JPAGS
Journal of Physics & General Science

สมบัติทางไฟฟ้าและทางกลของฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอนสำหรับการเก็บเกี่ยวพลังงาน

Electrical and Mechanical Properties of Natural Rubber Film with Activated Carbon for Energy Harvesting

รุสนา ดอรอแต ซีตีพาตีเมาะ ยีสาแม็ง นูรซูฮาดา บินดุลเล๊าะ และดาริกา จาเอาะ*

Rusna Dorotae, Seeteepateemoh Yeesamaeng, Nursuhada Bindulloh and Darika Jaaoh*

สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา จังหวัดยะลา

Physics Program, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, Yala

*Corresponding author e-mail: darika.j@yru.ac.th

(Received: October 24, 2019, Revised: November 15, 2019, Accepted: December 31, 2019)

บทคัดย่อ

การเพิ่มศักยภาพในการเก็บเกี่ยวพลังงานของฟิล์มยางธรรมชาตินั้น ทำได้โดยการผสมแอคติเวทคาร์บอน ซึ่งเป็นวัสดุนำไฟฟ้าสูง ในงานวิจัยนี้เลือกใช้แอคติเวทคาร์บอน 3 ชนิด คือ แอคติเวทคาร์บอนทางการค้า แอคติเวทคาร์บอนจากไม้ไผ่ และแอคติเวทคาร์บอนจากไมยราบ จากผลการทดสอบการกระจายตัวของอนุภาคแอคติเวทคาร์บอนจากไมยราบในเนื้อยางธรรมชาตินั้น มีลักษณะการกระจายตัวได้ดีที่สุด โดยมีค่าความขรุขระของพื้นผิวเท่ากับ 69.2 นาโนเมตร รองลงมา คือ ฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมแอคติเวทคาร์บอนจากไม้ไผ่ และฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมแอคติเวทคาร์บอนทางการค้า ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่ายังมอดูลัส พบว่าฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมแอคติเวทคาร์บอนจากไม้ไผ่มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 0.30 เมกะปาสคาล ในขณะที่ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมแอคติเวทคาร์บอนจากไมยราบมีค่าสูงสุด เท่ากับ 26.4 รองลงมา คือ ฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมแอคติเวทคาร์บอนจากไม้ไผ่ เท่ากับ 25.0 และฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมแอคติเวทคาร์บอนทางการค้ามีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกต่ำที่สุดเท่ากับ 24.3 ส่งผลให้ความสามารถในการเก็บเกี่ยวพลังงานจากฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมแอคติเวทคาร์บอนจากไมยราบมีค่าสูงสุด และเหมาะสมสำหรับการใช้งานเก็บเกี่ยวพลังงานที่ความถี่ต่ำ

คำสำคัญ: การเก็บเกี่ยวพลังงาน แอคติเวทคาร์บอน ยางธรรมชาติ

ABSTRACT

The empowerment of energy harvesting natural rubber films can be done by using a high conductivity activated carbon. Three types of the activated carbon in this work are the commercial activated carbon (AC_{Carbon}), the activated carbon from Bamboo (AC_{Bamboo}) and the activated carbon from Mimosa (AC_{Mimosa}). The results show that the particle of AC_{Mimosa} are great dispersion in a natural rubber matrix, following by AC_{Bamboo} and AC_{Carbon}, respectively. The surface roughness of the natural rubber filled AC_{Mimosa}, AC_{Bamboo} and AC_{Carbon} are 69.2 nm, 123.1 nm and 142.0 nm, respectively. Natural rubber films containing active carbon from bamboo have the highest value of 0.30 MPa. While the dielectric constant of the natural rubber film mixed with carbon from Mimosa has the highest value of 26.4, followed by natural rubber film containing activated carbon from Bamboo at 25.0 and natural rubber films that mixed with the commercial activated carbon has the lowest dielectric constant at 24.3. Resulting that the ability of harvest energy from natural rubber films containing activated carbon from Mimosa is the highest at lowest frequency.

