บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีพื้นฐานสำคัญที่จำเป็นต้องศึกษาสำหรับออกแบบวิธีการดำเนินการวิจัย ได้แก่ องค์ประกอบของน้ำผึ้ง คุณสมบัติไดอิเล็กตริก วงจรตรวจจับกำลังงาน ไมโครคอนโทรลเลอร์ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

องค์ประกอบของน้ำผึ้ง

น้ำผึ้ง (Honey) เป็นสารให้ความหวาน (Sweetener) ที่เป็นผลิตผลของน้ำหวานจากดอกไม้และจากแหล่งน้ำหวานอื่น ๆ ที่ผึ้งงานนำมาเก็บสะสมไว้ และผ่านขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพบางประการแล้วสะสมไว้ในรังผึ้ง เมื่อผึ้งงานเก็บน้ำหวานจากดอกไม้ลงสู่กระเพาะน้ำหวาน จะมีเอนไซม์จากต่อมน้ำลายขับออกมาเปลี่ยน หรือเมแทบอไลซ์น้ำตาลกลูโคส (Glucose) และฟรักโทส (Fructose) ให้เป็นอินเวิร์ต (Invert sugar) คือ น้ำตาลลีวูโลส เดกซ์โทรส (Dextrose) และมอลโทส (Maltose) นอกจากนั้นยังมีน้ำตาลอื่น ๆ อีก แต่มีจำนวนน้อยมาก

ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นตั้งแต่ผึ้งเริ่มบินกลับรัง ในขณะที่ผึ้งกระพือปีกจะเกิดพลังงานความร้อนช่วยเร่งการทำงานของเอนไซม์ ตลอดจนช่วยเผาผลาญลดความชื้นในน้ำหวานให้กลายเป็นน้ำผึ้งเร็วขึ้น เมื่อผึ้งงานกลับถึงรังจะคายน้ำหวานแปรรูปนี้ให้กับผึ้งงานประจำรัง ซึ่งจะรับกันด้วยปากต่อปาก น้ำหวานแปรรูปนี้ยังไม่เป็นน้ำผึ้งที่สมบูรณ์ เพราะยังมีความชื้นหรือน้ำในน้ำหวานจำนวนมากถึง 30-40% ต่อมาผึ้งงานประจำรังจะนำน้ำหวานนี้ไปเก็บในหลอดรวงน้ำผึ้ง ตอนเย็นผึ้งกลับรังกันเป็นส่วนใหญ่จะช่วยกันกระพือปีก ช่วยให้มีการระเหยของน้ำหวานอีก จนได้น้ำผึ้งที่สมบูรณ์ คือ มีน้ำเหลืออยู่เพียง 20-25% เท่านั้น หลังจากนั้นผึ้งงานจะใช้ไขผึ้งปิดหลอดรวงที่เก็บน้ำผึ้งไว้ใช้เพื่อให้พลังงานในชีวิตประจำวัน และยามขาดแคลนอาหารต่อไป เมื่อผึ้งงานสร้างฝาขี้ผึ้งปิดฝาหลอดรวมแล้ว แสดงว่าน้ำผึ้งเข้มข้นได้ที่แล้ว ผู้เลี้ยงจะนำรวงผึ้งมาปาดฝารวงด้วยมีดปาดฝาแล้วจึงนำรวงผึ้งนั้นเข้าเครื่องสลัดหมุน ให้น้ำผึ้งไหลออกจากรวงโดยแรงเหวี่ยง จะได้น้ำผึ้งที่สะอาดแต่อาจมีเศษไขผึ้ง หรือชิ้นส่วนต่าง ๆ ติดมา จึงต้องกรองด้วยผ้ากรอง แล้วเก็บไว้ในถังสูงที่มีฝาปิดมิดชิด ป้องกันมดและฝุ่นละอองตกลงไปในถัง การบรรจุน้ำผึ้งจากถังลงสู่ขวดจะไขก๊อกให้น้ำผึ้งจากก้นถังลงสู่ขวดบรรจุ ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้มีฟองอากาศติดปนเข้ามา (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์., ม.ป.ป.)

