



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การประยุกต์ใช้งานระบบเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบใหม่สำหรับทำนายคุณภาพ
ของผลไม้

A Novel RFID Sensor System Apply for Determination of a Quality
of Fruit

นายรัฐพงษ์ สุวลักษณ์
นายชวรงค์ พงศ์เจริญพานิชย์

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การประยุกต์ใช้งานระบบเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบใหม่สำหรับทำนายคุณภาพ
ของผลไม้

A Novel RFID Sensor System Apply for Determination of a Quality
of Fruit

นายรัฐพงษ์ สุวลักษณ์
นายชวงค์ พงศ์เจริญพานิชย์

b00264312

RC00026

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559
วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การประยุกต์ใช้งานระบบเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบใหม่สำหรับทำนายคุณภาพ
ของผลไม้

A Novel RFID Sensor System Apply for Determination of a Quality
of Fruit

นายรัฐพงษ์ สุวลักษณ์
นายชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559
วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การประยุกต์ใช้งานระบบเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบใหม่สำหรับทำนายคุณภาพของผลไม้
แหล่งเงิน เงินงบประมาณแผ่นดิน.....

ประจำปีงบประมาณ 2559..... จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 387,100..... บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1..... ปี ตั้งแต่ ตุลาคม พ.ศ. 2558 ถึง กันยายน พ.ศ. 2559

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

หัวหน้าโครงการ ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) ดร.รัฐพงษ์ สุวลักษณ์

ชื่อ-สกุล (ภาษาอังกฤษ) Dr.Rattapong Suwalak

ภาควิชา วิศวกรรมสารสนเทศ คณะ วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตร

อุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

โทรศัพท์ 077-506410 และ 082-3261315 โทรสาร 077-506425

E-mail: rattapong.su@kmitl.ac.th

ผู้ร่วมโครงการ ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) ดร.ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์

ชื่อ-สกุล (ภาษาอังกฤษ) Dr.Chuwong Phongcharoenpanich

ภาควิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โทรศัพท์ 02-3298000 ต่อ 3346 และ 081-8087227 โทรสาร 02-3298325

E-mail: kpchuwon@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการทดสอบคุณภาพของผลไม้แบบไม่ต้องทำลายโดยใช้เซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบที่มีชีพและไม่มีชีวิตรวม ซึ่งอาศัยหลักการของสมการพรีสและสมการเรดาร์ เซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบที่มีชีพรวมเป็นแท่งชนิดสายพิมพ์ที่มีโครงสร้างแบบขดบนวัสดุฐานรอง 2 ชนิด คือแบบแข็งและแบบโค้งงอได้ สำหรับเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบไม่มีชีพรวมเป็นแท่งชนิดสายพิมพ์ที่มีโครงสร้างแบบขดสี่เหลี่ยมผืนผ้าจำนวน 2 ขดบนวัสดุฐานรองชนิดแข็ง ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เหมาะสมของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีที่นำเสนอได้มาจากการจำลองผลด้วยโปรแกรมจำลองผลทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (CST) การใช้เซ็นเซอร์ทั้งสองแบบเพื่อเพิ่มความถูกต้องของการหาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของผลไม้ ในงานวิจัยนี้ได้หาความสัมพันธ์ของค่าระยะทางการติดต่อสื่อสารที่ไกลที่สุดของเครื่องอ่านข้อมูลกับเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดี ค่าพื้นที่ตัดขวางเรดาร์และค่าคงที่ไดอิเล็กตริก จากผลการทดลองใช้งานเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีกับผลมะพร้าว พบว่าเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีที่ออกแบบสามารถนำมาใช้ในลักษณะของเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อคัดแยกความอ่อนแก่และหาค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันของผลมะพร้าวด้วยวิธีการแบบไม่ต้องทำลายวัสดุที่นำมาทดสอบได้ นอกจากนี้เซ็นเซอร์ที่นำเสนอสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในการทดสอบเพื่อหาค่าคุณสมบัติของผลไม้ชนิดต่าง ๆ ได้

คำสำคัญ : เกษตรกรรม, ผลไม้, การทดสอบโดยไม่ทำลาย, เซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดี และแท่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: A Novel RFID Sensor System Apply for Determination of a Quality of Fruit

Researcher: Rattapong Suwalak

Faculty: Prince of Chumphon Campus Department: Information Engineering

Researcher: Chuwong Phongcharoenpanich

Faculty: Engineering Department: Telecommunication Engineering

ABSTRACT

This project presents nondestructive testing using chipped and chipless RFID (Radio frequency identification) sensors for quality monitoring of fruit based on the Friis formula and the radar equation. Printed loop tags with a meander-line on both hard- and flexible-substrates are employed as the chipped RFID sensor. The dual printed rectangular loop tag printed on hard-substrate is employed as a chipless RFID sensor. The optimum parameters of the proposed RFID sensors are obtained using the CST Microwave Studio program. Both RFID sensors with/without IC chip are used to improve the accuracy of dielectric material determination: In this project, the relation of the maximum read range (R_{max}) between RFID reader and RFID sensor, the radar cross section and the real part of dielectric constant (ϵ'_r) are studied. From the measurement results, it is found that the RFID sensors can be categorized the maturity of coconut fruit and can be determined the coconut oil with the nondestructive testing. Moreover, this sensor can be a candidate as a wireless sensor to determine the quality of fruits.

Keywords : Agriculture, Fruit, Nondestructive Testing, RFID Sensor, and Tag

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ฝ่ายต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งฝ่ายวิจัยของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ที่ช่วยสนับสนุนเพื่อให้งานวิจัยสามารถดำเนินการวิจัยได้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

นายรัฐพงษ์ สุวลักษณ์
นายชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
1.5 คำสำคัญของการวิจัย.....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 แนวคิด สมมุติฐาน และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.2 มะพร้าว (Coconut).....	4
2.3 ระบบอาร์เอฟไอดี (Radio Frequency Identification (RFID) System).....	8
2.4 สายอากาศ (Antenna).....	13
2.5 หลักการติดต่อสื่อสาร.....	16
2.6 การทบทวนวรรณกรรม/ สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง.....	17
บทที่ 3 การออกแบบและการจำลองผล.....	19
3.1 โครงสร้างของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดี (RFID Sensor Structure).....	19
3.2 ผลการจำลอง (Simulated Results).....	20
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	37
4.1 การทดสอบคุณลักษณะทางกายภาพของผลมะพร้าว.....	37
4.2 การทดสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าและคุณสมบัติทางเคมีของผลมะพร้าว.....	42
4.3 การทดสอบระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีและเครื่องอ่านข้อมูล.....	46
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	49
5.1 เซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดี.....	49

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2 การประยุกต์ใช้งานเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดี.....	49
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	49
บทที่ 6 สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย.....	50
6.1 บทความวิจัยระดับนานาชาติ.....	50
6.2 เซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดี.....	50
เอกสารอ้างอิง.....	51
ภาคผนวก.....	53
ภาคผนวก ก เวลาที่ใช้ในการวิจัย.....	53
ภาคผนวก ข งบประมาณเพื่อการวิจัย.....	55
ภาคผนวก ค เอกสารผลงานวิจัยที่ได้รับจากการทำโครงการวิจัยและได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่	57
ภาคผนวก ง สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินงานโครงการวิจัย.....	70
ประวัติคณะผู้วิจัย.....	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เหมาะสมที่สุดของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 1.....	21
3.2	คุณลักษณะของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 1.....	21
3.3	ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เหมาะสมที่สุดของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2.....	31
3.4	คุณลักษณะของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2.....	31
4.1	คุณสมบัติทางกายภาพของมะพร้าวพันธุ์พื้นเมืองชุมพร (ลูกใหญ่).....	37
4.2	คุณสมบัติทางกายภาพของมะพร้าวพันธุ์สุลูลูกผสม 1 หรือพันธุ์มว่า (ผลขนาดเล็ก).....	39
4.3	คุณสมบัติทางเคมีและทางไฟฟ้าของผลมะพร้าวมว่า (ผลขนาดเล็ก).....	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	ระบบเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบใหม่ (Novel RFID Sensor System).....	2
2.1	มะพร้าว.....	5
2.2	โครงสร้างของผลมะพร้าว.....	6
2.3	ระบบอาร์เอฟไอดีทั่วไป.....	8
2.4	ตัวอย่างเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดี.....	9
2.5	ตัวอย่างแท็กแบบพาสซีฟ.....	10
2.6	ตัวอย่างแท็กแบบแอกทีฟ.....	10
2.7	ตัวอย่างแท็กแบบกึ่งแอกทีฟ.....	11
2.8	ระบบเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบใหม่เมื่อประยุกต์ใช้งานร่วมกับผลไม้.....	18
3.1	โครงสร้างของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมแบบที่ 1.....	19
3.2	โครงสร้างของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2.....	20
3.3	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับความถี่ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ L ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2.....	22
3.4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารีแอคแตนซ์กับความถี่ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ L ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2.....	22
3.5	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับความถี่ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ W ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2.....	23
3.6	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารีแอคแตนซ์กับความถี่ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ W ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2.....	23
3.7	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับความถี่ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ W_1 ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2.....	24
3.8	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารีแอคแตนซ์กับความถี่ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ W_1 ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2.....	24
3.9	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับความถี่ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ W_2 ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2.....	25
3.10	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารีแอคแตนซ์กับความถี่ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ W_2 ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2.....	25
3.11	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับความถี่ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ W_3 ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2.....	26

สารบัญญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.12	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารีแอกแตนซ์กับความถี่ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ W_3 ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2.....	26
3.13	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับความถี่ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ L_1 ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2.....	27
3.14	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารีแอกแตนซ์กับความถี่ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ L_1 ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2.....	27
3.15	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับความถี่ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ L_2 ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2.....	28
3.16	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารีแอกแตนซ์กับความถี่ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ L_2 ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2.....	28
3.17	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับความถี่ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ L_3 ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2.....	29
3.18	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารีแอกแตนซ์กับความถี่ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ L_3 ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2.....	29
3.19	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับความถี่ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ L_4 ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2.....	30
3.20	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารีแอกแตนซ์กับความถี่ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ L_4 ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2.....	30
3.21	การติดเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมบนผิวของผลมะพร้าว.....	32
3.22	ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและความกว้างของผลมะพร้าวกับค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดี.....	33
3.23	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดโพลีตริกกับค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดี.....	33
3.24	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราขยายของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีกับความถี่.....	34
3.25	พื้นที่ตัดขวางเรดาร์ (RCS) ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีและระยะการติดต่อสื่อสารที่ไกลที่สุดระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีและเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดี (R_{max}).....	34
3.26	อัตราส่วนระหว่างระยะการติดต่อสื่อสารที่ไกลที่สุดระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีกับเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดี.....	35
3.27	พื้นที่ตัดขวางเรดาร์ (RCS) ของเซ็นเซอร์ชนิดที่ไม่มีชิพวงจรรวมชนิดที่ 1 (Sensor#1) และชนิดที่ 2 (Sensor#2) ที่เป็นฟังก์ชันของค่าคงที่ไดโพลีตริก (ϵ_r') เมื่อมีค่า $\epsilon_r'' = 0.2$	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปร่างภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.28	ระยะการติดต่อสื่อสารที่ไกลที่สุด (R_{max}) ของเซ็นเซอร์ชนิดที่ไม่มีชีพจรรวมชนิดที่ 1 (Sensor#1) และชนิดที่ 2 (Sensor#2) ที่เป็นฟังก์ชันของค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ_r') เมื่อมีค่า $\epsilon_r'' = 0.2$	36
4.1	มะพร้าวพันธุ์พื้นเมืองชุมพร (ผลขนาดใหญ่).....	38
4.2	มะพร้าวพันธุ์สวีลูกผสม 1 หรือพันธุ์มาว่า (ผลขนาดเล็ก).....	40
4.3	ช่วงอายุของมะพร้าว.....	41
4.4	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของเปลือกมะพร้าว (Exocarp) ที่เป็นฟังก์ชันของความอ่อนแก่ (Maturity) ของผลมะพร้าว.....	42
4.5	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของเปลือกมะพร้าว (Exocarp) ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ (Frequency)...	43
4.6	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของเนื้อมะพร้าว (Endosperm) ที่เป็นฟังก์ชันของความอ่อนแก่ (Maturity) ของผลมะพร้าว.....	43
4.7	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของเนื้อมะพร้าว (Endosperm) ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ (Frequency)	44
4.8	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำมะพร้าว (Coconut Water) ที่เป็นฟังก์ชันของความอ่อนแก่ (Maturity) ของผลมะพร้าว.....	44
4.9	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำมะพร้าว (Coconut Water) ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ (Frequency).....	45
4.10	ระบบการทดสอบระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีกับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดี.....	46
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะการติดต่อสื่อสารที่ไกลที่สุด (R_{max}) กับความอ่อนแก่ของผลมะพร้าว.....	47
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำมันมะพร้าวกับระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดี.....	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

บทนี้กล่าวถึงเกี่ยวกับความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาที่ทำการวิจัย วัตถุประสงค์ของการวิจัย ขอบเขตของการวิจัย วิธีดำเนินการวิจัย คำสำคัญของการวิจัย และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันเทคโนโลยีเข้ามามีบทบาทสำคัญอย่างมากในการดำเนินชีวิตประจำวันในทุก ๆ ด้าน รวมทั้งในภาคอุตสาหกรรม และเนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมซึ่งมีผลผลิตทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะผลไม้ชนิดต่าง ๆ เช่น มะพร้าว ทุเรียน มังคุด ส้ม มะม่วงและสับปะรด เป็นต้น ซึ่งการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพของผลผลิตยังคงอาศัยความชำนาญของผู้เชี่ยวชาญ โดยเฉพาะ ทำให้เกิดปัญหาความล่าช้าและไม่ทันต่อความต้องการของตลาดและที่สำคัญอาจจะไม่เป็นไปตามมาตรฐานเดียวกัน ซึ่งเป็นสาเหตุให้ไม่สามารถควบคุมหรือคัดแยกผลผลิตทางการเกษตรให้มีคุณภาพตามต้องการได้ ในปัจจุบันจึงมีความพยายามที่จะนำเทคโนโลยีต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้งานด้านการเกษตรเพื่อใช้ตรวจสอบและควบคุมคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตรโดยไม่ทำลาย [1] นอกจากนี้ยังมีการวิจัยและพัฒนาต่อยอดเทคโนโลยีต่าง ๆ เพื่อให้สามารถควบคุมหรือคัดแยกผลผลิตให้มีความสะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้นและมีมาตรฐานเดียวกัน ซึ่งเทคโนโลยีหนึ่งที่น่าสนใจและกำลังได้รับการสนับสนุนเพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ อย่างจริงจัง นั่นคือเทคโนโลยีระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุหรือเรียกว่า ระบบอาร์เอฟไอดี (Radio Frequency Identification (RFID) System) [2] ซึ่งเป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายรูปแบบทั้งในภาคอุตสาหกรรมและในการดำเนินชีวิตประจำวัน ในประเทศไทย พบว่าได้มีการนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ยกตัวอย่างเช่น กระบวนการตรวจสอบและการผลิตในภาคอุตสาหกรรม การจัดการห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain Management) การควบคุมการเข้าออกสถานที่ (Access Control) การพิสูจน์ตัวตน (Animal Identification) การตรวจสอบย้อนกลับในอุตสาหกรรมอาหาร (Food Traceability) ระบบการคิดคำนวณค่าใช้จ่าย ระบบการขนส่งสินค้าและการติดตามตู้สินค้าระหว่างการขนส่ง (e-Seal) เป็นต้น สำหรับหลักการการทำงานหรือการติดต่อสื่อสารของระบบอาร์เอฟไอดีจะอาศัยการติดต่อสื่อสารแบบไร้สายระหว่างเครื่องอ่านข้อมูล (RFID Reader) และแท็ก (Tag) ซึ่งคุณลักษณะของแท็ก (Tag Characteristics) จะมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารของระบบ และพบว่าปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะของแท็ก คือสภาพแวดล้อมหรือวัสดุที่อยู่ใกล้หรือติดกับแท็ก ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงได้อาศัยคุณสมบัติดังกล่าวของแท็กในระบบอาร์เอฟไอดีและนำมาประยุกต์ใช้งานในลักษณะการนำไปติดไว้กับวัสดุภายใต้การทดสอบดังแสดงในรูปที่ 1.1 เพื่อใช้ในการตรวจสอบและคัดแยกความแตกต่างของผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งในโครงการวิจัยนี้ให้ความสนใจในการทดสอบกับผลไม้ คือ มะพร้าว ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทยและมีแหล่งเพาะปลูกที่สำคัญของไทยอยู่ในพื้นที่ใกล้เคียง [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้แก่ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จังหวัดเพชรบุรี จังหวัดชลบุรี จังหวัดระยอง จังหวัดฉะเชิงเทรา จังหวัดจันทบุรี จังหวัดตราด และจังหวัดต่าง ๆ ในภาคใต้ เช่น จังหวัดชุมพร จังหวัดภูเก็ต และจังหวัดพังงา เป็นต้น สำหรับเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบใหม่อาศัยหลักการพิจารณาจากความสัมพันธ์ของค่าคุณลักษณะของแท็กที่เปลี่ยนแปลงไปในกรณีที่มีวัสดุติดหรืออยู่ใกล้กับแท็กและค่าคุณลักษณะทางไฟฟ้าของวัสดุที่ทำการทดสอบ ซึ่งจากงานวิจัยนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์อย่างมากในการนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้งานในการตรวจสอบคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตรชนิดต่าง ๆ ได้ นอกจากนี้วิธีการที่นำเสนอนี้เป็นวิธีการทดสอบคุณลักษณะของผลผลิตโดยไม่ต้องทำลาย (Nondestructive Testing) [4]-[6] ดังนั้นผลผลิตที่ทำการทดสอบจึงไม่เกิดความเสียหายซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันทางธุรกิจได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 1.1 ระบบเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบใหม่ (Novel RFID Sensor System)

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีและหลักการของระบบอาร์เอฟไอดีเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านการเกษตร
2. วิเคราะห์ ออกแบบและสร้างเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบใหม่เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานกับผลผลิตทางการเกษตร
3. ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบใหม่เมื่อนำไปใช้งานกับผลผลิตทางการเกษตร
4. สามารถนำเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบใหม่ไปใช้งานได้จริงในราคาที่ถูก

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. วิเคราะห์และออกแบบเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบใหม่
2. สร้างและทดลองเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบใหม่ที่ใช้งานร่วมกับผลไม้

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีมาก่อน ทั้งในส่วนของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีและผลผลิตทางการเกษตร
2. ออกแบบและวิเคราะห์เซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบใหม่ โดยอาศัยโปรแกรมจำลองผลทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
3. สั่งซื้อวัสดุอุปกรณ์สำหรับสร้างเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบใหม่
4. สร้างและทดสอบคุณลักษณะของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบใหม่ รวมทั้งปรับปรุงประสิทธิภาพของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบใหม่ให้ดีขึ้นและเหมาะสมสำหรับนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับผลไม้
5. ทดสอบประสิทธิภาพของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบใหม่ เมื่อนำไปใช้งานร่วมกับผลไม้ รวมทั้งแก้ปัญหาที่เกิดจากการนำไปใช้งาน
6. สรุปและวิจารณ์ผลการทดสอบ

1.5 คำสำคัญของการวิจัย

เกษตรกรรม (Agriculture), ผลไม้ (Fruit), การทดสอบโดยไม่ทำลาย (Nondestructive Testing), อาร์เอฟไอดี (RFID), เซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดี (RFID Sensor) และแท็ก (Tag)

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

โครงการวิจัยนี้จะทำให้ผู้วิจัยและผู้ที่มีสนใจมีความรู้ความเข้าใจเพิ่มขึ้นทั้งในด้านการวิเคราะห์-การออกแบบ การสร้างและการทดสอบคุณลักษณะของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบใหม่ที่นำมาใช้งานทางด้านเกษตรกรรม นอกจากนี้ต้นแบบชิ้นงานของโครงการวิจัยนี้มีราคาถูก ใช้งานง่ายและสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับผลผลิตทางการเกษตรเพื่อช่วยแก้ปัญหาการควบคุมคุณภาพหรือการคัดแยกผลผลิตให้กับเกษตรกรและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องหรือผู้ที่มีความสนใจ นอกจากนี้จะเผยแพร่ผลงานวิจัยโดยการตีพิมพ์บทความทางวิชาการและการนำเสนอผลงานวิจัยในระดับชาติหรือนานาชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้กล่าวถึงแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบอาร์เอฟไอดี การติดต่อสื่อสารแบบไร้สายในย่านความถี่สูง รวมถึงทบทวนเกี่ยวกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีมาก่อน

2.1 แนวคิด สมมุติฐาน และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือการทดสอบแบบทำลาย (Destructive Testing) และการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Nondestructive Testing) สำหรับแบบที่ 2 เป็นวิธีการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ โดยไม่ต้องทำลายวัสดุที่นำมาทดสอบ ซึ่งในปัจจุบันการทดสอบแบบไม่ทำลายนี้กำลังได้รับความนิยมและนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยการทดสอบลักษณะนี้มีด้วยกันหลายวิธี ตัวอย่างเช่น เรดาร์ (Radar) ค่าความจุไฟฟ้า (Capacimetry) ความต้านทานไฟฟ้า (Electrical Resistance) คลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Waves) และอาร์เอฟไอดี (Radio Frequency Identification : RFID) เป็นต้น ซึ่งในแต่ละวิธีมีทั้งข้อดีและข้อเสีย ดังนั้นการนำไปประยุกต์ใช้งานต้องเลือกให้เหมาะสมกับงานแต่ละประเภท โครงการวิจัยนี้ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้งานระบบอาร์เอฟไอดีในลักษณะของตัวเซ็นเซอร์ (Sensor) เพื่อใช้แยกแยะความแตกต่างของผลไม้โดยตั้งอยู่บนสมมุติฐานว่าผลไม้ที่มีคุณภาพหรือความอ่อนแก่แบบเดียวกันจะต้องมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าหรือทางเคมีที่เหมือนกันหรือคล้ายกัน ซึ่งข้อได้เปรียบของระบบอาร์เอฟไอดีคือในส่วนของค่าคุณลักษณะของแท็กจะมีความสัมพันธ์อย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของวัสดุที่ติดหรืออยู่ใกล้เคียงกับแท็ก ดังนั้นงานวิจัยนี้จะอาศัยความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าหรือทางเคมีของผลไม้ในการแยกแยะความแตกต่างทางด้านคุณภาพของผลไม้ที่นำมาทดสอบ

2.2 มะพร้าว (Coconut)

มะพร้าว [7] มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Cocos Nucifera* L. อยู่ในตระกูล *Palmae* แสดงดังรูปที่ 2.1 มะพร้าวเป็นพืชยืนต้นชนิดหนึ่งในตระกูลปาล์ม มีระบบรากเป็นรากฝอยมีขนาดเท่าๆ กัน แม้กระจายออกรอบต้น มะพร้าวเป็นพืชซึ่งสามารถใช้ประโยชน์ได้ในหลายทาง เช่น น้ำและเนื้อมะพร้าวอ่อนใช้รับประทาน เนื้อในผลแก่นำไปชูดและคั้นทำกะทิ กะลานำไปประดิษฐ์สิ่งของต่าง ๆ เช่น จาน กระจวย และโคมไฟ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 มะพร้าว

(ที่มา : <http://mapraw302.blogspot.com/>)

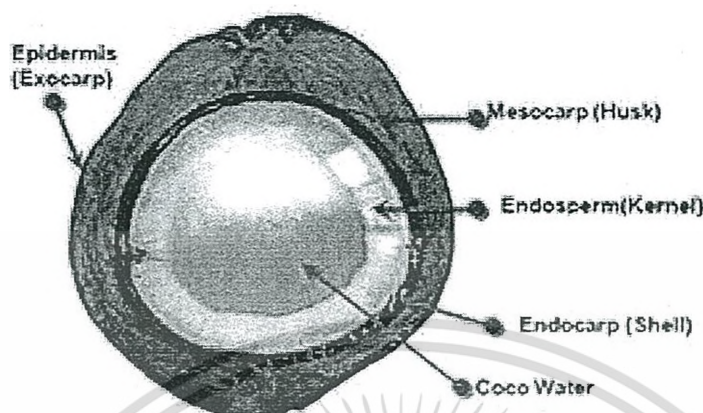
2.2.1 ลักษณะทั่วไป

มะพร้าวมีใบลักษณะเป็นใบประกอบแบบขนนก ผลประกอบด้วยเอพิคาร์ป (Epicarp) คือเปลือกนอก ถัดไปข้างในจะเป็นมีโซคาร์ป (Mesocarp) หรือใยมะพร้าว ถัดไปข้างในเป็นส่วนเอนโดคาร์ป (Endocarp) หรือกะลามะพร้าว ซึ่งจะมีรูสีคล้ำอยู่ 3 รู สำหรับงอก ถัดจากส่วนเอนโดคาร์ปเข้าไปจะเป็นส่วนเอนโดสเปิร์ม หรือที่เรียกว่าเนื้อมะพร้าว ภายในมะพร้าวจะมีน้ำมะพร้าว ซึ่งเมื่อมะพร้าวแก่ เอนโดสเปิร์มก็จะดูดเอาน้ำมะพร้าวไปหมด ขณะที่มะพร้าวยังอ่อน ชั้นเอนโดสเปิร์มหรือเนื้อมะพร้าวภายในผลมีลักษณะบางและอ่อนนุ่ม ภายในมีน้ำมะพร้าว ซึ่งในระยะนี้มักนำมารับประทานน้ำและเนื้อ เมื่อมะพร้าวแก่ ซึ่งสังเกตได้จาก การที่เปลือกนอกเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ชั้นเอนโดสเปิร์มก็จะหนาและแข็งขึ้น จนในที่สุดมะพร้าวก็จะหล่นลงจากต้น

1. ลำต้น มีลำต้นเดี่ยว ไม่แตกแขนง มีรอยแผลจากการหลุดร่วงของใบตลอดลำต้น สามารถคำนวณอายุของต้นมะพร้าวได้จากรอยแผลนี้ คือ ในปีหนึ่งมะพร้าวจะสร้างใบประมาณ 12- 14 ใบ ดังนั้นใน 1 ปี จะมีรอยแผลที่ลำต้น 12 – 14 รอยแผล
2. ใบ เป็นใบประกอบ ออกอยู่ตามส่วนของลำต้น ประกอบด้วยก้านทาง (Rechis) มีขนาดใหญ่และยาว และมีใบย่อย (Leaflet) บนก้านทางประมาณ 200 – 250 ใบ
3. ดอก ออกเป็นช่อชนิดพานิคิล มีทั้งดอกตัวผู้และดอกตัวเมีย อยู่ในช่อเดียวกัน ดอกมีกลีบดอกจำนวน 6 กลีบ สีครีมหรือสีเหลืองนวล ไม่มีก้านดอกย่อยดอกตัวเมียจะมีกลีบดอกหนาและแข็งกว่ากลีบดอกตัวผู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ผล มะพร้าวเป็นชนิดไฟบรัสดรูพ (Fibrous drupe) เรียกว่า นัท (Nut) มีเปลือก 3 ชั้น โครงสร้างของผลมะพร้าวแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของผลมะพร้าว

(ที่มา : <http://www.healthtipsinfo.com/coconut-oil-health-benefits/>)

1) เปลือกชั้นนอก (Exocarp) เป็นเส้นใยที่เหนียวและแข็ง เมื่อแก่อาจมีสีเขียว แดง เหลือง หรือน้ำตาล

2) เปลือกชั้นกลาง (Mesocarp) มีลักษณะเป็นเส้นใย มีความหนาพอประมาณ

3) เปลือกชั้นใน (Endocarp) มีลักษณะแข็งหรือที่เรียกกันว่า กะลา (Shell)

5. เมล็ด (Seed of Kernel) คือ เนื้อมะพร้าว ภายในเมล็ดเป็นช่องกลางขณะผลอ่อนจะมีน้ำอยู่เต็ม ผลแก่น้ำมะพร้าวจะแห้งไปบางส่วน

2.2.2 พันธุ์มะพร้าว

การแบ่งสายพันธุ์ [8] ของมะพร้าวสามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะ คือ

2.2.2.1 แบ่งตามความสูงของต้น

1. พันธุ์ต้นเตี้ย เป็นสายพันธุ์ที่มีดอกสมบูรณ์เพศ มีการผสมตัวเองได้ดีมากทำให้มีผลตกและไม่ค่อยกลายพันธุ์ นิยมใช้รับประทานผลอ่อนหรือช่วงอายุผลประมาณ 8 เดือน ลักษณะเนื้อนุ่ม น้ำมีรสหวาน และกลิ่นหอม ต้นขนาดเตี้ยโตเต็มที่สูงไม่เกิน 12 เมตร ลำต้นเล็ก ไม่มีสะโพก ทางใบสั้น เริ่มให้ผลผลิตเมื่ออายุต้นประมาณ 3-4 ปีหลังปลูก ให้ผลผลิตนาน 35-40 ปี นิยมปลูกเพื่อรับประทานผลสด ในกลุ่มมะพร้าวต้นเตี้ยด้วยกันมีหลายสายพันธุ์แต่ละสายพันธุ์ก็ต่างกัน เช่น พันธุ์เปลือกผลสีเขียว เหลืองนวล (สิงาซ่าง) น้ำตาลแดง หรือสีส้ม น้ำมีรสหวาน กลิ่นหอม ขนาดผลเล็ก ผลแก่มีเนื้อบางและน้อย ได้แก่พันธุ์นกคุ้ม หมูสีเขียว หมูสีเหลืองหรือนาฬิกา มะพร้าวเตี้ย มะพร้าวน้ำหอม มะพร้าวน้ำหวาน พวงทอง และมะพร้าวไฟ เป็นต้น

2. พันธุ์ต้นสูง เป็นมะพร้าวต้นสูง มีการผสมข้ามพันธุ์ค่อนข้างมากเนื่องจากปัญหาดอกตัวผู้กับดอกตัวเมียในต้นเดียวกันพร้อมผสมไม่พร้อมกัน ลำต้นสูงใหญ่โตเต็มที่สูงถึง 20 เมตร สะโพกใหญ่ ทางใบใหญ่และยาว ขนาดผลใหญ่ เนื้อมาก หนา และน้ำมันมาก ให้ผลผลิตเมื่ออายุประมาณ 5-6 ปีหลังปลูกและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อายุยืนให้ผลผลิตนานถึง 80 ปี ในกลุ่มมะพร้าวพันธุ์ต้นสูงมีหลายสายพันธุ์แต่ละสายพันธุ์ก็ต่างกัน เช่น ผลขนาดใหญ่-กลาง-เล็ก ผลรี-กลม ได้แก่พันธุ์กะโหลก มะพร้าวใหญ่หรือมะพร้าวแกง ทะเลบัว ปากจก พวงร้อย หรือทะเลยร้อย เปลือกหวาน และมะพร้าว เป็นต้น

2.2.2.2 การจำแนกโดยอาศัยอายุการติดผลแบ่งออกเป็น 3 พันธุ์ คือ

1. มะพร้าวพันธุ์เบา โดยออกผลหลังจากปลูกได้ 3 - 4 ปี
2. มะพร้าวกลาง ออกผลหลังจากปลูกได้ 5 - 6 ปี
3. มะพร้าวหนัก ออกผลหลังจากปลูกได้ 7 - 8 ปี

ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร กรมวิชาการเกษตรมีหน้าที่รับผิดชอบด้านวิจัยและพัฒนามะพร้าวได้ผลิตมะพร้าวพันธุ์ลูกผสม ซึ่งได้ผ่านการรับรองพันธุ์ออกมาแล้ว 2 พันธุ์ ดังนี้

1. พันธุ์สวีลูกผสม 1 (Sawi Hybrid No.1) เป็นมะพร้าวพันธุ์ลูกผสมที่เกิดจากการผสมระหว่างมะพร้าวพันธุ์มลายูสีเหลืองต้นเตี้ย x เวสต์อ์ฟริกต้นสูง (MYD x WAT) ลักษณะเด่นของมะพร้าวพันธุ์นี้คือมีอายุการติดผลเร็ว สามารถเก็บผลผลิตได้ในปีที่ 5 ผลผลิตเฉลี่ย 2,781 ผลต่อไร่ หรือคิดเป็นน้ำหนักแห้ง 566 กิโลกรัมต่อไร่ จากจำนวนมะพร้าว 22 ต้นต่อไร่ เนื้อมะพร้าวแห้งมีเปอร์เซ็นต์น้ำมันสูงถึง 68 เปอร์เซ็นต์ [9] จึงเป็นมะพร้าวที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมน้ำมันมะพร้าวมาก

2. พันธุ์ชุมพรลูกผสม 60-1 (Chumphon Hybrid 60-1) เป็นมะพร้าวลูกผสมที่เกิดจากการผสมระหว่างพันธุ์เวสต์อ์ฟริกต้นสูง x ไทยต้นสูง สามารถเก็บผลผลิตได้ในปีที่ 5 หลังจากปลูก ขนาดผลมีตั้งแต่ขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ ผลผลิตเฉลี่ย 2,257 ผลต่อไร่ หรือคิดเป็นน้ำหนักมะพร้าวแห้งสูงถึง 628 กิโลกรัมต่อไร่ เนื้อมะพร้าวแห้งมีเปอร์เซ็นต์น้ำมันสูง 63 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากขนาดผลของมะพร้าวพันธุ์นี้ค่อนข้างโตกว่าพันธุ์สวีลูกผสม 1 จึงสามารถจำหน่ายได้ทั้งผลสดและในรูปมะพร้าวแห้งส่งโรงงานสกัดน้ำมัน มะพร้าวลูกผสมทั้ง 2 พันธุ์ ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์พื้นเมืองเกือบ 2 เท่า กล่าวคือ พันธุ์ไทยให้ผลผลิต 1,084 ผลต่อไร่ คิดเป็นผลผลิตเนื้อมะพร้าวแห้ง 374 กิโลกรัมต่อไร่ และมีปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำมัน 59-60 เปอร์เซ็นต์

