆ ในการผลิตน้ำหมักชีวภาพดังนี้

6.1 แบคทีเรีย แบคทีเรียที่พบในน้ำหมักชีวภาพมีหลายสายพันธุ์ที่มีบทบาทในการย่อยสลายวัสดุที่ใช้ในการผลิต ซึ่งมาจากสิ่งมีชีวิตทั้งจากพืชและสัตว์ แบคทีเรียย่อยสลายอินทรีย์วัตถุทำให้สารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่มีขนาดเล็กลง และปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ แบคทีเรียที่พบและมีบทบาทในน้ำหมักชีวภาพ ได้แก่ แบคทีเรียในสกุลบาซิลลัส (*Bacillus* sp.) กลุ่มแบคทีเรียผลิตกรดแลคติก (lactic acid bacteria) กลุ่มแบคทีเรียผลิตกรดอะซีติก (acetic acid bacteria)

6.2 เชื้อรา ราที่มีบทบาทในกระบวนการหมักน้ำหมักชีวภาพส่วนใหญ่จะเป็นยีสต์ ราที่มีรูปร่างเป็นเส้นใย

3. ยาง (Rubber)

คือ สารที่มีสมบัติยืดหยุ่นได้ ทำให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ ได้ เป็นสารประกอบพอลิเมอร์ประเภทยาง

3.1 ยางธรรมชาติ ได้จากต้นยางพารา น้ำยางที่ได้เป็นของเหลวสีขาว ชื่อพอลิไอโซพรีน สมบัติ มีความยืดหยุ่น เพราะโครงสร้างโมเลกุลของยางมีลักษณะม้วนขอขดไปมาปิดเป็นเกลียว ได้ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ สมบัติเปลี่ยนง่ายคือเมื่อร้อนจะอ่อนตัวเหนียว แต่เย็นจะแข็งและเปราะ

3.2 ยางสังเคราะห์ เป็นพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้นจากสารผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม เช่น กระบวนการวัลคาไนเซชัน (Vulcanization process) คือ กระบวนการที่ใช้ในการเพิ่มคุณภาพของ ยางธรรมชาติ (ยางดิบ) ให้มีความยืดหยุ่นได้ดีขึ้น มีความคงตัวสูง ไม่สึกกร่อนง่าย และไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ สมบัติเหล่านี้จะยังคงอยู่ ถึงแม้ว่าอุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงก็ตาม ยางธรรมชาติ คือวัสดุพอลิเมอร์ที่มีต้นกำเนิดจากของเหลวของพืชบางชนิด ซึ่งมีลักษณะเป็นของเหลวสีขาว คล้ายน้ำมัน มีสมบัติเป็นคอลลอยด์ อนุภาคเล็ก มีตัวกลางเป็นน้ำ

4. การผลิตยางธรรมชาติ

แหล่งผลิตยางธรรมชาติที่ใหญ่ที่สุดในโลกคือ แถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้คิดเป็นร้อยละ 90 ของแหล่งผลิตทั้งหมด ส่วนที่เหลือมาจากแอฟริกากลาง ซึ่งพันธุ์ยางที่ผลิตในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ คือ พันธุ์

ฮีเวียบราซิลเลียนซิส (Hevea brasiliensis) น้ำยางที่กรีดได้จากต้นจะเรียกว่าน้ำยางสด (field latex) น้ำยางที่ได้จากต้นยางมีลักษณะเป็นเม็ดยางเล็ก ๆ กระจายอยู่ในน้ำ (emulsion) มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาว มีสภาพเป็นคอลลอยด์ มีปริมาณของแข็งประมาณร้อยละ 30-40 pH 6.5-7 น้ำยางมีความหนาแน่นประมาณ 0.975-0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร มีความหนืด 12-15 เซนติพอยส์ ส่วนประกอบในน้ำยางสดแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ

1. ส่วนที่เป็นเนื้อยาง 35%
2. ส่วนที่ไม่ใช่ยาง 65%
3. ส่วนที่เป็นน้ำ 55%
4. ส่วนของลูทอยด์ 10%

น้ำยางสดที่กรีดได้จากต้นยาง จะคงสภาพความเป็นน้ำยางอยู่ได้ไม่เกิน 6 ชั่วโมง เนื่องจากแบคทีเรียในอากาศ และจากเปลือกของต้นยางขณะกรีดยางจะลงไปปนน้ำยาง และกินสารอาหารที่อยู่ในน้ำยาง เช่น โปรตีน น้ำตาล ฟอสโฟไลปิด โดยแบคทีเรียจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นหลังจากแบคทีเรียกินสารอาหาร คือ จะเกิดการย่อยสลายได้เป็นก๊าซชนิดต่าง ๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน เริ่มเกิดการบูดเน่าและส่งกลิ่นเหม็น การที่มีกรดที่ระเหยง่ายเหล่านี้ในน้ำยางเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ค่า pH ของน้ำยางเปลี่ยนแปลงลดลง ดังนั้นน้ำยางจึงเกิดการสูญเสียสภาพ ซึ่งสังเกตได้จาก น้ำยางจะค่อย ๆ หนืดขึ้น เนื่องจากอนุภาคของยางเริ่มจับตัวเป็นเม็ดเล็ก ๆ และจับตัวเป็นก้อนใหญ่ขึ้น จนน้ำยางสูญเสียสภาพ โดยน้ำยางจะแยกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเนื้อยาง และส่วนที่เป็นเซรัม ดังนั้นเพื่อป้องกันการสูญเสียสภาพของน้ำยางไม่ให้อนุภาคของเม็ดยางเกิดการ รวมตัวกันเองตามธรรมชาติ จึงมีการใส่สารเคมีลงไปในน้ำยางเพื่อเก็บรักษาน้ำยางให้คงสภาพเป็นของเหลว โดยสารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำยางเรียกว่า สารป้องกันการจับตัว (Anticoagulant) ได้แก่ แอมโมเนีย โซเดียมซัลไฟด์ พอร์มาลดีไฮด์ เป็นต้น เพื่อรักษาน้ำยางไม่ให้เสียสูญเสียสภาพ

การนำยางธรรมชาติไปใช้งานมีอยู่ 2 รูปแบบคือ รูปแบบน้ำยาง และรูปแบบยางแห้ง ในรูปแบบน้ำยางนั้นน้ำยางสดจะถูกนำมาแยกน้ำออกเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของ เนื้อยางขึ้นตอนหนึ่งก่อนด้วยวิธีการต่าง ๆ แต่ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมคือการใช้เครื่องเซนตริฟิวส์ ในขณะที่การเตรียมยางแห้งนั้นมักจะใช้วิธีการใส่กรดอะซิติกลงในน้ำยางสด การใส่กรดอะซิติกเจือจางลงในน้ำยาง ทำให้น้ำยางจับตัวเป็นก้อน เกิดการแยกชั้นระหว่างเนื้อยางและน้ำ ส่วนน้ำที่ปนอยู่ในยางจะถูกกำจัดออกไปโดยการรีดด้วยลูกกลิ้ง 2 ลูกกลิ้ง วิธีการหลัก ๆ ที่จะทำให้ยางแห้งสนิทมี 2 วิธีคือ การรมควันยาง และการทำยางเครพ แต่เนื่องจากยางผลิตได้มาจากเกษตรกรจากแหล่งที่แตกต่างกัน ทำให้ต้องมีการแบ่งชั้นของยางตามความบริสุทธิ์ของยางนั้น ๆ

รูปแบบของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติสามารถแบ่งออกเป็นหลายประเภทตามลักษณะรูปแบบของยางดิบ ได้แก่

- 1 น้ำยาง
- 2 น้ำยางสด
- 3 น้ำยางข้น

ยางแผ่นผึ่งแห้ง : ยางที่ได้จากการนำน้ำยางมาจับตัวเป็นแผ่นโดยสารเคมีที่ใช้จะต้องตามเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนการทำให้แห้งอาจใช้วิธีการผึ่งลมในที่ร่ม หรือ อบในโรงอบก็ได้แต่ต้องปราศจากควัน

