ฤทธิ์ต้านแบคทีเรียและสมบัติเชิงกลของน้ำยางธรรมชาติผสมสารสกัดจากไพลและเปลือกมังคุด

Antibacterial and Mechanical Properties of Natural Rubber Latex Mixed with Plai (*Zingiber cassumunar* Roxb.) and Mangosteen (*Garcinia mangostana* Linn.) Peel Extracts

สุรเดช มัจฉาเวช* ซารียะห์ มูซอเลาะยา และอิมรอน มีชัย
Suradet Matchawet* Sariyah Musolohya and Imron Meechai

หลักสูตรเคมี คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา อำเภอเมือง จังหวัดยะลา 95000
Chemistry major, Faculty of sciences technology and agriculture, Yala Rajabhat University, Muang, Yala 95000, Thailand
*Corresponding author, e-mail: suradet.m@yru.ac.th
(Received: Feb 15, 2023; Revised: Aug 16, 2023; Accepted: Aug 17, 2023)

บทคัดย่อ

ผลิตภัณฑ์ยางที่มีความสามารถในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียเป็นสิ่งที่น่าสนใจในปัจจุบัน เนื่องจากแบคทีเรียที่ปนเปื้อนอยู่บนผลิตภัณฑ์ยางสามารถก่อให้เกิดโรคต่าง ๆ ได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติของยางธรรมชาติที่มีการเติมสารสกัดจากไพลและเปลือกมังคุดสำหรับใช้เป็นสารต้านแบคทีเรียในน้ำยางธรรมชาติ โดยได้ศึกษาเปรียบเทียบฤทธิ์ต้านแบคทีเรียของยางธรรมชาติระหว่างการเติมสารสกัดไพลหรือเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0 3 6 9 และ 12 phr และการใช้สารสกัดร่วมระหว่างไพลและเปลือกมังคุด ศึกษาผลการต้านแบคทีเรีย 3 ชนิด ได้แก่ *Staphylococcus aureus, Bacillus cereus* และ *Escherichia coli* พร้อมกับการศึกษาสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มยางที่เตรียมได้ ผลการทดลองพบว่าน้ำยางธรรมชาติที่ผสมสารสกัดจากไพลมีฤทธิ์ต้านแบคทีเรียได้ดีกว่าน้ำยางธรรมชาติที่ผสมสารสกัดจากเปลือกมังคุด โดยสามารถต้านแบคทีเรียชนิด *S. aureus* และ *E. coli* สูงสุดที่ความเข้มข้นของสารสกัดเท่ากับ 3 และ 12 phr ตามลำดับ น้ำยางธรรมชาติที่ผสมสารสกัดจากเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 12 phr มีความสามารถในการต้านแบคทีเรียชนิด *B. cereus* ดีที่สุด และการเติมสารสกัดผสมระหว่างไพลกับเปลือกมังคุดจะให้ผลที่ใกล้เคียงกับการใช้สารสกัดเดี่ยว อย่างไรก็ตามแผ่นฟิล์มยางที่ได้จากการเติมสารสกัดเปลือกมังคุดจะให้สมบัติเชิงกลต่าง ๆ ที่ดีกว่าการเติมสารสกัดไพลในน้ำยางธรรมชาติที่ความเข้มข้นเท่ากัน งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการผสมสารสกัดจากไพลหรือสารสกัดจากเปลือกมังคุดในน้ำยางธรรมชาติสามารถนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยางที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้

คำสำคัญ : ไพล มังคุด ยางธรรมชาติ ฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย สมบัติเชิงกล

Abstract

Nowadays, there is a growing interest in rubber products that possess the the ability to inhibit bacterial growth, as bacteria on rubber items can lead to various diseases. This research aimed to prepare and study the properties of natural rubber containing plai or mangosteen peel extracts as an antibacterial agent in natural rubber latex. A comparative study of the antibacterial activity between plai and mangosteen peel extract at concentrations of 0, 3, 6, 9 and 12 phr and the combination of plai and mangosteen peel extract was evaluated. The antibacterial properties were tested against three bacterial strains: *aureus, Bacillus cereus, and Escherichia coli*. Additionally, the mechanical properties of the rubber film were examined. The results revealed that the addition of plai extract in natural latex had better antibacterial resistance than the mixture of mangosteen peel extract. Optimizing the addition of 3 and 12 phr of plai extract demonstrated the highest antibacterial properties against *S. aureus* and *E. coli*, respectively. When mixed with mangosteen peel extract at 12 phr, natural rubber latex exhibited excellent antibacterial properties agints *B. cereus.*The combination of plai and mangosteen peel extract

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มรย.
YRUJST
YRU JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
ISSN 2985-1416 (Online)

gave similar results to using a single extract. However, the rubber film obtained by adding mangosteen peel extract displayed better mechanical properties compared to the addition of plai extract at the same concentration. This research highlights the potential of incorporating plai or mangosteen peel extract into natural rubber latex to produce antibacterial rubber products.

Keywords: Plai, Mangosteen, Natural rubber, Antibacterial, Mechanical properties

บทนำ

ปัจจุบันมีความนิยมสูงขึ้นสำหรับการใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากยางธรรมชาติ เช่น ถุงมือยาง จุกนมสำหรับทารก แผ่นยางปูพื้น แผ่นยางรองอุปกรณ์การแพทย์ แผ่นรองเท้า สีผสมยางพารา เป็นต้น การนำผลิตภัณฑ์ยางไปใช้ประโยชน์อาจมีความเสี่ยงต่อการเป็นแหล่งสะสมของแบคทีเรียที่สามารถปนเปื้อนได้จากสิ่งแวดล้อมภายนอก ด้วยเหตุนี้การทำให้ผลิตภัณฑ์ยาง มีความสามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจศึกษา เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ (Sakulkhaemaruethai *et al*., 2015; Moopayuk & Tangboriboon, 2018) การทำให้ยางมีสมบัติต้านการเจริญของแบคทีเรียได้ เช่น การผสมสารตัวเติมหรือสารเคมีที่มีฤทธิ์ต้านแบคทีเรียลงไปโดยตรงในน้ำยาง แต่ในปัจจุบันก็มีการให้ข้อมูลข่าวสารด้านอันตรายของสารตัวเติมบางกลุ่ม อาทิเช่นการใช้อนุภาคนาโนเงิน (Silver nanoparticles) ที่เพิ่มมากขึ้นทั้งในสินค้าอุปโภคบริโภคและมีการปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมส่งผลให้มีผลกระทบต่อระบบนิเวศทั้งในส่วนของสัตว์ที่มีกระดูกสันหลัง สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง พืช สาหร่าย และจุลินทรีย์ ที่มีส่วนสำคัญทางด้านการย่อยสลายของระบบนิเวศ ดังนั้นการใช้สารเคมีเพื่อต้านแบคทีเรียจึงต้องมีความระมัดระวังมากขึ้น (Tortella *et al*., 2020)