คุณสมบัติไดอิเล็กตริก

คุณสมบัติไดอิเล็กตริกเป็นลักษณะสำคัญที่กำหนดปฏิกิริยาระหว่างวัสดุกับพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า (Tıras et al., 2019 : 1806-1808) การวัดคุณสมบัติการสะท้อนกลับและไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นความถี่ไมโครเวฟ ใช้โพรบไดอิเล็กตริกแบบโคแอกเซียลปลายเปิดถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและอาหาร (E. M. Cheng et al., 2018 : 281-282) ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเป็นวิธีการที่เชื่อถือได้ ด้วยการใช้พารามิเตอร์หลายตัว เช่น ค่า pH,

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Soluble solids content : SCC), ปริมาณความชื้น (Moisture content), ความหนืด,ความหวานและอื่นๆ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของคุณสมบัติไดอิเล็กตริก พฤติกรรมไดอิเล็กตริกเกิดจากปฏิกิริยาของโพลาไรเซชัน การกักเก็บและการกระจายพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถอธิบายรายละเอียดเพิ่มเติมได้ด้วยค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ε') และค่าการสูญเสียไดอิเล็กตริก (ε'') ค่า ε' และ ε'' จะแตกต่างกันไปตามความถี่ในการทำงาน ความไม่ต่อเนื่องของอิมพีแดนซ์บนอินเทอร์เฟซระหว่างสื่อสองชนิดที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดการแบ่งตัวของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านการสะท้อนและการส่งผ่าน การวิเคราะห์การสะท้อนจึงมีความสำคัญในการตรวจสอบโดยตรงต่อการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์

การสะท้อนและการส่งผ่านของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าถูกกำหนดโดยคุณสมบัติทางไดอิเล็กตริกของวัสดุหรือสื่อกลาง เมื่อคลื่นไมโครเวฟหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปถึงรอยต่อของตัวกลางที่มีคุณสมบัติต่างกัน จะเกิดการแบ่งกำลังงานคลื่นออกเป็นสองส่วน ส่วนหนึ่งสะท้อนกลับ และอีกส่วนหนึ่งเดินทางผ่านไปยังตัวกลางถัดไป ตัวอย่างเช่น หากคลื่นเดินทางจากตัวกลางแรกซึ่งเป็นอากาศที่มีอิมพีแดนซ์เท่ากับ η_0 และกระทบกับตัวกลางที่สองที่มีอิมพีแดนซ์เท่ากับ η ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น (T) ซึ่งแสดงถึงพลังงานที่เคลื่อนผ่านไปยังตัวกลางที่สอง จะสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2.1) (Pozar., 2012)

$$T = \frac{2\eta}{\eta + \eta_0} \tag{2.1}$$

โดยค่าอิมพีแดนซ์ของตัวกลางมีค่าขึ้นอยู่กับคุณสมบัติไดอิเล็กตริก ซึ่งคุณสมบัติไดอิเล็กตริกเป็นคุณสมบัติทางไฟฟ้าประเภทหนึ่งของวัสดุ มีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะหรือโครงสร้างของวัสดุ คุณสมบัติไดอิเล็กตริก ประกอบด้วย ค่าสภาพยอมไฟฟ้า (Permittivity: ε) และค่าความซึมซาบแม่เหล็ก (Permeability: μ) ดังนั้นอิมพีแดนซ์ของตัวกลางจึงสัมพันธ์กับคุณสมบัติไดอิเล็กตริกดังสมการที่ (2.2)

$$\eta = \sqrt{\mu / \varepsilon} \tag{2.2}$$

ดังนั้นเมื่อคลื่นเดินทางไปตกกระทบกับรอยต่อตัวกลางที่ 2 คลื่นส่งผ่านจะมีขนาดเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของตัวกลางที่ 2 สำหรับวัสดุที่ไม่ใช่ตัวนำ ค่าความซึมซาบแม่เหล็กมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาเฉพาะค่าสภาพยอมไฟฟ้า ซึ่งแบ่งย่อยออกเป็น ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric constant: ε') และตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริก (Dielectric loss factor: ε'') ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ ε_r เป็นค่าสภาพยอมไฟฟ้าของวัสดุที่ถูกนำมาเทียบกับค่าสภาพยอมไฟฟ้าของอากาศ ซึ่งค่าในรูปเชิงซ้อนแสดงดังสมการที่ (2.3)

