ผลของน้ำหมักชีวภาพในฐานะสารจับตัวยางสำหรับการผลิตยางแผ่น

ช.วยากรณ์ เพ็ชญไพศิษฏ์[1]* ปฐมพงษ์ เที่ยงเพชร[1] วิจิตร อุดอ้าย[1] และ
พร้อมศักดิ์ สงวนธำมรงค์[2]

Effect of bio-organic liquid as a rubber coagulant for natural rubber sheets production

Chor. Wayakron Phetphaisit[1]*, Patompong Theangphet[1], Vijitr Udeye[1] and
Promsak Sa-nguanthammarong[2]

[1]ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก
[2]ห้องปฏิบัติการยาง ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ จังหวัดปทุมธานี
*Corresponding author. E-mail: chorwayakronp@nu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ศึกษาผลของการใช้น้ำหมักชีวภาพซึ่งเตรียมจากผลไม้ 4 ชนิดคือ มะนาว มะกรูด สับปะรด และส้ม ต่อความสามารถในการจับตัวยาง สมบัติกายภาพของยางแผ่นดิบ และสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์ ซึ่งพบว่าน้ำหมักชีวภาพสามารถจับตัวน้ำยางสดเพื่อผลิตเป็นยางแผ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำยางสดต่อน้ำหมักชีวภาพ คือ 3 L ต่อ 600 mL ในขณะที่อัตราส่วนสำหรับน้ำยางสดต่อกรดฟอร์มิก (เข้มข้น 3%) ที่เหมาะสม คือ 3 L ต่อ 270 mL ในการผลิตยางแผ่นดิบ 1 แผ่น ทั้งนี้น้ำหมักแต่ละชนิดให้ชนิดและปริมาณกรดที่ต่างกัน โดยน้ำหมักที่หมักจากมะนาวและมะกรูดพบกรดหลักชนิดเดียวกันคือกรดซิตริก ในขณะที่น้ำหมักที่หมักจากสับปะรดให้กรดหลักที่ต่างออกไป คือกรดแลกติก และกรดอะซิติก และน้ำหมักที่หมักจากส้มพบกรดหลักที่คล้ายกับน้ำหมักสับปะรดคือกรดแลกติก ทั้งนี้เมื่อนำยางแผ่นไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ พบว่า ค่าที่ทดสอบอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานยางแท่งและเมื่อทดสอบสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์ที่จับตัวด้วยน้ำหมักเปรียบเทียบกับยางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิก ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: น้ำยางธรรมชาติ น้ำหมักชีวภาพ การจับตัว

Abstract

In this work, coagulating efficiency, physical properties of gum rubber and mechanical properties of vulcanized rubber were studied by using of 4 types of bio-organic liquids: lemon, kaffir lime, pineapple and orange. 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 form 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. Four different types of bio-organic juices showed different acid types and quantities. The bio-organic liquid prepared from lemon and kaffir lime contains citric acid as a major acid. The coagulant prepared from pineapple contains two major acids i.e. lactic acid and acetic acid while the coagulant prepared from orange 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

บทนำ

ยางแผ่นของยางธรรมชาติเตรียมได้จากการเติมกรดฟอร์มิก กรดซัลฟิวริก หรือกรดอะซิติก ลงไปในน้ำยางสด โดยประจุบวกของกรดจะไปสะเทินประจุลบซึ่งเกิดจากองค์ประกอบเชิงซ้อนระหว่างฟอสฟอไลปิดและโปรตีนบนพื้นผิวของอนุภาคยางจนเข้าใกล้ศูนย์ ทำให้เกิดการจับตัวของอนุภาคยางเป็นก้อนขึ้น จากนั้นนำก้อนยางไปรีดเป็นแผ่น แล้วนำไปผ่านกระบวนผึ่งแห้งหรือการรมควันและอัดเป็นแท่งต่อไป ทั้งนี้กำลังการผลิตยางแห้งของประเทศไทยทั้งยางแท่งและยางแผ่นรมควัน ในปี พ.ศ. 2553 มีประมาณ 2,048,835 เมตริกตัน หรือคิดเป็นร้อยละ 65.6 ของกำลังการผลิตยางทั้งหมด (สมาคมยางพาราไทย, 2554) นั่นหมายถึงปริมาณกรดจำนวนมากที่ต้องใช้ และทิ้งสู่สิ่งแวดล้อมในรูปของเสียจากกระบวนการผลิต นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตยังต้องใช้น้ำจำนวนมากเพื่อล้างกรดออกจากแผ่นยาง เพราะหากมีกรดตกค้างจะทำให้ยางเยิ้มเหนียว และน้ำทิ้งดังกล่าวชาวสวนยางได้ทิ้งลงสู่บริเวณพื้นที่ทำการรีดยางซึ่งอยู่ในสวนยาง ทำให้ต้นยางในบริเวณโดยรอบตายเร็วขึ้น ทั้งกรดยังกัดมือและเท้าของชาวสวนยางขณะทำยางแผ่น (พรไทย ศิริสาธิตกิจ, 2549) ปัจจุบันมีมีนักวิจัยจำนวนมากพยายามใช้สารจากธรรมชาติมาใช้ในการจับตัวยางแทนการใช้กรดสังเคราะห์

