

สายอากาศเครื่องอ่านรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่
สำหรับการสื่อสารอาร์เอฟไอดีย่านยูเอชเอฟระยะใกล้และระยะไกล

DUAL LOOP RECTANGULAR-SHAPED READER ANTENNA FOR SHORT-RANGE
AND LONG-RANGE UHF-RFID COMMUNICATIONS

พิชญ สมบัติคลัง

PHISANU SOMBATKLUNG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

KMITL-2015-EN-M-010-051

สายอากาศเครื่องอ่านรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่
สำหรับการสื่อสารอาร์เอฟไอดีย่านยูเอชเอฟระยะใกล้และระยะไกล

DUAL LOOP RECTANGULAR-SHAPED READER ANTENNA FOR SHORT-RANGE
AND LONG-RANGE UHF-RFID COMMUNICATIONS



พิชญ์ สมบัติคลัง

PHISANU SOMBATKLUNG

ลงทะเบียน
เลขทะเบียน 139422
วันเดือนปี 3 พ.ย. 2558

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2558

KMITL-2015-EN-M-010-051

DUAL LOOP RECTANGULAR-SHAPED READER ANTENNA FOR SHORT-RANGE
AND LONG- RANGE UHF-RFID COMMUNICATIONS

PHISANU SOMBATKLUNG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2015
KMITL-2015-EN-M-010-051





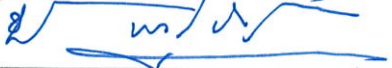
COPYRIGHT 2015

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ สายอากาศเครื่องอ่านรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่สำหรับการสื่อสารอาร์เอฟไอดี ย่านยูเอชเอฟระยะใกล้และระยะไกล
Thesis Title Dual Loop Rectangular-shaped Reader Antenna for Short-range and Long-range UHF-RFID Communications
นักศึกษา นายพิษณุ สมบัติคลัง
รหัสประจำตัว 55611904
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ชวรงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2015-EN-M-010-051

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.สถาพร พรหมวงศ์		
ผศ.ดร.พิษณุ สุพรรณกุล		
ศ.ดร.ประยุทธ์ อัครเอกมาลิน		
ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาศิพงษ์		
รศ.ดร.ชวรงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์		

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 8 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 เวลา 15.00-17.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 1

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมตัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 8 พฤษภาคม พ.ศ. 2558

Thesis Title	Dual Loop Rectangular-Shaped Reader Antenna for Short Range and Long Range UHF-RFID Communications
Student	Mr. Phisanu Sombatklung
Student ID.	55611904
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2015
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Dr. Chuwong Phongcharoenpanich

ABSTRACT

This thesis presents a dual loop rectangular-shaped reader antenna for short range and long range UHF-RFID applications. The proposed antenna is designed for suitable structure, low cost, simple structure and easy installation for many applications. This antenna is printed onto FR4 substrate with overall size of 17.5 cm × 18.0 cm × 0.05 cm. Using a segmented line, the proposed antenna generates strong and even magnetic field distribution. For the communication performance between readers and tags, the percentage of the detection accuracy for the multiple tags in z -axis is 94.44 %. The communication area is 18 cm × 18 cm. It has impedance bandwidth of less than -10 dB from 840 MHz – 960 MHz.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จขึ้นได้จากการสนับสนุนของ รศ. ดร. ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์ อาจารย์ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและองค์ความรู้ต่างๆ รวมทั้งแนวคิด และกระบวนการทางงานวิจัย จนกระทั่งข้อคิดสำหรับการดำเนินชีวิตอย่างดียิ่งเสมอมา และขอขอบคุณอาจารย์อีกหลายๆ ท่านที่ผ่านมามาอันซึ่งได้ประสิทธิ์ประสาทของวิชาความรู้ต่างๆ ให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ คุณรัศมีทัต แผนสมบูรณ์ และ คุณบัญชา เหลือแดง ซึ่งเป็นผู้ที่ให้ความรู้ในทางเทคนิคและข้อคิดอย่างเป็นระเบียบแบบแผน และกำลังใจซึ่งเป็นแรงผลักดันอย่างแรงยิ่งให้กับข้าพเจ้า ขอขอบคุณหัวหน้างานและเพื่อนร่วมงานที่บริษัทไมโครชิพทุกท่าน

ขอขอบคุณพี่ๆ น้องๆ ทุกท่านในห้องปฏิบัติการสื่อสารไร้สายที่ช่วยให้คำปรึกษา และกำลังใจให้กับข้าพเจ้าอย่างดีมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ผู้ซึ่งมีความสำคัญยิ่งที่ให้การสนับสนุนและกำลังใจตลอดช่วงชีวิตของข้าพเจ้า จนทำให้ข้าพเจ้าประสบความสำเร็จในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้อย่างลุล่วง คุณค่าและองค์ความรู้อันเป็นประโยชน์ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้ซึ่งมีพระคุณทุกท่าน

พิชญ์ สมบัติคลัง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูปภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การศึกษาและขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.3 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 ความเป็นมาของระบบบ่งชี้ลักษณะทางคลื่นวิทยุ.....	5
2.3 ส่วนประกอบของระบบอาร์เอฟไอดี.....	6
2.4 ระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟ.....	7
2.4.1 ย่านความถี่ใช้งาน.....	8
2.5 พารามิเตอร์พื้นฐานในการวิเคราะห์สายอากาศ.....	9
2.5.1 แบนด์วิดธ์ของสายอากาศ.....	11
2.5.2 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ.....	11
2.5.3 อัตราขยายของสายอากาศ.....	12
2.5.4 อิมพีแดนซ์ด้านเข้า.....	12
2.6 บริเวณสนามของสายอากาศ.....	13
2.7 ระยะเวลาการทำงานและเหนี่ยวนำ.....	15
2.7.1 การเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำแม่เหล็ก.....	15
2.7.2 การกระจายย้อนกลับ.....	17
2.8 ปัญหาในการออกแบบสายอากาศ.....	18
2.8.1 สายอากาศบ่วง.....	18
2.9 งานวิจัยที่มีมาก่อน.....	19
2.10 สรุป.....	26

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบและการจำลองสายอากาศ.....	27
3.1 บทนำ.....	28
3.2 โครงสร้างและการออกแบบสายอากาศ.....	28
3.2.1 การศึกษาผลกระทบที่เกิดจากพารามิเตอร์ของสายอากาศบ่วงรูปทรง สี่เหลี่ยม.....	28
3.2.2 การจำลองการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศรูปทรงสี่เหลี่ยม.....	32
3.2.3 การศึกษาผลกระทบที่เกิดจากพารามิเตอร์ของสายอากาศรูปทรงสี่เหลี่ยม มุมฉากชนิดบ่วงคู่.....	34
3.2.4 โครงสร้างสายอากาศรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่.....	35
3.3 ผลการจำลองของสายอากาศ.....	37
3.3.1 ผลการจำลองการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศรูปทรงสี่เหลี่ยม มุมฉากชนิดบ่วงคู่.....	39
3.3.2 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation pattern).....	41
3.3.3 ผลการจำลองอัตราขยายของสายอากาศ (Gain).....	42
3.4 สรุป.....	43
บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบ.....	44
4.1 บทนำ.....	44
4.2 สายอากาศต้นแบบ.....	44
4.3 ขั้นตอนและผลการทดสอบสนามระยะไกล.....	45
4.3.1 $ S_{11} $	45
4.3.2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation pattern).....	46
4.3.3 อัตราขยาย (Gain).....	50
4.4 การทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็ก.....	51
4.5 สรุป.....	54
บทที่ 5 การประเมินผลการประยุกต์การใช้งานในการอ่านแท็กในสนามระยะใกล้และ ระยะไกล.....	55
5.1 บทนำ.....	55
5.2 การทดสอบการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศกับแท็กในสนามระยะใกล้.....	55
5.2.1 อุปกรณ์สำหรับการทดสอบระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่เอชเอฟแบบ สนามระยะใกล้.....	55
5.2.2 ช่วงการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศกับแท็ก.....	57
5.3 การทดสอบการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศกับแท็กในสนามระยะไกล.....	64
5.4 สรุป.....	65

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	66
6.1 สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	66
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา.....	67
เอกสารอ้างอิง.....	68
ประวัติผู้เขียน.....	70

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ย่านความถี่ใช้งานในระบบอาร์เอฟไอดี.....	8
2.2	เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของระบบอาร์เอฟไอดีที่ใช้งานในย่านความถี่ต่างๆ.....	9
2.3	สรุปคุณสมบัติของงานวิจัยที่มีมาก่อน.....	25
3.1	ขนาดของสายอากาศบ่วงรูปทรงสี่เหลี่ยม.....	31
3.2	สรุปขนาดของสายอากาศรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่.....	37
3.3	สรุปสมรรถนะสายอากาศรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่.....	38
5.1	เปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวของการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศต้นแบบกับแท็ก.....	63

สารบัญญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	การประยุกต์ใช้งานระบบอาร์เอฟไอดีทางการแพทย์.....	1
1.2	แท็กอาร์เอฟไอดี	1
1.3	ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศสายอาร์เอฟไอดีรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิด บ่วงคู่.....	3
2.1	การประยุกต์ใช้งานระบบอาร์เอฟไอดีในการเข้าออกสถานที่.....	6
2.2	การประยุกต์ใช้งานระบบอาร์เอฟไอดีภายในห้องสมุด.....	6
2.3	ส่วนประกอบระบบอาร์เอฟไอดี.....	7
2.4	การใช้งานระบบอาร์เอฟไอดี	7
2.5	ระบบพิกัดทรงกลมซึ่งใช้สำหรับวิเคราะห์แบบการแผ่กำลังงานของสายอากาศ....	10
2.6	การแผ่กำลังงานแบบรอบทิศทางในระนาบเดียว.....	11
2.7	สายอากาศในโหมดการส่ง.....	13
2.8	บริเวณสนามรอบสายอากาศ.....	14
2.9	การเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดสายอากาศในบริเวณการสื่อสารต่างๆ.....	14
2.10	การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่าย.....	15
2.11	บริเวณที่แตกต่างของอิมพีแดนซ์สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูล (สำหรับสายอากาศ ไดโพลปกติ).....	17
2.12	สายอากาศคู่สำหรับอาร์เอฟไอดีย่านยูเอชเอฟในสนามระยะใกล้.....	20
2.13	สายอากาศบ่วงคู่ขนาดใหญ่สำหรับอาร์เอฟไอดีย่านยูเอชเอฟสนาม ระยะใกล้.....	21
2.14	สายอากาศแถบความถี่กว้างสำหรับอาร์เอฟไอดี	23
2.15	สายอากาศเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีสำหรับสนามระยะใกล้และสนาม ระยะไกล.....	24
3.1	โครงสร้างสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม.....	27
3.2	สายอากาศบ่วงรูปทรงสี่เหลี่ยม.....	29
3.3	$ S_{11} $ ที่ได้จากการจำลองของสายอากาศบ่วงรูปทรงสี่เหลี่ยม.....	29
3.4	โครงสร้างสายอากาศบ่วงรูปทรงสี่เหลี่ยม.....	30
3.5	การจำลองผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลง L_f ต่อ $ S_{11} $ ของสายอากาศบ่วงรูปทรง สี่เหลี่ยม.....	30
3.6	การจำลองผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลง W_f ต่อ $ S_{11} $ ของสายอากาศบ่วง รูปทรงสี่เหลี่ยม.....	31
3.7	การกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศที่ความถี่ 915 MHz ที่มีระยะทางใน แนวแกน $z = 0$ มิลลิเมตร.....	32

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.8	การกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศที่ความถี่ 915 MHz ที่มีระยะทางในแนวแกน $z = 1$ มิลลิเมตร.....	32
3.9	การกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศที่ความถี่ 915 MHz ที่มีระยะทางในแนวแกน $z = 5$ มิลลิเมตร.....	33
3.10	การกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศที่ความถี่ 915 MHz ที่มีระยะทางในแนวแกน $z = 10$ มิลลิเมตร.....	33
3.11	การจำลองผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลง W_1 ต่อ $ S_{11} $ ของสายอากาศรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก.....	34
3.12	การจำลองผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลง L_{in} ต่อ $ S_{11} $ ของสายอากาศรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก.....	35
3.13	สายอากาศรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่.....	36
3.14	$ S_{11} $ ที่ได้จากการจำลองของสายอากาศบ่วงรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่.....	38
3.15	การกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศที่ความถี่ 915 MHz ที่มีระยะทางในแนวแกน $z = 0$ เซนติเมตร.....	39
3.16	การกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศที่ความถี่ 915 MHz ที่มีระยะทางในแนวแกน $z = 1$ เซนติเมตร.....	39
3.17	การกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศที่ความถี่ 915 MHz ที่มีระยะทางในแนวแกน $z = 5$ เซนติเมตร.....	40
3.18	การกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศที่ความถี่ 915 MHz ที่มีระยะทางในแนวแกน $z = 10$ มิลลิเมตร.....	40
3.19	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเริ่มต้น.....	42
3.20	ผลการจำลองอัตราขยายที่เป็นฟังก์ชันของความถี่.....	43
4.1	โครงสร้างสายอากาศต้นแบบ.....	44
4.2	การทดสอบคุณลักษณะ $ S_{11} $ ของสายอากาศ.....	45
4.3	เปรียบเทียบผลการทดสอบกับผลการจำลอง $ S_{11} $ ของสายอากาศต้นแบบ.....	46
4.4	การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ yz.....	47
4.5	การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ xz.....	48
4.6	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ.....	49
4.7	เปรียบเทียบอัตราขยายระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบ.....	50
4.8	การทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศ.....	51
4.9	ผลการจำลองและการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศที่ความถี่ 840 MHz ($z = 5$ มิลลิเมตร).....	52

สารบัญญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.10	ผลการจำลองและการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศที่ความถี่ 915 MHz ($\lambda = 5$ มิลลิเมตร).....	53
4.11	ผลการจำลองและการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศที่ความถี่ 960 MHz ($\lambda = 5$ มิลลิเมตร).....	53
5.1	การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดสอบการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศ ต้นแบบกับแท็กสนามระยะใกล้.....	56
5.2	ระยะในการอ่านแท็ก เมื่อ H เท่ากับ 0 เซนติเมตร.....	57
5.3	ระยะในการอ่านแท็ก เมื่อ H เท่ากับ 0.5 เซนติเมตร.....	57
5.4	ระยะในการอ่านแท็ก เมื่อ H เท่ากับ 1 เซนติเมตร.....	58
5.5	ระยะในการอ่านแท็ก เมื่อ H เท่ากับ 1.5 เซนติเมตร.....	58
5.6	ระยะในการอ่านแท็ก เมื่อ H เท่ากับ 2 เซนติเมตร.....	58
5.7	ระยะในการอ่านแท็ก เมื่อ H เท่ากับ 2.5 เซนติเมตร.....	59
5.8	ระยะในการอ่านแท็ก เมื่อ H เท่ากับ 3 เซนติเมตร.....	59
5.9	ระยะในการอ่านแท็ก เมื่อ H เท่ากับ 3.5 เซนติเมตร.....	59
5.10	ระยะในการอ่านแท็ก เมื่อ H เท่ากับ 4 เซนติเมตร.....	60
5.11	ระยะในการอ่านแท็ก เมื่อ H เท่ากับ 4.5 เซนติเมตร.....	60
5.12	ระยะในการอ่านแท็ก เมื่อ H เท่ากับ 5 เซนติเมตร.....	60
5.13	ระยะในการอ่านแท็ก เมื่อ H เท่ากับ 5.5 เซนติเมตร.....	60
5.14	ระยะในการอ่านแท็ก เมื่อ H เท่ากับ 6 เซนติเมตร.....	61
5.15	ระยะในการอ่านแท็ก เมื่อ H เท่ากับ 6.5 เซนติเมตร.....	61
5.16	ระยะในการอ่านแท็ก เมื่อ H เท่ากับ 7 เซนติเมตร.....	62
5.17	ระยะในการอ่านแท็ก เมื่อ H เท่ากับ 7.5 เซนติเมตร.....	62
5.18	เปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวของการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศต้นแบบกับแท็ก.....	63
5.19	การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นโดยแท็กติดตั้งในระนาบแนวนอน.....	64
5.20	การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นโดยแท็กติดตั้งในระนาบแนวตั้ง.....	65

บทที่ 1

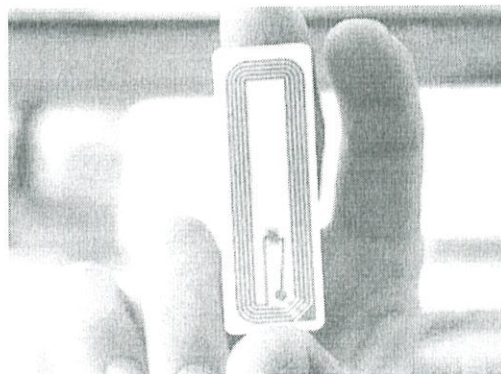
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

ระบบบ่งชี้ลักษณะทางคลื่นวิทยุ (อาร์เอฟไอดี) ได้รับการพัฒนาในช่วงสงครามโลกครั้งที่สอง เป็นเทคโนโลยีที่ใช้บ่งชี้ลักษณะและใช้ในระบบติดตามวัตถุแบบไร้สาย [1] - [2] ระบบอาร์เอฟไอดีใช้พื้นฐานอุปกรณ์กึ่งตัวนำกับเทคโนโลยีไร้สายเพื่อบ่งชี้และติดตามวัตถุ ระบบดังกล่าวช่วยให้เราสามารถอ่านและเขียนได้ในเวลาเดียวกันได้หลายๆ แท็กและใช้การกระตุ้นจากอุปกรณ์รับรู้จากระยะไกลโดยขึ้นอยู่กับฐานข้อมูลลักษณะของตนที่ไม่ซ้ำกัน เพื่อความสะดวกในการเลือกหาข้อมูลลักษณะได้ [3] ในปัจจุบันเทคโนโลยีระบบบ่งชี้ลักษณะทางคลื่นวิทยุโดยใช้สนามระยะใกล้และระยะไกลย่านความถี่เอชเอฟ (UHF) ซึ่งได้รับความสนใจอย่างมากเนื่องจากมีแนวโน้มในการนำไปใช้ประโยชน์จากระบบอาร์เอฟไอดี เพื่อติดตามสินค้าที่มีความละเอียดอ่อน เช่น การขนส่งยาและเวชภัณฑ์ (เลือด ยาวัคซีน) การใช้งานไบโอเซนเซอร์ (วัตถุอันตราย การรักษาความปลอดภัย) และอื่น ๆ [4] - [8] โดยรูปที่ 1.1 แสดงการประยุกต์ใช้งานระบบอาร์เอฟไอดีทางการแพทย์ และรูปที่ 1.2 แสดงตัวอย่างแท็กอาร์เอฟไอดี



รูปที่ 1.1 การประยุกต์ใช้งานระบบอาร์เอฟไอดีทางการแพทย์ [9]

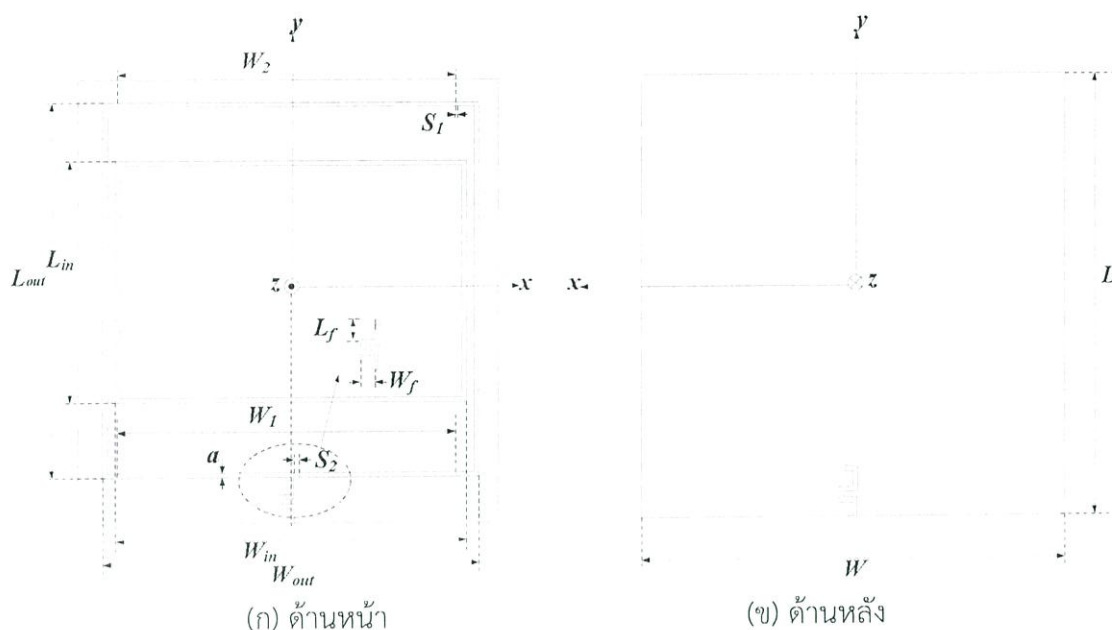


รูปที่ 1.2 แท็กอาร์เอฟไอดี [10]

1.2 วัตถุประสงค์การศึกษาและขอบเขตงานวิจัย

ในงานทางด้านระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุนี้สิ่งหนึ่งที่ต้องระบุระบบก็คือสายอากาศ รูปแบบของสายอากาศก็จะมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไปตามความเหมาะสมกับการใช้งานในด้านต่างๆ ซึ่งสายอากาศที่นิยมใช้ทั่วไปคือสายอากาศบ่วง ความท้าทายในการประยุกต์ใช้ระบบบ่งชี้ลักษณะทางคลื่นวิทยุโดยใช้สนามระยะใกล้และระยะไกลย่านยูเอชเอฟ คือการออกแบบสายอากาศที่ใช้กับเครื่องอ่านข้อมูลโดยมีพื้นที่การใช้งานขนาดใหญ่ โดยทั่วไปเส้นที่เป็นบ่วงของแข็งมีการใช้กับสายอากาศในย่านความถี่ต่ำและย่านความถี่สูงในระบบอาร์เอฟไอดีเป็นเวลาหลายปี โดยปกติสนามไฟฟ้าที่ใช้บ่วงขนาดเล็ก เช่น เส้นรอบวงของสายอากาศแบบบ่วง $C < \lambda/2\pi$ เมื่อ λ เป็นความยาวคลื่นใช้งาน สามารถสร้างสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มข้นสม่ำเสมอในบริเวณที่อยู่ใกล้กับสายอากาศ อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้งานระบบอาร์เอฟไอดีย่านยูเอชเอฟจำเป็นต้องมีสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลที่ครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ ตัวอย่างเช่น 18 ตารางเซนติเมตร X 18 ตารางเซนติเมตร ซึ่งข้อเสนอดังกล่าวได้ใช้สายอากาศแบบบ่วงกับพื้นที่การอ่านที่มีขนาดใหญ่โดยที่ไม่เคยมีการใช้กับระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก เดิมทีเส้นบ่วงที่เป็นเส้นรอบวงเทียบกับหนึ่งความยาวคลื่นใช้งานไม่สามารถสร้างการกระจายของสนามแม่เหล็กได้อย่างสม่ำเสมอในสนามระยะใกล้และระยะไกลของสายอากาศและสนามแม่เหล็กไฟฟ้าค่อนข้างเบาบางเมื่อเทียบในบางพื้นที่ของการอ่านซึ่งลดระดับความน่าเชื่อถือจากการติดตามตรวจสอบลักษณะของระบบอาร์เอฟไอดี แต่ข้อเสียของระบบอาร์เอฟไอดีสนามระยะไกลย่านความถี่ยูเอชเอฟ คือระบบดังกล่าวจะถูกผลกระทบอย่างรุนแรงเมื่อนำไปประยุกต์ใช้กับโลหะ ความชื้น และน้ำ ในปัจจุบันจึงมีการพัฒนานำระบบอาร์เอฟไอดีสนามระยะใกล้ที่มีความสามารถในการทำงานกับโลหะ ความชื้น และน้ำ มาประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบอาร์เอฟไอดีที่ความถี่ยูเอชเอฟ ซึ่งในหัวข้อนี้จึงนำเสนอ ทฤษฎีระบบอาร์เอฟไอดีสนามระยะใกล้และระยะไกลย่านความถี่ยูเอชเอฟ การทดสอบสมรรถนะของสายอากาศอาร์เอฟไอดีสนามระยะใกล้และระยะไกล

ในส่วนของการจำลองสายอากาศเครื่องอ่านรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดกันท้อยสำหรับการสื่อสารอาร์เอฟไอดีย่านยูเอชเอฟระยะใกล้และระยะไกลจะใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO[®] เพื่อที่จะศึกษาถึงผลกระทบของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ รวมทั้งการหาค่าคุณลักษณะของสายอากาศให้เหมาะสม โดยการพิจารณาจากผลของ $|S_{11}|$ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation pattern) และการกระจายของสนามแม่เหล็ก (Magnetic field distribution)



รูปที่ 1.3 ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศอาร์เอฟไอทีรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่

วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้เพื่อการวิเคราะห์จัดเตรียมสายอากาศที่ใช้สื่อสารอาร์เอฟไอที ย่านยูเอชเอพีระยะใกล้และระยะไกล แนวทางการศึกษาครอบคลุมตัวแปรการใช้งานสายอากาศและให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศ สายอากาศต้นแบบถูกสร้างลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR4 มีอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ 50Ω มี $|S_{11}|$ ต่ำกว่า -10dB ครอบคลุมย่านความถี่ $840\text{ MHz} - 960\text{ MHz}$ มีการกระจายสนามแม่เหล็กไปตามแนวแกน z โดยที่สายอากาศมีขนาดเหมาะสม สร้างความหนาแน่นสนามแม่เหล็กทำให้สามารถเพิ่มระยะการอ่านแท็กที่ระยะทาง 7 เซนติเมตรในสนามระยะใกล้เกิดบริเวณการติดต่อสื่อสารขนาด $18\text{ เซนติเมตร} \times 18\text{ เซนติเมตร}$ และสำหรับสนามระยะไกลสามารถติดต่อแท็กได้ระยะทาง 5 เมตรในการประยุกต์ใช้งาน ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงมีวัตถุประสงค์

1. สร้างองค์ความรู้เกี่ยวกับการประยุกต์กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมเพื่อใช้สำหรับการออกแบบสายอากาศบ่วง
2. ใช้หลักการเพิ่มบ่วงให้กับสายอากาศเพื่อพัฒนาคุณสมบัติของสายอากาศแบบบ่วงให้สามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้ในย่านยูเอชเอพี
3. พัฒนาสายอากาศแบบบ่วงให้มีระยะการสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลครอบคลุมพื้นที่การอ่านขนาดใหญ่ในสนามระยะใกล้และระยะไกล

1.3 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกัน คือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย วัตถุประสงค์การศึกษาขอบเขตการวิจัย และรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการของระบบอาร์เอฟไอดี พารามิเตอร์พื้นฐานสายอากาศ บริเวณสนามของสายอากาศและปัญหาในการออกแบบสายอากาศ

บทที่ 3 กล่าวถึงการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศเพื่อที่จะทำการวิเคราะห์ค่าคุณลักษณะต่างๆสำหรับสายอากาศต้นแบบ โดยเริ่มจากการคำนวณหาความยาวของสายอากาศเริ่มต้น เพื่อนำค่าที่ได้จากการคำนวณไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO[®] พร้อมทั้งศึกษาผลกระทบต่างๆของพารามิเตอร์ และทำการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของสายอากาศ เพื่อให้สายอากาศมีช่วงความถี่ที่สามารถใช้งานได้ตั้งแต่ 840 MHz - 960 MHz

บทที่ 4 กล่าวถึงผลจากการทดสอบสายอากาศที่ได้ทำการวิเคราะห์มาในขั้นต้น แล้วนำมาสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบ พร้อมทั้งแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างผลจำลองและผลทดสอบ ซึ่งจะพิจารณา $|S_{11}|$ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น อัตราการขยายและการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศ

บทที่ 5 กล่าวถึงการนำสายอากาศจากบทที่ 4 มาประเมินผลโดยให้อ่านแท็กในเวลาเดียวกัน เพื่อพิสูจน์ให้เห็นว่าสายอากาศต้นแบบในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับระบบ RFID ย่านความถี่ยูเอชเอฟได้

บทที่ 6 กล่าวถึงข้อสรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ ตลอดจนวิจารณ์ปัญหาที่เกิดขึ้น รวมไปถึงการแนะนำทางทางการพัฒนา

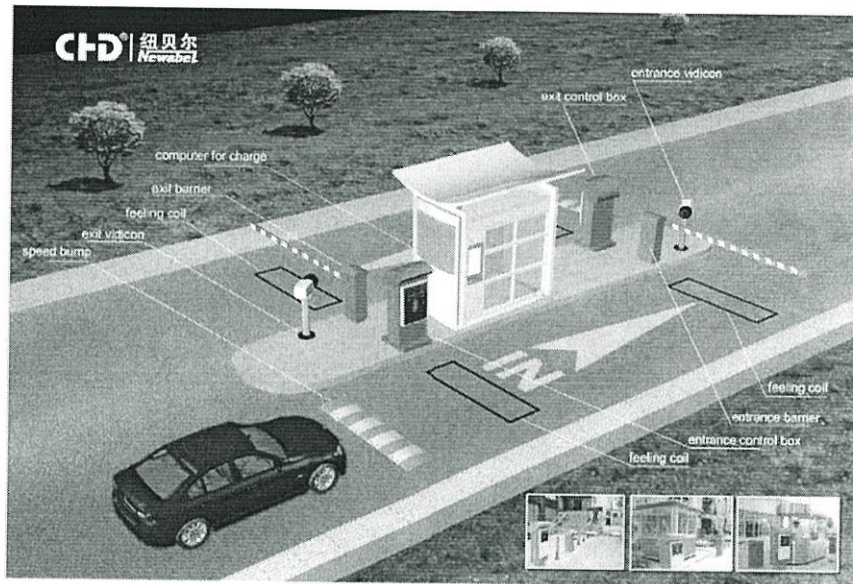
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

