Agricultural Sci. J. 38 : 5 (Suppl.) : 275-278 (2007) ว. วิทย. กษ. 38 : 5 (พิเศษ) : 275-278 (2550)

# คุณสมบัติไดอิเล็กตริกของแผ่นยางธรรมชาติที่ความถี่ 915 และ 2450 เมกะเฮิรตซ์

# Dielectric properties of natural rubber sheets at 915 and 2450 MHz

**คำนึง วาทโยธา**[1] **และจารินี จงปลื้มปิติ**[1]

Cumnueng Watyotha[1] and Jarinee Jongpluempiti[1]

**Abstract**

The dielectric properties of natural rubber sheets with moisture contents of 26.8 – 37.6% wet basis were measured by an open ended coaxial probe at two frequencies. At 915 MHz, the dielectric constant and loss factor were ranged of 6.39 – 14.32 and 0.10 – 2.23 respectively. At 2450 MHz, the dielectric constant and loss factor were ranged of 7.29 – 14.17 and 0.48 – 2.32 respectively. The dielectric constant and loss factor were increased with increasing moisture contents. At 2450 MHz, the dielectric constant and loss factor were higher than 915 MHz all of ranges. The relationship of two frequencies was well demonstrated with dielectric constant and loss factor on moisture contents.

**Keywords**: rubber sheet, dielectric constant, loss factor

**บทคัดย่อ**

คุณสมบัติไดอิเล็กตริกของแผ่นยางธรรมชาติที่มีความชื้น 26.8 – 37.6 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก วัดโดยวิธีโพรบแบบแกนร่วมปลายเปิด ณ ความถี่ 2 ค่า พบว่า ที่ความถี่ 915 เมกะเฮิรตซ์ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกมีค่าระหว่าง 6.39 – 14.32 และค่าแฟกเตอร์การสูญเสียมีค่าระหว่าง 0.10 – 2.23 ส่วนที่ความถี่ 2450 เมกะเฮิรตซ์ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกมีค่าระหว่าง 7.29 – 14.17 และค่าแฟกเตอร์การสูญเสียมีค่าระหว่าง 0.48 – 2.32 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและค่าแฟกเตอร์สูญเสียมีค่าเพิ่มขึ้นกับความชื้น โดยที่ความถี่ 2450 เมกะเฮิรตซ์มีค่าทั้งสองมากกว่าที่ความถี่ 915 เมกะเฮิรตซ์ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและค่าแฟกเตอร์การสูญเสียทั้งสองความถี่มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับความชื้น

**คำสำคัญ**: แผ่นยาง ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ค่าแฟคเตอร์การสูญเสีย

## คำนำ

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย มีพื้นที่ปลูกทั่วทั้งประเทศ 13.02 ล้านไร่ สามารถผลิตและส่งออกมากเป็นอันดับหนึ่งของโลก ทำรายได้ให้ประเทศ 148,868 ล้านบาท โดยมีปริมาณส่งออกตามประเภทผลผลิต คือ ยางแผ่นรมควัน 920,972 ตัน ยางแท่ง 1,109,327 ตัน น้ำยางข้น 488,559 ตัน และอื่นๆ 113,424 ตัน (สถาบันวิจัยยาง, 2548) ในการผลิตยางแท่งการอบแห้งส่งผลกระทบต่อคุณภาพ สิ้นเปลืองพลังงานและเวลามาก โรงงานผลิตยางแท่งของไทยจัดการการอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นแบบสองขั้นตอน (วิชัย, 2549) ทำให้ประหยัดพลังงานและได้ผลผลิตที่มีคุณภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐานยางแท่ง (สุภวรรณ และคณะ, 2548) แต่ความสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนในการอบแห้งยังนับว่ามีค่าสูง (ปิยพงศ์ และ วีรยุทธ, 2549) เฉลิมขวัญ และ คำนึง (2550) ศึกษาการอบแห้งยางแท่งเบื้องต้น พบว่าไมโครเวฟสามารถลดเวลาและพลังงานได้อย่างมาก แต่การประยุกต์ใช้ไมโครเวฟให้ประสบความสำเร็จและการออกแบบที่ถูกต้องจำเป็นต้องทราบคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุที่จะทำการอบแห้ง (Liao et al., 2001)

