

■ Research Article



การประยุกต์ใช้กำลังคลื่นส่งผ่านย่านความถี่เอ็กซ์เพื่อตรวจสอบการปลอมปนของน้ำผึ้งโดยไม่สัมผัส

Application of transmitted power in x-band frequency for non-contact adulterate honey detection

วรรัตน์ แก้วหลอด, ศรันย์ อันเงิน, ชุตินณท์ สิงห์แก้ว, พรพิมล ฉายแสง, และ ประพันธ์ ลีกุล

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี, 41 หมู่ 5 ตำบลท่าช้าง อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี 22000

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการตรวจสอบน้ำผึ้งปลอมปนโดยใช้กำลังคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่งผ่านที่ความถี่ 10.525 GHz ด้วยสายอากาศไมโครสตริป 2 ตัว แบ่งออกเป็นภาคส่งและภาครับ ทำงานร่วมกับเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย เริ่มจากการหาความถี่ที่เหมาะสมด้วยการวัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของน้ำผึ้งในช่วงความถี่ 0.2 ถึง 18 GHz นำค่าที่ได้มาจำลองการตรวจวัดน้ำผึ้งด้วยโปรแกรมทางด้านแม่เหล็กไฟฟ้า โดยกำหนดเงื่อนไขน้ำผึ้งที่มีการปลอมปนด้วยน้ำตั้งแต่ร้อยละ 10 ถึง 70 ได้ค่ากำลังงานการส่งผ่าน $|S_{21}|$ จากการจำลองอยู่ที่ -33.02 -35.26 ถึง -48.73 เดซิเบล กำลังงานการส่งผ่านตอบสนองอย่างชัดเจนต่อการปลอมปนของน้ำผึ้ง จากนั้นสร้างสายอากาศไมโครสตริปด้วยแผ่นวงจรพิมพ์ FR-4 แล้วทดสอบระบบตรวจสอบน้ำผึ้งปลอมปนด้วยสายอากาศต้นแบบ สายอากาศส่งต่อเข้ากับพอร์ตที่ 1 ของเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์และสายอากาศรับต่อเข้ากับพอร์ตที่ 2 ตรวจวัดน้ำผึ้งปลอมปนที่มีปริมาณ 200 มิลลิลิตร ทั้งหมด 7 ระดับ ค่า $|S_{21}|$ ที่ระดับการปลอมปนร้อยละ 10 ค่าที่ได้อยู่ที่ -31.91 เดซิเบล เมื่อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 20 อยู่ที่ -33.37 เดซิเบล และค่า $|S_{21}|$ ลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อการปลอมปนเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 30 40 ถึง 70 ค่า $|S_{21}|$ อยู่ที่ -38.9 -43.1 ถึง -58.3 เดซิเบล ตามลำดับ กำลังงานการส่งผ่าน $|S_{21}|$ ที่เปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนต่อระดับการปลอมปนของน้ำผึ้ง แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการตรวจสอบน้ำผึ้งปลอมปนจากการส่งผ่านกำลังงานความถี่ด้วยสายอากาศไมโครสตริป

คำสำคัญ: น้ำผึ้ง, คุณสมบัติไดอิเล็กตริก, สายอากาศไมโครสตริป, การส่งผ่านคลื่นความถี่ไมโครเวฟ

Received:

26 April 2024

Revised:

6 December 2024

Accepted:

25 December 2024

Published:

27 December 2024

*Corresponding

Author:

prapan.l@rbru.ac.th

Copyright:

© Rajamangala

University of

Technology Lanna.

All right reserved

ISSN

Print: 2586-8500

Electronic: 2586-8632

Abstract

This paper presents adulterate honey detection using transmitted power of electromagnetic wave at the frequency of 10.525 GHz via two microstrip antennas: a transmitting antenna and a receiving antenna combined with a network analyzer. Initially, an appropriate frequency was carried out by measuring the dielectric properties of honey in the frequency range of 0.2 to 18 GHz. Then, the measured data was used in a commercial electromagnetic waves simulation by assuming the condition of adulterate honey with water ranging from 10% to 70%. The simulated results showed that the transmitted power $|S_{21}|$ were -33.02 –35.26 to -48.73 dB, respectively that they clearly responded to the adulterate honey. Next, two microstrip antennas were fabricated on a double side FR-4 printed circuit boards. To validate the adulterate honey, the experiment was set up by connecting the transmitting antenna to port 1 of the vector network analyzer while the receiving antenna was connected to port 2 to measures a volume of 200 ml adulterated honey with 7 levels of honey and water mixture. The measured $|S_{21}|$ at an adulteration level of 10 percent was -31.91 dB and it was -33.37 in case the adulteration level increased to 20 percent. However, the measured $|S_{21}|$ continually decreased as the adulteration level increased from 30 40 to 70 percent which were -38.9 -43.1 to -58.3 dB, respectively. It can be obviously seen that the $|S_{21}|$ changes related to the level of adulterate honey. Consequently, it effectively detects adulterate honey by using the transmitted power at x-band frequency via microstrip antennas.

