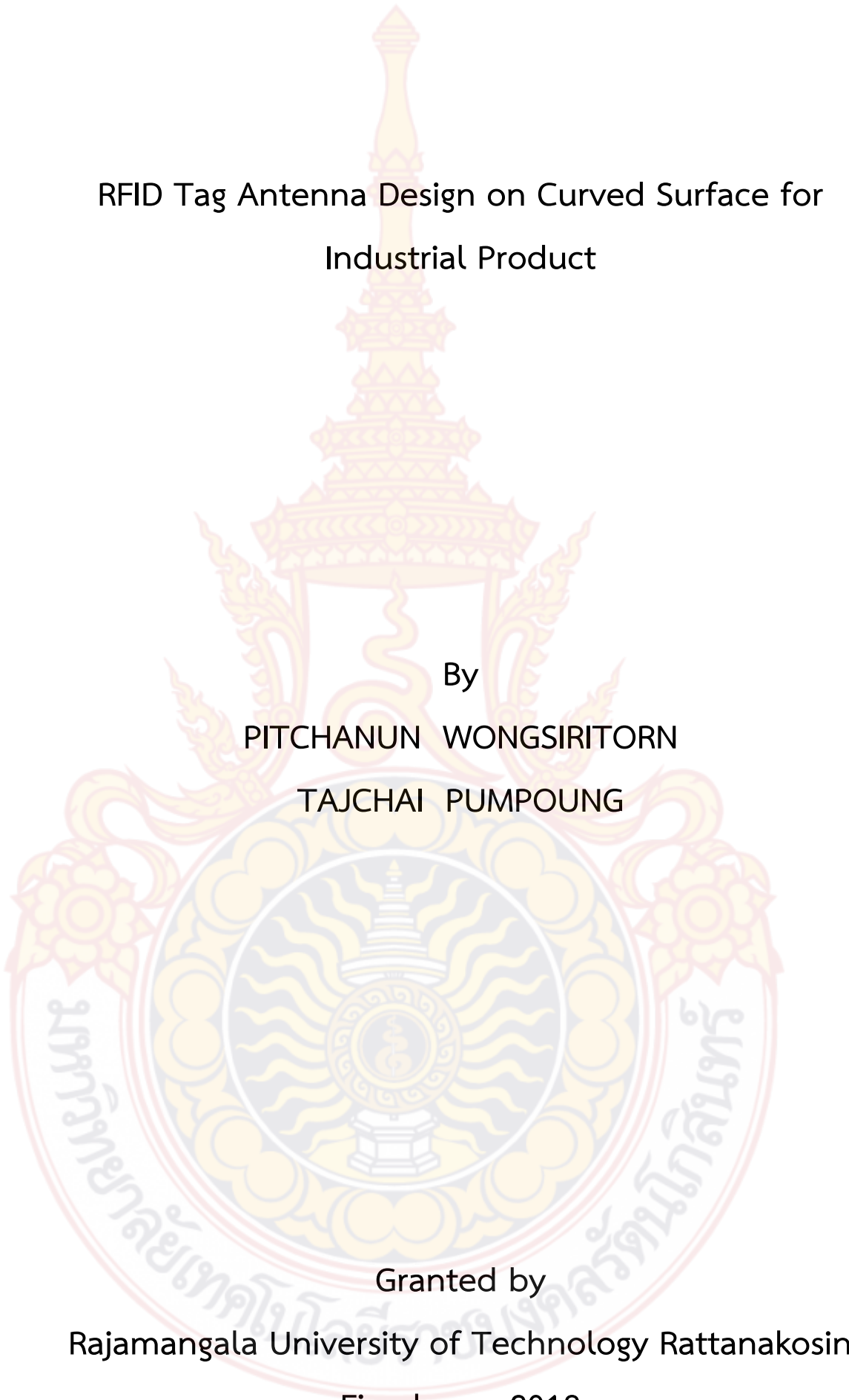




การออกแบบสายอากาศแท่งระบบอาร์เอฟไอดีติดบนผิวโค้ง  
สำหรับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

โดย  
พิชชานันท์ วงศ์ศิริธร  
รัชชัย พุ่มพวง

สนับสนุนงบประมาณโดย  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์  
ประจำปีงบประมาณ 2561



RFID Tag Antenna Design on Curved Surface for  
Industrial Product

By

PITCHANUN WONGSIRITORN

TAJCHAI PUMPOUNG

Granted by

Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Fiscal year 2018

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณคณะผู้ร่วมทำวิจัย ที่ให้ความช่วยเหลือคณะผู้จัดทำ ให้คำปรึกษา แนะนำ ข้อคิดเห็น ช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆ ดูแลการดำเนินการจัดการ ตลอดจนตรวจสอบและแก้ไขข้อผิดพลาดของงานวิจัยฉบับนี้ให้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณงบประมาณเงินรายได้ ประจำปี พ.ศ. ๒๕๖๑ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ สัญญาเลขที่ KNO-๑๕/๒๕๖๑ ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้

พิชชานันท์ วงศ์ศิริธร และคณะ

กรกฎาคม พ.ศ.2562



## บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : KNO-๑๕/๒๕๖๑

ชื่อโครงการ : การออกแบบสายอากาศแท่งระบบอาร์เอฟไอดีติดบนผิวโค้งสำหรับผลิตภัณฑ์  
อุตสาหกรรม

ชื่อนักวิจัย : ดร. พิชานันท์ วงศ์ศิริธร และ ดร. ธัชชัย พุ่มพวง

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟ โดยอาศัยหลักการออกแบบของสายอากาศไมโครสตริปและสายอากาศช่องเปิด สายอากาศออกแบบให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานร่วมกับวัสดุพื้นผิวโลหะ วัสดุผิวโค้ง และวัสดุพื้นผิวที่ไม่ใช่โลหะ สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในการระบุตัวตนอัตโนมัติ สำหรับในการจัดเก็บสินค้าคงคลังระบบโลจิสติกส์และผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่มีวัสดุพื้นผิวที่หลากหลาย อากาศออกแบบให้ใช้งานร่วมกับชิปวงจรรวมรุ่น NXP G2XL พิจารณาค่าความถี่ที่ 922.5 เมกกะเฮิร์ตซ์ ค่าอิมพีแดนซ์ของชิปวงจรรวมมีค่าเท่ากับ  $15.873 + j148.82$  โอห์ม สายอากาศที่นำเสนอทั้งสองแบบสามารถใช้งานได้ครอบคลุมย่านความถี่ 920-925 เมกกะเฮิร์ตซ์ ที่เป็นไปตามมาตรฐานยูเอชเอฟอาร์เอฟไอดีภายในประเทศไทย สายอากาศจำลองด้วยโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ปัญหาทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสายอากาศถูกสร้างและทดสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพโดยจากผลการทดสอบสายอากาศสามารถร่วมกับวัสดุพื้นผิวโลหะ วัสดุผิวโค้ง และวัสดุพื้นผิวที่ไม่ใช่โลหะ

คำสำคัญ : สายอากาศแท่ง ยูเอชเอฟอาร์เอฟไอดี พื้นผิววัตถุ

E-mail Address : pitchanun.won@rmutr.ac.th

ระยะเวลาโครงการ : ๑ ตุลาคม พ.ศ.๒๕๖๑ – ๓๐ กันยายน พ.ศ.๒๕๖๒

## Abstract

**Code of project** : KNO-15/2561

**Project name** : RFID Tag Antenna Design on Curved Surface for Industrial Product

**Researcher name** : Dr.Pitchanun Wongsiritron and Dr.Tajchai Pumpoung

This research presents a design and fabrication of UHF RFID tag antenna. The antenna design is based on microstrip and slot antenna. The antennas are designed for the metallic surface curve surface and non-metallic surface which are appropriated for automatic identification inventory management logistics management and industrial product with a variety of surface materials. The tag antennas are designed for NXP G2XL chip with the impedance of  $15.873+j148.82$  ohm considering at the center frequency with 922.5 MHz. The proposed antennas can operate covering the frequency band of 920-925 MHz along the UHF RFID Thailand standard. The simulated was done by the program using electromagnetic waveform analysis. The proposed antennas were measured to evaluate the performances. The proposed antennas can be operated on metallic surface curve surface and non-metallic surface.

**Keywords:** Antenna Tag UHF RFID Object Surface

---

**E-mail Address** : pitchanun.won@rmutr.ac.th

**ระยะเวลาโครงการ** : 1 ตุลาคม พ.ศ.2561 – 30 กันยายน พ.ศ.2562

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 เทคโนโลยีระบบอาร์เอฟไอดี	3
2.2 มาตรฐานของระบบอาร์เอฟไอดี	3
2.3 ระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟ	4
2.4 ยูเอชเอฟอาร์เอฟไอดีสำหรับพื้นผิวโลหะ	5
2.5 ผลกระทบของโลหะต่อยูเอชเอฟอาร์เอฟไอดีแท็ก	5
2.6 ทฤษฎีของสายอากาศ	5
2.9 สายอากาศไมโครสตริป	8
2.10 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป	8
2.11 ข้อดีและข้อด้อยของสายอากาศไมโครสตริป	10
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
<b>บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย</b>	
3.1 บทนำ	17
3.2 วิธีการคำนวณขนาดของสายอากาศ	18
3.3 การออกแบบสายอากาศแท็กอาร์เอฟไอดีตัวที่หนึ่งแบบไมโครสตริป	20
3.4 การออกแบบสายอากาศแท็กตั้งต้นตัวที่สองแบบช่องเปิด	24

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและผลการวิเคราะห์</b>	
4.1 โครงสร้างและผลคุณลักษณะของสายอากาศแท่งแบบไมโครสตริป	27
4.2 การวิเคราะห์ผลคุณลักษณะของสายอากาศแท่งแบบไมโครสตริป	29
4.3 การวิเคราะห์ผลคุณลักษณะของสายอากาศแท่งแบบไมโครสตริป เมื่อติดบนโลหะ	32
4.4 ผลการทดสอบสายอากาศแท่งแบบไมโครสตริป	33
4.5 โครงสร้างและผลคุณลักษณะของสายอากาศแท่งแบบช่องเปิด	40
4.6 การวิเคราะห์ผลคุณลักษณะของสายอากาศแท่งแบบช่องเปิด	42
4.7 การวิเคราะห์ผลคุณลักษณะของสายอากาศแท่งแบบช่องเปิดเมื่อติด บนโลหะ	44
4.8 ผลการทดสอบสายอากาศแท่งแบบช่องเปิด	46
<b>บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ</b>	
5.1 บทนำ	53
5.2 สรุปผลการทดลอง	53
5.3 ข้อเสนอแนะ	54
<b>บรรณานุกรม</b>	57
<b>ภาคผนวก</b>	
หลักฐานของผลผลิต/ผลลัพธ์ของงานวิจัย	58
<b>ประวัติผู้วิจัย</b>	72

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	มาตรฐานของ ISO	4
2-2	มาตรฐานย่านความถี่ยูเอชเอฟของแต่ละประเทศ	4
3-1	ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟแบบไมโครสตริป	21
3-2	การศึกษาขนาดพารามิเตอร์ของสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟแบบไมโครสตริป	22
3-3	ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศตั้งต้นแบบช่องเปิด	25
3-4	การศึกษาขนาดพารามิเตอร์ของสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟแบบช่องเปิด	36
4-1	แสดงค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟแบบไมโครสตริปที่มีการปรับขนาด	28
4-2	ผลการทดสอบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีแบบไมโครสตริปเมื่อติดบนแผ่นโลหะ(4WEIRP)	34
4-3	ผลการทดสอบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีแบบไมโครสตริปเมื่อติดบนแผ่นโลหะผิวโค้ง (4WEIRP)	34
4-4	ผลการทดสอบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีแบบไมโครสตริปเมื่อติดบนแผ่นวัสดุผิวเรียบที่ไม่ใช่โลหะ (4WEIRP)	35
4-5	ผลการทดสอบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีแบบไมโครสตริปเมื่อติดบนแผ่นวัสดุผิวโค้งที่ไม่ใช่โลหะ (4WEIRP)	35
4-6	ผลการทดสอบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีแบบไมโครสตริปเมื่อติดบนแผ่นโลหะ (8WEIRP)	36
4-7	ผลการทดสอบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีแบบไมโครสตริปเมื่อติดบนแผ่นโลหะผิวโค้ง (8WEIRP)	36
4-8	ผลการทดสอบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีแบบไมโครสตริปเมื่อติดบนแผ่นวัสดุผิวเรียบที่ไม่ใช่โลหะ (8WEIRP)	37
4-9	ผลการทดสอบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีแบบไมโครสตริปเมื่อติดบนแผ่นวัสดุผิวโค้งที่ไม่ใช่โลหะ (8WEIRP)	38



## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4-10	ผลการทดสอบของสาขายอากาศแท็กอาร์เอฟไอดีแบบไมโครสตริปบนพื้นผิวโลหะเรียบ (4WEIRP)	38
4-11	ผลการทดสอบของสาขายอากาศแท็กอาร์เอฟไอดีแบบโครสตริปบนพื้นผิวโลหะโค้ง (4WEIRP)	39
4-12	แสดงค่าพารามิเตอร์ของสาขายอากาศแท็กอาร์เอฟไอดีย่านความถี่เอชเอฟแบบช่องเปิด	41
4-13	ผลการทดสอบสาขายอากาศแท็กอาร์เอฟไอดีช่องเปิดเมื่อติดบนแผ่นโลหะผิวเรียบ (4WEIRP)	47
4-14	ผลการทดสอบสาขายอากาศแท็กอาร์เอฟไอดีช่องเปิดเมื่อติดบนแผ่นโลหะผิวโค้ง (4WEIRP)	48
4-15	ผลการทดสอบสาขายอากาศแท็กอาร์เอฟไอดีแบบช่องเปิดเมื่อติดบนแผ่นวัสดุผิวเรียบที่ไม่ใช่โลหะ (4WEIRP)	49
4-16	ผลการทดสอบสาขายอากาศแท็กอาร์เอฟไอดีแบบช่องเปิดเมื่อติดบนแผ่นวัสดุผิวโค้งที่ไม่ใช่โลหะ (4WEIRP)	49
4-17	ผลการทดสอบสาขายอากาศแท็กอาร์เอฟไอดีแบบช่องเปิดเมื่อติดบนแผ่นโลหะผิวเรียบ (8WEIRP)	50
4-18	ผลการทดสอบสาขายอากาศแท็กอาร์เอฟไอดีแบบช่องเปิดเมื่อติดบนแผ่นโลหะผิวโค้ง (8WEIRP)	50
4-19	ผลการทดสอบสาขายอากาศแท็กอาร์เอฟไอดีแบบช่องเปิดเมื่อติดบนแผ่นวัสดุผิวเรียบที่ไม่ใช่โลหะ (8WEIRP)	51
4-20	ผลการทดสอบสาขายอากาศแท็กอาร์เอฟไอดีแบบช่องเปิดเมื่อติดบนแผ่นวัสดุผิวโค้งที่ไม่ใช่โลหะ (8WEIRP)	51
4-21	ผลการทดสอบของสาขายอากาศแท็กแบบช่องเปิดบนพื้นผิวโลหะเรียบ (4WEIRP)	52
4-22	ผลการทดสอบของสาขายอากาศแท็กแบบช่องเปิดบนพื้นผิวโลหะโค้ง (4WEIRP)	53

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	ตัวอย่างแท่งที่ใช้ติดบนวัสดุพื้นผิวโลหะ	5
2-2	ตัวอย่างพาสซีฟแท่ง	7
2-3	ตัวอย่างแอ็คทีฟแท่ง	7
2-4	โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป	8
2-5	โครงสร้างของสายอากาศแท่งไมโครสตริปแบบสมดุล	11
2-6	รูปการจำลองอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแท่งเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของแผ่นโลหะ	12
2-7	ผลการจำลองประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของแผ่นโลหะ	13
2-8	ผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของแผ่นโลหะ	13
2-9	โครงสร้างของสายอากาศแท่งไมโครสตริป	14
2-10	ผลการจำลองอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแท่งเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของแผ่นโลหะ	15
2-11	ผลการจำลองประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของแผ่นโลหะ	16
2-12	ผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของแผ่นโลหะ	16
3-1	แผนผังหลักการออกแบบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดี	17
3-2	สายอากาศตั้งต้นแบบไมโครสตริปที่ได้จากการคำนวณ	21
3-3	ผลการจำลองการตอบสนองความถี่ของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ $ S_{11} $ ของสายอากาศแท่งแบบไมโครสตริป	22
3-4	ผลการจำลองการตอบสนองความถี่ของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ $ S_{11} $ ของสายอากาศแท่งแบบไมโครสตริปเมื่อปรับค่าพารามิเตอร์ $x, y$	23
3-5	สายอากาศตั้งต้นแบบช่องเปิดที่ได้จากการคำนวณ	24
3-6	ผลการจำลองการตอบสนองความถี่ของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ $ S_{11} $ ของสายอากาศแท่งแบบช่องเปิด	25

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3-7	ผลการจำลองการตอบสนองความถี่ของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ  S11  ของสายอากาศแท่งแบบช่องเปิดเมื่อปรับค่าพารามิเตอร์ $W, l_{dd}, l_d$	26
4-1	สายอากาศแบบไมโครสตริปที่ได้มีการปรับขนาด	27
4-2	ผลการจำลองการตอบสนองความถี่ของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ  S11  ของสายอากาศไมโครสตริป	28
4-3	ผลการจำลองแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแท่งแบบไมโครสตริป	29
4-4	ผลการจำลองรูปแบบอัตราขยายของสายอากาศแท่งแบบไมโครสตริป	30
4-5	ผลการจำลองค่ารีซิสแตนซ์และค่ารีแอ็กแตนซ์ของสายอากาศแท่งแบบไมโครสตริป	31
4-6	จำลองสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีแบบไมโครสตริปเมื่อติดกับโลหะ	32
4-7	แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแท่งแบบไมโครสตริปเมื่อติดกับโลหะ	33
4-8	ผังการทดสอบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดี	33
4-9	สายอากาศแบบช่องเปิดที่ได้มีการปรับขนาด	41
4-10	ผลการจำลองค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ  S11  ของสายอากาศแบบช่องเปิด	42
4-11	ผลการจำลองแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแท่งแบบช่องเปิด	43
4-12	ผลการจำลองรูปแบบอัตราขยายของสายอากาศแท่งแบบช่องเปิด	44
4-13	ผลการจำลองค่ารีซิสแตนซ์และค่ารีแอ็กแตนซ์ของสายอากาศแท่งแบบช่องเปิด	45
4-14	จำลองสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีแบบช่องเปิดเมื่อติดบนโลหะ	45
4-15	แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแท่งแบบช่องเปิดติดบนโลหะ	46
4-16	ผังการทดสอบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดี	47

# บทที่ 1

## บทนำ

ในบทนี้ได้นำเสนอทฤษฎีของระบบอาร์เอฟไอดี หลักการทำงานของระบบอาร์เอฟไอดี ส่วนประกอบของสายอากาศแท็ก การแบ่งประเภทของสายอากาศแท็ก หลักการออกแบบสายอากาศ หลักการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศแท็กและเครื่องอ่านข้อมูล หลักการทำงานของระบบอาร์เอฟไอดี ทฤษฎีพื้นฐานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าบนผิวหน้าโลหะและผลกระทบของผิวหน้าโลหะที่มีต่อสายอากาศแท็ก งานวิจัยที่มีมาก่อนเกี่ยวกับการออกแบบสายอากาศสำหรับวัตถุที่เป็นโลหะซึ่งเป็นประโยชน์และเป็นแนวทางในการออกแบบสายอากาศแท็กต่อไป

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันระบบอาร์เอฟไอดีได้มีการนำมาใช้งานอย่างกว้างขวาง โดยมาตรฐานทางความถี่ของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุจะมีความแตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น 13.553-13.567 เมกกะเฮิร์ตซ์ 433.05-434.79 เมกกะเฮิร์ตซ์และ 920-925 เมกกะเฮิร์ตซ์ ประเทศไทยมีการจัดสรรช่วงความถี่ที่ใช้งานกำหนดโดยคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กทช.) การใช้งานระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุที่สามารถใช้งานได้ในช่วงความถี่ตามมาตรฐานยูเอชเอฟ 920-925 เมกกะเฮิร์ตซ์ที่ประเทศไทยกำหนดนั้นมีความจำเป็นอย่างมาก ทำให้ความต้องการในการนำแท็กระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุไปประยุกต์ใช้กับงานรูปแบบต่างๆที่มีความต้องการที่หลากหลายมากขึ้น

เนื่องจากแท็กโดยทั่วไปจะถูกออกแบบให้ใช้งานกับวัสดุที่ไม่มีส่วนผสมของโลหะ เมื่อนำแท็กดังกล่าวมาใช้กับวัสดุที่มีพื้นผิวโลหะจะทำให้ประสิทธิภาพของแท็กถูกลดทอน เช่น ระยะการอ่านได้สูงสุด แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศและจากการที่ประสิทธิภาพดังกล่าวของแท็กถูกลดทอนอาจก่อให้เกิดความผิดพลาดของข้อมูลซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายได้

ดังนั้นโครงการนี้จึงนำเสนอการออกแบบแท็กระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุสำหรับติดบนวัสดุพื้นผิวโลหะที่สามารถใช้งานได้ในช่วงความถี่ตามมาตรฐานยูเอชเอฟ 920-925 เมกกะเฮิร์ตซ์ภายในประเทศไทยกำหนด สามารถนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีพื้นผิวเป็นโลหะที่เป็นผิวโค้งได้ และสามารถนำไปพัฒนาให้ดีขึ้นสำหรับใช้งานได้จริงในอนาคต

### 1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1. เพื่อนำเสนอเทคนิคใหม่และการออกแบบสายอากาศแท็กอาร์เอฟไอดีในช่วงความถี่ยูเอชเอฟรูปแบบใหม่

1.2.2 เพื่อศึกษาพฤติกรรมของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อนำแท็กไปติดตั้งบนวัสดุผิวโลหะหรือผิวโค้ง

1.2.3 เพื่อวิเคราะห์ เพิ่มประสิทธิภาพ พร้อมทั้งพัฒนาสายอากาศแท็กอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟเมื่อนำไปประยุกต์ใช้กับพื้นผิวโลหะ

1.2.4. เพื่อออกแบบสายอากาศแท็กรูปแบบใหม่ที่มีคุณลักษณะเสมือนที่สามารถใช้งานตามมาตรฐานอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟภายในประเทศ

1.2.5. เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบอาร์เอฟไอดี เมื่อนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับวัสดุโลหะ หรือผิวโค้ง

### 1.3 ขอบเขตการวิจัย

3.1. กำหนด ออกแบบ สร้าง และทดสอบ สายอากาศอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟ

3.2. สายอากาศแท็กสามารถทำงานได้ครอบคลุมย่านความถี่ 920-925 MHz

3.3. สมรรถนะระยะการอ่านที่ไกลที่สุด มีความเหมาะสมเมื่อนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับวัสดุโลหะหรือวัสดุผิวโค้ง

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1. สายอากาศแท็กอาร์เอฟไอดีสำหรับประยุกต์ใช้กับวัสดุโลหะและผิวโค้ง

1.4.2 สายอากาศแท็กอาร์เอฟไอดีสมรรถนะสูงที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้กับสภาพแวดล้อมจริง

1.4.3 ส่งเสริมความรู้เพิ่มในด้านการสร้างสายอากาศแท็กอาร์เอฟไอดีสำหรับประยุกต์ใช้กับวัสดุโลหะและผิวโค้ง

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

#### 1. เทคโนโลยีระบบอาร์เอฟไอดี

ระบบอาร์เอฟไอดีนั้นได้ถูกสร้างขึ้นและเริ่มใช้งานในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 เพื่อใช้ทำการระบุเครื่องบินผ่านน่านฟ้า และนับได้ว่าเป็นจุดเริ่มต้นของการนำเอาเทคโนโลยีระบบอาร์เอฟไอดีมาใช้ หลังจากนั้นได้มีการพัฒนาศักยภาพในการทำงานให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น หลังปีค.ศ.1960 ได้เริ่มมีการนำเอาเทคโนโลยีระบบอาร์เอฟไอดีมาประยุกต์ใช้ในภาคเอกชน ปีค.ศ.1970 ได้นำเทคโนโลยีระบบอาร์เอฟไอดีมาใช้ในการติดตามและตรวจสอบสัตว์และระบบคลังสินค้า ในปีค.ศ.1980 เทคโนโลยีระบบอาร์เอฟไอดีได้รับการพัฒนาศักยภาพในการทำงานที่มีลักษณะแตกต่างและหลายรูปแบบมากขึ้นจนนำไปสู่การประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง ในปีค.ศ.1990 จนถึงปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่เพื่อสนับสนุนรูปแบบการทำงานที่หลากหลายมากขึ้น เนื่องจากระบบอาร์เอฟไอดีมีคุณสมบัติที่มีพิเศษและมีความโดดเด่นกว่าเทคโนโลยีอื่นๆ โดยระบบอาร์เอฟไอดีนั้นมีจุดมุ่งหมายคือการนำมาใช้งาน ซึ่งลักษณะการทำงานจะมีการติดต่อสื่อสารกันระหว่างสายอากาศแท่งกับเครื่องอ่านข้อมูล

