



KMUTNB

# การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ ๔๐

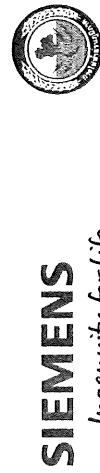
The 40th Electrical Engineering Conference (EECON - 40)

Featuring



KMUTNB Student Branch

with Special Thanks to



Volume I

PW, GN, PE

วันที่ ๑๕ - ๑๗ พฤษภาคม พ.ศ.๒๕๖๐

สถานที่ โรงแรมเตօະซາຍນ์ (The Zign Hotel) อ.บางคลະ呜 จ.ฉะบุรี



# การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๔๐ (EECON-40)

วันที่ ๑๕ - ๑๗ พฤศจิกายน ๒๕๖๐



## การศึกษาและออกแบบระบบวัดสมบัติทางไฟฟ้าของยางก้อนถ้วยด้วยค่าความถี่วิทยุ

### A Study and Design of Electrical Properties Measuring System for Rubber Cup Lump using Radio Wave

อธิพงศ์ สุริยา และ วรการ วงศ์สายเชื้อ

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี [atipong.s@ubu.ac.th](mailto:atipong.s@ubu.ac.th)

#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาและออกแบบระบบวัดสมบัติทางไฟฟ้าของยางก้อนถ้วย โดยค่าความถี่วิทยุถูกส่งผ่านอิเล็กโทรดแบบแผ่นบนนาด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงสร้างที่ทำให้ได้ค่าพาโนมิเตอร์กระชัตกระยะ ซึ่งถูกคำนวณและแปลงเป็นค่าอินพีเดนซ์ ค่าคงค้าง ค่าอิเล็กทริก ค่าตัวประกอนการสูญเสียของไคอิเล็กทริก และค่าแทนเงินเดือนการสูญเสียของยางก้อนถ้วย ผลการทดลองพบว่า ค่าคงค้างได้อิเล็กทริก มีแนวโน้มที่สามารถออกอาบุและความชื้นของยางก้อนถ้วยได้ ข้อมูลจากการวิเคราะห์สามารถนำไปพัฒนาเป็นเครื่องมือประเมินคุณภาพของยางก้อนถ้วยที่ทำการวัดได้อ่าย่างถูกต้อง แม่นยำ และรวดเร็วเพื่อการซื้อขายยางก้อนถ้วยอย่างยุติธรรม

**คำสำคัญ:** ยางก้อนถ้วย สมบัติทางไฟฟ้า ค่าความถี่วิทยุ ค่าคงค้าง ไคอิเล็กทริก ค่าตัวประกอนการสูญเสียของไคอิเล็กทริก ค่าแทนเงินเดือนการสูญเสีย

#### Abstract

This paper presents a study and design of electrical properties measuring system for rubber cup lump. The radio wave is transmitted through parallel-plate electrode using a network analyzer so that the s-parameter is obtained. The impedances, dielectric constants, dielectric loss factors, and loss tangents are then calculated. The results show that the dielectric constants tend to identify the ages and moisture contents of rubber cup lumps. The analyzed data could be used to develop a device to evaluate the quality of rubber cup lump with accurate, precise and rapid measurement for fair trading of rubber cup lumps.

**Keywords:** Rubber Cup Lump, Electrical Properties, Radio Wave, Dielectric Constant, Dielectric Loss Factor, Loss Tangent

#### 1. บทนำ

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย มีจุบันเกษตรกรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือปลูกยางพาราเป็นจำนวนมาก โดยส่วนใหญ่จะปลูกและจำหน่ายในรูปของยางก้อนถ้วย เมื่อจากต้นทุนการผลิตต่ำ ใช้สำหรับกระบวนการผลิตน้อย ประชาภัชแรงงานมีค่าครัวบ้านร่องรับ ซึ่งยางก้อนถ้วยเป็นวัสดุดีสำหรับใช้ในการผลิตยางเท่ง ราคายังคงก้อนถ้วยที่น้อยกว่ารูปแบบคุณภาพของยางก้อนถ้วยที่ทำการวัดได้อ่ายางถูกต้องและรวดเร็วเพื่อการซื้อขายยางก้อนถ้วยอย่างยุติธรรม