การใช้สารสกัดจากธรรมชาติที่ไม่เป็นพิษ สามารถต้านแบคทีเรียหรือจุลชีพชนิดอื่น ๆ ได้เป็นวิธีการหนึ่งที่มีความน่าสนใจ สารสกัดจากธรรมชาติมีความปลอดภัยสูงทั้งต่อผู้ใช้งานและสิ่งแวดล้อม ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้สารสกัดจากไพลและเปลือกมังคุด ซึ่งเป็นพืชที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นของประเทศไทย ไพลเป็นพืชสมุนไพรที่คนไทยนิยมนำมาใช้เป็นยารักษาโรคต่าง ๆ มาช้านาน เพราะคนไทยสมัยโบราณค้นพบว่า ไพลมีรสฝาดขื่น จึงนิยมนำมาใช้เป็นยาแก้ท้องเสีย แก้ท้องร่วงเรื้อรัง โดยมีรายงานวิจัยว่า ไพลมีฤทธิ์ต้านแบคทีเรียและรา เนื่องจากสารสกัดที่ได้จากเหง้าไพลมีสาร terpinen-4-ol (24-32 เปอร์เซ็นต์) และ sabinene (34-44 เปอร์เซ็นต์) เป็นสารประกอบสำคัญหลักที่มีฤทธิ์ต้านแบคทีเรียและจุลชีพชนิดอื่น ๆ (Boonyanugomol *et al*., 2017; Verma, *et al*., 2018; Han, *et al*., 2021) สำหรับมังคุดได้รับการขนานนามว่าราชินีแห่งผลไม้ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพหลายด้าน เป็นผลไม้หาได้ง่าย มีการปลูกทั่วทุกภาคของประเทศไทย เปลือกมังคุดซึ่งเป็นของเหลือทิ้งทางการเกษตร ถูกนำมาใช้งานทางยาหลายชนิด เช่น เป็นยาฆ่าเชื้อ ยาต้านการอักเสบและต้านปรสิต ยาต้านมะเร็ง รวมถึงใช้ในด้านการต้านแบคทีเรีย รา และไวรัส ซึ่งสารประกอบสำคัญหลักที่มีฤทธิ์ในการต้านเชื้อในเปลือกมังคุด คือ xanthones และอนุพันธ์ของ Xanthone ได้แก่ α-mangostin β-mangostin γ-mangostin และ garcinone B (Ovalle-Magallanes *et al*., 2017; Janardhanan *et al*., 2017; Ansori *et al*., 2020) โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้สารสกัดจากไพลและเปลือกมังคุดเป็นสารต้านทานแบคทีเรียในน้ำยางธรรมชาติ สำหรับเป็นแนวทางในการนำสารสกัดจากธรรมชาติที่มีความปลอดภัยสูงมาใช้ทดแทนสารเคมีในสูตรยางเพื่อสามารถนำไปต่อยอดสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติหลากหลายชนิดที่ต้องการคุณสมบัติในการต้านทานแบคทีเรีย โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการจุ่มน้ำยาง เช่น ถุงมือยางต้านเชื้อ หรือยางรองต้านเชื้อที่ใช้วางอุปกรณ์ทางการแพทย์ และมีส่วนในการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติและสารสกัดจากธรรมชาติ ดังนั้นในงานวิจัย จึงได้ทำศึกษาผลของสารสกัดไพลและเปลือกมังคุดในน้ำยางธรรมชาติเพื่อทำการเปรียบเทียบฤทธิ์ต้านแบคทีเรียและเพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลของน้ำยางธรรมชาติผสมสารสกัดจากไพลและเปลือกมังคุด

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วิธีการสกัดสารจากไพลและเปลือกมังคุด

ชั่งผงเปลือกมังคุดและไพลที่บดละเอียดแล้วอย่างละ 200 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ แล้วนำไปแช่ในเอทานอลความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วน 1:10 นาน 7 วัน จากนั้นกรองสารละลายเพื่อแยกกากออกและนำไประเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่อง Rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 40-50 องศาเซลเซียส จนเอทานอลระเหยออกหมด นำสารสกัดที่ได้มาเก็บไว้ในขวดสีชาในอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2. การเตรียมผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติผสมสารสกัดจากไพลและเปลือกมังคุด

ทำการเตรียมน้ำยางคอมปาวด์ที่ใช้สำหรับทำผลิตภัณฑ์ดังสูตรยางและสารเคมีที่ใช้ในตารางที่ 1 โดยการนำน้ำยางข้นชนิด High Ammonia (HA) มากวนด้วยเครื่องกวนความเร็วสูงที่ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที ประมาณ 10 นาที เพื่อไล่สารแอมโมเนียที่อยู่ในน้ำยางออก จากนั้นเติมสารโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมโอลิเอต ซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาบาเมต ซีพีแอล ซิงค์ออกไซด์ และกำมะถัน เมื่อผสมสารทุกอย่างเข้าด้วยกันแล้วกวนต่อไปประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นบ่มน้ำยางทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง และเติมสารสกัดจากไพลและเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 3 6 9 และ 12 ส่วนในร้อยส่วนของยาง (Part per hundred rubber, phr) พร้อมกับเปรียบเทียบการใช้สารสกัดร่วมกันระหว่างสารสกัดไพลและเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้นของสารสกัดอย่างละ 4.5 phr (ความเข้มข้นของสารสกัดทั้งสองชนิดรวมกันเท่ากับ 9 phr ซึ่งเป็นปริมาณที่มากเพียงพอสำหรับการเปรียบเทียบที่ปริมาณเท่ากัน) แล้วนำน้ำยางที่ผสมสารเคมีแล้วมากรองและตักฟองที่ผิวหน้าออก จากนั้นจุ่มแบบพิมพ์ลงในสารละลายแคลเซียมไนเตรตความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นสารที่ช่วยในการจับตัวของน้ำยาง และรอให้แห้ง แล้วจุ่มแบบพิมพ์ลงในน้ำยางที่เตรียมไว้ จากนั้นแช่ไว้ประมาณ 10 วินาที ดึงขึ้นช้า ๆ ตั้งไว้สักพัก แล้วนำยางไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และทาแป้งมันสำปะหลังลงบนยางเพื่อลอกออกจากแบบพิมพ์

