KU KASETSART UNIVERSITY
KAMPHAENG SAEN CAMPUS

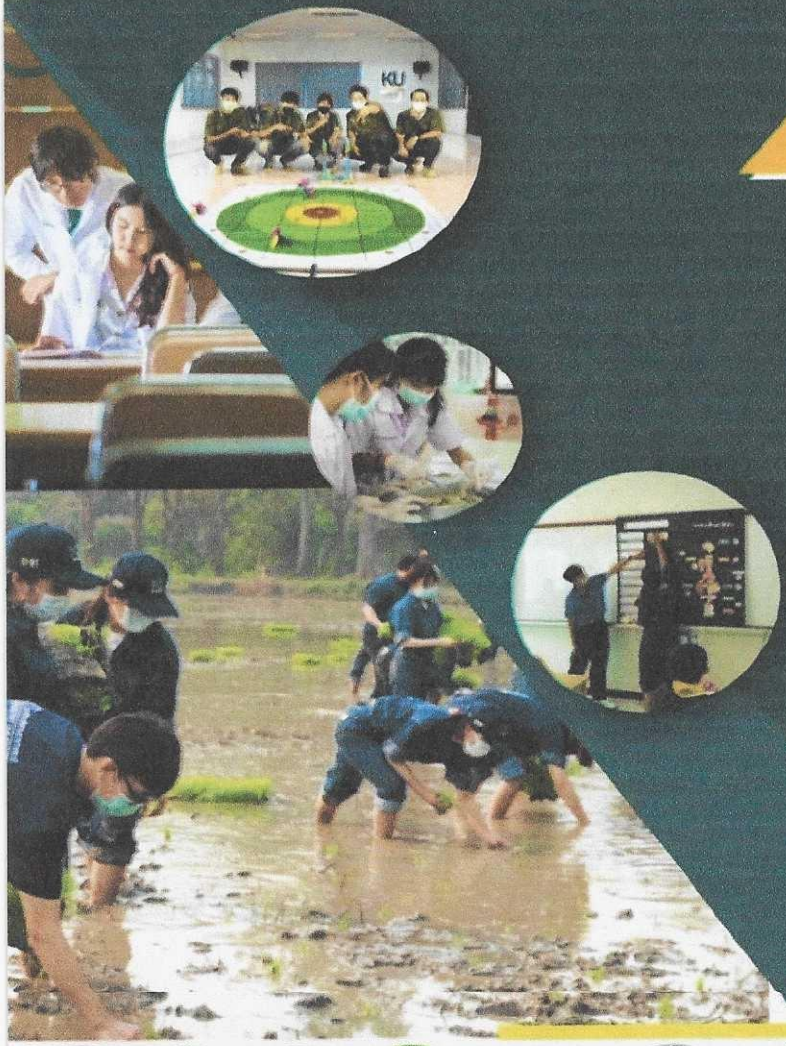
80 KASETSART UNIVERSITY

The 19th KU KPS National Conference ครั้งที่ 19

# การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

## ระหว่างวันที่ 8-9 ธันวาคม 2565

## เกษตรศาสตร์อัจฉริยะ สุขภาวะคนไทย สู้ภัยเศรษฐกิจ



## Proceedings

ผลงานทางวิชาการ 8 สาขา

1.สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ

2.สาขาสัตว์และสัตวแพทย์

3.สาขาวิศวกรรมศาสตร์

4.สาขาศึกษาศาสตร์และพัฒนศาสตร์

5.สาขามนุษยศาสตร์ สังคมศาสตร์ และอุตสาหกรรมบริการ

6.สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพและการกีฬา

7.สาขาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี สิ่งแวดล้อม และความหลากหลายทางชีวภาพ

8.สาขาส่งเสริมการเกษตร

การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 19 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