#### 2. มาตรฐานของระบบอาร์เอฟไอดี

มาตรฐานสำหรับการใช้งานระบบอาร์เอฟไอดีแบ่งออกเป็นสองหน่วยงานหลักคือ International Standard Organization หรือ ISO และ EPC Global เป็นองค์กรที่เกิดจากความร่วมมือระหว่าง Uniform Code Council (UCC) และ EAN International โดยได้รับการสนับสนุนจากภาคอุตสาหกรรม ทำหน้าที่ในการกำหนดและพัฒนามาตรฐานรหัสของสินค้าอิเล็กทรอนิกส์และโครงข่ายโดย EPC หรือ Electronic Product Code มีวัตถุประสงค์เพื่อนำมาใช้งานทางด้านการระบุตัวตนของวัตถุ เช่นเดียวกับการใช้งานรหัสแท่ง ถูกพัฒนาขึ้นโดยศูนย์ Auto-ID แห่งมหาวิทยาลัย MIT ซึ่งได้รับทุนจากบริษัทขนาดใหญ่หลายบริษัท เช่น Intel และ Wal-mart มีวัตถุประสงค์หลักคือ การนำไปใช้งานทางด้านการจัดการในระบบของห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain)

มาตรฐานการตรวจจ็วัตถุ (Item Management) มาตรฐาน ISO 18000 เป็นมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการระบุวัตถุด้วยความถี่วิทยุโดยเฉพาะพารามิเตอร์ต่างๆสำหรับการติดต่อสื่อสารกันผ่านอากาศ Air Interface Standard แบ่งเป็นย่านความถี่ดังนี้

1. ย่านความถี่ LF อยู่ในช่วงความถี่น้อยกว่า135 กิโลเฮิร์ตซ์
2. ย่านความถี่ HF อยู่ในช่วงความถี่ 13.53 เมกกะเฮิร์ตซ์
3. ย่านความถี่ UHF อยู่ในช่วงความถี่ 860-960 เมกกะเฮิร์ตซ์
4. ย่านความถี่ Microwave อยู่ในช่วงความถี่ 2.45 จิกะเฮิร์ตซ์

ตารางที่ 2-1 มาตรฐานของ ISO

	LF	HF	UHF	Microwave
ความถี่ที่ใช้ งาน	<135 กิโลเฮิร์ตซ์	13.56 เมกกะเฮิร์ตซ์	433 เมกกะเฮิร์ตซ์ (Active) 860-960 เมกกะเฮิร์ตซ์	2.4 จิกะเฮิร์ตซ์
การเชื่อมต่อ ผ่านทาง อากาศ	ISO/IEC 18000-2	ISO/IEC 18000- 3	ISO/IEC 18000-6 ISO/IEC 18000-7	ISO/IEC 18000- 2
มาตรฐานการ ประยุกต์ใช้ งาน	ระบบบ่งชี้สัตว์ ISO/IEC 11784 ISO/IEC 11785 ISO/IEC 14223	บัตรสมาร์ทการ์ด แบบไร้สัมผัส ISO/IEC 10536 ISO/IEC 14443 ISO/IEC 15693 ISO/IEC10373	ระบบบ่งชี้ตู้สินค้า ISO/IEC 10374 ISO/IEC 18185	

### 2.3 ระบบอาร์เอฟไอดีในย่านความถี่ยูเอชเอฟ (UHF RFID System)

ระบบย่านความถี่ยูเอชเอฟนั้นจะมีการใช้งานในย่านความถี่ 860-960 เมกกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่ถูกควบคุมโดยมาตรฐาน ISO/IEC 18000-6 และ Gen-2 จาก global สายอากาศแท็ก และเครื่องอ่านข้อมูลที่ทำการผลิตจะถูกควบคุมภายใต้ EPC global class1 และ class2 ยังมีการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน การใช้งานของสายอากาศแท็กในย่านความถี่ยูเอชเอฟ โดยส่วนมากจะถูกใช้งานในระบบขนส่งสินค้าสำหรับการระบุกล่องหรือตู้สินค้าโดยการใช้งานก็จะแตกต่างกันออกไปตามแต่ข้อกำหนดของแต่ละประเทศ

ตารางที่ 2-2 มาตรฐานย่านความถี่ยูเอชเอฟของแต่ละประเทศ

พื้นที่	ช่วงความถี่ที่ใช้งาน เมกกะเฮิร์ตซ์ (MHz)	พื้นที่	ช่วงความถี่ที่ใช้งาน เมกกะเฮิร์ตซ์ (MHz)
สหรัฐอเมริกา	902-928	อินเดีย	865-867
ออสเตรเลีย	918-926	ญี่ปุ่น	950-956
ยุโรป	865-868	สิงคโปร์	923-925

พื้นที่	ช่วงความถี่ที่ใช้งาน เมกกะเฮิรตซ์ (MHz)	พื้นที่	ช่วงความถี่ที่ใช้งาน เมกกะเฮิรตซ์ (MHz)
ฮ่องกง	865-868 และ 920-925	ไทย	920-925

## 2.4 ยูเอชเอฟอาร์เอฟไอดีสำหรับพื้นผิวโลหะ

ระบบอาร์เอฟไอดีจะสื่อสารด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อต้องการที่จะออกแบบสายอากาศแท็กระบบอาร์เอฟไอดีให้ทำงานบนวัตถุผิวโลหะเป็นสิ่งสำคัญมากที่จะต้องเข้าใจพฤติกรรมของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ใกล้พื้นผิวโลหะตั้งแต่พารามิเตอร์เบื้องต้นของสายอากาศ อิมพีแดนซ์ด้านเข้า (Input Impedance) อัตราขยาย (Gain) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern) และประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Efficiency) ซึ่งได้รับผลกระทบอย่างมากจากผิวของโลหะ



ภาพที่ 2-1 ตัวอย่างแท็กที่ใช้ติดบนวัสดุพื้นผิวโลหะ

## 2.5 ผลกระทบของโลหะต่อยูเอชเอฟอาร์เอฟไอดีแท็ก

โดยปกติแล้วเมื่อนำอาร์เอฟไอดีแท็กไปใช้งานพบว่าโลหะ (Metal) และของเหลว (Liquid) จะเป็นอุปสรรคต่อการทำงาน เนื่องจากอาร์เอฟไอดีใช้หลักการส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังตัวแท็กเพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้กับชิปวงจรรวมที่อยู่บนแท็กและสะท้อนเอาคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากลับมาผ่านทางสายอากาศบนแท็กโดยชิปวงจรรวมก็จะทำการมอดูเลตสัญญาณที่สะท้อนกลับมาเพื่อให้สามารถระบุถึงตัวตนของตนเองกลับไปทีเครื่องอ่านได้ แต่โลหะนั้นจะสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในขณะที่ของเหลวก็จะซึมซับ (Absorb) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้เป็นปัญหาต่อระบบอาร์เอฟไอดี เช่น แบบรูปการแพร่กระจายพลังงานไม่สมมาตร อาร์เอฟไอดีแท็กไม่แม่นยำกันและอัตราขยายลดลง

## 2.6 ทฤษฎีของสายอากาศ

สายอากาศเป็นอุปกรณ์สำหรับรับและส่งคลื่นความถี่วิทยุ ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและในทางกลับกันก็เปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานไฟฟ้าเช่นกัน



สายอากาศมีหลายขนาดและหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น สายอากาศโทรทัศน์ในบ้านมักติดตั้งไว้บนหลังคาทำด้วยอะลูมิเนียม เพราะน้ำหนักเบาและทนต่อสภาพอากาศได้ดีกว่าโลหะทั่วไป สายอากาศของไม้คัลอยเป็นเพียงสายไฟสั้นๆ หรือสายอากาศของโทรศัพท์มือถือเป็นเพียงจุดเชื่อมต่อเล็กๆ

### 2.6.1 ส่วนประกอบของสายอากาศแท็ก

ส่วนประกอบของสายอากาศแท็กประกอบด้วย สายอากาศ ชิปวงจรรวม แผ่นพิมพ์และวัสดุฐานรอง

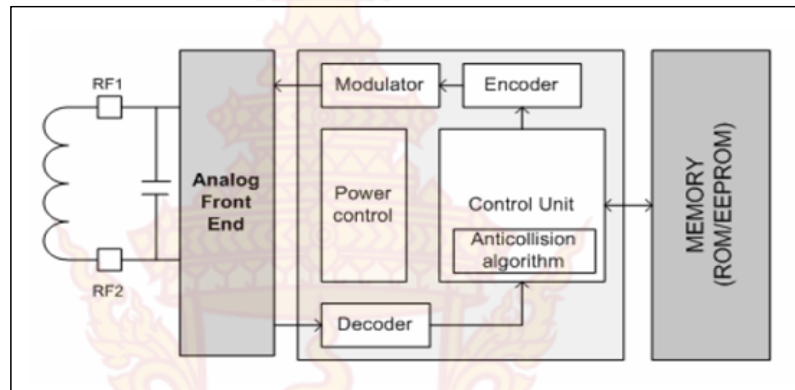
**สายอากาศ (Antenna)** คือขดลวดขนาดเล็กที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศสำหรับรับ-ส่ง สัญญาณคลื่นความถี่วิทยุและสร้างพลังงานป้อนให้กับชิปวงจรรวม สายอากาศจะแผ่สัญญาณวิทยุ จำนวนหนึ่งออกมาเพื่อกระตุ้นให้แท็กอ่านหรือเขียนข้อมูลลงไป สายอากาศสามารถมีได้หลากหลายขนาดและรูปร่างเพื่อให้เหมาะสมกับวัตถุที่จะนำแท็กไปติดตั้งและเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการรับ-ส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ สายอากาศจะถูกติดไปโดยตรงกับอุปกรณ์ตัวรับ-ตัวส่ง (Transceiver)

**ชิปวงจรรวม (IC chip)** คือทำหน้าที่เก็บข้อมูลของวัตถุในหน่วยความจำซึ่งในหน่วยความจำนี้อาจแบ่งเป็นแบบอ่านได้อย่างเดียว ROM หรือทั้งอ่านและเขียน RAM ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการในการนำไปใช้งาน โดยปกติหน่วยความจำแบบ ROM จะเก็บข้อมูลความพลอดภัย เช่น สิทธิในการเข้าออกประตู ส่วน RAM ใช้เก็บข้อมูลชั่วคราวในระหว่างที่แท็กและเครื่องอ่านทำการติดต่อสื่อสารกัน นอกจากนี้ยังมีหน่วยความจำแบบ EEPROM เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลการสื่อสารระหว่างแท็กและเครื่องอ่านและข้อมูลยังคงอยู่ถึงแม้จะไม่มีพลังงานไฟฟ้าป้อนให้แก่แท็ก

**แผ่นพิมพ์และวัสดุฐานรอง (Substrate)** คือชนิดและขนาดของวัสดุฐานรองเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการออกแบบสายอากาศ โดยจะเป็นองค์ประกอบที่ใช้ในการกำหนดคุณสมบัติทางไฟฟ้าและทางกายภาพของสายอากาศ ซึ่งการเลือกวัสดุฐานรองจะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติทางกายภาพทางเคมี ความคงทนต่อสภาพแวดล้อม ความชื้น อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ความราบเรียบของพื้นผิวและสิ่งที่สำคัญคือคุณสมบัติทางไฟฟ้า โดยหลักๆที่พิจารณาคือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ( $\epsilon_r$ ) ค่าการสูญเสียแทนเจนต์ ( $\tan \delta$ ) โดยวัสดุที่ทำการเลือกใช้ควรเป็นวัสดุที่เป็นสารเนื้อเดียว เพื่อให้ค่าดังกล่าวมีค่าคงที่ตลอดแผ่นฐานรอง ซึ่งขนาดความหนาของวัสดุฐานรองจะเป็นปัจจัยที่สำคัญที่กำหนดคุณสมบัติของสายอากาศด้วย โดยจะมีค่าที่ต่ำเพื่อให้สายอากาศมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นและการเพิ่มค่าคงที่ไดอิเล็กตริกก็จะสามารถลดขนาดของสายอากาศให้เล็กลงได้ ส่วนการสูญเสียแทนเจนต์ ( $\tan \delta$ ) ควรจะให้ค่าที่ต่ำเพื่อลดพลังงานการสูญเสียอันเนื่องมาจากการสูญเสียไดอิเล็กตริก ทำให้สายอากาศมีประสิทธิภาพที่สูงมากขึ้น วัสดุฐานรองโดยทั่วไปที่นิยมนำมาใช้ในการสร้างสายอากาศแท็กได้แก่ FR-4 PET PVC Prastic film กระดาษและวัสดุชนิดอื่นๆ

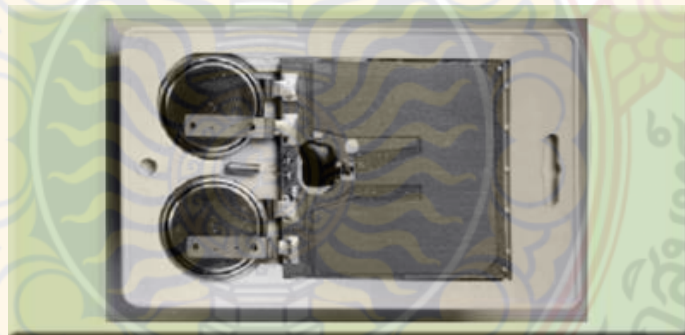
## 2.6.2 การแบ่งประเภทของสายอากาศ

สายอากาศแท็กชนิดพาสซีฟ ไม่มีแหล่งพลังงานหรือแบตเตอรี่ภายในแท็กเพราะการทำงานจะอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องอ่านมิกเวจรกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กอยู่ในตัวหรือที่เรียกว่าอุปกรณ์ตัวรับ-ตัวส่ง (Transceiver)



ภาพที่ 2-2 ตัวอย่างพาสซีฟแท็ก

สายอากาศแท็กชนิดแอ็กทีฟ จะมีแบตเตอรี่อยู่ภายในซึ่งใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟขนาดเล็กเพื่อป้อนพลังงานไฟฟ้าให้แท็กทำงาน การที่ต้องใช้แบตเตอรี่จึงทำให้แท็กมีอายุการใช้งานจำกัดตามอายุของแบตเตอรี่เมื่อแบตเตอรี่หมดจะไม่สามารถนำแท็กมาใช้งานได้อีกแต่สามารถออกแบบวงจรของแท็กให้ใช้กระแสไฟน้อยๆในการทำงานก็อาจจะมีอายุการใช้งานนานนับสิบปีได้



ภาพที่ 2-3 ตัวอย่างแอ็กทีฟแท็ก

สายอากาศแท็กชนิดกึ่งแอ็กทีฟ หรือเคมีแอ็กทีฟแท็กในบางกรณีอาร์เอฟไอดีแท็กลักษณะนี้จะเรียกว่า Battery-Assisted Tag เป็นอาร์เอฟไอดีแท็กที่มีแหล่งพลังงานเป็นของตนเองและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในการทำงาน แหล่งพลังงานดังกล่าวจะทำหน้าที่ให้พลังงานแก่อาร์เอฟไอดีแท็กซึ่งมีลักษณะเหมือนกับแอ็กทีฟแท็กในการส่งข้อมูลนั้นอาร์เอฟไอดีแท็กประเภทนี้จะอาศัยพลังงานจากเครื่องอ่าน มีการนำอาร์เอฟไอดีแท็กประเภทนี้แทนพาสซีฟแท็ก เนื่องจากว่าแท็กประเภทนี้สามารถ

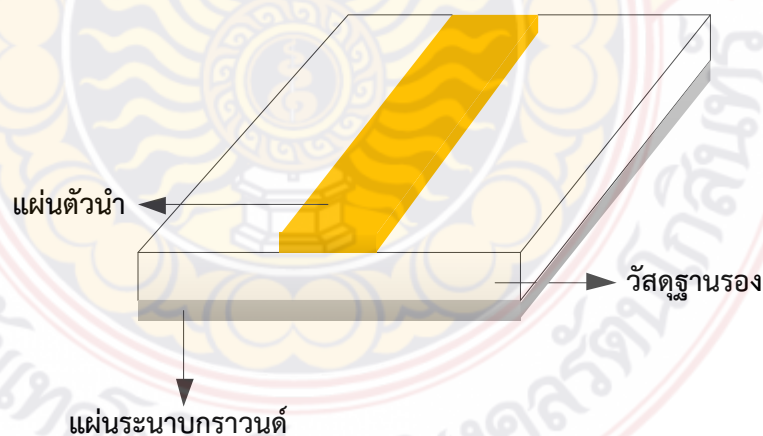
ส่งข้อมูลได้ไกลกว่าเพราะการส่งข้อมูลไม่ต้องรอให้เกิดการกระตุ้นการทำงานของขดลวดทองแดงเหมือนพาสซีฟแพ็ค ถึงแม้ว่าวัสดุที่ติดแท็กประเภทนี้จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วก็ยังสามารถทำงานได้ดี

## 2.7 สายอากาศไมโครสตริป (Microstrip Antenna)

โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปนั้นมีอยู่หลายแบบซึ่งแบ่งตามลักษณะไมโครสตริป (Microstrip Patch) และลักษณะการป้อนของสัญญาณ สายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น (Patch) และระนาบกราวนด์แบบช่องเปิดมีหลายลักษณะ เช่น วงกลม (Circular) แผ่นวงรี (Ellipse) แผ่นสี่เหลี่ยม (Rectangle) แผ่นห้าเหลี่ยมด้านเท่า (Equilateral Triangle) และแผ่นวงแหวน (Ring) เป็นต้น ส่วนการป้อนสัญญาณไมโครสตริปแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือการป้อนสัญญาณแบบตรงกลาง (Center Feed) และการป้อนสัญญาณแบบเอียงจากตรงกลาง (Off-Center-Feed)

## 2.8 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป

ส่วนโครงสร้างของไมโครสตริปจะประกอบด้วยตัวนำอยู่สองด้าน ด้านหนึ่งเรียกว่า แผ่นระนาบกราวนด์ (Ground Plane) และอีกด้านหนึ่งใช้สำหรับการสร้างตัวป้อนสัญญาณลายวงจหรือสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นวงจหรือพิมพ์ โดยมีวัสดุฐานรองไดอิเล็กทริก (Dielectric Substrate) อยู่ตรงกลาง ตัวนำส่วนใหญ่จะเป็นทองแดงซึ่งความหนาของทองแดง ( $t$ ) ประมาณ 0.01778 มิลลิเมตร ถึง 0.03556 มิลลิเมตร ส่วนความหนาของวัสดุฐานรอง ( $h$ ) มีหลายขนาดแต่ที่นิยมนำมาออกแบบคือ 0.8 มิลลิเมตร กับ 1.6 มิลลิเมตร เป็นต้น ส่วนคุณสมบัติทางไฟฟ้าวัสดุฐานรองแสดงด้วยสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ (Relative Permittivity) และค่า (Loss Tangent)



ภาพที่ 2-9 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป

### 2.8.1 แผ่นตัวนำ

ทำหน้าที่เป็นตัวแผ่พลังงานมีลักษณะเป็นโลหะแบนบางและมีค่าความต้านทานต่ำทนต่อสภาพแวดล้อมและการเกิดปฏิกิริยาต่างๆได้ดี สามารถยึดติดกับผิวของชั้นวัสดุรองได้ดี โดยทั่วไปทำจากทองแดง ทองคำ หรืออะลูมิเนียม อาจมีรูปร่างต่างๆเช่น สีเคลือบผิวนำ สีเคลือบจัตรัส วงกลม วงรี เป็นต้น วัสดุที่ใช้ทำแผ่นตัวนำนี้ส่งผลต่อประสิทธิภาพของสายอากาศและความยากง่ายในการผลิต นอกจากนี้ขนาดและรูปร่างของแผ่นตัวนำยังเป็นปัจจัยที่กำหนดความถี่ใช้งานและส่งผลกระทบต่อรูปแบบการแผ่พลังงาน อิมพีแดนซ์ขาเข้า ปัจจุบันแผ่นตัวนำที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นแผ่นตัวนำรูปวงกลม และสีเคลือบเนื่องจากการผลิตและปรับแต่งสามารถทำได้ง่ายและลักษณะสมบัติไม่ต่างจากแผ่นตัวรูปอื่นๆมาก

### 2.8.2 วัสดุฐานรอง

ชนิดและขนาดของชั้นวัสดุฐานรองเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการออกแบบและเป็นองค์ประกอบสำคัญที่กำหนดคุณสมบัติทางไฟฟ้าและทางกลของสายอากาศแถบบาง การแผ่พลังงานของสายอากาศจะลดลงเมื่อค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรองเพิ่มขึ้นโดยที่ความหนาของชั้นวัสดุฐานรองมีค่าคงที่ การแผ่พลังงานของสายอากาศเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาของชั้นวัสดุฐานรองเพิ่มขึ้นจนกระทั่งความหนาต่อความยาวคลื่น มีค่าประมาณ 0.05% การแผ่พลังงานจะมีปริมาณลดลงพลังงานที่สะสมในชั้นวัสดุฐานรองมีค่าเกือบคงที่ประมาณ 0.02%

การเลือกวัสดุฐานรองเพื่อใช้เป็นชั้นวัสดุฐานรองนอกจากจะต้องคำนึงสมบัติทางคุณสมบัติทางเคมีความคงทนต่อสภาวะแวดล้อมเช่น ความชื้น อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ความสามารถในการยึดติดบนผิวโลหะได้ดี การเรียบแบนของผิวซึ่งเพิ่มประสิทธิภาพยึดติดกับโลหะและสามารถผลิตเป็นชั้นวัสดุฐานรองขนาดใหญ่สำหรับแผงสายอากาศได้ นอกจากนี้คุณสมบัติทางไฟฟ้ายังเป็นตัวแปรที่สำคัญในการเลือกวัสดุโดยมีค่าปัจจัยที่ต้องคำนึงดังนี้

ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์  $\epsilon_r$  วัสดุที่ใช้ควรเป็นสารเนื้อเดียวเพื่อให้ค่าสภาพการยอมรับของสารไดอิเล็กตริกมีค่าคงที่ในเนื้อสารขนาดของแผ่นตัวนำจะมีค่าแปรผกผันกับค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ ความหนาของชั้นวัสดุฐานรองเป็นปัจจัยที่กำหนดลักษณะสมบัติของสายอากาศเช่นเดียวกับค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ซึ่งควรมีค่าต่ำเนื่องจากวัสดุที่มีค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ต่ำจะให้สายอากาศที่มีสมรรถนะสูง

แทนเจนต์การสูญเสีย ควรมีค่าต่ำกว่า 0.001 เพื่อลดค่าพลังงานสูญเสียเนื่องจากการสูญเสียไดอิเล็กตริกทำให้ประสิทธิภาพของสายอากาศสูงขึ้น

ความสามารถในการดูดซับน้ำและความชื้นต่ำเพราะน้ำและความชื้นจะทำให้เกิดพลังงานสูญเสียในวัสดุฐานรองสูงขึ้นและค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์มีค่าเปลี่ยนไป

ระบบป้องกัน ทำหน้าที่ในการจ่ายกำลังความถี่วิทยุ (RF Power) ให้แก่สายอากาศไมโครสตริป ระบบป้องกันเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อความยากง่ายในการสร้างและลักษณะของสายอากาศโดยเฉพาะในแผงสายอากาศไมโครสตริปเนื่องด้วยการจัดวางตัวของระบบป้องกันกำลังพลังงานที่สูญเสียในระบบป้องกันการเกิดการผิผิวและปรากฏการณ์การควบคุมกำลังคลื่นระหว่างระบบป้องกันกับแผ่นตัวนำที่จะส่งผลกระทบต่อลักษณะของสายอากาศไม่ว่าจะเป็นรูปแบบการแผ่กำลังงานโพลาไรซ์และประสิทธิภาพของสายอากาศ

### 2.8.3 แผ่นระนาบกราวด์

เป็นแผ่นโลหะขนาดใหญ่มากเมื่อเทียบกับซึ่งส่วนใหญ่จะทำด้วยโลหะชนิดเดียวกันขนาดของแผ่นระนาบนี้จะส่งผลกระทบต่อรูปแบบการแผ่พลังงานเนื่องจากคลื่นเลี้ยวเบนบริเวณขอบของแผ่นระนาบ นอกจากนี้ยังส่งผลต่อการวิเคราะห์ลักษณะของสายอากาศด้วย เนื่องจากในการวิเคราะห์ลักษณะของสายอากาศส่วนใหญ่มีแผ่นระนาบที่ขนาดใหญ่กว่าแผ่นตัวนำมากจนสามารถประมาณได้ว่าเป็นอนันต์

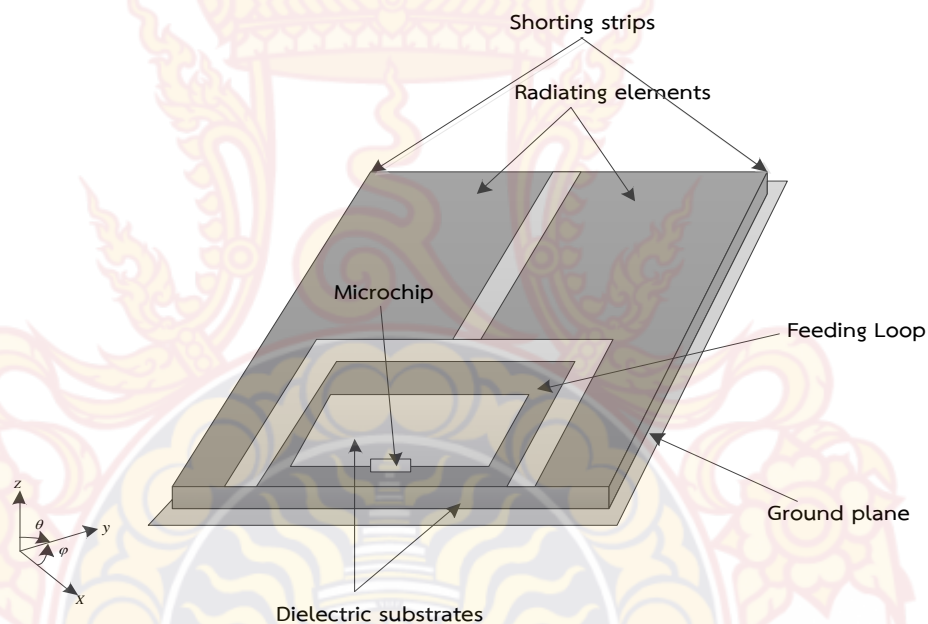
## 2.9 ข้อดีและข้อด้อยของสายอากาศแบบไมโครสตริป