Keywords: Honey, Dielectric properties, Microstrip antenna, Microwave transmission

1. บทนำ

น้ำผึ้งเป็นสารให้ความหวานที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ประกอบด้วยสารอาหารมากกว่า 180 ชนิด ได้แก่ ฟรุกโตส กลูโคส น้ำ รวมถึงมีวิตามิน แร่ธาตุ และไฟโตเคมิคอล [1] มีสรรพคุณบรรเทาหรือรักษาโรค [2] เช่น โรคกระเพาะ ผื่นคันไหม้ และแผลในกระเพาะอาหาร [3] สามารถต้านอนุมูลอิสระ ต้านการอักเสบ ต้านเชื้อแบคทีเรีย ลดความดันโลหิต และลดน้ำตาลในเลือด [4] ด้วยประโยชน์เหล่านี้จึงทำให้น้ำผึ้งราคาสูง และมีแนวโน้มการบริโภคสูงขึ้น ประเทศไทยสามารถผลิตน้ำผึ้งเป็นอันดับ 2 ของอาเซียน สามารถผลิตได้ 10 ตัน เป็นมูลค่าถึง 616.59 ล้านบาท และมีการส่งออกไปยังต่างประเทศ [5] ปัจจุบันมีผู้ลักลอบผลิตน้ำผึ้งที่ปลอมปนด้วยสารชนิดอื่นจำหน่ายเป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค การเพิ่มสารปลอมปนในน้ำผึ้งมีหลายวิธี เช่น การปลอมปนของน้ำผึ้งโดยการเติมน้ำเชื่อมซูโครส น้ำเชื่อมมอลโตส การเติมน้ำตาลอุตสาหกรรม เพื่อเพิ่มความหนืดและคงรูป และการปลอมปนด้วยน้ำเพื่อลดต้นทุน การบริโภคน้ำผึ้งปลอมปนอาจทำให้เกิดอันตรายต่อร่างกายและหัวใจ เนื่องจากทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มสูงขึ้น นำไปสู่โรคเบาหวาน น้ำหนักในช่องท้องเพิ่มขึ้นเกิดโรคอ้วน ไชมันในเลือดสูงทำให้เกิดความดันโลหิตสูง นอกจากนี้ น้ำผึ้งที่มีปริมาณน้ำสูง ความเข้มข้นต่ำ และมีค่าความนำไฟฟ้าสูง จะเกิดกระบวนการหมักได้ง่าย ทำให้การคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของน้ำผึ้งลดลง [6] ทั้งนี้การผลิตน้ำผึ้งปลอมยังมีความผิดตามพระราชบัญญัติ อาหาร มีโทษทั้งจำคุกและเสียค่าปรับ [7] ดังนั้นการตรวจสอบคุณภาพน้ำผึ้งจึงเป็นเรื่องที่ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายจากนักวิจัย

การสังเกตน้ำผึ้งปลอมจากลักษณะภายนอกทำได้ยาก เนื่องจากต้องอาศัยความเชี่ยวชาญ การตรวจสอบน้ำผึ้งปลอมวิธีโดยทั่วไปใช้ตัวบ่งชี้เกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีกายภาพ เช่น สี ความหนาแน่น และดัชนีการหักเหของแสง [8] ซึ่งวิธีเหล่านี้อาจให้ผลที่ไม่แน่นอน วิธีการตรวจสอบทางเคมีที่ให้ความแม่นยำสูง ได้แก่ วิธีแยกสารเนื้อเดียว เนื้อผสมด้วยโครมาโทกราฟี [9] และวิธีตรวจสอบความบริสุทธิ์ของสาร ซึ่งทั้ง 2 วิธี มีความซับซ้อน ใช้เวลานาน ไม่สามารถแสดงผลได้ทันที และเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบมีราคาสูง เทคนิคแมสสเปกโทรเมตรีเป็นการตรวจสอบปริมาณสารโดยใช้หลักการแยกมวลต่อประจุ วิธีการนี้ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของสารที่นำมาทดสอบต้องเป็นไอออนในสถานะแก๊สและวิเคราะห์ในระบบสุญญากาศ รวมถึงไม่สามารถแสดงผลได้ทันทีเช่นเดียวกัน เทคนิคการวัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุย่านความถี่ไมโครเวฟเพื่อนำมาวิเคราะห์การปลอมปนในน้ำผึ้งเป็นเทคนิคที่ถูกนำเสนออย่างแพร่หลาย ข้อดีของวิธีนี้คือสามารถแสดงผลการวัดได้ทันที น้ำผึ้งที่มีปริมาณน้ำปลอมปนมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกเพิ่มขึ้น [10] ดังนั้นคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของน้ำผึ้งถูกนำมาใช้เพื่อตรวจสอบการปลอมปนของน้ำในน้ำผึ้งอย่างแพร่หลาย ทั้งการวัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริกโดยตรงด้วยโพรบโคแอกเซียล [11] ซึ่งมีความแม่นยำ แต่เครื่องมือวัดเฉพาะด้านมีราคาสูง ดังนั้นเพื่อให้ระบบการตรวจสอบมีต้นทุนต่ำจึงมีการนำเสนอวิธีการวัดพารามิเตอร์อื่นและนำมาคำนวณคุณสมบัติไดอิเล็กตริก เช่น การวัดค่าอิมพีแดนซ์ของน้ำผึ้งที่ปลอมปนด้วยน้ำจากนั้นคำนวณค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์และสัมประสิทธิ์การสูญเสียไดอิเล็กตริก ที่ความถี่ต่ำและประมวลผลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมในการตรวจสอบปริมาณน้ำในน้ำผึ้งตั้งแต่ร้อยละ 0 ถึง 20 [12] หรือเทคนิคออกแบบเซนเซอร์ตัวเก็บประจุเพื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ความถี่ 0.5-3 กิกะเฮิรตซ์ จากนั้นนำมาวิเคราะห์ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ของน้ำผึ้งที่ปลอมปนด้วยน้ำตั้งแต่ร้อยละ 0 ถึง 20 ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ [13] เซนเซอร์ตัวเก็บประจุที่ออกแบบมีราคาต่ำ แต่การใช้งานต้องสัมผัสกับน้ำผึ้งตัวอย่าง เทคนิคการวัดด้วยสายส่งย่าน

