บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยเรื่อง ระบบตรวจสอบการปลอมปนของน้ำผึ้งด้วยการวิเคราะห์กำลังงานคลื่นส่งผ่าน มีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยประกอบด้วย ศึกษาข้อมูลพื้นฐาน ตรวจวัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของน้ำผึ้ง ออกแบบระบบเซนเซอร์ตรวจวัดน้ำผึ้งปลอมปน จากนั้นสร้างระบบเซนเซอร์ต้นแบบ สำหรับนำระบบไปทดสอบเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของระบบต้นแบบ และสุดท้าย คือ สรุปผลการวิจัย โดยรายละเอียดวิธีดำเนินงานมี ดังนี้

ศึกษาคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของน้ำผึ้ง

1. การเตรียมน้ำผึ้งตัวอย่าง

การเตรียมน้ำผึ้งและน้ำเชื่อมตัวอย่างสำหรับการทดลองถูกซื้อมาจากร้านค้าทั่วไป ดังภาพที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ น้ำผึ้งถูกนำมาผสมกับน้ำเชื่อมทั้งหมด 6 ตัวอย่าง เพื่อสร้างน้ำผึ้งปลอมและบรรจุลงในภาชนะบรรจุตัวอย่างทดสอบ โดยผสมในอัตราส่วนผสมที่กำหนดและวัดค่าความหวานตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนการเตรียมตัวอย่างน้ำผึ้ง

ตัวอย่างที่	น้ำผึ้งปลอมปน	ความสูง (cm)	
		น้ำผึ้ง	น้ำเชื่อม
1	0%	10	0
2	10%	9	1
3	20%	8	2
4	30%	7	3
5	40%	6	4
6	50%	5	5

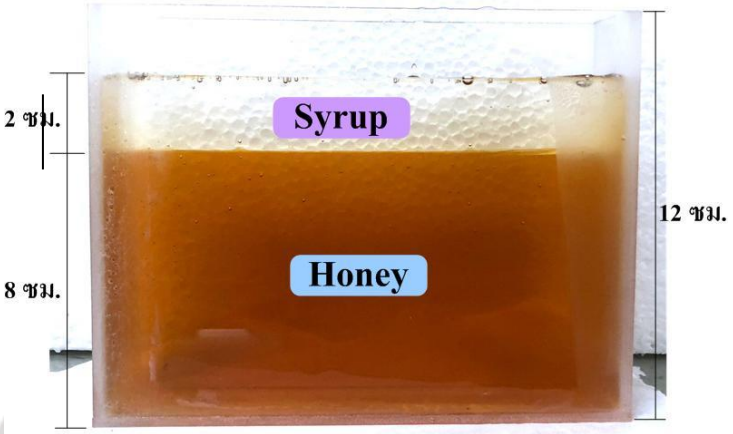
ภาพที่ 3.1 น้ำผึ้งตัวอย่าง

ภาพที่ 3.2 น้ำเชื่อมตัวอย่าง

น้ำผึ้งแต่ละตัวอย่างถูกเตรียมตามขั้นตอนดังนี้

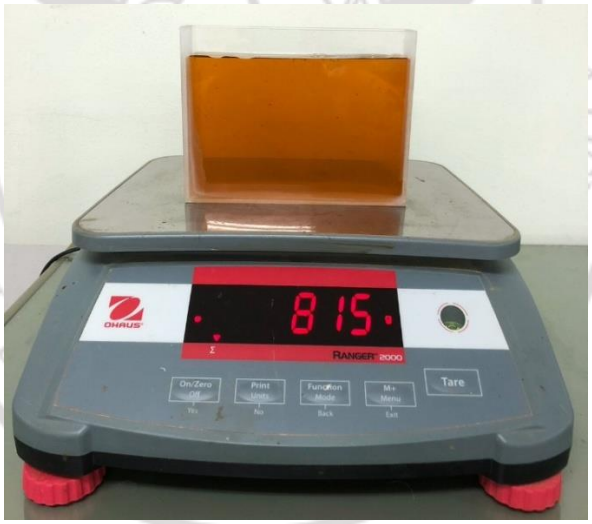
1.1 นำภาชนะบรรจุตัวอย่างขนาด 1.5x15x12 เซนติเมตร วางลงบนเครื่องชั่ง จากนั้นรีเซตค่าน้ำหนักให้เป็นศูนย์ แล้วใส่ส่วนผสมของน้ำผึ้งและน้ำเชื่อมตามที่กำหนด

