การวัดค่าความเข้มข้นน้ำยางพารา ด้วยเทคนิคตัวเก็บประจุทรงกระบอก

อีลีหย๊ะ สนิโซ* สมกรณ์ ชัยวรากรณ์* มารียานี แมแลแมง* และกัสมีรา กูโน*

บทคัดย่อ

ราคาการจำหน่ายน้ำยางพาราขึ้นกับร้อยละเนื้อยางแห้งเป็นสำคัญ การวิจัยนี้จึงนำเสนอแนวทางใหม่สำหรับการออกแบบและวัดค่าความเข้มข้นของน้ำยางพาราโดยวิธีตัวเก็บประจุทรงกระบอกในรูปของความต่างศักย์ไฟฟ้า ซึ่งมีแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าในช่วง 5.8 - 17.0 โวลต์ ร้อยละของน้ำที่ผสมในน้ำยางพาราเท่ากับ 10 20 30 40 50 60 70 80 และ 90 โดยปริมาตร ตามลำดับ แล้ววิเคราะห์ความสัมพันธ์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าในน้ำยางพารากับร้อยละเนื้อยางแห้ง จากการทดลองพบว่า เมื่อร้อยละของน้ำที่ผสมในน้ำยางพาราเพิ่มขึ้น ร้อยละเนื้อยางแห้งมีค่าลดลง เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละเนื้อยางแห้งกับความต่างศักย์ไฟฟ้า พบว่า มีความสัมพันธ์ในลักษณะเอกซ์โปเนนเชียล ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) อยู่ในช่วง 0.918 - 0.954

คำสำคัญ : น้ำยางพารา เนื้อยางแห้ง ตัวเก็บประจุ

* ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา 133 ถนนเทศบาล 3 อำเภอเมือง จังหวัดยะลา 95000 อีเมล : saniso.e@hotmail.com

Measurement of Concentrated Natural Latex by Cylindrical Capacitor Technique

Eleeyah Saniso* Sommkorn Chaiwarakorn*
Mareeyanee Maelaemaeng* and Kasmira Kuno*

Abstract

The cost of concentrated natural latex is directly dependant on the dry rubber content. A novel measurement system for dry rubber content in concentrated natural latex is presented and designed in this paper. The cylindrical capacitor was used to measure the dry rubber content of concentrated natural latex in term of voltage. By measuring the input voltage in the range of 5.8 - 17.0 Volts. The percentages of water blend with natural rubber latex are 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 and 90 by volume, respectively. The change in voltage of natural rubber latex was investigated as a function of dry rubber content. The results showed that the dry rubber content decreased with increasing the volume of water. The exponential relationship between dry rubber content and voltage was obtained with multiple regression coefficients (R^2) in range of 0.918 - 0.954.

Keywords: Natural latex, Dry rubber content, Capacitor

* Department of Science, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, 133 Tesaban Road 3, Muang, Yala 95000, Thailand. E-mail: saniso.e@hotmail.com

บทนำ

ยางพารา (Para rubber) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ในปี พ.ศ.2556 ประเทศไทย มีพื้นที่ปลูกยางพาราประมาณ 22,176,714 ไร่ แบ่งเป็นภาคเหนือ 1,229,615 ไร่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 4,395,849 ไร่ ภาคกลางและภาคตะวันออก 2.613,771 ไร่ และภาคใต้ 13,937,479 ไร่ ให้ผลผลิตรวม 4,170,428 ตัน ส่งออกรวม 3,664,941 ตัน สร้างรายได้จากการจำหน่ายผลผลิตยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง น้ำยางพารา (น้ำยางข้น) และอื่นๆ ให้ประเทศเป็นจำนวนมหาศาลรวม 249,288.97 ล้านบาท ทั้งนี้เพื่อประหยัดเวลาเกษตรกรนิยมจำหน่ายเป็นน้ำยางพารา มากกว่าการทำเป็นยางพาราแผ่น (Rubber sheet) โดยในปี พ.ศ.2556 ประเทศไทยส่งออกน้ำยางข้น (Concentrated latex) ทั้งสิ้น 681,970 ตัน คิดเป็นมูลค่าเท่ากับ 53,886.43 ล้านบาท (สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง, 2557) โดยมีเงื่อนไขราคาการจำหน่ายน้ำยางพาราจากร้อยละเนื้อยางแห้ง (Dry rubber content, %DRC) เป็นสำคัญ วิธีการตรวจสอบร้อยละเนื้อยางแห้งในการรับซื้อน้ำยางพาราทำได้ 2 วิธีหลัก (Chaisrichonlathan *et al.,* 2011) คือ การทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยใช้กระบวนการตามมาตรฐาน ISO 126:1995 ที่มีความแม่นยำสูงแต่ใช้เวลาการตรวจสอบนานประมาณ 16 - 24 ชั่วโมง และคำนวณค่าความหนาแน่นของน้ำยางด้วยเครื่องมือวัดที่เรียกว่า เมโทรแล็ค (Metrolac) ซึ่งมีความผิดพลาดของร้อยละเนื้อยางแห้งสูงกว่าร้อยละ 35 ในประเทศมาเลเซีย และสูงกว่าร้อยละ 39 ในประเทศไทย