ตารางที่ 1 สูตรน้ำยางคอมปาวน์ที่ใช้ในการเตรียมผลิตภัณฑ์ยางแบบจุ่ม

น้ำยางและสารเคมี	น้ำหนักแห้ง (phr)	น้ำหนักเปียก (กรัม)
60% น้ำยางข้น	100	167
10% โพแทสเซียมโอลิเอต	1	10
50% กำมะถัน	2.5	5
50% ซิงค์ออกไซด์*	1	2
50% ซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาบาเมต	1	2
50% ซีพีแอล	1	2
10% โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	0.25	2.5

* กรณีศึกษาฤทธิ์ต้านจุลชีพของน้ำยางที่ผสมสารสกัดจากไพลและเปลือกมังคุด สูตรที่ใช้เตรียมน้ำยางจะไม่เติมซิงค์ออกไซดเพื่อป้องกันฤทธิ์ที่เกิดขึ้นในการต้านจุลชีพจากซิงค์ออกไซด์

3. วิธีการทดสอบฤทธิ์ต้านจุลชีพของยางผสมสารสกัดจากไพลและเปลือกมังคุด

เทอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar (NA) แล้วรอให้แห้ง จากนั้นใช้ไม้พันสำลีที่ฆ่าเชื้อแล้วจุ่มลงในเชื้อจุลินทรีย์ทดสอบที่ทำการปรับปริมาณเชื้อแล้วจากนั้นป้ายเชื้อ (Swab) ลงบนอาหารแข็ง Nutrient agar (NA) ในแต่ละระนาบ 3 ระนาบให้ทั่วทั้งจานเพื่อให้เชื้อกระจายทั่วผิวหน้าของอาหารเพาะเชื้อ ทิ้งไว้ 3-5 นาที เพื่อให้ผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อแห้ง ใช้ Forceps ที่ปราศจากเชื้อ คีบตัวอย่างทดสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร หนา 0.2 มิลลิเมตร วางลงบนจานอาหาร แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง แล้วสังเกตการเกิดวงใส (Clear zone) รอบตัวอย่างทดสอบที่เกิดขึ้น วัดผลการยับยั้งจุลินทรีย์ ทดสอบโดยการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของวงใสของชิ้นตัวอย่าง และแต่ละตัวอย่างจะทำการทดสอบ 3 ซ้ำ

4. วิธีการทดสอบสมบัติเชิงกลของยาง

4.1 การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength tester)

ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 527 (type 5A) ตัดชิ้นตัวอย่างเป็นรูปดัมเบล นำไปวัดความหนาแล้วนำชิ้นตัวอย่างไปจับยึดด้วยหัวจับทั้งสองด้านของเครื่อง หลังจากนั้นจึงทำการดึงชิ้นตัวอย่างโดยเครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง นำค่าที่ได้จากการทดสอบมาวัดค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 100 เปอร์เซ็นต์ และ 300 เปอร์เซ็นต์ ความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดจนขาด คำนวณตามสูตรดังแสดงในสมการที่ (1) - (4) ตามลำดับ

$$100\%\ \text{Modulus} = F/A \qquad (1)$$

โดย F คือ แรงที่ใช้ยืดชิ้นทดสอบออก 100% (N)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบก่อนการดึง (mm^2)

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มรย.
YRUJST
YRU JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
ISSN 2985-1416 (Online)

$$300\% \text{ Modulus} = F/A \quad (2)$$

โดย F คือ แรงที่ใช้ยืดชิ้นทดสอบออก 300% (N)
A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบก่อนการดึง (mm^2)

$$T.S. (MPa) = F/A \quad (3)$$

โดย F คือ แรงที่ใช้ดึงชิ้นทดสอบจนขาด (N)
A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบก่อนการดึง (mm^2)

$$E.B. (\%) = [(Lu - Lo)/Lo]\times 100 \quad (4)$$

โดย E.B. คือ ความสามารถในการยืดจนขาด (%)
Lu คือ ระยะยืดเมื่อยางขาด (mm)
Lo คือ ระยะยืดเริ่มต้นหรือความยาวระหว่างขีดเดิม (mm)

4.2 การทดสอบความแข็ง

ทำการทดสอบความแข็งของชิ้นตัวอย่างโดยใช้เครื่องวัดความแข็ง (Hardness tester) กดลงบนชิ้นทดสอบโดยทำการวัด 5 ตำแหน่ง อ่านค่าความแข็งจากหน้าปัดของเครื่อง แล้วหาค่าเฉลี่ย ค่าที่ได้จะมีหน่วยเป็น Shore A ยางที่ใช้ทดสอบจะต้องมีความหนาประมาณ 6-10 มิลลิเมตร ความกว้างไม่น้อยกว่า 20 มิลลิเมตร การวัดจะต้องกดให้แป้นสัมผัสกับหน้ายางโดยตลอด

5. วิธีการทดสอบสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มยาง

สัณฐานวิทยาของแผ่นฟิมล์มยางที่เติมสารสกัดจากไพลและเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้นต่าง ๆ วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Olympus CX33 ผ่านโปรแกรม EOS Utility) ที่กำลังขยาย 10 เท่า เพื่อพิจารณาลักษณะการกระจายของสารสกัดในเมทริกซ์ของยางธรรมชาติ

