การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของผ้ากระสอบเส้นใยธรรมชาติผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ

A Study on Mechanical Properties of Natural Fiber Bag Mixed Natural Rubber Latex

อริสมันต์ แสงธงทอง[1] และ พินิศ รัตนปรมากุล[2]

[1, 2] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา กองวิศวกรรมไฟฟ้าและโยธา กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

E-mail address: bas_kate_007@hotmail.com[1], pinitrutt@gmail.com[2]

บทคัดย่อ ดึงส งส ช ร ลงมาเป็นชิ้นงานที่⅔ อบ อนที่อุณห น ⅝

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยผ้ากระสอบเส้นใยธรรมชาติผสมน้ำยางพาราธรรมชาติในสภาพแวดล้อมปกติ โดยใช้น้ำยางพาราสดและน้ำหมักผลไม้จากพื้นที่ตำบลหนองบัว อำเภอบ้านค่าย จังหวัดระยอง เพื่อทำเป็นวัสดุป้องกันการกัดเซาะตลิ่งที่อนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและเป็นผลผลิตจากธรรมชาติ 100% โดยดำเนินการผสมน้ำยางพาราสดต่อน้ำหมักผลไม้ ที่อัตราส่วน 100:0, 95:5, 90:10, 85:15, 80:20 โดยน้ำหนัก นำไปประสานผ้ากระสอบเส้นใยธรรมชาติ และให้คงรูปด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน 3 วิธี ได้แก่ วิธีที่ 1 ปล่อยให้แห้งตามธรรมชาติ วิธีที่ 2 อบด้วยเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที และวิธีที่ 3 อบด้วยเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นนำชิ้นงานไปทดสอบสมบัติความสามารถในการต้านทานแรงดึง โดยยางพาราขึ้นรูปอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D412 ในขณะที่วัสดุคอมโพสิตอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D3039 และสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำ อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D5084 และ ASTM D5856 ผลการทดสอบสมบัติความสามารถในการต้านทานแรงดึงของยางพาราขึ้นรูป พบว่าทุกอัตราส่วนมีแรงดึงใกล้เคียงกัน แต่แตกต่างกันที่การยืดตัว โดยอัตราส่วน 90:10 โดยน้ำหนัก มีการยืดตัวมากที่สุด รองลงมาเป็นชิ้นงานที่มีอัตราส่วน 95:5, 85:15, 100:0, 80:20 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ในส่วนวัสดุคอมโพสิตการยืดตัวมีอัตราใกล้เคียงกัน แต่แตกต่างกันที่ความสามารถในการต้านทานแรงดึง โดยอัตราส่วน 95:5 โดยน้ำหนัก มีแรงดึงมากที่สุด รองลงล ้ฏ าฏฐฯใภ90:10ราส์ภ 85 0

ทุกอัตราส่วนม ฏ กาษ ม นน้ำต⅔ มาก อ 'มีการส สีวน้

3หเ

วัสดุ พ ส

and dried naturally to the lowest tensile strength, respectively. As for the water permeability coefficient, the investigation found that every ratio had a very low coefficient of water permeability or impermeability.

Keywords: Natural Fiber Bag, Natural Rubber Latex, Tensile Strength, Composite Materials