ตารางที่ 2-3 ข้อดีและข้อด้อยของสายอากาศแบบไมโครสตริป

ข้อดี	ข้อเสีย
ต้นทุนการสร้างมีราคาถูก	มีค่าการสูญเสียย้อนกลับมากซึ่งส่งผลให้ได้ อัตราขยายต่ำ
น้ำหนักเบา มีขนาดเล็ก สร้างและออกแบบง่าย	แบนด์วิดท์แคบ
สามารถปรับเปลี่ยนลักษณะโครงสร้างรูปร่าง เพื่อลดพื้นที่ใช้งานของแผ่นวงจรพิมพ์	สร้างลายวงจรด้วยวิธีการทางเคมีจะทำได้ ค่อนข้างยาก
การกัดแผ่นวงจรพิมพ์สามารถทำได้ครั้งเดียว ทำให้สายอากาศมีราคาถูกลง	มีกำลังงานในการแผ่พลังงานต่ำ

## 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

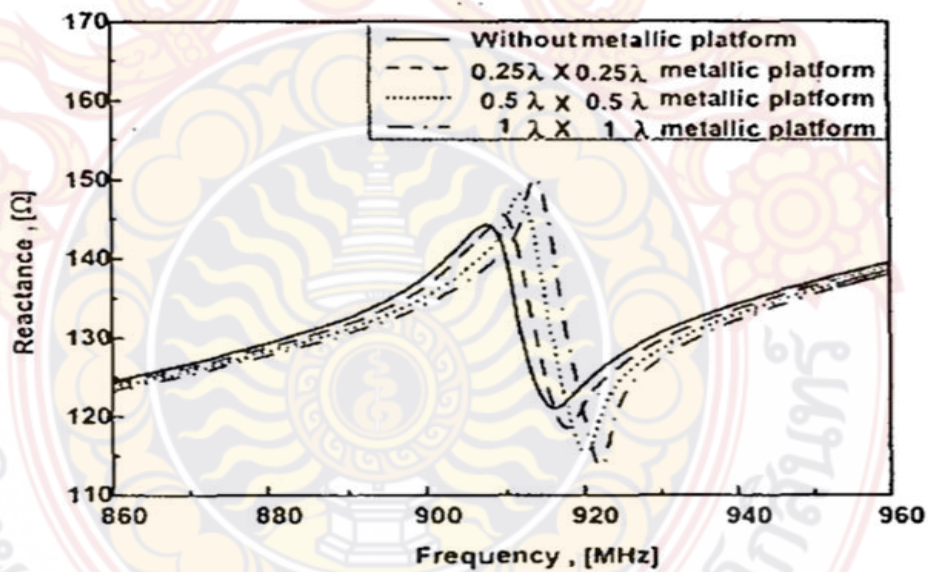
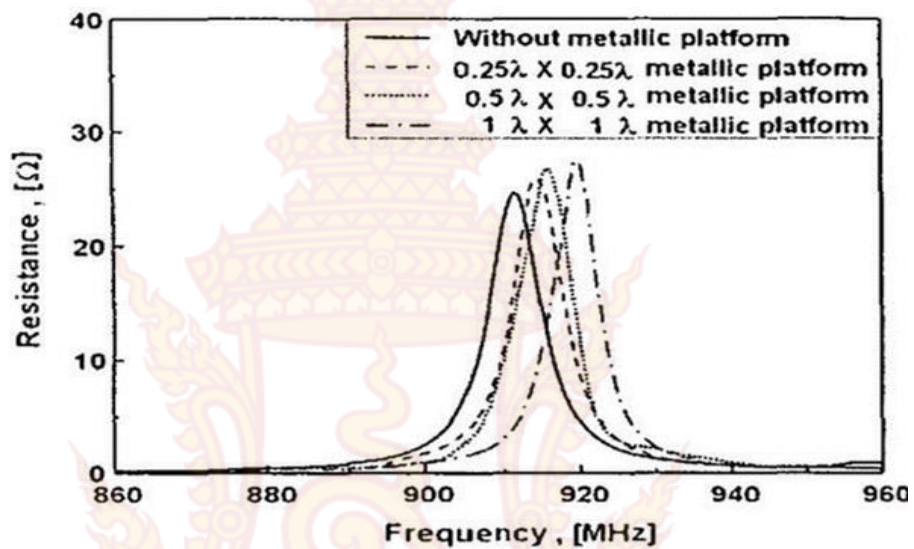
มีงานวิจัยจำนวนมากที่กล่าวถึงการออกแบบสายอากาศแท่งระบบบอร์เอไพเอตี้ที่ใช้งานในย่านความถี่ยูเอชเอฟโดยมีจุดประสงค์เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดจากวัตถุโลหะ ซึ่งวิธีการออกแบบสายอากาศแท่งให้สามารถใช้งานได้ดีกับวัตถุโลหะนั้นมีหลายวิธี แต่วิธีที่มีความสะดวกและสามารถสร้างได้ง่ายคือสายอากาศชนิดไมโครสตริป ดังนั้นจึงนำเสนอวิธีการออกแบบสายอากาศแท่งโดยใช้วิธีการออกแบบสายอากาศไมโครสตริป เช่น งานวิจัยของ Lee และ Yu ได้ใช้การออกแบบสายอากาศชนิดไมโครสตริปแบบสมดุมาช่วยในการออกแบบสายอากาศแท่งเพื่อลดผลกระทบของวัตถุที่เป็นโลหะที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานของสายอากาศแท่ง



ภาพที่ 2-10 โครงสร้างของสายอากาศแท่งไมโครสตริปแบบสมดุ

สายอากาศแท่งที่นำเสนอประกอบด้วยส่วนการแพร่กระจายคลื่นสองส่วนที่สมมาตรกันและส่วนป้อนสัญญาณแบบบ่วง แสดงดังภาพที่ 2-10 ส่วนการแพร่กระจายคลื่นที่สมมาตรกันนั้นจะวางบนชั้นวัสดุฐานรองและมีช่องสำหรับเชื่อมต่อไปยังระนาบกราวด์ของสายอากาศ การป้อนสัญญาณแบบบ่วงซึ่งเป็นส่วนที่ใช้ในการติดชิปวงจรรวมนั้นเป็นการเชื่อมต่อแบบการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า (Inductive coupling) การแมตช์สัญญาณสามารถทำได้โดยปรับพารามิเตอร์ของส่วนการป้อนสัญญาณและระยะห่างของส่วนการแพร่กระจายคลื่นโดยสายอากาศแท่งที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จะพบว่ามีประสิทธิภาพของการทำงานที่แตกต่างกันเล็กน้อยเมื่อติดอยู่บนแผ่นโลหะที่ขนาดต่างๆดังรูป 2-11 แสดงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแท่งเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงขนาดของแผ่นโลหะ สิ่งหนึ่งที่เห็นได้จาก

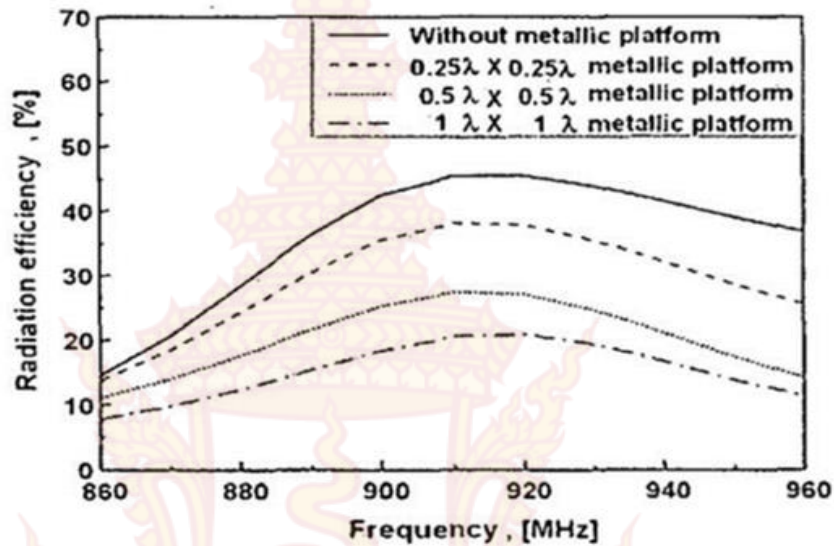
การเปลี่ยนแปลงของอิมพีแดนซ์คือ มีค่าที่แตกต่างกันไม่มากนักเมื่อไม่ได้ใช้งานกับวัสดุโลหะและเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงขนาดของแผ่นโลหะ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าสายอากาศแท่งในงานวิจัยนี้มีการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการทำงานเล็กน้อยเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของแผ่นโลหะ



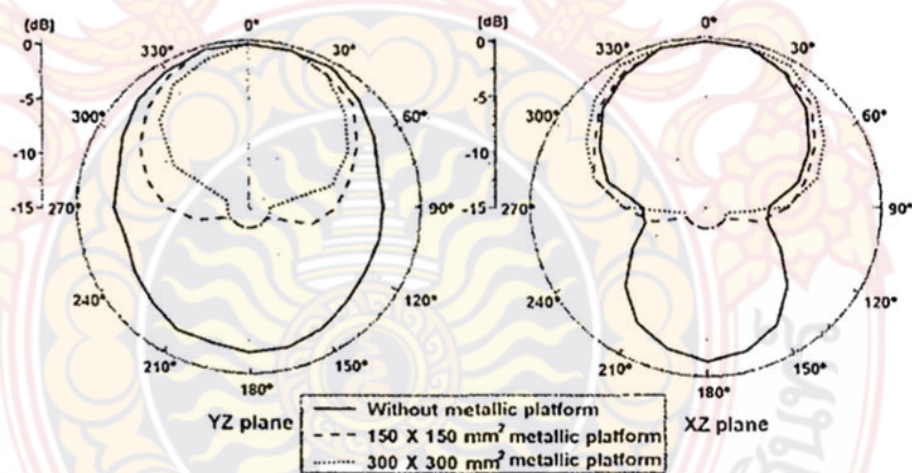
ภาพที่ 2-11 รูปการจำลองอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแท่งเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของแผ่นโลหะ

จากภาพที่ 2-11 แสดงผลการจำลองประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงขนาดของแผ่นโลหะโดยจะเห็นว่าการลดลงของประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่นมีความเหมาะสมกับขนาดของแผ่นโลหะซึ่งมีประสิทธิภาพนั้นจะลดลงเรื่อยๆเมื่อขนาดของแผ่น

โลหะนั้นใหญ่ขึ้นและผลการทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศซึ่งจะพบว่าลำคลื่นหลักของสายอากาศแท่งที่นำเสนอนี้ไม่เปลี่ยนแปลงตามขนาดของแผ่นโลหะแสดงดังภาพที่ 2-12



ภาพที่ 2-12 ผลการจำลองประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของแผ่นโลหะ

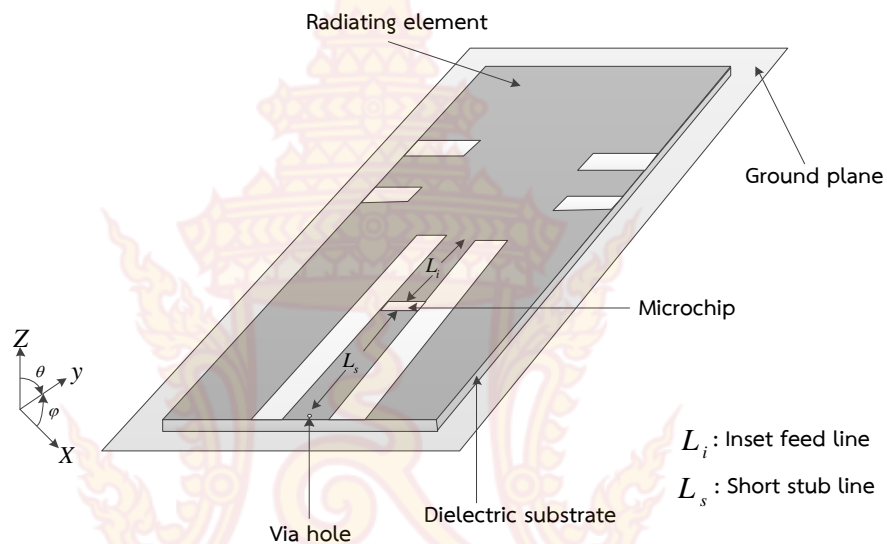


ภาพที่ 2-13 ผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของแผ่นโลหะ

จากงานวิจัยของ Lee และ Yu ได้เสนอวิธีการใหม่ของการออกแบบสายอากาศแท่งอาร์เอฟ ไอดีสำหรับติดตั้งวัตถุที่เป็นโลหะในย่านความถี่เอชเอฟ โดยสายอากาศแท่งที่นำเสนอนี้สามารถที่จะช่วยลดความซับซ้อนของการสร้างและความหนาของสายอากาศแท่งโดยใช้โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริปซึ่งโครงสร้างสายอากาศนั้นเป็นแผ่นพิมพ์ด้านเดียวและมีเส้นป้อนสัญญาณบนแผ่นพิมพ์ด้านเดียวกันซึ่งเป็นส่วนของการแพร่กระจายคลื่น ภาพที่ 2-14 แสดงโครงสร้างของสายอากาศแท่งที่นำเสนอในงานวิจัย โดยจะพบว่าเส้นป้อนสัญญาณนั้นจะถูกแบ่งเป็นสองส่วน ส่วนแรกจะเชื่อมต่อไป

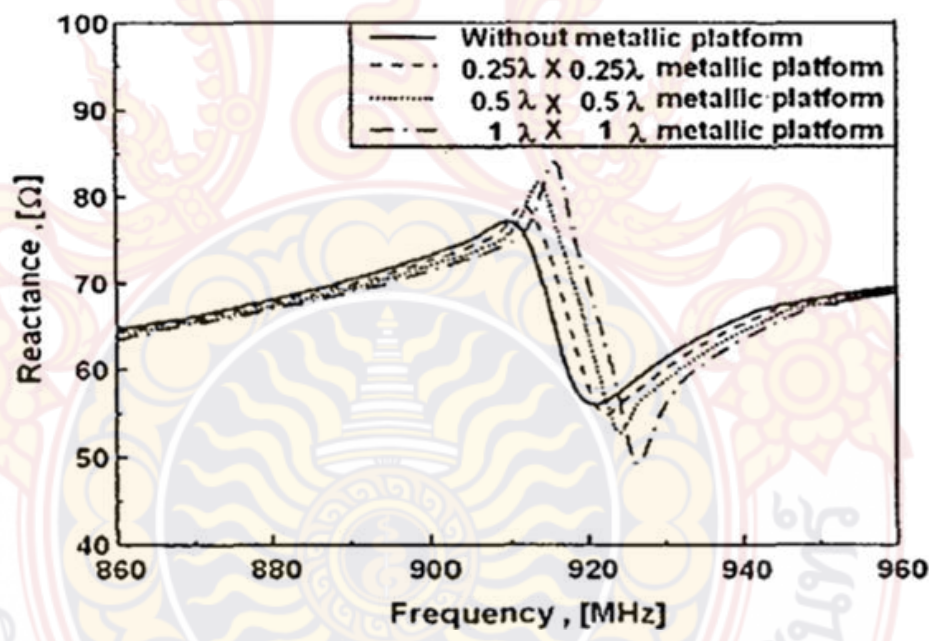
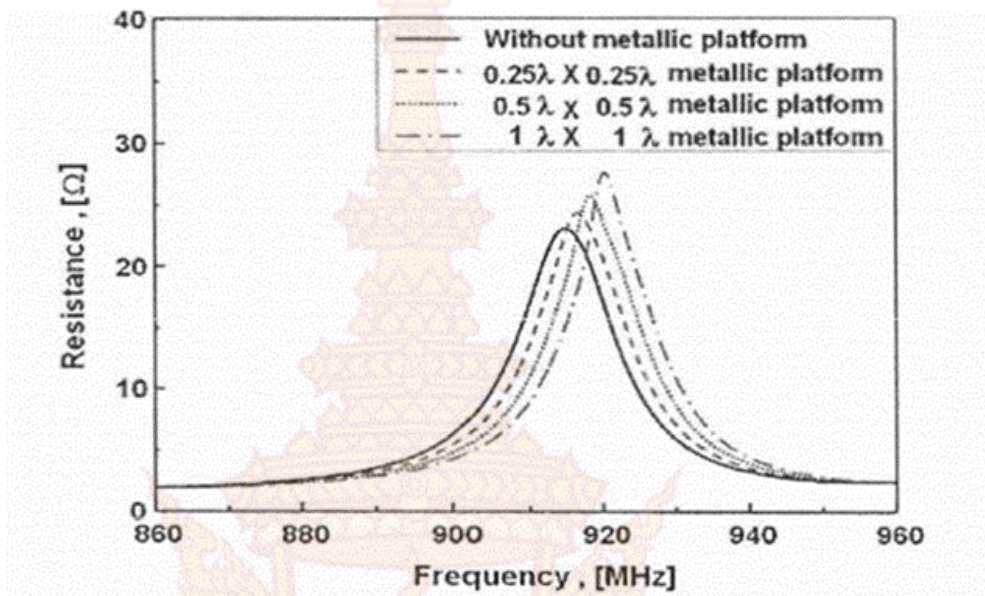


ยังแผ่นการแพร่กระจายคลื่นและส่วนที่สองจะเชื่อมต่อไปยังระนาบกราวนด์ด้านหลังผ่านรูที่ถูกเจาะไว้ การแมทซ์สัญญาณที่แดนซ์ระหว่างสายอากาศแท่งกับชิปวงจรรวมนั้นสามารถทำได้โดยการปรับความยาวของเส้นป้อนสัญญาณในส่วนที่ต่อกับแผ่นการแพร่กระจายคลื่นและส่วนที่เชื่อมต่อไปยังระนาบกราวนด์

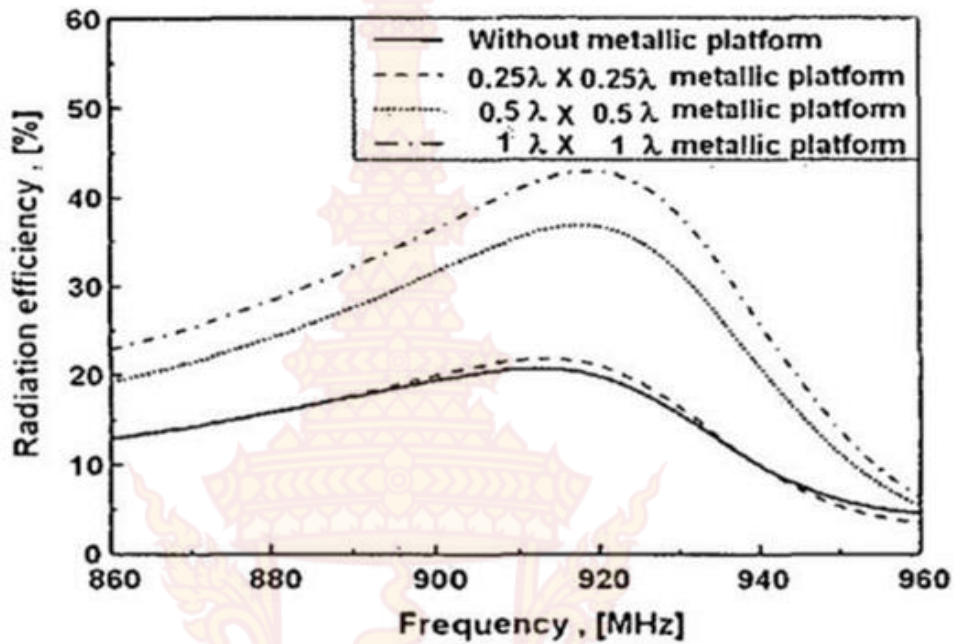


ภาพที่ 2-14 โครงสร้างของสายอากาศแท่งไมโครสตริป

จากรูปที่ 2-15 แสดงผลการจำลองอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแท่งเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงขนาดของแผ่นโลหะเป็นขนาดต่างๆ ซึ่งจะพบว่าอิมพีแดนซ์มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อไม่ได้ใช้งานกับแผ่นโลหะและเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของแผ่นโลหะ ภาพที่ 2-16 แสดงประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนแปลงความถี่สำหรับการใช้งานกับแผ่นโลหะขนาดต่างๆซึ่งจะพบว่าประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของแผ่นโลหะมีขนาดใหญ่ขึ้น

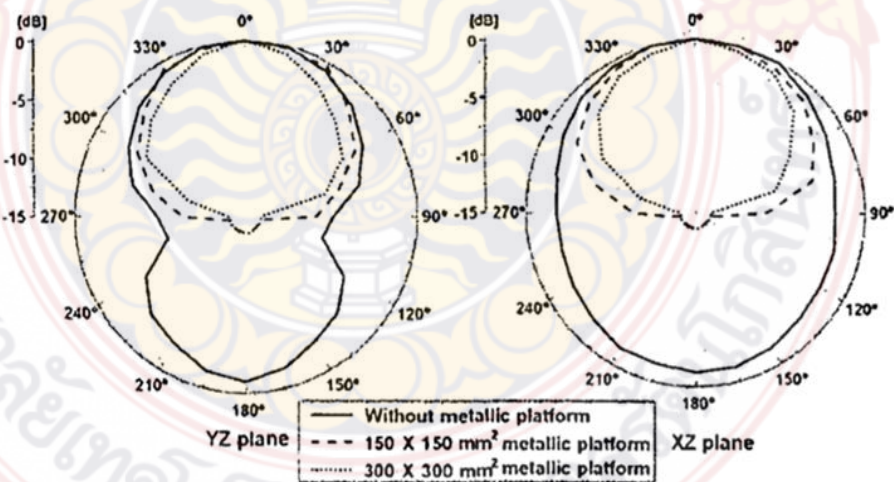


ภาพที่ 2-15 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแท่งเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของแผ่นโลหะ



ภาพที่ 2-16 ผลการจำลองประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของแผ่นโลหะ

จากภาพที่ 2-17 แสดงผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ ซึ่งพบว่าทิศทางของลำคลื่นนั้นไม่ได้เปลี่ยนแปลงตามขนาดที่เปลี่ยนไปของแผ่นโลหะและสภาพเจาะจงทิศทางมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของแผ่นโลหะมีขนาดใหญ่อขึ้น ดังนั้นจะสามารถสรุปได้ว่าสายอากาศแท่งที่นำเสนอในงานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีเมื่อนำมาใช้ร่วมกับแผ่นโลหะขนาดต่างๆ

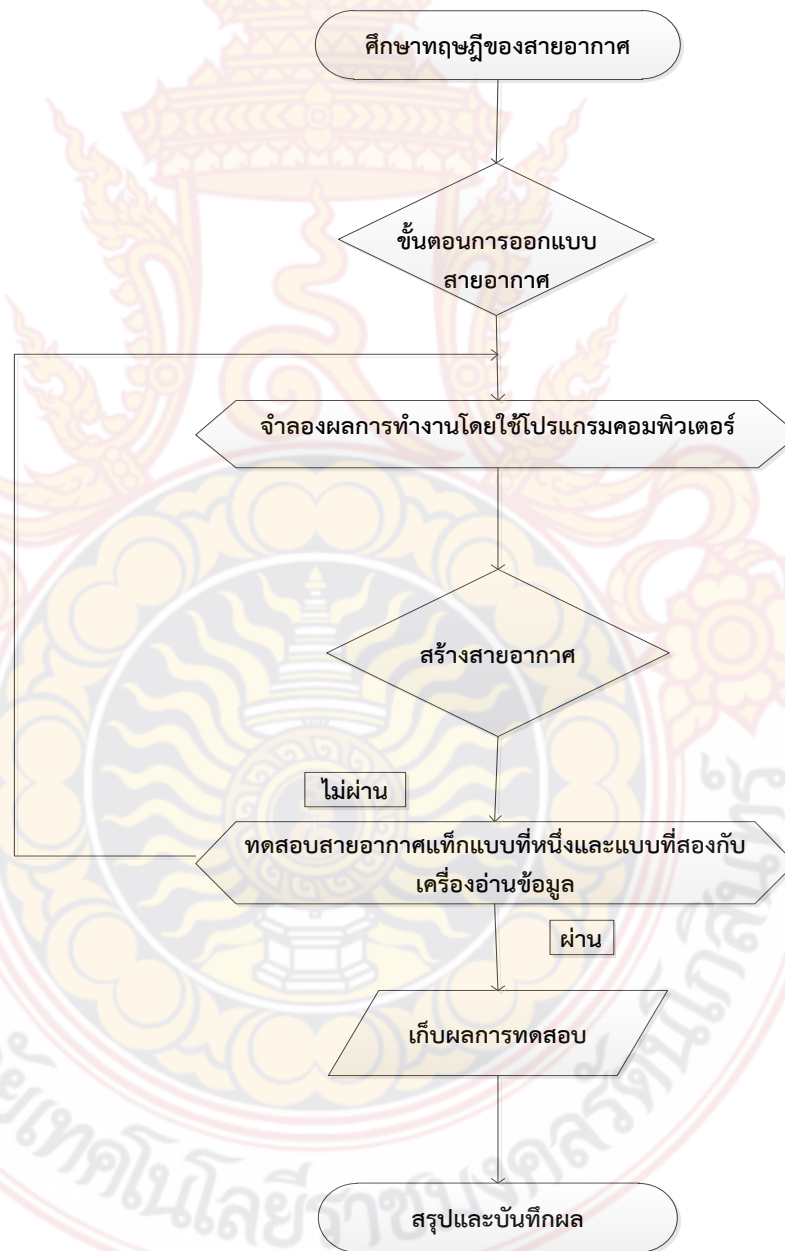


ภาพที่ 2-17 ผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของแผ่นโลหะ

### บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย

#### 3.1 บทนำ

จากการศึกษาทฤษฎีของสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีและสายอากาศไมโครสตริปที่ผ่านมาในบทที่ 2 ในบทนี้จะอธิบายถึงการคำนวณเพื่อหาขนาดของสายอากาศ และการจำลองการออกแบบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีและกราฟที่ได้จากการจำลองผลโดยขั้นตอนการปฏิบัติการมีดังนี้



