

การตรวจสอบการเจือปนของน้ำในน้ำผึ้งด้วยเซนเซอร์ตัวเก็บประจุไฟฟ้า แกนร่วม

Detection of Water Adulteration in Honey Using Coaxial Capacitor Sensor

อดิศร นวลอ่อน¹ นิวัตร์ อังควิศิษฐพันธ์^{1*} ชลธิ์ โพธิ์ทอง¹ อภิรัฐ ศิริธาราวิวัฒน์²

¹หน่วยปฏิบัติการวิจัยแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงคำนวณและระบบเชิงแสง คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ต.ขามเรียง อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 44150

²ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002

*Corresponding author: E-mail: niwat.a@msu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอการตรวจสอบการปนเปื้อนของน้ำในน้ำผึ้งด้วยเซนเซอร์ตัวเก็บประจุไฟฟ้าแกนร่วม ระบบการตรวจสอบนี้ประกอบด้วย เซนเซอร์ตัวเก็บประจุไฟฟ้าแกนร่วม และเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ จุดประสงค์ของเทคนิคนี้คือ การคำนวณหาค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์จากค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนซึ่งเกิดจากเซนเซอร์สัมผัสตัวอย่างน้ำผึ้ง แล้วหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์กับตัวอย่างน้ำผึ้งที่เจือปนด้วยน้ำ 0-20 % โดยน้ำหนัก ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ณ สภาวะเดียวกัน (อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความถี่ทางไฟฟ้า 0.5-3.0 กิกะเฮิร์ตซ์) ส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ของตัวอย่างน้ำผึ้งมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักเมื่อน้ำผึ้งถูกเจือปนด้วยน้ำ 0-20 % โดยน้ำหนัก ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 6.5 และ 15 อย่างไรก็ตามส่วนจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ของตัวอย่างน้ำผึ้งมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญที่สภาวะเดียวกัน ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 10 และ 45 นอกจากนี้ ณ ความถี่ 0.5 กิกะเฮิร์ตซ์ มีความเหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้ในการตรวจสอบการเจือปนของน้ำในน้ำผึ้ง เนื่องจากมีค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าส่วนจริงต่อเปอร์เซ็นต์ของน้ำที่เจือปนในน้ำผึ้งสูงสุด คือ 1.25 ต่อ 1 เปอร์เซ็นต์ที่เปลี่ยนแปลง

คำสำคัญ: น้ำผึ้ง เซนเซอร์ตรวจสอบการปนเปื้อน ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์

ABSTRACT

This research paper presents a detection technique for water adulteration in honey using coaxial capacitor sensor. The detection system consists of a coaxial capacitor sensor and a vector network analyzer. The objective of this technique is to calculate the relative electric permittivity from the reflection coefficient which is reflected when the sensor is immersed into the honey samples. After that, the relative electric permittivity is related to the honey samples with water adulteration in the range of 0-20% by weight and the temperature of 25°C. The experimental results showed that the imaginary part of the relative electric permittivity was not significantly changed for honey samples with water adulteration in the range of 0-20% by weight for the frequency range of 0.5-3.0 GHz. The values of imaginary part of the relative electric permittivity were between 6.5 and 15. However the real part of the relative electric permittivity was significantly changed for honey samples with water adulteration in the range of 0-20% by weight at the same condition. The values of real part of the relative electric permittivity were between 10

and 45. In addition, it would be most appropriate to detect the water adulteration in honey at the frequency of 0.5 GHz because the changing rate of real part to percent adulteration was the highest at 1.25 per 1 percent change.

Keyword: Honey, Adulteration sensor, Relative electric permittivity

1. บทนำ

น้ำผึ้งเป็นสารให้ความหวานจากธรรมชาติที่เก่าแก่ที่สุดที่มนุษย์รู้จักนับตั้งแต่ยุคหินโบราณเมื่อ 7,000 ปีก่อนคริสตกาล [1] น้ำผึ้งมีลักษณะเป็นของเหลวที่มีรสหวาน เหนียวหนืด มีสีน้ำตาลอ่อนถึงน้ำตาลเข้ม เป็นสารละลายที่ประกอบด้วยน้ำตาลหลายชนิด เช่น น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลฟรุกโตส เป็นต้น นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยองค์ประกอบอื่นๆ เช่น กรดอินทรีย์ แร่ธาตุ วิตามิน และโปรตีน เป็นต้น [2] องค์ประกอบเหล่านี้ขึ้นอยู่กับชนิดของผึ้งสภาพแวดล้อมของผึ้ง และดอกไม้ที่ให้น้ำหวานแก่ผึ้ง [3] ด้วยองค์ประกอบเหล่านี้ทำให้น้ำผึ้งมีคุณสมบัติประโยชน์มากมายในทางโภชนาการและทางการแพทย์ [4] ผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งส่วนใหญ่จะนำมาบริโภคโดยตรง บางส่วนถูกนำมาใช้ในทางอุตสาหกรรมอาหาร เช่น อุตสาหกรรมอาหารสำหรับเด็ก อุตสาหกรรมผลิตไอศกรีม เป็นต้น รวมถึงการนำมาใช้ในทางด้านเภสัชกรรม เช่น การใช้ในการแต่งกลิ่น แต่งรสให้แก้ยา เป็นต้น [5] องค์การมาตรฐานอาหารระหว่างประเทศได้กำหนดมาตรฐานเพื่อให้การผลิตอาหารปลอดภัยมีข้อกำหนดว่า น้ำผึ้งที่บริสุทธิ์จะต้องไม่มีสารเติมแต่งใดๆ แต่ไม่มีข้อกำหนดในการเจือปนของน้ำ และสารให้ความหวานอื่นๆ [6] ด้วยเหตุผลนี้จึงทำให้มีการเจือปนสารให้ความหวานและน้ำในน้ำผึ้งกันอย่างแพร่หลาย การเจือปนนี้ทำไปเพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณและลดต้นทุน ซึ่งเป็นปัญหาใหญ่มาก เนื่องจากการเจือปนนี้ส่งผลต่อคุณค่าทางโภชนาการของน้ำผึ้ง การเจือปนในน้ำผึ้งมีหลายวิธี เช่น การเจือปนด้วยน้ำตาลทรายแดง น้ำตาลทรายขาว การผสมน้ำ และการเจือปนแบะแซ เป็นต้น ผลที่ได้จะมีสี ความเข้มข้น ความเหนียวหนืด ใกล้เคียงกับน้ำผึ้งบริสุทธิ์มาก ยากต่อการจำแนกของผู้บริโภค การตรวจวัดการเจือปนของน้ำผึ้งบริสุทธิ์