1. คำนำ

ในปัจจุบันวิธีการป้องกันแก้ไขการกัดเซาะดินริมตลิ่ง หรือการเพิ่มความแข็งแรงของดินริมตลิ่งเพื่อป้องกันการปะทะของน้ำ นิยมใช้วัสดุทึบน้ำและมีความแข็งแรงสูง เพื่อเป็นเกราะป้องกันไม่ให้เกิดการชะล้างหรือสูญเสียหน้าดินออกไป โดยรูปแบบที่นิยมใช้อาทิเช่น การเรียงหินหน้าตลิ่ง การสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่ง การใช้ถุงปูนทราย การดาดตลิ่งด้วยฟูกคอนกรีตกระสอบมีปีก ฯลฯ ซึ่งวิธีการทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นเป็นวิธีการที่ไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นวงกว้าง [1-4] ด้วยเหตุนี้คณะผู้วิจัยจึงได้ตระหนักถึงวัสดุคอมโพสิตที่สามารถป้องกันการกัดเซาะดินริมตลิ่งโดยต้องเป็นวัสดุที่ได้จากธรรมชาติ 100% และเมื่อหมดอายุการใช้งานแล้วสามารถย่อยสลายเป็นแร่ธาตุให้กับธรรมชาติได้ต่อไป จึงเลือกใช้ผ้ากระสอบเส้นใยธรรมชาติเป็นวัสดุเสริมแรงหลัก โดยสามารถหาได้ทุกพื้นที่ในประเทศไทย ซึ่งเส้นใยหลักที่ใช้ผลิตผ้ากระสอบทำมาจากเส้นใยป่านมีความสามารถในการต้านทานแรงดึงเฉลี่ย 393-800 MPa [5] ในส่วนวัสดุประสานเลือกใช้น้ำยางพาราธรรมชาติจากตำบลหนองบัว อำเภอบ้านค่าย จังหวัดระยอง ซึ่งยางพาราเป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นสูง มีการกระจายตัวและการยึดติดที่ดี มีความสามารถในการต้านทานแรงกระแทกและความสามารถในการต้านทานแรงดึงสูง [6-10]

จากจุดเด่นของผ้ากระสอบเส้นใยธรรมชาติและน้ำยางพาราธรรมชาตินำไปสู่การพัฒนาศักยภาพเพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุคอมโพสิตเสริมแรงซึ่งมีคุณสมบัติเชิงกลตรงตามวัตถุประสงค์การใช้งานในทางอุตสาหกรรมก่อสร้างหรือเป็นวัสดุทดแทนสิ่งก่อสร้างได้ โดยเป็นวัสดุที่ได้มาจากสิ่งแวดล้อม 100% ขจัดปัญหาขยะมลพิษให้กับสิ่งแวดล้อมเมื่อหมดอายุการใช้งานและเพิ่มมูลค่าสินค้าเกษตรของประเทศไทยให้เพิ่มสูงขึ้น



รูปที่ 1 ยางพาราที่ได้จากพื้นที่ตำบลหนองบัว อำเภอบ้านค่าย จังหวัดระยอง

2. วัสดุและวิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำยางพาราสดต่อน้ำหมักผลไม้ และอุณหภูมิที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพยางพาราขึ้นรูป ซึ่งเป็น 2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสามารถในการต้านทานแรงดึงและการยืดตัวของชิ้นงาน โดยในขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่ 1 ดำเนินการทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงและการยืดตัวของชิ้นงานในรูปของยางพาราขึ้นรูป และวัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยผ้ากระสอบเส้นใยธรรมชาติผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ และส่วนที่ 2 ดำเนินการทดสอบสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของวัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยผ้ากระสอบเส้นใยธรรมชาติผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ

2.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

ในงานวิจัยครั้งนี้มีวัสดุหลักประกอบไปด้วยผ้ากระสอบเส้นใยธรรมชาติ โดยมีเส้นใยป่านเป็นเส้นใยหลัก ซึ่งจากการทดสอบความสามารถในการต้านทานแรงดึงผ้ากระสอบเส้นใยธรรมชาติในสภาวะไม่เสริมแรง [11] พบว่ามีค่าความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 13.631 MPa และน้ำยางพาราสด 100% จากสวนยางพาราในพื้นที่ตำบลหนองบัว อำเภอบ้านค่าย จังหวัดระยอง โดยนำมาผสมกับน้ำหมักผลไม้ ซึ่งมีมะนาวเป็นผลไม้หลัก โดยน้ำหมักมะนาวมีกรดซิตริกเป็นกรดหลัก มีค่า pH = 3.28 มีความสามารถในการต้านทานแรงดึง 13.3 MPa และการยืดตัวสูงสุด 700 % [12]