ไม่ว่าจะเป็นน้ำส้มควันไม้ (Baimark and Niamsa; 2009) น้ำผัก-ผลไม้ที่มีฤทธิ์เป็นกรด (นิศากร แก้วกิ่ง และวชิรา เสือรัมย์; 2550) หรือน้ำหมักชีวภาพ (สายสมร ลำลอง และจารวี นามวิชัย; 2554)

น้ำหมักชีวภาพเป็นการเตรียมน้ำให้มีฤทธิ์เป็นกรดจากการหมักผักหรือผลไม้ที่มาจากธรรมชาติ ซึ่งน้ำหมักชีวภาพมีความน่าสนใจในการนำมาใช้ประโยชน์ในการจับตัวยางเนื่องจากไม่มีอันตรายต่อผู้ใช้เหมือนกรดสังเคราะห์ ทั้งยังเป็นประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อม แต่น้ำหมักชีวภาพมีสารต่างๆ อยู่มากมาย ไม่ว่าจะเป็นกรดของผลไม้ที่นำมาใช้หมัก กรดที่เกิดจากการหมัก และสารแขวนลอยต่างๆ ซึ่งสิ่งต่างๆเหล่านี้อาจตกค้างอยู่ในยางแผ่น และอาจมีผลกระทบต่อสมบัติของยางแผ่นและสมบัติการนำไปใช้งาน นอกจากนี้โดยปกติยางแผ่นในปัจจุบันแม้ว่าจะมีกระบวนการอบรมควันเพื่อไล่ความชื้นและเชื้อรา แต่ยังพบว่าเมื่อวางยางแผ่น ยางก้อน หรือชิ้นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากยางทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่งจะเกิดการเจริญเติบโตของเชื้อราขึ้นได้ ซึ่งราดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อสภาวะในการคงรูปยางและสมบัติของผลิตภัณฑ์ ดังนั้น จึงนิยมเติมสารยับยั้งเชื้อรา (Antifungal agents) ลงไปในขณะผสมยางก่อนขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งสารต้านเชื้อราส่วนใหญ่มีความเป็นพิษสูง ไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และไม่สามารถเติมลงไปในยางดิบในขณะสต๊อกยางก่อนการคอมพาวนด์ได้ สารยับยั้งเชื้อราที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มีความเป็นพิษต่ำ จึงเป็นที่ต้องการสำหรับอุตสาหกรรมยางมาก ซึ่งน้ำมันหอมระเหยในมะนาว และพืชตระกูลส้มพบว่ามีสมบัติยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราหลายสายพันธ์ได้ดี (ภัสจนันท์ หิรัญ และคณะ, 2552; Chutia *et al*., 2009; Viuda-Martos *et al*., 2008) ดังนั้นในงานวิจัยชิ้นนี้จึงสนใจศึกษาผลของการใช้น้ำหมักชีวภาพซึ่งเตรียมจากผลไม้ 4 ชนิดคือ มะนาว มะกรูด สับปะรด และส้ม ต่อความสามารถในการจับตัวยาง และสมบัติด้านต่างๆ ของยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพ ทั้งยางดิบ ยาง คอมพาวนด์ และยางวัลคาไนซ์ ตลอดจนศึกษาการเจริญเติบโตของเชื้อราบนยางแผ่นดิบที่เตรียมได้เปรียบ เทียบกับการจับตัวยางด้วยกรดฟอร์มิก

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

วัตถุดิบ

น้ำยางธรรมชาติสดจากสวน NP เกษตรสุขฟาร์ม อ.นครไทย จ.พิษณุโลก สารเร่ง พด.2 สำหรับทำปุ๋ยอินทรีย์น้ำ จากกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ น้ำตาลทรายตราลิน กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก กรดออกซาลิก กรดแลกติก กรดมาลิก และกรดซิตริก เกรด HPLC กรดสเตียริก กำมะถัน ซิงค์ออกไซด์ และ 2-mercaptobenzothiazole (MBT) เกรดอุตสาหกรรม

การเตรียมน้ำหมักชีวภาพ

ละลายน้ำตาลทรายในน้ำกรองที่บรรจุอยู่ในถังขนาด 15 L คนจนน้ำตาลทรายละลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำ จากนั้นจึงค่อยๆ เทสารเร่ง พด.2 ลงไป ในอัตราส่วนสารเร่ง:น้ำตาลทราย:น้ำ เท่ากับ