เลขมาตรฐานสากลประจำหนังสืออิเล็กทรอนิกส์: 978-616-278-745-4

จัดทำโดย กองบริหารการศึกษา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

เลขที่ 1 หมู่ 6 ตำบลกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

พิมพ์ครั้งที่ 1 : ธันวาคม 2565

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรและแนวทางการลดปริมาณ
ก๊าซเรือนกระจกของโรงงานผลิตเครื่องดื่ม ..... 2071
Direct Current Sounding for a Conductive Disc Buried Underground ..... 2079
การวิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้ใช้บริการร้านอาหารในจังหวัดชลบุรีจาก Tripadvisor ..... 2086
การติดตามการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในเขตพัฒนาเศรษฐกิจพิเศษสระแก้ว
ด้วย Google Earth Engine ..... 2095
แนวทางการออกแบบกลยุทธ์สำหรับพัฒนาผลิตภัณฑ์คอลลาเจนเปปไทด์จากสัตว์น้ำ ..... 2103
ความหลากหลายของแมลงในพื้นที่ป่าเสื่อมสภาพหลังการฟื้นฟูระยะแรก
ในพื้นที่อุทยานแห่งชาติศรีน่าน จังหวัดน่าน ..... 2111
ความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของกรดพอลิแลคติกโดยแบคทีเรียสร้างเอนไซม์
ไลเปสในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว ..... 2119
ผลตอบแทนจากการลงทุนในประกันชีวิตแบบสะสมทรัพย์สำหรับผู้หญิงอายุ 35 ปี ..... 2127
ความชุกชุมของหิ่งห้อยน้ำกร่อย *Pteroptyx malaccae* ในพื้นที่ป่าชายเลน
ศูนย์ศึกษาเรียนรู้ระบบนิเวศป่าชายเลนสิรินาถราชินี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ..... 2134
ผลของอุณหภูมิ ตัวทำละลายและวิธีการวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์ละลายน้ำใน
ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ..... 2142
การพัฒนาแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่สำหรับสนับสนุนการประชาสัมพันธ์ระดับการปล่อย
อ้างอิงภาคป่าไม้และระดับอ้างอิงภาคป่าไม้ของประเทศไทยภายใต้กลไกเรดด์พลัส ..... 2150
การลดของเสียทางการเกษตรในการปลูกสับปะรด
ด้วยวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตและบัญชีต้นทุนการไหลวัสดุ ..... 2159
การลดอุณหภูมิชั้นบรรยากาศผกผันเพื่อบรรเทาปัญหาฝุ่นละออง ..... 2168
การขยายตัวของกลุ่มฝนในพื้นที่ภาคตะวันออกของประเทศไทย ..... 2177
กรดอินทรีย์ในน้ำหมักชีวภาพต่อการเป็นสารจับตัวยางสำหรับการผลิตยางแผ่น ..... 2186
การเพาะเลี้ยงปะการังอ่อน *Sinularia* sp.ในภาวะโรงเรือน ..... 2194
การประเมินการจัดการการท่องเที่ยวเชิงนิเวศโดยชุมชน:
กรณีศึกษาบ้านรวมไทย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ..... 2204
ความหลากหลายของพรรณไม้ในวนอุทยานนครไชยบวร จังหวัดพิจิตร ..... 2214
ความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำและความหลากหลายของสาหร่ายสีเขียว
ในลำน้ำแม่เหี่ยน อ.เมือง จ.พะเยา ..... 2223
คุณภาพน้ำและการกระจายตัวของสาหร่ายกลุ่มเดสมิดส์
บริเวณหนองเล็งทรายและลำน้ำอิงจังหวัดพะเยา ในช่วงฤดูแล้ง พ.ศ. 2565 ..... 2234

# กรดอินทรีย์ในน้ำหมักชีวภาพต่อการเป็นสารจับตัวยางสำหรับการผลิตยางแผ่น

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

ฌานิกา แซ่แง่ ชูกลิ่น[1] สุภาษิต ชูกลิ่น[2] เดี่ยว สายจันทร์[3] กัตตินาฏ สกุลสวัสดิพันธ์[1] เอนก สาวะอินทร์[1] นุชนาฏ นิลออ[1]