2.2.3 พื้นที่ปลูก

มะพร้าวสามารถเพาะปลูกได้ในทุกจังหวัดทั่วประเทศ แต่ขึ้นได้ดีในดินที่มีสภาพเป็นกลางหรือเป็นกรดเล็กน้อยคือ มีค่า pH อยู่ระหว่าง 6-7 ลักษณะดินร่วน หรือร่วนปนทราย มีการระบายน้ำดี มีฝนตกกระจายสม่ำเสมอแทบทุกเดือน อากาศอบอุ่น หรือค่อนข้างร้อน และมีแสงแดดมาก ภูมิภาคที่มีการเพาะปลูกมะพร้าวมากและเพาะปลูกเป็นอาชีพ คือ ภาคใต้ ภาคตะวันออก และภาคตะวันตก

ภาคใต้ ได้แก่ ชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช กระบี่ และตรัง

ภาคกลาง ได้แก่ ประจวบคีรีขันธ์ สมุทรสงคราม นครปฐม เพชรบุรี และราชบุรี

ภาคตะวันออก ได้แก่ ชลบุรี จันทบุรี ระยอง ตราด และฉะเชิงเทรา

2.2.4 ความอ่อนแก่ของมะพร้าว

การพิจารณาความอ่อนแก่ของมะพร้าวสามารถทำได้โดยการสังเกตจากลักษณะทางกายภาพ ดังนี้

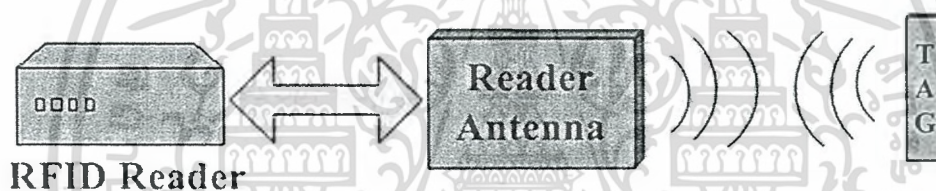
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สีของเปลือกบริเวณปลายขอบหมวก ถ้าเป็นขอบสีขาวกว้างมาก ๆ แสดงว่าอ่อนมาก เนื้อมะพร้าวจะอ่อนนุ่มเป็นน้ำวุ้น ถ้าขอบสีขาวยแคบแสดงว่าแก่ปานกลาง เนื้อมะพร้าวจะอ่อน แต่ถ้าขอบเป็นสีเขียวเข้มสีเดียวกันทั้งผลแสดงว่าเป็นผลแก่เนื้อมะพร้าวจะแข็ง

2. ความแห้งของหางหนูหรือขี้ผล ถ้าปลายหางหนูใหม่หรือแห้ง จากปลายเข้ามายาวน้อยกว่า 1 ใน 4 ของความยาวทั้งหางแสดงว่าอ่อนมาก เนื้อมะพร้าวจะเหลวเป็นวุ้น ถ้าหางหนูแห้งครึ่งหนึ่งของความยาวทั้งหางแสดงว่าแก่ปานกลาง เนื้อมะพร้าวอ่อน และถ้าหางหนูแห้งตลอดหาง แสดงว่าแก่มาก เนื้อมะพร้าวจะแข็ง

2.3 ระบบอาร์เอฟไอดี (Radio Frequency Identification (RFID) System)

ระบบอาร์เอฟไอดีทั่วไป (Radio Frequency Identification (RFID) System) เป็นระบบระบุลักษณะทางคลื่นความถี่วิทยุซึ่งแสดงในรูปที่ 2.3 เป็นระบบอัตโนมัติแบบไร้สายชนิดหนึ่ง (Wireless Auto-ID System) ที่กำลังได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบัน โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อนำมาใช้แทนระบบบาร์โค้ดและระบบสแกนลายนิ้วมือ ที่อาศัยหลักการของคลื่นแสง ซึ่งมีขีดความสามารถในการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลและข้อจำกัดด้านการอ่านข้อมูล เป็นต้น



รูปที่ 2.3 ระบบอาร์เอฟไอดีทั่วไป

2.3.1 จุดเด่นของระบบอาร์เอฟไอดี มีดังนี้

1. สามารถอ่านข้อมูลจากแท็ก (Tag) ได้หลายๆ ตัวพร้อมกันแบบไร้การสัมผัส
2. สามารถอ่านค่าได้แม้ในสภาพที่มีทัศนวิสัยไม่ดี
3. ทนต่อความเปียกชื้น
4. ทนต่อแรงสั่นสะเทือน และการกระทบกระแทกได้
5. สามารถอ่านข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูง

2.3.2 องค์ประกอบของระบบอาร์เอฟไอดี สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนหลัก คือ

1. ภาคส่ง ประกอบด้วยเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดี (RFID Reader หรือ Interrogator) และสายอากาศสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดี (RFID Reader Antenna)

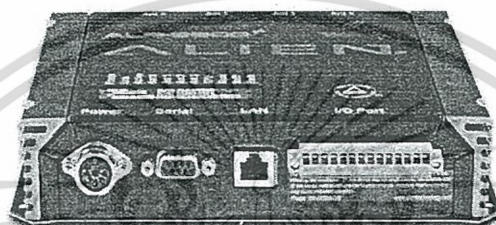
2. ภาครับ คือ แท็ก (Tag หรือ Transponder) ซึ่งประกอบด้วยสายอากาศแท็ก (Tag Antenna) และชิพวงจรรวม (Integrated Circuit: IC)

3. ภาคประมวลผลและควบคุม เช่น ระบบซอฟต์แวร์ จอแสดงผลและอุปกรณ์ควบคุมต่าง ๆ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 เครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดี (RFID Reader)

เครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีมีหน้าที่ในติดต่อสื่อสารกับแท็กทั้งในการเขียนและอ่านข้อมูลภายในแท็ก นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการส่งพลังงานไปยังแท็กแบบพาสซีฟได้อีกด้วย โดยสามารถแบ่งเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่ติดตั้งอยู่กับที่ (Fixed Reader) [7] และชนิดเคลื่อนที่ได้ (Handheld Reader) [8] ดังแสดงในรูปที่ 2.4(ก) และ 2.4(ข) ตามลำดับ เครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีทั้งสองแบบมีข้อเด่นและข้อด้อยแตกต่างกัน กล่าวคือโดยทั่วไปเครื่องอ่านข้อมูลชนิดติดตั้งอยู่กับที่จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าและมีพอร์ตในการเชื่อมต่อสายอากาศภายนอกมากกว่าเครื่องอ่านข้อมูลชนิดเคลื่อนที่ได้ แต่เนื่องจากมีข้อจำกัดทั้งเรื่องขนาดและการติดตั้ง จึงไม่สะดวกในการใช้งานนอกสถานที่



(ก) เครื่องอ่านข้อมูลชนิดติดตั้งอยู่กับที่



(ข) เครื่องอ่านข้อมูลชนิดเคลื่อนที่ได้

รูปที่ 2.4 ตัวอย่างเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดี

(ที่มา : http://www.gaorfid.com/index.php?main_page=index&cPath=89;

<http://www.alientechnology.com/readers/ema-enterprise/>)

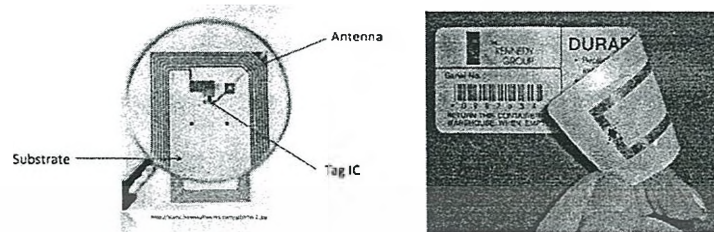
2.3.4 แท็กอาร์เอฟไอดี (RFID Tag)

แท็ก (Tag) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เก็บข้อมูลและส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีผ่านสายอากาศของแท็ก สามารถแบ่งย่อยแท็กออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. แท็กแบบพาสซีฟ (Passive Tag) [10]-[11] แสดงดังรูปที่ 2.5 ซึ่งไม่มีแหล่งพลังงานในตัวเอง ดังนั้นการส่งข้อมูลของแท็กประเภทนี้ต้องอาศัยพลังงานที่ส่งมาจากเครื่องอ่านข้อมูลเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลที่เก็บภายในแท็กกลับไปยังเครื่องอ่านข้อมูล ข้อดีของแท็กประเภทนี้คือ ขนาดเล็กและระยะเวลาในการทำงานนานไม่จำกัด เนื่องจากแท็กประเภทนี้ไม่มีส่วนของแผงวงจรพลังงานและแบตเตอรี่ นอกจากนี้ยังเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับการใช้งานในสภาพแวดล้อมที่ไม่เอื้ออำนวยสำหรับการใช้เทคโนโลยีบาร์โค้ด เช่น ใช้งานที่อุณหภูมิสูงถึง 204 องศาเซลเซียส หรือสภาพที่มีความเป็นกรด แต่มีข้อเสีย คือระยะการติดต่อสื่อสารใกล้ เครื่องอ่านข้อมูลจะต้องมีความไวสูง และมักจะมีปัญหาเมื่อนำไปใช้งานในสิ่งแวดล้อมที่มีสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนสูง



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างแท็กแบบพาสซีฟ

(ที่มา : http://ukrfid.innoware.co.uk/hardware/rfid_tags

http://www.harlandsimon.com/RF_Tags.php)

หลักการการทำงานของแท็กแบบพาสซีฟ คือสายอากาศแท็กจะทำหน้าที่รับพลังงานจากเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีและส่งพลังงานต่อไปยังส่วนของชิพวงจรรวมเพื่อให้วงจรมีพลังงานทำงานได้และส่งข้อมูลที่อยู๋ภายในกลับไปยังเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีโดยผ่านสายอากาศแท็กอีกครั้งหนึ่ง ดังนั้นจะเห็นว่าสายอากาศแท็กมีความสำคัญอย่างมากในการติดต่อสื่อสารของระบบอาร์เอฟไอดี

2. แท็กแบบแอคทีฟ (Active Tag) [12]-[13] แสดงดังรูปที่ 2.6 ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้คือ สายอากาศแท็ก ชิปวงจรรวมและแหล่งพลังงาน (แบตเตอรี่) ซึ่งทำหน้าที่ในการจ่ายพลังงานให้กับชิพวงจรรวมและการส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่านข้อมูล เนื่องจากแท็กแบบแอคทีฟมีแบตเตอรี่จึงมีอายุการใช้งานประมาณ 2-7 ปี ขึ้นอยู่กับประเภทของแบตเตอรี่ที่ใช้ ข้อดีของแท็กประเภทนี้คือ ระยะในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กได้ระยะที่ไกลกว่าแบบพาสซีฟมาก



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างแท็กแบบแอคทีฟ

(ที่มา : <http://www.digikey.com/productdetail/en/ACTIVE%20TAG%20REFERENCE%20DESIGN%20KIT/ACTIVE%20TAG%20REFERENCE%20DESIGN%20KIT-ND/3828227>;

http://www.gaorfid.com/index.php?main_page=product_info&cPath=135&products_id=1056);

http://www.gaorfid.com/index.php?main_page=product_info&cPath=135&products_id=1056);

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. แท็กแบบกึ่งแอคทีฟ (Semi-Active Tag) [14] แสดงดังรูปที่ 2.7 เป็นแท็กที่มีแหล่งพลังงานในตัวเหมือนกับแท็กแบบแอคทีฟ แต่การส่งข้อมูลของแท็กประเภทนี้จะอาศัยพลังงานจากเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีในการใช้งานมีการนำมาใช้แทนแท็กแบบพาสซีฟ เนื่องจากมีระยะเวลาการติดต่อกับเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กไกลกว่า



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างแท็กแบบกึ่งแอคทีฟ

(ที่มา: <http://www.semiconductorstore.com/cart/pc/viewPrd.asp?idproduct=48377>)

นอกจากนี้การแบ่งประเภทของแท็กสามารถแบ่งตามความสามารถในการบันทึกข้อมูล ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ประเภทดังนี้คือ

1. ประเภทที่อ่านข้อมูลได้อย่างเดียว (RO) แท็กประเภทนี้จะถูกบันทึกข้อมูลเพียงครั้งเดียวในระหว่างการผลิต โดยการบันทึกข้อมูลนั้นจะบันทึกลงไปในชีวิตวงจรรวมและเมื่อบันทึกข้อมูลลงไปแล้ว จะไม่สามารถเขียนหรือบันทึกข้อมูลอื่น ๆ ลงไปได้อีก บางครั้งเรียกแท็กชนิดนี้ว่า แท็กที่โปรแกรมด้วยโรงงาน (Factory Program) แท็กประเภทนี้เหมาะสำหรับนำไปใช้งานที่มีขนาดเล็ก ไม่มีความซับซ้อน

2. ประเภทที่บันทึกข้อมูลได้เพียงครั้งเดียวและสามารถอ่านข้อมูลได้ตลอด (WORM) แท็กประเภทนี้จะถูกโปรแกรมหรือบันทึกข้อมูลเพียงครั้งเดียว ซึ่งการบันทึกข้อมูลนี้จะเป็นการบันทึกโดยผู้ใช้งาน ถ้าแท็กถูกบันทึกข้อมูลมากกว่าจำนวนที่กำหนดไว้จะส่งผลให้แท็กเสียหายได้ แท็กประเภทนี้เรียกว่า Field Programmable

3. ประเภทที่สามารถบันทึกและอ่านข้อมูลได้ตลอด (RW) แท็กประเภทนี้จะถูกบันทึกซ้ำได้ตลอด โดยปกติแล้วจะสามารถบันทึกซ้ำได้ประมาณ 10,000-100,000 ครั้ง หรือมากกว่า ความสามารถในการบันทึกซ้ำได้ตลอด แท็กประเภทนี้มีหน่วยความจำที่เรียกว่า Flash ซึ่งใช้ในการบันทึกข้อมูล และเรียกแท็กประเภทนี้ว่า Reprogrammable

2.3.5 หลักการทำงานของระบบอาร์เอฟไอดีทั่วไป

1. เครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีจะส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาตลอดเวลาเพื่อคอยตรวจสอบว่ามีแท็กเข้ามาอยู่ในบริเวณของสนามแม่เหล็กไฟฟ้านั้นหรือไม่ โดยอาศัยการตรวจจับคลื่นที่มีการมอดูเลตมาจากแท็กนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เมื่อแท็กอยู่ในบริเวณของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เครื่องอ่านข้อมูลส่งออกมา จากนั้นแท็กจะแปลงไปเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลที่บันทึกอยู่ในชิพวงจรรวมกลับไปยังเครื่องอ่านข้อมูลซึ่งอาศัยหลักการกระจายคลื่นย้อนกลับ (Back Scattering) ซึ่งสัญญาณที่เครื่องอ่านข้อมูลได้รับคือ คลื่นพาห้ (Carrier Wave) ที่ถูกมอดูเลตเรียบร้อยแล้ว

3. เครื่องอ่านข้อมูลตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของคลื่นพาห้จะทำการถอดรหัสแล้วแปลงออกมาเป็นข้อมูลเพื่อนำไปใช้งานต่อไป

2.3.6 คลื่นความถี่วิทยุที่ใช้งานในระบบอาร์เอฟไอดี

คลื่นความถี่วิทยุที่ใช้งานในระบบอาร์เอฟไอดีจะอยู่ในย่านความถี่ ISM (Industrial-Scientific-Medical) ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่กำหนดการใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์และการแพทย์ สามารถใช้งานได้โดยไม่ตรงกับย่านความถี่ที่ใช้งานในการสื่อสารทั่วไป สำหรับประเทศไทยมีข้อกำหนดของสำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กทช.) เกี่ยวกับย่านความถี่ของระบบอาร์เอฟไอดี โดยแบ่งออกเป็น 6 ย่านความถี่หลักดังนี้ [15]

1. ย่านความถี่ต่ำ (Low Frequency: LF) ใช้ย่านความถี่ต่ำกว่า 135 kHz
2. ย่านความถี่สูง (High Frequency: HF) ใช้ความถี่ 13.553-13.567 MHz
3. ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra-High Frequency: UHF) ใช้ความถี่ 433.05-434.79 MHz
4. ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra-High Frequency: UHF) ใช้ความถี่ 920-925 MHz
5. ย่านความถี่ไมโครเวฟ (Microwave) ใช้ความถี่ 2.4-2.5 กิกะเฮิรตซ์
6. ย่านความถี่ไมโครเวฟ (Microwave) ใช้ย่านความถี่ 5 กิกะเฮิรตซ์

การใช้งานความถี่ในย่านความถี่ LF และย่านความถี่ HF จะเหมาะสำหรับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะใกล้ โดยทั่วไปย่านความถี่ LF มีระยะการติดต่อสื่อสารประมาณ 10-20 เซนติเมตร นิยมนำไปใช้งานกับการปศุสัตว์ โดยจะทำการบันทึกข้อมูลกิจกรรมภายในกระบวนการผลิต เริ่มต้นจากการลงทะเบียนสถานที่ ลงทะเบียนเกษตรกรผู้ผลิต วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการผลิต เช่น ในเกษตรกรรมที่ใช้เมล็ดพันธุ์ หรือต้นพันธุ์ ในการเพาะปลูก กิจกรรมต่าง ๆ ในการผลิต เช่น การใช้ปุ๋ย (อินทรีย์และอนินทรีย์) แหล่งน้ำและวิธีการใช้ การใช้สารเคมีต่าง ๆ วิธีการใช้เครื่องมือที่ใช้ในการดูแลเก็บรักษา ตลอดจนการปฏิบัติหลังการใช้ ซึ่งทุกกิจกรรมที่เกษตรกรปฏิบัติ จะต้องถูกบันทึกลงในระบบฐานข้อมูล และย่านความถี่ HF มีระยะการติดต่อสื่อสารประมาณ 100-150 เซนติเมตร มีการนำไปประยุกต์ในงานในการตรวจสอบการผ่านเข้าออกพื้นที่การตรวจหาและระบบเก็บเงินในศูนย์อาหาร เป็นต้น ส่วนย่านความถี่ UHF นั้นจะถูกใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะไกล โดยทั่วไปย่านความถี่ UHF มีระยะติดต่อสื่อสารประมาณ 1-10 เมตร การประยุกต์ใช้งาน เช่น ระบบเก็บค่าบริการบนทางด่วน การจัดการคลังสินค้า สายพานการผลิตและระบบการจัดการกระเป๋าเดินทางของสนามบิน เป็นต้น สำหรับย่านความถี่ไมโครเวฟ (Microwave) ที่ความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ และความถี่ 5.8 กิกะเฮิรตซ์ ได้มีการวิจัยและพัฒนาสำหรับการประยุกต์ใช้งานที่ต้องการระยะติดต่อสื่อสารที่ไกลกว่า 10 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.7 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานระบบอาร์เอฟไอดี

สำหรับการทดสอบผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีสารสนเทศ รวมถึงผลิตภัณฑ์ประเภทอาร์เอฟไอดีจะประกอบด้วย การทดสอบตามมาตรฐานต่าง ๆ ดังนี้

1. การทดสอบด้านการใช้งาน (Functional Test) โดยการทดสอบด้านการใช้งานนี้จะเป็นการพิสูจน์ทราบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้สร้างขึ้นมานั้นสามารถทำงานตามฟังก์ชันที่ออกแบบมาถูกต้องหรือไม่ สำหรับผลิตภัณฑ์อาร์เอฟไอดีจะเน้นที่การทดสอบโปรโตคอล (Protocol) เป็นหลัก เช่น การทดสอบโปรโตคอล EPC Global Class 1 Gen 2 สำหรับอาร์เอฟไอดีที่ใช้งานย่านความถี่ UHF เป็นต้น

2. การทดสอบความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) การทดสอบในหัวข้อนี้จะใช้แนวทางที่หน่วยงานความคุ้มครองในแต่ละประเทศกำหนด เช่น สำหรับในประเทศสหรัฐอเมริกาจะใช้มาตรฐาน FCC และประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรปจะใช้มาตรฐาน ITU เป็นต้น สำหรับประเทศไทยการทดสอบผลิตภัณฑ์อาร์เอฟไอดีจะใช้มาตรฐาน กทข.มท. 5001-2550 ซึ่งกำหนดโดยสำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กทช.) [16] เป็นต้น

3. การทดสอบด้านความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Compatibility: EMC) หรือการทดสอบสัญญาณรบกวน (Noise) ตามมาตรฐาน CISPR22 ผลิตภัณฑ์อาร์เอฟไอดีที่มีคุณภาพจะต้องสามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ ที่ทำงานอยู่ใกล้ในระยะ 3 เมตร โดยไม่ทำให้เกิดปัญหาการรบกวนทางความถี่หรือทางแม่เหล็กไฟฟ้ากับอุปกรณ์นั้น และจะต้องสามารถทำงานในสภาวะแวดล้อมสุ่มเสียงทางแม่เหล็กไฟฟ้าได้

4. การทดสอบด้านความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ต่อการนำผลิตภัณฑ์อาร์เอฟไอดีไปใช้งาน (Product Safety Test) การทดสอบความคงทนของผลิตภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม (Environmental Test) และการทดสอบระดับความน่าเชื่อถือของการนำผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Product Reliability Testing) ไปใช้งาน การทดสอบในหัวข้อนี้จะทำตามมาตรฐาน IEC 60950 และมาตรฐาน มอก.1956 ของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

5. การทดสอบประสิทธิภาพการประยุกต์ใช้งานอาร์เอฟไอดีภาคสนาม (Field Test) การทดสอบในหัวข้อนี้ใช้ยืนยันประสิทธิภาพการใช้งานระบบอาร์เอฟไอดี เมื่อนำไปติดตั้ง (Installation) ในพื้นที่ใช้งานโดยมาตรฐานนี้ช่วยในการดำเนินการตรวจรับงานและใช้ประเมินเงื่อนไขประสิทธิภาพการใช้งานอาร์เอฟไอดี การติดตั้งสายอากาศ ฯลฯ มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของอาร์เอฟไอดี ได้แก่ ISO/IEC 24729 part 3: Antenna Installation เป็นต้น

2.4 สายอากาศ (Antenna)

สายอากาศ (Antenna) มีหน้าที่ในการส่งและรับคลื่นความถี่วิทยุหรือสัญญาณ สายอากาศสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายชนิด ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 ชนิดของสายอากาศ (Antenna Type)

1. สายอากาศแบบเส้น (Wire Antenna) เป็นสายอากาศที่พบได้อย่างแพร่หลาย นิยมใช้ในรถยนต์ อาคาร เรือ อากาศยาน และอื่น ๆ มีหลายรูปแบบ เช่น ไตโพล บ่วง และเกลียว เป็นต้น

2. สายอากาศแบบช่องเปิด (Aperture Antenna) เป็นสายอากาศที่อาศัยช่องเปิดรูปแบบต่าง ๆ เพื่อใช้ในการแพร่กระจายคลื่น ในปัจจุบันมีการใช้งานแพร่หลายมากขึ้น เนื่องจากความต้องการประยุกต์ใช้งานในย่านความถี่สูงขึ้น รวมถึงการใช้งานในอากาศยานและยานอวกาศ

3. สายอากาศไมโครสตริป (Microstrip Antenna) โครงสร้างประกอบด้วย 3 ส่วน คือตัวแพร่กระจายคลื่นโลหะ วัสดุฐานรองอยู่ตรงกลางและระนาบกราวด์ เริ่มเป็นที่นิยมตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 และมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

4. สายอากาศอาร์เรย์ (Array Antenna) เป็นสายอากาศที่เพิ่มจำนวนขององค์ประกอบสายอากาศ เพื่อให้ได้การแพร่กระจายคลื่นที่ดีขึ้นตามต้องการ การจัดเรียงขององค์ประกอบสายอากาศแถวลำดับ มีหลากหลายความต้องการ เช่น เพื่อให้มีการแพร่กระจายคลื่นไปในทิศทางที่เฉพาะที่ต้องการ หรือจะมีการแพร่กระจายคลื่นที่น้อยลงในทิศทางที่ไม่ต้องการ

5. สายอากาศตัวสะท้อน (Reflected Antenna) เป็นสายอากาศที่มีอัตราขยายที่สูง โดยอาศัยตัวสะท้อนคลื่น นิยมใช้งานในการส่งข้อมูลระยะไกล เช่น ส่งข้อมูลระหว่างดาวเทียม กับสถานีภาคพื้นดิน

6. สายอากาศเลนส์ (Lens Antenna) เป็นสายอากาศที่ใช้หลักการของเลนส์ เพื่อป้องกันการแพร่กระจายในทิศทางที่ไม่ต้องการ โดยมีหลักการออกแบบในเชิงเรขาคณิต โครงสร้างทั้งหมด และน้ำหนักมากกว่าสายอากาศรูปแบบอื่น ๆ เมื่อนำไปประยุกต์ใช้งานที่ย่านความถี่ต่ำ

2.4.2 คุณลักษณะของสายอากาศ (Antenna Characteristics)

การออกแบบสายอากาศจำเป็นที่จะต้องรู้ถึงคุณลักษณะของสายอากาศเพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้เหมาะสม

2.4.2.1 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern)

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern) เป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ หรือรูปที่ใช้เพื่อแสดงคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ ซึ่งสามารถแสดงถึงค่าของความหนาแน่นของกำลังการแพร่กระจายคลื่น (Power Density) ความเข้มของสนาม (Field Intensity) เฟสหรือการโพลาไรซ์ (Phase or Polarization) ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้มีการกระจายตัวใน 3 มิติ สามารถแสดงได้โดยการใช้ระบบพิกัดแบบ 3 มิติ และโดยทั่วไปแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นนั้น จะพิจารณาในบริเวณสนามระยะไกล (Far-Field Zone)

2.4.2.2 ความกว้างลำคลื่น (Beamwidth)

ความกว้างลำคลื่น (Beamwidth) คือมุมที่รองรับระหว่าง 2 ตำแหน่งที่มีความแรงเท่ากันแต่อยู่ด้านตรงข้ามกันของลำคลื่นหลัก โดยทั่วไปจะพิจารณาความกว้างลำคลื่น 2 ค่า คือความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (Half-Power Beamwidth: HPBW) และความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์คู่แรก (First-Null Beamwidth: FNBW)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (HPBW) คือความกว้างของลำคลื่นที่มีกำลังงานลดลงครึ่งหนึ่งของกำลังงานที่มากที่สุด ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่ง -3 dB ลงมาจากค่ากำลังงานที่มากที่สุด
2. ความกว้างลำคลื่นที่ตำแหน่งศูนย์คู่แรก (FNBW) คือความกว้างลำคลื่นที่ตำแหน่งศูนย์คู่แรก

2.4.2.3 อัตราส่วนลำคลื่น (Lobe Ratio)

1. อัตราส่วนลำคลื่นย่อยต่อลำคลื่นหลัก (Side Lobe Level: SLL) คืออัตราส่วนของลำคลื่นย่อยต่อลำคลื่นหลัก
2. อัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อย (Side Lobe Ratio: SLR) คืออัตราส่วนของลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อย

2.4.2.4 อัตราขยาย (Gain)

อัตราขยายของสายอากาศ (Antenna Gain) คืออัตราส่วนของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่ต้องการต่อความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบไอโซทรอปิก (Isotropic Antenna) โดยที่ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นมีความสัมพันธ์กับกำลังงานในการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบไอโซทรอปิกและมีค่าเท่ากับกำลังงานที่สายอากาศได้รับ (P_{in})หารด้วย 4π อัตราขยายของสายอากาศโดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 2 กรณี คืออัตราขยายที่ไม่ได้คิดผลของการสูญเสียจากการสะท้อนและความไม่ตรงกันของโพลาริซชันของสายอากาศ และอัตราขยายที่คิดรวมผลของการสูญเสียจากการสะท้อนและความไม่ตรงกันของโพลาริซชันของสายอากาศ

2.4.2.5 ช่วงกว้างแถบความถี่ (Bandwidth)

ช่วงกว้างแถบความถี่ของสายอากาศ (Antenna Bandwidth) ถูกกำหนดให้เป็นช่วงความถี่ที่สายอากาศมีคุณลักษณะอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดให้หรืออาจจะเป็นช่วงความถี่ที่สายอากาศมีคุณลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ อิมพีแดนซ์ด้านเข้า แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ความกว้างของลำคลื่น การโพลาริซชัน อัตราขยาย ประสิทธิภาพของสายอากาศ และค่าสภาพเจาะจงทิศทาง เป็นต้น ที่สามารถทำงานได้ดีจากคุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศ พบว่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นและอิมพีแดนซ์ด้านเข้าจะเป็นตัวกำหนดช่วงกว้างแถบความถี่ที่ใช้งานของสายอากาศ โดยที่แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในช่วงความถี่ที่ใช้งานจะต้องมีความเหมาะสมกับการนำไปใช้งาน และอัตราส่วนคลื่นนิ่งต้องมีค่าไม่เกิน 2:1

2.4.2.6 การโพลาริซชัน (Polarization)

การโพลาริซชัน (Polarization) คือทิศทางของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อคลื่นเดินทาง โดยการมองตามหลังคลื่นหรือมองไปตามทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น การโพลาริซชันสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือการโพลาริซชันแบบเชิงเส้น (Linear Polarization: LP) การโพลาริซชันแบบเชิงวงกลม (Circular Polarization: CP) และการโพลาริซชันแบบเชิงวงรี (Elliptical Polarization: EP)

2.5 หลักการติดต่อสื่อสาร

2.5.1 การติดต่อสื่อสารจากเครื่องอ่านข้อมูลไปยังแท็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะทางการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นความถี่วิทยุ นั้นจะขึ้นอยู่กับข้อจำกัด 2 อย่าง คือระยะทางที่ไกลที่สุดที่แท็กสามารถรับกำลังงานเพียงพอสำหรับการทำงานของชิพและการกระจายย้อนกลับ (Backscattering) สัญญาณและระยะทางที่ไกลที่สุดที่เครื่องอ่านข้อมูลสามารถรับสัญญาณที่เกิดการกระจายย้อนกลับมายังเครื่องอ่านข้อมูลได้ แต่โดยทั่วไปแล้วเครื่องอ่านข้อมูลจะมีความไวมากเพียงพอที่จะรับสัญญาณที่กระจายย้อนกลับมาได้ ดังนั้นระยะทางในการติดต่อสื่อสารกันระหว่างแท็กกับเครื่องอ่านข้อมูลจึงขึ้นอยู่กับแท็ก เช่น ลักษณะการวางตัวของแท็กคุณสมบัติของวัสดุที่นำแท็กไปติด และสิ่งแวดล้อมในการแพร่กระจายคลื่น เป็นต้น

จากสมการการส่งสัญญาณในช่องว่างอิสระของฟรีส (Friis Free Space Transmission) สามารถหาค่ากำลังงานที่สายอากาศของแท็กได้รับได้ ดังสมการที่ 2.1

$$P_{tag-ant} = \left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2 P_{reader-ant} G_{reader-ant} G_{tag-ant} \chi \quad (2.1)$$

โดยที่

$P_{reader-ant}$	คือกำลังงานที่ส่งออกมาจากเครื่องอ่านข้อมูล
$G_{reader-ant}$	คืออัตราขยายของสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูล
R	คือระยะทางระหว่างสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก
$G_{tag-ant}$	คืออัตราขยายของสายอากาศของแท็ก
λ	คือความยาวคลื่นในช่องว่างที่ความถี่ใช้งาน
χ	คือค่าสัมประสิทธิ์การแมตชิงของการโพลาไรซ์ระหว่างสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลและสายอากาศของแท็ก

กำลังงานบางส่วนที่สายอากาศของแท็กได้รับมาได้ ($P_{tag-ant}$) จะถูกส่งต่อไปยังชิพวงจรรวม ซึ่งมีความสัมพันธ์กันดังสมการที่ 2.2

$$P_{tag-chip} = \tau P_{tag-ant} \quad (2.2)$$

โดยที่

τ คือสัมประสิทธิ์กำลังงานการส่งผ่าน (Transmission Power Coefficient)

ดังนั้นระยะทางที่เครื่องอ่านข้อมูลสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้ไกลที่สุด ($R_{max(reader)}$) จะเกิดขึ้นเมื่อกำลังงานที่ส่งผ่านมายังชิพวงจรรวม ($P_{tag-chip}$) มีค่าเท่ากับกำลังงานที่น้อยที่สุดที่สามารถทำให้ชิพวงจรรวมทำงานได้ ($P_{tag-threshold}$) ซึ่งสามารถหาระยะทางที่ไกลที่สุดได้จากสมการที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_{\max(\text{reader})} = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_{\text{reader-ix}} G_{\text{reader-ant}} G_{\text{tag-ant}} \chi^T}{P_{\text{tag-threshold}}}} \quad (2.3)$$