1:20:400 โดยน้ำหนัก คนอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา จนกระทั่งเติมสารเร่งหมด วางสารละลายทิ้งไว้ประมาณ 5-10 นาที เพื่อเป็นการกระตุ้นให้เชื้อในสารเร่งทำงาน จากนั้นจึงค่อยๆ เทน้ำผลไม้ที่เตรียมไว้ลงไป (ในอัตราส่วน 160 ส่วนโดยน้ำหนัก) คนส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากัน ทั้งนี้ในกรณีมะนาว มะกรูด และส้มจะทำการเติมเปลือกที่ได้จากการคั้นน้ำออกของผลไม้นั้นๆ ร่วมในการหมักด้วย เพราะต้องการน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกผลไม้นั้น (ในอัตราส่วน 40 ส่วนโดยน้ำหนัก) หลังหมักทิ้งไว้ 15 วัน ทำการกรองน้ำหมักที่เตรียมได้ด้วยผ้าขาวบาง ก่อนยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65-75^{o}C เป็นเวลา 2 นาที

การหาชนิดและปริมาณของกรดในน้ำหมัก

ตรวจสอบชนิดและปริมาณของกรดในน้ำหมักโดยเทคนิค HPLC เทียบกับกรดมาตรฐาน 6 ชนิด คือ กรดฟอร์มิก กรดซิตริก กรดมาลิก กรดออกซาลิก กรดอะซิติก และกรดแลกติก โดยเครื่อง HPLC ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Series 200 โดยใช้ตัวตรวจวัดชนิดยูวี ที่ความยาวคลื่น 214 nm ใช้คอลัมน์ C_{18} และมีอัตราไหลของเฟสเคลื่อนที่เท่ากับ 0.8 mL/min

เตรียมกราฟมาตรฐานเพื่อหาปริมาณของกรดในน้ำหมัก โดยใช้กรดมาตรฐานความเข้มข้น 5, 10, 25, 50 และ 100 ppm โดยมี Potassium dihydrogen phosphate (ปริมาณ 7.16 g/L) ที่ทำการปรับความเป็นกรดเบสด้วย Phosphoric acid ให้มี pH 2.4 เป็นเฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase)

หาค่าความเป็นกรดเบส (pH) ของน้ำหมัก โดย pH-meter

การจับตัวยางและการผึ่งแห้งยาง

เทน้ำยางสด 3 ลิตร ลงในถาด จากนั้นเติมน้ำหมักปริมาณ 600 มิลลิลิตร ลงไป กวนให้เข้ากัน ทิ้งไว้จนยางจับตัวเป็นก้อน นำก้อนยางมารีดผ่านลูกกลิ้งรีดเรียบ และลูกกลิ้งรีดดอก ทำการล้างแผ่นยางด้วยน้ำ จากนั้นนำยางไปผึ่งลมประมาณ 2 วัน ก่อนนำเข้าโรงอบยางจนยางแห้ง

การศึกษาการเจริญเติบโตของเชื้อราบนยางแผ่นดิบ

นำเชื้อราที่เกิดขึ้นบนยางแผ่นดิบที่จับตัวด้วยกรดซัลฟิวริกมาทำการขยายเชื้อในจานเพาะเชื้อ Potato Dextrose Agar (PDA) และจำแนกชนิดของเชื้อราที่เกิดขึ้น

ศึกษาการเจริญเติบโตของเชื้อราบนยางแผ่นดิบที่ได้จากจับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพ และกรดฟอร์มิก โดยตัดชิ้นยางให้เป็นชิ้นสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีความหนาประมาณ 6 mm ด้วยมีดผ่าตัดที่จุ่มในแอลกอฮอล์ 95% และผ่านการเผาไฟ นำชิ้นยางวางบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่ปลอดเชื้อ จากนั้นใช้แท่งเขี่ยเชื้อเขี่ยเชื้อรามาแตะที่ขอบทั้ง 4 ด้าน ปิดทับชิ้นตัวอย่างด้วยกระจกปิดสไลด์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อ วางสำลีชุบน้ำที่ปราศจากเชื้อในจานเพาะเชื้อ บ่มเชื้อที่อุณหภูมิห้อง ศึกษาดูการเจริญเติบโตของเชื้อราทั้งหมดตามการจำแนกข้างต้นที่นำมาแตะที่ชิ้นยาง หากเชื้อรามีการเจริญเติบโตจะนำเส้นใยราที่เจริญแผ่ออกมามาวางที่แผ่นกระจกสไลด์ นำแผ่นสไลด์ที่ได้ไปทำเป็นสไลด์ถาวร โดยประกบกับแผ่น

สไลด์สะอาดที่มีการหยดสีย้อม Lactophenol cotton blue จากนั้นนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ Nikon รุ่น E600 กำลังขยาย 4X 10X 40X ตามลำดับ

การศึกษาสมบัติของยางดิบ

หาปริมาณเนื้อยางแห้งโดยการปิเปตน้ำยางสดมา 25 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ จากนั้นเติมน้ำหมัก และกรดฟอร์มิกลงไปจับตัวยางในปริมาตร 5 และ 2.25 มิลลิลตร ตามลำดับ ทิ้งไว้ให้ยางจับตัวอย่างสมบูรณ์ นำก้อนยางที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 40°C จนแห้ง ชั่งน้ำหนักยางแห้งที่ได้ เมื่อกำหนดให้น้ำยางมีความหนาแน่น เท่ากับ 0.980 กรัม/มิลลิลิตร