ยางแผ่นรมควัน

ยางเครพ

*ยางแท่ง : ก่อนปี 2508 ยางธรรมชาติที่ผลิตขึ้นมา ส่วนใหญ่จะผลิตในรูปของยางแผ่นรมควัน ยางเครพ หรือน้ำยางข้น ซึ่งยางธรรมชาติเหล่านี้จะไม่มีกระบวนการมาตรฐานการจัดชั้นยางที่ชัดเจน ตามปกติจะใช้สายตาในการพิจารณาตัดสินชั้นยาง ต่อมาในปี 2508 สถาบันวิจัยยางมาเลเซีย (Rubber Research Institute of Malaysia) ได้มีการผลิตยางแท่งขึ้นเป็นแห่งแรก เพื่อเป็นการปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพของยางธรรมชาติให้ได้มาตรฐาน เหมาะสมกับการใช้งาน จนทำให้ยางแท่งเป็นยางธรรมชาติชนิดแรกที่ผลิตมาโดยมีการควบคุมคุณภาพให้ได้ มาตรฐาน ตลอดจนมีการระบุคุณภาพของยางดิบที่ผลิตได้แน่นอน

ยางแท่งความหนืดคงที่ : เป็นยางที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการควบคุมความหนืดของยางที่ใช้ในการแปรรูป เช่น อุตสาหกรรมยางท่อ, อุตสาหกรรมทำกาวยาง

ยางสกิน : ยางสกินเป็นยางธรรมชาติที่ได้จากการจับตัวน้ำยางสกิน (skim latex) ด้วยกรดแล้วนำยางที่ได้ไปทำการรีดแผ่นและทำให้แห้ง โดยน้ำยางสกินเป็นน้ำส่วนที่เหลือจากการทำน้ำยางข้นด้วยการนำน้ำยางสดมา ทำการเซนตริฟิวส์ แยกอนุภาคเม็ดยางออกจากน้ำ ซึ่งอนุภาคเม็ดยางเบากว่าน้ำ ส่วนใหญ่จึงแยกตัวออกไปเป็นน้ำยางข้น น้ำยางข้นที่ได้มีปริมาณเนื้อยางอยู่ร้อยละ 60-63 ซึ่งน้ำยางสกินคือส่วนที่เหลือจากการเซนตริฟิวส์แยกเนื้อยางส่วนใหญ่ออกไป แล้ว ก็ยังมีส่วนของเนื้อยางออกมาด้วย ซึ่งเป็นเนื้อยางที่มีขนาดอนุภาคเล็ก ๆ มีปริมาณเนื้อยางอยู่ร้อยละ 3-6

5. โครงสร้างหลักที่มีผลกระทบต่อสมบัติของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมีคือ ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน (cis-1,4-polyisoprene) เป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนล้วน ทำให้มีสมบัติไม่ทนต่อน้ำมัน แต่เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดี ใน 1 โมเลกุลจะประกอบด้วยหน่วยของไอโซพรีน (C_5H_8) มาต่อกันเป็นสายโซ่ยาวแบบเส้นตรงใน 1 หน่วยไอโซพรีนจะมีพันธะคู่และหมู่แอลฟาเมทิลีนที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ทำให้สามารถวัลคาไนซ์ได้ด้วยกำมะถัน และทำให้ยางทำปฏิกิริยาได้ง่ายด้วยออกซิเจนและโอโซน ทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพได้ง่ายเช่นเดียวกัน ดังนั้นการออกสูตรยางจำเป็นจะต้องมีแอนติออกซิแดนท์และแอนตี้โอโซนแชนท์ร่วมด้วย ยางธรรมชาติมีสายโซ่ที่เคลื่อนไหวหักงอไปมาได้ง่าย ทำให้ยางธรรมชาติคงสภาพยืดหยุ่นได้ดี มีอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ประมาณ $-72^{\circ}C$ สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิต่ำมาก สำหรับความสม่ำเสมอในโครงสร้างโมเลกุล ทำให้ยางธรรมชาติสามารถตกผลึกได้เมื่อยืด การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวยังทำให้ยางคงรูปมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น นั่นคือ ยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง ความทนทานต่อการฉีกขาด และความต้านทานต่อการขัดถูสูงขึ้น ยางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยสูง อยู่ในช่วง 200,000 ถึง 400,000 และมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลกว้างมาก ทำให้ยางแข็งเกินไปที่จะนำไปแปรรูปโดยตรง จะต้องมีการบดยาง ก่อนที่จะนำไปใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการบดยางโดยทั่วไปจะใช้เครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง ยางธรรมชาติประเภทอื่น ๆ (ปรับสภาพโครงสร้าง)

ยางอีเวียพลัส เอ็มจี (Heveaplus MG) : ยางธรรมชาติที่มีการปรับสภาพโครงสร้างให้มีโครงสร้างโมเลกุลของเทอร์โม พลาสติกโดยโครงสร้างของยางเป็นสายโซ่หลัก (Backbone chain) และโครงสร้างของพอลิเมทิลเมทาไครเลท (Polymethyl methacrylate) เป็นสายโซ่ที่มาต่อกับยางธรรมชาติ (Graft chain) เรียกว่า กราฟโคพอลิเมอร์

ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR) : ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เป็นยางที่นำยางธรรมชาติมาปรับโครงสร้างโดยใช้สารเคมีจำพวกกรดเปอร์ออกไซด์ (peroxy acid) ซึ่งยางจะมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลเข้มกว่ายางธรรมชาติ ปกติ ซึ่งสามารถเตรียมได้ทั้งชนิดน้ำยางและยางแท่ง โดยมีการผลิตขึ้นเพื่อปรับปรุงสมบัติบางประการของยางธรรมชาติให้ดีขึ้น เช่น ทำให้ยางมีความเป็นขี้วมากขึ้น สามารถทนต่อน้ำมันและตัวทำละลายที่ไม่มีขี้วได้ดีขึ้น

สามารถทนต่อโอโซน และการซึมผ่านของอากาศได้ดี เพราะพันธะคู่ในโครงสร้างยางธรรมชาติมีปริมาณน้อยลง อย่างไรก็ตามก็จะมีสมบัติบางประการที่ด้อยกว่ายางธรรมชาติ เช่น มีความยืดหยุ่นต่ำลง และหากนำไปวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันยางจะไม่ทนต่อความร้อน ยาง ENR มักใช้ในอุตสาหกรรมกาว หรือสารยึดติด รองเท้า สี และยางรถยนต์ เป็นต้น

ยางผง (Powder Rubber) : ยางผง เป็นยางที่ผลิตออกมาในลักษณะที่เป็นเม็ด เพื่อให้สะดวกในการใช้งาน กล่าวคือสามารถใช้งานในลักษณะการผลิตแบบต่อเนื่อง ได้และสามารถใช้ได้ทันทีโดยไม่ต้องผ่านการบดหรือตัดยาง

ยางธรรมชาติสกัดโปรตีน (DPNR) : ยางธรรมชาติสกัดโปรตีนเป็นยางที่มีการดัดแปลงสภาพของยาง เพื่อให้มีปริมาณโปรตีนในยางต่ำซึ่งจะเป็นการลดปริมาณไนโตรเจนและปริมาณเถ้าในยาง เนื่องจากการที่ยางมีโปรตีนในยาง (ร้อยละ 1) ทำให้ยางเกิดการวัลคาไนซ์เร็ว สมบัติบางประการของผลิตภัณฑ์ไม่ดี ไม่สามารถนำมาใช้งานในด้านวิศวกรรมได้ เนื่องจากสมบัติความทนทานต่อแรงกดหรือแรงกระแทกต่ำ และอาจมีการเกิดอาการแพ้โปรตีนในผลิตภัณฑ์ที่มีการสัมผัสโดยตรง เช่น ถุงมือ ทำให้มีความจำเป็นต้องลดปริมาณโปรตีนโดยการเตรียมน้ำยางที่มีโปรตีนต่ำก่อนนำไปทำผลิตภัณฑ์ หรือ ล้างน้ำหลาย ๆ ครั้ง สำหรับผลิตภัณฑ์ที่แยกโปรตีนด้วยการละลายน้ำได้