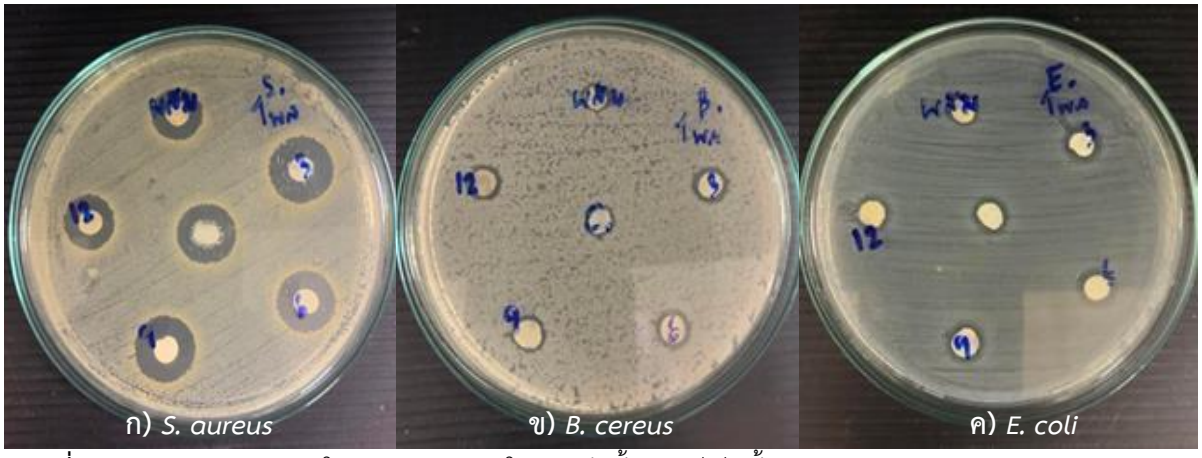
ผลการวิจัย

1. เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดจากไพลและเปลือกมังคุด

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของยางที่ผสมสารสกัดจากไพลและเปลือกมังคุดสามารถวิเคราะห์ได้จากความกว้างของการเกิดวงใส ของชิ้นตัวอย่างยางที่ผสมสารสกัดจากไพลและเปลือกมังคุด ดังแสดงในตารางที่ 2 และตารางที่ 3 ตามลำดับ ซึ่งผลจากการทดลองพบว่ายางที่ผสมสารสกัดจากไพลสามารถยับยั้งเชื้อ *S. aureus* และ *E. coli* ได้ดีที่สุด ส่วนยางที่ผสมสารสกัดเปลือกมังคุดจะสามารถยับยั้งเชื้อ *B. cereus* ได้ดีกว่าการใช้สารสกัดจากไพล

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดจากไพล

ปริมาณสารสกัดในยาง (phr)	เส้นผ่านศูนย์กลางของการเกิดวงใส (mm)		
	S. aureus	*B. cereus*	*E. coli*
0	11.89±1.62	8.52±0.81	7.66±0.65
3	14.94±1.08	9.72±0.30	8.87±0.68
6	13.50±0.55	8.40±0.47	8.05±0.62
9	12.83±1.12	7.85±0.26	8.89±0.90
12	12.77±0.49	7.45±0.59	9.38±0.84
ไพล 4.5 + เปลือกมังคุด 4.5	12.60±1.04	8.08±0.92	6.91±0.84

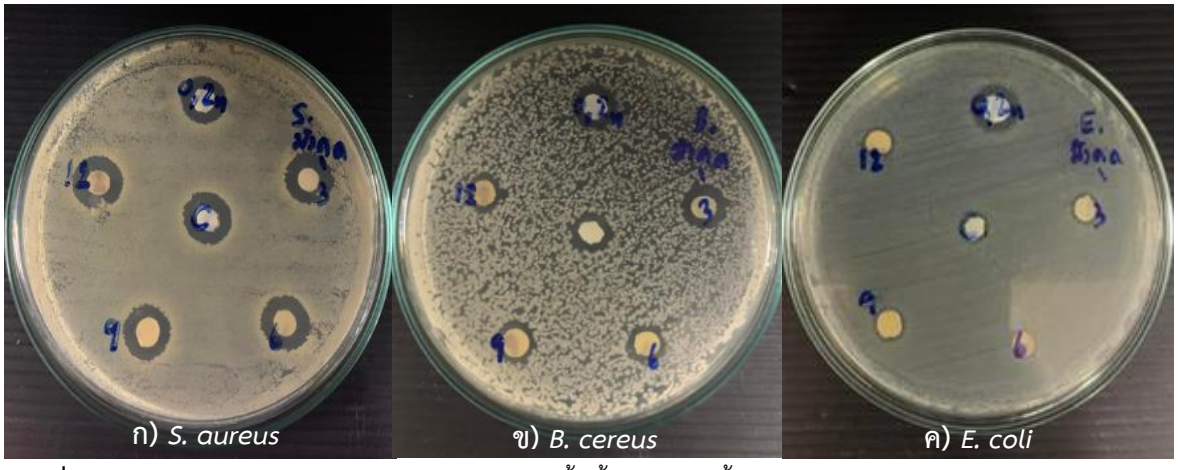


ภาพที่ 1 ขนาดของการเกิดวงใส (Clear zone) ในการยับยั้งแบคทีเรียทั้ง 3 ชนิด (ก. *S. aureus* ข. *B. cereus* และ ค. *E. coli*) ของยางผสมสารสกัดจากไพล

จากการทดสอบประสิทธิภาพการต้านเชื้อแบคทีเรียทั้ง 3 ชนิดในยางที่ผสมสารสกัดจากไพล จะเห็นได้จากภาพที่ 1 ซึ่งแสดงค่าความกว้างของการเกิดวงใส ผลปรากฏว่ายางที่ผสมสารสกัดไพลที่ปริมาณ 3 phr จะสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* และ *B. cereus* ได้ดีที่สุด โดยมีระยะความกว้างของการเกิดวงใสมากที่สุดที่ 14.94 และ 9.72 มิลลิเมตร ตามลำดับ และยางที่ผสมสารสกัดไพลที่ปริมาณ 12 phr จะสามารถยับยั้งเชื้อ *E. coli* ได้ดีที่สุด โดยมีระยะความกว้างของการเกิดวงใสที่ 9.38 มิลลิเมตร

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดจากเปลือกมังคุด

ปริมาณสารสกัดในยาง (phr)	เส้นผ่านศูนย์กลางของการเกิดวงใส (mm)		
	S. aureus	*B. cereus*	*E. coli*
0	11.89±1.62	8.52±0.81	7.66±0.65
3	12.77±0.94	8.89±1.53	6.98±0.25
6	12.67±1.22	9.77±0.41	7.26±0.29
9	12.70±1.21	10.31±1.40	7.26±0.95
12	13.10±0.75	10.36±0.82	8.29±1.04
ไพล 4.5 + เปลือกมังคุด 4.5	12.60±1.04	8.08±0.92	6.91±0.84



ภาพที่ 2 ขนาดของการเกิดวงใส (Clear zone) ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้ง 3 ชนิด (ก. *S. aureus* ข. *B. cereus* และ ค. *E. coli*) ของยางผสมสารสกัดจากเปลือกมังคุด

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มรย.
YRUJST
YRU JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
ISSN 2985-1416 (Online)

จากการทดสอบประสิทธิภาพการต้านเชื้อแบคทีเรียทั้ง 3 ชนิดในยางที่ผสมสารสกัดจากเปลือกมังคุดในภาพที่ 2 พบว่าความกว้างของการเกิดวงใสของยางที่ผสมสารสกัดยางที่ผสมสารสกัดเปลือกมังคุดจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของสารสกัดเปลือกมังคุดเพิ่มขึ้น โดยสารสกัดเปลือกมังคุดจะมีฤทธิ์ในการต้านเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ได้ดีที่สุด