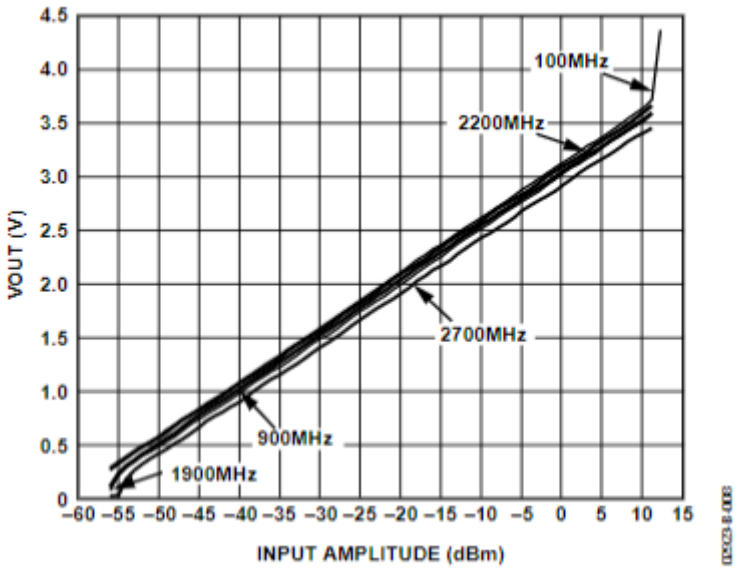
$$\varepsilon_r = \varepsilon_r^{'} + \varepsilon_r^{''} \tag{2.3}$$

ในน้ำผึ้งที่เจือปนสารให้ความหวานอื่นจึงส่งผลให้คุณสมบัติไดอิเล็กตริกต่างจากน้ำผึ้งแท้ ดังนั้นสามารถนำกำลังงานของคลื่นที่ส่งผ่านน้ำผึ้งที่มีการผสมสารอื่น มาประมวลผลเพื่อคัดแยกน้ำผึ้งแท้และน้ำผึ้งปลอมปน

วงจรตรวจจับกำลังงาน

วงจรตรวจจับกำลังงาน (Power detector) เป็นวงจรที่ใช้งานกว้างขวางในวงจรความถี่สูงหรือความถี่วิทยุ (Radio frequency : RF) ทำหน้าที่แปลงอินพุตสัญญาณความถี่วิทยุให้เอาต์พุตเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เป็นสัดส่วนกับกำลังงานของสัญญาณอินพุต วงจรตรวจจับกำลังงานถูกนำไปประยุกต์ใช้ในหลายงาน เช่น วงจรปรับอัตราการขยายอัตโนมัติ การตรวจสอบกำลังงานส่งของสายอากาศ เป็นต้น โดยวงจรตรวจจับกำลังงานเป็นอุปกรณ์ที่ทำงานในช่วงความถี่กว้าง (Broadband device) (Minicircuit., 2021)

ตัวอย่างอุปกรณ์ตรวจจับกำลัง รุ่น AD8362 ที่สามารถตรวจจับกำลังงานได้ต่ำสุด -52 ถึง +8 เดซิเบลมิลลิวัตต์ ในช่วงความถี่ 0.05 ถึง 2.7 กิกะเฮิรตซ์ และให้เอาต์พุตเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในช่วง 0.5 ถึง 2.1 โวลต์ มีความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของอุปกรณ์ตรวจจับกำลังงาน AD8362 ที่ความถี่ทำงาน 0.1, 0.9, 1.9, 2.2 และ 2.7 กิกะเฮิรตซ์ แสดงดังภาพที่ 2.1

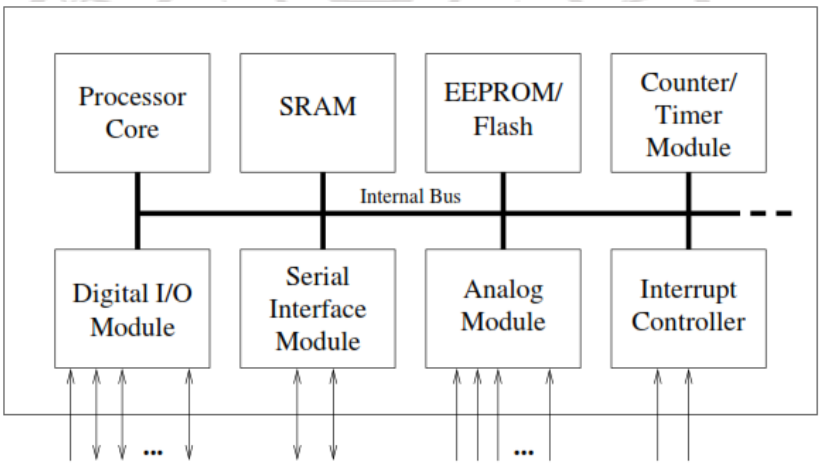


ภาพที่ 2.1 การทำงานของ AD8362 ที่ 0.1, 0.9, 1.9, 2.2 และ 2.7 กิกะเฮิรตซ์
ที่มา : (Analog device., 2018)