Chanika Saenge Chooklin[1], Supasit Chooklin[2], Diew Saijan[3] Kattinat Sagulsawasdipan[1] Aneak Sawain[1] Nuchanat Nilaor[1]

## บทคัดย่อ

การศึกษาผลของกรดอินทรีย์จากน้ำหมักชีวภาพจากผลไม้ 3 ชนิดคือ มังคุด ส้มโอ มะกรูด ต่อความสามารถในการจับตัวยาง สมบัติกายภาพของยางแผ่นดิบ และสมบัติเชิงกลของยางวัลคาร์ไนซ์ พบว่า น้ำหมักมะกรูดมีปริมาณกรดฟอร์มิกมากที่สุด รองลงมาคือ น้ำหมักมังคุด และน้ำหมักส้มโอ ตามลำดับ สำหรับปริมาณกรดแลกติก พบว่าน้ำหมักมะกรูด มีมากที่สุด รองลงมาคือ น้ำหมักส้มโอ และน้ำหมักมังคุดตามลำดับ สำหรับปริมาณ กรดอะซิติก พบว่าน้ำหมักมะกรูด มีมากที่สุด รองลงมาคือ น้ำหมักส้มโอ และน้ำหมักมังคุดตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อนำยางแผ่นไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ พบว่า ค่าที่ทดสอบอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานยางแท่ง และเมื่อทดสอบสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์ที่จับตัวด้วยน้ำหมักไม่แตกต่างกับยางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิก

**คำสำคัญ** : กรดอินทรีย์ สารจับตัวยาง ยางแผ่น

## 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: mangoteenes, pomelo, kaffir lime. The efficiency and physical properties were compared with those of formic acid. It was found that bio-organic liquids can be used as an coagulant to produce a rubber sheet. 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 : Organic acid Rubber coagulant rubber sheet

E-mail address Chanika.sae@gmail.com

[1] สาขาวิทยาศาสตร์ทางทะเลและสิ่งแวดล้อม .คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง
Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya.Trang.
[2] สาขานวัตกรรมอาหาร.คณะอุตสาหกรรมเกษตร
Faculty of Agro-indutry, Rajamangala University of Technology Srivijaya. Nakonsrithammarat.
[3] สาขาวิทยาศาสตร์ .คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Nakonsrithammarat.

## คำนำ

เกษตรกรชาวสวนยางส่วนใหญ่มีการใช้กรดที่ได้จากการสังเคราะห์ เช่น กรดฟอร์มิก (formic acid) กรดอะซิติก (acetic acid) หรือกรดซัลฟูริก (sulfuric acid) เพื่อเป็นสารจับตัวในน้ำยาง ทำให้น้ำยางเป็นก้อนเร็วขึ้น (BaimarและNiamsa, 2009) ซึ่งหมายถึงการต้องใช้กรดในปริมาณมาก และทิ้งสู่สิ่งแวดล้อมในรูปของเสียจากกระบวนการผลิต นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตยังต้องใช้น้ำจำนวนมากเพื่อล้างกรดออกจากแผ่นยาง เพราะหากมีกรดตกค้างจะทำให้ยางเยิ้มเหนียว และน้ำทิ้งดังกล่าวชาวสวนยางได้ทิ้งลงสู่บริเวณพื้นที่ทำการรีดยางซึ่งอยู่ในสวนยาง 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 ไม่ว่าจะเป็นกรดของผลไม้ที่นำมาใช้หมัก กรดที่เกิดจากการหมัก และสารแขวนลอยต่าง ๆ ซึ่งมีสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้อาจตกค้างอยู่ในยางแผ่น และอาจมีผลกระทบต่อสมบัติของยางแผ่นและสมบัติการนำไปใช้งาน ดังนั้นในงานวิจัยชิ้นนี้จึงสนใจศึกษาผลของการใช้น้ำหมักชีวภาพซึ่งเตรียมจากผลไม้ 3 ชนิดคือ มังคุด มะกรูด ส้มโอ ต่อความสามารถในการจับตัวยาง และสมบัติด้านต่าง ๆ ของยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพ ทั้งยางดิบ ยางคอมพาวนด์ และยางวัลคไนซ์ เปรียบเทียบกับการจับตัวยางด้วยกรดฟอร์มิก