2.1 บทนำ

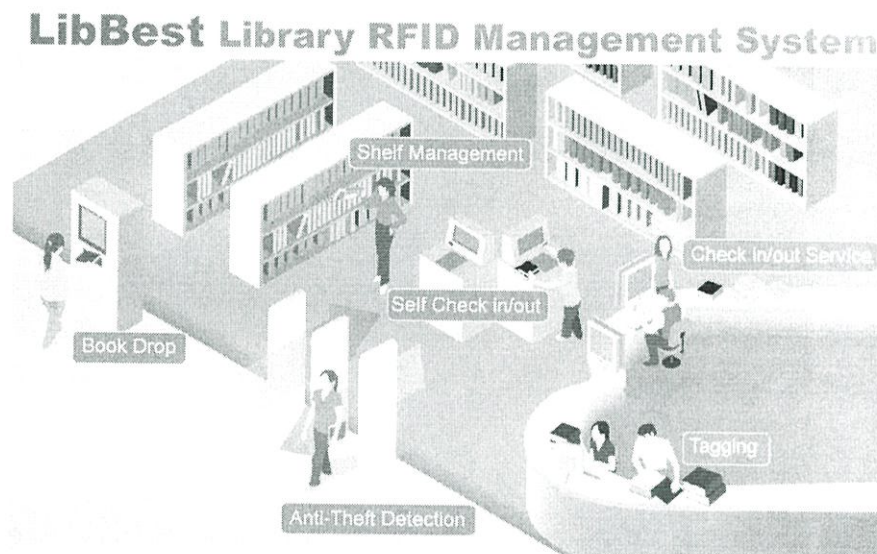
ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการของการสื่อสารระบบอาร์เอฟไอดีโดยจะเริ่มจากความเป็นมาของระบบอาร์เอฟไอดีรวมทั้งระบบการสื่อสารย่านความถี่ยูเอชเอฟ ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ เพื่อเป็นพื้นฐานของการออกแบบสายอากาศ หลักการสื่อสารแบบ Inductive coupling และการออกแบบสายอากาศบ่วงที่ใช้ในระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟ

2.2 ความเป็นมาของระบบบ่งชี้ลักษณะทางคลื่นวิทยุ

อาร์เอฟไอดี ย่อมาจาก Radio Frequency Identification เป็นเทคโนโลยีการระบุข้อมูลที่แสดงเอกลักษณ์ของวัตถุหรือบุคคลด้วยคลื่นความถี่วิทยุที่ได้ถูกพัฒนามาในยุค ค.ศ. 1970 เพื่อวัตถุประสงค์นำไปใช้ในการบ่งชี้วัตถุระยะไกลได้ โดยมีจุดเด่นคือสามารถอ่านข้อมูลจากแท็กหลายๆ แท็กแบบไร้สัมผัสได้พร้อมกัน และสามารถอ่านข้อมูลได้แม้ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี ทนต่อความเปียกชื้น แร้งสั่นสะเทือน การกระแทกกระแทก และสามารถอ่านข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูง โดยข้อมูลจะถูกเก็บไว้ในไมโครชิปที่อยู่ในแท็ก ในปัจจุบันได้มีการนำอาร์เอฟไอดีไปประยุกต์ใช้งานในด้านอื่นๆ นอกเหนือจากนำมาใช้ทดแทนระบบรหัสแท่งแบบเดิม โดยระบบอาร์เอฟไอดีมีโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมภายในคล้ายกับเทคโนโลยีสมาร์ทการ์ด กล่าวคือ ข้อมูลจะถูกจัดเก็บไว้ในหน่วยความจำของแท็ก ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กจะมีลักษณะแบบไร้สายโดยใช้หลักการการสะท้อนคลื่นเป็นแบบพาสซีฟ โดยสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลจะส่งสัญญาณผ่านคลื่นความถี่วิทยุไปยังแท็กที่ต้องการทำการอ่านข้อมูล เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของระบบระบุลักษณะอัตโนมัติแต่ละประเภท ระบบอาร์เอฟไอดีมีข้อดีมากมายได้แก่ การใช้งานในบัตรต่างๆ เช่น บัตรประจำตัวพนักงาน บัตรโดยสาร บัตรสำหรับเข้าออกห้องพัก บัตรที่จอดรถตามศูนย์การค้าต่างๆ แท็กสำหรับติดตามกระเป๋าสตางค์ แท็กสำหรับติดตามสินค้า หนังสือหรือสลากยา ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และรูปที่ 2.2 บางครั้งเราอาจเห็นอยู่ในรูปของสินค้าซึ่งมีขนาดเล็กจนสามารถแทรกลงระหว่างชั้นของเนื้อกระดาษได้หรือเป็นแคปซูลขนาดเล็กฝังเอาไว้ในตัวสัตว์เพื่อบันทึกประวัติต่างๆ เป็นต้น



รูปที่ 2.1 การประยุกต์ใช้งานระบบอาร์เอฟไอดีในการเข้าออกสถานที่ [11]

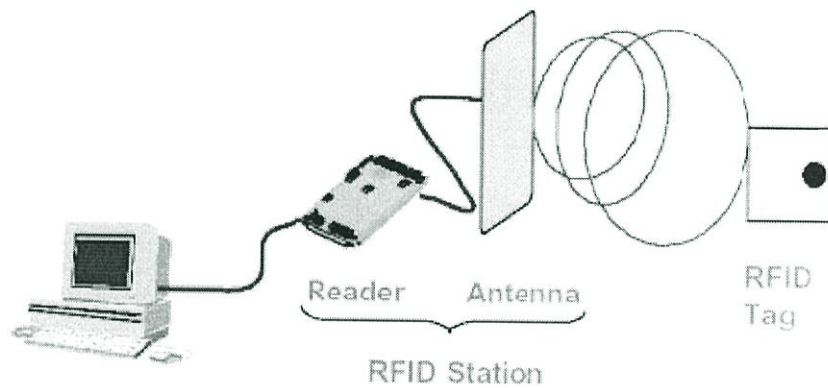


รูปที่ 2.2 การประยุกต์ใช้งานระบบอาร์เอฟไอดีภายในห้องสมุด [12]

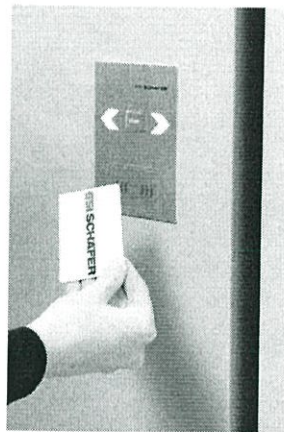
2.3 ส่วนประกอบของระบบอาร์เอฟไอดี

ในหัวข้อนี้อธิบายส่วนประกอบพื้นฐานของระบบสัญญาณอาร์เอฟไอดี ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบหลักๆ อยู่ 2 ส่วนด้วยกันส่วนแรกคือทรานสปอนเดอร์หรือแท็กที่ใช้ติดกับวัตถุต่างๆที่เราต้องการโดยแท็กนั้นจะประกอบด้วยสายอากาศและไมโครชิปที่มีการบันทึกหมายเลขไอดี หรือข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้นๆ ส่วนที่สองคือเครื่องสำหรับอ่านเขียน ข้อมูลภายในแท็ก ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ถ้าเปรียบเทียบกับระบบรหัสแท่ง แท็กในระบบอาร์เอฟไอดี เปรียบได้กับตัวรหัสแท่งที่ติดกับสลากสินค้า และเรื่องอ่านในระบบอาร์เอฟไอดี คือเครื่องอ่านรหัสแท่งโดยข้อแตกต่าง

ของทั้งสองระบบคือ ระบบอาร์เอฟไอดี จะใช้คลื่นความถี่วิทยุในการอ่านเขียน ส่วนระบบรหัสแท่งจะใช้แสงเลเซอร์ในการอ่านโดยข้อเสียของระบบรหัสแท่ง คือการอ่านสแกนเป็นการใช้แสงในการอ่านรหัสแท่ง ซึ่งจะต้องไม่มีสิ่งกีดขวางหรือต้องอยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกันกับลำแสงที่ยิงจากเครื่องสแกน และสามารถอ่านได้ที่ระยะใกล้ๆ แต่ระบบอาร์เอฟไอดี มีความแตกต่างโดยสามารถอ่านรหัสจากแท็กได้โดยไม่ต้องเห็นแท็ก หรือแท็กนั้นซ่อนอยู่ภายในวัตถุและไม่จำเป็นต้องอยู่ในแนวเส้นตรงกับคลื่น เพียงอยู่ในบริเวณที่สามารถรับคลื่นวิทยุได้ก็สามารถอ่านข้อมูลได้และการอ่านแท็กในระบบอาร์เอฟไอดียังสามารถอ่านได้ที่หลายแท็กในเวลาเดียวกัน โดยระยะในการอ่านข้อมูลได้ไกลกว่าระบบแท่งอีกด้วย โดยรูปที่ 2.4 การใช้งานระบบอาร์เอฟไอดี



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบระบบอาร์เอฟไอดี [13]



รูปที่ 2.4 การใช้งานระบบอาร์เอฟไอดี [14]

2.4 ระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่เอชเอฟ

สำหรับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่เอชเอฟ สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดี ย่านยูเอชเอฟและแท็กข้อมูลสามารถถูกเชื่อมต่อกันด้วยสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าอย่างใดอย่างหนึ่ง ระบบการเชื่อมต่อการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก (Inductive coupling) เป็นที่ยอมรับอย่างมาก

ในการประยุกต์ใช้ เนื่องจากมีกำลังงานในส่วนรีแอกทีฟมาก ถูกเก็บในรูปของสนามแม่เหล็ก ระบบดังกล่าวถูกผลกระทบเพียงอย่างเดียวจากวัตถุที่มีค่าความซึมซาบแม่เหล็ก (Permeability) สูง และเป็นระบบที่มีความสามารถในการทำงานใกล้เคียงกับวัสดุที่เป็นโลหะและน้ำ ในระบบอาร์เอฟไอดีการเชื่อมต่อแบบการเหนี่ยวนำโดยสนามแม่เหล็ก เครื่องอ่านข้อมูลและแท็กถูกเชื่อมต่อกันด้วยสนามแม่เหล็กทำให้สายอากาศมีสนามไฟฟ้าอ่อน ซึ่งในการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กจำเป็นต้องมีหลักการในการทดสอบการติดต่อสื่อสารดังกล่าว

2.4.1 ย่านความถี่ใช้งาน

แท็กอาร์เอฟไอดีและเครื่องอ่านใช้ความถี่วิทยุในการติดต่อสื่อสารซึ่งเรียกความถี่นี้ว่าความถี่ใช้งานความถี่วิทยุเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นส่วนหนึ่งของสเปกตรัมความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเรียกว่าสเปกตรัมความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเรียกว่าสเปกตรัมความถี่วิทยุเนื่องจากระบบอาร์เอฟไอดีสร้างและส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งอยู่ในสเปกตรัมความถี่วิทยุ ดังนั้นจึงต้องมีระบบจัดสรรคลื่นความถี่วิทยุสำหรับใช้ในงานประยุกต์ต่างๆ เช่น วิทยุ โทรทัศน์ และโทรศัพท์มือถือ เพราะฉะนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องกำหนดความถี่ที่ใช้งานของระบบอาร์เอฟไอดีเพื่อไม่ให้รบกวนการทำงานของระบบอื่นๆ

ตารางที่ 2.1 ย่านความถี่ใช้งานในระบบอาร์เอฟไอดี

ประเทศ	ความถี่ต่ำ (LF)	ความถี่สูง (HF)	ความถี่สูงยิ่ง (UHF)	ความถี่ไมโครเวฟ
สหรัฐอเมริกา	125,134 KHz	13.56 MHz	902 - 928 MHz	2.40 - 2.48 GHz 5.72 - 5.85 GHz
ยุโรป	125,134 KHz	13.56 MHz	868 - 870 MHz	2.45 GHz
จีน	125,134 KHz	13.56 MHz	N/A	N/A
อินเดีย	125,134 KHz	N/A	865 - 876 MHz	2.40 GHz
ญี่ปุ่น	125,134 KHz	13.56 MHz	950 - 965 MHz	2.45 GHz
สิงคโปร์	125,134 KHz	13.56 MHz	923 - 925 MHz	2.45 GHz

ในทางปฏิบัติระบบอาร์เอฟไอดีที่ทำงานย่านความถี่ต่ำ (LF) และความถี่สูง (HF) จะใช้ความถี่เดียวกัน เช่น ย่านความถี่ต่ำจะใช้ความถี่ 135 KHz และย่านความถี่สูงจะใช้ความถี่ 13.56 MHz เป็นต้น อย่างไรก็ตามไม่มีการกำหนดความถี่ที่จะใช้ในระบบอาร์เอฟไอดีที่ทำงานในย่านความถี่ยูเอชเอฟ (UHF) ดังนั้นความถี่ใช้งานในย่านความถี่สูงยิ่งในแต่ละประเทศแตกต่างกันตามตารางที่ 2.1

สำหรับระบบอาร์เอฟไอดีที่ใช้งานในย่านความถี่ยูเอชเอฟโดยทั่วไป ใช้การแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic distribution) ในการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก ทำให้ระบบนี้มีความสามารถในการติดต่อสื่อสารระยะไกล มีความเร็วในการอ่านข้อมูลสูงสามารถอ่านข้อมูลจากแท็กพร้อมกันหลายๆตัวในเวลาเดียวกันได้ ระบบดังกล่าวนิยมนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบกองคลังสินค้าในโรงงานอุตสาหกรรม ระบบโลจิสติกส์ ระบบเก็บค่าผ่านทางบนทางด่วน

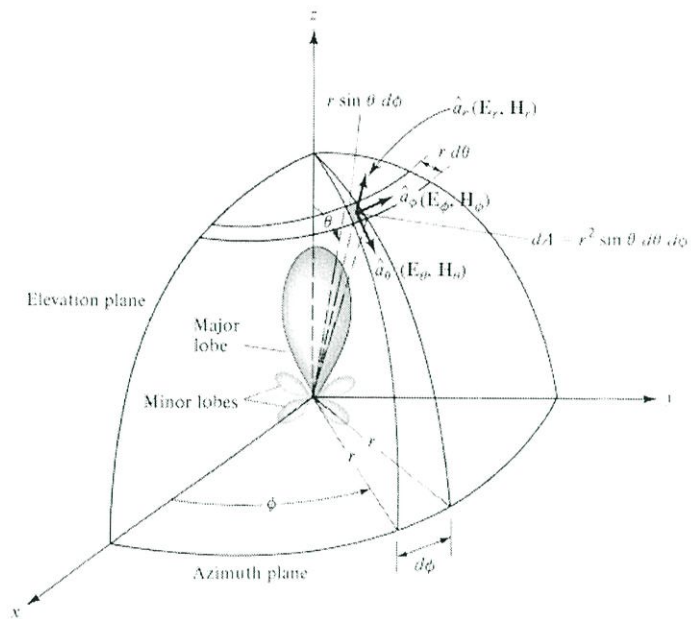
ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของระบบอาร์เอฟไอดีที่ใช้ในงานในย่านความถี่ต่างๆ

ความถี่	ข้อดี	ข้อเสีย	การใช้งาน
แอลเอฟ	ใช้งานได้ทั่วไปและดีในสภาพแวดล้อมที่มีน้ำและโลหะ	ระยะเวลาอ่านต่ำและความเร็วในการอ่านข้อมูลช้า	ระบบบ่งชี้สัตว์ สิ่งของการอ่านวัสดุที่มีน้ำอยู่ภายใน
เอชเอฟ	ความแน่นอนและความเร็วในการอ่าน และสามารถเก็บข้อมูลได้มากขึ้น	ต้องการพลังงานที่มากขึ้น	ระบบการเข้าออกอาคารการจัดเก็บกระเป๋าในสายการบิน การยืมหนังสือในห้องสมุด
ยูเอชเอฟ	ความเร็วในการอ่านข้อมูลสูงระยะการอ่านที่ไกลและสามารถเก็บข้อมูลได้มาก	ทำงานได้ไม่ดีในสภาพแวดล้อมที่มีน้ำและโลหะ	การเข้าออกที่จอดรถ ห่วงโซ่อุปทาน
ไมโครเวฟ	อ่านข้อมูลที่รวดเร็วมากและระยะทางการอ่านที่ไกล	ทำงานได้ไม่ดีในสภาพแวดล้อมที่มีน้ำและโลหะ	การเข้าออกที่จอดรถ ห่วงโซ่อุปทาน

ในทางปฏิบัติระบบอาร์เอฟไอดี มีความถี่ใช้งานหลากหลายความถี่ โดยที่แต่ละความถี่จะมีความแตกต่างกันในทางด้านต่างๆ เช่นระยะเวลาอ่าน ความเร็วในการอ่าน และการใช้งานในสภาพแวดล้อมต่างๆ เป็นต้น จึงนำไปสู่การใช้งานที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปประสิทธิภาพของระยะเวลาอ่านของระบบอาร์เอฟไอดีจะขึ้นกับปัจจัยหลายอย่างแสดงดังตารางที่ 2.2

2.5 พารามิเตอร์พื้นฐานในการวิเคราะห์สายอากาศ

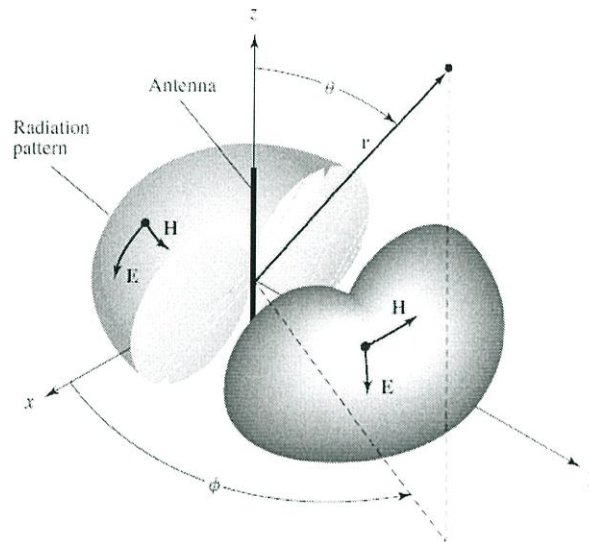
การแผ่พลังงานหรือแบบรูปกระจายคลื่นของสายอากาศได้ถูกนิยามว่า เป็นการนำเสนอคุณสมบัติในการแผ่กำลังงานของสายอากาศในรูปแบบของฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ซึ่งเป็นในรูปพิกัดตำแหน่ง (Space coordinate) ในการพิจารณาแบบรูปแผ่กำลังงานจะต้องทำในบริเวณสนามระยะไกล (Far-field region) เท่านั้นและจะนำเสนอในรูปฟังก์ชันของพิกัดทิศทาง (Direction coordinate) เสมอ คุณสมบัติของการแผ่กำลังงาน สามารถที่จะแสดงในรูปของการกระจายพลังงานในแต่ละตำแหน่งและทิศทางที่เป็นแบบสองมิติและสามมิติซึ่งเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งของผู้สังเกตตลอดเส้นทางหรือผิวทรงกลมที่มีรัศมีคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ระบบพิกัดทรงกลมซึ่งใช้สำหรับวิเคราะห์แบบการแผ่กำลังงานของสายอากาศ

เส้นการกวาดของกำลังงานที่รับได้ที่ตำแหน่งรัศมีคงที่จะถูกเรียกว่า แบบรูปกำลังงาน (Field pattern) และอีกวิธีหนึ่งถ้าเป็นแบบรูปที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กตามฟังก์ชันของตำแหน่งเราจะเรียกว่าแบบรูปแอมพลิจูดของสนาม (Amplitude field pattern) ในทางปฏิบัตินั้นแบบรูปการแผ่กำลังงานแบบสามมิติจะถูกวัดและบันทึกในรูปแบบสองมิติโดยการพล็อตแบบรูปตามฟังก์ชันของมุม θ และ ϕ ให้สัมพันธ์และต่อเนื่องกัน แบบไอโซทรอปิก (Isotropic) แบบมีทิศทาง (Direction) และแบบรอบทิศทางในระนาบเดียว (Omnidirectional)

ตัวแผ่กำลังงานแบบไอโซทรอปิก (Isotropic radiator) คือ สายอากาศที่ถูกสมมติขึ้นว่าไม่มีการสูญเสียภายในตัวเองและมีการแผ่กำลังออกมาเท่ากันทิศทาง ถึงแม้ว่าตัวแผ่กำลังงานแบบนี้จะไม่มีการสูญเสียภายในตัวเองและมีการแผ่กำลังงานแบบนี้จะไม่มีในทางปฏิบัติแต่ก็มีประโยชน์ในการนำมาใช้เป็นตัวอ้างอิงเพื่อหาคุณสมบัติของสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศที่มีอยู่จริงสำหรับสายอากาศแบบมีทิศทาง (Directional antenna) คือ สายอากาศที่มีคุณสมบัติในการแผ่กำลังงานหรือรับคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในทิศทางใดทิศทางหนึ่งมากกว่าทิศทางอื่นๆ ซึ่งคำนี้มักจะนำมาใช้กับสายอากาศที่มีสภาพเจาะจงทิศทางสูงสุด (Maximum directivity) มากกว่าจะใช้สภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศไดโพลความยาวคลื่น (Half wave dipole) ซึ่งตัวอย่างของสายอากาศที่มีรูปแบบการแผ่กำลังงานแบบมีทิศทางได้แสดงไว้ดังรูปที่ 2.6 จะเห็นได้ชัดเจนว่า ในระนาบมุมกวาด (Azimuth plane) นั้นแบบรูปการแผ่กำลังงานจะไม่มีทิศทางแต่ส่วนที่มีทิศทางจะอยู่ในระนาบมุมยก (Elevation plane) ซึ่งเราเรียกรูปแบบการแผ่กำลังงานชนิดนี้ว่าเป็นรอบแบบรอบทิศทางในระนาบเดียว (Omnidirectional pattern) โดยมีนิยามว่า เป็นรูปแบบการแผ่กำลังงานที่ไม่มีทิศทางในระนาบที่ไม่มีทิศทางในระนาบที่กำหนดให้ในที่นี้คือมุมกวาด (Azimuth) และระนาบที่ตั้งฉากกันจะมีรูปแบบการแผ่กำลังงานเป็นแบบทิศทางในกรณีนี้คือมุมยก (Elevation)



รูปที่ 2.6 การแผ่กำลังงานแบบรอบทิศทางในระนาบเดียว

2.5.1 แบนด์วิดธ์ของสายอากาศ

แบนด์วิดธ์ของสายอากาศได้ถูกนิยามเอาไว้ว่า แบนด์วิดธ์ คือช่วงของความถี่ของสายอากาศที่มีคุณลักษณะบางอย่างที่สอดคล้องกับมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งโดยปกติแบนด์วิดธ์นั้นจะถูกแสดงในอัตราส่วนของแถบความถี่สูงต่อแถบความถี่ต่ำซึ่งเป็นขั้นตอนที่เป็นที่ยอมรับได้ ในกรณีของสายอากาศที่มีช่วงความถี่แคบการแสดงค่าแบนด์วิดธ์ของสายอากาศนั้นจะถูกแสดงด้วยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของความถี่ (Percentage of the frequency difference) ต่อความถี่กลางของแบนด์วิดธ์ทั้งหมด การที่จะหาแบนด์วิดธ์ของสายอากาศนั้นจะพิจารณาจากช่วงความถี่ของ $|S_{11}| \leq -10$ dB ลงมา หรือมีค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 2:1 โดยขอบแถบความถี่สูงของสายอากาศนั้นจะถูกอธิบายด้วยตัวแปร f_H และขอบแถบความถี่ต่ำของสายอากาศนั้นจะถูกอธิบายด้วยตัวแปร f_L ซึ่งการคำนวณเพื่อที่จะหาความถี่กลาง f_C ของแบนด์วิดธ์ของสายอากาศนั้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.1

$$f_C = \frac{f_L + f_H}{2} \quad (2.1)$$

2.5.2 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ

การพิจารณาว่าสายอากาศจะมีคุณลักษณะที่เพียงพอต่อการใช้งานได้หรือไม่นั้นนอกจากจะพิจารณาเฉพาะ $|S_{11}|$ แล้วยังสามารถที่จะพิจารณาค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Voltage standing wave ratio : VSWR) ได้เช่นเดียวกัน ซึ่งเป็นการใช้หลักการสะท้อนและการส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสองตัวกลาง ซึ่งหากว่าทั้งสองตัวกลางมีอิมพีแดนซ์เท่ากันจะส่งให้คลื่นมีการส่งผ่านได้อย่างสมบูรณ์ โดยไม่มีการสูญเสีย ในทางกลับกันหากสองตัวกลางมีค่าอิมพีแดนซ์ที่แตกต่างกันมากๆ จะส่งผลให้การส่งผ่านของคลื่นมีการสูญเสียหรือเกิดการสะท้อนกลับ ซึ่งหมายความว่ากำลังงานส่วนใหญ่ที่ส่งให้สายอากาศไม่สามารถที่จะแพร่ออกไปในลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ ซึ่งกรณีส่วนใหญ่มักจะเกิดขึ้นเมื่ออิมพีแดนซ์ระหว่างสองตัวกลางมีค่าที่ไม่เท่ากันหรือมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งในกรณีดังกล่าวนี้ จะส่งผลให้ไม่มีการส่งผ่านอย่างสมบูรณ์หรือเกิดการสะท้อนกลับทั้งหมด จะเป็นผลให้เกิดการสะสม

พลังงานไว้บางส่วน ซึ่งสามารถพิจารณาการสะท้อนได้จากสัมประสิทธิ์การสะท้อน (Γ) ได้จากสมการที่ 2.2 และ 2.3

$$\Gamma = \frac{Z_m - Z_o}{Z_m + Z_o} \quad (2.2)$$

เมื่อ Z_m คือ อิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศ
 Z_o คือ อิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายส่งสัญญาณ

$$RL(\text{dB}) = -20 \log|\Gamma| \quad (2.3)$$

2.5.3 อัตราการขยายของสายอากาศ

ค่าอัตราขยายของสายอากาศ สามารถพิจารณาได้ 2 กรณีคือ

1. อัตราการขยายจริง (Absolute gain) ของสายอากาศเป็นอัตราส่วนของความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นในทิศทางที่กำหนดให้ ต่อความเข้มการแผ่กระจายคลื่นที่ได้รับเข้ามา
2. อัตราขยายสัมพัทธ์ (Relative gain) เป็นอัตราส่วนของอัตราขยายการแผ่กระจายคลื่นในทิศทางที่กำหนดต่ออัตราขยายการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบในทิศทางนั้น โดยกำลังงานที่ใช้ต่ออัตราขยายการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบกันทั้งสองแบบจะต้องเหมือนกัน หรือมีค่าเท่ากัน

2.5.4 อิมพีแดนซ์ด้านเข้า

อิมพีแดนซ์ด้านเข้า (Input impedance) ของสายอากาศเป็นค่าอิมพีแดนซ์ที่ขั้วด้านเข้าของสายอากาศ โดยอาจพิจารณาเป็นอัตราส่วนของแรงดันกับกระแสแรงดันกับกระแสที่ขั้วของสายอากาศ หรือเป็นอัตราส่วนขององค์ประกอบที่เหมาะสมของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่จุดหนึ่งๆจากรูปที่ 2.7 ที่จุด a และ b อัตราส่วนของแรงดันกับกระแสที่ขั้วนี้ขณะไม่มีโหลดใดๆอยู่จะทำให้เกิดค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ

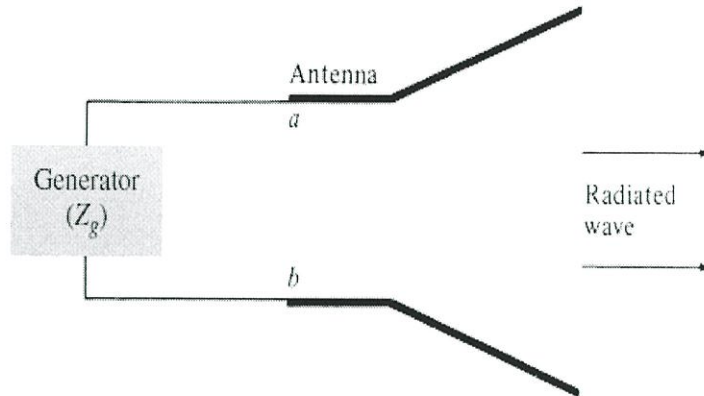
$$Z_A = R_A + jX_A$$

โดยที่ Z_A = ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ขั้ว a และ b (โอห์ม)

R_A = ค่าความต้านทานของสายอากาศที่ขั้ว a และ b (โอห์ม)

X_A = ค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศที่ขั้ว a และ b (โอห์ม)

ปกติอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศจะเป็นฟังก์ชันของความถี่ และจะแมตช์กับสายส่งสัญญาณในช่วงความถี่ใดความถี่หนึ่งเท่านั้น การออกแบบสายอากาศจะกำหนดค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ให้เป็น 50Ω เนื่องจากสายส่งและตัว SMA connector ที่ใช้มีค่าอิมพีแดนซ์ 50Ω ซึ่งในการวิจัยนี้ได้ออกแบบสายอากาศที่ใช้ในการเชื่อมต่อด้วย SMA และมีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ 50Ω

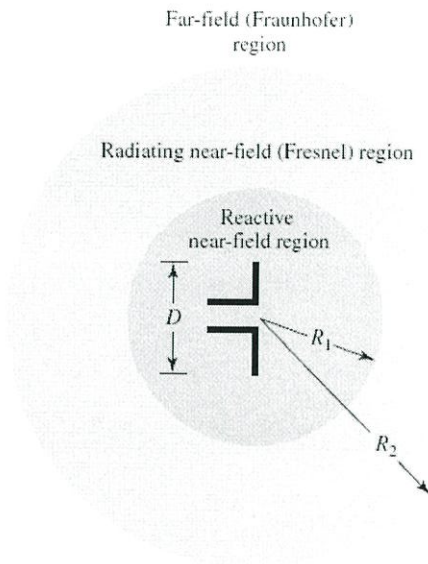


รูปที่ 2.7 สายอากาศในโหมดการส่ง

2.6 บริเวณสนามของสายอากาศ

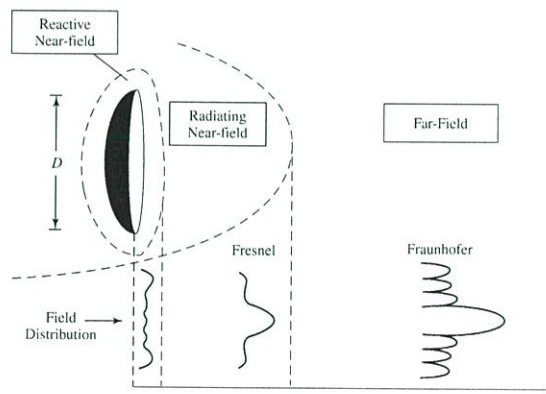
บริเวณที่ล้อมรอบสายอากาศสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 บริเวณตามภาพที่ 2.8 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- บริเวณสนามรีแอกทีฟระยะใกล้ (Reactive near-field) อยู่ในช่วงระยะทาง $R < 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$ เมื่อ R คือระยะทางจากจุดศูนย์กลางของสายอากาศไปยังจุดที่กำลังพิจารณา และ D คือความยาวของสายอากาศบริเวณนี้ถือว่าเป็นบริเวณสนามที่ใกล้สายอากาศมากที่สุดและมีลักษณะเป็นสนามแบบรีแอกทีฟ
- บริเวณสนามการแผ่ระยะใกล้ (Radiating near-field) อยู่ในช่วงระยะทาง $0.62\sqrt{D^3/\lambda} \leq R < 2D^2/\lambda$ เป็นบริเวณที่มีสนามการกระจาย (Radiation field) อยู่เป็นส่วนใหญ่ โดยความเข้มของสนามการแผ่จะแปรผันตามระยะทางจากสายอากาศไปยังจุดที่สนใจ นอกจากนี้ถ้าสายอากาศมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นแล้ว บริเวณสนามการแผ่ระยะใกล้นี้จะไม่เกิดขึ้น
- บริเวณสนามระยะไกล (Far-field) อยู่ในช่วงระยะทาง $R \geq 2D^2/\lambda$ ซึ่งเป็นบริเวณที่จะทำการแผ่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังปลายทาง โดยที่ความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะไม่ขึ้นกับระยะทาง และมีลักษณะเป็นสนามตามขวาง (TEM)



รูปที่ 2.8 บริเวณสนามรอบสายอากาศ

ซึ่งในการสื่อสารของสายอากาศที่บริเวณต่าง ๆ นั้น ในแต่ละบริเวณจะมีแบบรูปของแอมพลิจูดที่ต่างกันไป เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของขนาดและเฟส โดยบริเวณใกล้กับสายอากาศหรือบริเวณรีแอกทีฟที่สนามระยะใกล้กัน จะมีรูปร่างของสนามที่แพร่กระจายออกที่ไม่ชัดเจน ทำให้ไม่สามารถมองเห็นลวดลายของสายอากาศได้ จากนั้นในบริเวณของการแพร่กระจายสนามระยะใกล้จะสังเกตเห็นว่าบริเวณสนามที่มีการแพร่กระจายออกมาจะเริ่มเรียบขึ้นและเริ่มมีลวดลาย และสุดท้ายในบริเวณของสนามระยะไกลนั้น แบบรูปของสนามที่แพร่กระจายออกมาจะสังเกตเห็นลวดลายหลักคลื่นย่อยได้อย่างชัดเจน ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดสายอากาศในบริเวณการสื่อสารต่างๆ

เนื่องจากบริเวณสนามระยะไกลเป็นบริเวณที่สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะไม่ขึ้นกับระยะทาง ดังนั้นในการออกแบบระบบ การคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศจะอยู่บนพื้นฐานที่ว่าสายอากาศนั้นทำงานในบริเวณสนามระยะไกลเท่านั้น ตัวอย่างเช่น รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น (Radiation pattern) ของสายอากาศได้มาจากการวัด ณ บริเวณสนามระยะไกล เป็นต้น

2.7 ระยะเวลาการทำงานและเหนี่ยวนำ

ระยะเวลาการทำงานของแท็กอาร์เอฟไอดีหรือระยะการอ่าน (Read Range) เป็นส่วนที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการพิจารณาว่างานประยุกต์นี้จะใช้แท็กอาร์เอฟไอดีแบบใด ตัวอย่างเช่น โรงเก็บสินค้าต้องการระยะการอ่านไม่กี่เมตร (ประมาณ 3 เมตร) ในขณะที่การใช้แท็กอาร์เอฟไอดีเพื่อผ่านประตูเข้าออกสำหรับรถไฟฟ้าอาจต้องการระยะการอ่านที่สั้นมาก (เพียง 1 – 2 เซนติเมตร) โดยทั่วไประยะการอ่านจะใกล้หรือไกลขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆดังนี้

- ความถี่ใช้งาน
- พลังงานสูงสุดที่สายอากาศสามารถส่งสัญญาณได้
- ชนิดของแท็กอาร์เอฟไอดี (แบบแพสซีฟหรือแอคทีฟ)
- เทคนิคในการสื่อสาร (การเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำแม่เหล็ก หรือการกระจายย้อนกลับ)

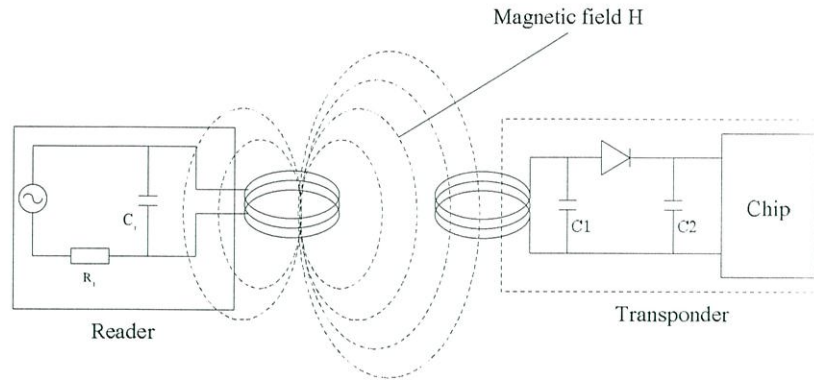
ในทางปฏิบัติพลังงานสูงสุดที่สายอากาศสามารถส่งสัญญาณได้จะถูกจำกัดโดยมาตรฐานการใช้งานคลื่นความถี่วิทยุ นอกจากนี้ถึงแม้ว่าพลังงานที่ใช้ในการส่งจะมีค่าสูง แต่ถ้าวิธีใช้ในการส่งพลังงานไม่เหมาะสมก็ไม่ได้ทำให้ระยะการอ่านไกลขึ้น โดยทั่วไปการส่งพลังงานที่ใช้ในระบบอาร์เอฟไอดีมีอยู่ 2 แบบคือ การเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำแม่เหล็ก และการกระจายย้อนกลับ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.7.1 การเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำแม่เหล็ก

การสื่อสารแบบการเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำแม่เหล็ก (Inductive Coupling) เป็นกระบวนการในการถ่ายโอนพลังงานจากวงจรไฟฟ้าหนึ่งไปยังวงจรไฟฟ้าอีกอันหนึ่งที่มีสนามแม่เหล็กร่วมกัน (มีความเหนี่ยวนำร่วมระหว่างวงจรสองวงจร) การสื่อสารแบบการเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำแม่เหล็ก มีข้อควรคำนึงดังนี้

- การเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำแม่เหล็ก นิยมใช้ในระบบอาร์เอฟไอดีที่ทำงานในย่านความถี่ต่ำ (LF) และย่านความถี่สูง (HF) โดยเครื่องอ่านและแท็กอาร์เอฟไอดีสามารถใช้ขดลวดแบบบ่วง (Loop antenna) ได้เพราะว่าเมื่อใช้งานย่านความถี่ต่ำความยาวคลื่นจะยาว จึงทำให้ต้องใช้สายอากาศที่มีความยาว

- การเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำแม่เหล็กจะต้องทำงานอยู่ในสนามระยะใกล้ (Near Field) ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ขดลวดสร้างขึ้นเท่านั้น ดังนั้นโดยทั่วไประยะการอ่านสำหรับ LF จะไม่เกิน 30 เซนติเมตร และสำหรับ HF จะไม่เกิน 1 เมตร



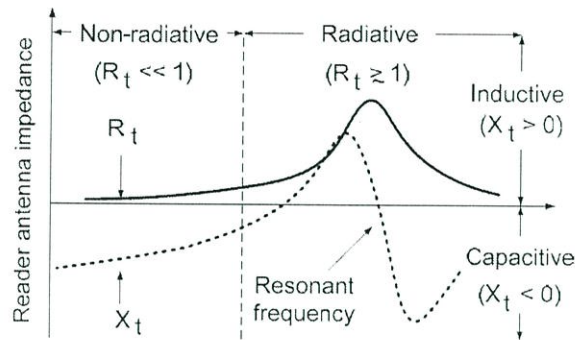
รูปที่ 2.10 การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่าย [15]

เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีแบบ Inductive Coupling ส่วนใหญ่ใช้ความถี่ต่ำเพียง 125 kHz – 134.2 kHz หรือ 13.56 MHz ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีความยาวคลื่นยาวมากถึง 2400 เมตร ที่ความถี่ 125 kHz – 134.2 kHz และ 22.12 เมตร ที่ความถี่ 13.56 MHz จึงไม่มีปัญหาในเรื่องของความยาวคลื่นที่สั้นเกินไปจนเกิดปรากฏการณ์เลี้ยวเบนหรือถูกลดทอนจากผนังอาคารหรือสิ่งก่อสร้างต่างๆ หากพิจารณาถึงพื้นที่ใช้งานโดยทั่วไปที่มีได้ไกลหรือกว้างมากนัก

สัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะตกกระทบขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่าย ก่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขนาดอ่อนๆ ขึ้นบนขดลวดซึ่งแรงดันไฟฟ้านี้จะถูกนำไปเข้ากระบวนการเรกติไฟร์ โดยตัวเก็บประจุและไดโอดเพื่อกรองให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับป้อนให้กับอุปกรณ์ชิป การออกแบบอยู่ที่เลือกค่าของตัวเก็บประจุซึ่งต้องมีค่าสัมพันธ์กับค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดสายอากาศ เพื่อให้สามารถกำหนดค่าความถี่เรโซแนนซ์ (Resonant Frequency) ที่ตรงกับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องอ่าน เพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องลูกข่าย เปรียบเทียบการถ่ายทอดพลังงานไฟฟ้าระหว่างขดลวดทั้งสองในรูปที่ 2.10 จะเปรียบเทียบได้กับหม้อแปลงสองชุด แต่ขดลวดทั้งสองมิได้พันอยู่บนแกนแม่เหล็กเดียวกัน โดยใช้อากาศซึ่งมีการลดทอนมากกว่าแกนแม่เหล็กมากๆ ดังนั้นการออกแบบระบบ Inductive Coupling ให้มีประสิทธิภาพในการถ่ายทอดพลังงานให้มากที่สุดจึงต้องเน้นไปที่ย่านความถี่เหมาะสมกับการส่งกระจายพลังงาน จำนวนรอบของขดลวดที่เครื่องอ่าน และพื้นที่หน้าตัดของขดลวดที่เครื่องลูกข่าย มุมติดตั้ง และระยะห่างระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย นอกจากนี้การถ่ายโอนพลังงานระหว่างขดลวดทั้งสองยังขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ อีกได้แก่ ความถี่ที่ใช้งาน จำนวนรอบของขดลวด พื้นที่ที่ครอบคลุมโดยขดลวด มุมที่ต่อกันของขดลวดทั้งสอง (เพื่อให้เกิดการถ่ายโอนพลังงานสูงสุด ขดลวดทั้งสองจะต้องอยู่ในระนาบเดียวกัน) ระยะห่างระหว่างสองขดลวด เป็นต้น

ในการติดต่อสื่อสารด้วยการเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำแม่เหล็กส่วนมากกำลังงานรีแอกทีฟจะถูกเก็บในรูปแบบของสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะไวต่อวัตถุที่มีค่าสภาพความซาบซึมแม่เหล็กสูง และสามารถทำงานร่วมกับวัตถุที่เป็นโลหะและของเหลวได้ ซึ่งแตกต่างกับการเชื่อมต่อเชิงความจุไฟฟ้าที่กำลังงานรีแอกทีฟจะถูกเก็บในรูปแบบไฟฟ้ามีผลต่อวัตถุที่มีค่าสภาพยอมไฟฟ้าสูง สำหรับตัวอย่างโครงสร้างสายอากาศที่สามารถเหนี่ยวนำสนามระยะใกล้ คือ สายอากาศขดลวด สายอากาศบ่วง และสายอากาศตัวเก็บประจุแผ่นขนาน (Parallel Plate Capacitor) [16 - 17] การเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำแม่เหล็กนั้นมีความสัมพันธ์ที่เกี่ยวเนื่องกับบริเวณที่แตกต่างกันของอิมพีแดนซ์สายอากาศเครื่องอ่าน ข้อมูลถูกแสดงในรูปที่ 2.11 ในกรณีของสายอากาศไดโพล เมื่อความต้านทานการแพร่กระจายต่ำ ทำ

ให้กำลังงานไม่ถูกแพร่กระจายและถูกจำกัดในสนามระยะใกล้ (บริเวณที่ไม่มีการแพร่กระจายคลื่น) ซึ่งสามารถทำให้เกิดการเหนี่ยวนำหรือการเก็บประจุ และที่ความถี่ต่ำสายอากาศไดโพลนั้นจะมีการเก็บประจุสูงขึ้น(แตกต่างกับสายอากาศบ่วงที่จะมีการเหนี่ยวนำที่สูงขึ้น) เมื่อความต้านทานการแพร่กระจายสูง สายอากาศไดโพลจะมีการแพร่กระจายและบริเวณสนามระยะใกล้สามารถเกิดการเหนี่ยวนำหรือการเก็บประจุได้อย่างใดอย่างหนึ่ง ขึ้นอยู่กับความถี่ที่มีการใช้งาน โดยปกติสายอากาศที่มีการแพร่กระจายต่ำจะเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานในสนามระยะใกล้



รูปที่ 2.11 บริเวณที่แตกต่างของอิมพีแดนซ์สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูล (สำหรับสายอากาศไดโพลปกติ) [18]

ดังนั้นในการออกแบบการเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำแม่เหล็ก ให้มีประสิทธิภาพในการถ่ายทอดพลังงานให้มากที่สุดจึงต้องเน้นที่ย่านความถี่ที่เหมาะสมต่อการกระจายกำลังงาน จำนวนรอบของขดลวดที่เครื่องอ่าน และพื้นที่หน้าตัดของขดลวดที่แท็ก มุมติดตั้ง และระยะห่างระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลและแท็ก เมื่อความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารมีค่าสูงขึ้น พบว่าค่าเหนี่ยวนำที่ต้องใช้สำหรับขดลวดสายอากาศของแท็กจะลดลง ซึ่งจะทำให้มีการลดขนาดของแท็กลงได้ขณะเดียวกันจะส่งผลให้แรงดันที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กในย่านความถี่สูงลดลงเมื่อเทียบกับการใช้งานในย่านความถี่ต่ำ ทำให้จำกัดระยะเวลาในการใช้งานมากขึ้น การเลือกใช้อุปกรณ์ที่ใช้การเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำแม่เหล็กจึงต้องพิจารณาทั้งขนาดของแท็กและระยะทางที่ต้องการใช้งาน

สำหรับสายอากาศที่นิยมนำมาใช้ในการออกแบบในระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟสนามระยะใกล้ คือ สายอากาศบ่วง (โดยจะอธิบายถึงหลักการของสายอากาศบ่วงโดยละเอียดในหัวข้อถัดไป) เนื่องจากสายอากาศชนิดนี้จะใช้สนามแม่เหล็กกระยะใกล้ (Magnetic in Near Field) ในการเชื่อมต่อเชิงเหนี่ยวนำแม่เหล็กกระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลและแท็ก ซึ่งการทำให้เกิดสนามโดยสายอากาศบ่วงนั้นจะไม่แพร่กระจายคลื่น แต่จะทำให้คลื่นอ่อนลงมากกว่า ความเข้มสนามถูกลดลงด้วย r^{-3} (เมื่อ r เท่ากับ ระยะห่างจากสายอากาศ) ในสนามระยะใกล้ r^{-3} เป็นปัจจัยหลักในการจำกัดระยะเวลาในการติดต่อสื่อสารในระบบอาร์เอฟไอดี [19]

2.7.2 การกระจายย้อนกลับ

โดยทั่วไปสนามแม่เหล็กจะใช้การถ่ายโอนพลังงานได้ในระยะใกล้เท่านั้น สำหรับการถ่ายโอนพลังงานในระยะไกลจะต้องใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (EM: Electromagnetic wave) ซึ่งในระบบอาร์เอฟไอดีจะเรียกเทคนิคนี้ว่าการกระจายย้อนกลับ (Backscattering)

การกระจายย้อนกลับเป็นกระบวนการในการสะสมพลังงานจากสัญญาณที่ได้รับ แล้วเปลี่ยนลักษณะของสัญญาณ (เปลี่ยนแปลงข้อมูล) ก่อนที่จะทำการสะท้อนสัญญาณกลับไปยังต้นทาง ในทางปฏิบัติเทคนิคการกระจายย้อนกลับจะใช้ในระบบอาร์เอฟไอดีแบบการสื่อสารระยะไกล (Long Range RFID System) ที่มีระยะการอ่านมากกว่า 1 เมตร และทำงานในย่านความถี่ยูเอชเอฟ (868 MHz สำหรับยุโรป และ 915 MHz สำหรับสหรัฐอเมริกา) หรือความถี่ไมโครเวฟ (2.5 GHz และ 5.8 GHz) โดยเครื่องอ่านจะส่งข้อมูลในรูปของสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังแท็กอาร์เอฟไอดี เมื่อแท็กอาร์เอฟไอดีได้รับสัญญาณคลื่นนี้ก็จะทำการเข้ารหัสข้อมูลในคลื่น แล้วจึงสะท้อนสัญญาณคลื่นกลับไปยังเครื่องอ่าน

ในทางปฏิบัติระบบอาร์เอฟไอดีแบบการกระจายย้อนกลับสามารถใช้งานได้ในระยะ 3 เมตรสำหรับแท็กอาร์เอฟไอดี แบบแพสซีฟ และสามารถใช้งานได้ในระยะ 15 เมตร สำหรับแท็กอาร์เอฟไอดี แบบกึ่งแพสซีฟ

2.8 ปัญหาในการออกแบบสายอากาศ

สำหรับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟสนามระยะไกลที่ได้นำเสนอในหัวข้อก่อนหน้านี้ อุปกรณ์ที่สำคัญที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก คือ สายอากาศ ซึ่งการออกแบบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลที่ใช้ในย่านความถี่ยูเอชเอฟและทำงานในบริเวณสนามระยะไกลและไกลได้นั้นเป็นสิ่งที่ท้าทายมากสำหรับระบบในย่านความถี่ยูเอชเอฟ เนื่องจากสายอากาศส่วนใหญ่ในระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟเป็นสายอากาศที่มีการทำงานในสนามระยะไกลเป็นหลัก ดังนั้นจุดเด่นของระบบนี้ คือ การออกแบบสายอากาศให้สามารถกระจายสนามแม่เหล็กได้มากกว่าสนามไฟฟ้า (เทคนิคเดียวกับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ต่ำและความถี่สูง) โดยมีบริเวณในการกระจายสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นและสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กมีระยะไกลขึ้น รวมถึงการออกแบบให้สายอากาศกระจายสนามแม่เหล็กได้สม่ำเสมอตลอดบริเวณ โดยปกติสายอากาศที่นิยมมาออกแบบคือ สายอากาศบ่วง

2.8.1 สายอากาศบ่วง

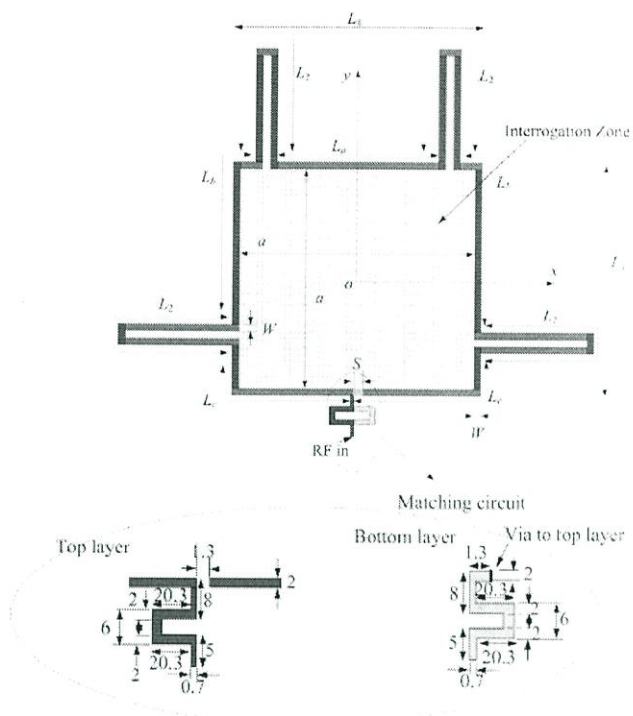
สำหรับสายอากาศบ่วงนั้นโดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ สายอากาศบ่วงที่มีขนาดทางไฟฟ้าเล็กและขนาดทางไฟฟ้าใหญ่ สายอากาศบ่วงที่มีขนาดทางไฟฟ้าเล็ก คือ สายอากาศบ่วงที่มีความยาวเส้นรอบวงทั้งหมดโดยปกติน้อยกว่าหนึ่งในสิบของความยาวคลื่น ($C < \lambda/10$) ซึ่งสามารถสร้างสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มและสม่ำเสมอในบริเวณใกล้กับสายอากาศ ในขณะที่สายอากาศบ่วงที่มีวงรอบขนาดไฟฟ้าใหญ่จะมีความยาวรอบวงประมาณหนึ่งความยาวคลื่น ซึ่งสายอากาศจะไม่สามารถสร้างการกระจายของสนามแม่เหล็กที่สม่ำเสมอในพื้นที่ของสนามระยะไกลเพราะกระแสที่มีการกระจายออกมารอบบ่วงจะมีเฟสที่กลับกันและทำให้กระแสกลายเป็นศูนย์ จึงทำให้การกระจายสนามแม่เหล็กไม่สม่ำเสมอทั่วบริเวณของสายอากาศ สำหรับสายอากาศบ่วงที่มีเส้นรอบวงทางไฟฟ้าเล็กหรือมีเส้นรอบวงเล็กจะมีความต้านทานการแพร่กระจายต่ำและโดยปกติจะมีค่าที่ต่ำกว่าความต้านทานการสูญเสีย ดังนั้นสายอากาศดังกล่าวจะเป็นตัวแพร่กำลังงานไม่ดี ถ้าต้องการให้ความต้านทานการแพร่กำลังงานของสายอากาศบ่วงมีค่าเพิ่มขึ้นหรือมีค่าเข้าใกล้ค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายนำสัญญาณ สามารถทำได้โดยการเพิ่มความยาวของเส้นรอบวงหรือเพิ่มจำนวนรอบของบ่วง

จากข้อดีของสายอากาศบ่วงที่มีขนาดทางไฟฟ้าเล็กที่สามารถสร้างสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มและสม่ำเสมอในบริเวณใกล้กับสายอากาศ สายอากาศดังกล่าวจึงนิยมนำมาออกแบบประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบอาร์เอฟไอดีที่ย่านความถี่ต่ำและความถี่สูงที่ใช้เทคนิคการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กโดยการเหนี่ยวนำสนามไฟฟ้า ซึ่งหลักการดังกล่าวทำให้สายอากาศบ่วงได้รับความนิยมในการนำมาออกแบบเป็นสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลย่านความถี่ยูเอชเอฟสนามระยะใกล้เช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้ย่านความถี่ยูเอชเอฟอาร์เอฟไอดีต้องการพื้นที่ในการสื่อสารขนาดใหญ่ ซึ่งโดยปกติสายอากาศบ่วงทั่วไป (มีความยาวของบ่วงต่อเนื่อง) ที่มีความยาวรอบรูปเท่ากับหนึ่งความยาวคลื่นนั้นไม่สามารถกระจายสนามแม่เหล็กได้อย่างสม่ำเสมอในบริเวณสนามระยะใกล้ของสายอากาศ และมีแบนด์วิดท์แคบไม่สามารถครอบคลุมในย่านความถี่ที่ต้องการใช้งาน 840 MHz - 960 MHz สายอากาศบ่วงเซกเมนต์ที่สามารถทำให้สายอากาศมีการกระจายสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอและมีแบนด์วิดท์กว้าง

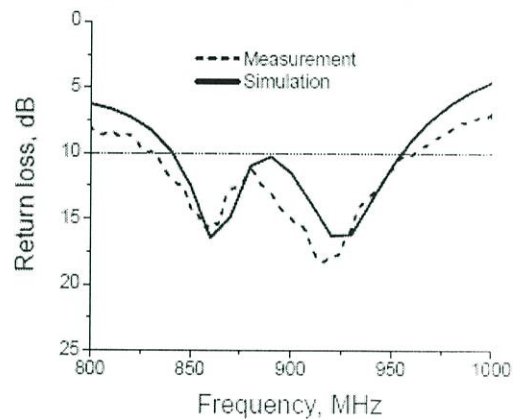
2.9 งานวิจัยที่มีมาก่อน

ในปัจจุบันสายอากาศใช้งานกับระบบบ่งชี้ลักษณะทางคลื่นวิทยุ (อาร์เอฟไอดี) แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการทำงานเป็นที่น่าพอใจที่ความถี่ 915 MHz อย่างไรก็ตามสนามแม่เหล็กไฟฟ้าค่อนข้างเบาบางเมื่อเทียบในบางพื้นที่ของการอ่าน ในที่นี้ได้ศึกษางานวิจัยอ้างอิงทั้งหมด 4 งานวิจัย [20] - [23] โดยเป็นทั้งงานวิจัยที่วิจัยชิ้นงานสายอากาศ และงานวิจัยที่ศึกษาเรื่องหลักการโดยรวม จึงจะยกตัวอย่างงานวิจัยเฉพาะที่เป็นชิ้นงานเพื่อพิจารณาค่าคุณสมบัติและความสอดคล้องกับคุณสมบัติของสายอากาศที่ต้องการ

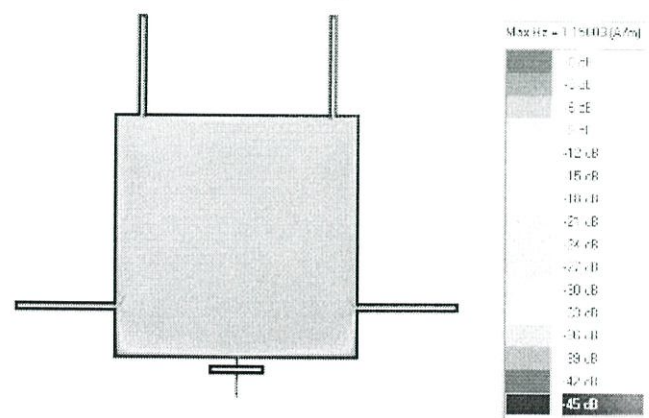
งานวิจัยแรกเป็นสายอากาศรูปสำหรับอาร์เอฟไอดีย่านยูเอชเอฟในสนามระยะใกล้ โดยออกแบบสำหรับการประยุกต์ใช้งานกับระบบอาร์เอฟไอดี ซึ่งเป็นผลงานของ Z. N. Chen และคณะที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 2010 โดยสายอากาศสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.12(ก) มีมิติความกว้างของสายอากาศ 30.6 เซนติเมตร X 24.9 เซนติเมตร และผลการทดสอบ $|S_{11}|$ และอัตราขยายแสดงได้ดังรูปที่ 2.12(ข) โดยผลการทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศมีช่วงความถี่ที่ใช้งานได้ตั้งแต่ 840 MHz - 940 MHz โดยประมาณ และการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศ 2.12(ค)