วิธีตรวจสอบร้อยละเนื้อยางแห้งด้วยเครื่องเมโทรแล็ค นิยมใช้โดยทั่วไปสำหรับการซื้อขายน้ำยางในประเทศไทยเนื่องจากสะดวกและใช้เวลาน้อย แต่มีความผิดพลาดสูงจากการที่ต้องผสมน้ำเข้ากับน้ำยางข้นก่อนการวัดและอ่านผลด้วยสายตามนุษย์ จึงไม่สามารถแยกความเข้มข้นของน้ำยางในแต่ละส่วนได้ชัดเจน ทำให้ผู้ซื้อกำหนดราคาซื้อเท่ากันได้ จึงมีการวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์วัดร้อยละเนื้อยางแห้ง เช่น วิสุทธิ์ ศุกลรัตน์ (2546) ได้พัฒนาเครื่องต้นแบบวัดปริมาณเนื้อยางแห้งชนิดพลาสติก เรียกว่าลาเท็กซ์มิเตอร์ (Latex meter) พบว่า ลาเท็กซ์มิเตอร์กับเมโทรแล็คมีค่าสหสัมพันธ์ใกล้เคียงกันคือร้อยละ 84.7 และ 82.7 แต่ค่าสัมประสิทธิ์ความเบี่ยงเบนต่างกันมาก กล่าวคือ เมโทรแล็คมีค่าเท่ากับร้อยละ 14.2 ในขณะที่ลาเท็กซ์มิเตอร์มีค่าเท่ากับ 8.1 และลาเท็กซ์มิเตอร์ใช้วัดปริมาณเนื้อยางแห้งในช่วงร้อยละ 25 - 50 เช่นเดียวกับเมโทรแล็ค แต่มีความทนทาน ราคาถูก ผลิตได้ภายในประเทศและทดสอบมาตรฐานได้ และ Harris และคณะ (1985) ได้หาปริมาณเนื้อยางแห้งโดยวิธีวัดค่าความจุความร้อนจำเพาะ พบว่า ค่าความจุความร้อนจำเพาะมีความสัมพันธ์ในลักษณะเชิงเส้นกับปริมาณเนื้อยางแห้ง โดยมีส่วนเบี่ยงแบนมาตรฐานร้อยละ 0.7 เทียบกับวิธีการหาค่าความถ่วงจำเพาะที่มีค่าร้อยละ 4 และวิธีวัดค่าความจุความร้อนจำเพาะสามารถวัดได้รวดเร็วกว่า

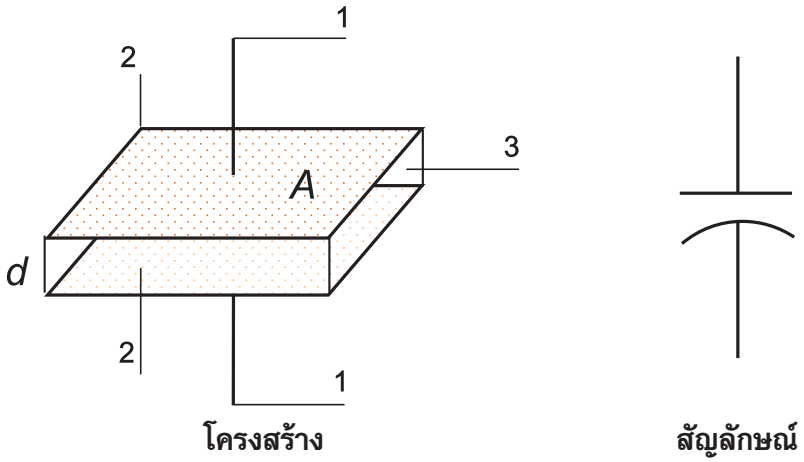
ในขณะเดียวกัน นุชนาฎ สุชาติพงศ์ (2553) วุฒิไกร จำรัสแนว และคณะ (2551) Jayanthy and Sankaranarayanan (2005) และ Kaida (1982) ได้ศึกษาสมบัติไดอิเล็กตริกเพื่อใช้ในการวัดระดับความเข้มข้นของน้ำยางพาราและหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ (Microwave) ซึ่งให้ข้อสรุปในทิศทางเดียวกันว่าค่าคงตัวไดอิเล็กตริก (Dielectric constant) มีค่าเพิ่มขึ้นตามร้อยละความเข้มข้นของน้ำยางพาราที่เพิ่มขึ้น และค่าคงตัวไดอิเล็กตริกมีความสัมพันธ์กันกับความชื้น กล่าวคือ เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นค่าคงตัวไดอิเล็กตริกเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้การหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางโดยใช้คลื่นไมโครเวฟสามารถวัดปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางได้ถูกต้องแม่นยำกว่าการวัดโดยใช้เมโทรแลคและรวดเร็วกว่าวิธีการอบแห้ง ส่วนปรีดาวรรณ ไชยศรีชลธาร และคณะ (2554) ได้หาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราด้วยวิธี Platform Scale Method ที่ใช้หลักของความถ่วงจำเพาะเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการซึ่งใช้เวลาอย่างน้อย 16 ชั่วโมง พบว่า ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยางมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงผกผันกับปริมาณ DRC และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.86 ใช้เวลาในการวัดตัวอย่างละ 10 นาที

จากที่กล่าวมาข้างต้น พบว่า วิธีหาร้อยละเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราส่วนใหญ่ใช้เครื่องมือที่มีหลักการทำงานซับซ้อน ราคาสูง จึงไม่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในระดับเกษตรกรผู้ทำสวนยาง คณะผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงปัญหาอันเกิดจากวิธีการทดสอบร้อยละเนื้อยางแห้ง (การแยกความเข้มข้นของน้ำยางพารา) จึงมีแนวคิดในการประดิษฐ์อุปกรณ์วัดค่าความเข้มข้นของน้ำยางพาราขึ้นโดยวิธีตัวเก็บประจุทรงกระบอกอย่างง่ายเพื่อทดลองวัดและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละเนื้อยางแห้งกับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ร้อยละของน้ำในน้ำยางพาราแตกต่างกัน ซึ่งประดิษฐ์ได้ง่าย ค่าใช้จ่ายในการลงทุนน้อย และเกษตรกรผู้ทำสวนยางพาราสามารถตรวจสอบความเข้มข้นของน้ำยางพาราได้ด้วยตนเอง อันจะนำไปสู่การทราบคุณภาพของน้ำยางและสามารถกำหนดราคาน้ำยางพาราได้อย่างเป็นธรรม