นำยางแผ่นที่เตรียมได้จากการจับตัวยางด้วยน้ำหมักชีวภาพ และกรดฟอร์มิกมาวิเคราะห์ค่าปริมาณสิ่งระเหย (ISO 248: 2005) ปริมาณขี้เถ้า (ISO 247: 1990) ปริมาณไนโตรเจน (ISO 1656: 1996) ค่าพลาสติกซิตี้ (P_o และ PRI) (ISO 2930: 1995) และค่ามูนี่วิสโคซิตี้ (ML1+4) 100°C (ISO 289-1: 2005)

การเตรียมยางคอมพาวนด์

ผสมยางและสารเคมีด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้ง ใช้เวลาผสมทั้งหมดประมาณ 25 นาที โดยใน 2 นาทีแรก จะเป็นการบดยางให้นิ่ม (Mastication) จากนั้นจึงเติมสารเคมีปริมาณที่กำหนดลงไปตามลำดับ เมื่อเติมสารเคมีครบแล้ว จะทำการบดต่อไปอีกประมาณ 3 นาที เพื่อให้สารเคมีกระจายในยางคอมพาวนด์ได้ดีขึ้น สารเคมีที่ใช้ดังตาราง 1

ตาราง 1 สูตรการเตรียมยางคอมพาวนด์

ยางและสารเคมี	สูตร (phr)
NR	100
ZnO	6
Stearic acid	0.5
MBT	0.5
Sulfur	3.5

การศึกษาสมบัติของยางวัลคาไนซ์

นำยางคอมพาวนด์ที่เตรียมได้ใส่ในแม่แบบตามที่กำหนด จากนั้นนำไปคงรูปด้วยเครื่องกดอัด (Compression molding) ที่อุณหภูมิ 145°C ตามเวลาคงรูป (t_{90}) ของยางแต่ละชนิด นำยางวัลคาไนซ์ที่เตรียมได้มาศึกษาความทนแรงดึง ความยืดสูงสุด ณ จุดขาด และค่ามอดุลัสที่ระยะยืด 100% 300% และ 500% (ISO 37 : 2011) ความแข็ง (ISO 48 : 2010) การยุบตัวจากแรงอัด (ASTM D395-2008 (Method B)) และความทนการฉีกขาด (ISO 34-1 : 2010 (Method B Angle test piece))

ผลการทดลอง และวิจารณ์

องค์ประกอบและปริมาณของกรดในน้ำหมักชีวภาพ

วิเคราะห์องค์ประกอบ และปริมาณของกรดมีอยู่ในน้ำหมัก ด้วยเครื่อง HPLC เทียบกับกราฟความเข้มข้นของกรดมาตรฐาน 6 ชนิดคือ กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก กรดออกซาลิก กรดแลกติก กรดมาลิก และกรดซิตริก ชนิดและปริมาณของกรดชนิดต่างๆ ในน้ำหมักชีวภาพ ดังแสดงในตาราง 2

ตาราง 2 ชนิดและปริมาณกรดในน้ำหมักชีวภาพที่ทำการวิเคราะห์โดยเครื่อง HPLC

สูตรน้ำหมักชีวภาพ	ชนิด และปริมาณของกรด (ppm)						
	ออกซาลิก	ฟอร์มิก	แลกติก	อะซิติก	Unknown	ซิตริก	มาลิก
น้ำหมักมะนาว	116.7	635	-	3,243	-	13,620	291
น้ำหมักมะกรูด	218	723	-	581	-	24,459	150
น้ำหมักสับปะรด	99	510	14,034	14,885	-	17	231
น้ำหมักส้ม	136	750	21,963	3,180	√	-	428