Keywords: energy harvesting, activated carbon, natural rubber

บทนำ

พลังงานเป็นสิ่งสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ปัจจุบันมนุษย์ต้องอาศัยพลังงานเพื่อใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น การใช้เครื่องมือสื่อสารด้านอิเล็กทรอนิกส์ และอาคารบ้านเรือน เป็นต้น แหล่งพลังงานใหญ่ที่นำมาใช้จึงน้อยลงและอาจจะหมดไปในอนาคต เช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน เป็นต้น แต่มีพลังงานที่สามารถนำมาใช้ได้เพื่อการดำรงชีวิตประจำวันคือพลังงานสะอาด ซึ่งเป็นพลังงานที่ไม่สร้างมลพิษในกระบวนการผลิตไฟฟ้า เช่น กังหันลม หรือเขื่อนผลิตไฟฟ้า รวมถึงพลังงานที่เสียไปโดยเปล่าประโยชน์ที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของมนุษย์ เช่น การวิ่ง การเดิน การขยับร่างกาย เป็นต้น

วัสดุฉลาด (smart materials) ทำหน้าที่เก็บเกี่ยวพลังงานและสามารถเก็บเกี่ยวพลังงานไปพร้อมกับการแปลงพลังงานจากสิ่งแวดล้อมได้ พอลิเมอร์อิเล็กโทรสทริกทีฟมีความสามารถในการแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า และในทางกลับกันสามารถแปลงจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล กลไกที่ใช้ในการแปลงพลังงานนี้ถูกนำไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในลักษณะของตัวกระตุ้น (actuators) เป้าหมายของการเก็บเกี่ยวพลังงาน คือ การดึงพลังงานจากแหล่งกำเนิดที่อยู่โดยรอบวัสดุมาแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ประโยชน์ได้ วัสดุฉลาดที่นิยมใช้งานเป็นวัสดุเก็บเกี่ยวพลังงาน ได้แก่ วัสดุไพอิโซอิเล็กทริก หรือเซรามิกไพอิโซอิเล็กทริก ข้อดีของไพอิโซอิเล็กทริก คือ มีสมบัติไฟฟ้ากลที่ดี ส่วนข้อเสียนนั้น เป็นวัสดุเปราะ ง่ายต่อการแตกหัก และมีขั้นตอนการเตรียมขึ้นรูปที่ยุ่งยาก วัสดุชนิดเซรามิกจึงถูกแทนที่ด้วยพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติพิเศษด้านความยืดหยุ่น ละเอียดในระดับนาโนหรือไมโคร ซึ่งยางธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติดีเยี่ยมในด้านการทนต่อแรงดึง (tensile strength) แม้ไม่ได้เติมสารเสริมแรงและมีความยืดหยุ่นสูงมาก จึงเหมาะสำหรับผลิตเป็นผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น ยางรัด ถุงมือยาง เป็นต้น แต่ยางธรรมชาติยังคงมีข้อจำกัด กล่าวคือ มีสมบัติการตอบสนองทางไฟฟ้าต่ำ เมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ชนิดอื่น ๆ จึงมีแนวทางการปรับปรุงสมบัติทางไฟฟ้าของยางธรรมชาติ เพื่อประยุกต์ใช้ในการเก็บเกี่ยวพลังงาน โดยนำยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอน เพื่อให้สามารถที่จะนำไปพัฒนาเป็นวัสดุตอบสนองทางไฟฟ้าในเชิงอุตสาหกรรม อีกทั้งยังช่วยเพิ่มมูลค่าของยางธรรมชาติในปัจจุบันได้อีกด้วย [1]

จากเหตุผลข้างต้น ผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญในการนำยางธรรมชาติมาผสมกับแอคติเวทคาร์บอน เพื่อปรับปรุงสมบัติทางไฟฟ้าโดยไม่ทำให้สูญเสียสมบัติความยืดหยุ่นของยางธรรมชาติ โดยทำการเตรียมฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอนทางการค้า แอคติเวทคาร์บอนจากไม้ไผ่ และแอคติเวทคาร์บอนจากไมยราบ ศึกษาสัณฐานวิทยาและทดสอบหมู่ฟังก์ชัน ศึกษาสมบัติทางกล สมบัติทางไฟฟ้า และความสามารถในการเก็บเกี่ยวพลังงาน