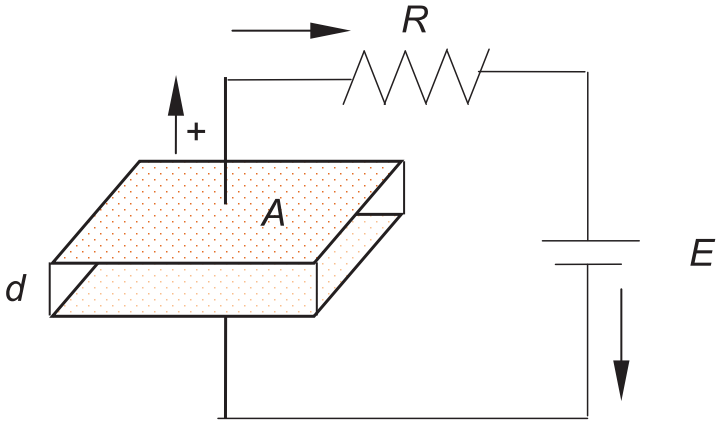
วิธีดำเนินการวิจัย

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ตัวเก็บประจุ (Capacitor) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เก็บประจุ (Charge) และสามารถคายประจุ (Discharge) ได้ โดยนำวัสดุตัวนำ 2 แผ่นมาวางขนานใกล้กันแต่ไม่ต่อถึงกัน ระหว่างตัวนำทั้งสองกั้นด้วยฉนวนที่เรียกว่า ไดอิเล็กตริก (Dielectric) อาจเป็นอากาศ (Air) ไมก้า (Mica) พลาสติก (Plastic) เซรามิก (Ceramic) หรือสารที่มีสภาพคล้ายฉนวนอื่นๆ (Young and Freedman, 2013) โครงสร้างและสัญลักษณ์ของตัวเก็บประจุ (ภาพที่ 1 และภาพที่ 2) เมื่อป้อนแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้กับขั้วทั้งสองของจุดที่ต่อใช้งานของวัสดุตัวนำ (เลข 1) ทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าและเกิดสนามไฟฟ้าขึ้นบนวัสดุตัวนำที่เป็นแผ่นแบนราบ (Plate) ทำให้เกิดค่า



ภาพที่ 1 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของตัวเก็บประจุ (เลข 1 คือ จุดที่ต่อกับวงจร เลข 2 คือ วัสดุตัวนำที่เป็นแผ่นแบนราบ และเลข 3 คือ ฉนวนไฟฟ้า) (ดัดแปลงจาก Young and Freedman, 2013)



ภาพที่ 2 การเกิดความจุไฟฟ้าเนื่องจากการป้อนแรงเคลื่อนไฟฟ้า (ดัดแปลงจาก Young and Freedman, 2013)

ความจุไฟฟ้าขึ้นเรียกว่า การเก็บประจุ เมื่อนำไปใช้งานเรียกว่าการคายประจุ ความจุของตัวเก็บประจุจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นกับปัจจัย 3 ประการ คือ พื้นที่หน้าตัด (A) ของวัสดุตัวนำที่เป็นแผ่นแบนราบ กล่าวคือ ถ้าพื้นที่หน้าตัดของแผ่นแบนราบตัวนำมีมากแสดงว่าสามารถเก็บประจุได้มาก ถ้าพื้นที่หน้าตัดมีน้อยแสดงว่าเก็บประจุได้น้อย ระยะห่างระหว่างแผ่นแบนราบทั้งสอง (d) กล่าวคือ ถ้าแผ่นแบนราบอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้กันความจุไฟฟ้าจะมีค่ามาก ถ้าอยู่ในตำแหน่งที่ไกลกันความจุไฟฟ้าจะมีค่าน้อย และค่าคงตัวไดอิเล็กตริก (k) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้น

เมื่อนำวัสดุต่างชนิดกันมาทำเป็นฉนวนคั่นระหว่างแผ่นตัวนำ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของวัสดุแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ดังนั้นตัวเก็บประจุที่ใช้ไดอิเล็กตริกต่างกัน ถึงแม้จะมีขนาดเท่ากันค่าความจุไฟฟ้าและอัตราทนแรงดันอาจแตกต่างกันออกไป สุญญากาศเป็นไดอิเล็กตริกที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับวัสดุชนิดอื่น และสามารถคำนวณค่าการเก็บประจุได้จากสมการความสัมพันธ์ ดังนี้

$$C = k\frac{A}{d} \tag{1}$$

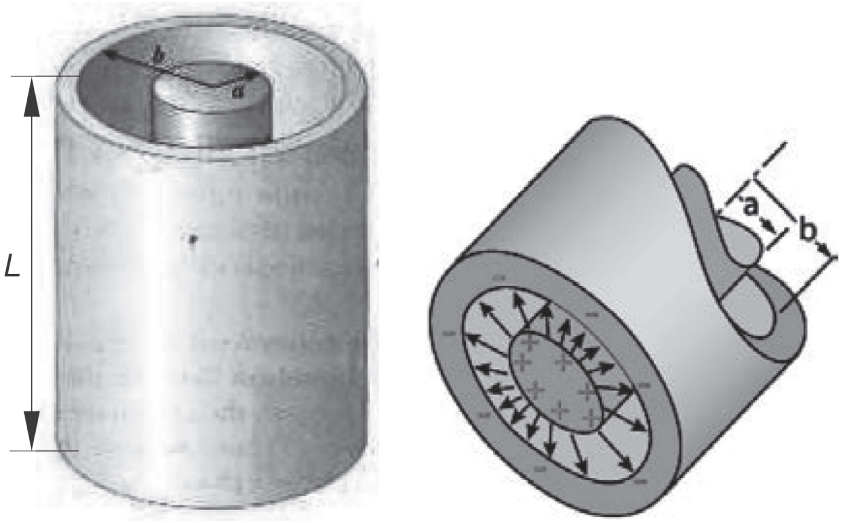
เมื่อ C คือ ค่าการเก็บประจุของวัสดุ (ฟารัด)
k คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของวัสดุ
A คือ พื้นที่หน้าตัดของวัสดุตัวนำที่เป็นแผ่นแบนราบ (เมตร2)
และ d คือ ระยะห่างระหว่างแผ่นวัสดุตัวนำ (เมตร)

ทำนองเดียวกันเมื่อตัวเก็บประจุมีลักษณะเป็นทรงกระบอกหรือเรียกว่า ตัวเก็บประจุทรงกระบอกร่วมแกน (Coaxial cylindrical capacitor) ซึ่งประกอบด้วยตัวนำทรงกระบอกที่ร่วมแกนกัน 2 อัน ยาว L ตัวนำทรงกระบอกชั้นในมีรัศมี a ส่วนตัวนำทรงกระบอกชั้นนอกมีรัศมี b $(b > a)$ ถ้าบรรจุไดอิเล็กตริกเนื้อเดียวกันระหว่างทรงกระบอกทั้งสอง โดยทรงกระบอกชั้นในมีประจุไฟฟ้าเป็น $+Q$ ทรงกระบอกชั้นนอกมีประจุไฟฟ้าเป็น $-Q$ เมื่อสร้างผิวเกาส์เซียน (Gaussian surface) รูปทรงกระบอกรัศมี r โดยที่ $a << b$ ภายในไดอิเล็กตริกขึ้นมา (ภาพที่ 3) แล้วนำกฎของเกาส์มาพิจารณา (Mahmoud and Reza, 2011) จะได้สมการความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\varepsilon_0 \oint \vec{E}.d\vec{a} = \varepsilon_0 E 2\pi r L \tag{2}$$

ดังนั้น สนามไฟฟ้าภายในไดอิเล็กตริกของตัวเก็บประจุมีค่าตามสมการความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\vec{E} = \frac{Q}{2\pi\varepsilon_0 r L}\hat{r} \tag{3}$$



ภาพที่ 3 ตัวเก็บประจุทรงกระบอกร่วมแกน ยาว *L* มีไดอิเล็กตริกอยู่ระหว่างกลาง (ดัดแปลงจาก Young and Freedman, 2013)

เมื่อพิจารณาปรากฏการณ์ริ้วที่ปลายท่อทรงกระบอกจะได้ความต่างศักย์ระหว่างทรงกระบอกชั้นในและชั้นนอกตามสมการความสัมพันธ์ ดังนี้

$$V = -\int_{2}^{1} \vec{E}.d\vec{l} = -\int_{b}^{a} \left(\frac{Q}{2\pi\varepsilon_0 rL} \right) dr \qquad (4)$$

แล้วจะได้สมการความจุของตัวเก็บประจุแบบร่วมแกนทรงกระบอกตามสมการความสัมพันธ์ ดังนี้

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{2\pi\varepsilon_0 L}{\ln(b/a)} \qquad (5)$$

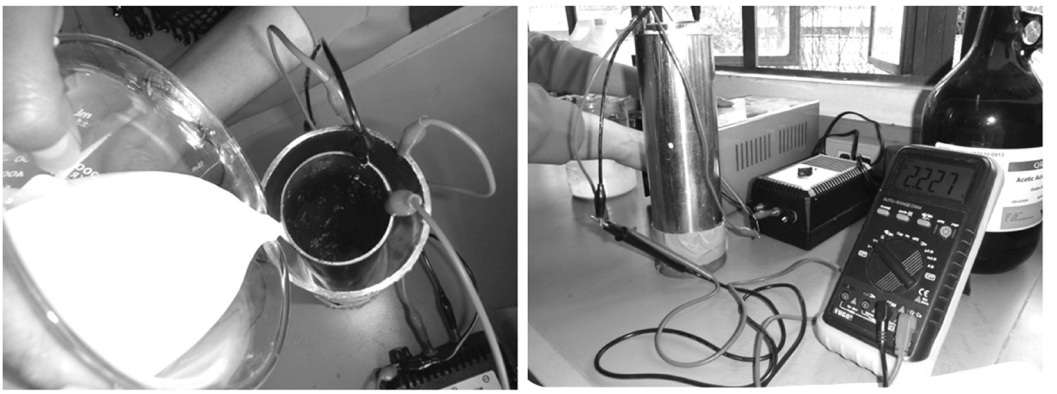
เมื่อ *E* คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลต์) ε_0 คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกในสุญญากาศ (8.85×10^{12} ฟารัด/เมตร) *a* คือ รัศมีของทรงกระบอกชั้นใน (เมตร) *b* คือ รัศมีของทรงกระบอกชั้นนอก (เมตร) *r* คือ รัศมีของทรงกระบอก (เมตร) *L* คือ ความสูงของทรงกระบอก (เมตร) *Q* คือ ประจุไฟฟ้า (คูลอมบ์) และ *V* คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)

ตัวอย่างทดลอง

น้ำยางพารา เป็นน้ำยางพาราสด (Concentrated natural latex) ที่ได้จากเกษตรกรผู้ทำสวนยางใน ต.สะเตง อ.เมือง จ.ยะลา โดยเก็บตัวอย่างหลังจากเกษตรกรกรีดยางเสร็จแล้วประมาณ 1 ชั่วโมง บรรจุในถังพลาสติกที่ปิดสนิทขนาด 5 ลิตร

อุปกรณ์และการทดลอง

อุปกรณ์วัดค่าความเข้มข้นของน้ำยางพาราหรือร้อยละเนื้อยางแห้ง (%DRC) ประดิษฐ์ได้โดยนำโลหะทรงกระบอกหนา 0.12 เซนติเมตร มาตัดให้ได้ความสูง *(L)* เท่ากับ 25 เซนติเมตร โดยที่ทรงกระบอกชั้นนอกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง *(b)* เท่ากับ 7.62 เซนติเมตร ทรงกระบอกชั้นในมีเส้นผ่านศูนย์กลาง *(a)* เท่ากับ 5.08 เซนติเมตร ซึ่งมีช่องว่างระหว่างทรงกระบอกทั้งสองเท่ากับ 2.54 เซนติเมตร (ภาพที่ 4) การทดลองวัดค่าร้อยละเนื้อยางแห้งทำได้โดยเทน้ำยางพาราปริมาตร 340 มิลลิลิตร และน้ำยางพาราที่ผสมน้ำเท่ากับร้อยละ 10 20 30 40 50 60 70 80 และ 90 โดยปริมาตร ตามลำดับ ลงในอุปกรณ์วัดค่าร้อยละเนื้อยางแห้ง แล้วจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้าทั้งหมด 5 ระดับ ได้แก่ 5.8 8.4 10.9 13.0 และ 17.0 โวลต์



ภาพที่ 4 อุปกรณ์วัดค่าร้อยละเนื้อยางแห้งของน้ำยางพาราที่ประดิษฐ์ขึ้น

วัดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างทรงกระบอกชั้นนอกและชั้นในด้วยเครื่องมัลติมิเตอร์ดิจิตอลความละเอียด 0.1 โวลต์ จากนั้นนำน้ำยางพาราไปหาค่าร้อยละเนื้อยางแห้ง ตามวิธีมาตรฐาน ISO 126:1995 (ปรีดาวรรณ ไชยศรีชลธาร และคณะ, 2554) โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างน้ำยางพารา 10 กรัม เติมกรดอะซิติก 20 มิลลิลิตร แล้วพักไว้ประมาณ 15 - 20 นาที ให้น้ำยางพาราเกาะตัวแล้วรีดให้เป็นแผ่นความหนาไม่เกิน 2 มิลลิเมตร จากนั้นไปอบในตู้อบ (Oven) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16-20 ชั่วโมง (ภาพที่ 5) แล้วคำนวณร้อยละเนื้อยางแห้งแล้วนำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟเพื่อวิเคราะห์หาตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical mode)

ที่แสดงความสัมพันธ์ของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าภายในตัวเก็บประจุทรงกระบอกกับร้อยละเนื้อยางแห้ง เพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับการวัดค่าความเข้มข้นของน้ำยางพาราสำหรับเกษตรกรที่สวนยางพาราในพื้นที่จริง

ภาพที่ 5 การหาร้อยละเนื้อยางแห้งตามวิธีมาตรฐาน ISO 126:1995 (ปรีดาวรรณ ไชยศรีชลธาร และคณะ, 2554)

สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of determination) ซึ่งเป็นค่าที่อธิบายสมการการถดถอย (Regression equation) ที่ใช้ประมาณค่าว่าตัวแปรต้น (ตัวแปรอิสระ) ในแบบจำลองสามารถอธิบายความผันผวน (Variation) ของตัวแปรตามได้มากน้อยเพียงใด ทำให้สามารถระบุได้ว่าตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ได้มากหรือน้อย (เป็นค่าที่ใช้วัดว่าตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ที่ได้มีความสมมูลกับข้อมูลมากหรือน้อย) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0 - 1 ทั้งนี้ ถ้าค่าที่ได้มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานได้มาก แต่ถ้าค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานได้น้อย (Bewick *et al.,* 2003; Brown, 2003; Liao and McGee, 2003; Nagelkerke, 1991; Taylor,1990; Cornell and and Berger, 1987; Malgady and Krebs, 1986) ตามสมการความสัมพันธ์ ดังนี้

$$R^2 = \left(\frac{n\sum_{i=1}^{n} X_i Y_i - \left(\sum_{i=1}^{n} X_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} Y_i\right)}{\sqrt{\left[n\sum_{i=1}^{n} X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} X_i\right)^2\right] \times \left[n\sum_{i=1}^{n} Y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} Y_i\right)^2\right]}} \right)^2 \quad (6)$$