นั้น วิธีการของผู้บริโภคทั่วไป คือการสังเกตด้วยประสาทสัมผัสเพื่อตรวจวัดลักษณะทางกายภาพของน้ำผึ้ง เช่น สี กลิ่น รสชาติ ความเหนียว และการตกผลึก เป็นต้น นอกจากการตรวจวัดลักษณะทางกายภาพแล้วยังสามารถตรวจวัดได้โดยการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีในห้องทดลอง เช่น วิธีการโครมาโทกราฟี (chromatography) วิธีการวิเคราะห์การส่งผ่านเชิงแสงของน้ำผึ้ง วิธีการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทางการนำไฟฟ้า [5] และวิธีการแมสสเปกโทรเมตรี (mass spectrometry) เป็นต้น [6] วิธีการเหล่านี้ มีความยุ่งยากซับซ้อนในกระบวนการ ใช้เวลาในการวัดและวิเคราะห์ผลนาน และเครื่องมือที่ใช้วัดมีราคาแพง ดังนั้น การพัฒนาวิธีการตรวจสอบการเจือปนของน้ำผึ้งให้มีความรวดเร็ว และไม่ซับซ้อน จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

น้ำผึ้งเป็นสารละลายที่มีตัวทำละลายคือน้ำ และตัวถูกละลายโดยส่วนใหญ่ คือ น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาล ฟรุกโตส ดังนั้น ปริมาณน้ำและปริมาณน้ำตาลทั้ง 2 ชนิดในน้ำผึ้งเป็นตัวบ่งชี้ถึงความเข้มข้นของน้ำผึ้ง สารที่อยู่ในรูปสารละลายของน้ำจะมีค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า (electric permittivity) ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำ เนื่องจากโมเลกุลน้ำเป็นแบบไดโพลาร์ที่สามารถโพลารไรซ์ได้ในช่วงความถี่ไมโครเวฟ และสร้างโครงสร้างโมเลกุลรูปเตตระฮีดรัล (tetrahedral) [6] ถ้ามีสารละลายอื่นๆ ละลายในอยู่น้ำจะทำให้โครงสร้างของโมเลกุลของน้ำเปลี่ยนแปลงไปส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะการโพลารไรซ์ในช่วงความถี่ไมโครเวฟ [6] แล้วทำให้ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปด้วย

ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งที่สามารถใช้อธิบายพฤติกรรมของวัสดุได้ มีงานวิจัยหลายๆ งานที่ศึกษาคุณสมบัตินี้เพื่อประโยชน์ทางการแพทย์ และอุตสาหกรรม เป็นต้น ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์กับพลังงานที่ถูกเก็บ

ไว้ในวัสดุและค่าพลังงานสูญเสียของวัสดุอันเนื่องมาจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอก [7-8] ซึ่งจะเขียนอยู่ในรูปของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อน (complex relative permittivity, ϵ_r) ของวัสดุ

$$\epsilon_r = \epsilon_r' + j\epsilon_r'' \quad (1)$$

เมื่อ ϵ_r' คือ ส่วนจริงของค่าสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อน ϵ_r'' คือ ส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อน และ δ คือ มุมของการสูญเสียของวัสดุบางครั้งสามารถเขียนอยู่ในรูปค่าการสูญเสียของวัสดุหรือแทนแทนที่การสูญเสีย (loss tangent)

$$\tan \delta = \frac{\epsilon_r''}{\epsilon_r'} \quad (2)$$

ซึ่งคืออัตราส่วนของพลังงานที่สูญเสียต่อพลังงานที่ถูกเก็บไว้ในวัสดุอันเนื่องมาจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอก [9]

การวัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์นั้นมีหลากหลายเทคนิค แต่ละเทคนิคใช้หลักการพื้นฐานในการวัดแตกต่างกันไป เช่น หลักการสะท้อนและการส่งผ่าน (reflection and transmission) หลักการกำจรและไม่กำจร (resonant and non-resonant) หรือหลักการทดสอบแบบทำลายวัสดุและไม่ทำลายวัสดุ (destructive and non-destructive tests) [8] เมื่อนักวิจัยอาศัยหลักการเหล่านี้ ทำให้สามารถสร้างเทคนิคการวัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ได้หลากหลายเทคนิค เช่น เทคนิคสายส่งแบบปลายเปิด (open ended transmission line technique) เทคนิคสายส่งแบบท่อนำคลื่นและแกนร่วม (waveguide and coaxial transmission line technique) เทคนิคการส่งผ่านอากาศว่าง (free space transmission technique) วิธีทำทอน (resonant method) วิธีรบกวนแบบกำทอน (resonant-perturbation method) [8] ซึ่งแต่ละเทคนิคมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป

งานวิจัยที่ผ่านมา มีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการวัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ของวัสดุ ไม่ว่าจะเป็นการวิจัยทางการแพทย์ ทางด้านอุตสาหกรรม

ทางการเกษตร หรือด้านอื่นๆ ล้วนแต่ใช้เทคนิคดังกล่าวมาข้างต้น เช่น ในปี 2007 W. Guo และคณะ [10] ได้ใช้โพรบแกนร่วมปลายเปิดวัดค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ของผลแอปเปิ้ลในช่วงความถี่ 10-1,800 เมกะเฮิรตซ์ ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ที่วัดได้จะนำไปหาคุณสมบัติอื่นๆ ของผลแอปเปิ้ล เช่น ปริมาณความชื้น ค่าพีเอช เป็นต้น ข้อเสียของเทคนิคการวัดนี้คือ ในกรณีที่ใช้โพรบนี้ไปวัดของแข็งที่มีผิวไม่เรียบก็จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้น ในปี 2009 F.H. Wee และคณะ [11] ได้ทำการวัดค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ของเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรด้วยเทคนิคการส่งผ่านอากาศว่างที่ความถี่ 2.2-3.2 กิกะเฮิรตซ์ เพื่อวัดความชื้นจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ข้อเสียของการวัดด้วยเทคนิคนี้คือวัสดุที่จะวัดต้องมีการเตรียมวัสดุก่อนให้เป็นวัสดุที่มีพื้นผิวแบบราบซึ่งมีความยุ่งยากมากขึ้น การเตรียมอุปกรณ์และติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทำการวัดมีความยุ่งยากและซับซ้อน ถ้าวัสดุที่ใช้วัดมีขนาดเล็กกว่าสายอากาศ ก็จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากการวัดได้ ในปี 2010 L. Ragni และคณะ [12] ทำการวัดค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ของไข่โดยใช้สายส่งแบบท่อนำคลื่นและแกนร่วม เพื่อทำนายดัชนีคุณภาพของไข่ ข้อเสียของการวัดโดยใช้เทคนิคนี้คือ เป็นเทคนิคที่มีความยุ่งยากและใช้เวลาในการวัดนานที่สุด เพราะต้องมีการเตรียมตัวอย่างเพื่อให้ตัวอย่างสามารถบรรจุเข้าไปในสายส่งได้ และถ้าวัสดุที่บรรจุลงในสายส่งไม่แนบสนิทกับสายส่ง มีช่องว่างเกิดขึ้นระหว่างวัสดุและสายส่ง ก็จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากการวัดได้

นอกจากนี้ยังมีนักวิจัยหลายๆ ท่านที่สนใจการวัดค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ของวัสดุทางการเกษตร เช่น ในปี 2006 W. Guo และคณะ [13] ทำการวัดค่าคุณสมบัติของไดอิเล็กตริกของแดงไทย เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของแดงไทย ในปี 2012 A. Munir และคณะ [14] ทำการวัดค่าสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนของใบพืชในประเทศอินโดนีเซียด้วยวิธีการรบกวนแบบโพรงการสะท้อนกลับและการส่งผ่าน ในปี 2013 R. Vijay และคณะ [15] ศึกษาผลกระทบของความถี่และอุณหภูมิต่อคุณสมบัติของไดอิเล็กตริกของน้ำคั้นจากมันฝรั่งในช่วงความถี่ไมโครเวฟ

บทความวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา ออกแบบ และสร้างอุปกรณ์ในการตรวจวัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำผึ้ง โดยใช้เทคนิคสายส่งแบบปลายเปิด ที่มีข้อดีคือ มีขนาดกะทัดรัด ออกแบบง่าย มีกระบวนการในการวัดไม่ยุ่งยาก เป็นการวัดแบบไม่ทำลายวัสดุที่วัด และมีความแม่นยำในการวัดค่อนข้างสูง ต้นทุนต่ำ จึงเป็นเทคนิคที่มีความเหมาะสมสำหรับการวัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำผึ้ง ซึ่งค่าที่วัดได้จะเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในน้ำผึ้งกับค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า และการเจือปนในน้ำผึ้งได้ต่อไป

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

ลักษณะของน้ำผึ้งไทยตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 211 พ.ศ. 2543 [16] ได้กำหนดมาตรฐานของน้ำผึ้งไทย ดังตารางที่ 1

ตัวอย่างน้ำผึ้งที่นำมาทดลองเป็นน้ำผึ้งที่ได้มาจากน้ำผึ้งดอกกล้วย เป็นน้ำผึ้งแท้ 100 % จากฟาร์มผึ้งไทยลานนา 95/9 ถ.ศรีดอนไชย ต.ช้างคลาน อ.เมือง จ.เชียงใหม่ แล้วนำมาเจือปนด้วยน้ำกลั่นในปริมาณที่ต่างกัน คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักของตัวอย่างน้ำผึ้ง ตัวอย่างของน้ำผึ้งที่มีการเจือปนด้วยน้ำในปริมาณที่แตกต่างกันแสดงใน รูปที่ 1

รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างของน้ำผึ้ง สังเกตลักษณะทางกายภาพของน้ำผึ้งที่เจือปนด้วยน้ำที่ร้อยละโดยน้ำหนักในแต่ละตัวอย่างนั้น ทั้งสี กลิ่น รสชาติ และความเหนียวหนืด ใกล้เคียงกันมาก

ตารางที่ 1 มาตรฐานของน้ำผึ้งไทยตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับ 211 พ.ศ. 2543