√ หมายถึง พบสัญญาณที่ตำแหน่งดังกล่าว แต่ไม่ทราบชนิดและปริมาณของกรดชนิดนั้น

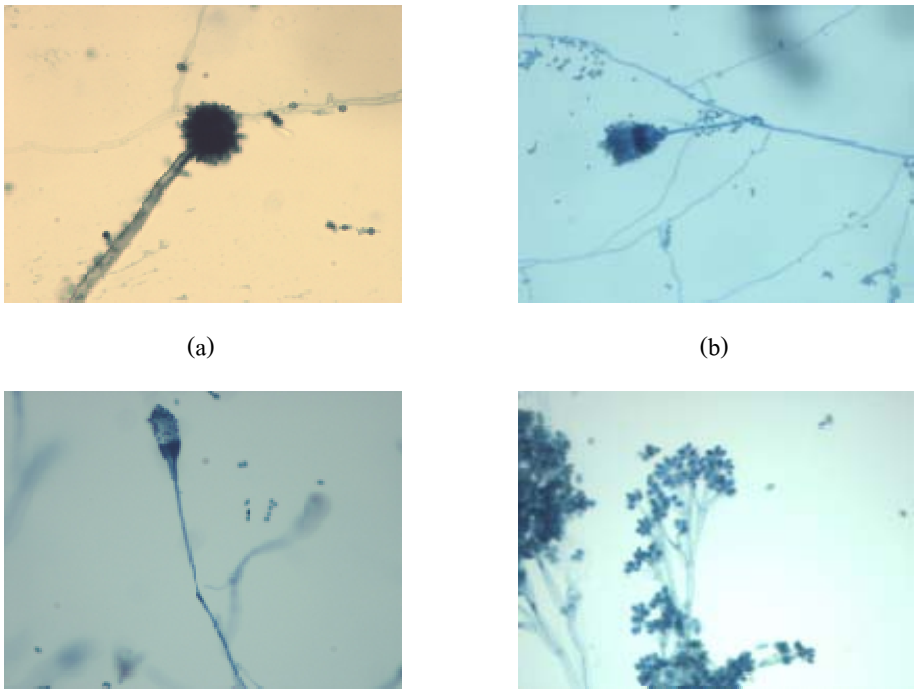
จากผลการทดลองพบว่า น้ำหมักจากมะกรูดและมะนาวปรากฏสัญญาณหลักเพียงสัญญาณเดียว ซึ่งเป็นสัญญาณของกรดซิตริก โดยน้ำหมักจากมะนาวมีกรดอะซิตริกเป็นสัญญาณรอง นอกจากนั้นพบสัญญาณที่แสดงถึงกรดออกซาลิก กรดฟอร์มิก และกรดมาลิกจำนวนเล็กน้อย ในขณะที่น้ำหมักจากสับปะรดปรากฏของสัญญาณหลัก 2 สัญญาณ ซึ่งเป็นสัญญาณของกรดแลกติก และกรดอะซิติกในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน และกรดชนิดอื่นๆ ในปริมาณเพียงเล็กน้อย ในขณะที่น้ำหมักจากส้มพบสัญญาณหลักเพียงสัญญาณเดียว ซึ่งเป็นสัญญาณของกรดแลกติกเช่นเดียวกับน้ำหมักสับปะรด นอกจากนี้น้ำหมักจากส้มยังปรากฏสัญญาณ รองที่เวลา 4.6 และ 5.2 นาที ซึ่งเป็นสัญญาณของกรดอะซิติกและกรดไม่ทราบชนิด (Unknown)

ตรวจวัดค่า pH ของน้ำหมักชีวภาพเทียบกับกรดฟอร์มิก (ชนิด 3%w/v) พบว่าน้ำหมักทุกสูตรมีค่า pH สูงกว่ากรดฟอร์มิก (pH = 2.30) โดยน้ำหมักมะกรูดมีค่า pH ต่ำสุดคือ 2.78 รองลงไปคือน้ำหมักส้ม น้ำหมักมะนาว และน้ำหมักสับปะรด โดยมีค่า 3.17, 3.28 และ 3.45 ตามลำดับ

การเจริญเติบโตเชื้อราของยางแผ่นดิบ

นำเชื้อราที่ขึ้นบนยางแผ่นที่จับตัวด้วยกรดซัลฟิวริกและทิ้งไว้ในสภาวะเปิดมาทำการเพาะเลี้ยง พบว่าสามารถจำแนกเชื้อราได้ 4 สกุล คือ *Aspergillus sp. Penicillium sp.(1) Penicillium sp. (2) และ Trichoderma sp.* (ดังแสดงในรูป 1) และเมื่อนำเชื้อราทั้ง 4 สกุลมาศึกษาการเจริญเติบโตบนยางที่จับ

ตัวด้วยน้ำหมักชนิดต่างๆ และอาหารเลี้ยงเชื้อ พบว่าผลการทดลองที่ได้มีความสัมพันธ์กับชนิดของกรดที่ทำการวิเคราะห์ไปแล้วข้างต้น คือยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักที่หมักจากมะนาวและมะกรูด ซึ่งมีกรดหลักชนิดเดียวกันคือกรดซิตริกพบการเจริญเติบโตของเชื้อราบนชิ้นยางเพียง 2 สกุล จาก 4 สกุล คือ *Aspergillus sp.* และ *Penicillium sp.(1)* ในขณะที่น้ำหมักที่หมักจากสับปะรดและส้มซึ่งมีกรดหลักคือกรดแลกติก และกรดอะซิติกพบการเจริญเติบโตของเชื้อราที่แตกต่างออกไป คือพบการเจริญเติบโตของเชื้อราสกุล *Penicillium sp. (2)* และ *Trichoderma sp.* ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าน้ำหมักที่มีชนิดของกรดที่ต่างกันเมื่อนับมาจับตัวยาง จะทำให้เชื้อรามีการเจริญเติบโตบนแผ่นยางนั้นได้ต่างสายพันธ์กัน และ *Penicillium sp.(1)* และ *Penicillium sp. (2)* คาดว่าเป็นเชื้อรา *Penicillium* ต่างไอโซเลทกัน นอกจากนี้ยังพบว่าแผ่นยางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิกเมื่อนำมาทดสอบการเจริญเติบโตของเชื้อราพบการเจริญเติบโตของเชื้อราที่ต่างไป คือเชื้อราสามารถขึ้นบนชิ้นยางที่ได้จากการจับตัวด้วยกรดฟอร์มิกถึง 3 สกุล ดังแสดงใน ตาราง 3