ถ้วย ซึ่งปริมาณความชื้นในก้อนยางจะลดลงตามอายุของยางที่มากขึ้น ยางก้อนถ้วยแบ่งออกเป็น 3 ชนิดตามค่าความชื้น ได้แก่ ยางก้อนถ้วย เปียก (อายุ 1-3 วัน มีความชื้น 45-55%) ยางก้อนถ้วยหมวด (อายุ 4-7 วัน มีความชื้น 35-45%) และยางก้อนถ้วยแห้ง (อายุมากกว่า 7 วัน มีความชื้นน้อยกว่า 35%) โดยส่วนใหญ่ถูกใช้ประสบการณ์ในการสังเกตจากลักษณะทางกายภาพ เช่น สี ความแน่น เป็นต้น เพื่อพิจารณาคุณภาพของยางซึ่งเป็นการวัดที่ไม่ได้น่าtrust อาจทำให้เกิดผลกระทบเล็กน้อยได้

การศึกษาของ Nelson [1] พบว่า ความชื้นของผลผลิตทางการเกษตร มีความสัมพันธ์กับสมบัติทางไฟฟ้า หลังจากนั้น มีการอุ่นน้ำกับขั้นตอนวิธีดังกล่าวเพื่อทดสอบการหาเปลอร์เรียนด์ความชื้นในยางแผ่นดินน้ำความสัมพันธ์กับความชื้นไฟฟ้าอยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential) ซึ่งมีค่าสหสัมพันธ์ ( $R^*$ ) สูงกว่า 0.78 [2] ด้วยการศึกษาพบว่าความชื้นของยางแผ่นดินน้ำกับความชื้นทางไฟฟ้ามีความสัมพันธ์ในรูปแบบของสมการกำลัง โดยมีค่าสหสัมพันธ์ ( $R^*$ ) สูงกว่า 0.83 [3] แต่ยังไม่พบการพัฒนาวิธีการหาเปลอร์เรียนด์ความชื้นในยาง ก้อนถ้วยโดยใช้สมบัติทางไฟฟ้า ดังนั้นจะศึกษาจึงมีแนวความคิดที่จะศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นหรืออายุของยางก้อนถ้วยกับสมบัติทางไฟฟ้าโดยวิธีแผ่นขนาดและใช้ค่าความถี่วิทยุส่งผ่านระยะห่างเพื่อนานทั้งสองฝ่าย โดยสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ไปพัฒนาเป็นเครื่องมือประเมินคุณภาพของยางก้อนถ้วยที่ทำการวัดได้อ่ายางถูกต้องและรวดเร็วเพื่อการซื้อขายยางก้อนถ้วยอย่างยุติธรรม

เนื้อหาในบทความนี้ประกอบด้วย ส่วนที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ส่วนที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย ส่วนที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง และส่วนที่ 5 สรุปผลการทดลองและแนวทางการพัฒนาในอนาคต

#### 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทความนี้ นำเสนอทฤษฎีที่เกี่ยวกับค่าคงค้าง ไคอิเล็กทริก การหาค่าคงค้าง ไคอิเล็กทริก โดยวิธีแผ่นขนาด และการหาค่าคงค้าง ไคอิเล็กทริก โดยใช้ Network Analyzer ซึ่งเป็นวิธีการที่นำเสนอในบทความนี้

##### 2.1 ค่าคงค้าง ไคอิเล็กทริก

วัสดุใด ๆ จะถูกจัดว่าเป็นไคอิเล็กทริก ถ้าหากว่ามีความสามารถในการเก็บพลังงานเมื่อมีปัจจัย外因 [4] โดยที่ล่างตัว ไคอิเล็กทริกเรียงชื่อ (Complex Dielectric Constant :  $\epsilon_r^*$ ) ของวัสดุใด ๆ แสดงดังสมการที่ (1)



## การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๔๐ (EECON-40)

วันที่ ๑๕ - ๑๗ พฤษภาคม ๒๕๖๐



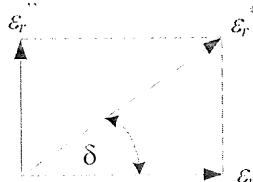
$$\varepsilon_r^* = \varepsilon_r - j\varepsilon_r \quad (1)$$

$$\varepsilon_r^* = \frac{C_p}{C_0} - j \frac{1}{\omega R_p C_0} \quad (4)$$

โดยที่  $\varepsilon_r^*$  คือ ค่าคงตัวไดอีเล็กทริก (Dielectric Constant) ซึ่งแสดงถึงพลังงานจากสนามภายนอกที่ถูกเก็บไว้ในวัสดุ และ  $\varepsilon_r$  คือ ค่าคงตัวของความสูญเสียของไดอีเล็กทริก (Dielectric Loss Factor) ซึ่งแสดงถึงพลังงานของวัสดุที่สูญเสียให้กับสนามภายนอก ค่าแทนเงนต์การสูญเสีย (Loss Tangent :  $\tan \delta$ ) คือ อัตราส่วนระหว่างพลังงานที่สูญเสียกับพลังงานที่เก็บไว้ ดังสมการที่ (2)

$$\tan \delta = \frac{\varepsilon_r^*}{\varepsilon_r} \quad (2)$$

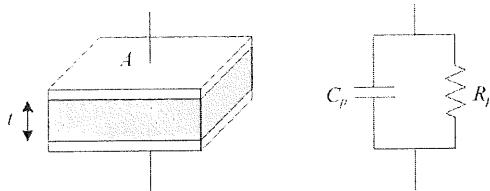
โดยที่  $\delta$  คือมุรห่วง  $\varepsilon_r^*$  กับ  $\varepsilon_r$  ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แทนค่าคงตัวของค่าแทนเงนต์การสูญเสีย

### 2.2 การหาค่าคงตัวไดอีเล็กทริกโดยวิธีเด่นบน

การใช้เครื่องวัดอิมพีเดนซ์สำหรับหาค่าคงตัวไดอีเล็กทริกนั้นจะใช้วิธีเด่นบน [5] โดยทางแพ่นวัสดุที่ต้องการทดสอบซึ่งมีความหนา  $t$  ไว้ระหว่างอิเล็กโทรดที่มีพื้นที่  $A$  สองแผ่นในรูปแบบของตัวเก็บประจุ ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งสามารถแทนได้ด้วยวงจรสมมูลแบบบน โดยที่  $C_p$  คือ ค่าความจุไฟฟ้าแบบบน และ  $R_p$  คือ ค่าความต้านทานแบบบน



รูปที่ 2 การหาค่าคงตัวไดอีเล็กทริกโดยวิธีเด่นบนและวงจรสมมูล

จากรูปที่ 2 ค่าแม็ค米ลเดนซ์  $Y$  แสดงดังสมการที่ (3)

$$Y = j\omega C_p + \frac{1}{R_p} = j\omega C_0 \left( \frac{C_p}{C_0} - j \frac{1}{\omega R_p C_0} \right) \quad (3)$$

โดยที่  $C_0$  คือ ค่าความจุไฟฟ้าของอากาศ จะได้ค่าคงตัวไดอีเล็กทริกเชิงซ้อน ดังสมการที่ (4)

จากสมการที่ (1) และ (4) จะได้ค่าคงตัวไดอีเล็กทริก และค่าตัวประกอบการสูญเสียของไดอีเล็กทริก ดังสมการที่ (5) และ (6) ตามลำดับ

$$\varepsilon_r^* = \frac{C_p}{C_0} = \frac{tC_p}{A\varepsilon_0} \quad (5)$$

$$\varepsilon_r^* = \frac{1}{\omega R_p C_0} = \frac{t}{\omega R_p A\varepsilon_0} \quad (6)$$

โดยที่  $\varepsilon_0$  คือ ค่าสภาพยอนทางไฟฟ้า (Permittivity) ของอากาศซึ่งมีค่าเท่ากับ  $8.854 \times 10^{-12}$  F/m และจากสมการที่ (2), (5) และ (6) จะได้ค่าแทนเงนต์การสูญเสีย ดังสมการที่ (7)

$$\tan \delta = \frac{\varepsilon_r^*}{\varepsilon_r} = \frac{1}{\omega R_p C_p} \quad (7)$$