ภาพที่ 3-1 แผนผังหลักการออกแบบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดี

### 3.2 วิธีการคำนวณหาขนาดของสายอากาศ

ในการวิเคราะห์คุณลักษณะของสายอากาศแท้ก็ต้องการทำการคำนวณค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแท้ที่มีช่วงความถี่ระหว่าง 920-925 เมกกะเฮิร์ตซ์ โดยใช้โปรแกรมการจำลองผลทางแม่เหล็กไฟฟ้าและจำลองการทำงานและนำไปสร้างเป็นชิ้นงานจริง โดยใช้ตัวแปรในการกำหนดค่าแทนค่าในสูตรดังต่อไปนี้

ค่าความถี่	$f = 922.5$	เฮิร์ตซ์
ค่าตัวเก็บประจุ	$C = 1.16 \times 10^{-12}$	ฟารัด
ค่าความหนาของวัสดุฐานรอง	$h = 1.6$	มิลลิเมตร
ค่าตัวประกอบคุณภาพ	$Q = 9.37$	

สูตรการคำนวณรีแอกแตนซ์

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC} \quad (3-1)$$

$$X_c = \frac{1}{2(3.14)(922.5 \times 10^6)(1.16 \times 10^{-12})}$$

$$X_c = 148.80 \quad \text{โอห์ม}$$

สูตรการคำนวณรีซิสแตนซ์

$$R = \frac{1}{2\pi fQC} \quad (3-2)$$

$$R = \frac{1}{2(3.14)(922.5 \times 10^6)(1.16 \times 10^{-12})}$$

$$R = 16.66 \quad \text{โอห์ม}$$

สำหรับการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปสามารถใช้ตัวแปรในการกำหนดค่าแทนค่าในสูตรดังต่อไปนี้

$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$	ค่าความเร็วแสง
$(f_r)$	ค่าความถี่เรโซแนนซ์ที่ต้องการออกแบบ
$(\epsilon_r)$	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรอง

$(\epsilon_{eff})$                       ค่าคงที่ได้ไอเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผล  
 $(L_{eff})$                       ค่าความยาวประสิทธิผล  
 หาความกว้าง ( $W$ )

$$W_{patch} = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_{eff}}} \quad (3-3)$$

$$W_{patch} = \frac{3 \times 10^8}{2(922.5 \times 10^6)} \sqrt{\frac{2}{4.4+1}}$$

$$W_{patch} = 100 \quad \text{มิลลิเมตร}$$

หาความยาว ( $L$ )

$$L_{patch} = L_{eff} - 2\Delta L \quad (3-4)$$

$$L_{patch} = 0.096 - 2(0.632)$$

$$L_{patch} = 95 \quad \text{มิลลิเมตร}$$

หาประสิทธิภาพความยาว ( $L_{eff}$ )

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (3-5)$$

$$L_{eff} = \frac{3 \times 10^8}{2(922.5 \times 10^6) \sqrt{2.821}}$$

$$L_{eff} = 0.096 \quad \text{เฮนรี}$$

หาประสิทธิภาพค่าคงที่ได้ไอเล็กตริก ( $\epsilon_{eff}$ )

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ 1 + 12 \frac{h}{W_{patch}} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (3-6)$$

$$\varepsilon_{eff} = \frac{4.4+1}{2} + \frac{4.4-1}{2} \left[ 1 + 12 \frac{1.6}{0.0989} \right]^{-\frac{1}{2}}$$

$$\varepsilon_{eff} = 2.821 \quad \text{เฮนรี่}$$

หาค่าความยาวการกระจายคลื่น ( $\Delta L$ )

$$\Delta L = 0.412h \frac{\varepsilon_{eff} + 0.3 \left( \frac{W}{h} + 0.264 \right)}{\varepsilon_{eff} + 0.258 \left( \frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (3-7)$$

$$\Delta L = 0.412(1.6) \frac{2.821 + 0.3 \left( \frac{0.0989}{1.6} + 0.264 \right)}{2.821 + 0.258 \left( \frac{0.0989}{1.6} + 0.8 \right)}$$

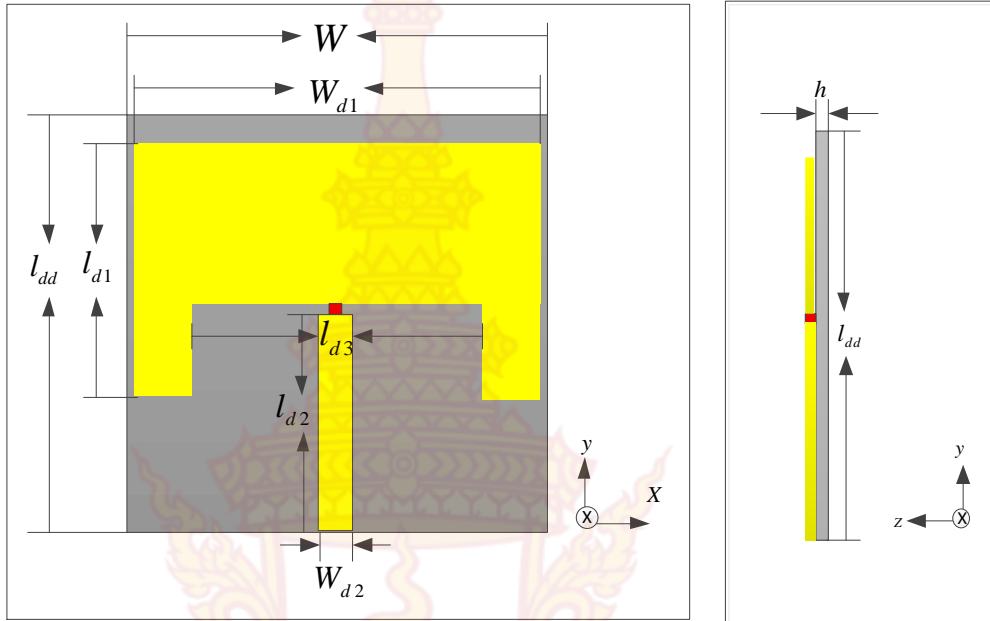
$$\Delta L = 0.632 \quad \text{มิลลิเมตร}$$

เมื่อทำการศึกษาวิธีการคำนวณหาขนาดของสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีในสมการที่ผ่านมาแล้ว ก็นำมาออกแบบสายอากาศเป็นรูปสี่เหลี่ยมพื้นผ้าที่มีขนาดความยาวตามความเหมาะสม โดยใช้วัสดุแผ่น FR-4 และจะใช้โปรแกรมจำลองการทำงานของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสร้างและดูผลการจำลองการตอบสนองความถี่ของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ  $|S_{11}|$  ของสายอากาศแท่งทั้งสองแบบและกำหนดค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศดังนี้

### 3.3 การออกแบบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีตัวที่หนึ่งแบบไมโครสตริบ

ทำการออกแบบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีโดยใช้โปรแกรมในการจำลองผล โดยกำหนดค่าความกว้างและความยาวของสายอากาศโดยอ้างอิงจากการศึกษาทฤษฎีและสูตรคำนวณหาสายอากาศตั้งต้นแบบดังนี้

จากการคำนวณสูตรในสมการที่ผ่านมาของสายอากาศแบบไมโครสตริบเป็นสายอากาศตั้งต้นทำให้ได้กำหนดรูปทรงของสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีย่านความถี่เอชเอฟโดยกำหนดเป็นรูปสี่เหลี่ยมพื้นผ้าที่มีขนาดยาวตามความยาวเหมาะสม โดยจะใช้โปรแกรมจำลองการทำงานของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสร้างและดูผลการจำลองการตอบสนองความถี่ของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ  $|S_{11}|$  ซึ่งได้ศึกษาพารามิเตอร์ของสายอากาศโดยจะกำหนดให้มีขนาดตามผลการคำนวณดังแสดงในภาพที่ 3-2



(ก) มุมมองด้านหน้า

(ข) มุมมองด้านข้าง

ภาพที่ 3-2 สายอากาศตั้งต้นแบบไมโครสตริปที่ได้จากการคำนวณ

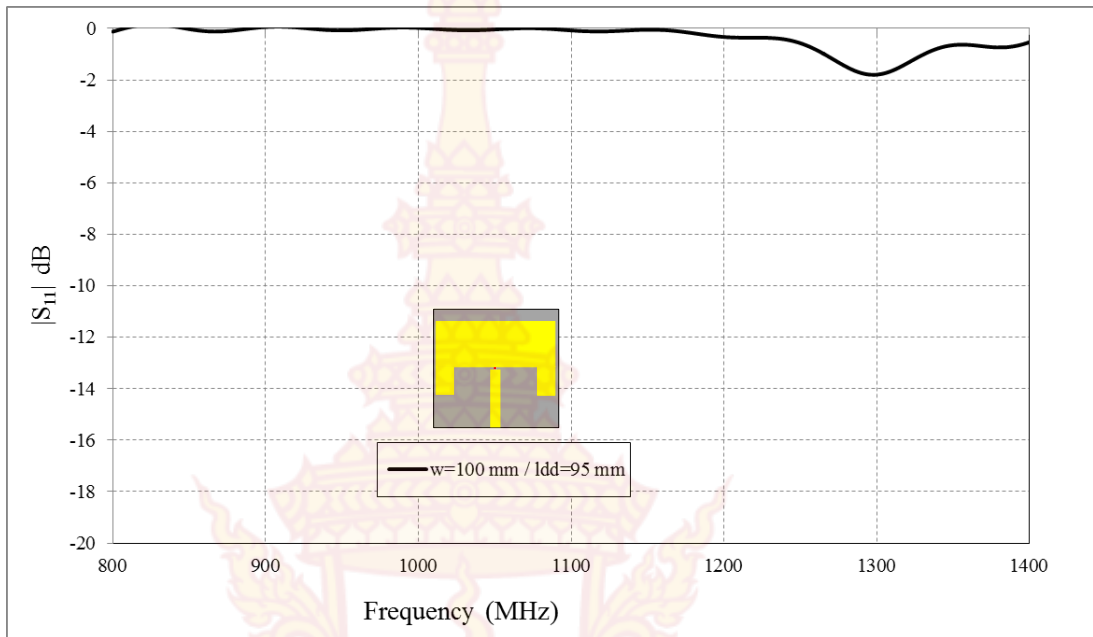
จากภาพที่ 3-2 ได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีย่านความถี่เอชเอฟแบบไมโครสตริป

พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (มิลลิเมตร)
$W$	100.0
$W_{d1}$	93.0
$W_{d2}$	8.0
$l_{dd}$	95.0
$l_{d1}$	64.0
$l_{d2}$	47.0
$l_{d3}$	72.0
$h$	1.6

หลังจากกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้สายอากาศแท่งแล้วก็ทำการป้อนจุดสัญญาณให้กับสายอากาศ จากนั้นจะทำการป้อนสัญญาณเพื่อดูค่า  $|S_{11}|$  ซึ่งยังไม่ได้ค่าความถี่ตามที่ต้องการดังภาพที่ 3-3

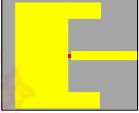
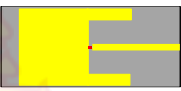


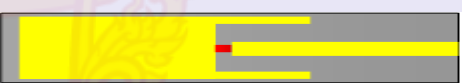




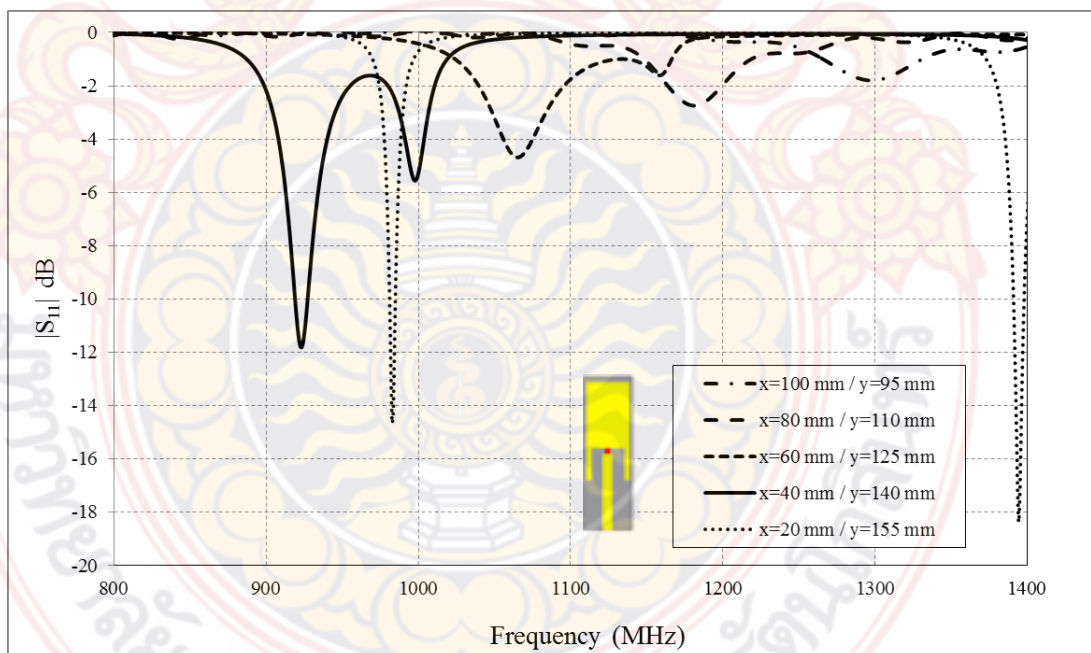
ภาพที่ 3-3 ผลการจำลองการตอบสนองความถี่ของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ  $|S_{11}|$  ของสายอากาศแท่งแบบไมโครสตริบ

เมื่อทำการศึกษาพารามิเตอร์ของสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอเดียความถี่เอชเอฟจะเห็นว่าจากการจำลองผลข้างต้น ขนาดความยาวของสายอากาศค่าที่  $w=100.0$  มิลลิเมตร  $w_{d1}=93.0$  มิลลิเมตร  $w_{d2}=17.0$  มิลลิเมตร  $l_{dd}=95.0$  มิลลิเมตร  $l_{d1}=64.0$  มิลลิเมตร  $l_{d2}=47.0$  มิลลิเมตร  $l_{d3}=73.0$  มิลลิเมตร และ  $h=1.6$  มิลลิเมตรนั้น จะเห็นได้ว่าค่าความถี่ของสายอากาศนั้นไม่ลงที่ความถี่ 922.5 เมกกะเฮิร์ตซ์ จึงต้องทำการปรับรูปแบบและขนาดของสายอากาศแท่งเพื่อให้ได้ค่าความถี่ที่ต้องการ และเลือกค่าที่ดีที่สุด ในการออกแบบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอเดียความถี่เอชเอฟ จากกราฟจะเห็นว่าค่าที่ได้คือ 1300 เมกกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งไม่ใช่ค่าความถี่ที่ต้องการ จึงต้องทำการปรับขนาดของสายอากาศแท่งเพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับ 922.5 เมกกะเฮิร์ตซ์ มากที่สุด

ตารางที่ 3-2 การศึกษาขนาดพารามิเตอร์ของสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอเดียันความถี่เอชเอฟแบบไมโครสตริป

พารามิเตอร์ (มิลลิเมตร)	
$w = 100 \text{ mm} / l_{dd} = 95 \text{ mm}$	
$w = 80 \text{ mm} / l_{dd} = 110 \text{ mm}$	
$w = 60 \text{ mm} / l_{dd} = 125 \text{ mm}$	
$w = 40 \text{ mm} / l_{dd} = 140 \text{ mm}$	
$w = 20 \text{ mm} / l_{dd} = 155 \text{ mm}$	

หลังจากกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้สายอากาศแท่งแล้วก็ทำการป้อนจุดสัญญาณให้กับสายอากาศ จากนั้นจะทำการป้อนสัญญาณเพื่อดูค่า  $|S_{11}|$  ที่มีค่าความถี่ตามที่ต้องการดังภาพที่ 3-4



ภาพที่ 3-4 ผลการจำลองการตอบสนองความถี่ของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ  $|S_{11}|$  ของสายอากาศแท่งแบบไมโครสตริปเมื่อปรับค่าพารามิเตอร์  $x, y$

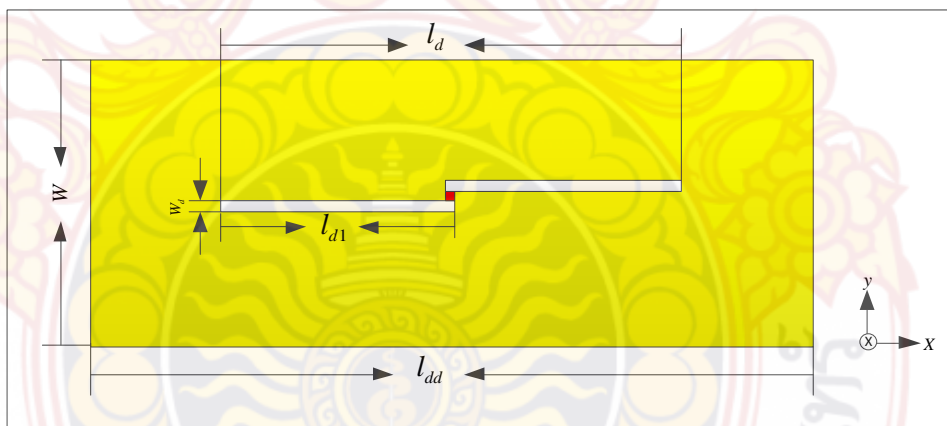
จากภาพข้างต้นเราจะสังเกตได้ว่า มีค่ากราฟที่ลงที่ความถี่ 922.5 เมกกะเฮิรตซ์ จากนั้นจึงนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ มาทำการจำลองผลในโปรแกรมจำลองผลเพื่อดูค่ากราฟ  $|S_{11}|$  โดยสายอากาศที่มี

ความเหมาะสมคือเมื่อ  $w=40$  มิลลิเมตร และ  $l_{dd}=140$  มิลลิเมตร โดยคุณลักษณะของสายอากาศแบบไมโครสตริปจะกล่าวไว้ในรายละเอียดต่อไปในบทที่ 4

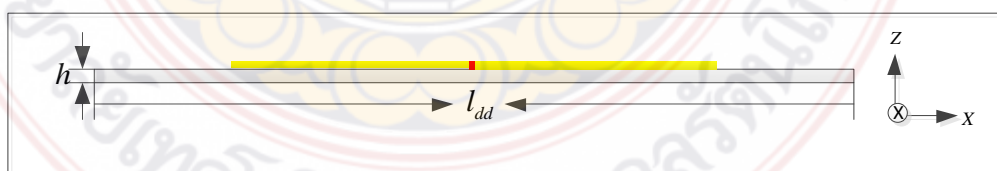
### 3.4 การออกแบบสายอากาศแท่งตั้งต้นตัวที่สองแบบช่องเปิด

ทำการออกแบบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีโดยใช้โปรแกรมจำลองแม่เหล็กไฟฟ้า โดยกำหนดค่าความกว้าง ความยาวของสายอากาศแท่งแบบช่องเปิดโดยอ้างอิงจากการศึกษาทฤษฎีและสูตรการคำนวณสายอากาศแท่งแบบช่องเปิดซึ่งสามารถหาได้จาก การคำนวณหาความยาวของคลื่น ( $\lambda$ ) ที่ค่าความถี่ใช้งาน ( $f$ ) 922.5 เมกกะเฮิร์ตซ์ มีค่าเป็น 325 มิลลิเมตร ซึ่งนำมาใช้คำนวณหาความยาวของสายอากาศ ( $l$ ) ได้ค่าประมาณ 162 มิลลิเมตร

จากการใช้สมการข้างบนในการคำนวณสายอากาศแบบช่องเปิดต้นแบบ ทำให้ได้กำหนดรูปทรงของสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ โดยกำหนดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีขนาดยาวตามความยาวเหมาะสม โดยจะใช้โปรแกรมจำลองการทำงานของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสร้างและดูผลการจำลองการตอบสนองความถี่ของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ  $|S_{11}|$  ซึ่งได้ศึกษาพารามิเตอร์ของสายอากาศโดยจะกำหนดให้มีขนาดตามผลการคำนวณในดังแสดงในภาพที่ 3-9



(ก) มุมมองด้านหน้า



(ข) มุมมองด้านข้าง

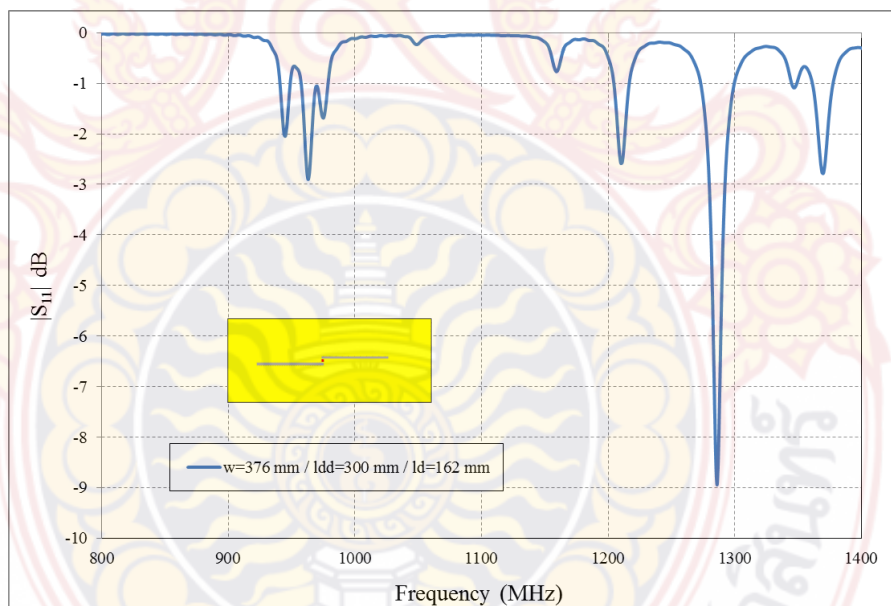
ภาพที่ 3-5 สายอากาศตั้งต้นแบบช่องเปิดที่ได้จากการคำนวณ

จากภาพที่ 3-5 ได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแท่งดังตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-3 แสดงค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศตั้งต้นแบบช่องเปิด

พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (มิลลิเมตร)
$W$	376.0
$W_d$	3.0
$l_{dd}$	300.0
$l_d$	162.0
$l_{d1}$	81.0
$h$	1.6

หลังจากกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้สายอากาศแท่งแล้วก็ทำการป้อนจุดสัญญาณให้กับสายอากาศ จากนั้นจะทำการป้อนสัญญาณเพื่อดูค่า  $|S_{11}|$  ซึ่งยังไม่ได้ค่าความถี่ตามที่ต้องการดังภาพที่ 3-6

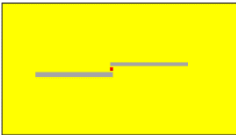


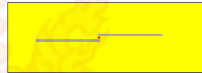



ภาพที่ 3-6 ผลการจำลองการตอบสนองความถี่ของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ  $|S_{11}|$  ของสายอากาศแท่งแบบช่องเปิด