องค์ประกอบของน้ำผึ้ง	(%โดยน้ำหนัก)	
ความชื้น	ไม่เกิน	21.0
น้ำตาลรีดิวิซซ์	ไม่น้อยกว่า	65.0
ซูโครส	ไม่เกิน	5.0
เถ้า	ไม่เกิน	0.6
สารไม่ละลายน้ำ	ไม่เกิน	0.1



รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างของน้ำผึ้งที่มีการเจือปนด้วยน้ำในปริมาณที่แตกต่างกัน

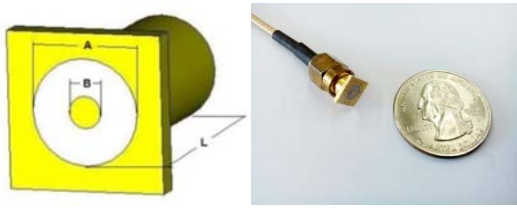
เซนเซอร์ที่ใช้สัมผัสกับตัวอย่างน้ำผึ้งประยุกต์มาจากตัวเชื่อมต่อแบบเอสเอ็มเอ (SMA connector) ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างตาม รูปที่ 2 คณะผู้วิจัยได้ดัดแปลงตัวเชื่อมต่อชนิดนี้โดยตัดขาที่ยื่นออกมาทุกขาออกไป เพื่อให้มีลักษณะคล้ายกับตัวเก็บประจุไฟฟ้าแกนร่วมแบบปลายเปิดที่สามารถนำมาวัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของวัสดุใดๆ ได้ ลักษณะโครงสร้างของเซนเซอร์ที่นำเสนอนี้แสดงใน รูปที่ 3

รูปที่ 3 มี A คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของแกนร่วมแกนนอก มีขนาด 4.35 มิลลิเมตร มี B คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของแกนร่วมแกนใน มีขนาด 1.3 มิลลิเมตร และ L คือ ความยาวของโพรบแกนร่วม มีขนาด 7.42 มิลลิเมตร สารไดอิเล็กตริกในเซนเซอร์ทำมาจากสารเทฟลอน (Teflon) มีค่า ϵ_r เท่ากับ 2.08 เซนเซอร์นี้มีอิมพีแดนซ์เท่ากับ 50 โอห์มซึ่งสามารถคำนวณมาจากสมการที่ 3 [17]

$$Z = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln\left(\frac{A}{B}\right) \tag{3}$$



รูปที่ 2 ตัวเชื่อมต่อแบบเอสเอ็มเอ



รูปที่ 3 เซนเซอร์ตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบแกนร่วมที่ทำมาจากตัวเชื่อมต่อเอสเอ็มเอ

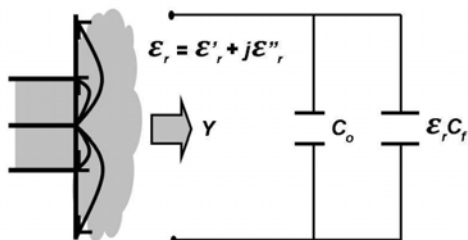
การวัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า (ϵ) ของน้ำผึ้งนั้นจะใช้หลักการการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (transmission coefficient, S_{11}) ที่เกิดจากการที่เซนเซอร์จุ่มอยู่ในตัวอย่างน้ำผึ้ง ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของตัวอย่างน้ำผึ้งที่ตรวจวัดเปลี่ยนไปมีผลทำให้วงจรสมมูลย์ของตัวเก็บประจุ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (S_{11}) และค่าแอดมิตแตนซ์ (admittance, Y) เปลี่ยนแปลงไปดังโมเดลในรูปที่ 4 [18]

วงจรสมมูลย์ของเซนเซอร์นี้ มีค่า C_f คือ ค่าความจุของตัวเก็บประจุอิสระในวัสดุและ C_0 คือ ค่าความจุของตัวเก็บประจุที่ถูกเติมด้วยอากาศของเซนเซอร์ เมื่อค่า C_f , C_0 เป็นค่าคงที่แล้วค่าแอดมิตแตนซ์ของเซนเซอร์นี้จะขึ้นอยู่กับค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของวัสดุ ϵ_r ดังสมการที่ 4 [18]

$$Y = C_0 + j\omega C_f \epsilon_r \quad (4)$$

และค่า Y มีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของวัสดุที่วัด (S_{11}) ดังสมการที่ 5 [18]

$$Y = \frac{1}{Z_0} \left(\frac{1 - S_{11}}{1 + S_{11}} \right) \quad (5)$$



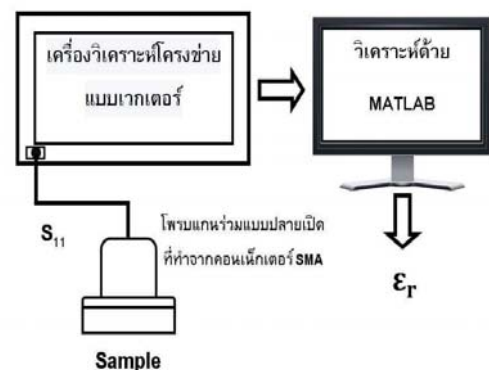
รูปที่ 4 แบบจำลองคาปาซิแตนซ์และวงจรสมมูลย์ของเซนเซอร์ตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบแกนร่วม [18]

จากสมการที่ 4 และ 5 สามารถเขียนความสัมพันธ์ของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้ากับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของวัสดุ เมื่อทำการวัดกับวัสดุที่เป็นตัวอ้างอิงที่ทราบค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า 3 ชนิด และวัสดุที่ไม่ทราบค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า 1 ชนิด จะได้ดังสมการที่ 6

$$\frac{(\epsilon_{UN} - \epsilon_A)(\epsilon_B - \epsilon_C)}{(\epsilon_{UN} - \epsilon_B)(\epsilon_C - \epsilon_A)} = \frac{(S_{11,UN} - S_{11,A})(S_{11,B} - S_{11,C})}{(S_{11,UN} - S_{11,B})(S_{11,C} - S_{11,A})} \quad (6)$$