ยางไซโคลซ์ (Cyclised Rubber) : ยางที่ปรับสภาพโครงสร้างโมเลกุลของยาง โดยให้โมเลกุลของยางเกิดการเชื่อมโยงกันเองจนเป็นวง ทำให้มีสัดส่วนของพันธะที่ไม่อิ่มตัวลดลง ทำให้สมบัติยางเปลี่ยนไปและมีความแข็งแรงขึ้น

ยางเอสพี (SP Rubber) : ยางเอสพีหมายถึงยางที่มีส่วนผสมของยางวัลคาไนซ์ เช่น ยางเอสพี 20 คือ ยางที่มีส่วนผสมของยางที่วัลคาไนซ์อยู่ 20 ส่วนในยาง 100 ส่วน เป็นต้น

การผสมยางธรรมชาติกับพอลิเมอร์ชนิดอื่น

ยางธรรมชาติเป็นยางที่มีสมบัติเด่นด้านความเหนียวติดกันที่ดี, สมบัติด้านการขึ้นรูปที่ดี, ความร้อนสะสมในการใช้งานต่ำ เป็นต้น แต่ก็มีสมบัติบางประการที่เป็นข้อด้อย ดังนั้นในการแก้ไขข้อด้อยนั้น สามารถทำได้โดยการเลือกเอาสมบัติที่ดีจากยางสังเคราะห์ชนิดอื่นมาทดแทน เช่น สมบัติด้านความทนทานต่อการขีดถูของยางบิวตาไดอิน (BR), สมบัติความทนทานต่อน้ำมันของยางไนไตรล์ (NBR), สมบัติความทนทานต่อความร้อนและโอโซนของยาง EPDM เป็นต้น โดยการผสมยางธรรมชาติกับยางสังเคราะห์เหล่านี้เข้าด้วยกัน แต่การที่จะผสมให้เข้ากันได้ นั้นยางสังเคราะห์ชนิด นั้น ๆ ต้องไม่มีความเป็นขั้วเหมือนกับยางธรรมชาติ จึงจะทำให้ยางผสมรวมเข้ากันเป็นเฟสเดียวกันได้ดีขึ้น เช่น ยาง BR, SBR, EPDM และ NBR (เกรดที่มีอะครีโลไนไตรล์ต่ำ ๆ) ซึ่งปัจจัยที่มีผลโดยตรงต่อสมบัติของยางผสมที่ได้นั้น มีดังนี้

ความหนืดของยาง ยางธรรมชาติก่อนที่จะทำการผสมต้องทำการบดเพื่อลดความหนืดในตอนเริ่มต้น การผสมให้เข้ากับยางสังเคราะห์หรือโกลีเคียซึ่งจะทำให้ยางทั้งสองผสมเข้ากันได้ดีขึ้น

ระบบการวัลคาไนซ์ของยาง ระบบที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ต้องมีความเหมือนหรือแตกต่างกันไม่มากนัก เพื่อป้องกันการแยกเฟสของยางผสมขณะที่ทำการผสมยาง

ความเป็นขั้วของยาง ในกรณีที่ทำการผสมยางที่มีความเป็นขั้วแตกต่างกันมาก ควรพิจารณาถึงความสามารถในการกระจายตัวของสารเคมีในยางแต่ละชนิด โดยเฉพาะสารตัวเร่งและสารตัวเติม เพราะสารเหล่านี้มีแนวโน้มที่จะกระจายตัวได้ดีในยางที่มีความเป็นขั้ว ซึ่งอาจส่งผลให้ยางผสมมีสมบัติต่างจากที่ควรจะเป็น หากการกระจายตัวของสารเคมีไม่ดีเท่าที่ควร

6. ยางสังเคราะห์

ยางสังเคราะห์ได้มีการผลิตมานานแล้ว ตั้งแต่ ค.ศ. 1940 ซึ่งสาเหตุที่ทำให้มีการผลิตยางสังเคราะห์ขึ้นในอดีต เนื่องจากการขาดแคลนยางธรรมชาติที่ใช้ในการผลิตอาวุธยุทโธปกรณ์และปัญหาในการขนส่งจากแหล่งผลิตในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 จนถึงปัจจุบันได้มีการพัฒนาการผลิตยางสังเคราะห์เพื่อให้ได้ยางที่มีคุณสมบัติตามต้องการในการใช้งานที่สภาวะต่าง ๆ เช่น ที่สภาวะทนต่อน้ำมัน ทนความร้อน ทนความเย็น เป็นต้น การใช้งานยางสังเคราะห์จะแบ่งตามการใช้งานออกเป็น 2 ประเภทคือ

ยางสำหรับงานทั่วไป (Commodity rubbers) เช่น IR (Isoprene Rubber) BR (Butadiene Rubber)

ยางสำหรับงานสภาวะพิเศษ (Specialty rubbers) เช่น การใช้งานในสภาวะอากาศร้อนจัด หนาวจัด หรือ สภาวะที่มีการสัมผัสกับน้ำมัน ได้แก่ Silicone, Acrylate rubber เป็นต้น

การผลิตยางสังเคราะห์เป็นจะผลิตโดยการทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) ซึ่งการพอลิเมอไรเซชันคือ ปฏิกิริยาการเตรียมพอลิเมอร์ (polymer) จากมอนอเมอร์ (monomer) โดยพอลิเมอร์ ในที่นี้คือ ยางสังเคราะห์ที่ต้องการผลิต ในส่วนของมอนอเมอร์คือสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยานั้นเอง ชนิดของยางสังเคราะห์

1. ยางบิวไทล์ (Butyl Rubber, IIR) : ยางบิวไทล์เป็นโคพอลิเมอร์ระหว่างมอนอเมอร์ของไอโซพรีน และ ไอโซบิวทาลีน เพื่อที่จะรักษาสมบัติเด่นของไอโซบิวทาลีนไว้ ยางบิวไทล์จะมีปริมาณไอโซพรีนเพียงเล็กน้อย (ประมาณ 0.5-3 โมลเปอร์เซ็นต์) เพียงเพื่อให้สามารถวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันได้เท่านั้น เนื่องจากพอลิไอโซบิวทาลีนไม่มีพันธะคู่ที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา อย่างไรก็ตามการที่มีปริมาณไอโซพรีนเพียงเล็กน้อยนี้ทำให้การวัลคาไนซ์ยางบิวไทล์เป็นไปอย่างช้ามาก ทำให้เกิดปัญหาในการสุกร่วมกับยางไม่อิ่มตัวอื่น ๆ ยางบิวไทล์มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยอยู่ในช่วง 300,000 ถึง 500,000 มีค่าความหนืดมูนี (ML1+4 100°C) อยู่ในช่วง 40 ถึง 70 การกระจายขนาดโมเลกุลค่อนข้างจะกว้าง ทำให้การแปรรูปยางบิวไทล์ทำได้ง่าย ยางบิวไทล์มีสมบัติที่ดีหลายประการ คือ ทนต่อการออกซิเดชัน ทนต่อโอโซน ทนต่อความดันไอน้ำได้สูง และมีความเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี อย่างไรก็ตาม เนื่องจากยางบิวไทล์ปล่อยให้ก๊าซซึมผ่านได้ต่ำมาก ทำให้ตลาดส่วนใหญ่ของยางบิวไทล์ คือ ยางในรถยนต์ทุกขนาด