ถ้าใช้วงจรสมมูลอนุกรร绞性ได้ค่าอิมพีเดนซ์  $Z$  ดังสมการที่ (8)

$$Z = R_s + jX_s \quad (8)$$

เมื่อ  $R_s$  คือ ค่าความต้านทานอนุกรร绞性 และ  $X_s$  คือ ค่าเรียกแคนเซอร์อนุกรร绞性ได้ค่าแทนเงนต์การสูญเสีย ดังสมการที่ (9)

$$\tan \delta = \frac{R_s}{|X_s|} \quad (9)$$

โดยที่ ค่าความต้านทานแบบบน ( $R_p$ ) และ ค่าความจุไฟฟ้าแบบบน ( $C_p$ ) คำนวณได้จากสมการที่ (10) และ (11) ตามลำดับ

$$R_p = \left( 1 + \frac{1}{\tan^2 \delta} \right) R_s \quad (10)$$

$$C_p = \frac{1}{\omega(\tan \delta) R_p} \quad (11)$$

เมื่อได้ค่า  $R_p$  และ  $C_p$  แล้ว สามารถหาค่า  $\varepsilon_r^*$  และ  $\varepsilon_r$  ได้จากสมการที่ (5) และ (6) ตามลำดับ

### 2.3 การหาค่าอิมพีเดนซ์และค่าคงตัวไดอีเล็กทริกโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer)

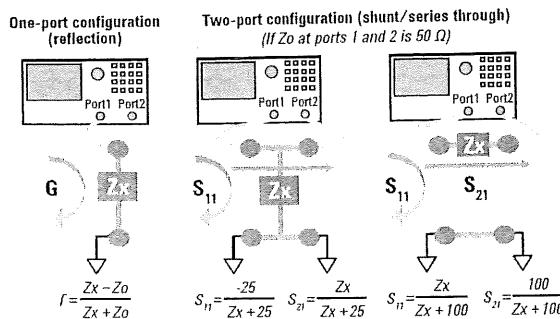
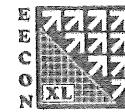
การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัดด้วย Network Analyzer จะวัดค่าอุบัติในรูปของพารามิเตอร์  $S$  ซึ่งจากค่าของพารามิเตอร์  $S$  ดังกล่าวสามารถคำนวณหาค่าของ  $Z$  ตามรูปแบบการวัดค้าง ๆ แสดงดังรูปที่ 3



KMUTNB

# การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๔๐ (EECON-40)

วันที่ ๑๕ - ๑๗ พฤศจิกายน ๒๕๖๐



รูปที่ ๓ วิธีการวัดค่าอิมพีเดนซ์โดยใช้ Network Analyzer [6]

ในบทความนี้เลือกใช้รูปแบบการวัดแบบ 2 พอร์ตต่อข้างนาน โดยสนใจเฉพาะค่าของ  $S_{21}$  ซึ่งสามารถหาค่า  $Z_x$  ได้จากสมการที่ (12) เนื่องจากในการทดสอบเมื่อต้นก่อนการทดสอบกับกลุ่มยางก้อนถ่ายตัวอย่างจริง พนว่า รูปแบบการวัดแบบ 2 พอร์ตต่อข้างนาน ให้ผลการทดสอบที่สามารถแยกแยะยางก้อนถ่ายที่มีความชื้นแตกต่างกันได้ดีกว่า การวัดอีก 2 รูปแบบ

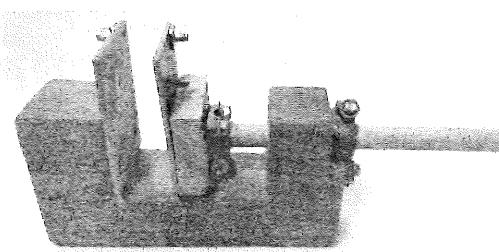
$$Z_x = \frac{-25S_{21}}{S_{21} - 1} \quad (12)$$

$Z_x$  ที่คำนวณได้จากสมการที่ (12) คือ อิมพีเดนซ์  $Z$  ของวงจร สมมูลแบบอนุกรร绞性ในสมการที่ (8) ของหัวข้อ 2.2 ซึ่งสามารถนำมานำวนะหากค่า  $\tan \delta$ ,  $R_p$  และ  $C_p$  โดยใช้สมการที่ (9) – (11) จากนั้นสามารถหาค่า  $\varepsilon_r'$  และ  $\varepsilon_r''$  ได้จากสมการที่ (5) และ (6) ตามลำดับ