2.5.2 การติดต่อสื่อสารจากแท็กกลับมายังเครื่องอ่านข้อมูล

มาตรฐานของระบบระบุลักษณะทางคลื่นความถี่วิทยุแบบการเชื่อมต่อระยะสนามระยะไกล กำหนดรูปแบบการส่งข้อมูลจากแท็กมายังเครื่องอ่านข้อมูลหรือ Uplink Communication โดยอาศัยเทคโนโลยีที่เป็นการแพร่กระจายคลื่นความถี่วิทยุกลับมายังเครื่องอ่านข้อมูล คือการกระจายย้อนกลับ (Backscattering) การติดต่อสื่อสารจากแท็กไปยังเครื่องอ่านข้อมูลด้วยวิธีการกระจายย้อนกลับนี้จะขึ้นอยู่กับความแรงของสนามที่เกิดการกระจายย้อนกลับของแท็กบนพื้นฐานของสมการ Monostatic หรือ Backscatter Radar สามารถหาค่ากำลังงานของสัญญาณมอดูเลตที่เครื่องอ่านข้อมูลรับได้จากสมการที่ 2.4

$$P_{\text{reader-rx}} = \frac{\lambda}{(4\pi)^3 R^4} P_{\text{reader-ix}} G_{\text{reader-ant}}^2 \chi \sigma \quad (2.4)$$

โดยที่

σ

คือพื้นที่ตัดขวางเรดาร์ (Radar cross-section: RCS) ของแท็ก

เมื่อกำลังงานที่รับได้มีค่าเท่ากับความไวหรือกำลังงานที่น้อยที่สุดที่สามารถใช้ในการตอบสนองต่อเครื่องอ่านข้อมูล ($P_{\text{tag-threshold}}$) จะทำให้ได้ระยะทางที่ไกลที่สุดสำหรับการติดต่อสื่อสารด้วยการกระจายย้อนกลับและสามารถหาได้จากสมการที่ 2.5

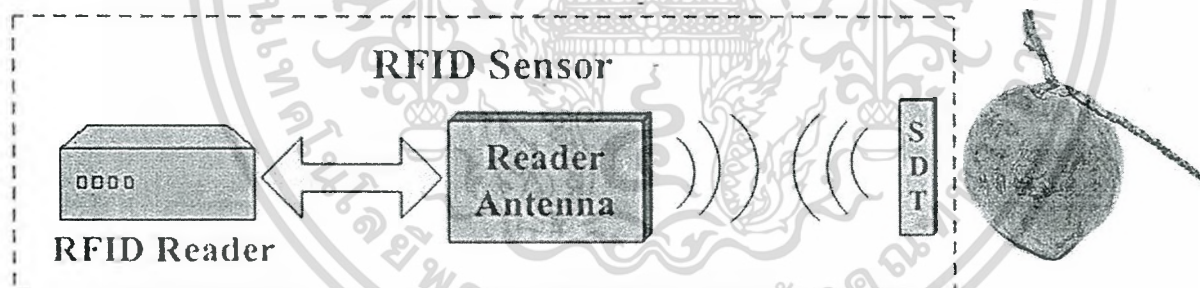
$$R_{\max(\text{Backscatter})} = 4 \sqrt{\frac{\lambda P_{\text{reader-ix}} G_{\text{reader-ant}}^2 \chi \sigma}{(4\pi)^3 P_{\text{tag-threshold}}}} \quad (2.5)$$

2.6 การทบทวนวรรณกรรม/ สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

ระบบอาร์เอฟไอดีมีวัตถุประสงค์หลักในการพัฒนาเพื่อนำไปใช้งานแทนระบบบาร์โค้ด (Barcode) อย่างไรก็ตามได้มีการนำระบบอาร์เอฟไอดีไปประยุกต์ใช้งานด้านอื่น ๆ นอกเหนือจากการนำมาใช้แทนระบบบาร์โค้ดแบบเดิม ตัวอย่างเช่น ใช้กับบัตรชนิดต่าง ๆ สำหรับผ่านเข้าออกอาคารและสถานที่ บัตรจอดรถตามศูนย์การค้า หรืออยู่ในรูปของแท็กสินค้าซึ่งมีขนาดเล็กจนสามารถแทรกลงระหว่างชั้นของเนื้อกระดาษได้หรือเป็นแคปซูลขนาดเล็กฝังเอาไว้ในตัวสัตว์สำหรับบันทึกประวัติ และการขนส่งสินค้า เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้งานระบบอาร์เอฟไอดีสำหรับการตรวจสอบประวัติย้อนกลับ รวมถึงการใช้งานในลักษณะของเซ็นเซอร์ ซึ่งจากงานวิจัยที่มีมาก่อนพบว่าการใช้งานแท็กในลักษณะของตัวเซ็นเซอร์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือประเภทแรก แท็กจำเป็นต้องมีการใช้งานร่วมกับเซ็นเซอร์ชนิดต่าง ๆ เช่น เซ็นเซอร์อุณหภูมิ ความชื้น การเคลื่อนไหว แสง และเสียง เป็นต้น และประเภทที่สอง แท็กไม่ต้องอาศัยเซ็นเซอร์ชนิดต่าง ๆ แต่ประพัตติตัวเสมือนกับเป็นตัวเซ็นเซอร์เองโดยอาศัยหลักการของการเปลี่ยนแปลงค่าคุณลักษณะของแท็กเมื่อสภาพแวดล้อมหรือสิ่งที่อยู่ใกล้หรือติดกับแท็กมีการเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าคงที่ไดอิเล็กตริก รัฐพงษ์และทีมวิจัย [17] ได้นำเสนอการทำนายค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของอิฐมวลเบาโดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กตริกกับระยะเวลาติดต่อสื่อสารที่ไกลที่สุดระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลและแท็ก Siden และทีมวิจัย [18] ได้ประยุกต์ใช้แท็กในลักษณะของการตรวจสอบการรั่วของน้ำในผนังโดยใช้แท็ก 2 ตัว โดยที่ตัวที่ 1 เป็นแบบปกติ ส่วนตัวที่ 2 หุ้มด้วยวัสดุที่ดูดซับน้ำ S. D. Nguyen และทีมวิจัย [19] นำเสนอการตรวจสอบคุณภาพของเนื้อสัตว์โดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกไปตามเวลา นอกจากนี้ S. Kim และทีมวิจัย [20] นำเสนอการใช้แท็กในการตรวจจับความชื้นในดินสำหรับงานด้านการเพาะปลูก สำหรับโครงการวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้งานแท็กในลักษณะของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 โดยเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบใหม่ที่นำเสนอนี้เป็นประเภทที่ไม่ต้องมีการเพิ่มเซ็นเซอร์ชนิดต่าง ๆ เข้าไปกับตัวแท็ก ในส่วนของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดี (Specifically Design Tag: SDT) จะใช้หลักการออกแบบแท็กโดยคำนึงถึงผลกระทบของผลไม้ที่อยู่ใกล้หรือติดกับแท็กด้วยดังแสดงในรูปที่ 2.8 ซึ่งจะทำให้สามารถนำมาคำนวณย้อนกลับเพื่อใช้ในการทำนายคุณภาพของผลไม้ที่นำมาทดสอบได้



รูปที่ 2.8 ระบบเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบใหม่เมื่อประยุกต์ใช้งานร่วมกับผลไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและการจำลองผล

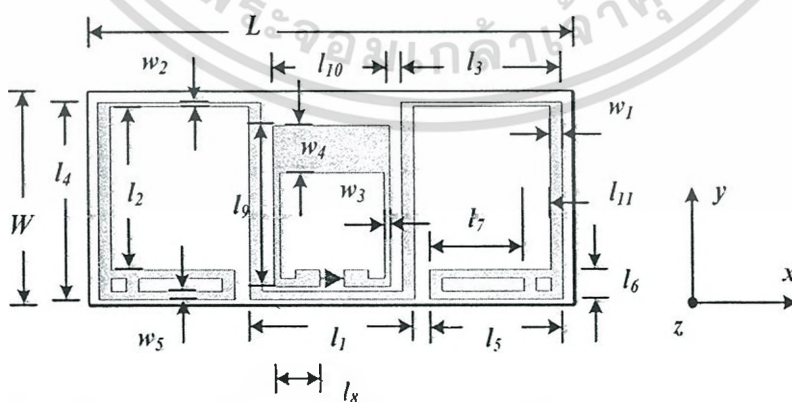
บทนี้กล่าวถึงการออกแบบเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีด้วยโปรแกรมทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Microwave Studio) และการจำลองผลของค่าคุณลักษณะต่าง ๆ ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดี

3.1 โครงสร้างของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดี (RFID Sensor Structure)

เซ็นเซอร์ไร้สายที่ออกแบบประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือสายอากาศและชิพวงจรรวม (Integrated Chip: IC) โดยการประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวม (Chipped RFID Sensor) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบแท็กอาร์เอฟไอดีจำนวน 2 รูปแบบ ดังนี้

3.1.1 เซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 1

โครงสร้างของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 1 แสดงได้ดังรูปที่ 3.1 มีส่วนประกอบอยู่ด้วยกัน 3 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่หนึ่ง คือสายอากาศ (Antenna) ที่ทำจากวัสดุที่เป็นตัวนำ ส่วนที่สอง คือวัสดุฐานรอง (Substrate) ทำจากวัสดุที่เป็นสารไดอิเล็กตริกมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ) เท่ากับ 4.3 และมีความหนาของแผ่น (h) เท่ากับ 0.8 มิลลิเมตร และส่วนสุดท้าย คือชิพวงจรรวม (Integrated Chip: IC) ที่มีค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้า (Input Impedance) เท่ากับ $16.5 - j148.7 \Omega$ ที่ความถี่ 922.5 เมกะเฮิรตซ์ เมื่อจำลองผลด้วยโปรแกรมคำนวณทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เหมาะสมที่สุดของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดี โดยมีวัตถุประสงค์ให้ค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศของเซ็นเซอร์มีค่าเป็นคอนจูเกตแมตช์ (Conjugated Match) กับค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของชิพวงจรรวม ซึ่งจะส่งผลให้มีการส่งผ่านกำลังงานจากสายอากาศไปยังชิพวงจรรวมได้มากที่สุด พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมแบบที่ 1 แสดงในรูปที่ 3.1 โดยที่กำหนดให้ความยาวของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีมีความยาว (L) เท่ากับหนึ่งส่วนสี่ของความยาวคลื่น ($\lambda/4$) และมีขนาดโดยรวมของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดี เท่ากับ $L \times W$

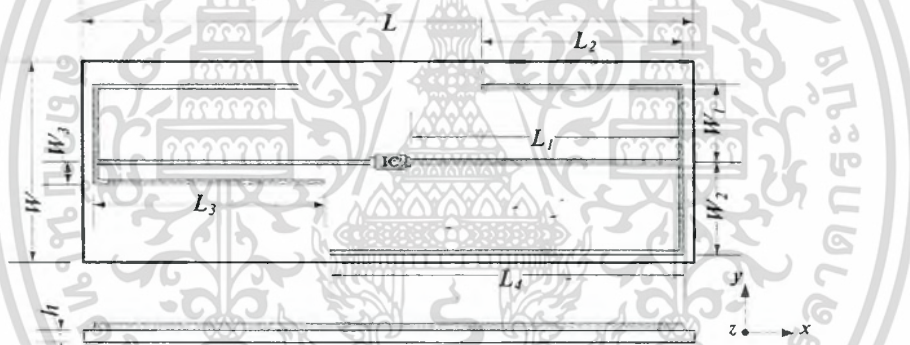


รูปที่ 3.1 โครงสร้างของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมแบบที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 เซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2

โครงสร้างของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2 แสดงได้ดังรูปที่ 3.2 มีส่วนประกอบอยู่ด้วยกัน 3 ส่วน เช่นเดียวกับกับเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 1 สายอากาศ (Antenna) ของเซ็นเซอร์ทำจากวัสดุที่เป็นตัวนำ ส่วนวัสดุฐานรอง (Substrate) ทำจากวัสดุที่เป็นสารไดอิเล็กทริกมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ_r) เท่ากับ 4.3 แต่มีความหนาของแผ่น (h) เพียง 0.1 มิลลิเมตร ซึ่งทำให้ตัวเซ็นเซอร์สามารถโค้งงอได้ และใช้ชิพวงจรรวม (Integrated Chip: IC) ที่มีค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้า (Input Impedance) เท่ากับ $9.1 - j119 \Omega$ ที่ความถี่ 922.5 เมกะเฮิร์ตซ์ เมื่อจำลองผลด้วยโปรแกรมคำนวณทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เหมาะสมที่สุดของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดี โดยมีวัตถุประสงค์ให้ค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศของเซ็นเซอร์มีค่าเป็นคอนจูเกตแมตช์ (Conjugated Match) กับค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของชิพวงจรรวม ซึ่งจะส่งผลให้มีการส่งผ่านกำลังงานจากสายอากาศไปยังชิพวงจรรวมได้มากที่สุด พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2 แสดงในรูปที่ 3.2 โดยที่กำหนดให้ความยาวของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีมีความยาว (L) ประมาณหนึ่งส่วนสองของความยาวคลื่น ($\lambda/2$) และมีขนาดโดยรวมของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดี เท่ากับ $L \times W$



รูปที่ 3.2 โครงสร้างของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2

3.2 ผลการจำลอง (Simulated Results)

เมื่อนำโครงสร้างของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมทั้งสองแบบ ซึ่งได้ออกแบบไว้ในหัวข้อที่ 3.1 มาทำการจำลองโครงสร้างและหาค่าที่เหมาะสมด้วยโปรแกรมคำนวณทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ผลการจำลองดังนี้

3.2.1 ผลการจำลองของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 1

จากผลการจำลอง พบว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 1 สรุปได้ดังตารางที่ 3.1 โดยมีขนาดโดยรวม ($L \times W \times h$) ดังนี้ คือมีความยาวเท่ากับ 39.5 มิลลิเมตร ความกว้างเท่ากับ 25 มิลลิเมตร และความหนาเท่ากับ 0.8 มิลลิเมตร และมีคุณลักษณะต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.2 จากผลการจำลอง พบว่าค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศมีค่าใกล้เคียงกับค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของชิพวงจรรวมและเมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านกำลังงาน (τ_{mat}) จะเห็นว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีค่าใกล้เคียง 100 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือสายอากาศสามารถส่งผ่านกำลังงานไปยังขีพวงจรรวมได้เป็นอย่างดี สำหรับค่าอัตราขยายของสายอากาศ ($G_{tag.mat}$) มีค่าไม่มากแต่เพียงพอสำหรับการประยุกต์ใช้งานในลักษณะของเซ็นเซอร์ไร้สาย นอกจากนี้ยังได้พิจารณาถึงการโพลาไรซ์เพื่อให้สามารถรับสัญญาณได้ในทิศทางที่มีความแรงของสัญญาณสูงสุด

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เหมาะสมที่สุดของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีขีพวงจรรวมรูปแบบที่ 1

พารามิเตอร์	ขนาด (mm)	พารามิเตอร์	ขนาด (mm)
L	39.5	l_8	3.75
W	25	l_9	19
l_1	13.5	l_{10}	9.5
l_2	19.3	l_{11}	2.25
l_3	13.25	w_1	1
l_4	23.3	w_2	0.5
l_5	11	w_3	0.5
l_6	3.5	w_4	5.5
l_7	7.75	w_5	1

ตารางที่ 3.2 คุณลักษณะของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีขีพวงจรรวมรูปแบบที่ 1

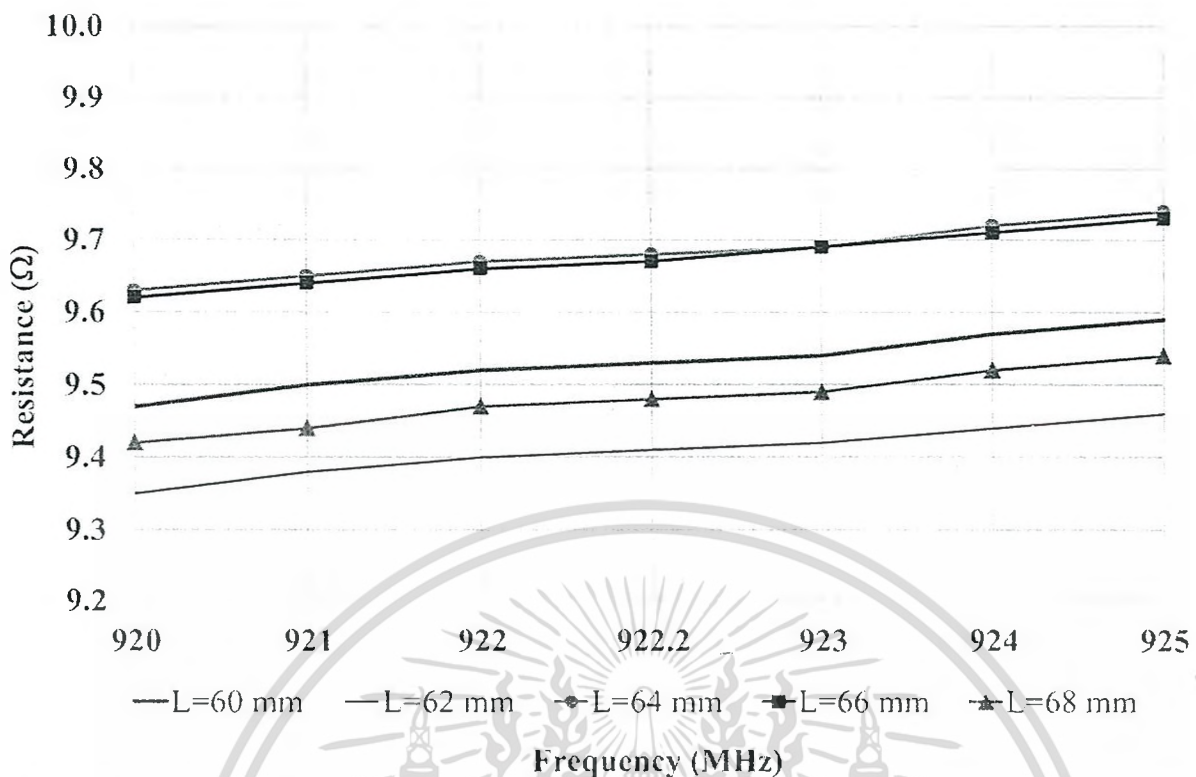
คุณลักษณะของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดี	ปริมาณและชนิด
อิมพีแดนซ์ด้านเข้า (Ω)	15.7+j148.6
อัตราขยายของสายอากาศ $G_{tag.mat}$ (dBi)	-8.2
สัมประสิทธิ์การส่งผ่านกำลังงาน τ_{mat} (%)	99.9
การโพลาไรซ์	แบบเชิงเส้น

3.2.2 ผลการจำลองของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีขีพวงจรรวมรูปแบบที่ 2

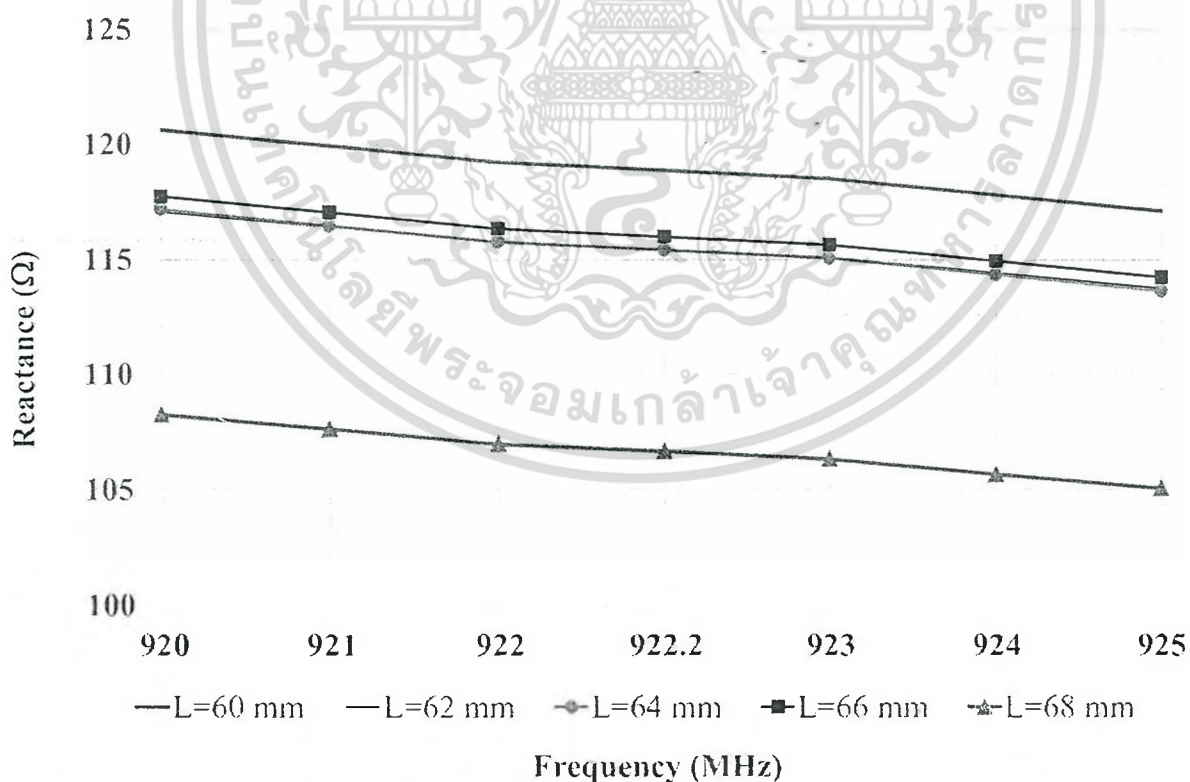
เซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีขีพวงจรรวมรูปแบบที่ 2 มีโครงสร้างและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ในหัวข้อนี้ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อค่าคุณลักษณะของตัวเซ็นเซอร์ดังต่อไปนี้

1. ความยาวของวัสดุฐานรอง (L)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



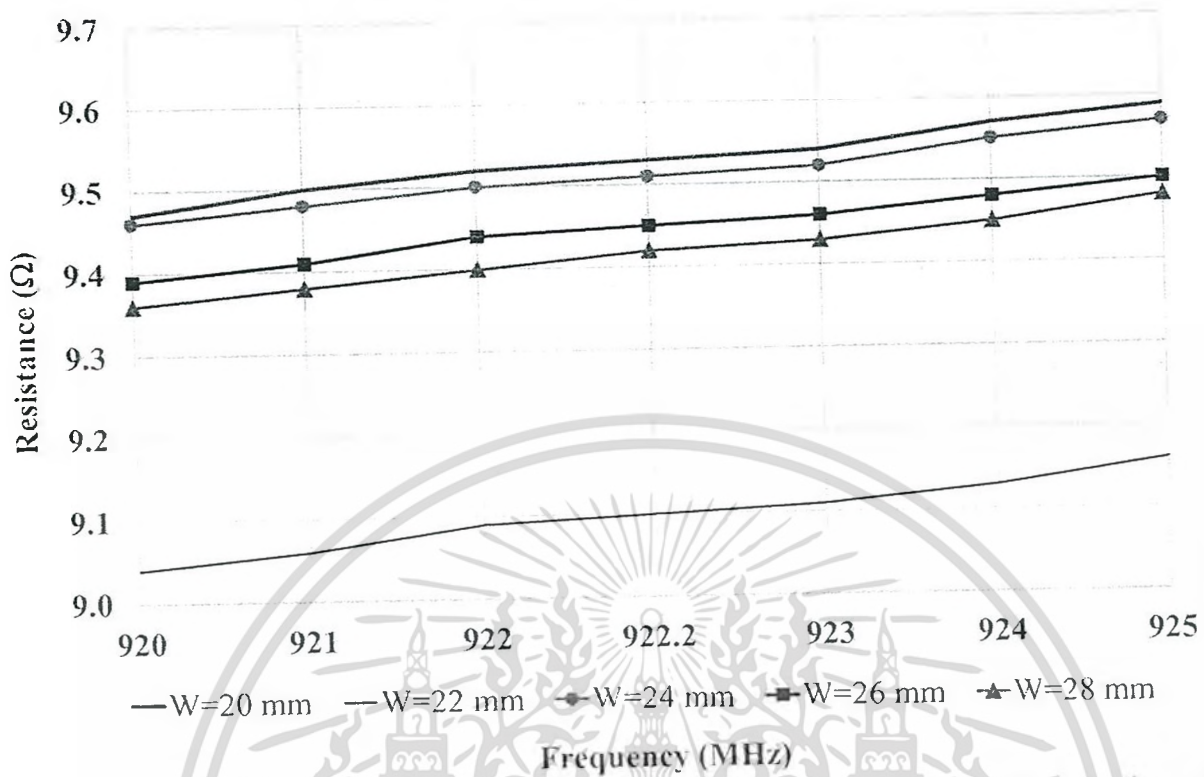
รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับความถี่ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ L ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2



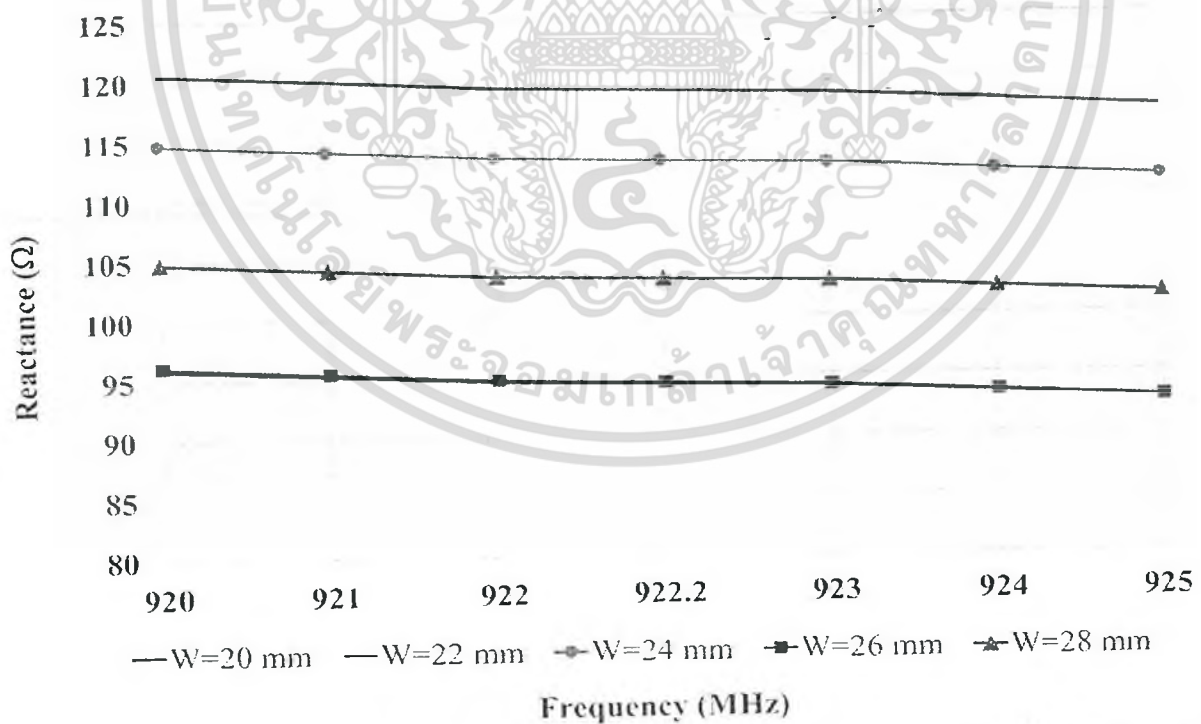
รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารีแอกแตนซ์กับความถี่ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ L ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ความกว้างของวัสดุฐานรอง (W)



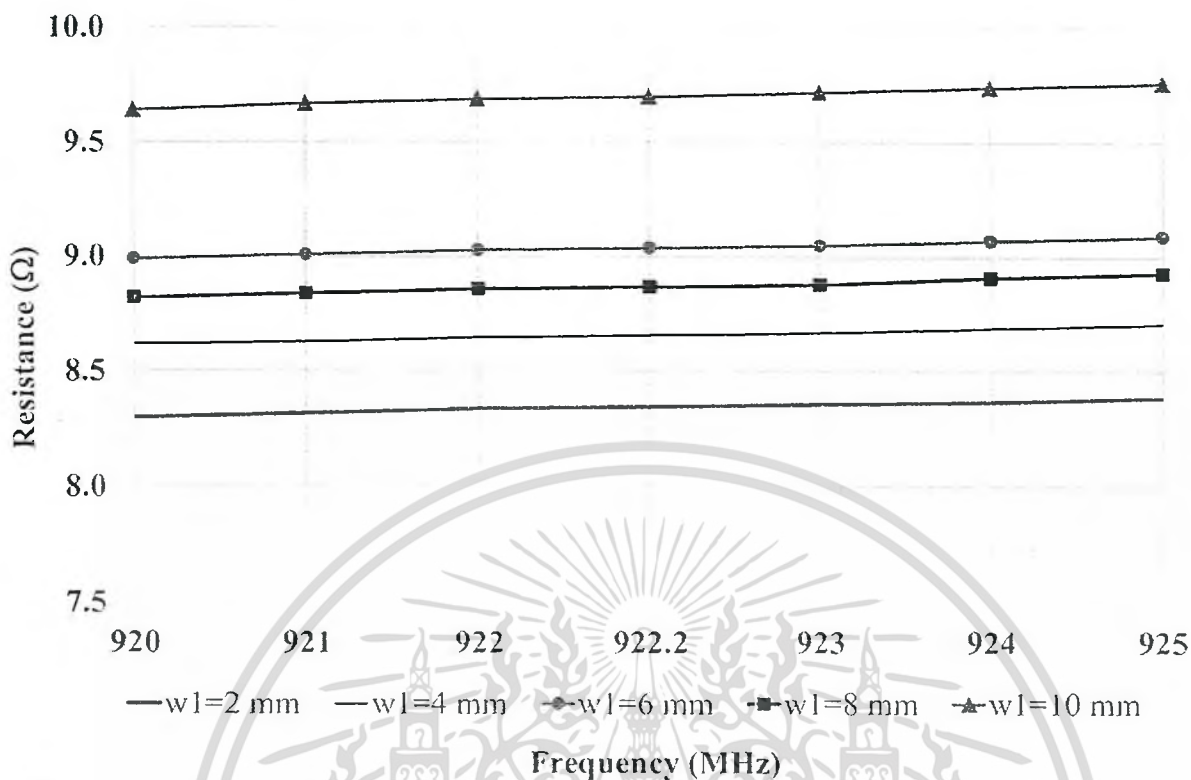
รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับความถี่ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ W ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2



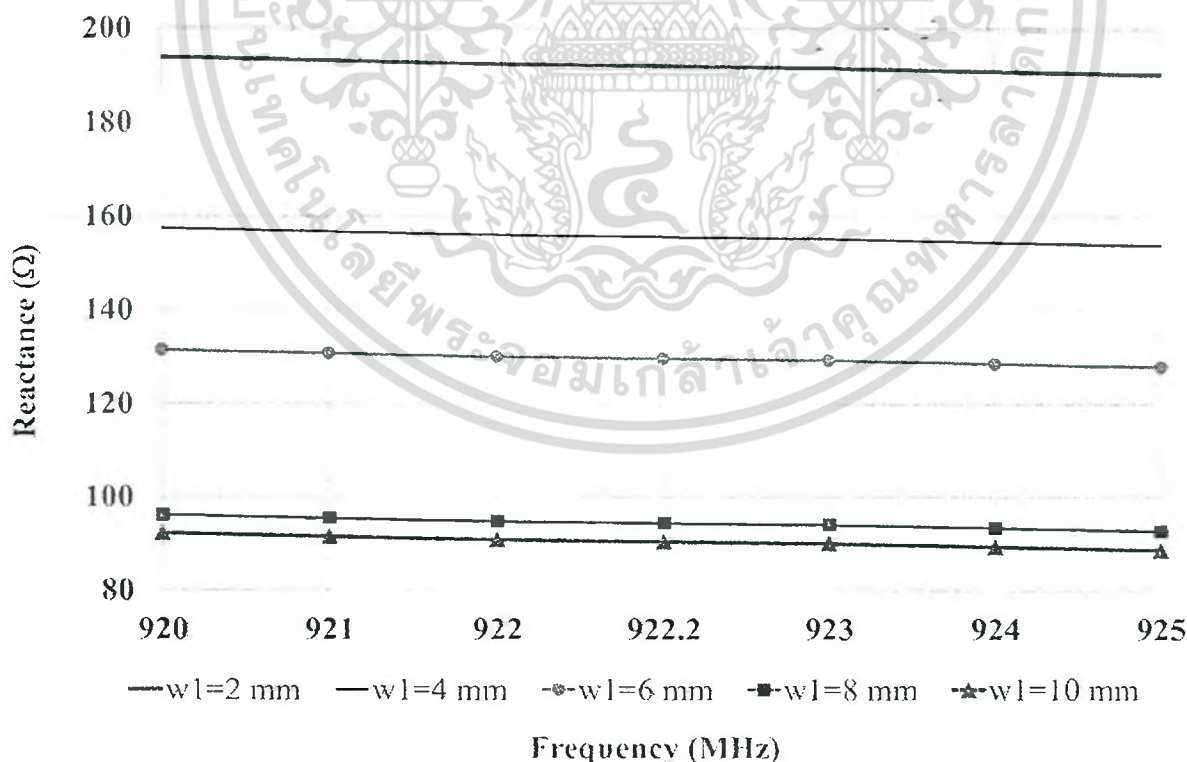
รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารีแอกแตนซ์กับความถี่ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ W ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. พารามิเตอร์ W_1

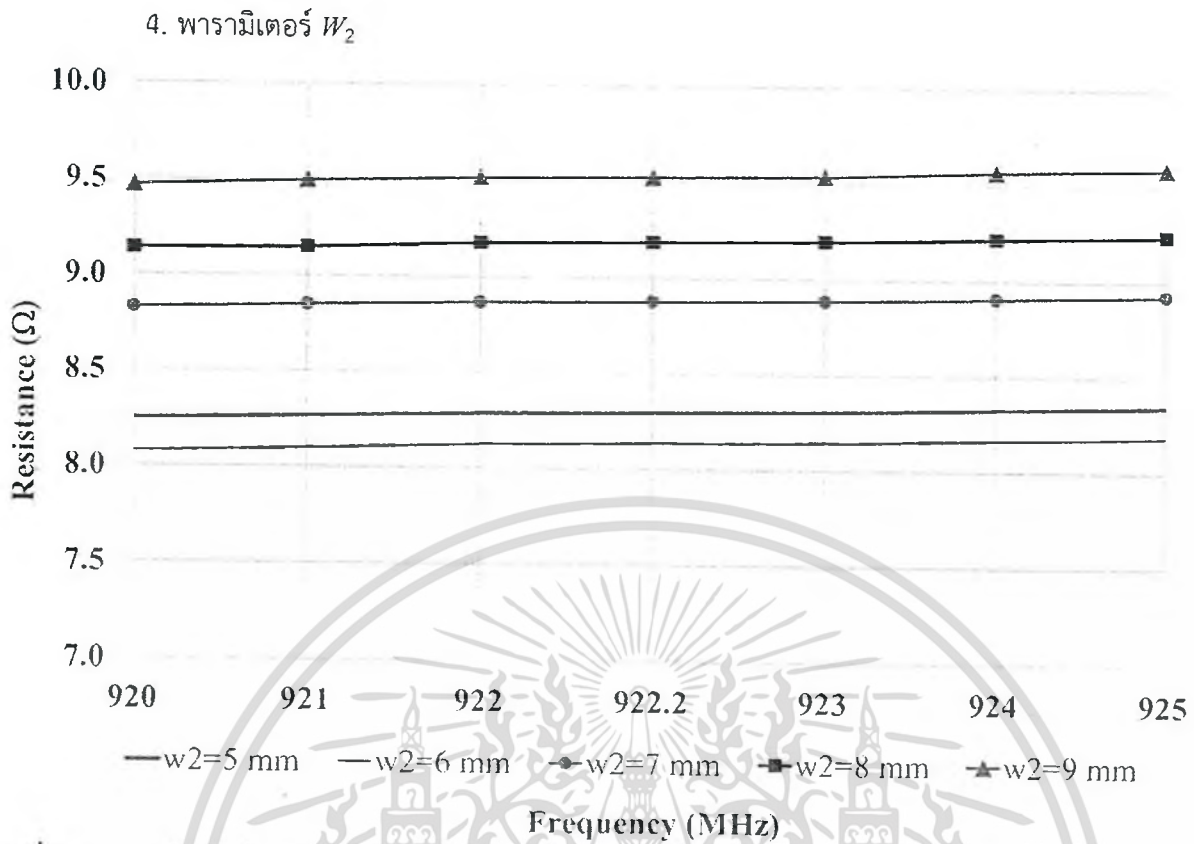


รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับความถี่ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ W_1 ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2

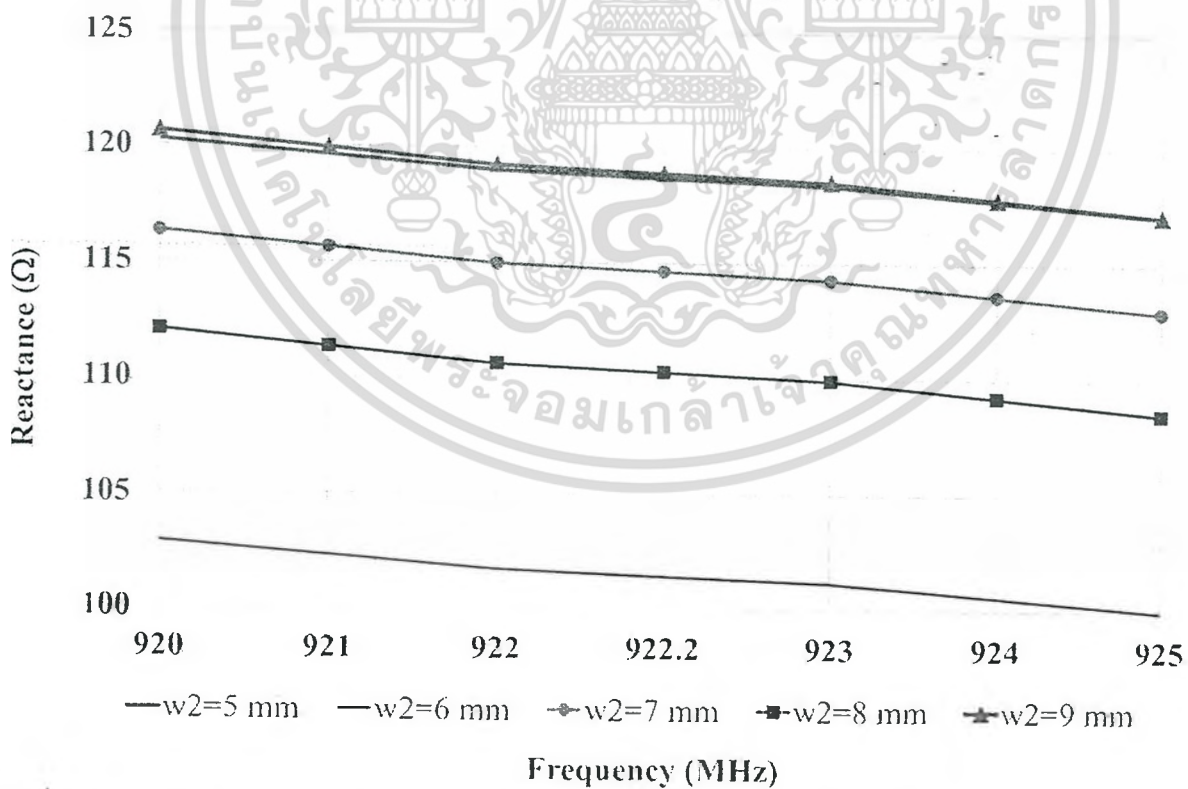


รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารีแอกแตนซ์กับความถี่ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ W_1 ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

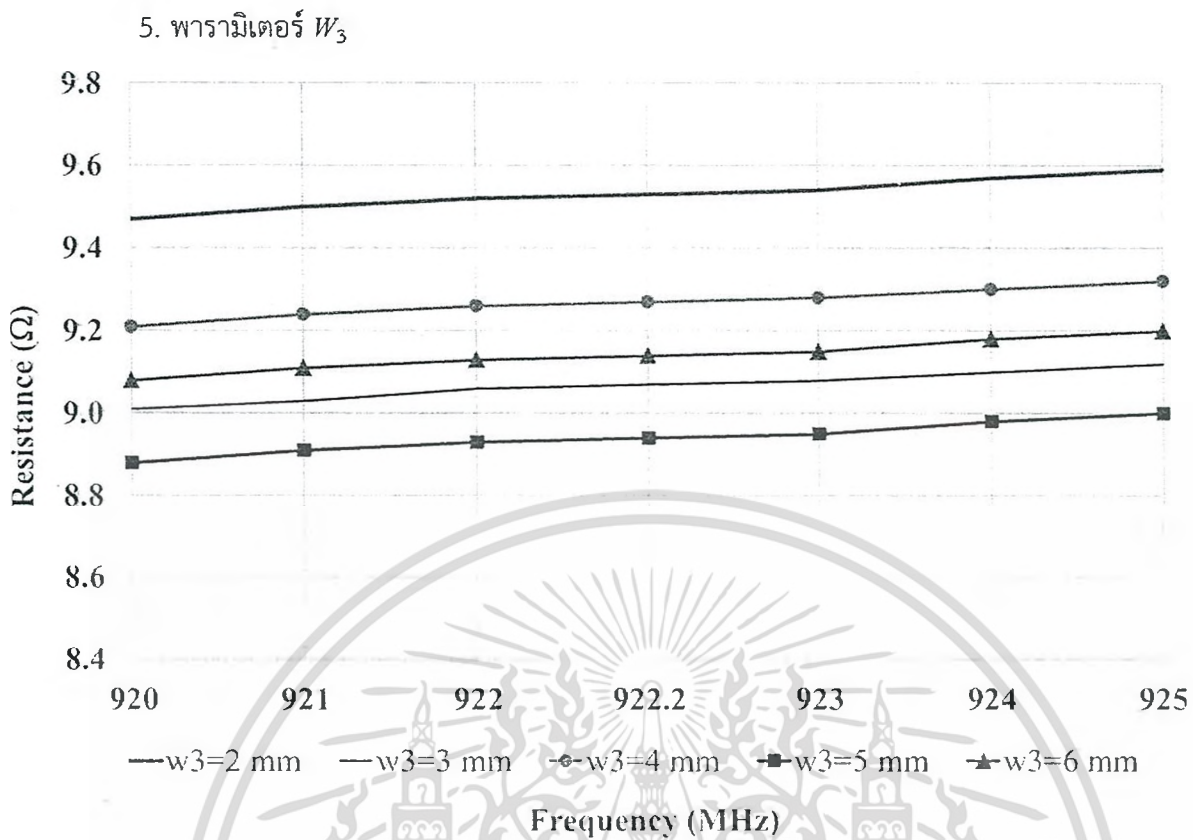


รูปที่ 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับความถี่ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ W_2 ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2

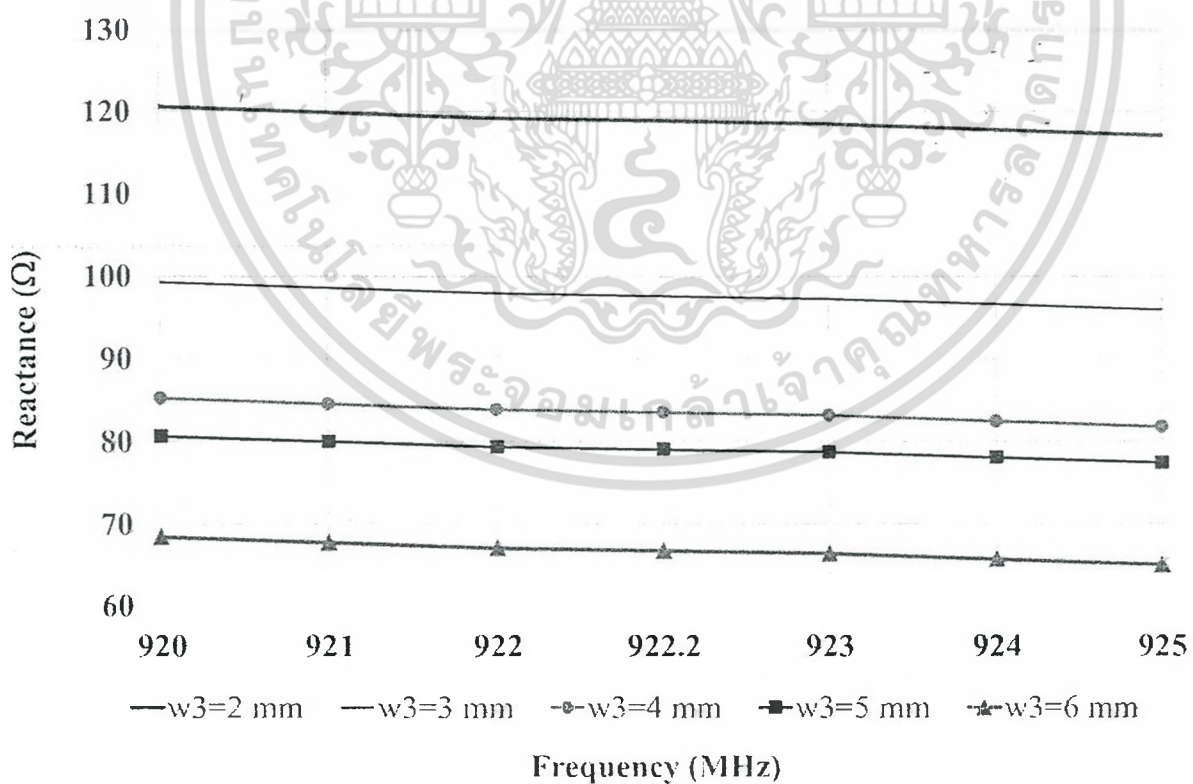


รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารีแอกแตนซ์กับความถี่ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ W_2 ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

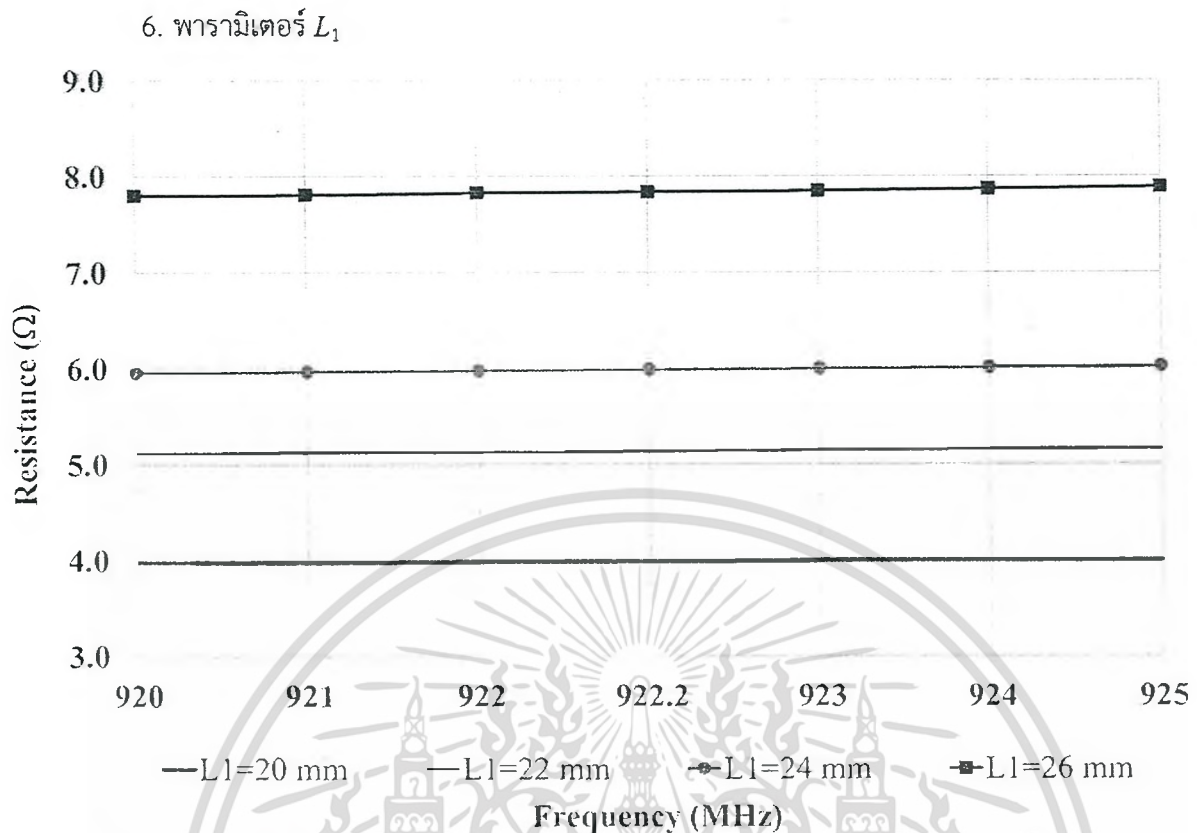


รูปที่ 3.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับความถี่ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ W_3 ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2

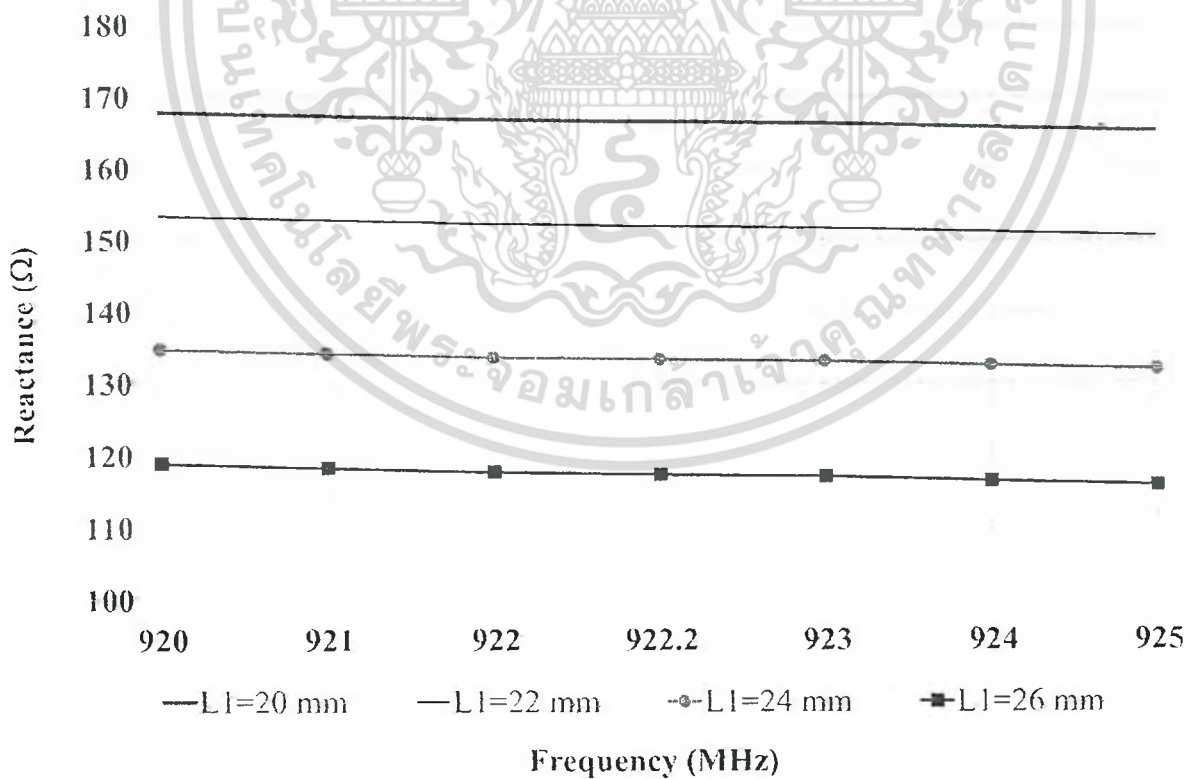


รูปที่ 3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารีแอกแตนซ์กับความถี่ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ W_3 ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

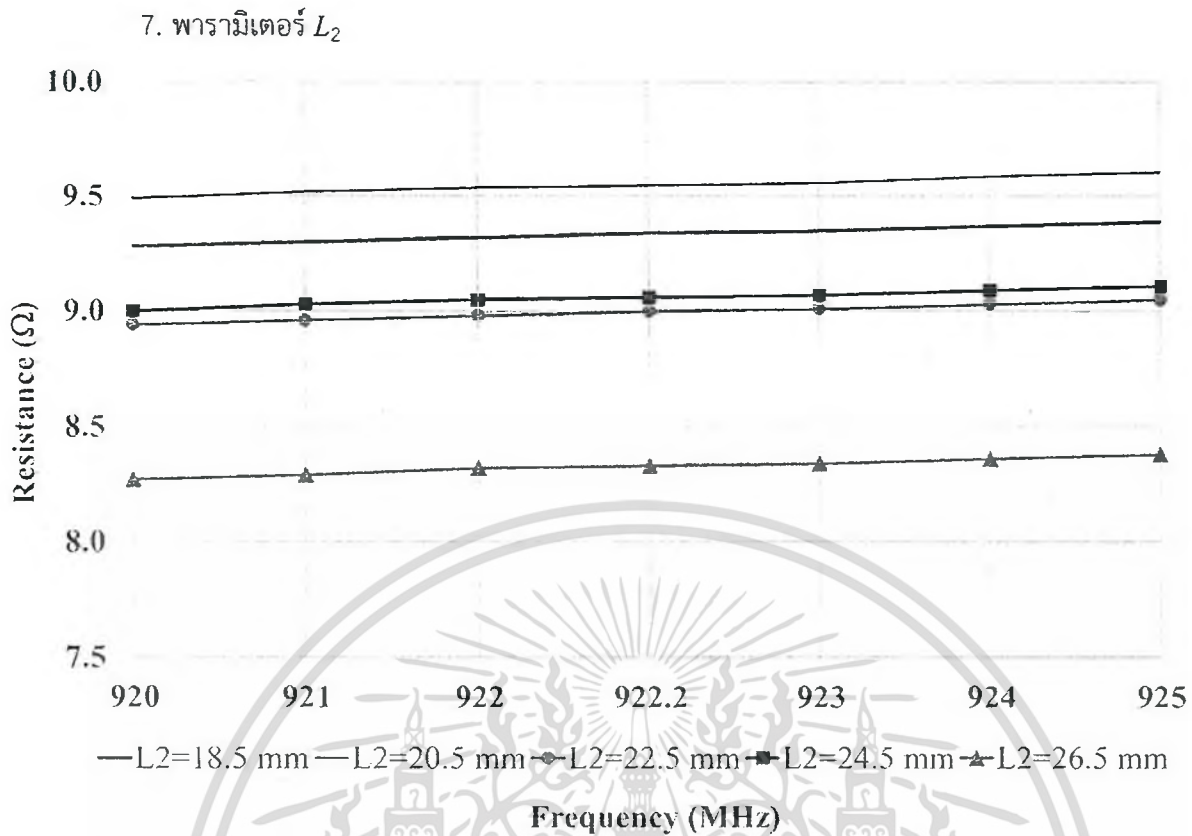


รูปที่ 3.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับความถี่ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ L_1 ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2

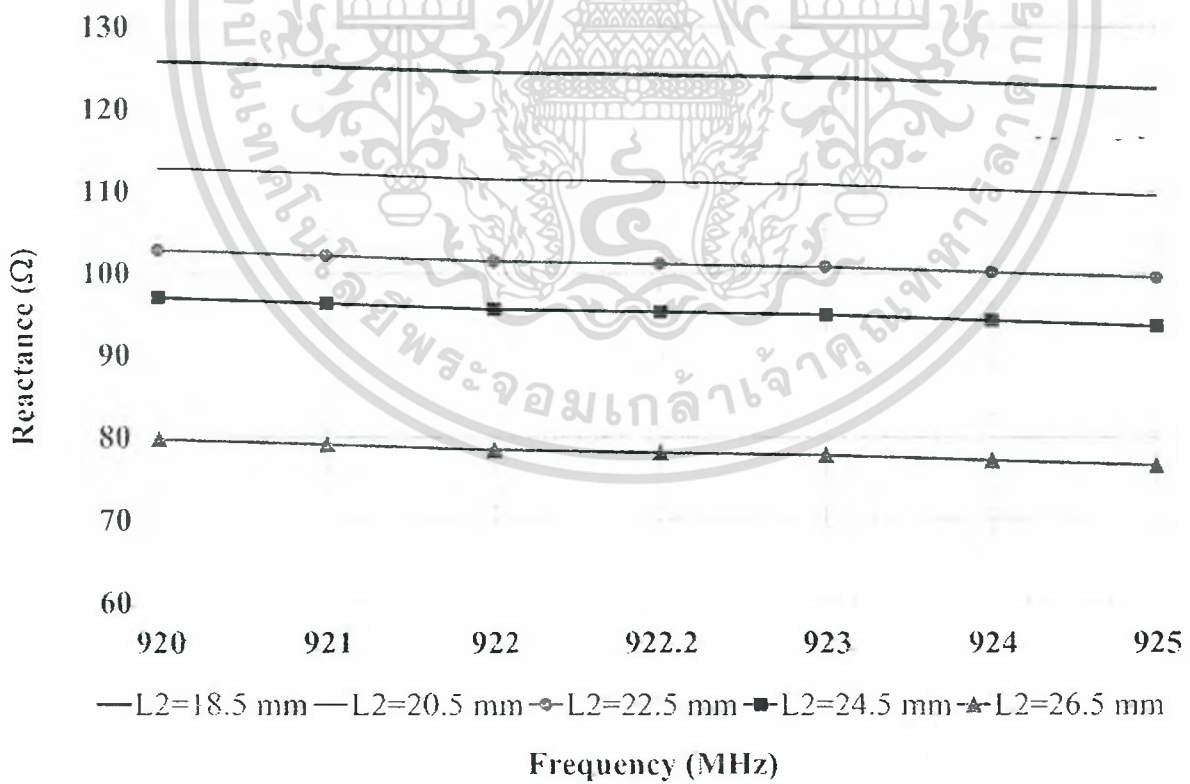


รูปที่ 3.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารีแอกแตนซ์กับความถี่ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ L_1 ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

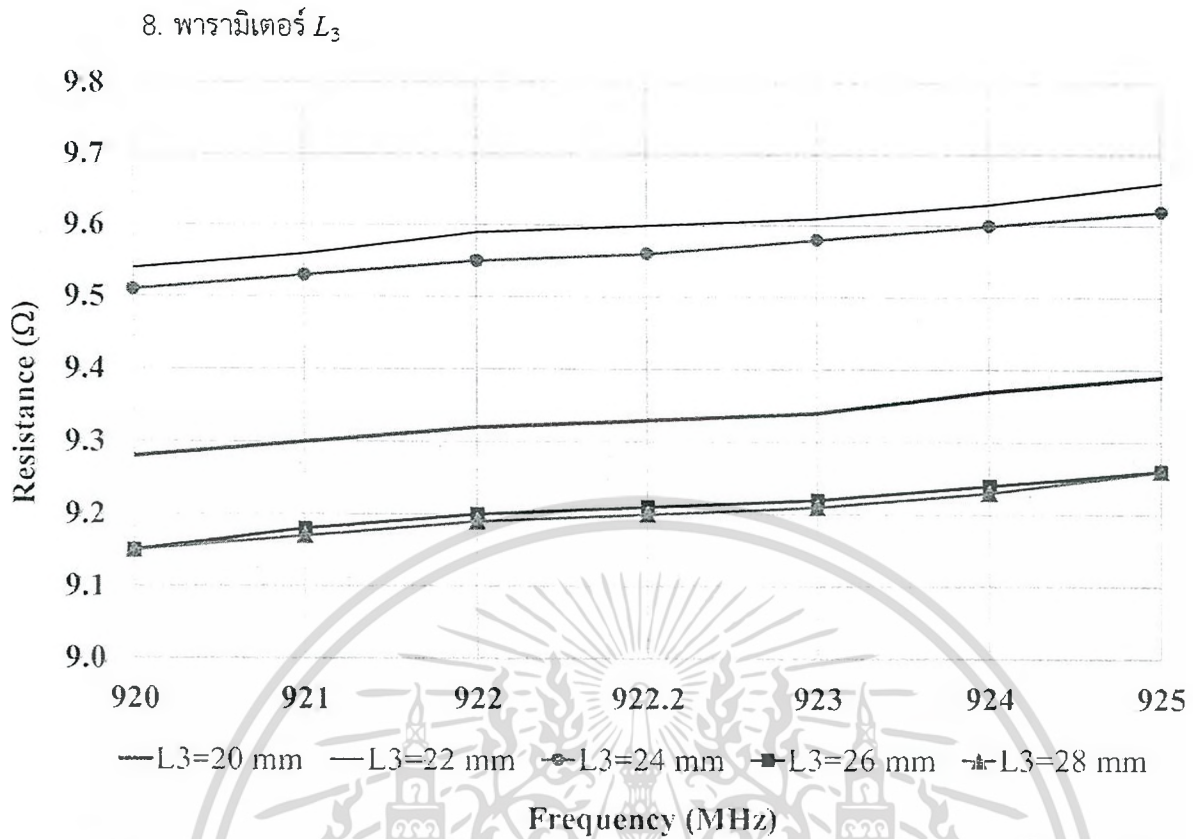


รูปที่ 3.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับความถี่ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ L_2 ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2

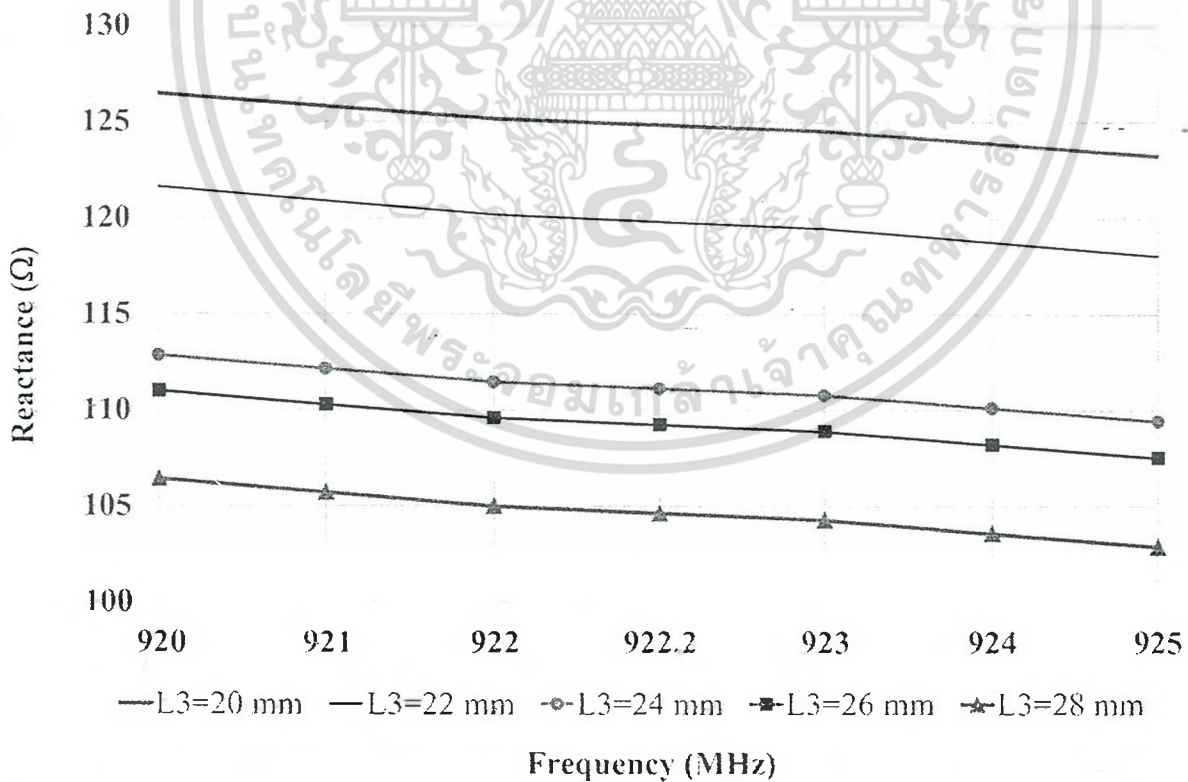


รูปที่ 3.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารีแอกแตนซ์กับความถี่ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ L_2 ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

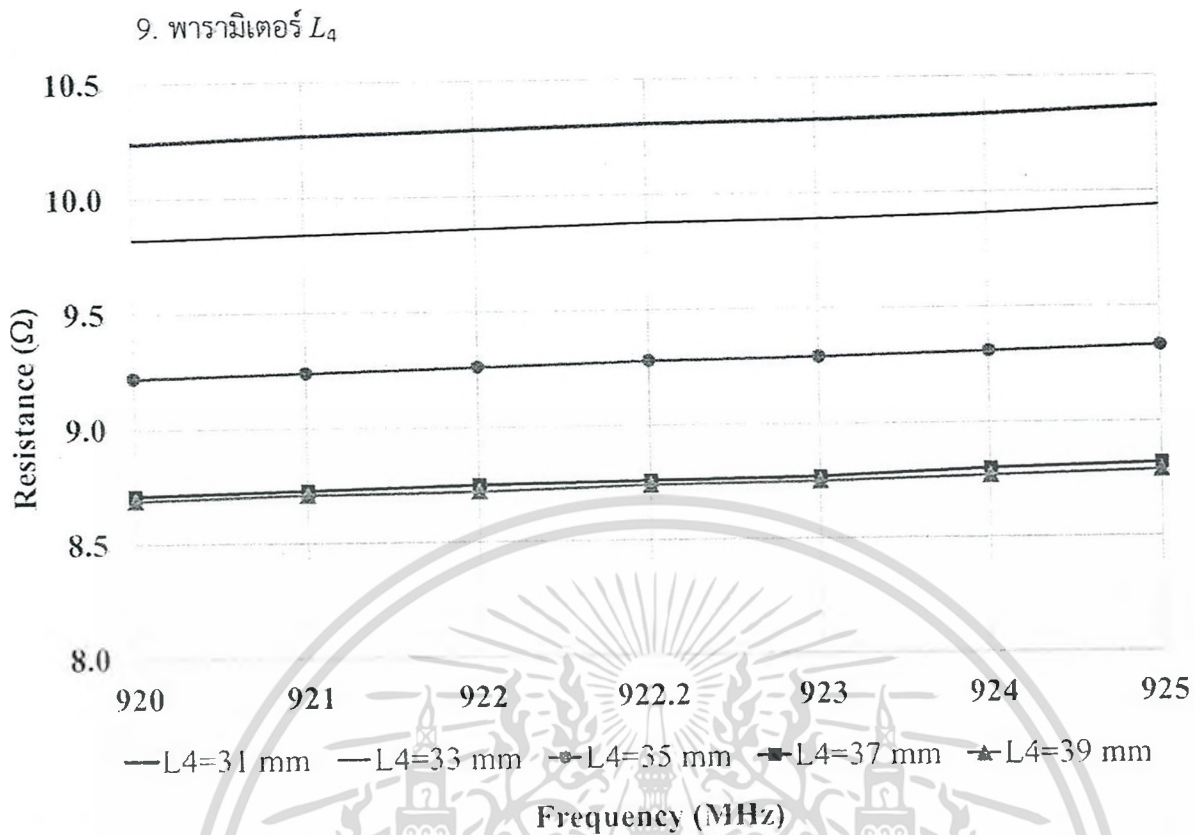


รูปที่ 3.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับความถี่ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ L_3 ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2

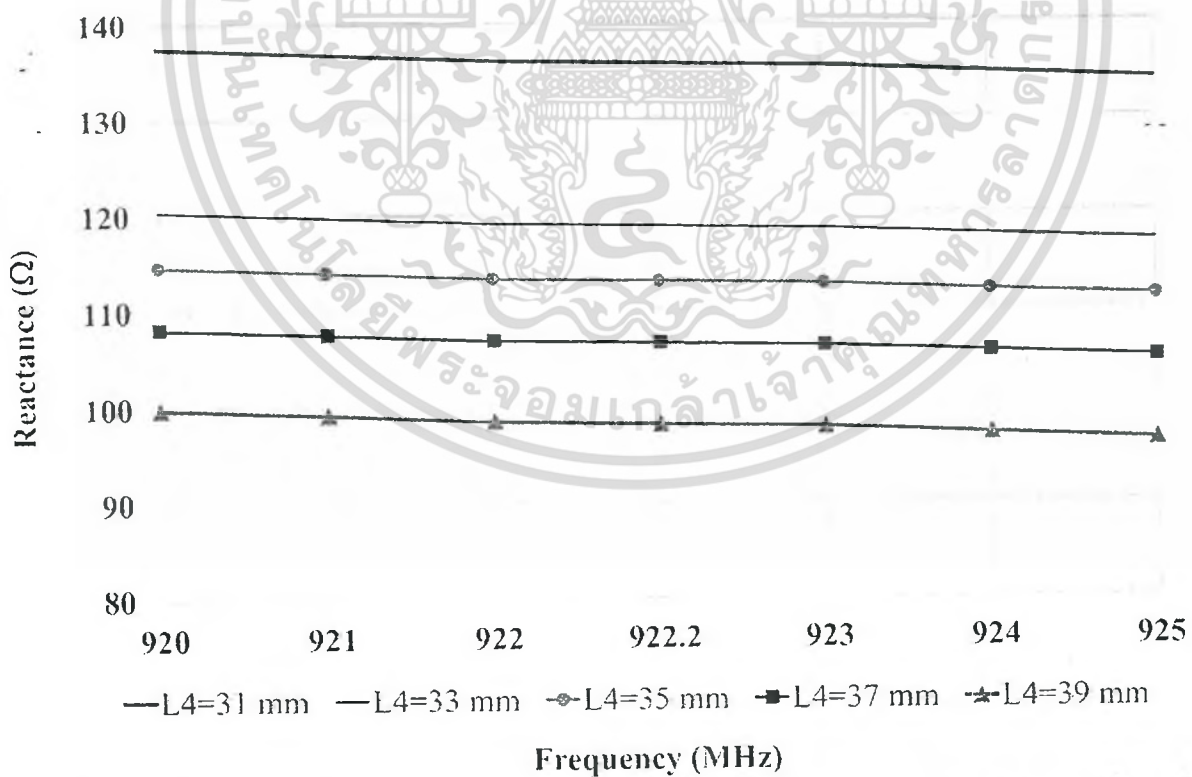


รูปที่ 3.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารีแอคแตนซ์กับความถี่ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ L_3 ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับความถี่ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ L_4 ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2



รูปที่ 3.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารีแอกแตนซ์กับความถี่ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ L_4 ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมรูปแบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการจำลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานและค่ารีแอกแตนซ์กับความถี่ของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมแบบที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 3.3 - 3.20 พบว่าค่าพารามิเตอร์ความยาวและความกว้างส่งผลกระทบต่อค่าคุณลักษณะทางอิมพีแดนซ์ของเซ็นเซอร์ ดังนั้นจึงได้นำพารามิเตอร์ดังกล่าวไปจำลองผลเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมแบบที่ 2 ซึ่งสรุปได้ดังตารางที่ 3.3 มีขนาดโครงสร้างโดยรวม ($L \times W \times h$) ดังนี้ คือมีความยาวเท่ากับ 60 มิลลิเมตร ความกว้างเท่ากับ 20 มิลลิเมตร และความหนาเท่ากับ 0.1 มิลลิเมตร และมีคุณลักษณะต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.4 เมื่อพิจารณาค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศพบว่ามีความใกล้เคียงกับค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของชิพวงจรรวม และมีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านกำลังงาน (τ_{mat}) ใกล้เคียง 100 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือสายอากาศสามารถส่งผ่านกำลังงานไปยังชิพวงจรรวมได้เป็นอย่างดี สำหรับค่าอัตราขยายของสายอากาศ ($G_{tag,mat}$) มีค่าไม่สูงแต่เพียงพอสำหรับการประยุกต์ใช้งานในลักษณะของเซ็นเซอร์ไร้สาย นอกจากนั้นยังได้พิจารณาถึงการโพลาริซ์เพื่อให้สามารถรับสัญญาณได้ดีในทิศทางที่มีความแรงของสัญญาณสูงสุด

ตารางที่ 3.3 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เหมาะสมที่สุดของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมแบบที่ 2

พารามิเตอร์	ขนาด (mm)	พารามิเตอร์	ขนาด (mm)
L	60	L_4	35
W	20	W_1	8
L_1	28	W_2	9
L_2	20.5	W_3	2
L_3	24	h	0.1

ตารางที่ 3.4 คุณลักษณะของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมแบบที่ 2

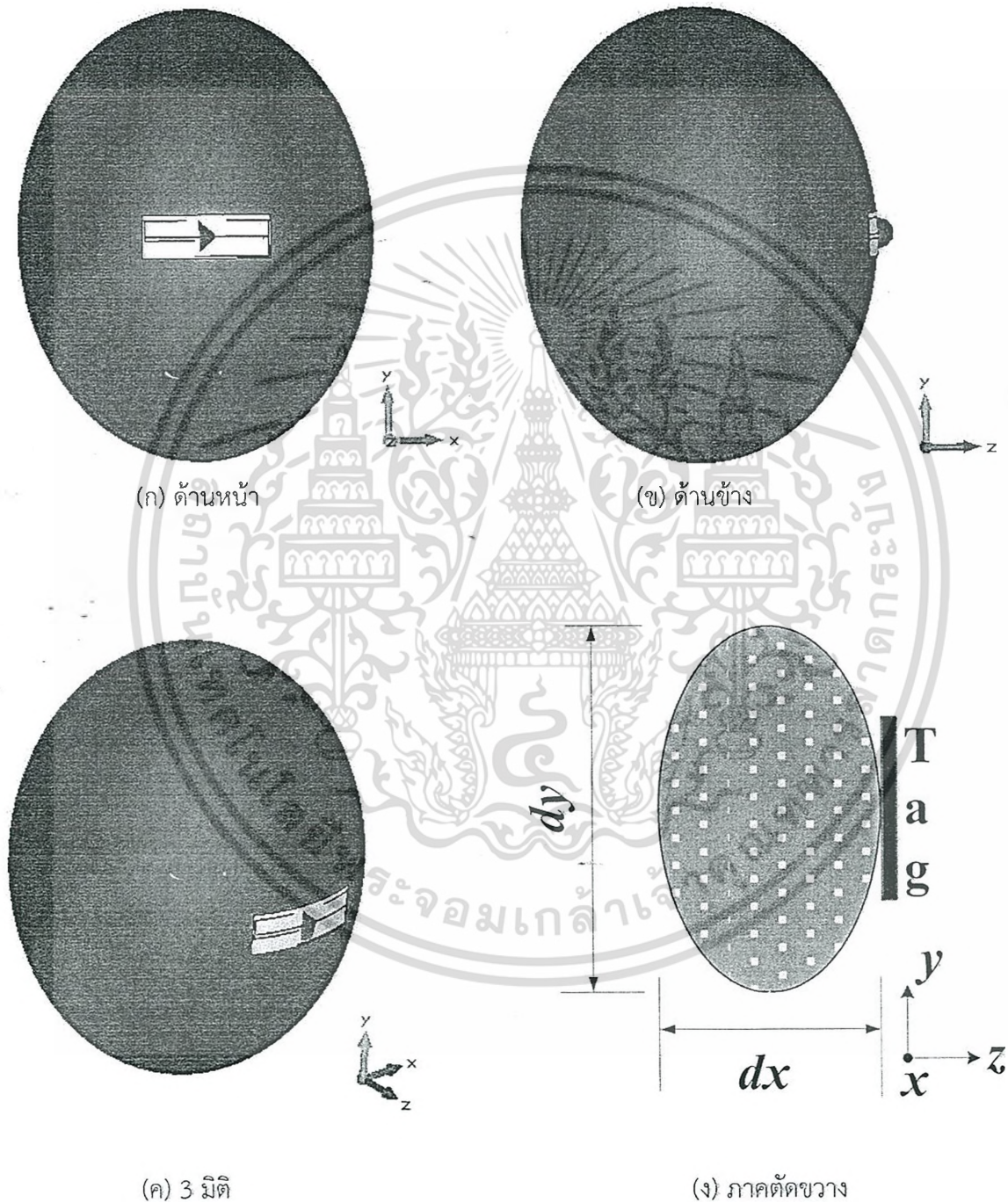
คุณลักษณะของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดี	ปริมาณและชนิด
อิมพีแดนซ์ด้านเข้า (Ω)	$9.53 + j118$
อัตราขยายของสายอากาศ $G_{tag,mat}$ (dBi)	-8.7
สัมประสิทธิ์การส่งผ่านกำลังงาน τ_{mat} (%)	99.9
การโพลาริซ์	แบบเชิงเส้น

3.2.3 ผลการจำลองของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมเมื่อติดบนผิวของมะพร้าว

หัวข้อนี้ทำการจำลองผลของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมเมื่อติดบนผิวของผลมะพร้าวดังแสดงในรูปที่ 3.21 จากผลการจำลองพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความยาว (d_y) และความกว้าง (d_x) ของผลมะพร้าวกับค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแสดงได้ดังรูปที่ 3.22 และมีการ

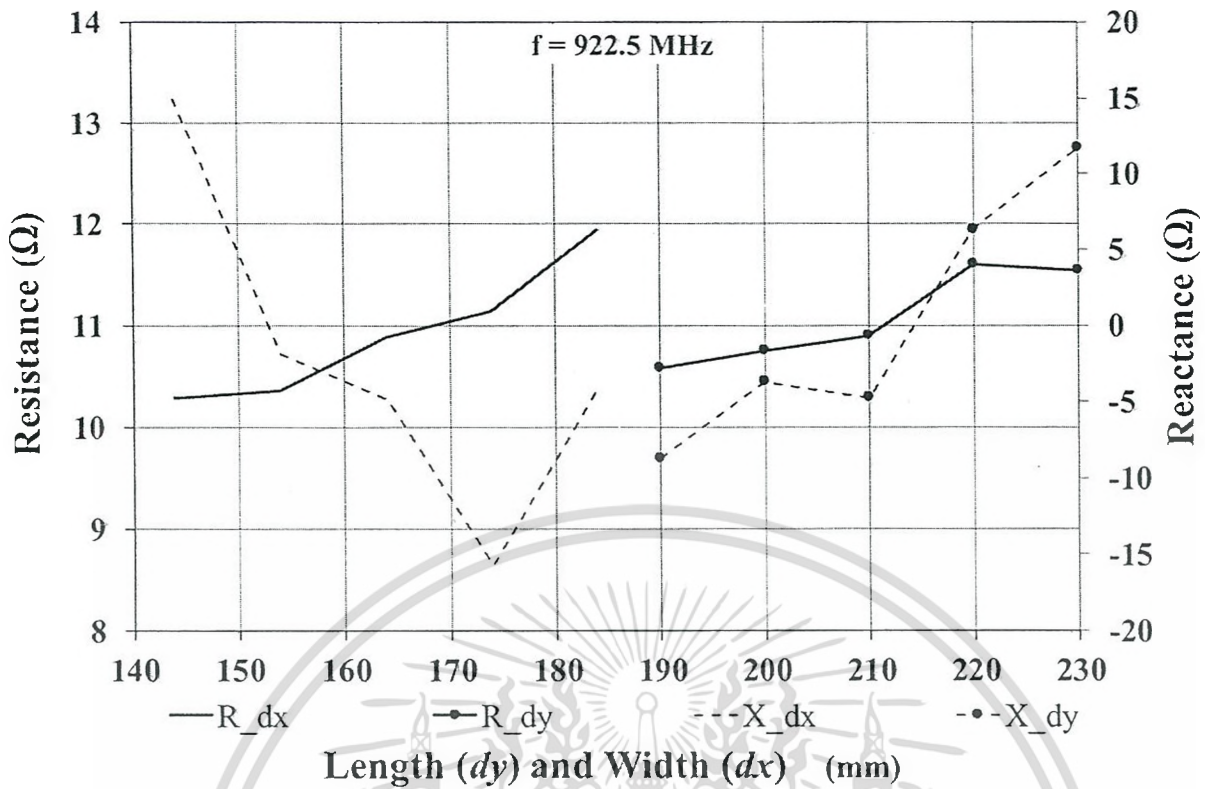
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงไปตามค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของผลมะพร้าวดังแสดงในรูปที่ 3.23 สำหรับค่าอัตราขยายของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีเมื่อติดบนผิวของผลมะพร้าวจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ที่ใช้งานโดยเมื่อความถี่สูงขึ้นค่าอัตราขยายมีแนวโน้มสูงขึ้นด้วย นอกจากนี้จะพบว่า ค่าอัตราขยายของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีจะการลดลงเมื่อค่าคงที่ไดอิเล็กตริกมีค่าเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3.24

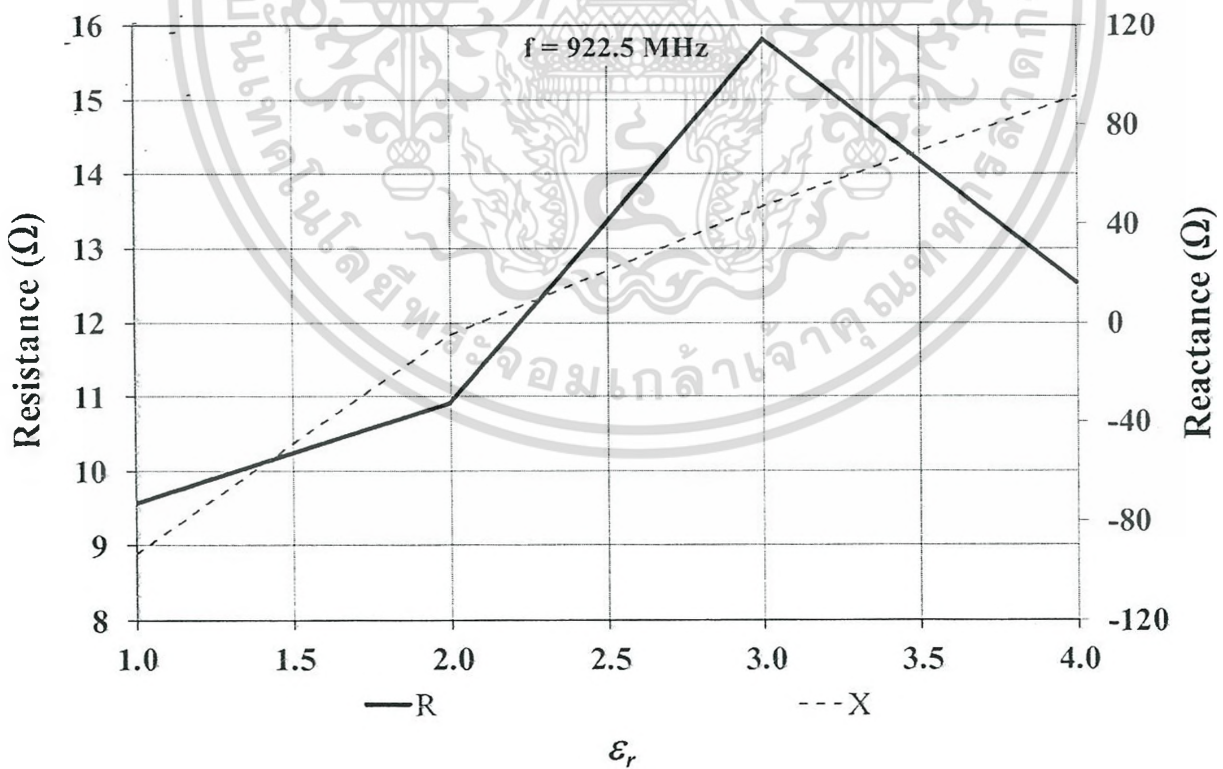


รูปที่ 3.21 การติดเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมบนผิวของผลมะพร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

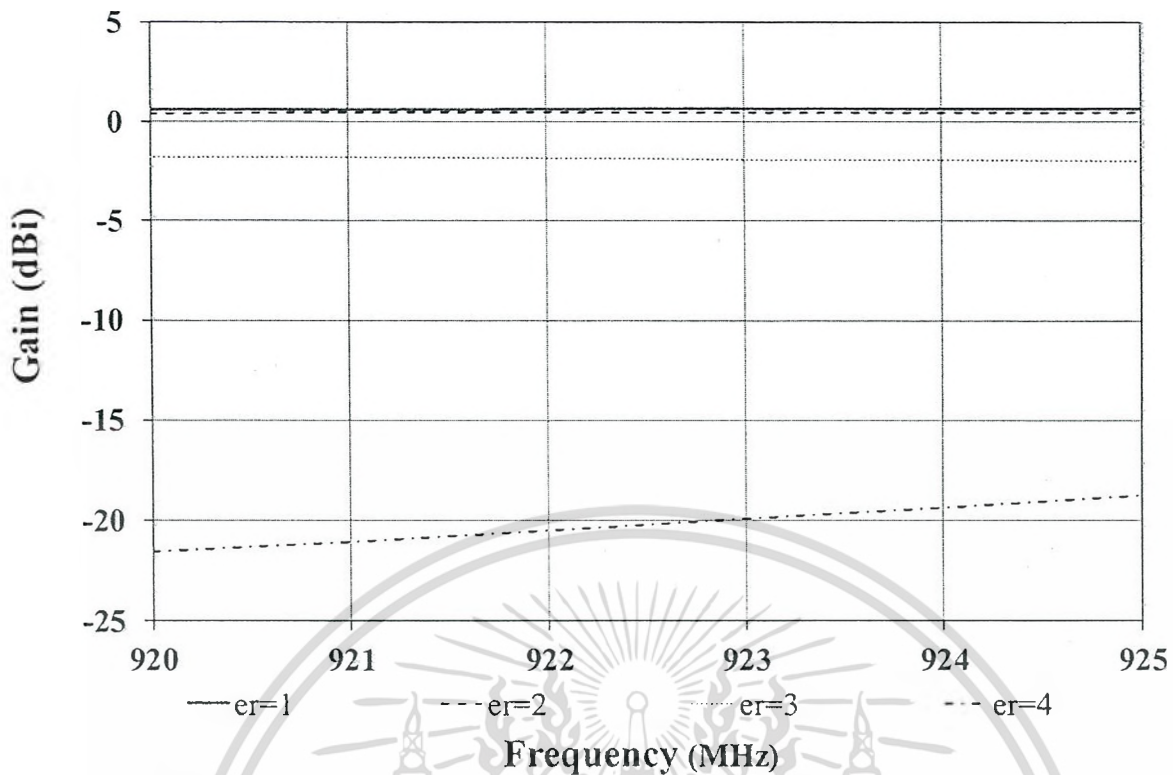


รูปที่ 3.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและความกว้างของผลมะพร้าวกับค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดี



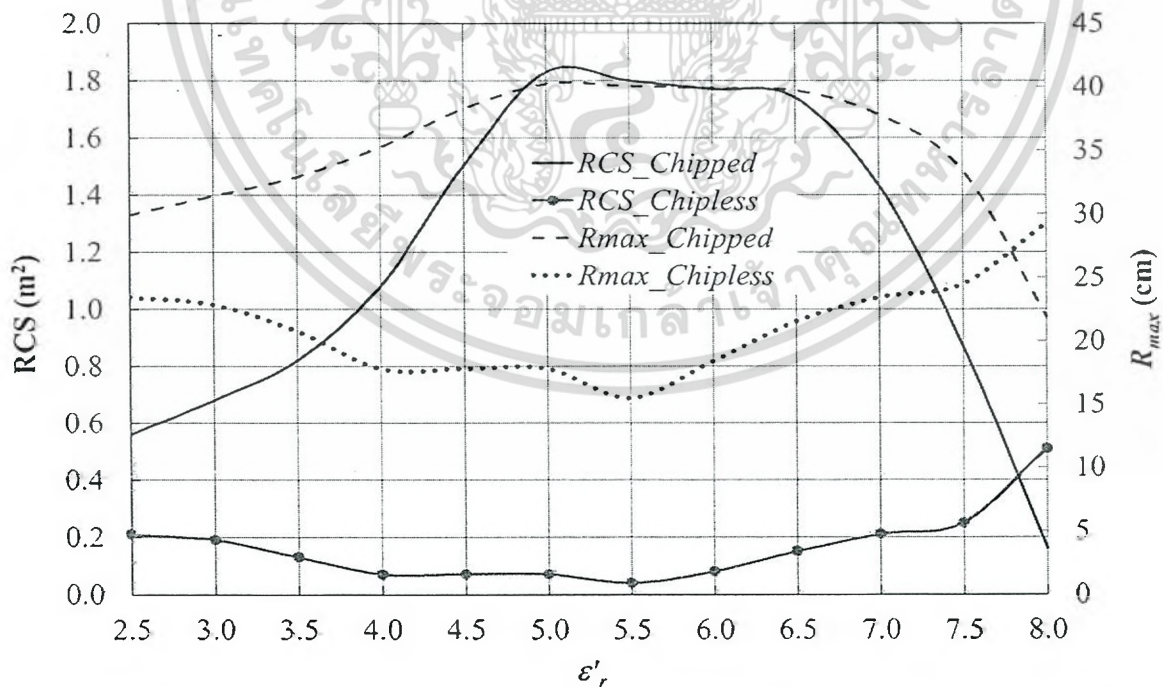
รูปที่ 3.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กตริกกับค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



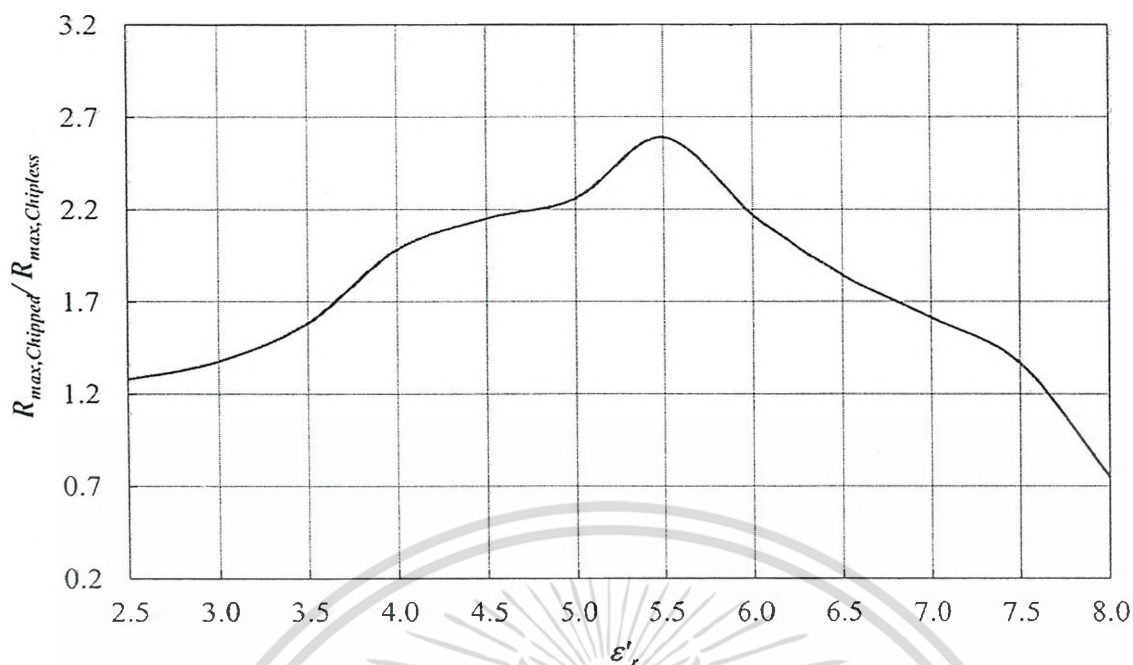
รูปที่ 3.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราขยายของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีกับความถี่

3.2.4 พื้นที่ตัดขวางเรดาร์ (Radar Cross-Section: RCS) ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีและระยะการติดต่อสื่อสารที่ไกลที่สุดระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีและเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดี (Maximum Read Range: R_{max})



รูปที่ 3.25 พื้นที่ตัดขวางเรดาร์ (RCS) ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีและระยะการติดต่อสื่อสารที่ไกลที่สุดระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีและเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดี (R_{max})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



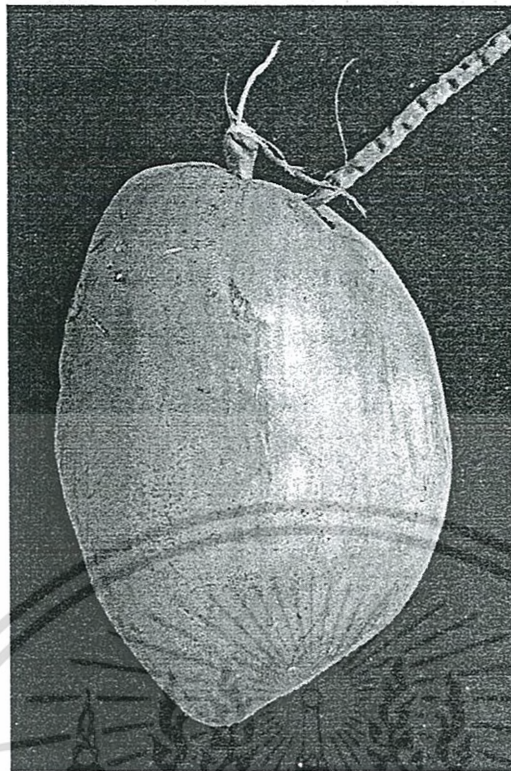
รูปที่ 3.26 อัตราส่วนระหว่างระยะการติดต่อสื่อสารที่ไกลที่สุดระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีกับเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดี

รูปที่ 3.25 แสดงพื้นที่ตัดขวางเรดาร์ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวมและระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีและเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดี พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปเมื่อค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ_r') เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งค่าคงที่ไดอิเล็กตริกในช่วงตั้งแต่ 5 ถึง 6.5 ส่งผลเป็นอย่างมากต่อค่าคุณลักษณะของเซ็นเซอร์ทั้งแบบที่มีชิพวงจรรวม (Chipped RFID Sensor) และไม่มีชิพวงจรรวม (Chiplless RFID Sensor) นอกจากนั้นยังได้วิเคราะห์เกี่ยวกับค่าอัตราส่วนระหว่างระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีกับเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีทั้งสองชนิดดังแสดงในรูปที่ 3.26 เพื่อเป็นข้อมูลในการนำไปใช้ในการพิจารณาคุณสมบัติของผลไม้ที่นำมาทดสอบต่อไป

นอกจากนั้นในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบไม่มีชิพวงจรรวมที่สามารถตอบสนองได้ 2 ย่านความถี่ คือย่านความถี่เอชเอฟ ตั้งแต่ความถี่ 920 เมกะเฮิร์ตซ์ ถึง 925 เมกะเฮิร์ตซ์ และย่านความถี่ไมโครเวฟ ตั้งแต่ความถี่ 2.4 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 2.5 กิกะเฮิร์ตซ์ จากผลการจำลองได้พื้นที่ตัดขวางเรดาร์ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีชนิดที่ไม่มีชิพวงจรรวมแบบที่ 1 (Sensor#1) และแบบที่ 2 (Sensor#2) ที่เป็นฟังก์ชันของค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ_r') เมื่อมีค่า $\epsilon_r' = 0.2$ ดังแสดงรูปที่ 3.27 พบว่าเมื่อค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ_r') เปลี่ยนแปลงไป ส่งผลต่อค่าพื้นที่ตัดขวางเรดาร์ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดี และที่ความถี่ 922.5 เมกะเฮิร์ตซ์ ในช่วงของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกในช่วงตั้งแต่ 4 ถึง 6.5 พบว่าพื้นที่ตัดขวางเรดาร์ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบที่ 1 และแบบที่ 2 มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในทิศทางตรงกันข้าม กล่าวคือพื้นที่ตัดขวางเรดาร์ของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบที่ 1 จะมีแนวโน้มลดลงจนกระทั่งเมื่อค่า $\epsilon_r' = 5.5$ จากนั้นจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่สำหรับเซ็นเซอร์ชนิดที่ 2 จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเมื่อค่า $\epsilon_r' = 5.5$ จากนั้นจะมีแนวโน้มลดลง นอกจากนั้นยังได้วิเคราะห์เกี่ยวกับระยะการติดต่อสื่อสารของเซ็นเซอร์ชนิดที่ไม่มีชิพวงจรรวมแบบที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



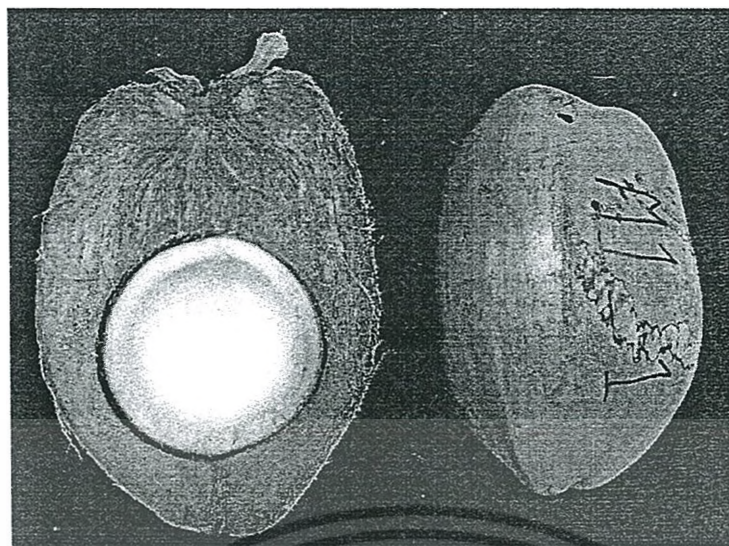
(ข) ด้านข้าง

รูปที่ 4.2 มะพร้าวพันธุ์สวีลูกผสม 1 หรือพันธุ์ม่าว่า (ผลขนาดเล็ก)

4.1.3 การแบ่งช่วงอายุของมะพร้าว (Maturity Stage)

รูปที่ 4.3 แสดงภาพของผลมะพร้าวในแต่ละช่วงอายุของมะพร้าว ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการแบ่งช่วงอายุของมะพร้าวโดยวิธีการนับจำนวนวันหลังจากออกดอก และทำการแบ่งออกเป็น 3 ช่วงอายุ คือ ช่วงอายุอ่อน (Young Age) นับหลังจากวันออกดอกเป็นเวลา 6 เดือน ช่วงอายุปานกลาง (Early Ripen) นับหลังจากวันออกดอกเป็นเวลา 9 เดือน และช่วงอายุแก่ (Ripen) นับหลังจากวันออกดอกเป็นเวลา 12 เดือน สำหรับการทดสอบกำหนดให้ช่วงอายุอ่อนเป็นสถานะที่ 1 (State 1) ช่วงอายุปานกลางเป็นสถานะที่ 2 (State 2) และช่วงอายุแก่เป็นสถานะที่ 3 (State 3) ตามลำดับ

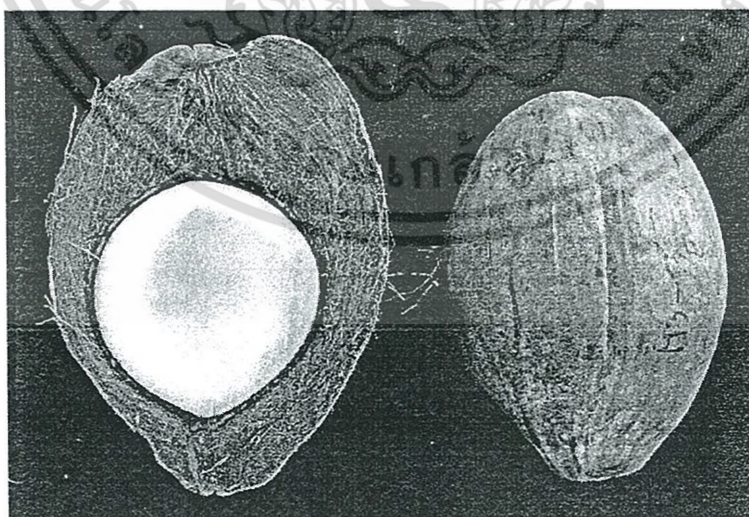
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) อายุอ่อน (Young Age)



(ข) อายุปานกลาง (Early Ripen)



(ค) อายุแก่ (Ripen)

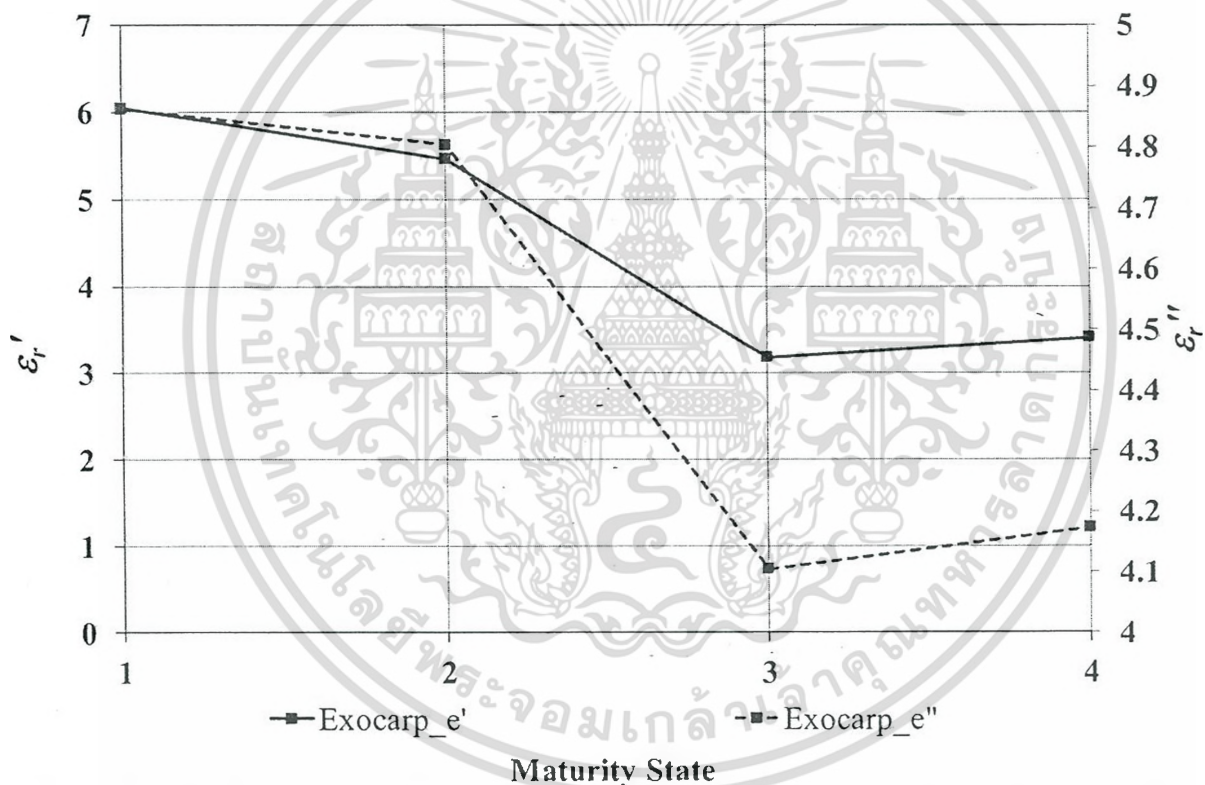
รูปที่ 4.3 ช่วงอายุของมะพร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

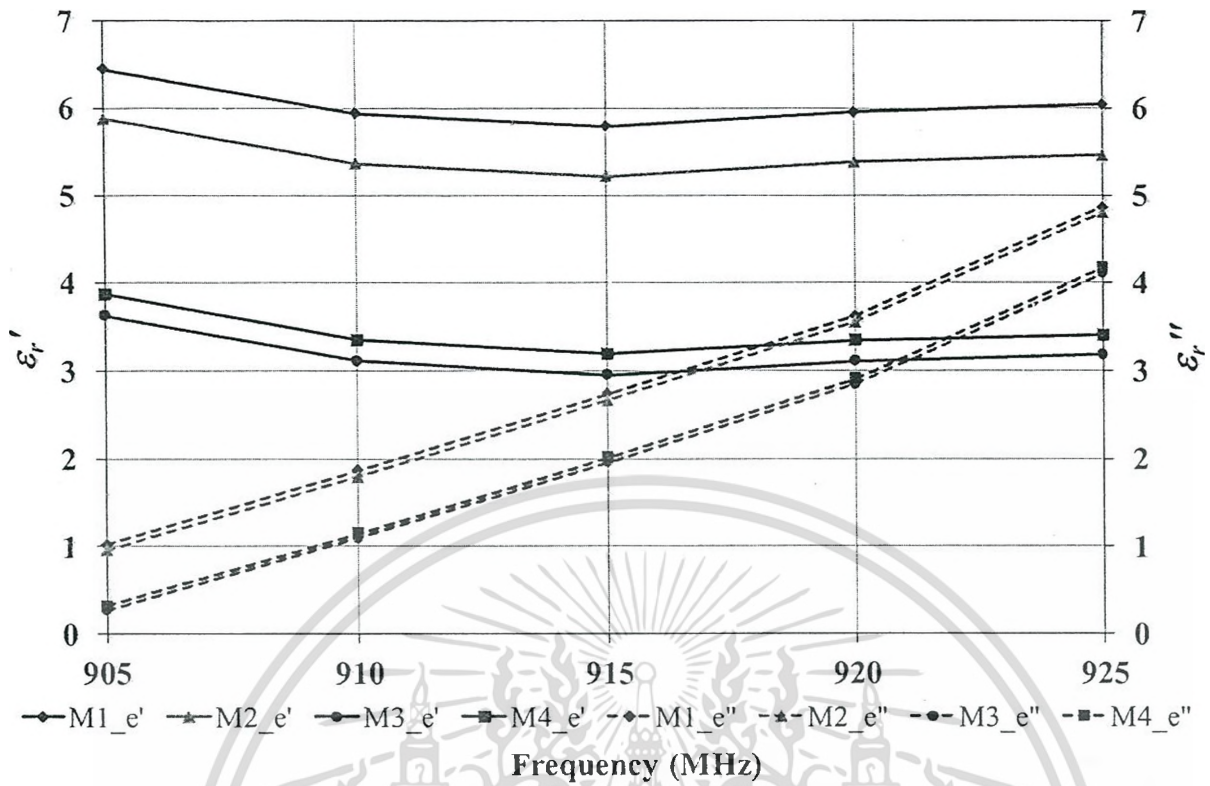
4.2 การทดสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าและคุณสมบัติทางเคมีของผลมะพร้าว

ในการทดสอบนี้ทำการทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเปลือกมะพร้าว (Exocarp) เนื้อมะพร้าว (Endosperm) และน้ำมะพร้าว (Coconut Water) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric Constant) ของผลมะพร้าว ช่วงอายุของมะพร้าว และความถี่

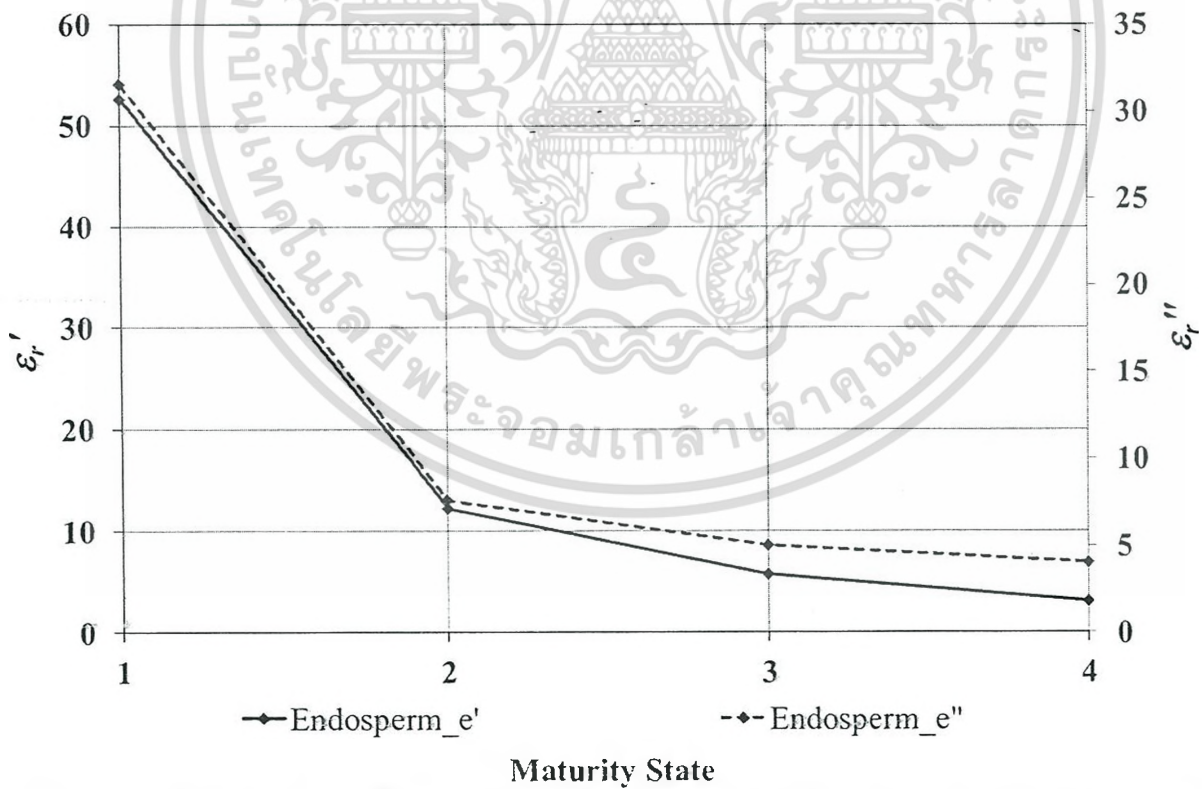
การทดสอบนี้ใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) [21] และโพรบสำหรับวัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริก [22] สามารถวัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า (Permittivity) ในช่วงความถี่กว้างตั้งแต่ 200 เมกะเฮิรตซ์ ถึง 20 กิกะเฮิรตซ์ ในการทดสอบเพื่อหาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกจะใช้โพรบทำการทดสอบที่บริเวณเปลือก เนื้อ และน้ำมะพร้าวของผลมะพร้าวในแต่ละช่วงอายุ จากการทดสอบดังกล่าวได้ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.4 - 4.9 สำหรับการทดสอบหาค่าคุณสมบัติทางเคมีด้วยวิธีการภายในห้องปฏิบัติการเคมี พบว่าผลการทดสอบสรุปได้ดังในตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.4 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของเปลือกมะพร้าว (Exocarp) ที่เป็นฟังก์ชันของความอ่อนแก่ (Maturity) ของผลมะพร้าว

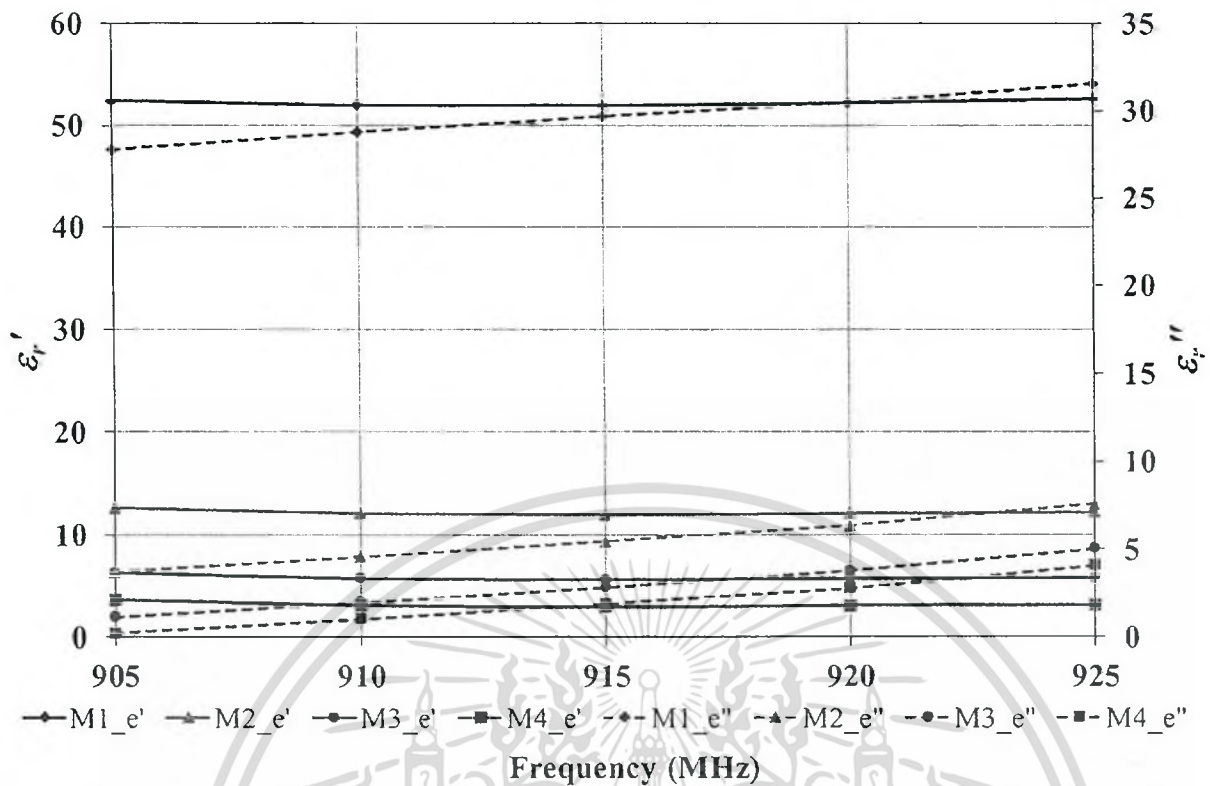


รูปที่ 4.5 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของเปลือกมะพร้าว (Exocarp) ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ (Frequency)

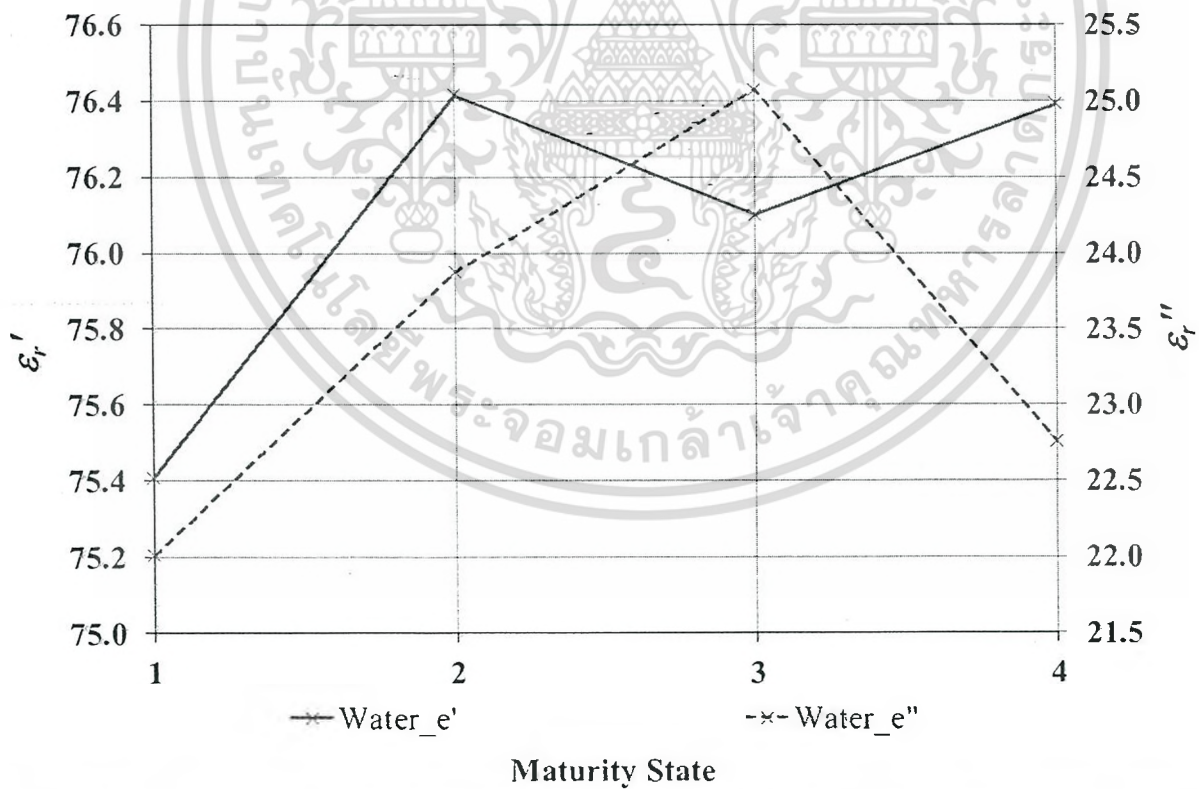


รูปที่ 4.6 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของเนื้อมะพร้าว (Endosperm) ที่เป็นฟังก์ชันของความอ่อนแก่ (Maturity) ของผลมะพร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

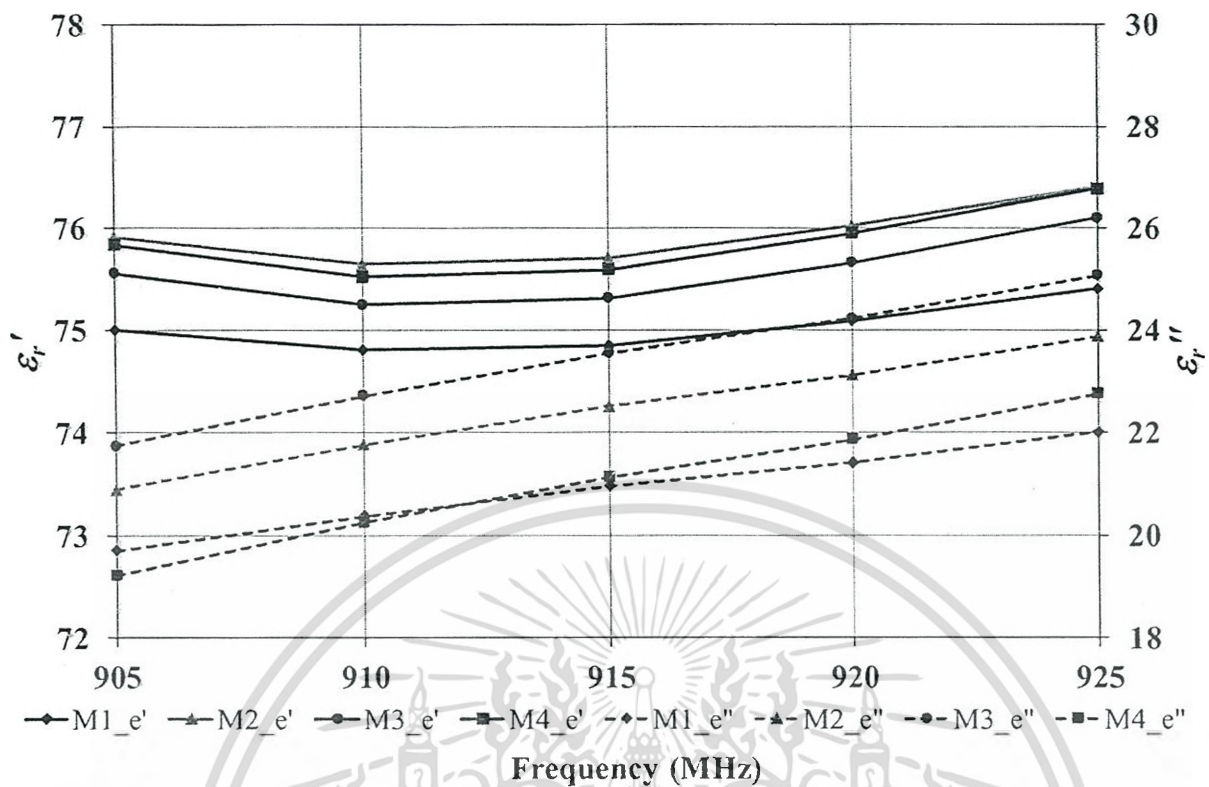


รูปที่ 4.7 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของเนือมะพร้าว (Endosperm) ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ (Frequency)



รูปที่ 4.8 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำมะพร้าว (Coconut Water) ที่เป็นฟังก์ชันของความอ่อนแก่ (Maturity) ของผลมะพร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำมะพร้าว (Coconut Water) ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ (Frequency)

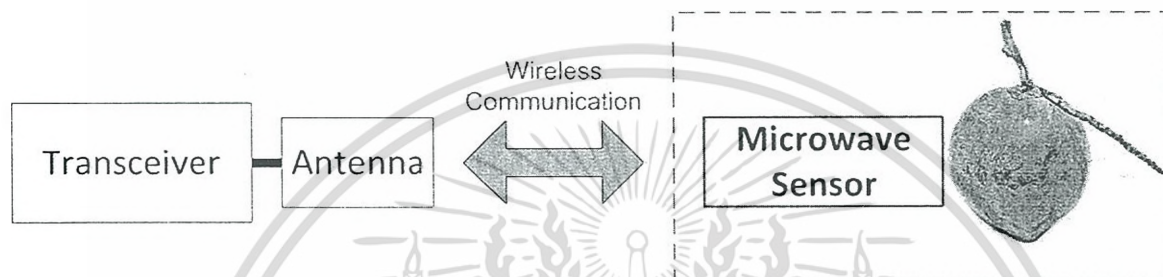
ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติทางเคมีและทางไฟฟ้าของผลมะพร้าวมาว่า (ผลขนาดเล็ก)

Maturity stage	Coconut oil (%)	Dry weight (g)	Dielectric constant (ϵ)	
Stage 1: Young (6-8 months)	13.98	1.03	Exocarp:	6.05+j4.86
			Endosperm:	52.63+j31.53
			Water:	75.41+j22.01
Stage 2: Early Ripen (9-10 months)	15.30	1.10	Exocarp:	3.18+j4.10
			Endosperm:	5.74+j5.01
			Water:	76.10+j25.07
Stage 3: Ripen (12-15 months)	17.00	1.11	Exocarp:	3.41+j4.17
			Endosperm:	3.10+j4.05
			Water:	76.39+j22.75

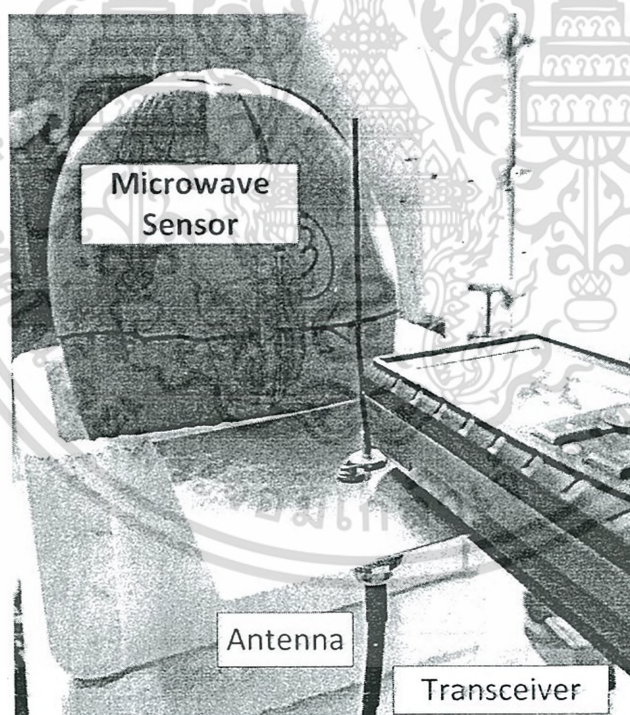
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดสอบระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีและเครื่องอ่านข้อมูล

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงการทดสอบระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีและเครื่องอ่านข้อมูล รูปที่ 4.10 แสดงระบบการทดสอบคุณสมบัติของผลมะพร้าวที่นำมาทดสอบด้วยวิธีการแบบไม่ทำลาย (Nondestructive Testing) โดยอาศัยการทดสอบระยะการติดต่อสื่อสารแบบไร้สายระหว่างเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีที่ทำการออกแบบไว้ในบทที่ 3 กับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดี ซึ่งระบบการทดสอบประกอบด้วยเครื่องส่งและรับข้อมูล (Transceiver) หรือเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดี (RFID Reader) สายอากาศสำหรับเครื่องอ่านข้อมูล (Transceiver Antenna) และเซ็นเซอร์ (Sensor) ดังแสดงในรูปที่ 4.10(ก)



(ก) การออกแบบระบบทดสอบ



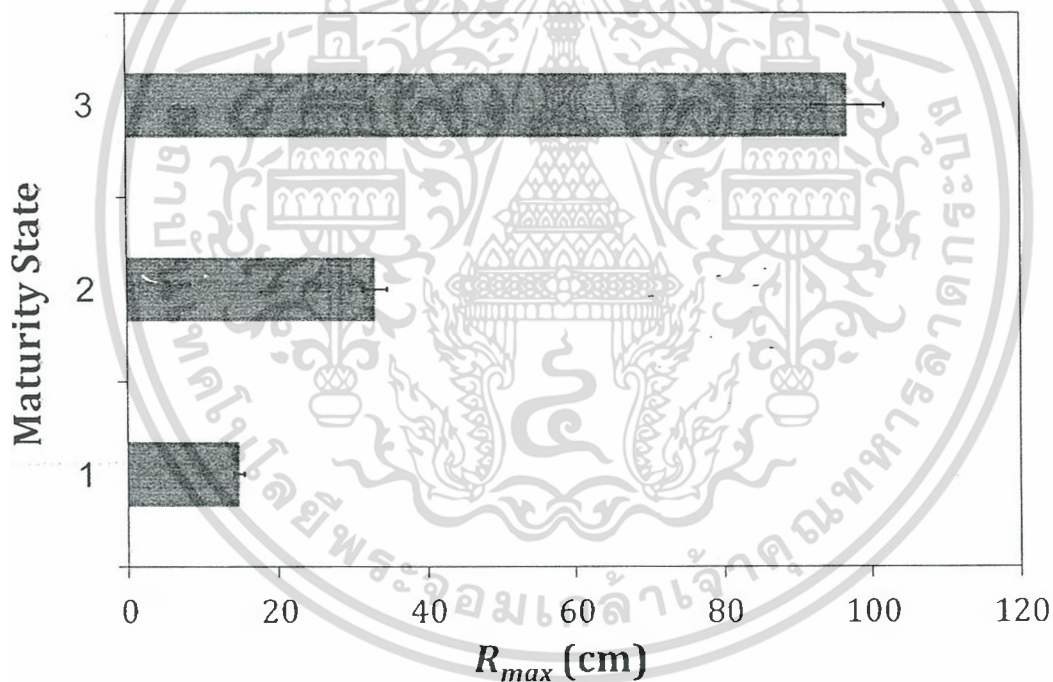
(ข) ระบบทดสอบจริง

รูปที่ 4.10 ระบบการทดสอบระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีกับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 ผลการทดสอบระยะการติดต่อสื่อสารที่ไกลที่สุดระหว่างเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีกับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดี

เมื่อติดตั้งเครื่องมือสำหรับการทดสอบหาระยะการติดต่อสื่อสารที่ไกลที่สุด (R_{max}) ดังแสดงในรูปที่ 4.10 (ข) ในการทดสอบนี้ใช้สายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลเป็นชนิดสายอากาศโมโนโพลบนระนาบกราวด์ และติดตั้งสายอากาศดังแสดงในรูปที่ 4.10 (ข) เพื่อให้สายอากาศมีการโพลาไรซ์เป็นแบบเชิงเส้นในแนวตั้ง จากนั้นติดตั้งเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีบนผิวของเปลือกมะพร้าวดังแสดงในรูปที่ 4.10 (ข) เพื่อให้การโพลาไรซ์ของสายอากาศของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีมีโพลาไรซ์ตรงกันกับของสายอากาศของเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีซึ่งจะทำให้สามารถหาระยะการติดต่อสื่อสารที่ไกลที่สุดได้ เมื่อทำการส่งสัญญาณความถี่ในช่วงตั้งแต่ 920 เมกะเฮิร์ตซ์ ถึง 925 เมกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งเป็นความถี่ในย่านความถี่สูงยิ่งหรือความถี่ยูเอชเอฟ (UHF) ที่ประเทศไทยอนุญาตให้ใช้สำหรับเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี ไปยังผลมะพร้าวที่มีการติดตั้งเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีไว้จะเกิดการสะท้อนกลับของสัญญาณ (Backscattering Signal) กลับมายังเครื่องรับสัญญาณ จากการทดสอบ พบว่าเมื่อมะพร้าวมีอายุมากขึ้นจะส่งผลให้ระยะการติดต่อสื่อสารที่ไกลที่สุดเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.11



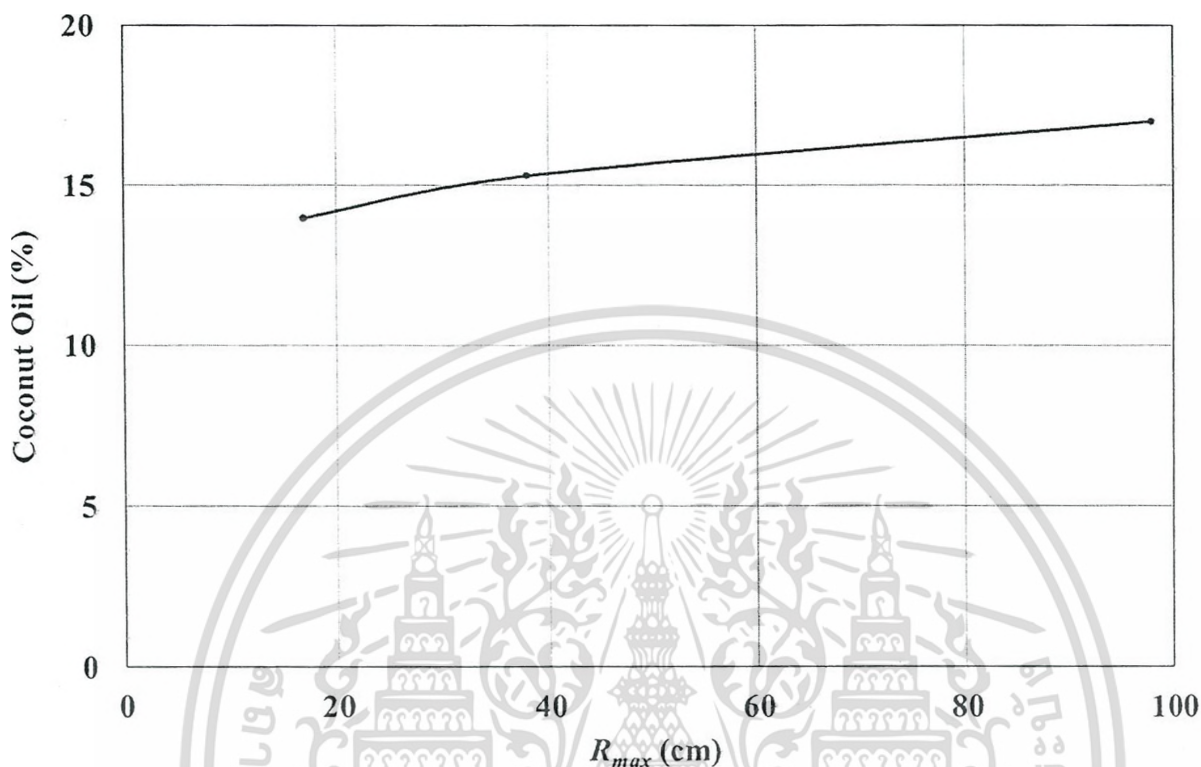
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะการติดต่อสื่อสารที่ไกลที่สุด (R_{max}) กับความอ่อนแก่ของผลมะพร้าว

4.3.2 การทดสอบค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันมะพร้าว

จากผลการทดสอบในหัวข้อที่ผ่านมา เมื่อนำมาพิจารณาร่วมกับค่าความสัมพันธ์ระหว่างระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีเมื่อติดบนผิวของเปลือกมะพร้าวในแต่ละช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อายุ และค่าคุณสมบัติทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 4.3 พบว่าสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการหาค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันมะพร้าวได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำมันมะพร้าวกับระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดี

การออกแบบเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีที่เหมาะสมและนำมาทดสอบหาระยะการติดต่อสื่อสารที่ไกลที่สุดระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลและเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานในการแยกแยะความอ่อนแก่และหาค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันมะพร้าวได้ซึ่งเป็นวิธีการทางคลื่นไมโครเวฟโดยวิธีการไม่ทำลายวัสดุภายใต้การทดสอบ ดังนั้นเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีที่นำเสนอนี้เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานเพื่อหาค่าคุณสมบัติของผลไม้ชนิดต่าง ๆ ได้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทนี้กล่าวถึงสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะเพื่อใช้ในการพัฒนาและปรับปรุงเซ็นเซอร์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

5.1 เซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดี

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีทั้งแบบมีชิพและไม่มีชิพวงจรรวม โดยแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ดังนี้

5.1.1 เซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบมีชิพวงจรรวม สามารถแบ่งย่อยออกได้เป็น 2 แบบ คือ

1. เซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีที่มีวัสดุฐานรองหนา 0.8 มิลลิเมตร ซึ่งไม่สามารถโค้งงอได้
2. เซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีที่มีวัสดุฐานรองหนา 0.1 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถโค้งงอได้

5.1.2 เซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบไม่มีชิพวงจรรวม สามารถแบ่งย่อยออกได้เป็น 2 แบบ คือ

1. เซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีที่ตอบสนองได้ 1 ย่านความถี่ คือย่านความถี่เอชเอฟ
2. เซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีที่ตอบสนองได้ 2 ย่านความถี่ คือย่านความถี่เอชเอฟและย่านความถี่ไมโครเวฟ

5.2 การประยุกต์ใช้งานเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดี

เซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีที่ออกแบบสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานสำหรับการแยกแยะความอ่อนแก่ของผลมะพร้าวและการหาค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันมะพร้าวด้วยวิธีการไม่ทำลายวัสดุภายใต้การทดสอบได้ ซึ่งข้อดีของวิธีการนี้ คือได้ผลการทดสอบที่ถูกต้อง รวดเร็ว และไม่ทำลายวัสดุที่นำมาทดสอบ นอกจากนี้ตัวเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีที่นำเสนอนี้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ซึ่งช่วยในการลดต้นทุนในการทดสอบคุณสมบัติของผลมะพร้าว

5.3 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีเพื่อใช้ในการแยกแยะความอ่อนแก่ของผลมะพร้าวและการหาค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันมะพร้าวด้วยวิธีการไม่ทำลายวัสดุภายใต้การทดสอบ อย่างไรก็ตามผลการทดสอบที่ได้จากเซ็นเซอร์ที่ออกแบบนี้ไม่สามารถแยกแยะความอ่อนแก่ของผลมะพร้าวแบบละเอียดได้ และปัญหาในการติดตั้งบนผิวของเปลือกมะพร้าวซึ่งทำได้ยาก ดังนั้นจึงควรออกแบบโครงสร้างของเซ็นเซอร์ให้มีขนาดเล็กและสามารถโค้งงอได้ สำหรับการออกแบบควรคำนึงถึงวิธีการนำไปติดตั้งบนผิวของเปลือกมะพร้าวด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย

บทนี้กล่าวถึงผลผลิตที่ได้จากงานวิจัยนี้ โดยแบ่งออกเป็นบทความวิจัยและตัวเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดี

6.1 บทความวิจัยระดับนานาชาติ

6.1.1 ตีพิมพ์และนำเสนอผลงานในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ หัวข้อเรื่อง Chipped and Chipless RFID Sensors for Quality Monitoring of Light Weight Concrete Using the Radar Equation ซึ่งงานประชุมวิชาการ 13th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON2016)

6.1.2 ตีพิมพ์และนำเสนอผลงานในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ หัวข้อเรื่อง Impedance effect of elliptical curved surface on RFID tag performances ซึ่งงานประชุมวิชาการ 2017 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2017)

6.1.3 ตีพิมพ์และนำเสนอผลงานในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ หัวข้อเรื่อง Nondestructive Determination of Coconut Oil using Microwave Dielectric Constant Sensing ซึ่งงานประชุมวิชาการ VI International Postharvest Unlimited Conference 2017

6.2 เซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดี

เซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดี จำนวน 20 ตัว มีรายละเอียด ดังนี้

6.2.1 เซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีที่มีวัสดุฐานรองหนา 0.8 มิลลิเมตร ซึ่งไม่สามารถโค้งงอได้ จำนวน 5 ตัว

6.2.2 เซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีที่มีวัสดุฐานรองหนา 0.1 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถโค้งงอได้ จำนวน 5 ตัว

6.2.3 เซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีที่ตอบสนองได้ 1 ย่านความถี่ คือย่านความถี่ยูเอชเอฟ จำนวน 5 ตัว

6.2.4 เซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีที่ตอบสนองได้ 2 ย่านความถี่ คือย่านความถี่ยูเอชเอฟและย่านความถี่

ไมโครเวฟ จำนวน 5 ตัว

เอกสารอ้างอิง

- [1] ไมโนะ ไกรฤกษ์. (2554). โครงการเทคโนโลยีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อเกษตรยั่งยืน
- [2] K. Finkenzerler, RFID Handbook: Radio-frequency Identification Fundamentals and Applications, Wiley, New York, 1999.
- [3] มะพร้าว (ออนไลน์). สืบค้นจาก: <http://www.doa.go.th/hrc/chumphon/index.php?limitst=art=20> [15 มิถุนายน 2557]
- [4] S. Laurens, J. P. Balayssac, J. Rhazi, G. Klysz, and G. Arliguie, "Non-destructive evaluation of concrete moisture by GPR: Experimental study and direct modeling," RILEM Materials and Structures, Vol. 38, pp. 827-832, Jan. 2005.
- [5] O. Buyukozturk, "Electromagnetic properties of concrete and their significance in nondestructive testing," Transport. Research Board, Paper No. 970872, 1997.
- [6] U. C. Hasar, "Thickness-independent complex permittivity determination of partially filled thin dielectric materials into rectangular waveguides," Progress In Electromagnetics Research, Vol. 93, pp. 189-203, 2009.
- [7] <http://www.alientechology.com/readers/ema-enterprise/>
- [8] http://www.stronglink-rfid.com/en/rfid-readers.html?gclid=EAlalQobChMI_-ve2tXn2glV AZa9Ch0NXwiMEAYASAAEgK6IPD_BwE
- [9] http://www.gaorfid.com/index.php?main_page=index&cPath=89
- [10] แท็กแบบพาสซีฟ (ออนไลน์). สืบค้นจาก: http://ukrfid.innoware.co.uk/hardware/rfid_tags [15 มิถุนายน 2557]
- [11] แท็กแบบพาสซีฟ (ออนไลน์). สืบค้นจาก: http://www.hartlandsimon.com/RF_Tags.php [15 มิถุนายน 2557]
- [12] แท็กแบบแอคทีฟ (ออนไลน์). สืบค้นจาก: <http://www.digikey.com/product-detail/en/ACTIVE%20TAG%20REFERENCE%20DESIGN%20KIT/ACTIVE%22TAG%20REFERENCE%20DESIGN%20KIT-ND/3828227> [15 มิถุนายน 2557]
- [13] แท็กแบบแอคทีฟ (ออนไลน์). สืบค้นจาก: http://www.gaorfid.com/index.php?main_page=product_info&cPath=135&products_id=1056 [15 มิถุนายน 2557]
- [14] แท็กแบบกึ่งแอคทีฟ (ออนไลน์). สืบค้นจาก: <http://www.semiconductorstore.com/cart/pc/viewPrd.asp?idproduct=48377> [15 มิถุนายน 2557]
- [15] มาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องโทรคมนาคมและอุปกรณ์ เรื่องเครื่องวิทยุคมนาคมประเภท Radio Frequency Identification: RFID (กทข. มท. 1010-2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [16] มาตรฐานความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการใช้เครื่องวิทยุคมนาคม (กทช. มท. 5001-2550)
- [17] R. Suwalak, C. Phongcharoenpanich, D. Torrungrueng and M. Krairiksh, "Determination of Dielectric Property of Construction Material Products Using a Novel RFID Sensor," Progress in Electromagnetics Research, vol. 130, pp. 601-617, Aug. 2012.
- [18] J. Siden, X. Zeng, T. Unander, A. Koptyug, and H. E. Nilsson, "Remote moisture sensing utilizing ordinary RFID tags," 2007 IEEE Sensors Conference, pp. 308-311, Oct. 2007.
- [19] S. D. Nguyen, T. T. Pham, E. F. Blanc, N. N. Le, C. M. Dang and S. Tedjini, "Approach for quality detection of food by RFID-based wireless sensor tag," Electronics Letters, vol. 49, No. 25, pp. 1588-1589, Dec. 2013.
- [20] S. Kim, A. Traille, H. Lee, H. Aubert, K. Yoshihiro, A. Georgiadis, A. Collado, M. M. Tentzeris, "Inkjet-printed Sensors on Paper Substrate for Agricultural Applications," European Microwave Conference (EuMC), pp. 866-869, Oct. 2013.
- [21] <https://www.keysight.com/en/pcx-x2015001/network-analyzers?cc=TH&lc=eng>
- [22] <https://www.keysight.com/en/pd-1000004359%3Aeps%3Apro-pn-85070D/high-temperature-dielectric-probe-kit?nid=-536902477.536879965&cc=TH&lc=eng>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลาดำเนินการวิจัย 1 ปี เริ่มตั้งแต่เดือนตุลาคม 2558 ถึงเดือนกันยายน 2559 มีรายละเอียดดังนี้

การดำเนินงาน	ระยะเวลา (เดือน)												
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	
1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีมาก่อน	→												
2. ออกแบบและวิเคราะห์เซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบใหม่		→											
3. สั่งซื้อวัสดุอุปกรณ์สำหรับสร้างเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบใหม่			→										
4. สร้างและทดสอบคุณลักษณะของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบใหม่ และปรับปรุงประสิทธิภาพของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบใหม่			→										
5. ทดสอบประสิทธิภาพของเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบใหม่ เมื่อนำไปใช้งานร่วมกับผลไม้									→				
6. สรุปและวิจารณ์ผลการทดสอบ												→	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดงบประมาณการวิจัย จำแนกตามงบประมาณประเภทต่าง ๆ

รายการ	จำนวนเงิน
1. งบบุคลากร	
ค่าจ้างชั่วคราว
2. งบดำเนินงาน	
2.1 ค่าตอบแทน ใช้สอยและวัสดุ	
2.1.1 ค่าตอบแทน
2.1.2 ค่าใช้สอย เช่น	55,000
1) ค่าพาหนะ	5,000
2) ค่าจ้างทำชิ้นงานและกัดลายวงจร	10,000
3) ค่าจ้างเหมาสร้างโครงสร้างและประกอบชิ้นส่วน	10,000
4) ค่าใช้จ่ายในการเดินทางเข้าร่วมการประชุม/ สัมมนาทางวิชาการหรือ การนำเสนอผลงาน	20,000
5) ค่าจ้างเหมาจัดทำรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์	10,000
2.1.3 ค่าวัสดุ เช่น	216,500
1) ชุดโครงสร้างและชิ้นส่วนสายอากาศ	50,000
2) แผ่นวงจรและชิปวงจรรวม	20,000
3) อุปกรณ์แสดงผล	25,000
4) สายนำสัญญาณและคอนเนคเตอร์	30,000
5) ค่าวัสดุสำนักงาน	5,000
6) ค่าหนังสือ วารสารและตำรา	10,000
7) ตัวประมวลผลสัญญาณ	10,000
8) เมนบอร์ด	8,000
9) หน่วยความจำประมวลผล	6,000
10) หน่วยบันทึกความจำ	5,000
11) ตัวจ่ายกำลังงานและเครื่องสำรองไฟฟ้า	8,500
12) โครงสร้างตัวประมวลผล	3,000
13) คีบอร์ดและเมาส์	1,000
14) ค่าวัสดุการทดลองและการทดสอบ	35,000
3. งบลงทุน	
ค่าเครื่องอ่านข้อมูล RFID (RFID Reader)	115,600
รวมงบประมาณที่เสนอขอ	387,100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
เอกสารผลงานวิจัยที่ได้รับจากการทำโครงการวิจัยและได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chipped and Chipless RFID Sensors for Quality Monitoring of Light Weight Concrete Using the Radar Equation

Rattapong Suwalak

School of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Prince of Chumphon Campus,
Chumphon, Thailand
rattapong.su@kmitl.ac.th

Danai Torrungrueng

Faculty of Engineering and Technology,
Asian University,
Chonburi, Thailand
danait@asianu.ac.th

Chuwong Phongcharoenpanich

Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Bangkok, Thailand
kpchuwon@kmitl.ac.th

Abstract—Chipped and chipless RFID (Radio frequency identification) sensors for quality monitoring of light weight concrete (LWC) using the radar equation are presented. In this paper, a printed loop tag with a meander-line is employed as a chipped RFID sensor and a dual printed perpendicular square loop tag is employed as a chipless RFID sensor. The optimum parameters of the proposed RFID sensors are obtained using the CST Microwave Studio program. Both RFID sensors with/without IC chip are used to improve the accuracy of dielectric material determination. In addition, the relation between the read range (R_{max}) and the real part of dielectric constant (ϵ_r') is studied. It is found that it can be used to determine the dielectric constant of LWC.

Keywords—chipless tag; dielectric material; light weight concrete; radar cross section; RFID sensor.

1. INTRODUCTION

Recently, the radio frequency identification (RFID) is widely used in many applications. Although, the majority of the RFID is the identification and tracking, however, it can be employed as an RFID sensor. The traditional RFID sensors require additional specific sensors, such as humidity, temperature, motion, light and sound sensors, to be integrated with RFID tags [1]-[6]. On the contrary, the proposed RFID sensor does not require additional specific sensors to determine dielectric properties of MUTs and only specifically designed tags are required [7].

In order to minimize cost, the chipless RFID sensor is instead of the chipped one. In [8], a chipless tag based on multiresonators with integrated temperature sensor was presented. It is possible to decode the information by measuring the magnitude and phase of the backscattered tag signal and also the RCS. The chipless RFID tag using the polarization diversity technique to encode information was presented [9]. This technique is based on the versatility of the rotation angle of split ring resonators. Furthermore, a hybrid RFID strain sensor utilizing both chipped and chipless approaches was presented in [10] to detect an embroidered RFID-enabled sensor. Both read-range extraction technique, relying upon the detection of the threshold power required to activate an RFID IC and the radar-cross section (RCS)-based technique are reported. However, these techniques of the chipless RFID sensors have been using a two-port vector network analyzer (VNA).

This paper proposes printed passive meander-line tag and dual printed perpendicular square loops tag to quality monitoring of lossy LWCs through their dielectric constant using the radar equation that it does not require a VNA. Note that the RFID tag performances are affected by many factors such as tag locations, size, especially, environment or properties of the material on or near an RFID tag.

This paper is organized as follows. Section II presents the theory and design of RFID sensors. Results and discussions are shown in Section III. Finally, Section IV provides conclusions.

II. THEORY AND DESIGN OF RFID SENSORS

To monitoring a quality of material, a RFID sensor system is proposed as shown in Fig. 1. It consists of two parts i.e. the RFID reader with antenna and the other is the RFID tag placed on the material under test (MUT). In this paper, a passive RFID tag with/ without IC chip, called chipped and chipless RFID-sensors, respectively, are employed as a wireless sensor to determine the dielectric constant of MUTs. The printed loop tags are placed on the surface of an MUT which is a lossy light weight concrete (LWC) used in construction as shown in Fig. 2. For the chipped RFID sensor, the tag antenna is designed such that its input impedance is conjugately matched with the IC chip impedance of NXP UCODE to achieve a good matching between the IC chip and antenna for a maximum power transfer. For the chipless RFID sensor, the antenna is designed and optimized by using the EM simulation program for a maximum radar cross section (RCS) under the same dimension of the FR-4 substrate of the chipped RFID sensor.

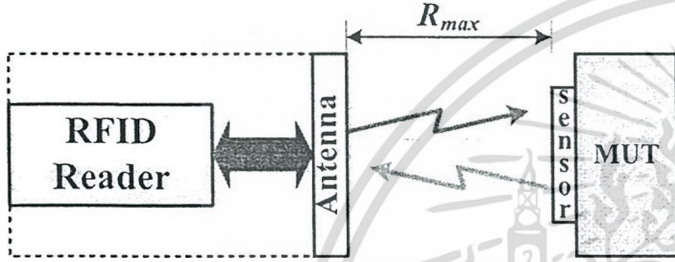


Fig. 1. An RFID sensor system.

In addition, the received power (P_r) and the read range (R_{mat}) of RFID sensors in the presence of an MUT are calculated by using the radar equation instead of the modified Friis transmission formula in [7] due to using the low-sensitivity receiver of the RFID reader to reduce the cost.

Using the radar equation, the received power can be expressed as

$$P_r = \sigma \cdot P_{reader-tx} \cdot \frac{(G_{reader-tx})^2}{4\pi} \left[\frac{\lambda}{4\pi R_{mat}^2} \right]^2, \quad (1)$$

where σ is the RCS of the MUT with an attached tag, $P_{reader-tx}$ is the input power of the reader antenna, $G_{reader-tx}$ is the gain of the reader antenna, λ is the free space wavelength, and the R_{mat} is the distance between the RFID reader antenna and the tag antenna in the presence of the MUT. By manipulation of (1), we can express the read range $R_{max,mat}$ as

$$R_{max,mat} = \sqrt[4]{\sigma \cdot \left(\frac{P_{reader-tx}}{P_{r,min}} \right) \cdot \frac{(G_{reader-tx})^2}{4\pi} \cdot \left(\frac{\lambda}{4\pi} \right)^2}, \quad (2)$$

where $P_{r,min}$ is the minimum received power of the RFID reader. Using the same RFID reader, the read ranges of the

chipped and chipless RFID sensors (denoted as $R_{max,Chipped}$ and $R_{max,Chipless}$, respectively) are related as follows:

$$\frac{R_{max,Chipped}}{R_{max,Chipless}} = \left(\frac{\sigma_{Chipped}}{\sigma_{Chipless}} \right)^{\frac{1}{4}}, \quad (3)$$

where $\sigma_{Chipped}$ and $\sigma_{Chipless}$ are the RCSs of the chipped RFID sensors and chipless RFID sensor in the presence of MUT, respectively. It should be pointed out that the ratio of R_{max} in (3) does not depend on the parameters of RFID reader ($P_{reader-tx}$, $G_{reader-tx}$, and $P_{r,min}$), and it solely depends on the ratio of σ .

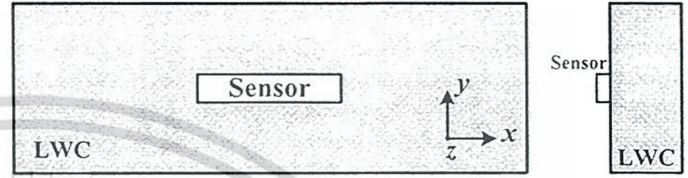


Fig. 2. An LWC with an attached RFID sensor.

III. RESULTS AND DISCUSSIONS

Figures 3 and 4 show the printed loop tag with a meander-line and the dual printed perpendicular square loop tag that are designed and simulated using the CST Microwave Studio program [11] based on the Finite Integral Technique (FIT). The printed loop tag with a meander-line is employed as the chipped RFID sensor. It is designed and optimized its dimensions to obtain almost conjugately match with the IC chip impedance of $16.5-j148.7 \Omega$ at 922.5 MHz in the presence of a lossy LWC, where RFID sensor is placed at the center location of the LWC as shown in Fig. 2. Moreover, the dual printed perpendicular square loop tag is employed as the chipless RFID sensor optimized to obtain the maximum RCS with the dielectric constant of $2.5-j0.2$ at 922.5 MHz.

To study characteristics of the RFID sensors placed on the material, the lossy LWC that it has the dimension of $600 \text{ mm} \times 200 \text{ mm} \times 75 \text{ mm}$ with the dielectric constant ($\epsilon_r = \epsilon'_r - j\epsilon''_r$) of $2.5-j0.2$ at 922.5 MHz for the dry state and $8-j1.08$ for the saturated state is used.

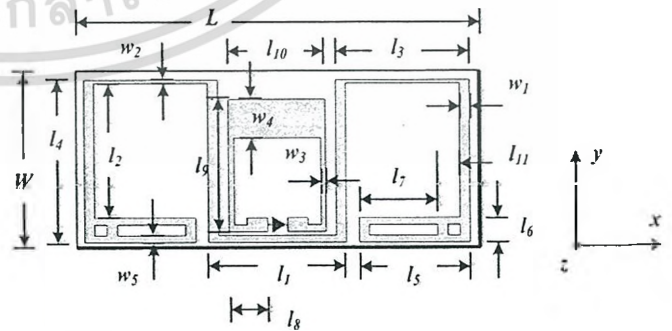


Fig. 3. The chipped RFID sensor structure.

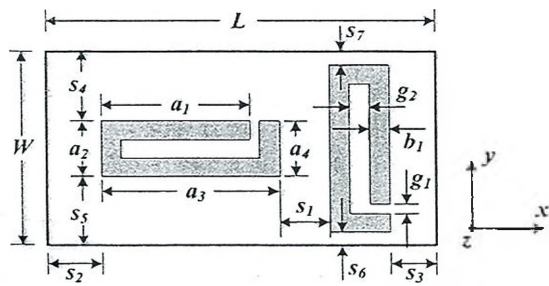


Fig. 4 The chipless RFID sensor structure.

Note that two RFID sensors are printed on the FR-4 substrate with the dielectric constant of 4.3 and the loss tangent of 0.025. The overall dimensions of two RFID sensors are 39.5 mm \times 25 mm \times 0.8 mm. Only the dry-state LWC is of interest in this paper for illustration purpose.

From simulations, the optimum parameters and the characteristics of the chipped RFID sensor mounted on the lossy LWC for the dry state are illustrated in Tables I and II, respectively. In Table II, $G_{tag,mat}$ and τ_{mat} are the gain of the tag antenna and the power transmission coefficient of the chipped RFID sensor in the presence of the lossy LWC, respectively. In addition, the optimum parameters of the chipless RFID sensor are shown in Table III.

The RCS and R_{max} of the chipped and chipless RFID sensors placed on the lossy LWC is shown in Fig. 5. It is obvious that the RCS of the chipped RFID sensors is significantly greater than that of the chipless RFID sensor, except at $\epsilon'_r = 8$. In addition, the R_{max} are similar trend of their RCS as illustrated in Fig. 5.

TABLE I. OPTIMUM PARAMETERS OF THE CHIPPED RFID SENSOR.

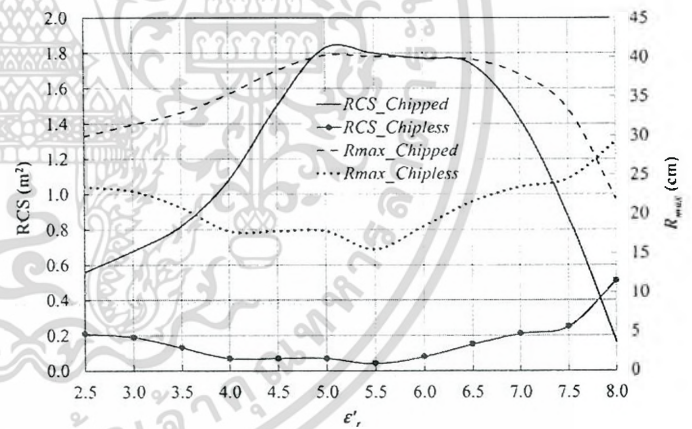
Parameter (mm)	Chipped RFID	Parameter (mm)	Chipped RFID
L	39.5	l_8	3.75
W	25	l_9	19
l_1	13.5	l_{10}	9.5
l_2	19.3	l_{11}	2.25
l_3	13.25	w_1	1
l_4	23.3	w_2	0.5
l_5	11	w_3	0.5
l_6	3.5	w_4	5.5
l_7	7.75	w_5	1

TABLE II. RFID SENSOR CHARACTERISTICS FOR THE LOSSY LWC WITH THE DRY STATE.

Characteristic	Chipped RFID Sensor
Input Impedance (Ω)	15.7+j148.6
$G_{tag,mat}$ (dBi)	-8.2
τ_{mat} (%)	99.94
Polarization	Linear

TABLE III. OPTIMUM PARAMETERS OF THE CHIPLESS RFID SENSOR.

Parameter (mm)	Chipless RFID	Parameter (mm)	Chipless RFID
L	39.5	g_2	2
W	25	s_1	5
a_1	15	s_2	5.75
a_2	6	s_3	4.75
a_3	18	s_4	7.5
a_4	6	s_5	7.5
b_1	2	s_6	1.5
g_1	1	s_7	1.5

Fig. 5. The RCS and R_{max} of chipped and chipless RFID sensors on the lossy LWC as a function of ϵ'_r with $\epsilon''_r = 0.2$ at 922.5 MHz.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

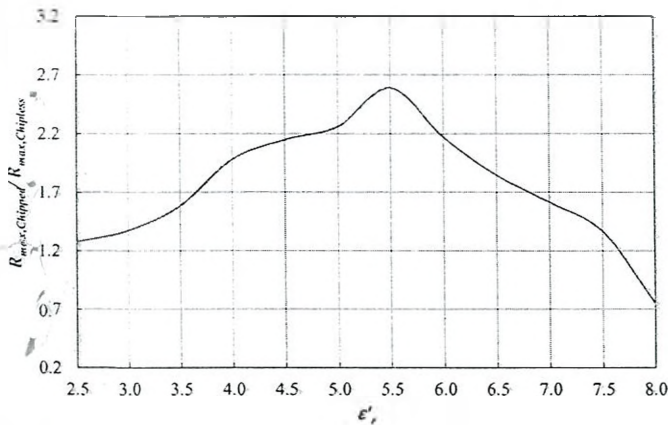


Fig. 6. The plot of $R_{max,Chipped}/R_{max,Chipless}$ versus ϵ'_r of two RFID sensors with $\epsilon''_r = 0.2$ at 922.5 MHz.

The relation between $R_{max,Chipped}/R_{max,Chipless}$ and ϵ'_r of two RFID sensors designed for the dry-state LWC is plotted in Fig. 6 to determine the dielectric constant of the lossy LWC. It is found that the ratio of R_{max} tends to increase as increasing ϵ'_r until ϵ'_r is equal to 5.5, and is dramatically decreased to 0.75 at $\epsilon'_r = 8$. After obtaining both plots of dry-state and saturated-state LWCs, a straightforward procedure of the dielectric-constant determination of the lossy LWC under test can be readily followed as discussed in detail in [7].

IV. CONCLUSIONS

The characteristics of the chipped and chipless RFID sensors in the presence of the lossy LWC under test are studied. It is found that the read range in the presence of the lossy LWC depends on the value of ϵ'_r . Therefore, the quality of LWC can be monitored through the dielectric constant based on the radar cross section of the chipped and the chipless RFID sensors. In the future, relevant measurements will be performed as well.

ACKNOWLEDGMENT

This work has been supported by the National Research Council of Thailand through the NRCT no. A118-59-077 and the Thailand Research Fund through the TRF Grant for New Researcher Program under Grant No. TRG5880015.

REFERENCES

- [1] C. Calabrese and G. Marrocco, "Meandered-slot antennas for sensor-RFID tags," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 7, pp. 5-8, 2008.
- [2] C. Occhiuzzi, S. Cippitelli, and G. Marrocco, "Modeling, design and experimentation of wearable RFID sensor tag," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 58, no. 8, pp. 2490-2498, Aug. 2010.
- [3] M. Brandl, J. Grabner, K. Kellner, F. Seifert, J. Nicolics, S. Grabner, and G. Grabner, "A low-cost wireless sensor system and its application in dental retainers," *IEEE Sensors Journal*, vol. 9, no. 3, pp. 255-262, Mar. 2009.

- [4] N. Gay and W.-J. Fischer, "Ultra-low-power RFID-based sensor mote," *2010 IEEE Sensors Conference*, pp. 1293-1298, Nov. 2010.
- [5] Z. Xiao, X. Tan, X. Chen, S. Chen, Z. Zhang, H. Zhang, J. Wang, Y. Huang, P. Zhang, L. Zheng, and H. Min, "An Implantable RFID Sensor Tag toward Continuous Glucose Monitoring," *IEEE Trans. Biomedical and Health Informatics*, vol. 19, no. 3, pp. 910-919, May 2015.
- [6] D. P. Rose, M. E. Ratterman, D. K. Griffin, L. Hou, N. K. Loughnane, R. R. Naik, J. A. Hagen, I. Papautsky, and J. C. Heikenfeld, "Adhesive RFID Sensor Patch for Monitoring of Sweat Electrolytes," *IEEE Trans. Biomedical Engineering*, vol. 62, no. 6, June 2015.
- [7] R. Suwalak, C. Phongcharoenpanich, D. Torrungrueng, and M. Krairiksh, "Determination of dielectric property of construction material products using a novel RFID sensor," *Progress In Electromagnetics Research*, vol. 130, pp. 601-617, Sep. 2012.
- [8] S. Preradovic and N. Karmakar, "Chipless RFID tag with integrated sensor," *2010 IEEE Sensors Conference*, pp. 1277-1281, Nov. 2010.
- [9] A. Vena, E. Perret, and S. Tedjini, "A compact chipless RFID tag using polarization diversity for encoding and sensing," *2012 IEEE International Conference on RFID*, pp. 191-197, April 2012.
- [10] M. Hasani, A. Vena, L. Sydänheimo, L. Ukkonen, and M. M. Tentzeris, "Implementation of a dual-interrogation-mode embroidered RFID-enabled strain sensor," in *Proc. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 12, Oct. 2013.
- [11] CST-Microwave Studio, User's Manual, 2006.

Impedance Effect of Elliptical Curved Surface on RFID Tag Performances

Rattapong Suwalak¹

¹School of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus,
Chumphon, Thailand
rattapong.su@kmitl.ac.th

Chuwong Phongcharoenpanich²

²Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Bangkok, Thailand
kpchuwon@kmitl.ac.th

Abstract—This paper presents the effect of the impedance curved surface to the characteristics of the RFID tag. The proposed passive RFID tag is placed on the elliptical curved surface. From the simulation result, it is found that the proposed RFID tag has a flat gain in the UHF RFID frequency band in Thailand. Moreover, the variation of the length and width of the elliptical surface is important effect on the input reactance of the RFID tag.

Keywords—curving; impedance surface; RFID tag; UHF

I. INTRODUCTION

In recent years, the application of the RFID has been increase on demand. The RFID tag is mounted on the different object and some of material surface are the curved or flexible surfaces. The different angles of the curvature of the tag antenna are reducing the performance of the RFID tag [1]. The wideband flexible antenna for RFID tag mounted on the curved metal surface is presented in [2]. S.-Y Wei et al. [3] studied on the performance degradation of RFID system due to curving in tag antenna. For curved multilayer strip dipole tag antenna for improve and perform stability of the impedance while being curved is proposed in [4]. However, the previous works proposed and analyzed for the only one curved surfaced.

In this paper, the effect of the impedance elliptical curved surface or the double curved surface is study on the input impedance and the RFID tag gain.

II. TAG ANTENNA STRUCTURE

The geometry of the proposed passive RFID tag is shown in Fig. 1. The tag antenna is based on the printed folded dipole antenna and is designed to conjugate matching with the input impedance of the integrate circuit (IC) chip of $9.1-j119 \Omega$ at 922.5 MHz. From the simulation using the CST-Microwave Studio [5], the optimum parameters of the proposed RFID tag on the flat substrate are tabulated in Table 1.

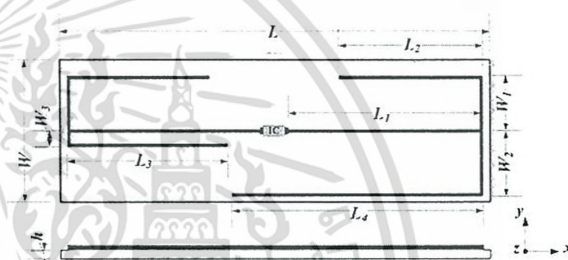


Fig. 1. The geometry of the designed RFID tag.

III. RFID TAG ON ELLIPTICAL SURFACE

This RFID tag is designed on the flexible substrate for mounting on the elliptical curved surface as shown in Fig. 2. The rectangular plate is made from the 0.1 mm-FR4 with the dielectric constant (ϵ_r) of 4.3. The RFID IC chip is placed at the center of the tag antenna is shown in Fig. 1. In this paper, the double curved surface has $\epsilon_r = 2$ and the length of major axis (y -axis: dy) and minor axis (in x -axis: dx) are 210 mm and 164 mm, respectively.

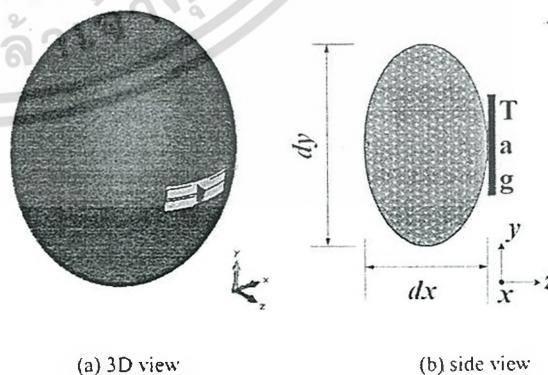


Fig. 2. The impedance curved surface structure and RFID tag location.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE I. THE OPTIMUM PARAMETERS OF TAG ANTENNA

Parameters	Dimension (mm)	Parameters	Dimension (mm)
L	60	L_e	35
W	20	W_1	7.5
L_1	28	W_2	9
L_2	19.8	W_3	2
L_3	24	h	0.1

IV. RESULTS

From the simulated results, the RFID tag placed on the flat substrate has the input impedance of $9+j118.9 \Omega$. For the printed folded dipole antenna is bended on the elliptical surface in the xy -plane is show in Fig. 2. The input impedance of the proposed RFID tag as a function of length of minor axis (dx) and major axis (dy) is shown in Fig. 3. It is found that the variations of the dimensions of elliptical material in x -axis and y -axis are effect to the input impedance in term of $R+jX$, especially for the imaginary part or the reactance (X) of the RFID tag antenna.

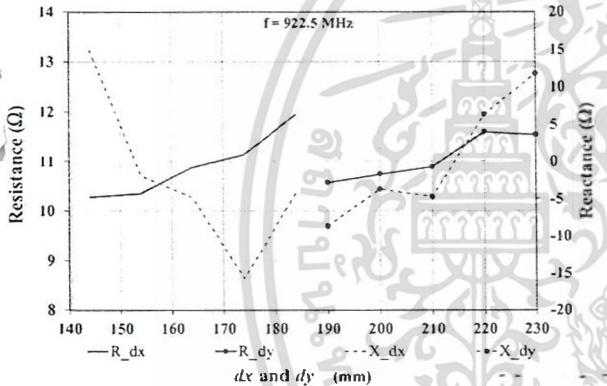


Fig. 3. The input impedance of the proposed RFID tag as a function of length of minor and major axes.