สมการที่ 6 นี้ใช้หาค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของวัสดุที่ไม่ทราบค่า (ϵ_{UN}) เมื่อทราบค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของวัสดุอีก 3 ชนิด ($\epsilon_A, \epsilon_B, \epsilon_C$) และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของวัสดุทั้ง 4 ชนิดจากการทดลอง (A, B, C, UN) ซึ่งค่า $S_{11,A}, S_{11,B}, S_{11,C}, S_{11,UN}$ สามารถวัดได้จากการใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (vector network analyzer) และค่า $\epsilon_A, \epsilon_B, \epsilon_C$ สามารถสืบค้นได้จากบทความวิจัยทั่วไป ดังนั้นจะเหลือเพียง ϵ_{UN} ที่สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 6 ซึ่งเราสามารถใส่โปรแกรม MATLAB ในการคำนวณเพื่อหาค่า ϵ_{UN} ได้

เซนเซอร์ที่ถูกออกแบบและสร้างเสร็จจะต้องนำมาทดสอบเพื่อยืนยันความถูกต้องก่อน (validation) จึงจะสามารถนำมาใช้ทดสอบกับตัวอย่างน้ำผึ้งได้ กระบวนการทดสอบความถูกต้องแสดงดังในรูปที่ 5

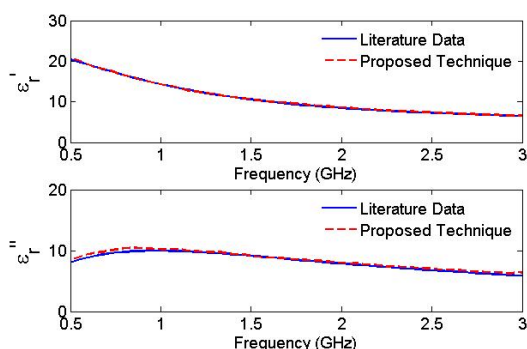


รูปที่ 5 วิธีการต่อวัดเพื่อทดสอบความถูกต้องของเซนเซอร์

การทดสอบเซนเซอร์เพื่อยืนยันความถูกต้องนั้น จะต้องทดสอบเซนเซอร์เพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์

การสะท้อน (S_{11}) จากตัวอย่างของวัสดุ 4 ชนิดได้แก่ อากาศ (A) น้ำกลั่น (B) เมทานอล (C) และเอทานอล (UN) ซึ่งสามารถวัดได้จากการทดลองดังรูปที่ 5 โดยทำการวัดค่าที่อุณหภูมิของวัสดุมีค่าคงที่ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในส่วนของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ของอากาศ (A) น้ำกลั่น (B) และเมทานอล (C) ซึ่งจะต้องใช้ในสมการที่ 6 สามารถหาได้จากในเอกสารอ้างอิง [9]

เมื่อได้ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (S_{11}) จากเครื่องวัดโครงข่ายแบบเวกเตอร์ ($S_{11,A}, S_{11,B}, S_{11,C}, S_{11,UN}$) และค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ ($\epsilon_A, \epsilon_B, \epsilon_C$) จากในเอกสารอ้างอิง [9] แล้วนำมาแทนค่าในสมการที่ 6 ดังนั้นสมการที่ 6 จึงเหลือแค่ ϵ_{UN} ซึ่งสามารถคำนวณออกมาได้ดังรูปที่ 6 ซึ่งเป็นค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ของสารที่ชื่อเอทานอลนั่นเอง เพื่อยืนยันความถูกต้องจึงได้นำค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ของเอทานอล (ϵ_{UN}) จากเอกสารอ้างอิง [9] มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากสมการที่ 6 ผลการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นความถูกต้องของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ทั้งส่วนจริงและส่วนจินตภาพ ($\epsilon_r = \epsilon'_r + j\epsilon''_r$) ในช่วงความถี่ 0.5-3.0 กิกะเฮิร์ตซ์ จากการยืนยันความถูกต้องนี้แสดงว่าเซนเซอร์ที่นำเสนอสามารถนำมาใช้งานจริงได้



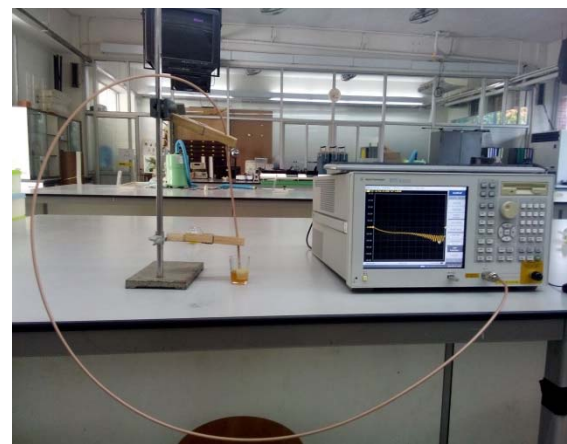
รูปที่ 6 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของเอทานอลจากเทคนิคที่นำเสนอและเอกสารอ้างอิง [9] เพื่อยืนยันความถูกต้องของเซนเซอร์ (ก) ส่วนจริงค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของเอทานอล (ข) ส่วนจินตภาพค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของเอทานอล

3. ผลการทดลอง

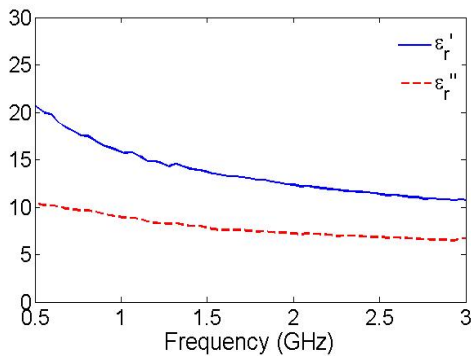
จากการทดสอบเพื่อยืนยันความถูกต้องแม่นยำของเซนเซอร์ ทำให้ทราบว่าเซนเซอร์สามารถใช้งานได้ในช่วงความถี่ 0.5-3.0 กิกะเฮิร์ตซ์ ที่อุณหภูมิคงที่ ณ 25 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ที่ถูกต้องและแม่นยำ

การทดสอบวัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ของน้ำฝิ่งบริสุทธิ์สามารถทำได้โดยใช้เซนเซอร์จุ่มเข้ากับน้ำฝิ่งบริสุทธิ์ และต่อปลายสายเคเบิลเข้ากับเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ แล้วบันทึกค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของน้ำฝิ่งบริสุทธิ์ในการทดลองครั้งนี้ ตัวอย่างที่ทราบค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ 3 ตัวอย่าง ได้แก่ อากาศ (A) น้ำกลั่น (B) และเมทานอล (C) ตัวอย่างที่ไม่ทราบค่าคือตัวอย่างน้ำฝิ่งบริสุทธิ์ (UN) การติดตั้งเครื่องมือทดสอบแสดงดังรูปที่ 7

จากนั้นนำค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์โดยใช้โปรแกรม MATLAB ตามสมการที่ 6 แล้วแสดงผลลัพธ์ของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ทั้งส่วนจริง และส่วนจินตภาพในช่วงความถี่ 0.5-3.0 กิกะเฮิร์ตซ์ ได้ดังรูปที่ 8



รูปที่ 7 แสดงการติดตั้งเครื่องมือเพื่อทำการทดลองโดยจุ่มเซนเซอร์ในน้ำฝิ่งบริสุทธิ์ แล้วต่อเข้ากับเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์



รูปที่ 8 แสดงค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำผึ้งบริสุทธิ์ ในช่วงความถี่ 0.5-3.0 กิกะเฮิรตซ์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

รูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่าในช่วงความถี่ ไมโครเวฟ 0.5-3.0 กิกะเฮิรตซ์ ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า สัมพัทธ์ของน้ำผึ้งบริสุทธิ์ทั้งส่วนจริงและส่วนจินตภาพ มีค่าลดลงเมื่อความถี่ทางไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้น โดยส่วนจริง มีค่าอยู่ระหว่าง 10 และ 21 ในขณะที่ส่วนจินตภาพมีค่าอยู่ระหว่าง 7 และ 11

น้ำกลั่นเป็นสารที่ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า สัมพัทธ์ที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามรูปแบบดีบาย (Debye model) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความถี่ในรูปของสมการดีบายดังสมการที่ 7 [19]

$$\epsilon(f) = \epsilon_{\infty} + \frac{\epsilon_s - \epsilon_{\infty}}{1 + j2\pi f\tau} \quad (7)$$

เมื่อ ϵ_{∞} คือ ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ที่ความถี่ อนันต์ ϵ_s คือ ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ที่ ความถี่สถิต τ คือ ค่าหน่วงเวลา f คือ ค่าความถี่ ทางไฟฟ้า น้ำกลั่นมีค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ คือ $\epsilon_{\infty} = 4.6$ $\epsilon_s = 78.3$ และ $\tau = 8.07 \times 10^{-12}$ วินาที

ในช่วงความถี่ 0.5-3.0 กิกะเฮิรตซ์ ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ของน้ำกลั่นนั้นจะมีค่าส่วนจริงค่อนข้างคงที่เท่ากับ 78.3 ในขณะที่ค่าส่วนจินตภาพมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่สูงขึ้น [19]

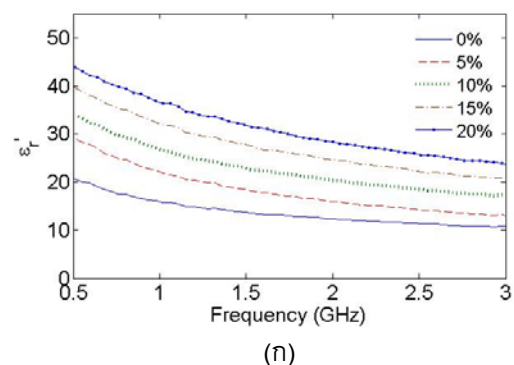
การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบการ เจือปนของน้ำในน้ำผึ้งทำได้โดยเตรียมตัวอย่างน้ำผึ้ง 5 ตัวอย่างดังนี้ น้ำผึ้งบริสุทธิ์ น้ำผึ้งเจือปนน้ำ 5 % น้ำผึ้งเจือปนน้ำ 10 % น้ำผึ้งเจือปนน้ำ 15 % และน้ำผึ้งเจือ

ปนน้ำ 20 % ตัวอย่างน้ำผึ้งทั้งหมดนี้เป็นค่าเปอร์เซ็นต์ที่มีการเจือปนโดยน้ำหนัก

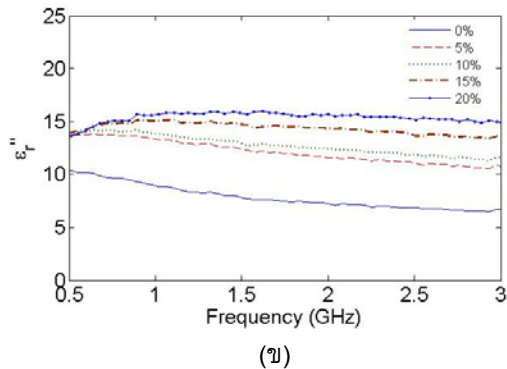
หลังจากการทดสอบเพื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์ การสะท้อนของตัวอย่างน้ำผึ้งทั้งหมด และนำค่าที่ได้มาคำนวณเพื่อหาค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ของตัวอย่างน้ำผึ้งด้วยโปรแกรม MATLAB ตามสมการที่ 6 จึงได้ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ของตัวอย่างน้ำผึ้งทั้งหมดเมื่อความถี่ทางไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลง ดังรูปที่ 9

การแสดงผลการทดลองจากตัวอย่างน้ำผึ้งที่มีการเจือปนด้วยน้ำด้วยปริมาณที่แตกต่างกันจะแสดงผลเปรียบเทียบโดยดูการเปลี่ยนแปลงของส่วนจริงและส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ของตัวอย่างน้ำผึ้ง เมื่อความถี่ทางไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงไป และเปอร์เซ็นต์ของการเจือปนของน้ำเปลี่ยนแปลงไปด้วย

จากรูปที่ 9 (ก) เมื่อมีการเจือปนของน้ำในน้ำผึ้งในปริมาณที่มากขึ้น ตั้งแต่ 0-20 % โดยน้ำหนัก ส่วนจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าจะมีค่าสูงขึ้นตามตลอดช่วงความถี่ 0.5-3.0 กิกะเฮิรตซ์ เนื่องจากส่วนจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ของน้ำมีค่าสูงถึง 78.3 มีผลทำให้ส่วนจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ของตัวอย่างน้ำผึ้งที่มีน้ำเจือปนมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย และส่วนจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ของตัวอย่างน้ำผึ้งมีค่าอยู่ระหว่าง 10 และ 45 นอกจากนั้นส่วนจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำผึ้งในแต่ละตัวอย่างมีค่าแตกต่างกันมากที่สุด ณ ความถี่ 0.5 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 20 และ 45



(ก)



รูปที่ 9 (ก) ส่วนจริงค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของ
ตัวอย่างน้ำผึ้ง (ข) ส่วนจินตภาพค่าสภาพยอมทาง
ไฟฟ้าของตัวอย่างน้ำผึ้ง

จากรูปที่ 9 (ข) แสดงถึงส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ของตัวอย่างน้ำผึ้งเมื่อน้ำผึ้งถูกเจือปนด้วยน้ำในปริมาณต่างๆ ตั้งแต่ 0-20 % โดยน้ำหนัก ส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์จะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำผึ้งบริสุทธิ์ที่ไม่มีการเจือปนของน้ำ อย่างไรก็ตามแต่ละตัวอย่างของน้ำผึ้งที่ถูกเจือปนด้วยน้ำจะมีความแตกต่างของส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ไม่มากนัก โดยมีส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ของตัวอย่างน้ำผึ้งอยู่ระหว่าง 6.5 และ 15 ค่าจินตภาพที่แตกต่างกันมากที่สุดเกิดขึ้น ณ ความถี่ 3.0 กิกะเฮิรตซ์

จากรูปที่ 9 ทำให้ทราบว่า ที่สภาวะเดียวกัน อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าส่วนจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ต่อเปอร์เซ็นต์ของน้ำที่เจือปนในน้ำผึ้งที่มีค่ามากที่สุด คือ 1.25 ต่อ 1 เปอร์เซ็นต์ ณ ความถี่ 0.5 กิกะเฮิรตซ์ ในขณะที่อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ต่อเปอร์เซ็นต์ของน้ำที่เจือปนในน้ำผึ้งที่มีค่ามากที่สุด คือ 0.425 ต่อ 1 เปอร์เซ็นต์ ณ ความถี่ 3.0 กิกะเฮิรตซ์ ดังนั้นการใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าส่วนจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ในการตรวจสอบการเจือปนของน้ำในน้ำผึ้งจึงมีความเหมาะสมที่สุด ณ ความถี่ 0.5 กิกะเฮิรตซ์

4. สรุปผลการวิจัย

การเจือปนของน้ำในน้ำผึ้งเป็นวิธีการเจือปนในน้ำผึ้งที่ง่ายและเป็นที่ยอมรับมากที่สุด เนื่องจากน้ำผึ้งที่ถูกเจือปนด้วยน้ำ จะมีคุณสมบัติทางกายภาพทั้ง สี กลิ่น รส ความเหนียว และการตกผลึก เหมือนน้ำผึ้งแท้บริสุทธิ์เกือบทุกประการ เช่น เซอร์คิวทิวเก็บประจุไฟฟ้า แกนร่วมที่ออกแบบ และสร้างขึ้น สามารถวัดและจำแนกค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของตัวอย่างน้ำผึ้งที่มีการเจือปนด้วยน้ำ 0-20 % โดยน้ำหนัก ในช่วงความถี่ 0.5-3.0 กิกะเฮิรตซ์ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสได้

ส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของตัวอย่างน้ำผึ้งที่มีการเจือปนด้วยน้ำมีความแตกต่างกันไม่มากนักเมื่อมีการเจือปน 0-20 % ตลอดช่วงความถี่ 0.5-3.0 กิกะเฮิรตซ์ เฮิรตซ์ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 6.5 และ 15 ซึ่งแตกต่างกันมากที่สุด ณ ความถี่ 3.0 กิกะเฮิรตซ์