(ก) โครงสร้างของสายอากาศคู่สำหรับอาร์เอฟไอดีย่านยูเอชเอฟในสนามระยะใกล้

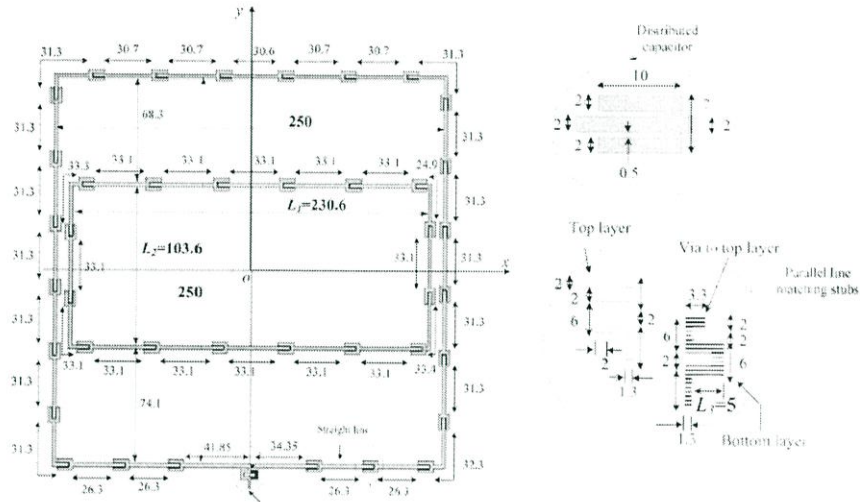


(ข) ผลการทดสอบคุณลักษณะของ $|S_{11}|$

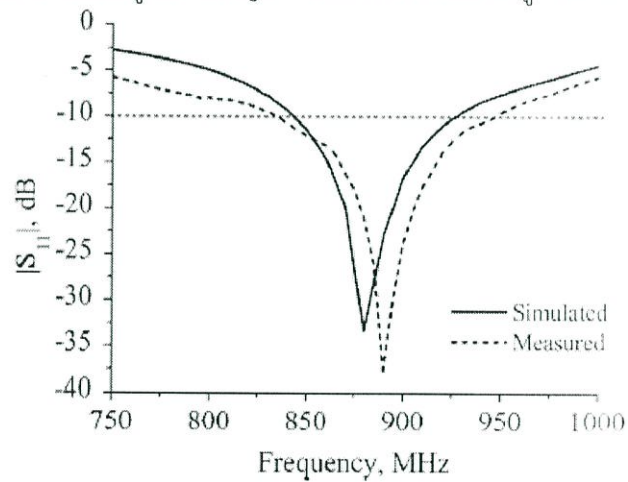


(ค) การกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศที่ความถี่ 915 MHz ที่มีระยะทางในแนวแกน $z = 5$ มิลลิเมตร
รูปที่ 2.12 สายอากาศคู่สำหรับอาร์เอฟไอดีย่านยูเอชเอฟในสนามระยะใกล้ [20]

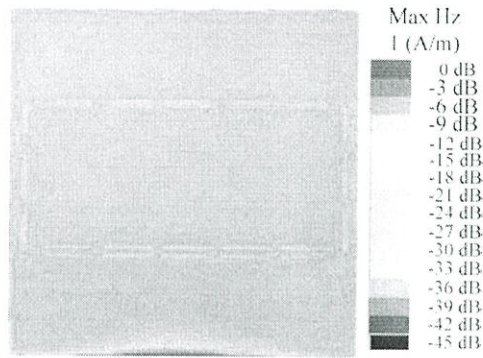
สายอากาศบ่วงคู่ขนาดใหญ่สำหรับอาร์เอฟไอเดียโนยูเอชเอฟสนามระยะใกล้ ซึ่งเป็นผลงานของ Shi X. และคณะ ที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 2013 โดยรูปสายอากาศถูกแสดงดังรูปที่ 2.13 (ก) สายอากาศดังกล่าวมีขนาด 27 เซนติเมตร \times 27 เซนติเมตร และย่านความถี่ที่สามารถใช้งานได้ตั้งแต่ 845 MHz - 928 MHz โดยแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลของการจำลองและผลทดสอบคุณลักษณะ $|S_{11}|$ แสดงไว้ดังรูปที่ 2.13(ข) และการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศดังรูปที่ 2.13(ค)



(ก) โครงสร้างของสายอากาศบ่วงคู่ขนาดใหญ่สำหรับอาร์เอฟไอเดียโนยูเอชเอฟสนามระยะใกล้



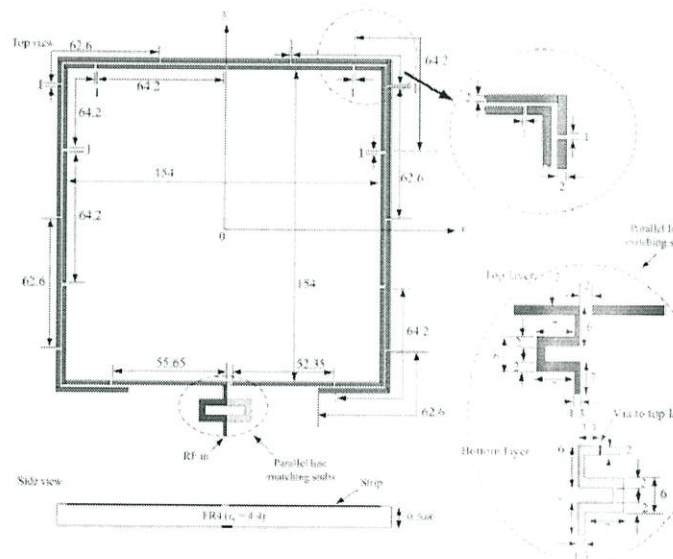
(ข) ผลการทดสอบคุณลักษณะของ $|S_{11}|$



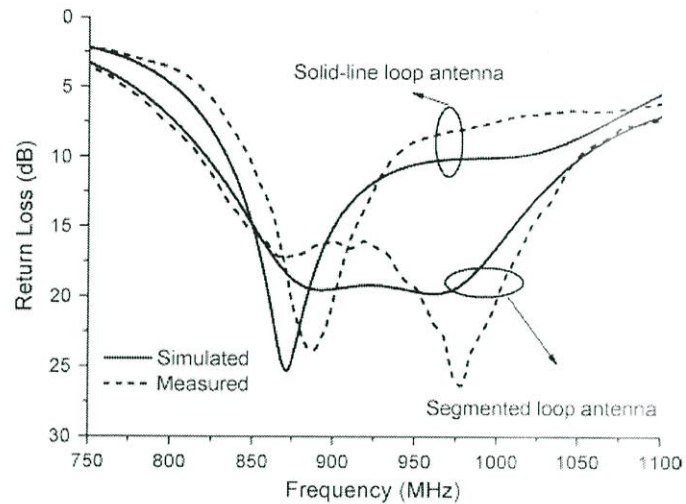
(ค) การกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศที่ความถี่ 915 MHz ที่มีระยะทางในแนวแกน $z = 5$ มิลลิเมตร

รูปที่ 2.13 สายอากาศบ่วงคู่ขนาดใหญ่สำหรับอาร์เอฟไอดียานยูเอชเอฟสนามระยะใกล้ [21]

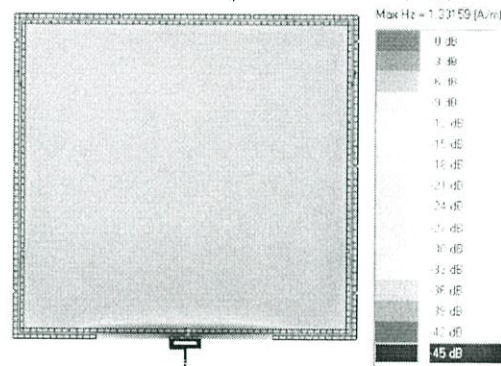
สายอากาศแถบความถี่กว้างสำหรับอาร์เอฟไอดี ซึ่งเป็นผลงานของ X. Oing และคณะ ซึ่งเป็นผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 2010 โดยรูปสายอากาศสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.14(ก) ซึ่งสายอากาศดังกล่าวมีขนาด 17.5 เซนติเมตร \times 18 เซนติเมตร และมีย่านความถี่ที่สามารถใช้งานได้ตั้งแต่ 840 MHz - 960 MHz โดยแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลของการจำลองและผลทดสอบคุณลักษณะ $|S_{11}|$ แสดงไว้ดังรูปที่ 2.14(ข) และการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศ ดังรูปที่ 2.14(ค)



(ก) โครงสร้างของสายอากาศแถบความถี่กว้างสำหรับอาร์เอฟไอดี



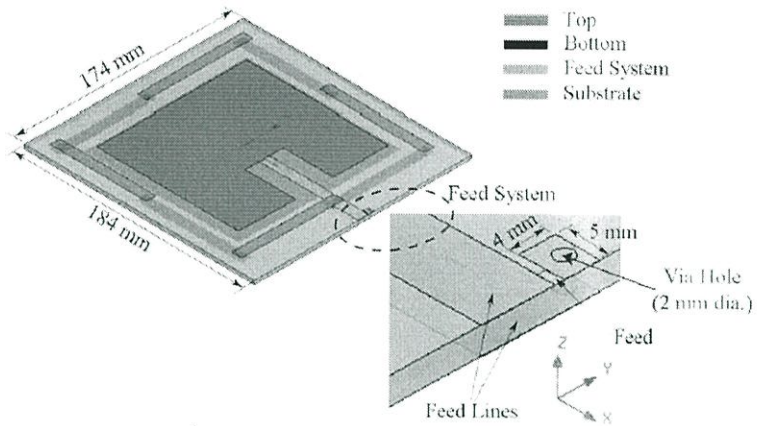
(ข) ผลการทดสอบคุณลักษณะของ $|S_{11}|$



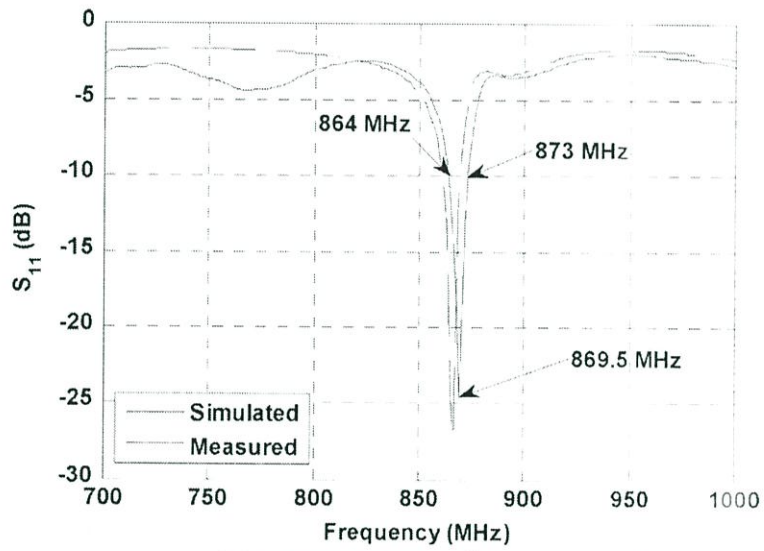
(ค) การกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศที่ความถี่ 915 MHz ที่มีระยะทาง
ในแนวแกน $z = 5$ มิลลิเมตร

รูปที่ 2.14 สายอากาศแถบความถี่กว้างสำหรับอาร์เอฟไอดี [22]

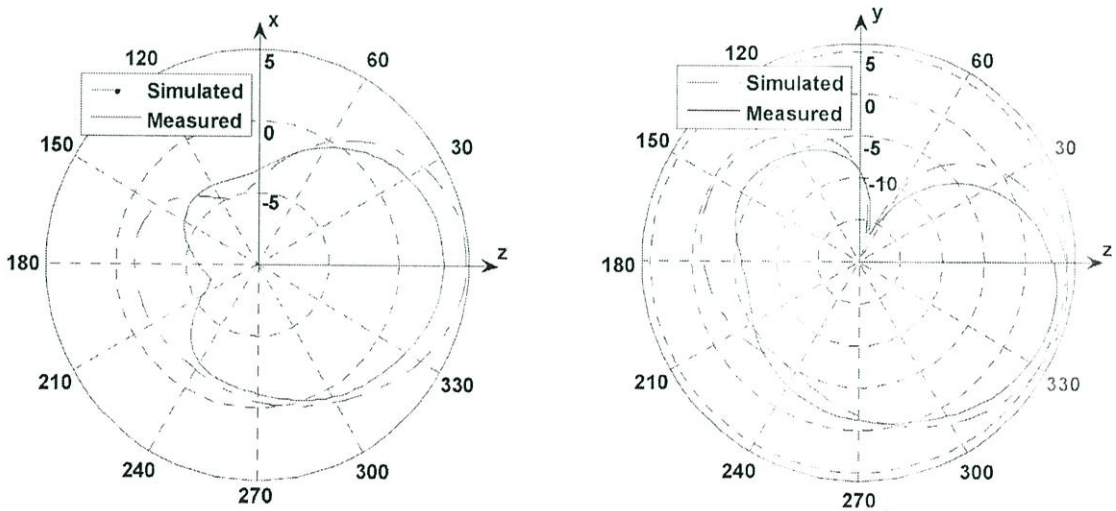
สายอากาศเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีสำหรับสนามระยะใกล้และสนามระยะไกล ซึ่งเป็นผลงานของ Bijaya Shrestha. และคณะ ที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 2011 โดยรูปสายอากาศถูกแสดงดังรูปที่ 2.15(ก) สายอากาศดังกล่าวมีขนาด 18.4 เซนติเมตร \times 17.4 เซนติเมตร และย่านความถี่ที่สามารถใช้งานได้ตั้งแต่ 864 MHz - 873 MHz โดยแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลของการจำลองและผลทดสอบคุณลักษณะ $|S_{11}|$ แสดงไว้ดังรูปที่ 2.15(ข) และรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ ดังรูปที่ 2.15(ค)



(ก) โครงสร้างของสายอากาศเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีสำหรับสนามระยะใกล้และสนามระยะไกล



(ข) ผลการทดสอบคุณลักษณะของ $|S_{11}|$



(ค) ผลจำลองคุณลักษณะแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

รูปที่ 2.15 สายอากาศเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีสำหรับสนามระยะใกล้และสนามระยะไกล [23]

เมื่อศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ของงานวิจัยที่มีมาก่อนแล้ว สามารถสรุปคุณสมบัติต่างๆ ของสายอากาศได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สรุปคุณสมบัติของงานวิจัยที่มีมาก่อน

ตัวอย่างงานวิจัยที่	ความถี่กลาง (MHz)	ย่านความถี่ (MHz)	ขนาดสายอากาศ (mm)	ระยะการอ่านแท็ก (mm)	ขนาดพื้นที่การอ่าน (mm)	บริเวณสนามของสายอากาศ
1	915	840-960	306X249X0.5	24	160X160	Near-field
2	915	845-928	270X277X0.5	19	250X250	Near-field
3	915	840-960	175X180X0.5	24	154X154	Near-field
4	866.5	860-873	184X174X3.175	90 and 600	64X64	Near-field and Far-field

จากตารางที่ 2.3 เป็นการพิจารณาคุณสมบัติของงานวิจัยที่มีมาก่อนหน้าจำนวน 4 ชิ้นงาน และรวมถึงเอกสารอ้างอิงที่เป็นการรวบรวมการศึกษาสมการและหลักการของการสื่อสารในระบบอาร์เอฟไอดีซึ่งเราให้ความสนใจในงานวิจัยที่สามารถให้ค่าคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการประกอบด้วย

1. รองรับย่านความถี่ใช้งาน 840 MHz - 960 MHz
2. ประยุกต์ใช้กับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟ
3. มีบริเวณการติดต่อสื่อสารครอบคลุมพื้นที่ขนาด 18 เซนติเมตร x 18 เซนติเมตร
4. สายอากาศมีขนาดทางกายภาพ 17.5 เซนติเมตร X 18 เซนติเมตร

จากนั้นจึงทำการสรุปคุณสมบัติของงานวิจัยแต่ละชิ้น เพื่อศึกษาถึงหลักการและวิธีการที่เป็นจุดเด่นของงานวิจัยนั้นๆ และนำมาประยุกต์กับงานวิจัยที่ทำการศึกษาเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ตามข้อกำหนดที่กำหนดไว้ข้างต้น

2.10 สรุป

ในบทนี้ได้เสนอทฤษฎีและหลักการของระบบอาร์เอฟไอดี โดยได้เริ่มจากประวัติความเป็นมาส่วนประกอบของระบบอาร์เอฟไอดีและกล่าวถึงระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟ จนกระทั่งคุณสมบัติที่สำคัญอื่นๆของระบบอาร์เอฟไอดี พารามิเตอร์พื้นฐานในการวิเคราะห์สายอากาศรวมถึงปัญหาในการออกแบบสายอากาศ นอกจากนี้ได้กล่าวถึงการออกแบบสายอากาศบ่วงที่นิยมใช้กันทั่วไปเพื่อเป็นความรู้พื้นฐานในการไปทำการออกแบบสายอากาศ สุดท้ายเป็นการศึกษางานวิจัยที่มีมาก่อนเพื่อพิจารณาความสอดคล้องกับคุณสมบัติของสายอากาศที่ต้องการ

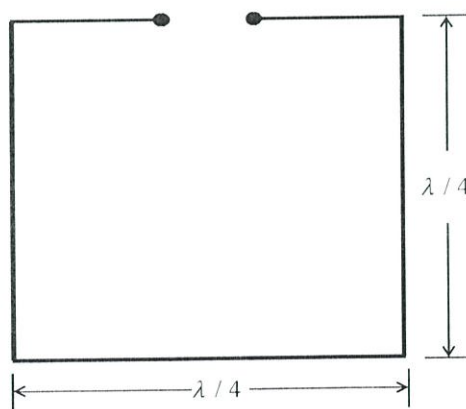
บทที่ 3

การออกแบบและการจำลองสายอากาศ

3.1 บทนำ

บทนี้นำเสนอการวิเคราะห์และการจำลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศพื้นฐานที่เกี่ยวข้องของระบบอาร์เอฟไอดีสนามระยะใกล้และระยะไกลยูเอชเอฟ สิ่งที่เหมาะกับระบบอาร์เอฟไอดีย่านแอลเอฟหรือเอชเอฟ คือเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีสนามระยะใกล้ย่านยูเอชเอฟและแท็กนั้นเชื่อมโยงสนามแม่เหล็ก (การเหนี่ยวนำ) หรือสนามไฟฟ้า (การเก็บประจุ) ระบบเชื่อมโยงผ่านตัวเหนี่ยวนำเป็นที่นิยมในการนำมาประยุกต์ใช้งานมากกว่าเนื่องจากพลังงานไฟฟ้ารีแอคทีฟส่วนใหญ่ถูกเก็บอยู่ในสนามแม่เหล็ก ระบบดังกล่าวตอบสนองกับวัตถุที่มีค่าเพอร์มิอิตีวี่ของสนามแม่เหล็กและสามารถใช้งานกับโลหะและของเหลว ในทางตรงกันข้ามการเชื่อมโยงผ่านตัวเก็บประจุเป็นระบบที่แทบจะไม่ใช่ในทางปฏิบัติเนื่องจากพลังงานจะถูกเก็บไว้ในสนามไฟฟ้าซึ่งได้รับผลกระทบอย่างรุนแรง โดยวัตถุที่มีเพอร์มิตติวี่ไดอิเล็กตริกสูง

สำหรับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟสนามระยะใกล้และระยะไกลที่ได้นำเสนอในหัวข้อก่อนนี้ อุปกรณ์ที่สำคัญที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก คือ สายอากาศ ซึ่งการออกแบบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลที่ใช้ในย่านความถี่ยูเอชเอฟและทำงานในบริเวณสนามระยะใกล้และระยะไกลได้นั้นเป็นสิ่งที่ท้าทายมากสำหรับระบบในย่านความถี่ยูเอชเอฟ เนื่องจากสายอากาศส่วนใหญ่ในระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟเป็นสายอากาศที่มีการทำงานในสนามระยะใกล้เป็นหลัก ดังนั้นจุดเด่นของระบบนี้ คือ การออกแบบสายอากาศให้สามารถกระจายสนามแม่เหล็กได้มากกว่าสนามไฟฟ้า เทคนิคเดียวกับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ต่ำและความถี่สูง โดยมีบริเวณในการกระจายสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นและสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กมีระยะไกลขึ้น รวมถึงการออกแบบให้สายอากาศกระจายสนามแม่เหล็กได้สม่ำเสมอตลอดบริเวณ โดยปกติสายอากาศที่นิยมนำมาออกแบบคือ สายอากาศบ่วง โดยรูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม

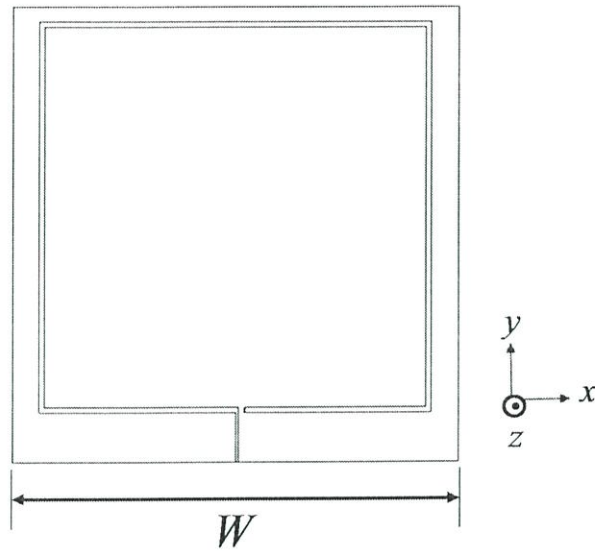
สำหรับสายอากาศบ่วงนั้นโดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ สายอากาศบ่วงที่มีขนาดทางไฟฟ้าเล็กและขนาดทางไฟฟ้าใหญ่ สายอากาศบ่วงที่มีขนาดทางไฟฟ้าเล็ก คือ สายอากาศบ่วงที่มีความยาวเส้นรอบวงทั้งหมดโดยปกติน้อยกว่าหนึ่งในสิบของความยาวคลื่น ($C < \lambda/10$) ซึ่งสามารถสร้างสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มและสม่ำเสมอในบริเวณใกล้กับสายอากาศ ในขณะที่สายอากาศบ่วงที่มีวงรอบขนาดไฟฟ้าใหญ่จะมีความยาวรอบวงประมาณหนึ่งความยาวคลื่น ซึ่งสายอากาศจะไม่สามารถสร้างการกระจายของสนามแม่เหล็กที่สม่ำเสมอในพื้นที่ของสนามระยะใกล้เพราะกระแสที่มีกระจายออกมารอบบ่วงจะมีเฟสที่กลับกันและทำให้กระแสกลายเป็นศูนย์ จึงทำให้การกระจายสนามแม่เหล็กไม่สม่ำเสมอทั่วบริเวณของสายอากาศ สำหรับสายอากาศบ่วงที่มีเส้นรอบวงทางไฟฟ้าเล็กหรือมีเส้นรอบวงเล็กจะมีความต้านทานการแพร่กระจายต่ำและโดยปกติจะมีค่าที่ต่ำกว่าความต้านทานการสูญเสีย ดังนั้นสายอากาศดังกล่าวจะเป็นตัวแพร่กำลังงานไม่ดี ถ้าต้องการให้ความต้านทานการแพร่กำลังงานของสายอากาศบ่วงมีค่าเพิ่มขึ้นหรือมีค่าเข้าใกล้ค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายนำสัญญาณ สามารถทำได้โดยการเพิ่มความยาวของเส้นรอบวงหรือเพิ่มจำนวนรอบของบ่วง

3.2 โครงสร้างและการออกแบบสายอากาศ

การออกแบบโครงสร้างของสายอากาศในเบื้องต้นประกอบด้วยบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ครึ่งความยาวคลื่นมาเป็นเงื่อนไขเริ่มต้น สำหรับใช้ในการคำนวณหาความยาวทั้งหมดของสายอากาศ ซึ่งโครงสร้างของสายอากาศนั้นได้มีการพัฒนารูปลักษณะจากรูปสี่เหลี่ยม ที่ถูกสร้างบนแผ่นวงจรพิมพ์ โดยการออกแบบสายอากาศในแต่ละโครงสร้างนั้นจะใช้โปรแกรมในการจำลอง และศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศ โดยจะพิจารณา $|S_{11}| \leq -10$ dB จึงจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ โดยการจำลองศึกษาค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศที่ได้ออกแบบนั้นจะใช้โปรแกรม CSI MICROWAVE STUDIO

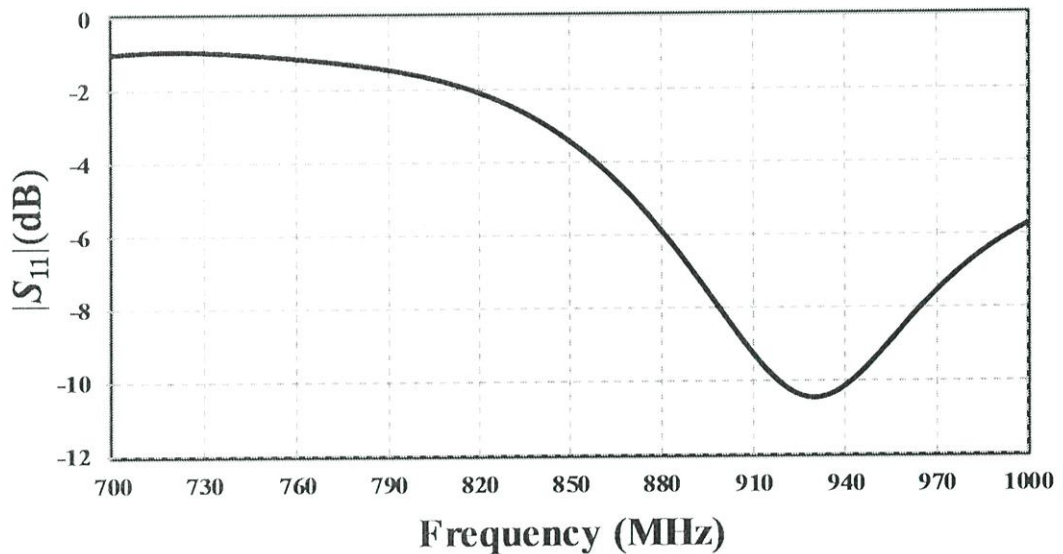
3.2.1 การศึกษาผลกระทบที่เกิดจากพารามิเตอร์ของสายอากาศบ่วงรูปทรงสี่เหลี่ยม

สำหรับการออกแบบโครงสร้างของสายอากาศเริ่มต้นโดยออกแบบให้ความยาวทั้งหมดเป็น $\lambda/2$ โดยโครงสร้างของสายอากาศสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.2 และการคำนวณหาขนาดของรูปทรงสี่เหลี่ยมสามารถคำนวณได้จาก $W = c/f$ โดยความถี่ที่จะนำมาใช้ในการคำนวณคือ 915 MHz โดยใช้แผ่นพิมพ์วัสดุ FR4 (ϵ_r เท่ากับ 4.3 $\tan \delta$ เท่ากับ 0.02 ความหนาของแผ่นวัสดุฐานรอง เท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร) ซึ่งสามารถแสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศตามรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 สายอากาศบ่วงรูปทรงสี่เหลี่ยม

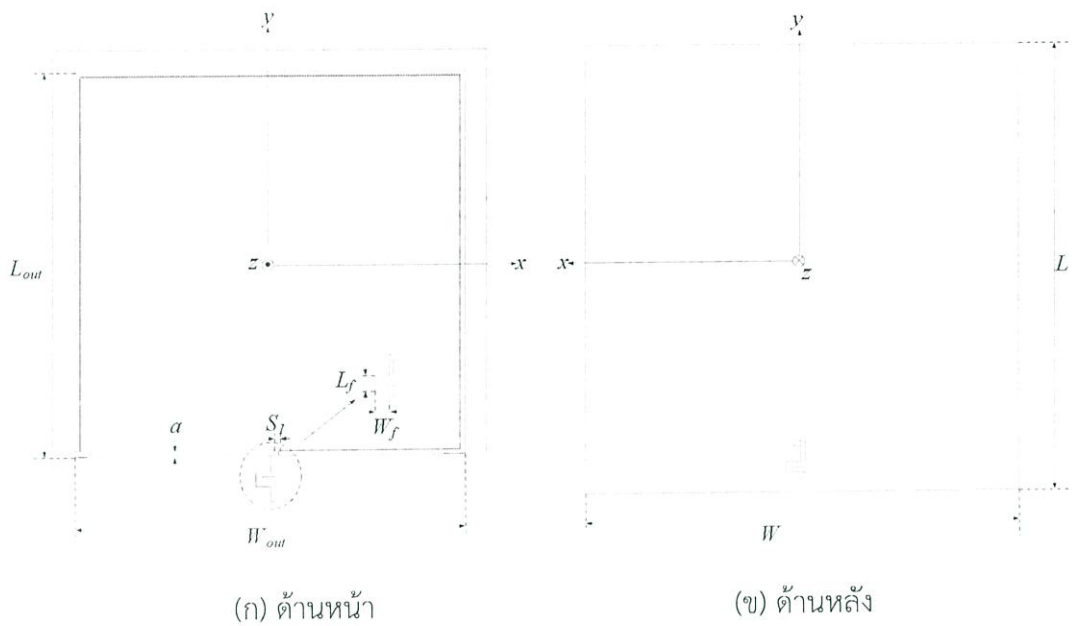
จากการคำนวณหาขนาดความกว้างของรูปสี่เหลี่ยมเพื่อใช้สำหรับออกแบบสายอากาศที่ความถี่กลางที่มาจากค่าความถี่ข้างต้น จะได้ค่าความกว้างของบ่วงทรงสี่เหลี่ยมที่ความถี่ 915 MHz คือ 17.5 เซนติเมตร ซึ่งสังเกตได้ว่าการที่จะออกแบบสายอากาศให้สามารถใช้งานได้ตลอดช่วงความถี่ของย่านยูเอชเอฟ โดยผลการจำลอง $|S_{11}|$ จะต้องครอบคลุมช่วงความถี่ 840 MHz - 960 MHz



