AMM-200

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับสมบัติทางไฟฟ้าของยางแผ่นดิบ

A Study on the Correlation between the Moisture and Electric Properties of Rubber sheet

นภัส ทองประไพ[1]*, ไชยณรงค์ จักรธรานนท์[1], พินัย ทองสวัสดิ์วงศ์[1] และ ชูศักดิ์ ชวประดิษฐ์[2]

[1] ภาควิชาเครื่องกล วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120
[2] กลุ่มวิจัยวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร ปทุมธานี
*ติดต่อ: E-mail: t_darkprinces@hotmail.com, เบอร์โทรศัพท์: 02-5643001 ต่อ.3151

บทคัดย่อ

ความชื้นของยางแผ่นดิบเป็นดัชนีที่สำคัญของการประเมินคุณภาพและกำหนดราคาของยางแผ่นดิบ บทความนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นผ่านค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้า (ค่าความต้านทานไฟฟ้าและค่าความจุไฟฟ้า) ของยางแผ่นดิบ ตัวอย่างยางแผ่นดิบนำมาจากสวนยางพาราในเขตภาคใต้ของประเทศไทย การทดลองเป็นกระบวนการทำซ้ำของการนำยางแผ่นดิบมาหาค่าความชื้นและค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าหลังจากนำไปตากในที่ร่มซึ่งมีอากาศถ่ายเทสะดวก การหาค่าความชื้นทำโดยชั่งน้ำหนักของแผ่นยางทั้งก่อนและหลังผ่านตู้อบมาตรฐาน ส่วนการหาค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าจะใช้ตัววัดสองแบบ คือ แบบหนีบและแบบเข็ม จากการทดลองพบว่าสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นและค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผ่นยางอยู่ในรูปของลอการิทึม ในกรณีของการวัดค่าความจุไฟฟ้าสมการที่ได้จากการใช้หัววัดแบบหนีบจะให้ค่าความน่าเชื่อถือที่ดีกว่าการใช้หัววัดแบบเข็ม ส่วนกรณีของการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า การใช้หัววัดแบบหนีบและแบบเข็มจะให้ผลไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ค่าความต้านทานเพื่อระบุปริมาณความชื้นในแผ่นยางถูกต้องกว่าการใช้ค่าความจุไฟฟ้า

คำหลัก: เปอร์เซ็นต์ความชื้นของยางแผ่นดิบ, ความจุไฟฟ้า, ความต้านทานไฟฟ้า

Abstract

Moisture content is an important indicator of evaluating the quality and price of rubber sheet. This study aims to investigate the moisture content through electric properties (capacitance and resistance) of rubber sheets. Samples are brought from a rubber plantation of Southern Thailand. With repeating process, moisture content and electric properties are examined after the rubbers are exposed in shading environment having good ventilation. Moisture content is investigated through measuring the weight of rubber both before and after drying in a standard oven. In addition, electric properties are measured by two probe types, i.e. pinch and needle. It is found from results that the correlation between moisture content and electric properties of rubber is logarithmic. In the capacitance case, pinch probe gives reliability higher than needle probe. In contrast, reliability of both probes is not much different in resistance measure. Moreover, it is also found that utilizing electric resistance specifies the moisture content of rubber sheet correctly more than electric capacitance.

Keywords: rubber sheet, moisture content, electrical properties

1. บทนำ

ยางพาราเป็นพืชที่มีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจของประเทศไทยเป็นอย่างมาก ซึ่งประเทศไทยเป็นผู้นำด้านการผลิตและส่งออกยางธรรมชาติมากที่สุดในโลก โดยทีการส่งออกต่างประเทศในรูปของยางแผ่นดิบ ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง และน้ำยางข้น ซึ่งสามารถนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย มีมูลค่าการส่งออกมาก สามารถสร้างรายได้ให้เกษตรกรสวนยาง ตลอดจนอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง (สถาบันวิจัยยาง, 2557)