ส่วนจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของตัวอย่างน้ำผึ้งที่มีการเจือปนด้วยน้ำมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญตลอดช่วงความถี่ 0.5-3.0 กิกะเฮิรตซ์ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 10 และ 45 ซึ่งแตกต่างกันมากที่สุด นอกจากนั้น ณ ความถี่ 0.5 กิกะเฮิรตซ์ มีความเหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้ในการตรวจสอบการเจือปนของน้ำในน้ำผึ้ง เนื่องจากมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าส่วนจริงต่อเปอร์เซ็นต์ของน้ำที่เจือปนในน้ำผึ้งสูงที่สุด คือ 1.25 ต่อ 1 เปอร์เซ็นต์

จากงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า เซอร์คิวทิวเก็บประจุไฟฟ้าแกนร่วมที่ถูกออกแบบนี้ สามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบการเจือปนของน้ำในน้ำผึ้งได้ และมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการตรวจสอบสารอื่นๆ ได้ด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยประเภทหน่วยปฏิบัติการวิจัยจากมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ประจำปีงบประมาณ 2557 และขอขอบคุณหน่วยปฏิบัติการวิจัยแม่เหล็กไฟฟ้า

เชิงคำนวณและระบบเชิงแสง (Research Unit for Computational Electromagnetics and Optical Systems, CEMOS) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านการวิจัยและเครื่องมืออุปกรณ์

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ. *ชีววิทยาของผึ้ง*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ต้นอ้อ,(2532).
- [2] H. Wang, "Honey quality inspection and adulteration identification," *Food and Nutrition in China*, vol. 5, pp. 57-60, 2007.
- [3] C. Perez-Arquillue, P. Conchello, A. Arino, T. Juan, and A. Herresa, "Quality, evaluation of spanish rosemary honey," *Food Chemistry*, vol. 51(2), pp. 207–210, 1994.
- [4] I. Turhan, N. Tetik, M. Karhan, F. Gurel, and H. Tavukcuoglu, "Quality of honeys influenced by thermal treatment," *LWT-Food Science and Technology*, vol. 41(8), pp. 1396–1399, 2008.
- [5] วิทวัส พลหาญ. *ลักษณะเฉพาะทางการนำไฟฟ้าและการส่งผ่านเชิงแสงของน้ำผึ้ง*. วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, (2546).
- [6] E. Diacu, and E. Tantaveanu, "Determination of moisture content and its correlation with other parameters in honey quality control," *Revista de Chimie*, vol. 58(12), pp. 1311-1312, 2007.
- [7] J. Vorlíček, L. Oppl, and J. Vrba, "Measurement of complex permittivity of biological tissues," *Proceeding of Progress in Electromagnetic Research Symposium*, 2010, Cambridge, USA, pp. 599-601, 2010.
- [8] V. Komarov, S. Wang, and J. Tang, "Permittivity and measurement," In K. Chang (eds.), *The Wiley Encyclopedia of RF and Microwave Engineering*, John Wiley & Sons, New York, 4th Ed., pp. 3693-3711, 2005.
- [9] Agilent, "Basics of Measuring the Dielectric Properties of Materials: Application note," (2005). Agilent Technologies, USA. [Online] Available:<http://www3.imperial.ac.uk/pls/portal/live/docs/1/11949698.PDF>
- [10] W. Guo, S. Nelson, S. Trabelsi, and S. Kays, "10-1800 MHz dielectric properties of fresh apples during storage," *Journal of Food Engineering*, vol. 83(4), pp. 562-569, 2007.
- [11] F. Wee, P. Soh, A. Suhaizal, H. Normikman, and A. Ezanuddin, "Free space measurement technique on dielectric properties of agricultural residues at microwave frequencies," *IEEE MTT-S International Microwave & Optoelectronics Conference*, 2009, Belem, pp. 183-187, 2009.
- [12] L. Ragni, C. Cevoli, and A. Berardinelli, "A waveguide technique for non-destructive determination of egg quality parameters," *Journal of Food Engineering*, vol. 100(2), pp. 343-348, 2010.
- [13] W. Guo, S. Nelson, S. Trabelsi, and S. Kays, "Dielectric properties of Honeydew melons and correlation with quality," *Journal of Microwave Power & Electromagnetic Energy*, vol. 41(2), pp. 48-58, 2007.

- [14] A. Munir, A. Prasetiadi, and M. Effendi, "Cavity reflection -transmission - perturbation method for foliage relative permittivity measurement," *IEEE International Symposium on Radio - Frequency Integration Technology (RFIT)*, 2012, Singapore, pp. 213-215, 2012.
- [15] R. Vijay, R. Jain, and K.Sharma, "Frequency and temperature dependence of dielectric properties of fresh potato juice at microwave frequencies," *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAEM)*, vol. 2(11), pp. 355-358, 2013.
- [16] ประกาศของกระทรวงสาธารณสุข. *คุณภาพหรือมาตรฐานของน้ำผึ้ง*, ฉบับที่ 211. กระทรวงสาธารณสุข, (2543).
- [17] M. Venkatesh, and G. Raghavan, "An overview of dielectric properties measuring techniques," *Canadian Biosystems Engineering*, vol. 47(7), pp. 15-30, 2005.
- [18] S. Seewattanapon, and P. Akkaraekthalin, "A broadband complex permittivity probe using stepped coaxial line," *Journal of Electromagnetic Analysis and Applications*, vol. 3(8), pp. 312-318, 2011.
- [19] N. Angkawisittpan and T. Manasri, "Determination of sugar content in sugar solutions using interdigital capacitor sensor," *Measurement Science Review*, vol. 12(1), pp. 8-13, 2012.