วงจรตรวจจับกำลังงาน AD8362 ทำงานแบบอินเวิร์ส คือ กำลังของอินพุตสูงให้ค่าแรงดันเอาต์พุตต่ำ ส่วนกำลังงานต่ำให้ค่าแรงดันเอาต์พุตสูง และที่กำลังงานเท่ากัน สัญญาณอินพุตความถี่สูงให้ค่าแรงดันเอาต์พุตสูงกว่าสัญญาณอินพุตความถี่ต่ำ

ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีโครงสร้างภายนอกเป็นวงจรรวมหรือไอซี (Integrate Circuit : IC) ซึ่งมีโครงสร้างภายในเหมือนกับไมโครคอมพิวเตอร์ที่ประกอบด้วย หน่วยประมวลผล (Processor unit), หน่วยความจำ (Memory unit) และหน่วยเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก (I/O Port unit) มีหลายตระกูลให้เลือกใช้งาน เช่น MCS-51, PIC, AVR, ARM, Basic Stamp, PSoC และ Arduino เป็นต้น ภาษาที่นิยมนำมาเขียนโปรแกรมควบคุม คือ ภาษาซี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิต ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานเหมือนระบบคอมพิวเตอร์ ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ประกอบด้วย หน่วยความจำ หน่วยประมวลผล และพอร์ตเชื่อมต่ออินพุตเอาต์พุต การบรรจุเข้าไว้ในชิปไอซีเดียวกัน มีโครงสร้างดังภาพที่ 2.2

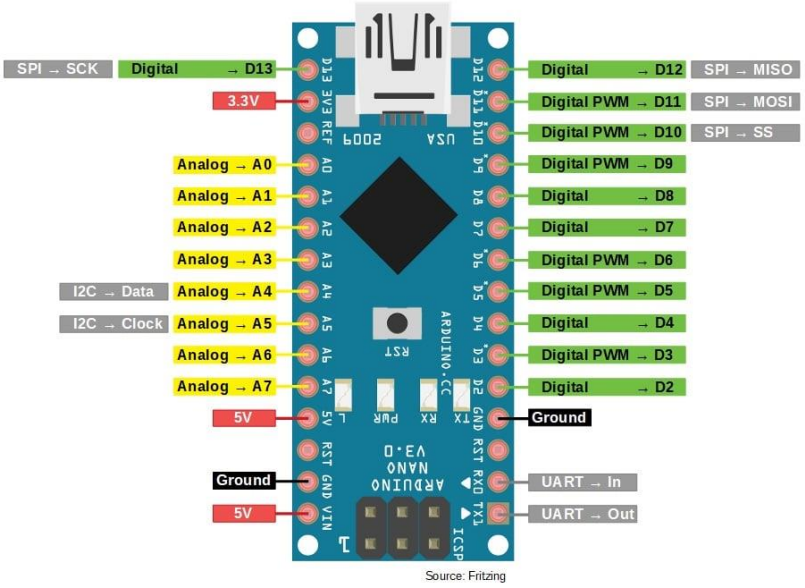


ภาพที่ 2.2 โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์
ที่มา : (Gridling & Weiss., 2007 : 5)

อาดุยโน (Arduino) คือบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้สถาปัตยกรรมที่ชื่อว่า AVR พัฒนาโดยบริษัท Atmel ซึ่งได้รับการออกแบบมาเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงในขณะที่ใช้พลังงานต่ำ และพัฒนาขึ้นในรูปแบบโอเพ่นซอร์ส (Open Source) มีข้อมูลทั้งด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่เปิดเผย บอร์ดอาดุยโนได้รับการออกแบบให้ใช้งานง่าย เหมาะสำหรับผู้ที่เริ่มต้นเรียนรู้การเขียนโปรแกรมพื้นฐาน ผู้ใช้งานสามารถปรับแต่งและพัฒนาฮาร์ดแวร์หรือซอฟต์แวร์เพิ่มเติมได้ นอกจากนี้ บอร์ดอาดุยโนยังสามารถใช้ควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ เช่นเดียวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลอื่นๆ โดยการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานตามต้องการ ตัวอย่างการประยุกต์ใช้อาดุยโน ในชีวิตประจำวัน เช่น ควบคุมการเปิด/ปิดไฟในบ้านอัตโนมัติ วงจรวัดค่าอุณหภูมิ, ควบคุมการรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติ ควบคุมการเปิด/ปิดประตูอัตโนมัติควบคุมเครื่องซักผ้าหยอดเหรียญ หรือควบคุมความเร็วและทิศทางการหมุนของมอเตอร์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาโปรแกรมบนระบบปฏิบัติการได้หลากหลาย และราคาไม่แพง