### 3. ระเบียบวิธีวิจัย

#### 3.1 การออกแบบระบบวัดสมบัติทางไฟฟ้า

ระบบวัดสมบัติทางไฟฟ้า (Test Fixture) ดังรูปที่ 4 ประกอบด้วยตัวอัคเซ็นจูนและแผ่นทดสอบ [7] โดยตัวอัคเซ็นจูนใช้ในการอัดจับยางก้อนถ่ายให้ติดกับแผ่นทดสอบ ซึ่งทำให้ขณะวัดยางก้อนถ่ายมีระยะและแรงที่ใช้อัดจับคงที่ แผ่นทดสอบเป็นแผ่น PCB ที่มีทองแดงสองด้าน ซึ่งໄດ້ออกแบบให้มีขนาดเท่ากับ  $56 \times 90 \text{ mm}$  ด้านหนึ่งเป็นอิเล็กทรอนิกส์และด้านหนึ่งเป็นวงกลมมีเส้นผ่าศูนย์กลาง  $38 \text{ mm}$  อีกด้านหนึ่งเป็นกราวด์เติมแผ่น



รูปที่ 4 Test Fixture ที่สร้างขึ้น

#### 3.2 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง คือ ยางก้อนถ่ายที่มีเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแท้ 45% จำนวน 170 ก้อน แบ่งทำการวัด 10 วัน วันละ 17 ก้อน โดยที่แต่ละก้อนเป็นรูปครึ่งวงกลมมีเส้นผ่าศูนย์กลาง  $90 \text{ mm}$  คังรูปที่ ๕ แสดงตัวอย่างยางก้อนถ่ายที่ใช้ทดลองสำหรับการวัดวันที่ ๐

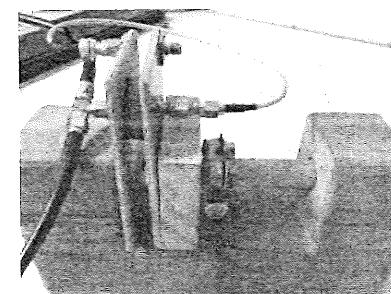


รูปที่ ๕ ยางก้อนถ่ายที่ใช้ในการทดลองสำหรับการวัดวันที่ ๐

#### 3.3 วิธีการทดลอง

ขั้นตอนการทดลอง แสดงรายละเอียด ดังต่อไปนี้

- 1) นำยางก้อนถ่ายใส่ในแผ่นอิเล็กทรอนิกส์และวัสดุห่วงระหง่านแผ่นอิเล็กทรอนิกส์
- 2) ต่อใช้งานแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ที่ติดตั้งกับ Test Fixture ตามรูปแบบการวัดแบบ 2 พอร์ตต่อข้างนาน และทำการทดสอบวัดค่า  $S_{21}$  ดังรูปที่ ๖