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 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 โดยน้ำหนัก คนอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา จนกระทั่งเติมสารเร่งหมด ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 5-10 นาที เพื่อเป็นการกระตุ้นให้เชื้อในสารเร่งทำงาน จากนั้นจึงค่อย ๆ เทผลไม้ที่เตรียมไว้ลงไป (อย่างละ 3 กิโลกรัม) คนส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากัน หลังหมักทิ้งไว้ 30 วัน ทำการกรองน้ำหมักที่

เตรียมได้ด้วยผ้าขาวบาง 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 โดยแต่ละชนิดปรับให้มีความ เข้มข้น 5, 10, 25 และ 100 ppm และน้ำหมักที่เตรียมได้ หาชนิดและปริมาณของกรดในน้ำหมักที่เตรียมได้เทียบกับสารมาตรฐาน

**การจับตัวยางและการผึ่งแห้งยาง**

นำน้ำยางสดปริมาณ 3 ลิตร มาเทลงในถาดสแตนเลส แล้วเติมน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตได้ปริมาณถาดละ 500 มิลลิลิตร แล้วกวนให้เข้ากันและทิ้งไว้จนเนื้อยางจับตัวกันเป็นก้อน จากนั้นรีดก้อนยางด้วยลูกกลิ้ง 2 ประเภท คือลูกกลิ้งแบบรีดเรียบ และแบบรีดดอก ล้างแผ่นยางด้วยน้ำสะอาด จากนั้นนำยางไปอบจนแห้ง

**การศึกษาสมบัติของยางดิบ**

นำน้ำยางสดมา 25 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตได้ และกรดฟอร์มิกลงไปจับตัวยางในปริมาตร 5 และ 2.25 มิลลิลิตร ตามลำดับ ทิ้งไว้จนยางจับตัวอย่างสมบูรณ์ หลังจากนั้นนำก้อนยางที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 40°C จนแห้ง แล้วชั่งน้ำหนักยางแห้ง นำยางแผ่นที่เตรียมได้จากการจับตัวยางด้วยน้ำหมักชีวภาพและกรดฟอร์มิกมาวิเคราะห์ค่าปริมาณสิ่งระเหย ปริมาณขี้เถ้า ปริมาณไนโตรเจน ค่าพลาสติกซิตี้ และค่ามูนี่วิสโคซิตี้

**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

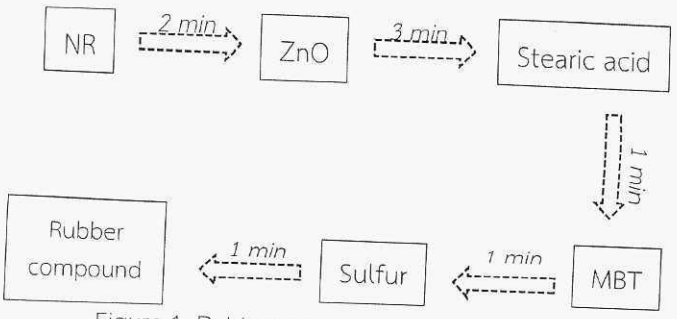



Figure 1 Rubber compounding processes

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

## ผลการทดลองและวิจารณ์

### องค์ประกอบและปริมาณของกรดในน้ำหมักชีวภาพ

วิเคราะห์องค์ประกอบ และปริมาณของกรดที่มีอยู่ในน้ำหมัก ด้วยเครื่อง HPLC เทียบกับกราฟความเข้มข้นของกรดมาตรฐาน 4 ชนิดคือ กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก กรดแลกติก และกรดซิตริก ชนิดและปริมาณของกรดชนิดต่างๆ ในน้ำหมักชีวภาพ ดังแสดงในตาราง 1