1.2 การผสมน้ำผึ้งในอัตราส่วนร้อยละ 0 คือไม่ผสมน้ำเชื่อม ได้ความสูง 10 ซม. จากนั้นผสมกับน้ำเชื่อมให้ได้สัดส่วนร้อยละ 10-50 เช่น ตัวอย่างน้ำผึ้งปลอมปนร้อยละ 20 จะทำการผสมน้ำผึ้งให้ได้ความสูง 8 ซม. กับน้ำเชื่อม 2 ซม. แสดงดังภาพที่ 3.3



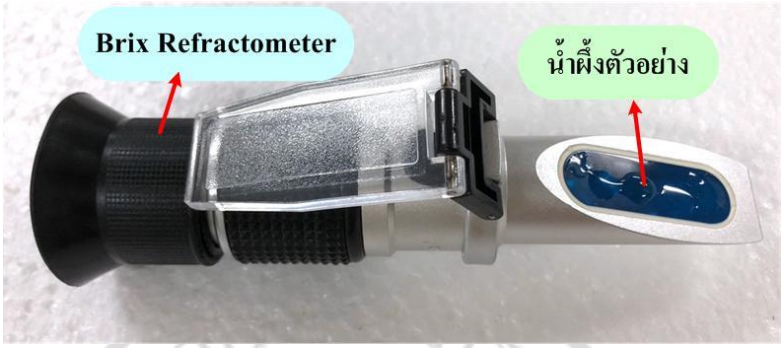
ภาพที่ 3.3 ตัวอย่างน้ำผึ้งปลอมปนร้อยละ 20

1.3 เมื่อผสมเสร็จแล้ว ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง OHAUS รุ่น RANGER 2000 ดังภาพที่ 3.4 แล้วจดบันทึกค่าน้ำหนักน้ำผึ้งตัวอย่าง



ภาพที่ 3.4 การชั่งน้ำผึ้งตัวอย่างด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก OHAUS รุ่น RANGER 2000

1.4 นำไปทดสอบวัดค่าบริกซ์ด้วยเครื่องบริกซ์รีแฟลกโตมิเตอร์ดังภาพที่ 3.5 ก่อนนำไปทดสอบวัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริก



ภาพที่ 3.5 บริกซ์รีแฟลกโตมิเตอร์

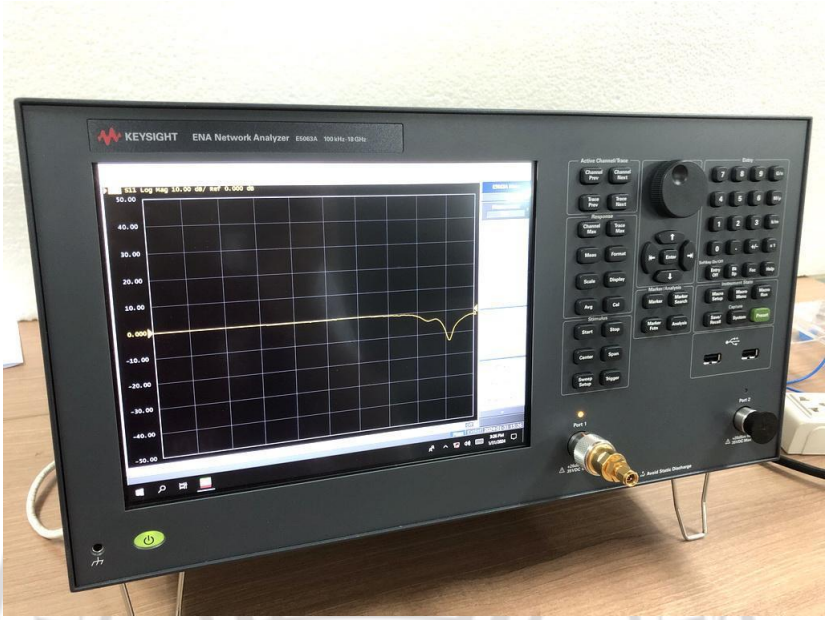
1.5 ก่อนนำไปวัดค่าไดอิเล็กตริก ตัวอย่างทดสอบต้องอยู่ในสภาพที่ไม่มีฟองอากาศเกิดขึ้นระหว่างผิวของตัวอย่างทดสอบ ถ้ายังมีฟองอากาศ ควรทิ้งไว้จนกว่าจะหายไป ได้ค่าความหวานและน้ำหนักดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของตัวอย่างน้ำผึ้ง