คุณสมบัติไดอิเล็กตริกเป็นคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ใช้อธิบายอันตรกิริยา (interaction) ของวัสดุกับสนามไฟฟ้า ปกติค่าที่สนใจได้แก่ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (dielectric constant, $\varepsilon'$) และ ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (loss factor, $\varepsilon''$) ซึ่งเป็นส่วนจริงและส่วนจินตภาพของสภาพยอมเชิงซ้อนสัมพัทธ์ (relative complex permittivity, $\varepsilon_r$) ดังสมการต่อไปนี้ (Nelson and Datta, 2001)

$$\varepsilon_r = \varepsilon' - j\varepsilon'' \qquad (1)$$

ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกเป็นค่าที่วัดความสามารถในการสะสมพลังงานสนามไฟฟ้า และ ค่าแฟกเตอร์การสูญเสียเป็นค่าที่วัดความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าที่สะสมไว้ให้เป็นความร้อน (Liao et al., 2001) คุณสมบัติไดอิเล็กตริกนิยมวัด

[1] ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ. ขอนแก่น 40002

[1] Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002

โดยใช้ 3 วิธี ดังนี้ คือ วิธีโพรบแบบแกนร่วมปลายเปิด (open-ended coaxial probe method) วิธีสายส่ง (transmission line method) และ วิธีโพรงสั่นพ้อง (resonant cavity method)

โดยทั่วไปที่ย่านความถี่คลื่นหนึ่งๆ อุณหภูมิและความชื้นของวัสดุเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุเกษตร (Wang et al., 2003) ดังนั้นการศึกษาคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของแผ่นยางครั้งนี้จึงมุ่งหาคุณสมบัติไดอิเล็กตริกที่เป็นฟังก์ชันของความชื้นที่ย่านความถี่คลื่น 2 ค่า เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยเกี่ยวกับการอบแห้งยางแท่งด้วยไมโครเวฟต่อไป

## อุปกรณ์และวิธีการ

เทน้ำยางสดลงถาดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 10 x 10 เซนติเมตร ให้ระดับน้ำยางสูงจากก้นถาด 2 เซนติเมตร ทั้งหมดเป็นจำนวน 21 ถาด ปล่อยให้น้ำยางจับตัวโดยธรรมชาติเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แบ่งยางจับตัวที่ได้ออกเป็น 7 กลุ่ม นำไปรีดด้วยเครื่องรีดยางกลุ่มละ 3 ครั้ง โดยกลุ่มแรกใช้ระยะห่างระหว่างผิวลูกรีด 5 มิลลิเมตร กลุ่มถัดไปใช้ระยะห่างลดลงกลุ่มละ 0.5 มิลลิเมตร สุ่มตัดยางแต่ละแผ่นให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 5 x 5 เซนติเมตร ทดสอบหาคุณสมบัติไดอิเล็กตริกโดยวิธีโพรบแบบแกนร่วมปลายเปิดที่ความถี่คลื่น 2 ค่า คือ ความถี่ 915 และ 2450 เมกะเฮิรตซ์ จากนั้นนำไปหาความชื้นโดยเตาอบที่อุณภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 ชั่วโมง

## ผล

ผลการทดสอบคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของแผ่นยางธรรมชาติที่มีความชื้น 26.8 – 37.6 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ณ อุณหภูมิห้อง 30 องศาเซลเซียส โดยวิธีโพรบแบบแกนร่วมปลายเปิดที่ความถี่ 915 และ 2450 เมกะเฮิรตซ์ แสดงใน Table 1 พบว่าค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ณ ความถี่ 915 และ 2450 เมกะเฮิรตซ์ มีค่าระหว่าง 6.39 – 14.32 และ 7.29 – 14.17 ค่าแฟกเตอร์การสูญเสียมีค่าระหว่าง 0.10 – 2.23 และ 0.48 – 2.32 ตามลำดับ

