

รายงานฉบับสมบูรณ์

Final Report

งบประมาณ วช.

การพัฒนาเครื่องตรวจสอบรสชาติผลไม้แบบพกพาด้วยคลื่นไมโครเวฟ

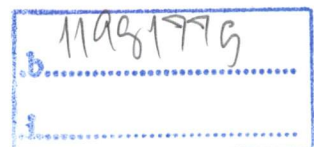
Development of a Handheld Fruit Tester using Microwave

1. ศาสตราจารย์ ดร. โมไนย ไกรฤกษ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
Mr. Monai Krairiksh
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มิตรชัย จงเขียวชำนาญ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
Mr. Mitchai Chongcheawchamnan
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
ทหารลาดกระบัง
Mr. Chuwong Phongcharoenpanich
4. นายจิรัฏฐ์ เหมือนชู สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
Mr. Jhirat Mearnchu

ห้องปฏิบัติการวิจัยการสื่อสารไร้สาย
สำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
มิถุนายน พ.ศ. 2551

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 83675
วัน,เดือน,ปี... 11 ก.ย. 2551

Wireless Communication Laboratory
Research Center for Communications and Information Technology
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang



June 2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| กิตติกรรมประกาศ | |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 2 |
| บทที่ 2 หลักการพื้นฐาน | 10 |
| บทที่ 3 การวิเคราะห์และผลการวิเคราะห์..... | 17 |
| บทที่ 4 การทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของน้ำ น้ำหวาน และน้ำส้มสายชู..... | 31 |
| บทที่ 5 เครื่องทดสอบผลไม้แบบพกพา..... | 41 |
| บทที่ 6 การทดสอบเครื่องทดสอบรสชาติผลไม้แบบพกพาคือคลื่นไมโครเวฟ..... | 47 |
| บทที่ 7 สรุป..... | 60 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 61 |
| ภาคผนวก..... | 63 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยนี้ ขอขอบคุณสำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่สนับสนุนสถานที่และอุปกรณ์การวิจัย ขอขอบคุณ ผศ.ดร. สุวณี บุญมั่ง ภาควิชาวิศวกรรมการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ช่วยทดสอบสัปปะรด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัย

เรื่องการพัฒนาเครื่องตรวจสอบรสชาติผลไม้แบบพกพาด้วยคลื่นไมโครเวฟ

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2549-2550 จำนวนเงิน 1,074,400 บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย 2 ปีระหว่าง 1 ตุลาคม 2548 ถึง 30 กันยายน 2550

รายนามคณะผู้วิจัย

1. ศาสตราจารย์ ดร. โม ไนย ไกรฤกษ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มิตรชัย จงเชื้อวานานู มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
4. นายจิรัฏฐ์ เหมือนชู สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สถานที่ทำการวิจัย ห้องปฏิบัติการวิจัยการสื่อสารไร้สาย สำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยนี้ ขอขอบคุณสำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่สนับสนุนสถานที่และอุปกรณ์การวิจัย ขอขอบคุณ ผศ.ดร. สุวณี บุญมั่ง ภาควิชาวิศวกรรมการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ช่วยทดสอบสัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมา

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม รายได้จากการส่งออกมาจากผลผลิตทางการเกษตรที่มีอยู่อย่างหลากหลายทั่วประเทศตลอดปี ผลไม้ของไทยก็นับเป็นผลผลิตทางการเกษตรอีกประเภทหนึ่งที่มีความหลากหลายและเป็นที่ยอมรับไปทั่วโลก ซึ่งมีมูลค่าการส่งออกที่สูงเป็นอันดับต้นๆ เช่น มะม่วง มังคุด ทูเรียน ลำไย เป็นต้น ปัญหาหลักที่สำคัญของการส่งออกผลไม้อย่างหนึ่งได้แก่ การควบคุมคุณภาพของผลผลิต ที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบันการตรวจสอบคุณภาพ อาศัยความชำนาญของเกษตรกรเป็นหลัก ซึ่งทำให้ผลผลิตที่ได้มีมาตรฐานที่ต่างกัน ไม่เป็นสากล การตรวจสอบมีความล่าช้า การตรวจสอบที่เป็นมาตรฐานเดียวกันด้วยความรวดเร็ว จึงมีความสำคัญในการเพิ่มคุณภาพของผลผลิตให้ทันต่อความต้องการในการส่งออก เทคนิควิธีที่ใช้ในการตรวจสอบผลผลิตทางการเกษตรที่มีผู้วิจัยที่ผ่านมานั้นมีด้วยกันหลากหลายวิธี ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ

1. วิธีการทดสอบแบบทำลาย การทดสอบวิธีนี้ทำให้ทราบค่าที่ต้องการอย่างถูกต้องแน่นอน แต่ก็ทำให้ตัวอย่างที่นำมาทดสอบได้รับความเสียหาย
2. วิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย การทดสอบวิธีนี้ ตัวอย่างที่นำมาทดสอบจะมีสภาพที่เหมือนเดิมไม่ได้รับความเสียหาย แต่ค่าที่ได้จากการทดสอบวิธีนี้จะเป็นค่าประมาณที่ยอมรับได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่ทำการทดสอบ

เทคนิคที่ใช้สื่อต่างๆ ในการทดสอบก็มีมากมาย อาทิ การตรวจสอบโดยอาศัยแสงที่ความยาวคลื่นย่านต่างๆ ซึ่งอาศัยหลักการหักเห เลี้ยวเบนหรือสะท้อนกลับของแสง อันเนื่องจากวัสดุที่นำมาทดสอบมีค่าคุณสมบัติทางแสงที่ต่างหาก การตรวจสอบโดยอาศัยคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิก และอุปกรณ์เชิงกลในการเคาะ[1] ซึ่งจะเหมาะกับวัสดุที่เป็น โพรงภายใน เช่น ทูเรียน เป็นต้น การตรวจสอบโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะเหมาะกับวัสดุที่มีรูปแบบและขนาดที่หลากหลาย ขึ้นอยู่กับขั้นตอนวิธีที่ทำการทดสอบ [2]-[3] ค่าที่วัดได้เมื่อทำการคำนวณย้อนกลับแล้วจะได้ค่าคุณสมบัติของวัสดุที่ทำการทดสอบเช่น ค่าเพอร์มิติวิตีสัมพัทธ์ ค่าเพอร์มิบิลิตีสัมพัทธ์ ค่าความนำไฟฟ้า และค่าความชื้นสัมพัทธ์ เป็นต้น จากการวิจัยที่ผ่านมาสามารถแบ่งเทคนิคในการทดสอบออกเป็น 5 ประเภท [4] คือ

1. แผ่นขนาน (Parallel plate)

วิธีนี้อาศัยหลักการหาค่าความจุไฟฟ้า ซึ่งแปรผันตามค่าเพอร์มิติวิตีสัมพัทธ์ของวัสดุที่ทำการทดสอบนั้น ผลการทดสอบที่ได้มีความแม่นยำ เหมาะกับวัสดุที่มีลักษณะเป็นแผ่นแบนบาง และทำการทดสอบที่ความถี่ต่ำ

2. โพรบแกนร่วม (Coaxial probe)

การทดสอบวิธีนี้[5] โพรบที่ใช้ทดสอบจะจุ่มลงไปในวัสดุ (กรณีที่เป็นของเหลว) หรือสัมผัสบนพื้นผิวของวัสดุ(กรณีที่เป็นของแข็งหรือเป็นผง) แล้ววัดสัญญาณสะท้อนกลับ ซึ่งแปรผันตามค่าเพอร์มิวิตีสัมพัทธ์ของวัสดุที่ทดสอบ อย่างไรก็ตามมีข้อจำกัดคือ การวัดค่าความนำไฟฟ้าและความชื้นสัมพัทธ์ทำได้ยากกว่าการวัดค่าความจุไฟฟ้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิติวิติสัมพันธ์ของวัสดุที่ทำการทดสอบนั้น วิธีนี้สามารถทดสอบง่ายและสะดวก ในย่านความถี่ที่กว้าง เหมาะกับวัสดุที่เป็นของเหลว และกึ่งแข็ง โดยวัสดุที่ทำการทดสอบจะต้องความหนาตั้งอนันต์ (Semi-infinite Thickness) เป็น Isotropic และ Homogeneous มีผิวเรียบ ไม่เป็นสารแม่เหล็ก

3. สายส่ง (Transmission line)

การทดสอบวิธีนี้ จะนำวัสดุที่ทำการทดสอบสอดเข้าไปในระบบปิดของท่อนำคลื่น หรือ สายส่ง แขนร่วมแล้ววัดสัญญาณสะท้อนกลับ และสัญญาณที่ส่งผ่าน ซึ่งแปรผันตามค่าเพอร์มิติวิตีและเพอร์มิบิลิตีสัมพันธ์ของวัสดุที่ทำการทดสอบนั้น วัสดุที่ทำการทดสอบต้องมีสภาพที่เป็นของแข็งพอที่จะปรับรูปทรงให้บรรจุอยู่ในท่อนำคลื่นหรือสายส่งแขนร่วมได้ สามารถทดสอบได้กับวัสดุที่มีการสูญเสียจนถึงวัสดุที่มีการสูญเสียต่ำในย่านความถี่ที่กว้าง

4. อวกาศว่าง (Free space)

การทดสอบวิธีนี้[6]-[7] จะส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายอากาศส่งไปยังวัสดุที่ทำการทดสอบ แล้ววัดสัญญาณสะท้อนกลับ และสัญญาณที่ส่งผ่าน ซึ่งแปรผันตามค่าเพอร์มิติวิตีและเพอร์มิบิลิตีสัมพันธ์ การทดสอบวิธีนี้จะไม่ต้องสัมผัสกับวัสดุ ซึ่งเหมาะกับการทดสอบวัสดุที่เป็นแผ่นแบนขนาดใหญ่ อุณหภูมิสูง หรืออยู่ในสภาพที่ไม่สามารถสัมผัสกับวัสดุได้

5. โพรงเรโซแนนซ์ (Resonant cavity)

การทดสอบวิธีนี้[8] อาศัยหลักการวัดค่า Q factor ของโพรง ที่เปลี่ยนแปลงไปจากกรณีที่ไม่มีวัสดุ เทียบกับกรณีที่มีวัสดุที่ทำการทดสอบ ซึ่งสามารถคำนวณย้อนกลับเพื่อหาค่าเพอร์มิติวิตีและเพอร์มิบิลิตีสัมพันธ์ของวัสดุที่ทำการทดสอบได้ วิธีนี้ให้ผลการทดสอบที่แม่นยำกับ วัสดุที่มีการสูญเสียต่ำ ที่มีขนาดเล็ก อีกทั้งยังแบ่งการทดสอบได้ในเชิงความถี่ (Frequency domain) เชิงเวลา (Time domain) เชิงอวกาศ (Spatial domain) การเลือกเทคนิควิธีการวัดที่เหมาะสมมีปัจจัยที่สำคัญอยู่มากมาย เช่น ความแม่นยำของผลการทดสอบ ความสะดวกในการทดสอบ รูปทรงของวัสดุที่จะทำการทดสอบ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

- ช่วงความถี่ที่ใช้ทดสอบ
- คุณสมบัติของวัสดุที่จะทำการทดสอบ (อาทิ Homogeneous, isotropic)
- รูปแบบของวัสดุที่จะทำการทดสอบ (เป็นน้ำ เป็นผง เป็นแผ่น)
- ทดสอบแบบทำลายหรือไม่ทำลาย
- ทดสอบแบบสัมผัสหรือไม่สัมผัส
- อุณหภูมิของวัสดุที่จะทำการทดสอบ
- ราคา ค่าใช้จ่ายในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

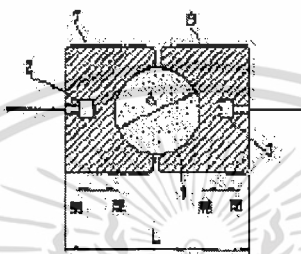
การสืบค้นการประดิษฐ์เครื่องตรวจสอบผลไม้

การทดสอบวัสดุโดยไม่ทำลายและไม่สัมผัสเป็นเทคนิควิธีที่ได้รับความนิยมจากนักประดิษฐ์อย่างแพร่หลาย ในการพัฒนาหลักการให้สามารถสร้างเป็นเครื่องมือหรือระบบที่ทำการทดสอบได้จริง ซึ่งได้จดสิทธิบัตรและใช้งานได้จริง ดังตัวอย่าง ดังนี้

1. Fruits / Vegetables Ripeness Sensor

Publication number: 62-123340

Date of publication of application: 04 / 06 / 1987



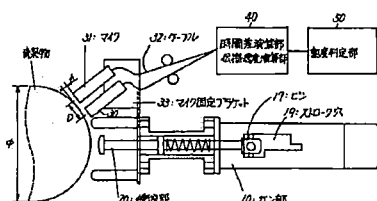
รูปแสดงโครงสร้างของ Fruits / Vegetables Ripeness Sensor

มีวัตถุประสงค์ เพื่อตรวจสอบความสุกของผลไม้และผัก โดยใช้คลื่นไมโครเวฟ โดยมีรายละเอียด ดังนี้ วัสดุที่จะทำการทดสอบ(ผลไม้และผัก) จะถูกหนีบไม่ให้มีช่องว่างโดยวัสดุยึดหยุ่น ซึ่งมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกเหมือนกับวัสดุที่จะทำการทดสอบ ในวัสดุยึดหยุ่นจะมีตัวรับ-ส่งคลื่นไมโครเวฟอยู่ในแนวกึ่งกลางของวัสดุที่จะทำการทดสอบ ในกรณีนี้วัสดุยึดหยุ่นทำจากยางที่มีส่วนผสมของผงถ่านที่มีลักษณะเหมือนฟองน้ำ และสามารถเปิดปิดได้ในแนวตามลูกศร เส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุที่จะทำการทดสอบจะถูกวัดเพื่อนำไปควบคุมเซ็นเซอร์ที่อยู่ภายในแล้วนำค่าที่วัดได้ไปคำนวณโดยซอฟต์แวร์จากระบบดังกล่าว จะสามารถควบคุมคลื่นไมโครเวฟที่กระเจิงและเลี้ยวเบนได้ ดังนั้นระบบการวัดจึงมีความแม่นยำในการวัดค่าของวัสดุ

2. Maturity Degree Meter of Vegetables and Fruits

Publication number: 09-236586

Date of publication of application: 09 / 09 / 1997



รูปแสดงโครงสร้างของ Maturity Degree Meter of Vegetables and Fruits

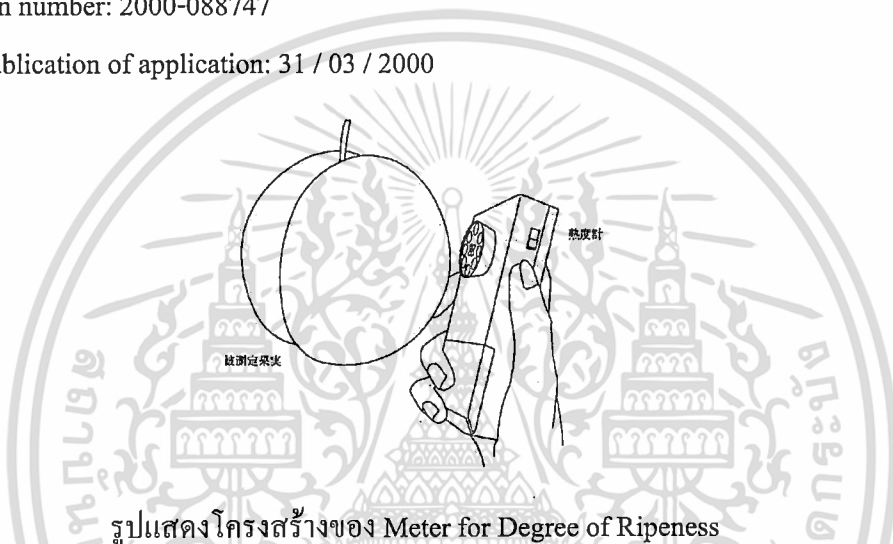
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีวัตถุประสงค์ เพื่อสร้างเครื่องทดสอบระดับความสุกของผลไม้และผัก โดยอาศัยหลักเชิงกลในการเคาะแล้ววัดรูปคลื่นอิมพัลส์ที่แพร่มาตามผิวโดยไมโครโฟนโดยมีรายละเอียดดังนี้ ระบบกลไกจะเคาะผลไม้และผักด้วยแรงที่กำหนดไว้ อิมพัลส์ที่แพร่ไปตามผิวจะถูกวัดไว้โดยไมโครโฟนตัวแรกและไมโครโฟนตัวสอง ซึ่งอยู่ห่างกันในระยะที่กำหนดไว้ ส่วนประมวลผลจะคำนวณหาเวลาที่ต่างกันเมื่อไมโครโฟนทั้งสองตัวได้รับอิมพัลส์ ส่วนประมวลผลจะเปรียบเทียบผลต่างของเวลานี้กับค่าอ้างอิงเพื่อแสดงค่าระดับความสุกต่อไป

3. Meter for Degree of Ripeness

Publication number: 2000-088747

Date of publication of application: 31 / 03 / 2000



รูปแสดงโครงสร้างของ Meter for Degree of Ripeness

มีวัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบระดับความสุกของผลไม้ โดยอาศัยหลักของการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ต่างกัน

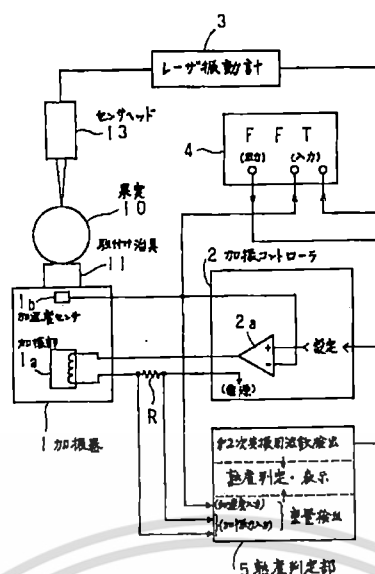
โดยมีรายละเอียดดังนี้ ส่วนของเซ็นเซอร์ประกอบด้วย LED จำนวนหนึ่งและโฟโตไดโอด ซึ่งจะสัมผัสกับผิวของผลไม้ที่ต้องการวัดระดับความสุก เริ่มการทำงาน LED จะเปล่งแสงสีแดง (ความยาวคลื่นประมาณ 660 nm) และแสงใกล้อินฟราเรด (Near Infrared) (ความยาวคลื่นประมาณ 880 nm) แสงอินฟราเรดส่วนใหญ่จะสะท้อนที่ผิว แต่มีบางส่วนจะถูกดูดกลืนโดยคลอโรฟิลล์ โฟโตไดโอดจะรับแสงที่สะท้อนกลับจากผิวของผลไม้ นั้น ซึ่งค่าที่วัดได้จะสัมพันธ์กับระดับความสุกและแสดงผลบนจอ LCD

4. Method and Apparatus for Measuring Maturity of Fruits

Publication number: 11-094807

Date of publication of application: 09 / 04 / 1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



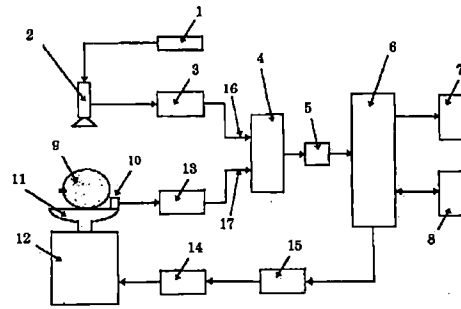
รูปแสดง โครงสร้างของ Method and Apparatus for Measuring Maturity of Fruits

มีวัตถุประสงค์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบความสุกของผลไม้ โดยอาศัยหลักการวัดความถี่กำลังที่สองของผลไม้โดยกระตุ้นให้สั่นแล้วคำนวณน้ำหนักจากแรงกระตุ้นนั้น โดยมีรายละเอียดดังนี้ เครื่องมือในการวัดความสุกประกอบด้วยตัวกระตุ้นให้สั่น เอาท์พุทของเซ็นเซอร์วัดความถี่จะป้อนกลับมาที่ออปแอมป์ของวงจรควบคุมการกระตุ้นให้ผลไม้สั่นในความถี่ เพื่อควบคุมกระแสในส่วนของการกระตุ้น กระแสดังกล่าวจะวิ่งผ่านตัวต้านทาน ซึ่งจะเกิดความต่างศักย์โดยแปรผันตามแรงกระตุ้นและน้ำหนักของผลไม้ ความถี่กำลังที่สองจะถูกวัดโดยตรวจจับการสั่นของผลไม้ที่ถูกกระตุ้นจากเครื่องวัดการสั่นสะเทือนด้วยเลเซอร์จากปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ไปยังตัวเซ็นเซอร์ แล้วประมวลสัญญาณโดยเครื่องวิเคราะห์ความถี่ ส่วนประมาณความสุกจะเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณดังกล่าวกับตารางความสัมพันธ์ที่เตรียมไว้ เพื่อประมาณความสุกจากความถี่กำลังที่สองและน้ำหนักของผลไม้

5. Method and System for Measuring Ripeness of Fruits and Vegetables

Publication number: 10-082767

Date of publication of application: 31 / 03 /1998



รูปแสดง โครงสร้างของ Method and System for Measuring Ripeness of Fruits and Vegetables

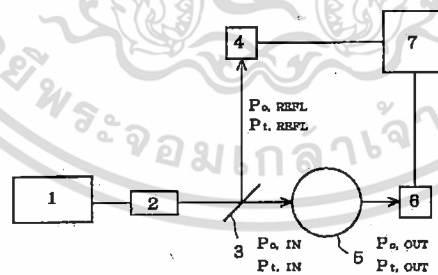
มีวัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบความสุกของผลไม้และผักอย่างแม่นยำด้วยความรวดเร็ว โดยประยุกต์การ สั่นแบบคลื่นรูปไซน์ที่มีความถี่จำเพาะ แล้ววัดความต่างเฟสของสัญญาณที่ตรวจจับได้จากบริเวณผิว ซึ่งสัมพันธ์กับระดับความสุกของผลไม้และผัก

โดยมีรายละเอียดดังนี้ เครื่องกำเนิดการสั่นสะเทือน(12)ประกอบด้วยแม่เหล็กถาวรและขดลวดไฟฟ้า จะสั่นผลไม้และผัก(9)ที่จะทดสอบ โดยเครื่องกำเนิดคลื่นรูปไซน์(15)ที่ต่อกับไมโครโพรเซสเซอร์ (6)ผ่านวงจรขยายกำลัง(14) วงจรเปรียบเทียบเฟส(4)จะเปรียบเทียบเฟสระหว่างอินพุต(A16)และ (B17) ซึ่งจะได้เอาท์พุทเป็นความต่างศักย์กระแสตรงที่สัมพันธ์กับความต่างเฟส ที่สัมพันธ์กับระดับ ความสุกของผลไม้และผัก แล้วแสดงผล(7)