น้ำผึ้งตัวอย่าง	°Brix	น้ำหนักรวม (g)
1	81	815
2	79.8	802
3	79.3	793
4	79.1	795
5	79	805
6	77.8	791

2. อุปกรณ์วัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริก

การวัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของน้ำผึ้ง ในช่วงความถี่ 2-12 กิกะเฮิรตซ์ ประกอบด้วยค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริก ด้วยโพรบโคแอกเชียลโพรบสำหรับวัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริก (Dielectric coaxial probe) รุ่น Agilent 85070E ข้อมูลจากการวัดถูกส่งต่อเพื่อเข้ารับการประมวลผลด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Vector network analyzer) รุ่น E5063A ของบริษัท Agilent technology ดังภาพที่ 3.6 ควบคุมการวัดผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์



ภาพที่ 3.6 เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย

3. ขั้นตอนการวัด

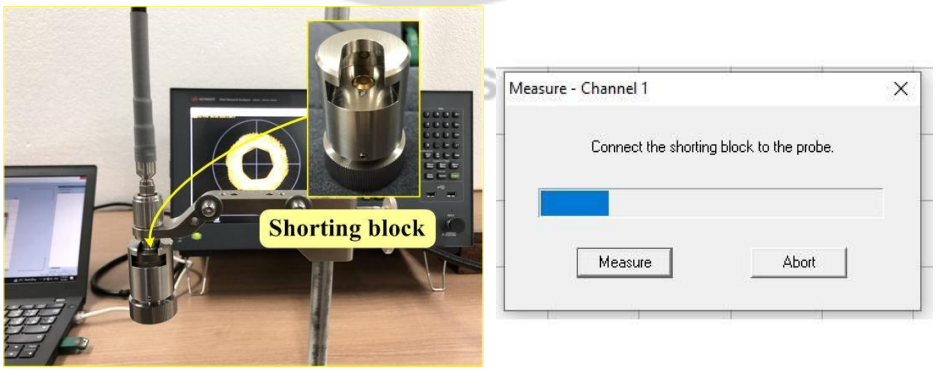
ก่อนการวัดจะต้องเปิดเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที เพื่อวอร์มเครื่องให้มีเสถียรภาพในการวัด จากนั้นทำการตั้งค่าการปรับเทียบผ่านโปรแกรม Electric Keysight Materials Measurement Suite 2018 ที่อยู่ในเครื่องคอมพิวเตอร์ และจะทำการควบคุมเครื่องทดสอบผ่านโปรแกรมนี้ ซึ่งก่อนการปรับเทียบจะต้องมีการกำหนดค่าความถี่ก่อน โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.1 เลือกฟังก์ชัน Calibration >> Set Frequency ตั้งค่าความถี่ที่ใช้ทดสอบคือ 2 GHz ถึง 12 GHz ที่ 301 จุด ค่าเฉลี่ยที่ใช้เท่ากับ 4 จากนั้นกด OK