เนื่องจากปริมาณความชื้นถูกใช้เป็นดัชนีกำหนดคุณภาพและราคาในการซื้อขายแผ่นยางดิบ และการหาความชื้นของยางโดยวิธีมาตรฐานจะต้องนำใส่ตู้อบเป็นเวลา 24 ชั่วโมงหรือนานจนกระทั่งน้ำหนักของแผ่นยางคงที่ นอกจากนี้การประเมินระดับความชื้นเพื่อการซื้อขายที่สวนยางในปัจจุบันขึ้นกับประสบการณ์การมองสีผิวของแผ่นยางของผู้รับซื้อเป็นหลัก ดังนั้นเพื่อลดปัญหาความคลาดเคลื่อนของการประเมินความชื้นของแผ่นยางดิบที่เกิดขึ้น การหาวิธีวัดค่าความชื้นแบบอื่นที่มีความรวดเร็ว แม่นยำและสะดวกในการวัด จึงเป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับเกษตรกรชาวสวนยาง และการประเมินคุณภาพของวัสดุโดยใช้ค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุเองเป็นวิธีที่สนใจวิธีหนึ่ง

Castro-Giraldez et al (2010) ศึกษาค่าไดอิเล็กทริคสเปคโตรสโคปีเพื่อเป็นดัชนีกำหนดความสุกแก่ของแอปเปิ้ลโดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับผลแอปเปิ้ล

Soltani และคณะ (2010) พบว่าเมื่อใช้ความถี่ของคลื่นไซน์ที่ 1 MHZ สามารถทำให้กล้วยแก่ (green ripe) เปลี่ยนไปเป็นกล้วยสุกเต็มที่ ภายใน 5 วัน โดยค่า เพอมิททิวิตี้ (permittivity) ของกล้วยเปลี่ยนจาก 1.7433 ไปเป็น 1.431 ตามลำดับ

Everard และคณะ (2006) ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายค่าความชื้น และ ค่าความเข้มของอนินทรียสาร (inorganic salt contents) ของการทำเนยแข็งโดยใช้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริค (dielectric constants) และตัวประกอบความสูญเสียไดอิเล็กทริค (dielectric loss factor) โดยแบบจำลองที่ใช้สามารถนำไปประเมินคุณภาพของเนยแข็งจริงที่ผลิตได้

ปรีดาวรรณ และคณะ (พ.ศ. 2554) ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องวัดความชื้นลำไยอบแห้งทั้งเปลือก โดยเปรียบเทียบความแตกต่างของผลการวัดด้วยเครื่องมือต้นแบบวัดความชื้นลำไยอบแห้ง กับวิธีมาตรฐาน การหาค่าความชื้นลำไยในห้องปฏิบัติการแบบใช้ตู้อบลมร้อน พบว่าต้นแบบเครื่องวัดความชื้นลำไยอบแห้งมีความแม่นยำในการวัดสูง โดยมีค่าสหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9977 สามารถวัดลำไยอบแห้งในช่วงความชื้น 10-60% (มาตรฐานเปียก) โดยค่าความแตกต่างในช่วงความชื้น 10-20% มีความแปรปรวนของค่าที่วัดได้ด้วยเครื่องวัดความชื้นลำไยอบแห้งกับความชื้นมาตรฐานของตัวอย่างเดียวกันในตู้อบลมร้อนพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง -0.25 ถึง 0.25 และมีความแปรปรวนเพิ่มมากขึ้นเมื่อความชื้นลำไยมีค่ามากกว่า 20% (มาตรฐานเปียก) โดยมีค่าระหว่าง -2.0 ถึง 2.0

ปรีดาวรรณ และคณะ (พ.ศ. 2554) ศึกษาการประเมินค่าความสุกแก่ของทุเรียน ผ่านค่าความจุไฟฟ้า โดยไม่ทำให้ผลทุเรียนเสียหาย (nondestructive) โดยค่าความจุไฟฟ้าถูกวัดโดยการแทงหัววัดที่ก้านผลทุเรียน ผลการวัดเป็นค่าความถี่ ซึ่งพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่และค่าความจุไฟฟ้า สมการความสัมพันธ์ (R^2 = 0.98) และพบว่าค่าความจุไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักเนื้อแห้งเพิ่มขึ้นหรือมีความแก่เพิ่มขึ้นในทุกๆ ขนาดของผลทุเรียน เนื่องจากปริมาณความชื้นของผลทุเรียนลดลง