6. Nondestructive Measuring Method for Ripeness of Fruits

Publication number: 08101124

Date of publication of application : 16 / 04 / 1996



รูปแสดง โครงสร้างของ Nondestructive Measuring Method for Ripeness of Fruits

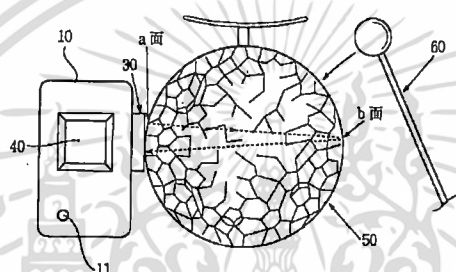
มีวัตถุประสงค์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบระดับความสุกของผลไม้ โดยอาศัยหลักการ การดูคลื่นแสงแล้วนำมาคำนวณค่า ซึ่งสัมพันธ์กับระดับความสุก โดยมีรายละเอียดดังนี้ ลำแสงเลเซอร์สีแดงที่มีการปรับความยาวคลื่นได้ในช่วงคลื่นจำเพาะ ซึ่งจะเปล่งแสงออกมาที่ค่า ความยาวคลื่นจากแหล่งกำเนิดแสง(1)และ(2) ลำแสงเลเซอร์จะสะท้อนกระจก(3)ไปยังเซ็นเซอร์(4) แล้วประมวลผลแต่ละความยาวคลื่น โดยส่วนประมวลผลสัญญาณ(7) ลำแสงเลเซอร์บางส่วนที่ผ่าน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระจก(3)จะส่องผ่านผลไม้(5)ไปยังเซ็นเซอร์(6) ซึ่งจะวัดได้ค่าการดูดกลืนทางแสง(Photo absorbiveness) แล้วส่งไปประมวลผลโดยส่วนประมวลผลสัญญาณ(7) หลังจากนั้นอีก 10 วัน จึงทำการตรวจวัดซ้ำกับผลไม้ลูกเดิมและตำแหน่งเดิม เพื่อวัดค่าการดูดกลืนทางแสง กรณีที่ผลไม้สุก ค่าการดูดกลืนทางแสงที่วัดได้จะลดลง และในส่วนที่มีความสุกมากก็จะมีระดับการดูดกลืนทางแสงที่ต่ำกว่า ดังนั้นจึงสามารถใช้ระดับการดูดกลืนทางแสงเป็นตัวบ่งชี้ระดับความสุกของผลไม้ได้

7. Portable Apparatus for Judging Fruits and Vegetables Maturity-Degree

Publication number: 09-274022

Date of publication of application : 21 / 10 / 1997



รูปแสดงโครงสร้างของ Portable Apparatus for Judging Fruits and Vegetables Maturity-Degree

มีวัตถุประสงค์ เพื่อลดความยุ่งยากการประมาณระดับความสุกและผลิตเครื่องมือที่เล็กกลง โดยมีรายละเอียดดังนี้ เส้นผ่านศูนย์กลางและเส้นรอบวงของเมลอน (50) จะถูกวัดโดยระบบคลื่นอัลตราโซนิค (20) คลื่นความถี่สูงจะสะท้อนจะถูกตรวจจับโดยไมโครโฟน (30) ซึ่งจะแปลงสัญญาณโดยวงจร A/D และวงจร FFT จะคำนวณค่าการสั่นสะเทือนภายใน (Inherent vibration value) ที่สัมพันธ์กับเส้นผ่านศูนย์กลางและเส้นรอบวงที่วัดได้ ซึ่งสัมพันธ์กับระดับความสุกของผลไม้ เอาท์พุทที่ได้ก็จะแสดงผล (40)

จากที่สืบค้นการประดิษฐ์ข้างต้นยังไม่พบสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้การเชื่อมต่อของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการตรวจสอบผลไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อพัฒนาเครื่องตรวจสอบรสชาติผลไม้ที่มีขนาดเล็กสามารถพกพาได้โดยอาศัยการวัดการสะท้อนและเชื่อมต่อของคลื่นไมโครเวฟเพื่อหาค่าสภาพยอมและความนำไฟฟ้า

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถผลิตเครื่องตรวจสอบรสชาติผลไม้ที่มีขนาดเล็กสามารถพกพาได้ที่มีราคาถูกลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการพื้นฐาน

อิมพีแดนซ์ของสายอากาศขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการร่วมกัน ไม่ว่าจะเป็นความถี่ที่ใช้งานของสายอากาศ รูปร่างของสายอากาศ วิธีการป้อน หรือแม้กระทั่งวัตถุที่อยู่รอบข้างตัวของสายอากาศ ดังนั้นการวิเคราะห์สายอากาศในทางปฏิบัติจึงมีข้อจำกัดมากมาย อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ ณ จุดต่างๆ ถูกนิยามได้ดัง อัตราส่วนของสนามกระแสไฟฟ้าต่อสนามของกระแสแม่เหล็ก ณ จุดที่สังเกต ซึ่งมีวิธีการมากมายในการหาอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ ไม่ว่าจะเป็นวิธีการค่าขอบเขต (Boundary-value method) วิธีการสายส่ง (Transmission-line method) วิธีการเวกเตอร์พอยน์ติง (Poynting vector method) และสามารถหาได้จากสมการเชิงอินทิกรัล (Integral equation) ซึ่งในงานนี้จะเป็นการนำเสนอการหาค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ และอิมพีแดนซ์ร่วมของสายอากาศ Z_{21} โดยวิธีการแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induced emf method)

2.1 วิธีการแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induced emf method)

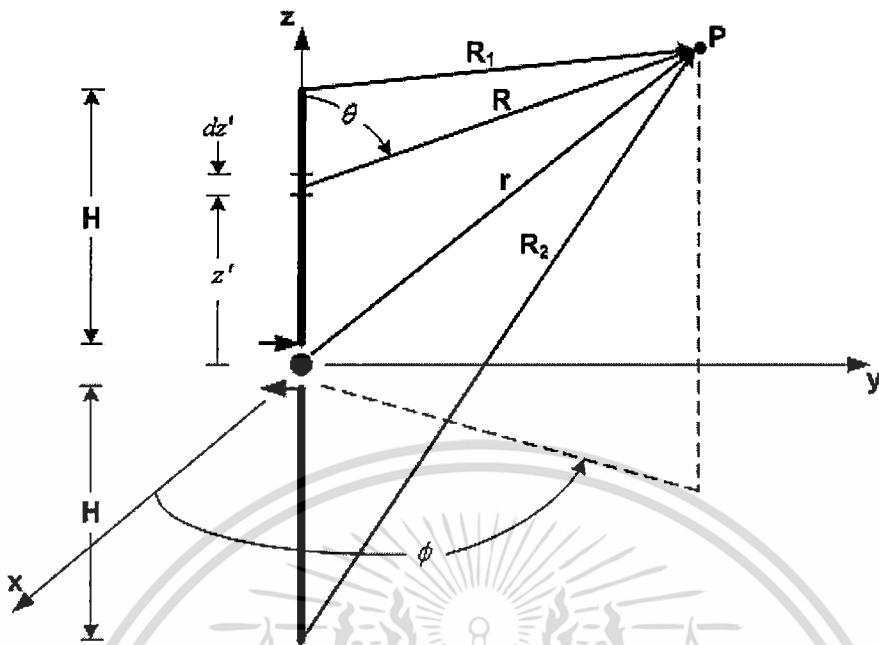
วิธีการแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำเป็นอีกหนึ่งวิธีการที่ดี สำหรับใช้ในการคำนวณหาอิมพีแดนซ์ตัวเอง (self impedance) และอิมพีแดนซ์ร่วม (mutual impedance) ของสายอากาศ ซึ่งวิธีการนี้มีข้อจำกัดเบื้องต้นสำหรับสายอากาศที่มีลักษณะ เส้นตรง ขนานกัน และ ขนานแบบเหลื่อมล้ำกัน ยิ่งไปกว่านั้นการนำค่ารัศมีของเส้นลวด และค่าของช่องว่างระหว่างจุดป้อน จะทำให้การคำนวณที่ต้องการความแม่นยำสูงยากยิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ง่ายในการคำนวณ รวมถึงการที่จะนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ทำการออกแบบต่อไป

2.1.1 สนามในบริเวณใกล้ของสายอากาศไดโพล

ในการหาค่าอิมพีแดนซ์ร่วมของสายอากาศ จะต้องพิจารณาที่สนามระยะใกล้ ในที่นี้จะพิจารณาสนามระยะใกล้ของสายอากาศไดโพลความยาว L ที่มีการป้อน ณ จุดกึ่งกลาง โดยจะคำนวณหาสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ณ จุดที่สนใจ P ซึ่งมีระยะห่างจากสายอากาศไดโพลแบบไม่จำเพาะเจาะจง และสมมติให้สายอากาศมีขนาดพอมบาง ดังรูปที่ 2.1 สำหรับกรณีที่สายอากาศไดโพลมีขนาดพอมบางมากๆ กระแสที่กระจายบนตัวสายอากาศไดโพล สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.1)

$$I(z') = \begin{cases} \hat{a}_z I_m \sin[k(H - z')], & 0 \leq z' \leq H \\ \hat{a}_z I_m \sin[k(H + z')], & -H \leq z' \leq 0 \end{cases} \quad (2.1)$$

จากสมการที่ (2.1) กำหนดให้ H แทนครึ่งความยาวของไดโพล เมื่อสายอากาศไดโพลมีความยาวเท่ากับ l ดังนั้น $H = l/2$ เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ [9] เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของสายอากาศไดโพลที่ใช้ในการวิเคราะห์สนามในบริเวณใกล้

เพื่อที่จะคำนวณหาอิมพีแดนซ์ร่วมของสายอากาศไดโพลที่วางตัวอยู่ในแนวแกนกันให้สะดวกขึ้น จึงได้นำระบบพิกัดทรงกระบอกมาใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งจากรูปที่ 2.1 จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$R = \sqrt{(z - z')^2 + y^2} \quad (2.2a)$$

$$R_1 = \sqrt{(z - H)^2 + y^2} \quad (2.2b)$$

$$R_2 = \sqrt{(z + H)^2 + y^2} \quad (2.2c)$$

$$r = \sqrt{z^2 + y^2} \quad (2.2d)$$

ศักย์เวกเตอร์ ณ ตำแหน่ง P แสดงได้ดังนี้

$$\begin{aligned} A_z &= \frac{\mu I_m}{4\pi} \left(\int_0^H \frac{\sin[k(H - z')] \exp(-jkR)}{R} dz' + \int_{-H}^0 \frac{\sin[k(H + z')] \exp(-jkR)}{R} dz' \right) \\ &= \frac{\mu I_m}{8\pi j} \left(\exp(jkH) \int_0^H \frac{\exp[-jk(R + z')]}{R} dz' - \exp(-jkH) \int_0^H \frac{\exp[-jk(R - z')]}{R} dz' \right. \\ &\quad \left. + \exp(jkH) \int_{-H}^0 \frac{\exp[-jk(R - z')]}{R} dz' - \exp(-jkH) \int_{-H}^0 \frac{\exp[-jk(R + z')]}{R} dz' \right) \quad (2.3) \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบพิกัดทรงกระบอกสนามแม่เหล็ก ณ ตำแหน่ง P แสดงได้ดังนี้

$$H = \hat{a}_\phi H_\phi \quad (2.4)$$

โดยที่

$$H_\phi = -\frac{1}{\mu} \frac{\partial A_z}{\partial \rho} \quad (2.5)$$

แต่จากรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าสายอากาศโคโพลสมมาตรตามแนวแกน z ดังนั้นตำแหน่ง P สามารถพิจารณาได้ในระนาบ $y-z$ จะได้ว่า

$$H_\phi = -H_x = -\frac{1}{\mu} \frac{\partial A_z}{\partial y} \quad (2.6)$$

แทนค่าจากสมการที่ (2.6) ลงในสมการที่ (2.3) จะได้

$$H_\phi = -\frac{Im}{8\pi j} [\exp(jkH)Q_1 - \exp(-jkH)Q_2 + \exp(jkH)Q_3 - \exp(-jkH)Q_4] \quad (2.7)$$

โดยที่

$$Q_1 = \frac{\partial}{\partial y} \int_0^R \frac{H \exp[-jk(R+z')]}{R} dz' \quad (2.8a)$$

$$Q_2 = \frac{\partial}{\partial y} \int_0^R \frac{H \exp[-jk(R-z')]}{R} dz' \quad (2.8b)$$

$$Q_3 = \frac{\partial}{\partial y} \int_{-H}^0 \frac{\exp[-jk(R-z')]}{R} dz' \quad (2.8c)$$

$$Q_4 = \frac{\partial}{\partial y} \int_{-H}^0 \frac{\exp[-jk(R+z')]}{R} dz' \quad (2.8d)$$

แทนค่าจากสมการที่ (2.8a)-(2.8d) ลงในสมการที่ (2.7) จะได้

$$H_\phi = -\frac{Im}{4\pi jy} [\exp(-jkR_1) + \exp(-jkR_2) - 2 \cos(kH) \exp(-jkr)] \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนสนามไฟฟ้าสามารถหาได้จากสมการของแมกซ์เวลล์ ดังนี้

$$E = \frac{1}{j\omega\epsilon} \nabla \times H \quad (2.10)$$

ซึ่งสนามไฟฟ้าที่แผ่จากสายอากาศไดโพลนี้ สามารถแสดงได้ดังนี้

$$E = \hat{a}_\rho E_\rho + \hat{a}_z E_z = -\hat{a}_\rho \frac{1}{j\omega\epsilon} \frac{\partial H_\phi}{\partial z} + \hat{a}_z \frac{1}{j\omega\epsilon} \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} (\rho H_\phi) \quad (2.11)$$

โดยที่

$$E_z = -j \frac{\eta I_m}{4\pi} \left(\frac{\exp(-jkR_1)}{R_1} + \frac{\exp(-jkR_2)}{R_2} - 2 \cos(kH) \frac{\exp(-jkr)}{r} \right) \quad (2.12)$$

$$E_y = j \frac{\eta I_m}{4\pi y} \left(\frac{z-H}{R_1} \exp(-jkR_1) + \frac{z+H}{R_2} \exp(-jkR_2) - \frac{2z \cos(kH)}{r} \exp(-jkr) \right) \quad (2.13)$$

2.2 อิมพีแดนซ์ร่วมระหว่างองค์ประกอบเชิงเส้น

สายอากาศ 2 ตัวที่วางอยู่ใกล้กัน จะแตกต่างจากสายอากาศเพียงตัวเดียวที่อยู่ในตัวกลางเปิด ไม่ว่าจะเป็นการกระจายของกระแส สนามที่แผ่ และอิมพีแดนซ์ทางด้านเข้าของสายอากาศ ดังนั้นคุณลักษณะของสายอากาศไม่เพียงขึ้นอยู่กับกระแสที่กระจายอยู่บนตัวเอง แต่ยังรวมถึงกระแสที่กระจายอยู่บนตัวสายอากาศที่อยู่ข้างเคียง เพื่อที่จะวิเคราะห์ให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น จึงสมมติให้สายอากาศ 2 ตัว เสมือนเป็นโครงข่าย 2 พอร์ต (two-port network) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งมีความสัมพันธ์ของกระแส และแรงดัน ดังนี้

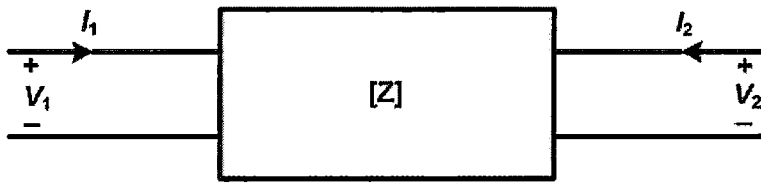
$$\begin{aligned} V_1 &= Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2 \\ V_2 &= Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2 \end{aligned} \quad (2.14)$$

โดยที่

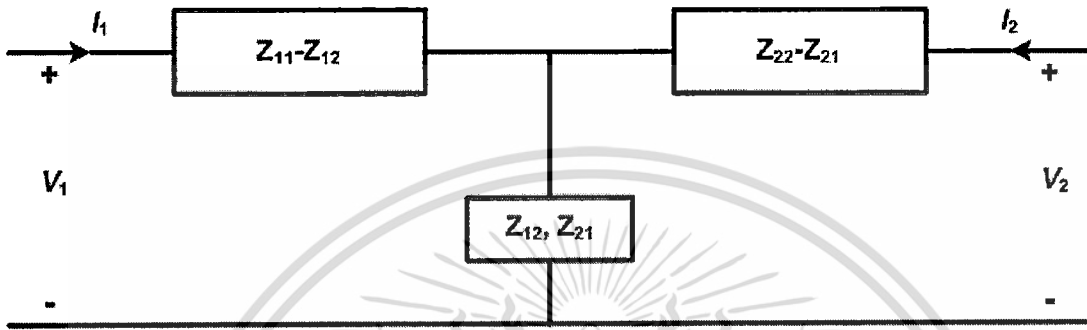
$$Z_{11} = \left. \frac{V_1}{I_1} \right|_{I_2=0} \quad (2.14a)$$

Z_{11} เป็นอิมพีแดนซ์ขาเข้า ณ พอร์ต 1 เมื่อเปิดวงจร ณ พอร์ต 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) โคร่งข่าย 2 พอร์ต



(b) โคร่งข่ายเสมือน T

รูปที่ 2.2 โคร่งข่าย 2 พอร์ต และ โคร่งข่ายเสมือน T

$$Z_{12} = \left. \frac{V_1}{I_2} \right|_{I_1=0} \tag{2.14b}$$

Z_{12} เป็นอิมพีแดนซ์ร่วม ณ พอร์ต 1 เนื่องจากกระแสจากพอร์ต 2 โดยที่มีการเปิดวงจร ณ พอร์ต 1

$$Z_{21} = \left. \frac{V_2}{I_1} \right|_{I_2=0} \tag{2.14c}$$

Z_{21} เป็นอิมพีแดนซ์ร่วม ณ พอร์ต 2 เนื่องจากกระแสจากพอร์ต 1 โดยที่มีการเปิดวงจร ณ พอร์ต 2

$$Z_{22} = \left. \frac{V_2}{I_2} \right|_{I_1=0} \tag{2.14d}$$

Z_{22} เป็นอิมพีแดนซ์ขาเข้า ณ พอร์ต 2 โดยที่มีการเปิดวงจร ณ พอร์ต 1

อิมพีแดนซ์ Z_{11} และ Z_{22} เป็นอิมพีแดนซ์ทางเข้าของสายอากาศตัวที่ 1 และ 2 ตามลำดับ เมื่อสายอากาศแต่ละตัวแผ่กระจายคลื่นในตัวกลางที่ไม่มีขอบเขต สายอากาศที่อยู่ข้างเคียงจะส่งผลให้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิมพีแดนซ์ขาเข้าเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ซึ่งผลกระทบนี้ขึ้นอยู่กับ ชนิดของสายอากาศ ระยะห่างระหว่างสายอากาศทั้ง 2 และชนิดของการป้อนสายอากาศแต่ละตัว ดังนั้นสามารถเขียนความสัมพันธ์จากที่สมการที่ (2.14) ได้ใหม่ ดังนี้

$$Z_{1d} = \frac{V_1}{I_1} = Z_{11} + Z_{12} \left(\frac{I_2}{I_1} \right) \quad (2.15a)$$

$$Z_{2d} = \frac{V_2}{I_2} = Z_{22} + Z_{21} \left(\frac{I_1}{I_2} \right) \quad (2.15b)$$

Z_{1d} และ Z_{2d} คืออิมพีแดนซ์ ณ จุดขับ (driving-point impedance) ของสายอากาศตัวที่ 1 และ 2 ตามลำดับ โดยที่อิมพีแดนซ์ ณ จุดขับขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของกระแส I_1/I_2 อิมพีแดนซ์ร่วม และอิมพีแดนซ์ของตัวสายอากาศเอง เมื่อต้องการแมตช์ซึ่งสายอากาศ จะต้องแมตช์ซึ่งอิมพีแดนซ์ ณ จุดขับ ดังนั้นอิมพีแดนซ์ร่วมจึงมีบทบาทสำคัญต่อความสามารถของสายอากาศ

เพื่อที่จะคำนวณอิมพีแดนซ์ร่วม Z_{21} จำเป็นที่จะต้องหาแรงดัน V_{21} เนื่องจากการเปิดวงจรที่สายอากาศตัวที่ 2 ที่ขึ้นกับกระแส $I_1(0)$ จากสายอากาศตัวที่ 1 โดยที่จะพิจารณาให้สายอากาศตัวที่ 2 อยู่ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของสายอากาศตัวที่ 1 และพิจารณาตรงส่วนเล็กๆ ของสายอากาศที่ dz' ที่มีระยะห่างจากจุดป้อนตรงกลางเป็นระยะ z' ซึ่งจะให้อ่งค์ประกอบของสนามไฟฟ้าตกกระทบที่อยู่ในแนวขนานกับส่วนที่ทำการพิจารณา dz' เท่ากับ E_{z21} ดังนั้นสนามไฟฟ้าเหนี่ยวนำภายใน dz' จะเท่ากับ $E_{zi} = -E_{z21}$ เนื่องจากว่าสนามไฟฟ้ารวมจะมีค่าสูงสุด ณ จุดป้อน และจะมีค่าลดลงจนเป็นศูนย์ ณ จุดปลายของสายอากาศ จากรูปที่ 2.3 จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{-E_{z21} dz'}{dl_{sc}} = \frac{V}{I_2(z')}$$

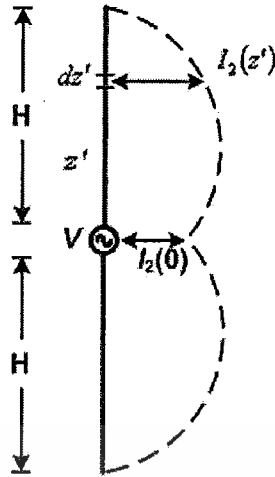
หรือ

$$dl_{sc} = -\frac{E_{z21} dz'}{V} I_2(z') \quad (2.16)$$

กระแสรวมจากการปิดวงจร I_{sc} เกิดขึ้นเนื่องจากการรวมกันของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำตามความยาวของสายอากาศ ดังแสดงในสมการความสัมพันธ์

$$I_{sc} = -\frac{1}{V} \int E_{z21} I_2(z') dz' \quad (2.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 สายอากาศที่เสมือนเป็นตัวส่ง