Table 1 Organic acid content

| Bioextract | Organic acid content | | | | pH |
|---|---|---|---|---|---|
| | Formic | Lactic | Acetic | Citic | |
| Mangoteen | 882.56±3.2$^{b}$ | 1254.48±3.4$^{c}$ | 952.28±2.6$^{c}$ | 2042.75±3.5$^{c}$ | 2.83±0.5$^{a}$ |
| kaffir lime | 925.42±1.5$^{a}$ | 2123.54±5.1$^{a}$ | 2215.47±2.5$^{a}$ | 2445.48±2.5$^{a}$ | 2.75±0.4$^{b}$ |
| Pomelo | 825.84±2.8$^{c}$ | 1553.46±4.6$^{b}$ | 1920.76±3.2$^{b}$ | 2132.62±3.1$^{b}$ | 2.53±0.2$^{c}$ |

* Different letters in the same column indicate significant different ($p < 0.05$) Results represented mean ± standard deviation from 3 determinations.

ชนิดกรดอินทรีย์ในน้ำหมักจากผลไม้ชนิดต่างๆที่เวลาการหมัก 40 วัน วิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC พบว่ากรดฟอร์มิก (formic acid) น้ำหมักมะกรูด มีมากที่สุด มีปริมาณ 925.42 ppm รองลงมาคือ น้ำหมักมังคุด และน้ำหมักส้มโอ มีปริมาณ 882.56 และ 825.84 ppm ตามลำดับ สำหรับปริมาณกรดแลกติก (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

Table 2 Physical and chemical propoties of rubber sheet from ruber coagulation by bioextract and formic acid

| Charecteristics | Standard (STR 5 – STR 20CV) | Coagulant | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Pomelo | kaffir lime | Mangoteen | Formic acid |
| Dry rubber content (%) | - | 31.42±1.02$^{a}$ | 30.51±1.35$^{b}$ | 29.13±1.14$^{c}$ | 30.45±1.74$^{b}$ |
| Dirt content (%) | 0.04-0.16 | 0.10±0.02$^{a}$ | 0.12±0.04$^{a}$ | 0.05±0.14$^{b}$ | 0.052±0.02$^{b}$ |
| Volatile Matter Content (%) | 0.80-0.80 | 1.26±0.05$^{b}$ | 1.26±0.03$^{b}$ | 1.05±0.01$^{c}$ | 1.75±0.03$^{a}$ |
| Ask (%) | 0.60-0.80 | 0.52±0.02$^{a}$ | 0.28±0.02$^{c}$ | 0.29±0.01$^{c}$ | 0.32±0.02$^{b}$ |
| Nitrogen (%) | 0.60-0.60 | 0.4±0.04$^{b}$ | 0.44±0.01$^{b}$ | 0.43±0.23$^{b}$ | 0.51±0.02$^{a}$ |
| Original Wallace Plasticity (Po) | ไม่ต่ำกว่า 30 | 35.0±1.24$^{d}$ | 38.0±1.56$^{b}$ | 39.5±1.52$^{a}$ | 36.0±1.02$^{c}$ |
| Plasticity Retention Index (PRI) | ไม่ต่ำกว่า 60-40 | 82.0±2.15$^{c}$ | 84.3±1.62$^{b}$ | 82.5±1.47$^{c}$ | 98.3±1.62$^{a}$ |
| Mooney viscometer | - | 66.4±1.26$^{a}$ | 63.6±1.05$^{c}$ | 65.6±1.89$^{b}$ | 66.0±1.15$^{a}$ |
| Cure time ($T_{c\,90}$, min.) | - | 12.06±2.15$^{c}$ | 14.58±1.02$^{b}$ | 15.47±1.54$^{a}$ | 15.32±1.42$^{a}$ |

* Different letters in the same column indicate significant different ($p < 0.05$) Results represented mean ± standard deviation from 3 determinations.