ชูศักดิ์ และคณะ (พ.ศ. 2555) ศึกษาการใช้ค่าความต้านทานไฟฟ้าและค่าความจุทางไฟฟ้าประเมินค่าความชื้นยางแผ่นดิบ โดยหัววัดมีลักษณะเป็นหัวเข็มเหล็กกล้า 2 เข็ม ขนาดยาว 15 มิลลิเมตร มีระยะห่างระหว่างเข็ม 5 มิลลิเมตร ผลการทดสอบพบว่า ความชื้นของยางแผ่นดิบมีความสัมพันธ์กับ

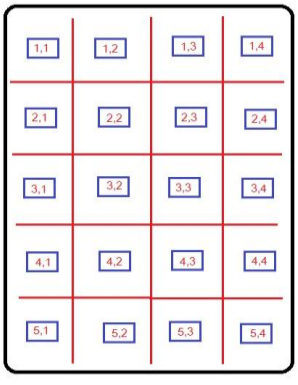
ความจุไฟฟ้าและความต้านทานไฟฟ้าอยู่ในรูป exponential และมีค่าสหสัมพันธ์ (R^2) มากกว่า 0.78 และ 0.56 ตามลำดับ

งานวิจัยนี้ศึกษาการประเมินค่าความชื้นยางแผ่นดิบ โดยใช้ค่าความต้านทานและค่าความจุไฟฟ้าของยางแผ่นดิบ โดยปรับปรุงให้มีตัวอย่างทดลองมากขึ้น และเปลี่ยนเครื่องวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าเป็นเครื่องวัดค่าฉนวนไฟฟ้าที่มีความสามารถในการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของยางแผ่นดิบที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าได้ และเนื่องจากจุดวัดค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าของยางแผ่นดิบมีลักษณะไม่เรียบจึงเพิ่มชนิดของหัววัดแบบหนีบ ที่ซึ่งมีพื้นที่หน้าสัมผัสของหัววัดมากกว่าหัววัดแบบเข็ม เพื่อหาความเหมาะสมในการนำมาใช้หาค่าความชื้นแผ่นยางดิบที่ใช้สำหรับการซื้อขาย

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 ยางแผ่นดิบที่ใช้ในการทดลอง

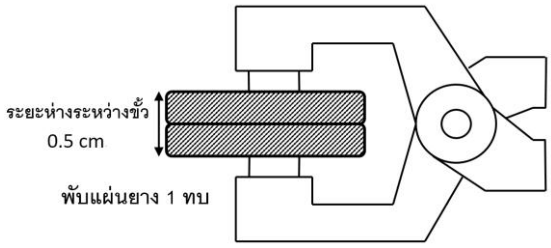
ตัวอย่างยางแผ่นดิบที่ใช้นำมาจากอำเภอหาดใหญ่จังหวัดสงขลา จำนวน 25 แผ่น โดยคัดยางแผ่นดิบที่ผลิตเสร็จไม่เกิน 1 วัน ทำให้แห้งโดยการตากผึ่งลมในที่ร่มและอากาศถ่ายเทสะดวก แบ่งช่วงเปอร์เซ็นต์ความชื้นออกเป็น 5 ช่วง ช่วงละ 5 แผ่น โดยเก็บตัวอย่างยางแผ่นดิบมาทดลอง 5 แผ่น ต่อ 1 วัน จากรูปที่ 1 ยางแผ่นดิบถูกแบ่งออกเป็น 20 ส่วน แล้ววัดค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่จุดกึ่งกลางของแต่ละส่วน หลังจากนั้นแต่ละส่วนจะถูกตัดแยกออกจากกันและนำไปอบแห้ง หาค่าความชื้นโดยเตาอบมาตรฐาน