ไมโครเวฟเพื่อวัดพารามิเตอร์ S ของน้ำผึ้งที่ปลอมปนน้ำร้อยละ 0 ถึง 50 และนำมาคำนวณค่าสภาพยอมไฟฟ้า [14] เทคนิคนี้ยังคงเป็นแบบสัมผัสเนื่องจากน้ำผึ้งตัวอย่างที่นำมาวัดต้องบรรจุภายในท่อนำคลื่น

บทความนี้จึงนำเสนอการตรวจสอบการปลอมปนของน้ำผึ้งแบบไม่สัมผัสด้วยการวัดการส่งผ่านคลื่นความถี่โดยใช้สายอากาศส่งและสายอากาศรับ ซึ่งเป็นการตรวจสอบวัสดุที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันแบบไม่สัมผัสที่ถูกนำเสนอไว้ [15-16] โดยติดตั้งอยู่ด้านนอกภาชนะบรรจุน้ำผึ้งตัวอย่าง โดยคลื่นกำลังงานของคลื่นส่งผ่านแปรผันกับคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของน้ำผึ้งนอกจากนี้การเทคนิคการวัดคลื่นส่งผ่านมีความซับซ้อนต่ำและได้ผลทดสอบทันที เหมาะสำหรับนำไปประยุกต์สร้างเป็นระบบจริง ในส่วนที่สองของบทความนี้ได้นำเสนอทฤษฎีเกี่ยวกับคุณสมบัติไดอิเล็กตริกและการออกแบบสายอากาศไมโครสตริป ส่วนที่สามเสนอวิธีการวัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริก วิธีการออกแบบสายอากาศ และจำลองระบบการทำงานของระบบด้วยโปรแกรมจำลองค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ส่วนที่สี่แสดงผลที่ได้จากการวิจัย และส่วนที่ห้าสรุปท้ายเป็นการสรุปและอภิปรายผลการวิจัย

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อตรวจวัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของน้ำผึ้งที่ปลอมปนด้วยน้ำ
2. เพื่อวิเคราะห์และตรวจสอบการปลอมปนของน้ำผึ้งด้วยค่ากำลังงานการส่งผ่าน $|S_{21}|$

3. แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1 คุณสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุ

คุณสมบัติไดอิเล็กตริกของน้ำผึ้งที่นำมาศึกษาประกอบด้วย ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric constant: ϵ') และตัวประกอบการสูญเสียค่าไดอิเล็กตริก (Dielectric loss factor: ϵ'') ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุที่บ่งบอกถึงความมีขั้ว (Polarity) ของวัสดุ [17] ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการกักเก็บพลังงานไฟฟ้า และตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ตัวประกอบการสูญเสียค่าไดอิเล็กตริกเป็นค่าที่แสดงถึงค่าการสูญเสียของวัสดุ การเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน และความเป็นฉนวนไฟฟ้าของวัสดุ คุณสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน โดยค่ากำลังงานการส่งผ่านของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปตามสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน T ซึ่งแปรผันตามค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ (ϵ_r) ดังสมการที่ (1)

$$T = 1 + \frac{1 - \sqrt{\epsilon_r}}{1 + \sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

น้ำผึ้งปลอมปนเป็นสารที่เกิดจากการผสมระหว่างน้ำผึ้งแท้กับสารอื่น จึงมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ ϵ_r แตกต่างจากน้ำผึ้งแท้ ทำให้สัมประสิทธิ์การส่งผ่านมีค่าแตกต่างกัน ดังนั้นมีความเป็นไปได้ในการวิเคราะห์เพื่อแยกน้ำผึ้งแท้กับน้ำผึ้งที่มีการปลอมปนจากการเปรียบเทียบกำลังงานคลื่นส่งผ่าน ซึ่งแปรผันตามคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของน้ำผึ้ง

2 พื้นฐานการออกแบบสายอากาศ

สายอากาศไมโครสตริปเป็นสายอากาศที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในย่านไมโครเวฟ เนื่องจากน้ำหนักเบา ขนาดกะทัดรัด มีลักษณะแบนราบเหมาะกับการติดตั้งเข้ากับ

ระบบตรวจวัด และใช้ร่วมกับวงจรรวมไมโครเวฟ สายอากาศไมโครสตริป ประกอบด้วย ส่วนแพร่กระจายคลื่นที่เป็นตัวนำไฟฟ้าและมีหลายรูปทรง เช่น สี่เหลี่ยมมุมฉาก สามเหลี่ยม วงกลม วงแหวน และส่วนที่ 2 คือ วัสดุฐานรอง (Substrate) ซึ่งเป็นวัสดุไดอิเล็กตริก [18] และสายอากาศแต่ละรูปทรงมีคุณสมบัติต่างกัน การคำนวณเพื่อออกแบบความกว้างของสายอากาศไมโครสตริปรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า W_p สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2) [19]