2.2 สัดส่วนผสมและวิธีการออกแบบส่วนผสม

2.2.1 อัตราส่วนผสมของน้ำยางพาราสดต่อน้ำหมักผลไม้

การออกแบบอัตราส่วนผสมของน้ำยางพาราสดต่อน้ำหมักผลไม้จะคำนึงถึงความสามารถในการรับแรงดึง การยืดตัว ความสามารถในการทำงานได้ และสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำ ซึ่งกระสอบป่าน 1 ผืน ขนาด 43x29 นิ้ว ใช้น้ำยางพาราสดต่อน้ำหมักผลไม้ 1 กิโลกรัม โดยกำหนดอัตราส่วนในการทดสอบที่น้ำยางพาราสดต่อน้ำหมักผลไม้ เท่ากับ 100:0, 95:5, 90:10, 85:15, 80:20 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ



รูปที่ 2 การผสมน้ำยางพาราสดต่อน้ำหมักผลไม้และการผลิตชิ้นงาน

2.2.2 การบ่มยาง

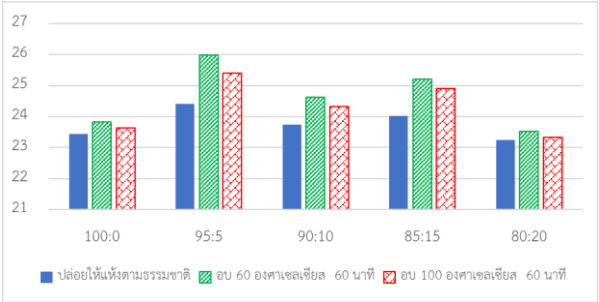
จากรูปที่ 6 พบว่า ที่น้ำหมักผลไม้ในช่วง 5-10% ให้ค่าการยืดตัวของยางพาราขึ้นรูปดีที่สุด (10% ให้ค่าสูงที่สุด) ความสามารถในการทำงานอยู่ในช่วง 2-3 ชั่วโมง (ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแวดล้อม) เมื่อเข้าสู่ช่วง 10-20% ค่าการยืดตัวเริ่มต่ำลง ความสามารถในการทำงานได้อยู่ในช่วง 1-2 ชั่วโมง สามารถบอกได้ว่า การเพิ่มน้ำหมักผลไม้เป็นเหตุให้เกิดการเร่งปฏิกิริยาการแข็งตัวของยางพาราขึ้นรูป เป็นเหตุให้การจัดเรียงโมเลกุลไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้ค่าการยืดตัวต่ำลง [23] ฉะนั้นจึงนำอัตราส่วนน้ำหมักผลไม้ในช่วง 5-10% ไปทดสอบวัสดุคอมโพสิตต่อไป

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงและการยืดตัวของวัสดุคอมโพสิต

ตัวอย่าง	ปล่อยให้แห้งตามธรรมชาติ		อบ 60 องศาเซลเซียส 60 นาที		อบ 100 องศาเซลเซียส 60 นาที	
	กำลังรับแรงดึง (MPa)	การยืดตัว (%)	กำลังรับแรงดึง (MPa)	การยืดตัว (%)	กำลังรับแรงดึง (MPa)	การยืดตัว (%)
100:0	23.438	9.748	23.830	10.030	23.634	9.196
95:5	24.419	9.687	25.988	9.913	25.399	9.464
90:10	23.732	9.788	24.615	9.614	24.320	10.079
85:15	24.026	10.231	25.203	9.222	24.909	9.972
80:20	23.242	10.457	23.536	9.997	23.340	10.196