แรงดันจากการเปิดวงจร V_{21} เท่ากับผลคูณของกระแสจากการปิดวงจร I_{sc} กับอิมพีแดนซ์ของตัวสายอากาศ Z_2 ดังแสดงในสมการ

$$V_{21} = I_{sc} Z_2 = -\frac{Z_2}{V} \int E_{z21} I_2(z') dz' \quad (2.18)$$

เนื่องจาก $Z_2 = V / I_2(0)$ จะได้

$$V_{21} = -\frac{1}{I_2(0)} \int E_{z21} I_2(z') dz' \quad (2.19)$$

แทนค่าจากสมการที่ (2.19) ลงในสมการที่ 2.14c จะได้

$$Z_{21} = -\frac{1}{I_1(0)I_2(0)} \int E_{z21} I_2(z') dz' \quad (2.20)$$

จากสมการที่ (2.20) เป็นความสัมพันธ์ของอิมพีแดนซ์ร่วมที่แสดงในเทอมของการอินทิเกรตผลคูณขององค์ประกอบของสนามไฟฟ้าตกกระทบที่ขนานกับสายอากาศ E_{z21} และกระแสที่กระจายตามความยาวของสายอากาศ เมื่อสายอากาศถูกใช้งานเป็นตัวส่ง $I_2(z')$ โดยที่ $I_1(0)$ และ $I_2(0)$ เป็นกระแส ณ จุดป้อนของสายอากาศตัวที่ 1 และ 2 ตามลำดับ [9]

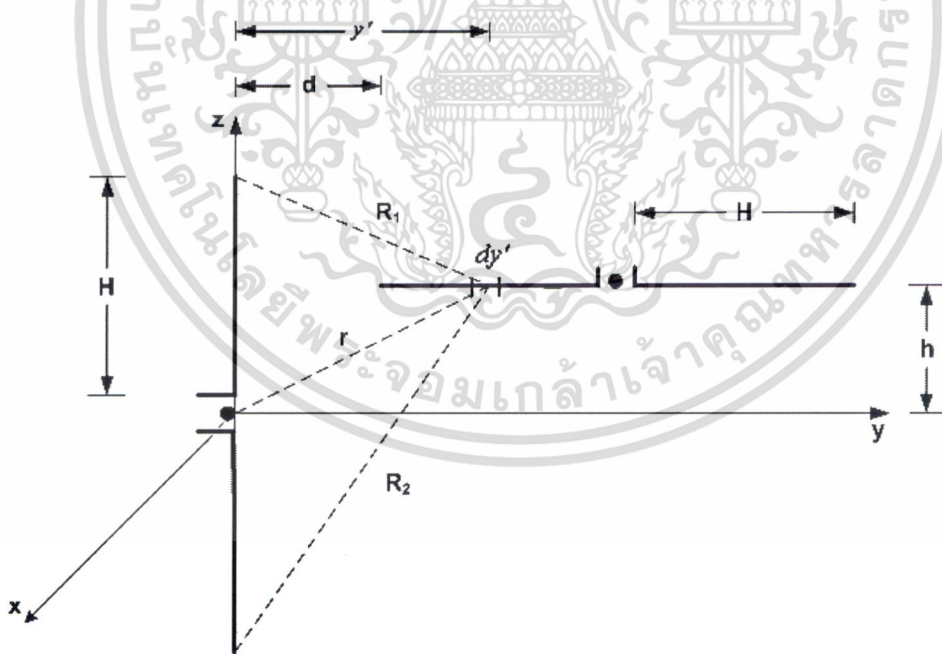
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การวิเคราะห์และผลการวิเคราะห์

สายอากาศไดโพลที่จะนำมาวิเคราะห์ค่าอิมพีแดนซ์ร่วมนั้น เดิมทีที่ได้มีการวิเคราะห์ไว้แล้วมีรูปแบบการจัดวางแบบ Side-by-side Collinear และ Parallel-in-echelon [10] ซึ่งต่อมามีหลายงานวิจัยที่ได้พยายามปรับปรุงแก้ไขสมการสุดท้าย (closed form solution) เพื่อให้ง่ายสำหรับการนำไปใช้ [11-13] และมีอีกหลายงานวิจัยได้วิเคราะห์อิมพีแดนซ์ร่วมของสายอากาศไดโพลสองตัวที่วางอยู่ในลักษณะที่ต่างไปจาก ทั้ง 3 แบบที่ได้มีการวิจัยไว้แล้วข้างต้น [12] ในงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์สายอากาศไดโพลสองตัวกรณีที่มีรูปแบบการจัดวางแบบตั้งฉาก และกรณีที่สายอากาศไดโพลสองตัวที่มีรูปแบบการจัดวางแบบ Parallel-in-echelon โดยที่จะแสดงการวิเคราะห์ในกรณีที่สายอากาศไดโพลสองตัวที่มีรูปแบบการจัดวางอยู่ในลักษณะตั้งฉากซึ่งกันและกันเท่านั้น เนื่องจากในกรณีที่สายอากาศไดโพลสองตัววางอยู่แบบ Parallel-in-echelon จะนำเอาสมการสุดท้ายที่ได้มีการศึกษาไว้แล้วมาใช้ [10]

3.1 การวิเคราะห์



รูปที่ 3.1 รูปแบบการจัดวางของสายอากาศไดโพล กรณีตั้งฉากรวมทั้งพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

ในการหาค่าอิมพีแดนซ์ร่วมของสายอากาศไดโพล จากรูปที่ 3.1 จะสมมติให้สายอากาศไดโพลทั้งสองมีขนาดเล็กลงๆ โดยที่กำหนดให้ $H = L/2$ และสายอากาศไดโพลทั้งสองวางห่างกันเป็นระยะ d จากสมการที่ (2.20) จะได้ความสัมพันธ์ของอิมพีแดนซ์ร่วมของสายอากาศไดโพล ดังนี้

$$Z_{21} = -\frac{1}{I_1(0)I_2(0)} \int E_{21}I_2(y')dy' \quad (3.1)$$

แทนค่า E_{21} และ $I_2(y')$ ลงในสมการที่ (3.1) โดยที่

$$E_{21} = E_{\parallel} = E_y = j \frac{\eta I_m}{4\pi y} \left(\frac{z-H}{R_1} \exp(-jkR_1) + \frac{z+H}{R_2} \exp(-jkR_2) - \frac{2z \cos(kH)}{r} \exp(-jkr) \right) \quad (3.2)$$

$$I_2(y') = \begin{cases} I_m \sin[k(y'-d)] & ; d < y' < H+d \\ I_m \sin[k(2H+d-y')] & ; H+d < y' < 2H+d \end{cases} \quad (3.3)$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่า E_{\parallel} เป็นองค์ประกอบสนามไฟฟ้าแบบขนานที่สายอากาศไดโพลตัวที่ 2 เนื่องจากสายอากาศไดโพลตัวที่ 1 ดังนั้นเมื่อแทนค่าจากสมการที่ (3.2) และสมการที่ (3.3) ลงในสมการที่ (3.1) จะได้

$$Z_{21} = -j \frac{\eta I_1 I_2 m}{4\pi I_1(0) I_2(0)} \left[\int_d^{H+d} \left\{ \left(\frac{z-H}{y} \frac{\exp(-jkR_1)}{R_1} + \frac{z+H}{y} \frac{\exp(-jkR_2)}{R_2} - \frac{2z \cos(kH)}{y} \frac{\exp(-jkr)}{r} \right) \times \sin[k(y'-d)] \right\} dy' \right] \quad (3.4)$$

เปลี่ยน $\sin[k(y'-d)]$ และ $\sin[k(2H+d-y')]$ ให้อยู่ในรูปของเอ็กซ์โปเนนเชียล จะได้ดังนี้

$$\sin[k(y'-d)] = \frac{1}{2j} \{ \exp[jk(y'-d)] - \exp[-jk(y'-d)] \} \quad (3.5)$$

$$\sin[k(2H+d-y')] = \frac{1}{2j} \{ \exp[jk(2H+d-y')] - \exp[-jk(2H+d-y')] \} \quad (3.6)$$

ดังนั้นจากสมการที่ (3.4) สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$Z_{21} = -j \frac{\eta I_1 I_2 m}{4\pi I_1(0) I_2(0)} \times \frac{1}{2j} \left[\int_d^{H+d} \left\{ \left(\frac{z-H}{y} \frac{\exp(-jkR_1)}{R_1} + \frac{z+H}{y} \frac{\exp(-jkR_2)}{R_2} - \frac{2z \cos(kH)}{y} \frac{\exp(-jkr)}{r} \right) \times \right. \right.$$

$$\left. \left(\exp[jk(y'-d)] - \exp[-jk(y'-d)] \right) \right\} dy' + \int_{H+d}^{2H+d} \left\{ \left(\exp[jk(2H+d-y')] - \exp[-jk(2H+d-y')] \right) \times \left(\frac{z-H}{y} \frac{\exp(-jkR_1)}{R_1} + \frac{z+H}{y} \frac{\exp(-jkR_2)}{R_2} - \frac{2z \cos(kH)}{y} \frac{\exp(-jkr)}{r} \right) \right\} dy' \quad (3.7)$$

โดยที่ y คือระยะห่างจากสายอากาศไดโพลตัวแรก ไปยังจุดสังเกตบนสายอากาศไดโพลตัวที่ 2 จะคิดเป็นค่าคงที่ให้ $y=d$ ส่วน z เป็นความสูงของสายอากาศไดโพลตัวที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบกับแนวจุดป้อนของสายอากาศไดโพลตัวแรก ซึ่งจากรูป $z=h$ คิดเป็นค่าคงที่เช่นกัน และจากสมการที่ (3.7) เมื่อคุณกระจายเข้าไปแล้วอินทิเกรต จะได้ผลบวกของคำตอบออกมาทั้งสิ้น 12 เทอม โดยในที่นี้จะแสดงวิธีการหาคำตอบเพียงเทอมเดียว ซึ่งอีก 11 เทอมที่เหลือก็มีวิธีการหาคำตอบเช่นเดียวกัน

กำหนดให้คำตอบเทอมแรกเท่ากับ A_1 ซึ่ง A_1 เท่ากับ

$$A_1 = \int_d^{H+d} \left\{ \left(\frac{z-H}{y} \frac{\exp(-jkR_1)}{R_1} \right) \times \left(\exp[jk(y'-d)] \right) \right\} dy' \quad (3.8)$$

จากสมการที่ (3.8) แทนค่า $H, z=h$ และ $y=d$ ซึ่งเป็นค่าคงที่ลงในสมการ จะได้

$$A_1 = \frac{h-H}{d} \int_d^{H+d} \frac{\exp[-jk(R_1-y'+d)]}{R_1} dy' \quad (3.9)$$

เพื่อให้ง่ายต่อการอินทิเกรต กำหนดให้

$$u = k(y' - R_1)$$

$$\frac{du}{dy'} = k \left(1 - \frac{dR_1}{dy'} \right)$$

ซึ่งจากรูปที่ 2.4 จะได้ว่า

$$R_1 = \sqrt{(H-h)^2 + y'^2}$$

แทนค่า R_1 ลงในสมการ จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{du}{dy'} = k \left(\frac{R_1 - y'}{R_1} \right)$$

ดังนั้น

$$dy' = \frac{-R_1}{u} du$$

แทนค่า dy' ที่ได้ลงในสมการที่ (3.9) จะได้ว่า

$$A_1 = \frac{h-H}{d} \int_{u_1}^{u_0} \frac{\exp[-j(kd-u)]}{R_1} \times \left(\frac{-R_1}{u} \right) du \quad (3.10)$$

โดยที่

$$u_0 = k \left[(H+d) - \sqrt{(H-h)^2 + (H+d)^2} \right]$$

$$u_1 = k \left[d - \sqrt{(H-h)^2 + d^2} \right]$$

จากความสัมพันธ์ $\exp(-ju) = \cos u - j \sin u$ ดังนั้นจากสมการที่ (3.10) สามารถแสดงใหม่ได้ดังนี้

$$A_1 = - \left(\frac{h-H}{d} \right) \left[\int_{u_1}^{u_0} \frac{\cos(kd-u)}{u} du - j \int_{u_1}^{u_0} \frac{\sin(kd-u)}{u} du \right] \quad (3.11)$$

และจากความสัมพันธ์

$$\cos(A-B) = \cos A \cos B + \sin A \sin B$$

$$\sin(A-B) = \sin A \cos B - \cos A \sin B$$

ดังนั้นสมการที่ (3.11) สามารถแสดงใหม่ได้ดังนี้

$$A_1 = - \left(\frac{h-H}{d} \right) \left[\int_{u_1}^{u_0} \frac{\cos(kd)\cos(u)}{u} du + \int_{u_1}^{u_0} \frac{\sin(kd)\sin(u)}{u} du - j \int_{u_1}^{u_0} \frac{\sin(kd)\cos(u)}{u} du + j \int_{u_1}^{u_0} \frac{\cos(kd)\sin(u)}{u} du \right] \quad (3.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำพจน์ที่เป็นค่าคงที่ออกมาอินทิเกรต เพื่อจัดให้อยู่ในรูปของ โคซายน์อินทิกรัล (cosine integral) และซายน์อินทิกรัล (sine integral) จะได้

$$\begin{aligned}
 A_1 &= -\left(\frac{h-H}{d}\right) \left[\cos(kd) \int_{u_1}^{u_0} \frac{\cos(u)}{u} du + \sin(kd) \int_{u_1}^{u_0} \frac{\sin(u)}{u} du - j \sin(kd) \int_{u_1}^{u_0} \frac{\cos(u)}{u} du + j \cos(kd) \int_{u_1}^{u_0} \frac{\sin(u)}{u} du \right] \\
 A_1 &= -\left(\frac{h-H}{d}\right) \left[\cos(kd) \left\{ \int_{u_1}^{\alpha} \frac{\cos(u)}{u} du - \int_{u_0}^{\alpha} \frac{\cos(u)}{u} du \right\} + \sin(kd) \left\{ \int_0^{u_0} \frac{\sin(u)}{u} du - \int_0^{u_1} \frac{\sin(u)}{u} du \right\} \right. \\
 &\quad \left. - j \sin(kd) \left\{ \int_{u_1}^{\alpha} \frac{\cos(u)}{u} du - \int_{u_0}^{\alpha} \frac{\cos(u)}{u} du \right\} + j \cos(kd) \left\{ \int_0^{u_0} \frac{\sin(u)}{u} du - \int_0^{u_1} \frac{\sin(u)}{u} du \right\} \right] \\
 &= -\left(\frac{h-H}{d}\right) \left[\cos(kd) \{Ci(u_0) - Ci(u_1)\} + \sin(kd) \{Si(u_0) - Si(u_1)\} - j \sin(kd) \{Ci(u_0) - Ci(u_1)\} \right. \\
 &\quad \left. + j \cos(kd) \{Si(u_0) - Si(u_1)\} \right] \tag{3.13}
 \end{aligned}$$

จากสมการที่ (3.13) จะได้ผลการอินทิเกรตที่อยู่ในเทอมของ ซายน์อินทิกรัล และโคซายน์อินทิกรัล ซึ่งซายน์อินทิกรัล และโคซายน์อินทิกรัล สามารถนิยามได้ดังความสัมพันธ์นี้

$$\begin{aligned}
 Si(x) &= \int_0^x \frac{\sin(\tau)}{\tau} d\tau \\
 Ci(x) &= -\int_x^{\alpha} \frac{\cos(\tau)}{\tau} d\tau = \int \frac{x \cos(\tau)}{\alpha \tau} d\tau
 \end{aligned}$$

ส่วนการอินทิเกรตอีก 11 เทอมที่เหลือนั้น มีขั้นตอนเหมือนกับเทอมที่ A_1 ดังนั้นจะแสดงเพียงผลลัพธ์ที่ได้จากการอินทิเกรตเท่านั้น

$$\begin{aligned}
 A_2 &= -\left(\frac{h+H}{d}\right) \left[\cos(kd) \{Ci(u_3) - Ci(u_2)\} + \sin(kd) \{Si(u_3) - Si(u_2)\} \right. \\
 &\quad \left. - j \sin(kd) \{Ci(u_3) - Ci(u_2)\} + j \cos(kd) \{Si(u_3) - Si(u_2)\} \right] \tag{3.14}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
A_3 = & \frac{2h}{d} \cos(kH) \left[\cos(kd) \{Ci(u_5) - Ci(u_4)\} + \sin(kd) \{Si(u_5) - Si(u_4)\} \right. \\
& \left. - j \sin(kd) \{Ci(u_5) - Ci(u_4)\} + j \cos(kd) \{Si(u_5) - Si(u_4)\} \right] \quad (3.15)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_4 = & - \left(\frac{h-H}{d} \right) \left[\cos(kd) \{Ci(v_0) - Ci(v_1)\} + \sin(kd) \{Si(v_0) - Si(v_1)\} \right. \\
& \left. - j \cos(kd) \{Si(v_0) - Si(v_1)\} + j \sin(kd) \{Ci(v_0) - Ci(v_1)\} \right] \quad (3.16)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_5 = & - \left(\frac{h+H}{d} \right) \left[\cos(kd) \{Ci(v_3) - Ci(v_2)\} + \sin(kd) \{Si(v_3) - Si(v_2)\} \right. \\
& \left. - j \cos(kd) \{Si(v_3) - Si(v_2)\} + j \sin(kd) \{Ci(v_3) - Ci(v_2)\} \right] \quad (3.17)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_6 = & \frac{2h}{d} \cos(kH) \left[\cos(kd) \{Ci(v_5) - Ci(v_4)\} + \sin(kd) \{Si(v_5) - Si(v_4)\} \right. \\
& \left. - j \cos(kd) \{Si(v_5) - Si(v_4)\} + j \sin(kd) \{Ci(v_5) - Ci(v_4)\} \right] \quad (3.18)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_7 = & \left(\frac{h-H}{d} \right) \left[\cos[k(2H+d)] \{Ci(m_1) - Ci(v_0)\} + \sin[k(2H+d)] \{Si(m_1) - Si(v_0)\} \right. \\
& \left. - j \cos[k(2H+d)] \{Si(m_1) - Si(v_0)\} + j \sin[k(2H+d)] \{Ci(m_1) - Ci(v_0)\} \right] \quad (3.19)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_8 = & \left(\frac{h+H}{d} \right) \left[\cos[k(2H+d)] \{Ci(m_2) - Ci(v_3)\} + \sin[k(2H+d)] \{Si(m_2) - Si(v_3)\} \right. \\
& \left. - j \cos[k(2H+d)] \{Si(m_2) - Si(v_3)\} + j \sin[k(2H+d)] \{Ci(m_2) - Ci(v_3)\} \right] \quad (3.20)
\end{aligned}$$

$$A_9 = - \frac{2h}{d} \cos(kH) \left[\cos[k(2H+d)] \{Ci(m_3) - Ci(v_5)\} + \sin[k(2H+d)] \{Si(m_3) - Si(v_5)\} \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$-j \cos[k(2H+d)] \{Si(m_3) - Si(v_5)\} + j \sin[k(2H+d)] \{Ci(m_3) - Ci(v_5)\} \quad (3.21)$$

$$A_{10} = \left(\frac{h-H}{d}\right) \left[\cos[k(2H+d)] \{Ci(m_4) - Ci(u_0)\} + \sin[k(2H+d)] \{Si(m_4) - Si(u_0)\} \right. \\ \left. - j \sin[k(2H+d)] \{Ci(m_4) - Ci(u_0)\} + j \cos[k(2H+d)] \{Si(m_4) - Si(u_0)\} \right] \quad (3.22)$$

$$A_{11} = \left(\frac{h+H}{d}\right) \left[\cos[k(2H+d)] \{Ci(m_5) - Ci(u_3)\} + \sin[k(2H+d)] \{Si(m_5) - Si(u_3)\} \right. \\ \left. - j \sin[k(2H+d)] \{Ci(m_5) - Ci(u_3)\} + j \cos[k(2H+d)] \{Si(m_5) - Si(u_3)\} \right] \quad (3.23)$$

$$A_{12} = -\frac{2h}{d} \cos(kH) \left[\cos[k(2H+d)] \{Ci(m_6) - Ci(u_5)\} + \sin[k(2H+d)] \{Si(m_6) - Si(u_5)\} \right. \\ \left. - j \sin[k(2H+d)] \{Ci(m_6) - Ci(u_5)\} + j \cos[k(2H+d)] \{Si(m_6) - Si(u_5)\} \right] \quad (3.24)$$

โดยที่

$$u_2 = k \left[d - \sqrt{(H+h)^2 + d^2} \right]$$

$$u_3 = k \left[(H+d) - \sqrt{(H+h)^2 + (H+d)^2} \right]$$

$$u_4 = k \left[d - \sqrt{h^2 + d^2} \right]$$

$$u_5 = k \left[(H+d) - \sqrt{h^2 + (H+d)^2} \right]$$

$$v_0 = k \left[\sqrt{(H-h)^2 + (H+d)^2} + (H+d) \right]$$

$$v_1 = k \left[\sqrt{(H-h)^2 + d^2} + d \right]$$

$$v_2 = k \left[\sqrt{(H+h)^2 + d^2} + d \right]$$

$$v_3 = k \left[\sqrt{(H+h)^2 + (H+d)^2} + (H+d) \right]$$

$$v_4 = k \left[\sqrt{h^2 + d^2} + d \right]$$

$$v_5 = k \left[\sqrt{h^2 + (H+d)^2} + (H+d) \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