2. ยางบิวตาไดอีน (Butadiene Rubber, BR) หรือ ยางบิวนา (Buna Rubber) ผลิตจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบสารละลาย (solution polymerization) ซึ่งมีการจัดเรียงตัวได้ทั้งแบบ cis-1,4 แบบ trans-1,4 และแบบ vinyl-1,2 โดยยางชนิดนี้จะมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย ประมาณ 250,000-300,000 มีสมบัติเด่นด้านความยืดหยุ่น ความต้านทานต่อการขีดถู ความสามารถในการหักงอที่อุณหภูมิต่ำ ความร้อนสะสมในยางต่ำ และเป็นยางที่ไม่มีขั้วจึงทนต่อน้ำมันหรือตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว ยางบิวตาไดอีนส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมยางล้อ เพราะเป็นยางที่มีความต้านทานต่อการขีดถูสูง และมักถูกนำไปทำใส่ในลูกกอล์ฟและลูกฟุตบอล เนื่องจากมีสมบัติด้านการกระเด็ง ตัวที่ดี

3. ยางสไตรีนบิวตาไดอีน (Styrene-Butadiene Rubber, SBR) : ยางสไตรีนบิวตาไดอีน หรือยาง SBR เป็นยางสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้นโดยการนำสไตรีนมาโคพอลิเมอไรซ์กับบิวตาไดอีน โดยวิธีพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชัน (emulsion polymerization) โดยเรียกยางที่ได้ว่า E-SBR และอาจใช้วิธีพอลิเมอไรเซชันแบบสารละลาย (solution polymerization) เรียกว่า L-SBR โดยทั่วไปสัดส่วนของสไตรีนต่อบิวตาไดอีนอยู่ในช่วง 23-40%

4. ยางซิลิโคน (Silicone Rubber) : เป็นยางสังเคราะห์ที่ใช้งานเฉพาะอย่างและราคาสูง เป็นได้ทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์พร้อม ๆ กัน เนื่องจากโมเลกุลมีโครงสร้างของสายโซ่หลักประกอบด้วย ซิลิกอน (Si)

กับออกซิเจน (O) และมีหมู่ข้างเคียงเป็นสารพวกไฮโดรคาร์บอน ซึ่งต่างจากพอลิเมอร์ชนิดอื่น ๆ ทำให้ยางซิลิโคน ทนทานต่อความร้อนได้สูง และยังสามารถออกสูตรยางให้ทนทานความร้อนได้สูงประมาณ 300°C ยางซิลิโคนมีช่องว่างระหว่างโมเลกุลที่สูงและมีความทนทานต่อแรงดึงต่ำ เนื่องจากมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลต่ำมาก

5. ยางคลอโรพรีน (Chloroprene Rubber, CR) : มีชื่อทางการค้าว่า ยางนีโอพรีน (Neoprene Rubber) เป็นยางที่สังเคราะห์จากมอนอเมอร์ของคลอโรพรีน ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม โมเลกุลของยาง CR สามารถจัดเรียงตัวได้อย่างเป็นระเบียบสามารถตกผลึกได้เมื่อถึง มีสมบัติคล้ายยางธรรมชาติ ยาง CR เป็นยางที่มีชีวิตเนื่องจากประกอบด้วยอะตอมของคลอรีน ทำให้ยางชนิดนี้มีสมบัติด้านการทนไฟ, ความทนต่อสารเคมี และน้ำมัน ซึ่งผลิตภัณฑ์ยางที่ใช้งานในลักษณะดังกล่าวได้แก่ ยางซีล, ยางสายพานลำเลียงในเหมืองแร่ เป็นต้น

7. การผลิตยาง

จากการผสมวัตถุดิบ จนถึง การตรวจสอบคุณภาพ

1. การผสม

วัตถุดิบต่างๆ เช่น ยางดิบม สารเคมี ผงถ่าน และส่วนผสมอื่นๆ รวมกัน มากถึง 30 ชนิด ถูกผสมรวมกันในเครื่องผสมขนาดใหญ่ ซึ่งเรียกว่า เครื่องแบนนรี ซึ่งจะทำให้การผสมส่วนผสมต่างๆ เข้าด้วยกันภายใต้ความร้อนและความดันส่วนผสมจะมีสีดำและเหนียว โดยส่วนผสมเหล่านี้จะถูกบดผสมกันอีกซ้ำกันหลายๆ ครั้ง ส่วนผสมที่ได้จะเรียกว่า คอมปาวด์ (Compound)

2. การรีด

คอมปาวด์ (Compound) จะถูกส่งไปที่เครื่องรีด ในเครื่องรีดจะมีเกลียวหมุน ซึ่งจะผลักดันยางให้ผ่านออกมาตามรูปที่ต้องการ และยางที่รีดแล้วจะถูกทำให้เย็นลง ก่อนที่จะตัดเป็นชิ้นตามต้องการ

3. วงลวด

ขอบลวดซึ่งทำหน้าที่รัดยางเข้ากับกระทะล้อจะถูกสร้างด้วยการนำเส้นลวดมาวางเรียงเป็นแผ่นแล้วเคลือบด้วยยาง จากนั้นก็นำไปพันทับขดเป็นวงตามขนาดล้อ แล้วใช้เส้นใยมาพันรอบ เพื่อให้ขดลวดแข็งแรงและคงรูปก่อนนำไปประกอบกับชิ้นอื่น

4. ผ้าใบ

ลำดับต่อไปคือการปูแผ่นผ้าใบโครงยาง ใส่ขอบลวดใส่ชั้นยาง Apex เพื่อให้ความยืดหยุ่นบริเวณของล้อแล้วปูทับด้วยชั้นยางแข็ง ซึ่งจะช่วยป้องกันการกดทับและ เสียดสีของขอบกระทะล้อกับยาง และเนื้อยางบริเวณแก้มยาง

5. หน้ายาง

ลำดับต่อไปคือการใส่เข็มขัดขัดรัดหน้ายาง ซึ่งจะเป็นชิ้นส่วนที่ช่วยป้องกันการทิ่มแทง และทำให้หน้ายางสัมผัสถนนเต็มที่ ต่อมาก็ใส่ชิ้นส่วนหน้ายางเป็นส่วนสุดท้าย รวมเป็นยางดิบหรือ Green Tire เพื่อนำเข้ากระบวนการอบยางต่อไป

6. อบยาง

การอบยาง (Vulcanize) จะเป็นการทำให้ยางดิบเป็นยางสุกยาง รวมทั้งเครื่องหมายหรือตัวหนังสือบนแก้มยาง ยางจะถูกอบที่อุณหภูมิสูงกว่า 300 องศาฟาเรนไฮต์ 12-15 นาที ขึ้นอยู่กับขนาด เมื่อยางถูกอบได้ตามกำหนด ก็จะไหลจากเตาอบ ตามสายพานไปสู่จุดตรวจสอบ

7. ตรวจสอบ

ยางจะถูกตรวจสอบขั้นแรกด้วยเจ้าหน้าที่ผู้ชำนาญที่ไม่ได้มาตรฐาน ที่กำหนดจะถูกแยกออกส่วนที่เหลือจะถูกส่งผ่านไป ตรวจสอบด้วยเครื่องตรวจสอบอื่นต่อไป เจ้าหน้าที่ควบคุมคุณภาพจะสุ่มยาง เพื่อตรวจสอบภายในโครงยาง ด้วยเครื่องX-Ray รวมทั้งสุ่มตัวอย่าง ตัดวิเคราะห์ และนำยางไปวิ่งในห้องทดลองเพื่อวัดสมรรถนะ

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปริมาณและชนิดของกรดอินทรีย์ในน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกผลไม้เหลือทิ้ง
2. ศึกษาสมบัติของยางดิบและยางวัลคาไนซ์ที่ใช้กรดจากน้ำหมักชีวภาพในการจับตัว