(a) (b)

(c) (d)

รูป 1 เชื้อราที่เจริญบนแผ่นยาง (a) *Aspergillus sp.* (b) *Penicillium sp.(1)* (c) *Penicillium sp.(2)* และ (d) *Trichoderma sp.*

ตาราง 3 ผลการเจริญเติบโตของเชื้อราบนยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักชนิดต่างๆ

ชนิดของน้ำหมักที่จับตัวยาง	ผลการเจริญเติบโต			
	Aspergillus sp.	***Penicillium sp.* (1)**	***Penicillium sp.* (2)**	***Trichoderma sp.***
น้ำหมักมะนาว	+	+	-	-
น้ำหมักมะกรูด	+	+	-	-
น้ำหมักสับปะรด	-	-	+	+
น้ำหมักส้ม	-	-	+	+
กรดฟอร์มิก	+	-	+	+

หมายเหตุ + หมายถึง พบการเจริญเติบโตเชื้อรา
- หมายถึง ไม่พบการเจริญเติบโตเชื้อรา

การจับตัวยาง สมบัติของยางแผ่นดิบ และยางคอมพาวนด์

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการจับตัวยางด้วยน้ำหมักชีวภาพและกรดฟอร์มิก พบว่าน้ำหมักชีวภาพทุกสูตรให้ผลคล้ายกันคือยางสามารถจับตัวได้ดี ให้น้ำเซรั่มใส เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำยางสดต่อน้ำหมักชีวภาพ เท่ากับ 100: 20 โดยปริมาตร ในขณะที่การใช้กรดฟอร์มิก (เจือจาง 3%) พบว่าอัตราส่วนที่ดีที่สุดคือใช้น้ำยางสดต่อกรดฟอร์มิก เท่ากับ 100:9 โดยปริมาตร ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับค่า pH ที่พบว่ากรดฟอร์มิกมีค่า pH ต่ำกว่าน้ำหมักชีวภาพ หรือกรดฟอร์มิกมีความเป็นกรดมากกว่า ดังนั้นในการจับตัวยางหรือการสะเทินประจุลบบนผิวอนุภาคยาง จึงกรดฟอร์มิกในอัตราส่วนที่น้อยกว่า อย่างไรก็ตามปริมาณเนื้อยางแห้ง (DRC) ที่ได้จากการจับตัวยางด้วยน้ำหมักชีวภาพ และกรดฟอร์มิกมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก โดยมีเนื้อยางแห้งประมาณ 29-30% (ตาราง 4)

ตาราง 4 แสดงสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของยางดิบที่ได้จากการจับตัวยางด้วยน้ำหมักชีวภาพ และกรดฟอร์มิกเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานยางแท่ง (STR 5 – STR 20 CV) (วราภรณ์ ขจรไชยกูล, 2549) พบว่ายางดิบที่จับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพให้สมบัติทางกายภาพ และทางเคมีไม่แตกต่างจากการใช้กรดฟอร์มิกมากนัก และมีค่าไม่เกินมาตรฐานยางแท่ง ยกเว้นปริมาณสิ่งระเหย ซึ่งยางดิบทุกสูตรให้ค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด ซึ่งอาจเกิดจากการอบแผ่นยางที่ยังไม่ดีนัก ส่งผลให้ยังคงมีปริมาณความชื้นในแผ่นยางที่สูง ทำให้ค่าปริมาณสิ่งระเหยที่วัดได้มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด

ค่าพลาสติกซิตี้ หรือค่าความอ่อนตัวเริ่มแรก (Po) ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงความนิ่ม-แข็ง และความยืดหยุ่นของยาง ซึ่งส่งผลต่อเนื่องถึงพลังงานที่ใช้ในการบดผสม และค่าดัชนีความอ่อนตัว (PRI) ซึ่งบ่งบอกถึงความสามารถในการต้านทานต่อการออกซิเดชันของยาง พบว่ายางที่จับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพทุกสูตรมีค่า Po สูงกว่ายางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิก ซึ่งอาจกล่าวได้ว่ายางที่จับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพมี

ความแข็งและความยืดหยุ่นที่มากกว่า ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับค่าความหนืดมูนนี่ของยางดิบที่ได้รับ ในขณะที่ยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพทุกสูตรมีค่า PRI ต่ำกว่ายางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิก หรืออาจกล่าวได้ว่ายางที่จับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพมีความสามารถในการต้านทานต่อการออกซิเดชันของยางต่ำกว่ายางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิก อย่างไรก็ตามค่า PRI ที่ได้จากยางทุกสูตรพบว่าสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด

ศึกษาเวลาในการวัลคาไนซ์ของยางคอมพาวนด์ที่ได้จากยางที่จับตัวด้วยสารจับตัวชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิทดสอบ 145°C โดยยางเกิดการเชื่อมขวาง 90% ($T_{C,90}$) เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมของยางแต่ละสูตรในการนำไปขึ้นรูปชิ้นทดสอบต่อไป พบว่ายางคอมพาวนด์ที่ได้จากยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพมีช่วงเวลาในการคงรูปกว้าง ระหว่าง 10-16 นาที โดยน้ำหมักชีวภาพที่เตรียมจากมะนาวใช้เวลาในการคงรูปน้อยที่สุด ในขณะที่น้ำหมักชีวภาพที่เตรียมจากสับปะรดใช้เวลาในการคงรูปที่มากที่สุด ดังตาราง 4

ตาราง 4 สมบัติทางกายภาพของยางแผ่นดิบที่ได้จากการจับตัวยางด้วยน้ำหมักชีวภาพชนิดต่างๆ และกรดฟอร์มิก

สมบัติ	ค่ามาตรฐานยางแท่งชั้นต่างๆ (STR 5 – STR 20CV)	สารจับตัวยาง				
		น้ำหมักมะนาว	น้ำหมักมะกรูด	น้ำหมักสับปะรด	น้ำหมักส้ม	กรดฟอร์มิก
ปริมาณเนื้อยางแห้ง (%DRC)	-	30.60	30.57	29.37	30.32	30.12
ปริมาณสิ่งสกปรก (%)	0.04-0.16	0.015	0.020	0.040	0.096	0.048
ปริมาณสิ่งระเหย (%)	0.80-0.80	1.26	1.26	1.05	1.24	1.78
ปริมาณเถ้า (%)	0.60-0.80	0.29	0.28	0.29	0.29	0.29
ปริมาณไนโตรเจน (%)	0.60-0.60	0.46	0.44	0.43	0.42	0.44
ความอ่อนตัวเริ่มแรก (Po)	ไม่ต่ำกว่า 30	40.0	37.0	37.5	40.0	34.0
ดัชนีความอ่อนตัว (PRI)	ไม่ต่ำกว่า 60-40	95.0	94.6	94.7	91.3	97.1
ความหนืดมูนนี่	-	67.4	64.6	66.4	69.7	63.0
เวลาการคงรูป ($T_{C,90}$, min.)	-	10.01	14.22	15.94	12.02	14.57

สมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์

ทดสอบสมบัติความทนแรงดึงของยางวัลคาไนซ์ ด้วยเครื่องทดสอบความทนแรงดึง บันทึกค่ามอดุลัสที่ 100% 300% และ 500% ค่าความทนแรงดึง และค่าความยืดสูงสุด ณ จุดขาด พบว่ามอดุลัส 100% 300% และ 500% ของยางวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพมีค่าสูงกว่ายางวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากยางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิก โดยยางวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักส้มมีค่ามอดุลัสที่ 100% 300% และ 500% สูงที่สุด รองลงไปคือยางวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักมะนาว สับปะรด มะกรูด และกรดฟอร์มิกตามลำดับ (ตาราง 5) ซึ่งอาจกล่าวได้ว่ายางวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพต้องใช้พลังงานต่อหน่วยปริมาตรในการทำให้ชิ้นงานเสียรูปร่างที่ระยะยืดต่างๆ มากกว่ายางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิก อย่างไรก็ตามค่าความทนแรงดึง และค่าความยืดสูงสุด ณ จุดขาดของยางทุกสูตรพบว่าไม่ได้แตกต่างกันมากนัก โดยมีค่าความทนแรงดึงของยางวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพ และกรดฟอร์มิก ประมาณ 9.4-11.6 MPa และ 11.5 MPa และมีค่าความยืดสูงสุด ณ จุดขาด ประมาณ 591-670% และ 621% ยกเว้นยางวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักมะนาวที่ให้ค่าความทนแรงดึง และความยืดสูงสุด ณ จุดขาดสูงกว่ายางสูตรอื่นๆ ดังแสดงในตาราง 5

ทดสอบสมบัติความแข็งของยางวัลคาไนซ์ด้วยเครื่องวัดค่าความแข็ง Shore A พบว่าค่าความแข็งของยางวัลคาไนซ์เตรียมจากยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพ และกรดฟอร์มิก มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าความแข็ง ประมาณ 37-38 Shore A และ 36 Shore A ตามลำดับ

ทดสอบการยุบตัวจากแรงอัด หรือปริมาณที่ไม่สามารถกลับคืนรูปร่างเดิมได้ของยางวัลคาไนซ์ โดยเตรียมชิ้นทดสอบให้มีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอก กดอัดให้ผิดรูป 25% ของความหนา อบให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100^{o}C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง พบว่าชิ้นงานมีการเสียรูปหลังกดใกล้เคียงกัน โดยมีค่าการเสียรูปหลังกดของยางวัลคาไนซ์เตรียมจากยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพ และกรดฟอร์มิก ประมาณ 33-36% และ 32% ตามลำดับ