วัตถุประสงค์

เพื่อเตรียมและทดสอบสัณฐานวิทยา สมบัติทางกล และสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอน เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบความสามารถในการเก็บเกี่ยวพลังงานจากฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอนทางการค้า แอคติเวทคาร์บอนจากไม้ไผ่ และแอคติเวทคาร์บอนจากไมยราบ

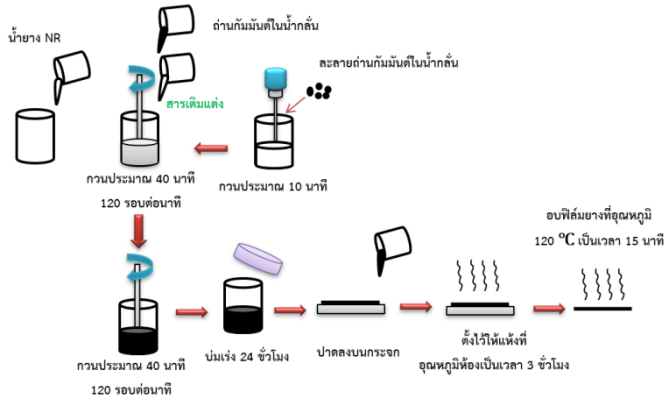
วิธีการวิจัย

งานวิจัยเรื่องฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอนสำหรับการเก็บเกี่ยวพลังงานนี้ มีขั้นตอนการวิจัย 5 ขั้นตอน ได้แก่ การเตรียมฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอน การศึกษาสัณฐานวิทยาของฟิล์มยางธรรมชาติ การทดสอบสมบัติทางกลของฟิล์มยางธรรมชาติ การทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มยางธรรมชาติ และเปรียบเทียบการเก็บเกี่ยวพลังงานจากฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอนทางการค้า แอคติเวทคาร์บอนจากไม้ไผ่ และแอคติเวทคาร์บอนจากไมยราบ ดังนี้

ตอนที่ 1 การเตรียมฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอน

ฟิล์มยางธรรมชาติผสมอนุภาคแอคติเวทคาร์บอนถูกเตรียมขึ้นในอัตราส่วน ดังตารางที่ 1 โดยผสมน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง 60 % โพแทสเซียมโอลิเอต โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ กำมะถัน สารตัวเร่ง สารต้านทานต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน

และซิงค์ออกไซด์ จากนั้น จึงกวนเป็นเวลา 5 นาทีต่อชนิดสารเคมี ผสมแอคติเวทคาร์บอน ปริมาณ 1 phr พร้อมกวนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 30 นาที ที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที จากนั้น บ่มทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง แล้วขึ้นรูปฟิล์มยางธรรมชาติด้วยวิธีการหล่อฟิล์มบาง โดยการเทน้ำยางลงบนแผ่นกระจกแล้วปาดด้วยเครื่องปาดฟิล์ม ตั้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จนได้ฟิล์มใส ก่อนที่จะนำไปอบให้เกิดการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 15 นาที [2] ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอนด้วยวิธีหล่อฟิล์มบาง

ตารางที่ 1 อัตราส่วนของสารประกอบน้ำยาง

สารเคมี	น้ำหนักแห้ง (phr)		
	ชิ้นทดสอบที่ 1	ชิ้นทดสอบที่ 2	ชิ้นทดสอบที่ 3
60% High ammonia (HA) Latex	100	100	100
10% Potassium Oleate	0.20	0.20	0.20
10% KOH	0.25	0.25	0.25
50% Sulphur	1.0	1.0	1.0
50% ZDEC	1.0	1.0	1.0
50% Lowinox CPL	0.75	0.75	0.75
50% ZnO	0.5	0.5	0.5
AC_{Carbon}	1	0	0
AC_{Bamboo}	0	1	0
AC_{Mimosa}	0	0	1

ตอนที่ 2 การศึกษาสัณฐานวิทยาของฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอน

ศึกษาการกระจายตัวของแอคติเวทคาร์บอนและลักษณะพื้นผิวของวัสดุ โดยมีขั้นตอนดังนี้ ตัดตัวอย่างขนาด 1×1 cm^2 วัดความหนาของฟิล์ม แล้วนำไปทดสอบลักษณะการกระจายตัวของแอคติเวทคาร์บอนและลักษณะพื้นผิวของวัสดุด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic Force Microscopy) หรือ AFM ยี่ห้อ Nanosurf รุ่น Naio (control software version 3.6) โดยนำวัสดุที่ต้องการทดสอบมาวางบนแท่งวางชิ้นทดสอบของเครื่อง AFM เมื่อเข็มของเครื่อง AFM ลากส่วนปลายเข็มแหลมนี้ไปแตะบนพื้นผิวของตัวอย่างจะมีแรงกระทำระหว่างอะตอมที่ปลายเข็มแหลมกับอะตอมหรือโมเลกุลบนพื้นผิวเกิดขึ้น เข็มจะกวาดบนพื้นที่ขนาด 50 nm แล้วนำค่ามาวิเคราะห์การกระจายตัวของแอคติเวทคาร์บอน และค่าความขรุขระของพื้นผิว

ตอนที่ 3 การทดสอบสมบัติทางกลของฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอน

ทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นทดสอบ โดยวิเคราะห์หาค่ายังมอดูลัส ทำได้โดยตัดตัวอย่างชิ้นทดสอบขนาด 1×10 cm^2 วัดความหนาของวัสดุ อัตราเร็วในการดึง grip length 1 cm แล้วนำไปติดตั้งที่ชุดทดสอบ ป้อนแรงดึงในแนวขนานกับความยาวของชิ้นทดสอบด้วยอัตราเร็วในการดึงคงที่ และบันทึกค่าแรงดึง (tension force) ที่เปลี่ยนไปตามระยะการยืดตัว (deformation) ของวัสดุ ในขณะชิ้นทดสอบยืดออก นำค่ายังมอดูลัสมาคำนวณดังสมการที่ 1 ด้วยเครื่องทดสอบค่ายังมอดูลัส ยี่ห้อ AMETEX Brookfield รุ่น CT3

$$\mathrm{Y} = \frac{\mathrm{F/A}}{\Delta\ell/\ell_0} \tag{1}$$

เมื่อ Y คือ ยังมอดูลัส (Pa), F คือ แรงดึง (N), A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ (m^2), $\Delta\ell$ คือ ความยาวที่เปลี่ยนไป (m) และ ℓ_0 คือ ความยาวเริ่มต้น (m)

ตอนที่ 4 การทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอน

วัดจากค่าคงที่ไดอิเล็กทริก โดยการตัดชิ้นทดสอบขนาด 1x1 cm^2 วัดความหนาของฟิล์ม ค่าความจุของตัวเก็บประจุ ค่าสูญเสียไดอิเล็กทริก โดยการนำชิ้นทดสอบมาวางลงในขั้วไฟฟ้าของเครื่อง LCR meter และป้อนสนามไฟฟ้าคงที่ ความถี่ 20 - 200,000 Hz ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำมาวิเคราะห์ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก ดังสมการที่ 2

$$\varepsilon_r = \frac{\mathrm{C_p t}}{\varepsilon_0 \mathrm{A}} \tag{2}$$

เมื่อ ε_r คือ ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ของสารไดอิเล็กทริก, ε_0 คือ ค่าสภาพยอมของสุญญากาศ, $\mathrm{C_p}$ คือ ค่าความจุของตัวเก็บประจุ (F), A คือ พื้นที่ของขั้วไฟฟ้าบนผิวของสารไดอิเล็กทริก (m^2) และ t คือ ความหนาของชิ้นทดสอบ (m)

(ก) (ข)

ภาพที่ 2 (ก) เครื่อง LCR ยี่ห้อ ROHDE & SCHWARZ HAMEG รุ่น HM8118 (ข) การต่อขั้ว

ตอนที่ 5 การศึกษาความสามารถในการเก็บเกี่ยวพลังงานจากฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอน

ความสามารถในการเก็บเกี่ยวพลังงาน สามารถนำมาทำนายโดยใช้โมเดลในการเก็บเกี่ยวพลังงานจากฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอน โดยอาศัยปรากฏการณ์อิเล็กโทรสทริกชัน เมื่อพอลิเมอร์ได้รับความเค้นจะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้า I ไหลในวงจร อาศัยความสัมพันธ์กับค่าการกระจัดทางไฟฟ้าดังสมการที่ 3 โดย A เป็นพื้นที่ของขั้วไฟฟ้าเช่นเดียวกันกับพอลิเมอร์ไพอิโซอิเล็กทริก การเกิดกระแสไฟฟ้าของฟิล์มยางธรรมชาติจำเป็นต้องให้สนามไฟฟ้าภายนอกด้วยเพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดโพลาไรเซชันให้พอลิเมอร์เสมือนเป็นไพอิโซอิเล็กทริกเทียม (pseudo piezoelectric) [3]

$$I = 2MYE \int A \frac{dD}{dt} dA \tag{3}$$

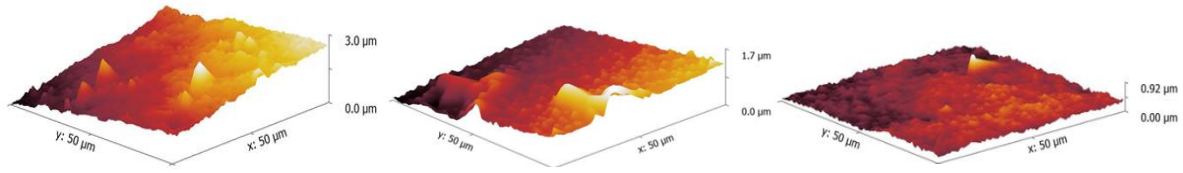
เมื่อ D คือ การกระจัดทางไฟฟ้า, E คือ ความเข้มสนามไฟฟ้า, Y คือ ค่ายังมอดุลัส และ M คือ สัมประสิทธิ์อิเล็กโทรสทริกทิฟ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 4 และคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การแปลงพลังงานของพอลิเมอร์ (Figure of Merit) หรือ FoM เท่ากับ MY ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกความสามารถในการแปลงพลังงานกลเป็นไฟฟ้าของฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวท-คาร์บอน ดังสมการที่ 5

$$M = \frac{\varepsilon_0(\varepsilon_r - 1)^2}{\varepsilon_r Y} \tag{4}$$

$$FoM = MY = \frac{\varepsilon_0(\varepsilon_r - 1)^2}{\varepsilon_r} \tag{5}$$

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

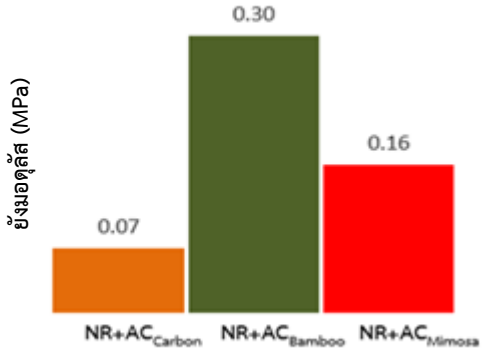
จากการศึกษาสัณฐานวิทยา (morphology) และลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคของฟิล์มยางธรรมชาติผสม แอคติเวทคาร์บอนด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอมในโหมดการสั่น (tapping mode) อนุภาคแอคติเวทคาร์บอนทั้งสามชนิดถูกเจือในยางธรรมชาติปริมาณ 1 phr ผลการศึกษาพบว่า อนุภาคของแอคติเวทคาร์บอนจากไมยราบมีขนาดเล็กที่สุด โดยมีระยะสูงที่สุดของพื้นผิว 0.92 μm รองลงมา คือ ฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอนจากไม้ไผ่ ซึ่งมีระยะสูง 1.7 μm ในขณะที่ฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอนทางการค้ามีระยะสูง 3.0 μm ดังภาพที่ 3 จึงเห็นได้ว่า แอคติเวทคาร์บอนจากไมยราบกระจายตัวได้ดีที่สุดในเนื้อยางธรรมชาติ โดยมีค่าความขรุขระของพื้นผิว (surface roughness) เท่ากับ 69.201 nm ส่วนฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอนจากไม้ไผ่และแอคติเวทคาร์บอนทางการค้ามีค่าความขรุขระของพื้นผิวเท่ากับ 123.1 nm และ 142 nm ตามลำดับ