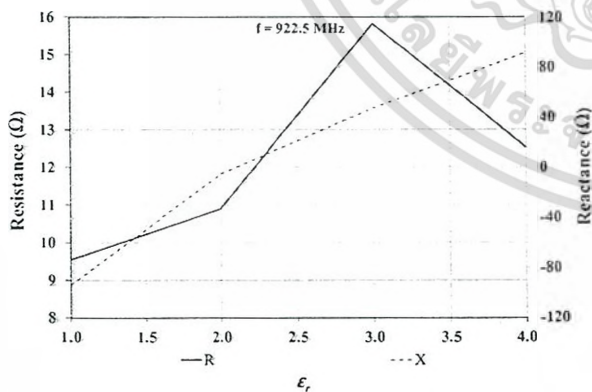


Fig. 4. The input impedance of the proposed RFID tag as a function of dielectric constant.

Figure 4 shows the input impedance of the RFID tag antenna when the dielectric constant of the curved surface is varying from 1 to 4. It is found that the input impedance of the RFID tag is tend to increase when the dielectric constant increasing. In Thailand, the UHF RFID frequency band of 920-925 MHz, the antenna gain of the proposed RFID tag is flat gain along the frequency as shown in Fig. 5.

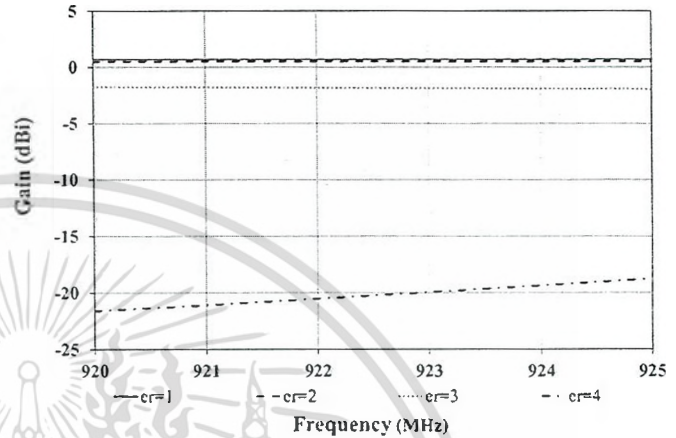


Fig. 5. The gain of the proposed RFID tag.

V. CONCLUSION

A printed flexible RFID tag is proposed and analyzed when mounted on the elliptical curved surface. The proposed RFID tag not only has a simple structure and but also single side-layer therefore it can be used to place on the various impedance curved surface.

ACKNOWLEDGMENT

This work has been supported by the National Research Council of Thailand through the NRCT no. A118-59-077.

REFERENCES

- [1] J. Ma, S. Li and S. Zhang, "Bending effect on antenna with radiation performance for electronic tag," in Proc. 2014 Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation, pp. 619-622, 2014.
- [2] H.-W. Son, H.-G. Jeon and J.-H. Cho, "Flexible wideband UHF RFID tag antenna for curved metal surfaces," Electronics Letters, Vol. 48, pp. 1-2, June 2012.
- [3] S.-Y. Wei, T.-J. Huang and H.-T. Hsu, "On the performance degradation of RFID system due to curving in tag antenna: assessment and solutions," in Proc. Wireless Information Technology and Systems (ICWITS2012), pp. 1-4, Nov. 2012.
- [4] C. Saetiaiw, S. Summart and C. Thongsopa, "Impedance improvement with curved multilayer strip dipole antenna for rfid tag," in Proc. Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON2015), pp. 1-4, June 2015.
- [5] CST-Microwave Studio, User's Manual, 2006.

Nondestructive Determination of Coconut Oil using Microwave Dielectric Constant Sensing

R. Suwalak^{1*} and C. Phongcharoenpanich²

¹Department of Engineering, Prince of Chumphon Campus, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chumkho, Pathiu, Chumphon Province, Thailand; ²Department of Telecommunication, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalongkrung Road, Ladkrabang, Bangkok, Thailand.

Abstract

Coconut oil is growing demands for many applications such as food, medical and cosmetic including in industry. The development of microwave sensing for the monitoring and the quality determination of coconut with nondestructive techniques are necessary. This paper presents the wireless sensing using the high frequency technique to determine the percentage of the coconut oil with the nondestructive testing. The proposed sensing is based on the wireless power transmission and the penetration of the ultrahigh frequency wave. The system operates with the microwave transceiver that it generates the wireless power and receives the backscatter power from the sensor placed on the coconut under test. In this experimental, the transceiver is used the microwave frequency of 920-925 MHz with low power level to avoid the effect on the coconut quality. From the results, it is found that the proposed wireless microwave dielectric constant sensing can be determined the percentage of the coconut oil. Therefore, this wireless sensing can be candidate to employ as a coconut oil sensing with the reasonable accuracy.

Keywords: 'Mava' coconut, dielectric constant, nondestructive testing, microwave sensing

INTRODUCTION

Coconut (*Cocos nucifera* L.) is the most commercially important tropical fruit in the southern part of Thailand, especially, Chumphon province. However, a traditional measurement of the chemical and electrical properties of coconut fruit are performed using the destructive of the material under test.

Recently, the nondestructive testing is increasing in demand for determination of the electrical and chemical properties of fruit. Several researchers have been designed and developed the equipment using various techniques to identify a fruit quality. The polarization diversity technique was presented to encode information (A. Vena, E. Perret, and S. Tedjini, 2012). This technique is based on the versatility of the rotation angle of split ring resonators. The radio frequency identification (RFID) was employed as a sensor to determine properties of the material construction with a nondestructive testing technique (R. Suwalak, C. Phongcharoenpanich, D. Torrungrueng, and M. Krairiksh, 2012). Dielectric measurements was made on some refined and unrefined edible oils at frequency of 1 kHz (T. Sankarappa and M. Prashantkumar, 2014). The change in the natural frequency is used to determine a maturity of durian fruit in the frequency domain (T. Tantisopharak et al., 2016).

This paper proposes flexible printed folded dipole tag to monitor the percentage of coconut oil using the RFID sensor. Note that the RFID tag performances are affected by many factors such as tag locations, size, especially, environment or properties of the material on or near an RFID tag.

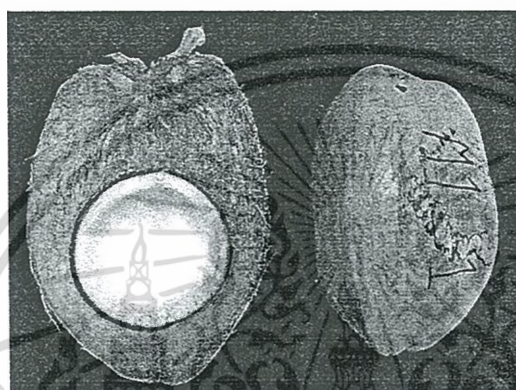
* Corresponding author; rattapong.su@kmitl.ac.th

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Material and METHODOLOGYS

Coconut

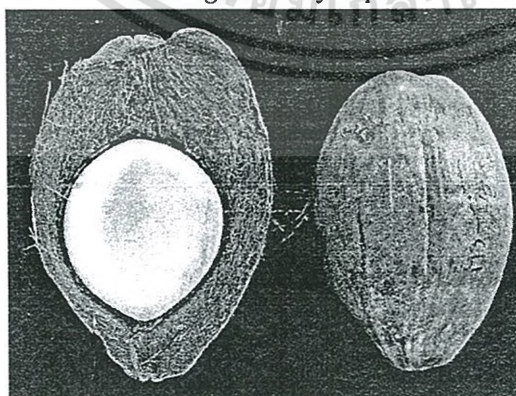
'Mava' coconut is used to material under test in this paper that it is planted at University plantation of Prince of Chumphon Campus, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Pathio District, Chumphon Province, Thailand. In this work, the coconut is classified into 3 stages i.e., stage 1 (young), state 2 (early ripen) and stage 3 (ripen) that it is harvested after 6, 9 and 12 months of flowering the fruit, respectively. The maturity stage of 'Mava' coconut is shown in Fig. 1. After the postharvest, the quality attributes such as the percentage of coconut oil, dry weight and dielectric constant of 12 coconut fruits for different maturity is measured. Commercial, the coconut maturity is in stage 2 and 3 are used to make coconut milk or cream because of the percentage of coconut oil is high.



(a) Stage 1: Young



(b) Stage 2: Early Ripen



(c) Stage 3: Ripen

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 1. Maturity stage of 'Mava' coconut.

Coconut oil determination

Figure 2 shows the nondestructive testing using the microwave sensor based on the RF wireless communication. The system consists of 2 parts, transceiver and microwave sensor. First, transceiver, it used the antenna to transmit and receive the RF signal to/from the coconut fruit under test. The radio frequency identification (RFID) with ultra-high frequency (UHF) of 920-925 MHz in Thailand is employed to determine a percentage of coconut oil. Second, the flexible printed dipole tag is used as a microwave sensor, called RFID sensor, which is placed on the exocarp (outer skin) of coconut. Note that the RFID sensor is placed in 3 times surrounding the coconut skin to measure the RF signal.

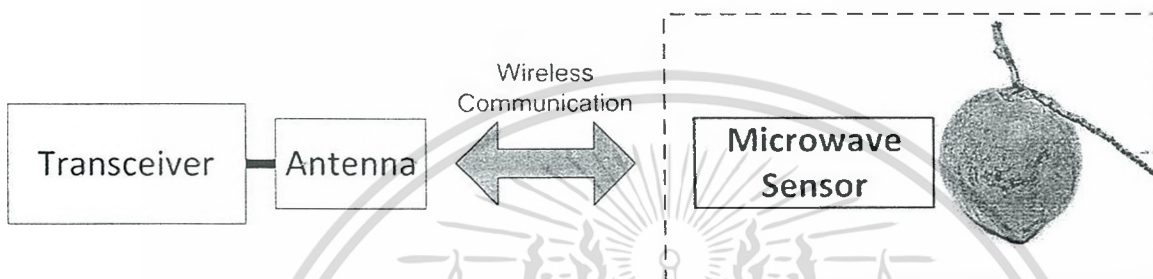


Figure 2. The microwave sensor system with a nondestructive testing.

RESULTS AND DISCUSSION

A nondestructive measurement setup to determine chemical properties of coconut under test is shown in Fig. 3. The chemical and electrical properties of the 'Mava' coconut is tabulated in Table 1. From the results, the dielectric constants of coconut components are important and use to design the microwave sensor (RFID tag) using the electromagnetic simulation program (CST-Microwave Studio, 2006). The relation between dielectric constant ($\epsilon'_r - j\epsilon''_r$) and coconut maturity state as a function of physical elements i.e., exocarp (outer skin), endosperm and water is illustrated in Fig. 4. It is found that the dielectric constant of the endosperm is suddenly sharp decrease when the coconut maturity changes from stage 1 (young) to stage 2 (early ripen).

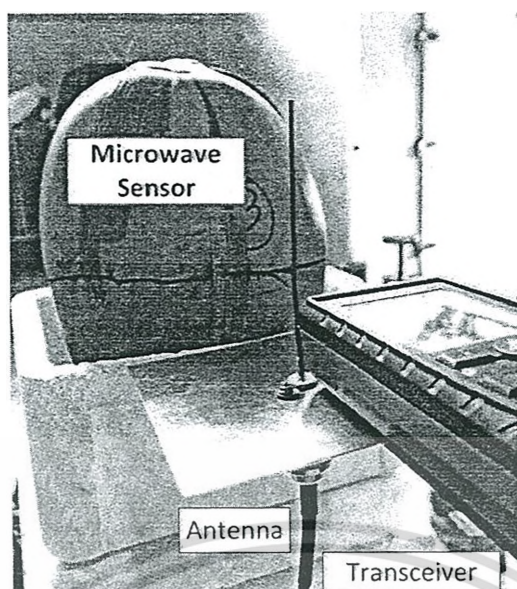


Figure 3. Nondestructive testing of the coconut fruit using RFID sensor.

Table 1. Properties of 'Mava' coconut for different maturity

Maturity stage	Coconut oil (%)	Dry weight (g)	Dielectric constant
Stage 1: Young (6-8 months)	13.98	1.03	Exocarp: 6.05+j4.86
			Endosperm: 52.63+j31.53
			Water: 75.41+j22.01
Stage 2: Early Ripen (9-10 months)	15.30	1.10	Exocarp: 3.18+j4.10
			Endosperm: 5.74+j5.01
			Water: 76.10+j25.07
Stage 3: Ripen (12-15 months)	17.00	1.11	Exocarp: 3.41+j4.17
			Endosperm: 3.10+j4.05
			Water: 76.39+j22.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

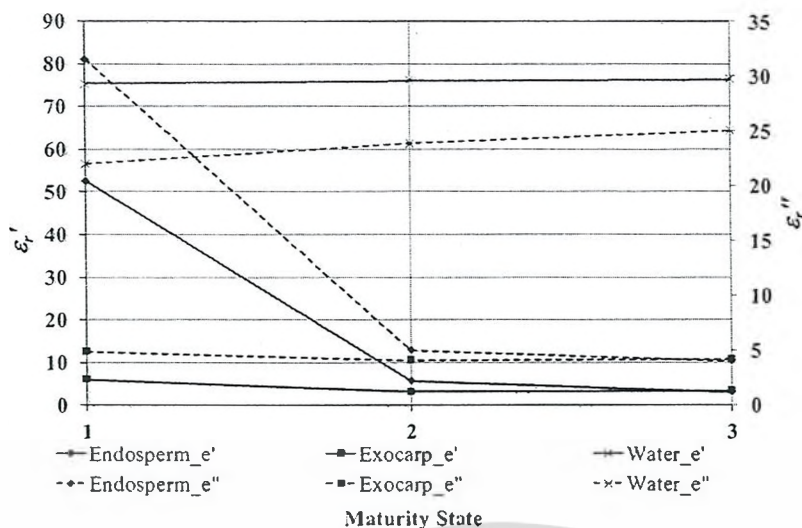


Figure 4. The relation between dielectric constant and coconut maturity state as a function of physical elements.

Accordingly, the designed microwave sensor (RFID sensor) is employed to measure the maximum read range (R_{max}) between the antenna of the transceiver and the proposed sensor that is placed on the outer skin of coconut under test. Figure 5 shows the relation between R_{max} and the coconut maturity state. R_{max} is increase in the ripeness of coconut, especially, the early ripen stage to ripen stage. Moreover, the percentage of coconut oil and the electrical conductivity (EC) is experimented and is calculated for each maturity stage of coconut. It is found that the percentage of coconut oil and EC is a trend to increase when the maturity stage increasing as shown in Fig. 6. Therefore, it can utilize the microwave or UHF RFID sensor to determine the percentage of coconut oil and EC through the RF measurement of the maximum read range and the backward computation method.

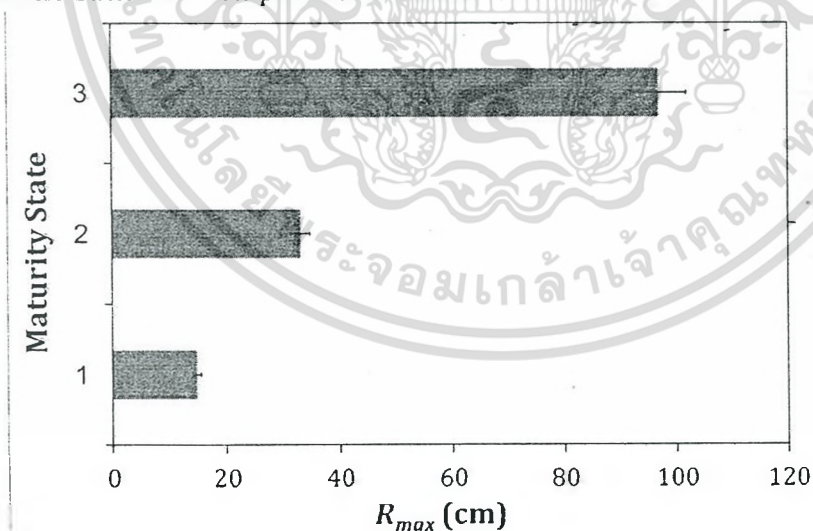


Figure 5. The relation between R_{max} and maturity state.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

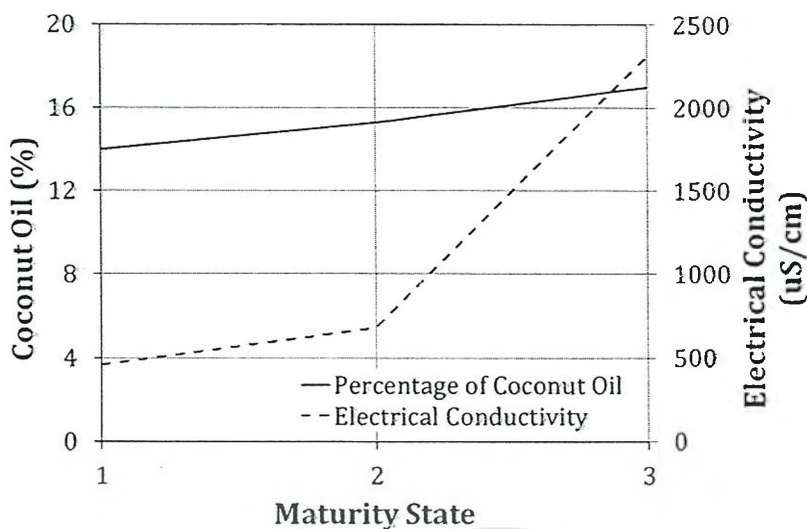


Figure 6. The relation between maturity state and percentage of coconut oil and electrical conductivity.

CONCLUSION

This paper proposed a flexible folded dipole RFID tag placed on the exocarp (outer skin) of the coconut. The printed RFID tag is employed to act as a microwave sensor to determine the coconut oil. From the analysis and post-processing, it is found that the sensor can be measured the chemical property of 'Mava' coconut fruit with the nondestructive method using the electromagnetic wave of the RFID technology. Therefore, this microwave sensor can be candidate and usage to a nondestructive sensor for coconut and the various fruits.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work has been supported by the National Research Council of Thailand through the NRCT no. A118-59-077 and the authors want to thank Prince of Chumphon campus, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang for facilities support during the project operation.

Cited literatures

- Vena, A, Perret, E., and Tedjini, S. (2012). A compact chipless RFID tag using polarization diversity for encoding and sensing. in Proc. IEEE International Conference on RFID. 191-197.
- Suwalak, R., Phongcharoenpanich, C., Torrungrueng, D., and Krairiksh, M. (2012). Determination of dielectric property of construction material products using a novel RFID sensor. Progress In Electromagnetics Research. 130, 601-617.
- Sankarappa, T., and Prashantkumar, M. (2014). Dielectric Properties and AC Conductivity in Some Refined and Unrefined Edible Oils. International Journal of Advanced Research in Physical Science (IJARPS). 1, 1-7 www.arcjournals.org.
- Tantisoparak, T., Moon, H., Youryon, P., Bunya-athichart, K., and Krairiksh M. (2016). Nondestructive determination of the maturity of the durian fruit in the frequency domain using the change in the natural frequency. IEEE Transactions on antennas and propagation. 64, 1779-1787.
- CST-Microwave Studio, User's Manual, 2006.



ภาคผนวก ง

สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินงานโครงการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แบบรายงานการใช้จ่ายเงินโครงการวิจัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รายงานความก้าวหน้า ครั้งที่ 2 รอบ 12 เดือน ประจำปีงบประมาณ 2559

หน่วยงาน วิทยาเขตชมพระพรเขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

 แหล่งงบประมาณแผ่นดิน (แบบปกติ)
 แหล่งเงินรายได้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การประยุกต์ใช้งานระบบเซ็นเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบใหม่สำหรับทำนายคุณภาพของผลไม้

(ภาษาอังกฤษ) A Novel RFID Sensor System Apply for Determination of a Quality of Fruit

ชื่อ-สกุลหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน/ผู้วิจัย (อ./ดร./ผศ./รศ./ศ.) ดร.รัฐพงษ์ สุวลักษณ์

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2558 ถึงวันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2559

ระยะเวลาดำเนินการ 1 ปี เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2558 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2559

ข้อมูลการรายงานค่าใช้จ่ายงบประมาณโครงการวิจัย

1. การเบิกจ่ายงบประมาณ (กรณีการจ่ายเงินถ้าจ่ายงวดเดียวให้ลบข้อที่ไม่เกี่ยวข้องออก)

งวดที่ 1 329,035 บาท 85 % วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ป/ด/ว) 19 พฤศจิกายน 2558

งวดที่ 2 58,065 บาท 15 % วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ป/ด/ว) 5 กรกฎาคม 2559

2. สรุปงบประมาณค่าใช้จ่ายที่ใช้นับตั้งแต่เริ่มทำการวิจัยถึงปัจจุบัน (จำแนกตามหมวดค่าใช้จ่าย)

หมวดค่าใช้จ่าย	งบประมาณรวมทั้งโครงการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)	คงเหลือ (หรือเกิน)
งบบุคลากร : ค่าจ้างชั่วคราว	-	-	-
งบดำเนินงาน	-	-	-
ค่าตอบแทน	-	-	-
ค่าใช้สอย	55,000	139,591.52	(-84,591.52)
ค่าวัสดุ	216,500	131,949.65	84,550.35
ค่าสาธารณูปโภค	-	-	-
งบลงทุน: ค่าครุภัณฑ์	115,600	115,600	0
รวม	387,100	387,141.17	(-41.17)

(.....) ดร.รัฐพงษ์ สุวลักษณ์

ลงนามหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

..... 19 / ส.ค. / 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น (เช่น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ลงนามเจ้าหน้าที่การเงิน/เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

หัวหน้าโครงการวิจัย

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) ผศ.ดร.รัฐพงษ์ สุวลักษณ์

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Asst.Prof.Dr.Rattapong Suwalak

เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3900100269059

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

เวลาที่ใช้ทำวิจัย (ชั่วโมง : สัปดาห์) 30 ชั่วโมง/ สัปดาห์

หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์

อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์

ที่อยู่ 17/1 หมู่ 6 ตำบลชุมโค อำเภอปะทิว จังหวัดชุมพร ประเทศไทย 86160

โทรศัพท์ 077-506410 โทรศัพท์มือถือ 082-3261315 โทรสาร 077-506425

E-mail: rattapong.su@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

สถานศึกษา	วุฒิ	สาขาวิชา	ปี (พ.ศ.)
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	วศ.ด.	วิศวกรรมไฟฟ้า	2555
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	วศ.ม.	วิศวกรรมโทรคมนาคม	2550
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	วศ.บ.	วิศวกรรมไฟฟ้า	2548

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
การออกแบบสายอากาศ, ระบบระบุลักษณะทางคลื่นความถี่ (RFID) และการติดต่อสื่อสารแบบไร้สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัย

ชื่อโครงการ	ปี
ศึกษาวิจัยการเพิ่มประสิทธิภาพสายอากาศป้ายอาร์เอฟไอดีแบบพิมพ์	2555-2556
Performance Enhancement of RFID Antennas for Animal Identification	2551-2552

บทความวิชาการระดับนานาชาติ

ชื่อบทความ	ผู้แต่ง	เผยแพร่ใน	ปี
Characteristics of Specifically Designed Tags Placed on a Dielectric Material	R. Suwalak, C. Phongcharoenpanich, D. Torrungrueng	Proceedings of the 2014 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology International Conference (ECTI-CON2014)	2557
Characteristics of a Folded Dipole Tag Antenna above Multilayer Material Structures for an RFID Sensor Application	R. Suwalak, C. Phongcharoenpanich, D. Torrungrueng	2nd Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation	2556
Effects of Material Dimensions on Passive Tag Performances for an RFID Sensor System	R. Suwalak, C. Phongcharoenpanich, D. Torrungrueng	The 66 th Joint Conference of Electrical and Electronics Engineers in Kyushu	2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อบทความ	ผู้แต่ง	เผยแพร่ใน	ปี
Determination of Dielectric Property of Construction Material Products Using a Novel RFID Sensor	R. Suwalak, C. Phongcharoenpanich, D. Torrungrueng and M. Krairiksh	Progress in Electromagnetics Research	2555
Effects of Tag Location on Light Weight Concrete for an RFID Sensor Application	R. Suwalak, K. Lertsakwimarn, C. Phongcharoenpanich, M. Krairiksh and D. Torrungrueng	Proceedings of the 2012 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology International Conference (ECTI- CON2012)	2555
A Circularly Polarized Patch Antenna with Rectangular Slot on Defected Ground Plane for RFID Reader	R. Suwalak, K. Lertsakwimarn and C. Phongcharoenpanich	Proceedings of the 1st International Symposium on Technology for Sustainability (ISTS 2011)	2554
Dual Band Antenna for RFID Applications	C. Phongcharoenpanich and R. Suwalak	Proceedings of the 12th International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA'10)	2553
An Annular Microstrip Antenna with Sectoral Slots for RFID Reader	R. Suwalak, P. Pongpaiboon, C. Phongcharoenpanich and M. Krairiksh	Proceedings of the 2009 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC2009)	2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อบทความ	ผู้แต่ง	เผยแพร่ใน	ปี
Characteristics of Dual-Band Antenna for RFID Reader	R. Suwalak, P. Pongpaiboon and C. Phongcharoenpanich	NECTEC Technical Journal Special Issue on NECTEC Annual Conference & Exhibition 2009 (NECTEC-ACE 2009)	2552
A Probe-Fed Eight-Branch Folded Strip with Notched-Annular-Ring Parasitic Patch Antenna on Circular Ground Plane	R. Suwalak, C. Phongcharoenpanich, D. Torrungrueng, N. Surittikul and W. Villarroel	Proceedings of the 2009 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2009)	2552
Dual-Band Flat Antenna for RFID Reader	R. Suwalak, P. Pongpaiboon and C. Phongcharoenpanich	Proceedings of the Thailand-Japan MicroWave 2009 (TJMW2009)	2552
Path Loss Model and Measurements of 5.8 GHz Wireless Network in Durian Garden	R. Suwalak, K. Phaebua, C. Phongcharoenpanich and M. Krairiksh	Proceedings of the 2008 International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT2008)	2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อบทความ	ผู้แต่ง	เผยแพร่ใน	ปี
A Two-Square-Aperture Antenna Excited by a Probe on Rectangular Ground Plane with Elliptical Parasitic Patch for UHF-RFID Reader	R. Suwalak and C. Phongcharoenpanich	Proceedings of the 2008 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology International Conference (ECTI-CON2008)	2551
A Probe-Fed Elliptical Patch Antenna on Double Layer Conducting Plate	R. Suwalak and C. Phongcharoenpanich	Proceedings of the 1st Joint International Conference on Information Communication Technology (JICT2007)	2550
Parametric Study of a Circularly Polarized Planar Antenna for Reader of UHF RFID System	R. Suwalak and C. Phongcharoenpanich	Proceedings of the 2007 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC2007)	2550
Circularly Polarized Truncated Planar Antenna with Single Feed for UHF RFID Reader	R. Suwalak and C. Phongcharoenpanich	Proceedings of the 2007 Asia Pacific Conference on Communications (APCC2007)	2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อบทความ	ผู้แต่ง	เผยแพร่ใน	ปี
Elliptical Patch Antenna Radiating Unidirectional Beam with Circular Polarization for Reader of RFID at UHF Band	R. Suwalak and C. Phongcharoenpanich	Proceedings of the 2007 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology International Conference (ECTI- CON2007)	2550

ผู้ร่วมวิจัย

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) รศ.ดร. ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Assoc. Prof. Dr. Chuwong Phongcharoenpanich

เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3730100326364

ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์

เวลาที่ใช้ทำวิจัย (ชั่วโมง : สัปดาห์) 30 ชั่วโมง/ สัปดาห์

หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์

อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ที่อยู่ เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

โทรศัพท์ 02-3264111 ต่อ 3346 โทรศัพท์มือถือ 081-8087227 โทรสาร 02-3264554

E-mail: kpchuwon@kmitl.ac.th, kpchuwong@gmail.com

ประวัติการศึกษา

สถานศึกษา	วุฒิ	สาขาวิชา	ปี (พ.ศ.)
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	วศ.ด.	วิศวกรรมไฟฟ้า	2544
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	วศ.ม.	วิศวกรรมไฟฟ้า	2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานศึกษา	วุฒิ	สาขาวิชา	ปี (พ.ศ.)
เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง			
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	วศ.บ. (เกียรตินิยมอันดับสอง)	วิศวกรรมโทรคมนาคม	2539

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
การออกแบบสายอากาศและการติดต่อสื่อสารแบบไร้สาย

งานวิจัย

ชื่อโครงการ	ปี
Propagation Modeling in Durian Orchard for Wireless Sensor Network	2551-ปัจจุบัน
Performance Enhancement of RFID Antennas for Animal Identification	2551-2552
Antenna for Wireless Sensor Network at 433 MHz	2550
Design of RF-ID Antennas for Animal Identification	2549-2550
Research and Development in 3rd Generation Mobile Telecommunication Systems	2547-2549
A High Gain Antenna using Circular Ring above the Reflector for Wireless LAN System	2546-2547
Development of Dielectric Property Measurement for Export Quality Control	2545-2546
Steerable Spherical Slot Array Antenna	2540-2542

หนังสือ

ชื่อหนังสือ	ผู้แต่ง	สำนักพิมพ์/โรงพิมพ์	ปี
หลักการออกแบบสายอากาศของระบบ RFID ในย่านความถี่ต่ำสำหรับการจัดการฟาร์มและการลงทะเบียนสัตว์	दनัย ต.รุ่งเรือง ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์ ศุภกิต แก้วดวงตา	ศูนย์เทคโนโลยี อิเล็กทรอนิกส์และ คอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนา วิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยีแห่งชาติ	2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทความวิชาการระดับนานาชาติ

ชื่อบทความ	ผู้แต่ง	เผยแพร่ใน	ปี
Design of a Novel Dual-Loop Gate Antenna for Radio Frequency Identification (RFID) Systems at Low Frequency Band	S.Kawdungta C.Phongcharoenpanich D.Torrungrueng	Progress in Electromagnetics Research C	2553
A Two-Slot Array Antenna on a Concentric Sectoral Cylindrical Cavity Excited by a Coupling Slot	P.Wouchoum D.Worasawate C.Phongcharoenpanich M.Krairiksh	Progress in Electromagnetics Research	2551
Bidirectional Ultra-Wideband Antenna Using Rectangular Ring Fed By Stepped Monopole	S.Lamuitree C.Phongcharoenpanich	Progress in Electromagnetics Research	2551
Dual-Band Microstrip-to-Coplanar Strip Balun Transition and Loop Antenna Application	K.Meelarpkit M.Chongcheawchamnan C.Phongcharoenpanich M.Krairiksh L.B.Lok I.D.Robertson	IET Microwaves, Antennas & Propagation	2551
A Multibeam Antenna using Quasi-Optical Antenna-Mixers	S.Janin K.Sripimanwat C.Phongcharoenpanich M.Krairiksh	AEU-International Journal of Electronics and Communications	2551
Characteristics of An Elliptical Ring Antenna Excited by A Linear Electric Probe	K.Chawanonphithak C.Phongcharoenpanich S.Kosulvit M.Krairiksh	International Journal of Electronics	2550
Probe-Fed Rectangular Ring Antenna with a Cross Strip for Low Cross Polarization	D.Srimoon C.Phongcharoenpanich M.Krairiksh	IEEE Trans. Antennas Propagat	2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อบทความ	ผู้แต่ง	เผยแพร่ใน	ปี
A Probe-Fed U-Shaped Cross-Sectional Antenna with Tuning Stubs on a U-Shaped Ground Plane	D.Srimoon C.Phongcharoenpanich M.Krairiksh	IEICE Trans. Communications	2549
Signal-to-Interference Ratio Improvement by Using a Phased Array Antenna of Switched-Beam Elements	P.Ngamjanyaporn C.Phongcharoenpanich P.Akkaraekthalin M.Krairiksh	IEEE Trans. Antennas Propagat	2548
Impedance Characteristic Analysis of an Axial Slot Antenna on a Sectoral Cylindrical Cavity Excited by a Probe using Method of Moments	R.Wongsan C.Phongcharoenpanich M.Krairiksh J.Takada	IEICE Trans. Fundamentals	2546
Covariance Matrix Adjustment for Interference Cancellation Improvement in Adaptive Beamforming	T.Sukontapong P.Ngamjanyaporn C.Phongcharoenpanich M.Krairiksh	ECTI Transactions on Electrical Eng., Electronics, and Communications	2546
A Spherical Array Self-Mixing Oscillator Antenna	M.Krairiksh W.Buasomboon P.Ngamjanyaporn C.Phongcharoenpanich	Electronics Letters	2545
A Simple and Cost-Effective Bidirectional Antenna Using a Probe Excited Circular Ring	S.Kosulvit M.Krairiksh C.Phongcharoenpanich T.Wakabayashi	IEICE Trans. Electronics	2545
A Bidirectional Antenna Using a Probe Excited Rectangular Ring	S.Kosulvit C.Phongcharoenpanich M.Krairiksh	Science Asia	2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อบทความ	ผู้แต่ง	เผยแพร่ใน	ปี
Theoretical Investigations of Radiation and Impedance Characteristics of a Probe Excited Rectangular Cavity-Backed Slot Antenna	T.Lertwiriwaprapa C.Phongcharoenpanich M.Krairiksh	International Journal of Science and Technology	2543

รางวัลที่ได้รับจากการวิจัย

ชื่อผลงาน	ชื่อรางวัลและหน่วยงานที่มอบ	ปี
Theory and Experiment of a Circularly Polarized Conical Beam Spherical Slot Array Antenna	Honorable Mention in the Student Paper Competition in the 2001 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC/URSI National Radio Science Meeting	2544
Synthesis of the Antenna Array Pattern Accomplishing the Tapered Minor Lobe Distributions	Outstanding Contribution Paper in the 5th International Symposium on Antennas, Propagation and Electromagnetic Theory	2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้