2. สมบัติเชิงกลของยางที่ผสมสารสกัดจากไพลและเปลือกมังคุด

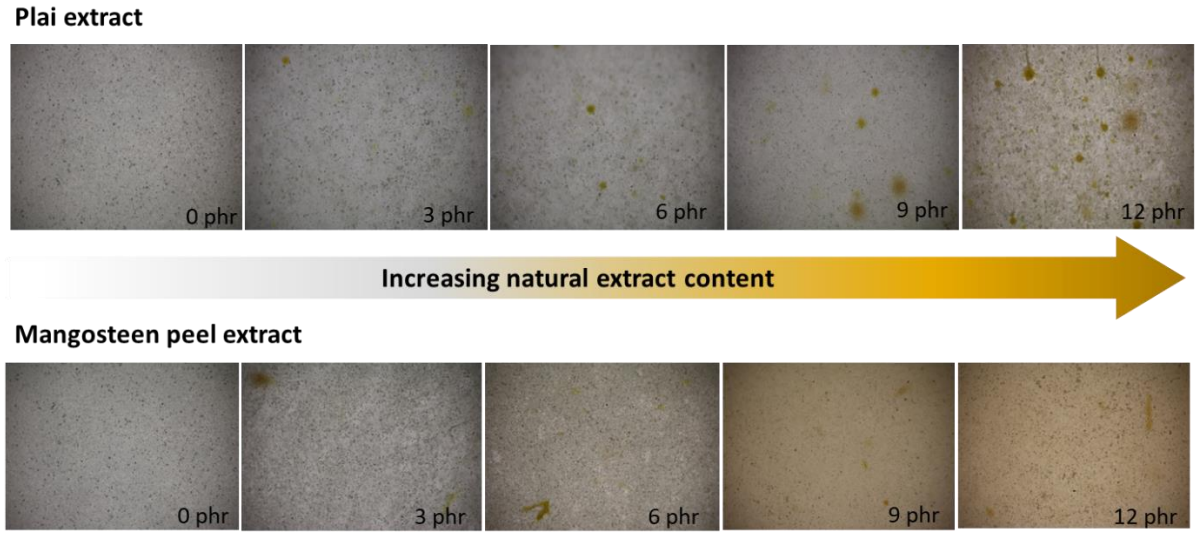
การทดสอบสมบัติเชิงกลด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงวัสดุ (Universal tensile testing machine) จากการเปรียบเทียบระหว่างยางที่ผสมสารสกัดจากไพลและเปลือกมังคุด ผลปรากฏว่ายางที่ผสมสารสกัดจากเปลือกมังคุดจะมีสมบัติเชิงกลทั้งในด้านของความแข็งแรงที่ดีกว่ายางที่ผสมสารสกัดไพล ซึ่งแสดงผลการเปรียบเทียบสมบัติต่าง ๆ ดังตารางที่ 4 และ 5 และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดดังภาพที่ 4

ตารางที่ 4 สมบัติเชิงกลของยางผสมสารสกัดจากไพล

Extract loading (phr)	100% Modulus (MPa)	300% Modulus (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Hardness (Shore A)
0	0.59±0.16	1.04±0.05	21.48±0.71	830±26	18.30±0.12
3	0.57±0.14	0.77±0.14	5.22±0.13	725±24	20.50±1.15
6	0.63±0.03	0.92±0.04	11.06±0.73	839±5	19.50±0.35
9	0.51±0.02	1.08±0.05	11.23±0.61	809±32	19.70±0.72
12	0.79±0.12	1.15±0.09	13.25±0.63	851±43	21.10±0.53

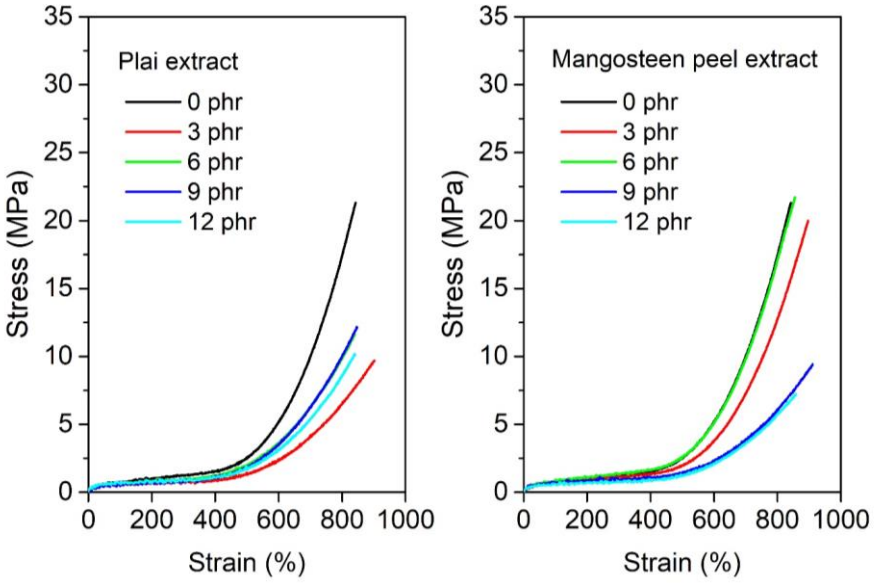
ตารางที่ 5 สมบัติเชิงกลของยางผสมสารสกัดจากเปลือกมังคุด

Extract loading (phr)	100% Modulus (MPa)	300% Modulus (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Hardness (Shore A)
0	0.59±0.16	1.04±0.05	21.48±0.71	830±26	18.30±0.12
3	0.68±0.03	2.85±0.06	20.02±0.04	832±26	19.70±1.42
6	0.71±0.05	2.90±0.04	22.58± 0.99	876±31	19.30±0.17
9	0.61±0.06	2.47±0.01	9.43±0.84	900±38	18.60±0.62
12	0.60±0.06	2.77±0.06	7.23±0.21	870±46	21.40±0.57



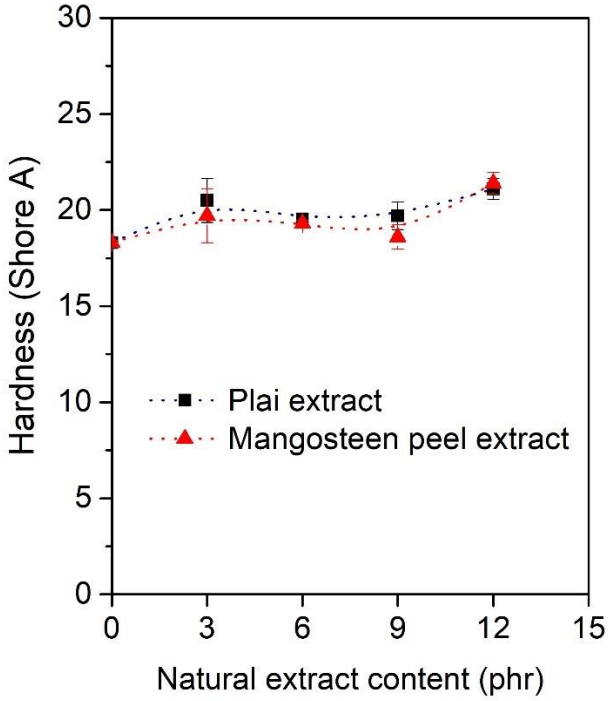
ภาพที่ 3 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ของตัวอย่างยางธรรมชาติผสมสารสกัดไพลและเปลือกมังคุด