บอร์ดอาดุยโนมีหลายรุ่น แต่ละรุ่นมีคุณสมบัติบางอย่างที่แตกต่างกัน เพื่อให้เหมาะกับการนำไปประยุกต์ใช้งาน บอร์ดที่นิยมใช้แพร่หลาย คือ บอร์ดอาดุยโนรุ่นยูโน (UNO) เนื่องจากจำนวนพอร์ตอินพุตเอาต์พุตมาก และรองรับฟังก์ชันการทำงานที่หลากหลาย ใช้หน่วยประมวลผล ATMEGA328 บอร์ดอาดุยโนรุ่นนาโน (Nano) เป็นบอร์ดที่ใช้หน่วยประมวลผลเบอร์เดียวกับรุ่นยูโน แต่มีจำนวนพอร์ตอินพุตเอาต์พุตน้อยกว่า ทำให้ขนาดเล็กกว่า ตัวอย่างโครงสร้างของบอร์ดอาดุยโนรุ่นนาโน แสดงดังภาพที่ 2.3 และมีโครงสร้างการทำงานแต่ละขาดังภาพที่ 2.4

ภาพที่ 2.3 บอร์ดอาดุยโนรุ่นนาโน
ที่มา : (Robu., : 2020)



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างขาของบอร์ดอาดุยโนนาโน
ที่มา : (Robu., : 2020)

บอร์ดอาดุยโนรุ่นนาโนมีขนาด 1.8 x 4.5 เซนติเมตร มีวงจรสำหรับปรับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมอยู่ภายในบอร์ด บอร์ดก็พร้อมใช้งานได้ทันที เมื่อเชื่อมต่อสายมินิยูเอสบี (Mini USB) เข้ากับบอร์ดและคอมพิวเตอร์ มีจำนวนพอร์ตแอนะล็อค 8 พอร์ต หน่วยความจำ SRAM ขนาด 2 กิโลไบต์ หน่วยความจำ EEPROM ขนาด 1 กิโลไบต์ ทำงานที่แรงดัน 5 โวลต์ (Arduino, 2021)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มีการดำเนินการหลายวิธีเพื่อตรวจหาการปลอมปนของน้ำผึ้ง เช่น SCIRA (Stable carbon isotope ratio analysis), DSC (Differential scanning calorimetry), FTIR (Fourier transform infrared spectroscopy), NIRS (Near infrared spectroscopy) และ NMR (Nuclear magnetic resonance) วิธีการเหล่านี้ส่วนใหญ่ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปรเพื่อจำแนกการปลอมปนของน้ำผึ้ง (Zulkiflee et al, 2022) สามารถใช้เทคนิคไมโครเวฟเป็นวิธีการทางเลือกในการวิเคราะห์อาหารได้ วิธีการใช้ไมโครเวฟมีข้อดีหลายประการ เช่น การเก็บข้อมูลที่รวดเร็ว, ต้นทุนต่ำ และพลังงานสัญญาณต่ำ เป็นต้น สามารถทำซ้ำได้ดีและไม่มีอันตราย (Li et al, 2021) ดังนั้น จึงใช้คุณสมบัติไดอิเล็กตริกและการสะท้อนกลับเพื่อศึกษาศักยภาพการพัฒนาระบบเครื่องมือวัดน้ำผึ้งที่มีการเจือปน การตรวจสอบน้ำผึ้งปนเปื้อนที่เชื่อถือได้ มีความแม่นยำ ใช้งานง่ายจึงเป็นหัวข้อที่ได้รับความสนใจจากนักวิจัย โดยได้มีการนำเสนอเทคนิคการตรวจสอบไว้หลากหลาย ดังนี้