เมื่อ R^2 คือ สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ

X คือ ข้อมูลการทดลอง

Y คือ ข้อมูลการทดลอง n คือ จำนวนข้อมูลที่ทดลอง

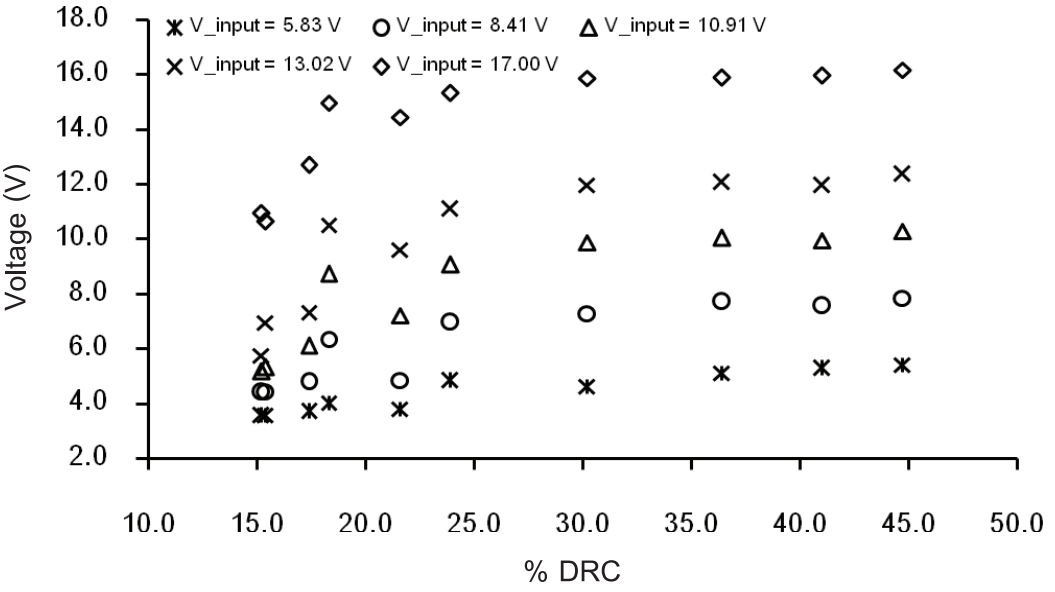
และ i คือ จำนวนเต็มใดๆ เท่ากับ 1, 2, 3, ...

ผล

การประดิษฐ์อุปกรณ์วัดค่าร้อยละเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราด้วยเทคนิคตัวเก็บประจุทรงกระบอก ได้ใช้วัสดุและอุปกรณ์อย่างง่าย (ภาพที่ 4) ที่มีราคาถูก โดยมีค่าใช้จ่ายในการประดิษฐ์ต่อเครื่องประมาณ 1,000 บาท จากการทดลองวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าและร้อยละเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราด้วยเทคนิคตัวเก็บประจุทรงกระบอก พบว่า เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์วัดค่าร้อยละเนื้อยางแห้งของน้ำยางพาราในช่วง 5.8-17.0 โวลต์ ที่ค่าร้อยละเนื้อยางแห้งในช่วง 15.2 - 44.7 จะได้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าอยู่ในช่วง 3.56-16.18 โวลต์ (ตารางที่ 1) ทั้งนี้จากข้อมูลที่ได้ค่าร้อยละเนื้อยางแห้งของน้ำยางพารามีค่าแปรผกผันกับร้อยละของน้ำที่ผสมในน้ำยางพารา กล่าวคือ เมื่อร้อยละของน้ำที่ผสมในน้ำยางพาราเพิ่มขึ้น ค่าร้อยละเนื้อยางแห้งจะมีค่าลดลง (ภาพที่ 6) จึงได้นำไปวิเคราะห์สมการถดถอยในลักษณะไม่เชิงเส้น (Non-Linear regression analysis) เพื่อวิเคราะห์หาตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละเนื้อยางแห้งและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ต่างๆ กันตามสมการ (7) - (11) ที่เกษตรกรผู้ทำส่วนยางสามารถใช้วัดค่าร้อยละเนื้อยางแห้งในสวนของตนเองได้

ตารางที่ 1 ผลการทดลองวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าและร้อยละเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา

% DRC	Voltage (V)				
	5.83	**8.41**	**10.91**	**13.02**	**17.00**
44.70	5.42	7.86	10.30	12.38	16.18
41.00	5.28	7.58	9.96	11.96	15.98
36.40	5.12	7.72	10.06	12.08	15.90
30.20	4.64	7.30	9.88	11.98	15.88
23.90	4.83	6.97	9.08	11.11	15.34
21.60	3.80	4.86	7.22	9.62	14.45
18.30	4.03	6.36	8.73	10.52	14.98
17.40	3.72	4.80	6.12	7.33	12.71
15.40	3.58	4.44	5.33	6.96	10.65
15.20	3.56	4.42	5.18	5.75	10.96



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละเนื้อยางแห้งและความต่างศักย์ไฟฟ้า

อภิปรายผล

เมื่อนำผลการทดลองวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าและร้อยละเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา ที่พบว่า เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์วัดค่าร้อยละเนื้อยางแห้งของน้ำยางพาราในช่วง 5.8-17.0 โวลต์ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้อยู่ในช่วง 3.56-16.18 โวลต์ ในขณะที่ค่าร้อยละเนื้อยางแห้งอยู่ในช่วงร้อยละ 15.2-44.7 ซึ่งค่าร้อยละเนื้อยางแห้งที่ได้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของประยุทธ อัครเอกฒาลิน และคณะ (2553) กล่าวคือ ปริมาณความเข้มข้นของเนื้อยางจะอยู่ในช่วงร้อยละ 25 - 45 และเป็นไปในทำนองเดียวกันกับรายงานวิจัยของ Panu และคณะ (2012) และ Jatuporn (2006) ที่ได้ระบุว่า ค่าร้อยละเนื้อยางแห้งของน้ำยางพารา มีค่าแปรผกผันกับร้อยละของน้ำที่ผสมในน้ำยางพารา คือ เมื่อร้อยละของน้ำที่ผสมในน้ำยางพารา เพิ่มขึ้นค่าร้อยละเนื้อยางแห้งจะมีค่าลดลง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าความหนืดของน้ำยางพารา เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของแข็งในน้ำยางพาราเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้สามารถเก็บประจุไฟฟ้าได้มากขึ้น ความต่างศักย์ไฟฟ้าจึงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นการเลือกใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าป้องเข้าที่ค่าใดๆ สามารถบ่งบอกถึงค่าร้อยละเนื้อยางแห้งได้ในทำนองเดียวกัน

เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์สมการถดถอยในลักษณะไม่เชิงเส้น (Non-Linear regression analysis) ได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละเนื้อยางแห้งและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ต่างๆ กัน (ภาพที่ 7) โดยความสัมพันธ์ของตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ที่ได้มีลักษณะโพลิโนเมียลตามสมการความสัมพันธ์ ดังนี้

เมื่อแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าเท่ากับ 5.83 โวลต์

$$\%DRC = (5\times10^{-5})V^3 + (0.257)V + 0.732 \quad (R^2 = 0.917) \quad (7)$$

เมื่อแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าเท่ากับ 8.41 โวลต์

$$\%DRC = (8\times10^{-5})V^2 + (0.608)V - 2.236 \quad (R^2 = 0.846) \quad (8)$$

เมื่อแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าเท่ากับ 10.91 โวลต์

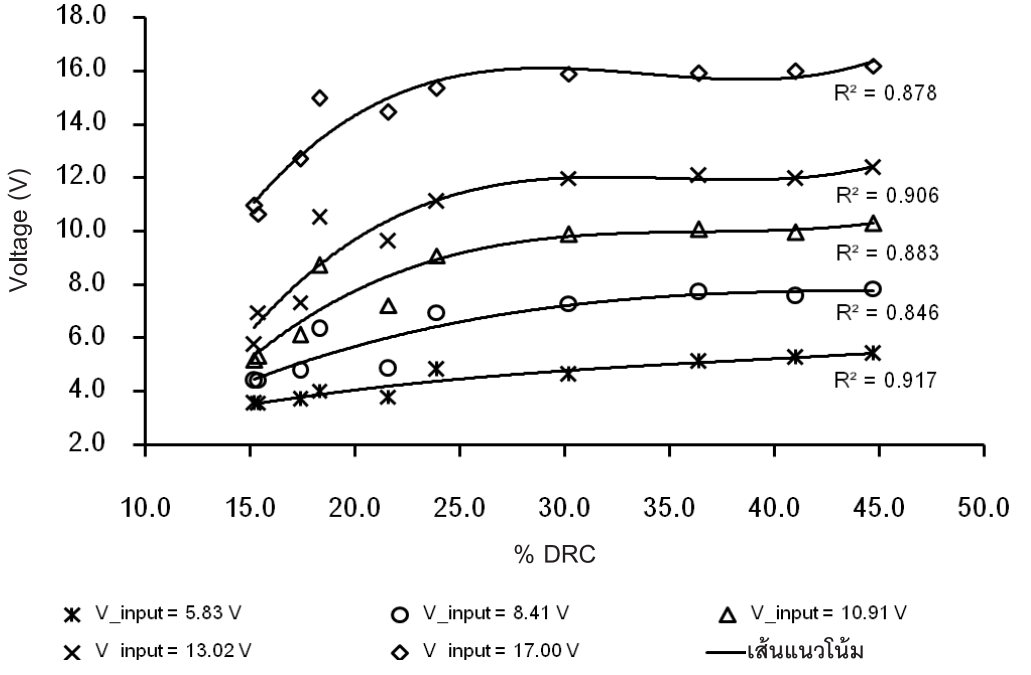
$$\%DRC = (1\times10^{-3})V^3 - (0.049)V^2 + (1.819)V - 12.43 \quad (R^2 = 0.883) \quad (9)$$

เมื่อแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าเท่ากับ 13.02 โวลต์

$$\%DRC = (1\times10^{-3})V^3 - (0.080)V^2 + (2.801)V - 20.28 \quad (R^2 = 0.906) \quad (10)$$

เมื่อแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าเท่ากับ 17.00 โวลต์

$$\%DRC = (1\times10^{-3})V^3 - (0.092)V^2 + (3.055)V - 17.22 \quad (R^2 = 0.878) \quad (11)$$



ภาพที่ 7 แนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละเนื้อยางแห้งและความต่างศักย์ไฟฟ้า

จากการทดสอบวัดค่าร้อยละเนื้อยางแห้งของน้ำยางพาราโดยวิธีตัวเก็บประจุทรงกระบอกอย่างง่ายที่ออกแบบและประดิษฐ์ขึ้น สามารถสรุปได้ว่าร้อยละเนื้อยางแห้งลดลงเมื่ออัตราส่วนหรือร้อยละของน้ำในน้ำยางพาราเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละเนื้อยางแห้งและความต่างศักย์ไฟฟ้า มีตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ในลักษณะโพลิโนเมียลกำลังสาม ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) อยู่ในช่วง 0.878 - 0.917 อุปกรณ์วัดค่าร้อยละเนื้อยางแห้งอย่างง่ายที่ออกแบบและประดิษฐ์ขึ้นสามารถใช้กับค่าร้อยละเนื้อยางแห้งในช่วง 15.2-44.7 ความต่างศักย์ไฟฟ้าในช่วง 5.83-17.00 โวลต์ ซึ่งครอบคลุมค่าร้อยละเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราของประเทศไทยที่มีค่าอยู่ในช่วง 25-45 (ปรีดาวรรณ ไชยศรีชลธาร และคณะ 2554) จึงใช้วัดค่าร้อยละเนื้อยางแห้งกับสวนยางพาราอื่นๆ ได้ ทั้งนี้อุปกรณ์วัดค่าร้อยละเนื้อยางแห้งที่ออกแบบและประดิษฐ์ขึ้นมีต้นทุนการผลิตต่ำ ซ่อมบำรุงและใช้งานได้สะดวก รวมทั้งสามารถใช้วัดความเข้มข้นของน้ำยางพาราได้เองโดยเกษตรกรผู้ทำสวนยางพารา