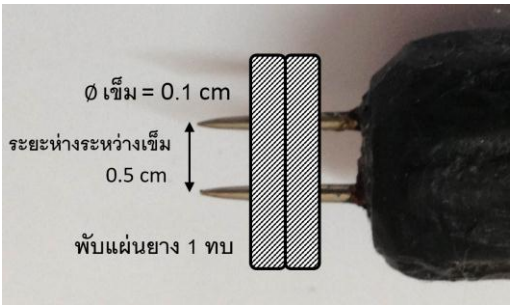
รูปที่ 1 การแบ่งช่องยางแผ่นดิบ

2.2. การวัดค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าของยางแผ่นดิบ

การวัดค่าความจุไฟฟ้าและค่าความต้านทานไฟฟ้าของแผ่นยางดิบ โดยใช้ขั้วหัววัด 2 ชนิด ได้แก่ ขั้วหัววัดแบบหนีบและขั้วหัววัดแบบเข็ม ขั้วหัววัดแบบหนีบ (รูปที่ 2) มีลักษณะเป็นคีมหนีบ โดยในการวัดจะหนีบหัววัดกับแผ่นยางและล็อคระยะห่างระหว่างขั้วหัววัดทั้งสอง 0.5 เซนติเมตร ตรงกึ่งกลางตำแหน่งจุดวัด ส่วนขั้วหัววัดแบบเข็ม (รูปที่ 3) ประกอบด้วยเข็มเหล็กกล้า 2 เข็ม เส้นผ่าศูนย์กลางของเข็มมีขนาด 1 มิลลิเมตร และยาว 15 มิลลเมตร มีระยะห่างระหว่างขั้วเข็ม 0.5 เซนติเมตร โดยการแทงยางแผ่นดิบตรงตำแหน่งจุดวัดให้ขั้วเข็มแทงทะลุยางแผ่นดิบ ขั้วไฟฟ้าทั้ง 2 ชนิดต่อสายไฟฟ้าเข้ากับเครื่องวัดความต้านทานไฟฟ้า (Standard Insulation Tester รุ่น ST-2551 resolution 0-2000 MOhm : +/-(5%rdg+3dgt) ที่ย่านวัด 1000V) เพื่อใช้วัดค่าความต้านทานและเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้า (Digital Multimeter รุ่น AT9205D resolution 20 nF - 200 μF : +/-(3.0%+2) ทำการอ่านค่าความต้านทานและความจุไฟฟ้า 3 ครั้งต่อ 1 จุดวัด โดยการวัดค่าความต้านทานและความจุไฟฟ้าของขั้วหัววัดทั้ง 2 ชนิด จะทำการพับแผ่นยางก่อน 1 ทบ เพื่อให้มีปริมาตรยางแผ่นดิบเต็มช่องขั้วหัววัดพอดี



รูปที่ 2 ขั้วหัววัดแบบหนีบ



รูปที่ 3 ขั้วหัววัดแบบเข็ม

2.3. การวัดค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นยางแผ่นดิบ

หลังจากหาค่าคุณสมบัติไฟฟ้าของยางแผ่นดิบเสร็จแล้ว ตัดตัวอย่างยางแผ่นดิบขนาดกว้าง 1 นิ้ว และยาว 1.5 นิ้ว ของแต่ละจุดวัด ทั้งหมด 20 จุด ต่อ 1 แผ่น นำไปชั่งน้ำหนักบนเครื่องชั่งแบบทศนิยม 3 ตำแหน่ง เป็นค่าน้ำหนักยางแผ่นดิบเริ่มต้น (initial weight, W_i) หลังจากนั้นนำไปหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นด้วยวิธีมาตรฐาน โดยนำตัวอย่างยางเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำยางแผ่นดิบออกจากตู้อบและทำการชั่งน้ำหนักยาง อบยางซ้ำจนกว่าน้ำหนักยางจะมีค่าคงที่ หลังจากนั้นนำเข้าโถดูดความชื้นเพื่อให้ยางแห้งสนิท หาค่าน้ำหนักยางแผ่นดิบสุดท้าย (final weight, W_f) และคำนวณหาค่าความชื้น (percent moisture content, %MC) ตามสมการที่ 1

$$MC = \left(\left(W_i - W_f\right) \div W_i\right) \times 100 \ [\%] \qquad (1)$$

2.4. การหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับคุณสมบัติทางไฟฟ้า

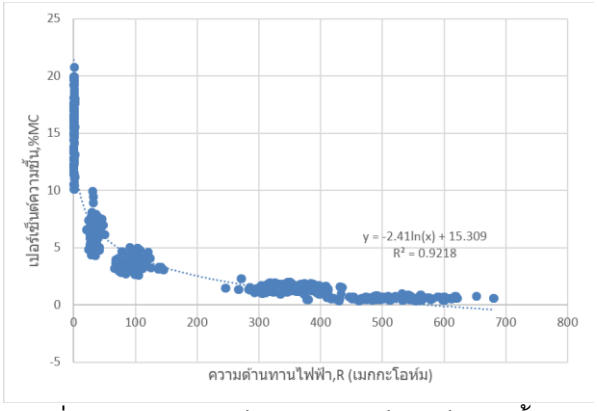
หาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของยางแผ่นดิบและคุณสมบัติทางไฟฟ้าโดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและความต้านทานไฟฟ้าและความจุไฟฟ้า ในช่วงความชื้น 0.5-20% และช่วงความชื้นในการซื้อขาย (0.5-5%)