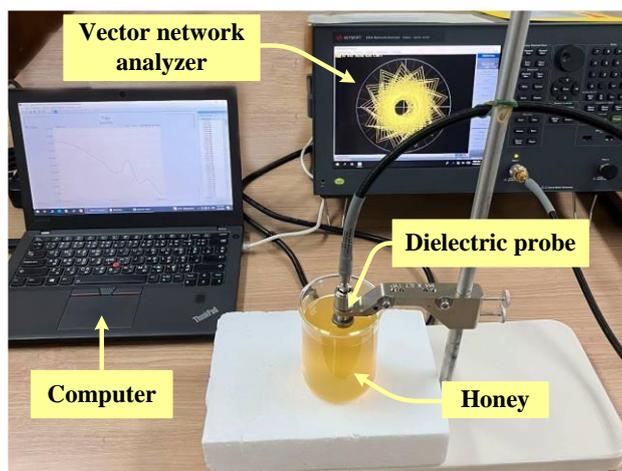
$$W_p = \frac{c}{2f_c} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (2)$$

โดย ϵ_r คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรอง c คือ ความเร็วแสง และ f_c คือ ความถี่กลางของสายอากาศ เห็นได้ว่าขนาดของส่วนแพร่กระจายคลื่นมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นที่ความถี่ทำงานของสายอากาศ

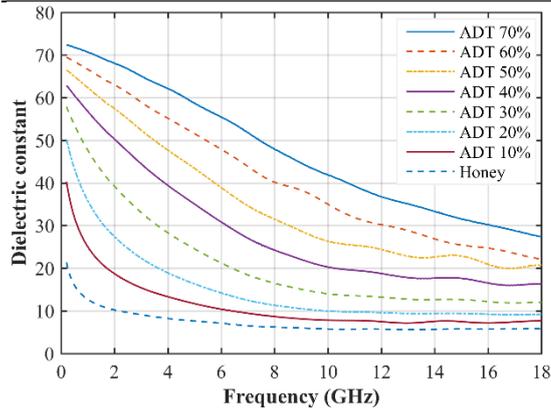
4. วิธีดำเนินการวิจัย

1 คุณสมบัติไดอิเล็กตริกของน้ำผึ้ง

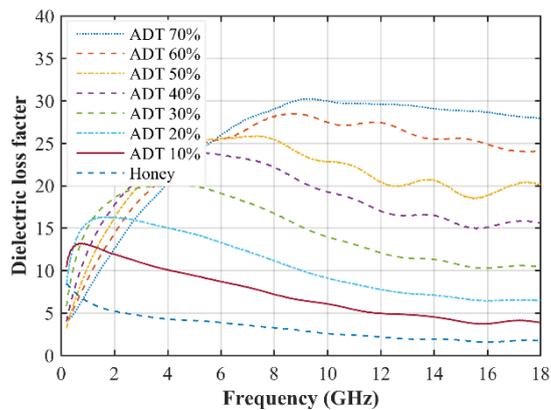
ผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งแท้จากท้องตลาดถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติไดอิเล็กตริกด้วยเทคนิคโพรมิโอดอกซ์ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถวัดได้ในช่วงความถี่กว้าง [20-21] น้ำผึ้งได้รับการจัดเตรียมทั้งหมด 7 ตัวอย่าง น้ำผึ้งได้รับการปลอมปน (Adulterated honey: ADT.) ด้วยน้ำบริสุทธิ์ตามอัตราส่วนตั้งแต่ร้อยละ 10 ถึง 70 การตรวจวัดใช้โพรมิโอดอกซ์ (Dielectric probe) รุ่น N1501A เครื่องมือได้รับการปรับเทียบเพื่อให้มีความแม่นยำทั้งหมด 3 ขั้นตอน 1) การวัดแบบเปิดวงจรถ้วยอากาศ 2) การวัดแบบลัดวงจรถ้วยกล่องลัดวงจรถ และ 3) การวัดโหลดด้วยน้ำเปล่า จากนั้นจึงตรวจวัด น้ำผึ้งตัวอย่างที่ได้รับการบรรจุอยู่ในภาชนะบีกเกอร์ขนาด 200 มิลลิลิตร และทำในห้องปฏิบัติการที่ถูกควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 1 น้ำผึ้งตัวอย่างได้รับการตรวจวัดในช่วงความถี่ 0.2 ถึง 18 กิกะเฮิรตซ์ ประกอบด้วยค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ_r') และค่าตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริก (ϵ_r'') เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นค่า ϵ_r' ของน้ำผึ้งทั้ง 7 ตัวอย่าง ลดลงไปในทิศทางเดียวกัน เมื่อสังเกตที่แต่ละความถี่เห็นได้ว่า