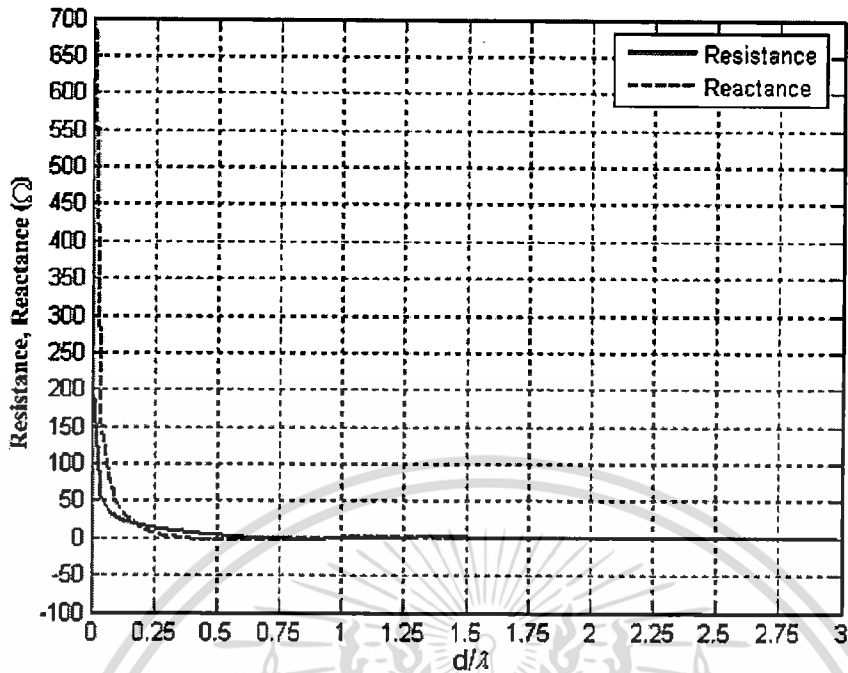
$$\begin{aligned}
 m_1 &= k \left[\sqrt{(H-h)^2 + (2H+d)^2} + (2H+d) \right] \\
 m_2 &= k \left[\sqrt{(H+h)^2 + (2H+d)^2} + (2H+d) \right] \\
 m_3 &= k \left[\sqrt{h^2 + (2H+d)^2} + (2H+d) \right] \\
 m_4 &= k \left[(2H+d) - \sqrt{(H-h)^2 + (2H+d)^2} \right] \\
 m_5 &= k \left[(2H+d) - \sqrt{(H+h)^2 + (2H+d)^2} \right]
 \end{aligned}$$

ค่าอิมพีแดนซ์ร่วมของสายอากาศไดโพล 2 ตัว ที่วางอยู่ในลักษณะตั้งฉากกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.4 เป็นผลรวมของคำตอบทั้ง 12 เทอม $\left(\sum_{i=1}^N A_i ; N=12 \right)$ ที่ได้จากสมการที่ (3.6) แสดงได้ดังนี้

$$Z_{21} = -j \frac{\eta I_1 I_2}{4\pi I_1(0) I_2(0)} \times \frac{1}{2j} (A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 + A_7 + A_8 + A_9 + A_{10} + A_{11} + A_{12}) \quad (3.25)$$

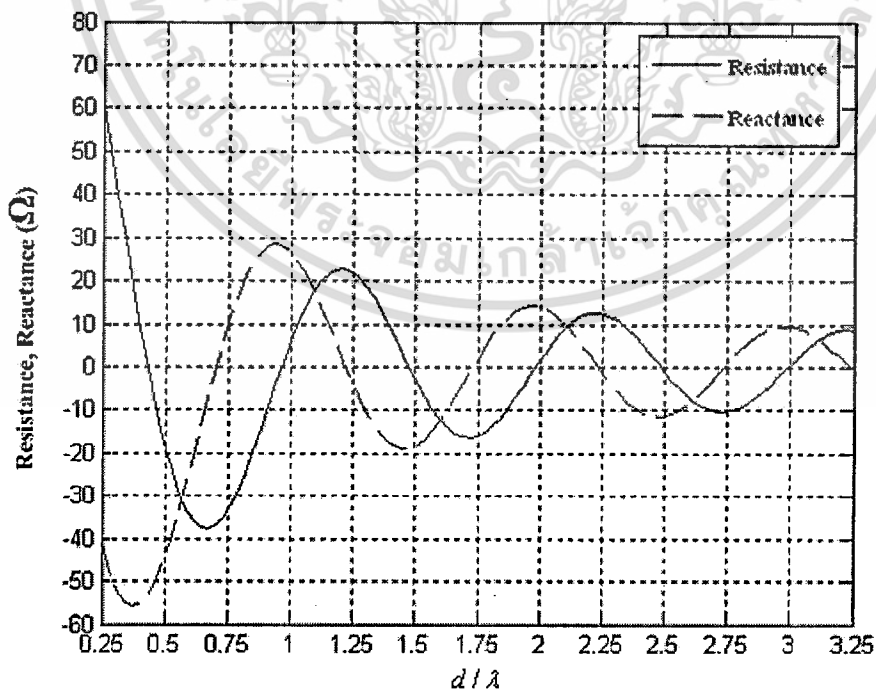
3.2 ผลการวิเคราะห์

สายอากาศไดโพลทั้งสองตัวที่นำมาวิเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 3.4 กำหนดให้มีความยาว 0.5λ จะได้ว่า $H = 0.25\lambda$, ความสูง $h = 0.125$ และให้สายอากาศไดโพลทั้งสองมีขนาดบางและเล็ก จึงไม่นำรัศมีของสายอากาศไดโพลมาคำนวณด้วย ทำการวิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์ d ซึ่งเป็นระยะห่างของสายอากาศทั้งสองตัวที่มีต่อค่าอิมพีแดนซ์ร่วม โดยที่ระยะห่างที่ทำการเปลี่ยนแปลงจะคิดเป็นอัตราส่วนต่อความยาวคลื่น ผลที่ได้ดังแสดงต่อไปนี้



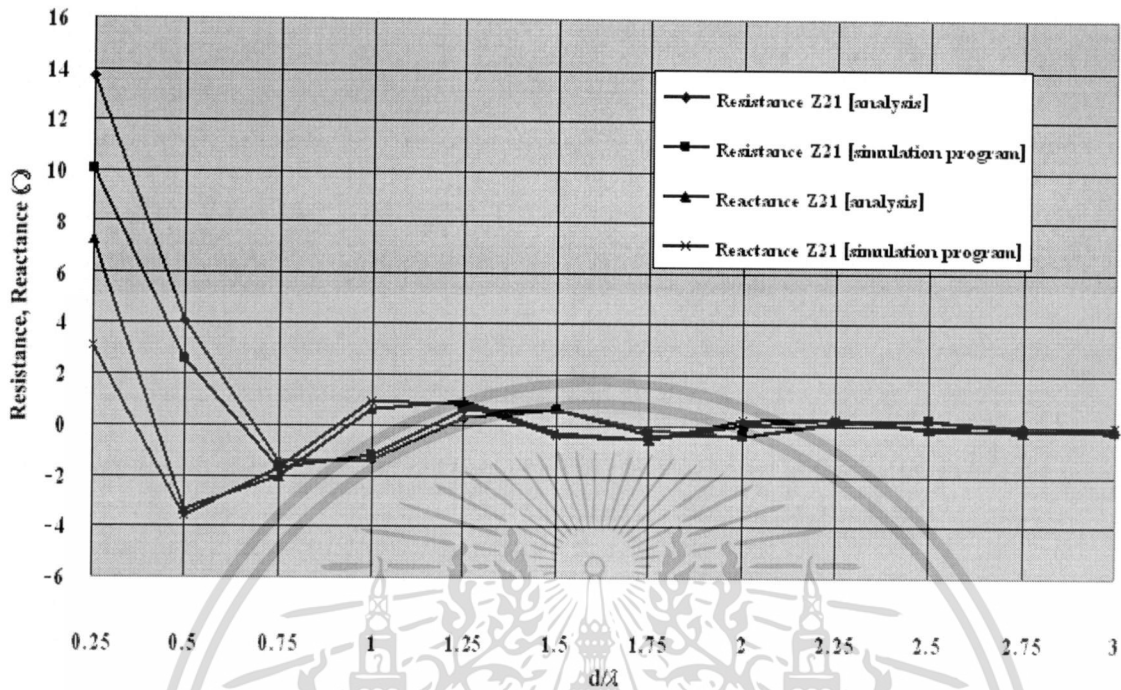
รูปที่ 3.5 ค่าอิมพีแดนซ์ที่ได้จากการวิเคราะห์กรณีทึ่สายอากาศไดโพลมีรูปแบบการจัดวางตัวแบบตั้งฉาก

จากรูปที่ 3.5 จะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานและค่ารีแอกแตนซ์ จะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของระยะห่างต่อความยาวคลื่น d/λ อยู่ในช่วง 0-0.25 หลังจากนั้นค่าจะเริ่มคงที่เข้าใกล้ศูนย์

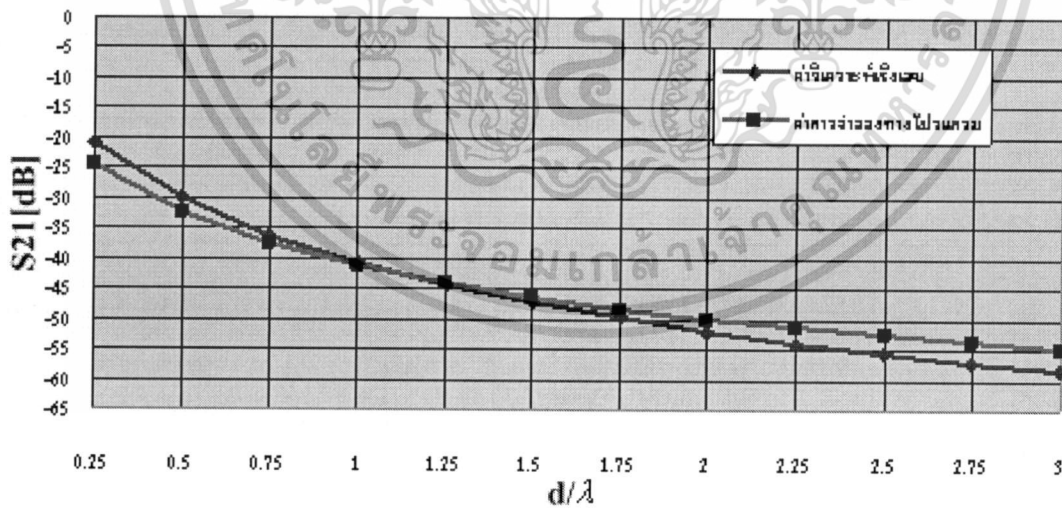


รูปที่ 3.6 ค่าอิมพีแดนซ์ที่ได้จากการวิเคราะห์กรณีทึ่สายอากาศไดโพลมีรูปแบบการจัดวางตัวแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



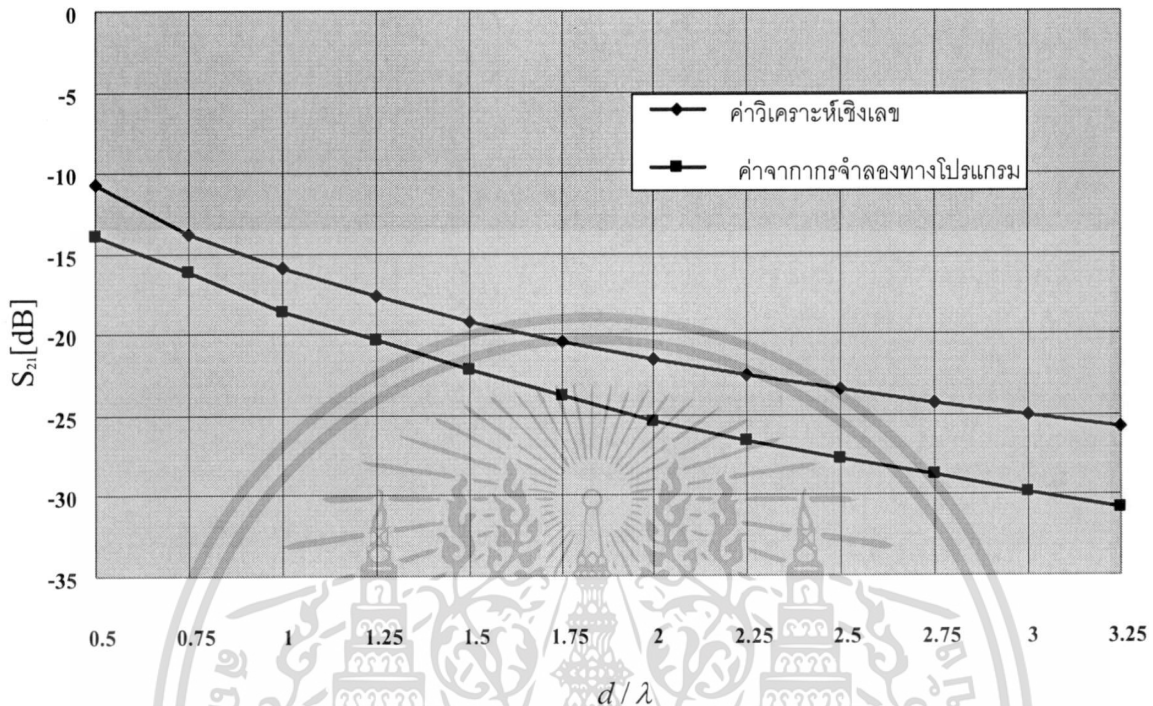
รูปที่ 3.7 ค่าอิมพีแดนซ์ที่ได้จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับค่าจำลองทางโปรแกรมกรณีที่มีสายอากาศไดโพลมีการจัดวางแบบตั้งฉาก



รูปที่ 3.8 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เชิงเลขกับการจำลองทางโปรแกรมกรณีที่มีสายอากาศไดโพลจัดวางอยู่ในรูปแบบตั้งฉาก

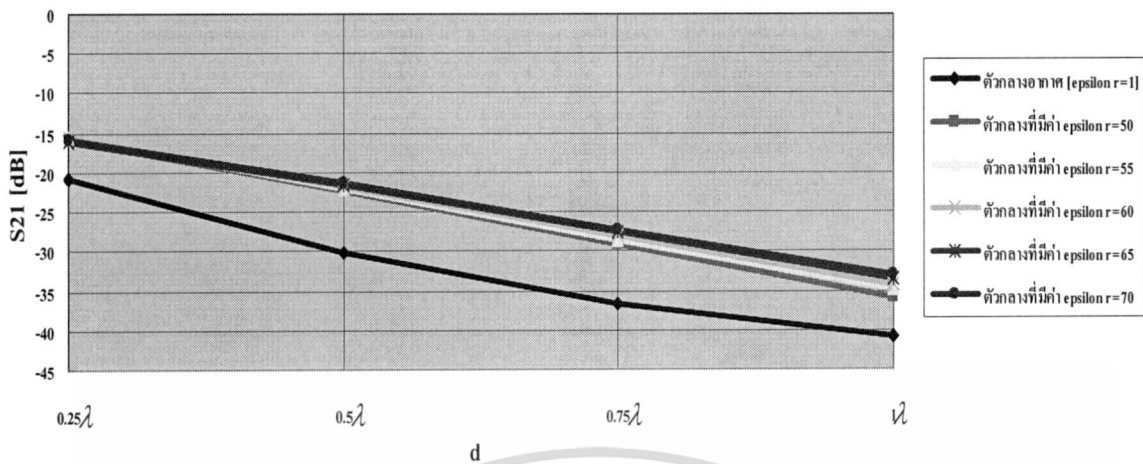
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.6 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ที่ได้จากการวิเคราะห์กรณีที่สายอากาศไดโพลมีรูปแบบการจัดวางตัวแบบ Parallel-in-echelon พบว่าทั้งค่าความต้านทานและค่ารีแอคแตนซ์ จะมีแนวโน้มกว้างเป็นจิงหระเพิ่มขึ้นลดลงแต่ค่าจะลดลงเข้าใกล้ศูนย์เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ



รูปที่ 3.9 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เชิงเลขกับการจำลองทางโปรแกรมกรณีที่สายอากาศไดโพลจัดวางอยู่ในรูปแบบ Parallel-in-echelon

จากรูปที่ 3.8-3.9 แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เชิงเลขกับการจำลองทางโปรแกรม โดยเป็นการเปรียบเทียบในพารามิเตอร์ S ซึ่งจะพิจารณาค่าของ S_{21} มีหน่วยเป็นเดซิเบล พบว่าแนวโน้มของค่าที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงเลขและค่าที่ได้จากการจำลองทางโปรแกรมเป็นไปในทางเดียวกัน คือมีค่าลดลงตามระยะห่างที่เพิ่มขึ้น และจะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงเลขและค่าที่ได้จากการจำลองทางโปรแกรมกรณีที่สายอากาศมีรูปแบบการจัดวางแบบ Parallel-in-echelon จะมีค่า S_{21} มากกว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงเลขและค่าที่ได้จากการจำลองทางโปรแกรมกรณีที่สายอากาศมีรูปแบบการจัดวางแบบตั้งฉาก



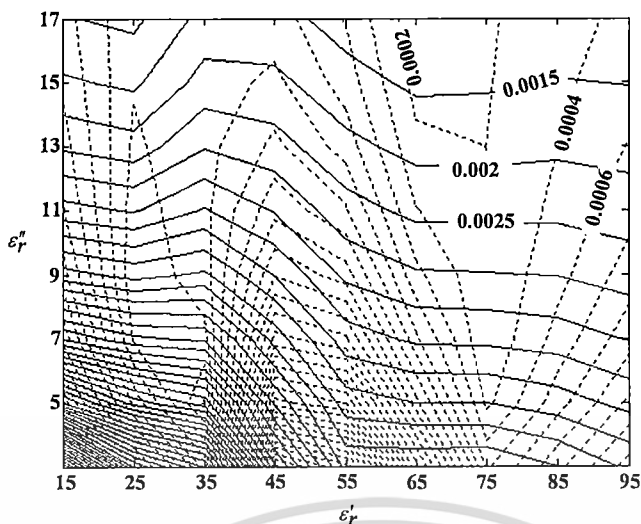
รูปที่ 3.10 ค่าการเชื่อมต่อร่วมเปรียบเทียบกับระยะห่าง เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงตัวกลาง

จากรูปที่ 3.10 แสดงค่าการเชื่อมต่อร่วมเปรียบเทียบกับระยะห่างระหว่างสายอากาศไดโพลทั้งสอง เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงตัวกลาง ด้วยการเปลี่ยนค่าสภาพยอมไฟฟ้า (permittivity) ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ จะเห็นได้ว่า เมื่อค่าสภาพยอมไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น ค่าการเชื่อมต่อร่วมจะมีค่ามากขึ้น โดยที่ในช่วงระยะห่าง 0.25λ - 0.5λ ค่าการเชื่อมต่อร่วมมีค่าใกล้เคียงกันมาก ส่วนในช่วงระยะ 0.5λ - λ ค่าการเชื่อมต่อร่วมมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย

วิธีการหาค่าไดอิเล็กตริกของวัสดุที่นำเสนอ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนที่สำคัญ คือ ในส่วนแรกเป็นส่วนการวิเคราะห์คำนวณ โดยที่ในส่วนนี้จะทำการวิเคราะห์สายอากาศที่มีรูปแบบการจัดวางทั้งแบบตั้งฉากและแบบขนาน ซึ่งเราจะทำการเปลี่ยนแปลงค่าจำนวนเชิงซ้อนของค่าไดอิเล็กตริกในช่วงขอบเขต $15 < \epsilon'_r < 95$ และ $1 < \epsilon''_r < 17$ นำค่าขนาดของการเชื่อมต่อร่วมที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้งสองกรณีมาสร้างกราฟเชิงพื้นผิว ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งกราฟที่ได้นี้จะใช้เป็นเสมือนคู่มือสำหรับหาค่าไดอิเล็กตริกของวัสดุที่ต้องการทดสอบ ในส่วนที่สองเป็นส่วนของการสร้างสายอากาศเพื่อนำสายอากาศที่ได้ไปใช้วัดทดสอบกับวัสดุที่ต้องการจะทดสอบ โดยค่าขนาดของการเชื่อมต่อร่วมที่ได้จากการวัดจากทั้งสองกรณี จะถูกนำไปกำหนดไว้ในกราฟที่ได้วิเคราะห์ไว้ในส่วนแรก เพื่อหาจุดตัดของค่าขนาดการเชื่อมต่อร่วมจากทั้งสองกรณี ซึ่งตำแหน่งจุดตัดของกราฟจากแต่ละกรณีนี้จะเป็นตัวบอกค่าไดอิเล็กตริกของวัสดุที่วัดทดสอบ

หลักสำคัญของวิธีการนี้คือ จุดตัดของค่าขนาดการเชื่อมต่อร่วมจากแต่ละกรณีของการจัดวางของสายอากาศไดโพลนั้น จะมีเพียงจุดเดียวเท่านั้น หากค่าขนาดของการเชื่อมต่อร่วมจากแต่ละกรณีที่ได้นั้นมีจุดตัดเกิน 1 ตำแหน่ง แสดงว่ากราฟในช่วงนั้นไม่สามารถที่จะนำไปใช้เพื่อหาค่าไดอิเล็กตริกของวัสดุได้

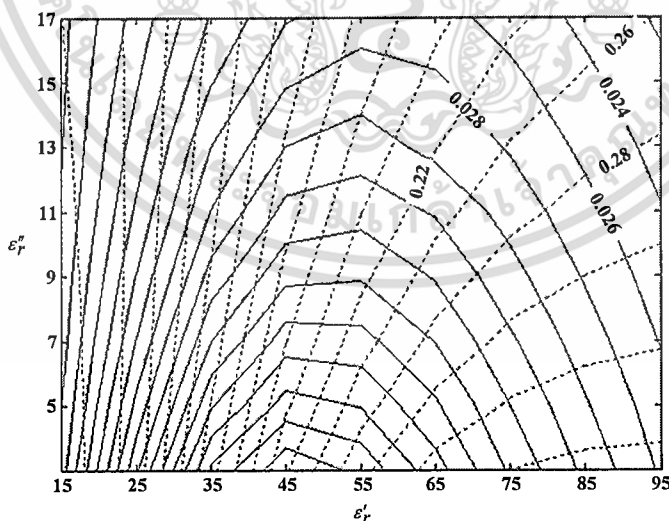
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 กราฟเชิงพื้นผิวของค่าขนาดการเชื่อมต่อร่วมของสายอากาศไดโพลที่มีความยาว $\lambda_0/2$

- (—) สายอากาศที่มีรูปแบบการจัดวางแบบตั้งฉาก
- (-----) สายอากาศที่มีรูปแบบการจัดวางแบบขนาน

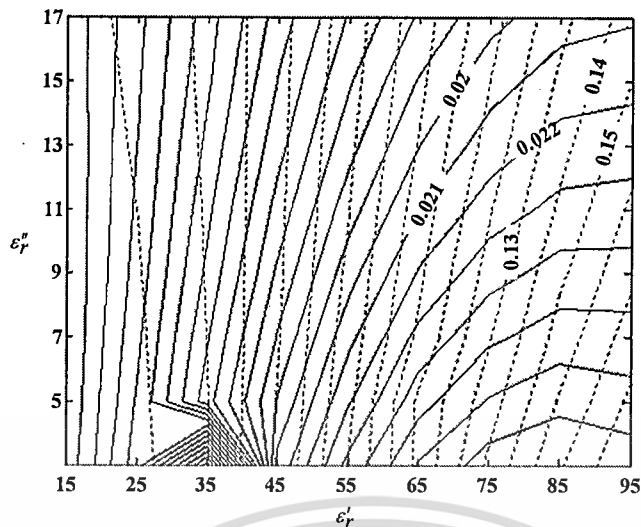
จากกราฟเชิงพื้นผิวในรูปที่ 3.11 จะเห็นได้ว่า ในบางช่วงของกราฟจะมีค่าขนาดของการเชื่อมต่อร่วมของสายอากาศไดโพลที่ได้จากแต่ละกรณี มีจุดตัดกัน 1 จุด แสดงว่ากราฟในรูปที่ 3.11 นี้ไม่สามารถนำไปใช้หาค่าไดอิเล็กตริกของวัสดุในช่วงของค่าไดอิเล็กตริกที่สูงได้ ดังนั้นเพื่อที่จะนำเทคนิคนี้ไปใช้ในช่วงของค่าไดอิเล็กตริกที่สูงขึ้นได้นั้น สายอากาศไดโพลควรที่จะมีความยาวเท่ากับครึ่งความยาวคลื่นของค่าไดอิเล็กตริกที่สูงขึ้น



รูปที่ 3.12 กราฟเชิงพื้นผิวของค่าขนาดการเชื่อมต่อร่วมของสายอากาศไดโพลที่มีความยาว $\lambda_d/2$ ที่ $\epsilon_r' = 35$

- (—) สายอากาศที่มีรูปแบบการจัดวางแบบตั้งฉาก
- (-----) สายอากาศที่มีรูปแบบการจัดวางแบบขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 กราฟเชิงพื้นผิวของค่าขนาดการเชื่อมต่อร่วมของสายอากาศไดโพลที่มีความยาว $\lambda_d/2$ ที่ $\epsilon_r' = 75$

- (—) สายอากาศที่มีรูปแบบการจัดวางแบบตั้งฉาก
 (-----) สายอากาศที่มีรูปแบบการจัดวางแบบขนาน

จากกราฟในรูปที่ 3.12 และรูปที่ 3.13 จะเห็นได้ว่าจุดตัดของค่าขนาดการเชื่อมต่อร่วมแต่ละเส้นที่ได้จากแต่ละกรณีจะมีจุดตัดเพียงจุดเดียว แสดงว่ากราฟในรูปที่ 3.12 และรูปที่ 3.13 สามารถนำไปใช้หาค่าไดอิเล็กตริกของวัสดุในช่วงของค่าไดอิเล็กตริกที่สูงขึ้นได้

สรุป

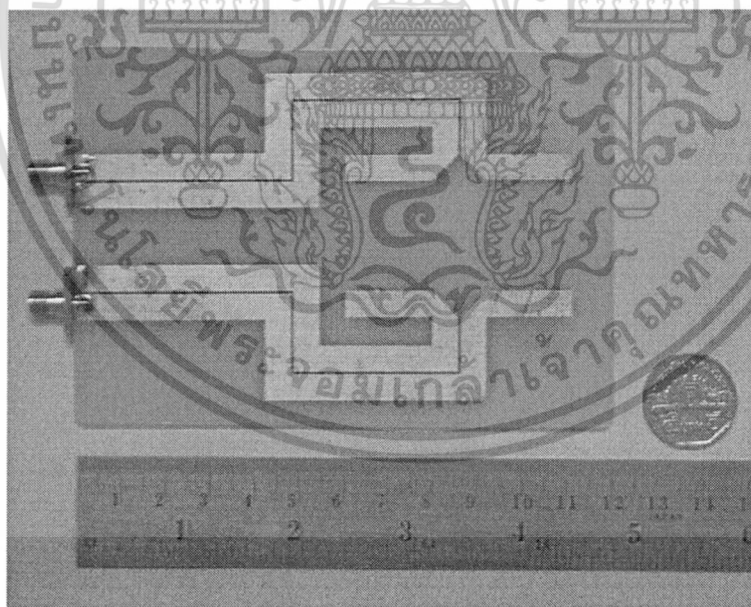
ในบทนี้นำเสนอการวิเคราะห์ห่อหุ้มพีแคนซ์ร่วมของสายอากาศไดโพลในตัวกลางต่างๆ ซึ่งการวิเคราะห์ที่ได้นำเสนอไปนั้นเป็นการวิเคราะห์เชิงพื้นฐานในตัวกลางที่ปราศจากการสูญเสีย โดยที่ได้ทำการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ระยะห่างระหว่างสายอากาศ และพบว่ายี่ระยะห่างของสายอากาศเพิ่มขึ้นเท่าใด ค่าอิมพีแดนซ์ร่วมระหว่างสายอากาศจะลดลงตามไปด้วย จากการวิเคราะห์ที่ได้นำเสนอไปนั้นจะเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ต่อไปในตัวกลางต่างๆ และทำให้รู้ว่าเมื่อจะนำสายอากาศไดโพลไปประยุกต์ใช้งานในเรื่องการเชื่อมต่อร่วม ควรจะจัดวางสายอากาศไดโพลทั้งสองตัวให้มีระยะห่างกันเท่าใดถึงจะให้ผลการเชื่อมต่อร่วมที่ดี

บทที่ 4

การทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของน้ำ น้ำหวาน และน้ำส้มสายชู

ในบทนี้ได้แนะนำการออกแบบสายอากาศไดโพลเพื่อทำการทดสอบคุณสมบัติการส่งผ่าน โดยแยกการพิจารณาการวางเป็น 2 กรณี คือแบบวางในแนว Co และ Cross Polarization ซึ่งในการทดสอบตั้งอยู่บนหลักการของการเชื่อมต่อยุบรวมของสายอากาศไดโพล โดยมีแนวคิดว่าตัวกลางที่มีองค์ประกอบต่างกันจะให้ค่าการเชื่อมต่อยุบรวมจากสายอากาศจากไดโพลตัวแรกส่งผ่านไปยังตัวที่สองต่างกัน โดยพิจารณาหกลักษณะคือ สามเงื่อนไขแรกเป็นการทดสอบค่าการเชื่อมต่อยุบรวมโดยใช้สายอากาศไดโพลวางโพลาริเซชันเดียวกัน (Co-Polarization) ทดสอบน้ำ น้ำผสมน้ำตาล และน้ำผสมน้ำส้มสายชู ส่วนอีกสามเงื่อนไขที่เหลือวัดตัวกลางแบบเดียวกันแต่วางสายอากาศไดโพลต่างโพลาริเซชัน (Cross-Polarization)

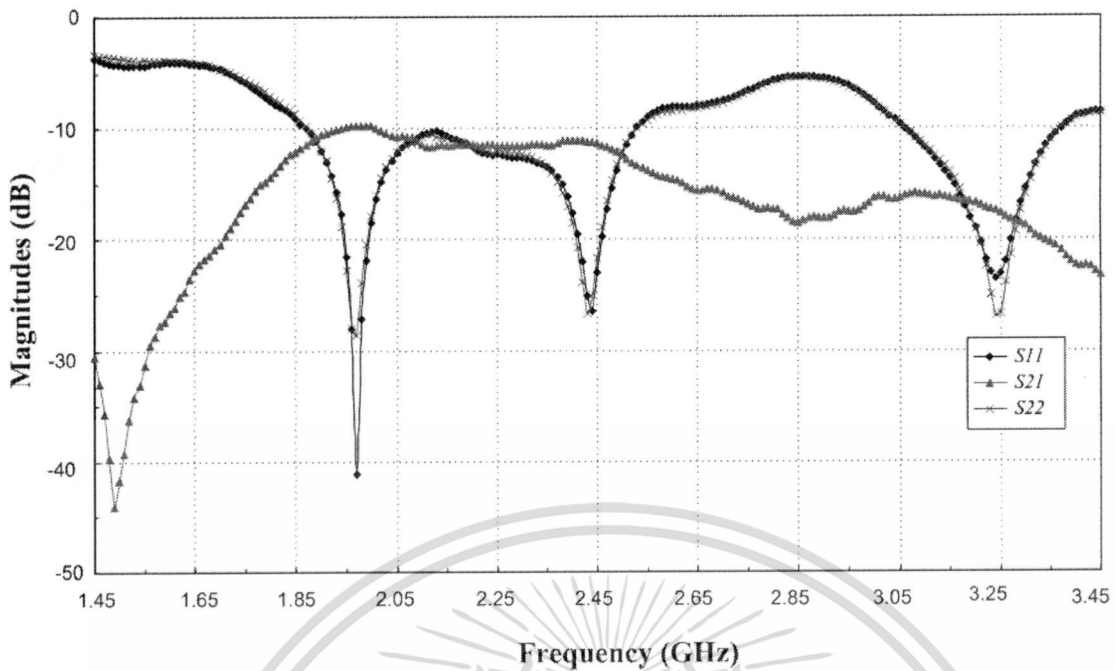
การทดลองเริ่มจากการออกแบบสายอากาศที่ใช้ในการทดสอบโดยออกแบบให้ทำงานที่ความถี่ 2.45 GHz มีการทำงานแบบทั้งแบบ Co และ Cross Polarization มีระยะห่างโดยวัดจากจุดกึ่งกลางสายอากาศเท่ากับ 30 mm (เป็นค่าน้อยที่สุดที่สายอากาศจะวางได้) เพื่อให้ขนาดสายอากาศที่ใช้ในการทดสอบมีขนาดเล็กที่สุดทั้งยังให้ค่าการส่งผ่านมากที่สุด โดยสายอากาศไดโพลวางโพลาริเซชันเดียวกันค้นแบบแสดงได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ต้นแบบสายอากาศไดโพลวางโพลาริเซชันเดียวกัน

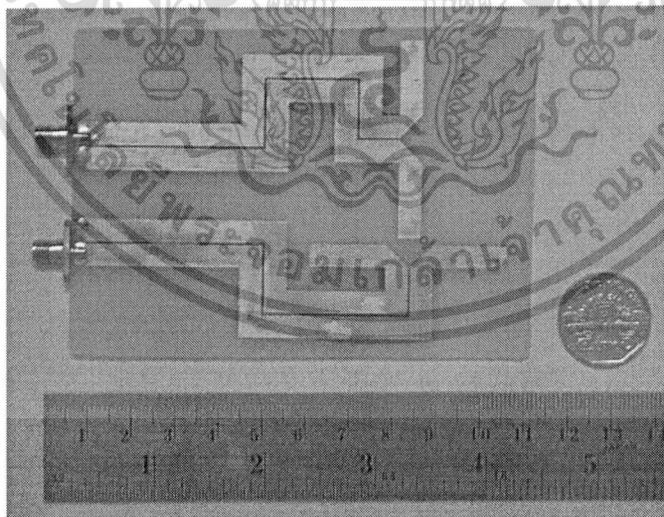
ส่วนผลการทดสอบสายอากาศไดโพลวางโพลาริเซชันเดียวกันต้นแบบด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแสดงได้ดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบสายอากาศไดโพลวางโพลาริเซชันเดียวกัน

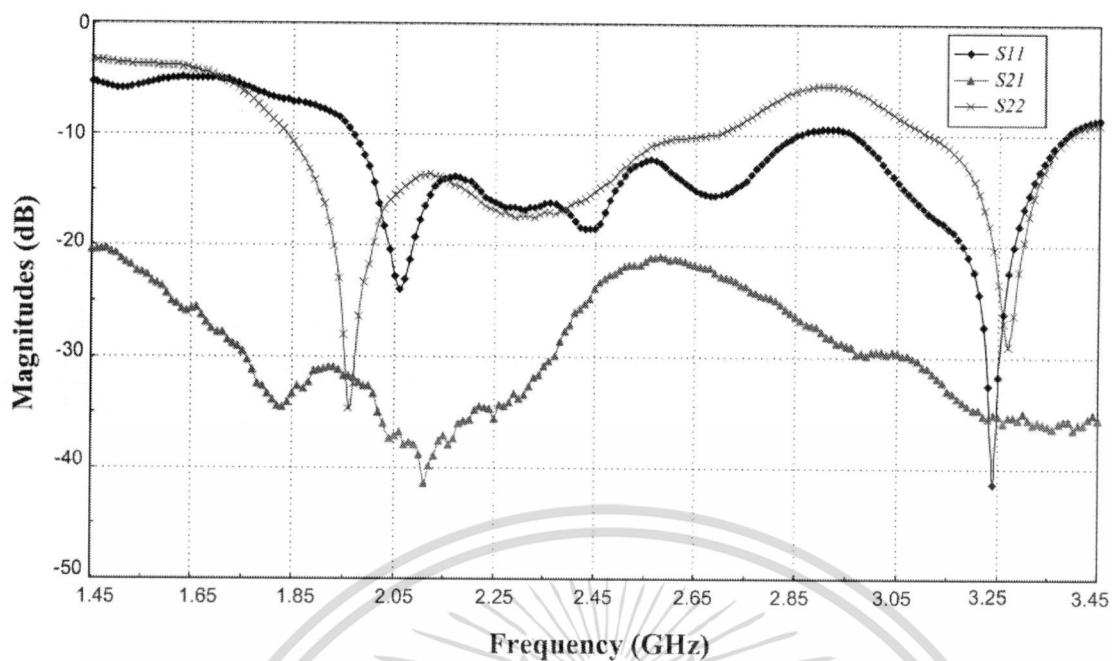
จากรูปสังเกตได้ว่าสามารถนำไปใช้งานได้เนื่องจากค่า Return Loss ของทั้งสายอากาศทั้งสองตัวอยู่ที่ -25 dB ส่วนค่าการเชื่อมต่อรวมมีค่าเท่ากับ -11.3 dB ลำดับต่อมาเป็นการสร้างสายอากาศไดโพลวางต่างโพลาริเซชัน (Cross-Polarization) ซึ่งต้นแบบแสดงได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ต้นแบบสายอากาศสายอากาศไดโพลวางต่างโพลาริเซชัน (Cross-Polarization)

ส่วนผลการทดสอบสายอากาศสายอากาศไดโพลวางต่างโพลาริเซชัน (Cross-Polarization) ต้นแบบด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแสดงได้ดังรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ผลการทดสอบสายอากาศไดโพลวางโพลาริเซชันต่างกัน

จากรูปสังเกตได้ว่าสามารถนำไปใช้งานได้เนื่องจากค่า Return Loss ของทั้งสายอากาศทั้งสองตัว อยู่ที่ -15 dB ส่วนค่าการเชื่อมต่อรวมมีค่าเท่ากับ -24.2 dB ค่าที่ได้นี้เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลจากรูปที่ 4.2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าสอดคล้องกับความเป็นจริงที่ว่า สายอากาศสองตัวโพลาริเซชันเดียวกันค่าการเชื่อมต่อรวมต้องมากกว่า สายอากาศสองตัวที่มีโพลาริเซชันต่างกัน



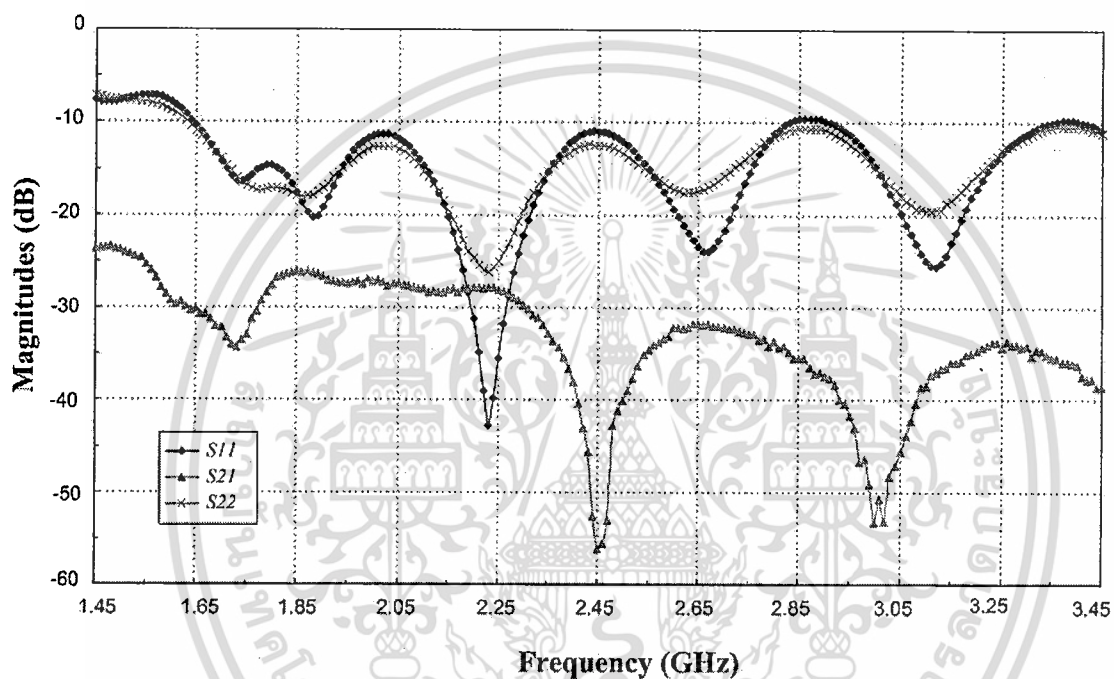
รูปที่ 4.5 ตัวกลางที่ใช้ทดสอบโดยมีปริมาตรอย่างละ 200 ml

ลำดับต่อไปเป็นขั้นตอนทำการทดสอบตัวกลางคือ น้ำ น้ำผสมน้ำตาล (น้ำหวาน) และน้ำผสมน้ำส้มสายชูเพื่อสังเกตค่าการเชื่อมต่อรวม ค่าดังกล่าวนี้จำเป็นอย่างยิ่งในการแยกแยะตัวกลางที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณลักษณะทางไฟฟ้าต่างกันหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า ค่าไดอิเล็กตริกกับค่าการสูญเสียของวัสดุต่างกัน โดยตัวอย่างในการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.5

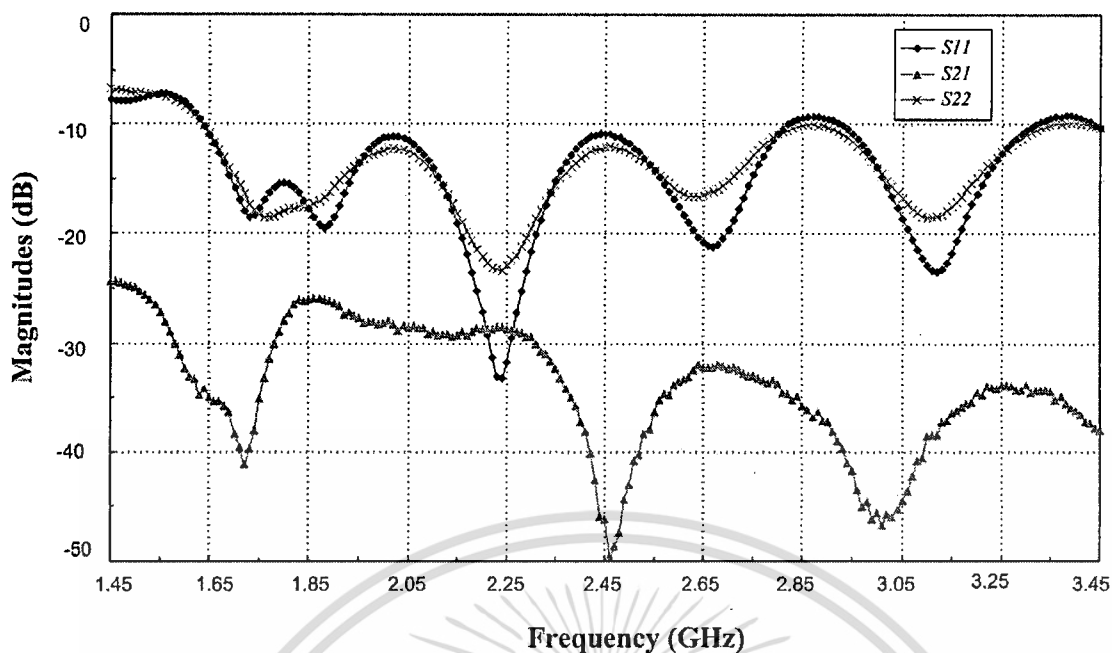
ซึ่งในการทดสอบนั้นปริมาตรและตำแหน่งในการวางของตัวอย่างที่ทดสอบ มีผลกับค่าการเชื่อมต่อร่วม ส่วนวัสดุที่ใช้บรรจุตัวอย่างนั้นมีผลต่อค่าการเชื่อมต่อเล็กน้อยแต่เมื่อเทียบกับขณะใส่ตัวกลางแล้วมีค่าน้อยมากจึงไม่จำเป็นต้องพิจารณา การทดสอบแยกเป็น 2 กรณีดังที่กล่าวมาแล้วในตอนต้น กรณีแรกเป็นการทดสอบตัวกลางคือ น้ำ น้ำผสมน้ำตาล และน้ำผสมน้ำส้มสายชู ด้วยสายอากาศไดโพลวางโพลาริเซชันเดียวกัน ผลที่ได้แสดงดังรูป ที่ 4.6



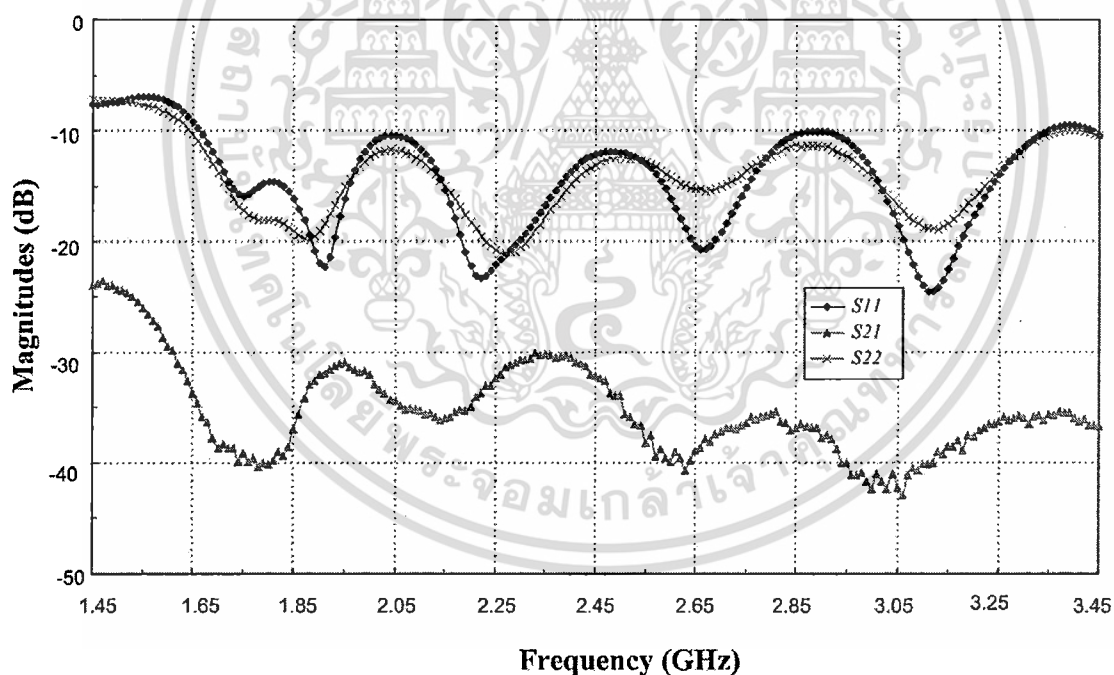
รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบน้ำด้วยสายอากาศไดโพลวางโพลาริเซชันเดียวกัน

จากรูปสังเกตได้ว่าค่าการเชื่อมต่อร่วมมีค่าเท่ากับ -55 dB ซึ่งมีค่าน้อยมาก ลำดับต่อมาเป็นการทดสอบค่าการเชื่อมต่อร่วมผ่านตัวกลางที่เป็นน้ำผสมน้ำส้มสายชู แสดงดังรูปที่ 3.7 จากรูปสังเกตได้ว่าค่าการเชื่อมต่อร่วมมีค่าเท่ากับ -50 dB ซึ่งมีค่ามากกว่ากรณีตัวกลางเป็นน้ำเปล่าอยู่ 5 dB ค่าความแตกต่างที่ได้จำเป็นอย่างยิ่งในการแสดงผลและการออกแบบโปรแกรมประมวลผลต่อไป ลำดับต่อมาเป็นการทดสอบค่าการเชื่อมต่อร่วมผ่านตัวกลางที่เป็นน้ำผสมน้ำตาล ผลที่ได้แสดงดังรูป ที่ 4.8 จากรูปสังเกตได้ว่าค่าการเชื่อมต่อร่วมมีค่าเท่ากับ -32.2 dB ซึ่งมีค่ามากกว่ากรณีตัวกลางเป็นน้ำเปล่าและน้ำผสมน้ำตาลอยู่ 22.8 dB และ 17.8 dB ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



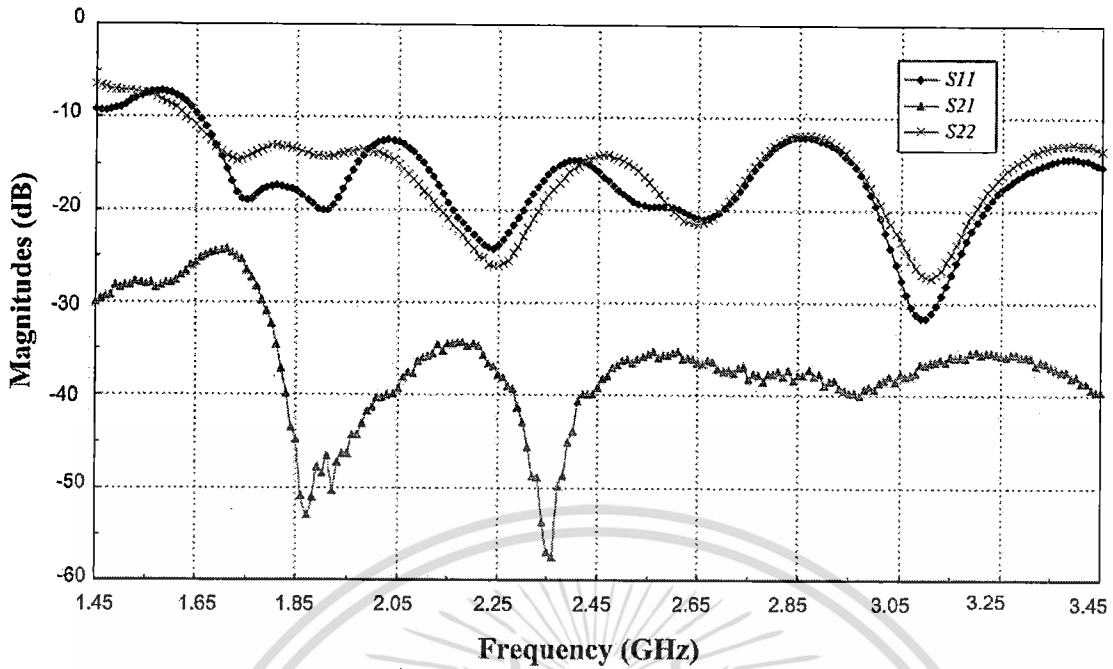
รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบน้ำผสมน้ำส้มสายชูด้วยสายอากาศไดโพลวางโพลาริเซชันเดียวกัน



รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบน้ำผสมน้ำตาลด้วยสายอากาศไดโพลวางโพลาริเซชันเดียวกัน

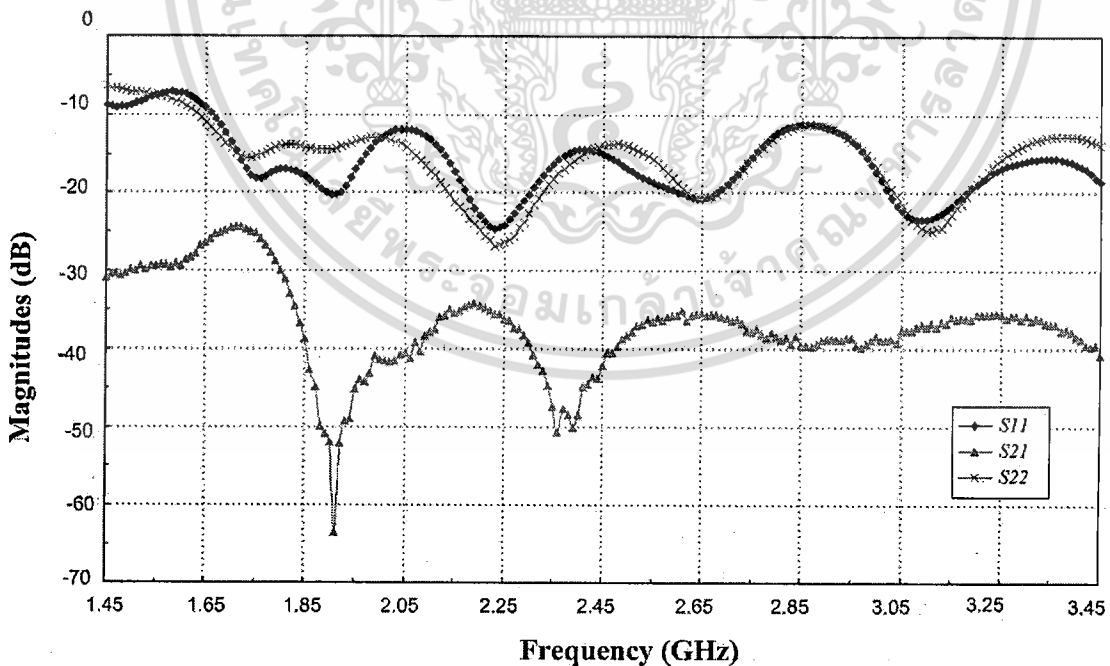
ส่วนการทำสอบกรณีสุดท้ายเป็นการทดสอบตัวกลางคือ น้ำ น้ำผสมน้ำตาล และน้ำผสมน้ำส้มสายชู ด้วยสายอากาศไดโพลที่มีโพลาริเซชันต่างกัน ผลที่ได้แสดงดังรูป ที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ผลการทดสอบน้ำด้วยสายอากาศไดโพลวางโพลาริเซชันต่างกัน

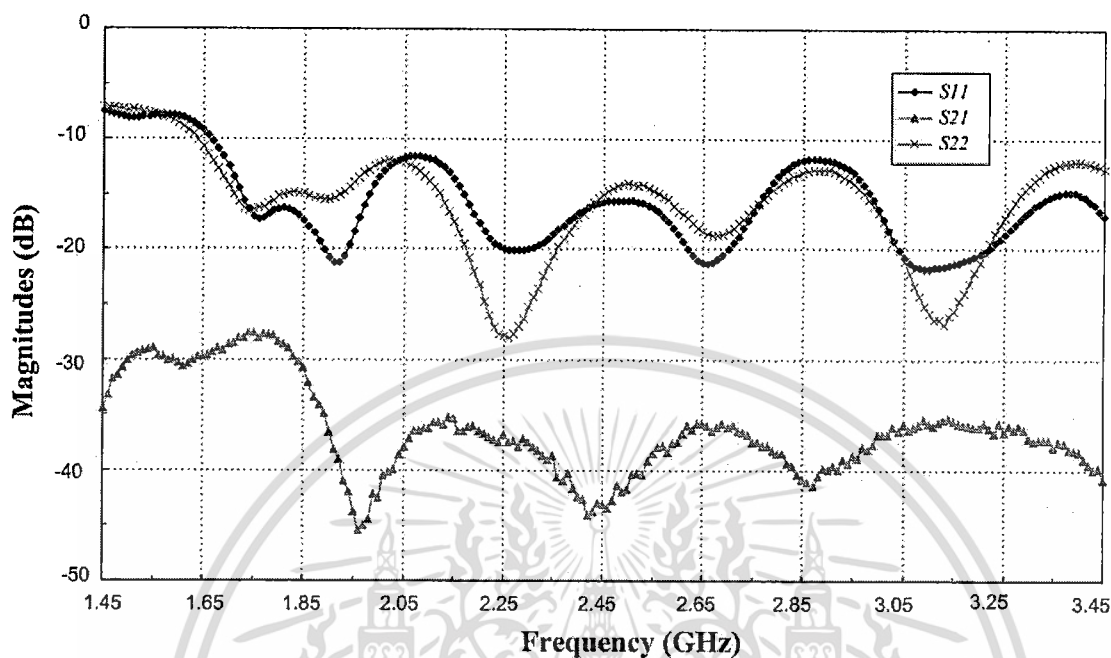
จากรูปสังเกตได้ว่าค่าการเชื่อมต่อร่วมมีค่าเท่ากับ -39 dB ลำดับต่อมาเป็นการทดสอบค่าการเชื่อมต่อร่วมผ่านตัวกลางที่เป็นน้ำผสมน้ำส้มสายชู แสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบน้ำผสมน้ำส้มสายชูด้วยสายอากาศไดโพลวางโพลาริเซชันต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปสังเกตได้ว่าค่าการเชื่อมต่อรวมมีค่าเท่ากับ -42.2 dB ลำดับต่อมาเป็นการทดสอบค่าการเชื่อมต่อรวมผ่านตัวกลางที่เป็นน้ำผสมน้ำตาล แสดงดังรูปที่ 4.11



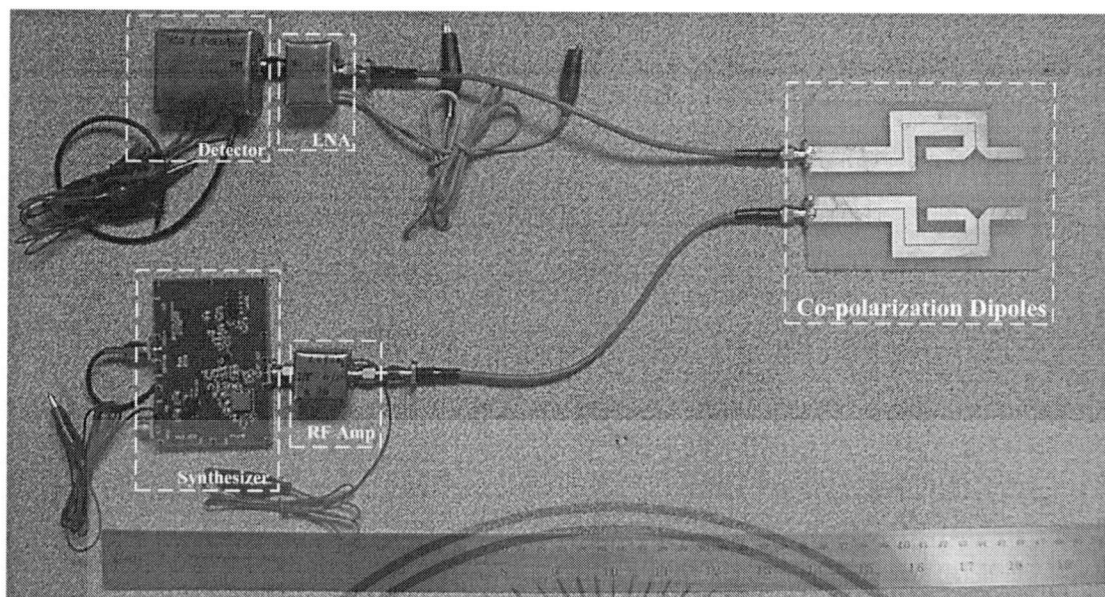
รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบน้ำผสมน้ำตาลด้วยสายอากาศโคโพลวาร์โพลาไรเซชันต่างกัน

จากรูปสังเกตได้ว่าค่าการเชื่อมต่อรวมมีค่าเท่ากับ -43 dB ซึ่งมีค่าน้อยมาก โดยเรียงลำดับจากค่าการเชื่อมต่อรวมจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ น้ำ น้ำผสมน้ำส้มสายชู และน้ำตาล ซึ่งผลที่ได้นี้ไม่สอดคล้องกับกรณีที่วัดด้วยสายอากาศโคโพลวาร์โพลาไรเซชันเดียวกัน ค่าความแตกต่างนี้สามารถใช้วิเคราะห์หาค่าการสูญเสียของตัวกลางได้

การทดสอบคุณสมบัติของน้ำ น้ำหวาน และน้ำส้มสายชูด้วยเครื่องทดสอบต้นแบบ

หัวข้อนี้ได้นำเสนอการทดสอบคุณสมบัติของน้ำ น้ำหวาน และน้ำส้มสายชู ด้วยเครื่องทดสอบต้นแบบด้วยสายอากาศโคโพลวาร์โพลาไรเซชันเดียวกัน (Co-Polarization) ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่แล้ว ซึ่งในการทดสอบเป็นการวัดขนาดของสัญญาณที่ได้จากวงจรสังเคราะห์ความถี่ ที่ก่อนจะส่งผ่านไปยังภาคตรวจจับกำลัง เปรียบเทียบกับค่าแรงดันที่วัดได้จากภาคตรวจจับกำลัง

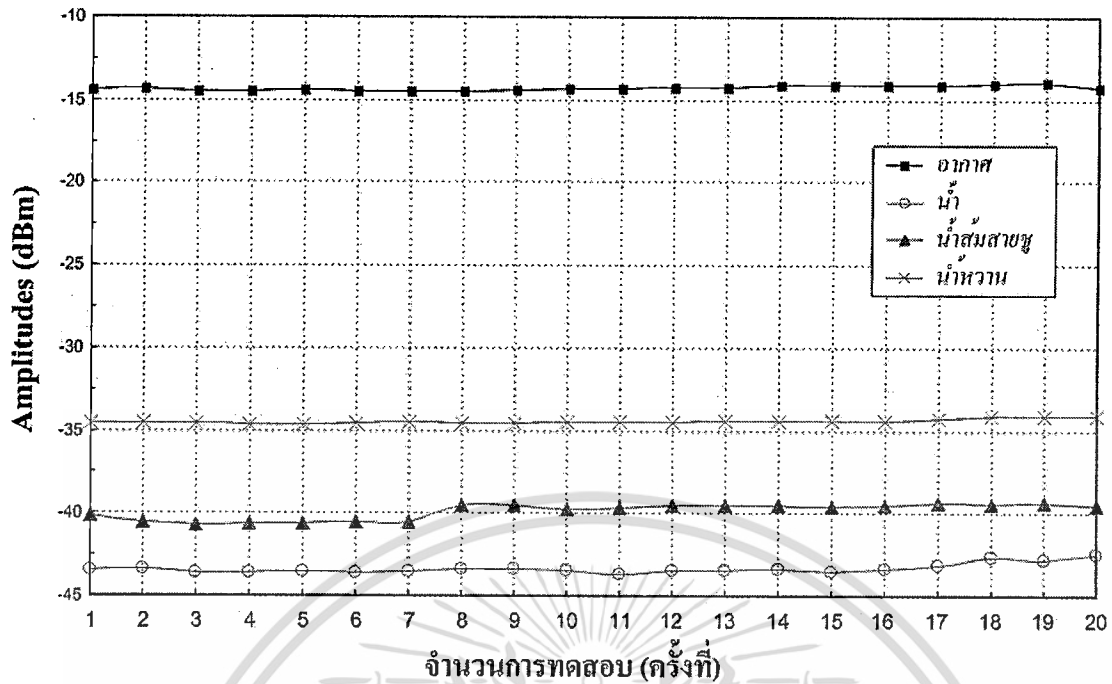
การทดลองเริ่มจากการประกอบชุดทดสอบต้นแบบแสดงดังรูปที่ 4.12



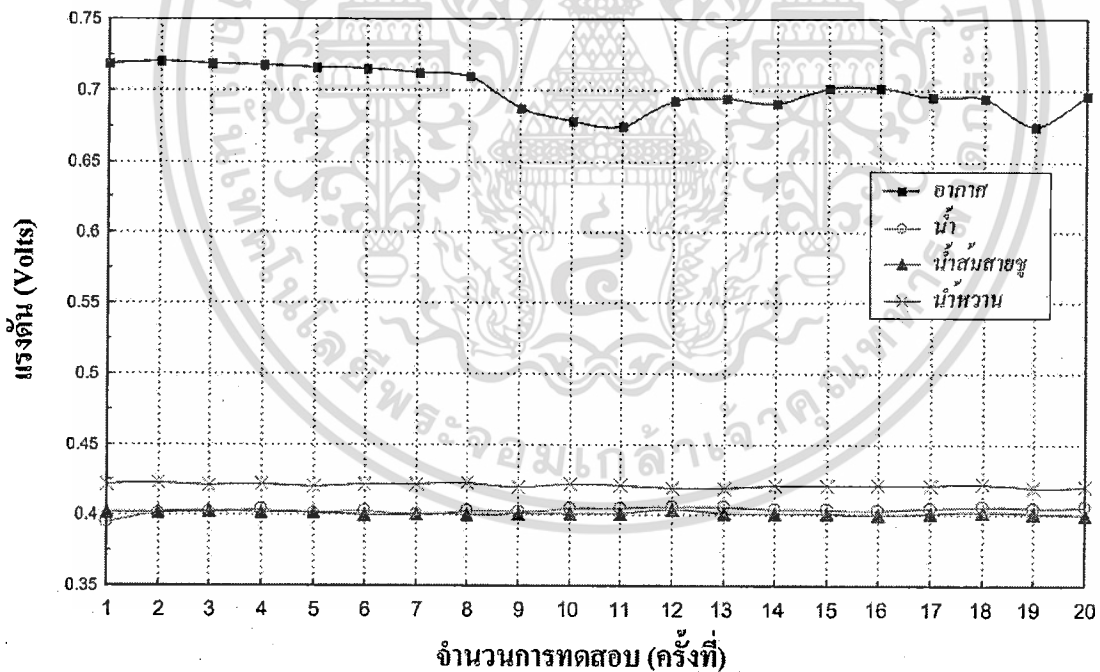
รูปที่ 4.12 ต้นแบบเครื่องทดสอบคุณสมบัติของน้ำ น้ำส้มสายชูและน้ำหวาน

ต่อมาเป็นการทดสอบทดสอบคุณสมบัติของน้ำ น้ำหวาน และน้ำส้มสายชูทำการทดสอบทั้งหมด 20 ครั้ง โดยวางตัวอย่างบนสายอากาศโคโพลาร์ไรเซชันเดียวกัน (Co-Polarization) ส่วนผลการทดสอบขนาดของสัญญาณก่อนผ่านภาคตรวจจับกำลัง ด้วยเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม แสดงได้ดังรูปที่ 2

จากรูปที่ 4.13 สังเกตได้ว่าขนาดของสัญญาณก่อนผ่านภาคตรวจจับกำลัง เมื่อไม่ได้วางตัวอย่างทดสอบ (อากาศ) มีค่ามากที่สุดที่ -14.27 dBm ส่วนในกรณีเมื่อวางกล่องพลาสติกบรรจุน้ำ มีค่าเท่ากับ -43.317 dBm ซึ่งมีค่าน้อยที่สุด ส่วนในกรณีเมื่อวางกล่องพลาสติกบรรจุน้ำส้มสายชูและน้ำหวานมีค่าเท่ากับ -39.86 dBm และ -34.44 dBm ตามลำดับ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสามารถแยกแยะน้ำ น้ำหวาน และน้ำส้มสายชูที่ทดสอบได้โดยเรียงลำดับจากน้อยไปหามากได้ดังนี้ น้ำ น้ำผสมน้ำส้มสายชู และน้ำหวาน ลำดับต่อมาเป็นการวัดค่าแรงดันที่ได้จาก ภาค Detector โดยผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.13 ผลการทดสอบขนาดของสัญญาณก่อนผ่านภาควัดจذبกำลัง ด้วยเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม



รูปที่ 4.14 ผลการวัดแรงดันจากภาควัดจذبกำลัง

จากรูปที่ 4.14 สังเกตได้ว่าแรงดันจากภาควัดจذبกำลัง เมื่อไม่ได้วางตัวอย่างทดสอบ (อากาศ) มีค่ามากที่สุดที่ 0.7 Volts ส่วนในกรณีเมื่อวางกล่องพลาสติกบรรจุมีน้ำค่าเท่ากับ 0.4033 Volts ส่วนในกรณีเมื่อวางกล่องพลาสติกบรรจุน้ำผสมสาหร่ายมีค่าเท่ากับ 0.4013 Volts และน้ำหวานมีค่าเท่ากับมีค่าเท่ากับ 0.42105 Volts ตามลำดับ โดยเรียงลำดับจากน้อยไปหามากได้ดังนี้ น้ำผสมน้ำผสมสาหร่าย น้ำหวาน น้ำ การค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และน้ำหวาน ผลที่ได้นี้สามารถแยกน้ำกับน้ำหวานได้อย่างชัดเจนคือมีความแตกต่างกันอยู่ 0.1775 Volts ส่วนผลที่ได้จากการทดสอบน้ำกับน้ำผสมน้ำส้มสายชูค่าที่ได้ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสามารถแยกแยะน้ำ กับน้ำหวาน ได้อย่างชัดเจน ส่วนน้ำกับน้ำส้มสายชูทำได้ไม่คืนักซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับผลที่ได้จากการวัด ด้วยเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมในกรณีของน้ำกับน้ำหวาน ส่วนผลที่แตกต่างกันของน้ำกับน้ำผสมน้ำส้มสายชูนั้น ผู้วิจัยคิดว่าผลน่าจะเกิดจากการกระเพื่อมของน้ำ ขณะทำการทดสอบและความไวของภาคตรวจจับกำลังซึ่งค่าความแตกต่างนี้จำเป็นอย่างยิ่งในการออกแบบในส่วนระบบประมวลผลและการแสดงสถานะของตัวกลางได้

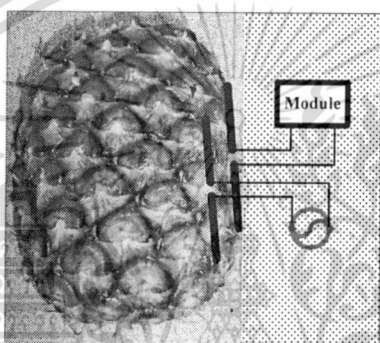


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

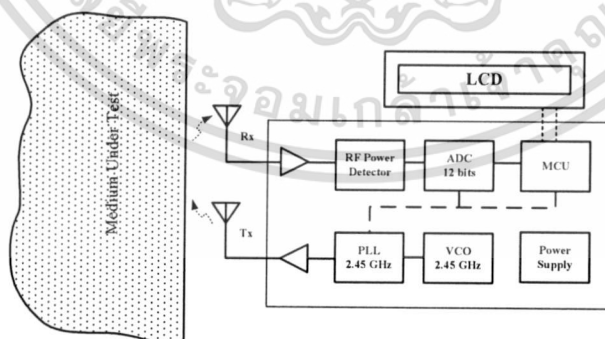
เครื่องทดสอบผลไม้แบบพกพา

การทดสอบวัสดุโดยอาศัยคลื่นไมโครเวฟเป็นวิธีการที่มีมาช้านาน ซึ่งมีด้วยกันหลากหลายเทคนิค ที่เป็นวิธีการทดสอบแบบไม่สัมผัสและไม่ทำลายวัสดุที่นำมาทดสอบ จากการประสานงานกับผู้เชี่ยวชาญทางด้านการทดสอบผลไม้ พบว่าสับปะรดเป็นผลไม้ที่มีการส่งออกในรูปของการบรรจุกระป๋องเป็นอันดับหนึ่ง แต่การคัดแยกยังต้องอาศัยความชำนาญของชาวสวนและผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งทำให้ใช้เวลามากและไม่เป็นมาตรฐานเดียวกันหากต้องทำการทดสอบในระดับนับพันลูก ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบที่มีประสิทธิภาพโดยคาดหวังว่าเครื่องมือดังกล่าวนี้ดังรูปที่ 5.1 จะสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้



รูปที่ 5.1 เครื่องทดสอบสับปะรด

หลักการทำงาน



รูปที่ 5.2 ผังภูมิของเครื่องทดสอบ

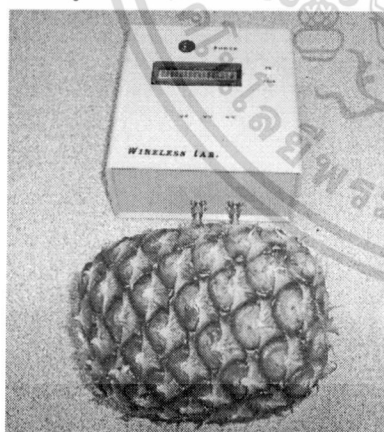
หลักการของ Mutual Coupling ของสายอากาศ 2 ตัว สามารถหาค่าไดอิเล็กตริกของตัวกลางที่อยู่ระหว่างสายอากาศ 2 ตัวได้ เมื่อสายอากาศวางไว้ใกล้ๆ กัน ในตัวกลางที่เป็นอากาศ สายอากาศจะเอกสารถือเป็นเอกสารถิสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รับสัญญาณได้ค่าหนึ่ง เมื่อตัวกลางเปลี่ยนไปจะทำให้สัญญาณที่รับได้เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย จากหลักการดังกล่าว ผู้วิจัยกำลังศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและสร้างเครื่องต้นแบบขนาดพกพาเพื่อทดสอบหลักการเป็นรุ่นแรก โดยระบบดังกล่าวซึ่งแสดงตามรูปที่ 5.2 ประกอบด้วยวงจรกำเนิดคลื่นความถี่ 2.45 GHz จากวงจร VCO และ PLL ส่งกำลังงานผ่านสายอากาศที่ทำหน้าที่ส่งเข้าไปในตัวกลางที่ทำ การทดสอบ สายอากาศอีกด้านหนึ่งจะทำหน้าที่รับคลื่น แล้วแปลงระดับกำลังงานคลื่นความถี่วิทยุ เป็นระดับค่าโวลเตจที่สัมพันธ์กันโดย RF power detector สัญญาณที่ได้จะถูกส่งต่อไปยัง 12 bits ADC เพื่อแปลงข้อมูลที่ได้จากสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัล แล้วนำไปประมวลผลต่อโดย ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะแสดงผลออกมาเป็นค่าโวลเตจที่หน้าจอ LCD ในท้ายที่สุด

การทดสอบ



รูปที่ 5.3 เครื่องต้นแบบ

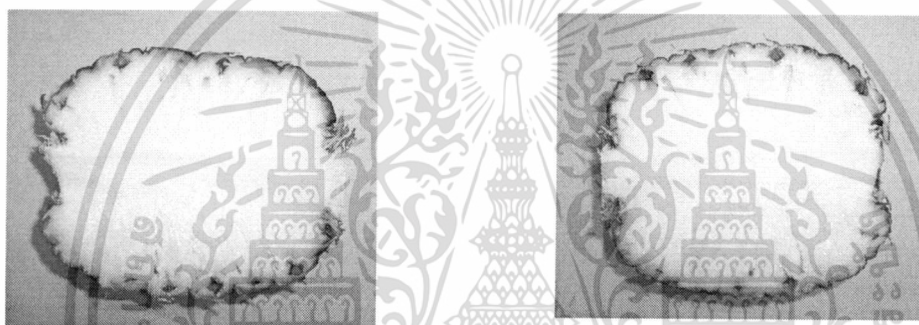


รูปที่ 5.4 เครื่องต้นแบบทดสอบกับสับประรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องต้นแบบขนาดพกพาเพื่อทดสอบหลักการในรุ่นแรกนี้ดังรูปที่ 5.3 ใช้สายอากาศที่เป็นไดโพลทั้งรับและส่ง โดยวางสายอากาศให้เป็นแบบ Co-polarization สับประรดที่นำมาทดสอบจะวางตามขวางกับสายอากาศ ซึ่งจะวัดสับประรดในแนวกลางลูกดังรูปที่ 4.4 จากเครื่องต้นแบบได้รับความสนใจและร่วมทดสอบจริงกับอาจารย์ของภาควิชาวิศวกรรมเกษตร โดยทดสอบกับสับประรดพันธุ์ปีตตาเวียจำนวน 172 ลูก ซึ่งได้ชื่อสับประรดมาจาก อ. สนามชัยเขต จ.ระยอง สับประรดชุดนี้มีขนาดที่แตกต่างกันมาก โดยมีลูกแกนดำและแกนขาวบ้างเล็กน้อย สับประรดถูกแบ่งตามความสุกออกเป็น 4 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่ 1 เป็นสับประรดที่ยังไม่สุก มีจำนวน 47 ลูก



รูปที่ 5.5 สับประรดในกลุ่มที่ 1 ยังไม่สุก

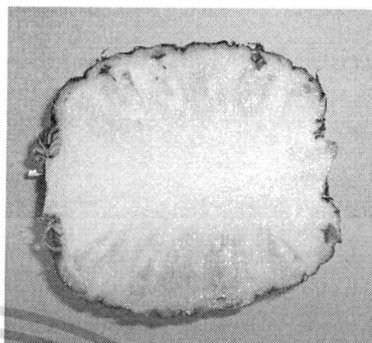
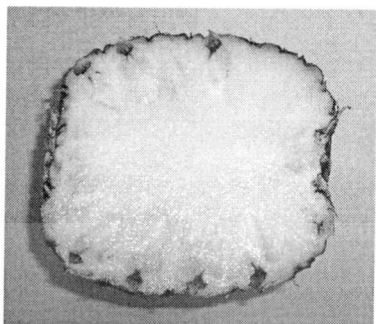
กลุ่มที่ 2 เป็นสับประรดที่เริ่มสุก มีจำนวน 44 ลูก



รูปที่ 5.6 สับประรดในกลุ่มที่ 2 เริ่มสุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มที่ 3 เป็นสับปะรดที่สุก มีจำนวน 28 ลูก



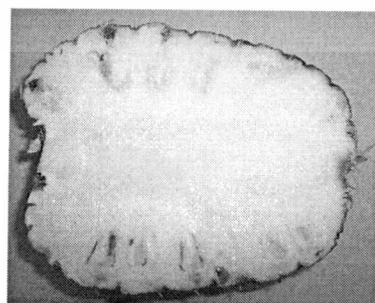
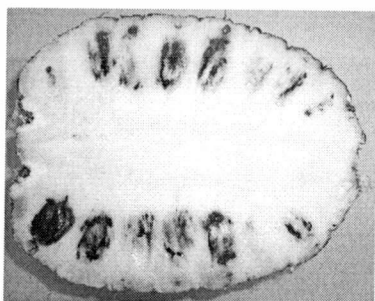
รูปที่ 5.7 สับปะรดในกลุ่มที่ 3 สุก

กลุ่มที่ 4 เป็นสับปะรดที่สุกมาก มีจำนวน 31 ลูก



รูปที่ 5.8 สับปะรดในกลุ่มที่ 4 สุกมาก

กลุ่มที่ 5 เป็นสับปะรดที่มีปัญหาแกนดำและแกนขาว มีจำนวน 22 ลูก



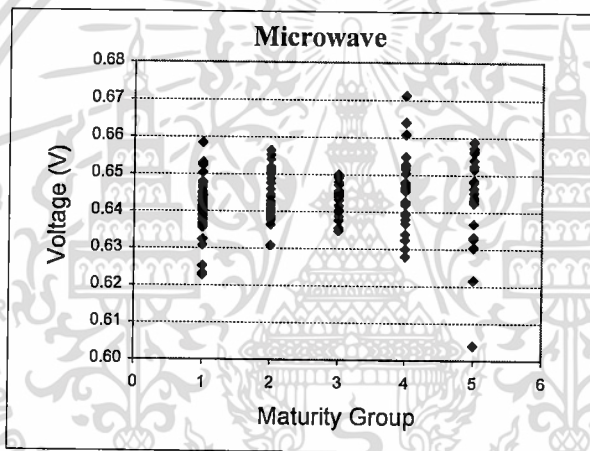
รูปที่ 5.9 สับปะรดในกลุ่มที่ 5 มีปัญหาแกนดำและแกนขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สับปะรดกลุ่ม 4 (สุกมากหรือน้ำ) ถูกเก็บไว้ประมาณ 2 วัน ก่อนวันที่ไปซื้อ ส่วนกลุ่มอื่นตัดวันที่ไปซื้อ ยกเว้นลูก
แกนซึ่งเก็บก่อนประมาณหนึ่งวัน สับปะรดถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ ประมาณ 25 °C ก่อนทำการวัดทดสอบหนึ่งวัน

การทดสอบสับปะรดได้กระทำเปรียบเทียบกันระหว่าง 2 วิธีที่แตกต่างกัน คือ เทคนิคการทดสอบแบบใช้
คลื่นไมโครเวฟจากเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้น และเทคนิคการทดสอบแบบ Brix ซึ่งเป็นการวัดปริมาณน้ำตาลในน้ำที่
คั้นจากสับปะรดในตำแหน่งที่ทำการทดสอบแบบไมโครเวฟโดยใช้ Refractometer รายละเอียดของการทดสอบแบบ
Brix สามารถดูเพิ่มเติมได้จากภาคผนวก ที่อยู่ในภาคผนวกตอนท้ายของรายงานนี้

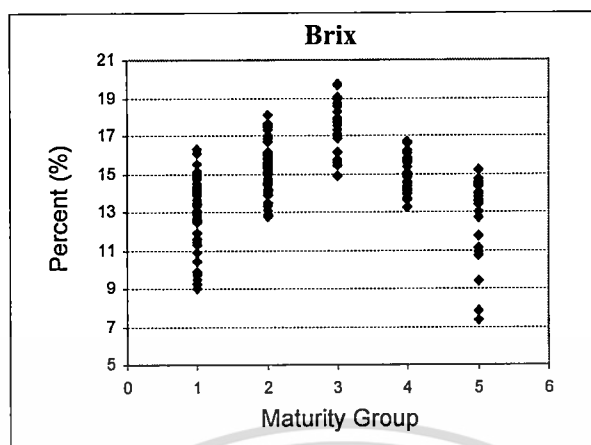
ผลการทดสอบ



รูปที่ 5.10 ผลการทดสอบสับปะรดกลุ่มต่างๆโดยไมโครเวฟ

ผลการทดสอบสับปะรดโดยไมโครเวฟดังรูปที่ 5.10 แสดงให้เห็นค่าโวลเตจที่วัดได้จากสับปะรดในกลุ่ม
ต่างๆ ขนาดต่างๆกัน โดยการทดสอบในแต่ละลูกจะกระทำ 4 จุดรอบลูกสับปะรด แล้วหาค่าเฉลี่ย จากค่าข้อมูลที่แสดง
พบว่าค่าโวลเตจที่วัดได้ในแต่ละกลุ่มไม่สามารถแบ่งแยกออกจากกันอย่างชัดเจน โดยสามารถแยกได้เพียง 2
ระดับคือ กลุ่มที่ 1 (ยังไม่สุก) กับกลุ่มที่ 4 (สุกมาก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 ผลการทดสอบสับปรดกลุ่มต่างๆ โดย Brix

ผลการทดสอบสับปรดโดย Brix ดังรูปที่ 5.11 แสดงให้เห็นค่าเปอร์เซ็นต์ Brix ที่วัดได้จากสับปรดในกลุ่มต่างๆ ขนาดต่างๆกัน โดยการวัดปริมาณน้ำตาลในน้ำที่คั้นจากสับปรดในตำแหน่งที่ทำการทดสอบแบบไมโครเวฟ แล้วหาค่าเฉลี่ย จากค่าข้อมูลที่แสดงพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ Brix มีแนวโน้มที่ต่างกัน แต่ในแต่ละกลุ่มข้อมูลยังไม่สามารถแยกกันได้อย่างชัดเจน โดยสามารถแยกได้เพียง 3 ระดับคือ กลุ่มที่ 1 (ยังไม่สุก) กลุ่มที่ 2 (เริ่มสุก) กลุ่มที่ 3 (สุก) หรือกลุ่มที่ 3 (สุก) กลุ่มที่ 4 (สุกมาก) กลุ่มที่ 5 Zแกนดำและแกนขาว)

สรุป

การทดสอบสับปรดแบบใช้คลื่นไมโครเวฟเป็นวิธีการทดสอบที่ไม่ทำลาย แต่จากผลการทดสอบจากเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นยังไม่มีประสิทธิภาพในการแยกระดับความสุกได้ดีพอเมื่อเปรียบเทียบกับ การทดสอบสับปรดแบบ Brix ซึ่งเป็นการทดสอบแบบทำลาย แนวทางในการพัฒนาระบบทำได้โดยเพิ่มเงื่อนไขของการทดสอบให้มากขึ้นเช่น เพิ่มตำแหน่งที่ทดสอบ หรือ ทดสอบที่หลายความถี่ในช่วงแคบ อันจะทำให้ระบบมีความแม่นยำมากขึ้น

บทที่ 6

การทดสอบเครื่องทดสอบรสชาติผลไม้แบบพกพาด้วยคลื่นไมโครเวฟ

ขั้นตอนการทดสอบ

ในการทดสอบเครื่องตรวจรสชาติผลไม้แบบพกพาด้วยคลื่นไมโครเวฟ มีขั้นตอนการทดสอบดังต่อไปนี้ เริ่มแรกแบ่งกลุ่มส้มเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่คาดว่าจะหวานและกลุ่มที่คาดว่าจะเปรี้ยว ด้วยการสอบถามจากแม่ค้าที่ขายส้ม โดยที่กำหนดให้จำนวนตัวอย่างของส้มทั้ง 2 จำพวกนี้มีจำนวนใกล้เคียงกัน และส้มเป็นที่ใช้ทดลองนี้เป็นส้มพันธุ์ “ส้มสายน้ำผึ้ง” ที่ขนาดของผลส้มใกล้เคียงกัน หลังจากนั้นนำส้มแต่ละกลุ่มมาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบรสชาติผลไม้ โดยที่ส้มแต่ละผลจะถูกแบ่งจุดที่ทดสอบเป็น 3 จุด บันทึกค่าที่ได้จากการวัดแต่ละจุดแล้วนำค่าจากทั้ง 3 จุดมาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งค่าจากการวัดที่ได้จากเครื่องทดสอบ ในเบื้องต้นจะเป็นค่าที่อยู่ในรูปแบบไบนารี นำค่าไบนารีมาแปลงเป็นเลขฐาน 10 เพื่อให้ง่ายในการจัดระดับว่าค่าช่วงไหนแสดงถึงช่วงที่ทดสอบกับส้มหวาน และส้มเปรี้ยว จากนั้นนำส้มที่ทดสอบและบันทึกค่าจากเครื่องทดสอบรสชาติผลไม้แล้ว มาทดสอบอีกครั้งด้วยการชิม โดยที่มีผู้ร่วมชิมทั้งสิ้น 5 คน แล้วให้แต่ละคนแสดงความคิดเห็นต่อส้มลูกที่ชิมว่าหวาน เปรี้ยว หรือหวานอมเปรี้ยว เพื่อที่จะนำผลการชิมรสชาติที่แท้จริงไปจัดระดับว่าส้มหวาน เปรี้ยว หรือ หวานอมเปรี้ยว ควรอยู่ในช่วงใดของค่าที่แสดงจากเครื่องทดสอบรสชาติผลไม้

เครื่องทดสอบผลไม้แบบพกพาด้วยคลื่นไมโครเวฟและกระบวนการทดสอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบ

การทดสอบครั้งที่ 1

| Sample no. | Point 1 | Point 2 | Point 3 | Average | Taste |
|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------|--------------|
| 1/1 | 546 (เปรี้ยว) | 559 (เปรี้ยว) | 568 (เปรี้ยว) | 557 | เปรี้ยว |
| 2/1 | 538 (หวาน+เปรี้ยว) | 538 (หวาน+เปรี้ยว) | 542 (หวาน+เปรี้ยว) | 539 | หวาน+เปรี้ยว |
| 3/1 | 535 (หวาน) | 590 (เปรี้ยว) | 539 (หวาน) | 554 | หวาน+เปรี้ยว |
| 4/1 | 541 (หวานเล็กน้อย) | 547 (หวานเล็กน้อย) | 563 (หวานเล็กน้อย) | 550 | หวานเล็กน้อย |
| 5/1 | 552 (เปรี้ยว) | 550 (เปรี้ยว) | 556 (เปรี้ยว) | 552 | เปรี้ยว |
| 6/1 | 533 (เปรี้ยว) | 517 (เปรี้ยว) | 540 (หวาน+เปรี้ยว) | 530 | หวาน+เปรี้ยว |
| 7/1 | 526 (หวานเล็กน้อย) | 578 (หวานเล็กน้อย) | 539 (หวาน) | 547 | หวานเล็กน้อย |
| 8/1 | 579 (เปรี้ยว) | 592 (เปรี้ยว) | 602 (เปรี้ยว) | 591 | เปรี้ยว |
| 9/1 | 551 (เปรี้ยว) | 571 (เปรี้ยว) | 548 (เปรี้ยว) | 556 | เปรี้ยว |
| 10/1 | 577 (เปรี้ยว) | 554 (เปรี้ยว) | 526 (เปรี้ยว) | 552 | เปรี้ยว |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Sample no. | Point 1 | Point 2 | Point 3 | Average | Taste |
|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------|--------------|
| 1/2 | 534 (หวาน) | 515 (หวาน) | 541 (หวาน) | 530 | หวาน |
| 2/2 | 580 (จืด) | 562 (จืด) | 659 (จืด) | 600 | จืด* |
| 3/2 | 519 (หวาน+เปรี้ยว) | 553 (เปรี้ยว) | 537 (หวาน+เปรี้ยว) | 536 | หวาน+เปรี้ยว |
| 4/2 | 541 (หวาน) | 562 (เปรี้ยว) | 538 (หวาน) | 547 | หวาน+เปรี้ยว |
| 5/2 | 547 (หวาน) | 555 (หวาน+เปรี้ยว) | 544 (หวาน) | 548 | หวาน+เปรี้ยว |
| 6/2 | 545 (หวาน) | 561 (หวาน) | 510 (หวาน) | 538 | หวาน |
| 7/2 | 552 (เปรี้ยว) | 560 (เปรี้ยว) | 547 (เปรี้ยว) | 553 | เปรี้ยว |
| 8/2 | 516 (หวาน+เปรี้ยว) | 545 (หวาน) | 546 (หวาน+เปรี้ยว) | 535 | หวาน+เปรี้ยว |
| 9/2 | 519 (จืด) | 547 (จืด) | 558 (จืด) | 541 | จืด* |
| 10/2 | 575 (หวาน) | 543 (หวาน) | 513 (เปรี้ยว) | 543 | หวาน+เปรี้ยว |
| 11/2 | 517 (หวาน) | 520 (หวาน+เปรี้ยว) | 575 (หวาน+เปรี้ยว) | 537 | หวาน+เปรี้ยว |

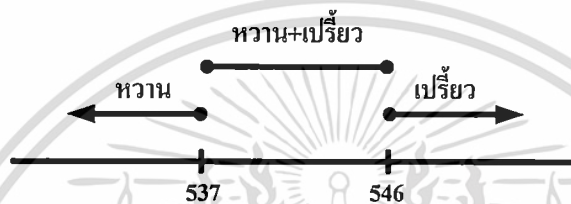
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ

* มีลักษณะเหมือนกับส้มฟาม (ไม่ค่อยมีน้ำ)

ส้มถูกแบ่งออกเป็น 2 sample โดยที่ Sample no.1 คาดว่าจะหวาน ส่วน Sample no. 2 คาดว่าจะเปรี้ยว

จากตารางแสดงผลการทดสอบ สามารถแบ่งช่วงของค่าที่ได้จากการทดสอบว่าค่าในช่วงไหนเป็นค่าที่แสดงส้มหวาน ส้มเปรี้ยว หรือส้มหวานอมเปรี้ยว