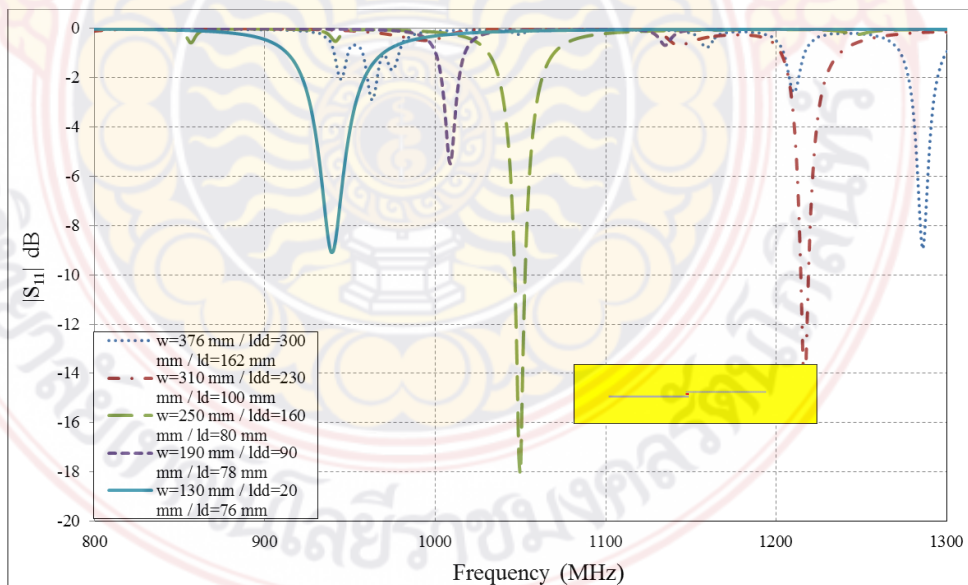
เมื่อทำการศึกษาพารามิเตอร์ของสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอเดียความถี่ยูเอชเอฟ จะเห็นว่าจากการจำลองผลข้างต้น ขนาดความยาวของสายอากาศที่ค่า  $W=376.0$  มิลลิเมตร  $W_d=3.0$  มิลลิเมตร  $l_{dd}=300.0$  มิลลิเมตร  $l_d=162.0$  มิลลิเมตร  $l_{d1}=81.0$  มิลลิเมตร และ  $h=1.6$  มิลลิเมตรนั้น จะเห็นได้ว่าค่าความถี่ของสายอากาศนั้นไม่ลงที่ความถี่ 922.5 เมกกะเฮิรตซ์ จึงต้องทำการปรับรูปแบบและขนาดของสายอากาศแท่งเพื่อให้ได้ค่าความถี่ที่ต้องการและเลือกค่าที่ดีที่สุดในการ

ออกแบบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอเดียันความถี่เอชเอฟ จากกราฟจะเห็นว่าค่าที่ได้คือ 1295.65 เมกกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งไม่ใช่ค่าที่ต้องการ จึงต้องทำการปรับขนาดของสายอากาศแท่งเพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับ 922.5 เมกกะเฮิร์ตซ์ มากที่สุด

**ตารางที่ 3-4** การศึกษาขนาดพารามิเตอร์ของสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอเดียันความถี่เอชเอฟแบบช่องเปิด

พารามิเตอร์ (มิลลิเมตร)	
w=376 mm / ldd=300 mm / ld=162 mm	
w=310 mm / ldd=230 mm / ld=100 mm	
w=250 mm / ldd=160 mm / ld=80 mm	
w=190 mm / ldd=90 mm / ld=78 mm	
w=130 mm / ldd=20 mm / ld=76 mm	

หลังจากกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้สายอากาศแท่งแล้วก็ทำการป้อนจุดสัญญาณให้กับสายอากาศ จากนั้นจะทำการป้อนสัญญาณเพื่อดูค่า  $|S_{11}|$  ที่มีค่าความถี่ตามที่ต้องการดังภาพที่ 3-7



**ภาพที่ 3-7** ผลการจำลองการตอบสนองความถี่ของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ  $|S_{11}|$  ของสายอากาศแท่งแบบช่องเปิดเมื่อปรับค่าพารามิเตอร์  $w$ ,  $l_{dd}$ ,  $l_d$

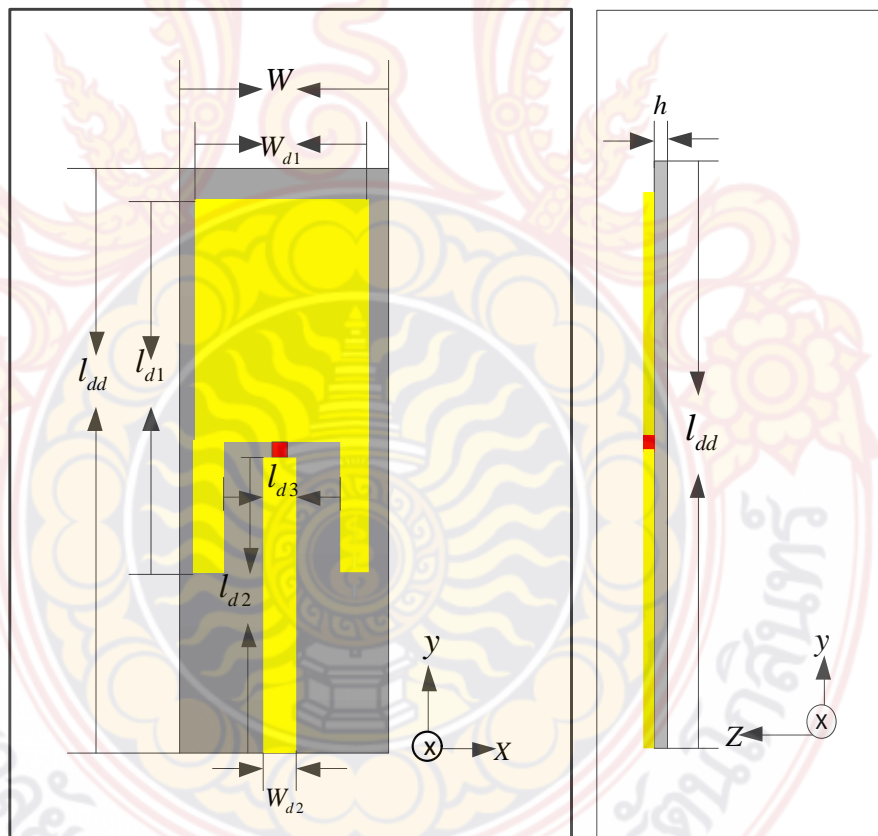
## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและผลการวิเคราะห์

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงโครงสร้างที่ออกแบบอย่างเหมาะสมโดยแบ่งออกเป็นสองโครงสร้าง กล่าวคือโครงสร้างที่หนึ่งแบบไมโครสตริปและโครงสร้างที่สองแบบช่องเปิด โดยรายละเอียดคุณลักษณะของสายอากาศทั้งสองได้ถูกอธิบายในบทนี้

#### 4.1 โครงสร้างและผลคุณลักษณะของสายอากาศแท่งแบบไมโครสตริป

จากการปรับขนาดความกว้างและความยาวของสายอากาศแท่งตามค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากภาพที่ 4-1 เพื่อให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการคือ 922.5 เมกกะเฮิร์ตซ์ โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีดังตารางที่ 4-1



(ก) มุมมองด้านหน้า

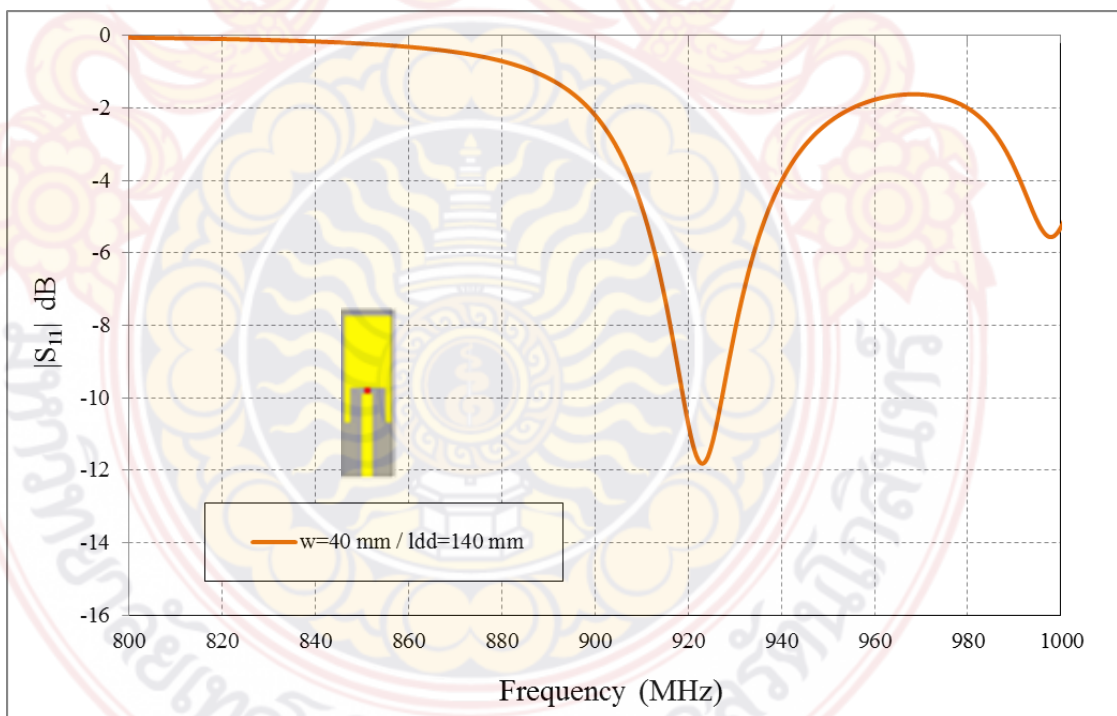
(ข) มุมมองด้านข้าง

ภาพที่ 4-1 สายอากาศแบบไมโครสตริปที่ได้มีการปรับขนาด

ตารางที่ 4-1 แสดงค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอเดียันความถี่เอชเอฟแบบไมโครสตริป

พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (มิลลิเมตร)
$w$	40.0
$wd1$	30.0
$wd2$	8.0
$l_{dd}$	140.0
$l_{d1}$	84.0
$l_{d2}$	67.5
$l_{d3}$	24.0
$h$	1.6

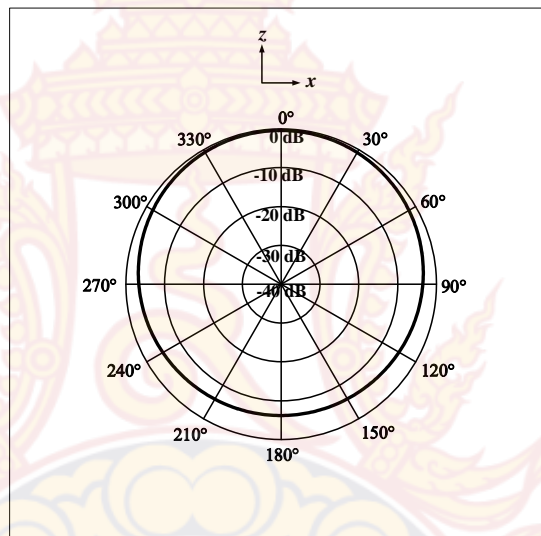
หลังจากกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้สายอากาศแท่งแล้วก็ทำการป้อนจุดสัญญาณให้กับสายอากาศ จากนั้นจะทำการป้อนสัญญาณเพื่อดูค่า  $|S_{11}|$  ซึ่งได้ค่าความถี่ตามที่ต้องการดังภาพที่ 3-6



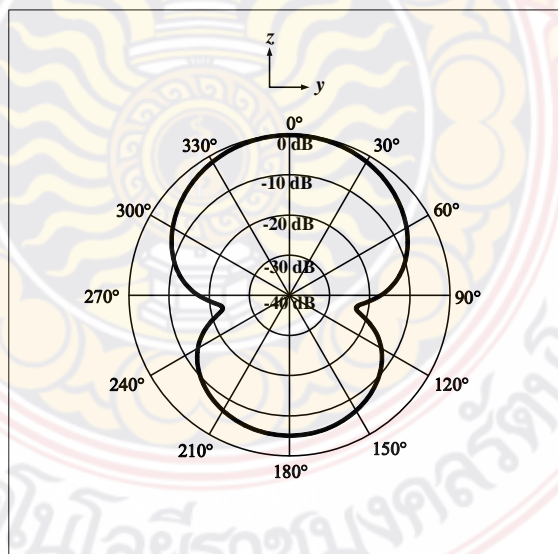
ภาพที่ 4-2 ผลการจำลองการตอบสนองความถี่ของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ  $|S_{11}|$  ของสายอากาศไมโครสตริป

เมื่อทำการศึกษาพารามิเตอร์ของสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟ จะเห็นได้ว่าจากการจำลองผลข้างต้น ขนาดความยาวของสายอากาศแท่งมีค่าที่  $W=40.0$  มิลลิเมตร  $W_{d1}=35.0$  มิลลิเมตร  $W_{d2}=8.0$  มิลลิเมตร  $l_{cd}=140.0$  มิลลิเมตร  $l_{d1}=89.0$  มิลลิเมตร  $l_{d2}=70.0$  มิลลิเมตร  $l_{d3}=28.0$  มิลลิเมตร และ  $h=1.6$  มิลลิเมตรนั้น จะเห็นได้ว่าการปรับขนาดของสายอากาศแท่งนั้น ค่ากราฟ  $|S_{11}|$  นั้นลงที่ความถี่ 922.5 เมกกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นค่าความถี่ที่ต้องการ

#### 4.2 การวิเคราะห์ผลคุณลักษณะของสายอากาศแท่งแบบไมโครสตริป



(ก) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นระนาบแกน (xz)

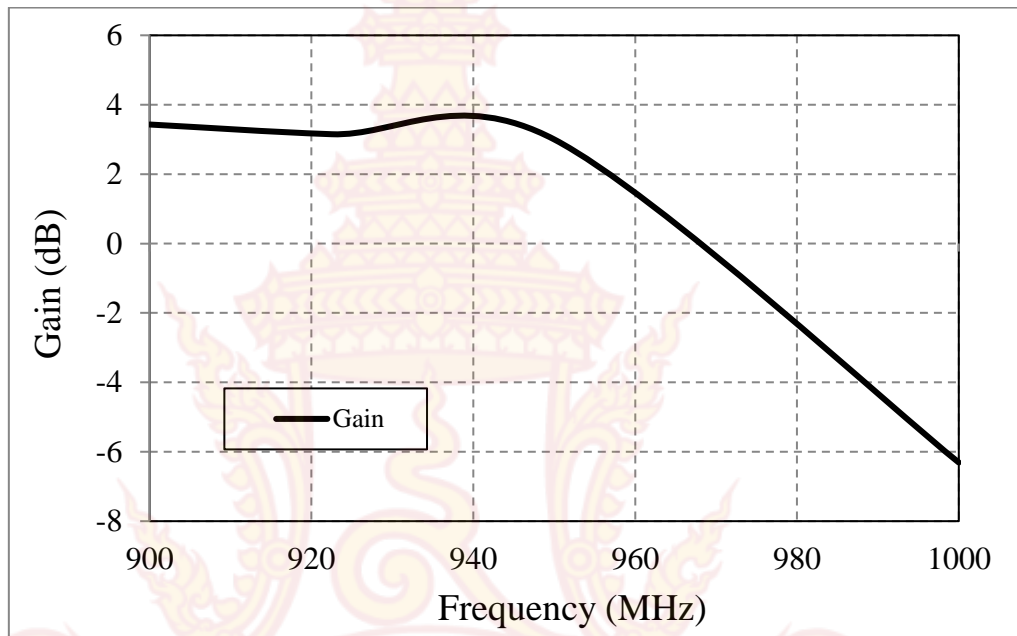


(ข) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นระนาบแกน (yz)

ภาพที่ 4-3 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแท่งแบบไมโครสตริป

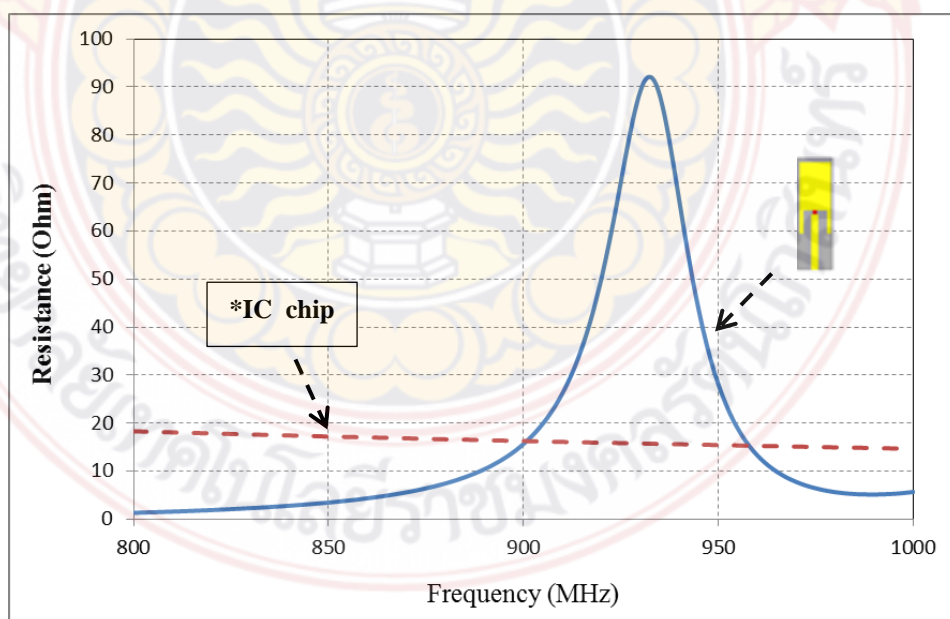


จากภาพที่ 4-3 แสดงให้เห็นว่าลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแท่งแบบไมโครสตริปในระนาบแกน (xz) และ(yz) ที่ความถี่ 922.5 เมกกะเฮิรตซ์ มีลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแบบกึ่งรอบทิศทาง

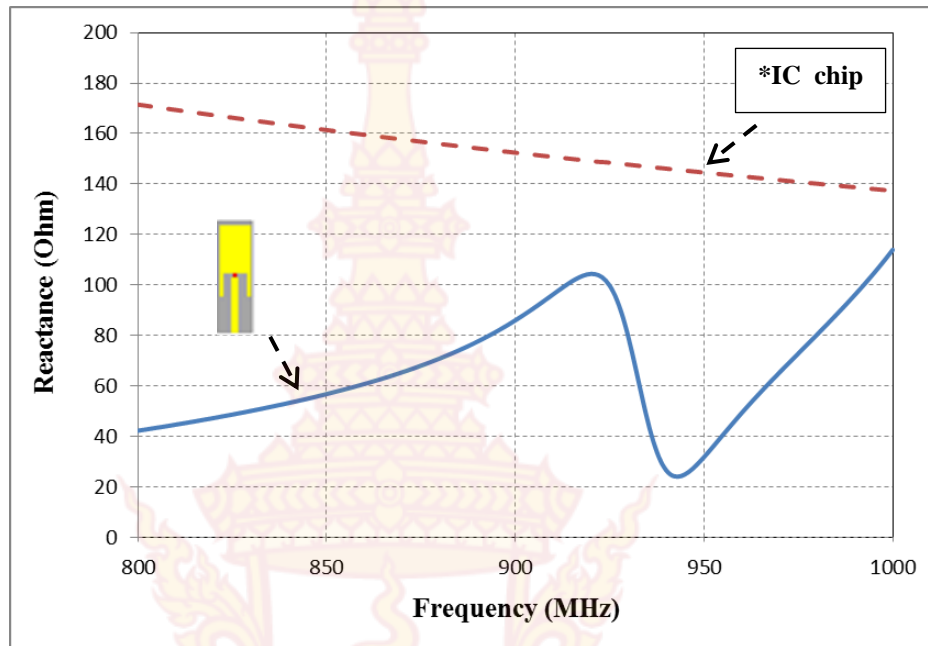


ภาพที่ 4-4 ผลการจำลองรูปแบบอัตราขยายของสายอากาศแท่งแบบไมโครสตริป

จากภาพที่ 4-4 แสดงให้เห็นค่าอัตราขยายของสายอากาศแท่งแบบไมโครสตริป ซึ่งมีค่าอัตราขยายเท่ากับ 3.145 dBi



(ก) รีซิสแตนซ์

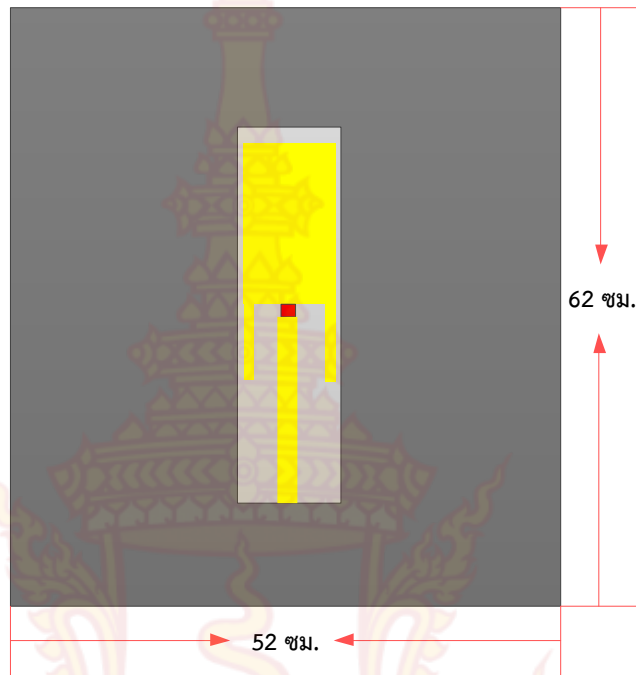


(ข) รีแอ็กแตนซ์

ภาพที่ 4-5 ผลการจำลองค่ารีซิสแตนซ์และค่ารีแอ็กแตนซ์ของสายอากาศแท่งแบบไมโครสตริป

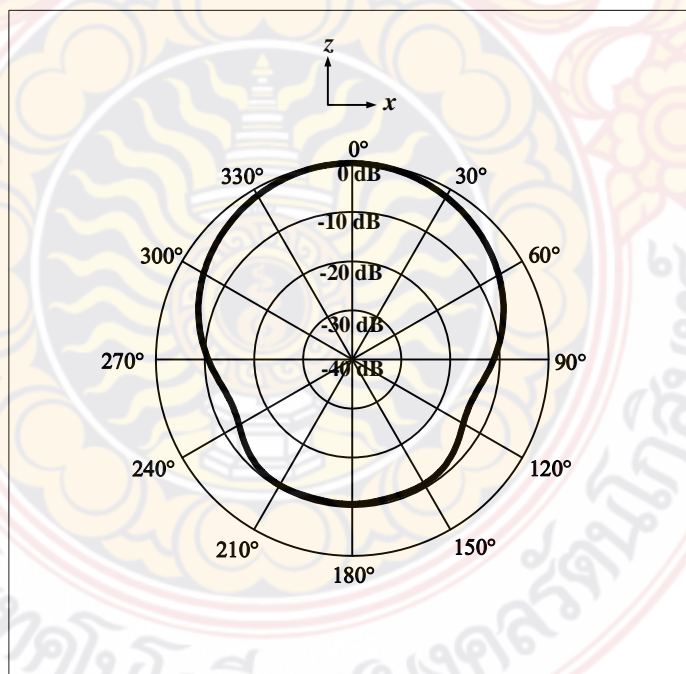
จากภาพที่ 4-5 แสดงให้เห็นค่าของรีซิสแตนซ์และค่ารีแอ็กแตนซ์ของสายอากาศแท่งแบบไมโครสตริป ซึ่งมีค่ารีซิสแตนซ์ที่ 59.69 โอห์มและค่ารีแอ็กแตนซ์ที่ 103.55 โอห์ม และมีค่าอิมพีแดนซ์ความถี่เมื่อเทียบกับความถี่กลางที่ 922.5 เมกกะเฮิรตซ์ และเป็นค่าที่ดีที่สุดคือ  $59.69 + j103.55$  โอห์ม

หมายเหตุ \*IC Chip คือการทำเป็นแบบไอซีคอนจูเกตเมทซิ่งของสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดี

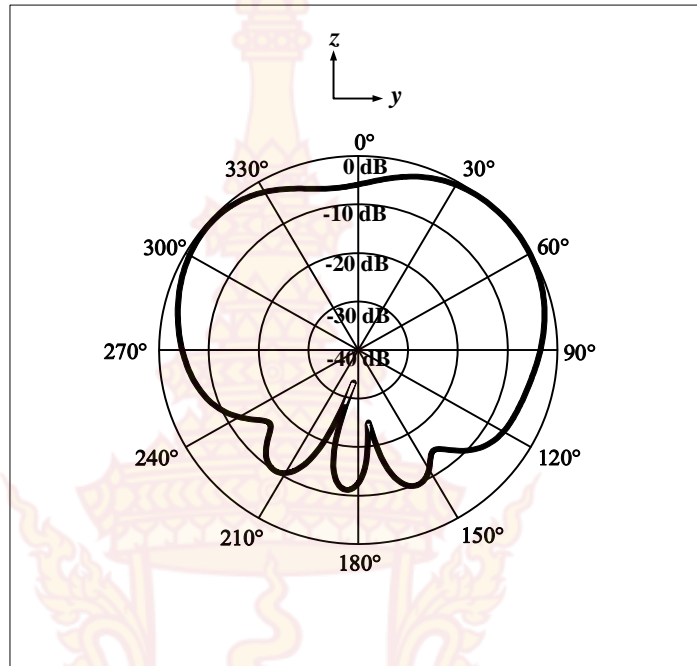


ภาพที่ 4-6 จำลองสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีแบบไมโครสตริปเมื่อติดบนโลหะ

#### 4.3 การวิเคราะห์ผลคุณลักษณะของสายอากาศแท่งแบบไมโครสตริปเมื่อติดบนโลหะ



(ก) รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นตามแนวแกน (xz)