NR+AC$_{Carbon}$ NR+AC$_{Bamboo}$ NR+AC$_{Mimosa}$

ภาพที่ 3 ลักษณะพื้นผิวสามมิติของฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอนปริมาณ 1 phr

เมื่อเปรียบเทียบค่ายังมอดุลัสของฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอนทั้งสามชนิดในปริมาณ 1 phr พบว่าฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอนจากไม้ไผ่มีค่าสูงสุด เท่ากับ 0.30 MPa รองลงมาคือ ฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอนจากไมยราบ เท่ากับ 0.16 MPa และฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอนทางการค้า เท่ากับ 0.07 MPa แสดงค่าดังภาพที่ 4 ผลที่ได้สอดคล้องกับค่าความขรุขระของพื้นผิวจาก AFM เมื่ออนุภาคเกาะกลุ่มกันจนมีขนาดใหญ่ เนื้อยางส่วน

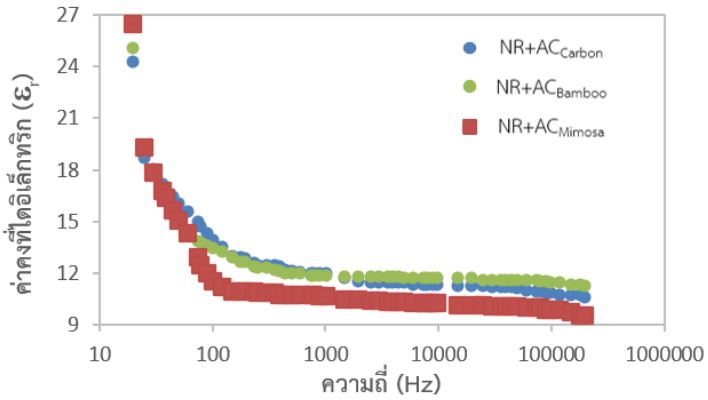


ภาพที่ 4 ยังมอดุลัสของฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอนแต่ละชนิด

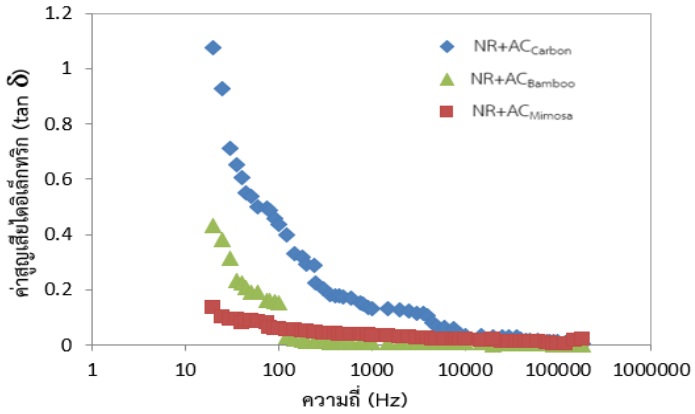
ใหญ่ไม่ได้ถูกแทรกตัวจากอนุภาคที่มีค่ายังมอดุลัสสูง จึงทำให้ฟิล์มยางที่ถูกเจือด้วยแอคติเวทคาร์บอนทางการค้ามีค่ามอดุลัสต่ำที่สุด

สมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอนนั้น พิจารณาจากค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ε_r) และค่าสูญเสียไดอิเล็กทริก (tan δ) ดังภาพที่ 5 และ 6 พบว่า เมื่อความถี่ต่ำสุด (20 Hz) ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอนจากไมยราบ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 26.4 รองลงมา คือ แอคติเวทคาร์บอนจากไม้ไผ่ ซึ่งมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริก 25.0 และแอคติเวทคาร์บอนทางการค้านั้น ให้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก 24.3 เมื่อมีการผสมได้ดีระหว่างเนื้อยางธรรมชาติกับอนุภาค และความสามารถในการกระจายตัวสูง ทำให้เกิดพื้นที่ผิวระหว่างอนุภาคที่มีประจุและเนื้อยางมากขึ้น ส่งผลต่อปรากฏการณ์แมกซ์-เวลล์-แวกเนอร์โพลาไรเซชันในวัสดุคอมโพสิตสูงขึ้น ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกที่ปรากฏจึงมีค่าสูง ซึ่งผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของฟิล์มพอลิยูรีเทน/คอปเปอร์นาโนคอมโพสิต [1] และค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของฟิล์มพอลิยูรีเทน/พอลิอะนิลีนคอมโพสิต เนื่องจากสารที่เจือเข้าไปในเนื้อพอลิเมอร์ มีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ส่งผลต่อค่าคงที่ไดอิเล็กทริก นอกจากนี้ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกบ่งบอกถึงพลังงานไฟฟ้าที่สะสมในเนื้อวัสดุ เมื่อป้อนสนามไฟฟ้าความถี่ต่ำเข้าไป ทำให้โมเลกุลมีเวลามากพอในการตอบสนองต่อสนามไฟฟ้า จึงทำให้เกิดการโพลาไรซ์ได้สูงสุด ขณะเดียวกันเมื่อสนามไฟฟ้ามีความถี่สูง พอลิเมอร์ไม่สามารถตอบสนองต่อสนามไฟฟ้าได้ทันเวลา จึงมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกต่ำ [3] และทำให้เกิดค่าสูญเสียไดอิเล็กทริก นอกจากนั้น ยังพบว่าฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอนทางการค้ามีค่าสูงกว่าแอคติเวทคาร์บอนจากไม้ไผ่ และแอคติเวทคาร์บอนจากไมยราบมีค่าต่ำสุด แสดงถึงพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียไปในรูปของพลังงานความร้อน อันเนื่องมาจากการขยับตัวไปในทิศทางของสนามไฟฟ้า หรือการเกิดโพลาไรเซชัน ถ้าในฟิล์มแอคติเวทคาร์บอนมีประจุระหว่างผิวสัมผัสมากขึ้น ค่าสูญเสียไดอิเล็กทริกจึงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

ความสามารถในการเก็บเกี่ยวพลังงานจากฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอนจากผลการทดสอบ สามารถนำมาวิเคราะห์โดยใช้สมการในการเก็บเกี่ยวพลังงานจากสมการที่ 4 และ 5 โดยได้แสดงพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ทางกล และค่าความสามารถในการเก็บเกี่ยวพลังงานที่ความถี่ 20 Hz ของฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอนแต่ละชนิดตามตารางที่ 2 พบว่าฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทจากไมยราบมีค่า FoM สูงสุด รองลงมา คือ ฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทจากไม้ไผ่ และฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวททางการค้าต่ำที่สุด หากต้องการให้พอลิเมอร์สามารถแปลงจากพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าออกมามาก จำเป็นต้องใช้พอลิเมอร์ที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูง จากความสัมพันธ์นี้ถูกนำไปใช้ในการพัฒนาค่ากระแสหรือกำลังจากพอลิเมอร์อิเล็กสทริกทิฟ โดยเพิ่มค่าไดอิเล็กทริกให้สูงขึ้น



ภาพที่ 5 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับความถี่ของฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอนชนิดต่าง ๆ



ภาพที่ 6 ค่าสูญเสียไดอิเล็กทริกกับความถี่ของฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอนชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ทางกล และค่าความสามารถในการเก็บเกี่ยวพลังงานที่ความถี่ 20 Hz

ชนิดของฟิล์มคอมโพสิต	ε_r	Y (MPa)	t (mm)	M (m^2/v^2)	FoM
NR+AC$_{Carbon}$	24.3	0.70	0.156	2.96×10^{-15}	1.98×10^{-10}
NR+AC$_{Bamboo}$	25.0	3.00	0.158	6.82×10^{-16}	2.04×10^{-10}
NR+AC$_{Mimosa}$	26.4	0.16	0.159	1.35×10^{-15}	2.16×10^{-10}