3.2 ทำการปรับเทียบผ่านฟังก์ชัน Calibration >> Perform Calibration ตามลำดับ

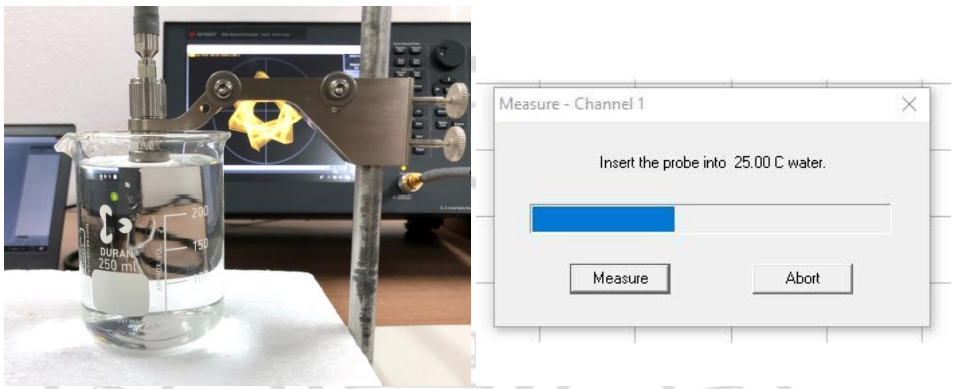
3.2.1 ทำการปรับเทียบกับอากาศ โดยกดที่ Measure

3.2.2 ติดตั้ง Shorting block ดังภาพที่ 3.7 แล้วกด Measure



ภาพที่ 3.7 การปรับเทียบ shorting block

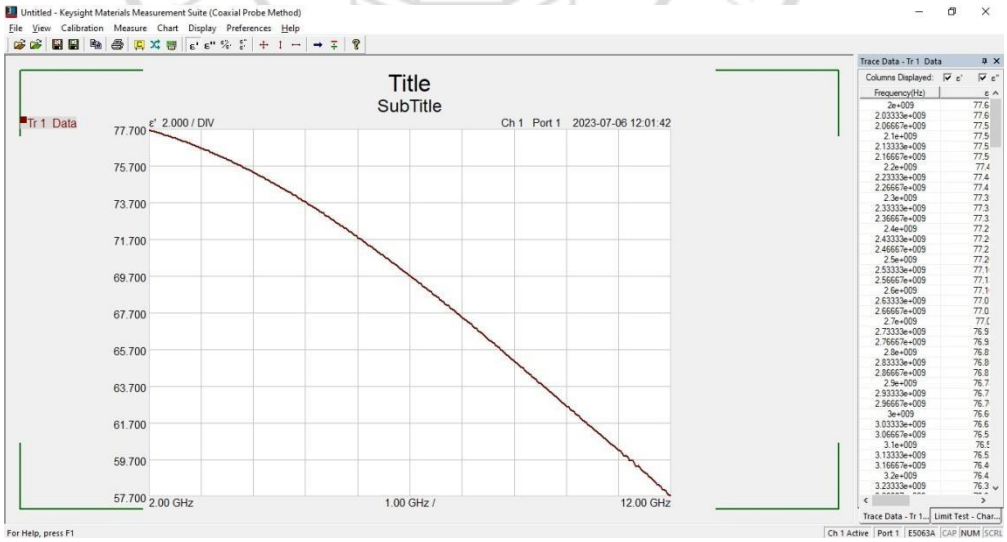
3.2.3 เมื่อเสร็จขั้นตอน 3.2.2 แล้วให้ถอด Shorting block ออก แล้วทำการปรับเทียบกับน้ำเปล่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสดังภาพที่ 3.8 โดยระวังไม่ให้มีฟองอากาศระหว่างหัวโพรบกับผิวน้ำ จากนั้นกด Measure



ภาพที่ 3.8 การปรับเทียบน้ำเปล่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

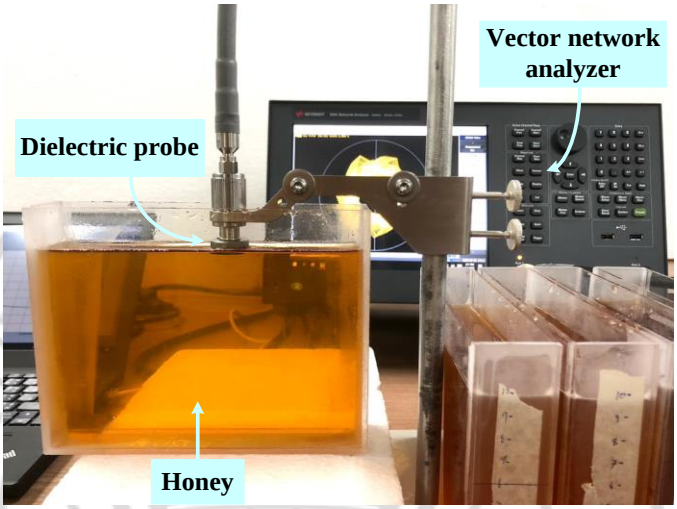
3.2.4 เมื่อเสร็จขั้นตอนที่ 3.2.3 แล้ว จะขึ้นหน้าต่างโปรแกรมดังรูป ให้กด YES ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายในการปรับเทียบ

3.2.5 เมื่อทำการปรับเทียบตามขั้นตอนเสร็จแล้ว จะทำการวัดค่าไดอิเล็กตริกของน้ำเปล่าเพื่อตรวจสอบความแม่นยำของเครื่องวัด หากค่าที่ได้ออกมาเป็นเส้นโค้งไม่มีการแกว่งหรือรอยหยัก แสดงว่าเครื่องได้ปรับเทียบที่มีความเสถียรและแม่นยำ ดังภาพที่ 3.9 แต่หากเส้นโค้งของข้อมูลที่ได้มีการแกว่ง ให้ทำการปรับเทียบใหม่จนกว่าจะได้ค่าไดอิเล็กตริกที่มีความเสถียร



ภาพที่ 3.9 หน้าต่างแสดงผลการวัดค่าไดอิเล็กตริกของน้ำเปล่า

3.3 นำตัวอย่างทดสอบมาทำการวัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ดังภาพที่ 3.10 ระวังไม่ให้ผิวสัมผัสระหว่างหัวโพรบไดอิเล็กตริกกับน้ำผึ้งเกิดฟองอากาศ และบันทึกค่าที่วัดได้ไว้ในรูปแบบของไฟล์ CSV



ภาพที่ 3.10 การวัดค่าไดอิเล็กตริกของน้ำผึ้ง

ออกแบบสายอากาศไมโครสตริป

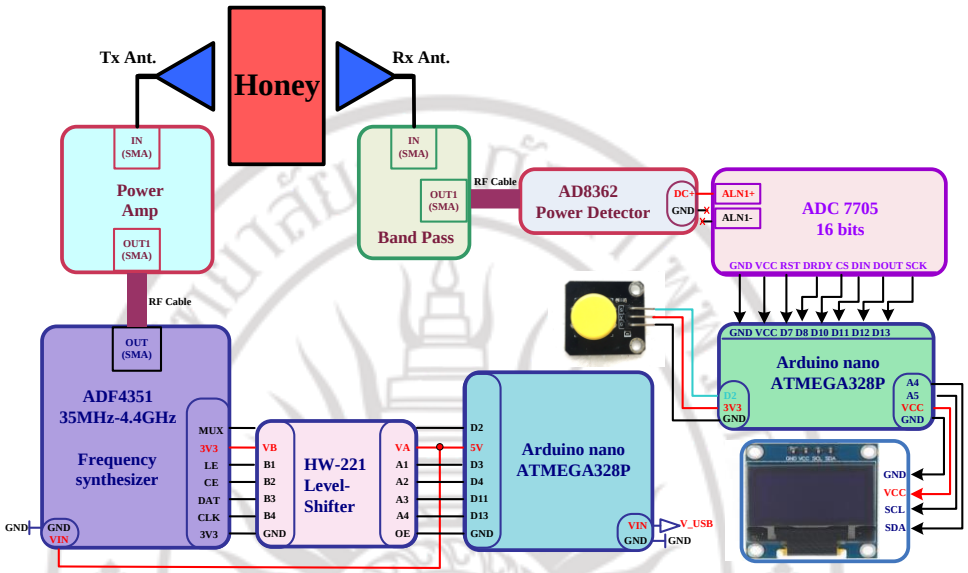
ออกแบบสายอากาศไมโครสตริปให้ทำงานที่ความถี่จากการวิเคราะห์ และจำลองการทำงานของระบบตรวจสอบการปลอมปนของน้ำผึ้ง ด้วยโปรแกรม CST studio suit เพื่อศึกษาการส่งคลื่นผ่านน้ำผึ้งแท้และน้ำผึ้งเจือปนน้ำเชื่อมในอัตราส่วน 100-50% v/v โดยโมเดลน้ำผึ้งจำลองสร้างมาจากคุณสมบัติไดอิเล็กตริกที่ได้จากการวัด