1) Aslina et al (2022) ได้เสนอเทคนิคการวัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของน้ำผึ้ง โดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่ 0.1-10 กิกะเฮิรตซ์ วิเคราะห์ผลของค่าความเข้มข้นของน้ำผึ้งกับคุณสมบัติไดอิเล็กตริก พบว่าน้ำผึ้งมีความเข้มขึ้นมากขึ้นค่าคงที่ไดอิเล็กตริกจะเพิ่มขึ้น และค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของแต่ละความเข้มข้นจะลดลงตามความถี่ที่เพิ่มขึ้น

2) Cheng et al (2022) ได้เสนอเทคนิคการตรวจสอบการเจือปนของน้ำผึ้งด้วยคลื่นความถี่ไมโครเวฟ ในย่านความถี่ 0.5-4.5 กิกะเฮิรตซ์ โดยใช้น้ำผึ้ง Honey Gold และ Trigona Honey ใช้วัสดุเจือปนคือ Sucrose syrup พบว่า ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกลดลงเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น และจะลดลงเมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของ syrup ผสมลงไปในน้ำผึ้งแท้ ค่าตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริกจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำน้อยกว่า 36 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ Honey Gold และ 43 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ Trigona Honey และจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณซูโครสเพิ่มขึ้น

3) Yakubu et al (2019) ได้ทำการทดสอบวัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของน้ำผึ้งแท้บริสุทธิ์และน้ำผึ้งเจือปน โดยใช้วัสดุเจือปนเป็นน้ำกลั่นบริสุทธิ์ ปริมาณน้ำตั้งแต่ 0-80 % ทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายและโพรบโคแอ็กเซียลปลายเปิด ใช้ความถี่ 1-20 GHz พบว่า ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของตัวอย่างทดสอบจะลดลงในขณะที่ความถี่เพิ่มขึ้น น้ำผึ้งบริสุทธิ์มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกต่ำกว่าน้ำกลั่น และจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น ในส่วนของค่าการสูญเสียไดอิเล็กตริกจะลดลงตามปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้น

4) Sapri & Jamaludin (2019) ได้ใช้ทำการตรวจสอบคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของน้ำผึ้งแท้และวัสดุเจือปน โดยใช้ Precision impedance analyzer ในการวัด ย่านความถี่ 40 Kehs ถึง 45 MHz ใช้ตัวอย่างทั้งหมด 5 ตัวอย่าง คือ 1) น้ำผึ้งแท้ 2) น้ำผึ้งแท้ผสมน้ำ 15% 3) น้ำผึ้งแท้ผสมน้ำ 30% 4) น้ำผึ้งแท้ผสมซูโครส 15% 5) น้ำผึ้งแท้ผสมซูโครส 30% พบว่า ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกลดลง

ในขณะที่ความถี่ลดลง และความถี่ที่ดีที่สุดในการแยกน้ำผึ้งแท้บริสุทธิ์กับน้ำผึ้งเจือปนอยู่ในช่วง 10 MHz ถึง 40 MHz โดยพบในตัวอย่างน้ำผึ้งแท้เจือปนด้วยซูโครส ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำผึ้งแท้เจือปนด้วยน้ำเปล่าลดลงเมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น

5) Sparma et al (2023) ได้ทำการตรวจสอบความแตกต่างระหว่างคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของน้ำผึ้งแท้บริสุทธิ์กับน้ำผึ้งเจือปนด้วยน้ำเปล่า โดยใช้ระบบส่งสัญญาณสายโคแอกเชียลในช่วงความถี่ตั้งแต่ 100 MHz ถึง 5,000 MHz ความแตกต่างเห็นได้ระหว่าง 15% ถึง 20% ของปริมาณน้ำในน้ำผึ้ง ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกจะลดลงเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น และจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกันกับค่าตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริก อย่างไรก็ตาม ระบบมุ่งเน้นไปที่การวัดค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านระหว่างสองโพรบ หลักการคือการตรวจจับปริมาณน้ำจะขึ้นอยู่กับความแปรผันที่ได้จากการวัดการส่งผ่านเหล่านี้ ดังนั้นจึงได้ความแปรผันของสัญญาณตามฟังก์ชันของปริมาณน้ำ สิ่งนี้ทำให้สามารถเสนอวิธีแก้ปัญหาที่เป็นไปได้ เพื่อใช้ในสภาพแวดล้อมทางอุตสาหกรรมเพื่อตรวจจับการเจือปนของน้ำโดยตรงในขวดน้ำผึ้ง