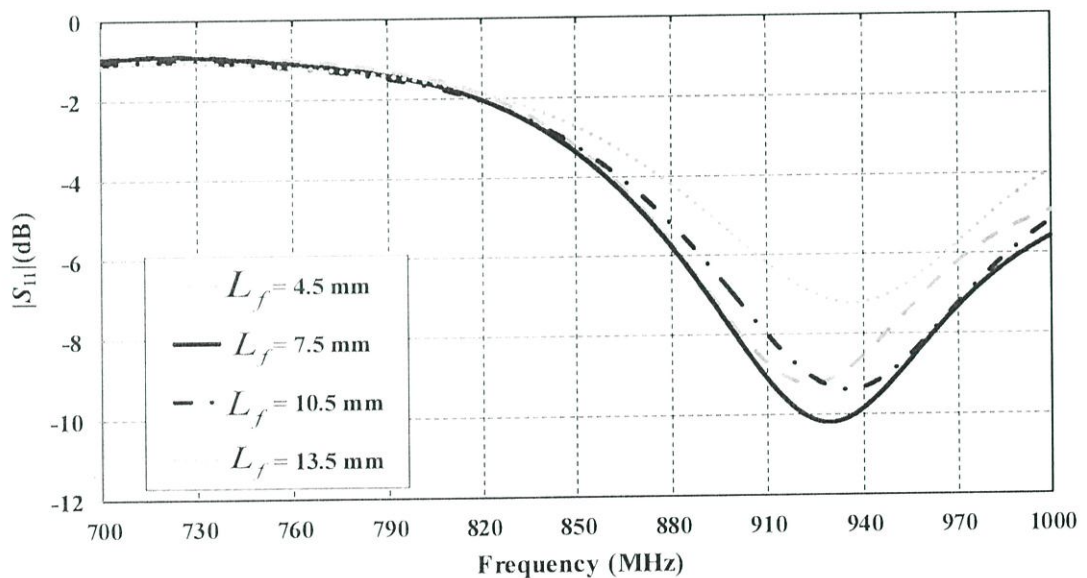
รูปที่ 3.3 $|S_{11}|$ ที่ได้จากการจำลองของสายอากาศบ่วงรูปทรงสี่เหลี่ยม

จากรูปที่ 3.3 แสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ สามารถกล่าวได้ว่าการหาขนาดความกว้างของสายอากาศจากการคำนวณข้างต้น มีแนวโน้มที่สายอากาศบ่วงรูปทรงสี่เหลี่ยมสามารถใช้งานบนย่านความถี่ยูเอชเอฟ เมื่อพิจารณาพบว่าสายอากาศโครงสร้างดังกล่าวนี้มี $|S_{11}|$ ในช่วงความถี่ 840 MHz - 960 MHz ยังไม่ต่ำกว่า -10 dB ซึ่งมีการสะท้อนสูงเกินไปไม่สามารถนำไปใช้งานได้

จากนั้นได้ทำการศึกษามลกระทบที่เกิดจากพารามิเตอร์ในบริเวณจุดป้อนสัญญาณโดยทำการปรับให้มีขนาดต่างๆ โดยพารามิเตอร์สำหรับการจำลองศึกษาถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงขนาดของสี่เหลี่ยมบริเวณจุดป้อนสัญญาณสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.4

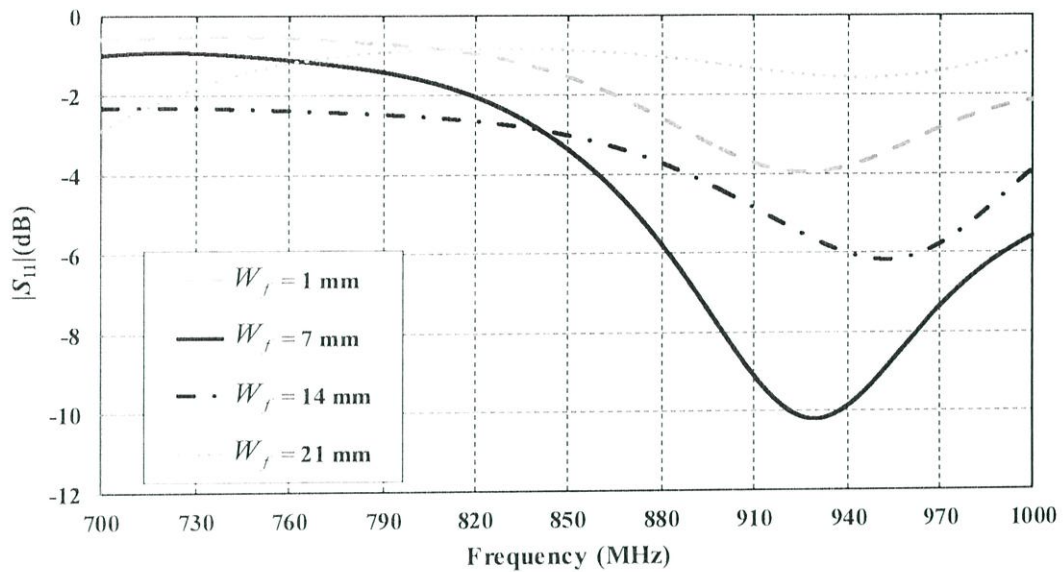


รูปที่ 3.4 โครงสร้างสายอากาศบ่วงรูปทรงสี่เหลี่ยม



รูปที่ 3.5 การจำลองผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลง L_f ต่อ $|S_{11}|$ ของสายอากาศบ่วงรูปทรงสี่เหลี่ยม

จากรูปที่ 3.5 ทำการปรับขนาดจุดป้อนสัญญาณจะสังเกตได้ว่าเมื่อทำการปรับขนาดพารามิเตอร์ L_f ให้มีค่าแตกต่างกัน 3 มิลลิเมตร จะสังเกตได้ว่าที่ความถี่ด้านต่ำไม่มีการเปลี่ยนแปลงโดยที่ขนาด 7.5 มิลลิเมตรจะได้ค่า $|S_{11}|$ ที่ต่ำกว่าหรือเท่ากับ -10 dB ที่ความถี่กลาง 915 MHz ซึ่งมีแนวโน้มที่จะครอบคลุมในช่วงความถี่ที่ต้องการ 840 MHz - 960 MHz



รูปที่ 3.6 การจำลองผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลง W_f ต่อ $|S_{11}|$ ของสายอากาศบ่วงรูปทรงสี่เหลี่ยม

จากรูปที่ 3.6 ทำการปรับจุดป้อนสัญญาณจะสังเกตได้ว่าเมื่อทำการปรับขนาด W_f ให้มีค่าแตกต่างกันจะมีผลต่อความถี่ด้านต่ำน้อยมาก แต่ที่ความยาวขนาด 7 มิลลิเมตร มีผลต่อความถี่ด้านสูงจึงเลือกตำแหน่งที่มีการแมตซ์ที่ต่ำกว่าหรือเท่ากับ -10 dB ที่ขนาด 7 มิลลิเมตร

ตารางที่ 3.1 ขนาดของสายอากาศบ่วงรูปทรงสี่เหลี่ยม

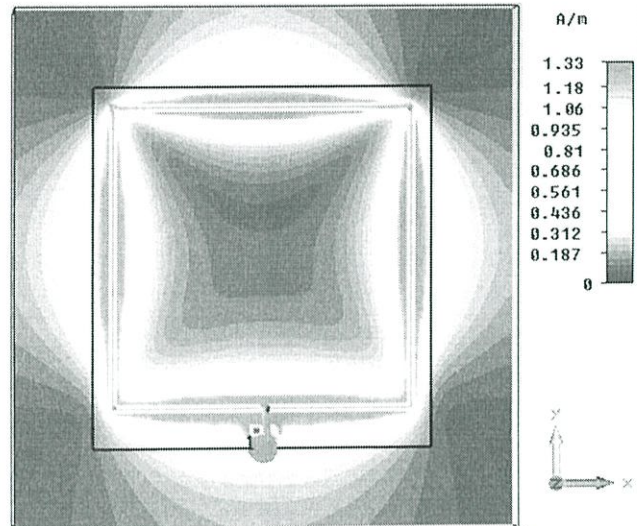
พารามิเตอร์	ขนาด (เซนติเมตร)
W	17.5
W_f	0.7
L	18
L_f	0.75
L_{out}	15.4
W_{out}	15.4
S_1	0.2
a	0.2

จากตารางที่ 3.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศบ่วงรูปทรงสี่เหลี่ยม โดย W คือความกว้างของวัสดุฐานรอง W_f คือขนาดความกว้างของจุดเชื่อมต่อขนาน L คือความยาวของแผ่นวัสดุฐานรอง L_f คือขนาดความยาวของจุดเชื่อมต่อขนาน L_{out} คือความยาวของแผ่นทองแดง W_{out} คือความกว้างของแผ่นทองแดง a คือความหนาของแผ่นทองแดง S_1 คือ ช่องระยะห่างบริเวณ

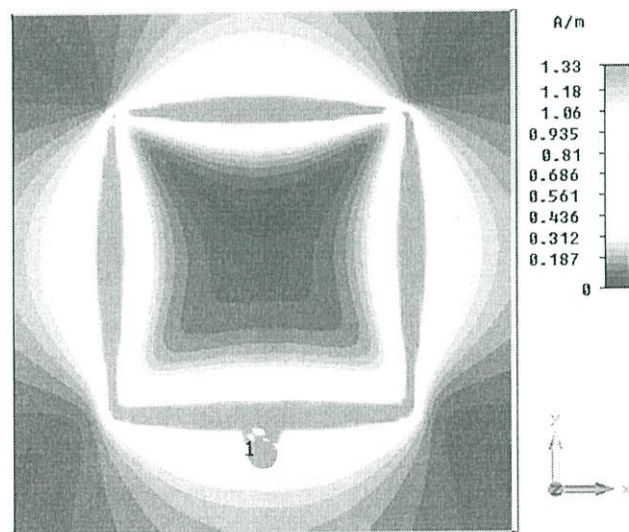
จุดป้อนสัญญาณโดยแผ่นพิมพ์วัสดุ FR4 (ϵ_r เท่ากับ 4.3 $\tan\delta$ เท่ากับ 0.02 ความหนาของแผ่นวัสดุฐานรองเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร)

3.2.2 การจำลองการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศรูปทรงสี่เหลี่ยม

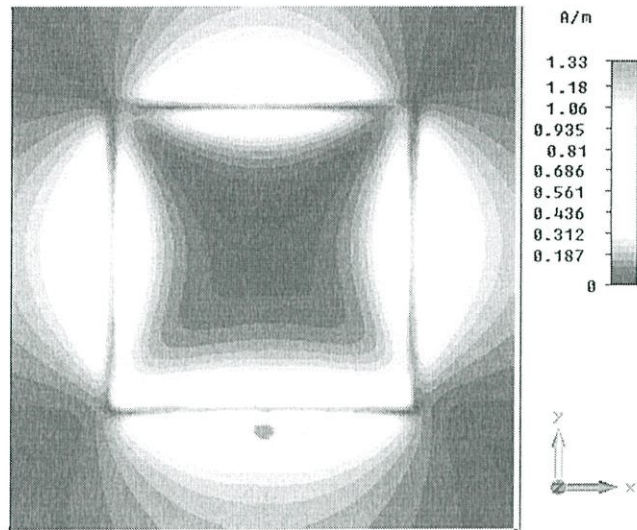
ขั้นตอนถัดมาแสดงการจำลองแบบสองมิติ (2-D) การกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงรูปสี่เหลี่ยมที่ความถี่ 915 MHz แสดงโดยโครงสร้างแบบจำลองแบบรูปการกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กของสายอากาศดังแสดงดังรูปที่ 3.7 ถึง 3.10



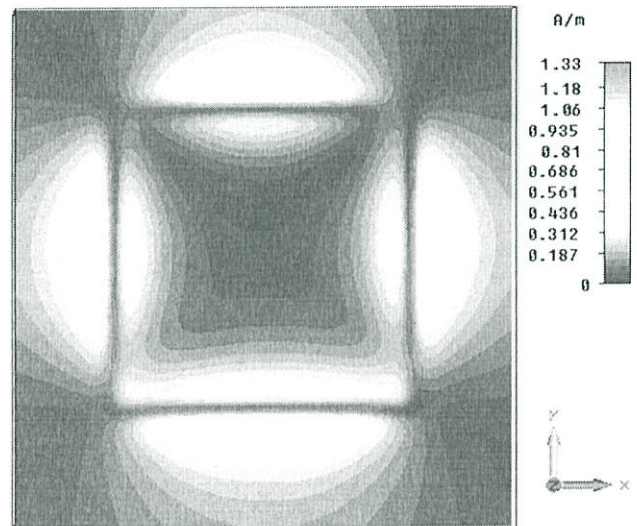
รูปที่ 3.7 การกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศที่ความถี่ 915 MHz ที่มีระยะทางในแนวแกน $z = 0$ เซนติเมตร



รูปที่ 3.8 การกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศที่ความถี่ 915 MHz ที่มีระยะทางในแนวแกน $z = 1$ เซนติเมตร



รูปที่ 3.9 การกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศที่ความถี่ 915 MHz ที่มีระยะทางในแนวแกน $z = 5$ เซนติเมตร

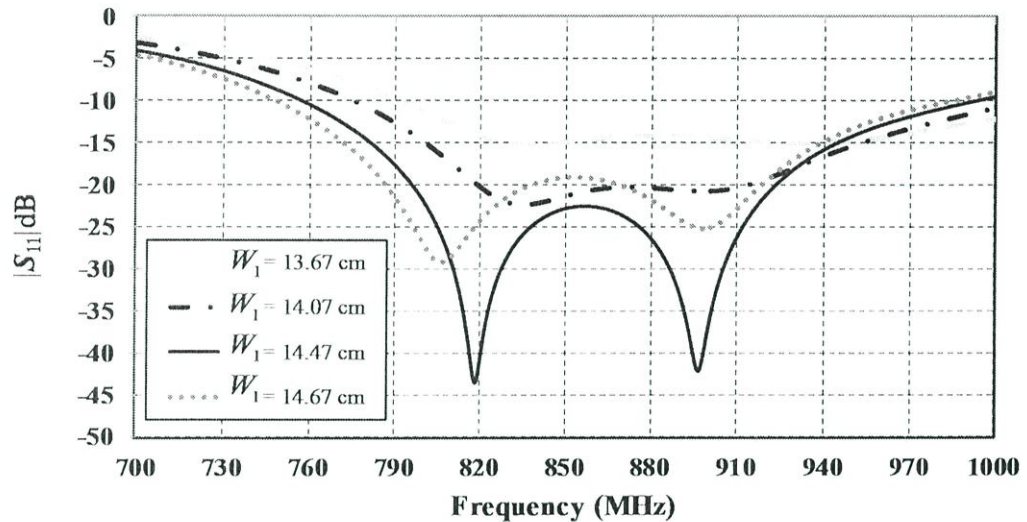


รูปที่ 3.10 การกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศที่ความถี่ 915 MHz ที่มีระยะทางในแนวแกน $z = 10$ เซนติเมตร

ซึ่งจากการจำลองพบว่าในระนาบแนวแกน z จะมีการกระจายสนามแม่เหล็กมากที่สุด และจะสังเกตว่าเมื่อระยะห่างไกลขึ้นการกระจายสนามแม่เหล็กจะลดลงเบาบางมากในบริเวณตรงกลางของพื้นที่การอ่าน และมีการกระจายสนามแม่เหล็กบริเวณขอบสายอากาศเท่านั้น เห็นว่าบริเวณตรงกลางของสายอากาศยังมีสนามแม่เหล็กที่เบาบางไม่สามารถนำไปใช้งานได้ แสดงให้เห็นถึงการกระจายสนามแม่เหล็กในระนาบแนวแกน z ที่ระยะต่างๆ จะเห็นว่า มีผลกระทบต่ออย่างมีนัยสำคัญกับการกระจายสนามแม่เหล็ก ซึ่งมีแนวโน้มว่าเกิดความไม่สม่ำเสมอ

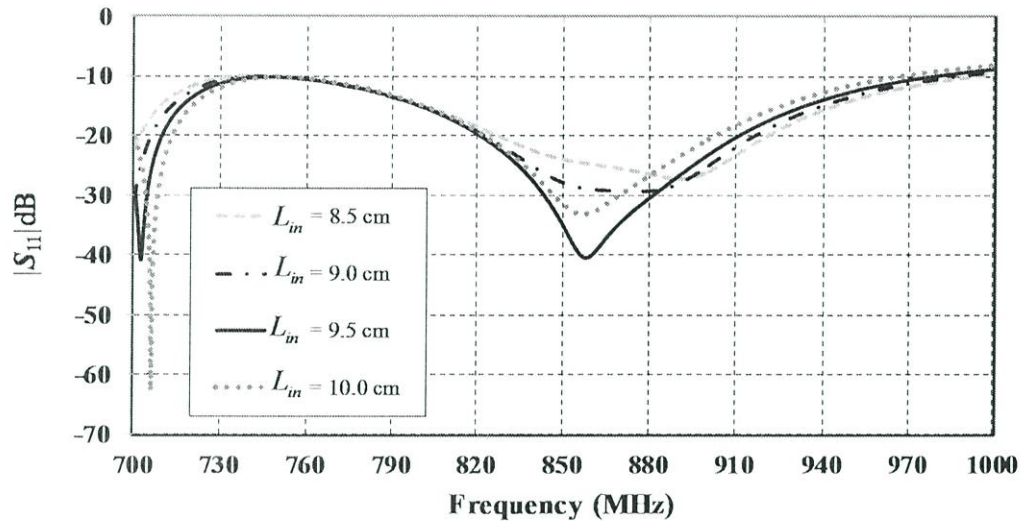
3.2.3 การศึกษาผลกระทบที่เกิดจากพารามิเตอร์ของสายอากาศรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่

ในการศึกษาผลกระทบของสายอากาศได้เริ่มศึกษาจากผลกระทบของพารามิเตอร์ W_1 โดยปรับค่าของพารามิเตอร์ให้มีขนาดต่างๆ และสังเกตดูผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อความถี่และ $|S_{11}|$ ของสายอากาศ ซึ่งผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่า W_1 ต่อ $|S_{11}|$ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 การจำลองผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลง W_1 ต่อ $|S_{11}|$ ของสายอากาศรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก

จากการจำลองพบว่าเมื่อปรับค่าพารามิเตอร์ให้มีขนาดตั้งแต่ 13.67 เซนติเมตร ไปถึง 14.47 เซนติเมตร มีผลต่อประสิทธิภาพของสายอากาศอย่างมีนัยสำคัญขณะที่ตัวแปรอื่น ๆ มีผลเล็กน้อยจะพบว่าเมื่อค่าพารามิเตอร์ W_1 เท่ากับ 14.47 เซนติเมตร มีความถี่ครอบคลุมตั้งแต่ 753.56 MHz - 952.71 MHz ทำให้สายอากาศมีแนวโน้มที่จะครอบคลุมในช่วงความถี่ที่ต้องการ (840 MHz - 960 MHz) แต่เมื่อ W_1 มีค่าน้อยลง สายอากาศไม่สามารถทำงานในย่านความถี่ที่ต้องการได้ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ W_2 จะใช้ค่าเดียวกันกับ W_1



รูปที่ 3.12 การจำลองผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลง L_{in} ต่อ $|S_{11}|$ ของสายอากาศ

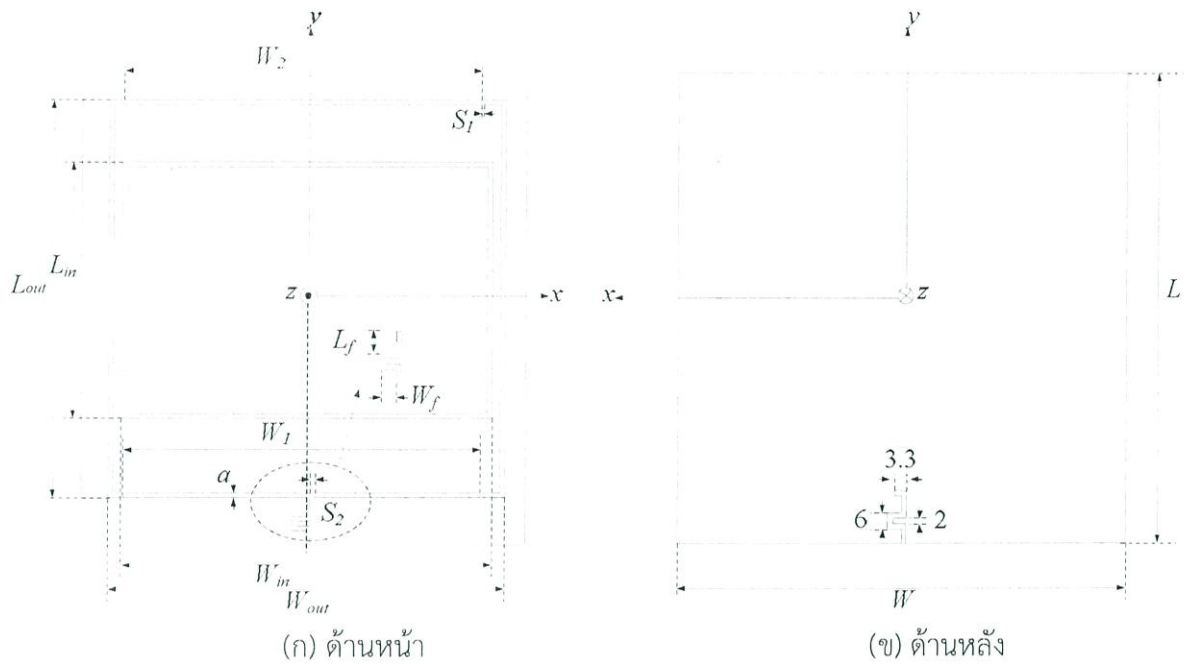
รูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก

จากการจำลองพบว่าเมื่อปรับพารามิเตอร์ L_{in} ให้มีค่าตั้งแต่ 8.5 เซนติเมตร ไปถึง 10.0 เซนติเมตร และกำหนด W_{in} มีค่าเท่ากับ 15 เซนติเมตร พบว่าเมื่อค่าพารามิเตอร์ L_{in} มีค่าลดลงทำให้ $|S_{11}|$ ของสายอากาศมีค่าต่ำกว่า -10 dB มีความถี่ครอบคลุมย่านความถี่ตั้งแต่ 801.91 MHz - 959.47 MHz ซึ่งมีแนวโน้มที่ถี่ขึ้นสังเกตได้ว่าที่ขนาด L_{in} ที่ขนาด 10 เซนติเมตร ทำให้ช่วงความถี่ต่ำมีค่า $|S_{11}|$ ต่ำที่สุดบริเวณความถี่ต่ำแต่ในช่วงความถี่กลางขนาดของ L_{in} ที่ 9.5 เซนติเมตรแสดงค่า $|S_{11}|$ ต่ำที่สุดซึ่งจะครอบคลุมช่วงความถี่ 840 MHz - 940 MHz มากกว่า

3.2.4 โครงสร้างสายอากาศรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่

สำหรับสายอากาศที่นำมาประยุกต์ใช้งานในระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชทีที่มีการสื่อสารระยะใกล้และระยะไกลมีโครงสร้างและขนาดดังตารางที่ 3.2 โดยสายอากาศดังกล่าวมีมิติที่ใหญ่ที่สุด (L) เท่ากับ 18 เซนติเมตร และสนใจการทำงานของสายอากาศในบริเวณรีแอกทีฟสนามระยะใกล้ ดังนั้นสามารถคำนวณหาบริเวณการทำงานได้พบว่าระยะที่สายอากาศสามารถทำงานได้ในบริเวณรีแอกทีฟสนามระยะใกล้จะต้องมีระยะไม่เกิน 14 เซนติเมตร

ในหัวข้อนี้นำเสนอโครงสร้างสายอากาศรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่โดยแสดงโครงสร้างของสายอากาศและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 สายอากาศรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่

จากรูปที่ 3.13 แสดงพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่ โดย W คือความกว้างของแผ่นวัสดุฐานรอง W_f คือขนาดความกว้างของจุดเชื่อมต่อขนาน W_{in} คือความกว้างของบ่วงวงใน L คือ ความยาวของแผ่นวัสดุฐานรอง L_f คือขนาดความยาวของจุดเชื่อมต่อขนาน L_{out} คือ ความยาวของแผ่นทองแดง L_m ความยาวของบ่วงวงใน a คือ ความหนาของแผ่นทองแดง S_2 คือ ช่องระยะห่างบริเวณจุดป้อนสัญญาณ โดยแผ่นพิมพ์วัสดุชนิด FR4 (ϵ_r เท่ากับ 4.4 $\tan\delta$ เท่ากับ 0.02 ความหนาของแผ่นวัสดุฐานรองเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร) S_1 คือ ระยะห่างของเส้นทองแดงแต่ละเส้น L_m คือความยาวของเส้นทองแดงในแต่ละช่วงของสายอากาศด้านใน โดยแสดงขนาดของสายอากาศดังตารางที่ 3.2

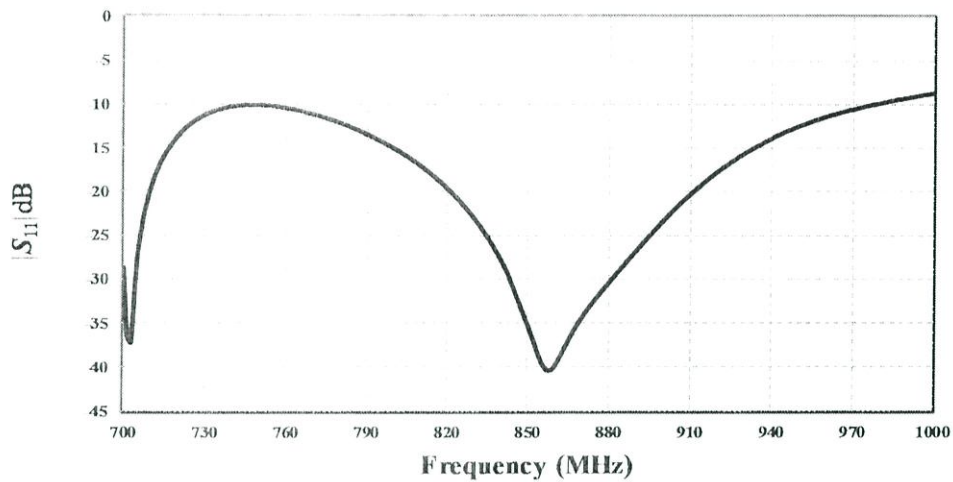
ตารางที่ 3.2 ขนาดของสายอากาศรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่

พารามิเตอร์	ขนาด (เซนติเมตร)
W	17.5
W_f	0.7
W_m	14.6
W_{out}	15.4
W_1	14.47
W_2	14.47
L	18
L_f	0.75
L_m	9.5
L_{out}	15.4
S_1	0.2
S_2	0.1
a	0.2

จากตาราง 3.2 ได้นำขนาดของสายอากาศดังกล่าวมาทำการจำลองโครงสร้างสายอากาศด้วยโปรแกรม CSI Microwave Studio ซึ่งแสดงผลการจำลองสายอากาศบ่วงรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่เพื่อดูค่า $|S_{11}|$ และการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศ

3.3 ผลการจำลองของสายอากาศ

ในหัวข้อนี้นำเสนอผลการจำลองของสายอากาศบ่วงรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่สำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟ โดยนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมดังตารางที่ 3.2 มาทำการจำลองเป็นโครงสร้างของสายอากาศเพื่อศึกษาถึงคุณลักษณะของสายอากาศต่อไปโดยคุณลักษณะของสายอากาศที่ทำการจำลองประกอบไปด้วย $|S_{11}|$ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น



รูปที่ 3.14 $|S_{11}|$ ที่ได้จากการจำลองของสายอากาศบ่วงรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่

จากรูปที่ 3.14 แสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ ที่ความถี่กลาง 915 MHz มีค่าเท่ากับ -19.69 dB ครอบคลุมย่านความถี่ตั้งแต่ 700 MHz - 978 MHz ซึ่งมีแบนด์วิดธ์ 278 MHz ซึ่งครอบคลุมช่วงความถี่ 840 MHz - 960 MHz สำหรับการประยุกต์ใช้งานในช่วงย่านความถี่ยูเอชเอฟ