รูปที่ 1 ตรวจวัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริกน้ำผึ้ง



รูปที่ 2 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก

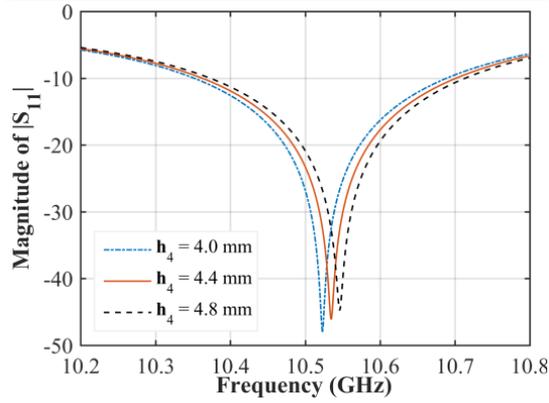


รูปที่ 3 ค่าตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริก

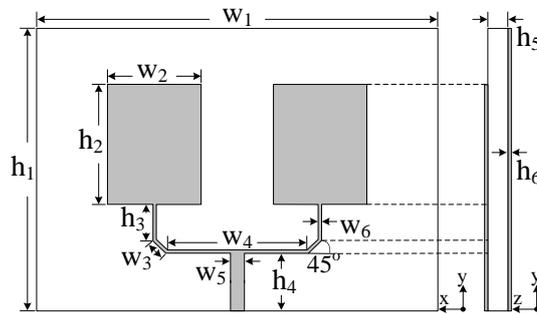
ค่า ϵ_r' เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณการปลอมปนสูงขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2 การปลอมปนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า ϵ_r'' ที่ความถี่มากกว่า 10 กิกะเฮิรตซ์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับ ϵ_r' ดังแสดงในรูปที่ 3 ค่า ϵ_r' ที่ต่างกันของน้ำผึ้งในแต่ละระดับการปลอมปนของแต่ละความถี่ แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการตรวจจับน้ำผึ้งปลอมจากกำลังงานการส่งผ่าน เนื่องจาก ϵ_r' ที่ต่างกันส่งผลต่อคลื่นเมื่อเดินทางผ่านตัวกลางดังกล่าว เพื่อแสดงให้เห็นถึงความชัดเจน ข้อมูล ϵ_r' จึงถูกนำมาใช้ในโมเดลน้ำผึ้ง เพื่อจำลองและวิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของกำลังงานการส่งผ่านต่อน้ำผึ้งปลอมปน

2 การออกแบบสายอากาศ

ค่า ϵ_r จากการวัดถูกใช้เป็นคุณสมบัติทางไฟฟ้าของโมเดลน้ำผึ้งและถูกใช้สำหรับการจำลองระบบ โดยระบบประยุกต์ใช้สายอากาศในการรับส่งกำลังงานความถี่สายอากาศได้รับการวิเคราะห์โครงสร้าง เพื่อให้ทำงานที่ความถี่ 10.525 กิกะเฮิรตซ์ เนื่องจากที่ความถี่ดังกล่าวคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของน้ำผึ้งในแต่ละระดับการปลอมปนต่างกันชัดเจน สายอากาศไมโครสตริปถูกนำมาใช้ เนื่องจากมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา โครงสร้างไม่ซับซ้อนและติดตั้งเข้ากับระบบได้ง่าย ขนาดของสายอากาศถูกคำนวณและปรับโครงสร้างด้วยโปรแกรมจำลองค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (CST Studio Suite) คุณสมบัติของแผ่นวงจรพิมพ์ 2 หน้า ชนิด FR4 ถูกนำมาใช้ในการจำลองสายอากาศ การปรับขนาดของตัวนำ (w_2) เพื่อให้ได้ช่วงความถี่ที่เหมาะสม



รูปที่ 4 ค่าพารามิเตอร์ $|S_{11}|$ ของสายอากาศ



รูปที่ 5 โครงสร้างของสายอากาศ

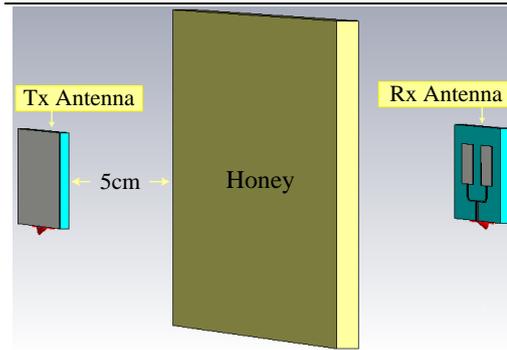
ตารางที่ 1 ขนาดของสายอากาศ (มิลลิเมตร)

ตัวแปร	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6
ขนาด	31.0	7.2	1.3	11	3.3	0.6	22	9.3	2.8	4.4	2	0.2

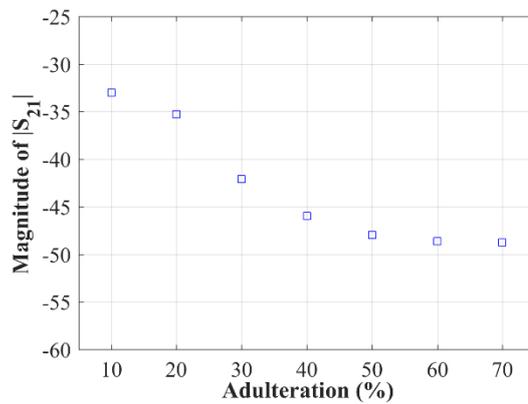
จากนั้นระยะจุดป้อนสัญญาณ (h_4) โดยปรับในช่วง 4.0 4.4 ถึง 4.8 มิลลิเมตร และระยะที่เหมาะสม คือ 4.4 มิลลิเมตร ให้ค่า $|S_{11}|$ ต่ำกว่า -30 เดซิเบล ที่ความถี่ 10.525 กิโลเฮิร์ตซ์ แสดงดังรูปที่ 4 โครงสร้างและขนาดที่เหมาะสมของสายอากาศที่ทำงานได้ดีที่ความถี่ 10.525 กิโลเฮิร์ตซ์ ที่ได้จากการออกแบบแสดงดังรูปที่ 5 และในตารางที่ 1