3. ผลการทดลอง

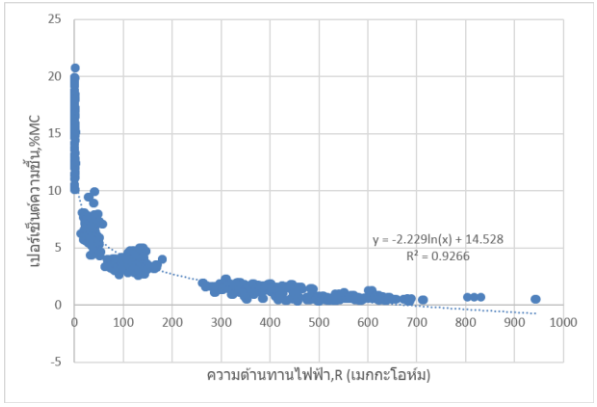
3.1. ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางไฟฟ้าในช่วงความชื้น 0.5-20%

3.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความต้านทานไฟฟ้า

ผลการทดลองพบว่าสมการความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับค่าความต้านทานไฟฟ้าของการใช้ขั้วหัววัดทั้งแบบหนีบและแบบเข็มมีค่าความน่าเชื่อถือใกล้เคียงกันมาก (รูปที่ 4 และ 5) คือ y = -2.41ln(x) + 15.309 และ y = -2.229ln(x) + 14.528 ตามลำดับ (R^2 มากกว่า 0.92 ทั้ง 2 หัววัด) ช่วงเปอร์เซ็นต์ความชื้น 10%-20% กราฟมีลักษณะความชันสูงที่สุดเมื่อเทียบกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นในช่วงอื่นๆ เนื่องจากในช่วงความชื้นสูงนั้นยางแผ่นดิบยังมีลักษณะเป็นตัวนำไฟฟ้าได้ดีทำให้กระแสที่ไหลผ่านแผ่นยางมีค่าคงที่ ในช่วงเปอร์เซ็นต์ความชื้น 3%-10% กราฟมีลักษณะความชันปานกลางเมื่อเทียบกับช่วงความชื้นสูงและความชื้นต่ำ เนื่องจากช่วงความชื้นในแผ่นยางเริ่มลดลงจนทำให้แผ่นยางเริ่มเข้าสู่ช่วงเป็นฉนวนไฟฟ้าจึงทำให้ค่าความต้านทานที่วัดได้มีค่าสูงขึ้น ส่วนในช่วงความชื้นต่ำกว่า 3% เป็นช่วงที่กราฟมีลักษณะความชันต่ำมากที่สุด เนื่องจากในช่วงนี้แผ่นยางมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า ทำให้มีค่าความต้านทานสูงมาก และพบว่าที่ความชื้นต่ำมีค่าความน่าเชื่อถือสูงกว่าที่ความชื้นสูงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานไฟฟ้าสูงแต่การเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้นต่ำ



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับความต้านทานไฟฟ้าของยางแผ่นดิบ โดยใช้ขั้วหัววัดแบบหนีบ

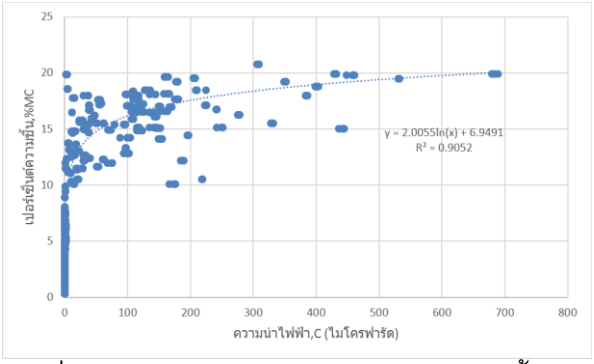


AMM-200

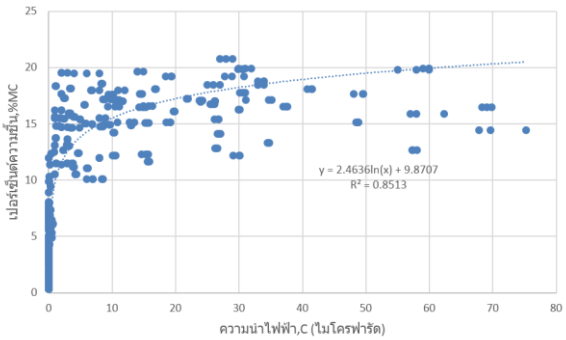
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับความต้านทานไฟฟ้าของยางแผ่นดิบ โดยใช้ขั้วหัววัดแบบเข็ม

3.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความจุไฟฟ้า

สมการความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับค่าความจุไฟฟ้าของการใช้หัววัดทั้งแบบหนีบและแบบเข็มมีค่าความความน่าเชื่อถือแตกต่างกัน (รูปที่ 6 และ 7) คือ y = 2.0055ln(x) + 6.9491 และ y = 2.4636ln(x) + 9.8707 ตามลำดับ (R^2 มากกว่า 0.90 และ 0.85 ตามลำดับ) โดยเฉพาะในช่วงความชื้นสูง (ช่วงความชื้นมากกว่า 10%) มีค่าความน่าเชื่อถือค่อนข้างต่ำ เนื่องจากค่าความจุไฟฟ้าที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อนสูง ช่วงความชื้น 3%-10% ค่าความจุไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าต่ำลงใกล้เคียงกันกับค่าความจุไฟฟ้าของช่วงความชื้นต่ำ (ช่วงความชื้นน้อยกว่า 3%) จนไม่สามารถแยกช่วงความชื้นได้ ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองเป็นอุปกรณ์วัดสมบัติไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์ต่ำ จึงทำให้กระแสไฟฟ้าไม่สามารถผ่านยางแผ่นดิบในช่วงความชื้นปานกลางและต่ำที่มีสมบัติทางกายภาพเป็นฉนวนไฟฟ้าได้เท่าที่ควรทำให้ค่าความจุไฟฟ้าที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อนสูง



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับความจุไฟฟ้าของยางแผ่นดิบ โดยใช้ขั้วหัววัดแบบหนีบ



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับความจุไฟฟ้าของยางแผ่นดิบ โดยใช้ขั้วหัววัดแบบเข็ม

3.2. ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางไฟฟ้าและช่วงเปอร์เซ็นต์ความชื้นสำหรับการซื้อขาย

ในการซื้อขายยางแผ่นดิบในปัจจุบันส่วนใหญ่จะทำการซื้อขายยางแผ่นดิบในช่วงความชื้นต่ำกว่า 5% เมื่อทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับคุณสมบัติทางไฟฟ้าในช่วงความชื้นไม่เกิน 5% ทั้งหัววัดแบบหนีบและแบบเข็ม (ดังรูปที่ 8-11) พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับความต้านทานไฟฟ้ามีความน่าเชื่อถือมากกว่าความจุไฟฟ้าทั้งหัววัดแบบหนีบและแบบเข็ม

3.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้าและช่วงเปอร์เซ็นต์ความชื้นในช่วงซื้อขาย

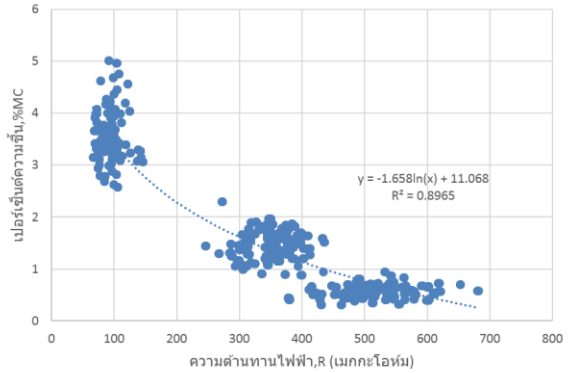
ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความต้านทานไฟฟ้าของหัววัดแบบหนีบและแบบเข็มมีลักษณะของกราฟใกล้เคียงกัน คือ y = -1.658ln(x) + 11.068 และ y = -1.75ln(x) + 11.756 ตามลำดับ (R^2 มากกว่า 0.89 และ 0.87 ตามลำดับ) ในช่วงความชื้น 3%-5% กราฟมีลักษณะความชันสูงกว่าช่วงความชื้นต่ำกว่า 2% ทั้งหัววัดแบบหนีบและแบบเข็ม โดยที่ค่าความน่าเชื่อถือจะสูงขึ้นแปรผันตามความชื้นที่ลดลง