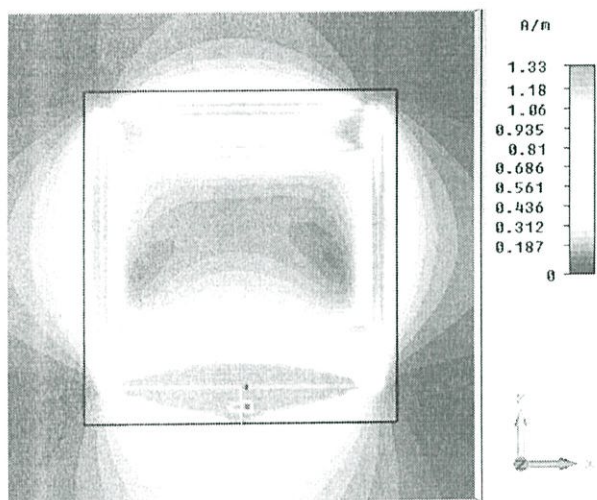
ตารางที่ 3.3 สรุปสมรรถนะสายอากาศรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่

คุณสมบัติ	ผลการจำลอง
$ S_{11} $ ที่ต่ำที่สุด	-41.41 dB
ความถี่ที่ $ S_{11} $ ที่ต่ำที่สุด	865 MHz
ย่านความถี่ที่ $ S_{11} $ ต่ำกว่า -10 dB	700 MHz - 978 MHz
แบนด์วิดธ์	278 MHz

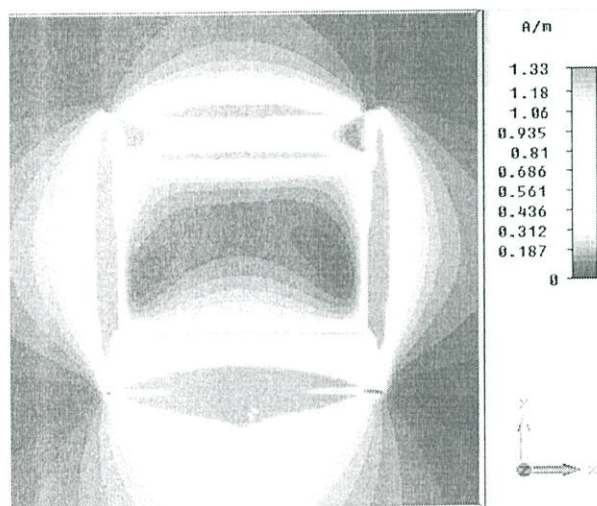
จากผลการจำลองพบว่าอากาศดังกล่าวช่วยทำให้สายอากาศรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่ มีแบนด์วิดธ์ที่กว้างขึ้น คือ 278 MHz ครอบคลุมความถี่ที่ต้องการตั้งแต่ 840 MHz - 960 MHz จากนั้นทำการศึกษาเกี่ยวกับสนามแม่เหล็กของสายอากาศ จะสังเกตเห็นว่าการจำลองสายอากาศรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่ช่วยทำให้สนามแม่เหล็กมีการกระจายตัวมากขึ้นในระนาบแนวแกน z เพิ่มขึ้น โดยจะนำเสนอการกระจายสนามแม่เหล็กในย่านความถี่ 915 MHz

3.3.1 การจำลองการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่

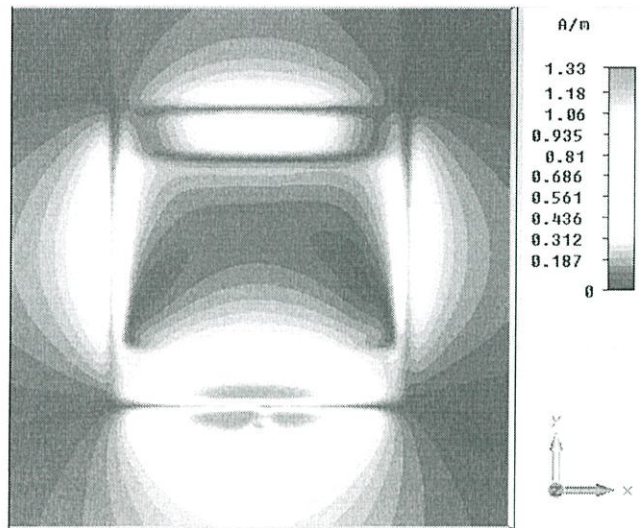
จากรูปที่ 3.15 ถึง 3.18 แสดงการจำลองแบบสองมิติ (2-D) การกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่ที่ความถี่ 915 MHz แสดงให้เห็นว่าบริเวณตรงกลางของสายอากาศยังมีสนามแม่เหล็กที่เบาบางไม่สามารถนำไปใช้งานได้ แสดงให้เห็นถึงการกระจายสนามแม่เหล็กในระนาบแนวกว้าง / ที่ระยะต่างๆ จะเห็นว่ามีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญกับการกระจายสนามแม่เหล็ก ซึ่งมีแนวโน้มว่าเกิดความไม่สม่ำเสมอ



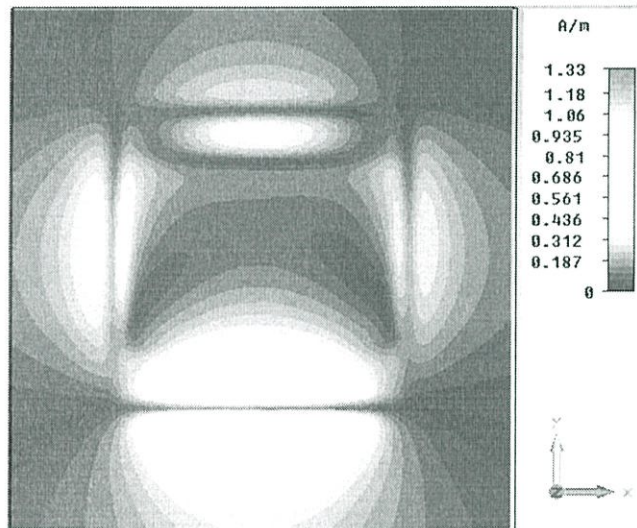
รูปที่ 3.15 การกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศที่ความถี่ 915 MHz ที่มีระยะทางในแนวกว้าง $\neq 0$ เซนติเมตร



รูปที่ 3.16 การกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศที่ความถี่ 915 MHz ที่มีระยะทางในแนวกว้าง $\neq 1$ เซนติเมตร



รูปที่ 3.17 การกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศที่ความถี่ 915 MHz ที่มีระยะทาง
ในแนวแกน $z = 5$ เซนติเมตร



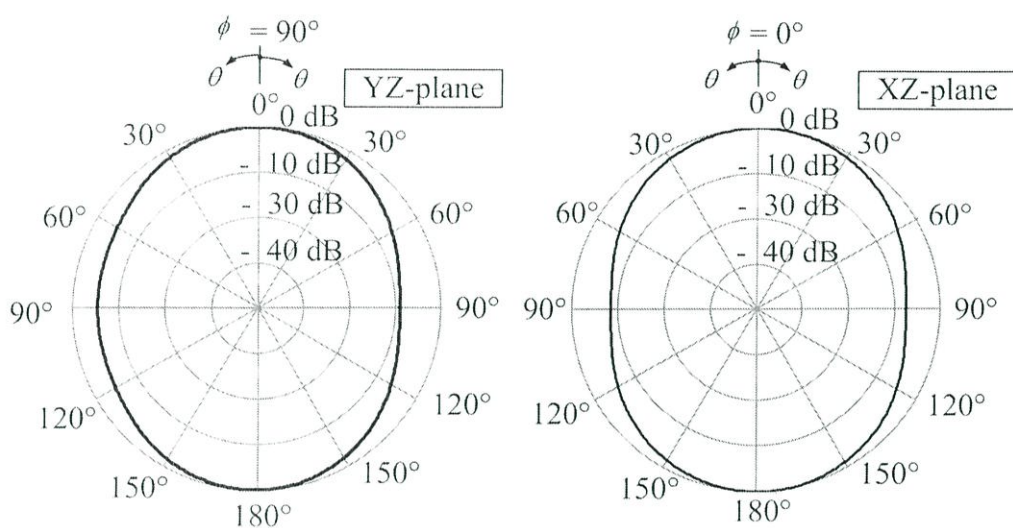
รูปที่ 3.18 การกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศที่ความถี่ 915 MHz ที่มีระยะทาง
ในแนวแกน $z = 10$ เซนติเมตร

เมื่อเปรียบเทียบผลการจำลองการกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กระหว่างสายอากาศรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่กับโครงสร้างสายอากาศบ่วงรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก พบว่าสายอากาศรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่ เมื่อสายอากาศอยู่ห่างจุดศูนย์กลางของของสายอากาศที่ H ประมาณ 5 เซนติเมตร สายอากาศสามารถสร้างกระจายสนามแม่เหล็กได้ดีและมากกว่า จากผลของ $|S_{11}|$ ของสายอากาศบ่วงรูปสี่เหลี่ยมเปรียบเทียบกับสายอากาศรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่ พบว่า สายอากาศรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่สามารถขยายแบนด์วิดธ์ของสายอากาศได้ และเมื่อทำการเปรียบเทียบการกระจายสนามแม่เหล็กพบว่าสายอากาศรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่ มีการกระจายสนามแม่เหล็กที่สม่ำเสมอกว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยม ซึ่งสังเกตได้อย่างชัดเจนเมื่อ

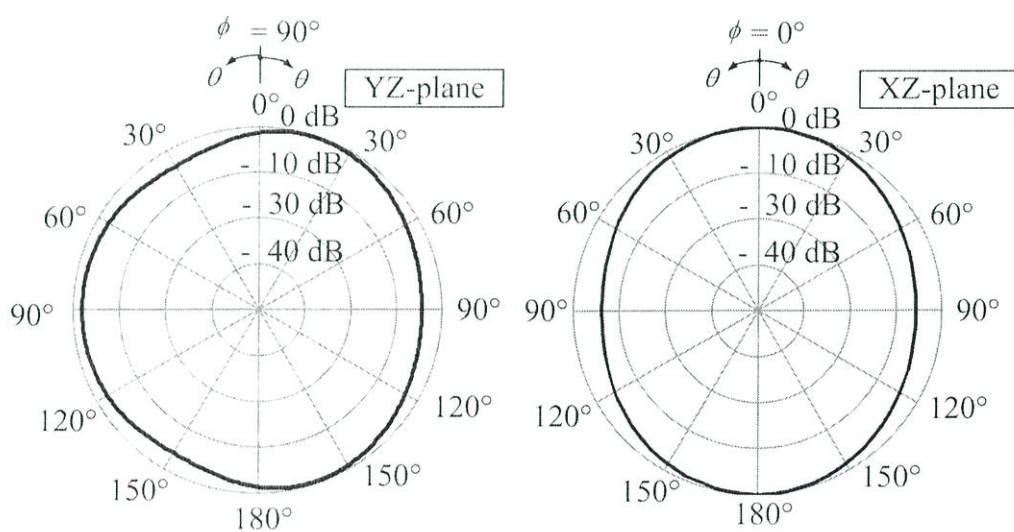
ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางเป็นระยะ H เพิ่มขึ้น บริเวณตรงกลางของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจะเริ่มมีการกระจายของสนามแม่เหล็กกลดลงจนมองเห็นพื้นที่ที่มีการกระจายสนามแม่เหล็กเป็นสี่ขาว

3.3.2 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation pattern)

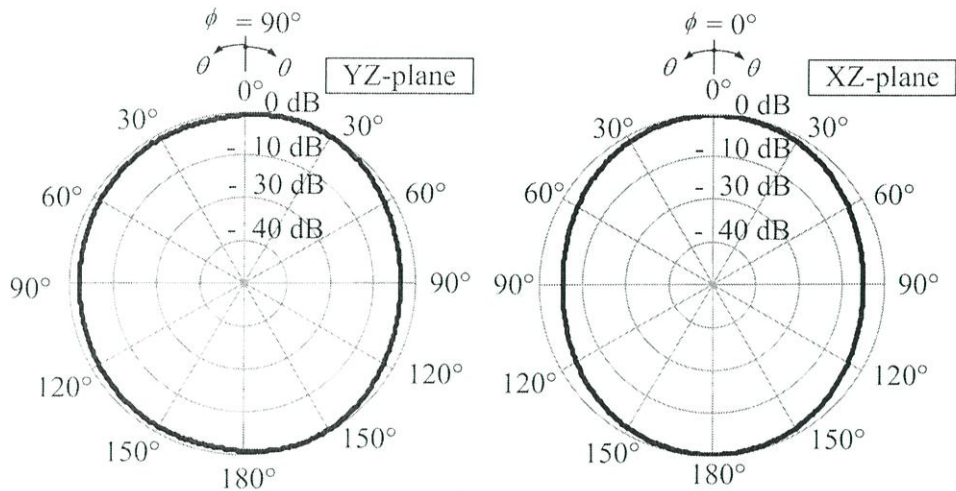
การจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่นำเสนอจะพิจารณาที่ความถี่ 840 MHz 915 MHz และ 960 MHz ตามลำดับ ซึ่งสามารถแสดงจากรูปที่ 3.19



(ก) ความถี่ 840 MHz



(ข) ความถี่ 915 MHz



(ค) ความถี่ 960 MHz

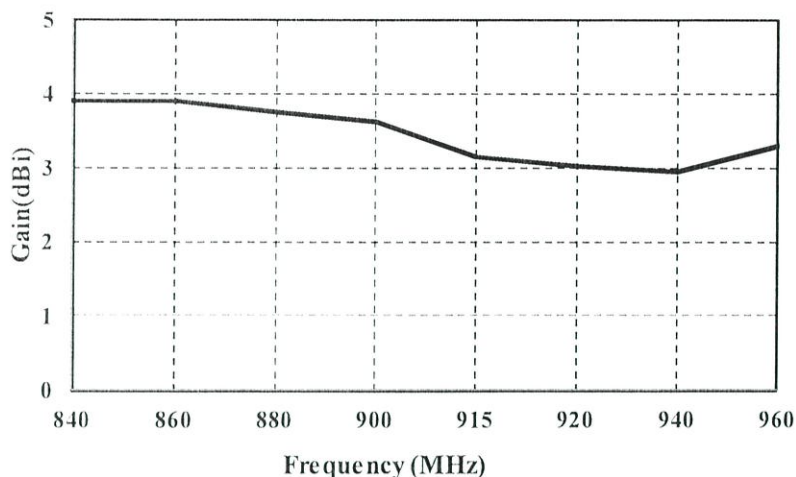
รูปที่ 3.19 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเริ่มต้น

รูปที่ 3.19 แสดงการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในระนาบ yz และระนาบ xz โดยภาพ (ก) (ข) และ (ค) แสดงความถี่ที่ 840 MHz 915MHz และ 960 MHz ตามลำดับ

ในรูปที่ 3.19 ซึ่งพิจารณาที่ระนาบ yz และ xz ตามลำดับ โดยจะพบว่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศทั้ง 3 ความถี่มีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ yz และ xz พบว่าเงื่อนไขของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางในระนาบเดียวจะต้องมีความแตกต่างระหว่างกำลังงานที่แพร่กระจายได้มากที่สุดและน้อยที่สุดไม่เกิน 3 dB จึงจะยอมรับได้ว่ามีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นดังกล่าวเป็นแบบรอบทิศทางในระนาบเดียว ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ทั้ง 3 ความถี่มากกว่า 3 dB จึงทำให้แบบรูปการแพร่กระจายนี้จึงเป็นแบบสองทิศทาง

3.3.3 ผลการจำลองอัตราขยายของสายอากาศ (Gain)

ในหัวข้อนี้นำเสนอผลจำลองอัตราขยายของรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่ที่ พิจารณาตั้งแต่ช่วงความถี่ 840 MHz - 960 MHz สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ผลการจำลองอัตราขยายที่เป็นฟังก์ชันของความถี่

จากรูปที่ 3.20 แสดงผลการจำลองอัตราขยายของสายอากาศจะสังเกตได้ว่าเมื่อความถี่มากขึ้น แนวโน้มของอัตราขยายของสายอากาศก็จะลดลง โดยมีอัตราขยายของสายอากาศน้อยที่สุดและมากที่สุดอยู่ที่ 2.956 dBi และ 3.890 dBi ที่ความถี่ 940 MHz และ 860 MHz ตามลำดับ

3.4 สรุป

ในบทนี้ได้อธิบายถึงรูปแบบโครงสร้างสายอากาศ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศ ในการออกแบบสายอากาศรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่สำหรับการสื่อสารระยะใกล้และระยะไกลที่มีการประยุกต์ใช้งานกับระบบอาร์เอฟไอดีในสนามไฟฟ้าขนาดใหญ่ มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาสายอากาศให้มีความสามารถในการติดต่อสื่อสารให้ไกลเคียง 100 เมตรด้วยการแยกส่วนบ่วงของสายอากาศจากผลที่ได้พบว่าสายอากาศมีค่า $|S_{11}|$ ต่ำกว่า -10 dB ครอบคลุมช่วงความถี่ 700 MHz - 978 MHz ซึ่งมีแบนด์วิดธ์ 278 MHz เมื่อเปรียบเทียบผลการจำลองการกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กระหว่างสายอากาศรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่กับโครงสร้างสายอากาศบ่วงรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก พบว่าสายอากาศรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่ เมื่อสายอากาศอยู่ห่างจุดศูนย์กลางของของสายอากาศที่ H ประมาณ 5 เซนติเมตร สายอากาศสามารถสร้างกระจายสนามแม่เหล็กได้ดีและมากกว่า โดยจะพบว่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศทั้ง 3 ความถี่มีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ yz และ xz แบบรูปการแพร่กระจายเป็นแบบสองทิศทางพบว่าโดยมีอัตราขยายของสายอากาศน้อยที่สุดและมากที่สุดอยู่ที่ 2.956 dBi และ 3.890 dBi ที่ความถี่ 940 MHz และ 860 MHz ตามลำดับ

บทที่ 4

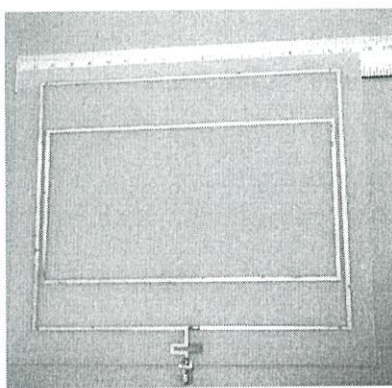
การทดสอบและผลการทดสอบ

4.1 บทนำ

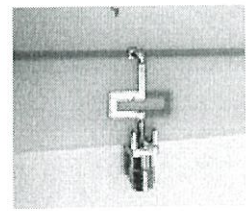
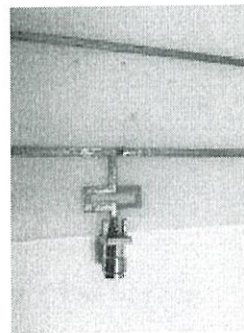
ในบทนี้จะนำเสนอผลการทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศเครื่องอ่านรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่สำหรับการสื่อสารอาร์เอฟไอเดียโนยูเอชเอฟระยะใกล้และระยะไกลช่วงความถี่ยูเอชเอฟ ซึ่งจะพิจารณาคุณลักษณะของ $|S_{11}|$ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ yz และ xz อัตราขยายของสายอากาศและการกระจายความเข้มของสนามแม่เหล็กซึ่งพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับการสร้างสายอากาศสำหรับนำมาทดสอบได้ถูกนำเสนอไว้ในบทที่ 3 และนำผลจากการศึกษาพารามิเตอร์นั้นมาสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบและทำการทดสอบเพื่อยืนยันความถูกต้องระหว่างผลที่ได้จากการจำลองและการทดสอบดังที่จะได้กล่าวในหัวข้อถัดไป

4.2 สายอากาศต้นแบบ

ในหัวข้อนี้นำเสนอสายอากาศเครื่องอ่านรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่สำหรับการสื่อสารอาร์เอฟไอเดียโนยูเอชเอฟระยะใกล้และระยะไกล เพื่อยืนยันความถูกต้องจากผลการจำลองโดยสายอากาศต้นแบบถูกออกแบบบนแผ่นพิมพ์โดยใช้วัสดุฐานรองชนิด FR4 (ϵ_r เท่ากับ 4.3 $\tan \delta$ เท่ากับ 0.02 ความหนาของแผ่นวัสดุฐานรองเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีมาตรฐานและใช้คอนเนคเตอร์ชนิด SMA ต่อร่วมกับสายนำสัญญาณมีขนาดโดยสายอากาศต้นแบบมีขนาดโดยรวม 17.5 เซนติเมตร \times 18.0 เซนติเมตร \times 0.05 เซนติเมตร ซึ่งสายอากาศมีช่วงความถี่ใช้งานครอบคลุมความถี่ย่านยูเอชเอฟตลอดช่วงความถี่ 840 MHz - 960 MHz



(ก) รูปด้านหน้า



(ข) ตำแหน่งการป้อนสัญญาณ
ด้านหน้าและด้านหลัง

รูปที่ 4.1 โครงสร้างสายอากาศต้นแบบ

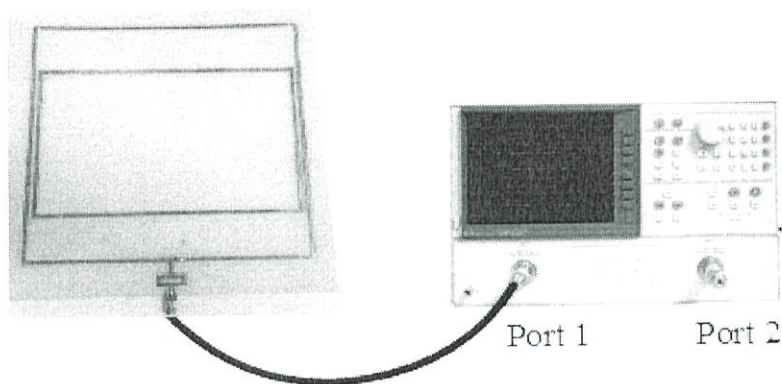
4.3 ขั้นตอนและผลการทดสอบสนามระยะไกล

การทดสอบถึงคุณลักษณะต่างๆของสายอากาศจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องมือที่เหมาะสม เพื่อทดสอบสายอากาศอาร์เอฟไอดีรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่สำหรับการสื่อสารระยะไกล มีดังนี้

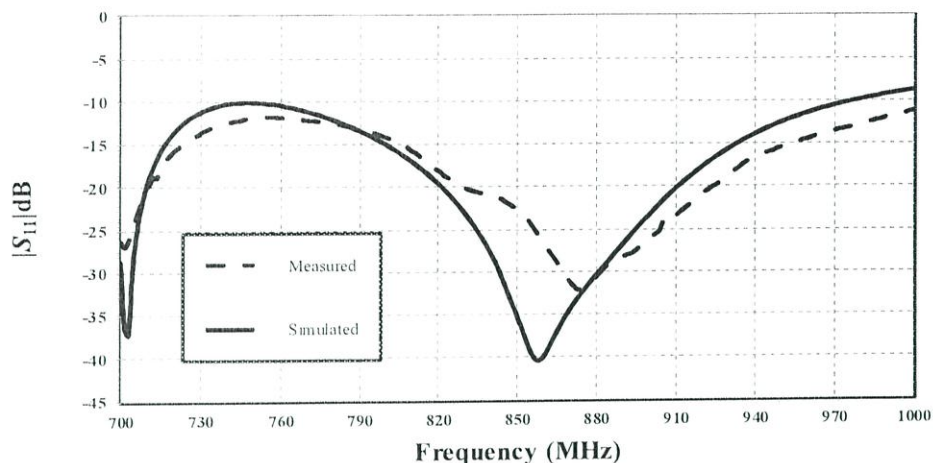
- ห้องไร้การสะท้อนของคลื่น (Microwave anechoic chamber)
- เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network analyzer) รุ่น HP-8720C
- สายนำสัญญาณอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม

4.3.1 $|S_{11}|$

การทดสอบคุณลักษณะของ $|S_{11}|$ ทำได้โดยนำสายอากาศอาร์เอฟไอดีรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่เชื่อมต่อเข้ากับสายนำสัญญาณและพอร์ตที่ 1 ของเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายโดยก่อนที่จะทำการเชื่อมต่อเข้ากับสายอากาศเพื่อที่จะทดสอบนั้น การปรับเทียบให้กับเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายถือเป็นสิ่งที่จำเป็น โดยการปรับเทียบจะอยู่ที่ปลายของสายนำสัญญาณเพื่อลดการสูญเสียระหว่างสายนำสัญญาณที่อาจจะส่งผลกระทบต่อ $|S_{11}|$ โดยการทดสอบ $|S_{11}|$ จะมีวิธีการติดตั้งสายอากาศร่วมกับเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายที่แสดงได้ดังรูปที่ 4.2 โดยสายนำสัญญาณจะมีการเชื่อมต่อที่ด้านหลังของสายอากาศ และผลการทดสอบเปรียบเทียบกับผลการจำลองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.2 การทดสอบคุณลักษณะ $|S_{11}|$ ของสายอากาศ



รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบผลการทดสอบกับผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศต้นแบบ

จากรูปที่ 4.3 พบว่าผลที่ได้จากการทดสอบและการจำลองมีความสอดคล้องกัน โดยผลการทดสอบของค่า $|S_{11}| \leq -10$ dB มีช่วงความถี่ที่ตั้งแต่ 700 MHz - 1000 MHz และมีแบนด์วิดท์ทั้งหมด 300 MHz โดยที่ความถี่ 840 MHz มีค่า $|S_{11}|$ เท่ากับ -21.08 dB ที่ความถี่ 915 MHz ซึ่งเป็นความถี่กลางของสายอากาศมีค่า $|S_{11}|$ เท่ากับ -22.34 dB และที่ความถี่ 960 MHz มี $|S_{11}|$ เท่ากับ -14.54 dB ซึ่งยังมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นอยู่ในช่วงความถี่ต่ำและความถี่กลางเมื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลอง อันเนื่องมาจากการจำลองของสายอากาศในโปรแกรมจำลองไม่มีการออกแบบในส่วนของคอนเนคเตอร์เชื่อมต่อสัญญาณ ที่ไม่ทราบคุณสมบัติของวัสดุและอุปกรณ์ภายใน จึงยากที่จะทำการออกแบบในโปรแกรมเพื่อจำลองร่วมกับสายอากาศ อีกทั้งขั้นตอนของการสร้างสายอากาศอาจมีความคลาดเคลื่อน อย่างไรก็ตามจากผลการทดสอบของ $|S_{11}|$ สายอากาศที่ออกแบบยังคงมีช่วงความถี่ที่สามารถใช้งานได้ตรงตามความถี่ 840 MHz - 960 MHz ที่ย่านความถี่ยูเอชเอฟ

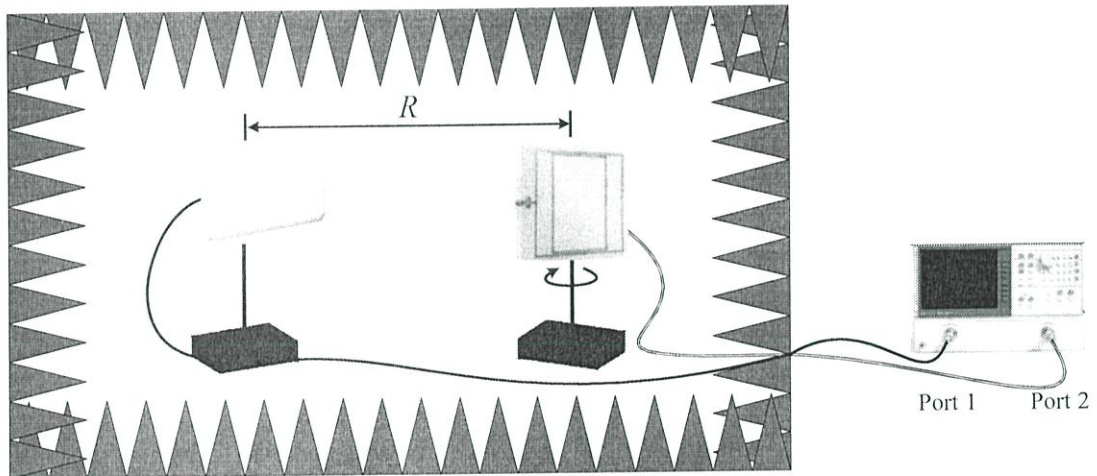
4.3.2 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่น (Radiation pattern)

ในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบเพื่อหาแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศบ่วงรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่ ซึ่งแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นที่ทดสอบได้จะเป็นของสายอากาศภาครับ และใช้สายอากาศไดโพลมาตรฐานเป็นสายอากาศภาคส่ง เนื่องจากสายอากาศไดโพลมาตรฐานมีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นและโพลาริซชันที่แน่นอนใน จึงเหมาะสมกว่าที่จะใช้สายอากาศคู่เหมือนในการทดสอบ เนื่องจากยังไม่ทราบถึงแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นและโพลาริซชัน โดยการติดตั้งสายอากาศภาคส่งและภาครับสำหรับทดสอบแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นจะต้องมีระยะห่างมากพอที่แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศจะคงที่ หรือเรียกระยะดังกล่าวนี้ว่าระยะสนามระยะไกล (far-field : R) ที่สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.1