3. การจำลองการทำงานของระบบ

สายอากาศถูกใช้ในการจำลองการตรวจวัดโมเดลน้ำผึ้ง ระบบประกอบด้วยสายอากาศส่งและรับ โดยมีโมเดลน้ำผึ้งอยู่ตรงกลางขนาด 80x150x10 มิลลิเมตร จำลองระบบและวิเคราะห์ค่า $|S_{21}|$ เทียบกับระดับการปลอมปนของน้ำผึ้ง แสดงดังรูปที่ 6 จำลองการตรวจวัดที่ความถี่ 10.525 กิโลเฮิร์ตซ์ โมเดลน้ำผึ้งได้รับการปรับค่า ϵ_r' และ ϵ_r'' ตามระดับการปลอมปนร้อยละ 10 ถึง 70 ค่ากำลังงานการส่งผ่าน $|S_{21}|$ ที่ได้จากการตรวจวัดทั้งหมด 7 ตัวอย่าง อยู่ในช่วง 33.02 -35.26 ถึง -48.73 เดซิเบล ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 6 จำลองการตรวจวัดน้ำผึ้งปลอมปน

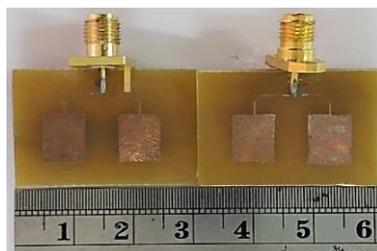


รูปที่ 7 ค่า $|S_{21}|$ ที่มีผลต่อน้ำผึ้งปลอมปน

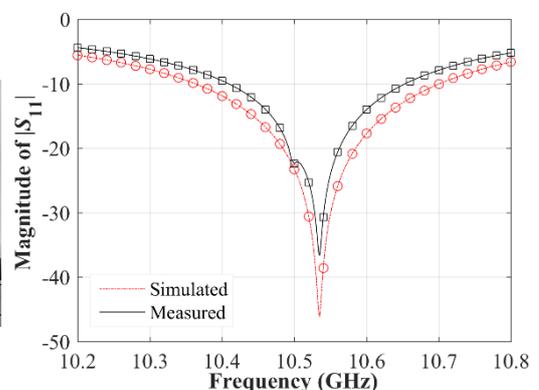
การจำลองการตรวจวัดน้ำผึ้งด้วยสายอากาศ แสดงให้เห็นว่า เมื่อระดับการปลอมปนสูงขึ้น ส่งผลให้ค่ากำลังงานการส่งผ่านลดลงอย่างชัดเจน ดังนั้นสายอากาศไมโครสตริปจึงได้รับการพัฒนาและประยุกต์ใช้งาน

4 การทดสอบสายอากาศ

สายอากาศได้รับการพัฒนามบนแผ่นวงจรพิมพ์ 2 หน้า ชนิด Glass Epoxy FR4 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรอง 4.1 สูง 0.2 มิลลิเมตร ขนาด กว้างxยาวxสูง อยู่ที่ 22x31x2 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 สายอากาศไมโครสตริปต้นแบบ

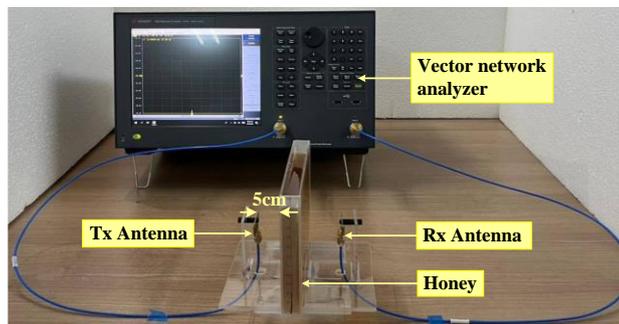


รูปที่ 9 ค่า $|S_{11}|$ ของผลการจำลองเทียบกับผลการวัดจริง

สายอากาศได้รับการทดสอบประสิทธิภาพด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Vector network analyzer: VNA) และให้ค่า $|S_{11}|$ ต่ำกว่า -30 เดซิเบล ที่ความถี่ 10.525 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 9 จากผลการทดสอบ แสดงให้เห็นว่าสายอากาศต้นแบบทำงานได้ดีที่ความถี่ 10.525 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งเหมาะสำหรับการนำไปใช้ในการตรวจสอบคุณภาพน้ำผึ้ง

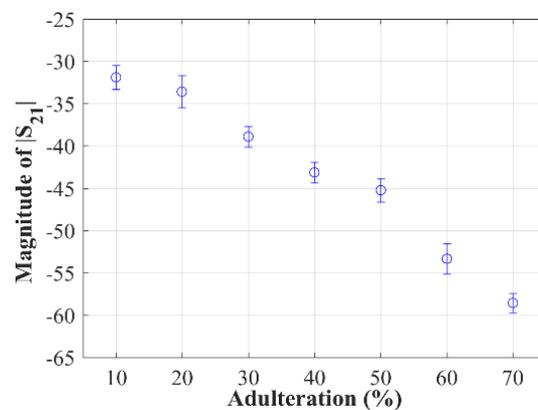
5. ผลการวิจัย

ระบบตรวจวัดประกอบด้วยสายอากาศไมโครสตริป 2 ตัว สายอากาศส่งต่อเข้ากับพอร์ตที่ 1 ของเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ สายอากาศรับต่อกับพอร์ตที่ 2 ภาชนะบรรจุน้ำผึ้งอยู่ตรงกลางและห่างจากสายอากาศส่งและรับ 5 เซนติเมตร ภาชนะบรรจุสร้างจากอะคริลิกขนาด 2.2x12.5x16 เซนติเมตร ระบบการวัดแสดงดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 การทดสอบระบบ