ภาพที่ 3 แสดงการกระจายตัวของสารสกัดไพรและเปลือกมังคุดในยางธรรมชาติที่ได้จากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ ซึ่งเห็นได้ชัดเจนถึงการรวมกันเป็นกลุ่มก้อนใหญ่เมื่อปริมาณสารสกัดเพิ่มสูงขึ้น



ภาพที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของยางผสมสารสกัดจากไพลและเปลือกมังคุด

จากภาพที่ 4 พบว่าการเติมสารสกัดจากไพลและเปลือกมังคุดมีผลชัดเจนต่อความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ของยาง โดยกรณีที่เติมสารสกัดไพลลงในยางจะมีผลทำให้ความเค้นลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับการไม่เติมสารสกัด แต่กรณียางที่เติมสารสกัดเปลือกมังคุดจะมีความเค้นเพิ่มสูงที่สุดที่ปริมาณการเติมสารสกัดเปลือกมังคุด 6 phr และลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณสูงขึ้นมากกว่า 6 phr อย่างไรก็ตามค่าความเครียดหรือความสามารถในการยืดของยางที่เติมสารสกัดทั้งจากไพลและเปลือกมังคุดมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของสารสกัดสูงขึ้น



ภาพที่ 5 ค่าความแข็งของยางธรรมชาติผสมสารสกัดจากไพลและเปลือกมังคุดในปริมาณต่าง ๆ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มรย.
YRUJST
YRU JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
ISSN 2985-1416 (Online)

อภิปรายผลการวิจัย

1. เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดจากไพลและเปลือกมังคุด

จากการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการต้านเชื้อทั้งสารสกัดไพลและเปลือกมังคุดพบว่าสารสกัดทั้งสองชนิดจะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียโดยการแพร่เข้าไปเซลล์และทำลายไอออนของแบคทีเรีย ซึ่งประสิทธิภาพในการยับยั้งของเชื้อแกรมบวกจะมีประสิทธิภาพสูงมากว่าการยับยั้งแกรมลบ (Samappito *et al.,* 2017) โดยเชื้อแกรมบวกได้แก่ *S. aureus* และ *B. cereus* ส่วน *E. coli* จะเป็นแกรมลบ โดยในกรณีของเชื้อแกรมบวกจะมีความสามารถในการต้านเชื้อน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อแกรมลบเนื่องจากโดยทั่วไปเชื้อแกรมบวกจะไม่มีเยื่อหุ้มเซลล์ชั้นนอก (Outer membrane) และ Periplasmic space ที่จะเป็นตัวกั้นการซึมผ่านของสารเข้าสู่เซลล์ดี ดังนั้นสารต่าง ๆ จึงสามารถซึมผ่านเข้าสู่เยื่อหุ้มเซลล์ในแบคทีเรียแกรมบวกง่ายกว่าแบคทีเรียแกรมลบ นอกจากนี้การเติมสารสกัดผสมระหว่างสารสกัดไพลและเปลือกมังคุดยังมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ *S. aureus* และ *B. cereus* ได้ดีใกล้เคียงกับการเติมสารสกัดไพลชนิดเดียว แต่จะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ *E. coli* ต่ำที่สุดเมื่อนำสารสกัดทั้งสองชนิดมาผสมกัน โดยกรณียางที่ผสมสารสกัดจากไพล จะเห็นได้จากภาพที่ 1 ผลปรากฏว่ายางที่ผสมสารสกัดไพลจะสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* และ *B. cereus* ที่เป็นเชื้อแกรมบวกได้ดี โดยมีระยะความกว้างของการเกิดวงใสมากที่สุดที่ 14.94 และ 9.72 มิลลิเมตร ตามลำดับที่ปริมาณการเติมสารสกัดเพียง 3 phr และสามารถยับยั้งเชื้อ *E. coli* ที่เป็นเชื้อแกรมลบได้ดีที่สุดที่ระยะความกว้างของการเกิดวงใสที่ 9.38 มิลลิเมตร เมื่อมีการผสมสารสกัดไพลที่ปริมาณ 12 phr โดยฤทธิ์ในการต้านเชื้อของยางที่ผสมสารสกัดจากไพลเกิดจากสารหลักในกลุ่ม Curcumin ที่ซึมผ่านและเข้าไปทำลายความสมบูรณ์ของเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียทั้งแกรมบวกและแกรมลบจนทำให้เซลล์แบคทีเรียตายในที่สุด (Varshney *et al*., 2013; Łopusiewicz *et al*., 2021; Dai *et al*., 2022) สำหรับกรณียางที่ผสมสารสกัดจากเปลือกมังคุด ดังแสดงในภาพที่ 2 พบว่าค่าความกว้างของการเกิดวงใสของยางที่ผสมสารสกัดเปลือกมังคุดมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของสารสกัดเปลือกมังคุดเพิ่มขึ้น โดยสารสกัดเปลือกมังคุดจะมีฤทธิ์ในการต้านเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ได้ดีที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากในสารสกัดเปลือกมังคุดมีสาร α-mangostin และอนุพันธ์ของ Mangostin ซึ่งเป็นสารสำคัญที่ออกฤทธิ์แรงที่สุดในการต้านเชื้อแบคทีเรียชนิด Methicillin-resistant *S. aureus* (MRSA) (Loshnie *et al*., 2014) แต่ปริมาณการเติมของสารสกัดจากเปลือกมังคุดเมื่อเปรียบเทียบกับการเติมสารสกัดไพลจะต้องเติมในปริมาณที่มากกว่า โดยปริมาณที่ให้ค่าสูงสุดที่ปริมาณการเติมสารสกัดเปลือกมังคุด 12 phr และมีความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* ได้ดีขึ้นเช่นกันที่ปริมาณการเติมสารสกัดของเปลือกมังคุด 12 phr แต่ที่น่าสนใจคือความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *B. cereus* จะสูงกว่าการใช้สารสกัดไพล เนื่องจากสาร α-mangostin ในเปลือกมังคุด ซึ่งจะเห็นได้ชัดเมื่อปริมาณของสารสกัดเปลือกมังคุดเพิ่มสูงขึ้น ความสามารถในการยับยั้งเชื้อ *B. cereus* ก็จะยิ่งสูงขึ้น แต่ในกรณีของการเติมสารสกัดไพลจะมีความสามารถในการยับยั้งเชื้อลดลงเล็กน้อย นอกจากนี้เมื่อพิจารณาตัวควบคุมที่ไม่มีการเติมสารสกัด (0 phr) ยังพบว่าตัวอย่างยางมีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียด้วย ทั้งนี้เนื่องจากในสูตรยางควบคุมมีการเติม ZnO ที่มีฤทธิ์ในการต้านเชื้อลงไป ทำให้เห็นยางมีประสิทธิภาพเช่นเดียวกันกับการเติมสารสกัดทั้งจากไพลและเปลือกมังคุด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการใช้สารสกัดธรรมชาติทั้งจากไพลและเปลือกมังคุดมีฤทธิ์ในการต้านเชื้อเทียบเท่าหรือดีกว่าการใช้ ZnO ที่มีความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมและมีแนวโน้มให้ลดหรือหยุดใช้ในอนาคต