3.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความจุไฟฟ้าและช่วงเปอร์เซ็นต์ความชื้นในช่วงซื้อขาย

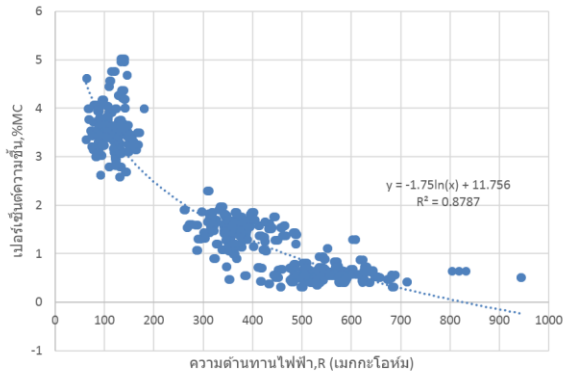
ในกรณีของความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับความจุไฟฟ้า หัววัดแบบหนีบมีค่าความน่าเชื่อถือมากกว่าแบบเข็ม คือ y = 2.407ln(x) + 7.5008 และ y = 3.9674ln(x) + 13.479 ตามลำดับ (R^2 มากกว่า 0.78 และ 0.66 ตามลำดับ) โดยค่าความ

AMM-200

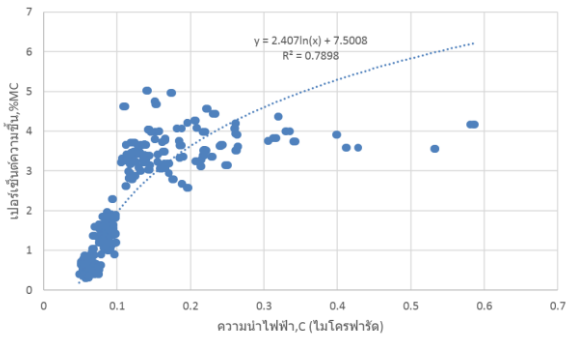
จุไฟฟ้าจะมากกว่า 0.1 ไมโครฟารัด เมื่อความชื้นมากกว่า 2% ส่วนในกรณีของหัววัดแบบเข็มค่าความจุไฟฟ้าประมาณ 0.7 ไมโครฟารัด มีค่าความน่าเชื่อถือต่ำ ทำให้ไม่สามารถแยกเปอร์เซ็นต์ความชื้นในช่วงความชื้นต่ำได้



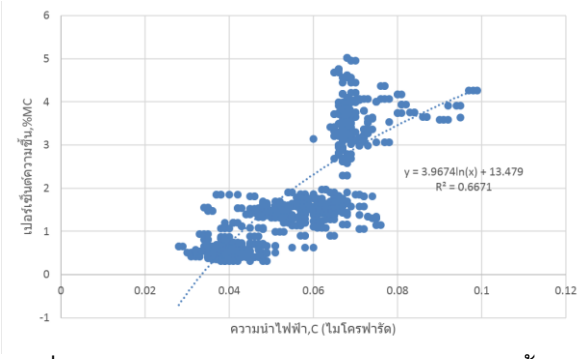
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับความต้านทานไฟฟ้าของยางแผ่นดิบ โดยใช้ขั้วหัววัดแบบหนีบ (ช่วงความชื้นไม่เกิน 5%)



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับความจุไฟฟ้าของยางแผ่นดิบ โดยใช้ขั้วหัววัดแบบเข็ม (ช่วงความชื้นไม่เกิน 5%)



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับความต้านทานไฟฟ้าของยางแผ่นดิบ โดยใช้ขั้วหัววัดแบบหนีบ (ช่วงความชื้นไม่เกิน 5%)