จากตาราง 2 แสดงสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของยางดิบที่ได้จากการจับตัวยางด้วยน้ำหมักชีวภาพ และกรดฟอร์มิกเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานยางแท่ง (STR 5 – STR 20 CV) (สถาบันวิจัยยาง, 2538) พบว่ายางดิบที่จับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพให้สมบัติทางกายภาพ และทางเคมีไม่แตกต่างกับการใช้กรดฟอร์มิก และมีค่าไม่เกินมาตรฐานยางแท่ง ยกเว้นปริมาณสิ่งระเหย ซึ่งยางดิบทุกสูตรให้ค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด ซึ่งอาจเกิดจากการอบแผ่นยางที่ยังไม่ดีนัก ทำให้ปริมาณความชื้นในแผ่นยางสูง ทำให้ค่าปริมาณสิ่งระเหยที่วัดได้มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด สำหรับค่าพลาสติกซิตี้ หรือค่าความอ่อนตัวเริ่มแรก (PO) ซึ่งเป็นค่าที่บอกความยืดหยุ่นของยาง ซึ่งส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานในการบดผสม และค่าดัชนีความอ่อนตัว (PRI) บอกถึงความสามารถในการต้านการออกซิเดชั่นของยาง พบว่าทั้งสองค่า ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพจากน้ำหมักมะกรูดกับน้ำหมักมังคุด มีค่า PO สูงกว่ายางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิก ซึ่งหมายถึงยางที่จับตัวด้วยกรดอินทรีย์จากน้ำหมักมีความยืดหยุ่นมากกว่ายางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิกซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ (สายสมร และ สมนภา ,2557) ได้ศึกษาผลของน้ำหมักชีวภาพ จากเปลือกสับปะรดผสมใบเตยเป็นสารจับตัวยางธรรมชาติต่อสมบัติของ

ยาง แผ่นดิบและสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์เปรียบเทียบกับกรดฟอร์มิก โดยเมื่อนำไปทดสอบสมบัติพบว่าการนำน้ำหมักชีวภาพมาเป็นตัวจับยาง ทำให้ค่าทดสอบผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกตัว

สำหรับการศึกษาเวลาในการวัลคาไนซ์ของยางคอมพาวนด์ที่ได้จากยางที่จับตัวด้วยสารจับตัวชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิทดสอบ 150°C โดยใช้เวลาที่ 90 % ของค่าทอร์กสูงสุด ($T_{c,90}$) เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมของยางแต่ละสูตรในการนำไปขึ้นรูปชิ้นทดสอบต่อไป พบว่ายางคอมพาวนด์ที่ได้จากยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพมีช่วงเวลาในการคงรูปกว้าง ระหว่าง 10-16 นาที โดยน้ำหมักชีวภาพที่เตรียมจากส้มโอใช้เวลาในการคงรูปน้อยที่สุด ในขณะที่น้ำหมักชีวภาพที่เตรียมจากมังคุดใช้เวลาในการคงรูปที่มากที่สุด สำหรับการใช้น้ำหมักชีวภาพเป็นสารจับตัวในน้ำยางมีหลักการคือเมื่อเติมกรดอินทรีย์ลงไปในน้ำยางกรดจะแตกตัวให้อนุมูล ไฮโดรเจน (H+) ส่วนอนุมูลน้ำจะทำปฏิกิริยากับอนุมูลลบของคาร์บอกซิเลต (R–COO)–2 ที่อยู่รอบๆ อนุภาคยางเกิดเป็นกรดไขมัน (fatty acid) ขึ้นรอบๆอนุภาคยาง กรดที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำยาง พลังยึดรอบๆอนุภาคยางจะลดลงเป็นศูนย์ ชั้นห่อหุ้มอนุภาคยางแฟบลง โมเลกุลของน้ำที่ห่อหุ้มอนุภาคยางจะเกิดการกระจายตัว น้ำยางจึงจับเป็นก้อนอย่างรวดเร็ว Baimark and Niamsa (2009) ได้ศึกษาการจับตัวน้ำยางธรรมชาติด้วยน้ำส้มควันไม้เปรียบเทียบกับกรดฟอร์มิกหรืออะซิติก พบว่าสารชีวภาพให้ผลดีในการจับตัวของน้ำยาง ยางที่ได้มีคุณสมบัติเชิงกลและความหนืดดีกว่าการใช้กรดฟอร์มิกและอะซิติก