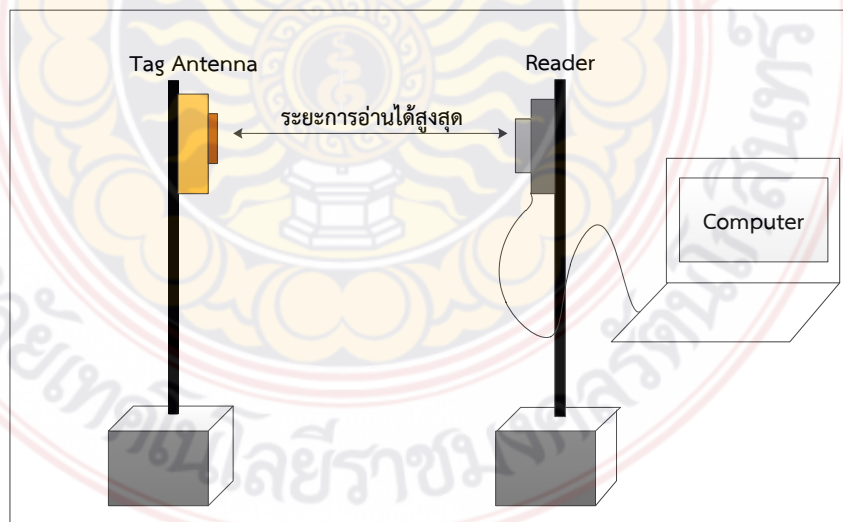


(ข) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นระนาบแกน (yz)

ภาพที่ 4-7 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแท่งแบบไมโครสตริปเมื่อติดบนโลหะ

จากภาพที่ 4-7 แสดงให้เห็นว่าลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีแบบไมโครสตริปเมื่อติดบนโลหะในระนาบแกน (xz) และ (yz) ที่ความถี่ 922.5 เมกกะเฮิรตซ์ โดยมีลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแบบชี้ทิศทาง

#### 4.4 ผลการทดสอบสายอากาศแท่งแบบไมโครสตริป



ภาพที่ 4-8 ผังการทดสอบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดี

ส่วนที่ 1 ติดตั้งเครื่องอ่านข้อมูลกับคอมพิวเตอร์

ส่วนที่ 2 สายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีแบบไมโครสตริปเมื่อติดอยู่กับวัสดุโลหะผิวเรียบ / วัสดุโลหะผิวโค้ง / วัสดุโลหะผิวเรียบ / วัสดุโลหะผิวโค้ง

เมื่อทำการทดสอบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีย่านความถี่เอชเอฟกับเครื่องอ่านข้อมูลโดยนำสายอากาศแท่งติดบนวัสดุที่เป็นโลหะและวัสดุผิวโค้งแล้วทำการเก็บผลการทดสอบระยะการอ่านค่าได้สูงสุดเป็นดังนี้

ตารางที่ 4-2 ผลการทดสอบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีแบบไมโครสตริปเมื่อติดบนแผ่นโลหะที่กำลั้ง (4WEIRP)

ระยะการอ่านได้สูงสุด (เมตร)	ผลการทดสอบ	
	สามารถอ่านได้	ไม่สามารถอ่านได้
1	✓	
2	✓	
3	✓	
4		✓
5		✓
6		✓
7		✓
8		✓
9		✓
10		✓

ตารางที่ 4-3 ผลการทดสอบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีแบบไมโครสตริปเมื่อติดบนแผ่นโลหะผิวโค้ง (4WEIRP)

ระยะการอ่านได้สูงสุด (เมตร)	ผลการทดสอบ	
	สามารถอ่านได้	ไม่สามารถอ่านได้
1	✓	
2	✓	
3	✓	
4		✓
5		✓

ระยะการอ่านได้สูงสุด (เมตร)	ผลการทดสอบ	
	สามารถอ่านได้	ไม่สามารถอ่านได้
6		✓
7		✓
8		✓
9		✓
10		✓

ตารางที่ 4-4 ผลการทดสอบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีแบบไมโครสตริปเมื่อติดบนแผ่นวัสดุผิวเรียบที่ไม่ใช่โลหะ (4WEIRP)

ระยะการอ่านได้สูงสุด (เมตร)	ผลการทดสอบ	
	สามารถอ่านได้	ไม่สามารถอ่านได้
1	✓	
2	✓	
3	✓	
4	✓	
5		✓
6		✓
7		✓
8		✓
9		✓
10		✓

ตารางที่ 4-5 ผลการทดสอบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีแบบไมโครสตริปเมื่อติดบนแผ่นวัสดุผิวโค้งที่ไม่ใช่โลหะ (4WEIRP)

ระยะการอ่านได้สูงสุด เมตร (m)	ผลการทดสอบ	
	สามารถอ่านได้	ไม่สามารถอ่านได้
1	✓	
2	✓	
3	✓	

ระยะการอ่านได้สูงสุด เมตร (m)	ผลการทดสอบ	
	สามารถอ่านได้	ไม่สามารถอ่านได้
4	✓	
5		✓
6		✓
7		✓
8		✓
9		✓
10		✓

ตารางที่ 4-6 ผลการทดสอบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีแบบไมโครสตริบเมื่อติดบนแผ่นโลหะ (8WEIRP)

ระยะการอ่านได้สูงสุด เมตร (m)	ผลการทดสอบ	
	สามารถอ่านได้	ไม่สามารถอ่านได้
1	✓	
2	✓	
3	✓	
4	✓	
5		✓
6		✓
7		✓
8		✓
9		✓
10		✓

ตารางที่ 4-7 ผลการทดสอบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีแบบไมโครสตริบเมื่อติดบนแผ่นโลหะผิวโค้ง (8WEIRP)

ระยะการอ่านได้สูงสุด เมตร (m)	ผลการทดสอบ	
	สามารถอ่านได้	ไม่สามารถอ่านได้
1	✓	

ระยะการอ่านได้สูงสุด เมตร (m)	ผลการทดสอบ	
	สามารถอ่านได้	ไม่สามารถอ่านได้
2	✓	
3	✓	
4	✓	
5		✓
6		✓
7		✓
8		✓
9		✓
10		✓

ตารางที่ 4-8 ผลการทดสอบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีแบบไมโครสตริบเมื่อติดตั้งบนแผ่นวัสดุผิวเรียบที่ไม่ใช่โลหะ (8WEIRP)

ระยะการอ่านได้สูงสุด (เมตร)	ผลการทดสอบ	
	สามารถอ่านได้	ไม่สามารถอ่านได้
1	✓	
2	✓	
3	✓	
4	✓	
5	✓	
6		✓
7		✓
8		✓
9		✓
10		✓



ตารางที่ 4-9 ผลการทดสอบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีแบบไมโครสตริปเมื่อติดบนแผ่นวัสดุผิวโค้งที่ไม่ใช่โลหะ (8WEIRP)

ระยะการอ่านได้สูงสุด เมตร (m)	ผลการทดสอบ	
	สามารถอ่านได้	ไม่สามารถอ่านได้
1	✓	
2	✓	
3	✓	
4	✓	
5	✓	
6		✓
7		✓
8		✓
9		✓
10		✓

จากตารางที่กล่าวมาเป็นการทดสอบระยะการอ่านระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลและสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีแบบไมโครสตริป โดยที่จะกำหนดกำลังงานของเครื่องอ่านข้อมูลที่ 30 dBm (8WEIRP) และ 28 dBm (4WEIRP) เพื่อที่จะทดสอบระยะการอ่านของเครื่องอ่านข้อมูล และจะทำการทดสอบระยะการอ่านได้ทั้งหมดตามองศาที่กำหนดไว้ โดยจะทำการหมุนสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีไปตามองศาต่างๆที่ได้กำหนดไว้ การทดสอบจะเน้นบนวัสดุพื้นผิวโลหะเรียบและผิวโค้ง โดยผลที่ได้จากการทดสอบเป็นดังนี้

ตารางที่ 4-10 ผลการทดสอบองศาสายอากาศแท่งแบบไมโครสตริปบนพื้นผิวโลหะเรียบ (4WEIRP)

องศาที่กำหนดไว้	ผลการทดสอบ	
	สามารถอ่านได้	ไม่สามารถอ่านได้
0°	✓	
20°	✓	
40°	✓	

องศาที่กำหนดไว้	ผลการทดสอบ	
	สามารถอ่านได้	ไม่สามารถอ่านได้
60°	✓	
80°	✓	
100°	✓	
120°	✓	
140°		✓
160°		✓
180°		✓
200°		✓
220°		✓
240°		✓
260°	✓	
280°	✓	
300°	✓	
320°	✓	
340°	✓	
360°	✓	

ตารางที่ 4-11 ผลการทดสอบองศาสายอากาศแท่งแบบไมโครสตริปบนพื้นผิวโลหะโค้ง (4WEIRP)

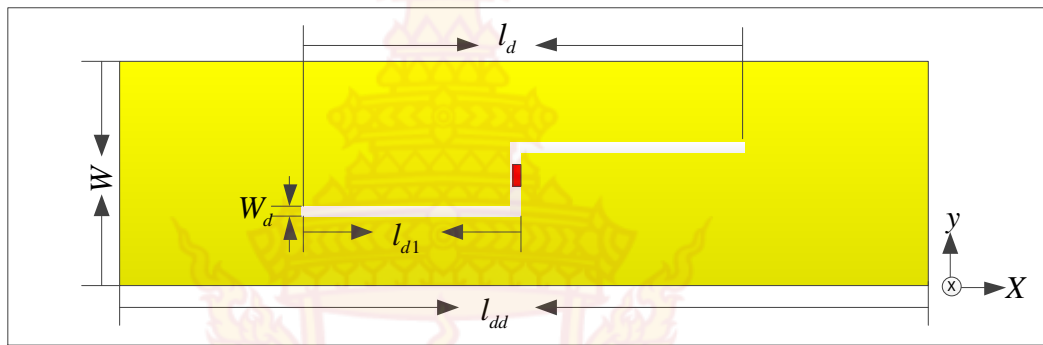
องศาที่กำหนดไว้	ผลการทดสอบ	
	สามารถอ่านได้	ไม่สามารถอ่านได้
0°	✓	
20°	✓	

องศาที่กำหนดไว้	ผลการทดสอบ	
	สามารถอ่านได้	ไม่สามารถอ่านได้
40°	✓	
60°	✓	
80°	✓	
100°	✓	
120°	✓	
140°	✓	
160°		✓
180°		✓
200°		✓
220°		✓
240°	✓	
260°	✓	
280°	✓	
300°	✓	
320°	✓	
340°	✓	
360°	✓	

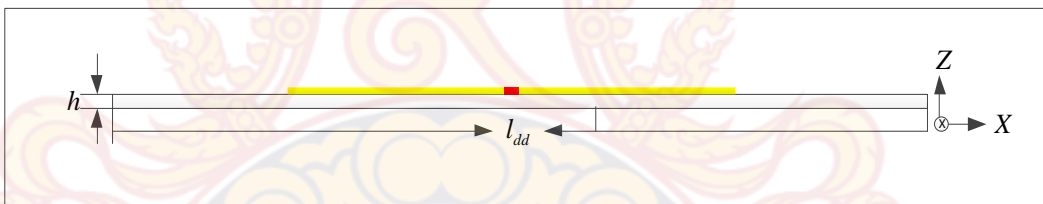
จากตารางที่ 4-7 เป็นการทดสอบระยะการอ่านระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลและสายอากาศแท็กอาร์เอฟไอดี ซึ่งจะเป็นการทดสอบในแต่ละองศาที่เครื่องอ่านข้อมูลสามารถอ่านสายอากาศแท็กอาร์เอฟไอดีได้ในระยะการอ่านได้สูงสุด

#### 4.5 โครงสร้างและผลคุณลักษณะของสายอากาศแท่งแบบช่องเปิด

จากภาพที่ 4-9 ได้ทำการปรับขนาดของแท่งตามค่าพารามิเตอร์ เพื่อให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการคือ 922.5 เมกกะเฮิร์ตซ์ โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีดังตารางที่ 4-7



(ก) มุมมองด้านหน้า



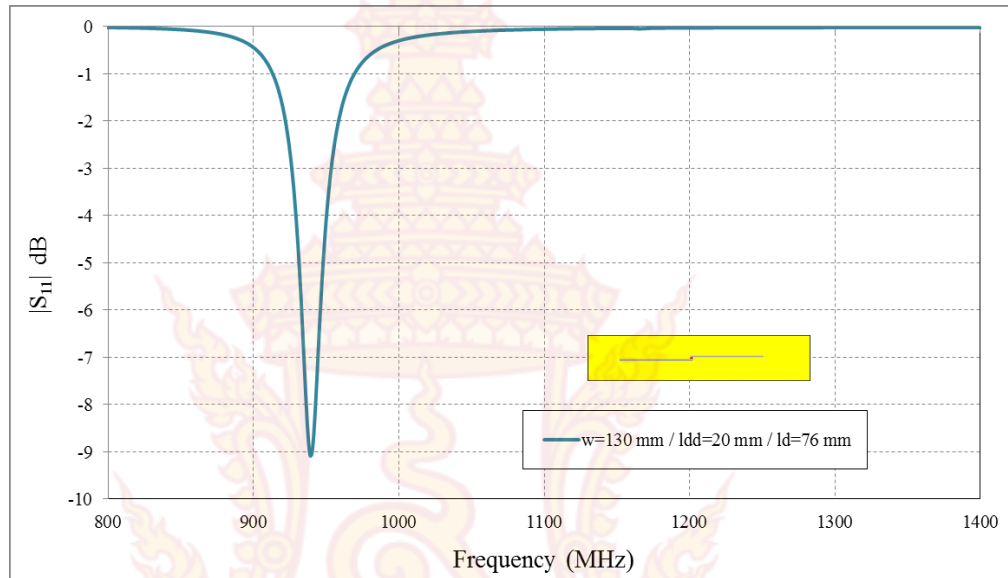
(ข) มุมมองด้านข้าง

ภาพที่ 4-9 สายอากาศแบบช่องเปิดที่ได้มีการปรับขนาด

ตารางที่ 4-12 แสดงค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟแบบช่องเปิด

พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (มิลลิเมตร)
$W$	20.0
$W_d$	3.0
$l_{dd}$	130.0
$l_d$	76.0
$l_{d1}$	38.0
$h$	1.6

หลังจากกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้สายอากาศแท่งแล้วก็ทำการป้อนจุดสัญญาณให้กับสายอากาศ จากนั้นจะทำการป้อนสัญญาณเพื่อดูค่า  $|S_{11}|$  ซึ่งเป็นค่าที่ได้ความถี่ตามที่ต้องการดังภาพที่ 4-10



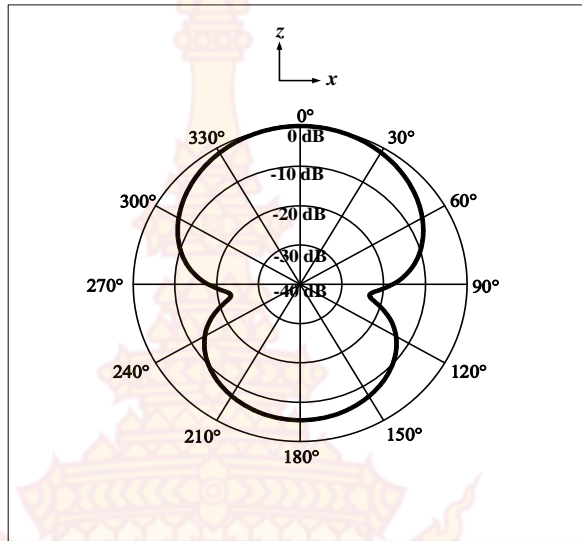
ภาพที่ 4-10 ผลการจำลองค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ  $|S_{11}|$  ของสายอากาศแบบช่องเปิด

เมื่อทำการศึกษาพารามิเตอร์ของสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอเดียความถี่เอชเอฟ จะเห็นได้ว่าจากการจำลองผลข้างต้น ขนาดความยาวของสายอากาศที่ค่า  $w=20.0$  มิลลิเมตร  $w_d=3.0$  มิลลิเมตร  $l_{dd}=130.0$  มิลลิเมตร  $l_d=76.0$  มิลลิเมตร  $l_{d1}=38.0$  มิลลิเมตร และ  $h=1.6$  มิลลิเมตรนั้น จะได้ค่าความถี่ของสายอากาศลงที่ความถี่ 922.5 เมกกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งเป็นความถี่ที่ตรงตามที่ต้องการ

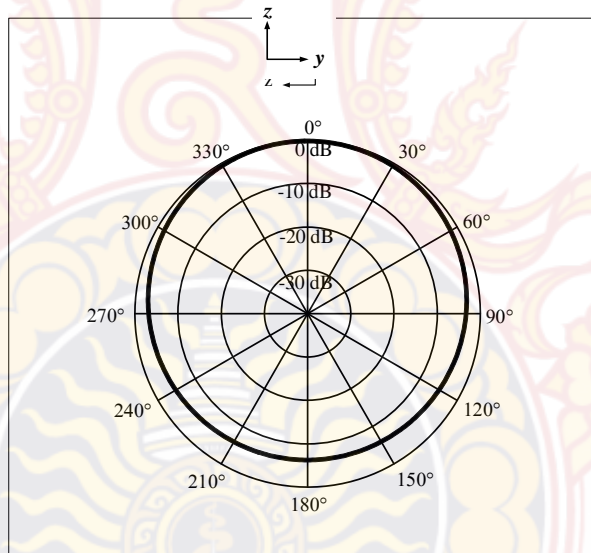
กราฟแสดงผลค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ  $|S_{11}|$  จากผลการจำลองที่ได้ตามภาพที่ 4-10 ของสายอากาศแท่งแบบช่องเปิดที่มีเหมาะสม สามารถนำไปใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อาร์เอฟไอดี ที่นำไปใช้กับกระบวนการจัดเก็บสินค้า ในภาคอุตสาหกรรมต่างๆได้

#### 4.6 การวิเคราะห์ผลคุณลักษณะของสายอากาศแท่งแบบช่องเปิด

จากภาพที่ 4-11 แสดงให้เห็นว่าลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแท่งแบบช่องเปิดในระนาบแกน (xz) และ (yz) ที่ความถี่ 922.5 เมกกะเฮิร์ตซ์ โดยมีลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแบบกึ่งรอบทิศทาง

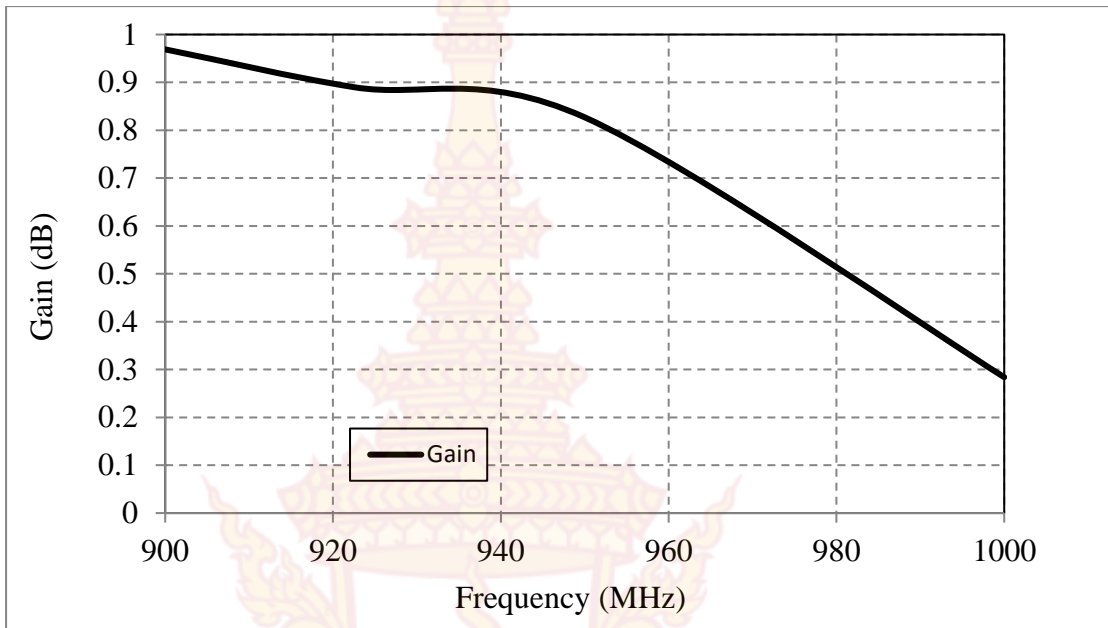


(ก) รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นระนาบแกน (xz)



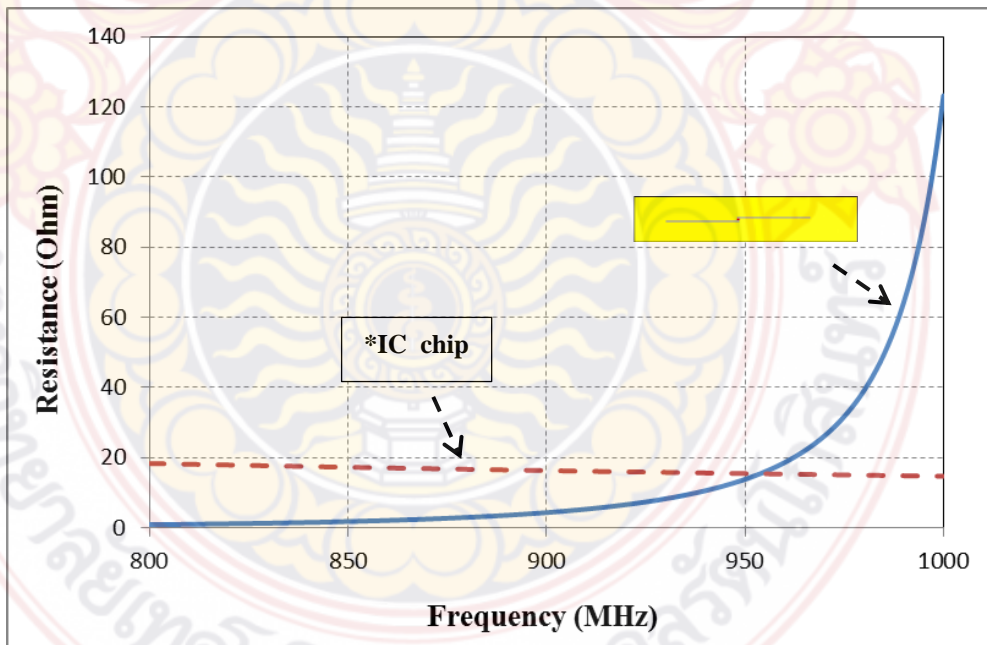
(ข) รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นระนาบแกน (yz)

ภาพที่ 4-11 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแท่งแบบช่องเปิด

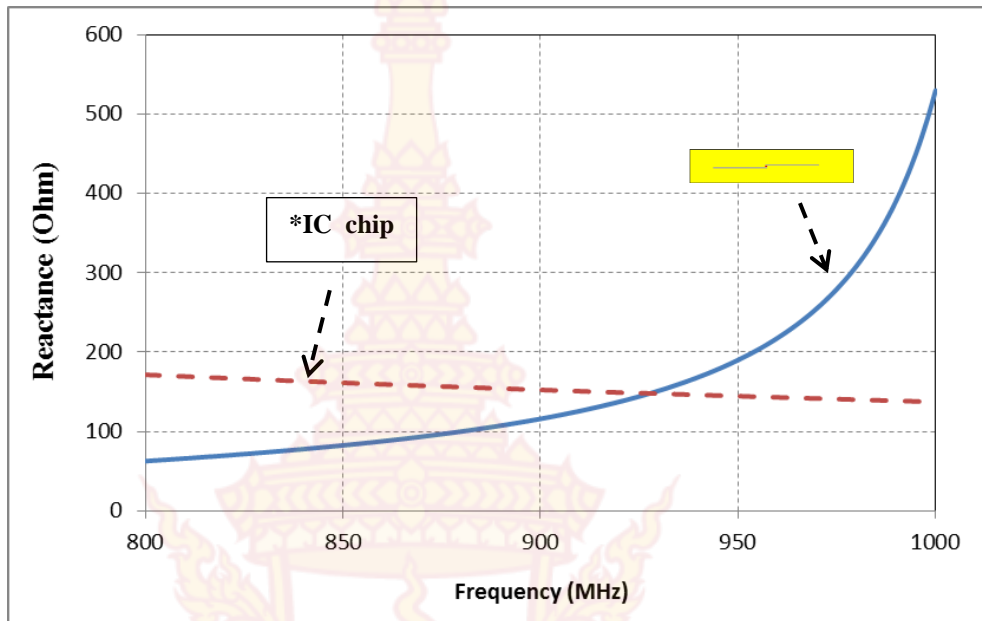


ภาพที่ 4-12 ผลการจำลองรูปแบบอัตราขยายของสายอากาศแท่งแบบช่องเปิด

จากภาพที่ 4-12 แสดงให้เห็นค่าอัตราขยายของสายอากาศแท่งแบบช่องเปิด ซึ่งมีค่าอัตราขยายเท่ากับ 0.8897 dB