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับความจุไฟฟ้าของยางแผ่นดิบ โดยใช้ขั้วหัววัดแบบเข็ม (ช่วงความชื้นไม่เกิน 5%)

4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นในยางแผ่นดิบและคุณสมบัติทางไฟฟ้า โดยในการทดลองนี้ใช้วิธีวัดแบบหนีบและแบบเข็ม ผลการทดลองสรุปได้ว่า ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความต้านทานไฟฟ้ามีความน่าเชื่อถือมากกว่าความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความจุไฟฟ้า โดยมีความสัมพันธ์อยู่ในรูปสมการ (R^2 มากกว่า 0.92) ทั้งขั้วหัววัดแบบหนีบและแบบเข็ม โดยมีค่าความน่าเชื่อถือสูงในช่วงความชื้นต่ำ

ทั้งนี้เนื่องจากยางแผ่นดิบมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า ทำให้เครื่องมือวัดความต้านทานไฟฟ้าที่เป็นเครื่องวัดฉนวนไฟฟ้ามีความผิดพลาดน้อยกว่าเครื่องวัดค่าสมบัติไฟฟ้าทั่วไป กระแสไฟฟ้าสามารถทะลุผ่านแผ่นยางได้

จากผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความต้านทานไฟฟ้าของยางแผ่นดิบสามารถแบ่งช่วงตามความชื้นมาตรฐานการซื้อขายยางแผ่นดิบได้ และได้มีการทดสอบกับยางแผ่นดิบที่มีแหล่งผลิตที่แตกต่างกันนั้น ให้ผลไม่แตกต่างกันมากนัก โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นไม่เกิน 3% ซึ่งน้อยกว่าการแบ่ง

คุณภาพของยางแผ่นดิบด้วยวิธีเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐาน ดังนั้นจึงสามารถนำหลักการนี้มาใช้ในการออกแบบ สร้าง และทดสอบเครื่องต้นแบบวัดค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของยางแผ่นดิบด้วยวิธีทางไฟฟ้าให้มีความเหมาะสม และมีความแม่นยำในการวัดค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมากยิ่งขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ดร.ชูศักดิ์ ชวประดิษฐ์ และ ดร. ปรีดาวรรณ ไชยศรีชลธาร กลุ่มวิจัยวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร ที่ได้ให้คำเสนอแนะ แนวคิด ตลอดจนสนับสนุนอุปกรณ์และสถานที่ และขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Nelson S.O. (1973). Electrical properties of agricultural products, A critical review, *Transactions of the American Society of Agricultural Engineerings*, vol. 16, pp. 384 – 400.

[2] Castro-Giraldez, M., Fito, P.J., Chenoll, C. and Fito, P. (2010). Development of dielectric spectroscopy technique for the determination of apple (Granny Smith) maturity, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol. 11(2010), pp. 749 – 754.

[3] Soltani M., Alimardani, R. and Omid, M. (2010). Prediction of banana quality during ripening stage using capacitance sensing system, *Australian Journal of Crop Science*, vol. 4(6), pp. 443 – 447.

[4] Everard C.D., Fagan, C.C., O'Donnell, P.C., O'Callaghan, D.J., and Lyng, J.G. (2006). Dielectric properties of process cheese from 0.3 to 3 GHz, *Journal of Food Engineering*, vol. 75(3), pp. 415 – 422.

[5] ชูศักดิ์ ชวประดิษฐ์, ปรีดาวรรณ ไชยศรีชลธาร และสุภัทร หนูสวัสดิ์ (2555). การศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าในกรหาความชื้นในยางแผ่นดิบ, *การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมการเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13*, จังหวัดเชียงใหม่

[6] วราภรณ์ ขจรไชยกูล (2549). ยางธรรมชาติ : การผลิตและการใช้งาน, กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วน จำกัด ซีโน ดีไซน์

[7] สำนักงานตลาดกลางยางพาราหนองคาย กรมวิชาการเกษตร (2557). มาตรฐานยางแผ่นดิบ, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://www.rubbernongkhai.com/index.php/standardrubber, เข้าดูเมื่อวันที่ 05/02/2557.

[8] สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร (2557). สถิติยางไทย, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://www.rubberthai.com/rubberthai, เข้าดูเมื่อวันที่ 05/02/2557.