ขอบเขตของโครงการวิจัย

งานวิจัยนี้เลือกวัตถุดิบหลักในการหมัก คือ เศษผลไม้เหลือทิ้งได้แก่ มังคุด ส้มโอ และมะกรูด ศึกษาปริมาณและชนิดของกรดอินทรีย์ในน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกผลไม้เหลือทิ้งที่ผลิตได้ จากนั้น ศึกษาสมบัติของยางดิบและยางวัลคาไนซ์ที่ใช้กรดจากน้ำหมักชีวภาพในการจับตัวต่อความสามารถในการจับตัวยาง และสมบัติด้านต่างๆ ของยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพ ทั้งยางดิบ ยาง คอมพาวนด์ และยางวัลคาไนซ์ ตลอดจนศึกษาการเจริญเติบโตของเชื้อราบนยางแผ่นดิบที่เตรียมได้ เปรียบเทียบกับการจับตัวยางด้วยกรดฟอร์มิก

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้อัตราส่วนที่เหมาะสมในการหมักน้ำหมักชีวภาพจากเศษผลไม้เหลือทิ้ง และเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มแก่วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ เศษปลาเหลือทิ้ง ได้น้ำหมักชีวภาพที่ใช้ทดแทนสารเคมี

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์ วิธีการวิเคราะห์และวิธีการทดลอง

วัสดุและอุปกรณ์วิธีการวิเคราะห์และวิธีการทดลอง

วัตถุดิบ

เศษผลไม้เหลือทิ้ง ได้แก่ มังคุด มะกรูด ส้มโอ น้ำยางธรรมชาติสดจากสวนเกษตรกร อำเภอนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราช สารเร่ง พด.2 สำหรับทำปุ๋ยอินทรีย์ จากกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กากน้ำตาล กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก กรดแลกติก และกรดซิตริก เกรด HPLC กรดสเตียริก กำมะถัน ซิงค์ออกไซด์ และ 2-mercaptobenzothiazole (MBT) เกรดอุตสาหกรรม

การเตรียมน้ำหมักชีวภาพ

เตรียมผลไม้เหลือทิ้งได้แก่ มังคุด มะกรูด ส้มโอ มาทำความสะอาด หั่นให้มีขนาดเล็ก ละลายกากน้ำตาลในน้ำที่บรรจุอยู่ในถัง 15 L คนจนเป็นเนื้อเดียวกับน้ำ จากนั้นจึงค่อย ๆ เทสารเร่ง พด.2 ลงไป ในอัตราส่วน สารเร่ง:กากน้ำตาล:น้ำ เท่ากับ 1:20:400 โดยน้ำหมัก คนอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา จนกระทั่งเต็มสารเร่งหมด ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 5-10 นาที เพื่อเป็นการกระตุ้นให้เชื้อในสารเร่งทำงาน จากนั้นจึงค่อย ๆ เติมน้ำที่เตรียมไว้ลงไป (อย่าละ 3 กิโลกรัม) คนส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากัน หลังหมักทิ้งไว้ 30 วัน ทำการกรองน้ำหมักที่เตรียมได้ด้วยผ้าขาวบาง ก่อนการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65-75 °C เป็นเวลา 2 นาที น้ำหมักที่เตรียมได้จะทำการวัดค่าพีเอช และปริมาณกรดในน้ำหมัก

การทดสอบสมบัติของน้ำหมัก

ทำการวัดค่า pH ของน้ำหมัก และหาชนิดและปริมาณของกรดในน้ำหมักด้วยเทคนิค HPLC ระบบการแยกประกอบด้วยชุด HPLC บริษัท Perkin Elmer รุ่น Series 200 โดยใช้ทำการแยกโดยคอลัมน์ C18 มี Potassium dihydrogen phosphate pH 2.4 (ปรับ pH ด้วยกรดฟอสฟอริก) เป็นเฟสเคลื่อนที่ โดยมีอัตราการไหลเท่ากับ 0.8 mL/min ตรวจวัดด้วย UV detector ที่ความยาวคลื่น 214 nm ฉีดสารละลายมาตรฐาน 4 ชนิด คือ กรดฟอร์มิก กรดซิตริก กรดอะซิติก และกรดแลกติก โดยแต่ละชนิดปรับให้มีความเข้มข้น 5, 10, 25 และ 100 ppm และน้ำหมักที่เตรียมได้ หาชนิดและปริมาณของกรดในน้ำหมักที่เตรียมได้เทียบกับสารมาตรฐาน

การจับตัวยางและการฝังแห้งยาง

นำน้ำยางสดปริมาณ 3 ลิตร มาเทลงในภาตสแตนเลส แล้วเติมน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตได้ปริมาณ 500 มิลลิลิตร ลงไป กวนให้เข้ากันและทิ้งไว้จนเนื้อยางจับตัวกันเป็นก้อน จากนั้นรีดก้อนยางด้วยลูกกลิ้ง 2 ประเภท คือลูกกลิ้งแบบรีดเรียบ และแบบรีดดอก ล้างแผ่นยางด้วยน้ำสะอาด จากนั้นนำยางไปอบจนแห้ง

การทดลองการเกิดเชื้อราบนแผ่นยางดิบ

โดยศึกษาการเจริญเติบโตของเชื้อราบนยางแผ่นดิบที่ได้จากจับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตได้ โดยเปรียบเทียบกับกรดฟอร์มิก โดยตัดชิ้นยางให้เป็นชิ้นสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีความหนาประมาณ 6 mm จากนั้นนำ

ขึ้นยางวางบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่ปลอดเชื้อ ใช้แท่งเชียวเชื้อเชื้อรามาแตะที่ขอบทั้ง 4 ด้าน ปิดทับขึ้นตัวอย่างด้วยกระจกปิดสไลด์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อ วางสำลีชุบน้ำที่ปราศจากเชื้อในจานเพาะเชื้อ บ่มเชื้อที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นดูการเจริญของเชื้อราทั้งหมดที่เกิดขึ้น โดยศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเชื้อรา โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงและกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ

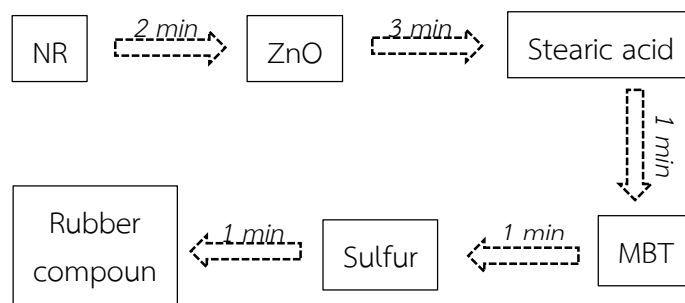
การศึกษาสมบัติของยางดิบ

โดยการปิเตน้ำยางสดมา 25 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ จากนั้นเติมน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตได้ และกรดฟอร์มิกลงไปจับตัวอย่างในปริมาตร 5 และ 2.25 มิลลิลิตร ตามลำดับ ทิ้งไว้จนยางจับตัวอย่างสมบูรณ์ หลังจากนั้นนำก้อนยางที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 40°C จนแห้ง แล้วชั่งน้ำหนักยางแห้ง

นำยางแผ่นที่เตรียมได้จากการจับตัวอย่างด้วยน้ำหมักชีวภาพ และกรดฟอร์มิมาวิเคราะห์ค่าปริมาณสิ่งระเหย ปริมาณซีเถ้า ปริมาณไนโตรเจน ค่าพลาสติกซิตี และค่ามูนีส์โคซิตี

การเตรียมยางคอมพาวนด์และการศึกษาสมบัติของยางวัลคาไนซ์

ผสมยางและสารเคมีเข้าด้วยกันโดยใช้เครื่องบดสองลูกกลิ้ง ใช้สูตรการผสม NR ZnO Stearic acid MBT and Sulfur ปริมาณ 100 6 0.5 0.5 3.5 ตามลำดับ โดยเริ่มจากบดยางให้นิ่มเป็นเวลา 2 นาที แล้วเติม ZnO บดผสมต่อจนครบ 4 นาที เติม Stearic acid บดผสมต่อจนครบ 5 นาที MBT และ Sulfur ตามลำดับ ใช้เวลาการผสม 10 นาที รายละเอียดการผสมแสดงตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 ลำดับการผสมยางกับสารเคมี