ทดสอบตรวจวัดกำลังงานการส่งผ่าน $|S_{21}|$ ที่ความถี่ 10.525 กิกะเฮิรตซ์ โดยส่งผ่านน้ำผึ้งปลอมปนทั้งหมด 7 ตัวอย่าง และวิเคราะห์ $|S_{21}|$ ที่ระดับการปลอมปนร้อยละ 10 ให้ค่า $|S_{21}|$ อยู่ที่ -31.91 เดซิเบล เมื่อการปลอมปนเพิ่มเป็นร้อยละ 20 ค่า $|S_{21}|$ ลดลงมาอยู่ที่ -33.37 เดซิเบล และที่การปลอมปนร้อยละ 30 40 ถึง 70 ค่า $|S_{21}|$ ลดลงอย่างต่อเนื่องอยู่ที่ -38.9 -43.1 ถึง -58.3 เดซิเบล ตามลำดับ ระดับการปลอมปนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า $|S_{21}|$ ลดลงอย่างชัดเจนเนื่องจากระดับการปลอมปนที่เพิ่มขึ้น ค่าคงที่ไดโพลีทริกและตัวประกอบการสูญเสียไดโพลีทริกของน้ำผึ้งเพิ่มขึ้น ดังนั้นสัมประสิทธิ์การส่งผ่านลดลงสอดคล้องกับสมการที่ (1) ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 ค่า $|S_{21}|$ ต่อระดับการปลอมปน

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า $|S_{21}|$ ตอบสนองต่อการปลอมปนและการเปลี่ยนแปลงของ ϵ_r อย่างชัดเจน สังเกตได้จากที่ความถี่ 10.525 GHz เฮิร์ตซ์ ค่า ϵ_r' ของน้ำผึ้งและน้ำ มีค่าอยู่ที่ 5.62 และ 78.42 ดังนั้นเมื่อน้ำผึ้งถูกปลอมปนด้วยน้ำส่งผลให้ค่า ϵ_r' ของน้ำผึ้งปลอมปนมากกว่าน้ำผึ้งบริสุทธิ์และมีผลต่อค่ากำลังงานการส่งผ่าน

6. อภิปรายผล

น้ำผึ้งปลอมปนมีคุณสมบัติไดอิเล็กตริกแตกต่างกับน้ำผึ้งแท้สอดคล้องกับ [10] ซึ่งน้ำผึ้งที่มีระดับการปลอมปนด้วยน้ำสูง มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูงกว่าน้ำผึ้งที่ระดับการปลอมปนด้วยน้ำต่ำ ดังนั้นการประยุกต์ใช้สายอากาศไมโครสตริปแพทช์เพื่อตรวจสอบการปลอมปนของน้ำผึ้ง โดยการใช้การส่งผ่านกำลังงานความถี่ที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งาน ซึ่งวิธีการที่นำเสนอสามารถแสดงผลการวัดได้ทันทีที่ต่างจากวิธีการวัดทางเคมี [9] เป็นระบบการวัดแบบไม่สัมผัสกับน้ำผึ้งแตกต่างจากงาน [13-14] รวมถึงมีความแม่นยำและมีความซับซ้อนต่ำ สามารถนำไปประยุกต์สร้างเป็นระบบจริงเพื่อใช้งานในกระบวนการตรวจสอบน้ำผึ้ง

7. บทสรุป

การประยุกต์ใช้สายอากาศไมโครสตริปแพทช์ในการตรวจสอบการปลอมปนของน้ำผึ้งด้วยการส่งผ่านกำลังงานความถี่ เริ่มด้วยการวิเคราะห์คุณสมบัติไดอิเล็กตริกของน้ำผึ้งที่มีการปลอมปนทั้งหมด 7 ระดับ ในช่วงความถี่ 0.2 ถึง 18 GHz เฮิร์ตซ์ และที่ความถี่ 10.525 GHz เฮิร์ตซ์ คุณสมบัติไดอิเล็กตริกในแต่ละระดับการปลอมปนแตกต่างกันชัดเจน จำลองการตรวจวัดน้ำผึ้งด้วยการปรับคุณสมบัติไดอิเล็กตริกตามระดับการปลอมปนตั้งแต่ร้อยละ 10 ถึง 70 ผลการทดสอบให้ค่ากำลังงานการส่งผ่าน $|S_{21}|$ อยู่ที่ -33.02 ถึง -48.73 เดซิเบล จากการตอบสนองที่ชัดเจนแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้กำลังงานการส่งผ่าน $|S_{21}|$ ในการตรวจสอบน้ำผึ้งปลอม สายอากาศได้รับการพัฒนาบนแผ่นวงจรพิมพ์ FR4 แบบ 2 หน้า ทั้งหมด 2 ตัว และทำงานที่ความถี่ 10.525 GHz เฮิร์ตซ์ การทดสอบระบบทำโดยต่อสายอากาศส่งเข้ากับพอร์ตที่ 1 ของเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ ต่อสายอากาศรับเข้ากับพอร์ตที่ 2 จากนั้นส่งผ่านกำลังงานความถี่ผ่านน้ำผึ้งที่อยู่ตรงกลางระหว่างสายอากาศทั้งสองทั้งหมด 7 ตัวอย่าง ในช่วงการปลอมปนร้อยละ 10 ถึง 70 ค่ากำลังงานการส่งผ่าน $|S_{21}|$ อยู่ที่ -31.91 ถึง -58.3 เดซิเบล ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเมื่อระดับการปลอมปนเพิ่มขึ้นส่งผลโดยตรงต่อค่ากำลังงานการส่งผ่าน $|S_{21}|$ ที่ลดลง