Table 1 Dielectric properties of natural rubber sheets at frequency 915 and 2450 MHz

| Group of sheet | Moisture Content (%wb) | Frequency 915 MHz | | | Frequency 2450 MHz | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $\varepsilon'$ | $\varepsilon''$ | $\delta_P$ (cm) | $\varepsilon'$ | $\varepsilon''$ | $\delta_P$ (cm) |
| 1 | 37.62 | 14.324 | 2.233 | 8.870 | 14.174 | 2.315 | 3.180 |
| 2 | 35.66 | 13.256 | 2.049 | 9.297 | 13.334 | 2.150 | 3.320 |
| 3 | 33.36 | 10.810 | 1.609 | 10.690 | 11.022 | 1.724 | 3.764 |
| 4 | 30.03 | 7.885 | 0.827 | 17.741 | 8.457 | 1.057 | 5.370 |
| 5 | 28.50 | 7.591 | 0.512 | 28.085 | 8.112 | 0.788 | 7.056 |
| 6 | 27.43 | 6.554 | 0.290 | 46.130 | 7.256 | 0.579 | 9.072 |
| 7 | 26.79 | 6.394 | 0.099 | 133.262 | 7.293 | 0.475 | 11.093 |

ความชื้นของแผ่นยางมีผลต่อคุณสมบัติไดอิเล็กตริก ณ ย่านความถี่ทั้งสองชัดเจนมากดังแสดงใน Figure 1-2 และสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติไดอิเล็กตริกที่ย่านความถี่ 915 เมกะเฮิรตซ์กับความชื้นได้โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรง (linear regression analysis) ดังสมการที่ 2 และ 3 ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ($R^2$) ของสมการมากกว่า 0.98 โดยความสัมพันธ์ของค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ($\varepsilon'$) และค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย ($\varepsilon''$) กับความชื้น (M) ที่ความถี่ 915 เมกะเฮิรตซ์ เป็นดังนี้

$$\varepsilon' = 0.763M - 14.371 \quad (2)$$

$$\varepsilon'' = 0.204M - 5.298 \quad (3)$$

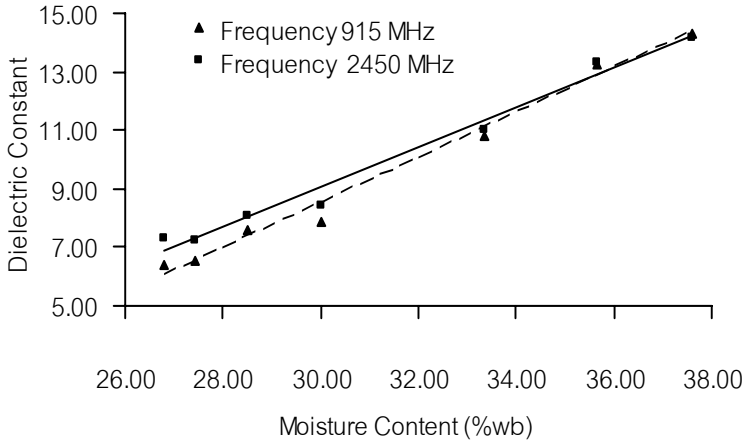



Figure 1 Variation of dielectric constant ( $\varepsilon'$ ) with moisture content (%wb)

ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติไดอิเล็กตริกกับความชื้นที่ความถี่ 2450 เมกะเฮิรตซ์ โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรง เป็นดังสมการที่ 4 และ 5 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ($R^2$) ของสมการมากกว่า 0.98

$$\varepsilon' = 0.678M - 11.284 \quad (4)$$

$$\varepsilon'' = 0.178M - 4.292 \quad (5)$$

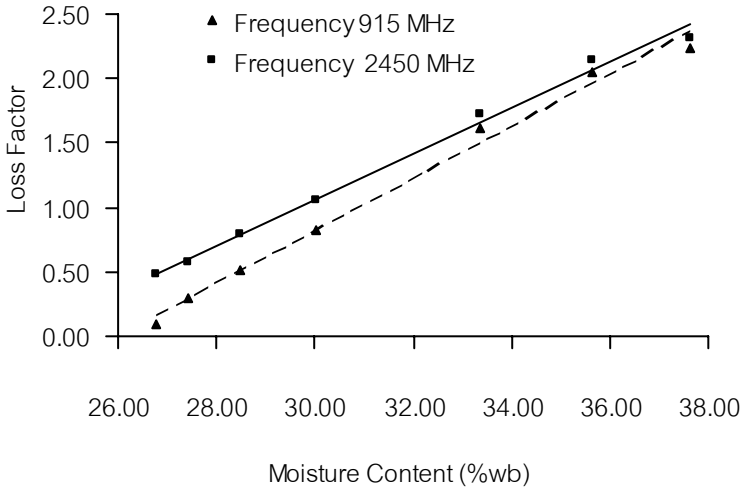



Figure 2 Variation of loss factor ( $\varepsilon''$ ) with moisture content (%wb)

## วิจารณ์ผล

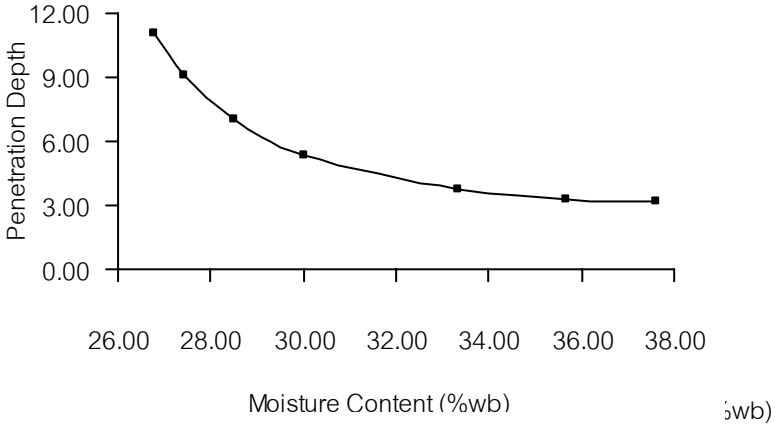
คุณสมบัติไดอิเล็กตริกของแผ่นยางมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับความชื้น (Figure 1 - 2) สอดคล้องกับผลการศึกษาคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของผลิตผลการเกษตรที่มีมาก่อน เช่น คุณสมบัติไดอิเล็กตริกของข้าวเปลือกที่ความถี่ 2450 เมกะเฮิรตซ์ (Noh and Nelson, 1989) ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและค่าแฟกเตอร์สูญเสียของแผ่นยางที่ความถี่ 2450 เมกะเฮิรตซ์มีค่ามากกว่าที่ความถี่ 915 เมกะเฮิรตซ์ โดยเฉพาะในช่วงที่ความชื้นของแผ่นยางลดลง ซึ่งชี้ให้เห็นว่าควรใช้แมกนีตรอนที่ทำงาน ณ ความถี่ 2450 เมกะเฮิรตซ์ ในการอบแห้งยางแท่งมากกว่า เพราะยางจะมีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานและเปลี่ยนเป็นความร้อน($Q$)ได้มากกว่าดังสมการที่ 6 เมื่อ $f$ คือ ความถี่คลื่น และ $E$ คือ ความเข้มสนามไฟฟ้า (Nelson and Datta, 2001)

$$Q = 55.63 \times 10^{-12} f\varepsilon'' E^2 \quad (6)$$

นอกจากนี้คุณสมบัติไดอิเล็กตริกของแผ่นยาง ยังมีความสำคัญต่อการประยุกต์ใช้ไมโครเวฟในการอบแห้งยางแท่งให้ประสบความสำเร็จอีกหลายประการ เช่น การเลือกกำหนดความสูงของยางแท่งโดยการพิจารณาจากความลึกการทะลุทะลวง (penetration depth, $\delta_p$ ) ดังสมการที่ 7 เมื่อ $c$ คือ ความเร็วแสง

$$\delta_P = \frac{c}{2\pi f\sqrt{2\varepsilon'}\left[\sqrt{1+\left(\frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}\right)^2}-1\right]^{1/2}} \qquad (7)$$

ความลึกการทะลุทะลวงของคลื่น ณ ความถี่ 2450 เมกะเฮิรตซ์ ที่ระดับความชื้นต่างๆ ของแผ่นยาง แสดงใน Figure 3 มีค่าระหว่าง 3 – 11 เซนติเมตร โดยค่าความลึกการทะลุทะลวงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นของยางแผ่นลดลง ชี้ให้เห็นโอกาสที่จะใช้ไมโครเวฟในการอบแห้งยางแท่งที่มีระดับความสูงเพิ่มขึ้นจากระดับความสูง 2.5 เซนติเมตร (ความสูงเดิมที่มีผู้ศึกษามาก่อน (เฉลิมขวัญ และ คำนึง, 2550)) เพื่อทำให้เกิดประสิทธิภาพการใช้พลังงานไมโครเวฟที่สูงขึ้น




## สรุป

คุณสมบัติไดอิเล็กตริกของแผ่นยางที่มีความชื้น 26.8 – 37.6 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ณ ความถี่คลื่น 915 และ 2450 เมกะเฮิรตซ์ มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับความชื้น ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและค่าแฟกเตอร์สูญเสียของแผ่นยางที่ความถี่ 2450 เมกะเฮิรตซ์มีค่ามากกว่าที่ความถี่ 915 เมกะเฮิรตซ์ และมีค่าความลึกการทะลุทะลวงเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นของยางแผ่นลดลง โดยมีค่าระหว่าง 3 – 11 เซนติเมตร

## เอกสารอ้างอิง


เฉลิมขวัญ อริยะวงศ์ และ คำนึง วาทโยธา. 2550. การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการอบแห้งยางแท่งด้วยลมร้อนและไมโครเวฟ. การประชุมวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติ ครั้งที่ 5. 28-29 มิถุนายน 2550. กรุงเทพ.

ปิยพงศ์ ม่วงมณี และวีรยุทธ ลิ่มสกุล 2549. แนวทางการอบแห้งยางแท่ง เอส ที อาร์ 20. โครงงานนักศึกษาระดับปริญญาตรี. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 8 น.

วิชัย กิตติพล. กระบวนการผลิตยางแท่ง [สัมภาษณ์]. ผู้จัดการสาขา บมจ.ไทยฮั้วยางพารา อ.แกลง จ.ระยอง. 6 ธันวาคม 2549.

สถาบันวิจัยยาง. 2549. ปริมาณการผลิตยางแท่ง. http://www. www.rubberthai.com

สุภาวรรณ ฎิระวณิชย์กุล, ปิ่นพงศ์ คงชนะ, ยุธนา ฎิระวณิชย์กุล และสมบูรณ์ วรวุฒิคุณชัย. 2548. การศึกษาความเป็นไปได้เทคนิคในการอบแห้งยางดิบเพื่อผลิตยางแท่ง เอส ที อาร์ 20. รายงานการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19. 19-21 ตุลาคม 2548. ภูเก็ต. 6 น.

Liao, X., Raghavan, V.G.S., Meda, V. and Yaylayan, V.A., 2001. Dielectric Properties of Supersaturated α-D-Glucose Aqueous Solutions at 2450 MHz.Journal of microwave Power & Electromagnetic Energy. Vol.36. No. 3. 131-138 p.

Nelson,S.O. and Datta, A.K., 2001. Dielectric Properties of Food Materials and Electric Field Interactions. Handbook of Microwave Technology for Food Applications.New York. 69-114 p.

Wang, S., Tang, J., Johnson, J.A., Mitcham, E., Hansen, J.D., Hallman, G., Drake, S.R., Wang, Y.,. 2003. Dielectric Properties of Fruits and Insect Pests as related to Ratio Frequency and Microwave Treatments. Biosystems Engineering. 201-212 p.

Noh, S. H. and Nelson, S.O. 1989. Dielectric properties of rice at frequencies from 50 Hz to 12 GHz, Trans. ASAE 32(3):991-998 p.