2. สมบัติเชิงกลของยางที่ผสมสารสกัดจากไพลและเปลือกมังคุด

จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติเชิงกลด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงในตารางที่ 4 และ 5 พบว่า ค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 100เปอร์เซ็นต์ และ 300 เปอร์เซ็นต์ ของยางผสมสารสกัดจากไพลและเปลือกมังคุดมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของสารสกัดไพลและเปลือกมังคุดสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากสารสกัดเกิดปฏิกิริยากับยางธรรมชาติเป็นสารประกอบเชิงซ้อนมากขึ้น จึงทำให้ยางมีค่ามอดูลัสเพิ่มสูงขึ้น (Xie *et al*., 2021) อย่างไรก็ตามการเติมสารสกัดไพลลงในน้ำยางธรรมชาติอาจมีผลต่อความสามารถในการละลายและการกระจายตัวของสารสกัดที่ยากกว่าเมื่อเทียบกับการเติมสารสกัดเปลือกมังคุดลงในน้ำยาง ค่ามอดูลัสของยางที่เติมสารสกัดไพลจึงมีค่าต่ำกว่ายางที่เติมสารสกัดจากเปลือกมังคุด โดยยางที่มีการเติมสารสกัดเปลือกมังคุดที่ 6 phr จะมีความเค้นสูงที่สุดแต่จะลดลงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณสารสกัดสูงขึ้น ทั้งนี้การลดลงของสมบัติเชิงกลเมื่อปริมาณของสารสกัดเพิ่มมากขึ้นอาจเนื่องจากปริมาณสารสกัดที่มากเกินไปมีผลทำให้สารสกัดรวมตัวกันเองได้มากและจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ซึ่งสามารถอธิบายได้จากภาพถ่ายเพื่อดูการกระจายของสารสกัดในยางด้วยกล้องจุลทรรศน์ ในภาพที่ 3 แสดงให้เห็นได้ชัดเจนถึงการรวมกันเป็นกลุ่มก้อนใหญ่เมื่อปริมาณสารสกัดเพิ่มสูงขึ้น โดยสารที่เติมลงไปมากขึ้นจะไปขัดขวางสายโซ่อยู่ในระหว่างโมเลกุล ส่งผลให้ยางธรรมชาติจะตกผลึกได้น้อยลง ความแข็งแรงจึงมีค่า

ลดต่ำลง อีกทั้งเมื่อปริมาณของสารสกัดเพิ่มสูงขึ้นจะมีผลทำให้เกิดการขัดขวางอนุภาคยางระหว่างการก่อฟิล์มของน้ำยาง จึงมีผลทำให้สมบัติของยางลดลง (Sarih *et al*., 2022) อย่างไรก็ตามการเติมสารสกัดทั้งไพลและเปลือกมังคุดในยางธรรมชาติมีแนวโน้มทำให้ความเครียด (Strain) หรือความสามารถในการยืดของยางจนขาด (Elongation at break) เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของสารสกัดมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากความหนืดที่ต่ำของสารสกัดจากธรรมชาติที่เป็นกลุ่มน้ำมันมีผลทำให้สายโซ่โมเลกุลยางสามารถเคลื่อนไหวได้มากขึ้นและยางมีคุณสมบัติในด้านการยืดหยุ่นที่ดี (Hayichelaeh *et al*., 2022) ส่วนกรณีค่าความแข็งของยาง (ภาพที่ 5) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามปริมาณการเพิ่มสารสกัด ซึ่งความแข็งเริ่มต้นของผสมสารสกัดจากไพลและเปลือกมังคุดอยู่ที่ประมาณ 20.5 และ 19.7 Shore A ตามลำดับ แล้วเพิ่มขึ้นสูงสุดประมาณที่ 21.1 และ 21.4 Shore A ที่ปริมาณ 12 phr เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณในตัวอย่างอื่น ๆ ของยางทั้งสองชนิดตามลำดับ ทั้งนี้ความแข็งของยางจะสัมพันธ์กับค่ามอดูลัสที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณสารสกัดมากขึ้น อาจเนื่องจากสารสกัดจากไพลและเปลือกมังคุดที่อยู่ในรูปของน้ำมันหอมระเหยทำให้ยางและสารเคมีเข้ากันได้ดีขึ้นจึงมีผลทำให้ความแข็งสูงขึ้น (Mohamed *et al*., 2022)

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาผลของปริมาณสารสกัดจากไพลและเปลือกมังคุดที่เติมลงในยางธรรมชาติที่ความเข้มข้น 0 3 6 9 และ 12 phr ร่วมกับสูตรที่ผสมกันระหว่างสารสกัดจากไพลและเปลือกมังคุด โดยใช้เชื้อแบคทีเรีย *S. aureus*, *B. cereus* และ *E. coli* พบว่ายางที่ผสมสารสกัดจากไพลมีฤทธิ์ต้านทานเชื้อแบคทีเรียได้ดีกว่ายางที่ผสมสารสกัดจากเปลือกมังคุด โดยการเติมไพลลงในน้ำยางสามารถต้านทานเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* และ *E. coli* ได้ดีที่สุดคือการเติมไพลที่ความเข้มข้น 3 และ 9 phr ตามลำดับ แต่เชื้อแบคทีเรีย *B. cereus* ยางที่ผสมสารสกัดจากเปลือกมังคุดสามารถต้านทานเชื้อแบคทีเรียได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้น 12 phr และจากการทดสอบสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ของยางปรากฏว่ายางที่ผสมสารสกัดจากเปลือกมังคุดจะมีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่ายางที่ผสมสารสกัดจากไพล โดยปริมาณการเติมสารสกัดเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 6 phr จะให้สมบัติความทนทานต่อแรงดึงสูงที่สุด อย่างไรก็ตามยางธรรมชาติที่ผสมสารสกัดทั้งจากไพลและเปลือกมังคุดสามารถนำไปทำผลิตภัณฑ์ที่มีฤทธิ์ในการต้านเชื้อแบคทีเรียได้

เอกสารอ้างอิง

Ansori, A. N. M., Fadholly, A., Hayaza, S., Susilo, R. J. K., Inayatillah, B., Winarni, D. & Husen, S. A. (2020). A review on medicinal properties of mangosteen (*Garcinia mangostana* L.). *Research Journal of Pharmacy and Technology, 13*(2), 974-982.