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] H. T. L. Nguyen, N. Panyoyai, S. Kasapis, E. Pang, and N. Mantri, "Honey and its role in relieving multiple facets of atherosclerosis," *Nutrients*, vol. 11, no. 67, pp. 1-22, 2019.
- [2] A. Maric, P. Jovanov, M. Sakac, A. Novakovic, M. Hadnađev, L. Pezo, A. Mandic, N. Milicevic, A. Đurović and S. Gadžuric', "A comprehensive study of parameters correlated with honey health benefits," *Royal Society Chemistry Advance*, vol. 11, pp. 12434–12441, 2021.
- [3] Y. Ranneh, A. M. Akim, H. A. Hamid, H. Khazaai, A. Fadel, Z. A. Zakaria, M. Albujja and M. F. A. Bakar, "Honey and its nutritional

- and antiinflammatory value,” *BMC Complementary Medicine and Therapies*, vol. 21, no. 30, pp.1-17, 2021.
- [4] S. Bhat, A. Kudva, V. Bloor, and S. Rs, “Honey- a boon to oral health: a review,” *International Journal of Research and Analytical Reviews (IJRAR)*, vol. 6, no. 2, pp. 847-852, 2019.
- [5] Office of the Secretary, Department of Agriculture Extension. (2020, June 1). DAE analyze the quality of honey and develop processed products to increase competitive potential and prepare to enter the online market [Online] . Available: <https://secreta.doae.go.th/?p=5305>, 18 Dec 2023.
- [6] A. Naila, S. H. Flint, A. Z. Sulaiman, A. Ajit, and Z. Weeds, “Classical and novel approaches to the analysis of honey and detection of adulterants,” *Food Control*, vol. 90, pp. 152-165, 2018.
- [7] Thai Health Promotion Foundation. (2017, June 20) Major arrest of fraud honey mixed with syrup and glucose syrup which has been sold for many years [Online] . Available: <http://www.thaihealthconsumer.org>.
- [8] E. Baglio, “The industry of honey. An introduction,” *Chemistry and Technology of Honey Production*, SpringerLink, pp. 7-8, 2018.
- [9] D. S. Hage, “Contemporary practice in clinical chemistry” Fourth Edition, Lincoln, University of Nebraska, 2019, pp. 135-157.
- [10] A. A. Bakar, M. A. N. Rodzali, R Radzali, A. Idris, and A. R. Razali, “Dielectric properties assessment of honey by using non-destructive dielectric spectroscopy,” *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. 12, no. 1, pp. 189-200, 2022.
- [11] E. M Cheng, K. Y. Lee, S. F. Khor, N. F. Mohd Nasir, C. W. S. R. Mohamad, N. A. Abdul Aziz, E. Z. Mohd Tarmizi, and S. A. Baharuddin, “Microwave dielectric and reflection analysis on Pure and Adulterated Trigona Honey and Honey Gold,” *Radioengineering*, vol. 31, no. 3, pp. 281-294, 2022.
- [12] K. Pentos, and D. Luczycka, “Dielectric properties of honey: the potential sability for quality assessment,” *European Food Research and Technology*, vol. 244, no. 5, pp. 874-880, 2018.
- [13] A. Nuan-on, N. Angkawisittapan, S. Photong, and A. Siritharathivat, “ Detection of water adulteration in honey using coaxial capacitor sensor,” *SWU Engineering journal*, vol. 10, no. 2, pp. 9-18, 2015.
- [14] Z. Li, A. Haigh, C. Soutis, A. Gibson, and R. Sloan, “Evaluation of water content in honey using microwave transmission,” *Journal of Food Engineering*, vol. 125, pp. 113-125, 2017.
- [15] P. Leekul, and P. Chaisaeng, “Non-contact moisture content monitoring of growing media in bonsai pot by using radio wave frequency at 2.5 GHz,” *The Journal of Industrial Technology Suan Sunandha Rajabhat University*, vol.7, no. 1, pp. 21-30, 2019.

- [16] P. Chaisaeng, T. Limpiti, and P. Leekul, "Intelligent sensor system with transmission coefficient in X- band frequency for determining sugar content," *Progress in Electromagnetics Research C*, vol. 135, pp. 157–172, 2023.
- [17] P. Kumar, P. Coronel, J. Simunovic, V. D. Truong, and K. P. Sandeep, "Measurement of dielectric properties of pumpable food materials under static and continuous flow conditions," *Journal of Food Science*, vol. 72, no. 4, pp. 177-183, 2007.
- [18] P. Phonkitiphan, and P. Silapan, "Design and analysis the microstrip antenna fo 2.4 GHz using graphene material," *Master of Engineering (Electrical and Computer Engineering)*, Silpakorn University, Bangkok, 2019.
- [19] C. A. Balanis, "Antenna theory analysis and design," John Wiley & Sons: Canada, 2006.
- [20] P. Chaisaeng, P. Leekul, P. Wongcharoen, and K. Kunsook, "Permittivity measurement of syrup in wideband frequency for simulation of sugar content determination by artificial neural network," *Journal of Industrial Technology I-Tech*, vol. 15, no. 2, pp. 132-142, 2020.
- [21] P. Thanasetwatthana, P. Chaisaeng, and P. Leekul, "Development of regression process for storage time of natural rubber latex classification using microwave frequencies," *The Journal of Industrial Technology Suan Sunandha Rajabhat University*, vol. 10, no. 1, pp. 12-22, 2022