**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 3) ซึ่งอาจกล่าวได้ว่ายางวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพต้องใช้แรงที่ทำให้ยืดในระยะต่างๆ มากกว่ายางวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากการจับตัวด้วยกรดฟอร์มิก อย่างไรก็ตามค่าความทนแรงดึง และค่าความยืดสูงสุด ณ จุดขาดของยางทุกสูตรพบว่าไม่ได้แตกต่างกันมากนัก โดยมีค่าความทนแรงดึงของยางวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพ และกรดฟอร์มิก 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 พบว่าค่าความแข็งของยางวัลคาไนซ์เตรียมจากยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพ และกรดฟอร์มิก มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าความแข็ง ประมาณ 34-35 Shore A และ 34 Shore A ตามลำดับ สำหรับการยุบตัวจากแรงอัด การคืนตัวหลังการกดของยางวัลคาไนซ์โดยเตรียมชิ้นทดสอบให้มีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอก กดอัดให้ผิดรูป 25% ของความหนา อบให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง พบว่าชิ้นงานมีการเสียรูปหลังกดใกล้เคียงกัน โดยมีค่าการเสียรูปหลังกดของยางวัลคาไนซ์เตรียมจากยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพ และกรดฟอร์มิก ประมาณ 28.25-30.25% และ 30.50%

ตามลำดับ และความต้านต่อการฉีกขาด พบว่ายางวัลคาไนซ์เตรียมจากยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพ และกรดฟอร์มิก มีค่าความต้านทานการฉีกขาด ประมาณ 28.3 – 30.5 N/mm และ 30.6 N/mm ตามลำดับ โดยจะเห็นว่ายางที่จับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพทุกสูตรมีค่าความทนการฉีกขาดต่ำกว่ายางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิก ยกเว้นยางที่จับตัวด้วยน้ำหมักส้มโอที่ให้ค่าความทนการฉีกขาดใกล้เคียงกับยางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิก

Table 3 Mechanical properties of vulcanized rubber obtained from rubber coagulation by various bioextract and formic acids

| Characteristics | Coagulant | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Pomelo | Mangoteen | Kiffer lime | Formic acid |
| Modulus 100% (MPa) | 0.9±0.01$^{a}$ | 0.88±0.01$^{b}$ | 0.82±0.01$^{c}$ | 0.87±0.01$^{b}$ |
| Modulus 300% (MPa) | 1.95±2.15$^{a}$ | 1.87±0.04$^{b}$ | 1.72±0.06$^{c}$ | 1.85±0.05$^{b}$ |
| Modulus 500% (MPa) | 4.85±0.56$^{a}$ | 4.72±0.82$^{a}$ | 4.53±0.68$^{c}$ | 4.63±0.08$^{b}$ |
| tensile strength, (MPa) | 14.50±1.02$^{a}$ | 11.20±1.25$^{c}$ | 12.54±1.63$^{b}$ | 12.68±1.74$^{b}$ |
| Elongation at break (%) | 689±2.45$^{b}$ | 652±2.63$^{b}$ | 649±1.68$^{b}$ | 630±2.35$^{c}$ |
| Shore A Hardness | 35±1.00$^{a}$ | 34±1.00$^{b}$ | 35±1.50$^{a}$ | 34±1.50$^{b}$ |
| compressive stress (%) | 30.25±1.20$^{a}$ | 29.8±1.25$^{b}$ | 28.25±1.25$^{b}$ | 30.50±1.45$^{a}$ |
| Tear Strength (N/mm) | 30.5±1.40$^{a}$ | 29.7±1.23$^{b}$ | 28.3±1.35$^{b}$ | 30.6±1.35$^{a}$ |

* Different letters in the same column indicate significant different ($p < 0.05$) Results represented mean ± standard deviation from 3 determinations.