ความทนการฉีกขาด หรือการต้านทานต่อการขยายของรอยแตก หรือรอยตัดเมื่อมีการดึงหรือยืดรอยตัดนั้น พบว่ายางวัลคาไนซ์เตรียมจากยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพ และกรดฟอร์มิก มีค่าความทนการฉีกขาด ประมาณ 23.9 – 30.4 N/mm และ 30.8 N/mm ตามลำดับ โดยจะเห็นว่ายางที่จับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพทุกสูตรมีค่าความทนการฉีกขาดต่ำกว่ายางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิก ยกเว้นยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักมะนาวที่ให้ค่าความทนการฉีกขาดใกล้เคียงกับยางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิก

ตาราง 5 สมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์ที่ได้จากการจับตัวยางด้วยน้ำหมักชีวภาพชนิดต่างๆ และกรดฟอร์มิก

สมบัติ	สารจับตัวยาง				
	น้ำหมักมะนาว	น้ำหมักมะกรูด	น้ำหมักสับปะรด	น้ำหมักส้ม	กรดฟอร์มิก
100% มอดุลัส (MPa)	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8
300% มอดุลัส (MPa)	2.1	1.9	1.9	2.2	1.7
500% มอดุลัส (MPa)	5.9	4.6	4.9	6.3	3.6
ความทนแรงดึง, (TS) (MPa)	13.3	9.4	9.8	11.6	11.5
ความยืดสูงสุด ณ จุดขาด, E_b (%)	700	670	621	591	621
ความแข็ง (Shore A)	37	37	38	38	36
การยุบตัวจากแรงอัด (%)	33.4	34.8	35.9	32.8	32.4
ความทนการฉีกขาด (N/mm)	30.4	27.9	29.2	23.9	30.8

บทสรุป

จากการทดลอง พบว่าสามารถใช้น้ำหมักชีวภาพในการจับตัวน้ำยางสดเพื่อผลิตเป็นยางแผ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยน้ำหมักที่มีชนิดของกรดต่างกันเมื่อนำมาใช้ในการจับตัวยาง จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราบนแผ่นยางได้ต่างกัน ยางแผ่นที่ได้จากการจับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพพบการเจริญเติบโตของเชื้อราเพียง 2 สกุล จาก 4 สกุล ในขณะที่ยางแผ่นที่ได้จากการจับตัวด้วยกรดฟอร์มิก พบการเจริญเติบโตของเชื้อราบนแผ่นยางถึง 3 สกุล ทั้งนี้ยางแผ่นดิบที่ได้มีสมบัติทางกายภาพที่ใกล้เคียงกันในแต่ละสูตร ซึ่งอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดไว้ในยางแท่ง และสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์ก็มีค่าใกล้เคียงกับยางแผ่นที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิก ทั้งนี้ยางวัลคาไนซ์ที่ให้สมบัติโดยภาพรวมดีที่สุดคือยางวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากยางดิบที่จับตัวด้วยน้ำหมักมะนาว โดยแสดงค่ามอดุลัส ค่าความทนแรงดึง และค่าความยืดสูงสุด ณ จุดขาดสูงสุด ในขณะที่ยางวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากยางดิบที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิกแสดงค่าการกลับคืนรูปร่างเดิม และค่าความทนการฉีกขาดสูงสุด

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัย (งบประมาณรายได้) มหาวิทยาลัยนเรศวร และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยฝ่ายอุตสาหกรรม โครงการวิจัยเรื่องยางพารา ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยเรื่องนี้ ขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้สถานที่ และเครื่องมือในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

นิศากร แก้วกิ่ง และวชิรา เสือรัมย์. (2550). *ศึกษาการใช้น้ำผลไม้ในฐานะสารช่วยจับเนื้อยางสำหรับผลิตภัณฑ์ยางแผ่น*. 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.

ภัสจนันท์ หิรัญ, อรพิน เกิดชูชื่น และ ณัฏฐา เลาหกุลจิตต์. (2552). อิทธิพลของน้ำมันหอมระเหยต่อการยับยั้งเชื้อรา Rhizopus stolonifer, Cladosporium herbarum และ Penicillium sp. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 40(3) (พิเศษ), 29-32.

สายสมร ลำลอง และจารวี นามชัย. (2554). การใช้น้ำหมักชีวภาพจากมะเฟืองหัวเชื้อและส้มโอเป็นสารจับตัวยางและผลต่อสมบัติของยางคอมพาวด์และยางวัลคาไนซ์. วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 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.

Baimark, Y. and Niamsa, N. (2009). Study of wood vinegars for use as coagulating and antifungal agents 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). Antifungal activity of lemon (Citrus lemon L.), mandarin (Citrus reticulata L.), grapefruit (Citrus paradisi L.) and orange (Citrus sinensis L.) essential oils. *Food Control, 19*, 1130-1138.