นอกจากนี้ อุปกรณ์วัดค่าร้อยละเนื้อยางแห้งที่ออกแบบและประดิษฐ์ขึ้นนี้ได้รับการเผยแพร่และเป็นที่ยอมรับจนได้รับรางวัลชมเชยจากการประกวดโครงงานและสิ่งประดิษฐ์ระดับอุดมศึกษาในงานวันเทคโนโลยีวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปี พ.ศ.2556 (En Tech Day 2013) ซึ่งมีโครงงานและสิ่งประดิษฐ์จากสถาบันอุดมศึกษาทั่วประเทศเข้าร่วมประกวดกว่า 65 เรื่อง เมื่อวันที่ 13-15 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2556 ณ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

กิตติกรรมประกาศ

วิจัยนี้ ได้รับสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555 คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

เอกสารอ้างอิง

นุชนาฎ สุชาติพงศ์. *(2553). การศึกษาเพื่อการพัฒนาอุปกรณ์วัดปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยาง.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, บัณฑิตวิทยาลัย, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์.

ประยุทธ อัครเอกฒาลิน, เสวก พงษ์สำราญ และสมพร ศรีวัฒนพล. (2556). *เครื่องวัด %DRC โดยใช้ความถี่คลื่นไมโครเวฟ.* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 15 กุมภาพันธ์ 2556, จาก : http://www.cop.rmutsb. ac.th/userfiles/3229900157632/DRC_somporn.pdf.

ปรีดาวรรณ ไชยศรีชลธาร, ชูศักดิ์ ชวประดิษฐ, สุภัทร หนูสวัสดิ์ และสันติ โพธิทอง. (2554). การศึกษาหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราด้วยวิธี Platform Scale Method. *ว. วิทย. กษ., 42(3)*(พิเศษ), 753-756.

วิสุทธิ์ ศุกลรัตน์. (2546). *การสร้างละพัฒนาเครื่องต้นแบบวัดปริมาณเนื้อยางแห้งชนิดพลาสติก.* สงขลา : ศูนย์วิจัยยางสงขลา สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 8 กรมวิชาการเกษตร.

วุฒิไกร จำรัสแนว, ปานหทัย บัวศรี และกิตติพงษ์ ตันมิตร. (2551). ศึกษาคุณสมบัติไดอิเล็กตริกเพื่อใช้ในการวัดระดับความเข้มข้นของน้ำยางพารา. *การประชุมวิชาการเทคโนโลยีและนวัตกรรมสำหรับการพัฒนาอย่างยั่งยืน,* 28-29 มกราคม 2551. ขอนแก่น : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2557). *สถิติยางไทย.* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 18 ตุลาคม 2557, จาก : http://www.rubberthai.com/statistic/stat_index. htm.

Bewick, V., Cheek, L. and Ball, J. (2003). Correlation and regression. *Critical Care, 7,* 451-459.

Brown, J. D. (2003). The coefficient of determination. *Shiken: JALT Testing & Evaluation SIG Newsletter, 7*(1), 14-16.

Chaisrichonlathan, P., Chavapradit, C., Noosawasd, S. and Pothong, S. (2011). Study on dry rubber content in latex using platform scale method. *Agricultural Sci. J., 42*(2) (Suppl.), 753-756.

Cornell, J. A. and Berger, R. D. (1987). Factors that Influence the value of the coefficient of determination in simple linear and nonlinear regression models. *The American Phytopathological Socity, 77*(1), 63-70.

Harris, E. M., Nor Aisah bt. Abd. A. and Morni bt. A. (1985). Measurement of dry rubber content of natural rubber latex and wet crepe using specific heat. *Proceedings of the International Rubber Conference.* Xx-xx Mar 1985. Kuala Lumpur: Rubber Research Institute of Malaysia.

Jatuporn, S. (2006). *Rheological properties of natural rubber latex.* Master's thesis. Suranaree University of Technology, Institute of Engineering, Polymer Engineering, Thailand.

Jayanthy, T. and Sankaranarayanan, P. E. (2005). Measurement of dry rubber content in latex using microwave technique. *Measurement Science Review, 5*(3), 50-54.

Kaida, B. K. (1982). Determination of dry rubber content of hevea latex by microwave techniquel. *Pertanika, 5*(2), 192-195.

Liao, J. G. and McGee, D. (2003). Adjusted coefficients of determination for logistic regression. *The American Statistician, 57*(3), 161-165.

Mahmoud, S. and Reza, A. (2011). Moisture dependent dielectric properties of pea and black-eyed pea. *Journal of American Science, 7*(4), 60-64.

Malgady, R. G. and Krebs, D. E. (1986). Understanding correlation coefficients and regression. *PHYS THER., 66*(1), 110-120.

Nagelkerke, N. J. D. (1991). A note on a general definition of the coefficient of determination. *Biometrika, 78*(3), 691-692.

Panu, D., Paitoon, L. and Rachatham, W. (2012). Correlation between dry rubber content in field latex and viscosity measured with efflux time method. *Songklanakarin J. Sci. Technol., 34*(5), 551-555.

Taylor, R. (1990). Interpretation of the correlation coefficient: A basic Review. *JDMS., 1,* 35-39.

Young, H. D. and Freedman, R. A. (2013). *University Physics with Modern Physics. 13th ed.* California: Pearson Education Inc.