(ก) รีซิสแตนซ์



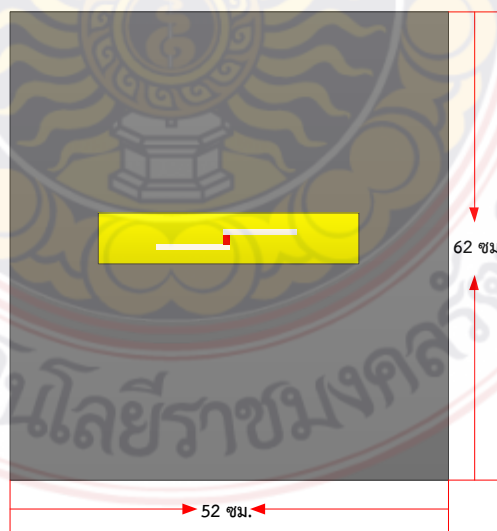
(ข) รีแอ็กแตนซ์

ภาพที่ 4-13 ผลการจำลองค่ารีซิสแตนซ์และค่ารีแอ็กแตนซ์ของสายอากาศแท็กแบบช่องเปิด

จากภาพที่ 4-13 แสดงให้เห็นค่าของรีซิสแตนซ์และค่ารีแอ็กแตนซ์ของสายอากาศแท็กแบบช่องเปิด ซึ่งมีค่ารีซิสแตนซ์ที่ 6.93 โอห์มและค่ารีแอ็กแตนซ์ที่ 140.78 โอห์ม และมีค่าอิมพีแดนซ์ความถี่เมื่อเทียบกับความถี่กลางที่ 922.5 เมกกะเฮิรตซ์ และเป็นค่าที่ดีที่สุดคือ  $6.93 + j140.78$  โอห์ม

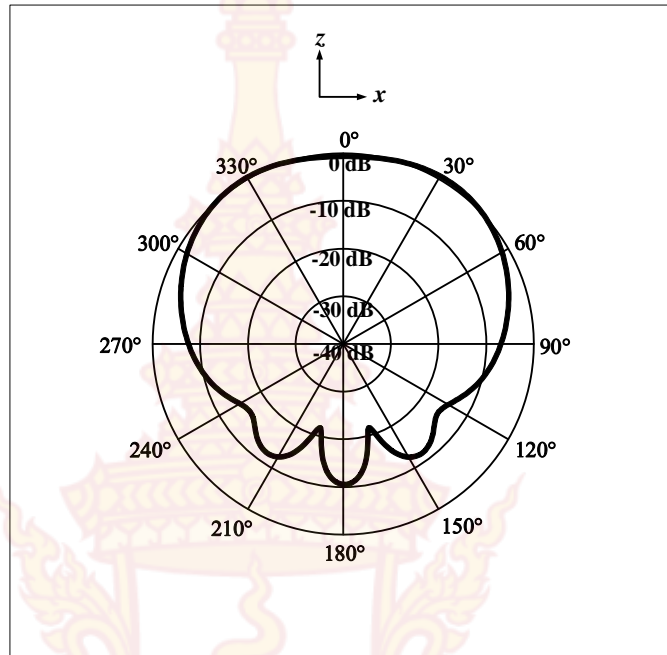
หมายเหตุ \*IC Chip คือการทำเป็นแบบไอซีคอนจูเกตเมทซิงของสายอากาศแท็กอาร์เอฟไอดี

#### 4.7 การวิเคราะห์ผลคุณลักษณะของสายอากาศแท็กแบบช่องเปิดเมื่อติดบนโลหะ

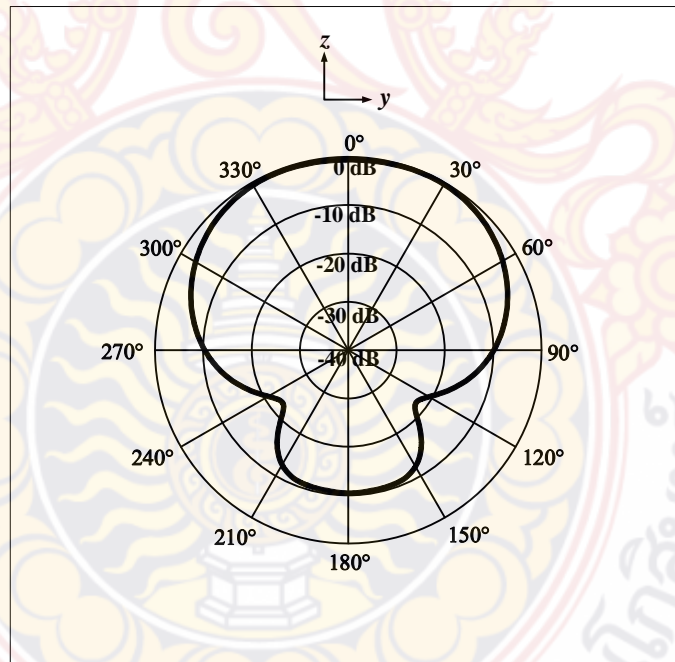


ภาพที่ 4-14 จำลองสายอากาศแท็กอาร์เอฟไอดีแบบช่องเปิดเมื่อติดบนโลหะ





(ก) รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นระนาบแกน (xz)

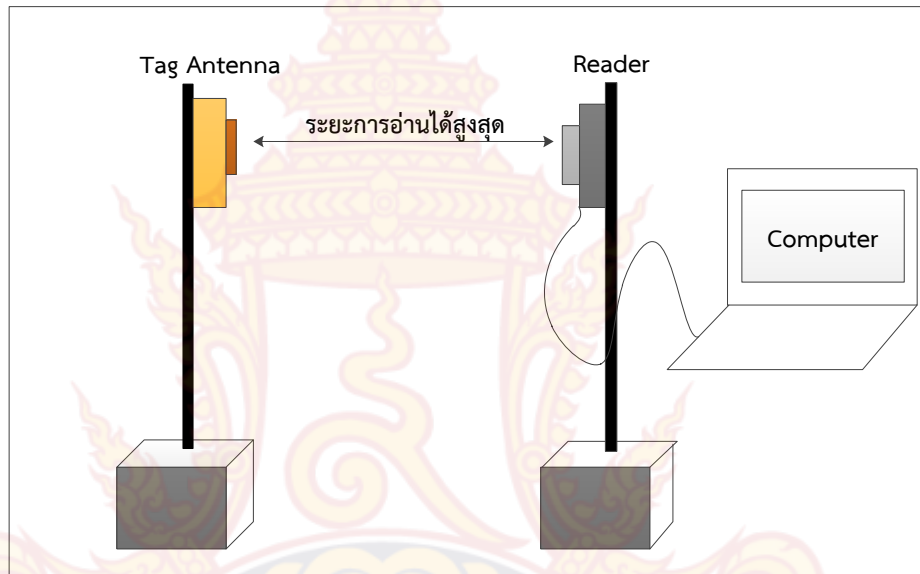


(ข) รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นระนาบแกน (yz)

ภาพที่ 4-15 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแท่งแบบช่องเปิดเมื่อติดตั้งบนโลหะ

จากภาพที่ 4-15 แสดงให้เห็นว่าลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีแบบช่องเปิดเมื่อติดตั้งบนโลหะในระนาบแกน (xz) และ(yz) ที่ความถี่ 922.5 เมกกะเฮิรตซ์ โดยลักษณะการแพร่กระจายคลื่นมีลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแบบชี้ทิศทาง

#### 4.8 ผลการทดสอบสายอากาศแท่งแบบช่องเปิด



ภาพที่ 4-16 ผังการทดสอบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดี

ส่วนที่ 1 ติดตั้งเครื่องอ่านข้อมูลกับคอมพิวเตอร์

ส่วนที่ 2 สายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีแบบช่องเปิดเมื่อติดตั้งอยู่กับวัสดุโลหะผิวเรียบ / วัสดุโลหะผิวโค้ง / วัสดุโลหะผิวเรียบ / วัสดุโลหะผิวโค้ง

เมื่อทำการทดสอบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีย่านความถี่เอชเอฟกับเครื่องอ่านข้อมูลโดยนำสายอากาศแท่งติดตั้งบนวัสดุที่เป็นโลหะและวัสดุผิวโค้งแล้วทำการเก็บผลการทดสอบระยะการอ่านค่าได้สูงสุดเป็นดังนี้

ตารางที่ 4-13 ผลการทดสอบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีช่องเปิดเมื่อติดตั้งบนแผ่นโลหะผิวเรียบ (4WEIRP)

ระยะการอ่านได้สูงสุด (เมตร)	ผลการทดสอบ	
	สามารถอ่านได้	ไม่สามารถอ่านได้
1	✓	
2	✓	

ระยะการอ่านได้สูงสุด (เมตร)	ผลการทดสอบ	
	สามารถอ่านได้	ไม่สามารถอ่านได้
3	✓	
4		✓
5		✓
6		✓
7		✓
8		✓
9		✓
10		✓

ตารางที่ 4-14 ผลการทดสอบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีช่องเปิดเมื่อติดบนแผ่นโลหะผิวโค้ง (4WEIRP)

ระยะการอ่านได้สูงสุด (เมตร)	ผลการทดสอบ	
	สามารถอ่านได้	ไม่สามารถอ่านได้
1	✓	
2	✓	
3	✓	
4		✓
5		✓
6		✓
7		✓
8		✓
9		✓
10		✓

ตารางที่ 4-15 ผลการทดสอบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีแบบช่องเปิดเมื่อติดบนแผ่นวัสดุผิวเรียบที่ไม่ใช่โลหะ (4WEIRP)

ระยะการอ่านได้สูงสุด (เมตร)	ผลการทดสอบ	
	สามารถอ่านได้	ไม่สามารถอ่านได้
1	✓	
2	✓	
3	✓	
4		✓
5		✓
6		✓
7		✓
8		✓
9		✓
10		✓

ตารางที่ 4-16 ผลการทดสอบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีแบบช่องเปิดเมื่อติดบนแผ่นวัสดุผิวโค้งที่ไม่ใช่โลหะ (4WEIRP)

ระยะการอ่านได้สูงสุด (เมตร)	ผลการทดสอบ	
	สามารถอ่านได้	ไม่สามารถอ่านได้
1	✓	
2	✓	
3	✓	
4		✓
5		✓
6		✓
7		✓
8		✓
9		✓
10		✓

ตารางที่ 4-17 ผลการทดสอบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีแบบช่องเปิดเมื่อติดตั้งบนแผ่นโลหะผิวเรียบ (8WEIRP)

ระยะการอ่านได้สูงสุด (เมตร)	ผลการทดสอบ	
	สามารถอ่านได้	ไม่สามารถอ่านได้
1	✓	
2	✓	
3	✓	
4	✓	
5		✓
6		✓
7		✓
8		✓
9		✓
10		✓

ตารางที่ 4-18 ผลการทดสอบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีแบบช่องเปิดเมื่อติดตั้งบนแผ่นโลหะผิวโค้ง (8WEIRP)

ระยะการอ่านได้สูงสุด (เมตร)	ผลการทดสอบ	
	สามารถอ่านได้	ไม่สามารถอ่านได้
1	✓	
2	✓	
3	✓	
4	✓	
5		✓
6		✓
7		✓
8		✓
9		✓
10		✓

ตารางที่ 4-19 ผลการทดสอบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีแบบช่องเปิดเมื่อติดบนแผ่นวัสดุผิวเรียบที่ไม่ใช่โลหะ (8WEIRP)

ระยะการอ่านได้สูงสุด (เมตร)	ผลการทดสอบ	
	สามารถอ่านได้	ไม่สามารถอ่านได้
1	✓	
2	✓	
3	✓	
4	✓	
5		✓
6		✓
7		✓
8		✓
9		✓
10		✓

ตารางที่ 4-20 ผลการทดสอบสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอดีแบบช่องเปิดเมื่อติดบนแผ่นวัสดุผิวโค้งที่ไม่ใช่โลหะ (8WEIRP)

ระยะการอ่านได้สูงสุด (เมตร)	ผลการทดสอบ	
	สามารถอ่านได้	ไม่สามารถอ่านได้
1	✓	
2	✓	
3	✓	
4	✓	
5		✓
6		✓
7		✓
8		✓
9		✓
10		✓

จากตารางที่กล่าวมาเป็นการทดสอบระยะการอ่านระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลและสายอากาศแท็กอาร์เอฟไอดีแบบไมโครสตริป โดยที่จะกำหนดกำลังงานของเครื่องอ่านข้อมูลที่ 30 dBm และ 28 dBm เพื่อที่จะทดสอบระยะการอ่านของเครื่องอ่านข้อมูล และจะทำการทดสอบระยะการอ่านได้ทั้งหมดตามองศาที่กำหนดไว้ โดยจะทำการหมุนสายอากาศแท็กอาร์เอฟไอดีไปตามองศาต่างๆที่ได้กำหนดไว้ โดยผลที่ได้จากการทดสอบเป็นดังนี้

ตารางที่ 4-21 ผลการทดสอบองศาสายอากาศแท็กแบบช่องเปิดบนพื้นผิวโลหะ (4WEIRP)

องศาที่กำหนดไว้	ผลการทดสอบ	
	สามารถอ่านได้	ไม่สามารถอ่านได้
0°	✓	
20°	✓	
40°	✓	
60°	✓	
80°	✓	
100°	✓	
120°	✓	
140°		✓
160°		✓
180°		✓
200°		✓
220°	✓	
240°	✓	
260°	✓	
280°	✓	
300°	✓	

องศาที่กำหนดไว้	ผลการทดสอบ	
	สามารถอ่านได้	ไม่สามารถอ่านได้
320°	✓	
340°	✓	
360°	✓	

ตารางที่ 4-22 ผลการทดสอบองศาสายอากาศแท่งแบบช่องเปิดบนพื้นผิวโลหะโค้ง (4WEIRP)

องศาที่กำหนดไว้	ผลการทดสอบ	
	สามารถอ่านได้	ไม่สามารถอ่านได้
0°	✓	
20°	✓	
40°	✓	
60°	✓	
80°	✓	
100°	✓	
120°	✓	
140°	✓	
160°		✓
180°		✓
200°	✓	
220°	✓	
240°	✓	
260°	✓	
280°	✓	



องศาที่กำหนดไว้	ผลการทดสอบ	
	สามารถอ่านได้	ไม่สามารถอ่านได้
300°	✓	
320°	✓	
340°	✓	
360°	✓	

จากตารางที่ 4-20 และ 4-21 เป็นการทดสอบระยะเวลาการอ่านระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลและสายอากาศแท็กอาร์เอฟไอดี ซึ่งจะเป็นการทดสอบในแต่ละองศาที่เครื่องอ่านข้อมูลสามารถอ่านสายอากาศแท็กอาร์เอฟไอดีได้



## บทที่ 5

### สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 บทนำ

กล่าวถึงการสรุปเนื้อหาโดยรวม พร้อมทั้งหลักการออกแบบสายอากาศแท่ง สรุปค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้งานระบบอาร์เอฟไอเดียันความถี่ยูเอชเอฟและสรุปข้อเสนอแนะแนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคต

#### 5.2 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอสายอากาศแท่งอาร์เอฟไอเดียันความถี่ยูเอชเอฟ โดยสายอากาศแท่งที่ออกแบบทำงานในระบบอาร์เอฟไอเดียันความถี่ยูเอชเอฟ ที่สามารถใช้งานตามมาตรฐานระบบอาร์เอฟไอเดียันภายในประเทศคือ 920-925 เมกกะเฮิร์ตซ์ โครงสร้างของสายอากาศแท่งมีทั้งหมดสองรูปแบบโดยโครงสร้างของสายอากาศแท่งทั้งสองรูปแบบมีลักษณะที่แตกต่างกัน โดยสายอากาศแท่งรูปแบบที่หนึ่งเป็นสายอากาศแบบไมโครสตริปและสายอากาศแท่งรูปแบบที่สองเป็นสายอากาศแบบช่องเปิด โครงสร้างของสายอากาศแท่งทั้งสองรูปแบบจะประกอบไปด้วยสายอากาศที่เป็นตัวนำบนแผ่นพิมพ์และชิปวงจรรวม สายอากาศแท่งทั้งสองรูปแบบถูกออกแบบให้เหมาะสมกับชิปวงจรรวมรุ่น NXP G2XL ที่มีอิมพีแดนซ์ที่ความถี่กลาง 922.5 เมกกะเฮิร์ตซ์ มีค่าเท่ากับ  $15.873+j148.82$  โอห์ม

โดยสายอากาศแท่งรูปแบบที่หนึ่งที่นำเสนอมีขนาดความยาว ความกว้างและความหนาเท่ากับ (140 มิลลิเมตร x 40 มิลลิเมตร x 1.6 มิลลิเมตร) สามารถใช้งานได้ครอบคลุมย่านความถี่ 906-948 เมกกะเฮิร์ตซ์ พิจารณาที่ค่า  $|S_{11}|$  ต่ำกว่า -3 dB มีอัตราขยายสายอากาศเท่ากับ 3.145 dBi การทดสอบสายอากาศที่นำเสนอนั้นทำการทดสอบตามมาตรฐานภายในประเทศคือ 4WEIRP จากผลการทดสอบระยะการอ่านได้สูงสุดของสายอากาศพบว่า สายอากาศแท่งรูปแบบที่หนึ่งมีระยะการอ่านได้สูงสุดเมื่อติดตั้งบนแผ่นโลหะเท่ากับ 4.8 เมตร มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบชี้ทิศทางและเมื่อไม่ติดตั้งโลหะมีระยะการอ่านได้สูงสุดเท่ากับ 5.5 เมตร มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบกึ่งรอบทิศทาง และเมื่อทดสอบระยะการอ่านได้สูงสุดโดยการหมุนตามองศา ก็พบว่าสามารถอ่านได้ในระยะด้านหน้าและด้านข้างแต่เนื่องจากด้านหลังสายอากาศแท่งติดตั้งบนโลหะจึงทำให้ไม่สามารถอ่านได้ ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศมีค่าเท่ากับ  $17.735+j159.62$  โอห์ม และโครงสร้างสายอากาศแท่งรูปแบบที่สองที่นำเสนอมีขนาดความยาว ความกว้างและความหนาเท่ากับ (130 มิลลิเมตร x 20 มิลลิเมตร x 1.6 มิลลิเมตร) สามารถใช้งานได้ครอบคลุมย่านความถี่ 908-932 เมกกะเฮิร์ตซ์ พิจารณาที่ค่า  $|S_{11}|$  ต่ำกว่า -3 dB มีอัตราขยายสายอากาศเท่ากับ 0.8897 dBi การทดสอบสายอากาศที่นำเสนอนั้นทำการทดสอบตามมาตรฐานภายในประเทศคือ 4WEIRP และจากผลการ

ทดสอบระยะการอ่านได้สูงสุดของสายอากาศพบว่าสายอากาศแท่งรูปแบบที่สองมีระยะการอ่านได้สูงสุดเมื่อติดตั้งบนแผ่นโลหะเท่ากับ 2-3 เมตร มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบชี้ทิศทาง และเมื่อไม่ติดตั้งบนแผ่นโลหะมีระยะการอ่านได้สูงสุดเท่ากับ 5 เมตร มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบกึ่งรอบทิศทาง เมื่อพิจารณาสายอากาศทั้งสองแบบที่ได้ทำการออกแบบและสร้างพบว่า ทั้งสายอากาศแบบไมโครสตริปและช่องเปิดสามารถทำงานได้ทั้งพื้นผิวโลหะและพื้นผิวที่ไม่เป็นโลหะ แต่เมื่อพิจารณาถึงพื้นผิวโค้งจากผลการทดสอบพบว่าบริเวณการใช้งานได้ของแท่งแบบช่องเปิดสามารถใช้งานได้ดีกว่าแท่งแบบไมโครสตริป ซึ่งจากผลการทดสอบสามารถยืนยันได้ว่า สายอากาศแท่งทั้งสองเหมาะสำหรับการใช้งานในวัสดุโลหะผิวโค้ง และผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม โดยสามารถทำงานได้เป็นไปตามมาตรฐานทางความถี่ภายในประเทศ

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ขนาดของสายอากาศสามารถปรับปรุงให้เล็กลงได้ โดยใช้หลักการของการขดคววน เพื่อเพิ่มขนาดทางไฟฟ้า และลดขนาดทางกายภาพ

5.3.2 หากมีการเปลี่ยนชิปวงจรรวมจาก NXP G2XL เป็นชิปวงจรรวมยี่ห้ออื่น ผู้ออกแบบจะต้องปรับโครงสร้างใหม่อีกครั้ง แต่สามารถใช้สายอากาศตั้งต้นจากการคำนวณในงานวิจัยนี้เป็นต้นแบบ และทำการปรับปรุค่าพารามิเตอร์ต่อไป

5.3.3 จากการวิจัยพบว่าสายอากาศแบบช่องเปิดมีความเหมาะสมกับโครงสร้างพื้นผิวโค้ง ดังนั้นหากมีการนำแท่งไปใช้ในวัสดุโลหะพื้นผิวโค้ง โครงสร้างที่แนะนำคือสายอากาศแบบช่องเปิด

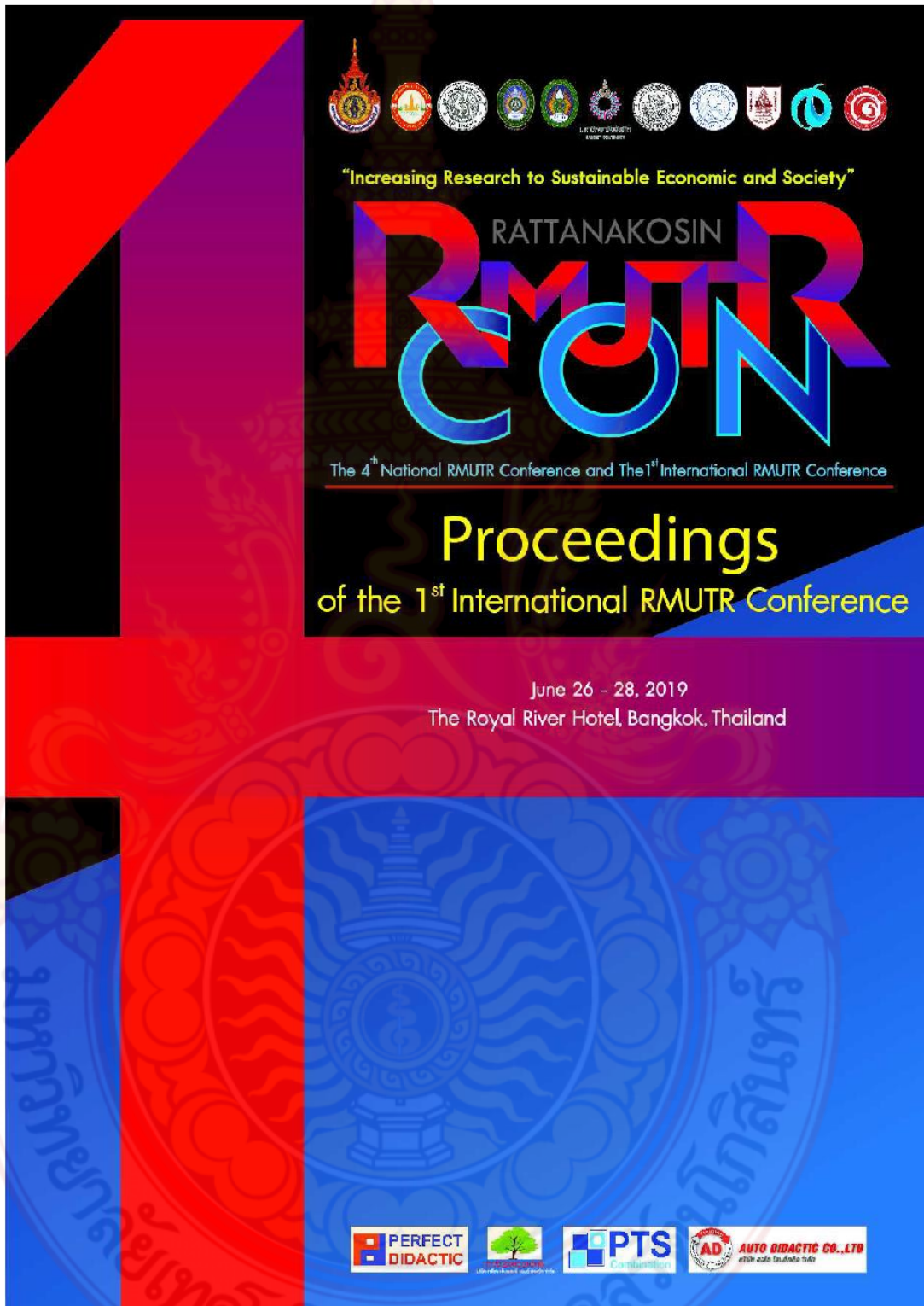
## บรรณานุกรม

1. Klaus Finkenzeller, "RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification", John Wiley & Sons, 2003.
2. Dobkin D.M. **The RF in RFID: passive UHF in practice.** Newnes: Elsevier; 2008.
3. Griffin J.D., Durgin G.D., Haldi A., et al. "RF tag antenna performance on various materials using radio link budgets." **IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters.** vol. 5, Dec. 2006. pp.247-250.
4. Marrocco G., "The art of UHF RFID antenna design: impedance matching and size-reduction techniques," **IEEE Antennas and Propagation Magazine.** vol. 50, no. 1, Feb. 2008. pp. 66-79.
5. อ.ดร. เจษฎา สุขพิทักษ์, คู่มือสื่อการสอนวิชาฟิสิกส์, สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน และคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
6. รัชชัย พุ่มพวง, คู่มือการทำวิทยานิพนธ์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2558.
7. ผศ.ดร.ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์, รายงานการวิจัย, สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2556.
8. Mun Leng Ng, "Design of High Performance RFID Systems for Metallic Item Identification", The University of Adelaide, Australia, 2003.
9. Ziai M.A. and Batchelor J.C. "Curved RFID tags for metallic gas cylinders." **Electronics Lett.** vol 45, no.17 ,2009, pp.867-869
10. Rao K.V.S., Nikitin P.V. and Lam S.F. "Antenna Design for UHF RFID Tags: A Review and a Practical Application." **IEEE Transactions on Antennas and Propagations.** vol. 53, no. 12, Dec 2005. pp.3870-3876.
11. พิษชานันท์ วงศ์ศิริธร, คู่มือการทำวิทยานิพนธ์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2559.
12. Peng H.Y., Yan L., Lijun J., et al. ได้นำเสนอ "Compact metallic RFID tag antennas with a loop-fed method." ใน **IEEE Transactions on Antennas and Propagation.** vol.59. no.12, 2011 pp.4454-4462.