Boonyanugomol, W., Kraisriwattana, K., Rukseree, K., Boonsam, K. & Narachai, P. (2017). In vitro synergistic antibacterial activity of the essential oil from *Zingiber cassumunar* Roxb against extensively drug-resistant *Acinetobacter baumannii* strains. *Journal of infection and public health, 10*(5), 586-592.

Dai, C., Lin, J., Li, H., Shen, Z., Wang, Y., Velkov, T. & Shen, J. (2022). The natural product curcumin as an antibacterial agent: Current achievements and problems. *Antioxidants, 11*(3), 459.

Han, A. R., Kim, H., Piao, D., Jung, C. H. & Seo, E. K. (2021). Phytochemicals and bioactivities of *Zingiber cassumunar* roxb. *Molecules, 26*(8), 2377.

Hayichelaeh, C., Nun-Anan, P., Purbaya, M. & Boonkerd, K. (2022). Unfilled natural rubber compounds containing bio-oil cured with different curing systems: a comparative study. *Polymers, 14*(12), 2479.

Indrianingsih, A. W., Rosyida, V. T. & Ratih, D. (2020, March). In vitro study of antioxidant and antimicrobial activities of *Garcinia mangostana* L. peel extract. *In 5th International Conference on Food, Agriculture And Natural Resources (Fanres 2019)*, 152-155.

Janardhanan, S., Mahendra, J., Girija, A. S., Mahendra, L. & Priyadharsini, V. (2017). Antimicrobial effects of Garcinia mangostana on cariogenic microorganisms. *Journal of clinical and diagnostic research: JCDR*, 11(1), 19.

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มรย.
YRUJST
YRU JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
ISSN 2985-1416 (Online)

Łopusiewicz, Ł., Macieja, S., Bartkowiak, A. & El Fray, M. (2021). Antimicrobial, antibiofilm, and antioxidant activity of functional Poly (Butylene Succinate) films modified with curcumin and carvacrol. *Materials, 14*(24), 7882.

Loshnie, S., Eng, K. H. & Seng, Y. H. (2014). HPLC analysis of antioxidant compounds in some selected tropical fruits peel. *Innovative Romanian Food Biotechnology, 14,* 61-68.

Lumlong, S. & Yodsing, P. (2016) Utilization of essential oils from thai herbs on the inhibition of growth of fungi on para rubber sheets. *Journal of Science and Technology, Ubonratchathani Unversity*, *18*(1), 30-38.

Mohamed, N. R., Othman, N., & Shuib, R. K. (2022). Synergistic effect of sunflower oil and soybean oil as alternative processing oil in the development of greener tyre tread compound. *Journal of Rubber Research, 25*(3), 239-249.

Moopayuk, W. & Tangboriboon, N. (2018). Anti-microbial and self-cleaning of natural rubber latex gloves by adding mangosteen peel powder. *Key Engineering Materials, 777*, 3-7.

Ovalle-Magallanes, B., Eugenio-Pérez, D. & Pedraza-Chaverri, J. (2017). Medicinal properties of mangosteen (*Garcinia mangostana* L.): A comprehensive update. *Food and Chemical Toxicology*, *109,* 102-122.

Sakulkhaemaruethai, S. & Sakulkhaemaruethai C. (2015). Utilisation of mangosteen peel extract as antibacterial agent for natural rubber (Research report). Pathumthani: Rajamangala University of Technology Thanyaburi.

Samappito, W., Samappito, S. & Butkhup, L. (2017). Antibacterial activity of peel extracted from mangosteen (*Garcinia Mangostana* Linn.) and Phlai (*Zingiber Montanum* Koenig) root extracted and Phlai oil. *J Sci Technol MSU*, *36*(1), 53-60.

Sarih, N. M., Gwee, K., Maher, S. & Rashid, A. A. (2022). Natural Rubber (NR) Latex films with antimicrobial properties for stethoscope diaphragm covers. *Materials, 15*(10), 3433.

Sitti, R. H. S., Sugita, P., Ambarsari, L. & Rahayu, D. U. C. (2018). Antibacterial mangosteen (Garcinia mangostana Linn.) peel extract encapsulated in chitosan. *In Journal of Physics: conference series 1116* (4), 042037.

Tortella, G. R., Rubilar, O., Durán, N., Diez, M. C., Martínez, M., Parada, J. & Seabra, A. B. (2020). Silver nanoparticles: Toxicity in model organisms as an overview of its hazard for human health and the environment. *Journal of hazardous materials*, *390*, 121974.

Varshney, G. K., Saini, R. K., Gupta, P. K. & Das, K. (2013). Effect of curcumin on the diffusion kinetics of a hemicyanine dye, LDS-698, across a lipid bilayer probed by second harmonic spectroscopy. *Langmuir, 29*(9), 2912-2918.

Verma, R. S., Joshi, N., Padalia, R. C., Singh, V. R., Goswami, P., Verma, S. K. & Kandwal, M. K. (2018). Chemical composition and antibacterial, antifungal, allelopathic and acetylcholinesterase inhibitory activities of cassumunar-ginger. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(1), 321-327.

Widyarman, A. S., Lay, S. H., Wendhita, I. P., Tjakra, E. E., Murdono, F. I. & Binartha, C. T. O. (2019). Indonesian mangosteen fruit (*Garcinia mangostana* L.) peel extract inhibits *Streptococcus mutants* and *Porphyromonas gingivalis* in biofilms in vitro. *Contemporary Clinical Dentistry*, *10*(1), 123.

Xie, Q., Zheng, X., Li, L., Ma, L., Zhao, Q., Chang, S. & You, L. (2021). Effect of curcumin addition on the properties of biodegradable pectin/chitosan films. *Molecules, 26*(8), 2152.