## สรุป

จากการทดลอง พบว่าสามารถใช้กรดอินทรีย์ในน้ำหมักชีวภาพมีประสิทธิภาพต่อความสามารถในการจับตัวยาง โดยสมบัติกายภาพของยางแผ่นดิบ และสมบัติเชิงกลของยางวัลคาร์ไนซ์ พบว่า น้ำหมักมะกรูดมีปริมาณกรดฟอร์มิกมากที่สุด รองลงมาคือ น้ำหมักมังคุด และน้ำหมักส้มโอ ตามลำดับ สำหรับปริมาณกรดแลกติก พบว่าน้ำหมักมะกรูด มีมากที่สุด รองลงมาคือ น้ำหมักส้มโอ และน้ำหมักมังคุดตามลำดับ สำหรับปริมาณ กรดอะซิติก พบว่าน้ำหมักมะกรูด มีมากที่สุด รองลงมาคือ น้ำหมักส้มโอ และน้ำหมักมังคุดตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อนำยางแผ่นไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ พบว่า ค่าที่ทดสอบอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานยางแท่งและเมื่อทดสอบสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์ที่จับตัวด้วยน้ำหมักไม่แตกต่างกับยางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิก ทั้งนี้ยางแผ่นดิบที่ได้มีสมบัติทางกายภาพที่ใกล้เคียงกันในแต่ละสูตร ซึ่งอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดไว้ในยางแท่ง และสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์ก็มีค่าใกล้เคียงกับยางแผ่นที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิก ทั้งนี้ยางวัลคาไนซ์ที่ให้สมบัติโดยภาพรวมดีที่สุดคือยางวัลคาไนซ์ที่ตรียมจากยางดิบที่จับตัวด้วยน้ำหมักส้มโอ โดยแสดงค่ามอดุลัส ค่าความทนแรงดึงและค่าความยืดสูงสุด ณ จุดขาดสูงสุด ในขณะที่ยางวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากยางดิบที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิกแสดงค่าการกลับคืนรูปร่างเดิมและค่าความทนการฉีกขาดสูงสุด

## เอกสารอ้างอิง

นิศากร แก้วกิ่ง และวชิรา เสือรัมย์. (2550). ศึกษาการใช้น้ำ ผลไม้ในฐานะสารช่วยจับเนื้อยางสำหรับผลิตภัณฑ์ยางแผ่น. วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา (เน้นเคมี). มหาวิทยาลัยนเรศวร. พิษณุโลก.

พรไทย ศิริสาธิตกิจ. (2549). แผนงานสร้างเสริมสุขภาพแรงงานนอกระบบในภาคการเกษตร.ยางพารา : ราคาของสุขภาพ ราคาที่มองไม่เห็น. สืบค้นเมื่อ 4 กันยายน 2552จาก http://www.med.cmu.ac.th/etc/health/ Mactivities_3_1.htm.

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

สถาบันวิจัยยาง. (2538). คู่มือมาตรการยางแท่ง เอสทีอาร์ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สายสมร ลำลอง และจารวี นามชัย. (2554). การใช้น้ำหมักชีวภาพจากมะเฟืองหัวเชื้อและส้มโอ เป็นสารจับตัวยางและผลต่อสมบัติของยางคอมพาวด์และยางวัลคาไนซ์. วารสาร วิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ฉบับพิเศษ, 1, 21-30

สายสมร ลำลอง และ สมนภา คำนัน.(2557). การใช้น้ำหมักชีวภาพเปลือกสับปะรดผสมใบเตยเป็นสารจับตัวยางธรรมชาติ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 16 (2). 55-62.

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.