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการเก็บเกี่ยวพลังงานจากฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอนที่อัตราส่วน 1 phr จากแอคติเวทคาร์บอนทางการค้า แอคติเวทคาร์บอนจากไม้ไผ่ และแอคติเวทคาร์บอนจากไมยราบ สำหรับการศึกษาลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคขนาดพื้นที่ 50 μm จากกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม พบว่าลักษณะพื้นผิวและการกระจายตัวของฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอนจากไมยราบมีค่าความขรุขระของพื้นผิวได้ดีที่สุด เท่ากับ 69.201 nm รองลงมา คือ แอคติเวทคาร์บอนจากไม้ไผ่ และแอคติเวทคาร์บอนทางการค้า มีค่าความขรุขระของพื้นผิว เท่ากับ 123.1 nm และ 142 nm ตามลำดับ การวิเคราะห์ค่ายังมอดุลัสของฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอนจากไม้ไผ่มีค่าสูงสุด เท่ากับ 0.30 MPa รองลงมา คือ ฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอนจากไมยราบ มีค่าเท่ากับ 0.16 MPa และฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอค-

ติเวทคาร์บอนทางการค้ามีค่าน้อยที่สุด เท่ากับ 0.07 MPa สำหรับสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอน โดยพิจารณาจากค่าคงที่ไดอิเล็กทริก พบว่า เมื่อป้อนสนามไฟฟ้าความถี่ 20 Hz ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกผสมแอคติเวทคาร์บอนจากไมยราบมีค่าสูงสุด เท่ากับ 26.4 แอคติเวทคาร์บอนจากไม้ไผ่เท่ากับ 25.0 และแอคติเวทคาร์บอนทางการค้าเท่ากับ 24.3 ซึ่งทั้งสมบัติทางกลและสมบัติทางไฟฟ้าส่งผลต่อความสามารถในการเก็บเกี่ยวพลังงานจากการแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า จึงทำให้ฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอนจากไมยราบมีค่าการแปลงพลังงานสูงสุด รองลงมา คือ ฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอนจากไม้ไผ่ และฟิล์มยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอนทางการค้า

การนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

จากงานวิจัยนี้ทำให้ทราบค่าความสามารถในการเก็บเกี่ยวพลังงานจากยางธรรมชาติผสมแอคติเวทคาร์บอนทางการค้า แอคติเวทคาร์บอนจากไม้ไผ่ และแอคติเวทคาร์บอนจากไมยราบ จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์หรือต่อยอด เพื่อผลิตเป็นวัสดุเก็บเกี่ยวพลังงานที่มีความยืดหยุ่นสูงได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท อุตสาหกรรมน้ำยางยะลา จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์น้ำยางข้นในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] ชัชชัย พุทซ้อน, “การเก็บเกี่ยวพลังงานกลด้วยพอลิเมอร์ฉลาด,” *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, ปีที่ 17, ฉ. 2, น. 182-188, 2555.

[2] รัฐพล มีลาภสม และสายัญ พันธ์สมบูรณ์, “การเตรียมแผ่นฟิล์มสปาจากยางพารา,” *วารสารวิชาการและวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย*, ฉ. 5, น. 43-48, 2556.

[3] D. Jaaoh, C. Putson and N. Muensit, “Enhanced strain response and energy harvesting capabilities of electrostrictive polyurethane composites filled with conducting polyaniline,” *Composites Science and Technology*, vol. 122, pp. 97-103, 2016.

[4] อัซมะ มะเกะ, รูไฟดา ซาซู, ไมมูน อินตัน, อดุลย์สมาน สุขแก้ว และดาริกา จาเอาะ, “การปรับปรุงสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุอิเล็กโทรสทริกทิฟอิลาสโตเมอร์จากยางธรรมชาติ/กราฟีนคอมโพสิต,” ใน *รายงานการนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์ และสังคมศาสตร์,* มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช, น. 148-156, 2560.