เตรียมยางคอมพาวด์โดยใส่ในแม่แบบที่เตรียมไว้ แล้วนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องกดอัด(Compression molding) ที่อุณหภูมิ 150°C ตามเวลาคงรูป (t_{90}) ของยางแต่ละชนิด นำยางวัลคาไนซ์ที่เตรียมได้มาศึกษาความทนแรงดึง ความยืดสูงสุด ณ จุดขาด และค่ามอดูลัสที่ระยะยืดที่ 100% 300% และ 500% ความแข็งแรงการยุบตัวจากแรงอัด และความทนการฉีกขาด

บทที่ 3

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการทดลอง และวิจารณ์

องค์ประกอบและปริมาณของกรดในน้ำหมักชีวภาพ

วิเคราะห์องค์ประกอบ และปริมาณของกรดที่มีอยู่ในน้ำหมัก ด้วยเครื่อง HPLC เทียบกับกราฟความเข้มข้นของกรดมาตรฐาน 4 ชนิดคือ กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก กรดแลคติก และกรดซิตริก ชนิดและปริมาณของกรดชนิดต่างๆ ในน้ำหมักชีวภาพ ดังแสดงในตาราง 2

ตาราง 1 ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ในน้ำหมักจากผลไม้แต่ละชนิด

สูตรน้ำหมัก ชีวภาพ	ปริมาณกรดอินทรีย์				*ค่าพีเอช
	ฟอร์มิก	แลคติก	อะซิติก	ซิตริก	
น้ำหมักมังคุด	882.56±3.2 ^b	1254.48±3.4 ^c	952.28±2.6 ^c	2042.75±3.5 ^c	2.83±0.5 ^a
น้ำหมักมะกรูด	925.42±1.5 ^a	2123.54±5.1 ^a	2215.47±2.5 ^a	2445.48±2.5 ^a	2.75±0.4 ^b
น้ำหมักส้มโอ	825.84±2.8 ^c	1553.46±4.6 ^b	1920.76±3.2 ^b	2132.62±3.1 ^b	2.53±0.2 ^c

*ค่าพีเอช วัดเมื่อสิ้นสุดการหมัก

ชนิดกรดอินทรีย์ในน้ำหมักจากผลไม้ชนิดต่างๆ ที่เวลาการหมัก 40 วัน วิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC พบว่า กรดฟอร์มิก (formic acid) น้ำหมักมะกรูด มีมากที่สุด มีปริมาณ 925.42 ppm รองลงมาคือ น้ำหมักมังคุด และน้ำหมักส้มโอ มีปริมาณ 882.56 และ 825.84 ppm ตามลำดับ สำหรับปริมาณกรดแลคติก (lactic acid) พบว่าน้ำหมักมะกรูด มีมากที่สุด มีปริมาณ 2123.54 ppm รองลงมาคือ น้ำหมักส้มโอ และน้ำหมักมังคุด มีปริมาณ 1553.46 และ 1254.48 ppm ตามลำดับ สำหรับปริมาณ กรดอะซิติก (acetic acid) พบว่าน้ำหมักมะกรูด มีมากที่สุด มีปริมาณ 2215.47 ppm รองลงมาคือ น้ำหมักส้มโอ และน้ำหมักมังคุด มีปริมาณ 1920.76 และ 952.28 ppm ตามลำดับ และกรดซิตริก (citric acid) พบว่าน้ำหมักมะกรูด มีมากที่สุด มีปริมาณ 2445.48 ppm รองลงมาคือ น้ำหมักส้มโอ และน้ำหมักมังคุดมีปริมาณ 2132.62 และ 2042.75 ppm ตามลำดับ

ผลการตรวจวัดค่า pH ของน้ำหมักชีวภาพเทียบกับกรดฟอร์มิก (ชนิด 3%w/v) พบว่าน้ำหมักทุกสูตร มีค่า pH สูงกว่ากรดฟอร์มิก (pH = 2.30) โดยน้ำหมักมังคุดมีค่า pH คือ 2.83 รองลงไปคือน้ำหมักมะกรูด และน้ำหมักส้มโอ โดยมีค่า 2.78, และ 2.53 ตามลำดับ

การเจริญเติบโตเชื้อราของยางแผ่นดิบ

ศึกษาการเจริญของเชื้อราที่สามารถเจริญได้บนยางแผ่นที่จับด้วยกรดฟอร์มิก และกรดอินทรีย์จากน้ำหมักชีวภาพชนิดต่างๆ พบว่าสามารถจำแนกเชื้อราที่เจริญบนยางแผ่นได้ 2 สกุล คือ *Aspergillus sp.* และ *Penicillium sp.* โดยยางแผ่นที่จับด้วยน้ำหมักที่หมักจากส้มโอและมะกรูด ซึ่งมีกรดหลักชนิดเดียวกันคือกรดซิตริกพบการเจริญเติบโตของเชื้อราชนิด *Aspergillus sp.* แต่ไม่พบการเจริญของเชื้อราสายพันธุ์ *Penicillium sp.* ในขณะที่น้ำหมักที่หมักจากมังคุด ซึ่งมีกรดหลักคือกรดแลคติก และกรดซิตริกไม่พบการเจริญเติบโตของเชื้อราทั้งสองสายพันธุ์ นอกจากนี้ยังพบว่าแผ่นยางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิกเมื่อนำมา

ทดสอบการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Aspergillus sp* แต่ไม่พบการเจริญของเชื้อรา *Penicillium sp.* ดังแสดงใน ตาราง 3

ตาราง 2 ผลการเจริญเติบโตของเชื้อราบนยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักชนิดต่างๆ

ชนิดของน้ำหมักที่ จับตัวยาง	ผลการเจริญเติบโต	
	<i>Aspergillus sp.</i>	<i>Penicillium sp. (1)</i>
น้ำหมักส้มโอ	+	-
น้ำหมักมังคุด	-	-
น้ำหมักมะกรูด	+	-
กรดฟอร์มิก	+	-

หมายเหตุ + หมายถึง พบการเจริญเติบโตเชื้อรา
- หมายถึง ไม่พบการเจริญเติบโตเชื้อรา

การจับตัวยาง สมบัติของยางแผ่นดิบ และยางคอมพาวนด์

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการจับตัวยางด้วยน้ำหมักชีวภาพและกรดฟอร์มิก พบว่าน้ำหมักชีวภาพทั้ง 3 ชนิด สามารถทำให้ยางจับตัวกันได้ดี เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำยางสดต่อน้ำหมักชีวภาพ เท่ากับ 100: 20 โดยปริมาตร ในขณะที่การใช้กรดฟอร์มิก (เจือจาง 3%) พบว่าอัตราส่วนที่ดีที่สุดคือใช้น้ำยางสดต่อกรดฟอร์มิก เท่ากับ 100:9 โดยซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับค่า pH ที่พบว่ากรดฟอร์มิกมีค่า pH ต่ำกว่าน้ำหมักชีวภาพ หรือกรดฟอร์มิกมีความเป็นกรดมากกว่าดังนั้นในการจับตัวยางหรือการสะเทินประจุลบบนผิวอนุภาคยาง จึงใช้กรดฟอร์มิกในอัตราส่วนที่น้อยกว่า อย่างไรก็ตามปริมาณเนื้อยางแห้ง (DRC) ที่ได้จากการจับตัวยางด้วยน้ำหมักชีวภาพ และกรดฟอร์มิกมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก โดยมีเนื้อยางแห้งประมาณ 29-30% (ตาราง 4)