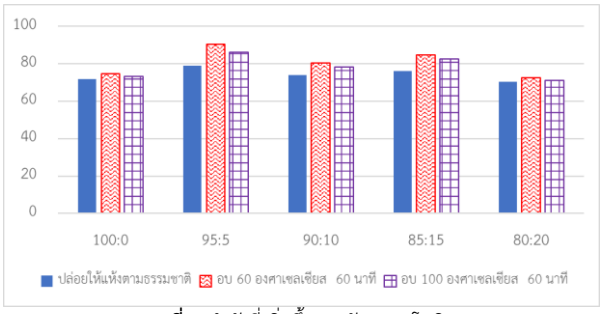
จากตารางที่ 2 ผลการทดสอบวัสดุคอมโพสิต ด้านการยืดตัว พบว่าทุกอัตราส่วนให้ค่าการยืดตัว ใกล้เคียงกันที่ 10% ในขณะที่ความสามารถในการต้านทานแรงดึงที่อัตราส่วนน้ำยางพาราสดต่อน้ำหมักผลไม้ 95:5 โดยน้ำหนัก ที่สภาวะอบ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที มีค่าความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 25.988 MPa ซึ่งมีค่าความต้านทานแรงดึงสูงที่สุด ขณะเดียวกันอัตราส่วนน้ำยางพาราสดต่อน้ำหมักผลไม้ที่ให้ค่าความต้านทานแรงดึงรองลงมา คือ 85:15, 90:10, 100:0, 80:20 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และทุกอัตราส่วนให้ค่าความต้านทานแรงดึงในสภาวะต่าง ๆ ไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ที่สภาวะอบ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงที่สุด ซึ่งสภาวะนี้เป็นสภาวะดีที่สุดในการบ่มยางขึ้นรูป โดยเป็นอุณหภูมิที่ให้ค่าการยืดตัวของยางพาราสูงที่สุด เมื่อนำน้ำยางพารามาประสานกับวัสดุคอมโพสิตแล้วทำการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ทำให้การจัดเรียงตัวของโมเลกุลภายในเนื้อยางพาราบนเส้นใยธรรมชาติเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ส่งผลให้เนื้อยางพาราแข็งตัวและยึดกับเส้นใยแบบแห้งสนิท รองลงมาที่สภาวะอบ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ซึ่งสภาวะนี้เป็นสภาวะที่ให้การยืดตัวเป็นอันดับ 2 ของยางขึ้นรูปอันเนื่องมาจากการให้ความร้อนที่มากเกินไปส่งผลให้เกิดการทำลายพันธะหรือการจัดเรียงโมเลกุลภายในไม่สมบูรณ์ เกิดการเผาไหม้จนเสื่อมสภาพ ทำให้ลักษณะภายนอกผิวชิ้นงานมีสีเข้มขึ้น จึงส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงไม่ดีเท่าที่ควร [23] และการปล่อยให้แห้งตามธรรมชาติมีค่าความต้านทานแรงดึงต่ำที่สุด ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่ได้รับความร้อนเพิ่มเข้าไป เป็นเหตุให้การจัดเรียงโมเลกุลภายในเนื้อยางพาราไม่สมบูรณ์ หรือมีบางส่วนไม่แห้งสนิท ทั้งนี้ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการต้านทานแรงดึงของวัสดุคอมโพสิต แสดงดังรูปที่ 7 และกำลังที่เพิ่มขึ้นของวัสดุคอมโพสิตเทียบกับผ้ากระสอบเส้นใยธรรมชาติในสภาวะไม่เสริมแรง แสดงดังรูปที่ 8

รูปแบบการฉีกขาดของทุกตัวอย่างอยู่ในรูปแบบกึ่งวัสดุเหนียวและกึ่งวัสดุเปราะ Ductile Fracture and Brittle Fracture โดยรูปร่างชิ้นงานคอมโพสิตมีลักษณะอ่อนตัวไม่ได้แข็งเป็นแท่งซึ่งมีลักษณะยืดผ่านช่วง Yield Strength เข้าสู่ช่วง Strain Hardening ไปสู่ช่วง Necking และฉีกขาดในที่สุด โดยสามารถยืดได้เพิ่มขึ้นถึง 10%



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการต้านทานแรงดึงของวัสดุคอมโพสิต

จากรูปที่ 7 พบว่า ที่น้ำหมักผลไม้ 5% ให้ความสามารถในการต้านทานแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตดีที่สุด ความสามารถในการทำงานได้อยู่ในช่วง 2-3 ชั่วโมง (ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแวดล้อม) เมื่อเข้าสู่ช่วง 5-20% ค่าความต้านทานแรงดึงเริ่มต่ำลง ความสามารถในการทำงานได้อยู่ในช่วง 1-2 ชั่วโมง ซึ่งบ่งบอกว่า การเพิ่มน้ำหมักผลไม้เป็นเหตุให้เกิดการเร่งปฏิกิริยาการแข็งตัวของวัสดุคอมโพสิต เป็นเหตุให้การจัดเรียงพันธะไม่สมบูรณ์ค่าความต้านทานแรงดึงจึงต่ำลง [23]



รูปที่ 8 กำลังที่เพิ่มขึ้นของวัสดุคอมโพสิต

จากรูปที่ 8 พบว่า เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการต้านทานแรงดึงผ้ากระสอบเส้นใยธรรมชาติในสภาวะไม่เสริมแรง [11] กับผ้ากระสอบเส้นใยธรรมชาติผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ พบว่า สามารถรับแรงดึงสูงสุดเพิ่มขึ้น 90% ในอัตราส่วนน้ำยางพาราสดต่อน้ำหมักผลไม้ 95:5 โดยน้ำหนัก ที่สภาวะอบ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ซึ่งสามารถนำไปใช้ปรับปรุงคุณสมบัติของผ้ากระสอบเส้นใยธรรมชาติให้ดีเพิ่มขึ้นได้

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของวัสดุคอมโพสิต

ตัวอย่าง	สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน ($\times 10^{-10}$ ซม./วินาที)
100:0	6.417
95:5	6.569
90:10	6.541
85:15	6.394
80:20	6.483

จากตารางที่ 3 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำในสภาวะปล่อยให้แห้งตามธรรมชาติ 7 วัน ด้วยวิธีความดันแปรเปลี่ยน พบว่า ทุกอัตราส่วนมีสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำต่ำมาก หรือไม่มีการสูญเสียน้ำ

4. สรุปผล

จากผลการทดสอบ พบว่า จุดเด่นของยางพาราขึ้นรูป คือ ด้านการยืดตัว โดยอัตราส่วนน้ำยางพาราสดต่อน้ำหมักผลไม้ที่ดีที่สุดที่ 90:10 โดยน้ำหนัก รองลงมา คือ 95:5, 85:15, 100:0, 80:20 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ในส่วนจุดเด่นของวัสดุคอมโพสิต คือ ด้านความสามารถในการต้านทานแรงดึง โดยอัตราส่วนน้ำยางพาราสดต่อน้ำหมักผลไม้ที่ดีที่สุดที่ 95:5 โดยน้ำหนัก ตัวที่รองลงมา คือ 85:15, 90:10, 100:0, 80:20 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยการเพิ่มน้ำหมักผลไม้เป็นเหตุให้เกิดการเร่งปฏิกิริยาการแข็งตัวของชิ้นงาน ซึ่งเป็นเหตุให้การจัดเรียงพันธะไม่สมบูรณ์ค่าความต้านทานแรงดึงและการยืดตัวจึงต่ำลง ในส่วนสภาวะที่ดีที่สุดของยางพาราขึ้นรูปและวัสดุคอมโพสิต เป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ ที่สภาวะอบ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที เป็นสภาวะที่ดีที่สุด ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบ่มน้ำยางพาราประสานวัสดุคอมโพสิตโดยสภาวะดังกล่าวจะใช้ความร้อนเร่งการเกิดปฏิกิริยาเพื่อให้โมเลกุลภายในเนื้อยางพาราจัดเรียงตัวอย่างสมบูรณ์ เป็นเหตุให้การจัดเรียงตัวของโมเลกุลภายในเนื้อยางพาราบนเส้นใยธรรมชาติเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ส่งผลให้เนื้อยางพาราแข็งตัวและยึดกับเส้นใยแบบแห้งสนิท รองลงมาที่สภาวะอบ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที โมเลกุลภายในเนื้อยางพาราอาจเกิดการเผาไหม้จนเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากอุณหภูมิที่ได้รับไม่เหมาะสมในการบ่มยางบาง จึงส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงและการยืดตัวไม่ดีเท่าที่ควร และการปล่อยให้แห้งตามธรรมชาติมีค่าความต้านทานแรงดึงและการยืดตัวต่ำที่สุด ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่ได้รับความร้อนเพิ่มเข้าไป เป็นเหตุให้การจัดเรียงโมเลกุลภายในเนื้อยางพาราไม่สมบูรณ์ หรือมีบางส่วนไม่แห้งสนิท ส่วนการทดสอบสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำที่สภาวะปล่อยให้แห้งตามธรรมชาติ 7 วัน ด้วยวิธีความดันแปรเปลี่ยน ทุกอัตราส่วนมีสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำต่ำมาก หรือไม่มีการสูญเสียน้ำ จึงสรุปได้ว่าสามารถนำวัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยผ้ากระสอบเส้นใยธรรมชาติผสมน้ำยางพาราธรรมชาติมาใช้ในงานป้องกันการกัดเซาะดินริมตลิ่งได้ โดยสามารถอนุรักษ์หน้าดินและดินขอบตลิ่งให้มีการพังทลายน้อยที่สุดและใช้เวลาในการเกิดการพังทลายของหน้าดินช้าที่สุดซึ่งเป็นวิธีการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยใช้หลักการธรรมชาติช่วยธรรมชาติ 100%

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความอนุเคราะห์จากนายอวิรุทธ์ หูทอง และนายรุ่งโรจน์ ประดับผล ที่ได้มอบน้ำยางพาราสด ซึ่งเป็นวัสดุหลักในงานวิจัยครั้งนี้ และข้าราชการ เจ้าหน้าที่ กรมสรรพาวุธทหารอากาศ ที่ได้อำนวยความสะดวกสำหรับการเข้าใช้เครื่องมือทดสอบ Universal Testing Machine รวมถึงขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราชในการสนับสนุนเงินทุนและสถานที่ ขอขอบพระคุณทุกท่านมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] อริสมันต์ แสงธงทอง และ สมพงษ์ บุตรงาม (2564). การออกแบบระบบป้องกันการกัดเซาะดินริมตลิ่งด้วยกระสอบเส้นใยธรรมชาติประสานน้ำยางพาราและหญ้าแฝกบริเวณพื้นที่ตำบลหนองบัว อำเภอบ้านค่าย จังหวัดระยอง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนายเรืออากาศ ปีที่ 17, กรกฎาคม - ธันวาคม 2564, หน้า 79-92.

[2] กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย (2559). คู่มือการตรวจสอบสภาพตลิ่งและแนวทางการปฏิบัติเพื่อความปลอดภัย ฉบับประชาชน.

[3] สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม (2551). คู่มือการแนะนำแก้ไขและการปฏิบัติการชะล้างพังทลายและเคลื่อนตัวของเชิงลาด.

[4] สุรัติ เส็มหมัด (2560). การถดถอยและการป้องกันการกัดเซาะตลิ่งคลองอู่ตะเภา จังหวัดสงขลา. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาดุษฎีบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[5] Quazi T. H. Shubhra, A. K. M. M. Alam and M. A. Quaiyyum. (2011) .Mechanical properties of polypropylene composites: a review. Journal of Thermoplastic Composite Materials, January 2011, pp.1-28.

[6] D.A.Shahril and etc. (2017). Reinforcement of Kenaf Fiber in Natural Rubber Composite for Automotive Engine Rubber Mounting. International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 12, pp. 14490-14494.

[7] สมพงษ์ พิริยายนต์, ประยูร สุรินทร์, และ กิตติศักดิ์ บัวศรี (2558). การศึกษาแผ่นผลิตภัณฑ์จากเส้นใยหญ้าคาอัดผสมน้ำยางธรรมชาติ. การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ครั้งที่ 1, พระนครศรีอยุธยา, 22 มิถุนายน 2559, หน้า 130-136.