การทดสอบครั้งที่ 2

การทดสอบครั้งนี้จัดจำนวน Sample เป็นกลุ่มเดียว แต่มีการทดสอบย่อยออกเป็น 6 การทดสอบย่อย เพื่อดูผลกระทบของมือที่จับเครื่องทดสอบ และผลกระทบเนื่องจาก Package ที่ใช้บรรจุเครื่องทดสอบ ซึ่งเงื่อนไขการทดสอบมีดังนี้

- 1) การทดสอบเมื่อเครื่องทดสอบวางอยู่บน Absorber และไม่มี Package บรรจุเครื่อง
- 2) การทดสอบเมื่อเครื่องทดสอบวางอยู่บน Absorber และมี Package บรรจุเครื่อง
- 3) การทดสอบเมื่อถือเครื่องทดสอบ แต่ไม่ได้จับส้มที่ใช้ทดสอบ และไม่มี Package บรรจุเครื่อง
- 4) การทดสอบเมื่อถือเครื่องทดสอบ แต่ไม่ได้จับส้มที่ใช้ทดสอบ และมี Package บรรจุเครื่อง
- 5) การทดสอบเมื่อถือเครื่องทดสอบ อีกมือจับส้มที่ใช้ทดสอบ และไม่มี Package บรรจุเครื่อง
- 6) การทดสอบเมื่อถือเครื่องทดสอบ อีกมือจับส้มที่ใช้ทดสอบ และมี Package บรรจุเครื่อง

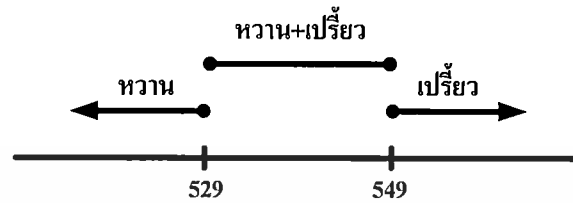
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) การทดสอบเมื่อเครื่องทดสอบวางอยู่บน Absorber และไม่มี Package บรรจุเครื่อง

| Sample no. | Point 1 | Point 2 | Point 3 | Average | Taste |
|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------|--------------|
| 1 | 570 (หวาน+เปรี้ยว) | 538 (หวาน+เปรี้ยว) | 554 (หวาน+เปรี้ยว) | 554 | หวาน+เปรี้ยว |
| 2 | 533 (หวานนิดๆ) | 525 (หวานนิดๆ) | 568 (หวาน+เปรี้ยว) | 542 | หวาน+เปรี้ยว |
| 3 | 536 (เปรี้ยว) | 549 (เปรี้ยว) | 574 (เปรี้ยว) | 553 | เปรี้ยว |
| 4 | 551 (หวาน+เปรี้ยว) | 564 (หวาน+เปรี้ยว) | 550 (หวาน+เปรี้ยว) | 555 | หวาน+เปรี้ยว |
| 5 | 520 (หวานเล็กน้อย) | 527 (หวานเล็กน้อย) | 531 (หวานเล็กน้อย) | 526 | หวานเล็กน้อย |
| 6 | 541 (เปรี้ยว) | 550 (เปรี้ยว) | 556 (เปรี้ยว) | 549 | เปรี้ยว |
| 7 | 549 (หวาน+เปรี้ยว) | 528 (หวาน+เปรี้ยว) | 542 (หวาน+เปรี้ยว) | 539 | หวาน+เปรี้ยว |
| 8 | 558 (เปรี้ยว) | 541 (หวาน+เปรี้ยว) | 549 (หวาน+เปรี้ยว) | 549 | หวาน+เปรี้ยว |
| 9 | 520 (หวานเล็กน้อย) | 530 (หวานเล็กน้อย) | 537 (หวานเล็กน้อย) | 529 | หวานเล็กน้อย |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางแสดงผลการทดสอบ สามารถแบ่งช่วงของค่าที่ได้จากการทดสอบว่าค่าในช่วงไหนเป็นค่าที่แสดงสัมผัสหวาน สัมเปรี้ยว หรือสัมผัสหวานอมเปรี้ยว



2) การทดสอบเมื่อเครื่องทดสอบวางอยู่บน Absorber และมี Package บรรจุเครื่อง

| Sample no. | Point 1 | Point 2 | Point 3 | Average | Taste |
|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------|--------------|
| 1 | 557 (หวาน+เปรี้ยว) | 557 (หวาน+เปรี้ยว) | 570 (หวาน+เปรี้ยว) | 561 | หวาน+เปรี้ยว |
| 2 | 555 (หวานนิดๆ) | 561 (หวานนิดๆ) | 556 (หวาน+เปรี้ยว) | 557 | หวาน+เปรี้ยว |
| 3 | 550 (เปรี้ยว) | 560 (เปรี้ยว) | 557 (เปรี้ยว) | 555 | เปรี้ยว |
| 4 | 563 (หวาน+เปรี้ยว) | 554 (หวาน+เปรี้ยว) | 551 (หวาน+เปรี้ยว) | 556 | หวาน+เปรี้ยว |
| 5 | 553 (หวานเล็กน้อย) | 558 (หวานเล็กน้อย) | 544 (หวานเล็กน้อย) | 551 | หวานเล็กน้อย |
| 6 | 560 (เปรี้ยว) | 555 (เปรี้ยว) | 563 (เปรี้ยว) | 559 | เปรี้ยว |
| 7 | 544 (หวาน+เปรี้ยว) | 546 (หวาน+เปรี้ยว) | 553 (หวาน+เปรี้ยว) | 547 | หวาน+เปรี้ยว |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | | | | |
|---|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----|--------------|
| 8 | เปรี้ยว) 552 (เปรี้ยว) | เปรี้ยว) 553 (หวาน+เปรี้ยว) | เปรี้ยว) 559 (หวาน+เปรี้ยว) | 554 | หวาน+เปรี้ยว |
| 9 | (หวาน เล็กน้อย) 548 | (หวาน เล็กน้อย) 543 | (หวาน เล็กน้อย) 559 | 550 | หวานเล็กน้อย |

จากตารางแสดงผลการทดสอบ สามารถแบ่งช่วงของค่าที่ได้จากการทดสอบว่าค่าในช่วงไหนเป็นค่าที่แสดงสัมผัสหวาน สัมเปรี้ยว หรือสัมผัสหวานอมเปรี้ยว



3) การทดสอบเมื่อถือเครื่องทดสอบ แต่ไม่ได้จับสัมผัสที่ใช้ทดสอบ และไม่มี Package บรรจุเครื่อง

| Sample no. | Point 1 | Point 2 | Point 3 | Average | Taste |
|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------|--------------|
| 1 | 549 (หวาน+เปรี้ยว) | 551 (หวาน+เปรี้ยว) | 556 (หวาน+เปรี้ยว) | 549 | หวาน+เปรี้ยว |
| 2 | 554 (หวานนิดๆ) | 538 (หวานนิดๆ) | 561 (หวาน+เปรี้ยว) | 551 | หวาน+เปรี้ยว |
| 3 | 564 (เปรี้ยว) | 545 (เปรี้ยว) | 563 (เปรี้ยว) | 557 | เปรี้ยว |
| 4 | 570 (หวาน+เปรี้ยว) | 559 (หวาน+เปรี้ยว) | 564 (หวาน+เปรี้ยว) | 564 | หวาน+เปรี้ยว |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | | | | |
|---|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-----|--------------|
| 5 | 544 (หวาน เล็กน้อย) | 547 (หวาน เล็กน้อย) | 562 (หวาน เล็กน้อย) | 551 | หวานเล็กน้อย |
| 6 | 552 (เปรี้ยว) | 557 (เปรี้ยว) | 560 (เปรี้ยว) | 556 | เปรี้ยว |
| 7 | 540 (หวาน+ เปรี้ยว) | 539 (หวาน+ เปรี้ยว) | 552 (หวาน+ เปรี้ยว) | 543 | หวาน+เปรี้ยว |
| 8 | 557 (เปรี้ยว) | 569 (หวาน+ เปรี้ยว) | 583 (หวาน+ เปรี้ยว) | 569 | หวาน+เปรี้ยว |
| 9 | 575 (หวาน เล็กน้อย) | 557 (หวาน เล็กน้อย) | 547 (หวาน เล็กน้อย) | 559 | หวานเล็กน้อย |

จากตารางแสดงผลการทดสอบในเงื่อนไขนี้ เห็นได้ชัดว่าค่าที่ได้นี้ไม่สามารถนำไปจัดช่วงของค่าเพื่อแยก ส้ม หวาน ส้มเปรี้ยว และส้มเปรี้ยวอมหวาน เนื่องจากค่าที่ได้จากการทดสอบอยู่ในช่วงที่แคบและมีการทับซ้อน ทำให้ไม่มีประสิทธิภาพในการนำไปใช้เพื่อการแยกแยะได้

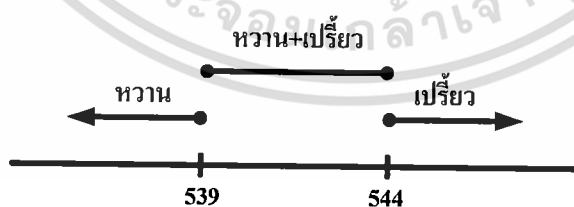
4) การทดสอบเมื่อถือเครื่องทดสอบ แต่ไม่ได้จับส้มที่ใช้ทดสอบ และมี Package บรรจุเครื่อง

| Sample no. | Point 1 | Point 2 | Point 3 | Average | Taste |
|------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------|--------------|
| 1 | 534 (หวาน+ เปรี้ยว) | 544 (หวาน+ เปรี้ยว) | 542 (หวาน+ เปรี้ยว) | 540 | หวาน+เปรี้ยว |
| 2 | 533 (หวาน เล็กน้อย) | 549 (หวาน เล็กน้อย) | 551 (หวาน+ เปรี้ยว) | 544 | หวาน+เปรี้ยว |
| 3 | 532 (เปรี้ยว) | 539 (เปรี้ยว) | 543 (เปรี้ยว) | 538 | เปรี้ยว |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | | | | |
|---|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-----|--------------|
| 4 | 539 (หวาน+ เปรี้ยว) | 548 (หวาน+ เปรี้ยว) | 540 (หวาน+ เปรี้ยว) | 542 | หวาน+เปรี้ยว |
| 5 | 536 (หวาน เล็กน้อย) | 545 (หวาน เล็กน้อย) | 546 (หวาน เล็กน้อย) | 542 | หวานเล็กน้อย |
| 6 | 538 (เปรี้ยว) | 548 (เปรี้ยว) | 546 (เปรี้ยว) | 544 | เปรี้ยว |
| 7 | 538 (หวาน+ เปรี้ยว) | 537 (หวาน+ เปรี้ยว) | 546 (หวาน+ เปรี้ยว) | 540 | หวาน+เปรี้ยว |
| 8 | 532 (เปรี้ยว) | 551 (หวาน+ เปรี้ยว) | 546 (หวาน+ เปรี้ยว) | 543 | หวาน+เปรี้ยว |
| 9 | 539 (หวาน เล็กน้อย) | 536 (หวาน เล็กน้อย) | 542 (หวาน เล็กน้อย) | 539 | หวานเล็กน้อย |

จากตารางแสดงผลการทดสอบ สามารถแบ่งช่วงของค่าที่ได้จากการทดสอบว่าค่าในช่วงไหนเป็นค่าที่แสดงสั้มหวาน สั้มเปรี้ยว หรือสั้มหวานอมเปรี้ยว



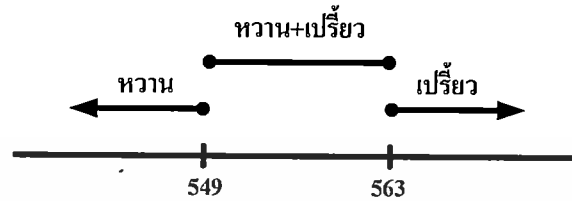
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) การทดสอบเมื่อถือเครื่องทดสอบ อีกรมมือจับส้อมที่ใช้ทดสอบ และไม่มี Package บรรจุเครื่อง

| Sample no. | Point 1 | Point 2 | Point 3 | Average | Taste |
|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------|--------------|
| 1 | 540 (หวาน+เปรี้ยว) | 549 (หวาน+เปรี้ยว) | 544 (หวาน+เปรี้ยว) | 544 | หวาน+เปรี้ยว |
| 2 | 566 (หวานเล็กน้อย) | 557 (หวานเล็กน้อย) | 547 (หวาน+เปรี้ยว) | 556 | หวาน+เปรี้ยว |
| 3 | 581 (เปรี้ยว) | 546 (เปรี้ยว) | 582 (เปรี้ยว) | 569 | เปรี้ยว |
| 4 | 570 (หวาน+เปรี้ยว) | 556 (หวาน+เปรี้ยว) | 542 (หวาน+เปรี้ยว) | 556 | หวาน+เปรี้ยว |
| 5 | 553 (หวานเล็กน้อย) | 571 (หวานเล็กน้อย) | 530 (หวานเล็กน้อย) | 551 | หวานเล็กน้อย |
| 6 | 557 (เปรี้ยว) | 561 (เปรี้ยว) | 571 (เปรี้ยว) | 563 | เปรี้ยว |
| 7 | 546 (หวาน+เปรี้ยว) | 548 (หวาน+เปรี้ยว) | 535 (หวาน+เปรี้ยว) | 543 | หวาน+เปรี้ยว |
| 8 | 563 (เปรี้ยว) | 558 (หวาน+เปรี้ยว) | 540 (หวาน+เปรี้ยว) | 553 | หวาน+เปรี้ยว |
| 9 | 546 (หวานเล็กน้อย) | 547 (หวานเล็กน้อย) | 556 (หวานเล็กน้อย) | 549 | หวานเล็กน้อย |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางแสดงผลการทดสอบ สามารถแบ่งช่วงของค่าที่ได้จากการทดสอบว่าค่าในช่วงไหนเป็นค่าที่แสดงสัมผัสหวาน สัมเปรี้ยว หรือสัมผัสหวานอมเปรี้ยว



6) การทดสอบเมื่อถือเครื่องทดสอบ อีกรมอับสัมผัสที่ใช้ทดสอบ และมี Package บรรจุเครื่อง

| Sample no. | Point 1 | Point 2 | Point 3 | Average | Taste |
|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------|--------------|
| 1 | 528 (หวาน+เปรี้ยว) | 540 (หวาน+เปรี้ยว) | 533 (หวาน+เปรี้ยว) | 533 | หวาน+เปรี้ยว |
| 2 | 551 (หวานเล็กน้อย) | 548 (หวานเล็กน้อย) | 549 (หวาน+เปรี้ยว) | 549 | หวาน+เปรี้ยว |
| 3 | 540 (เปรี้ยว) | 542 (เปรี้ยว) | 553 (เปรี้ยว) | 545 | เปรี้ยว |
| 4 | 543 (หวาน+เปรี้ยว) | 544 (หวาน+เปรี้ยว) | 545 (หวาน+เปรี้ยว) | 544 | หวาน+เปรี้ยว |
| 5 | 538 (หวานเล็กน้อย) | 535 (หวานเล็กน้อย) | 539 (หวานเล็กน้อย) | 537 | หวานเล็กน้อย |
| 6 | 535 (เปรี้ยว) | 548 (เปรี้ยว) | 559 (เปรี้ยว) | 547 | เปรี้ยว |
| 7 | 536 | 540 | 538 | 538 | หวาน+เปรี้ยว |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | | | | |
|---|--|---|---|-----|--------------|
| 8 | (หวาน+ เปรี้ยว) 559 (เปรี้ยว) | (หวาน+ เปรี้ยว) 544 (หวาน+ เปรี้ยว) | (หวาน+ เปรี้ยว) 538 (หวาน+ เปรี้ยว) | 547 | หวาน+เปรี้ยว |
| 9 | (หวาน เล็กน้อย) 546 | (หวาน เล็กน้อย) 549 | (หวาน เล็กน้อย) 546 | 547 | หวานเล็กน้อย |

จากตารางแสดงผลการทดสอบ สามารถแบ่งช่วงของค่าที่ได้จากการทดสอบว่าค่าในช่วงไหนเป็นค่าที่แสดง ส้มหวาน ส้มเปรี้ยว หรือส้มหวานอมเปรี้ยว



จากผลการทดสอบที่ 2 ซึ่งแบ่งเป็นการทดสอบย่อย 6 เงื่อนไขดังแสดงที่ผ่านมานั้น จะเห็นได้ว่า จากเงื่อนไขที่ 1 และเงื่อนไขที่ 5 มีผลการทดสอบที่มีความผิดพลาดเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการทดสอบในเงื่อนไขย่อยอื่นๆ ซึ่งสาเหตุบางส่วนนั้นมาจาก Package ที่ใช้สำหรับบรรจุตัวเครื่องทดสอบ และผลกระทบของมือ ดังนั้นเมื่อนำเครื่องทดสอบรสชาติผลไม้แบบพกพาด้วยคลื่นไมโครเวฟนี้ไปใช้งานจริง จะต้องมีการปรับปรุงและศึกษาให้ละเอียดยิ่งขึ้นเกี่ยวกับ Package ที่ใช้สำหรับบรรจุตัวเครื่องและผลกระทบของมือที่มีผลต่อค่าที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุป

จากความต้องการควบคุมคุณภาพของผลไม้โดยไม่ต้องทำลาย ทำให้โครงการวิจัยนี้สืบค้นเทคนิคในการตรวจสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุ และการประดิษฐ์เครื่องตรวจสอบผลไม้แบบต่างๆ และนำเสนอการพัฒนาเครื่องตรวจสอบรสชาติผลไม้โดยอาศัยการวัดการสะท้อนและการเชื่อมต่อคลื่นไมโครเวฟ

ได้พิสูจน์การเชื่อมต่อคลื่นจากสายอากาศไดโพลที่วางขนานและตั้งฉากกันแล้วนำมาใช้เป็นเครื่องในการหาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและตัวประกอบการสูญเสียของวัสดุ จากนั้นวัดการเชื่อมต่อคลื่นในของเหลวต่างๆ

ในโครงการนี้ได้ออกแบบและสร้างวงจรส่งรับคลื่นไมโครเวฟความถี่ 2.45 GHz แล้วทดสอบผลการวัดการเชื่อมต่อคลื่นเทียบกับข้อมูลทางเคมีของสับปะรด ซึ่งยังไม่ได้รับความสัมพันธ์ที่ชัดเจน ต่อมาได้ปรับปรุงเครื่องให้มีขนาดเล็กกะทัดรัดและทดสอบรสชาติของส้ม พบว่าสามารถจำแนกรสชาติของส้มได้อย่างชัดเจนด้วยการแสดงผลด้วยสีของหลอดไฟ

แม้ว่าจะทำงานได้ดีก็ยังมีงานที่จะปรับปรุงต่อไปในการทำให้ขนาดเล็กลงด้วยการออกแบบให้เป็นวงจรรวมวงจรเดียว และทำบรรจุภัณฑ์ที่ทำให้ใช้ได้สะดวกและมีราคาถูกลง

เอกสารอ้างอิง

- [1] W. Kongrattanaprasert, S. Arunrungrusmi, B. Pungsiri, K. Chamnongthai and M. Okuda, "Nondestructive Maturity Determination of Durian by Force Vibration and Ultrasonic," *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Base Systems*, vol.9, no.6, pp.703-719, Dec. 2001.
- [2] M. N .Afsar, J. R. Birch and R. N. Clerke, "The Measurement of the Properties of Materials," *Proceedings of IEEE*, vol. 74, no. 1., pp. 183-199, Jan. 1986.
- [3] S. O. Nelson, "Dielectric Properties of Agricultural Products – Measurements and Application," *IEEE Trans. On Electr. Insulation*, vol. 26, no. 5, pp. 845-869, Oct. 1991.
- [4] "Agilent Basics of Measuring the Dielectric Properties of Materials," *Application Note*.
- [5] Z. Abbas, Y. K. Yeow, A. H. Shaari, K. Khalid, J.Hassan and E. Saion, "Complex Permittivity and Moisture Measurements of Oil Palm Fruits Using an Open-Ended Coaxial Sensor," *IEEE Sensors Journal*, vol. 5, no. 6, pp.1281-1287, Dec. 2005.
- [6] M. Krairiksh, A. Mearnchu, C. Phongcharoenpanich and S.Sangniyom "Inverse Scattering Measurement for Fruit Inspection toward Quality Control," *The 2003 International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications*, vol.3, pp.1828-1831, Jul. 2003.
- [7] M. Krairiksh, A. Mearnchu and C. Phongcharoenpanich, "Nondestructive Measurement for Mango Inspection," *ISCIT2004*.
- [8] M. Santra and K. U .Limaye, "Estimation of Complex Permittivity of Arbitrary Shape and Size Dielectric Samples Using Cavity Measurement Technique at Microwave Frequencies," *IEEE Trans. on Microw. Theory Tech.*, vol. 53, no. 2, pp.718-722, Feb. 2005.
- [9] K. F. Lee, *Principles of Antenna Theory*, John Wiley & Sons, 1984.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] C.A. Ballanis, *Antenna: Theory Analysis and Design*; 2nd Edition, John Wiley & Sons, 1997.
- [11] H. E. King, "Mutual Impedance of Unequal Length Antennas in Echelon," *IRE Trans. Antennas Propagat.*, vol.5, No.3, pp.306-313, 1957.
- [12] H. C. Baker, and A. H. Lagrone, "Digital Computation of the Mutual Impedance Between Thin Dipoles," *IRE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-10, No.2, pp.172-178, 1962.
- [13] R. C. Hansen, "Formulation of Echelon Dipole Mutual Impedance for Computer," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-20, pp.780-781, 1972.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

Degrees Brix (symbol °Bx) is a measurement of the mass ratio of dissolved sucrose to water in a liquid. It is measured with a saccharimeter that measures specific gravity of a liquid or more easily with a refractometer. A 25 °Bx solution has 25 grams of sucrose sugar per 100 grams of liquid. Or, to put it another way, there are 25 grams of sucrose sugar and 75 grams of water in the 100 grams of solution.

<http://en.wikipedia.org/wiki/Brix> at 31 July 2006

Refractometer is an optical instrument that is used to determine the refractive index of a substance or some physical property of a substance that is directly related to its refractive index. Certain types of refractometers can be used for measuring gases, liquids, and even transparent or translucent solids such as gemstones.

A refractometer can be used to determine the identity of an unknown substance based on its refractive index, to assess the purity of a particular substance, or to determine the concentration of one substance dissolved in another. Most commonly, refractometers are used for measuring fluid concentrations such as the sugar content (Brix level) of fruits, vegetables, juices and carbonated beverages, or of cutting fluids, urine specific gravity, blood protein concentration, salinity, antifreeze, industrial fluids, etc.

<http://en.wikipedia.org/wiki/Refractometer> at 31 July 2006