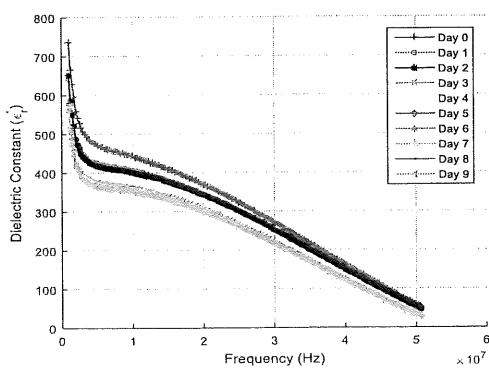


รูปที่ ๖ การวัดค่า  $S_{21}$  ของยางก้อนถ่ายตามรูปแบบการวัดแบบ 2 พอร์ตต่อข้างนาน

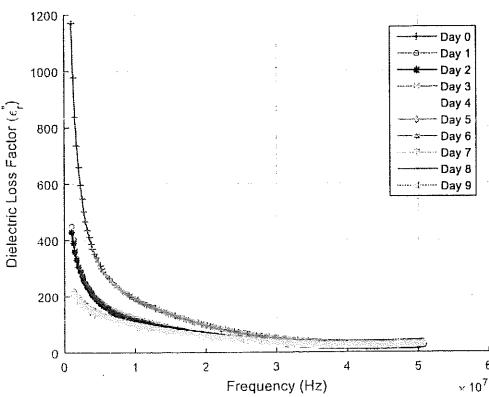
- 3) วัดยางก้อนถ่ายโดยใช้ Network Analyzer โดยตั้งค่าการความถี่ตั้งแต่ ๑ MHz ถึง 50 MHz โดยวัดยางก้อนถ่ายตัวอย่างที่จัดเตรียมจำนวนวันละ 17 ก้อน โดยทำการวัดทั้งหมด 10 วัน (วันที่ ๐ ถึง ๙)
- 4) จากค่า  $S_{21}$  ที่วัดได้ในข้อ (2) ทำการหาค่าแทนเงนต์การสูญเสีย ค่าคงตัวอิเล็กทรอนิกส์ และค่าความคุมการสูญเสียของไอดิลลิกทริก
- 5) วัดกราฟ วิเคราะห์ผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง

#### 4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

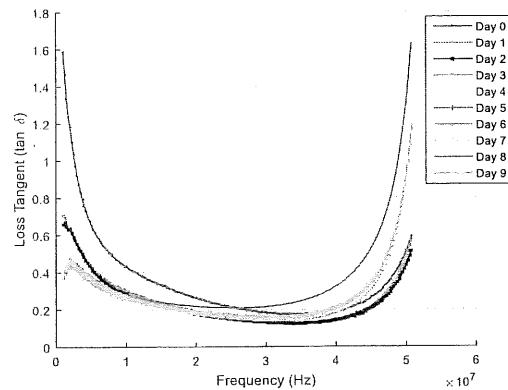
ผลการทดลองได้ค่าเฉลี่ยของค่าคงตัวไอดิลลิกทริก ค่าความคุมการสูญเสียของไอดิลลิกทรอนิกส์และค่าแทนเงนต์การสูญเสียในแต่ละวัน ตั้งแต่วันที่ ๐ – ๙ และแสดงในรูปที่ 7 – ๙ ตามลำดับ



รูปที่ ๗ ค่าคงตัวไดอีเล็กทริกของยางก้อนถ้าขึ้นต้นแต่รันที่ ๐ - ๙



รูปที่ ๘ ค่าคงตัวประดิษฐ์การสูญเสียของไดอีเล็กทริกของยางก้อนถ้าขึ้นต้นแต่รันที่ ๐ - ๙



รูปที่ ๙ ค่าแทนเนคต์การสูญเสียของไดอีเล็กทริกของยางก้อนถ้าขึ้นต้นแต่รันที่ ๐ - ๙

จากผลการทดลองในรูปที่ ๗ - ๙ พบว่า สมบัติทางไฟฟ้าที่มีแนวโน้มที่จะสามารถแยกย่างก้อนถ้าขึ้นตัว คือ ค่าคงตัวไดอีเล็กทริก นี่เองจากค่าคงตัวไดอีเล็กทริกมีความสัมพันธ์กับอายุวันของยางก้อนถ้า และความชื้นของยางก้อนถ้าขึ้นตัว ก่อมาถ้าไดอีเล็กทริกมีค่าลดลงตามจำนวนผู้วันของยางก้อนถ้าที่เพิ่มขึ้น ถือนัยยะนี้ว่าไดอีเล็กทริกมีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าความชื้น

นอกจากนี้ ค่าคงตัวไดอีเล็กทริกมีค่าลดลงตามความชื้นที่เพิ่มขึ้น โดยช่วงความชื้นนี้น้อยกว่า ๑๕ MHz สามารถแยกแยะข้อมูลยางก้อนถ้าได้ดี

พอสมควร โดยสามารถแยกแยะได้เป็น ๓ กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มยางวันที่ ๐ กลุ่มยางวันที่ ๑ - ๒ และ กลุ่มยางวันที่ ๓ - ๙ ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะเป็นยางก้อนถ้าโดยทั่วไป หมวด และเทง ตามลำดับ หันนี้ ยางก้อนถ้าถูกตัวอย่าง เป็นการทำขึ้นมาในลักษณะแผ่นบาง เพื่อให้สะดวกในการวัด ซึ่งอาจทำให้ชั้นยางคงคล่อง มีความร่วนคล่องหรือแทะได้เร็วกว่ายางก้อนถ้าขึ้นตัวที่มีลักษณะเป็นรูปถ้วยที่มีความหนาพอสมควร ส่วนความถี่มากกว่า ๑๕ MHz กระแสส่วนใหญ่มีการซ่อนทับกัน จึงไม่สามารถแยกแยะข้อมูลได้ อีกต่อไป สำหรับการทดสอบและการทดลองในบทววนี้ เป็นการนำเสนอบนแนวโน้มและความเป็นไปได้ของการแยกแยะคุณภาพยางก้อนถ้าขึ้นตัวสมบัติทางไฟฟ้า ยังต้องมีการพัฒนาระบบและวิธีการเพิ่มเติม เพื่อให้ระบบมีถูกต้องและแม่นยำขึ้น

## 5. สรุปผลการทดลองและแนวทางการพัฒนาในอนาคต

บทววนี้ได้นำเสนอการศึกษาและออกแบบระบบวัดสมบัติทางไฟฟ้าของยางก้อนถ้าขึ้นตัวด้วยความลึกด้านในของยางโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงสร้าง (Network Analyzer) และแผ่นอิเล็กโทรดแบบขนาด พลการทดลองจากการวิเคราะห์ค่าคงตัวไดอีเล็กทริก ค่าด้วยประกอบการสูญเสียของไดอีเล็กทริก และค่าแทนเนคต์การสูญเสียของยางก้อนถ้าขึ้นตัว พบว่า ค่าคงตัวไดอีเล็กทริกมีแนวโน้มที่สามารถลดออกอย่างรวดเร็วและความชื้นของยางก้อนถ้าขึ้นตัวได้โดยมีค่าลดลงตามอายุวันของยางก้อนถ้าที่เพิ่มขึ้น และมีค่าลดลงตามค่าความชื้นที่ลดลง นอกจานี้ ค่าคงตัวไดอีเล็กทริกมีค่าลดลงตามความชื้นที่เพิ่มขึ้น โดยช่วงความชื้นนี้น้อยกว่า ๑๕ MHz สามารถแยกแยะข้อมูลยางก้อนถ้าได้ดีพอสมควร อย่างไรก็ตาม ระบบนี้ซึ่งต้องมีการพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อให้มีความถูกต้องและแม่นยำขึ้น เพื่อช่วยแก้ไขต่อกรและผู้เกี่ยวข้องในการซื้อขายยางก้อนถ้าขึ้นตัว ให้อย่างยั่งยืน

แนวทางการพัฒนาในอนาคต ได้แก่ ปรับปรุงอิเล็กโทรดเพื่อขนาดใหญ่ที่ใช้ในการวัด เช่น สร้างอิเล็กโทรดแผ่นขนาดฐานรูปวงแหวน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการวัด เป็นต้น วิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ของค่าสมบัติทางไฟฟ้าและประเมินความชื้นของยางก้อนถ้าขึ้นตัว

## เอกสารอ้างอิง

- S. O. Nelson, "Electrical properties of agricultural products - A critical review", *Trans. Amer. Soc. Agricultural Eng. (ASAE)*, vol. 16, no. 2, pp. 384-400, 1973.
- ชุดที่ ๒ ประชุมวิชาการสมนักเรียนวิศวกรรมเกษตรทั่วไป ครั้งที่ ๑๓, เรื่องใหม่, ๔-๕ เมษายน ๒๕๕๓, หน้า ๕๕๓-๕๕๖.
- นริศราภรณ์ ใจเรืองดี และคณะ, "การประชุมวิชาการสมนักเรียนวิศวกรรมเกษตรทั่วไป ประจำปี ๒๕๕๗", การประชุมวิชาการสมนักเรียนวิศวกรรมเกษตรทั่วไป ครั้งที่ ๑๕, อยุธยา, ๒-๔ เมษายน ๒๕๕๗, หน้า ๑-๔.
- Agilent Technologies, *Basics of Measuring Dielectric Properties of Materials*, May 2014.
- Agilent Technologies, *Solutions for Measuring Permittivity and Permeability with LCR Meters and Impedance Analyzers*, May 2014.
- Agilent Technologies, *Impedance Measurements: Evaluating EMC Components with DC Bias Superimposed*, February 2009.
- A. B. Ghani, et al., "Tan delta measurement of paper insulated laminates using capacitance method from 300kHz to 50MHz," *2013 IEEE International Conference on Solid Dielectrics (ICSD)*, Bologna, 2013, pp. 996-1000.