[8] Lambert S. and etc.(2013). Environmental fate of processed natural rubber latex. Environmental Science: Processes and Impacts. 15, pp. 1359-1369.

[9] ปฏิพัฒน์ บุญเจริญพานิช และ อภินิติ โชติสังกาศ (2553). พฤติกรรมด้านกำลังและการกัดเซาะของทรายปนดินเหนียวต่อการเปลี่ยนแปลงระดับขั้นการอิ่มตัวด้วยน้ำ: กรณีศึกษาลาดดินที่ปกคลุมด้วยวัสดุ

ใยธรรมชาติ. วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา ปีที่ 21 ฉบับที่ 4 พ.ศ. 2553, หน้า 65-78.

[10] บุญธรรม นิธิอุทัย. (2530). ยางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์และคุณสมบัติ. แผนกวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[11] อริสมันต์ แสงธงทอง (2565). การเสริมกำลังโครงสร้างด้วยผ้ากระสอบเส้นใยธรรมชาติที่มีตัวประสานเรซินเป็นวัสดุประสาน. การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 17, นครราชสีมา, 30 มีนาคม - 1 เมษายน 2565, หน้า 96-103.

[12] ช.วยากรณ์ เพ็ชญไพศิษฏ์, พงษ์ เทียงเพชร, วิจิตร อุดอ้าย และ พร้อมศักดิ์ สงวนธำมรงค์ (2555). ผลของน้ำหมักชีวภาพในฐานะสารจับตัวยางสำหรับการผลิตยางแผ่น. NU Science Journal 2012: 9(1). หน้า 68-79.

[13] Global Handbook and Directory on NR&SR Lattices., Rubber Asia Publication (2006).

[14] สมพงษ์ พิริยายนต์, กิตติศักดิ์ บัวศรี และ ประยูร สุรินทร (2562). การผลิตและทดสอบแผ่นผลิตภัณฑ์วัสดุผสมจากน้ำยางธรรมชาติผสมกับเส้นใยใบตองแห้งและเศษยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 33, อุดรธานี, 2-5 กรกฎาคม พ.ศ. 2562.

[15] อนุรักษ์ รอดบำรุง, พอพันธ์ สุทธิวัฒนะ, เบญจมาศ เนติวรรักษา, กานต์ นัครวรายุทธ และ ไพลิน ทองสนิทกาญจน์ (2563). การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลในไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราและเส้นใยธรรมชาติ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี,ปีที่ 8 ฉบับที่ 2 , หน้า 133-144

[16] American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers-Tension. ASTM D412-16(2021). Annual Book of ASTM Standard.

[17] American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for ensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials. ASTM D3039/D3039M-08. Annual Book of ASTM Standard.

[18] พินิศ รัตนปรมากุล และ วาริส บัวขาว (2565). การออกแบบและพัฒนาเครื่องมือทดสอบความซึมน้ำของดินสำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมโยธา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนายเรืออากาศ, ปีที่ 17, มกราคม – มิถุนายน 2564, หน้า 11-18.

[19] American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter. ASTM D5084. Annual Book of ASTM Standard.

[20] American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Measurement of Hydraulic Conductivity of Porous Material Using a Rigid-Wall, Compaction-Mold Permeameter. ASTM-D5856. Annual Book of ASTM Standard.

[21] Punyanich Intharapat and Aroon Kongnoo. Preparation and Properties of Diol Functionalized Epoxidized Natural Rubber. Advanced Materials Research 2013; 747: 493-496.

[22] รัตนา ตันฑเทอดธรรม, รังสิมา ชลคุป, อุดมลักษณ์ สุขอัตตะ และ ประภัสสร รักถาวร (2560). การประยุกต์ใช้สารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติในผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติคงรูป. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[23] เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี, วยากรณ์ เพ็ชญไพศิษฏ์ และนิภาวรรณ พองพรหม (2556). การใช้น้ำหมักชีวภาพเป็นสารจับตัวยางต่อสมบัติของยางดิบต่อบางวัลคาไนซ์. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).