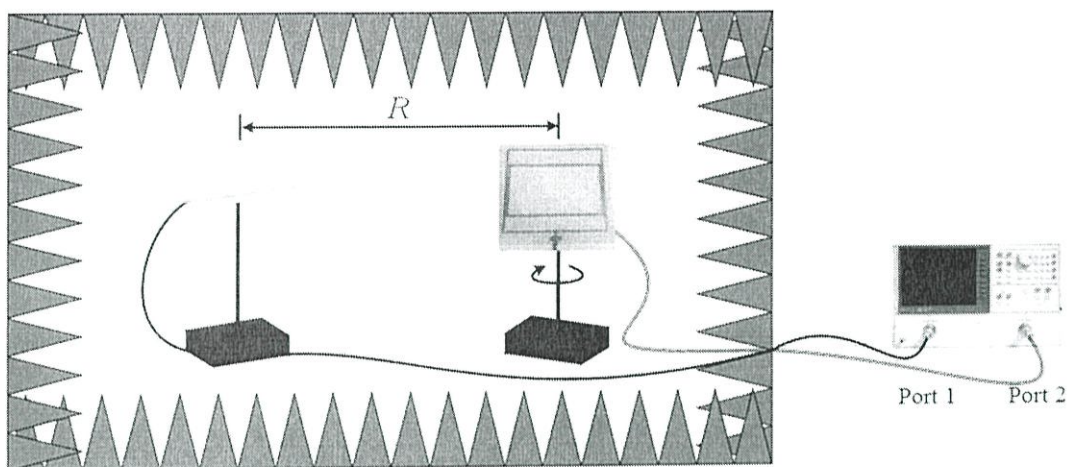
$$R \geq \frac{2(D^2)}{\lambda} \quad (4.1)$$

เมื่อ D คือ มิตยาวที่สุดของสายอากาศ (m)

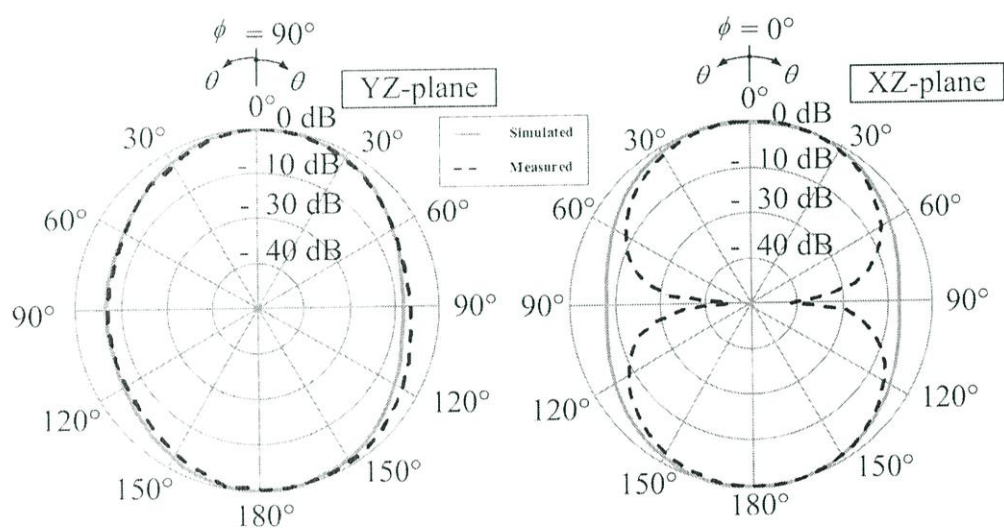
โดยการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศอาร์เอฟไอดีรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่สำหรับการสื่อสารระยะไกลจะทดสอบในห้องไร้การสะท้อนคลื่น ซึ่งเป็นห้องที่มีสภาวะแวดล้อมที่ใกล้เคียงช่องว่างอิสระ (Free space) มากที่สุด โดยการติดตั้งสายอากาศเพื่อทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น จะต้องทำการเชื่อมต่อสายอากาศภาคส่งเข้ากับพอร์ต 1 และเชื่อมต่อสายอากาศภาครับเข้ากับพอร์ต 2 ของเครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่าย ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.4 จะเป็นการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบโพลาริซั่มร่วมในระนาบ yz และในกรณีการทดสอบแบบโพลาริซั่มไขว้จะเปลี่ยนการติดตั้งของสายอากาศส่งให้วางในแนวตั้ง และรูปที่ 4.5 จะเป็นการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบโพลาริซั่มร่วมในระนาบ xz และในกรณีการทดสอบแบบโพลาริซั่มไขว้จะเปลี่ยนการติดตั้งของสายอากาศส่งให้วางในแนวนอน โดยจะพิจารณาที่ความถี่ 840 MHz 915 MHz และ 960 MHz ซึ่งการวางแผนในการทดสอบสายอากาศรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่สามารถอ้างอิงได้จากรูปที่ 4.4 และ รูปที่ 4.5 โดยผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเปรียบเทียบกับผลการจำลองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.6



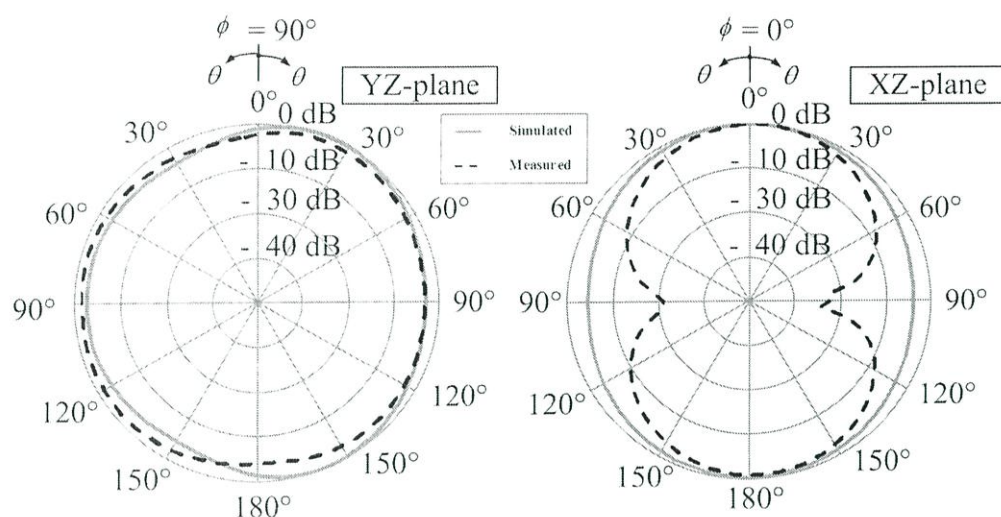
รูปที่ 4.4 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ yz



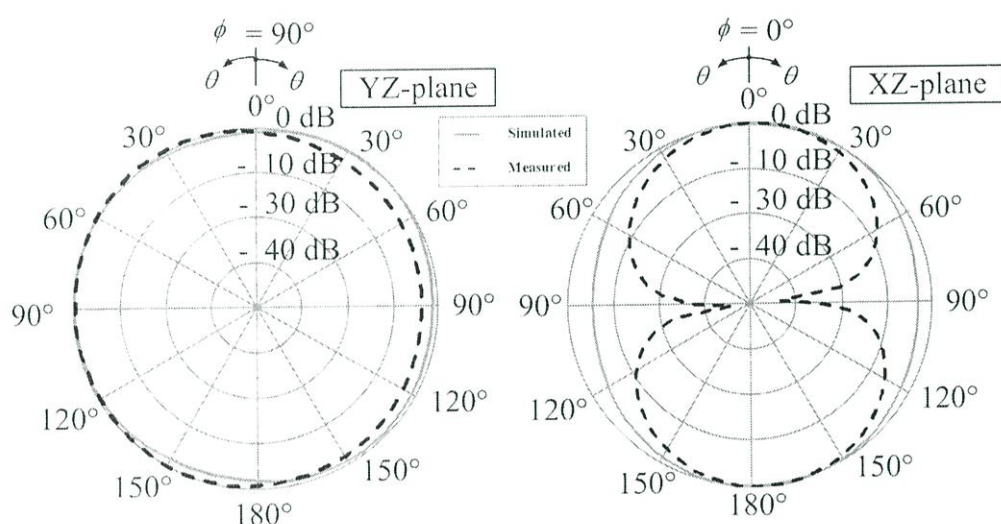
รูปที่ 4.5 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ xz



(ก) ความถี่ 840 MHz



(ข) ความถี่ 915 MHz



(ค) ความถี่ 960 MHz

รูปที่ 4.6 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบ ในระนาบ yz และ ระนาบ xz โดยภาพ (ก) (ข) และ (ค) แสดงความถี่ที่ 840 MHz 915MHz และ 960 MHz ตามลำดับ

ในรูปที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ xz และ ระนาบ yz ตามลำดับ ซึ่งเป็นการแสดงผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์รวมเท่านั้น เนื่องจากกำลังงานที่รับได้จากการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์ไขว้วันั้น มีค่าน้อยกว่ากำลังงานที่รับได้จากการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์รวมถึง 40 dB จึงสามารถสรุปได้ว่า สายอากาศเครื่องอ่านรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่เป็นสายอากาศที่มีโพลาไรซ์เป็นเชิงเส้นแนวนอนที่ดีที่สุด และพบว่าผลการจำลองและผลการทดสอบของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ได้มีความสอดคล้องและมีความสมมาตรกันในระนาบ yz แต่ที่ระนาบ xz มีความคลาดเคลื่อนซึ่งได้วิเคราะห์ถึงสาเหตุของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในผลการทดสอบเนื่องจากอาจมีการเชื่อมต่อระหว่างสายนำสัญญาณและคอนเนคเตอร์ ซึ่งอยู่ด้านหลังของสายอากาศภาครับ

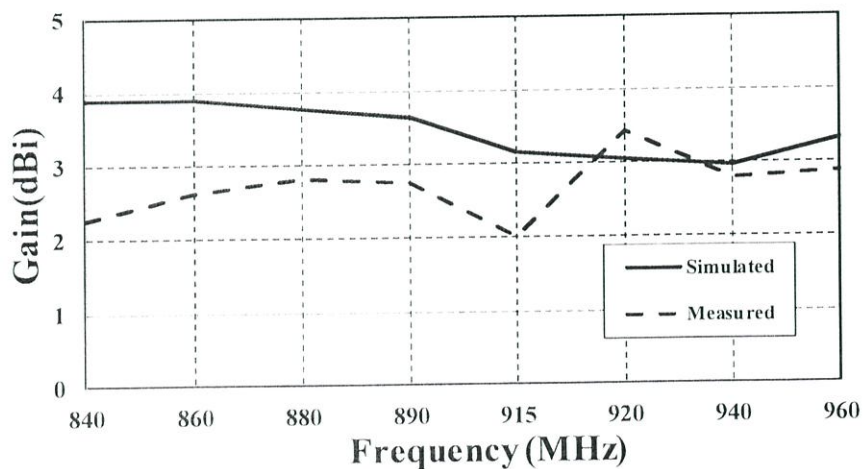
โดยขณะที่สายอากาศมีการหมุน สายนำสัญญาณที่เชื่อมต่ออยู่ที่ด้านหลังจะเกิดการหมุนตามไปด้วย ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.4 และ รูปที่ 4.5 ซึ่งมีโอกาสที่จะทำให้เกิดการเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างสายนำสัญญาณร่วมกับสายอากาศภาครับและภาคส่ง และการส่งสัญญาณที่มาจากเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายจะต้องผ่านสายนำสัญญาณที่มีความยาวมาสู่สายอากาศ และมีการเชื่อมต่อกันระหว่างคอนเนคเตอร์และสายนำสัญญาณอยู่มาก จึงเป็นอีกสาเหตุที่ทำให้สัญญาณที่มาจากภาครับและภาคส่งเกิดการสูญเสีย เป็นผลให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในผลการทดสอบเกิดความคลาดเคลื่อนดังกล่าว

4.3.3 อัตราขยาย (Gain)

สำหรับการทดสอบอัตราขยายของสายอากาศสามารถใช้วิธีการติดตั้งดังรูปที่ 4.5 แต่จะไม่มี การหมุนที่สายอากาศภาครับ โดยใช้สายอากาศไดโพลมาตรฐานเป็นสายอากาศภาคส่ง ที่มี อัตราขยายเท่ากับ 2dBi ที่ความถี่และใช้สายอากาศอาร์เอฟไอดีรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่เป็น สายอากาศภาครับ เพื่อทดสอบหาอัตราขยาย ซึ่งอัตราขยายของสายอากาศที่ใช้ทดสอบสามารถ คำนวณได้จากสมการที่ 4.2 โดยการติดตั้งสายอากาศเพื่อทดสอบอัตราขยายสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.5 และผลการทดสอบอัตราขยายสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.7

$$(G_{0t})_{dB} + (G_{0r})_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_t} \right) \quad (4.2)$$

- เมื่อ G_{0t} คือ อัตราขยายของสายอากาศภาคส่ง (dBi)
 G_{0r} คือ อัตราขยายของสายอากาศภาครับ (dBi)
 R คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศภาคส่งและสายอากาศภาครับ (m)
 λ คือ ความยาวคลื่นของความถี่ที่ใช้งาน (m)
 P_t คือ กำลังของภาคส่ง (W)
 P_r คือ กำลังของภาครับ (W)



รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบอัตราขยายระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบ

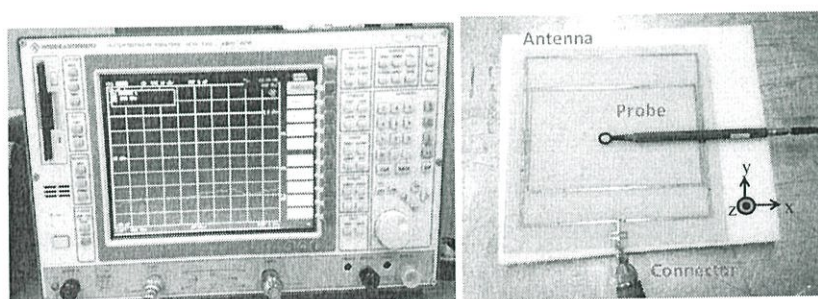
จากรูปที่ 4.7 แสดงผลการเปรียบเทียบอัตราขยายของสายอากาศอาร์เอฟไอทีรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่โดยที่ความถี่ 840 MHz 915 MHz และ 960 MHz มีอัตราขยาย 2.259 dBi 2.002 dBi และ 2.872 dBi ตามลำดับ ซึ่งแนวโน้มของอัตราขยายของสายอากาศที่เพิ่มขึ้นเมื่อความถี่สูงขึ้น โดยมีความคลาดเคลื่อนกันระหว่างผลจากการจำลองและผลจากการทดสอบ และสังเกตได้ว่าอัตราขยายที่ได้จากการทดสอบมีค่าน้อยกว่าผลการจำลองในแถบความถี่ต่ำ โดยมีความคลาดระหว่างผลการจำลองกับผลการทดสอบแตกต่างกัน 0.765 dBi โดยสาเหตุอาจจะเกิดจากสัญญาณที่ส่งมาจากเครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่ายเกิดการสูญเสียระหว่างคอนเนคเตอร์และสายนำสัญญาณ ดังที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น และเนื่องจากการสร้างสายอากาศลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีวัสดุฐานรองที่มีส่วนประกอบนอกเหนือจากทองแดงจึงทำให้สัญญาณที่เคลื่อนที่ผ่านวัสดุดังกล่าวมีการสูญเสียเกิดขึ้น

4.4 การทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็ก

การทดสอบถึงคุณลักษณะต่างๆของสายอากาศจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องมือที่เหมาะสม เพื่อทดสอบสายอากาศอาร์เอฟไอทีรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่มีดังนี้

- ห้องไร้การสะท้อนของคลื่น (Microwave anechoic chamber)
- เครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่าย (Network analyzer) รุ่น ROHDE & SCHWARZ
- สายนำสัญญาณอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม
- โพรบวัดสนามแม่เหล็ก รุ่น RF R50-1

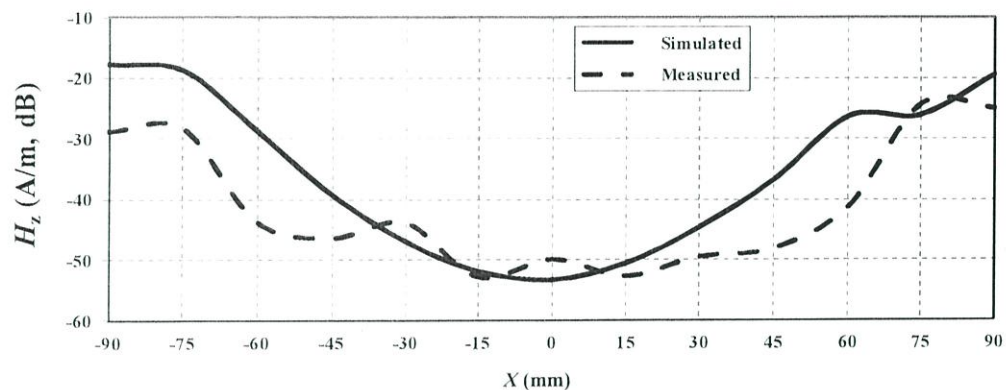
การทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กทำได้โดยนำสายอากาศอาร์เอฟไอทีรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่เชื่อมต่อเข้ากับสายนำสัญญาณต่อเข้าพอร์ตที่ 1 ของเครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่ายและพอร์ตที่ 2 ต่อเข้ากับสายนำสัญญาณที่ต่อกับโพรบวัดสนามแม่เหล็กโดยการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.8



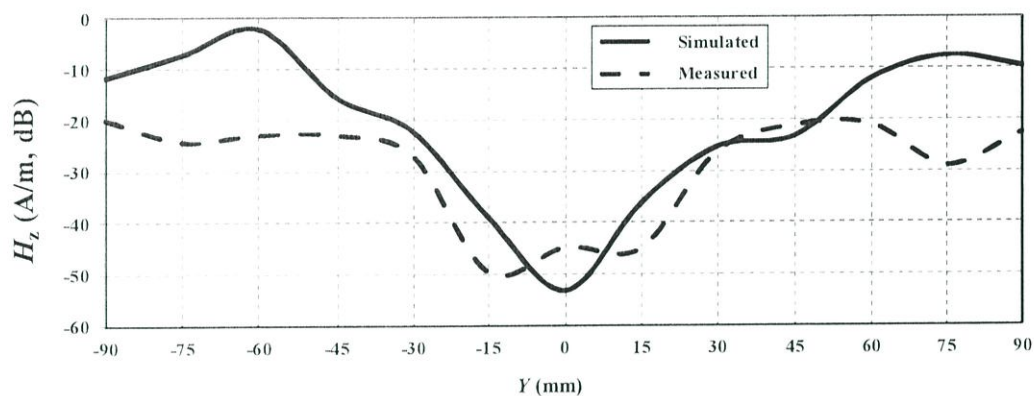
รูปที่ 4.8 การทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศ

รูปที่ 4.8 แสดงการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศอาร์เอฟไอทีรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่ที่ความถี่ 840 915 และ 960 MHz ตามลำดับ ทดสอบโดยใช้โพรบวัดครอบคลุมพื้นที่ตามแนวแกน x และ y ของสายอากาศ โดยทำการตั้งระยะห่างโพรบวัดที่ระนาบ

แนวแกน z ที่ระยะห่าง 5 มิลลิเมตรจากสายอากาศการเปรียบเทียบความเข้มสนามแม่เหล็กโดยปริมาณ $|S_{z1}|$ แสดงดังรูปที่ 4.9 ถึง 4.11

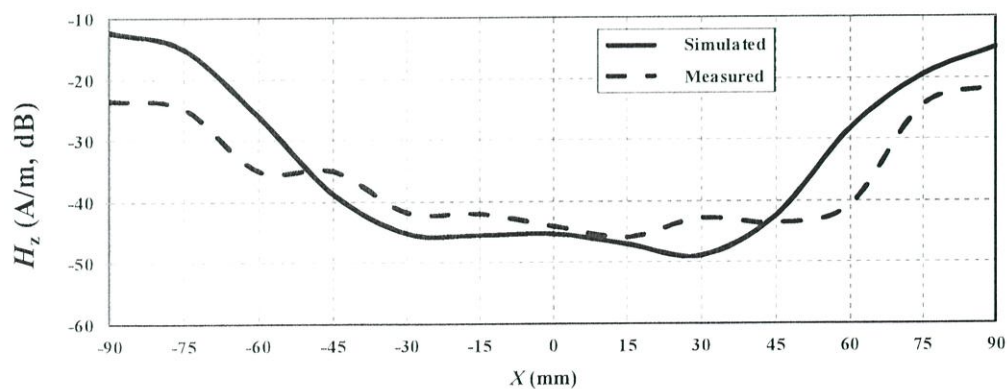


(ก) การกระจายสนามแม่เหล็กในแนวแกน x

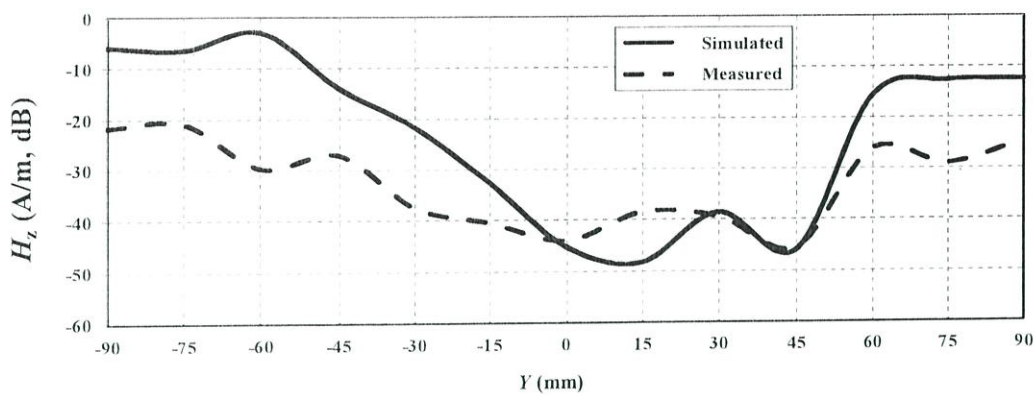


(ข) การกระจายสนามแม่เหล็กในแนวแกน y

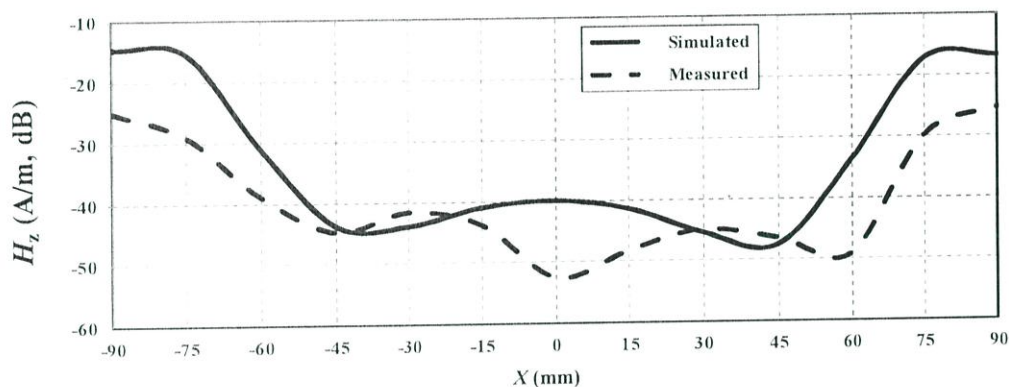
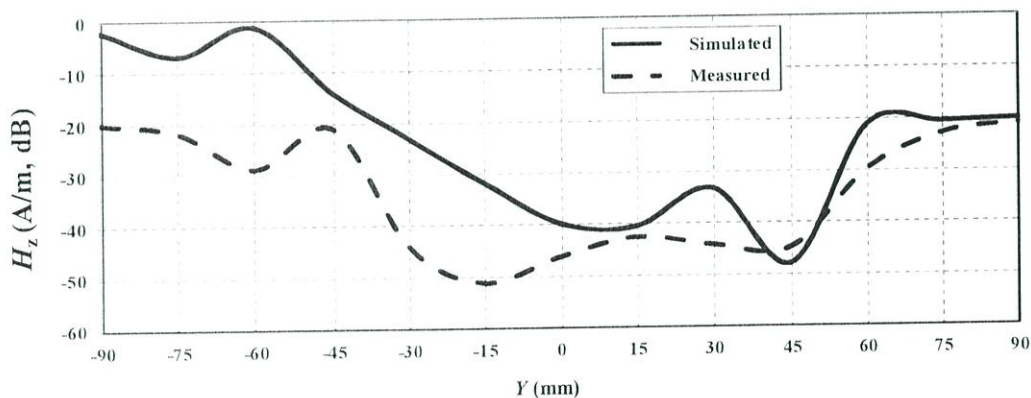
รูปที่ 4.9 ผลการจำลองและการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศที่ความถี่ 840 MHz ($z = 5$ มิลลิเมตร)



(ค) การกระจายสนามแม่เหล็กในแนวแกน x

(ข) การกระจายสนามแม่เหล็กในแนวแกน y

รูปที่ 4.10 ผลการจำลองและการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศที่ความถี่ 915 MHz ($\lambda = 5$ มิลลิเมตร)

(ก) การกระจายสนามแม่เหล็กในแนวแกน x (ข) การกระจายสนามแม่เหล็กในแนวแกน y

รูปที่ 4.11 ผลการจำลองและการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศที่ความถี่ 960 MHz ($\lambda = 5$ มิลลิเมตร)

จากรูปที่ 4.9 ถึง 4.11 แสดงผลการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงระยะขนาดตามแนวระนาบ x ที่ระยะระหว่าง -90 มิลลิเมตร $\leq x \leq 90$ มิลลิเมตร และระนาบ y ที่ระยะระหว่าง -90 มิลลิเมตร $\leq y \leq 90$ มิลลิเมตร ของสายอากาศที่ความถี่

840 MHz 915 MHz และ 960 MHz ตามลำดับ โดยที่ความถี่ทั้งสามมีการกระจายสนามแม่เหล็กที่ใกล้เคียงกันแต่จะสังเกตเห็นได้ว่ามีความแตกต่างในระนาบ y ซึ่งจะได้ผลความเข้มของสนามแม่เหล็กที่สูงกว่าระนาบแนวแกน x ที่บริเวณ -30 มิลลิเมตร ถึง -90 มิลลิเมตร มีผลต่างเฉลี่ยจากการทดสอบที่ความถี่ 840 MHz เท่ากับ 14.7 dB ผลต่างเฉลี่ยที่ความถี่ 915 MHz เท่ากับ 4.5 dB และมีผลต่างเฉลี่ยที่ความถี่ 960 MHz เท่ากับ 8.7 dB ตามลำดับ ซึ่งเกิดจากที่บริเวณ -30 มิลลิเมตร ถึง -90 มิลลิเมตรของระนาบแกน y อยู่ใกล้บริเวณจุดบ่อนสัญญาณของสายอากาศ

4.5 สรุป

ในบทนี้ได้แสดงให้เห็นว่าสามารถสร้างความหนาแน่นและการกระจายสนามแม่เหล็กครอบคลุมทั่วบริเวณพื้นผิวของสายอากาศ โดยมี $|S_{11}|$ ต่ำกว่า -10 dB ครอบคลุมช่วงความถี่ 700 MHz - 1000 MHz ซึ่งมีแบนด์วิดท์ 300 MHz สายอากาศที่ออกแบบยังคงมีช่วงความถี่ที่สามารถใช้งานได้ตรงตามความถี่ 840 MHz - 960 MHz ที่ย่านความถี่ยูเอชเอฟ ผลการเปรียบเทียบอัตราขยายของสายอากาศอาร์เอฟไอดีรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่โดยที่ความถี่ 840 MHz 915 MHz และ 960 MHz มีอัตราขยาย 2.259 dBi 2.002 dBi และ 2.872 dBi ตามลำดับ ซึ่งแนวโน้มของอัตราขยายของสายอากาศที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อความถี่สูงขึ้น จากการทดสอบการกระจายสนามแม่เหล็กโดยวัดบริเวณระนาบแกน x และ y ครอบคลุมบริเวณสายอากาศตามแนวระนาบ x ที่ระยะระหว่าง -90 มิลลิเมตร $\leq x \leq 90$ มิลลิเมตร และระนาบ y ที่ระยะระหว่าง -90 มิลลิเมตร $\leq y \leq 90$ มิลลิเมตร โดยมีการกระจายสนามแม่เหล็กครอบคลุมพื้นที่ขนาด 18 เซนติเมตร \times 18 เซนติเมตร

บทที่ 5

การประเมินผลและการประยุกต์ใช้งานในการอ่านแท็ก ในสนามระยะใกล้และระยะไกล

5.1 บทนำ

ในบทนี้จะนำเสนอการประเมินผลและการประยุกต์ใช้งานสายอากาศอาร์เอฟไอดีรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่ที่ได้ทำการออกแบบและทดสอบเบื้องต้นซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 และบทที่ 4 มาเชื่อมต่อกับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟ ของบริษัท Motorola รุ่น XR480 ช่วงความถี่ยูเอชเอฟและทดสอบประยุกต์ใช้งานกับสนามระยะใกล้ซึ่งจะพิจารณาความสามารถในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กด้วยค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวของความเข้มสนามแม่เหล็กตามแนวแกน z

5.2 การประเมินการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศกับแท็กในสนามระยะใกล้

ในบทนี้แสดงการทดสอบเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวของสายอากาศเพื่อยืนยันสมรรถนะของสายอากาศรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่ สายอากาศต้นแบบต่อเข้ากับเครื่องอ่านข้อมูลย่านยูเอชเอฟสนามระยะใกล้เพื่อใช้ในการตรวจสอบแท็กอาร์เอฟไอดี ที่สนามระยะใกล้ย่านยูเอชเอฟ

5.2.1 อุปกรณ์สำหรับการทดสอบระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟแบบสนามระยะใกล้

แนวคิดของอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟแบบสนามระยะใกล้เป็นการทำให้ระบบยูเอชเอฟอาร์เอฟไอดีมีการทำงานที่ระยะสั้น และมีวัตถุประสงค์การใช้งานที่แตกต่างจากอาร์เอฟไอดีย่านความถี่แอลเอฟ และความถี่เอชเอฟ โดยการทดสอบสำหรับระบบอาร์เอฟไอดีสนามระยะใกล้มีหลายวิธีดังนี้

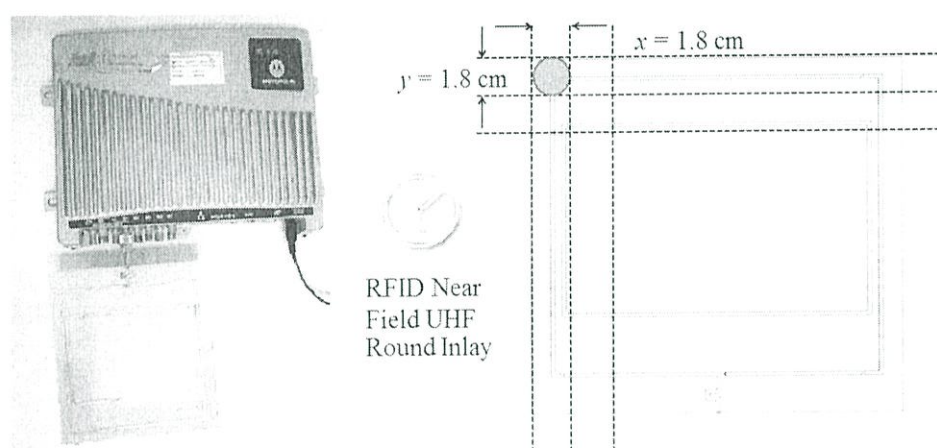
- เครื่องอ่านข้อมูลที่มีกำลังงานสูงสุด โดยใช้สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลและแท็กมาตรฐาน (สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลและแท็กที่ใช้ในสนามระยะใกล้) ซึ่งวิธีการนี้เป็นวิธีการที่แท็กอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟ ซึ่งโดยปกติสามารถอ่านแท็กได้ในระยะไกล นอกจากนี้สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลก็ควรที่จะอ่านแท็กได้ เมื่อแท็กถูกเคลื่อนเข้ามาใกล้กับตัวสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูล อย่างไรก็ตามในการนำไปประยุกต์ใช้งาน ในบางครั้งมีความต้องการให้สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอ่านแท็กในบริเวณใกล้ๆเท่านั้น ซึ่งการทดสอบด้วยวิธีนี้ สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลนั้นสามารถอ่านแท็กในระยะใกล้ ซึ่งอาจจะเกินความต้องการในการประยุกต์ใช้งาน

- ใช้เครื่องอ่านข้อมูลที่มีกำลังงานสูงสุด โดยใช้สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูล และแท็กมาตรฐาน (สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลและแท็กที่ใช้ในสนามระยะใกล้) เป็นวิธีที่ไม่จำเป็นต้องใช้สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลและแท็กสนามระยะสั้น อย่างไรก็ตามเมื่อใช้เครื่องอ่านข้อมูลที่มีกำลังงานต่ำลงกับแท็กที่มีสมรรถนะสูง สมรรถนะในการอ่านแท็กบนวัสดุที่ไม่เหมาะสมก็ยังคงสามารถอ่านได้

- ใช้แท็กสนามระยะใกล้ โดยสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลมาตรฐานกับเครื่องอ่านข้อมูลกำลังงานสูงสุด โดยแท็กดังกล่าวจะสามารถใช้อ่านกับสายอากาศที่ใช้การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก ดังนั้นการติดต่อสื่อสารจะตอบสนองเฉพาะบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กที่เข้ม ซึ่งเป็นบริเวณที่ใกล้กับสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูล

- ใช้สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลและแท็กสำหรับสนามระยะใกล้ วิธีการนี้เป็นวิธีการทดสอบที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการทดสอบระบบอาร์เอฟไอดีในสนามระยะใกล้ แต่ค่าใช้จ่ายในการทดสอบสูง และสามารถออกแบบการทดสอบคล้ายกับการทดสอบในระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ต่ำและความถี่สูง ซึ่งสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลแบบขดลวดจะสามารถกระจายบริเวณสนามแม่เหล็กได้ดี

ในการทดสอบแสดงในรูปที่ 5.1 สายอากาศต้นแบบมีการเชื่อมต่อกับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟ ของบริษัท Motorola รุ่น XR480 กำลังส่งสูงสุด 30 dBm รองรับมาตรฐาน EPC Gen 2 [24] ซึ่งจะนำมาต่อเข้ากับสายอากาศต้นแบบ สำหรับสายอากาศแท็กอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟสนามระยะใกล้ ของบริษัท SAG รุ่น RFID-Near Field UHF Round Inlay [25] ครอบคลุมความถี่ 860 MHz - 960 MHz ขนาด 1.8 เซนติเมตร ผลการทดสอบระยะห่างในการอ่านได้แสดงในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 5.1 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดสอบการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศต้นแบบกับแท็กสนามระยะใกล้

โดยที่แท็กถูกวางในตำแหน่งสมมาตรบนแผ่นโฟมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 17.5 เซนติเมตร แบ่งเป็นตารางสี่เหลี่ยมได้จำนวน 90 ช่อง โดยแต่ละช่องมีขนาด 1.8 เซนติเมตร \times 1.8 เซนติเมตร (ขนาดเท่ากับแท็ก) จำนวนของแท็กอาร์เอฟไอดี ที่ตรวจสอบได้อย่างถูกต้องจะถูกบันทึกไว้ เมื่อโฟมอยู่ที่ตำแหน่งเหนือสายอากาศ เพื่อให้แน่ใจในความถูกต้องของผลทดสอบแท็กอาร์เอฟไอดีที่ติดอยู่บนแผ่นโฟมจะถูกวางแบบสุ่มไว้บนสายอากาศโดยเฉลี่ยจากการทดสอบห้าครั้งและบันทึก

5.2.2 ช่วงการอ่านติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศกับแท็ก

ในการพิจารณาความสามารถในการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศต้นแบบกับแท็กกำหนดให้

- สื่อสารได้สำเร็จ แสดงผลเป็นสีเหลือง หรือเลข 1
- ถ้าการติดต่อสื่อสารไม่สำเร็จ แสดงผลเป็นสีขาว หรือเลข 0

ผลการทดสอบระยะห่างในการอ่านได้แสดงในรูปที่ 5.18 สายอากาศรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่มือการตรวจจับสองทิศทางที่แกน z ของสายอากาศ

ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของสายอากาศที่ 0 cm ในระนาบแกน z										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

รูปที่ 5.2 ระยะในการอ่านแท็ก เมื่อ H เท่ากับ 0 เซนติเมตร

ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของสายอากาศที่ 0.5 cm ในระนาบแกน z										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
7	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

รูปที่ 5.3 ระยะในการอ่านแท็ก เมื่อ H เท่ากับ 0.5 เซนติเมตร

ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของสายอากาศที่ 1 cm ในระนาบแกน z										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
7	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1

รูปที่ 5.4 ระยะในการอ่านแท็ก เมื่อ H เท่ากับ 1 เซนติเมตร

ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของสายอากาศที่ 1.5 cm ในระนาบแกน z										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1
7	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1
8	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1
9	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1

รูปที่ 5.5 ระยะในการอ่านแท็ก เมื่อ H เท่ากับ 1.5 เซนติเมตร

ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของสายอากาศที่ 2 cm ในระนาบแกน z										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
3	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
7	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1
8	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1
9	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
10	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0

รูปที่ 5.6 ระยะในการอ่านแท็ก เมื่อ H เท่ากับ 2 เซนติเมตร

ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของสายอากาศที่ 2.5 cm ในระนาบแกน z										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
10	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0

รูปที่ 5.7 ระยะในการอ่านแท็ก เมื่อ H เท่ากับ 2.5 เซนติเมตร

ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของสายอากาศที่ 3 cm ในระนาบแกน z										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
3	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
4	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
5	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 5.8 ระยะในการอ่านแท็ก เมื่อ H เท่ากับ 3 เซนติเมตร

ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของสายอากาศที่ 3.5 cm ในระนาบแกน z										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
3	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
4	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 5.9 ระยะในการอ่านแท็ก เมื่อ H เท่ากับ 3.5 เซนติเมตร

ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของสายอากาศที่ 4 cm ในระนาบแกน z										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 5.10 ระยะในการอ่านแท็ก เมื่อ H เท่ากับ 4 เซนติเมตร

ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของสายอากาศที่ 4.5 cm ในระนาบแกน z										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
3	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 5.11 ระยะในการอ่านแท็ก เมื่อ H เท่ากับ 4.5 เซนติเมตร

ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของสายอากาศที่ 5 cm ในระนาบแกน z										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
3	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 5.12 ระยะในการอ่านแท็ก เมื่อ H เท่ากับ 5 เซนติเมตร

ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของสายอากาศที่ 5.5 cm ในระนาบแกน z										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 5.13 ระยะในการอ่านแท็ก เมื่อ H เท่ากับ 5.5 เซนติเมตร

ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของสายอากาศที่ 6 cm ในระนาบแกน z										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 5.14 ระยะในการอ่านแท็ก เมื่อ H เท่ากับ 6 เซนติเมตร

ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของสายอากาศที่ 6.5 cm ในระนาบแกน z										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 5.15 ระยะในการอ่านแท็ก เมื่อ H เท่ากับ 6.5 เซนติเมตร

ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของสายอากาศที่ 7 cm ในระนาบแกน z										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 5.16 ระยะในการอ่านแท็ก เมื่อ H เท่ากับ 7 เซนติเมตร

ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของสายอากาศที่ 7.5 cm ในระนาบแกน z										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 5.17 ระยะในการอ่านแท็ก เมื่อ H เท่ากับ 7.5 เซนติเมตร

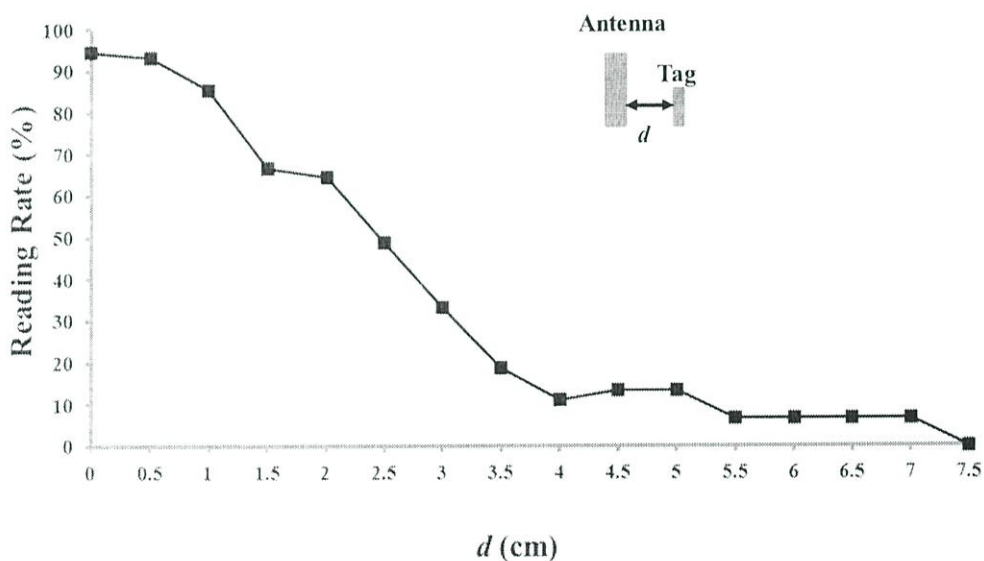
จากการทดสอบการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศต้นแบบกับแท็กสนามระยะใกล้ย่านความถี่เอชเอฟ สามารถคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ได้จากสมการที่ 5.1 และสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.1

$$P_s(z_m) = \frac{\sum_{n=1}^N P_r(y_n)}{N} ; P_s(z_m) \leq 100\% \quad (5.1)$$

โดยที่ N คือ จำนวนเส้นทั้งหมดที่แบ่งตามแนวแกน y
 $P_s(z_m)$ คือ เปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ที่ตำแหน่ง z_m ใดๆ
 n เท่ากับ $1, 2, 3, \dots, N$
 m เท่ากับ $1, 2, 3, \dots, M$

ตารางที่ 5.1 เปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ของการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศต้นแบบกับแท็ก

ระยะห่างระหว่างแท็กกับ สายอากาศต้นแบบ (เซนติเมตร)	เปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ในการติดต่อสื่อสารในแนวแกน ระหว่าง สายอากาศต้นแบบกับแท็กต่างๆ
0	94.44
0.5	93.33
1.0	85.56
1.5	66.67
2.0	64.44
2.5	48.89
3.0	33.33
3.5	18.89
4.0	11.11
4.5	13.33
5.0	13.33
5.5	6.67
6.0	6.67
6.5	6.67
7.0	6.67
7.5	0



รูปที่ 5.18 เปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ของการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศต้นแบบกับแท็ก

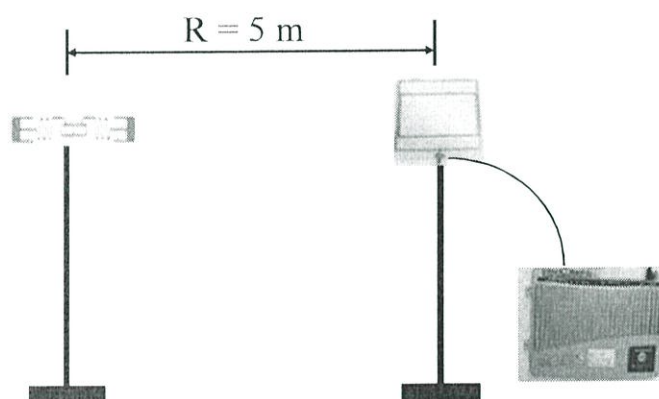
ซึ่งจากการทดสอบสายอากาศต้นแบบสามารถอ่านแท็กอาร์เอฟไอดีย่านความถี่เอชเอฟสนามระยะใกล้ได้ การกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศในระนาบแนวแกน z ลดลงเมื่อมี

ระยะห่างจากสายอากาศต้นแบบเพิ่มมากขึ้น โดยสายอากาศสามารถอ่านแท็กที่วางในระนาบแนวแกน \angle ได้ที่ระยะไกลสุด 7 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 5.18

5.3 การทดสอบการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศกับแท็กในสนามระยะไกล

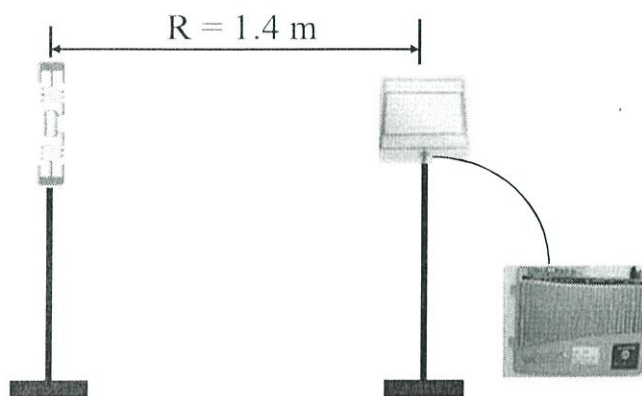
การทดสอบถึงคุณลักษณะต่างๆของสายอากาศจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องมือที่เหมาะสม โดยความสามารถในการอ่านแท็กของสายอากาศจะไม่ขึ้นอยู่กับสายอากาศเพียงอย่างเดียวแต่มีองค์ประกอบมากมายที่มีผลต่อการอ่านแท็ก เช่น ชนิดของเครื่องอ่านข้อมูล ชนิดและขนาดของแท็ก กำลังส่งของเครื่องอ่านข้อมูล ทิศทางในการวางตัวแท็ก สภาพแวดล้อมก็ส่งผลกระทบต่อ การอ่านแท็กเช่นกัน อุปกรณ์การทดสอบสายอากาศอาร์เอฟไอดีรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่สำหรับการสื่อสารระยะไกล มีดังนี้

- เครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟ ของบริษัท Motorola รุ่น XR480 กำลังงานสูงสุด 30 dBm
- สายอากาศแท็กอาร์เอฟไอดี ย่านความถี่ยูเอชเอฟสนามระยะไกล
- สายนำสัญญาณระหว่างสายอากาศกับเครื่องอ่านข้อมูล



รูปที่ 5.19 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นโดยแท็กติดตั้งในระนาบแนวนอน

จากรูปที่ 5.19 แสดงการทดสอบการอ่านแท็กโดยแท็กถูกติดตั้งในระนาบแนวนอนเมื่อทำการทดสอบวัดระยะทางการอ่านข้อมูลที่ไกลที่สุด พบว่ามีระยะการอ่านแท็กที่ไกลที่สุดได้ 5 เมตร ซึ่งอยู่ในบริเวณที่มีการทำงานสนามระยะไกล



รูปที่ 5.20 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นโดยแท่งติดตั้งในระนาบแนวตั้ง

จากรูปที่ 5.20 แสดงการทดสอบการอ่านแท่งโดยแท่งถูกติดตั้งในระนาบแนวตั้งเมื่อทำการทดสอบ วัดระยะทางการอ่านข้อมูลทีไกลที่สุด พบว่ามีระยะการอ่านแท่งทีไกลที่สุดได้ 1.4 เมตรผลที่ได้จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าในการอ่านแท่งที่ติดตั้งในระนาบแนวตั้งจะไม่ดีเท่าผลจากการอ่านแท่งที่ติดตั้งในระนาบแนวนอนซึ่งเกิดจากสายอากาศมีการโพลาไรซ์แนวนอน สำหรับสายอากาศที่นำมาประยุกต์ใช้งานในระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่เอชที่มีการสื่อสารระยะไกล มีโครงสร้างและขนาดดังตารางที่ 3.2 โดยสายอากาศดังกล่าวมีมิติที่ใหญ่ที่สุด (D) เท่ากับ 25 เซนติเมตร และสนใจการทำงานของสายอากาศในบริเวณสนามระยะไกล ดังนั้นสามารถคำนวณหาบริเวณการทำงานได้จากสมการที่ 4.1 ในสนามระยะไกลพบว่าระยะที่สายอากาศสามารถทำงานได้ในบริเวณสนามระยะไกลจะต้องมีระยะไม่ต่ำกว่า 40 เซนติเมตร

5.4 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ของการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศต้นแบบกับแท่งโดยที่แท่งถูกวางในตำแหน่งสมมาตรบนแผ่นโฟมแบ่งเป็นตารางได้จำนวน 90 ช่องจากการทดสอบได้แสดงในรูปที่ 5.18 ยืนยันสมรรถนะของสายอากาศรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่ในทิศทางแนวแกน z ของสายอากาศจากผลที่ได้แสดงสมรรถนะในระยะการอ่านที่ 0 เซนติเมตร โดยเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ที่ 94 เปอร์เซ็นต์ ทำได้ในระยะทางทีไกลที่สุด 7 เซนติเมตร แสดงการกระจายสนามแม่เหล็กเหนือพื้นที่การอ่านของสายอากาศจากผลที่ได้สามารถสรุปได้ว่าสายอากาศที่สร้างขึ้นมาครอบคลุมบริเวณการติดต่อสื่อสารขนาด 18 เซนติเมตร \times 18 เซนติเมตร ดังนั้นมีความเป็นไปได้สูงที่จะนำสายอากาศไปใช้ในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ยูเอชเอฟสูงขึ้นไป การทดสอบการอ่านแท่งในสนามระยะไกลพบว่ามีการอ่านแท่งทีไกลที่สุดได้ 5 เมตรซึ่งอยู่ในบริเวณที่มีการทำงานสนามระยะไกลผลที่ได้จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าในการอ่านแท่งที่ติดตั้งในระนาบแนวตั้งจะไม่ดีเท่าผลจากการอ่านแท่งที่ติดตั้งในระนาบแนวนอนซึ่งเกิดจากสายอากาศมีการโพลาไรซ์แนวนอน

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอสายอากาศเครื่องอ่านรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่สำหรับการสื่อสารอาร์เอฟไอดีย่านยูเอชเอพรีระยะใกล้และระยะไกลใช้งานที่ช่วงความถี่เอชเอฟในระบบอาร์เอฟไอดี โดยมีจุดประสงค์เพื่อออกแบบสายอากาศที่มีขนาดเล็ก ราคาถูก โครงสร้างเรียบง่ายไม่ซับซ้อน และเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ติดตั้งร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ ซึ่งเริ่มจากการหาขนาดของพารามิเตอร์ที่เหมาะสม และปรับปรุงโครงสร้างของสายอากาศเพื่อให้คุณลักษณะของสายอากาศนั้นสอดคล้องกับมาตรฐาน เพื่อนำไปสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบสำหรับใช้งานจริงต่อไป

ในบทนี้จะแบ่งหัวข้อหลักออกเป็น 2 หัวข้อ โดยในหัวข้อแรกจะกล่าวถึง พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศอาร์เอฟไอดีรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่สำหรับการสื่อสารระยะใกล้และไกลรวมถึงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองและผลที่ได้จากการทดสอบของสายอากาศ และการทดสอบการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศกับแท็ก และในส่วนของสองนั้นจะเป็นการเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนาต่อไป

6.1 สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้ได้อธิบายถึงความเป็นมาและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย โดยจะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้งานสายอากาศอาร์เอฟไอดีรวมไปถึงวิธีการออกแบบสายอากาศเครื่องอ่านรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่โดยใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO ในการจำลองผลเพื่อหาขนาดของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก เพื่อนำค่าพารามิเตอร์ไปสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบและนำไปทดสอบคุณสมบัติต่อไป

นอกจากนี้ได้แสดงให้เห็นว่าสายอากาศทำให้มีความถี่ครอบคลุมความถี่ที่ต้องการได้ โดยมี $|S_{11}|$ ต่ำกว่า -10 dB ครอบคลุมช่วงความถี่ 700 MHz - 1000 MHz ซึ่งมีแบนด์วิดธ์ 300 MHz สำหรับการกระจายสนามแม่เหล็กในระนาบแนวแกน z นั้น สายอากาศมีการกระจายสนามแม่เหล็กมากขึ้นในบริเวณตรงกลางของสายอากาศโดยแสดงจากค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ 99.4 เปอร์เซ็นต์

ในการออกแบบสายอากาศรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่ที่มีการประยุกต์ใช้กับระบบอาร์เอฟไอดี หลักสำคัญของการออกแบบคือ พิจารณาสายอากาศมีการกระจายสนามแม่เหล็กครอบคลุมบริเวณการอ่านแท็ก การนำเสนอสายอากาศรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากชนิดบ่วงคู่ได้แสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของสายอากาศ การสร้างความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กและการกระจายที่มีความสม่ำเสมอในเขตสนามระยะใกล้ของสายอากาศที่ครอบคลุมพื้นที่การอ่านในระนาบแกน x และ y ครอบคลุมบริเวณสายอากาศขนาด 18 เซนติเมตร x 18 เซนติเมตร ซึ่งสายอากาศดังกล่าวมีระยะการอ่านในสนามระยะใกล้ที่ 7 เซนติเมตรและในสนามระยะใกล้ที่ 5 เมตรซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศ

6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

จากผลการศึกษาของผลกระทบของพารามิเตอร์พบว่าสายอากาศโครงสร้างดังกล่าวความสามารถที่จะออกแบบเพื่อเพิ่มแบนด์วิดธ์ของสายอากาศ ให้มีช่วงความถี่ที่ใช้งานได้มากถึง 300 MHz ครอบคลุมความถี่ที่ต้องการตั้งแต่ 840 MHz - 960 MHz เป็นโครงสร้างที่เรียบง่ายและยังสามารถใช้เทคนิคแบ่งส่วนบ่วงเพื่อเพิ่มการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศได้อีก และผลจากการจำลองการติดต่อแท่งที่ระนาบแกน x ของสายอากาศแสดงสมรรถนะในระยะการอ่านซึ่งอัตราการอ่าน 94% และสามารถประสบความสำเร็จในการอ่านแท่งระยะทาง 7 เซนติเมตรในสนามระยะใกล้และสำหรับสนามระยะไกลสามารถติดต่อแท่งได้ระยะทาง 5 เมตร สำหรับการใช้งานในเชิงพาณิชย์นั้นการนำสายอากาศที่สร้างบนแผ่นวงจรพิมพ์ไปประยุกต์ใช้งานในที่ที่เป็นระบบอาร์เอฟไอดี เช่น บัตรประจำตัวพนักงาน บัตรโดยสาร บัตรสำหรับเข้าออกห้องพัก บัตรที่จอดรถตามศูนย์การค้า ต่างๆ ป้ายสำหรับติดกระเป๋าเดินทาง ป้ายสำหรับติดสินค้า หนังสือหรือสลากยา ด้านเก็บเงินทางด่วน

ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้เป็นกรนำเสนอการออกแบบและทดสอบสายอากาศเพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ที่สนใจ เพื่อที่จะนำไปพัฒนาปรับเปลี่ยนให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] R. Wantc., "An introduction to RFIDtechnology," *IEEE Pervasive Comput.*, vol. 5, no. 1, pp. 25–33, Jan.–Mar. 2006.
- [2] J. Landt, "The history of RFID," *IEEE Potentials*, vol. 24, no. 4, pp.8–11, Oct.–Nov. 2005.
- [3] K. Finkensteller, *RFID Handbook*, 2nd ed. New York: Wiley, 2004.
- [4] P. Harrop, "Near Field UHF vs. HF for Item Level Tagging" [Online]. Available: http://www.eurotag.org/?Articles_and_Publications
- [5] D. Desmons, "UHF Gen2 for item-level tagging," presented at the RFID World 2006, [Online]. Available: [www.impinj.com/files/ Impinj_ILT_RFID_World.pdf](http://www.impinj.com/files/Impinj_ILT_RFID_World.pdf)
- [6] UHF Gen 2 for Item-Level Tagging Impinj RFID technology series paper [Online]. Available: [http://www.impinj.com/files/ MR_GP_ED_00003_ILT.pdf](http://www.impinj.com/files/MR_GP_ED_00003_ILT.pdf)
- [7] C. Ajluni, "Item-level RFID takes off," *RF Design Mag.*, Sep. 2006.
- [8] "Item-Level Visibility in the Pharmaceutical Supply Chain: A Comparison of HF and UHF RFID Technologies
- [9] Global Control through the RFID Chip [Online]. Available:<http://www.michaeljournal.org/>
- [10] Enginursday RFID technology [Online]. Available: <http://www.sparkfun.com/>
- [11] Smart Automated Car Parking Management System, RFID Card [Online]. Available: <http://alibaba.com/>
- [12] RFID Technology for Libraries [Online]. Available: <http://libbest.com/>
- [13] RFID Knowledge Center [Online]. Available: <http://www.csits.spu.ac.th/>
- [14] Mobile shelving for light loads, featuring RFID [Online]. Available: <http://www.ssi-schaefer.co.th/>
- [15] S. Kawdungta, "Genetic Algorithm Optimization of Loop Antenna for Radio Frequency Identification (RFID) System at Low Frequency Band," Master Thesis, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, 2008.
- [16] P. Cole, "Coupling Relations in RFID System", "Coupling Relations in RFID System II: Practical Performance Measurements", white paper, 2003.
- [17] N. Contaxes and A. J. Hatch, "High-Frequency Fields in Solenoidal Coils", *Journal of Applied Physics*, Aug. 1969, vol. 40, no. 9, pp. 3548-3550
- [18] P. V. Nikitin, K. V. S. Rao, and S. Lazar, "An overview of near field UHF RFID," in *Proc. IEEE Int. Conf. on RFID*, Mar. 2007, pp. 167–174.
- [19] AN678 RFID Coil Design, [Online]. Available: <http://www.microchip.com>
- [20] Z. N. Chen, C. K. Goh, X. Qing "Loop Antenna for UHF Near-field RFID Reader," *Antenna and Propagation (LuCAP)*, pp.1-4, 2010.

- [21] J. Shi, X. Qing, Z. N. Chen, and C. K. Goh., “Electrically large dual-loop antenna for UHF near-field RFID reader” *IEEE Transactions on antennas and propagation*, vol. 61, no.3, pp. 1019–1025, 2013.
- [22] X. Qing, C. K. Goh, and Z. N. Chen., “A Broadband UHF near-field RFID antenna ” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 58, no.12, pp. 3829–3837, 2010.
- [23] Bijaya Shrestha, Alef Elsherbeni, and Leena Ukkonen., “UHF RFID reader antenna for near-field and far-field operations ” *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 10, pp. 1274–1277, 2011.
- [24] RFID Reader รุ่น Motorola XR480, [Online]. Available: <http://www.motorola.com>
- [25] Near-Field UHF Tag รุ่น Round Inlay, [Online]. Available: <http://www.sag.com.tw>

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล	นายพิษณุ สมบัติคลัง
วัน เดือน ปีเกิด	3 พฤศจิกายน 2526
ที่อยู่	200 ถนนพระยาสุรเสนา ตำบลเสม็ด อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20000
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2552 สำเร็จการศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] P. Sombatkung, R. Pansomboon, and C. Phongcharoenpanich, "Improvement of Spiral Rectangular Shaped Antenna for Short Range RFID Communication," Thailand-Japan Microwave (IJMW2013), Bangkok, Thailand, 2-4 December, 2013.