จากตาราง 4 แสดงสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของยางดิบที่ได้จากการจับตัวยางด้วยน้ำหมักชีวภาพ และกรดฟอร์มิกเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานยางแห้ง (STR 5 – STR 20 CV) (กองการยาง, 2561) พบว่ายางดิบที่จับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพให้สมบัติทางกายภาพ และทางเคมีไม่แตกต่างกับการใช้กรดฟอร์มิก และมีค่าไม่เกินมาตรฐานยางแห้ง ยกเว้นปริมาณสิ่งระเหย ซึ่งยางดิบทุกสูตรให้ค่าสูงกว่า ค่ามาตรฐานที่กำหนด ซึ่งอาจเกิดจากการอบแผ่นยางที่ยังไม่สนิท ทำให้ปริมาณความชื้นในแผ่นยางสูง ทำให้ค่าปริมาณสิ่งระเหยที่วัดได้มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด สำหรับค่าพลาสติกซีดี หรือค่าความอ่อนตัวเริ่มแรก (PO) ซึ่งเป็นค่าที่บอกความยืดหยุ่นของยาง ซึ่งส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานในการบดผสม และค่าดัชนีความอ่อนตัว (PRI) บอกถึงความสามารถในการต้านการออกซิเดชันของยาง พบว่าทั้งสองค่า ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพจากน้ำหมักมะกรูดกับน้ำหมักมังคุด มีค่า PO สูงกว่ายางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิก ซึ่งหมายถึงยางที่จับตัวด้วยกรดอินทรีย์จากน้ำหมักมีความยืดหยุ่นมากกว่ายางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิก ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ ช. วายกรณ์ และคณะ, 2012 ได้ศึกษาผลของน้ำหมักชีวภาพ โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากผลไม้ 4 ชนิด ได้แก่ มะนาว มะกรูด สับปะรด และส้ม ในฐานะสารจับตัวยางสำหรับการผลิตยางแผ่น โดยเมื่อนำไปทดสอบสมบัติพบว่าการนำน้ำหมักชีวภาพมาเป็นตัวจับยาง ทำให้ค่าทดสอบผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกตัว

สำหรับการศึกษาเวลาในการวัลคาไนซ์ของยางคอมพาวนด์ที่ได้จากยางที่จับตัวด้วยสารจับตัวชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิทดสอบ 150°C โดยใช้เวลาที่ 90 % ของค่าทอร์กสูงสุด ($T_{C,90}$) เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมของยางแต่ละสูตรในการนำไปขึ้นรูปขึ้นทดสอบต่อไป พบว่ายางคอมพาวนด์ที่ได้จากยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพมีช่วงเวลาในการคงรูปกว้าง ระหว่าง 10-16 นาที โดยน้ำหมักชีวภาพที่เตรียมจากส้มโอใช้เวลาในการคงรูปน้อยที่สุด ในขณะที่น้ำหมักชีวภาพที่เตรียมจากมังคุดใช้เวลาในการคงรูปที่มากที่สุด สำหรับการใช้น้ำหมักชีวภาพเป็นสารจับตัวในน้ำยางมีหลักการคือ เมื่อเติมกรดอินทรีย์ลงไปในน้ำยาง กรดจะแตกตัวให้อนุมูลไฮโดรเจน (H^+) ส่วนอนุมูลน้ำจะทำปฏิกิริยากับอนุมูลลบของคาร์บอกซิเลต ($\text{R}-\text{COO}$)-2 ที่อยู่รอบๆ อนุภาคยางเกิดเป็นกรดไขมัน (fatty acid) ขึ้นรอบๆ อนุภาคยาง กรดที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำยาง พลังยึดรอบๆ อนุภาคยางจะลดลงเป็นศูนย์ ขึ้นห่อหุ้มอนุภาคยางแพลง โมเลกุลของน้ำที่ห่อหุ้มอนุภาคยางจะเกิดการกระจายตัว น้ำยางจึงจับเป็นก้อนอย่างรวดเร็ว Baimark and Niamsa (2009) ได้ศึกษาการจับตัวน้ำยางธรรมชาติด้วยน้ำส้มคว้นไม้เปรียบเทียบกับกรดฟอร์มิกหรืออะซิติก พบว่าสารชีวภาพให้ผลดีในการจับตัวของยาง ยางที่ได้มีคุณสมบัติเชิงกลและความเหนียวดีกว่าการใช้กรดฟอร์มิกและอะซิติก นอกจากนี้ น้ำส้มคว้นไม้สามารถยับยั้งเชื้อราบนพื้นผิวยางได้ Ferreira *et al.* (2005) ได้ใช้กรดคว้น (smoke acid) ในการทำยางแผ่นเปรียบเทียบกับกรดฟอร์มิก อะซิติก พบว่ากระบวนการจับตัวยางธรรมชาติ เมื่อวิเคราะห์ทางเคมีและชีวภาพไม่แตกต่างกัน

ตาราง 3 สมบัติทางกายภาพของยางแผ่นดิบที่ได้จากการจับตัวยางด้วยน้ำหมักชีวภาพชนิดต่างๆ และกรดฟอร์มิก

สมบัติ	ค่ามาตรฐาน ยางแท่งชั้น ต่างๆ (STR 5 – STR 20CV)	สารจับตัวยาง			
		น้ำหมัก ส้มโอ	น้ำหมัก มะกรูด	น้ำหมัก มังคุด	กรด ฟอร์มิก
ปริมาณเนื้อยาง แห้ง (%DRC)	-	31.42±1.02 ^a	30.51±1.35 ^b	29.13±1.14 ^c	30.45±1.74 ^b
ปริมาณสิ่งสกปรก (%)	0.04-0.16	0.10±0.02 ^a	0.12±0.04 ^a	0.05±0.14 ^b	0.052±0.02 ^b
ปริมาณสิ่งระเหย (%)	0.80-0.80	1.26±0.05 ^b	1.26±0.03 ^b	1.05±0.01 ^c	1.75±0.03 ^a
ปริมาณเถ้า (%)	0.60-0.80	0.52±0.02 ^a	0.28±0.02 ^c	0.29±0.01 ^c	0.32±0.02 ^b
ปริมาณไนโตรเจน (%)	0.60-0.60	0.4±0.04 ^b	0.44±0.01 ^b	0.43±0.23 ^b	0.51±0.02 ^a
ความอ่อนตัว เริ่มแรก (Po)	ไม่ต่ำกว่า 30	35.0±1.24 ^d	38.0±1.56 ^b	39.5±1.52 ^a	36.0±1.02 ^c
ดัชนีความอ่อนตัว (PRI)	ไม่ต่ำกว่า 60-40	82.0±2.15 ^c	84.3±1.62 ^b	82.5±1.47 ^c	98.3±1.62 ^a
ความหนืดมูนิ เวลาการคงรูป (T _{C90} , min.)	-	66.4±1.26 ^a	63.6±1.05 ^c	65.6±1.89 ^b	66.0±1.15 ^a
	-	12.06±2.15 ^c	14.58±1.02 ^b	15.47±1.54 ^a	15.32±1.42 ^a

สมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์

ทดสอบสมบัติความทนแรงดึงของยางวัลคาไนซ์ ด้วยเครื่องทดสอบความทนแรงดึง ค่ามอดุลัสที่ 100% 300% และ 500% ค่าความทนแรงดึง และค่าความยืดสูงสุด ณ จุดขาด พบว่ามอดุลัส 100% 300% และ 500% ของยางวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพมีค่าสูงกว่ายางวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากยางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิก โดยยางวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักส้มโอมีค่ามอดุลัสที่ 100% 300% และ 500% สูงที่สุด รองลงไปคือยางวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักมังคุด และกรดฟอร์มิก ตามลำดับ (ตาราง 5) ซึ่งอาจกล่าวได้ว่ายางวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพต้องใช้แรงที่ทำให้ยืดในระยะต่างๆ มากกว่ายางวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากการจับตัวด้วยกรดฟอร์มิก อย่างไรก็ตาม ค่าความทนแรงดึง และค่าความยืดสูงสุด ณ จุดขาดของยางทุกสูตรพบว่าไม่ได้แตกต่างกันมากนัก โดยมีค่า

ความทนแรงดึงของยางวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพ และกรดฟอร์มิค ประมาณ 11.20-14.20 MPa และ 12.68 MPa และมีค่าความยืดสูงสุด ณ จุดขาด ประมาณ 649-689% และ 630% โดยยางวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักส้มโอที่ให้ค่าความทนแรงดึง และความยืดสูงสุด ณ จุดขาดสูงกว่ายางสูตรอื่นๆ ดังแสดงในตาราง 5 ในส่วนของสมบัติความแข็งของยางวัลคาไนซ์ด้วยเครื่องวัดค่าความแข็ง Shore A พบว่าค่าความแข็งของยางวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพ และกรดฟอร์มิค มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าความแข็ง ประมาณ 34-35 Shore A และ 34 Shore A ตามลำดับ

สำหรับการยับยั้งการเกิดแรงอัด การคืนตัวหลังการกดของยางวัลคาไนซ์โดยเตรียมขึ้นทดสอบให้มีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอก กดอัดให้ผิดรูป 25% ของความหนา อบให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง พบว่าชิ้นงานมีการเสียรูปหลังกดใกล้เคียงกัน โดยมีค่าการเสียรูปหลังกดของยางวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพ และกรดฟอร์มิค ประมาณ 28.25-30.25% และ 30.50% ตามลำดับ และความต้านต่อการฉีกขาด พบว่ายางวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพ และกรดฟอร์มิค มีค่าความต้านทานการฉีกขาด ประมาณ 28.3 – 30.5 N/mm และ 30.6 N/mm ตามลำดับ โดยจะเห็นว่ายางที่จับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพทุกสูตรมีค่าความทนการฉีกขาดต่ำกว่ายางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิค ยกเว้นยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักส้มโอที่ให้ค่าความทนการฉีกขาดใกล้เคียงกับยางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิค

ตาราง 4 สมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์ที่ได้จากการจับตัวยางด้วยน้ำหมักชีวภาพชนิดต่างๆ และกรด

สมบัติ	สารจับตัวยาง			
	น้ำหมัก	น้ำหมัก	น้ำหมัก	กรด
	ส้มโอ	มังคุด	มะกรูด	ฟอร์มิค
มอดุลัส ที่ 100% (MPa)	0.9±0.01 ^a	0.88±0.01 ^b	0.82±0.01 ^c	0.87±0.01 ^b
มอดุลัสที่ 300% (MPa)	1.95±2.15 ^a	1.87±0.04 ^b	1.72±0.06 ^c	1.85±0.05 ^b
มอดุลัสที่ 500% (MPa)	4.85±0.56 ^a	4.72±0.82 ^a	4.53±0.68 ^c	4.63±0.08 ^b
ความทนแรงดึง, (TS) (MPa)	14.50±1.02 ^a	11.20±1.25 ^c	12.54±1.63 ^b	12.68±1.74 ^b
ความยืดสูงสุด ณ จุดขาด ,E _b (%)	689±2.45 ^b	652±2.63 ^b	649±1.68 ^b	630±2.35 ^c
ความแข็ง (Shore A)	35±1.00 ^a	34±1.00 ^b	35±1.50 ^a	34±1.50 ^b
การยับยั้งการเกิดแรงอัด (%)	30.25±1.20 ^a	29.8±1.25 ^b	28.25±1.25 ^b	30.50±1.45 ^a
ความทนการฉีกขาด (N/mm)	30.5±1.40 ^a	29.7±1.23 ^b	28.3±1.35 ^b	30.6±1.35 ^a

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรังที่ให้การสนับสนุนทุนสนับสนุนในการวิจัย อุปกรณ์ เครื่องมือและสถานที่ในการดำเนินการวิจัย

บทที่ 4

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

จากการทดลอง พบว่าสามารถใช้ น้ำหมักชีวภาพ ในการจับตัวน้ำยางสด เพื่อผลิตเป็นยางแผ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยน้ำหมักที่มีชนิดของกรดต่างกันเมื่อนำมาใช้ในการจับตัวยาง จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราบนแผ่นยางได้ต่างกัน ยางแผ่นที่ได้จากการจับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพพบการเจริญเติบโตของเชื้อรา 2 สกุล สอดคล้องกับยางแผ่นที่ได้จากการจับตัวด้วยกรดฟอร์มิก พบการเจริญเติบโตของเชื้อราบนแผ่นยาง ทั้งนี้ยางแผ่นดิบที่ได้มีสมบัติทางกายภาพที่ใกล้เคียงกันในแต่ละสูตร ซึ่งอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดไว้ในยางแท่ง และสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์ก็มีค่าใกล้เคียงกับยางแผ่นที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิก ทั้งนี้ยางวัลคาไนซ์ที่ให้สมบัติโดยภาพรวมดีที่สุดคือยางวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากยางดิบที่จับตัวด้วยน้ำหมักส้มโอ โดยแสดงค่ามอดุลัส ค่าความทนแรงดึงและค่าความยืดสูงสุด ณ จุดขาดสูงสุด ในขณะที่ยางวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากยางดิบที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิกแสดงค่าการกลับคืนรูปร่างเดิม และค่าความทนการฉีกขาดสูงสุด

ข้อเสนอแนะ

1. ควรใช้วัตถุดิบชนิดอื่นในการหมัก และการทดสอบในระดับที่ใหญ่ขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- นิศากร แก้วกิ่ง และวชิรา เสือรัมย์. (2550). ศึกษาการใช้ น้ำ ผลไม้ในฐานะสารช่วยจับเนื้อเยื่อสำหรับผลิตภัณท์ยางแผ่น. วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา (เน้นเคมี). มหาวิทยาลัยนเรศวร. พิษณุโลก.
- พรไทย ศิริสาธิตกิจ. (2549). แผนงานสร้างเสริมสุขภาพแรงงานนอกระบบในภาคการเกษตร. ยางพารา : ราคาของสุขภาพ ราคาที่มองไม่เห็น. สืบค้นเมื่อ 4 กันยายน 2552 จาก http://www.med.cmu.ac.th/etc/health/Mactivities_3_1.htm.
- ภัสจันท์ หิรัญ, อรพิน เกิดชูชื่น และ ญัฐา เลาทกุลจิตต์. (2552). อิทธิพลของน้ำมันหอมระเหยต่อการยับยั้ง เชื้อรา *Rhizopus stolonifer*, *Cladosporium herbarum* และ *Penicillium sp.* วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 40(3) (พิเศษ), 29-32.
- สายสมร ลำลอง และจารวี นามชัย. (2554). การใช้ น้ำหมักชีวภาพจากมะเฟืองหั่วเชื้อและส้มโอ เป็นสารจับตัวยางและผลต่อสมบัติของยางคอมพาวด์และยางวัลคาไนซ์. วารสาร วิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ฉบับพิเศษ, 1, 21-30
- สมาคมยางพาราไทย. (30 กันยายน 2554). ผลผลิตยางธรรมชาติของประเทศไทย แยกตามประเภท ปี 2543-2554. สืบค้นเมื่อ 8 ธันวาคม 2554 จาก <http://www.thainr.com/th/?detail=stat-thai>.
- AOAC. (2000). Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th ed., Maryland : USA.
- Baimark, Y. and Niamsa, N. (2009). Study of wood vinegars for use as coagulating and antifungalagents on the production of natural rubber sheets. Biomass and Bioenergy, 33, 994-998.
- Chutia, M., Deka Bhuyan, P., Pathak, M.G., Sarma, T.C. and Boruah P. (2009). Antifungal activity and chemical composition of Citrus reticulata Blanco essential oil against phytopathogens from North East India. LWT-Food Science and Technology, 42, 777-780.
- Viuda-Martos, M., Ruiz-Navajas, Y., Fernandez-Lopez, J. and Perez-Alvarez J. (2008). Antifungalactivity of lemon (Citrus lemon L.), mandarin (Citrus reticulata L.), grapefruit (Citrusparadisi L.) and orange (Citrus sinensis L.) essential oils. Food Control, 19, 1130-1138.