ภาคผนวก

หลักฐานของผลผลิต/ผลลัพธ์ของงานวิจัย



## Contents

	Page
Message from the President	i
Message from the Vice President	ii
Message from the Director Institute of Research and Development	iii
Rationale	iv
Conference Program	viii
Schedule of Oral Presentations	ix
Schedule of Poster Presentations	xvi
<b>Article</b>	
<b>Section I: Integration of Science and Technology</b>	<b>1 - 266</b>
<b>Invited Speaker Topic: Trauma Theme in Historical Events In Creative Media</b>	<b>1 - 4</b>
Promoting Training, Design, Development of Bamboo Products for the Suanpai Porpieng Community, Hin Dat Subdistrict, Thongphaphum District, Kanchanaburi Province	5 - 13
Development of Computer's Hardware Problems Self Diagnostic by Ontology Knowledge Based case study Rajamangala University of Technology Wangklaikangwon Campus	14 - 28
The Information Management Systems and Monitoring for Students in Co-operative Education Courses	29 - 38
A Case Study of the Student Experiences of the Implementation of the Holistic Development Ethos in Everyday Learning Processes	39 - 46
Development of Low-cost Digital Simulated Dynamic System for Undergraduate Control System Course	47 - 55
Metallic and Non-Metallic Surface UHF RFID Tag Antenna for Intelligent Logistic Management	56 - 66
X-Band Waveguide Cavity Diplexer Designed Based on the Iris Structure	67 - 77
Backstepping Direct Torque Control of Permanent Magnet Synchronous Motors	78 - 88
Effect of Defatted Rice Bran on Properties of Natural Rubber Vulcanizates	89 - 97

## Metallic and Non-Metallic Surface UHF RFID Tag Antenna for Intelligent Logistic Management

Pitchanun Wongsiritor<sup>1\*</sup>, Sathitthep Sangthong<sup>2</sup>, Panida Aunkittiphong<sup>3</sup>  
and Rattana Noisomwong<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup> Department of Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering,  
Rajamangala University of Technology Rattanakosin

<sup>2</sup> Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,  
Rajamangala University of Technology Rattanakosin

E-mail address: <sup>1</sup>Pitchanun.won@rmutr.ac.th and <sup>2</sup>Sathitthep.san@rmutr.ac.th

### ABSTRACT

The metallic and non-metallic tag antenna for UHF RFID system is designed and presented in this paper. The tag antenna can be operated covering UHF RFID Thailand standard from 920 to 925 MHz with the gain of 3.1 dBi. The tag radome was fabricated by using 3D-printer with RMUTR Logo on the surface for protecting the proposed tag antenna from a physical damage. The performances of the proposed tag antenna were verified by using a commercial UHF RFID Reader on both metallic and non-metallic platforms. The maximum reading ranges on metallic surface and non-metallic surface are 4.8 meter and 5.5 meter.

**Keywords :** 3D-Printer, Antenna, Metallic, RFID, Tag

### 1. INTRODUCTION

Radio frequency identification (RFID) is increasingly important at the present time. The operating frequency range can be divided into four parts; namely low frequency (LF) with 13.567-13.553 MHz, high frequency with 434.79-433.05 MHz and ultra-high frequency with 925-920 MHz and microwave frequency with 2.45 GHz. Application for RFID in each operating frequency is different [1].

Low frequency identification has a shorter wave length than both HF and UHF. Its reading-range is around 10-50 centimeters owing to magnetic coupling mechanism. The LF RFID tag is relatively costly, non-security standard; hence it is generally used for agricultures, animal tracking. High frequency RFID also uses magnetic coupling to communicate between tag and reader. The HF RFID reading-range can be reached to 1 meter depending on a system. In this frequency band, a near-field communication (NFC) is a protocol. HF RFID applications are for access control, tracking applications. The ultra-high frequency (UHF RFID) uses backscattering

\* Corresponding author, e-mail: Pitchanun.won@rmutr.ac.th



for communication. In this frequency band, the equipment is rather low-cost and it has long reading-range. The maximum reading range can be reached to 10 meters. However, there are some disadvantage such as sensitive to metal and liquid. The UHF RFID is mostly applied in logistics for goods distribution, industry and manage product in warehouse. For the microwave frequency, the RFID is for road tolling, container tracking

In the case of RFID providing for warehouse management, logistic control, the UHF band is mostly used owing to the long-reading range, low cost, security. Although, there are many advantages, the sensitive of metal surface becomes a problem [2] in UHF frequency band. Generally, using of an UHF RFID tag on a metal surface modifies the radiation pattern, impedance, gain and efficiency of the tag antenna [3] because of the electromagnetic interference generated causing the reduction of the reading range. To avoid this phenomenon, the tag antenna needs to be a special design for metallic surface. [4] There are many researches on UHF RFID Tag design for metallic surface [5]-[7]. However, there are a few in Thailand. This special design tag is relatively expensive and need to order from oversea.

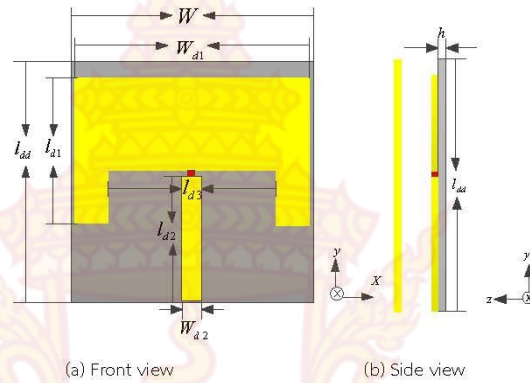
A UHF RFID standard is different based on each country's regulations because the countries have allotted different parts of the radio spectrum for RFID for example, in EU the allotted frequency ranges from 865 to 868 MHz in China allotted frequency ranges from 840.25 to 844.75 MHz and 920.25 to 924.75 MHz. In Thailand, the standard of UHF RFID of National Broadcasting and Telecommunication Commission is between 920 and 925 MHz with 4 Watt EIRP. The RFID component and equipment should meet the required nation standard.

In this paper, the UHF RFID tag antenna which can be applied for metallic and non-metallic surface is presents. The structure is easily to adjust when the operating frequency is changed due to a different of the UHF RFID frequency standard in each country. The antenna can be operated covering the operating frequency band of UHF RFID Thailand standard with 920-925 MHz. The measured results show that the proposed antenna can operate reliably on non-metallic and metallic surface products.

## 2.METHODOLOGY AND TAG ANTENNA DESIGN

The antenna structure is based on a microstrip antenna. The width and length of initial antenna structure can be calculated via  $W_p = \frac{c}{2f_r} \sqrt{2/\epsilon}$ ,  $L_{patch} = L_{eff} - 2\Delta L$ , respectively. when  $L_{eff} = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{eff}}}$  [8]. The figure of the calculated tag is illustrated in figure 1 and its parameters is tabulated in table 1. The initial antenna is simulated and the  $|S_{11}|$  shows that the initial structure have to be improved as

shown in figure 3. In figure 3, it is obvious that the calculated antenna can not be operated in the desired operating frequency band from 920 to 925 MHz.



**Figure 1** An initial metallic and non-metallic tag antenna structure

**Table 1** The initial antenna parameters

parameters	size (mm)
$W$	100.0
$W_{d1}$	93.0
$W_{d2}$	8.0
$l_{d1}$	95.0
$l_{d2}$	47.0
$l_{d3}$	72.0
$h$	1.6

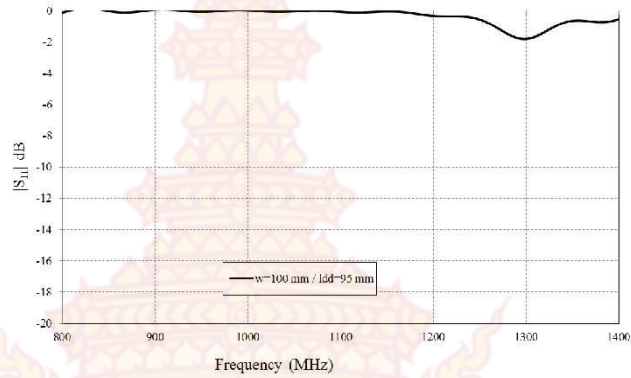


Figure 2 An  $|S_{11}|$  of the initial metallic and non-metallic tag antenna

To improve the antenna structure, the antenna parameters are varied. The parameter (x) is varied from 20 mm to 100 mm and parameter (y) are adjusted from 95 mm to 155 mm.

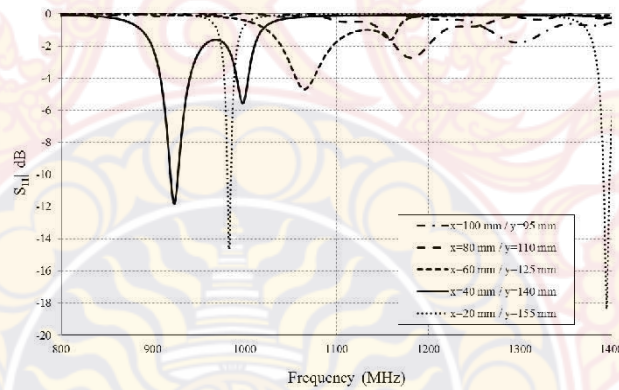


Figure 3 An  $|S_{11}|$  of the initial metallic and non-metallic tag antenna for various parameters (x) and (y)

In this work, the desired bandwidth is from 920 to 925 MHz according to Thailand UHF RFID frequency standard. The proposed antenna should have the operating frequency covering the desired frequency band. In figure 3, the  $|S_{11}|$  were changed by (x), (y) parameters. Parameter (x) is represented the total width of the tag and the parameter (y) is the total length of the tag. The appropriate size is (x) of 40 mm and (y) of 140 mm.

### 3. ANTENNA CHARACTERISTICS

The antenna characteristics such as impedance, radiation pattern and gain are described in this section. The previous section shows that the antenna parameter should be improved to meet the requirement. The appropriated antenna structure is illustrated in figure 7. The parameter is in table 2. The size of the antenna is smaller than that of the calculated structure. The total size is 140 mm x 40 mm with the thickness of 1.6 mm on FR-4 substrate.

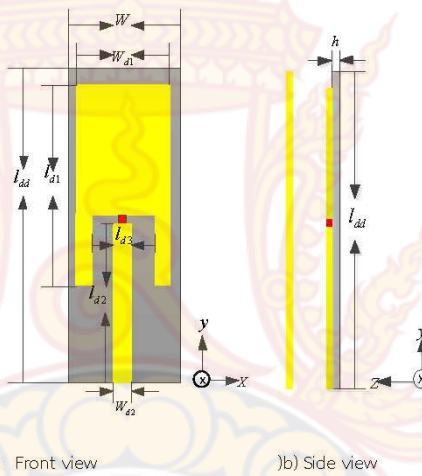
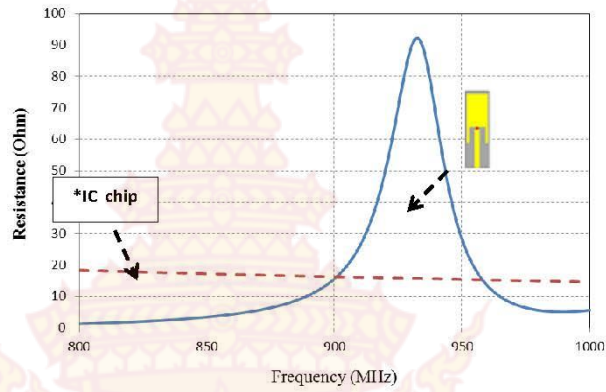


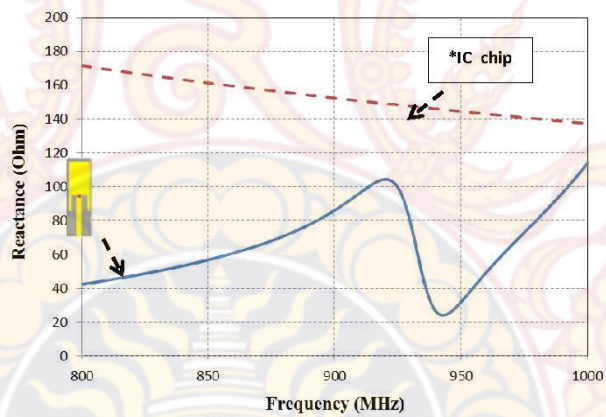
Figure 4 The proposed metallic and non-metallic tag antenna structure

Table 2 The proposed antenna parameters

parameters	size (mm)
$W$	40.0
$W_{d1}$	30.0
$W_{d2}$	8.0
$l_{d1}$	140.0
$l_{d2}$	84.0
$l_{d3}$	67.5
$h$	24.0
	1.6



(a) Resistance



(b) Reactance

**Figure 5** The Impedance of the proposed metallic and non-metallic tag antenna

Figure 5 describes the impedance characteristics of the proposed tag antenna. The blue line presents the impedance of IC chip and the red-dot line presents the impedance of the proposed tag antenna. The resistance of the tag antenna is around 59.69 ohm and the reactance is around 103.55 Ohm considering at the center frequency of 922.5 MHz.

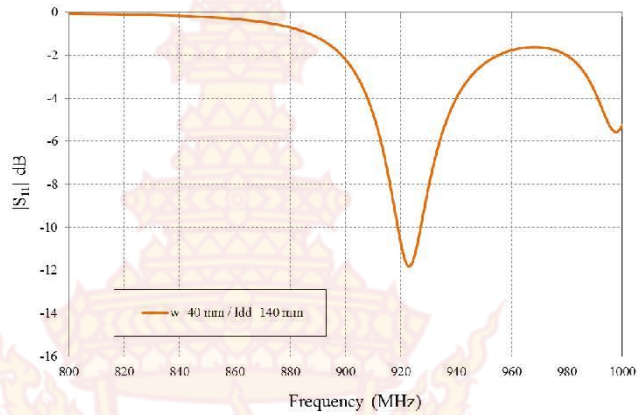


Figure 6 The  $|S_{11}|$  of the proposed metallic and non-metallic tag antenna

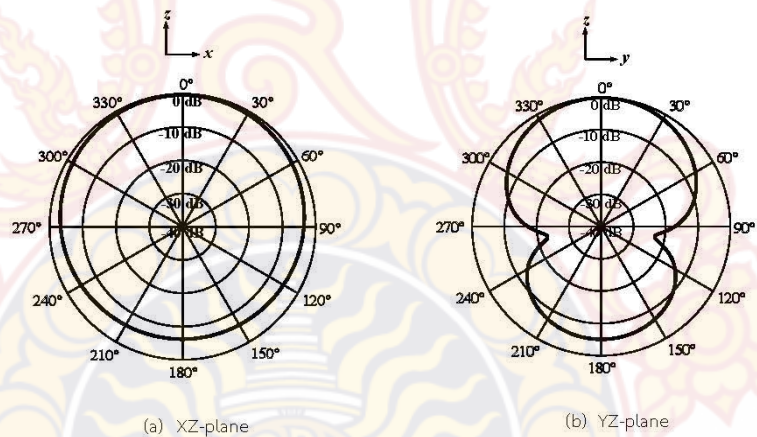


Figure 7 The radiation pattern of the proposed metallic and non-metallic tag antenna

The  $|S_{11}|$  of the proposed tag antenna is presented in figure 6. The operating frequency considering with  $|S_{11}|$  of less than -3 dB is from 906 to 948 MHz which is covered the operating frequency of 920-925 MHz. The resonance frequency is around 922.5 MHz which is the center frequency of 920-925 MHz. The radiation pattern of the tag antenna is shown in figure 7 considering at 922.5 MHz. Figure 7 (a) presented the antenna pattern in ZX-plane and in figure 7(b), the radiation pattern is shown in YZ-plane. It is illustrated that the antenna pattern is

symmetrical and it has omni-like radiation pattern. The gain of the tag is presented in figure 8. The average gain from 920 to 925 MHz is around 3.145 dBi.

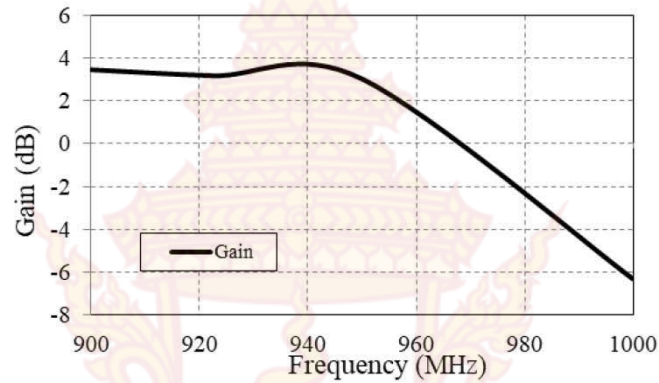


Figure 8 The gain of the proposed metallic and non-metallic tag antenna

#### 4. MEASURED RESULTS

The tag antenna was fabricated on FR-4 substrate and the IC chip was soldered. The position of the NXP IC chip is placed at the tag antenna feeding point by solder as shown in figure 9. However, in practical, the RFID tag antenna for a platform tolerance application should have the radome to prevent the tag antenna from nearby environment such as humid, crushing and dirtiness.

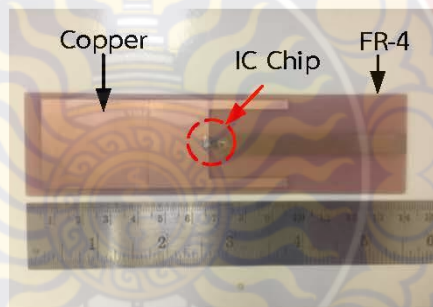


Figure 9 The photo of the proposed tag

The antenna radome was designed in the RMUTR Logo using SOLIDWORK. Then, in order to fabricate the tag antenna radome, the 3D-printer is used. The designed and fabricated radome are depicted in figure 10 (a) and (b), respectively. For other company logos, it can be changed and fabricated easily by using 3D-printer.



(a) Modeled RFID tag antenna radome



(b) Fabricated tag antenna radome

**Figure 10** The proposed tag antenna with radome using 3D-printer

The measured results were done by using a commercial UHF RFID reader with 4 WEIRP as shown in figure 11. In figure 12, an installation of a test equipment of proposed tag is illustrated. The tag was measured both metallic and non-metallic surfaces. The results show that the proposed antenna can work properly both metallic and non-metallic surfaces. The maximum reading range on non-metallic and on metallic surface are 5.5 meters and 4.8, respectively.





Figure 11 The tested RFID reader

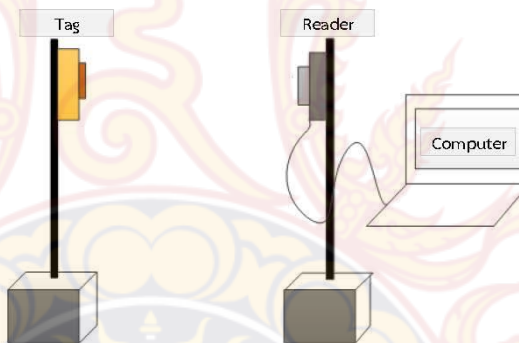


Figure 12 An installation diagram of a maximum-reading range RFID test equipment

## 5 .CONCLUSION

In this paper, the tag antenna for metallic and non-metallic surfaces is presented. The design is for UHF RFID Thailand standard with 920-925 MHz at the center frequency of 922.5 MHz. The tag antenna has a simple structure which is easy to design and fabricate. The proposed tag antenna structure is based on a microstrip structure. The NXP G2XL is used with the impedance of  $15.873+j148.82$  Ohms considering at the center frequency. The antenna radome was done by using 3D printer. The antenna structure is 140 mm x 40 mm. The antenna substrate is FR-4 with the thickness of 1.6 mm. The proposed tag antenna was designed for non-metallic surface and metallic surface applications. The impedance of the proposed antenna is  $+59.69j$  103.55Ohms. The operating frequency of the proposed tag antenna considering with the  $|S_{11}|$  is less than -3 dB is from 906 to 948

MHz. The antenna gain is 3.145 dBi. The maximum reading range with non-metallic surface is 5.5 meters. On metallic surface, the maximum reading range is around 4.8 meters. It is obvious that the proposed antenna is appropriated for both metallic and non-metallic item.

#### ACKNOWLEDGEMENT

The author would like to gratefully acknowledge the funds of Rajamangala University Rattanakosin for financial sponsorship under funds number KNO-15/2561.

#### REFERENCES

- [1] Bolic M, Simplot-Ryl D, Stojmenovic I., (2010), RFID systems. Singapore
- [2] Ukkonen L, Sydanheimo L, Kivikoski, M., (2005) "Effects of metallic plate size on the performance of microstrip patch-type tag antennas for passive RFID," IEEE Antennas Wireless Propagations. Letter., Vol. 4, pp 410-413.
- [3] Wongsitron, P., Phongcharoenpanich, C., Pumpoung, Phaebua, K., and Lertwiryapra, T (2016), Modified UTD-based UHF RFID tag antenna with two-pronged fork slot for coated metallic cylindrical surface, Journal of Electromagnetic Waves and Applications, Vol 30, No.6, pp. 805-823.
- [4] He, W., and Xu, B., (2018) "Investigation of low-profile RFID antenna using AMC substrate for anti-metallic application," Proceedings of 2018 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS-Toyama), Toyama, pp. 2187-2191.
- [5] Marrocco, g., 2008, "The art of UHF RFID antenna design: impedance matching and size-reduction Techniques" IEEE Transactions on Antennas and Propagation Magazine, Vol 50, Issue 1, pp 66-79
- [6] Yan, Y., Ouyang, J., Ma, X., Wang, R., and Sharif, A., (2019) "Circularly Polarized RFID Tag Antenna Design for Metallic Poles using Characteristic Mode Analysis," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters.
- [7] Moh, C. W., Lim, E.H., Bong, F.L., and Chung, B. K., (2018), "Miniature Coplanar-Fed Folded Patch for Metal Mountable UHF RFID Tag," IEEE Transactions on Antennas and Propagation., Vol 66, No. 5, pp. 2245-2253, 2018.
- [8] Balanis CA., (2005), Antenna Theory: Analysis and Design, 3 editions. New York Wiley



## ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ สกุล นางสาวพิชชานันท์ วงศ์ศิริธร

2. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

3. หน่วยงานที่สามารถติดต่อได้

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

96 หมู่ 3 ถ.พุทธมณฑลสาย 5 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม

หมายเลขโทรศัพท์ 02-441-6000 ต่อ 2763 และ 2667

โทรสาร 02-441-6000 ต่อ 2621

ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail) pwongsiritorn@gmail.com

4. ประวัติการศึกษา

**ปริญญาตรี:** วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

(เกียรตินิยมอันดับ2)

**ปริญญาโท:** วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

**ปริญญาเอก:** วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

- ระเบียบวิธีการทางความถี่สูง

- การออกแบบสายอากาศ

- เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี

6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

1. “RFID Sensor for Quality Determination of Some Agricultural Products” สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ประจำปี 2551: ผู้ร่วมโครงการวิจัย

2. “สายอากาศแท่งย่านความถี่กว้างสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่สูงยิ่ง” ได้รับทุนงบประมาณเงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปี 2556 ระยะเวลา 1 ปี :ผู้ร่วมโครงการวิจัย

## ประวัติผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ สกุล นาย ธีชชัย พุ่มพวง

2. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

3. หน่วยงานที่สามารถติดต่อได้

คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

744 ถ.สุรนายณ์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

หมายเลขโทรศัพท์ 02-441-6000 ต่อ 2763 และ 2667

ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail) tajchai.pu@rmuti.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

**ปริญญาตรี:** วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

**ปริญญาโท:** วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

**ปริญญาเอก:** วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

การศึกษาผลกระทบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสถานีฐานโทรศัพท์มือถือที่มีผลต่อมนุษย์

6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

1. การออกแบบและพัฒนาระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่เอชเอฟสำหรับระบุตัวตนสำหรับศูนย์  
การพัฒนาเทคโนโลยี บริษัท เอสซีจีเปเปอร์ จำกัด ปี พ.ศ. 2557 : หัวหน้าโครงการวิจัย

2. โครงการจ้างที่ปรึกษา เพื่อศึกษาผลกระทบของการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสถานีฐาน  
ของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ต่อความปลอดภัยด้านสุขภาพของมนุษย์ สำนักงาน กสทช. ปี พ.ศ. 2556  
: ผู้ร่วมวิจัย

3. การศึกษาต้นทุน และการนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาใช้กับแผ่นป้ายทะเบียนรถ กรมการ  
ขนส่งทางบก ปี พ.ศ. 2556 : ผู้ร่วมวิจัย

4. การทดสอบระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่เอชเอฟสำหรับสายพานลำเลียงกระเป๋าของ  
ผู้โดยสารในสนามบินสุวรรณภูมิ สจล. และสนามบินสุวรรณภูมิ ปี พ.ศ. 2552: ผู้ร่วมวิจัย