พัฒนาระบบต้นแบบและสายอากาศ

พัฒนาระบบต้นแบบและพัฒนาสายอากาศตามที่ออกแบบด้วยแผ่นวงจรพิมพ์ 2 หน้า จำนวน 2 ตัว เพื่อให้เป็นสายอากาศส่งและสายอากาศรับ จากนั้นทดสอบการทำงานของสายอากาศด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ ทดสอบวัดค่า $|S_{11}|$ ตรวจสอบช่วงความถี่ทำงานของสายอากาศ ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่ให้ค่า $|S_{11}|$ น้อยกว่า -10 dB เพื่อจากนั้นวิเคราะห์เลือกอุปกรณ์ในส่วนต่างๆ ให้เหมาะสมและสามารถทำงานร่วมกันได้

โครงสร้างระบบประกอบด้วย เครื่องกำเนิดความถี่ (Frequency synthesizer) ทำหน้าที่สร้างคลื่นความถี่เพื่อส่งต่อไปยังสายอากาศส่งให้แพร่กระจายคลื่นผ่านน้ำผึ้งตัวอย่างที่ต้องการทดสอบการปลอมปน เมื่อคลื่นเดินทางผ่านน้ำผึ้งจะเกิดการลดทอนกำลังงานโดยปริมาณการลดทอนของคลื่นสัมพันธ์กับค่า ε_r ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุ จากนั้นคลื่นที่แพร่ผ่านน้ำผึ้งถูกรับด้วยสายอากาศรับ และส่งเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจจับกำลังงาน (Power detector) และแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลด้วยอุปกรณ์แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (Analog to digital convertor: ADC) ก่อนสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผล จากนั้นผลลัพธ์ที่ได้จากการ

ประมวลผลถูกนำไปแสดงบนหน้าจอ โครงสร้างของระบบตรวจสอบการปลอมปนของน้ำผึ้งแสดงดังภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.11 แผนผังการทำงานของระบบตรวจวัดน้ำผึ้ง

ค่า ε_r ของวัสดุ มีค่าสัมพันธ์กับความถี่ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงวัดค่า ε_r ในช่วงความถี่กว้าง เพื่อหาความถี่ที่ให้ค่าความแตกต่างของ ค่า ε_r ระหว่างน้ำผึ้งปลอมและน้ำผึ้งแท้ได้ชัดเจนที่สุด เพื่อให้ค่ากำลังงานส่งผ่านที่วัดได้สามารถคัดแยกน้ำผึ้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ และนำความถี่ที่เหมาะสมมาใช้สร้างสายอากาศสำหรับใช้เป็นสายอากาศส่งและสายอากาศรับของระบบ

ทดสอบแรงดันคลื่นส่งผ่านน้ำผึ้ง

ทดสอบส่งคลื่นผ่านน้ำผึ้งแท้และน้ำผึ้งที่เจือปนน้ำเชื่อม ด้วยระบบต้นแบบโดยเตรียมตัวอย่างน้ำผึ้งเช่นเดียวกับการวัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริก วัดค่าแรงดันคลื่นส่งผ่านจากน้ำผึ้งที่เจือปนน้ำเชื่อมแต่ละระดับการเจือปน

วิเคราะห์ผลการทดสอบที่ได้จากการวัดแรงดันคลื่นส่งผ่าน

วิเคราะห์ผลการทดสอบที่ได้จากการวัดแรงดันคลื่นส่งผ่าน (V) จากน้ำผึ้งที่มีระดับการเจือปนแตกต่างกัน วิเคราะห์ค่าความไว (Sensitivity: S) ต่อการตรวจวัดความแตกต่างของแรงดันคลื่นส่งผ่านต่อความแตกต่างของปริมาณการเจือปน ($\Delta\%$) ที่เพิ่มขึ้น ตามสมการที่ (3.1)

$$S = \frac{V_2 - V_1}{\Delta\%} \tag{3.1}$$

และค่าสหสัมพันธ์ (R^2) เพื่อออกแบบส่วนประมวลผลสำหรับวิเคราะห์น้ำผึ้งแท้และน้ำผึ้งที่เจือปน และพัฒนาส่วนประมวลผลลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นจึงวิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย