

สายอากาศร่องรูปตัวเอสแพร่กระจายคลื่นสองทิศทางโพลาไรซ์วงกลมสำหรับ
เครื่องอ่านข้อมูลยูเอชเอฟอาร์เอฟไอดีสากล

CIRCULAR POLARIZED BIDIRECTIONAL S-SLOT ANTENNA
FOR UNIVERSAL UHF-RFID READER



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2560
KMITL-2017-EN-M-010-086

สายอากาศร่องรูปตัวเอสแพร่กระจายคลื่นสองทิศทางโพลาไรซ์วงกลมสำหรับ
เครื่องอ่านข้อมูลยูเอชเอฟอาร์เอฟไอดีสากล

CIRCULAR POLARIZED BIDIRECTIONAL S-SLOT ANTENNA
FOR UNIVERSAL UHF-RFID READER



T148828



เลขพบบุค.....**148828**
เลขทะเบียน.....
พิมพ์เดือนปี..... **23 พ.ย. 2560**

b.....**00267090**
f.....

วิทยานิพนธ์นี้สำหรับการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2560

KMITL-2017-EN-M-010-086

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIRCULAR POLARIZED BIDIRECTIONAL S-SLOT ANTENNA
FOR UNIVERSAL UHF-RFID READER



A THESIS SUBMITTED IN FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUTS'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2017

KMITL-2017-EN-M-010-086

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาหรือการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ สายอากาศร่องรูปตัวเอสแพร่กระจายคลื่นสองทิศทางโพลาไรซ์วงกลมสำหรับ
เครื่องอ่านข้อมูลยูเอชเอฟอาร์เอฟไอทีสากล
Thesis Title Circular Polarized Bidirectional S-Slot Antenna for Universal UHF-RFID
Reader
นักศึกษา นายพิสิษฐ์ จันแปงเงิน
รหัสประจำตัว 58601133
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ชวรงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-M-010-086

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ศ.ดร.ประยุทธ์	อัครเอกดาลิน	
ผศ.ดร.สุทธิชัย	นพนาศิพงษ์	
ศ.ดร.โมไนย	ไกรฤกษ์	
ดร.สถาพร	พรหมวงศ์	
รศ.ดร.ชวรงค์	พงศ์เจริญพาณิชย์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 20 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 เวลา 13.30-15.30 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 2

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRBANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องยื่นซองถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่ 20 กรกฎาคม พ.ศ. 2560

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สายอากาศร่องรูปตัวเอสแพร่กระจายคลื่นสองทิศทางโพลาไรซ์วงกลมสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลยูเอชเอฟอาร์เอฟไอทีสากล
นักศึกษา	นายพิสิษฐ์ จันแปงเงิน
รหัสนักศึกษา	58601133
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบอาร์เอฟไอทีย่านความถี่ยูเอชเอฟสากล โดยช่วงความถี่ใช้งานตั้งแต่ 840 ถึง 960 MHz ซึ่งมีโครงสร้างของสายอากาศประกอบด้วยร่องรูปตัวเอส สำหรับแพร่กระจายคลื่นโพลาไรซ์วงกลม โดยสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลมีความกว้าง 120 mm และยาว 120 mm เท่ากัน สร้างบนวัสดุฐานรองชนิด FR-4 มีความหนา 3.18 mm มีค่าคงตัวไดอิเล็กตริกเท่ากับ 4.3 จากผลการทดสอบสายอากาศมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสองทิศทาง อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ครอบคลุมช่วงความถี่ใช้งานตั้งแต่ 650 MHz ถึง 1200 MHz คิดเป็นเปอร์เซ็นต์อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ 59% โพลาไรซ์วงกลมตลอดช่วงความถี่ 660 MHz ถึง 1050 MHz คิดเป็นเปอร์เซ็นต์อัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์ 46% มีอัตราส่วนแกน 1.03 dB และอัตราขยาย 3.20 dBic ที่ความถี่ 900 MHz ซึ่งเป็นความถี่กลางของย่านความถี่ระบบอาร์เอฟไอทียูเอชเอฟสากล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Circular Polarized Bidirectional S-Slot Antenna for Universal UHF-RFID Reader
Student	Mr.Pisit Janpangngern
Student ID.	58601133
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunication Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Chuwong Phongcharoenpanich

ABSTRACT

This research presents a design of the universal reader antenna applied for the ultra-high frequency (UHF) – radio frequency identification (RFID) system with the operating frequency from 840 MHz to 960 MHz. The antenna structure consists of S-Slot to produce the circular polarization. The total size of the reader antenna is 120 mm ×120 mm fabricated on the FR4 substrate of the dielectric constant of 4.3 with thickness of 3.18 mm. From the measured results, it is obvious that the proposed reader antenna radiates a bidirectional pattern with the circular polarization, covering the operating frequency from 660 MHz to 1050 MHz with axial ratio bandwidth of 46%. The axial ratio and gain at the boresight direction are 1.03 - dB and 3.23 dBic, considering at 900 MHz which the center frequency band of universal UHF RFID standard.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูปภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การศึกษาและขอบเขตวิทยานิพนธ์.....	4
1.3 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	6
2.1 บทนำ.....	6
2.2 ความเป็นมาของระบบอาร์เอฟไอดี.....	6
2.3 วิวัฒนาการของระบบอาร์เอฟไอดี.....	7
2.4 ส่วนประกอบของระบบอาร์เอฟไอดี.....	7
2.4.1 แท็ก (Tag/Transponders).....	8
2.4.2 เครื่องอ่านข้อมูล (Reader).....	14
2.5 หลักการรับและส่งข้อมูลระหว่างแท็กกับเครื่องอ่านข้อมูลในระบบอาร์เอฟไอดี.....	16
2.6 คุณสมบัติของระบบอาร์เอฟไอดี.....	17
2.6.1 สามารถอ่านและเขียนโดยไม่ต้องสัมผัส.....	17
2.6.2 สามารถอ่านและเขียนข้อมูลได้สะดวก.....	17
2.6.3 สามารถสื่อสารได้ทุกทิศทาง.....	17
2.6.4 แท็กสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้.....	17
2.6.5 ระบบอาร์เอฟไอดีมีแท็กหลากหลายแบบเหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้ งานในรูปแบบ ต่าง ๆ.....	17
2.6.6 มีความสามารถในการทะลุทะลวงของสัญญาณ.....	18
2.6.7 สามารถสื่อสารได้ระยะไกล.....	18
2.6.9 การอ่านและการเขียนข้อมูลสามารถทำพร้อมกันหลาย ๆ แท็กในเวลา เดียวกันได้.....	18
2.6.10 สามารถอ่านและเขียนข้อมูลขณะวัตถุกำลังเคลื่อนที่.....	18
2.7 ทฤษฎีพื้นฐานการออกแบบสายอากาศ.....	18
2.7.1 การเจาะร่อง (Slot).....	19
2.7.2 การป้อนสัญญาณด้วยสายโคแอกเซียล.....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7.3 บาลัน (Balun).....	20
2.7.4 บริเวณต่าง ๆ ของสนามจากสายอากาศ.....	22
2.7.5 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern).....	22
2.7.6 แบนด์วิดท์ของสายอากาศ (Antenna Bandwidth).....	27
2.7.7 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss).....	27
2.7.8 อัตราขยาย (Gain).....	28
2.7.9 การโพลาไรซ์.....	29
2.7.10 เทคโนโลยีของระบบอาร์เอฟไอดีที่ใช้หลักการสื่อสารแบบการเชื่อมต่อที่ ระยะสนามระยะไกล.....	34
2.8 งานวิจัยที่มีมาก่อน.....	40
2.9 บทสรุป.....	44
บทที่ 3 การออกแบบและการจำลองสายอากาศ.....	45
3.1 บทนำ.....	45
3.2 โครงสร้างและการออกแบบสายอากาศ.....	45
3.3 ผลการจำลองสายอากาศต้นแบบ.....	53
3.3.1 ผลจำลอง $ S_{11} $	54
3.3.2 ผลการจำลองอัตราส่วนแกนเทียบกับความถี่ของสายอากาศต้นแบบ.....	55
3.3.3 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศต้นแบบ.....	55
3.3.4 ผลการจำลองความกว้างลำคลื่นอัตราส่วนแกน.....	58
3.3.5 ผลการจำลองอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบ.....	59
3.3.6 ผลการจำลองกระแสบนพื้นผิวของสายอากาศต้นแบบ.....	60
3.3.7 ผลการจำลองทิศทางสนามไฟฟ้าของสายอากาศต้นแบบ.....	62
3.4 บทสรุป.....	65
บทที่ 4 การทดสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดี ยูเอชเอฟสากลต้นแบบ.....	66
4.1 บทนำ.....	66
4.2 สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสากลต้นแบบ.....	66
4.3 การสร้างและการทดสอบสายอากาศ.....	68
4.3.1 การทดสอบ $ S_{11} $ ของสายอากาศต้นแบบ.....	69
4.3.2 การทดสอบอัตราส่วนแกนของสายอากาศต้นแบบ.....	70
4.3.3 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบหมุนของสายอากาศ ต้นแบบ.....	71
4.3.4 การทดสอบอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบ.....	73
4.4 บทสรุป.....	75
บทที่ 5 การทดสอบประยุกต์ใช้งานและการประเมินสมรรถนะ.....	76
5.1 บทนำ.....	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

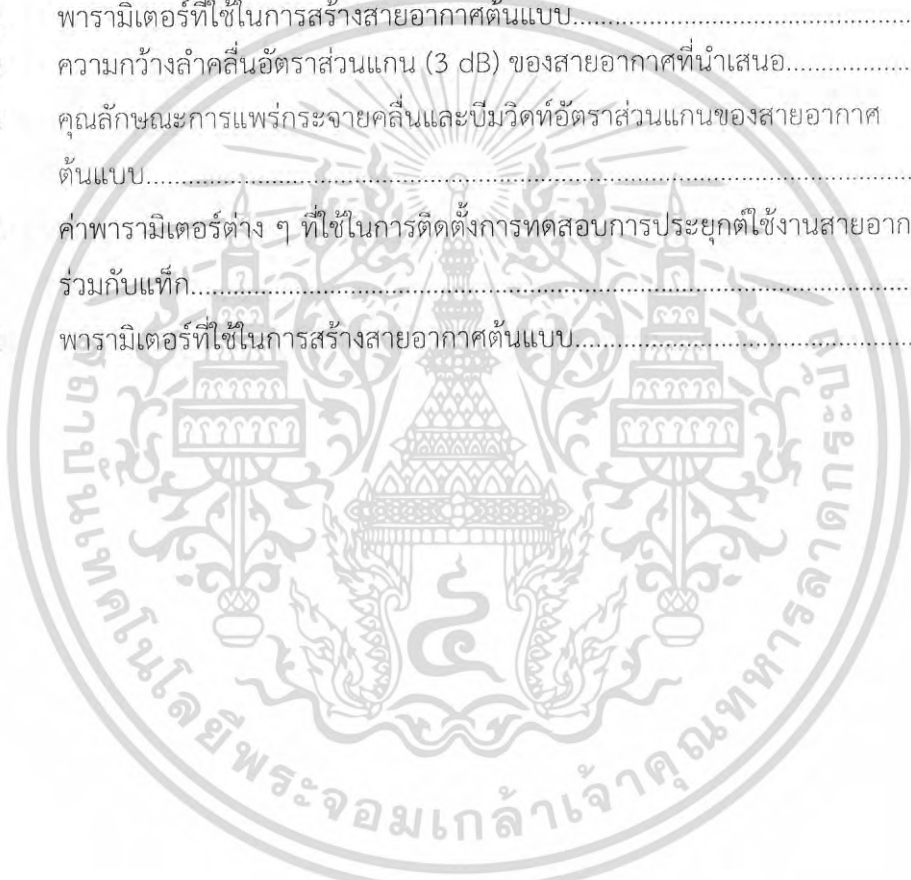
	หน้า
5.2 เครื่องมือ อุปกรณ์ ที่ใช้ในการทดสอบเบื้องต้นและทดลองในสภาพการใช้งาน จริง.....	76
5.3 การทดสอบประยุกต์ใช้งาน.....	78
5.3.1 ผลการทดสอบการประยุกต์ใช้งานสายอากาศอ้างอิงได้โพลมาตรฐาน ร่วมกับแท็ก.....	80
5.3.2 ผลการทดสอบการประยุกต์ใช้งานสายอากาศร่องรูปตัวเอสร่วมกับแท็ก..	80
5.4 บทสรุป.....	84
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	86
6.2 สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	86
6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา.....	88
เอกสารอ้างอิง.....	89
ประวัติผู้เขียน.....	91
บทความที่ได้รับการตีพิมพ์.....	91



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	เปรียบเทียบคุณสมบัติของสายอากาศแท่ง.....	12
2.2	เปรียบเทียบคลื่นความถี่ใช้งานในแต่ละย่านความถี่กับระยะเวลาอ่านข้อมูล.....	14
2.3	สรุปคุณสมบัติของสายอากาศในงานวิจัยที่มีมาก่อน.....	44
3.1	พารามิเตอร์ของสายอากาศที่ใช้ในการวิเคราะห์และการออกแบบ สัญลักษณ์.....	46
3.2	พารามิเตอร์ที่ใช้สร้างสายอากาศต้นแบบ.....	54
3.3	ผลจำลองความกว้างลำคลื่นอัตราส่วนแกน (3 dB) ของสายอากาศต้นแบบ.....	57
3.4	สรุปคุณลักษณะของสายอากาศต้นแบบ.....	65
4.1	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศต้นแบบ.....	67
4.2	ความกว้างลำคลื่นอัตราส่วนแกน (3 dB) ของสายอากาศที่นำเสนอ.....	71
4.3	คุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่นและบีมวิดท์อัตราส่วนแกนของสายอากาศ ต้นแบบ.....	75
5.1	ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการติดตั้งการทดสอบการประยุกต์ใช้งานสายอากาศ ร่วมกับแท่ง.....	79
6.1	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศต้นแบบ.....	86



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ/หรืออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	ระบบอาร์เอฟไอดี.....	1
1.2	ย่านความถี่ที่ใช้งานของระบบอาร์เอฟไอดี.....	2
1.3	ลักษณะการสื่อสารข้อมูลระหว่างสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก.....	3
2.1	โครงสร้างทั่วไปของระบบอาร์เอฟไอดี.....	8
2.2	ส่วนประกอบพื้นฐานของแท็ก.....	8
2.3	แท็กระบบอาร์เอฟไอดีในรูปแบบต่าง.....	9
2.4	แท็กชนิดพาสซีฟ.....	10
2.5	หลักการการทำงานของแท็กชนิดพาสซีฟ.....	10
2.6	แท็กชนิดกึ่งแอ็กทีฟ.....	11
2.7	หลักการการทำงานของแท็กชนิดกึ่งแอ็กทีฟ.....	11
2.8	หลักการการทำงานของแท็กชนิดแอ็กทีฟ.....	12
2.9	แท็กชนิดแอ็กทีฟ.....	12
2.10	ย่านความถี่ใช้งานระบบอาร์เอฟไอดี.....	14
2.11	เครื่องอ่านข้อมูลแบบมือถือ.....	15
2.12	เครื่องอ่านข้อมูลแบบติดตั้ง.....	15
2.13	เครื่องอ่านข้อมูลแบบประตู.....	15
2.14	ชนิดของ Line Code ที่ใช้ในระบบ RFID.....	16
2.15	สายอากาศรื่องที่มีขนาดกว้าง a และยาว b.....	19
2.16	สายอากาศรื่องเปรียบเทียบกับสายอากาศไดโพล.....	19
2.17	โครงสร้างสายนำสัญญาณโคแอกเซียล.....	20
2.18	โครงสร้างบาลูน.....	21
2.19	การแบ่งบริเวณสนามจากสายอากาศ.....	22
2.20	ระบบโคออร์ดิเนตสำหรับการวิเคราะห์สายอากาศ.....	23
2.21	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบทิศทางรอบตัว.....	24
2.22	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) และ ระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane) ของสายอากาศปากแตร.....	25
2.23	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น.....	26
2.24	การหมุนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแนวระนาบที่เป็นฟังก์ชันของเวลาที่ $z=0$	29
2.25	การโพลาริซชันวงกลมหมุนขวา (Right-handed CP).....	31
2.26	การโพลาริซชันวงกลมหมุนซ้าย (Left-handed CP).....	32
2.27	โพลาริซชันรีตีที่เป็นฟังก์ชันของเวลาในระนาบ $z=0$	33
2.28	กำลังงานและกลไกของการติดต่อสื่อสารสำหรับระบบอาร์เอฟไอดีในสนามระยะไกล.....	35
2.29	กำลังงานการแพร่กระจายคลื่นประสิทธิภาพไอโซทรอปิก.....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา VIII ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.30	กำลังงานที่ส่งมายังแท่งและวงจรมุมูล.....	39
2.31	โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริปแพทช์แบบร่องโพลาริซวงกลม.....	41
2.32	โครงสร้างสายอากาศแพทช์ต่อด้วยร่องที่มีโพลาริซวงกลม.....	42
2.33	โครงสร้างสายอากาศแพทช์วงแหวนโพลาริซวงกลม.....	42
2.34	โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริปแบบวงแหวนวางซ้อนโพลาริซวงกลมแบบ เครือข่ายจุดป้อนร่วมสำหรับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี.....	43
3.1	โครงสร้างสายอากาศต้นแบบ.....	46
3.2	สายอากาศร่อง.....	47
3.3	วิวัฒนาการโครงสร้างสายอากาศร่องรูปตัวเอส.....	48
3.4	ผลการจำลอง $ S_{11} $ และ อัตราส่วนแกนของวิวัฒนาการโครงสร้างสายอากาศ ร่องรูปตัวเอส.....	48
3.5	โครงสร้างสายอากาศร่องรูปตัวเอส.....	49
3.6	ผลจำลอง $ S_{11} $ และอัตราส่วนแกนที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ของโครงสร้าง สายอากาศร่องรูปตัวเอสสองความยาวคลื่น.....	49
3.7	สายอากาศที่ทำการออกแบบเริ่มต้น.....	50
3.8	ผลจำลอง $ S_{11} $ และอัตราส่วนแกน เมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ L และ W	50
3.9	ผลจำลอง $ S_{11} $ และอัตราส่วนแกน เมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ L_1	51
3.10	ผลจำลอง $ S_{11} $ และอัตราส่วนแกน เมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ L_4	52
3.11	ผลจำลอง $ S_{11} $ และอัตราส่วนแกน เมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ W_1	52
3.12	ผลจำลอง $ S_{11} $ และอัตราส่วนแกน เมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ L_5	53
3.13	ผลจำลองสัมประสิทธิ์การสะท้อน $ S_{11} $ ของสายอากาศที่นำเสนอ.....	54
3.14	อัตราส่วนแกนเทียบกับฟังก์ชันของความถี่ของสายอากาศต้นแบบ.....	55
3.15	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น 3 มิติของสายอากาศที่ความถี่ 840 MHz.....	56
3.16	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น 3 มิติของสายอากาศที่ความถี่ 900 MHz.....	56
3.17	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น 3 มิติของสายอากาศที่ความถี่ 960 MHz.....	56
3.18	ผลจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ xz ที่ความถี่ 840 MHz 900 MHz 960 MHz.....	57
3.19	ผลจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ yz ที่ความถี่ 840 MHz 900 MHz 960 MHz.....	57
3.20	ผลจำลองอัตราส่วนแกนที่เป็นฟังก์ชันของมุมเมื่อพิจารณาบนระนาบ xz ที่ ความถี่ 840 MHz 900 MHz และ 960 MHz.....	58

สารบัญญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.21	ผลการจำลองอัตราส่วนแกนที่เป็นฟังก์ชันของมุมเมื่อพิจารณาบนระนาบ yz ที่ความถี่ 840 MHz 900 MHz และ 960 MHz.....	59
3.22	ผลจำลองอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบ.....	60
3.23	ผลการการจำลองการกระจายของกระแสบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลที่มีความถี่ 900 MHz ที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสองทิศทางที่เวลา (t) ต่างๆ.....	64
3.24	สนามไฟฟ้าที่แพร่กระจายจากสายอากาศต้นแบบที่เวลา (t) ต่าง ๆ.....	63
4.1	โครงสร้างและพารามิเตอร์ของสายอากาศที่นำเสนอ.....	67
4.2	รูปถ่ายสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสากลต้นแบบ.....	67
4.3	การทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศต้นแบบในห้องไร้การสะท้อน.....	68
4.4	ผลการจำลองและผลทดสอบ $ S_{11} $ ของสายอากาศที่ได้นำเสนอ.....	70
4.5	ผลการจำลองและผลทดสอบอัตราส่วนแกนของสายอากาศต้นแบบ.....	70
4.6	ผลจำลองและผลทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นระนาบ xz ที่ความถี่ 840 MHz (ก) ผลการจำลอง (ข) ผลการทดสอบ.....	71
4.7	ผลจำลองและผลทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นระนาบ yz ที่ความถี่ 840 MHz (ก) ผลการจำลอง (ข) ผลการทดสอบ.....	72
4.8	ผลจำลองและผลทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น xz ที่ความถี่ 900 MHz (ก) ผลการจำลอง (ข) ผลการทดสอบ.....	72
4.9	ผลจำลองและผลทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น yz ที่ความถี่ 900 MHz (ก) ผลการจำลอง (ข) ผลการทดสอบ.....	72
4.10	ผลจำลองและผลทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น xz ที่ความถี่ 960 MHz (ก) ผลการจำลอง (ข) ผลการทดสอบ.....	73
4.11	ผลจำลองและผลทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น yz ที่ความถี่ 960 MHz (ก) ผลการจำลอง (ข) ผลการทดสอบ.....	73
4.12	ผลจำลองและผลทดสอบอัตราขยายสายอากาศ.....	74
5.1	เครื่องอ่านข้อมูลของระบบอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟ.....	76
5.2	แท็กชนิดไดโพลแบบขด Alien.....	77
5.3	สายอากาศอ้างอิงสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลที่มีโพลาริซเซชันเชิงเส้น.....	77
5.4	สายอากาศรูปตัวเอสของเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสากล.....	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปร่าง (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.5	เครื่องมือวัดระยะทาง.....	78
5.6	การติดตั้งการทดสอบสายอากาศรูปตัวเอสสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลใช้งาน ร่วมกับแท็ก.....	78
5.7	การวางตัวของแท็กแต่ละแนวแกน x แนวแกน y และแนวแกน z.....	79
5.8	ระยะในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กที่มุมต่าง ๆ โดยใช้ สายอากาศไดโพลมาตรฐานที่มีโพลาไรซ์เชิงเส้น.....	80
5.9	ระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กที่มุมต่าง ๆ โดยใช้ สายอากาศรูปตัวเอสในทิศทางด้านหน้าสายอากาศ มุม (0°) ทดสอบร่วมกับ แท็ก.....	81
5.10	ระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กที่มุมต่าง ๆ โดยใช้ สายอากาศรูปตัวเอสในทิศทางด้านหลังสายอากาศ มุม (180°) ทดสอบ ร่วมกับแท็ก.....	82
5.11	การทดสอบผลการเปลี่ยนแปลงระยะมุมกวาด (a_1) และระยะมุมยก (a_2).....	83
5.12	ระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศรูปตัวเอสกับแท็กในมุมกวาด (a_1)...	83
2.13	ระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศรูปตัวเอสกับแท็กในมุมยก (a_2).....	84

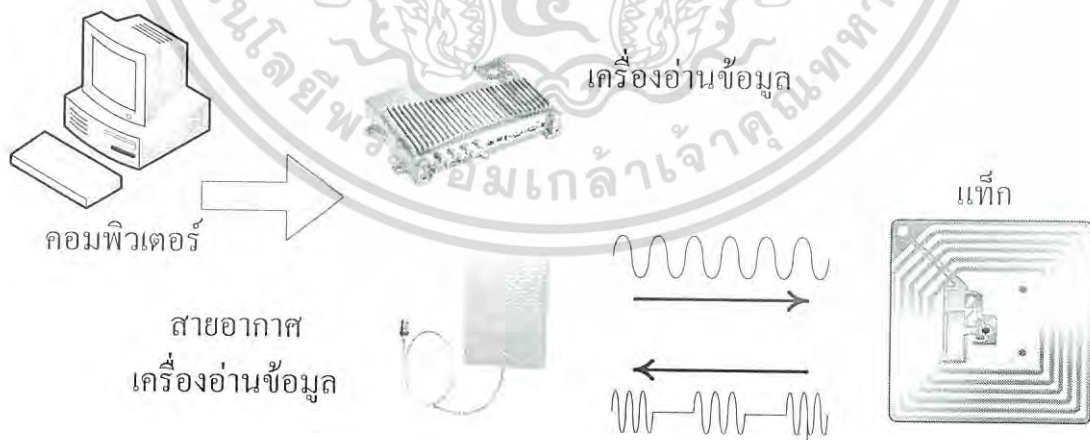
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์

อาร์เอฟไอดี (RFID: Radio frequency identification) คือระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ หรือระบบระบุบ่งบอกตัวตนแบบไร้สาย การประยุกต์เทคโนโลยีของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ มีรูปแบบหลากหลายด้วยจุดประสงค์ที่แตกต่างกันแต่อยู่บนหลักการพื้นฐานเดียวกัน นั่นคือการใช้คลื่นความถี่วิทยุเพื่อการระบุเอกลักษณ์ของวัตถุที่ถูกติดป้ายแทนการระบุด้วยวิธีการอื่น ซึ่งวิธีการนี้จะช่วยอำนวยความสะดวกและเพิ่มประสิทธิภาพได้ดีกว่า

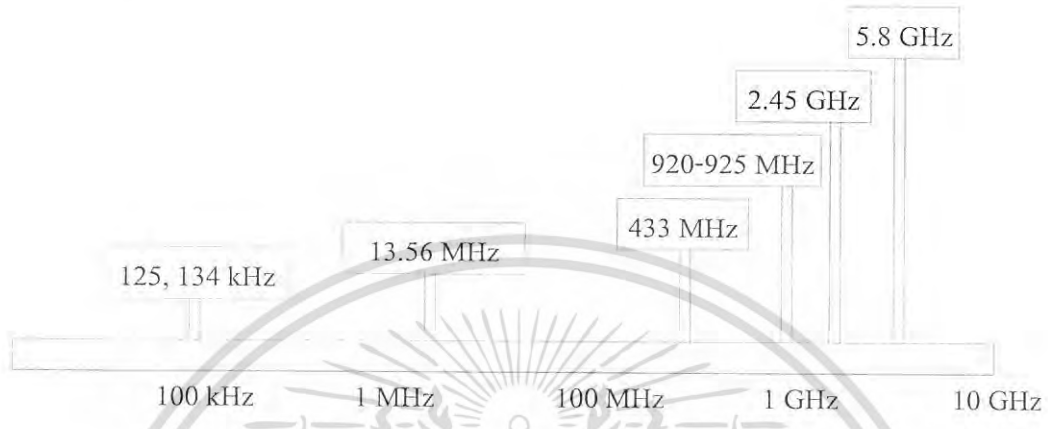
ปัจจุบันมีระบบต่างๆ มากมายที่ใช้เทคโนโลยีการติดต่อสื่อสารแบบไร้สาย ซึ่งเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีมีความสามารถระบุบ่งบอกตัวตนหรือสิ่งของได้เอง (Automatic identification) อาร์เอฟไอดีซึ่งได้ถูกพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง กำลังได้รับความสนใจและถูกพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว เพื่อวัตถุประสงค์หลักในการนำไปใช้งานแทนระบบรหัสแท่งหรือบาร์โค้ด (Barcode) โดยจุดเด่นของระบบอาร์เอฟไอดีคือ สามารถอ่านค่าข้อมูลจากป้ายหรือเครื่องลูกข่ายได้หลาย ๆ ตัวในเวลาเดียวกัน แบบไร้การสัมผัส สามารถอ่านค่าได้แม้ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี (มองไม่เห็น) สามารถอ่านค่าได้แม้ไม่ต้องอยู่ในแนวเส้นสายตากับเครื่องอ่าน ทนต่อความเปียกชื้น แสงสั่นสะเทือน การกระแทกกระแทก สามารถอ่านค่าข้อมูลได้ระยะไกล และด้วยความเร็วสูง โดยข้อมูลจะถูกเก็บในไมโครชิปที่อยู่ในแท็ก ปัจจุบัน พบว่าเทคโนโลยีระบบอาร์เอฟไอดีได้ถูกนำมาใช้งานร่วมกับชีวิตประจำวันมากขึ้น อาทิ เช่น การใช้บัตรผ่านเข้าออกห้องพัก สำนักงาน หรือที่จอดรถตามศูนย์การค้าต่างๆ การใช้งานในภาคอุตสาหกรรม การใช้งานในระบบโลจิสติกส์ การใช้งานด้านการผลิต การใช้งานการจัดการสินค้า หรือแม้กระทั่งการใช้งานกับมนุษย์ สัตว์ และสินค้าต่างๆ [1] เป็นต้น



รูปที่ 1.1 ระบบอาร์เอฟไอดี

ระบบอาร์เอฟไอดีมีองค์ประกอบหลักๆ อยู่ 3 ส่วนดังรูปที่ 1.1 คือ ส่วนแรกคือ เครื่องอ่านข้อมูล (Reader) รวมถึงสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูล (Reader antenna) มีหน้าที่ในการเชื่อมต่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างแท็ก ส่วนที่สองคือแท็ก (Tag antenna) เป็นตัวระบุเอกลักษณ์ที่ใช้ติดกับวัตถุ และส่วนสุดท้ายคือส่วนควบคุม (Host computer) ทำหน้าที่ในการอ่านและเขียนข้อมูลของแท็ก โดยหลักการทำงานของระบบอาร์เอฟไอดี คือ เมื่อแท็กเข้ามาในช่วงการทำงานของเครื่องอ่านข้อมูล เครื่องอ่านข้อมูลจะทำการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุไปยังแท็ก หลังจากนั้นแท็กจะส่งสัญญาณกลับมายังเครื่องอ่านข้อมูล



รูปที่ 1.2 ย่านความถี่ที่ใช้งานของระบบอาร์เอฟไอดี [13]

ในปัจจุบันระบบอาร์เอฟไอดีได้แบ่งย่านความถี่ใช้งาน ออกเป็น 4 ย่านความถี่ คือ

- ย่านความถี่ต่ำ (Low frequency: LF) 135/125/134.2 kHz
- ย่านความถี่สูง (High frequency: HF) 13.56 MHz
- ย่านความถี่ยูเอชเอฟ (Ultra-high frequency: UHF) 433/840-960 MHz
- ย่านความถี่ไมโครเวฟ (Microwave) 2.4/5.8 GHz

ในรูปที่ 1.2 แต่ละย่านความถี่ที่ได้กล่าวมานั้นมีคุณสมบัติ และการใช้งานจำเพาะเจาะจงที่แตกต่างกันออกไป อาทิเช่น

- อาร์เอฟไอดีย่านความถี่ต่ำจะเหมาะกับงานที่ต้องการระยะทางใกล้และไม่ต้องการการอ่านข้อมูลที่รวดเร็วมาก เช่น งานประเภทตรวจหาและเก็บประวัติของสัตว์ ป้ายสินค้าที่หรือระบบกันขโมยในรถยนต์ เป็นต้น

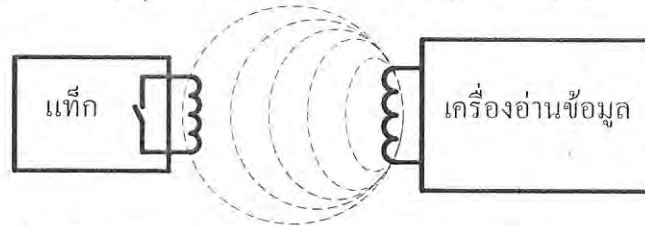
- อาร์เอฟไอดีย่านความถี่สูงจะมีระยะทางการติดต่อสื่อสารค่อนข้างไกลและมีอัตราการรับส่งข้อมูลที่ปานกลางโดยได้นำไปใช้งานที่ห้องสมุดสมาร์ทการ์ดและบัตรเข้าออกสถานที่ เป็นต้น

- อาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟมีระยะการติดต่อสื่อสารได้ไกลกว่าย่านความถี่สูงและมีความสามารถในการอ่านข้อมูลรวดเร็วมาก การใช้งานโดยส่วนมากจะถูกนำไปใช้กับระบบการขนส่งสินค้า ระบบการบริหารคลังสินค้า หรือแม้แต่การใช้งานร่วมกับรหัสสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ EPC (Electronic product code) ตามมาตรฐาน EPC Global Class 1 Gen 2 และในปัจจุบันยังพบว่าระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ดังกล่าวมีการใช้งานทางด้านการค้าขายมีมากขึ้นเป็นทวีคูณ และอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟในแต่ละประเทศมีการอนุญาตให้ใช้ความถี่ของอาร์เอฟไอดีในย่านความถี่ยูเอชเอฟแตกต่างกัน เช่น ยุโรป คือ 865.6 MHz ถึง 867.6 MHz อเมริกาเหนือและใต้ คือ 902 MHz ถึง 928 MHz ญี่ปุ่น คือ 952 MHz ถึง 957.6 MHz จีน คือ 840.5-844.5/920.5-924.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MHz ส่วนในประเทศไทย คือ 920 MHz ถึง 925 MHz ซึ่งอาร์เอฟไอเดียเอชเอฟสากลครอบคลุม ช่วงความถี่ในการปฏิบัติการทั้งหมดของ 840-960 MHz (แบนด์วิดธ์ร้อยละ 13.3%)

- อาร์เอฟไอเดียย่านความถี่ไมโครเวฟมีระยะการอ่านไกลกว่า 10 m ซึ่งใช้ในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) อุตสาหกรรมรถยนต์และการเข้าออกสถานที่



(ก) วิธีเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในย่านความถี่ต่ำ และย่านความถี่สูง



(ข) วิธีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในย่านความถี่ยูเอชเอฟและความถี่ไมโครเวฟ

รูปที่ 1.3 ลักษณะการสื่อสารข้อมูลระหว่างสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก

การติดต่อสื่อสารระบบอาร์เอฟไอเดียสามารถแบ่งออกเป็นสองหลักการคือ วิธีแรกเป็นวิธีเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Inductive coupling หรือ Proximity electromagnetic) โดยอาศัยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในการโอนถ่ายกำลังงานบนระยะสนามใกล้ (Near field) โดยส่วนมากมักจะพบในย่านความถี่ต่ำและความถี่สูงเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 1.3(ก) วิธีที่สองเป็นวิธีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic propagation coupling) เป็นการติดต่อสื่อสารแบบการกระจัดกระจายย้อนกลับ (Backscattering) อาศัยสนามไฟฟ้าในการโอนถ่ายกำลังงานบนระยะสนามไกล (Far field) อาศัยหลักการพื้นฐานเช่นเดียวกับระบบเรดาร์ จะเหมาะกับการใช้งานที่ย่านความถี่ยูเอชเอฟและไมโครเวฟ ดังแสดงในรูปที่ 1.3(ข) ซึ่งการติดต่อสื่อสารแบบการกระจัดกระจายย้อนกลับดังที่ได้กล่าวมาต้องคำนึงถึงการโพลาไรซ์ของสายอากาศ

เครื่องอ่านข้อมูลและแท็กเพื่อให้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้เต็มประสิทธิภาพต้องมีโพลาไรซ์ที่ตรงกัน ถ้ามีโพลาไรซ์ที่ไม่ตรงกัน (Polarization mismatch) ประสิทธิภาพการติดต่อสื่อสารลดลงอย่างชัดเจนหรือไม่สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ แต่สามารถแก้ไขได้โดยการนำสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลที่มีลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์แบบวงกลม (Circular polarized: CP radiation) นำมาใช้งาน ประสิทธิภาพการติดต่อสื่อสารจะถูกลดกำลังงานลงไปครึ่งหนึ่งซึ่งเกิดจากตัวประกอบการสูญเสียจากการโพลาไรซ์ (Polarization loss factor: PLF) และนอกจากนี้สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลที่มีลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์วงกลมยังสามารถแก้ไขปัญหาเรื่องการจางหายหลายวิถี (Multipath fading) ได้อีกด้วยจึงเป็นที่มาและความสำคัญในการออกแบบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอเดียเอชเอฟที่มีการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาไรซ์วงกลมในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางทฤษฎีโพลาริซวงกลมของสายอากาศแพทช์สามารถเกิดได้จากสนามไฟฟ้าสององค์ประกอบที่มีขนาดเท่ากันแต่เฟสต่างกัน 90° [2] โดยสายอากาศโพลาริซวงกลมมีการป้อนสัญญาณ 2 แบบคือการป้อนสัญญาณเดี่ยวและการป้อนสัญญาณหลายจุด [3] โดยการศึกษาทางวิจัยที่มีมาก่อนจะเลือกการป้อนสัญญาณเดี่ยวเพื่อลดความซับซ้อนของโครงสร้างการป้อนสัญญาณ มีงานวิจัยรูปร่างต่าง ๆ ถูกนำเสนอบนตัวแพร่กระจายคลื่นสำหรับการเกิดโพลาริซวงกลมในเอกสารอ้างอิงที่ [4-12]

จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลมีผลต่อสมรรถนะการใช้งาน โดยเฉพาะระยะการอ่านข้อมูลของระบบอาร์เอฟไอดีเป็นอย่างมาก เพราะคุณลักษณะของสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูล ทั้งลักษณะแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศจะมีผลต่อระยะการรับส่งข้อมูล และมุมรับ-ส่งระหว่างแท็ก โดยในงานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการออกแบบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลที่มีสัญญาณจุดป้อนเดี่ยว และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสองทิศทางโดยมีโพลาริซเป็นวงกลม สายอากาศประกอบด้วยรูปร่างตัวเอสเป็นโครงสร้างหลัก เพื่อใช้งานในช่วงความถี่ 840-960 MHz สำหรับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟสากล ตามมาตรฐาน FCC [13] แต่ในมาตรฐาน FCC ยังไม่ได้ระบุความถี่ใช้งานอาร์เอฟไอดีของประเทศจีนไว้ในมาตรฐาน ที่ใช้ความถี่ 840.5-844.5 MHz ซึ่งมีความสำคัญในการนำไปใช้งานเพื่อที่จะครอบคลุมทั่วโลก จึงใช้ความถี่ 840-960 MHz ในการออกแบบ สายอากาศสร้างบนวัสดุฐานรองชนิด FR-4 [14] โดยมีเพียงรูปร่างตัวเอสเป็นโครงสร้างหลัก ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่มีมาก่อนหน้านี้ [4]-[12] จะพบว่าสายอากาศที่นำเสนอมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน สร้างง่าย แต่มีคุณสมบัติที่มีความใกล้เคียงหรือดีกว่ากับงานวิจัยที่มีมาก่อน

สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลที่มีจุดป้อนสัญญาณเดี่ยว มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสองทิศทางด้วยโพลาริซวงกลมซึ่งได้ทำการศึกษาและออกแบบด้วยโปรแกรมจำลอง มีการสร้างสายอากาศต้นแบบเพื่อทำการทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศ ในห้องปฏิบัติการวิจัยสายอากาศ และการประยุกต์แม่เหล็กไฟฟ้าได้แก่ค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับในรูปแบบ $|S_{11}|$ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น อัตราขยาย และอัตราส่วนแกนของสายอากาศ ซึ่งรายละเอียดจะได้กล่าวในบทถัดไป

1.2 วัตถุประสงค์การศึกษาและขอบเขตวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา พัฒนาและออกแบบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสากล (840 ถึง 960 MHz) โดยใช้สายอากาศโครงสร้างรูปร่างตัวเอสและออกแบบให้แผ่นแพร่กระจายคลื่นเกิดการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาริซวงกลม ป้อนสัญญาณด้วยโคแอกเซียลโพรบและมีแบบรูปการกระจายคลื่นชนิดสองทิศทาง นอกจากนี้ยังได้ศึกษาถึงการเปลี่ยนความถี่ใช้งานของโครงสร้างรูปร่างตัวเอส และขยายแบนด์วิดท์โดยการปรับการเยื้องของแพทช์ป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยม เพื่อต้องการสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีครอบคลุมอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ $|S_{11}|$ ตั้งแต่ 840 ถึง 960 MHz และนอกจากนี้ สายอากาศรูปร่างตัวเอสได้ทำการปรับขนาดพารามิเตอร์ของสายอากาศเพื่อทำให้เกิดการแพร่กระจายคลื่นสองทิศทางโพลาริซวงกลมและมีอัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์ต่ำกว่า 3 dB ครอบคลุมความถี่ตามความต้องการของระบบ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสากล โดยแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นชนิดสองทิศทางจะมีโพลาริซัซทั้งวงกลม หมุนซ้ายในทิศทางมุมด้านหน้าสายอากาศและวงกลมหมุนขวาในทิศทางมุมด้านหลังสายอากาศและมี อัตราขยายมากกว่า 3 dBic ตลอดย่านความถี่ยูเอชเอฟ โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้อาศัยโปรแกรม CST microwave studio [15] ในการวิเคราะห์จำลองผลและสังเกตคุณลักษณะทางไฟฟ้าต่างๆ ของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสากล และได้ทำการสร้างสายอากาศต้นแบบพร้อม ทั้งเปรียบเทียบผลจำลองและผลทดสอบ สำหรับหัวข้อย่อลำดับถัดไปจะกล่าวถึงรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

1.3 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย วัตถุประสงค์การศึกษาขอบเขตงานวิจัยและเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของระบบอาร์เอฟไอดี หลักการและทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับการออกแบบสายอากาศ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ที่มีมาก่อน

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบและการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศ เริ่มจากการกำหนดรูปแบบของสายอากาศ โดยอาศัยทฤษฎีพื้นฐานและสมการในการคำนวณจากบทที่ 2 จากนั้นจึงทำการจำลองแบบสายอากาศ และศึกษาหาค่าพารามิเตอร์ที่มีความเหมาะสมที่สุดของสายอากาศด้วยโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO[®] เพื่อให้ได้สายอากาศที่มีคุณลักษณะที่เหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟสากล

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศ โดยนำค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศที่ได้จากการจำลองมาทำการสร้าง และทำการทดสอบสายอากาศ เพื่อดูผลกระทบของคุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศ ยกตัวอย่าง เช่น $|S_{11}|$ ค่าอัตราส่วนแกน ค่าอัตราขยายแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น เป็นต้น

บทที่ 5 กล่าวถึงการประเมินสมรรถนะของสายอากาศต้นแบบ โดยจะนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับแท็ก เพื่อทดสอบความสามารถในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก จากนั้นทำการวิเคราะห์ความสามารถของสายอากาศ ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก ในกรณีแท็กวางตัวในทิศทางแนวแกน x แนวแกน y และแนวแกน z ตามลำดับ

บทที่ 6 กล่าวถึงการสรุปเนื้อหาโดยรวมทั้งหมดของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ พร้อมทั้งข้อเสนอแนะ และแนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคต

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของสายอากาศ โดยในส่วนแรกจะกล่าวถึงความ เป็นมาและหลักการของเทคโนโลยีระบบอาร์เอฟไอดี [16] การจำแนกประเภทของแท็ก รายละเอียดการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศแท็กและเครื่องอ่านข้อมูลของระบบอาร์เอฟไอดี ทฤษฎีพื้นฐานในการออกแบบสายอากาศสำหรับระบบอาร์เอฟไอดี [17] และ [18] และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีมาก่อนหน้า

2.2 ความเป็นมาของระบบอาร์เอฟไอดี

ระบบอาร์เอฟไอดี (RFID ย่อมาจาก Radio Frequency Identification) เป็นเทคโนโลยีการระบุข้อมูลที่แสดงเอกลักษณ์ของวัตถุ หรือบุคคลด้วยคลื่นความถี่วิทยุที่ได้ถูกพัฒนามาใน ปี ค.ศ. 1970 วัตถุประสงค์เพื่อนำไปใช้ในการบ่งชี้วัตถุในระยะไกล โดยมีจุดเด่นคือสามารถอ่านข้อมูลจากแท็ก (Tag) ได้หลาย ๆ แท็กแบบไร้สัมผัส และสามารถอ่านค่าได้แม้ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี ทนต่อความเปียกชื้น แรงสั่นสะเทือน การกระทบกระแทก และสามารถอ่านข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูง โดยข้อมูลจะถูกเก็บไว้ในไมโครชิปที่อยู่ภายในแท็ก ในปัจจุบันได้มีการนำระบบอาร์เอฟไอดี ไปประยุกต์ใช้งาน ในด้านอื่น ๆ นอกเหนือจากนำมาใช้ทดแทนระบบรหัสแท่งแบบเดิม ได้แก่ การใช้งานในบัตรชนิดต่าง ๆ เช่น บัตรประจำตัวพนักงาน (ID card) บัตรโดยสาร บัตรสำหรับผ่านเข้าออกห้องพัก บัตรที่จอดรถตามศูนย์การค้าต่าง ๆ แท็กสำหรับติดตามกระเป๋าเดินทาง แท็กสำหรับติดตามสินค้า แท็กสำหรับติดตามหนังสือ และแท็กสำหรับติดตามลากยา เป็นต้น บางครั้งอาจพบเห็นอยู่ใน รูปของแท็กสินค้า ซึ่งมีขนาดเล็กจนสามารถแทรกลงระหว่างชั้นของเนื้อกระดาษได้ หรือเป็นแท็กแค่ปลูขนาดเล็กฝังเอาไว้ในตัวสัตว์ เพื่อบันทึกประวัติต่าง ๆ เป็นต้น

ประวัติการเริ่มต้นของเทคโนโลยีระบบอาร์เอฟไอดีนั้น ย้อนกลับไปถึงสมัยสงครามโลก ครั้งที่ 2 ซึ่งประเทศในกลุ่มพันธมิตร และกลุ่มอักษะได้มีการใช้เรดาร์ ซึ่งถูกค้นพบโดย เซอร์โรเบิร์ต อเล็กซานเดอร์ วัตสัน-วัตต์ ในปี ค.ศ. 1935 ใช้ในการตรวจจับและเตือนเครื่องบินที่กำลังเข้ามา แต่ปัญหาของการใช้เรดาร์ในยุคนั้น คือไม่สามารถแยกแยะระหว่างเครื่องบินรบลำใดเป็นของฝ่ายไหน ทางประเทศเยอรมันได้ค้นพบว่า เมื่อนักบินบินหมุนตัวแล้วจะทำให้มีการสะท้อนสัญญาณเรดาร์ที่เปลี่ยนไป ทำให้ทราบว่าเป็นเครื่องบินที่บินเข้ามาเป็นของประเทศเยอรมัน ซึ่งเป็นจุดกำเนิดของ ระบบอาร์เอฟไอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 วิวัฒนาการของระบบอาร์เอฟไอดี

จากที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อก่อนหน้านี้เกี่ยวกับ จุดเริ่มต้นของระบบอาร์เอฟไอดีซึ่งเกิดขึ้นมาตั้งแต่ในสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยในหัวข้อนี้จะนำเสนอวิวัฒนาการของระบบอาร์เอฟไอดี ทางด้านการพัฒนาได้มีการจดสิทธิบัตรของอเมริกาใบแรกเกี่ยวกับระบบอาร์เอฟไอดี ซึ่งมอบให้กับ Mario W. Cardullo เป็นสิทธิบัตรเกี่ยวกับแท่งชนิดแอ็กทีฟ ในปี ค.ศ. 1973 และในปีเดียวกันได้มีการมอบสิทธิบัตรเกี่ยวกับแท่งแบบพาสซีฟ ให้กับ Charles Walton โดยการประยุกต์ใช้งานสำหรับการเปิดล็อกประตู

ในช่วงปี ค.ศ. 1970 รัฐบาลสหรัฐอเมริกาได้มีการพัฒนาเกี่ยวกับระบบอาร์เอฟไอดี เหมือนกันที่ศูนย์วิจัยแห่งชาติลอสอลามอส (Los Alamos National Laboratory) มลรัฐนิวเม็กซิโก ใช้สำหรับการติดตามวัตถุนิวเคลียร์ให้กับกระทรวงพลังงาน โดยใช้ระบบอาร์เอฟไอดีติดกับรถบรรทุก และเครื่องอ่านที่ประตูทางเข้า-ออก

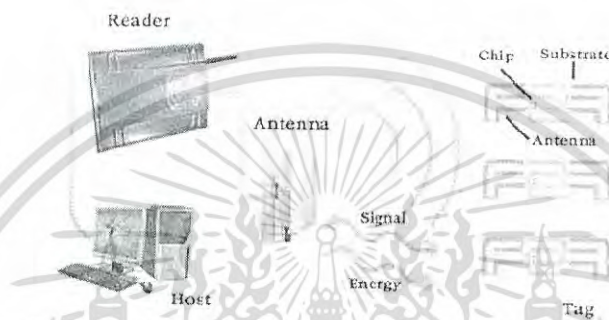
ในช่วงต้นปี ค.ศ. 1990 บริษัทไอบีเอ็มได้พัฒนาและจดสิทธิบัตร ระบบอาร์เอฟไอดีในย่านความถี่เอชเอฟ (UHF) (ที่ย่านความถี่ตั้งแต่ 300 MHz - 3 GHz) แต่เมื่อไอบีเอ็มมีปัญหาการเงินได้ขายสิทธิบัตรเกี่ยวกับระบบอาร์เอฟไอดีให้กับบริษัท Intermec ในช่วงกลาง ค.ศ. 1990 ในช่วงนั้นการใช้งานยังไม่แพร่หลายนัก เนื่องจากอุปกรณ์ยังคงมีราคาสูงมาก

ระบบอาร์เอฟไอดีในย่านความถี่เอชเอฟ (UHF) เป็นที่รู้จักอีกครั้งในปี ค.ศ. 1999 เมื่อ UCC (Uniform Code Council) EAN International บริษัท Procter & Gamble และบริษัท Gillette ได้ร่วมกันก่อตั้งศูนย์ระบบอาร์เอฟไอดีขึ้น ที่สถาบันเทคโนโลยีแมสซาชูเซตส์ (MIT) ประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อพัฒนาแนวทางการใช้ระบบอาร์เอฟไอดีในห่วงโซ่อุปทาน (supply chain) ในช่วงปี ค.ศ. 1999 - 2003 ระบบอาร์เอฟไอดีได้รับการสนับสนุนจากบริษัทเอกชนจำนวนมาก และได้มีการขยายศูนย์ระบบอาร์เอฟไอดี ไปยังประเทศออสเตรเลีย อังกฤษ สวิตเซอร์แลนด์ ญี่ปุ่น และจีน ได้มีการพัฒนามาตรฐานใหม่ที่เรียกว่า รหัสสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ EPC (Electronic Product Code) และในปี ค.ศ. 2003 เทคโนโลยีนี้ได้ถูกนำมาขายให้กับ UCC ซึ่งได้ร่วมกับ EAN ตั้งบริษัท EPC global เพื่อพัฒนา EPC ในเชิงพาณิชย์ ส่วนศูนย์ Auto-ID ได้เปิดตัวลงอย่างเป็นทางการ ยังคงเหลือเฉพาะส่วนปฏิบัติการวิจัยและพัฒนา (Auto-ID Lab)

2.4 ส่วนประกอบของระบบอาร์เอฟไอดี

ในระบบระบบอาร์เอฟไอดีประกอบไปด้วยส่วนหลัก ๆ 2 ส่วนด้วยกัน ส่วนแรกคือ ทรานสปอนเดอร์หรือแท็ก (Transponder/Tag) ใช้สำหรับติดกับวัตถุต่าง ๆ ที่ต้องการ โดยในส่วนของแท็กนั้นจะประกอบด้วยสายอากาศ และไม่โครชิปที่ไว้สำหรับบันทึก หมายเลข (ID) หรือข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้น ๆ ส่วนที่สองคือเครื่องอ่านข้อมูลใช้สำหรับอ่านข้อมูลที่บันทึกไว้ภายในแท็ก (Interrogator/Reader) ซึ่งเครื่องอ่านข้อมูลจะทำงานด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งส่วนประกอบของระบบอาร์เอฟไอดีแสดงในรูปที่ 2.1 ถ้าจะเปรียบเทียบระบบอาร์เอฟไอดีกับระบบบาร์โค้ดแท็ก ในระบบอาร์เอฟไอดีเปรียบได้กับตัวรหัสแท่งที่ติดกับฉลากสินค้า และเครื่องอ่านข้อมูลใน ระบบอาร์เอฟไอดีเปรียบได้กับเครื่องอ่านรหัสแท่ง (Scanner) โดยทั้ง 2 ระบบ มีข้อแตกต่างกันคือ ระบบอาร์เอฟไอดีจะใช้คลื่นความถี่วิทยุในการอ่านและการเขียนข้อมูล ส่วนระบบรหัสแท่งจะใช้แสงเลเซอร์ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

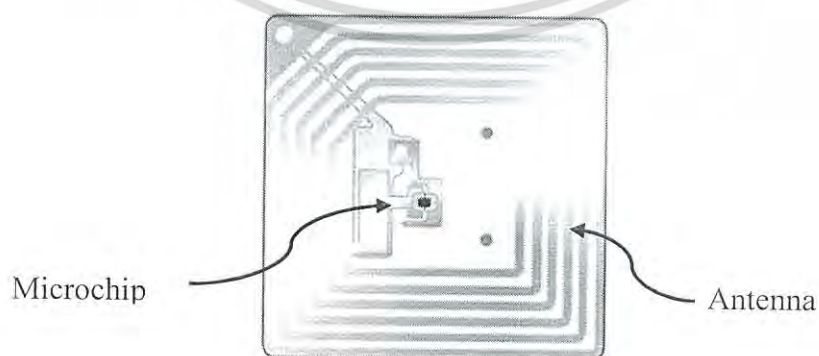
การอ่าน ซึ่งระบบรหัสแท่งมีข้อเสีย คือในการอ่านหรือการสแกนต้องใช้แสงในการอ่านรหัสแท่ง ซึ่งจะต้องไม่มีสิ่งกีดขวางหรือต้องอยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกับลำแสงที่ยิงจากเครื่องสแกนเท่านั้น และสามารถอ่านได้ที่ละรหัสในระยะใกล้ ๆ แต่ระบบอาร์เอฟไอดีสามารถอ่านรหัสจากแท็กได้โดยไม่ต้องเห็นแท็ก หรือแท็กนั้นซ่อนอยู่ภายในวัตถุ และไม่จำเป็นต้องอยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกันกับคลื่นของเครื่องอ่านข้อมูล เนื่องจากระบบอาร์เอฟไอดีในใช้คลื่นวิทยุในการทำงาน ฉะนั้นเพียงอยู่ในบริเวณที่สามารถรับคลื่นวิทยุได้ก็สามารถอ่านข้อมูลได้ และการอ่านแท็กในระบบอาร์เอฟไอดีสามารถอ่านข้อมูลได้ครั้งละหลาย ๆ แท็กในเวลาเดียวกัน ซึ่งระยะในการอ่านข้อมูลได้ไกลกว่าระบบรหัสแท่งอีกด้วย โดยส่วนประกอบของระบบอาร์เอฟไอดีจะอธิบายรายละเอียดต่อไป



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทั่วไปของระบบอาร์เอฟไอดี [19]

2.4.1 แท็ก (Tag/Transponders)

แท็กประกอบด้วยโครงสร้างภายใน 2 ส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่ ส่วนของไมโครชิป (Microchip) ทำหน้าที่เก็บข้อมูลต่าง ๆ ของวัตถุ เช่น รหัสสินค้า ข้อมูลสินค้า และส่วนของสายอากาศ (Antenna) สำหรับรับส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ และสร้างพลังงานป้อนให้ส่วนของไมโครชิป โดยทั่วไปแท็กมีลักษณะที่หลากหลายรูปแบบ ยกตัวอย่างเช่น เป็นกระดาษ แผ่นฟิล์ม พลาสติก มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการใช้งานด้วยว่านำไปติดกับวัสดุรูปแบบใด ซึ่งวัสดุที่มีการใช้งานร่วมกับแท็กมีรูปแบบที่หลากหลาย เช่น บัตรเครดิต เเทรียญ กระดุม ฉลาก แคปซูล เป็นต้นซึ่งโครงสร้างและรูปแบบของแท็กแสดงในรูปที่ 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ

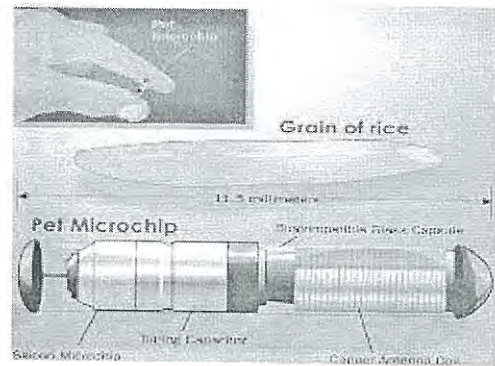


รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของแท็ก [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) แท็กแบบเหรียญ



(ข) แท็กแบบกระเปาะแก้ว



(ค) แท็กแบบแท็ก



(ง) แท็กแบบบัตร

รูปที่ 2.3 แท็กระบบอาร์เอฟไอดีในรูปแบบต่าง ๆ [17]

2.4.1.1 การแบ่งประเภทของแท็กตามวิธีการส่งพลังงานไปยังแท็ก

การแบ่งประเภทของแท็กตามวิธีการส่งพลังงานไปยังแท็ก สามารถแบ่งแท็กออกเป็น 3 ชนิด ใหญ่ ๆ คือ แท็กแบบพาสซีฟ (Passive tag) แท็กแบบกึ่งแอ็กทีฟ (Semi-active tag) และแท็กแบบแอ็กทีฟ (Active tag) โดยแท็กแต่ละชนิดก็จะมี ความแตกต่างกันตามการใช้งาน ราคา โครงสร้าง และหลักการทำงาน โดยรายละเอียดดังนี้

2.4.1.1.1 แท็กชนิดพาสซีฟ

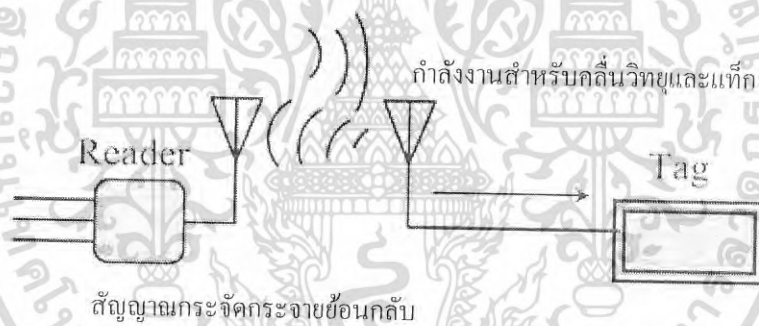
แท็กชนิดนี้ทำงานได้ไม่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟจากภายนอก เนื่องจากภายในของแท็กมี วงจรกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาดเล็กเป็นแหล่งจ่ายไฟให้อยู่ ทำให้การอ่านข้อมูลทำได้ไม่ไกลมากนัก ระยะอ่านสูงสุดประมาณ 1 m ขึ้นอยู่กับกำลังงานของเครื่องส่งและคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้ งาน โดยปกติ แท็กชนิดนี้มักมีหน่วยความจำขนาดเล็กประมาณ 16 - 1,024 Byte และน้ำหนักเบา ดังแสดงในรูปที่ 2.4 โดยทั่วไปโครงสร้างภายในส่วนที่เป็นไอซีของแท็กนั้นก็จะประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่ ส่วน ของควบคุมการทำงานของภาครับส่งสัญญาณวิทยุ (Analog Front-End) ส่วนควบคุม ภาคลอจิก (Digital Control Unit) ส่วนของหน่วยความจำ (Memory) ซึ่งอาจจะเป็นแบบ ROM หรือ EEPROM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แท็กชนิดพาสซีฟ [17]

การทำงานของแท็กชนิดพาสซีฟ แท็กชนิดนี้ทำงานได้ไม่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟภายนอกใด ๆ โดยทั่วไปการทำงานของแท็กชนิดพาสซีฟในย่านความถี่ต่ำและความถี่สูง (LF และ HF) จะใช้หลักการคู่ควบแบบเหนี่ยวนำ (Inductive coupling) ซึ่งเกิดจากการอยู่ใกล้กันของขดลวดจากเครื่องอ่านข้อมูลที่กำลังทำงานและสายอากาศของแท็ก ทำให้เกิดการถ่ายเทพลังงานจากเครื่องอ่านไปยังไมโครชิปในแท็กผ่านสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น เมื่อไมโครชิปได้รับพลังงานก็จะทำงานตามลักษณะเฉพาะของข้อมูลรหัสประจำตัวปฏิกิริยาของไมโครชิปดังกล่าว เครื่องอ่านจะรับรู้ได้ผ่านสนามแม่เหล็กและจะทำการตีความเป็นข้อมูลดิจิทัล แสดงถึงรหัสประจำตัวที่ส่งมาจากแท็กได้ ลักษณะเงื่อนไขในการเหนี่ยวนำแบบซิกพาทำให้การอ่านข้อมูลทำได้ไม่ไกลมากนัก โดยทั่วไประยะอ่านสูงสุดจะประมาณ 1 เมตร ขึ้นอยู่กับกำลังงานของเครื่องส่งและคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้งาน

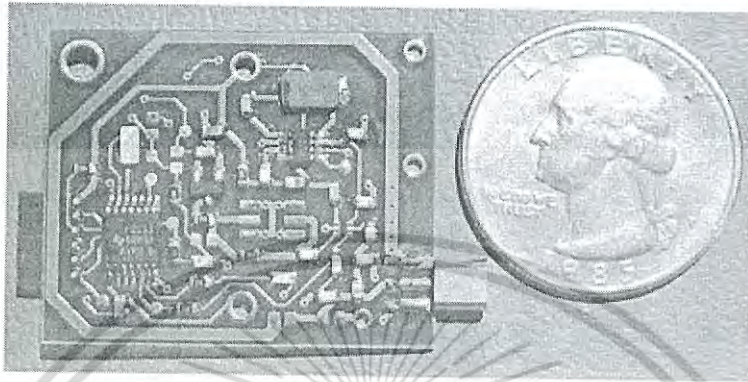


รูปที่ 2.5 หลักการทำงานของแท็กชนิดพาสซีฟ [18]

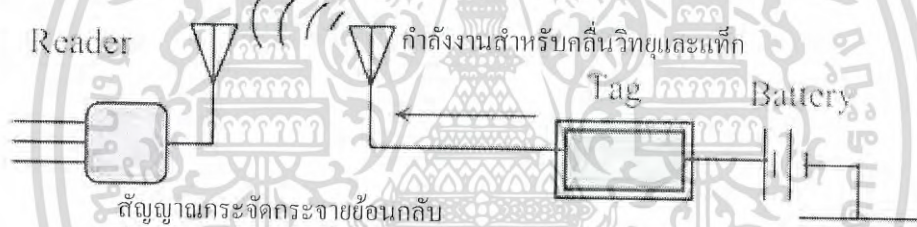
ในส่วนระบบย่านความถี่เอชเอฟ (UHF) แทนที่จะใช้การสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จะใช้การคู่ควบแบบแผ่กระจาย (Propagation coupling) โดยที่สายอากาศของเครื่องอ่านจะทำการส่งพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปคลื่นวิทยุออกมา ซึ่งเมื่อแท็กได้รับสัญญาณผ่านสายอากาศ แท็กจะทำงานโดยการสะท้อนกลับคลื่นที่ได้รับ ซึ่งถูกปรับค่าตามรหัสประจำตัวของแท็กไปยังเครื่องอ่านข้อมูล (Backscattering) ทั้งนี้การทำงานในย่านความถี่ที่แตกต่างกัน จะทำให้คุณสมบัติการทะลวงแตกต่างกัน รวมทั้งประสิทธิภาพโดยรวมจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขอื่น ๆ ด้วย เช่น ขนาดของสายอากาศ หรือสภาพแวดล้อมบริเวณนั้นว่ามีสัญญาณรบกวนมากน้อยเพียงใด

2.4.1.1.2 แท็กชนิดกึ่งแอ็กทีฟ (Semi-active tag)

แท็กแบบกึ่งแอ็กทีฟ (Semi-active tag) หรืออีกชื่อหนึ่งคือแท็กแบบกึ่งพาสซีฟ (Semi-passive tag) แท็กชนิดนี้จะทำงานได้ต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ เพื่อจ่ายพลังงานให้กับวงจรไฟฟ้าภายในแท็ก แต่อย่างไรก็ตามแท็กชนิดนี้ยังต้องใช้กำลังงานที่ได้รับจาก เครื่องอ่านข้อมูลในการส่งข้อมูลกลับไปยังเครื่องอ่านข้อมูล แสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แท็กชนิดกึ่งแอ็กทีฟ [16]



รูปที่ 2.7 หลักการทำงานของแท็กชนิดกึ่งแอ็กทีฟ [18]

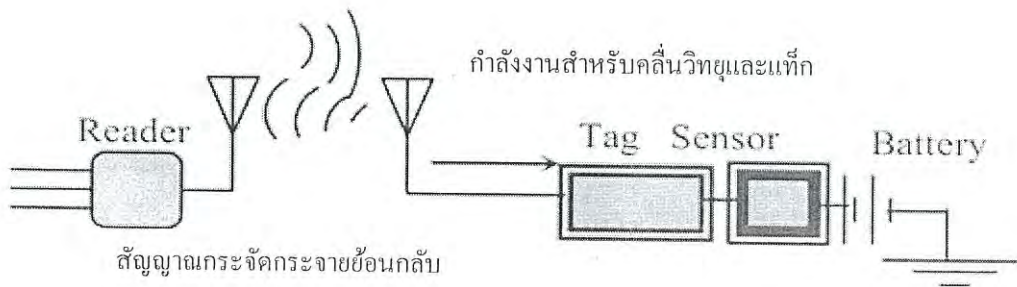
หลักการทำงานของแท็กชนิดกึ่งแอ็กทีฟแสดงดังรูปที่ 2.7 เครื่องอ่านจะทำการติดต่อสื่อสารมาก่อนแล้วจะตามด้วยการทำงานของแท็ก ส่วนการส่งสัญญาณกลับยังคงจะต้องใช้สัญญาณที่เกิดจากการกระจัดกระจายย้อนกลับ และใช้เวลาเพียงเล็กน้อยในการอ่านข้อมูล ด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้แท็กชนิดนี้มีความเหมาะสมกับการใช้งานระบุตัวตนของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง แท็กชนิดกึ่งแอ็กทีฟนี้มีระยะเวลาการติดต่อสื่อสารที่ไกลกว่าแท็กชนิดพาสซีฟแต่ยังไม่สูงเท่าระยะเวลาการทำงานของแท็กชนิดแอ็กทีฟ

2.4.1.1.3 แท็กชนิดแอ็กทีฟ

แท็กชนิดนี้จะต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ภายนอก เพื่อจ่ายพลังงานให้กับวงจรภายในทำงาน โดยแท็กแบบนี้สามารถมีหน่วยความจำภายในขนาดใหญ่ได้ถึง 1 MB และสามารถอ่านได้ในระยะไกลสูงสุดประมาณ 100 m ข้อเสียของแท็กชนิดนี้คือ มีราคาต่อหน่วยสูง มีขนาดค่อนข้างใหญ่ และมีอายุการใช้งานที่จำกัดตามอายุของแบตเตอรี่ซึ่งจะมีอายุการใช้งานประมาณ 3 - 7 ปี หลักการทำงาน และตัวอย่างของแท็กชนิดแอ็กทีฟแสดงในรูปที่ 2.8 และ 2.9 ตามลำดับ โดยตารางที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 จะแสดงผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของสายอากาศแท็กในแต่ละประเภทรูปที่ 2.8 หลักการทำงานของแท็กชนิดแอ็กทีฟ [18]



รูปที่ 2.8 หลักการทำงานของแท็กชนิดแอ็กทีฟ [18]



รูปที่ 2.9 แท็กชนิดแอ็กทีฟ [18]

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของสายอากาศแท็ก

คุณสมบัติของแท็ก	ประเภทของแท็ก		
	ชนิดพาสซีฟ	ชนิดกึ่งพาสซีฟ	ชนิดแอ็กทีฟ
แหล่งพลังงาน	ไม่มีแหล่งกำเนิดพลังงานในตัวเอง แต่อาศัยพลังงานที่ส่งมาจากเครื่องอ่านข้อมูล	มีแหล่งกำเนิดพลังงานในตัวเอง (แบตเตอรี่)	มีแหล่งกำเนิดพลังงานในตัวเอง (แบตเตอรี่)
การติดต่อสื่อสาร	เครื่องอ่านข้อมูลจะกำหนดการเริ่มต้นการสื่อสาร	เครื่องอ่านข้อมูลจะกำหนดการเริ่มต้นการสื่อสาร	เครื่องอ่านข้อมูลหรือแท็กจะกำหนดการเริ่มต้นการสื่อสาร
ขนาด	เล็ก	กลาง	ใหญ่
ระยะการอ่าน	ใกล้ (มากกว่า 2 m)	ปานกลาง (100 m)	ไกล (1 km)
ขนาดหน่วยความจำ	1 - 128 bit	-	สูงสุด 8 MB
ราคา	ไม่แพง	ปานกลาง	แพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.2 การแบ่งประเภทของแท็กตามความสามารถของระบบอาร์เอฟไอดี

นอกจากการแบ่งประเภทของแท็กจากวิธีการส่งพลังงานแล้ว ยังสามารถแบ่งประเภทของแท็กตามรูปแบบการอ่านหรือการบันทึกข้อมูลได้อีกด้วย ซึ่งในการแบ่งประเภทแท็กตามรูปแบบการอ่านข้อมูลสามารถแบ่งแท็กออกได้เป็น 3 ประเภท คือ แท็กสำหรับระบบอย่างเดียว (Read Only System) แท็กสำหรับระบบอ่านและเขียน (Read-Write System) และแท็กสำหรับ ระบบไมโครโพรเซสเซอร์ (Microprocessor System) โดยรายละเอียดจะอธิบายในหัวข้อต่อไป

2.4.1.2.1 ระบบอ่านอย่างเดียว (Read Only System)

แท็กชนิดนี้อ่านได้เพียงอย่างเดียว (Read Only System) เป็นแท็กที่มีข้อมูลซึ่งจะอยู่ในรูปแบบ Serial Number และไม่สามารถเขียนข้อมูลใหม่ลงไปได้ เหมาะกับงานที่ต้องการอ่าน อย่างเดียว เพื่อแยกแยะความแตกต่างของสินค้าหรือบุคคล ระบบชนิดของสินค้า Pallets หรือ ตู้คอนเทนเนอร์มีราคาต่ำ โดยความถี่ที่ใช้งานจะต่ำกว่า 135 KHz หรือ 2.45 GHz

2.4.1.2.2 ระบบอ่านเขียน (Read-Write System)

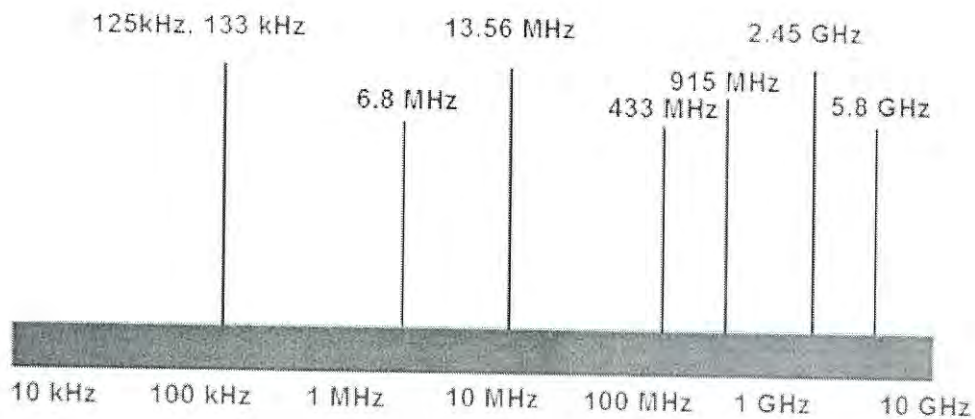
แท็กชนิดนี้สามารถเขียนข้อมูลเข้าได้ โดยความจุจะอยู่ที่ 16 Byte จนถึงมากกว่า 16 KB หน่วยความจำที่ใช้จะเป็นชนิด EEPROM หรือ SRAM ความถี่ที่ใช้งานจะเป็น 135 KHz 13.56 MHz 27.125 MHz และ 2.45 GHz

2.4.1.2.3 ระบบไมโครโพรเซสเซอร์ (Microprocessor System)

ระบบนี้จะจัดอยู่ประเภทที่ดีที่สุด เพราะมีไมโครโพรเซสเซอร์เป็นตัวประมวลผลใน แท็กสามารถประยุกต์ใช้งานที่หลากหลายและมีฟังก์ชันการสร้างรหัสลับ (Crypto logical functions) สามารถนำไปใช้งานที่เกี่ยวข้องกับการรักษาความปลอดภัย ส่วนมากระบบนี้จะใช้ย่านความถี่ที่ 13.56 MHz หน่วยความจำที่ใช้งานจะมีขนาดตั้งแต่น้อย ๆ จนถึง 16 KB และหน่วยความจำ เป็นชนิด EEPROM

2.4.1.3 การแบ่งประเภทของแท็กตามย่านความถี่ใช้งานของระบบอาร์เอฟไอดี

นอกจากนี้ย่านความถี่ในการใช้งานถือเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งในการเลือกใช้แท็กสำหรับระบบอาร์เอฟไอดี ซึ่งสามารถแบ่งชนิดของแท็กตามย่านความถี่การใช้งานออกเป็น 4 ย่านความถี่หลัก คือ แท็กย่านความถี่ต่ำ (Low Frequency: LF) แท็กย่านความถี่สูง (High Frequency: HF) แท็กย่านความถี่ยูเอชเอฟ (Ultra High Frequency: UHF) และแท็กย่านความถี่ไมโครเวฟ (Microwave frequency) โดยย่านความถี่ใช้งานของระบบอาร์เอฟไอดีแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ย่านความถี่ใช้งานระบบอาร์เอฟไอดี [13]

โดยการเปรียบเทียบชนิดของแท็กแต่ละความถี่ใช้งาน ในย่านความถี่ต่าง ๆ สามารถวัดระยะการอ่านข้อมูลซึ่งสรุปได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบคลื่นความถี่ใช้งานในแต่ละย่านความถี่กับระยะการอ่านข้อมูล

ชนิดของแท็ก	ความถี่	ระยะที่อ่านได้
แท็กย่านความถี่ต่ำ	125 – 134 kHz	น้อยกว่า 1 m (10 cm)
แท็กย่านความถี่สูง	13.56 MHz	น้อยกว่า 1.5 m (~1 m)
แท็กย่านความถี่ยูเอชเอฟ	860 – 960 MHz	2 – 5 m 1 – 100 m (แท็กชนิดแอ็กทีฟ)
แท็กย่านความถี่ไมโครเวฟ	2.45 GHz	น้อยกว่า 1 m (แท็กชนิดพาสซีฟ) 1 – 15 m (แท็กชนิดแอ็กทีฟ)

ในการใช้งานย่านความถี่ต่ำ และย่านความถี่สูงจะเหมาะสำหรับการใช้งานที่มีระยะในการสื่อสารข้อมูลระยะใกล้ โดยย่านความถี่ต่ำที่ความถี่ 125 kHz - 134 kHz ซึ่งนิยมนำมาประยุกต์ใช้งานสำหรับควบคุมการเข้าออกอาคาร และสถานที่ต่าง ๆ โดยส่วนย่านความถี่สูงที่ความถี่ 13.56 MHz นิยมนำมาใช้ในงานในการทำบัตรเอนกประสงค์แบบไร้สัมผัส เช่น หนังสือเดินทางอิเล็กทรอนิกส์ ย่านความถี่ยูเอชเอฟจะถูกนำมาใช้ในงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลระยะไกล เช่น ระบบเก็บค่าบริการทางด่วน ระบบขนส่งสินค้า เป็นต้น

2.4.2 เครื่องอ่านข้อมูล (Reader)

เครื่องอ่านข้อมูลทำหน้าที่เชื่อมต่อเพื่ออ่านหรือเขียนข้อมูลลงในแท็กด้วยสัญญาณความถี่วิทยุ ภายในเครื่องอ่านจะประกอบด้วย สายอากาศที่ทำจากขดลวดทองแดง เพื่อใช้รับส่งสัญญาณภาครับและภาคส่งสัญญาณวิทยุ และวงจรควบคุมการอ่าน-เขียนข้อมูล ซึ่งมักจะเป็น วงจรพวกไมโครคอนโทรลเลอร์ และอุปกรณ์ต่อร่วมกับคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องอ่านข้อมูล ประกอบด้วยส่วนประกอบหลักดังนี้

- ภาครับและส่งสัญญาณวิทยุ (Transceiver)
- ภาคสร้างสัญญาณพาหะ (Carrier)
- ขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ (Antenna)
- วงจรจูนสัญญาณ (Tuner)
- หน่วยประมวลผลข้อมูล และภาคติดต่อกับคอมพิวเตอร์ (Processing Unit)

โดยทั่วไปหน่วยประมวลผลข้อมูลที่อยู่ภายในเครื่องอ่านมักใช้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งอัลกอริทึมที่อยู่ภายในโปรแกรม ทำหน้าที่ถอดรหัสข้อมูล (decoding) ที่ได้รับ และทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ โดยลักษณะขนาดและรูปร่างของเครื่องอ่านจะแตกต่างกันไปตามประเภทของ การใช้งาน เช่น เครื่องอ่านข้อมูลแบบมือถือ ซึ่งสามารถพกพาได้สะดวก เครื่องอ่านข้อมูลแบบติดตั้ง และ เครื่องอ่านข้อมูลแบบประตู (Gate size) ซึ่งตัวอย่างเครื่องอ่านข้อมูลแสดงดังรูปที่ 2.11 2.12 และ 2.13 ตามลำดับ



รูปที่ 2.11 เครื่องอ่านข้อมูลแบบมือถือ

รูปที่ 2.12 เครื่องอ่านข้อมูลแบบติดตั้ง

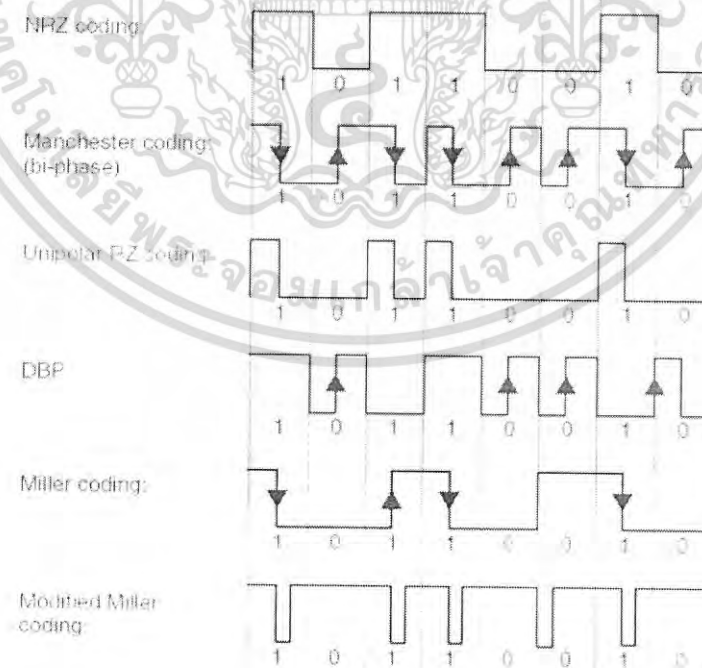
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 เครื่องอ่านข้อมูลแบบประตู [17]

2.5 หลักการรับและส่งข้อมูลระหว่างแท็กกับเครื่องอ่านข้อมูลในระบบอาร์เอฟไอดี

กระบวนการส่งสัญญาณระหว่างระบบอาร์เอฟไอดีและเครื่องอ่านข้อมูลโดยทั่วไป เป็นไปตามกระบวนการทางด้านการสื่อสารระบบดิจิทัล นั่นคือการเตรียมข้อมูลดิจิทัลจะส่งผ่านโดยการเข้ารหัสให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการส่งผ่านช่องสัญญาณ (channel) สัญญาณมีโอกาสจะถูกส่งผ่านช่องสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวน (noise) โดยมีค่าผิดพลาดน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งวิธีการเข้ารหัสนั้นมีได้หลายแบบโดยการเลือกใช้นั้นขึ้นอยู่กับช่องสัญญาณที่จะส่งผ่าน ตัวอย่างเทคนิคการเข้ารหัส เช่น การเข้ารหัสสัญญาณแบบ NRZ การเข้ารหัสแบบ Manchester การเข้ารหัสแบบ Miller การเข้ารหัสแบบ Differential เป็นต้น ซึ่งชนิดของ Line Code ที่ใช้ใน ระบบอาร์เอฟไอดีแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ชนิดของ Line Code ที่ใช้ในระบบ RFID [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปพบว่ามาตรฐานของ Line Code มีอยู่หลายชนิดความแตกต่างของมันก็คือลักษณะการแสดงค่า 0 กับ 1 ที่ให้ลักษณะสัญญาณแตกต่างกัน Line Code ที่พบบ่อยและที่นิยมใช้ก็คือ NRZ และ Manchester Coding

- NRZ Coding: สัญลักษณ์แทนค่า “1” คือช่วงสัญญาณเป็น “High” สัญลักษณ์แทนค่า “0” คือช่วงสัญญาณเป็น “Low”

- Manchester Coding: สัญลักษณ์ “1” จะแทนด้วยช่วงขอบขาลงของสัญญาณ สัญลักษณ์ “0” จะแทนด้วยขอบขาขึ้นของสัญญาณ

ซึ่งหลังจากการเข้ารหัสสัญญาณแล้ว สัญญาณจะถูกทำการเข้ารหัสสัญญาณ (modulation) กับคลื่นพาหะย่านที่สูงกว่าเพื่อทำการส่งรับข้อมูลในย่านนั้น ๆ การเข้ารหัสสัญญาณ หมายถึง การปรับเปลี่ยนค่าต่าง ๆ ของคลื่นพาหะซึ่งเป็นคลื่นสนามแม่เหล็ก เช่น แอมพลิจูด เฟส และ ความถี่ตามค่าของข้อมูลที่ส่ง ตัวอย่างเช่น ในการเข้ารหัสสัญญาณแบบ ASK (amplitude shift keying) ค่าแอมพลิจูดของคลื่นพาหะจะถูกเปลี่ยนอยู่ระหว่างค่าสองค่าซึ่งขึ้นกับค่าไบนารีของสัญญาณที่ถูกเข้ารหัส

2.6 คุณสมบัติของระบบอาร์เอฟไอดี

ในหัวข้อก่อนหน้านี้ได้ทราบถึงโครงสร้างการทำงานและเทคโนโลยีของระบบอาร์เอฟไอดี ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงคุณสมบัติของระบบอาร์เอฟไอดี ซึ่งอาศัยพื้นฐานของการสื่อสารแบบคลื่นวิทยุเป็นเกณฑ์สำคัญดังต่อไปนี้

2.6.1 สามารถอ่านและเขียนโดยไม่ต้องสัมผัส

จุดเด่นข้อแรกของระบบอาร์เอฟไอดี คือเครื่องอ่านกับแท็กสามารถสื่อสารกันได้โดยไม่ต้องสัมผัสกัน ทำให้ไม่เกิดการสึกหรอของแถบแม่เหล็ก ลดต้นทุนในการดูแลรักษา แท็กมีอายุการใช้งานยาวนาน

2.6.2 สามารถอ่านและเขียนข้อมูลได้สะดวก

ระบบอาร์เอฟไอดีเป็นเทคโนโลยีที่สามารถอ่านและเขียนข้อมูลได้สะดวก ซึ่งบางระบบ ต้องใช้เครื่องอ่านและเครื่องเขียนแยกกัน เช่น บาร์โค้ด ต้องมีเครื่องพิมพ์และเครื่องอ่านแยกกัน สมาร์ทการ์ดต้องนำแท็กมาสัมผัสกับวงจรรอ่านและเขียนโดยตรง แต่ระบบอาร์เอฟไอดีตัวอ่านกับตัวเขียนข้อมูลจะอยู่ในตัวเดียวกันเพียงเปลี่ยนโหมดโดยใช้ซอฟต์แวร์เท่านั้น จึงเหมาะสำหรับงานที่ต้องการการเปลี่ยนแปลงข้อมูลอยู่ตลอดเวลา เช่น สายการผลิตอัตโนมัติ

2.6.3 สามารถสื่อสารได้ทุกทิศทาง

เนื่องจากคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การอ่านและการเขียนในระบบอาร์เอฟไอดีจึงไม่ต้องคำนึงถึงทิศทาง โดยแท็กไม่จำเป็นต้องวางในตำแหน่งที่ตรงกับเครื่องอ่านข้อมูล แท็กสามารถอยู่ด้านหลัง ด้านข้าง หรือแม้กระทั่งถูกหีบอยู่แท็กก็สามารถติดต่อสื่อสารกับเครื่องอ่านข้อมูลได้เพียงแท็กวางในบริเวณที่มีคลื่นวิทยุเท่านั้น ทำให้สะดวกต่อการใช้งาน

2.6.4 แท็กสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

ด้วยลักษณะโครงสร้างและความสามารถในการเขียนข้อมูลซ้ำหลาย ๆ ครั้งได้ ทำให้แท็กสามารถนำกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตได้มากกว่า 100,000 ครั้งต่อแท็ก 1 อัน คุณสมบัติข้อนี้เป็นจุดเด่นอีกจุดหนึ่งที่ระบบอาร์เอฟไอดีที่สามารถทำได้

2.6.5 ระบบอาร์เอฟไอดีมีแท็กหลากหลายแบบเหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ

แท็กของระบบอาร์เอฟไอดีนั้นจะถูกออกแบบให้มีรูปร่าง ขนาด โครงสร้าง ความจุของหน่วยความจำและลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป เช่น มีลักษณะเป็นสมาร์ตการ์ด กระดุม เหรียญ ทรงสี่เหลี่ยม หรือแม้กระทั่งเป็นแผ่นบาง ๆ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้งานตามความต้องการ

2.6.6 มีความสามารถในการทะลุทะลวงของสัญญาณ

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถทะลุผ่านวัตถุที่ไม่ใช่โลหะ หรือมีโลหะเป็นส่วนผสมอยู่ เช่น พลาสติก ฝวหนัง ไม้ ปูนซีเมนต์ เป็นต้น ดังนั้นแท็กจึงสามารถติดตั้งทั้งแบบฝัง แบบซ่อนลงไปในเรื่องวัตถุที่ต้องการใช้งาน โดยไม่มีผลกระทบกับการติดต่อสื่อสารระหว่างแท็กกับเครื่องอ่านข้อมูล ตัวอย่างการนำไปประยุกต์ใช้งาน เช่นการฉีดยาแท็กที่มีลักษณะเป็นแท่งแก้วเล็ก ๆ เข้าไปในตัวสัตว์ และการฝังแท็กลงบนพื้นในระบบ AGV (Automatic Guide Vehicle)

2.6.7 สามารถสื่อสารได้ระยะไกล

ระยะในการอ่านและการเขียนข้อมูลของระบบอาร์เอฟไอดีสามารถทำได้ในระยะไกล ๆ ทั้งนี้ระยะในการอ่านและการเขียนข้อมูลจะขึ้นอยู่กับกำลังส่งของสายอากาศ และช่วงความถี่ที่ใช้งาน สำหรับกำลังส่งของสายอากาศนั้นจะถูกกำหนดโดยกฎหมายของแต่ละประเทศ ทำให้ระบบอาร์เอฟไอดีที่ผลิตในบางประเทศมีระยะในการอ่านและการเขียนต่างกันออกไปทั้งที่ความถี่ใช้งานเดียวกัน

2.6.8 มีความปลอดภัยสูง

ระบบอาร์เอฟไอดีเป็นระบบที่มีความปลอดภัยสูง เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารเป็นข้อมูลดิจิทัลในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้สามารถเพิ่มความปลอดภัยของข้อมูลด้วยการเข้ารหัสลับ เพื่อไม่ให้ผู้อื่นไม่สามารถทราบข้อมูลที่ไมต้องการเปิดเผยได้

2.6.9 การอ่านและการเขียนข้อมูลสามารถทำพร้อมกันหลาย ๆ แท็กในเวลาเดียวกันได้

กล่าวคือเมื่อแท็กอยู่ในบริเวณที่มีสัญญาณคลื่นวิทยุ เครื่องอ่านข้อมูลจะสามารถอ่านและเขียนข้อมูลจากแท็กได้พร้อมกัน โดยสามารถทำได้หลาย ๆ แท็กพร้อมกัน หรือจะเลือกอ่านเฉพาะแท็กที่ต้องการระบุก็ได้

2.6.10 สามารถอ่านและเขียนข้อมูลขณะวัตถุกำลังเคลื่อนที่

เครื่องอ่านข้อมูลสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้ แม้ขณะฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งกำลังเคลื่อนที่ โดยความเร็วของการเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับชนิดของการสื่อสาร หน่วยความจำและปริมาณข้อมูลที่ใช้อ่านและเขียน

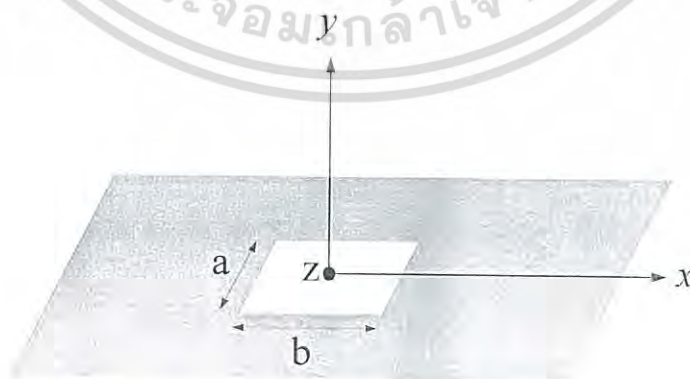
2.7 ทฤษฎีพื้นฐานการออกแบบสายอากาศ

สายอากาศถือเป็นองค์ประกอบสำคัญอีกประการหนึ่งสำหรับการสื่อสารไร้สาย ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและการวิเคราะห์สายอากาศ ซึ่งต้องอาศัยหลักการและทฤษฎีพื้นฐานสำหรับสายอากาศ โดยจะทำการคำนึงถึงพารามิเตอร์สำหรับการใช้งาน ซึ่งพารามิเตอร์ที่สำคัญในการใช้งานสายอากาศ ได้แก่ บริเวณต่าง ๆ ของสนามสายอากาศ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation pattern) ความกว้างลำคลื่น (Beamwidth) ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity) อัตราขยาย (Gain) โพลาริซ (Polarization) รวมถึงอัตราส่วนแกนของสายอากาศ เป็นต้น ซึ่งในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ จะกล่าวถึงพารามิเตอร์ที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศที่นำเสนอ โดยจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

2.7.1 การเจาะช่อง (Slot)

สายอากาศร่องเหมาะสำหรับการออกแบบสายอากาศใช้งานที่ความถี่ระหว่าง 300 MHz ถึง 24 GHz สายอากาศร่องเป็นที่นิยมเพราะสามารถตัดร่องออกจากพื้นที่ผิวใด ๆ ที่จะทำให้การออกแบบ เช่น แผ่นทองแดง ท่อนำคลื่น แผ่นวัสดุฐานรอง FR-4 และอื่น ๆ โดยมีรูปแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเป็นแบบรอบทิศทางเหมือนกับแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบสายอากาศไดโพล มีการโพลาไรซ์ของสายอากาศร่องเป็นแบบเชิงเส้น ซึ่งขนาดของร่องสายอากาศ รูปร่างและสิ่งที่อยู่ข้างหลังร่อง (ช่องอากาศว่าง) สามารถที่จะทำการออกแบบหรือปรับแต่งประสิทธิภาพของสายอากาศได้

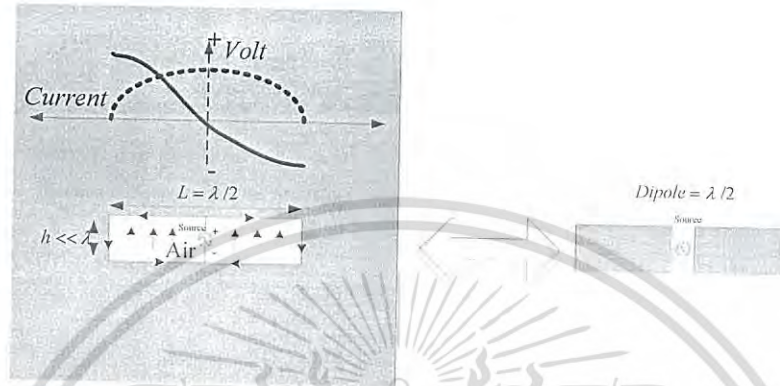
สายอากาศร่องทำการพิจารณาบนแผ่นวัสดุตัวนำที่มีขนาดกว้าง ยาวเป็นอนันต์ โดยมีช่องสี่เหลี่ยมที่ตัดออกจากแผ่นวัสดุตัวนำที่มีขนาด a และ b ดังแสดงในรูปที่ 2.15 ถ้าหากขนาดของร่องเหมาะสมจะทำให้เกิดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา ก็จะเป็นสายอากาศร่อง โดยเรามักจะเรียกร่องของสายอากาศว่าช่อง



รูปที่ 2.15 สายอากาศร่องที่มีขนาดกว้าง a และยาว b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

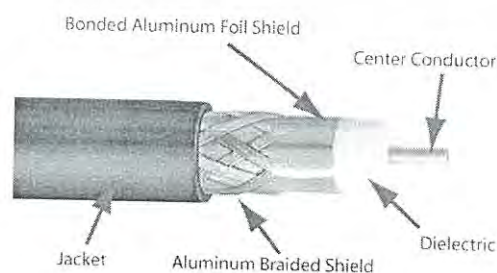
เพื่อให้สามารถทำความเข้าใจเกี่ยวกับสายอากาศร่อง โดยทำการอ้างอิงข้อมูลของ H. G. Booker ตีพิมพ์ในปี 1946 [20] หลักการนี้เกี่ยวข้องกับสนามที่มีการแพร่กระจายคลื่นและอิมพีแดนซ์ของช่องหรือร่องสายอากาศ จากรูปที่ 2.16 จะเห็นว่าสายอากาศร่องจะมีช่องว่างอากาศชั้นกลาง โดยมีความกว้างร่อง $h \ll \lambda$ และความยาว $L = \lambda/2$ เมื่อทำการป้อนสัญญาณตรงตำแหน่งตรงกลางร่องจะเห็นได้ว่าการเหนี่ยวนำเกิดขึ้นระหว่างขอบตัวนำด้านบนและขอบตัวนำด้านล่างเสมือนเป็นสายอากาศที่มี 2 แขนเหมือนสายอากาศไดโพลดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 การเปรียบเทียบระหว่างสายอากาศร่องกับสายอากาศไดโพล

2.7.2 การป้อนสัญญาณด้วยสายโคแอกเซียล

สายโคแอกเซียลเป็นองค์ประกอบสำคัญในการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศที่ทำการวิจัย ซึ่งหลักการของโคแอกเซียลนี้เป็นการป้อนแบบดิสคัลิต โดยสายโคแอกเซียล (Coaxial) จะเป็นตัวกลางเชื่อมโยงระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับสายอากาศร่องรูปตัวเอส โดยสายโคแอกเซียลที่ใช้ทั่วไปมี 2 ชนิด คือ 50 โอห์มซึ่งใช้ส่งข้อมูลร่วมกับเครื่องมือวัดและงานด้านการสื่อสารทั่วไปและชนิด 75 โอห์มซึ่งใช้กับระบบโทรทัศน์การสื่อสารด้านดาวเทียมที่วีดิจิตล สายโคแอกประกอบด้วยลวดทองแดงที่เป็นแกนหลักหนึ่งเส้นที่หุ้มด้วยฉนวนชั้นหนึ่ง เพื่อป้องกันกระแสไฟรั่ว จากนั้นจะหุ้มด้วยตัวนำซึ่งทำจากลวดทองแดงถักเปีย เพื่อป้องกันการรบกวนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและสัญญาณรบกวนอื่นๆ ก่อนจะหุ้มชั้นนอกสุดด้วยฉนวนพลาสติก ลวดทองแดงที่ถักเป็นเปียนี้เองเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้สายแบบนี้มีช่วงความถี่สัญญาณทางไฟฟ้าสามารถผ่านได้สูงมาก และนิยมใช้เป็นตัวกลางในการสื่อสารสัญญาณแอนะล็อกที่เชื่อมโยงข้อมูลระหว่างประเทศ โดยแสดงโครงสร้างสายนำสัญญาณโคแอกเซียลในรูปที่ 2.17



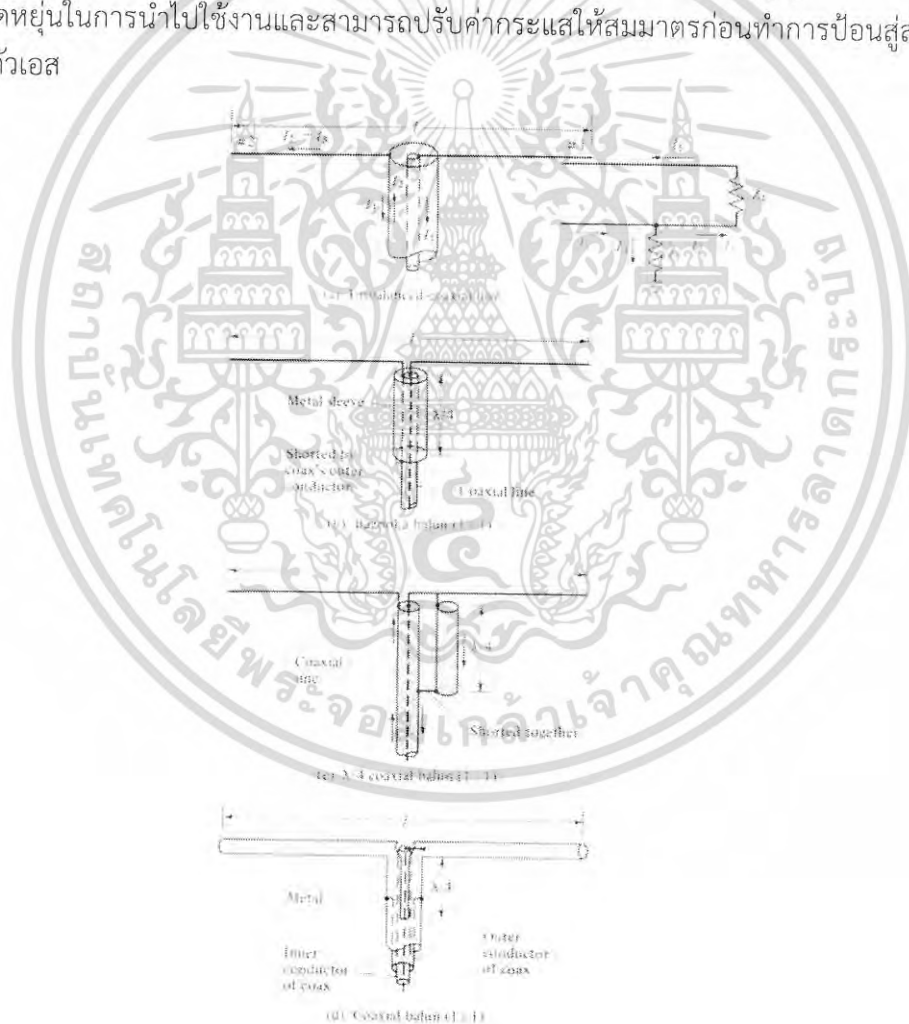
รูปที่ 2.17 โครงสร้างสายนำสัญญาณโคแอกเซียล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 บาลัน (Balun)

สายอากาศไดโพลมีโครงสร้างที่เป็นลวดตัวนำสองชิ้นวางเรียงเป็นแนวเส้นตรง ปกติถูกป้อนด้วยสายนำสัญญาณโคแอกเซียล เพื่อให้มีกระแสไฟฟ้าไหลอย่างสมมาตรในลวดตัวนำทั้งสอง ซึ่งทำได้โดยใช้ สายนำสัญญาณคู่ขนานที่มีโครงสร้างสมมาตรเช่นเดียวกับสายอากาศไดโพล หากทำได้เช่นนี้สายอากาศจะแพร่กระจายคลื่นที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่สมมาตรกับโครงสร้างของสายอากาศ อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติอาจป้อนสายอากาศด้วยสายนำสัญญาณแกนร่วม (Coaxial transmission line) ที่มีโครงสร้างที่ไม่สมมาตร ทำให้กระแสที่ไหลในลวดไดโพลสองข้างไม่เท่ากัน เป็นผลให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นไม่สมมาตรและบิดเบี้ยวจากที่ควรจะเป็น ในการทำให้กระแสไหลได้เท่ากันจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่แปลงให้กระแสจากโครงสร้างที่ไม่สมมาตรไปยัง โครงสร้างที่สมมาตรที่เรียกว่าบาลัน (Balun : Balance to unbalance)

บาลันมีด้วยกันหลายแบบได้แก่ บาซูก้าบาลัน (Bazooka balun) $\lambda/4$ โคแอกเซียลบาลัน และโคแอกเซียลบาลัน ดังแสดงในรูปที่ 2.18 โดยวิธีที่ง่ายและเหมาะสมกับสายอากาศร่องรูปตัวเอสได้แก่โครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.18 (c) ที่มีโครงสร้างที่ง่ายโดยใช้สายนำสัญญาณในการสร้าง ซึ่งมีความยืดหยุ่นในการนำไปใช้งานและสามารถปรับค่ากระแสให้สมมาตรก่อนทำการป้อนสู่สายอากาศร่องรูปตัวเอส

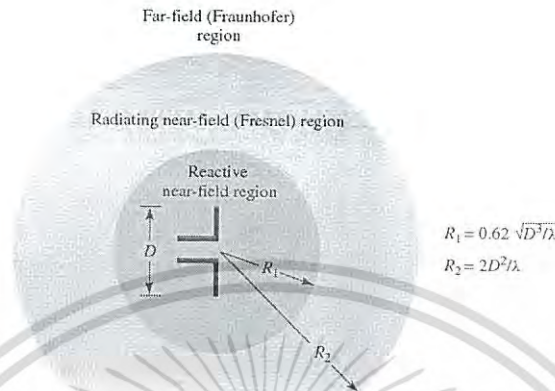


รูปที่ 2.18 โครงสร้างบาลัน [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.4 บริเวณต่าง ๆ ของสนามจากสายอากาศ

โดยทั่วไปช่องว่างบริเวณรอบ ๆ สายอากาศถูกแบ่งออกเป็น 3 ขอบเขต คือ สนามระยะใกล้รีแอกทีฟ (Reactive near-field) สนามระยะใกล้ที่แผ่กระจายคลื่น (Radiating near field (Fresnel)) และสนามระยะไกล (Far-field (Fraunhofer)) ดังรูปที่ 2.19



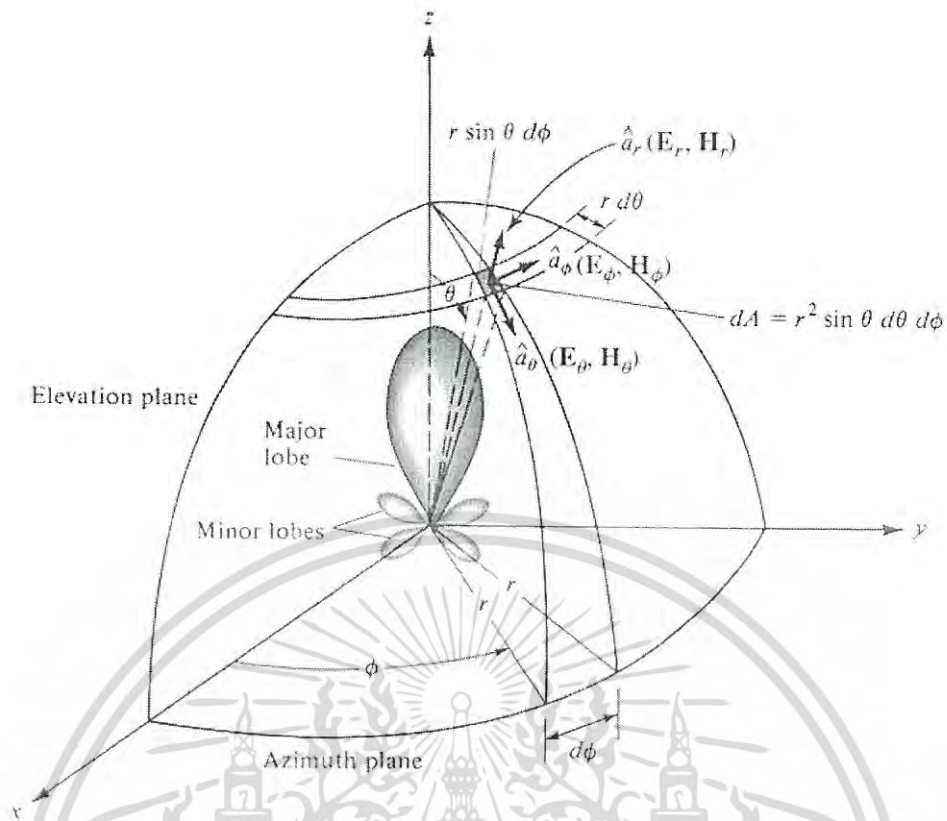
รูปที่ 2.19 การแบ่งบริเวณสนามจากสายอากาศ [2]

บริเวณสนามรีแอกทีฟระยะใกล้ เป็นบริเวณที่ล้อมรอบใกล้สายอากาศมากที่สุดและมีสนามชนิดแอกทีฟเป็นส่วนใหญ่บริเวณนี้จะมีระยะทาง $0.62\sqrt{D^3 / \lambda} \geq$ จากผิวของสายอากาศเมื่อ λ เป็นความยาวคลื่นและ D เป็นมิติที่ยาวที่สุดของสายอากาศ บริเวณสนามกระจายระยะใกล้เป็นบริเวณของสนามของสายอากาศที่อยู่ระหว่างบริเวณของสนามรีแอกทีฟระยะใกล้กับบริเวณสนามระยะไกล โดยมีสนามที่แผ่กระจายอยู่เป็นส่วนใหญ่ การกระจายของสนามตามมุมต่าง ๆ นั้นแปรผันตามระยะทางจากสายอากาศ เมื่อสายอากาศมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น สนามในบริเวณนี้อาจไม่เกิดขึ้น ในบริเวณนี้จะมีระยะทาง $0.62\sqrt{D^3 / \lambda} > R < 2D^2 / \lambda$ บริเวณสนามระยะไกลเป็นบริเวณสนามของสายอากาศ ซึ่งการแผ่ของสนามของสายอากาศตามมุมต่าง ๆ ไม่ขึ้นกับระยะทางจากสายอากาศ ถ้าสายอากาศมีมิติที่ใหญ่ที่สุดเท่ากับ D บริเวณสนามระยะไกลจะเกิดขึ้นที่ระยะทาง R มากกว่า $2D^2 / \lambda$ จากสายอากาศ ในบริเวณนี้สามารถมีลักษณะเป็นสนามตัดขวาง (Transverse Field) และการแผ่กระจายของสนามตามมุมต่าง ๆ ไม่ขึ้นกับระยะทาง ขอบในบริเวณดังกล่าวมีค่า R เท่ากับ $2D^2 / \lambda$ และขอบนอกมีค่าเป็นอนันต์

2.7.5 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่น (Radiation pattern)

แบบรูปการแผ่กระจายคลื่น คือรูปภาพที่ใช้เพื่อแสดงคุณสมบัติของการแผ่กระจายคลื่นซึ่งเป็นฟังก์ชันของสเปซโคออร์ดิเนต (Space coordinates) ส่วนใหญ่แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นจะพิจารณาในบริเวณสนามระยะไกล (Far field) การอธิบายคุณสมบัติของการแผ่กระจายคลื่นจะอาศัยคุณสมบัติต่าง ๆ คือ ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น (Radiation intensity) ความเข้มของสนาม (Field strength) เฟส (Phase) หรือการโพลาไรซ์ (Polarization) ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้มีการกระจายตัวใน 3 มิติ สามารถแสดงได้โดยการใช้ระบบพิกัดแบบ 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

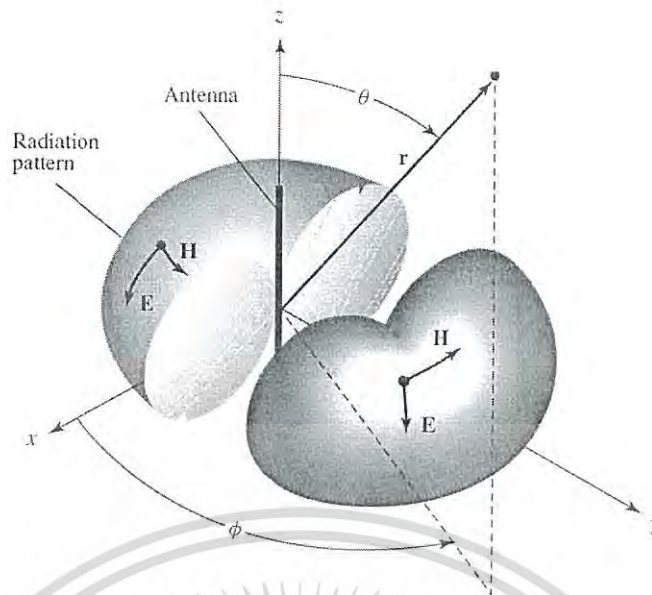


รูปที่ 2.20 ระบบโคออร์ดิเนตสำหรับการวิเคราะห์สายอากาศ [2]

จากรูป 2.20 เป็นการแสดงระบบโคออร์ดิเนตที่ใช้ในการแสดงคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นสำหรับการใช้เส้นเพื่อแสดงกำลังงานที่สายอากาศรับได้ตามแนวรัศมีที่มีค่าคงที่ มีชื่อเรียกว่าแบบรูปกำลังงาน (Power pattern) ของสายอากาศและกราฟที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าในทิศทางต่าง ๆ ที่มีรัศมีคงที่เรียกว่า สนามการแพร่กระจายคลื่น (Field Pattern) ของสายอากาศนั้น

2.7.5.1 แบบรูปการแพร่กระจายแบบไอโซทรอปิก แบบชี้ทิศทางและแบบรอบตัว (Isotropic, Directional and Omni-directional Pattern)

ตัวแพร่กระจายคลื่นไอโซทรอปิก (Isotropic Radiation) คือสายอากาศที่ถูกสมมติขึ้นให้มีการแพร่กระจายคลื่นเท่ากันในทุกทิศทาง แม้ว่ามันจะเป็นแค่แนวความคิด แต่ก็มักจะใช้เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบกับสายอากาศเกี่ยวกับการแสดงคุณสมบัติและทิศทางของสายอากาศ

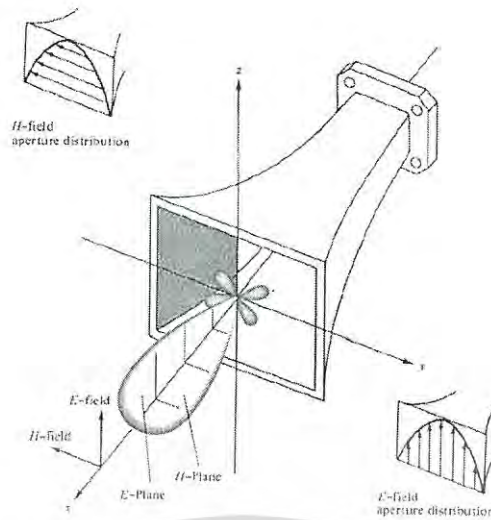


รูปที่ 2.21 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบทิศทางรอบตัว [2]

สายอากาศชี้ทิศทาง (Directional antenna) คือสายอากาศที่มีคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นหรือรองรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดีในเฉพาะทิศทางที่กำหนดเท่านั้น ตัวอย่างของสายอากาศที่มีคุณสมบัติดังกล่าวคือ สายอากาศแบบทิศทางรอบตัว (Omni-directional Antenna) คุณสมบัติของสายอากาศแบบนี้แสดงได้ดังรูปที่ 2.21 จากรูปจะเห็นได้ว่ารูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบนี้ ไม่มีทิศทางในระนาบแอดิมิตหรือระนาบมุมกวาด (Azimuth plane) [$f(\phi), \theta = \pi/2$] แต่เป็นแบบชี้ทิศทางในระนาบเอเลเวชันหรือมุมยก (Elevation plane) [$g(\theta), \phi = \text{ค่าคงที่}$] แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวนี้เป็นกรณีพิเศษของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบชี้ทิศทาง

2.7.5.2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นหลัก (Principal pattern)

การอธิบายคุณสมบัติของสายอากาศ ในเทอมของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นหลักของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก สำหรับสายอากาศโพลาริซ์เชิงเส้น แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าจะเป็นระนาบที่บรรจุเวกเตอร์สนามไฟฟ้า และทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นที่แรงที่สุด ส่วนแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก จะเป็นระนาบที่บรรจุเวกเตอร์สนามแม่เหล็กและทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นที่แรงที่สุด

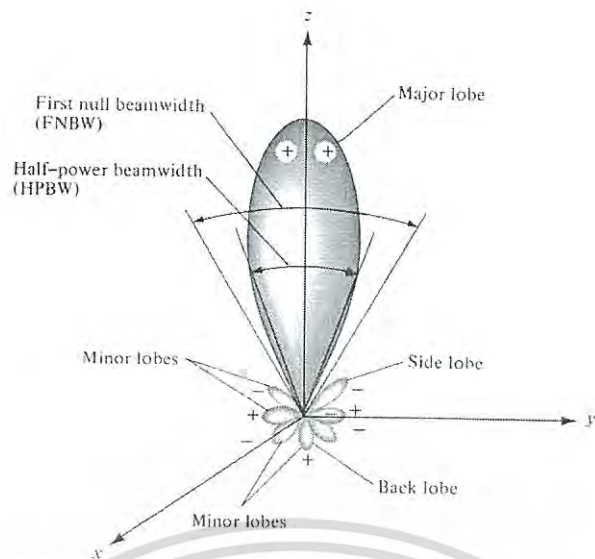


รูปที่ 2.22 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) และ ระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane) ของสายอากาศปากแตร [2]

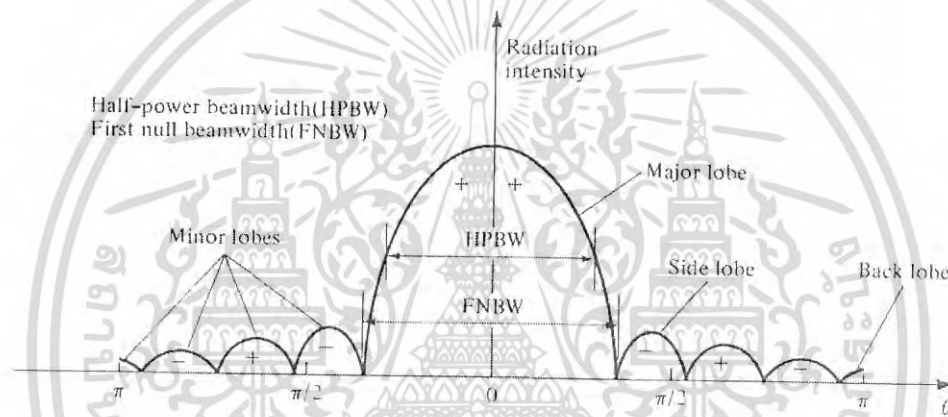
จากรูป 2.22 เป็นการแสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นหลัก โดยมีระนาบ xz (ระนาบเอ เลเวชัน; $\phi = 0$) เป็นระนาบสนามไฟฟ้า หลักและมีระนาบ xy (ระนาบอาซิมุท; $\theta = \pi/2$) เป็น ระนาบสนามแม่เหล็กหลัก

2.7.5.3 ลำคลื่นของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Lobe)

ลำคลื่นของการแพร่กระจายคลื่นเป็นส่วนหนึ่งของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดเป็น บริเวณโดยการปิดล้อมของส่วนที่มีความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นต่างจากรูปที่ 2.23 แสดง รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบสามมิติ ซึ่งสามารถแบ่งลำคลื่นเป็นแบบต่าง ๆ ดังนี้ลำคลื่นหลัก (Major Lobe หรือ Main Lobe) เป็นลำคลื่นของการแพร่กระจายคลื่นที่อยู่ในทิศทางที่มีการ แพร่กระจายคลื่นแรงที่สุดตามรูปที่ 2.22 มีลำคลื่นหลักอยู่ในทิศทาง $\theta = 0^\circ$ องศา สำหรับสายอากาศ บางชนิดอาจมีลำคลื่นหลักมากกว่าหนึ่งลำคลื่น เช่น สายอากาศแยกลำคลื่น ลำคลื่นย่อย คือลำคลื่น อื่นที่นอกเหนือจากลำคลื่นหลัก ลำคลื่นด้านข้าง (Side Lobe) เป็นลำคลื่นย่อยที่ติดอยู่กับลำคลื่น หลักและอยู่ในทิศทางของครึ่งวงกลมซีกเดียวกับลำคลื่นหลัก ลำคลื่นด้านหลัง (Back Lobe) เป็นลำ คลื่นย่อยที่อยู่ในครึ่งวงกลมตรงข้ามกับลำคลื่นหลัก ปกติแล้วลำคลื่นย่อยจะเกิดจากการแพร่กระจาย คลื่นในทิศทางที่ไม่ต้องการ ดังนั้นสายอากาศที่ดีจึงต้องกำจัดลำคลื่นเหล่านี้ให้เหลือน้อยที่สุด ระดับ ของคลื่นย่อยมักจะแสดงเป็นอัตราส่วนของความหนาแน่นพลังงานในลำคลื่นที่กำลังคิดต่อความหนา แน่นพลังงานในลำคลื่นหลัก ซึ่งเรียกว่าระดับลำคลื่นย่อยด้านข้าง (Side Lobe Level : SLL) ในทาง ปฏิบัติโดยทั่วไปนั้น มักจะต้องการให้ระดับของลำคลื่นคลื่อนน้อยกว่า -20 dB



(ก) ลำคลื่นต่าง ๆ และความกว้างลำคลื่นสัญญาณของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ



(ข) รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเชิงเส้น

รูปที่ 2.23 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น [2]

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ โดยทั่วไปนั้นมีหลากหลายแบบด้วยกัน ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์และการออกแบบสายอากาศ ซึ่งในขั้นตอนของการออกแบบจะให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่แตกต่างกันตามองค์ประกอบของสายอากาศ โดยแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นมีด้วยกัน 3 แบบ คือ

- แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (Omni-Directional) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบ Omni-Directional หรือแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางมีการแพร่กระจายคลื่นออกรอบตัวสายอากาศ โดยข้อดีของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง คือสามารถตอบสนองการใช้งานได้รอบทิศทางที่ความแรงของสัญญาณสม่ำเสมอ และข้อเสียของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางคือมีอัตราขยายต่ำ

- แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสองทิศทาง (Bi-Directional) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบ Bi-Directional หรือแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบสองทิศทางจะมีการแพร่กระจายคลื่นออกทางด้านหน้าและด้านหลังของสายอากาศ โดยข้อดีของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สองทิศทางคือ มีอัตราขยายสูงกว่าแบบรูปกระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง และข้อเสียของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบสองทิศทาง คือสามารถตอบสนองการใช้งานได้ดีเฉพาะด้านหน้าและด้านหลังของสายอากาศ

- แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นทิศทางเดียว (Uni-Directional) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบ Uni-Directional หรือแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียวจะมีการแพร่กระจายคลื่นออกทางด้านหน้าหรือด้านหลังของสายอากาศ โดยข้อดีของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียว คือมีอัตราขยายสูงกว่าแบบรูปการแพร่กระจายแบบรอบทิศทางและแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบสองทิศทาง และข้อเสียของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียว คือสามารถตอบสนองการใช้งานได้ดีเฉพาะด้านหน้าหรือด้านหลังของสายอากาศเท่านั้น

2.7.6 แบนด์วิดท์ของสายอากาศ (Antenna Bandwidth)

แบนด์วิดท์ของสายอากาศได้ถูกนิยามเอาไว้ว่า แบนด์วิดท์ คือช่วงของความถี่ของสายอากาศที่มีคุณลักษณะบางอย่างที่สอดคล้องกับมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งเป็นอีกหนึ่งคุณลักษณะที่บ่งบอกว่าสายอากาศที่ออกแบบสามารถทำงานในช่วงความถี่ใดบ้าง การคำนวณหาแบนด์วิดท์ของสายอากาศนั้น จะพิจารณาที่ขอบความถี่สูง (f_H) และขอบความถี่ต่ำ (f_L) ของสายอากาศเมื่อพิจารณาคุณลักษณะของ $|S_{11}|$ ที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ -10 dB ซึ่งการคำนวณแบนด์วิดท์ของสายอากาศนั้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.1)

$$BW = f_H - f_L \quad (2.1)$$

2.7.7 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss)

การพิจารณาว่าสายอากาศจะมีคุณลักษณะที่เพียงพอต่อการใช้งานได้หรือไม่นั้น นอกจากจะพิจารณาเฉพาะ $|S_{11}|$ แล้วยังสามารถที่จะพิจารณาค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Voltage Standing Wave Ratio : VSWR) ได้เช่นเดียวกัน ซึ่งเป็นการใช้หลักการสะท้อนและการส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสองตัวกลาง ซึ่งหากว่าทั้งสองตัวกลางมีอิมพีแดนซ์เท่ากันจะส่งให้คลื่นมีการส่งผ่านได้อย่างสมบูรณ์โดยไม่เกิดการสูญเสีย ในทางกลับกันหากสองตัวกลางมีค่าอิมพีแดนซ์ที่แตกต่างกันจะส่งผลให้การส่งผ่านของคลื่นเกิดการสูญเสียหรือเกิดการสะท้อนกลับ ซึ่งหมายความว่ากำลังงานส่วนใหญ่ที่ส่งให้กับสายอากาศไม่สามารถที่จะแพร่กระจายออกไปในลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ ซึ่งกรณีส่วนใหญ่มักจะเกิดขึ้น เมื่ออิมพีแดนซ์ระหว่างสองตัวกลางมีค่าที่ไม่เท่ากัน ซึ่งในกรณีดังกล่าวนี้จะส่งผลให้ไม่มีการส่งผ่านอย่างสมบูรณ์หรือเกิดการสะท้อนกลับทั้งหมด เป็นผลให้เกิดการสะสมพลังงานไว้บางส่วน 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$RL(dB) = 20 \log |\Gamma| \quad (2.3)$$

2.7.8 อัตราขยาย (Gain)

ค่าอัตราขยายของสายอากาศ สามารถพิจารณาได้ 2 กรณี คือ

1. อัตราขยายจริง (Absolute Gain) ของสายอากาศ (ในทิศทางที่กำหนดให้) หมายถึง อัตราส่วนของความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นในทิศทางที่กำหนดให้ ต่อความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นที่ได้รับเข้ามา

2. อัตราขยายสัมพัทธ์ (Relative Gain) หมายถึง อัตราส่วนของอัตราขยายกำลังงานในทิศทางที่กำหนดให้ ต่ออัตราขยายกำลังงานของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบในทิศทางนั้น โดยกำลังงานที่ป้อนให้กับอินพุตของสายอากาศจะต้องเหมือนกันทั้งสองตัว โดยส่วนใหญ่สายอากาศที่ใช้ในการเปรียบเทียบ คือ สายอากาศที่เป็นแหล่งกำเนิดไอโซทรอปิกที่ไม่มีการสูญเสีย (Lossless Isotropic Source) และสายอากาศแบบไดโพล

อัตราขยายเป็นความสัมพันธ์ที่ได้มาจากค่าสภาพเจาะจงทิศทางโดยรวมประสิทธิภาพของสายอากาศเข้ามาด้วย ในขณะที่ค่าสภาพเจาะจงทิศทางอธิบายคุณสมบัติในการชี้ทิศทางของสายอากาศเท่านั้น

อัตราขยายกำลัง (Power Gain) ของสายอากาศในทิศทางที่กำหนดให้ นั้น มีค่าเท่ากับ 4π คูณกับอัตราส่วนของความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นในทิศทางนั้นต่อทิศทางกำลังงานสุทธิที่สายอากาศรับจากขั้วต่อของเครื่องส่ง เมื่อไม่ได้กำหนดทิศทางไว้โดยเฉพาะ โดยทั่วไปแล้วจะคิดค่ากำลังขยายในทิศทางที่มีการแผ่กระจายคลื่นแรงที่สุด ดังนั้น

$$Gain = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_m} \quad (2.4)$$

เมื่อ $U(\theta, \phi)$ = ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น
 P_m = กำลังงานที่ป้อนให้สายอากาศ

โดยทั่วไปแล้วมักจะพูดถึงอัตราขยายสัมพัทธ์ ซึ่งเป็นอัตราส่วนของอัตราขยายกำลังในทิศทางที่กำหนดให้ต่ออัตราขยายกำลังของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบในทิศทางนั้น เมื่อกำลังงานที่ป้อนเข้าสายอากาศนั้นต้องเท่ากับสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบอาจจะเป็นสายอากาศไดโพล สายอากาศปากแตร แต่โดยส่วนใหญ่สายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบจะเป็นแหล่งกำเนิดไอโซทรอปิกแบบจุดที่ไม่มีการสูญเสีย ดังนั้น

$$G_g = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_m} \quad (2.5)$$

กำลังงานที่แผ่กระจายทั้งหมด P_{rad} สัมพันธ์กับกำลังงานที่ป้อนให้สายอากาศ P_m ดังนั้น

$$P_{rad} = e_r P_m \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ e_r เป็นประสิทธิภาพรวมของสายอากาศ (ไม่มีหน่วย) จะได้

$$G_g(\theta, \phi) = e_r \left[4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{rad}} \right] \quad (2.7)$$

ซึ่งสัมพันธ์กับค่าการชี้ทิศทางดังนี้

$$G_g(\theta, \phi) = e_r D_g(\theta, \phi) \quad (2.8)$$

ในทำนองเดียวกัน ค่าสูงสุดของอัตราขยายจะสัมพันธ์กับค่าการชี้ทิศทางสูงสุดโดย

$$G_0 = D_g(\theta, \phi)_{max} = e_r D_g(\theta, \phi)_{max} \quad (2.9)$$

ดังนั้นค่าประมาณของอัตราขยายจะได้

$$G_0 = \frac{30000}{\Theta_{1r} \Theta_{2r}} \quad (2.10)$$

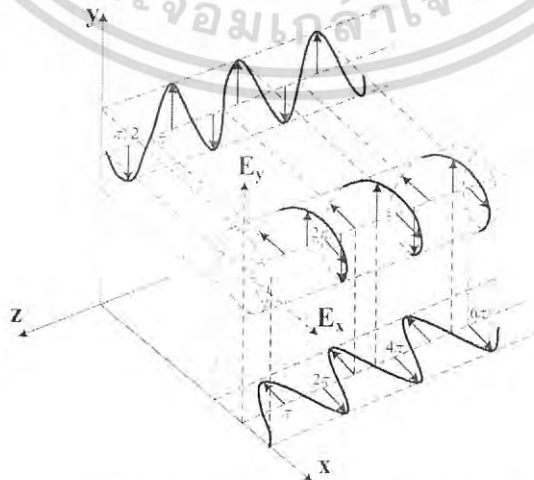
เมื่อ

Θ_{1r} = HPBW ในระนาบใด ๆ (Degree)

Θ_{2r} = HPBW ในระนาบซึ่งตั้งฉากกับระนาบแรก (Degree)

2.7.9 การโพลาไรซ์

การโพลาไรซ์ คือ ทิศทางของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อคลื่นเดินทาง โดยการมองตามหลังคลื่น การโพลาไรซ์สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ การโพลาไรซ์เชิงเส้น (Linear polarization: LP) การโพลาไรซ์วงกลม (Circular polarization: CP) การโพลาไรซ์วงรี (Elliptical polarization: EP)



รูปที่ 2.24 การหมุนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแนวระนาบที่เป็นฟังก์ชันของเวลาที่ $z=0$ [2]. เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับโพลาไรซ์ของสายอากาศในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง จะเป็นโพลาไรซ์ของคลื่นที่มาตกกระทบสายอากาศนั้นจากทิศทางที่กำหนดให้ ซึ่งเมื่อสายอากาศรับคลื่นแล้วจะมีกำลังที่ชี้ของสายอากาศมากที่สุด ถ้าไม่ได้กำหนดทิศทางมาให้จะหมายถึง ทิศทางที่สายอากาศมีค่าอัตราขยายมากที่สุด ดังนั้นโพลาไรซ์ของสายอากาศในทิศทางที่ต่างกัน จะต่างกัน การแบ่งชนิดของโพลาไรซ์อาจแบ่งได้เป็น 3 แบบคือ

1. โพลาไรซ์เชิงเส้น (Linear Polarization)
2. โพลาไรซ์วงกลม (Circular Polarization)
3. โพลาไรซ์วงรี (Elliptical Polarization)

ถ้าสนามไฟฟ้าหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกาจะเรียกว่า โพลาไรซ์หมุนขวา ในขณะที่หากสนามไฟฟ้าหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาจะเป็นโพลาไรซ์หมุนซ้าย ซึ่งสนามชั่วขณะเวลานั้นของคลื่นระนาบที่เดินทางในทิศทางแนวแกน $-z$ ได้ว่า

$$\vec{E}(z;t) = a_x E_x(z;t) + a_y E_y(z;t) \quad (2.11)$$

เมื่อส่วนประกอบของสนามชั่วขณะเวลานั้น สัมพันธ์กับค่าเชิงซ้อนของสนามดังนี้

$$E_x(z;t) = E_{x0} \cos(\omega t + kz + \phi_x) \quad (2.12)$$

$$E_y(z;t) = E_{y0} \cos(\omega t + kz + \phi_y) \quad (2.13)$$

เมื่อ E_{x0} และ E_{y0} เป็นค่าขนาดสูงสุดของสนาม ในทิศทางแนวแกน x และแนวแกน y ตามลำดับ

2.7.9.1 โพลาไรซ์เชิงเส้น

การโพลาไรซ์เชิงเส้น คือทิศทางของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) คงที่ตลอดการเดินทางของคลื่น สำหรับคลื่นที่มีการโพลาไรซ์เชิงเส้น จะมีความแตกต่างของเฟสระหว่างองค์ประกอบของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) ในแนวตั้งและแนวนอน เป็นดังนี้

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = n\pi, \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (2.14)$$

สามารถแบ่งชนิดของการโพลาไรซ์ได้เป็น 3 ชนิดคือ

การโพลาไรซ์เชิงเส้นแนวตั้ง (Vertical Polarization: VP) คือ ทิศทางของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) คงที่ในแนวตั้งตลอดการเดินทางของคลื่น

การโพลาไรซ์เชิงเส้นแนวนอน (Horizontal Polarization: HP) คือ ทิศทางของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) คงที่ในแนวนอนตลอดการเดินทางของคลื่น

การโพลาไรซ์เชิงเส้นแนวเฉียง (Slant Polarization: SP) คือ ทิศทางของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) คงที่ในแนวเฉียงตลอดการเดินทางของคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.9.2 โพลาริซวงกลม

การโพลาริซวงกลมคือทิศทางของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) จะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ซึ่งจะมีลักษณะเป็นวงกลมที่เป็นฟังก์ชันของเวลา โดยมีเงื่อนไขที่จำเป็นในการเกิดโพลาริซวงกลมดังนี้

- ต้องมีองค์ประกอบของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) แบบเชิงเส้น 2 องค์ประกอบ
- องค์ประกอบของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) ทั้งสองต้องมีขนาดที่เท่ากัน
- องค์ประกอบของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) ทั้งสองต้องมีเฟสต่างกันเป็นจำนวนเท่าของ $\frac{\pi}{2}$

ถ้าคลื่นแพร่กระจายไปในทิศทางแนวแกน -z จะสามารถหาค่าความต่างของเฟสของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) ในแนวตั้งและแนวนอน ได้ดังสมการดังต่อไปนี้

$$E_{xv} = E_{yv} \quad (2.15)$$

เมื่อ

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = +\frac{(1+4n)\pi}{2}; n = 0, 1, 2, 3, \dots \text{cw} \quad (2.16)$$

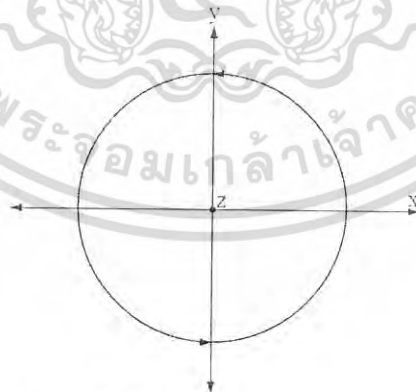
$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = -\frac{(1+4n)\pi}{2}; n = 0, 1, 2, 3, \dots \text{ccw} \quad (2.17)$$

เมื่อ CW (Clockwise) คือ สนามหมุนตามเข็มนาฬิกา

CWW (Counter Clockwise) คือ สนามหมุนทวนเข็มนาฬิกา

จากสมการ (2.6) และ (2.7) พบว่าสามารถแบ่งการโพลาริซวงกลมออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

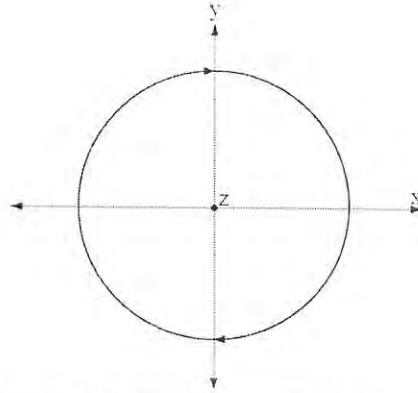
- การโพลาริซวงกลมหมุนขวา (Right-handed CP) คือทิศทางของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) จะหมุนตามเข็มนาฬิกา (Clockwise: CW) เมื่อมองไปในทิศทางที่แพร่กระจายคลื่น (ทิศทางแนวแกน z) ดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 การโพลาริซวงกลมหมุนขวา (Right-handed CP)

- การโพลาริซวงกลมหมุนซ้าย (Left-handed CP) คือทิศทางของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) จะหมุนทวนเข็มนาฬิกา (Counter Clockwise: CCW) เมื่อมองไปในทิศทางที่แพร่กระจายคลื่น (ทิศทางแนวแกน z) ดังรูปที่ 2.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 การโพลาไรซ์วงกลมหมุนซ้าย (Left-handed CP)

2.7.9.3 โพลาริซวงรี

การโพลาไรซ์วงรีคือทิศทางของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) จะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เงื่อนไขที่จำเป็นในการเกิดโพลาไรซ์วงรีสามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณีคือ

กรณีที่ 1

- ต้องมีองค์ประกอบของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) แบบเชิงเส้น 2 องค์ประกอบ
 - ถ้าองค์ประกอบของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) ทั้งสองต้องมีขนาดที่เท่ากันแล้ว
- องค์ประกอบของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) ทั้งสองต้องมีเฟสต่างกันไม่เท่ากับจำนวน $\frac{\pi}{2}$

เมื่อ

$$E_{xo} = E_{yo} \quad (2.18)$$

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = \pm \frac{n}{2} \pi > 0; n = 0, 1, 2, \dots \text{cw} \quad (2.19)$$

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = \pm \frac{n}{2} \pi < 0; n = 0, 1, 2, \dots \text{ccw} \quad (2.20)$$

กรณีที่ 2

- ต้องมีองค์ประกอบของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) แบบเชิงเส้น 2 องค์ประกอบ
 - ถ้าองค์ประกอบของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) ทั้งสองต้องมีขนาดที่ไม่เท่ากันแล้ว
- องค์ประกอบของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) ทั้งสองต้องมีเฟสต่างกันไม่เท่ากับจำนวน π

$$E_{xo} \neq E_{yo} \quad (2.21)$$

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = + \left(\frac{1}{2} + 2n \right) \pi; n = 0, 1, 2, \dots \text{cw} \quad (2.22)$$

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = - \left(\frac{1}{2} + 2n \right) \pi; n = 0, 1, 2, \dots \text{ccw} \quad (2.23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีของโพลาริซซ์แบบวงรีนั้น จะมีการกวาดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่าง ๆ ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามเวลา โดยทั่วไปจะแสดงในรูปของวงรีที่มีมุมเอียง (Tilted Ellipse) โดยอัตราส่วนของแกนหลัก (Major Axis) ต่อแกนย่อย (Minor Axis) จะเรียกว่าอัตราส่วนแกน (Axial Ratio : AR) ซึ่งมีค่าดังต่อไปนี้

$$AR = \frac{\text{Major axis}}{\text{Minor axis}} = \frac{OA}{OB} = \frac{|E|_{\max}}{|E|_{\min}} \quad (2.24)$$

$$OA = \left[\frac{1}{2} \left\{ E_{xo}^2 + E_{yo}^2 + [E_{xo}^4 + E_{yo}^4 + 2E_{xo}^2 E_{yo}^2 \cos(2\Delta\phi)]^{\frac{1}{2}} \right\} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.25)$$

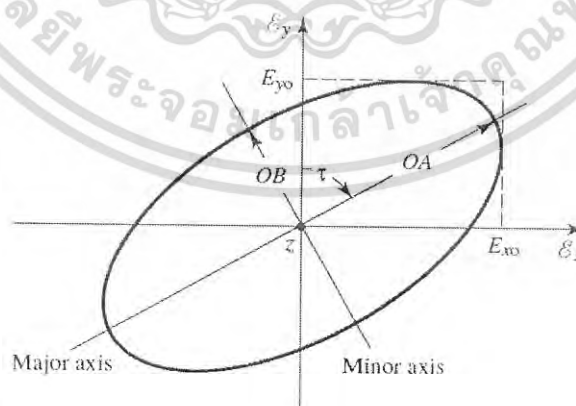
$$OB = \left[\frac{1}{2} \left\{ E_{xo}^2 - E_{yo}^2 - [E_{xo}^4 + E_{yo}^4 + 2E_{xo}^2 E_{yo}^2 \cos(2\Delta\phi)]^{\frac{1}{2}} \right\} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.26)$$

เมื่อ $OA =$ แกนหลัก และ $OB =$ แกนย่อย
มุมเอียงของวงรีเมื่อเทียบกับแกน y จะแทนด้วยมุม τ ซึ่งแสดงดังสมการต่อไปนี้คือ

$$\tau = \frac{\pi}{2} - \frac{1}{2} \tan^{-1} \left[\frac{2E_x E_y}{E_x^2 + E_y^2} \cos(\Delta\phi) \right] \quad (2.27)$$

เมื่อวงรีตามแนวแกนหลัก $\tau = \frac{n\pi}{2}, n = 0, 1, 2, \dots$ แกนหลัก(ย่อย) เท่ากับ $E_x(E_y)$ หรือ $E_y(E_x)$

หรืออัตราส่วนของแกนมีค่าเท่ากับ $\frac{E_x}{E_y}$ หรือ $\frac{E_y}{E_x}$



รูปที่ 2.27 โพลาริซซ์วงรีที่เป็นฟังก์ชันของเวลาในระนาบ $z=0$ [2]

การจำแนกชนิดของการโพลาริซซ์จะพิจารณาได้จากค่าอัตราส่วนแกน (Axial Ratio :AR) ที่แสดงดังสมการที่ 2.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลที่ได้จากสมการที่ 2.24 สามารถแบ่งชนิดของการโพลาไรซ์ออกได้เป็น 3 กรณีดังนี้
กรณีที่ 1 โพลาริซิงเส้น (LP) ซึ่งจะมีเฉพาะค่า $|E|_{\max}$ ($|E|_{\min} = 0$) นั่นคือ

$$AR = \frac{|E|_{\max}}{0} = \infty \quad (2.28)$$

กรณีที่ 2 โพลาริซวงกลม (CP) ซึ่งจะมีค่า $|E|_{\max} = |E|_{\min}$ นั่นคือ

$$AR = \frac{|E|_{\max}}{|E|_{\min}} = 1 \quad (2.29)$$

กรณีที่ 3 โพลาริซวงรี (EP) ซึ่งจะมีค่า $|E|_{\max} > |E|_{\min}$ นั่นคือ

$$1 > AR < \infty \quad (2.30)$$

ข้อดีของสายอากาศที่มีการโพลาไรซ์วงกลม คือการสูญเสียที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงโพลาไรซ์มีค่าต่ำ และสามารถรับส่งข้อมูลได้แม้สายอากาศไม่มีการจัดวางในทิศทางที่แน่นอน ทำให้ระหว่างการรับส่งข้อมูลมีช่วงจังหวะที่ทำให้เกิดการตรงกันของโพลาไรซ์ (Polarized Matching) อย่างแน่นอน

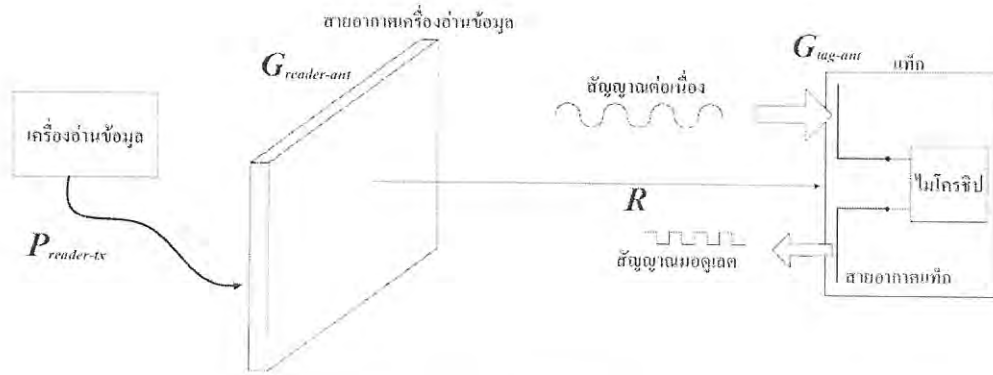
2.7.10 เทคโนโลยีของระบบอาร์เอฟไอดีที่ใช้หลักการสื่อสารแบบการเชื่อมต่อที่ระยะสนามระยะไกล

ระบบอาร์เอฟไอดีในสนามระยะไกล จะใช้หลักการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โครงสร้างของแท็กประกอบด้วย 2 ส่วน คือ แผงวงจรหรือชิป ที่เก็บบันทึกข้อมูลต่าง ๆ และสายอากาศสำหรับรับและส่งสัญญาณ

2.7.10.1 หลักการทำงาน

สำหรับระบบอาร์เอฟไอดีในสนามระยะไกลนั้น สายอากาศมีความสำคัญต่อสมรรถนะและความน่าเชื่อถือของระบบ เนื่องจากหลักการทำงานนี้จะอาศัยการแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านทางสายอากาศ ในรูปที่ 2.28 แสดงหลักการทำงานของระบบอาร์เอฟไอดีแบบพาสซีฟในสนามระยะไกล เครื่องอ่านข้อมูลจะส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุที่มีความต่อเนื่อง ซึ่งบรรจุกำลังงานและสัญญาณนาฬิกาออกไปยังแท็ก หลังจากนั้นสายอากาศของแท็กจะเหนี่ยวนำแรงดัน RF แล้วแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อป้อนให้กับชิป โดยทั่วไปแรงดันที่ชิปใช้ในการอ่านข้อมูลมีค่าประมาณ 1.2 โวลต์ ส่วนการเขียนข้อมูลแรงดันที่ชิปใช้ประมาณ 2.2 โวลต์ เมื่อชิปได้รับกำลังงานที่เพียงพอจะทำการส่งข้อมูลโดยการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้ากลับไปยังเครื่องอ่านข้อมูลโดยทั่วไปอิมพีแดนซ์จะมีอยู่ 2 สถานะ คือ ค่าอิมพีแดนซ์ที่เป็นคอนจูเกตแมตซ์และค่าอิมพีแดนซ์ค่าอื่นบางค่าเพื่อไว้สำหรับมอดูเลตกับสัญญาณที่เกิดการกระจายย้อนกลับไปยังเครื่องอ่านข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.28 กำลังงานและกลไกของการติดต่อสื่อสารสำหรับระบบอาร์เอฟไอดีในสนามระยะไกล [16]

2.7.10.2 การติดต่อสื่อสารของระบบอาร์เอฟไอดีในสนามระยะไกล

ระยะทางการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กในระบบอาร์เอฟไอดีนั้นจะขึ้นอยู่กับข้อจำกัด 2 อย่าง คือ ระยะทางที่มากที่สุดที่แท็กสามารถรับกำลังงานเพียงพอสำหรับการทำงานของชิปและการกระจายย้อนกลับ (Backscattering) สัญญาณและระยะทางที่มากที่สุดที่เครื่องอ่านข้อมูลสามารถรับสัญญาณที่เกิดการกระจายย้อนกลับมายังเครื่องอ่านข้อมูลได้ แต่โดยทั่วไปแล้วเครื่องอ่านข้อมูลจะมีความไวมากเพียงพอที่จะรับสัญญาณที่กระจายย้อนกลับมาได้ ดังนั้นระยะทางในการติดต่อสื่อสารกันระหว่างแท็กกับเครื่องอ่านข้อมูลจึงขึ้นอยู่กับแท็ก เช่น ลักษณะการวางตัวของแท็ก คุณสมบัติของวัตถุที่นำแท็กไปติด และสิ่งแวดล้อมในการแพร่กระจายคลื่น

2.7.10.2.1 การติดต่อสื่อสารจากเครื่องอ่านข้อมูลไปยังแท็ก

เนื่องจากการทำงานของแท็กนั้นเป็นแบบพาสซีฟ คือไม่มีแหล่งกำลังงานภายในเป็นของตัวเอง จึงจำเป็นต้องรับกำลังงานมาจากเครื่องอ่านข้อมูลโดยตรง ด้วยเหตุนี้ จึงต้องมีการออกแบบระบบสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูล (ซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องส่งทั้งข้อมูลและกำลังงานไปในตัว) ให้สามารถส่งกำลังงานที่มีค่าสูงพอให้สามารถแพร่กระจายไปในพื้นที่ใช้งาน และสามารถทำให้สายอากาศของแท็กได้รับกำลังงานที่เพียงพอในการส่งให้ชิปภายในแท็กทำงาน

เทคโนโลยีของระบบอาร์เอฟไอดีแบบการเชื่อมต่อระยะสนามระยะไกลนั้น เป็นหลักการที่ใช้งานที่ความถี่สูง เช่น ย่านความถี่เอชเอฟและย่านความถี่ไมโครเวฟเป็นต้น

ในรูปที่ 2.29 แสดงระบบอาร์เอฟไอดีที่ใช้หลักการการเชื่อมต่อระยะสนามระยะไกลซึ่งสามารถคำนวณค่าต่าง ๆ ได้ เช่น กำลังที่ส่งออกมาจากเครื่องอ่านข้อมูล อัตราขยายของสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูล เป็นต้น

จากสมการการส่งสัญญาณในช่องว่างอิสระของฟรีส (Friis free-space transmission) [21] สามารถหาค่ากำลังงานที่สายอากาศของแท็กได้รับได้ ดังนี้

$$P_{tag-ant} = \left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2 P_{reader-ant} G_{reader-ant} G_{tag-ant} \mathcal{L} \quad (2.31)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$P_{tag-ant}$	คือ กำลังงานที่ชิปวงจรรวมรับได้
$P_{reader-ant}$	คือ กำลังงานส่งออกมาจากเครื่องอ่านข้อมูล
$G_{reader-ant}$	คือ อัตราขยายสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูล
R	คือ ระยะทางระหว่างสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก
$G_{tag-ant}$	คือ อัตราขยายสายอากาศแท็ก
λ	คือ ความยาวคลื่นในช่องว่างอิสระที่ความถี่ใช้งาน
χ	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแมตซ์ซิงของโพลาริซระหว่างสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูล และสายอากาศแท็ก

ถ้าสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลกับสายอากาศแท็กมีการโพลาริซที่ตรงกันจะมีค่าสัมประสิทธิ์การแมตซ์ซิงของโพลาริซเท่ากับ 1 หรือ 0 dB แต่ในการติดต่อสื่อสารของระบบอาร์เอฟไอดีในสนามระยะไกล โดยทั่วไปสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลจะมีโพลาริซวงกลมและสายอากาศแท็กจะมีโพลาริซเชิงเส้น ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การแมตซ์ซิงของโพลาริซมีค่าเท่ากับ 0.5 หรือ -3 dB กำลังงานบางส่วนที่สายอากาศของแท็กรับมาได้จะถูกส่งต่อไปยังชิป ซึ่งมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$P_{tag-chip} = \tau P_{tag-ant} \quad (2.32)$$

โดยที่ τ คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านกำลังงาน $(1 - |\Gamma|^2)$ (Transmission power coefficient) ดังนั้นระยะทางที่เครื่องอ่านข้อมูลสามารถอ่านได้ไกลที่สุด คือ เมื่อ $(P_{tag-chip})$ มีค่าเท่ากับกำลังงานที่น้อยที่สุดที่สามารถทำให้ชิปทำงานได้ $(P_{tag-threshold})$ และสามารถหาระยะทางที่มากที่สุดแสดงดังสมการนี้ คือ

$$R_{\max(\text{reader})} = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_{\text{reader-tx}} G_{\text{reader-ant}} G_{\text{tag-ant}} \chi^2}{P_{\text{tag-threshold}}}} \quad (2.33)$$

หรือ

$$R_{\max(\text{reader})} = 10^\alpha \text{ (m)} \quad (2.34)$$

โดยที่

$$\alpha = 27.6 - 20 \log [f(\text{MHz})] + P_{\text{reader-tx}} (\text{dBm}) + G_{\text{reader-ant}} (\text{dBi}) + G_{\text{tag-ant}} (\text{dBi}) + \chi (\text{dB}) - P_{\text{tag-threshold}} (\text{dBm}) \quad (2.35)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.10.2.2 การติดต่อสื่อสารจากแท็กกลับมายังเครื่องอ่านข้อมูล

มาตรฐานของระบบอาร์เอฟไอดีแบบการเชื่อมต่อระยะสนามระยะไกล กำหนดรูปแบบการส่งข้อมูลจากแท็กมายังเครื่องอ่านข้อมูล โดยอาศัยเทคโนโลยีที่เป็นการแพร่กระจายคลื่นความถี่วิทยุกลับมายังเครื่องอ่านข้อมูล คือ การกระจัดกระจายย้อนกลับ การติดต่อสื่อสารจากแท็กไปยังเครื่องอ่านข้อมูลด้วยวิธีการกระจัดกระจายย้อนกลับนี้ จะขึ้นอยู่กับความแรงของสนามที่เกิดการกระจัดกระจายย้อนกลับของแท็ก บนพื้นฐานของสมการ Monostatic หรือ Backscatter radar สามารถหาค่ากำลังงานของสัญญาณมอดูเลตที่เครื่องอ่านข้อมูลรับได้ คือ

$$P_{reader-rx} = \left(\frac{\lambda}{4\pi^3 R^4}\right) P_{reader-tx} G_{reader-ant} \chi \sigma \quad (2.36)$$

โดยที่ σ คือ หน้าตัดขวางเรดาร์ (Radar cross-section: RCS) ของแท็ก

เมื่อกำลังงานที่รับได้มีค่าเท่ากับความเร็วในการตอบสนองของเครื่องอ่านข้อมูล ($P_{tag-threshold}$) จะทำให้ได้ระยะทางที่มากที่สุดสำหรับการติดต่อสื่อสารด้วยการกระจัดกระจายย้อนกลับและสามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$R_{\max(\text{Backscatter})} = \sqrt[4]{\frac{\lambda P_{reader-tx} G_{reader-ant}^2 \chi \sigma}{(4\pi)^3 P_{tag-threshold}}} \quad (2.37)$$

หรือ

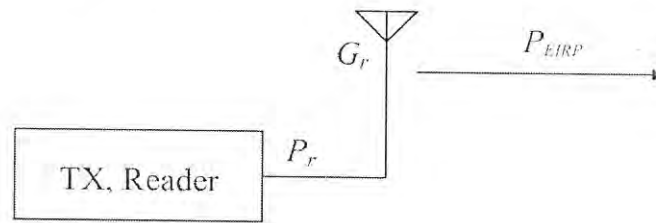
$$R_{\max(\text{Backscatter})} = 10^\beta \text{ (m)} \quad (2.38)$$

โดยที่

$$\beta = 16.6 - 20 \log[f(\text{MHz})] + P_{reader-tx}(\text{dBm}) + 2G_{reader-ant}(\text{dBic}) + \frac{\chi(\text{dB}) + \sigma(\text{dBsm}) - P_{tag-threshold}(\text{dBm})}{40} \quad (2.39)$$

จากสมการที่ได้กล่าวมาข้างต้น พบว่าระยะทางในการอ่านของเครื่องอ่านข้อมูลขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ แต่มีพารามิเตอร์อยู่สองตัว ที่สามารถหาค่าได้ก่อนจากการเลือกเครื่องอ่านข้อมูลและตัวชิปวงจรรวม คือ กำลังงานที่น้อยที่สุดที่สามารถทำให้ชิปวงจรรวมทำงานได้ ($P_{tag-threshold}$) และความเร็วในการตอบสนองของเครื่องอ่านข้อมูล ($P_{reader-threshold}$)

2.7.10.2.3 ค่ากำลังงานการแพร่กระจายคลื่นประสิทธิภาพไอโซทรอปิก (Effective Isotropic Radiated Power: EIRP) และค่ากำลังงานการแพร่กระจายคลื่นประสิทธิภาพ (Effective Radiated Power: ERP)



รูปที่ 2.29 กำลังงานการแพร่กระจายคลื่นประสิทธิภาพไอโซทรอปิก

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ระยะทางในการอ่านที่มากที่สุดเป็นส่วนหนึ่งกับกำลังงานด้านออกของเครื่องอ่านข้อมูลและอัตราขยายของสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูล นั่นคือ ถ้ากำลังงานและอัตราขยายของเครื่องอ่านข้อมูลมีค่าสูงจะทำให้ระยะทางการอ่านสูงขึ้นตามไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามในการส่งกำลังงานด้านออกของเครื่องอ่านข้อมูล ต้องเป็นไปตามมาตรฐานข้อบังคับของแต่ละประเทศ เช่น

ค่า EIRP คือ การทดสอบกำลังงานที่แพร่กระจายจากสายอากาศตัวส่งที่เป็นไอโซทรอปิก (Isotropic) นั่นคือ มีอัตราขยายเท่ากับ 1 หรือ 0 dBi หาได้ดังนี้

$$P_{EIRP} = P_{reader-tx} G_{reader-ant} \quad (2.40)$$

โดยทั่วไปมีการอ้างถึงค่า EIRP และค่า ERP ซึ่งมีความสัมพันธ์กับสายอากาศไดโพลมากกว่าสายอากาศแบบไอโซทรอปิก และมีค่าอัตราขยายเท่ากับ 1.64 หรือ 2.15 dBi ความสัมพันธ์ระหว่างค่า EIRP และค่า ERP คือ

$$P_{EIRP} = 1.64 P_{ERP} \quad (2.41)$$

2.7.10.2.4 ค่าสัมประสิทธิ์กำลังงานการส่งผ่าน

พิจารณาพื้นที่ประสิทธิภาพ (A_{e-max}) ของสายอากาศของแท่งที่วางอยู่ในสนามของสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลซึ่งมีความหนาแน่นกำลังงาน ($S: W/m^2$) แท่งจะได้รับกำลังงานและส่งต่อไปยังรอยต่อระหว่างสายอากาศและชิปที่มีอิมพีแดนซ์เป็น Z_{in} กำลังงานส่วนหนึ่งจะส่งผ่านไปยังชิป ในขณะที่บางส่วนจะถูกสะท้อนกลับและแพร่กระจายอีกครั้งหนึ่งที่สายอากาศ กำลังงานที่แท่งรับได้และกำลังงานที่ส่งต่อไปยังชิป คือ

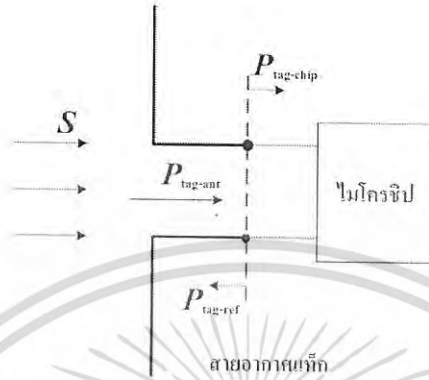
$$P_{tag-ant} = S A_{e-max} \quad (2.42)$$

และ

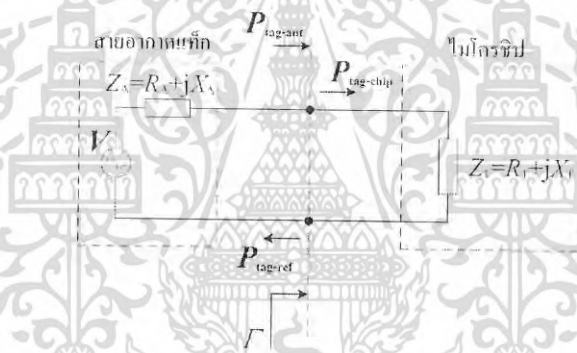
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_{tag-chip} = \tau P_{tag-ant} \tag{2.43}$$

ค่าสัมประสิทธิ์กำลังงานการส่งผ่านจะถูกกำหนดโดยค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ Z_A ของแท็กและอิมพีแดนซ์ของชิป Z_T ซึ่งขึ้นอยู่กับความถี่และกำลังงานที่จ่ายให้ชิป



(ก) กำลังงานที่ส่งมายังโครงสร้างของแท็ก



(ข) วงจรสมมูล

รูปที่ 2.30 กำลังงานที่ส่งมายังแท็กและวงจรสมมูล

จากรูปที่ 2.30 แสดงวงจรสมมูล อิมพีแดนซ์ของชิป Z_T จะรวมผลของตัวกล่องที่ใส่ชิปด้วย โดยที่อิมพีแดนซ์ของทั้งสายอากาศและชิปจะขึ้นอยู่กับความถี่

จากค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (Γ) คือ

$$\Gamma = \frac{Z_T - Z_A^*}{Z_T + Z_A}, \quad 0 \leq |\Gamma| \leq 1 \tag{2.44}$$

โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z_T = R_T + jX_T \quad (2.45)$$

$$Z_A = R_A + jX_A \quad (2.46)$$

กำลังงานที่ส่งไปยังชิปวงจรรวม คือ

$$P_{lag-chip} = (1 - |\Gamma|^2) P_{lag-ant} \quad (2.47)$$

สัมประสิทธิ์กำลังงานการส่งผ่านสามารถเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$\tau = \frac{P_{lag-chip}}{P_{lag-ant}} |\Gamma|^2 = \frac{4R_A R_T}{(R_A + R_T) + (X_A + X_T)^2}, \quad 0 \leq \tau \leq 1 \quad (2.48)$$

เมื่อสายอากาศเป็นแมตซ์ชงกับชิป นั่นคือ $R_T = R_A$ และ $X_T = -X_A$ จะทำให้ $|\Gamma| = 0$, $\tau = 1$ จะได้กำลังงานที่ส่งผ่านจากสายอากาศแก่ชิปมากที่สุด และแสดงในรูปสมการได้ดังนี้

$$P_{lag-chip-max} = P_{lag-ant} = S A_{e-max} \quad (2.49)$$

ในขณะที่สายอากาศถูกทำให้ลัดวงจร นั่นคือ อิมพีแดนซ์ของชิปวงจรรวมมีค่าเท่ากับศูนย์ ($Z_T = 0$) ส่งผลให้ $|\Gamma| = 1$ และ $\tau = 0$ ดังนั้นจะไม่มีกำลังงานส่งไปยังชิปวงจรรวม

ในการจำลองหรือการทดสอบสายอากาศโดยส่วนใหญ่จะได้ผลออกมาในรูปของค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss: RL) มีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนและค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน ซึ่งใช้เพื่ออธิบายคุณลักษณะของการแมตซ์ชงของอิมพีแดนซ์ กำหนดได้ดังนี้

$$RL(dB) = -20 \log_{10} (|\Gamma|) \quad (2.50)$$

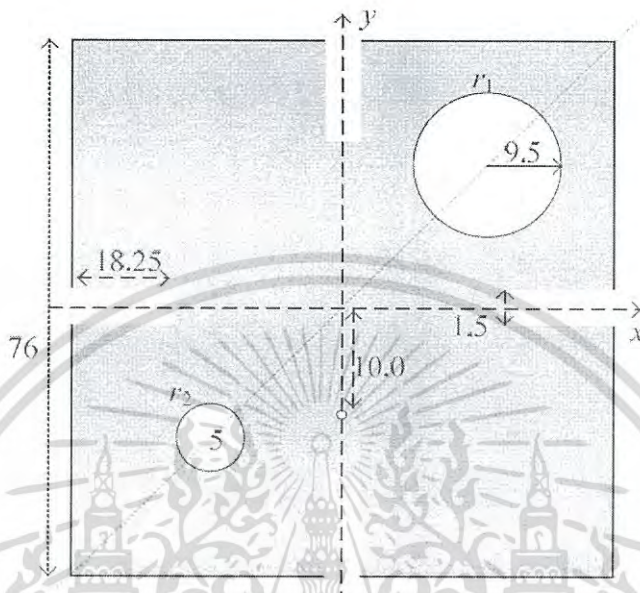
2.8 งานวิจัยที่มีมาก่อน

สายอากาศที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานกับระบบอาร์เอฟไอดีนั้น ได้รับความนิยมในการศึกษา และวิจัยเป็นอย่างมาก และมีเทคนิคการสร้างที่แตกต่างกันออกไป แต่สิ่งที่แต่ละงานวิจัยต่างมุ่งให้ความสนใจเป็นหลัก นั่นก็คือสายอากาศต้องมีการออกแบบที่ง่าย ต้นทุนต่ำ สามารถทำงานครอบคลุมย่านความถี่สากลตามที่ต้องการ ซึ่งแต่ละงานวิจัยนั้นจะกล่าวในลำดับต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1 สายอากาศไมโครสตริปแพทช์แบบร่องโพลาริซวงกลม [4]

สายอากาศไมโครสตริปแพทช์สี่เหลี่ยมที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสองทิศทาง มีการเจาะร่องวงกลมที่ขนาดต่างกัน และช่องทิ้งสี่ด้านของสายอากาศ ถูกนำเสนอในปี ค.ศ. 2011 โดย Nasimuddin Zhi Ning Chen และ Xianming Qing ซึ่งโครงสร้างของสายอากาศแสดงดังรูปที่ 2.31

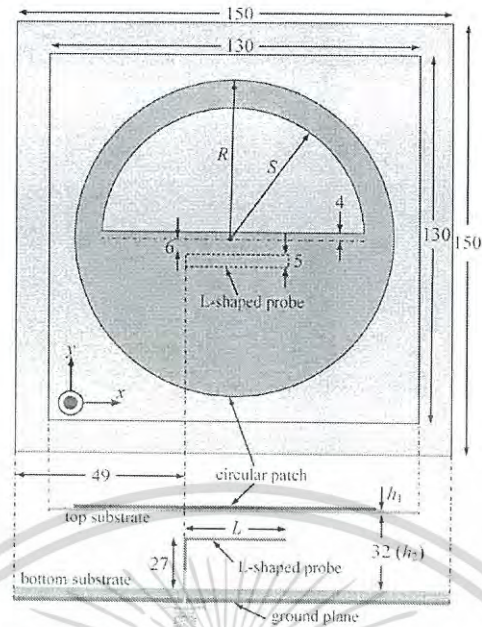


รูปที่ 2.31 โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริปแพทช์แบบร่องโพลาริซวงกลม

โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริปแพทช์แบบร่องโพลาริซวงกลม ที่นำเสนอในรูป ที่ 2.32 สายอากาศมีโครงสร้างที่ง่ายและไม่ซับซ้อนกล่าวคือ ประกอบด้วยร่องรูปวงกลมที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ต่างกันและช่องทิ้งสี่ด้านเพื่อทำการลดขนาดของสายอากาศ ซึ่งพบว่าผลการทดสอบสายอากาศ มีค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ต่ำกว่า 2 ในช่วงความถี่ 907-919 MHz มีแบนด์วิดท์อัตราส่วนเกิน ที่ต่ำกว่า 3-dB ที่ 5 MHz ตั้งแต่ความถี่ 909-914 MHz โดยสายอากาศที่นำเสนอมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสองทิศทาง โพลาริซวงกลม

2.8.2 สายอากาศแพทช์ต่อด้วยร่องที่มีโพลาริซวงกลมสำหรับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี [5]

สายอากาศแพทช์ต่อด้วยร่องครึ่งวงกลมที่มีโพลาริซวงกลมสำหรับประยุกต์ใช้งานร่วมกับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี ถูกนำเสนอในปี ค.ศ. 2012 โดย Chow Yen Desmond Sim และ Chin-Jen Chi ซึ่งโครงสร้างของสายอากาศแสดงดังรูปที่ 2.32

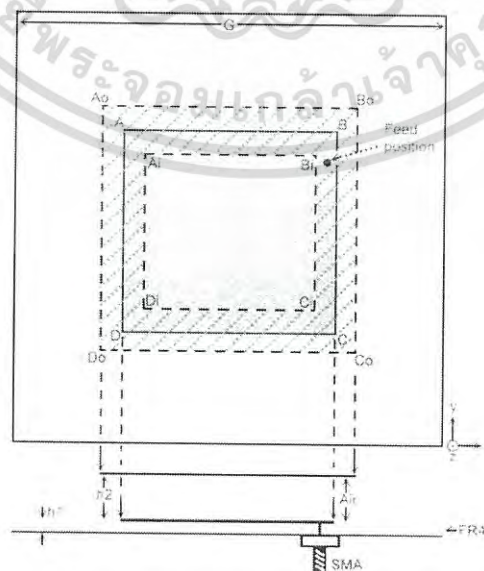


รูปที่ 2.32 โครงสร้างสายอากาศแพทช์ต่อยังร่องที่มีโพลาริซวงกลม

โครงสร้างของโครงสร้างสายอากาศแพทช์ต่อยังร่องใช้โพรบกระตุ้นรูปตัวแอลวางเหนือตัวสะท้อนที่นำเสนอ ในรูปที่ 2.33 ประกอบด้วยสามส่วนหลัก คือโพรบกระตุ้นไฟฟ้ารูปตัวแอล แพทช์วงกลมที่มีการเจาะรูรูปครึ่งวงกลม และแผ่นระนาบกราวด์ โดยสายอากาศมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียว มีแบนด์วิดท์อัตราส่วนแกน 3.2% ตั้งแต่ช่วงความถี่ 901-930 MHz ประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบ UHF-RFID

2.8.3 สายอากาศแพทช์วงแหวนโพลาริซวงกลม [6]

สายอากาศแพทช์วงแหวนโพลาริซวงกลม ถูกนำเสนอในปี ค.ศ. 2012 โดย The-Nan Chang และ Jyun Ming Lin ซึ่งโครงสร้างของสายอากาศแสดงดังรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 โครงสร้างสายอากาศแพทช์วงแหวนโพลาริซวงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของสายอากาศแพทช์วงแหวนโพลาริซวงกลมใช้การวางซ้อนกันของวงแหวนรูปสี่เหลี่ยมที่มีแผ่น ตัวสะท้อนสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ทำหน้าที่เป็นระนาบกราวด์ได้นำเสนอในรูปที่ 2.34 ประกอบด้วยสามส่วนหลัก คือสายอากาศโพรบป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยมจัตุรัส ระนาบกราวด์ และแผ่นพาราซิติกวงแหวนทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยมีชั้นอากาศว่างชั้นกลางอยู่ โดยสายอากาศมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นทิศทางเดียว แบนด์วิดท์อัตราส่วนแกน 7.7% ตั้งแต่ช่วงความถี่ 870-940 MHz มีอัตราขยาย 7 dBic สายอากาศที่นำเสนอในงานวิจัยอ้างอิงนี้ไม่ได้ระบุแอฟลิเคชันที่จะนำไปใช้งาน

2.8.4 สายอากาศไมโครสตริปแบบวงแหวนวางซ้อนโพลาริซวงกลมแบบเครือข่ายจุดป้อนร่วมสำหรับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี [7]

สายอากาศไมโครสตริปแบบวงแหวนวางซ้อนโพลาริซวงกลมแบบเครือข่ายจุดป้อนร่วมสำหรับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีถูกนำเสนอในปี ค.ศ. 2010 โดย Xi Chen และคณะ ซึ่งโครงสร้างของสายอากาศแสดงดังรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.34 โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริปแบบวงแหวนวางซ้อนโพลาริซวงกลมแบบเครือข่ายจุดป้อนร่วมสำหรับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี

โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปแบบวงแหวนวางซ้อนโพลาริซวงกลมแบบเครือข่ายจุดป้อนร่วมใช้การวางสายอากาศเป็นแบบแผ่นพาราซิติกในรูปแบบวงแหวนทรงกลมที่มีแผ่น ตัวสะท้อนสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ทำหน้าที่เป็นระนาบกราวด์ โดยได้นำเสนอในรูปที่ 2.34 ประกอบด้วยสามส่วนหลักคือแพทช์แพร่กระจายคลื่นแบบวงแหวน ระนาบกราวด์ และการป้อนแบบเครือข่ายจุดป้อนร่วมโดยมีชั้นอากาศว่างชั้นกลางอยู่ โดยสายอากาศมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นทิศทางเดียว แบนด์วิดท์อัตราส่วนแกน 6% ตั้งแต่ช่วงความถี่ 893-948 MHz มีอัตราขยาย 8.9 dBic สายอากาศที่นำเสนอประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟอาร์เอฟไอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากงานวิจัยที่มีมาก่อนพบว่ามีหลากหลายเทคนิคที่ใช้ในการสร้างสายอากาศเพื่อให้ได้คุณลักษณะต่าง ๆ ที่น่าสนใจ โดยคุณลักษณะที่สนใจในการศึกษาของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ คือสายอากาศที่มีโพลาไรซ์วงกลม และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสองทิศทางทาง โดยคุณสมบัตินี้ของสายอากาศในงานวิจัยที่มีมาก่อนสรุปได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สรุปคุณสมบัติของสายอากาศในงานวิจัยที่มีมาก่อน

ลำดับงานวิจัย	ความถี่ (MHz)	การโพลาไรซ์	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	อัตราขยาย	แบนด์วิดท์อัตราส่วนแกน
1	909 – 914	โพลาไรซ์วงกลม	สองทิศทาง	3.7 dBic	5 MHz
2	900 – 930	โพลาไรซ์วงกลม	ทิศทางเดียว	7.0 dBic	30 MHz
3	840 – 940	โพลาไรซ์วงกลม	ทิศทางเดียว	7.0 dBic	100 MHz
4	893 – 948	โพลาไรซ์วงกลม	ทิศทางเดียว	8.9 dBic	65 MHz

2.9 บทสรุป

ในบทนี้นำเสนอทฤษฎีและหลักการของระบบอาร์เอฟไอดีความถี่ยูเอชเอฟ จากนั้นกล่าวถึงหลักการและทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการออกแบบสายอากาศ รวมถึงงานวิจัยที่มีมาก่อนในการออกแบบสายอากาศให้มีคุณลักษณะต่าง ๆ เพื่อสามารถประยุกต์ใช้งานร่วมกับเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบอาร์เอฟไอดี

โดยสายอากาศสำหรับการประยุกต์ใช้งานระบบอาร์เอฟไอดีความถี่ยูเอชเอฟสากล ที่ย่านความถี่ 840 – 960 MHz ซึ่งเป็นมาตรฐานของระบบอาร์เอฟไอดีที่สามารถใช้งานได้ทั่วโลก โดยมีการใช้งานอย่างแพร่หลายและเป็นที่ยอมรับอย่างมากในปัจจุบัน ซึ่งช่วงความถี่ดังกล่าวจะนำมาใช้ในการออกแบบสายอากาศ โดยเบื้องต้นจะทำการออกแบบและการคำนวณขนาดของสายอากาศ โดยการจำลองผลสายอากาศซึ่งต้องคำนึงถึง ค่า $|S_{11}|$ ที่สามารถทำงานครอบคลุมย่านความถี่ตั้งแต่ 840 – 960 MHz มีค่าอัตราส่วนแกนต่ำกว่า 3 dB ให้สายอากาศมีการโพลาไรซ์วงกลมครอบคลุมย่านความถี่ใช้งาน มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสองทิศทาง และมีอัตราขยายของสายอากาศที่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้งาน ซึ่งการออกแบบสายอากาศให้มีคุณลักษณะดังกล่าวจะนำเสนอการออกแบบและการจำลองสายอากาศอย่างละเอียดในบทที่ 3 ต่อไป

บทที่ 3

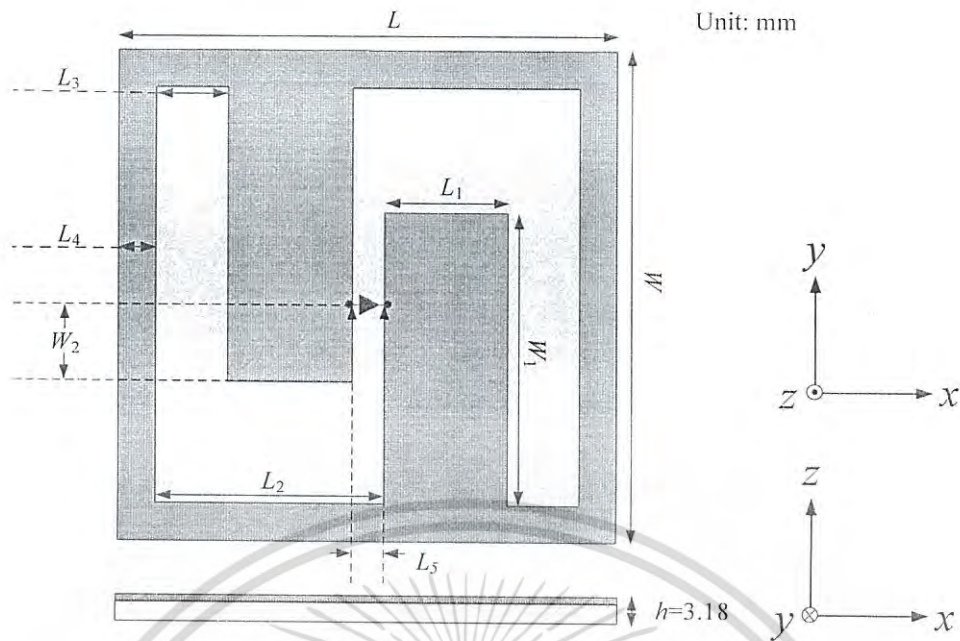
การออกแบบและการจำลองสายอากาศ

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบสายอากาศสองทิศทางโพลาริซวงกลม โดยใช้เทคนิคการเซาะร่องรูปตัวเอส สำหรับระบบอาร์เอฟไอดี (RFID) ซึ่งสายอากาศที่นำเสนอจะมีโพลาริซวงกลมเพื่อให้สามารถใช้งานร่วมกับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่เอชเอฟสากลที่ความถี่กลาง 900 MHz และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสองทิศทาง ซึ่งในบทนี้ได้ทำการออกแบบและวิเคราะห์สายอากาศเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับสายอากาศ รวมทั้งศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ต่อการทำงานของสายอากาศ จากนั้นจะนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศไปใช้ในการสร้างสายอากาศต้นแบบ โดยพิจารณา [S₁₁] อัตราส่วนแกน อัตราขยาย และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในย่านความถี่ที่ต้องการใช้งาน ซึ่งจะเริ่มด้วยการกำหนดรูปแบบของสายอากาศเริ่มต้น โดยอาศัยทฤษฎีพื้นฐานและสมการคำนวณในบทที่ 2 จากนั้นจึงจำลองสายอากาศและทำการปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศด้วยโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO[®] เพื่อศึกษาผลกระทบของค่าพารามิเตอร์ที่มีต่อสายอากาศ รวมทั้งหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับสายอากาศใช้งานที่ความถี่กลาง 900 MHz รายละเอียดต่าง ๆ จะนำเสนอตั้งหัวข้อต่อไป

3.2 โครงสร้างและการออกแบบสายอากาศ

การออกแบบสายอากาศจะใช้โครงสร้างของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม เป็นโครงสร้างเริ่มต้น จากนั้นทำการดัดแปลงโครงสร้างโดยใช้เทคนิคการเซาะร่องสี่เหลี่ยมเป็นรูปตัวเอส เพื่อให้สายอากาศมีโพลาริซวงกลม มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสองทิศทาง จากนั้นทำการปรับค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศ โดยใช้ทฤษฎีพื้นฐานในการคำนวณความยาวทางไฟฟ้าของร่องรูปตัวเอสที่สัมพันธ์กับความถี่กลางที่ใช้งานเป็นเงื่อนไขเริ่มต้นในการคำนวณหาขนาดที่เหมาะสม และใช้ทฤษฎีสายอากาศร่องที่มีความยาวเท่ากับหนึ่งส่วนสองของ ความยาวคลื่นเป็นเงื่อนไขเริ่มต้น ในส่วนของจุดบ่อนสัญญาณจะทำการบ่อนตรงตำแหน่งกึ่งกลางร่องตัวเอส สายอากาศที่นำเสนอใช้วัสดุฐานรอง FR-4 ชนิดเทฟลอนในการสร้าง โดยสายอากาศมีโครงสร้างหลักคือ สายอากาศร่องรูปตัวเอส ซึ่งโครงสร้างของสายอากาศที่นำเสนอแสดงในรูปที่ 3.1 โดยกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ไว้ในตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.1 โครงสร้างสายอากาศต้นแบบ

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ของสายอากาศที่ใช้ในการวิเคราะห์และการออกแบบสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	พารามิเตอร์
L	ความยาวบ่วงสี่เหลี่ยม
L_1	ความกว้างแพทช์ป้อนสัญญาณ
L_2	ความกว้างร่องจากขอบแพทช์ป้อนสัญญาณด้านขวาถึงขอบบ่วงสี่เหลี่ยม
L_3	ความกว้างร่องจากขอบแพทช์ป้อนสัญญาณด้านซ้ายถึงขอบบ่วงสี่เหลี่ยม
L_4	ความกว้างขอบบ่วงสี่เหลี่ยม
L_5	ระยะห่างระหว่างแกนแพทช์ป้อนสัญญาณ
W	ความกว้างบ่วงสี่เหลี่ยม
W_1	ความยาวของแพทช์ป้อนสัญญาณ
W_2	ความยาวสตัปปลายเปิด
h	ความสูงฐานรอง FR-4

3.2.1 การกำหนดพารามิเตอร์เริ่มต้น

ในหัวข้อนี้นำเสนอการกำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นที่เหมาะสมของสายอากาศ โดยใช้หลักการของสายอากาศร่องครึ่งความยาวคลื่นเป็นเงื่อนไขเริ่มต้น จากสมการที่ 3.1

$$l = \lambda / 2 \quad (3.1)$$

l = ความยาวสายอากาศร่อง

λ = ความยาวคลื่นความถี่ (m)

โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (3.2)$$

โดยความถี่ใช้งานในที่นี้คือ 900 MHz เนื่องจากเป็นความกลางของย่านความถี่ใช้งาน จึง ออกแบบสายอากาศครึ่งความยาวคลื่นที่ความถี่นี้ จากนั้นทำการหาค่าเริ่มต้นของสายอากาศครึ่ง ที่สร้างบนแผ่นวัสดุฐานรอง จากสมการที่ 3.3

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (3.3)$$

- c = ความเร็วแสงในอากาศว่าง (3×10^8 m/s)
 λ_g = ความยาวคลื่นที่พิจารณาถึงผลกระทบของวัสดุฐานรอง (m)
 ϵ_{eff} = ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผล

จากสมการที่ 3.3 ความยาวในการออกแบบสายอากาศครึ่งจะใช้ความยาวที่มีค่าเท่ากับครึ่ง ความยาวคลื่นที่ความถี่กลาง 900 MHz จะได้ 80 mm ดังแสดงในรูปที่ 3.2

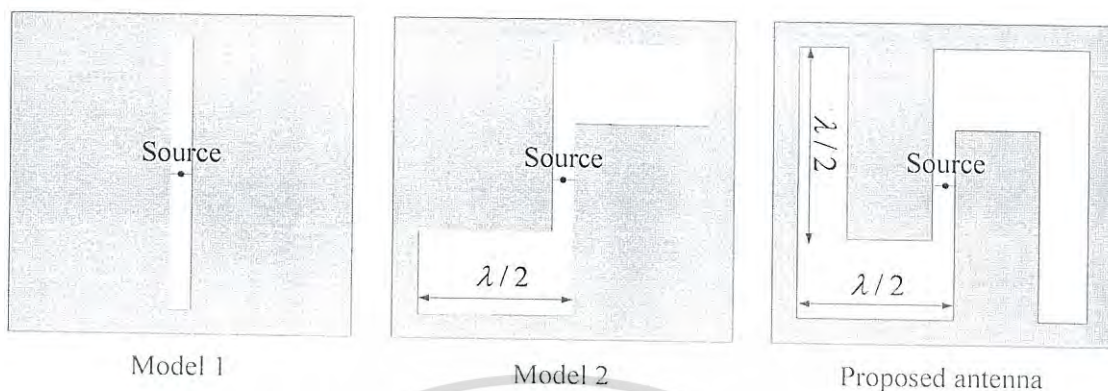


รูปที่ 3.2 สายอากาศครึ่ง

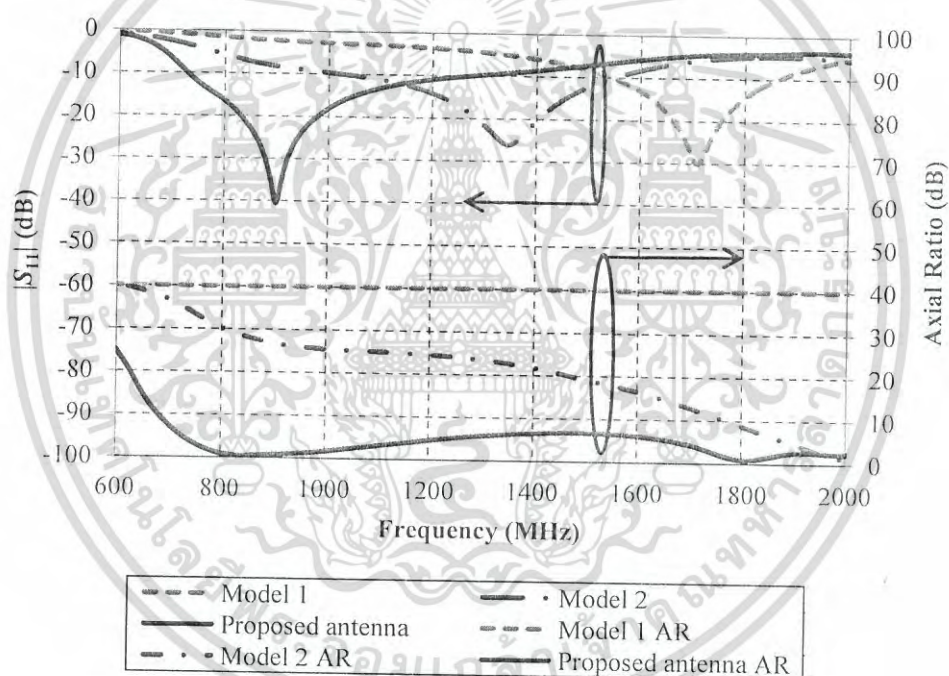
จากรูปที่ 3.2 จะเห็นว่าโครงสร้างสายอากาศครึ่งความยาวคลื่นประกอบไปด้วยร่องรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความยาวร่อง $\lambda_g/2$ ความสูง $h \ll \lambda/2$ เมื่อทำการเปรียบเทียบสายอากาศ ไดโพลจะเห็นได้ว่าสายอากาศทั้งสองมีความคล้ายกัน มีความแตกต่างเพียงสนามไฟฟ้าเท่านั้นเพราะสายอากาศร่องสนามไฟฟ้าจะตั้งฉากกับร่อง แต่สายอากาศไดโพลจะมีสนามไฟฟ้าในแนวแกนเดียวกันกับการวางสายอากาศไดโพล จากนั้นทำการเจาะร่องรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขึ้นมาตั้งฉากกันคล้ายรูปตัวแอล เพื่อให้สนามไฟฟ้าตั้งฉากกัน 90° องศา เป็นไปตามหลักการเกิดโพลาริซวงกลม แต่เพื่อให้โครงสร้างมีความสมมาตร แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นสองทิศทาง และอัตราขยายเพิ่มขึ้น จึงทำการเจาะร่องรูปตัวแอลกลับหัวอีกด้านหนึ่ง ทำให้โครงสร้างมีความสมมาตรแต่ยังไม่สามารถป้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณแบบโคแอกเซียลได้ จึงทำการเซาะร่องระหว่างกลางกลายเป็นร่องรูปตัวเอสขึ้นมา โดยได้นำเสนอวิวัฒนาการของโครงสร้างสายอากาศร่องรูปตัวเอสแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 วิวัฒนาการโครงสร้างสายอากาศร่องรูปตัวเอส

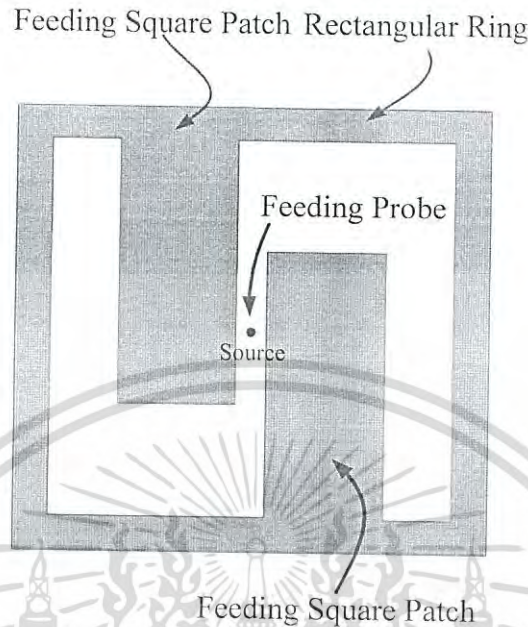


รูปที่ 3.4 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ และ อัตราส่วนแกนของวิวัฒนาการโครงสร้างสายอากาศร่องรูปตัวเอส

จากรูปที่ 3.4 จะเห็นได้ว่าการเซาะร่องในโมเดล 1 พบว่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศครอบคลุมช่วงความถี่ 1550 MHz ถึง 1860 MHz และอัตราส่วนแกนมีค่ามากกว่า 3 dB จึงทำการเซาะร่องต่อไปเพื่อเพิ่มความยาวทางไฟฟ้าในโมเดล 2 จะเห็นได้ว่าค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศเลื่อนลงครอบคลุมช่วงความถี่ 1110 MHz ถึง 1560 MHz ค่าอัตราส่วนแกนมีแนวโน้มลดลงจากเดิม โดยในช่วงความถี่ 2000 MHz อัตราส่วนแกนมีค่าต่ำกว่า 3 dB ซึ่งยังไม่ใช้ความถี่ใช้งานจึงทำการเซาะร่องรูปตัวเอสขึ้นมาเป็นโครงสร้างสายอากาศที่น่าเสนอ จะเห็นได้ว่าสายอากาศมีค่า $|S_{11}|$ ครอบคลุมความถี่ใช้งาน

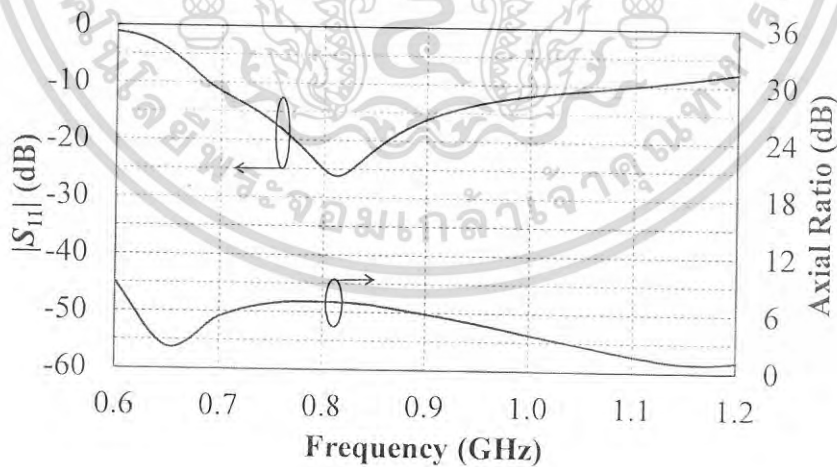
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตั้งแต่ 740 MHz ถึง 1212 MHz และค่าอัตราส่วนแฉกที่พิจารณาต่ำกว่า 3 dB ครอบคลุมตั้งแต่ 750 MHz ถึง 1150 MHz



รูปที่ 3.5 โครงสร้างสายอากาศรูปตัวเอส

จากรูปที่ 3.5 ทำการเจาะร่องเป็นรูปตัวเอสเพื่อทำการปรับโครงสร้างสายอากาศโดยมุ่งเน้นคุณลักษณะของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลให้สามารถแพร่กระจายคลื่นที่มีโพลาไรซ์วงกลม จึงได้ทำการเจาะร่องเป็นรูปตัวเอส ที่มีขนาดโครงสร้างให้เหมาะสมกับสายอากาศทำให้เกิดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสายอากาศเป็นสองทิศทางโพลาไรซ์วงกลม

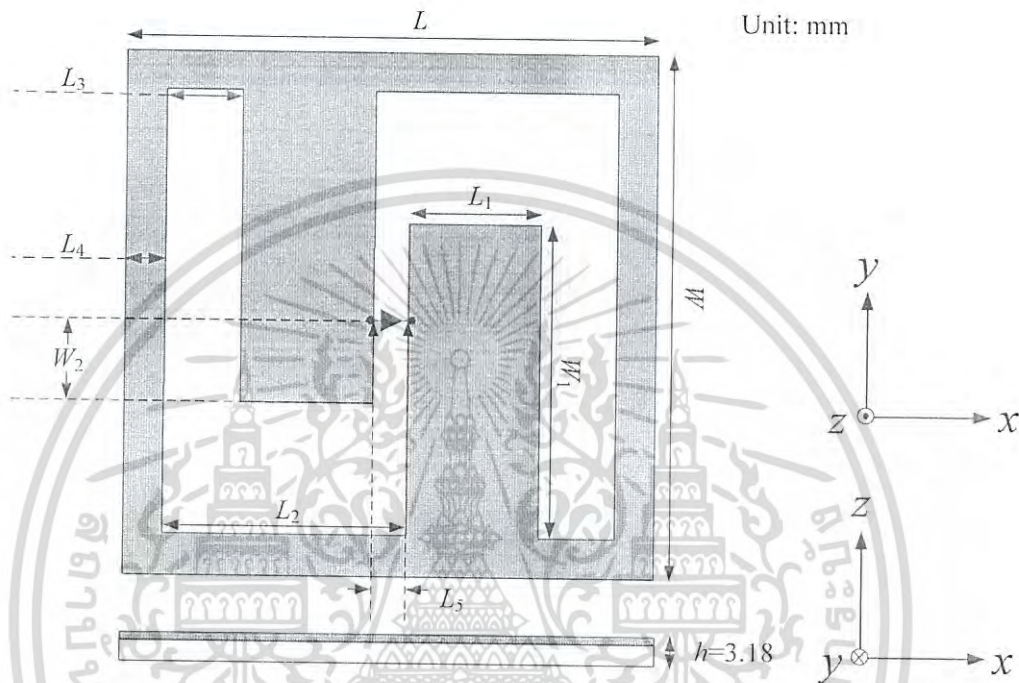


รูปที่ 3.6 ผลจำลอง $|S_{11}|$ และอัตราส่วนแฉกที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ของโครงสร้างสายอากาศรูปตัวเอสสองความยาวคลื่น

จากรูปที่ 3.6 พบว่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศรูปตัวเอสมีช่วงกว้างอิมพีแดนซ์ที่ครอบคลุมความถี่ใช้งานยูเอชเอฟอาร์เอฟโอดีสากลตั้งแต่ช่วงความถี่ 688 MHz ถึง 1100 MHz ค่า $|S_{11}|$ ต่ำสุดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

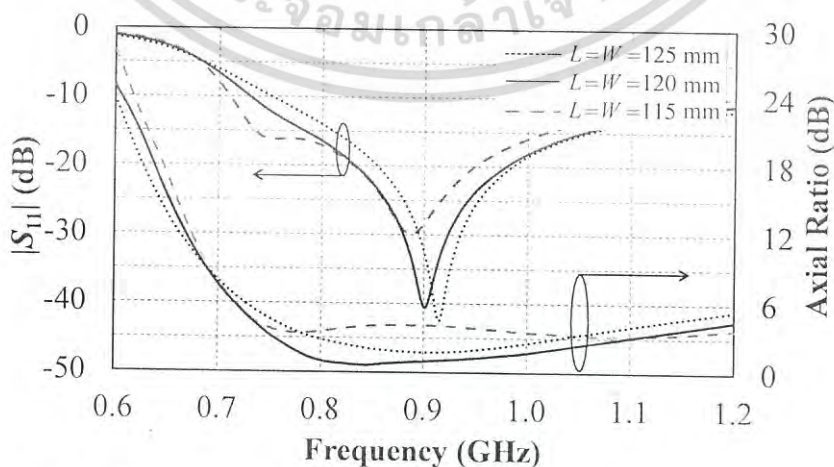
ที่ความถี่ 813 MHz ในส่วนของอัตราส่วนแอมมีช่วงกว้างอัตราส่วนแอมมีค่าสูงกว่า 3 dB ซึ่งยังไม่ครอบคลุมช่วงความถี่ใช้งาน แต่มีแนวโน้มที่จะสามารถปรับพารามิเตอร์ให้สายอากาศครอบคลุมความถี่ใช้งาน โดยได้นำเสนอในส่วนถัดไป

จากการคำนวณจึงได้พารามิเตอร์สายอากาศรูปตัวเอสเริ่มต้น ซึ่งโครงสร้างเริ่มต้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.7 ในการออกแบบสายอากาศเริ่มต้นจะทำการหาขนาดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศ โดยได้กำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.7 สายอากาศที่ทำการออกแบบเริ่มต้น

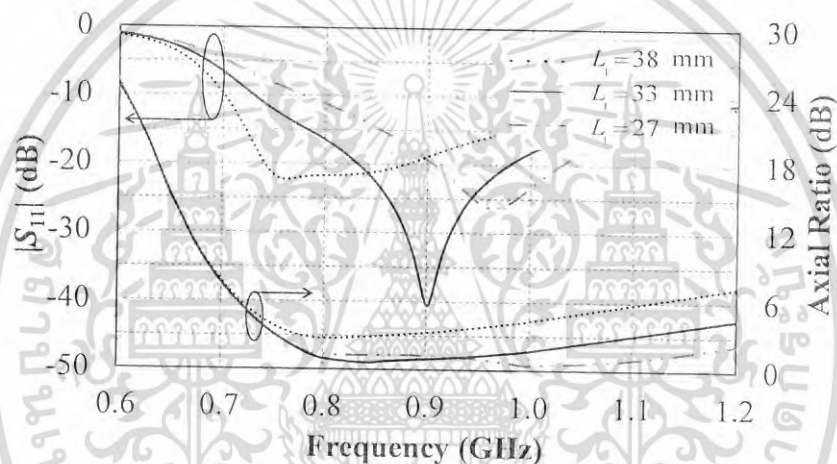
ในส่วนถัดไปได้ทำการปรับขนาดพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อทำการศึกษาลงถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อคุณลักษณะของสายอากาศ โดยทำการปรับพารามิเตอร์ที่สำคัญดังนี้



รูปที่ 3.8 ผลจำลอง $|S_{11}|$ และอัตราส่วนแอม เมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ L และ W

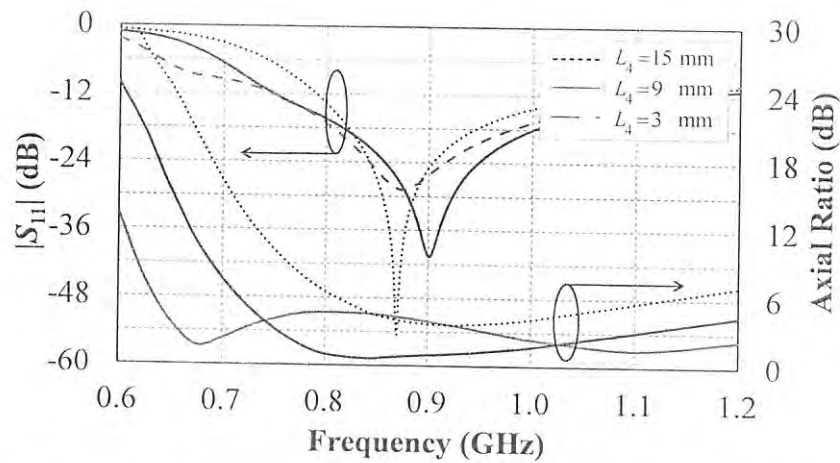
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.8 ทำการปรับขนาดพารามิเตอร์ L และ W สังเกตได้ว่า เมื่อขนาดความกว้างและความยาวของบ่วงสี่เหลี่ยมเพิ่มมากขึ้น โดยกำหนดให้ขนาดของพารามิเตอร์ L และ W เท่ากันเสมอ เพื่อความสมมาตรของโครงสร้างซึ่งทำให้กระแสเดินทางบนพื้นผิวมีขนาด (Magnitude) ที่เท่ากัน โดยการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ L และ W จะมีผลต่อค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไม่มากนัก ในส่วนค่าอัตราส่วนแกนจะมีผลกระทบที่มากกว่า เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและเฟสขององค์ประกอบที่ทำให้เกิดโพลาริเซชันวงกลม เมื่อสังเกตดูจากกราฟจะพบว่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศ มีแนวโน้มลดลงไปทางช่วงความถี่ต่ำ เนื่องจากความยาวทางไฟฟ้าที่เดินทางบนพื้นผิวสายอากาศเพิ่มมากขึ้น ซึ่งขนาดที่เหมาะสมของสายอากาศเท่ากับ 120 mm โดยพิจารณาจากค่า $|S_{11}|$ ที่ต่ำกว่า -10 dB สามารถครอบคลุมช่วงความถี่ใช้งานตั้งแต่ 743 MHz ถึง 1215 MHz ในส่วนอัตราส่วนแกน AR น้อยกว่าหรือเท่ากับ 3 dB จะครอบคลุมช่วงความถี่ใช้งานตั้งแต่ 750 MHz ถึง 1100 MHz ซึ่งจะทำให้สายอากาศมีการแพร่กระจายคลื่นด้วยโพลาริเซชันวงกลม



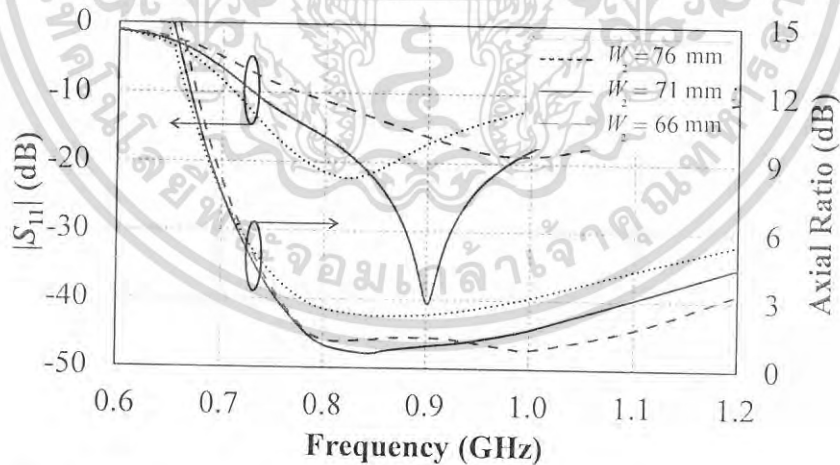
รูปที่ 3.9 ผลจำลอง $|S_{11}|$ และอัตราส่วนแกน เมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ L_1

รูปที่ 3.9 เมื่อเพิ่มความกว้างแพทช์ป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยม (L_1) จะสังเกตได้ว่าช่วงความถี่ใช้งานของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลมีแนวโน้มลดลงไปทางด้านความถี่ต่ำ อันเนื่องมาจากระยะความกว้างแพทช์ป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยมเพิ่มมากขึ้นเป็นผลให้ความถี่ตอบสนองลดต่ำลง ซึ่งยังส่งผลต่อค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศอีกด้วย โดยขนาดความกว้างแพทช์ป้อนสัญญาณที่เหมาะสมคือ 30 mm จากกราฟจะเห็นว่าค่า $|S_{11}|$ มีช่วงความถี่ใช้งานตั้งแต่ 744 MHz ถึง 1212 MHz และค่าอัตราส่วนแกนต่ำกว่า 3-dB ครอบคลุมช่วงความถี่ใช้งานตั้งแต่ 750 MHz ถึง 1150 MHz



รูปที่ 3.10 ผลจำลอง $|S_{11}|$ และอัตราส่วนแกน เมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ L_4

จากรูปที่ 3.10 ทำการปรับค่าพารามิเตอร์ L_4 ซึ่งเป็นความกว้างของเส้นบ่วงสี่เหลี่ยม โดยพารามิเตอร์ L_2 และ L_3 จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย จะเห็นได้ว่าช่วงความถี่ใช้งานสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลมีแนวโน้มลดลงไปทางด้านความถี่ต่ำไม่มาก แต่เมื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนแกนจะเห็นได้ชัดว่ามีการเปลี่ยนแปลง ส่งผลต่อคุณลักษณะของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลที่แพร่กระจายคลื่นด้วยโพลาริเซชันวงกลม แสดงว่าพารามิเตอร์ L_4 มีผลต่อการแมตซ์อิมพีแดนซ์ไม่มากนักแต่จะมีผลต่อค่าอัตราส่วนแกนมากกว่า นั่นเป็นเพราะว่าพื้นผิวที่ให้กระแสไหลมีขนาดหรือระยะทางการเดินของกระแสไม่เหมาะสมกับองค์ประกอบที่จะเป็นตัวทำให้เกิดโพลาริเซชันวงกลม โดยที่ขนาดความกว้างของเส้นบ่วงสี่เหลี่ยมที่เหมาะสมคือ 9 mm ค่า $|S_{11}|$ ครอบคลุมช่วงความถี่ใช้งานตั้งแต่ 744 MHz ถึง 1212 MHz อัตราส่วนแกนต่ำกว่า 3 dB ครอบคลุมช่วงความถี่ใช้งานตั้งแต่ 750 MHz ถึง 1150 MHz

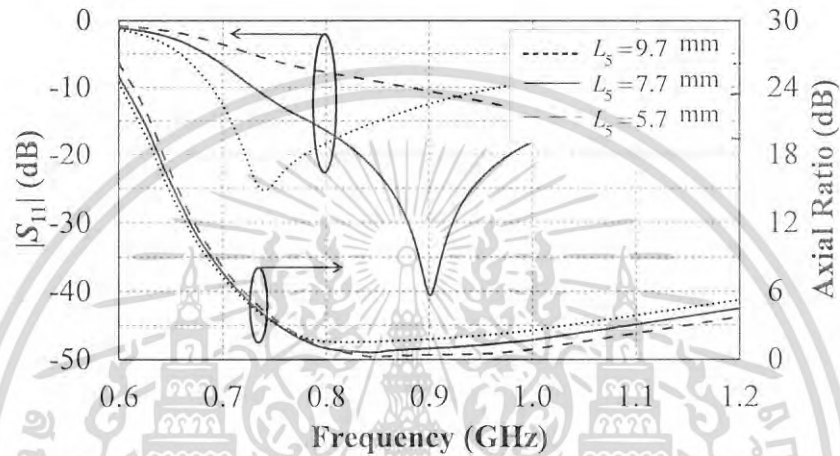


รูปที่ 3.11 ผลจำลอง $|S_{11}|$ และอัตราส่วนแกน เมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ W_1

จากรูปที่ 3.11 เมื่อทำการลดความยาวของแผ่นสตริปที่ยื่นออกมาทั้งสองข้าง W_2 (โดยพารามิเตอร์ W_1 ก็เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย) ซึ่งเป็นโครงสร้างหลักในส่วนที่ใช้เทคนิคที่เรียกว่า Open Circuit Strip มีความสำคัญต่อการแมตซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ จะสังเกตเห็นได้ว่าช่วงความถี่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสายอากาศมีแนวโน้มที่ลดลง อันเนื่องมาจากค่าความยาวทางไฟฟ้าที่เดินทางในส่วนของขอบแพทช์ป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยมมีความยาวเพิ่มขึ้นเป็นผลให้ความถี่ที่ตอบสนองลดต่ำลง เมื่อทำการพิจารณาค่าอิมพีแดนซ์สายอากาศที่ $W_2 = 78$ mm จะได้ $Z_L = 39.2 + j15.6 \Omega$ ที่ $W_2 = 72$ mm จะได้ $Z_L = 47 + j0.12 \Omega$ ที่ $W_2 = 66$ mm จะได้ $Z_L = 56.5 - j16.8 \Omega$ จากค่า Z_L (Z_L คือ อิมพีแดนซ์ด้านเข้าสายอากาศ) สังเกตได้ว่าพารามิเตอร์ W_2 มีผลต่อการแมตซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศอย่างมากโดยความสูงของแพทช์ป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยมที่เหมาะสมคือ 72 mm และเมื่อพิจารณา $|S_{11}|$ พบว่ามีช่วงความถี่ที่ใช้งานได้ตั้งแต่ 740 MHz ถึง 1214 MHz ส่วนค่าอัตราส่วนแแกนมีช่วงความถี่ใช้งานตั้งแต่ 750 MHz ถึง 1150 MHz



รูปที่ 3.12 ผลจำลอง $|S_{11}|$ และอัตราส่วนแแกน เมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ L_5

จากรูปที่ 3.12 เมื่อทำการปรับเพิ่มระยะห่างระหว่างจุดป้อนสัญญาณแพทช์สี่เหลี่ยม (L_5) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลกับการแมตซ์อิมพีแดนซ์ แต่จะมีผลน้อยกับอัตราส่วนแแกน เพราะการเกิดกระแสบนพื้นผิว ระยะทางที่ให้กระแสเดินทาง ขนาดของพื้นผิวที่กระแสเดินทางยังคงเหมือนเดิม ซึ่งจะเห็นว่าช่วงความถี่ใช้งานของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลมีแนวโน้มเลื่อนไปทางความถี่ต่ำ และยังทำให้แบนด์วิดท์ของสายอากาศแคบลงด้วย ทำให้ทราบว่าพารามิเตอร์ L_5 สามารถปรับช่วงความกว้างแบนด์วิดท์ของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูล แต่มีผลไม่มากกับอัตราส่วนแแกน โดยขนาดความกว้างที่เหมาะสมคือ 7.7 mm โดยค่า $|S_{11}|$ ครอบคลุมช่วงความถี่ใช้งานตั้งแต่ 744 MHz ถึง 1212 MHz และค่า 3-dB อัตราส่วนแแกนครอบคลุมช่วงความถี่ใช้งานตั้งแต่ 750 MHz ถึง 1150 MHz

3.3 ผลการจำลองสายอากาศต้นแบบ

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอผลการจำลองของสายอากาศร่องรูปตัวเอสที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสองทิศทางโพลาริซวงกลม โดยใช้โครงสร้างร่องรูปตัวเอสในการออกแบบสายอากาศสำหรับระบบอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสากล (UHF RFID) โดยนำค่าพารามิเตอร์ดังตารางที่ 3.2 มาทำการจำลองเป็น โครงสร้างของสายอากาศเพื่อศึกษาถึงคุณลักษณะของสายอากาศ ซึ่งประกอบไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

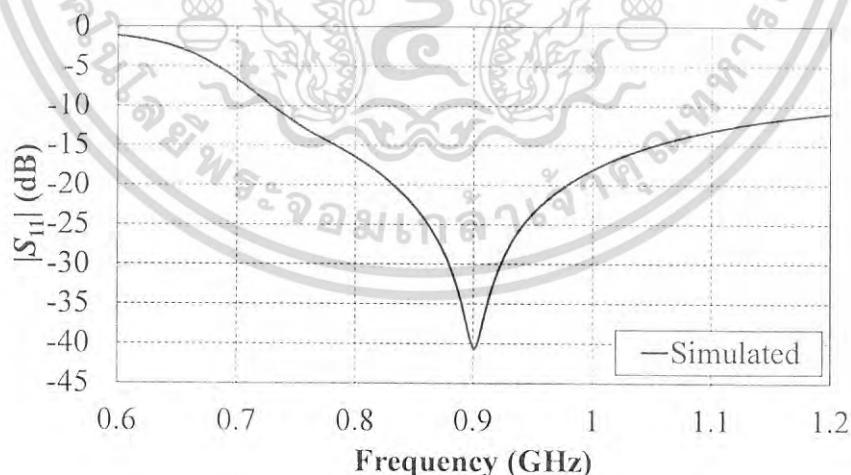
พารามิเตอร์ $|S_{11}|$ อัตราส่วนแกนของสายอากาศ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น อัตราขยายของสายอากาศ และทิศทางการแพร่กระจายของสนามไฟฟ้า

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้สร้างสายอากาศต้นแบบ

พารามิเตอร์	ขนาดของสายอากาศ	ขนาดทางไฟฟ้าของสายอากาศ
ความยาวบ่วงสี่เหลี่ยม (L)	120.0 mm	0.360 λ
ความกว้างแพทช์ป้อนสัญญาณโคโพล (L1)	30.0 mm	0.090 λ
ความกว้างร่องจากขอบแพทช์ป้อนสัญญาณโคโพลด้านขวาถึงขอบบ่วงสี่เหลี่ยม (L2)	54.8 mm	0.164 λ
ความกว้างร่องจากขอบแพทช์ป้อนสัญญาณโคโพลด้านซ้ายถึงขอบบ่วงสี่เหลี่ยม (L3)	17.2 mm	0.051 λ
ความกว้างขอบบ่วงสี่เหลี่ยม (L4)	9.0 mm	0.027 λ
ระยะห่างระหว่างแขนแพทช์ป้อนสัญญาณโคโพล (L5)	7.7 mm	0.023 λ
ความกว้างของระนาบกราวด์ (W)	120.0 mm	0.360 λ
ความกว้างบ่วงสี่เหลี่ยม (W1)	72.0 mm	0.216 λ
ความยาวสลับปลายเปิด (W2)	21.0 mm	0.063 λ
ความสูงของวัสดุฐานรอง FR-4 (h)	3.18 mm	-

3.3.1 ผลจำลอง $|S_{11}|$

สำหรับการพิจารณา $|S_{11}|$ ที่เป็นฟังก์ชันความถี่ของสายอากาศต้นแบบ จะพิจารณาที่ $|S_{11}| \leq -10$ dB ตลอดช่วงความถี่ที่ใช้งาน ซึ่งผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศต้นแบบแสดง ดังรูปที่ 3.13



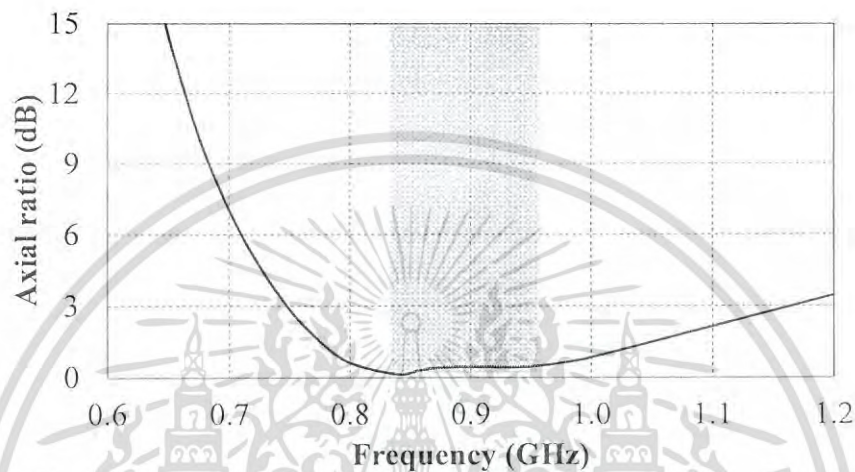
รูปที่ 3.13 ผลจำลองสัมประสิทธิ์การสะท้อน $|S_{11}|$ ของสายอากาศที่นำเสนอ

ในรูปที่ 3.13 แสดงผลจำลองและทดสอบสัมประสิทธิ์การสะท้อน $|S_{11}|$ ของสายอากาศที่นำเสนอ จากผลทดสอบพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนต่ำกว่า -10 dB ครอบคลุมความถี่ระหว่างเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

740 MHz ถึง 1212 MHz (แบนด์วิดท์ 48%) จะเห็นได้ว่าช่วงกว้างอิมพีแดนซ์มีผลการจำลองที่ แมตซ์อิมพีแดนซ์เป็นอย่างดี

3.3.2 ผลการจำลองอัตราส่วนแกนเทียบกับความถี่ของสายอากาศต้นแบบ

สำหรับการพิจารณาอัตราส่วนแกนที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ของสายอากาศต้นแบบ จะพิจารณาที่อัตราส่วนแกนน้อยกว่า 3 dB ซึ่งผลการจำลองอัตราส่วนแกนเป็นฟังก์ชันของความถี่ของสายอากาศต้นแบบแสดงดังรูปที่ 3.12

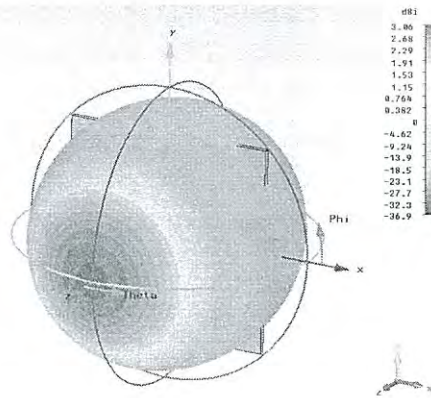


รูปที่ 3.14 อัตราส่วนแกนเทียบกับฟังก์ชันของความถี่ของสายอากาศต้นแบบ

จากรูปที่ 3.14 แสดงให้เห็นผลจำลองอัตราส่วนแกนบริเวณด้านหน้าของสายอากาศ จากผลการทดสอบค่าช่วงกว้างอัตราส่วนแกน พิจารณาค่าต่ำกว่า 3-dB ครอบคลุมความถี่ตั้งแต่ 750 MHz ถึง 1150 MHz (แบนด์วิดท์ 42%) ที่ความถี่กลางมีอัตราส่วนแกนเท่ากับ 0.45 dB นั้นหมายถึงสายอากาศสามารถแพร่กระจายคลื่นแบบการโพลาไรซ์วงกลม

3.3.3 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศต้นแบบ

การจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่นำเสนอ จะพิจารณาที่ความถี่ 840 MHz 900 MHz และ 960 MHz โดยผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น 3 มิติของสายอากาศต้นแบบ แสดงดังรูปที่ 3.15 3.16 และ 3.17 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศต้นแบบ บนระนาบ xz และ บนระนาบ yz ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.18 และรูปที่ 3.19 ตามลำดับ



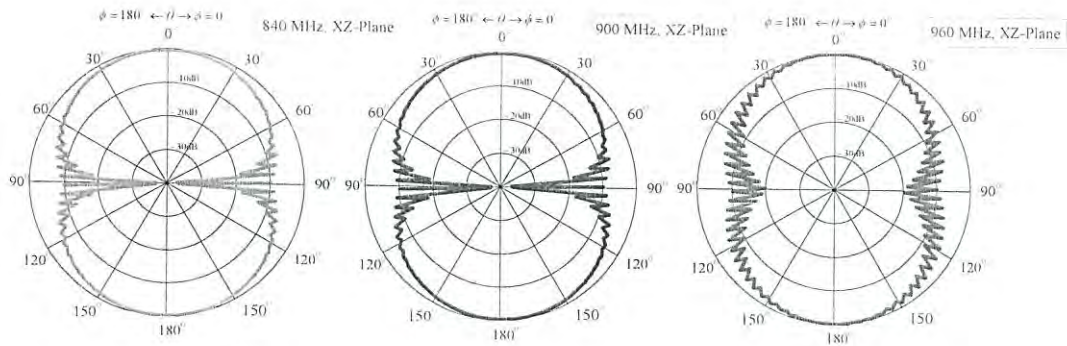
รูปที่ 3.15 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น 3 มิติของสายอากาศที่ความถี่ 840 MHz



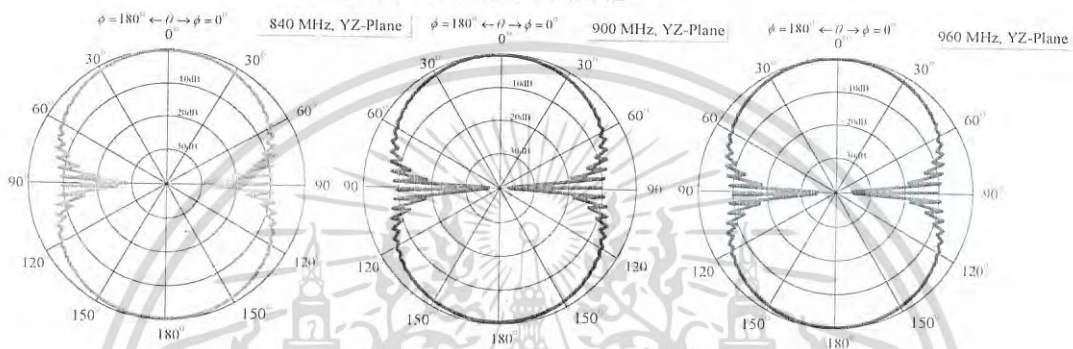
รูปที่ 3.16 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น 3 มิติของสายอากาศที่ความถี่ 900 MHz

รูปที่ 3.17 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น 3 มิติของสายอากาศที่ความถี่ 960 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 ผลจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ xz ที่ความถี่ 840 MHz 900 MHz 960 MHz



รูปที่ 3.19 ผลจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ yz ที่ความถี่ 840 MHz 900 MHz 960 MHz

จากรูปที่ 3.18 และ 3.19 แสดงผลจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศพิจารณาที่ความถี่ 840 MHz 900 MHz และ 960 MHz ในระนาบ xz และ yz ตามลำดับ ทั้งสองระนาบมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่สมมาตรและมีมุมอัตราส่วนแกนที่กว้าง ความกว้างลำคลื่นอัตราส่วนแกนพิจารณาที่ต่ำกว่า 3-dB มีความกว้างลำคลื่นอัตราส่วนแกนมากกว่า 135° องศา ในระนาบ xz และ yz ที่ความถี่ 840 MHz 900 MHz และ 960 MHz ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานสำหรับการประยุกต์ใช้งานกับระบบอาร์เอฟไอดี ข้อดีของงานวิจัยนี้คือร่องรูปตัวเอส ซึ่งเป็นส่วนที่ทำหน้าที่แพร่กระจายคลื่นมีโครงสร้างที่สมมาตรและแก้ปัญหาการเกิดโพลาไรซ์ไขว้ที่ไม่พึงประสงค์ โดยถือว่าคุณลักษณะสายอากาศที่ออกแบบเป็นไปตามเป้าหมายการออกแบบที่ได้ตั้งไว้ ความกว้างลำคลื่นอัตราส่วนแกนผลจำลองของสายอากาศต้นแบบที่ทำการเลือกความถี่ไว้จะแสดงในตารางที่ 3.3

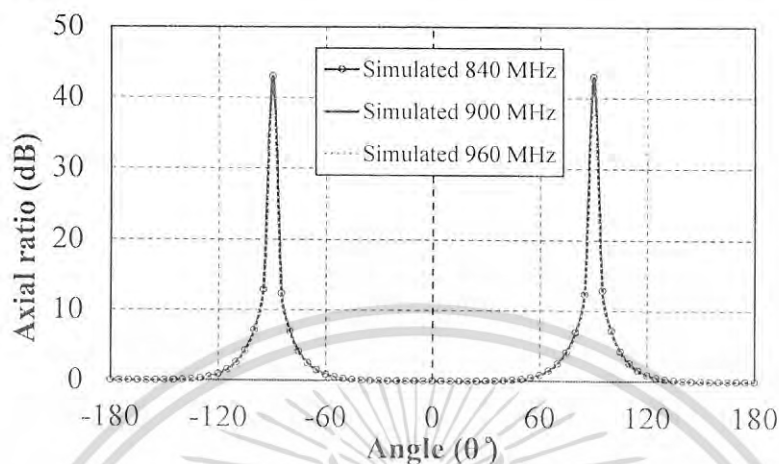
ตารางที่ 3.3 ผลจำลองความกว้างลำคลื่นอัตราส่วนแกน (3 dB) ของสายอากาศต้นแบบ

f(MHz)	840		900		960	
	LHCP	RHCP	LHCP	RHCP	LHCP	RHCP
ผลจำลอง (ระนาบ xz)	135°	145°	135°	135°	145°	145°
ผลจำลอง (ระนาบ yz)	135°	135°	135°	145°	140°	145°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

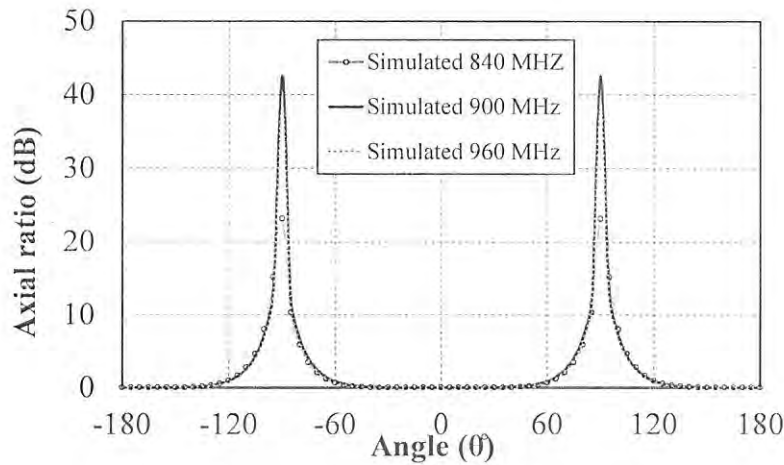
3.3.4 ผลการจำลองความกว้างลำคลื่นอัตราส่วนแกน

สำหรับการพิจารณาอัตราส่วนแกนของสายอากาศ จะพิจารณาที่อัตราส่วนแกนน้อยกว่า 3 dB เช่นกัน โดยผลการจำลองความกว้างลำคลื่นอัตราส่วนแกนเทียบกับมุมของสายอากาศต้นแบบ แสดงดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ผลจำลองอัตราส่วนแกนที่เป็นฟังก์ชันของมุมเมื่อพิจารณาบนระนาบ xz ที่ความถี่ 840 MHz 900 MHz และ 960 MHz

จากรูปที่ 3.20 แสดงผลการจำลองค่าอัตราส่วนแกนที่เป็นฟังก์ชันของมุมเป็นการพิจารณาอัตราส่วนแกนแบบรอบสายอากาศในระนาบ xz ณ ความถี่ 840 MHz 900 MHz 960 MHz แล้วทำการปรับมุมเพื่อพิจารณาคุณสมบัติของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลว่ามีความสามารถในการแพร่กำลังงานด้วยการโพลาไรซ์วงกลมความกว้างมุมมากเท่าใด โดยพิจารณาจากอัตราส่วนแกนที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 3 dB ดังที่ได้นำเสนอในรูปที่ 3.20 แสดงให้เห็นว่าจากผลการจำลองสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลที่ได้นำเสนอที่ความถี่ 840 MHz สามารถแพร่กำลังงานด้วยโพลาไรซ์วงกลมมีช่วงกว้างลำคลื่นตั้งแต่ -49 ถึง 49 Degree หรือมีช่วงกว้างลำคลื่น 98 Degree ซึ่งที่มุมด้านหน้าของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูล (0 Degree) มีอัตราส่วนแกนเท่ากับ 0.129 dB ส่วนผลการจำลองความถี่ 900 MHz มีช่วงกว้างลำคลื่นตั้งแต่ -47 ถึง 47 Degree หรือมีช่วงกว้างลำคลื่น 94 Degree ซึ่งที่มุมด้านหน้าของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูล (0 Degree) มีอัตราส่วนแกนเท่ากับ 0.455 dB และผลการจำลองความถี่ 960 MHz มีช่วงกว้างลำคลื่นตั้งแต่ -44.8 ถึง 44.8 Degree หรือมีช่วงกว้างลำคลื่น 89.6 Degree ซึ่งที่มุมด้านหน้าของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูล (0 Degree) มีอัตราส่วนแกนเท่ากับ 0.498 จะเห็นว่าผลจำลองค่าอัตราส่วนแกนที่เป็นฟังก์ชันของมุมบนระนาบ xz ทั้งสามความถี่มีความคล้ายคลึงกันซึ่งมุมด้านหน้าของสายอากาศทุกคลื่นความถี่ต่างต่ำกว่า 3 dB ซึ่งจะทำให้เกิดโพลาไรซ์วงกลม

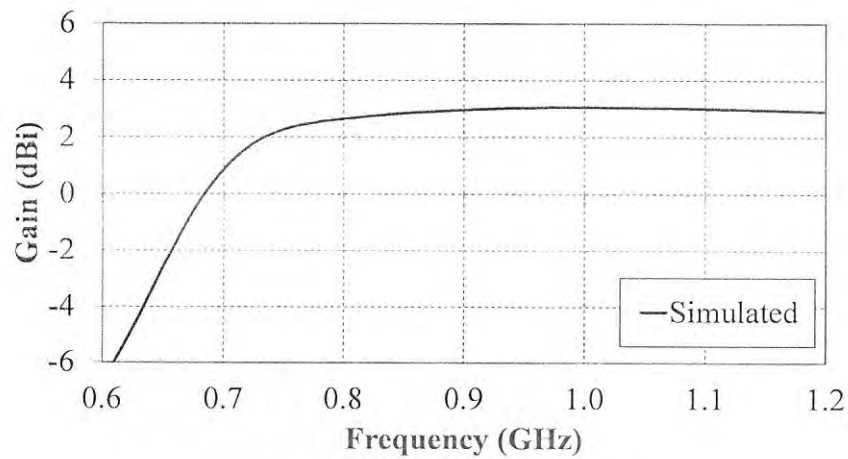


รูปที่ 3.21 ผลการจำลองอัตราส่วนแกนที่เป็นฟังก์ชันของมุมเมื่อพิจารณาบนระนาบ yz ที่ความถี่ 840 MHz 900 MHz และ 960 MHz

จากรูปที่ 3.21 แสดงผลการจำลองค่าอัตราส่วนแกนที่เป็นฟังก์ชันของมุมเป็นการพิจารณาอัตราส่วนแกนแบบรอบสายอากาศในระนาบ yz ณ ความถี่ 840 MHz 900 MHz 960 MHz แล้วทำการปรับมุมเพื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนแกนที่น้อยที่สุดของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลที่มีความสามารถในการแพร่กำลังงานด้วยโพลาริซวงกลมด้วยความกว้างมุมมากเท่าใด โดยพิจารณาจากอัตราส่วนแกนที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 3 dB ดังที่ได้นำเสนอในรูปที่ 3.21 แสดงให้เห็นว่าผลการจำลองสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลที่ได้นำเสนอที่ความถี่ 840 MHz สามารถแพร่กำลังงานด้วยโพลาริซวงกลมมีช่วงกว้างลำคลื่นตั้งแต่ -53.26 ถึง 53.26 Degree หรือมีช่วงกว้างลำคลื่น 106.52 Degree ซึ่งที่มุมด้านหน้าของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูล (0 Degree) มีอัตราส่วนแกนเท่ากับ 0.129 dB ส่วนผลการจำลองความถี่ 900 MHz มีช่วงกว้างลำคลื่นตั้งแต่ -54.2 ถึง 54.2 Degree หรือมีช่วงกว้างลำคลื่น 108.4 Degree ซึ่งที่มุมด้านหน้าของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูล (0 Degree) มีอัตราส่วนแกนเท่ากับ 0.455 dB และผลการจำลองความถี่ 960 MHz มีช่วงกว้างลำคลื่นตั้งแต่ 55.45 ถึง 55.45 Degree หรือมีช่วงกว้างลำคลื่น 110.9 Degree ซึ่งที่มุมด้านหน้าของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูล (0 Degree) มีอัตราส่วนแกนเท่ากับ 0.429 dB จะเห็นว่าผลจำลองค่าอัตราส่วนแกนที่เป็นฟังก์ชันของมุมบนระนาบ yz มีความคล้ายคลึงกันซึ่งมุมด้านหน้าของสายอากาศทุกคลื่นความถี่ต่างต่ำกว่า 3 dB ซึ่งจะทำให้เกิดโพลาริซวงกลม เมื่อเปรียบเทียบกับระนาบ xy กับ yz จะเห็นว่ามียอดคล้องกันรวมทั้งค่าอัตราส่วนแกนของทั้งสองระนาบต่างมีค่าที่ต่ำกว่า 3 dB นั้นหมายถึงสายอากาศไม่ว่าจะส่งระนาบ xy หรือ yz สายอากาศก็ยังคงเป็นโพลาริซวงกลม

3.3.5 ผลการจำลองอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบ

ในหัวข้อนี้เป็นการพิจารณาค่าอัตราขยายที่ได้จากการจำลองสายอากาศต้นแบบ โดยทำการพิจารณาค่าอัตราขยายที่ด้านหน้าของสายอากาศที่มุม 0° ซึ่งเป็นมุมที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร โดยกราฟค่าอัตราขยายของสายอากาศในย่านความถี่ใช้งานแสดงดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 ผลจำลองอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบ

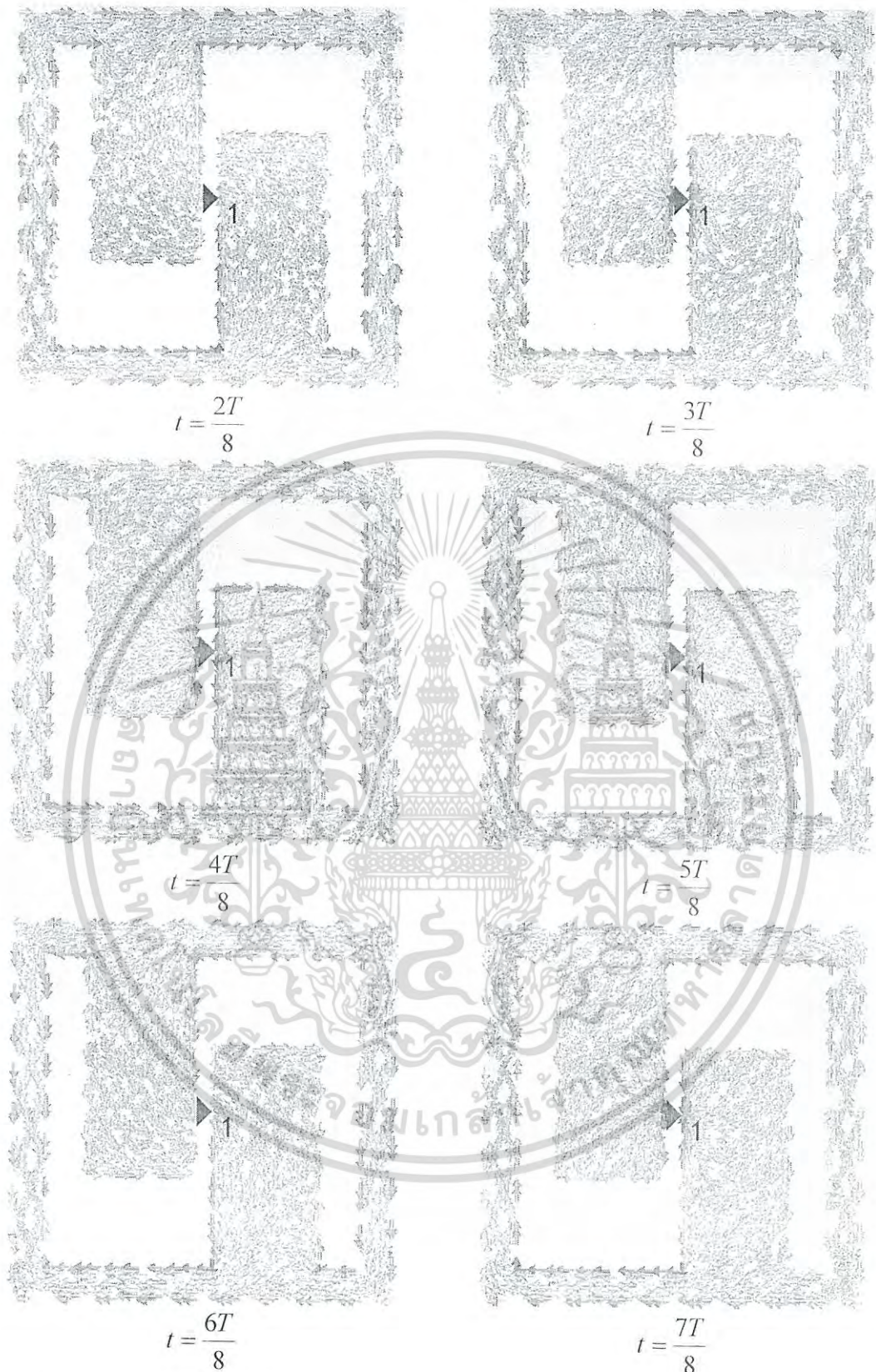
ผลจำลองอัตราขยายบริเวณด้านหน้าของสายอากาศแสดงในรูปที่ 3.22 พบว่าอัตราขยายของสายอากาศมีค่ามากกว่า 3.0 dBi ตลอดย่านความถี่ใช้งานจาก 840 MHz ถึง 960 MHz ซึ่งอัตราขยายสูงสุดคือ 3.28 dBi ที่ความถี่ 960 MHz

3.3.6 ผลการจำลองกระแสบนพื้นผิวของสายอากาศต้นแบบ

ในหัวข้อนี้นำเสนอผลการจำลองทิศทางกระแสบนพื้นผิวที่เดินกระจายบนผิวสายอากาศต้นแบบ ที่เวลา (t) ต่าง ๆ ซึ่งผลการจำลองกระแสบนพื้นผิวของสายอากาศต้นแบบจะพิจารณาที่สนามระยะใกล้ ซึ่งผลการจำลองแสดงดังรูปที่ 3.23



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 ผลการจำลองการกระจายของกระแสนบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ
เครื่องอ่านข้อมูลที่ความถี่ 900 MHz ที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสองทิศทาง
ที่เวลา (t) ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

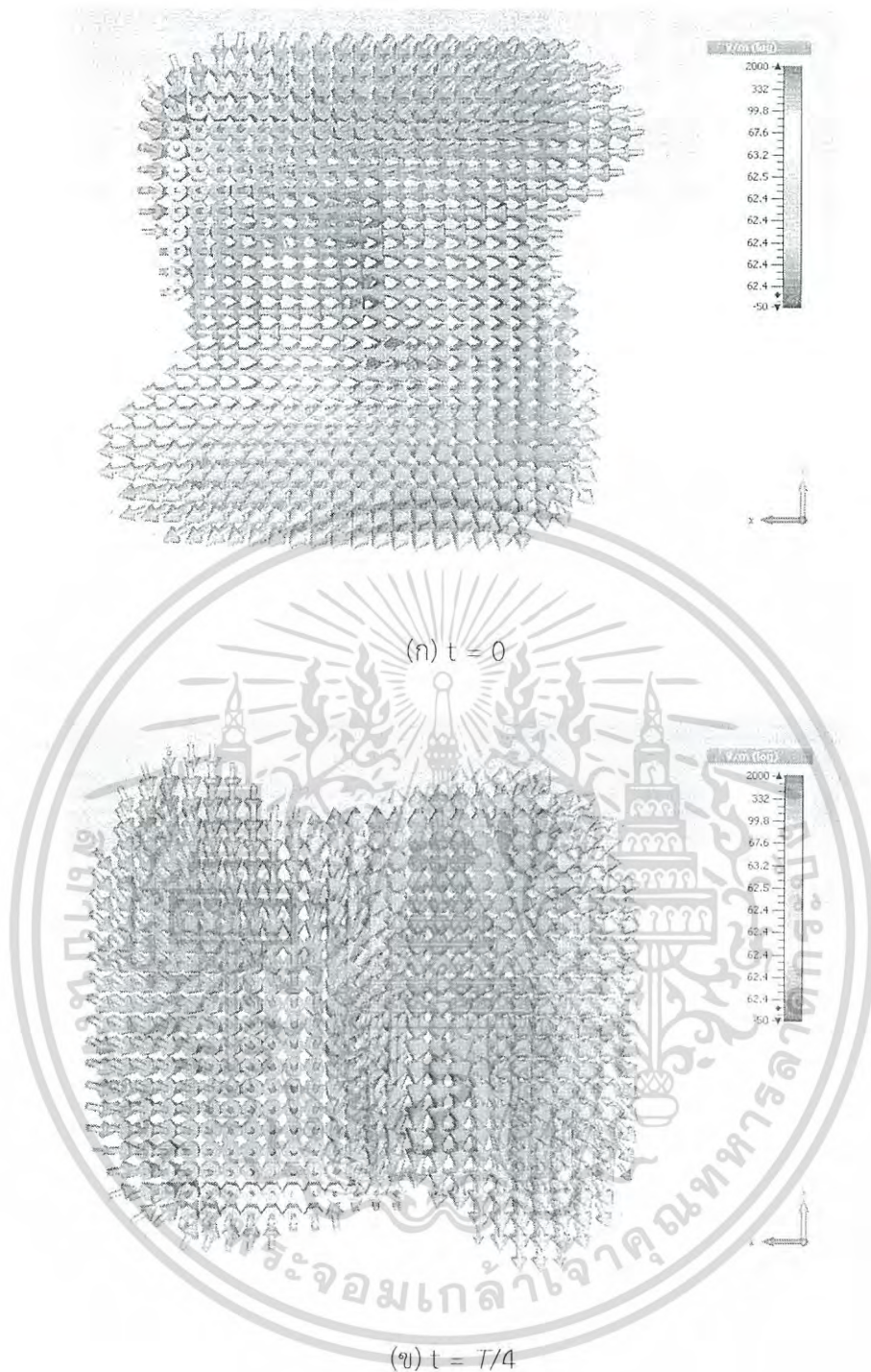
การทำงานของสายอากาศมีการศึกษาเพิ่มเติมได้โดยใช้การกระจายกระแสที่ความถี่เรโซแนนซ์ดังแสดงในรูปที่ 3.23 โดยพิจารณาที่ความถี่กลาง 900 MHz ณ เวลา (t) ต่างๆ มีทิศทางโดยประมาณได้ดังนี้ ที่เวลา (t) เท่ากับ 0 มีทิศทางของกระแส ↑ ที่เวลา (t) เท่ากับ $\frac{T}{8}$ มีทิศทางของกระแส ↖ ที่เวลา (t) เท่ากับ $\frac{2T}{8}$ มีทิศทางของกระแส ← ที่เวลา (t) เท่ากับ $\frac{3T}{8}$ มีทิศทางของกระแส ↙ ที่เวลา (t) เท่ากับ $\frac{4T}{8}$ มีทิศทางของกระแส ↓ ที่เวลา (t) เท่ากับ $\frac{5T}{8}$ มีทิศทางของกระแส ↘ ที่เวลา (t) เท่ากับ $\frac{6T}{8}$ มีทิศทางของกระแส → ที่เวลา (t) เท่ากับ $\frac{7T}{8}$ มีทิศทางของกระแส ↗ ดังนั้นการไหลของกระแสเมื่อมองจากด้านหลังของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงไปทุกเวลา (t) โดยทิศทางของกระแสหมุนวนเข็มนาฬิกา ทำให้เกิดโพลาริซวงกลมหมุนซ้าย ซึ่งสอดคล้องกับอัตราส่วนแอมพลิจูดที่ต่ำกว่า 3 dB เช่นกัน สังเกตได้ว่ากระแสไฟฟ้าที่ผิวส่วนใหญ่จะกระจายที่ขอบวงสี่เหลี่ยม และขอบแพทช์ป้อนสัญญาณไดโพล จะมีค่ากระแสเข้มข้นมากที่สุดที่จุดแพทช์ป้อนสัญญาณไดโพล โดยความถี่เรโซแนนซ์ f_1 สามารถกำหนดขนาดโดยค่าประมาณหาได้จากสมการ [22]

$$f_1 = \frac{c}{(W + L_2 + L_3 + L_4) \cdot \sqrt{\epsilon}} = 916 \text{ MHz} \quad (3.4)$$

ค่า ϵ เป็นค่าคงที่ประสิทธิภาพไดอิเล็กตริกที่ได้จาก $\epsilon \approx (\epsilon_r + 1)/2 = 2.65$ กับ ϵ_r เป็นค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรอง c คืออัตราความเร็วแสงในพื้นที่อากาศว่างและ W , L_2 , L_3 และ L_4 คือความยาวและความกว้าง ตามลำดับของขอบวงสี่เหลี่ยมและแพทช์ป้อนสัญญาณไดโพล แสดงให้เห็นว่าขอบวงสี่เหลี่ยมและขอบแพทช์ป้อนสัญญาณไดโพลเพิ่มเส้นทางการไหลของกระแสตามขอบร่องและด้วยเหตุนี้จึงช่วยลดขนาดของสายอากาศ นอกจากนี้ พารามิเตอร์ L_5 ยังส่งผลกระทบต่อระยะทางของการเดินของกระแสดังนั้นจึงสามารถใช้ในการปรับย่านความถี่ได้

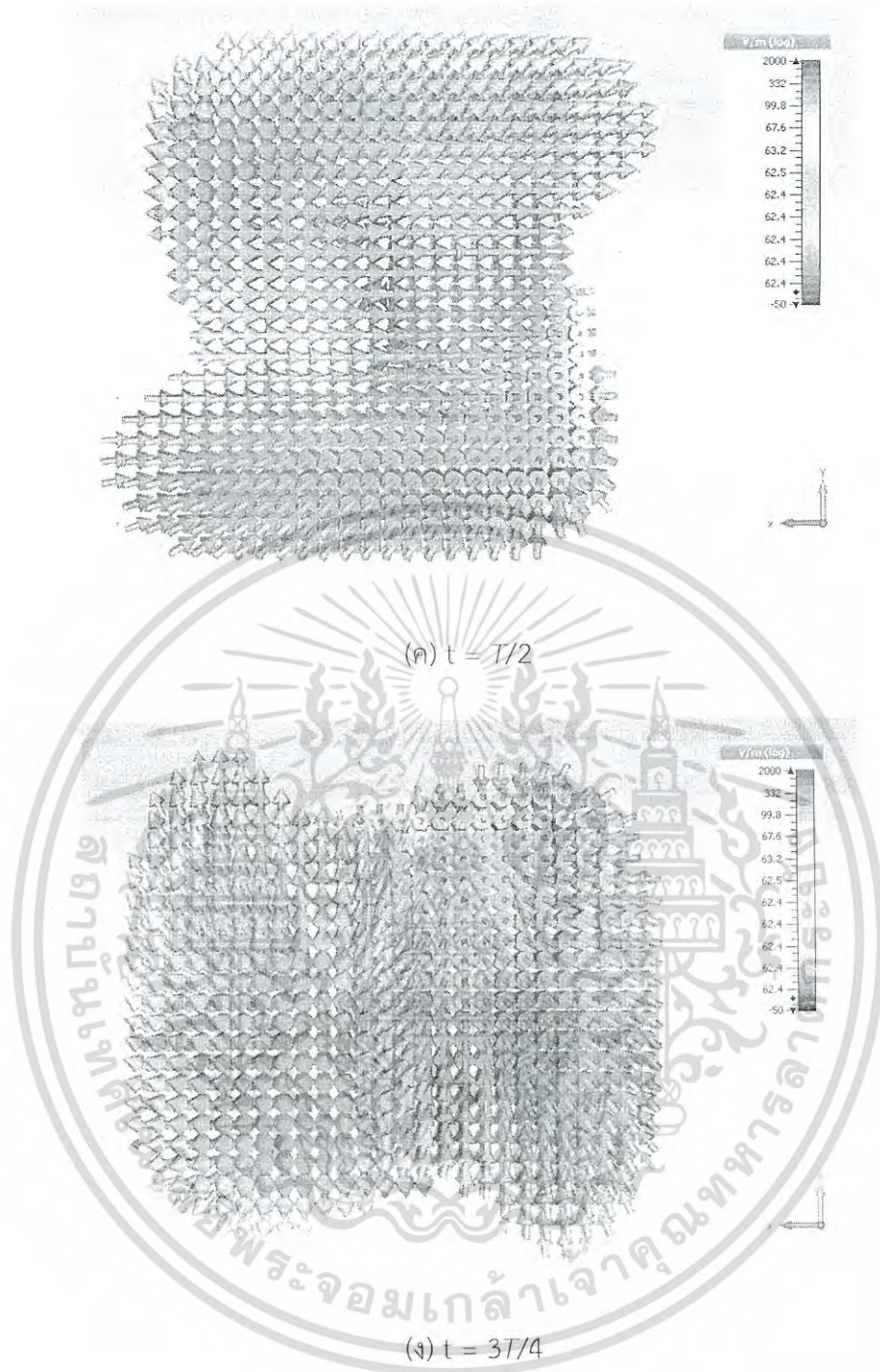
3.3.7 ผลการจำลองทิศทางสนามไฟฟ้าของสายอากาศต้นแบบ

ในหัวข้อนี้นำเสนอผลการจำลองทิศทางสนามไฟฟ้าที่แพร่กระจายจากสายอากาศต้นแบบ ที่เวลา (t) ต่าง ๆ ซึ่งผลการจำลองสนามไฟฟ้าของสายอากาศต้นแบบจะพิจารณาที่สนามระยะไกล ซึ่งผลการจำลองแสดงดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 สนามไฟฟ้าที่แพร่กระจายจากสายอากาศต้นแบบที่เวลา (t) ต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 สนามไฟฟ้าที่แพร่กระจายจากสายอากาศต้นแบบที่เวลา (t) ต่าง ๆ (ต่อ)

จากรูปที่ 3.24 สนามไฟฟ้าที่ปล่อยออกจากสายอากาศต้นแบบที่เวลา (t) เท่ากับ 0 และพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องโดยมีการหมุนเป็นวงกลมด้วย ขนาดที่เท่ากัน ซึ่งเงื่อนไขนี้สามารถทำให้เกิดโพลาไรซ์วงกลมได้ $T/4$ $T/2$ $3T/4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 สรุปคุณลักษณะของสายอากาศต้นแบบ

คุณลักษณะของสายอากาศ	ค่าที่ได้จากการจำลอง
ช่วงกว้างอิมพีแดนซ์ $ S_{11} $	650 – 1200 MHz
ช่วงกว้างความถี่อัตราส่วนแบน	660 – 1050 MHz
แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	แบบสองทิศทาง
การโพลารไรซ์	วงกลม
อัตราขยาย	3.2 dBic
ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังบนระนาบ xz	135°
ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังบนระนาบ yz	135°
ความกว้างลำคลื่นอัตราส่วนคลื่นแบนบนระนาบ xz	94°
ความกว้างลำคลื่นอัตราส่วนคลื่นแบนบนระนาบ yz	108°

3.4 บทสรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอการออกแบบและการจำลองผลของสายอากาศ โดยเริ่มต้นจากการคำนวณตามทฤษฎี เพื่อหาค่าขนาดของสายอากาศเริ่มต้น แล้วทำการออกแบบสายอากาศรูปทรงรูปตัวเอส และทำการศึกษาการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของสายอากาศเพื่อให้มีคุณลักษณะที่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานกับเครื่องอ่านข้อมูลของระบบบาร์โค้ดด้วยเอชเอฟสภาค โดยพิจารณาว่าคุณลักษณะ $|S_{11}|$ ที่มีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับ -10 dB สายอากาศสามารถครอบคลุมช่วงความถี่ตั้งแต่ 740 MHz ถึง 1212 MHz คิดเป็นเปอร์เซ็นต์แบนด์วิดธ์ 48.36% มีค่าอัตราส่วนแบนที่ต่ำกว่า 3 dB ครอบคลุมความถี่ 750 MHz ถึง 1150 MHz คิดเป็น 42.10% โดยสายอากาศมีโพลารไรซ์วงกลมหมุนซ้ายในทิศ 0° และหมุนขวาในทิศ 180° สายอากาศมีอัตราขยายที่ความถี่กลาง 900 MHz เท่ากับ 3.2 dBic มีความกว้างอัตราส่วนแบนบนระนาบ xz และระนาบ yz เท่ากับ 94° และ 108° ตามลำดับ มีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง บนระนาบ xz และระนาบ yz เท่ากับ 135° และ 135° ตามลำดับ และสายอากาศมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสองทิศทาง ฉะนั้นเพื่อยืนยันความถูกต้องของผลจำลอง จึงจะนำค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้จากการจำลองสายอากาศไปทำการสร้างสายอากาศต้นแบบ และทำการทดสอบคุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศ เพื่อนำผลทดสอบที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองซึ่งจะกล่าวในบทถัดไป

บทที่ 4

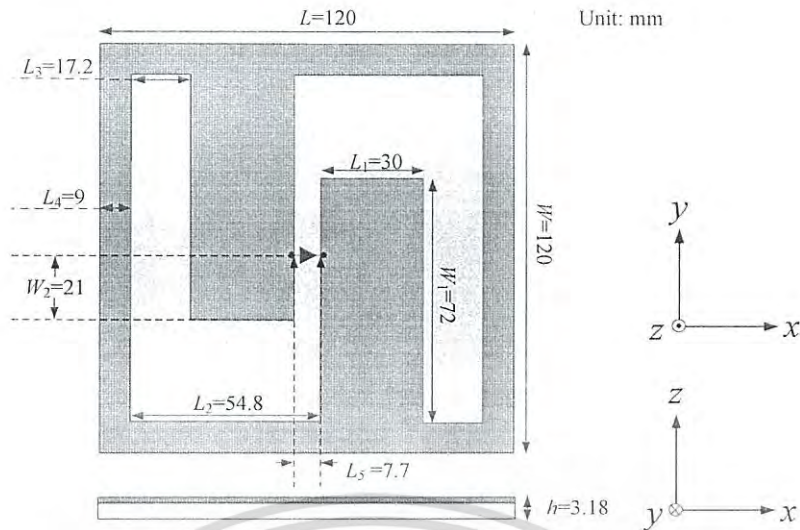
การทดสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของสายอากาศเครื่องอ่าน ข้อมูลอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสากลต้นแบบ

4.1 บทนำ

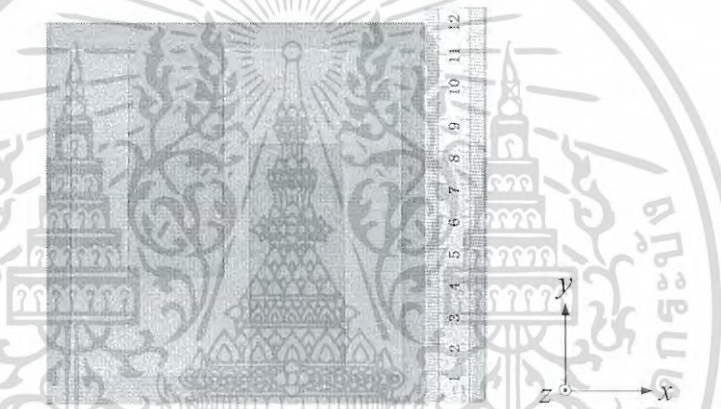
ในบทนี้จะนำเสนอการทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศสองทิศทางที่มีโพลาริซิงกลม โดยใช้เทคนิคการเจาะร่องรูปตัวเอสสำหรับระบบอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟ โดยการทดสอบจะพิจารณาคุณลักษณะต่างๆ ของสายอากาศดังนี้ $|S_{11}|$ อัตราส่วนแแกน อัตราขยาย และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ xz และระนาบ yz ของสายอากาศ ในย่านความถี่ใช้งานคือที่ความถี่ 840 MHz ถึง 960 MHz ซึ่งจะนำผล การทดสอบมาเปรียบเทียบกับผลการจำลองที่ได้จากการศึกษา และวิจัยค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศต้นแบบที่นำเสนอไว้ในบทที่ 3 เพื่อยืนยันความถูกต้อง โดยรายละเอียดต่างๆ ของ การทดสอบสายอากาศจะกล่าวไว้ในหัวข้อถัดไป

4.2 สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสากลต้นแบบ

ในหัวข้อนี้นำเสนอสายอากาศต้นแบบสำหรับใช้ในการทดสอบ โดยสายอากาศที่นำเสนอนี้ ใช้งานในย่านความถี่ 840 MHz ถึง 960 MHz ซึ่งเป็นมาตรฐานระบบอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสากล วัสดุที่นำมาสร้างสายอากาศต้นแบบเป็นวัสดุฐานรอง FR-4 ชนิดเทฟลอน เนื่องจากเป็นวัสดุเหมาะสมกับใช้งานย่านความถี่ยูเอชเอฟ มีน้ำหนักเบา และมีราคาถูก ซึ่งวัสดุฐานรอง FR-4 มีความหนา 3.18 mm มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก 4.3 ค่าแทนเจนต์การสูญเสีย 0.0025 ที่ความถี่ 1 GHz ใช้สายนำสัญญาณโคแอกเซียลในการบ่อนสัญญาณหรือที่เรียกว่าโคแอกเซียลพีดีโดยมี $\lambda/4$ โคแอกเซียลบาลันช่วยในการปรับกระแสจากสายนำสัญญาณที่ไม่สมดุลไปยังสายอากาศให้กระแสมีความสมดุล เพื่อให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเป็นไปตามที่ออกแบบไว้ โดยโครงสร้างสายอากาศที่นำเสนอแสดงดังรูปที่ 4.1 และพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศต้นแบบแสดงดังตารางที่ 4.1 โดยค่าพารามิเตอร์ในตารางเป็นค่าที่ได้จาก การจำลองในบทที่ 3



รูปที่ 4.1 โครงสร้างและพารามิเตอร์ของสายอากาศที่นำเสนอ



รูปที่ 4.2 รูปถ่ายสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสากลต้นแบบ

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศต้นแบบ

พารามิเตอร์	ขนาดของสายอากาศ	คำอธิบาย
L	120.0	ความยาวบ่วงสี่เหลี่ยม
L_1	30.0	ความกว้างแพทช์ป้อนสัญญาณ
L_2	54.8	ความกว้างร่องจากขอบแพทช์ป้อนสัญญาณด้านขวาถึงขอบบ่วงสี่เหลี่ยม
L_3	17.2	ความกว้างร่องจากขอบแพทช์ป้อนสัญญาณด้านซ้ายถึงขอบบ่วงสี่เหลี่ยม
L_4	9.0	ความกว้างขอบบ่วงสี่เหลี่ยม
L_5	7.7	ระยะห่างระหว่างแขนแพทช์ป้อนสัญญาณ
W	120.0	ความกว้างบ่วงสี่เหลี่ยม
W_1	72.0	ความยาวของแพทช์ป้อนสัญญาณ
W_2	21.0	ความยาวสตัดปลายเปิด
h	3.18	ความสูงฐานรอง FR-4

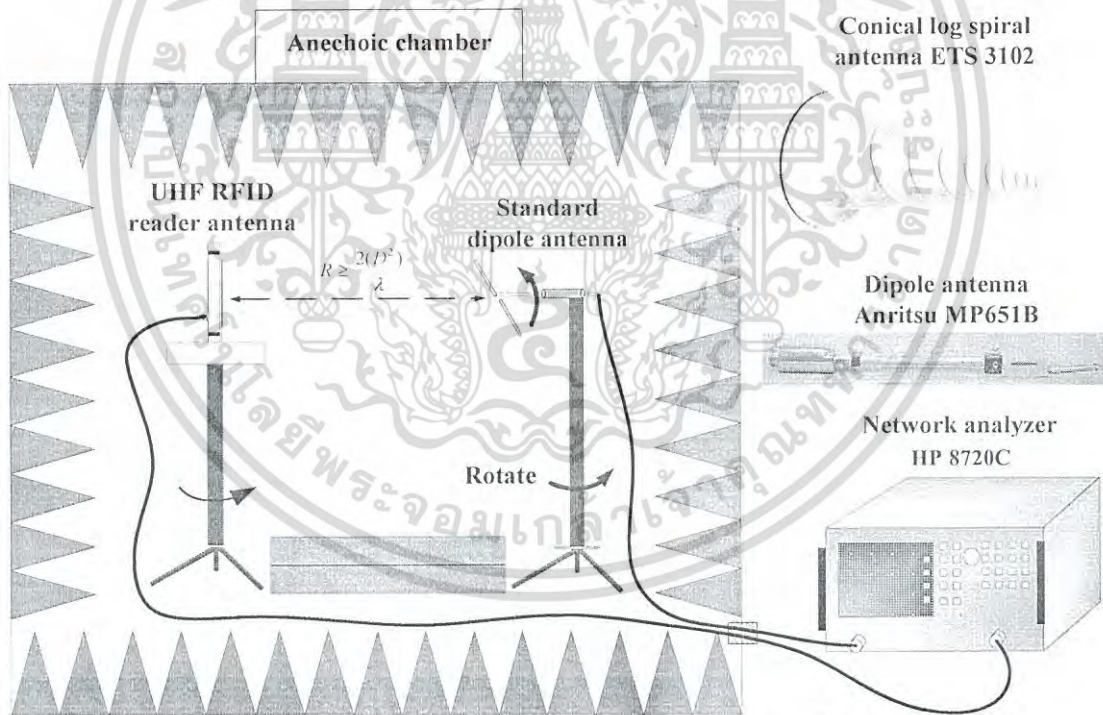
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การสร้างและการทดสอบสายอากาศ

ในการสร้างสายอากาศที่จะนำมาทดสอบนั้นเกิดจากการวิเคราะห์และหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศจากการจำลองด้วยโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO® จากนั้นจึงนำค่าพารามิเตอร์มาสร้างสายอากาศต้นแบบขึ้น เพื่อนำมาทดสอบคุณลักษณะต่างๆ ทางสายอากาศ เช่น $|S_{11}|$ อัตราส่วนแกน อัตราขยาย และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ โดยทำการทดสอบในห้องไร้การสะท้อนทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular Anechoic chamber) เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดสอบมีดังต่อไปนี้

1. เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer HP 8720C)
2. สายนำสัญญาณโคแอกเซียล 50 โอห์ม
3. สายอากาศก้นหอย (Conical log spiral antenna)
4. สายอากาศไดโพลมาตรฐาน (Standard dipole antenna)
5. สายอากาศต้นแบบ

การทดสอบสายอากาศสองทิศทางที่มีโพลาริซวงกลม โดยใช้เทคนิคการเขาระงับรูปตัวเอส สำหรับระบบอาร์เอฟไอดี เพื่อทดสอบหาค่า $|S_{11}|$ ทำได้โดยนำสายอากาศต้นแบบที่จะทำการทดสอบ มาต่อเข้ากับเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย ดังรูปที่ 4.3 เพื่อวิเคราะห์ $|S_{11}|$ ของสายอากาศ



รูปที่ 4.3 การทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศต้นแบบ ในห้องไร้การสะท้อน

ในการทดสอบ $|S_{11}|$ ของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสากลต้นแบบได้อาศัยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายยี่ห้อ HP รุ่น 8720C

ในส่วนของการทดสอบอัตราขยายของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสากลต้นแบบ จะใช้สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสากลต้นแบบ ทำหน้าที่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศทางด้านรับและใช้สายอากาศแบบไดโพลมาตรฐานทำหน้าที่เป็นสายอากาศทางด้านส่ง โดยที่การทดสอบสายอากาศจะต้องทำภายในสนามระยะไกล เพราะฉะนั้นระยะห่าง (R) ระหว่างสายอากาศของตัวส่งและสายอากาศของตัวรับต้องเป็นไปตามเงื่อนไขตามสมการดังนี้

$$R \geq 2D^2 / \lambda_0 \quad (4.1)$$

โดยที่

R คือ ระยะของสนามระยะไกล

D คือ ขนาดของสายอากาศที่มีความยาวที่สุด

λ_0 คือ ความยาวคลื่นในอากาศโดยพิจารณาที่ความถี่ใช้งาน

ดังนั้นจึงกำหนดให้ระยะห่างระหว่างสายอากาศของตัวส่งและสายอากาศของตัวรับมีค่าเท่ากับ 2 เมตร

การทดสอบอัตราส่วนแอมพลิจูดและการทดสอบค่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ เครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสากลต้นแบบ ซึ่งในการทดสอบนั้นจะใช้สายอากาศรูปก้นหอยที่มีจำนวนรอบเท่ากับ 7 รอบ และมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 9 cm มาใช้ทำหน้าที่เป็นสายอากาศทางด้านส่ง และใช้สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสากลต้นแบบทำหน้าที่เป็นสายอากาศด้านรับ กำหนดให้ระยะห่างระหว่างสายอากาศของตัวส่งและสายอากาศของตัวรับมีค่าเท่ากับ 2 เมตร ซึ่งผลจากการทดสอบที่ได้สามารถคำนวณหาอัตราส่วนแอมพลิจูดได้จากสมการที่ 4.2

$$\text{Axial Ratio} = 20 \log \left[\frac{|E_{co}| + |E_{sp}|}{|E_{co}| - |E_{sp}|} \right] \quad (4.2)$$

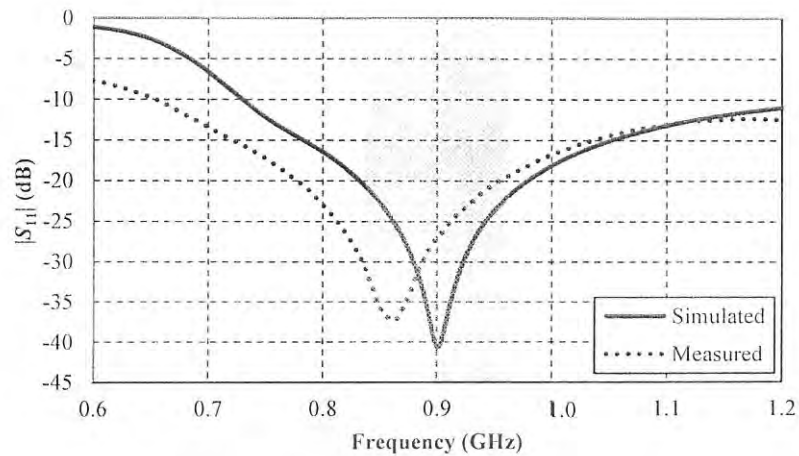
โดยที่

$|E_{co}|$ คือขนาดของสนามไฟฟ้าที่มีการโพลาไรซ์แบบเดียวกับโพลาไรซ์ของสายอากาศตัวรับ

$|E_{sp}|$ คือขนาดของสนามไฟฟ้าที่มีการโพลาไรซ์ตรงกันข้ามกับโพลาไรซ์ของสายอากาศตัวรับ

4.3.1 การทดสอบ $|S_{11}|$ ของสายอากาศต้นแบบ

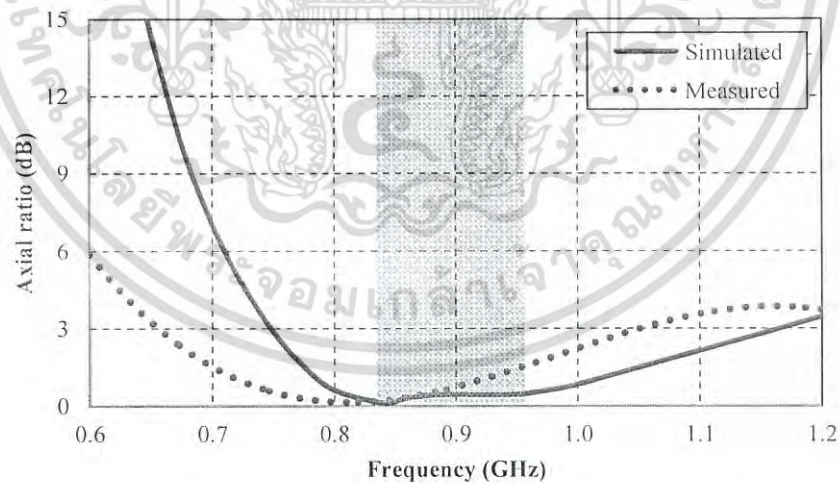
ผลจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศที่ได้นำเสนอมีความถี่กลางที่ 900 MHz และมีช่วงกว้างความถี่ใช้งาน $|S_{11}| < -10$ dB ตั้งแต่ 740 ถึง 1214 MHz แบนด์วิดท์เท่ากับ 48% สำหรับในส่วนของผลการทดสอบ $|S_{11}|$ ของสายอากาศต้นแบบมีความถี่กลางที่ 858 MHz และมีความถี่ใช้งาน $|S_{11}| < -10$ dB ตั้งแต่ 650 ถึง 1040 MHz แบนด์วิดท์เท่ากับ 46% ดังรูปที่ 5.3 ซึ่งครอบคลุมตามความต้องการของระบบอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสากล



รูปที่ 4.4 ผลการจำลองและผลทดสอบ $|S_{11}|$ ของสายอากาศที่ได้นำเสนอ

4.3.2 การทดสอบอัตราส่วนแกนของสายอากาศต้นแบบ

ผลการจำลองอัตราส่วนแกนพบว่า มีอัตราส่วนแกนต่ำที่สุดเท่ากับ 0.42 dB ที่ความถี่ 840 MHz และมีแบนด์วิดท์อัตราส่วนแกน 3 dB ตั้งแต่ 750 ถึง 1150 MHz แบนด์วิดท์เท่ากับ 42% ผลการทดสอบอัตราส่วนแกนได้ทำการทดสอบที่ลำคลื่นหลักหรือทิศด้านหน้า 0 องศาของสายอากาศต้นแบบที่ได้นำเสนอและคำนวณหาค่าอัตราส่วนแกนในแต่ละความถี่และพบว่า ที่ความถี่ 840 900 และ 960 MHz มีค่าอัตราส่วนเท่ากับ 0.52 1.26 และ 1.67 dB โดยมีแบนด์วิดท์อัตราส่วน 3 dB เท่ากับ 46.33% (655 ถึง 1050 MHz) ดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 4.5 ผลการจำลองและผลทดสอบอัตราส่วนแกนของสายอากาศต้นแบบ

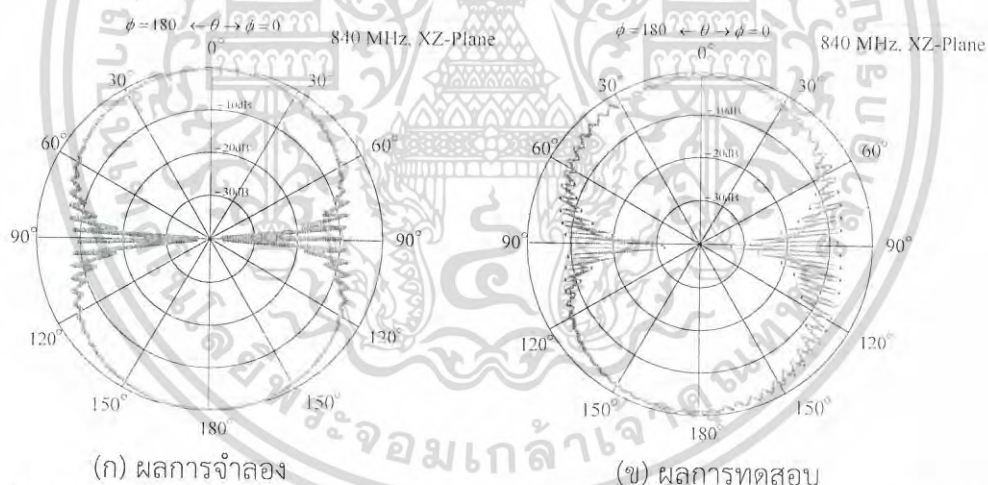
4.3.3 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบหมุนของสายอากาศต้นแบบ

ในหัวข้อนี้ได้ทำการเปรียบเทียบผลการจำลองและผลทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบหมุนของสายอากาศ โดยทำการทดสอบเพื่อทำการเก็บข้อมูลที่ประกอบไปด้วยโพลาริซั่ม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Co-polarization) มีบีมวิทท์ครึ่งกำลัง (Half-power beamwidth: HPBW) และระดับโพลาไรซ์ไขว้ (Cross-polarization level) นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าอัตราส่วนแกนเชิงมุมตั้งแต่ 0 ถึง 360 องศา ทำการนำค่ามาพล็อตสลับกับแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศจะได้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบหมุน โดยแสดงดังตารางที่ 4.2 พิจารณาที่ความถี่ 840 MHz, 900 MHz และ 960 MHz ในระนาบ xz และ yz ตามลำดับ ทั้งสองระนาบมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่สมมาตร และมีมุมอัตราส่วนแกนที่กว้าง เมื่อทำการเปรียบเทียบผลทดสอบในรูปที่ 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 และ 4.11 จะเห็นว่าสอดคล้องกับผลจำลอง ความกว้างลำคลื่นอัตราส่วนแกนพิจารณาค่าที่ต่ำกว่า 3-dB มีความกว้างลำคลื่นอัตราส่วนแกนมากกว่า 75° องศา ในระนาบ xz และ yz ที่ความถี่ 840 MHz, 900 MHz และ 960 MHz นอกจากนี้ยังพบว่ามีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นชนิดสองทิศทางตลอดย่านความถี่ใช้งาน 840 ถึง 960 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานสำหรับการประยุกต์ใช้งานกับระบบอาร์เอฟไอดี

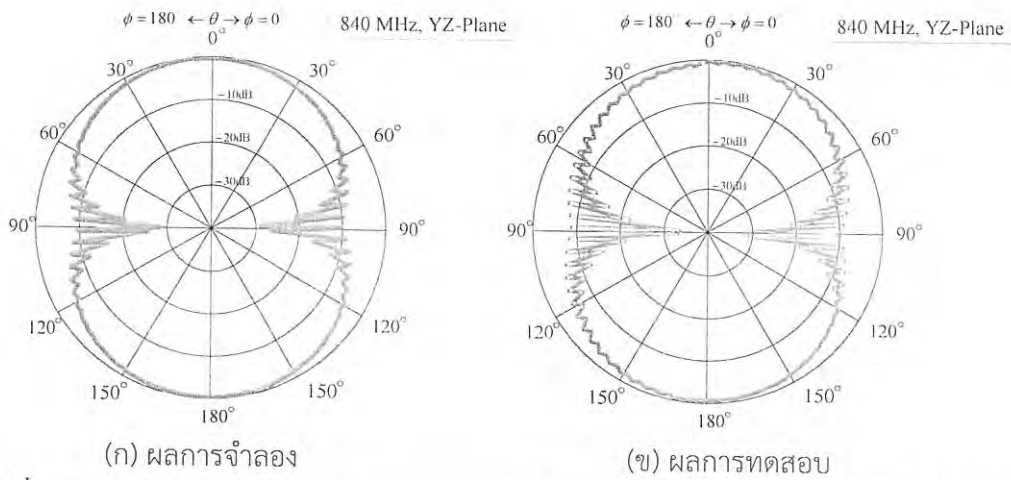
ตารางที่ 4.2 ความกว้างลำคลื่นอัตราส่วนแกน (3 dB) ของสายอากาศที่นำเสนอ

f(MHz)	840		900		960	
	LHCP	RHCP	LHCP	RHCP	LHCP	RHCP
ผลจำลอง (ระนาบ xz)	135°	145°	135°	135°	145°	145°
ผลจำลอง (ระนาบ yz)	135°	135°	135°	145°	140°	145°
ผลทดสอบ (ระนาบ xz)	102°	113°	160°	75°	145°	110°
ผลทดสอบ (ระนาบ yz)	135°	135°	100°	118°	125°	105°

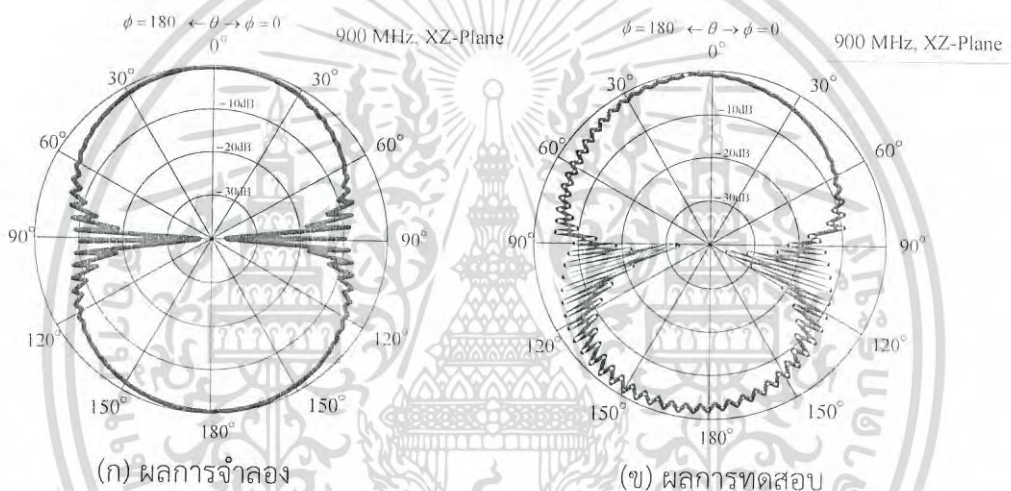


รูปที่ 4.6 ผลจำลองและผลทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นระนาบ XZ ที่ความถี่ 840 MHz
(ก) ผลการจำลอง (ข) ผลการทดสอบ

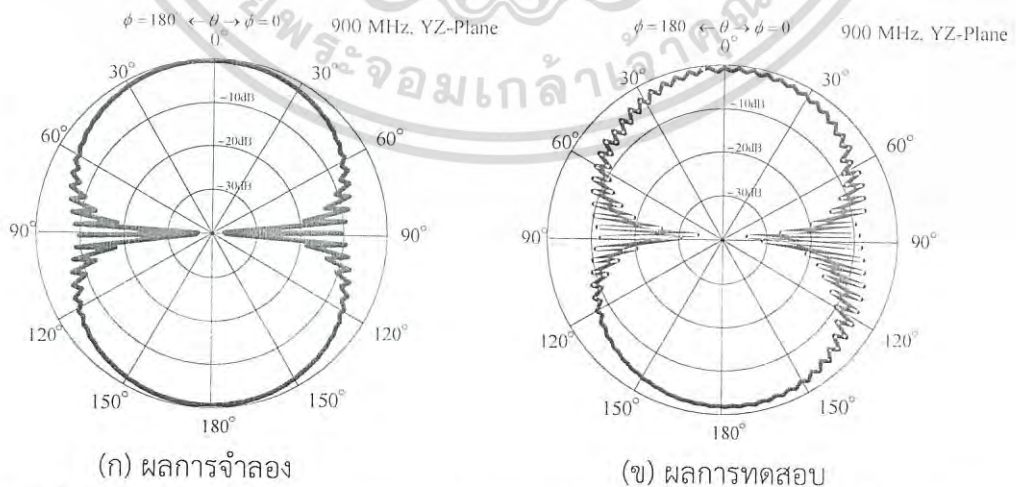
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ผลจำลองและผลทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นระนาบ YZ ที่ความถี่ 840 MHz
(ก) ผลการจำลอง (ข) ผลการทดสอบ

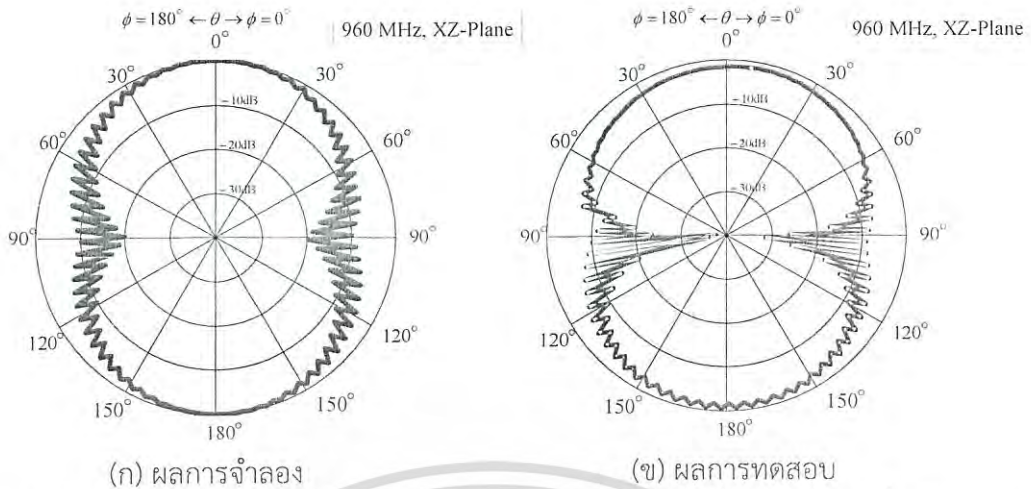


รูปที่ 4.8 ผลจำลองและผลทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น XZ ที่ความถี่ 900 MHz
(ก) ผลการจำลอง (ข) ผลการทดสอบ

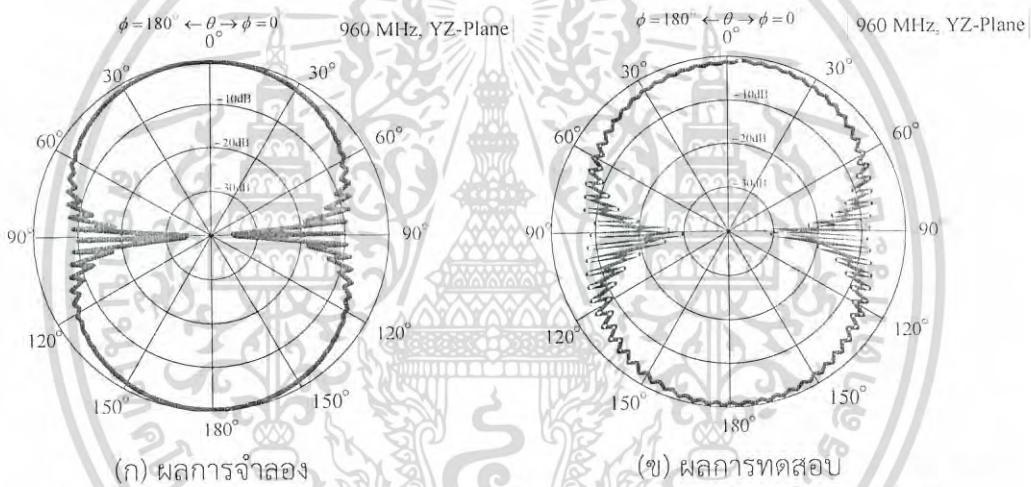


รูปที่ 4.9 ผลจำลองและผลทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น YZ ที่ความถี่ 900 MHz
(ก) ผลการจำลอง (ข) ผลการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ผลจำลองและผลทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น XZ ที่ความถี่ 960 MHz
(ก) ผลการจำลอง (ข) ผลการทดสอบ



รูปที่ 4.11 ผลจำลองและผลทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น YZ ที่ความถี่ 960 MHz
(ก) ผลการจำลอง (ข) ผลการทดสอบ

4.3.4 การทดสอบอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบ

ในส่วนของการทดสอบอัตราขยายสายอากาศ ได้อาศัยสายอากาศไดโพลมาตรฐานเป็นสายอากาศส่ง (G_s) และใช้สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีเป็นสายอากาศรับ (G_r) อัตราขยายสายอากาศสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.3 และ 4.4

$$G_r(\text{dB}) + G_s(\text{dB}) = \frac{1}{2} [P_r - P_t + L_s + L_r + L_t] \quad (4.3)$$

เมื่อ

$$L_s = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) \quad (4.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย

P_r คือ กำลังงานด้านรับ (dBm)

P_t คือ กำลังงานด้านส่ง (dBm)

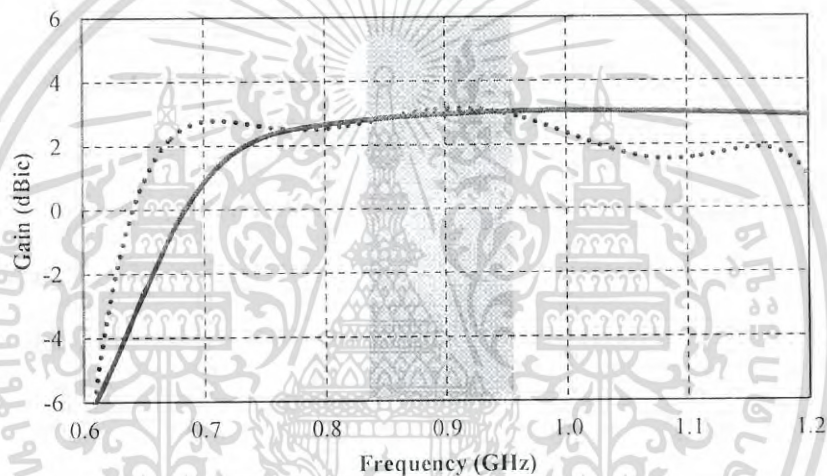
L_f คือ การสูญเสียจากสายนำสัญญาณด้านส่ง (dB)

L_r คือ การสูญเสียจากสายนำสัญญาณด้านรับ (dB)

L_s คือ การสูญเสียจากระยะทาง (dB)

R คือ ระยะทางระหว่างสายอากาศรับและสายอากาศส่ง

ผลจำลองอัตราขยายสายอากาศที่ได้นำเสนอที่ความถี่ 840 MHz 900 MHz และ 960 MHz มีค่าอัตราขยายเท่ากับ 3.02, 3.2 และ 3.28 dBic ในส่วนของผลทดสอบอัตราขยายที่ความถี่ 840 MHz, 900 MHz และ 960 MHz มีค่าอัตราขยายเท่ากับ 2.95, 3.20 และ 3.18 dBic และมีอัตราขยายเฉลี่ยที่ใช้งานในระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟมากกว่า 3.0 dBic ดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.12 ผลจำลองและผลทดสอบอัตราขยายสายอากาศ

ตารางที่ 4.3 แสดงบีมวิทช์ครึ่งกำลัง แบบดิวิตท์อัตราส่วนแกน และอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบที่ความถี่ใช้งาน 840, 900 และ 960 MHz ซึ่งผลการทดสอบ $|S_{11}|$ อัตราส่วนแกนอัตราขยาย และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น สอดคล้องกับผลการจำลองดังที่แสดงไปก่อนหน้านี้ โดยผลการทดสอบอัตราส่วนแกนมีค่าต่ำกว่า 3 dB ตลอดย่านความถี่ใช้งาน บีมวิทช์ครึ่งกำลังของสายอากาศต้นแบบที่ความถี่กลาง 900 MHz เท่ากับ 100° ทั้งระนาบ $x-z$ และ $y-z$ ส่วนบีมวิทช์อัตราส่วนแกนที่ความถี่กลาง 900 MHz ประมาณ 145° และ 145° ในระนาบ $x-z$ และ $y-z$ ตามลำดับ และมีอัตราขยายสูงสุดที่ความถี่ 915 MHz เท่ากับ 3.28 dBic

ตารางที่ 4.3 คุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่นและบีมวิดิที่อัตราส่วนแกนของสายอากาศต้นแบบ

ความถี่ (MHz)		840	900	960
HPBW	x-z	100°	100°	100°
	y-z	100°	100°	100°
3-dB AR-BW	x-z	145°	135°	145°
	y-z	135°	145°	145°
อัตราขยาย (dBic)		3.02	3.20	3.28

4.4 บทสรุป

การทดสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสากลต้นแบบที่ใช้โครงสร้างร่องรูปตัวเอส ป้อนสัญญาณเต็ยวมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นชนิดสองทิศทางโพลาริซวงกลม ประยุกต์ใช้งานกับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสากล ผลจากการทดสอบ $|S_{11}|$ พบว่ามีแบนด์วิดท์ $|S_{11}| < -10$ dB ตั้งแต่ 650 ถึง 1040 MHz (46%) ผลจากการทดสอบอัตราส่วนแกนพบว่ามีแบนด์วิดท์อัตราส่วนแกน 3 dB ตั้งแต่ 655 ถึง 1050 MHz (46.33%) และที่ความถี่ 840 900 และ 960 MHz มีค่าอัตราส่วนแกนต่ำที่สุดเท่ากับ 0.52 1.26 และ 1.67 dB ผลจากการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นบนระนาบ xz และ xy มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นชนิดสองทิศทางและโพลาริซวงกลมมีบีมวิดิที่ครึ่งกำลัง 100° องศาและมีบีมวิดิที่อัตราส่วนแกนมากกว่า 75° องศา นอกจากนี้ผลการทดสอบอัตราขยายมากกว่า 3.0 dBic ตลอดย่านความถี่ใช้งานสายอากาศที่นำเสนอสามารถประยุกต์ใช้งานกับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสากลที่สามารถแก้ปัญหาในเรื่องความแตกต่างของช่วงความถี่ใช้งานในแต่ละประเทศ

บทที่ 5

การทดสอบประยุกต์ใช้งานและการประเมินสมรรถนะ

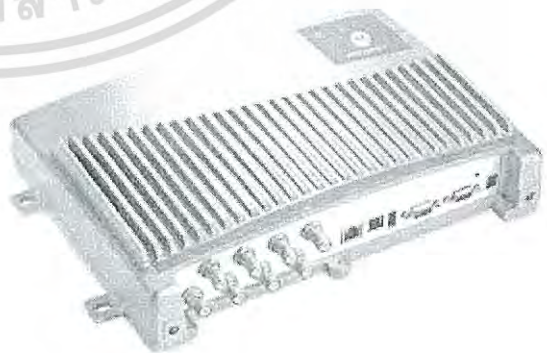
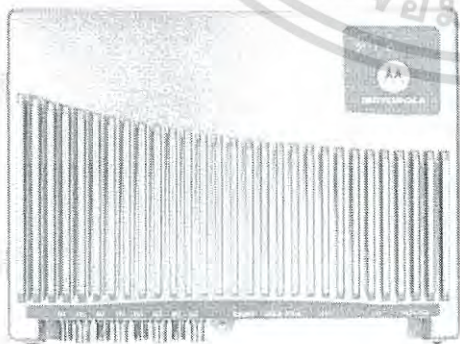
5.1 บทนำ

ในบทก่อนหน้านี้กล่าวถึงการสร้างสายอากาศต้นแบบจากค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการจำลอง และการทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศ ซึ่งแสดงไว้ในบทที่ 3 และบทที่ 4 ตามลำดับ โดยในบทนี้ได้นำสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟ มาทำการทดสอบการประยุกต์ใช้งาน โดยใช้งานร่วมกับแท็ก เพื่อหาระยะในการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก โดยได้ทำการทดสอบหาระยะที่สามารถติดต่อสื่อสารได้ไกลที่สุดระหว่างสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก โดยการทดสอบประยุกต์ใช้งานสายอากาศต้นแบบ มีรายละเอียดดังหัวข้อต่อไปนี้

5.2 เครื่องมือ อุปกรณ์ ที่ใช้ในการทดสอบเบื้องต้นและทดลองในสภาพการใช้งานจริง

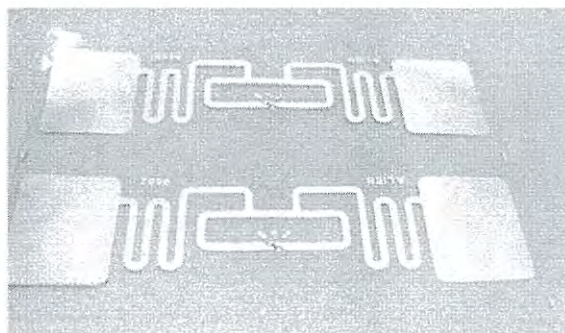
ในหัวข้อที่นำเสนอเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลร่วมกับแท็ก โดยมีเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบมีดังต่อไปนี้

1. เครื่องอ่านข้อมูล ของบริษัท Motorola รุ่น XR480 จำนวน 1 เครื่อง ดังแสดงในรูปที่ 5.1
2. แท็กชนิดไดโพลแบบขดลวด ของบริษัท Alien ดังแสดงในรูปที่ 5.2
3. สายอากาศอ้างอิงเป็นสายอากาศไดโพลมาตรฐาน แสดงดังรูปที่ 5.3
4. สายอากาศต้นแบบใช้งานร่วมกับเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบอาร์เอฟไอดี ย่านความถี่ยูเอชเอฟ แสดงดังรูปที่ 5.4
5. เครื่องมือวัดระยะทาง แสดงดังรูปที่ 5.5
6. คอมพิวเตอร์
7. สายนำสัญญาณ

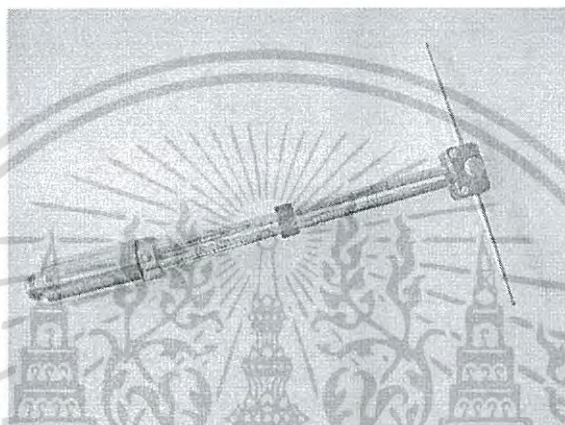


รูปที่ 5.1 เครื่องอ่านข้อมูลของระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟ [23]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

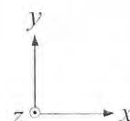


รูปที่ 5.2 แท้กชนิดไดโพลแบบขด Alien [24]



รูปที่ 5.3 สายอากาศอ้างอิงสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลที่มีโพลาริเซชันเชิงเส้น

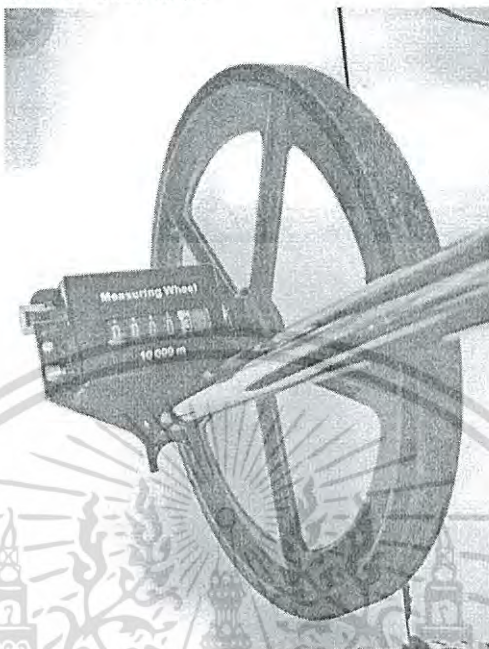
จากรูปที่ 5.3 แสดงสายอากาศอ้างอิงเป็นสายอากาศแบบไดโพลมาตรฐาน มีการเรโซแนนซ์ที่ความถี่ใช้งานคือ 920 MHz ถึง 925 MHz มีโพลาริเซชันเชิงเส้น แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางและอัตราขยายที่ความถี่ใช้งานมีค่าเท่ากับ 2.1 dBi



รูปที่ 5.4 สายอากาศร่องรูปตัวเอสของเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบอาร์เอฟไอดี ย่านความถี่ยูเอชเอฟสากล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.4 สายอากาศรูปตัวเอสสำหรับใช้งานร่วมกับเครื่องอ่านข้อมูล ระบบอาร์เอฟ ไอเดียันความถี่เอชเอฟสากล มีการเรโซแนนซ์ที่ความถี่ 650 - 1040 MHz มีโพลาริซวงกลมหมุนซ้ายที่มุม 0° หมุนขวาที่มุม 180° มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสองทิศทาง และอัตราขยายที่ความถี่กลาง 900 MHz มีค่าเท่ากับ 3.20 dBic

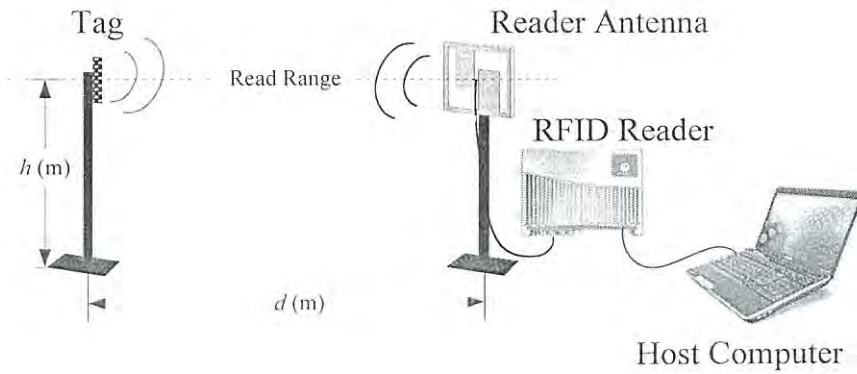


รูปที่ 5.5 เครื่องมือวัดระยะทาง

5.3 การทดสอบประยุกต์ใช้งาน

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึง การประยุกต์ใช้งานสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบอาร์เอฟ ไอเดียันความถี่เอชเอฟ โดยการทดสอบสายอากาศร่วมกับแท็ก ในการทดสอบการประยุกต์ใช้งาน แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือการนำสายอากาศอ้างอิงไดโพลมาตรฐานที่มีโพลาริซเชิงเส้นใช้งานร่วมกับเครื่องอ่านข้อมูล เพื่อวัดระยะการติดต่อสื่อสารกับแท็ก และการนำสายอากาศรูปตัวเอสที่มีโพลาริซวงกลมใช้งานร่วมกับเครื่องอ่านข้อมูล เพื่อวัดระยะการติดต่อสื่อสารกับแท็กเช่นเดียวกัน โดยรูปแบบการติดตั้งการทดสอบสายอากาศสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลใช้งานร่วมกับแท็กแสดงในรูปที่ 5.6 ในส่วนรายละเอียดการทดสอบจะแสดงในหัวข้อถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



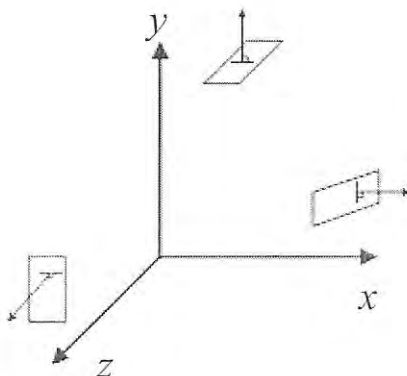
รูปที่ 5.6 การติดตั้งการทดสอบสายอากาศร่อบรูปตัวเอสสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลใช้งานร่วมกับแท็ก

จากรูปที่ 5.6 แสดงการติดตั้งการประยุกต์ใช้งานสายอากาศสำหรับเครื่องอ่านข้อมูล ระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่เอชเอฟใช้งานร่วมกับแท็ก ซึ่งกำหนดให้ระยะห่างระหว่าง สายอากาศต้นแบบกับแท็กแทนด้วยพารามิเตอร์ d มีค่าระหว่าง 1-5 m และกำหนดให้ความสูงในการติดตั้งสายอากาศ และการติดตั้งแท็กมีความสูงเท่ากัน โดยแทนด้วยพารามิเตอร์ h มีค่าเท่ากับ 1.3 m ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการติดตั้งการทดสอบสายอากาศร่อบรูปตัวเอสสำหรับ เครื่องอ่านข้อมูลใช้งานร่วมกับแท็กแสดงไว้ในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการติดตั้งการทดสอบการประยุกต์ใช้งานสายอากาศร่วมกับแท็ก

พารามิเตอร์	ขนาด
h	1.3 m
d	ระยะการอ่าน
Power	1000 mW
f (ความถี่ใช้งาน)	920-925 MHz

โดยการทดสอบการประยุกต์ใช้งานสายอากาศสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลของระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่เอชเอฟ จะทำการทดสอบสายอากาศอ้างอิงแบบไดโพลมาตรฐานที่มีโพลาริซเซชันร่วมกับแท็กที่มีโพลาริซเซชัน และทำการทดสอบสายอากาศร่อบรูปตัวเอสที่มีโพลาริซเซชันแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสองทิศทางร่วมกับแท็กที่มีโพลาริซเซชัน เพื่อหาระยะทางสูงสุดในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก ซึ่งวิธีการทดสอบจะทำการเลื่อนแท็กออกไปเรื่อย ๆ จนถึงระยะสุดท้ายที่เครื่องอ่านข้อมูลสามารถอ่านข้อมูลจากแท็กได้ และจะทำการวัดระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างแท็กด้วยเครื่องมือ วัดระยะทาง โดยการวางตัวของสายอากาศและแท็กจะอ้างอิงตามแนวแกนต่าง ๆ 3 แนวแกน คือ แนวแกน x แนวแกน y และ แนวแกน z ตามลำดับ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5.7

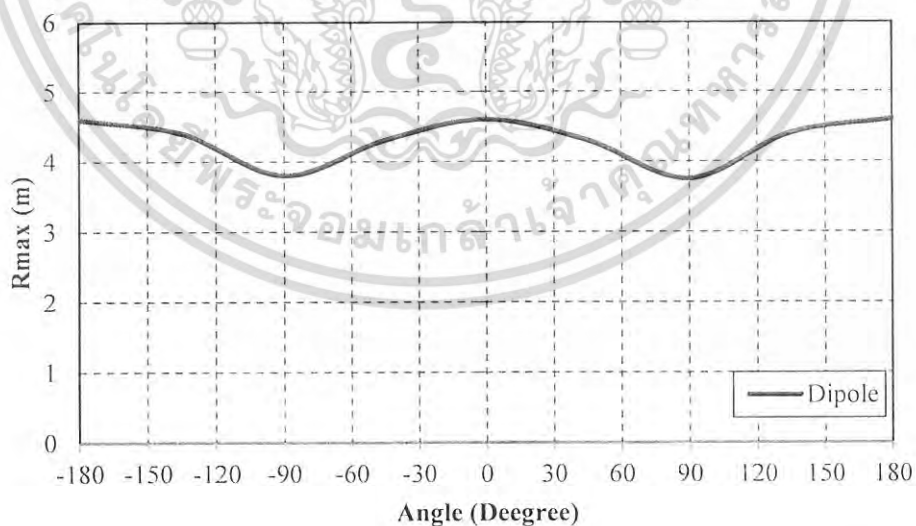


รูปที่ 5.7 การวางตัวของแท่งแต่ละแนวแกน x แนวแกน y และแนวแกน z

จากรูปที่ 5.7 แสดงการวางตัวของแท่งโดยใช้แนวแกนต่าง ๆ 3 แนวแกน คือแนวแกน x แนวแกน y และแนวแกน z ตามลำดับ ซึ่งในการทดสอบสายอากาศจะวางตัวในแนวแกน x กล่าวคือ หันส่วนด้านหน้าของสายอากาศเข้าหาแท่งนั่นเอง และสายอากาศจะวางตัวเช่นนี้ตลอดการทดสอบ โดยผลการทดสอบการประยุกต์ใช้งานสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลร่วมกับแท่งรายละเอียดดังนี้

5.3.1 ผลการทดสอบการประยุกต์ใช้งานสายอากาศอ้างอิงไดโพลมาตรฐานร่วมกับแท่ง

ในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบการประยุกต์ใช้งานสายอากาศอ้างอิงไดโพลมาตรฐานที่มีโพลาริซเซชันร่วมกับแท่งที่มีโพลาริซเซชันเช่นเดียวกัน โดยในการทดสอบจะติดตั้งสายอากาศไดโพลมาตรฐานในแนวแกน x โดยการทดสอบจะวางแท่งในแนวแกน x เช่นเดียวกัน และทำการหมุนแท่งเป็นมุมครึ่งละ 30° เพื่อหาระยะทางในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท่งในแต่ละมุม เมื่อแท่งวางตัวในแนวแกน x โดยผลการทดสอบการประยุกต์ใช้งานแสดงดังรูปที่ 5.8



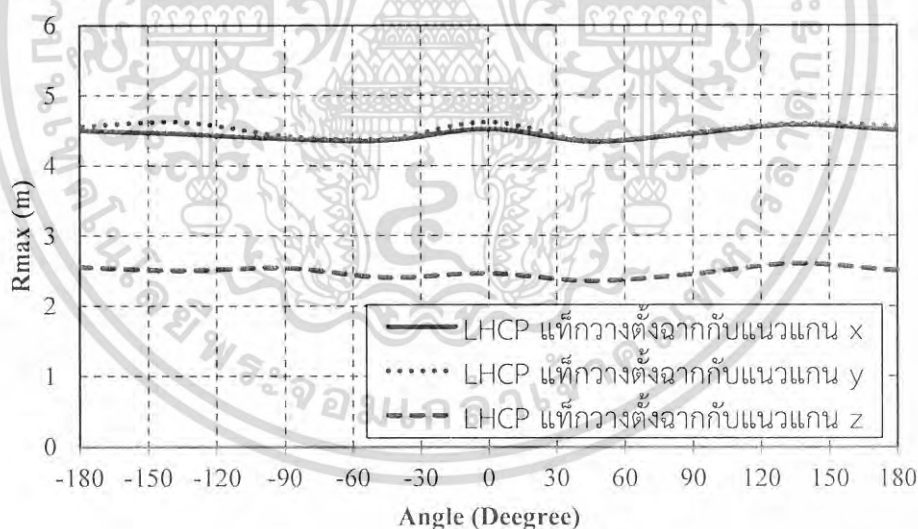
รูปที่ 5.8 ระยะในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท่งที่มุมต่าง ๆ โดยใช้สายอากาศไดโพลมาตรฐานที่มีโพลาริซเซชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.8 พบว่าระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลระบบอาร์เอฟไอดีกับแท็กมีการเปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือเมื่อแท็กมีการวางตัวในมุมที่ต่างกัน โดยที่มุม 0° ระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก สามารถติดต่อกันได้ระยะทางที่ไกลที่สุด คือ 4.75 m ซึ่งเป็นมุมที่แท็กและสายอากาศมีการโพลาไรซ์เชิงเส้นในแนวนอนที่เหมือนกัน ทำให้เกิดการแมตชิ่งกันของการโพลาไรซ์ระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับสายอากาศแท็ก ทำให้มีระยะในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กมีระยะไกลที่สุด โดยเมื่อแท็กวางตัวทำมุม 180° 150° 120° 90° 60° และ 30° เครื่องอ่านข้อมูลสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้มีระยะเท่ากับ 4.65 m 4.5 m 4.25 m 3.8 m 4.2 m และ 4.5 m ตามลำดับ และเมื่อแท็กวางตัวทำมุม -180° -150° -120° -90° -60° และ -30° เครื่องอ่านข้อมูลสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้มีระยะเท่ากับ 4.6 m 4.5 m 4.2 m 3.75 m 4.25 m และ 4.5 m ตามลำดับ

5.3.2 ผลการทดสอบการประยุกต์ใช้งานสายอากาศร่องรูปตัวเอสร่วมกับแท็ก

ในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบการประยุกต์ใช้งานสายอากาศสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลของระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่เอชเอฟ ในการทดสอบจะนำสายอากาศร่องรูปตัวเอส ที่มีโพลาไรซ์วงกลมวางในแนวแกน x ตลอดการทดสอบ โดยทำการทดสอบร่วมกับแท็กที่มีโพลาไรซ์เชิงเส้น ในการทดสอบจะทำการวางแท็กในแนวแกนต่าง ๆ ทั้งหมด 3 แกน คือ แนวแกน x แนวแกน y และแนวแกน z ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 5.7 จากนั้นจะทำการหมุนแท็กเป็นมุมครึ่งละ 30° เพื่อหา ระยะทางที่ไกลที่สุดในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กในแต่ละมุม โดยผลจากการทดสอบการประยุกต์ใช้งานแสดงดังรูปที่ 5.9

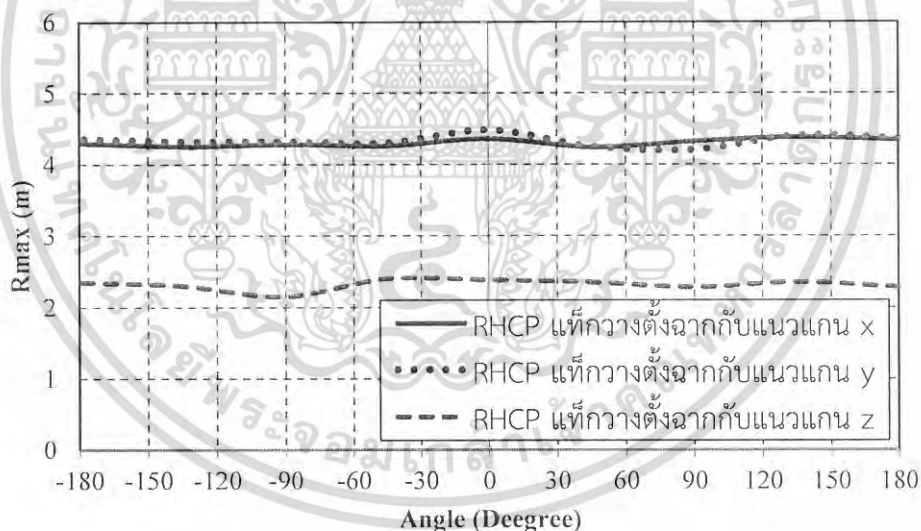


รูปที่ 5.9 ระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กที่มุมต่าง ๆ โดยใช้สายอากาศร่องรูปตัวเอสในทิศทางด้านหน้าสายอากาศ มุม (0°) ทดสอบร่วมกับแท็ก

จากรูปที่ 5.9 พบว่าเมื่อแท็กวางตัวในแนวแกน x ที่มุม 0° เครื่องอ่านข้อมูลระบบอาร์เอฟไอดีสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้ระยะทางที่ไกลที่สุด คือที่ระยะ 4.52 m โดยเมื่อแท็กวางตัวทำมุม 180° 150° 120° 90° 60° และ 30° เครื่องอ่านข้อมูลสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้มีระยะเท่ากับ 4.5 m 4.48 m 4.45 m 4.40 m 4.40 m และ 4.42 m ตามลำดับ และเมื่อแท็กวางตัวทำเอกซอร์นี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มุม $-180^\circ - 150^\circ - 120^\circ - 90^\circ - 60^\circ$ และ -30° เครื่องอ่านข้อมูลสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้มีระยะเท่ากับ 4.49 m 4.50 m 4.51 m 4.47 m 4.35 m และ 4.35 m ตามลำดับ

เมื่อวางแท็กในแนวแกน y ดังแสดงในรูปที่ 5.7 ซึ่งผลการทดสอบได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.9 พบว่าการติดต่อสื่อสารข้อมูลเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก (Alien tag) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อแท็กวางตัวในมุมต่าง ๆ โดยจะเห็นว่าที่มุม 0° เครื่องอ่านข้อมูลสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้ระยะทางที่ไกลที่สุด คือที่ระยะ 4.58 m โดยเมื่อแท็กวางตัวทำมุม $180^\circ 150^\circ 120^\circ 90^\circ 60^\circ$ และ 30° เครื่องอ่านข้อมูลสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้มีระยะเท่ากับ 4.49 m 4.50 m 4.51 m 4.47 m 4.35 m และ 4.35 m ตามลำดับ และเมื่อแท็กวางตัวทำมุม $-180^\circ -150^\circ -120^\circ -90^\circ -60^\circ$ และ -30° เครื่องอ่านข้อมูลสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้มีระยะ 4.51 m 4.56 m 4.52 m 4.45 m 4.40 m และ 4.45 m ตามลำดับเมื่อวางแท็กในแนวแกน z ดังแสดงในรูปที่ 5.7 ซึ่งผลการทดสอบได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.9 พบว่าการติดต่อสื่อสารข้อมูลเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก (Alien tag) มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อแท็กวางตัวในมุมต่าง ๆ โดยจะเห็นว่าที่มุม 0° เครื่องอ่านข้อมูลสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้ระยะทางที่ไกลที่สุด คือที่ระยะ 2.5 m โดยเมื่อแท็กวางตัวทำมุม $180^\circ 150^\circ 120^\circ 90^\circ 60^\circ$ และ 30° เครื่องอ่านข้อมูลสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้มีระยะเท่ากับ 2.5 m 2.48 m 2.45 m 2.40 m 2.40 m 2.42 m และเมื่อแท็กวางตัวทำมุม $-180^\circ -150^\circ -120^\circ -90^\circ -60^\circ$ และ -30° สามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้มีระยะเท่ากับ 2.49 m 2.51 m 2.52 m 2.54 m 2.45 m และ 2.35 m ตามลำดับ



รูปที่ 5.10 ระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กที่มุมต่าง ๆ โดยใช้สายอากาศ ร่องรูปตัวเอสในทิศทางด้านหลังสายอากาศ มุม (180°) ทดสอบร่วมกับแท็ก จากรูปที่ 5.10 พบว่าเมื่อแท็กวางตัวในแนวแกน x ที่มุม 0° เครื่องอ่านข้อมูลระบบอาร์เอฟไอดีสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้ระยะทางที่ไกลที่สุด คือที่ระยะ 4.36 m โดยเมื่อแท็กวางตัวทำมุม $180^\circ 150^\circ 120^\circ 90^\circ 60^\circ$ และ 30° เครื่องอ่านข้อมูลสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้มีระยะเท่ากับ 4.34 m 4.36 m 4.35 m 4.32 m 4.28 m และ 4.30 m ตามลำดับ และเมื่อแท็กวางตัวทำมุม $-180^\circ -150^\circ -120^\circ -90^\circ -60^\circ$ และ -30° เครื่องอ่านข้อมูลสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้มีระยะเท่ากับ 4.3 m 4.27 m 4.26 m 4.28 m 4.27 m และ 4.30 m ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อวางแท็กในแนวแกน y ดังแสดงในรูปที่ 5.7 ซึ่งผลการทดสอบได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.9 พบว่าการติดต่อสื่อสารข้อมูลเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก (Alien tag) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อแท็กวางตัวในมุมต่าง ๆ โดยจะเห็นว่าที่มุม 0° เครื่องอ่านข้อมูลสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้ระยะทางที่ไกลที่สุด คือที่ระยะ 4.48 m โดยเมื่อแท็กวางตัวทำมุม 180° 150° 120° 90° 60° และ 30° เครื่องอ่านข้อมูลสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้มีระยะเท่ากับ 4.36 m 4.38 m 4.30 m 4.20 m 4.22 m 4.35 m ตามลำดับ และเมื่อแท็กวางตัวทำมุม -180° -150° -120° -90° -60° และ -30° เครื่องอ่านข้อมูลสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้มีระยะเท่ากับ 4.36 m 4.34 m 4.32 m 4.32 m 4.31 m 4.40 m ตามลำดับ เมื่อวางแท็กในแนวแกน z ดังแสดงในรูปที่ 5.7 ซึ่งผลการทดสอบได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.9 พบว่าการติดต่อสื่อสารข้อมูลเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก (Alien tag) มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อแท็กวางตัวในมุมต่าง ๆ โดยจะเห็นว่าที่มุม 0° เครื่องอ่านข้อมูลสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้ระยะทางที่ไกลที่สุด คือที่ระยะ 2.38 m โดยเมื่อแท็กวางตัวทำมุม 180° 150° 120° 90° 60° และ 30° เครื่องอ่านข้อมูลสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้มีระยะเท่ากับ 2.28 m 2.33 m 2.31 m 2.28 m 2.30 m 2.36 m และเมื่อแท็กวางตัวทำมุม -180° -150° -120° -90° -60° และ -30° สามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้มีระยะเท่ากับ 2.35 m 2.32 m 2.25 m 2.15 m 2.28 m และ 2.40 m ตามลำดับ

5.3.2.1 การทดสอบการประยุกต์ใช้งานเมื่อเปลี่ยนระยะมุมกวาด (a_2) และระยะมุมยก (a_1) ของแท็กในกรณีที่แท็กวางตัวในแนวตั้งฉากกับแนวแกน x

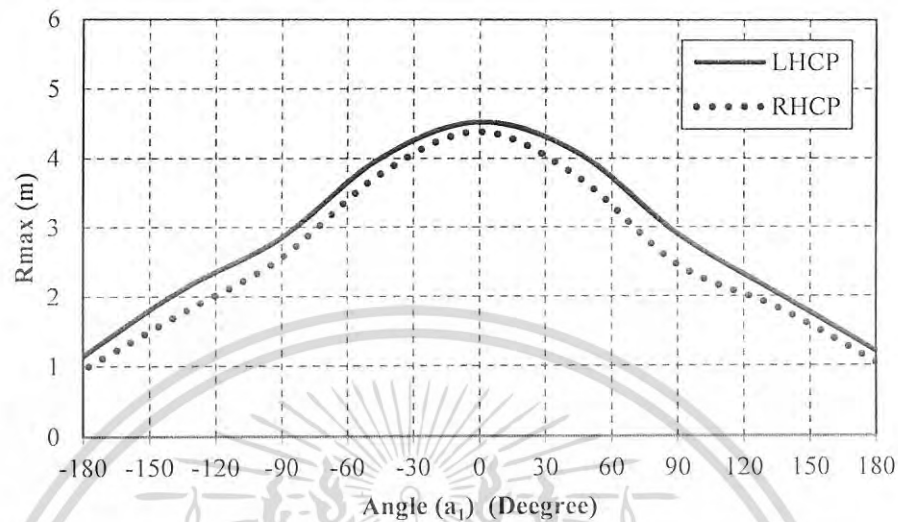
ในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบการประยุกต์ใช้งานสายอากาศสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลของระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟสากล ซึ่งทำการทดสอบสายอากาศร่องรูปตัวเอสที่มีโพลาริซวงกลมร่วมกับแท็กที่มีโพลาริซเชิงเส้น ซึ่งรูปการทดสอบแสดงในรูปที่ 5.10 ในการทดสอบจะทำการเปลี่ยนแปลงระยะมุมยก (a_1) และระยะมุมกวาด (a_2) ของสายอากาศแท็ก โดยกำหนดให้ความสูง (h) ของสายอากาศร่องรูปตัวเอสสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลระบบอาร์เอฟไอดีมีความสูงคงที่ คือมีความสูงเท่ากับ 1.4 m ซึ่งผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 5.11 และรูปที่ 5.12 ตามลำดับ



รูปที่ 5.11 การทดสอบผลการเปลี่ยนแปลงระยะมุมกวาด (a_2) และระยะมุมยก (a_1)

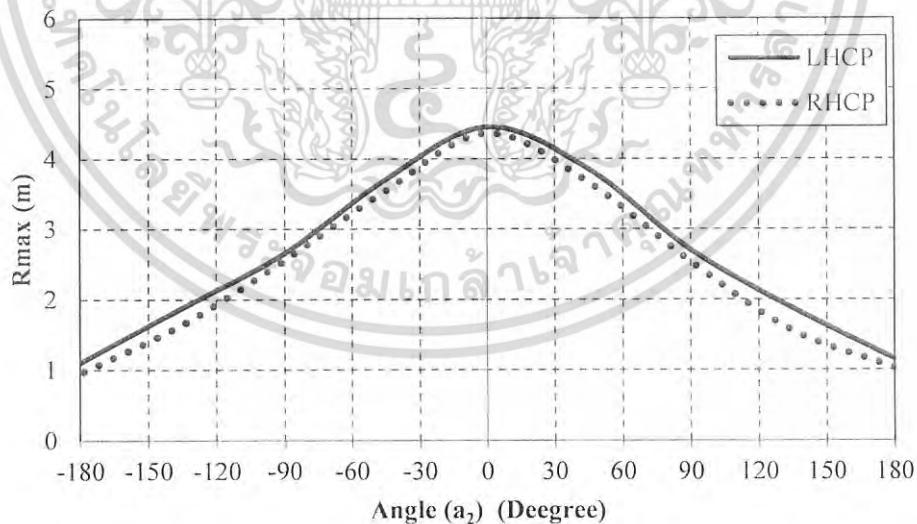
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.11 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทดสอบการประยุกต์ใช้งานสายอากาศ ร่องรูปตัวเอสกับเครื่องอ่านข้อมูลระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่เอชเอฟสากล ในการทดสอบจะทำการเปลี่ยนแปลงระยะมุมกวาด (a_1) และระยะมุมยก (a_2) ของสายอากาศแท่ง โดยมุมจะเปลี่ยนแปลงครั้งละ 30° ในแนวแกน x และแกน y ตามลำดับ



รูปที่ 5.12 ระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศร่องรูปตัวเอสกับแท่งในมุมกวาด (a_1)

จากรูปที่ 5.12 ระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท่งที่มุมกวาดต่าง ๆ พบว่าที่แท่งวางตัวทำมุมกวาดที่ 0° องศา (LHCP) มีระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศร่องรูปตัวเอสกับแท่งไกลที่สุด คือมีระยะเท่ากับ 4.52 m และมุมกวาดที่มุม 180° องศา (RHCP) มีระยะการติดต่อสื่อสารเท่ากับ 4.36 m.



รูปที่ 5.13 ระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศร่องรูปตัวเอสกับแท่งในมุมยก (a_2)

จากรูปที่ 5.13 ระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท่งที่มุมยกต่าง ๆ พบว่าที่แท่งวางตัวทำมุมยกที่ 0° ในทิศทางด้านหน้าสายอากาศ (LHCP) มีระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศร่องรูปตัวเอสกับแท่งไกลที่สุด มีระยะเท่ากับ 4.5 m. ในขณะที่แท่งวางตัวทำมุมยกที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องศา ในทิศทาง 180° องศา ด้านหลังของสายอากาศ (RHCP) มีระยะเท่ากับ 4.38 m จะเห็นได้ว่าสายอากาศมีระยะการอ่านที่ใกล้เคียงกันแต่ในทิศทางด้าน RHCP จะมีอัตราขยายน้อยกว่าทำให้มีค่าระยะการอ่านที่ลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับด้านหน้าของสายอากาศที่มีโพลาไรซ์วงกลมหมุนซ้าย

5.4 บทสรุป

จากผลการทดสอบการประยุกต์ใช้งานสายร่องรูปตัวเอสกับเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟ เพื่อหาระยะในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กพบว่าสายอากาศร่องรูปตัวเอสมีความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กได้ โดยบริเวณด้านหน้าของสายอากาศจะสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้ในระยะไกลที่สุด ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลที่ได้จากการจำลองและผลที่ได้จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่า สายอากาศที่พัฒนาขึ้นมาสามารถปรับปรุงความสามารถในการติดต่อสื่อสารเมื่อแท็กมีโพลาไรซ์เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นสายอากาศที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับแท็กได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอสายอากาศร่องรูปตัวเอสที่มีโครงสร้างเริ่มต้นมาจากสายอากาศแพทช์ไดโพลร่วมกับป่วงสี่เหลี่ยมในการออกแบบ สำหรับประยุกต์ใช้งานร่วมกับเครื่องอ่านข้อมูลของระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่เอชเอฟสภาค ที่ความถี่ 840 MHz ถึง 960 MHz โดยจุดประสงค์เพื่อสร้างสายอากาศที่มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งทำให้มีการโพลาริเซชันวงกลม มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นสองทิศทาง และมีอัตราการขยายที่สามารถใช้งานร่วมกับอาร์เอฟไอดีแบบมือถือได้ พร้อมทั้งสามารถนำสายอากาศมาประยุกต์ใช้กับเครื่องอ่านข้อมูลของระบบอาร์เอฟไอดีร่วมกับแท็กได้ทุกลักษณะการจัดวางตัวของแท็ก

โดยในหัวข้อ 6.1 จะกล่าวถึงผลสรุปโดยรวมของวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบไปด้วยผลการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศร่องรูปตัวเอส สำหรับเครื่องอ่านข้อมูลของระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่เอชเอฟสภาค ผลที่ได้จากการวิเคราะห์และการจำลองสายอากาศ ผลจากการทดสอบคุณลักษณะทางสายอากาศ ผลที่ได้จากการประยุกต์ใช้งานสายอากาศกับเครื่องอ่านข้อมูลของระบบอาร์เอฟไอดีกับแท็ก และในหัวข้อ 6.2 จะกล่าวถึงข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาสายอากาศต่อไป

6.2 สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้อธิบายถึงความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย วัตถุประสงค์ในการออกแบบสายอากาศ ทฤษฎีและหลักการของระบบอาร์เอฟไอดี ทฤษฎีพื้นฐานการออกแบบสายอากาศ โดยศึกษาการออกแบบและการจำลองสายอากาศ เพื่อวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและนำมาใช้ในการสร้างสายอากาศต้นแบบ รวมทั้งผลการทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศที่นำเสนอ

จากผลการศึกษาการออกแบบและการจำลองสายอากาศต้นแบบ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่เอชเอฟ เพื่อให้ได้คุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศที่ต้องการ ซึ่งประกอบไปด้วย $|S_{11}|$ ต่ำกว่า -10 dB ในช่วงความถี่ใช้งานที่ 840 MHz ถึง 960 MHz มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสองทิศทาง มีอัตราการขยายที่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน และมีการโพลาริเซชันวงกลม โดยกระบวนการออกแบบและหาค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศจะใช้โปรแกรม CST® (Microwave studio) ในการจำลองสายอากาศ และวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อนำมาสร้างสายอากาศต้นแบบ โดยผลการจำลองสายอากาศสามารถสรุปคุณลักษณะของสายอากาศได้ดังต่อไปนี้

พบว่าสายอากาศมีผลการจำลอง $|S_{11}|$ สามารถทำงานครอบคลุมย่านความถี่ที่ต้องการ โดยครอบคลุมความถี่ตั้งแต่ 740 MHz ถึง 1212 MHz มีช่วงกว้างความถี่เท่ากับ 472 MHz คิดเป็นเปอร์เซ็นต์แบนด์วิดธ์ 48.36% ซึ่ง $|S_{11}|$ มีค่าต่ำที่สุดที่ความถี่ 900 MHz เท่ากับ -42.14 dB ค่าอัตราส่วนแชนต่ำกว่า 3 dB ตลอดย่านความถี่ใช้งาน ครอบคลุมความถี่ตั้งแต่ 750 MHz ถึง 1150 MHz คิดเป็นเปอร์เซ็นต์แบนด์วิดธ์ 42.10% โดยที่ความถี่กลาง 900 MHz มีค่าอัตราส่วนแชนเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.26 dB อัตราขยายในช่วงความถี่ใช้งาน มีค่าตั้งแต่ 3.02 ถึง 3.28 dBic และที่ความถี่กลาง 900 MHz อัตราขยายมีค่าเท่ากับ 3.20 dBic ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังบนระนาบ xz และระนาบ yz เท่ากับ 100° มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสองทิศทาง สายอากาศมีการโพลาริเซชันวงกลมหมุนซ้ายที่ด้านหน้าสายอากาศและวงกลมหมุนขวาที่ด้านหลังสายอากาศ

จากนั้นจึงนำผลที่ได้จากการออกแบบและการศึกษาผลกระทบที่เกิดจากพารามิเตอร์ของสายอากาศ ซึ่งได้จากผลการจำลองมาสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบที่สามารถประยุกต์ใช้งานร่วมกับเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟสากล โดยพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างสายอากาศต้นแบบ แสดงดังตารางที่ 6.

ตารางที่ 6.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศต้นแบบ

พารามิเตอร์	ขนาดของสายอากาศ	ขนาดทางไฟฟ้าของสายอากาศ
ความยาวบ่วงสี่เหลี่ยม (L)	120.0 mm	0.360 λ
ความกว้างแพทช์ป้อนสัญญาณไดโพล (L_1)	30.0 mm	0.090 λ
ความกว้างร่องจากขอบแพทช์ป้อนสัญญาณไดโพลด้านขวาถึงขอบบ่วงสี่เหลี่ยม (L_2)	54.8 mm	0.164 λ
ความกว้างร่องจากขอบแพทช์ป้อนสัญญาณไดโพลด้านซ้ายถึงขอบบ่วงสี่เหลี่ยม (L_3)	17.2 mm	0.051 λ
ความกว้างขอบบ่วงสี่เหลี่ยม (L_4)	9.0 mm	0.027 λ
ระยะห่างระหว่างแกนแพทช์ป้อนสัญญาณไดโพล (L_5)	7.7 mm	0.023 λ
ความกว้างของระนาบกราวด์ (W)	120.0 mm	0.360 λ
ความกว้างบ่วงสี่เหลี่ยม (W_1)	72.0 mm	0.216 λ
ความยาวสตัดปลายเปิด (W_2)	21.0 mm	0.063 λ
ความสูงของวัสดุฐานรอง FR-4 (h)	3.18 mm	-

จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่แสดงในตารางที่ 6.1 มาสร้างสายอากาศ แล้วจึงนำไปทดสอบคุณลักษณะต่างๆ ของสายอากาศ เพื่อนำผลการทดสอบเปรียบเทียบกับผลการจำลองสายอากาศที่สร้างสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับเครื่องอ่านข้อมูล สำหรับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟได้ โดย $|S_{11}|$ จากการทดสอบครอบคลุมความถี่ตั้งแต่ 650 MHz ถึง 1040 MHz มีช่วงกว้างความถี่เท่ากับ 390 MHz คิดเป็นเปอร์เซ็นต์แบนด์วิดธ์เท่ากับ 46.15% ซึ่ง $|S_{11}|$ มีค่าต่ำสุดที่ความถี่ 858 MHz เท่ากับ -37.50 dB และที่ความถี่กลาง 900 MHz สายอากาศต้นแบบมีค่า $|S_{11}|$ เท่ากับ -27.20 dB อัตราส่วนแกนเทียบกับความถี่ พบว่าอัตราส่วนแกนที่ต่ำกว่า 3 dB ครอบคลุมย่านความถี่ตั้งแต่ 650 MHz ถึง 1050MHz คิดเป็นเปอร์เซ็นต์แบนด์วิดธ์เท่ากับ 47% อัตราขยายในช่วงความถี่ที่ต้องการใช้งาน มีค่าอัตราขยายตั้งแต่ 3.02 ถึง 3.28 dBic และความถี่กลาง 900 MHz มีค่าอัตราการขยายเท่ากับ 3.20 dBic ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังบนระนาบ xz และระนาบ yz เท่ากับ 100° มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นทิศทางเดียว และสายอากาศมีโพลาริเซชันวงกลม จากการทดสอบสายอากาศพบว่า ผลการทดสอบกับผลการจำลองมีความสอดคล้องกัน แต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยังคงมีความคลาดเคลื่อน สาเหตุอาจเนื่องมาจากขนาดที่นำมาสร้างสายอากาศ มีความคลาดเคลื่อนไปจากการจำลอง หรืออาจเนื่องมาจากการสูญเสียระหว่างสายนำสัญญาณ แต่ผลการทดสอบยังยืนยันได้ว่าสายอากาศสามารถทำงานครอบคลุมย่านความถี่ที่ต้องการได้ และสายอากาศที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องอ่านข้อมูลของ ระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟสากลได้

หลังจากการนำสายอากาศที่ได้จากการทดสอบคุณลักษณะต่างๆ แล้ว จากนั้นจึงนำสายอากาศไปประยุกต์ใช้ร่วมกับเครื่องอ่านข้อมูลของระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟ โดยทำงานร่วมกับแท็ก ซึ่งผลที่ได้จากการนำสายอากาศมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับแท็ก พบว่าสายอากาศสามารถใช้งานร่วมกับแท็กได้ คือเครื่องอ่านข้อมูลสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้ ดังนั้นสายอากาศที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับแท็กได้จริง

6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

จากผลการวิเคราะห์และทดสอบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟสากลในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ จะเห็นว่า การเซาะร่องเป็นรูปตัวเอส ทำให้สายอากาศมีโพลาไรซ์วงกลม กล่าวคือการเซาะร่องรูปตัวเอส สามารถทำให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดต่างเฟสกัน 90° องศา ทำให้สายอากาศเกิดโพลาไรซ์วงกลม เพื่อให้สายอากาศมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสองทิศทาง โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการออกแบบสายอากาศ และทำการทดสอบสายอากาศเพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ที่สนใจ สามารถนำไปพัฒนาและปรับปรุงโครงสร้างของสายอากาศให้มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสองทิศทาง โดยใช้แผ่นสะท้อนวางกั้นด้านหลังซึ่งยังเพิ่มอัตราขยายสายอากาศอีกด้วย และยังสามารถออกแบบโดยใช้โครงสร้างนี้เป็นต้นแบบเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ ต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- [1] Klaus Finkenzeller, RFID Handbook, John Wiley & Sons, 2003.
- [2] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, 2nd ed. New Jersey: Wiley, 2005.
- [3] S. Gao, Q. Luo, and F. Zhu, *Circularly Polarized Antenna*, West Sussex: Wiley, 2014.
- [4] Nasimuddin, Z. N. Chen, and X. Qing, "A Compact Circularly Polarized Slotted-Slit-Microstrip Patch Antenna," *Proceedings of the Asia-Pacific Microwave Conference*, pp. 582-585, Dec, 2011.
- [5] C. Y. D. Sim and C. J. Chi, "A Slot Loaded Circularly Polarized Patch Antenna for UHF RFID Reader," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol.60, No.10, pp. 4516-4521, Oct., 2012.
- [6] T. N. Chang and J.M. Lin, "Circularly Polarized Ring-Patch Antenna," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol.11, pp. 26-29, Dec, 2012.
- [7] X. Chen et al., "Circularly Polarized Stacked Annular-Ring Microstrip Antenna with Integrated Feeding Network for UHF RFID Readers," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol.9, pp. 542-545, Jun, 2010.
- [8] Y. F. Cao, S. W. Cheung, and T. I. Yuk, "A Multiband Slot Antenna for GPS/WiMAX/WLAN Systems," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol.63, No.3, pp. 952-958, Mar, 2015.
- [9] M. H. Hoang et al., "Cavity-Backed Circular-Polarized Compact Slot Antenna for Handheld UHF RFID Reader," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol.14, pp. 1439-1442, Mar, 2015.
- [10] Y. Yao, J. Yu¹, and X. Chen, "Broadband Planar Antenna with Circular Polarization for RFID Readers," *IEEE International Wireless Symposium*, Apr, 2013, © 2013 IEEE, doi: 978-1-4673-2141-9/13.
- [11] Y. Li et al., "A Circular Polarization Hybrid-Integrated Rectangular Ring Antenna for RFID Reader," in *IEEE International Symposium on Antennas and Propagation*, Jul, 2012, © 2012 IEEE, doi: 978-1-4673-0462-7/12
- [12] J.-P. Chen, and P. Hsu, "A Spirally Complementary Split-Ring Resonators Antenna for Circular Polarization and RFID Reader Application," in *IEEE International Symposium on Antennas and Propagation*, Jul, 2012, © 2012 IEEE, doi: 10.1109/APS.2012.6349199.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [13] Federal Communications Commission (FCC) : Revision of Part 15 of the communication's rules regarding ultra-wide band transmission systems. First report and order, ETDocket 98-153, FCC02-48; Adopted : 14 February 2002; Released: 22 April 2002.
- [14] Taconic RF & Microwave Laminates, [Online] Available <http://www.taconic-add.com/enproducts-material-view.php>
- [15] CST-Microwave Studio, User's Manual, 2006.
- [16] ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ, "รู้จักกับเทคโนโลยี อาร์เอฟไอดี" พ.ศ. 2548
- [17] เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีและการประยุกต์ใช้งาน Available: วารสารอิเล็กทรอนิกส์ ECTI [Online]. <http://www.ecti-thailand.org/emagazine/views/60>
- [18] Current Trends and Challenges in RFID "RFID Technology" [Online]. Available: <http://www.intechopen.com/books/current-trends-and-challenges-in-rfid/rfid-technology-perspectives-and-technical-considerations-of-microstrip-antennas-for-multi-band-rfid>
- [19] A tag reader with an antenna and transceiver (WSN), [Online]. <http://www.rfid-f2f.eu/hardware.asp>
- [20] H. G. Booker, "Slot Aerials," IET Journals & Magazines, Vol.93, pp. 42-43, Mar, 1946, doi: 10.1049/ji-3a-1.1946.0007
- [21] Japan to support development, launch of 5G mobile networks. [Online]. Available: <http://en.twtn.com/Bignews/68740.html>
- [22] Y. F. Cao, S. W. Cheung, T. I. Yuk "A Multiband Slot Antenna for GPS/WiMAX/WLAN Systems," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, pp. 952-958, 2015
- [23] Motorola Solutions "Motorola RFID Antenna Family," [Online]. Available : <http://www.barcodesinc.com/pdf/Motorola/an-series.pdf>, accessed 12 January 2016.
- [24] Alien Technology "Alien ALR-8696-C," [Online]. Available : <http://www.alientechnology.com/wp-content/uploads/Alien-Technology-ALR-8696-C-Antenna.pdf>, accessed 12 January 2016.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	พิสิษฐ์ จันทร์แปงเงิน
วัน เดือน ปีเกิด	3 ตุลาคม 2534
ที่อยู่	เลขที่ 40 หมู่ที่ 1 บ้านแม่หีด ต.วังแก้ว อ.วังเหนือ จ.ลำปาง 52140
ประวัติการศึกษา	2558 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ทุนการศึกษา	โครงการพัฒนาศักยภาพบุคลากร STEM เพื่อการวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรม โดยสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) สายอากาศโพลารไรซ์วงกลมสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดี 2.) สายอากาศอาร์เรย์สำหรับงานเรดาร์ภาคพื้นดิน
ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย	
พ.ศ.2557	วิศวกรฝ่ายซ่อมบำรุง บริษัท แอดวานซ์ อินโฟร์เซอร์วิส จำกัด มหาชน

วารสารที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] Pisit Janpangngern, Chuwong Phongcharoenpanich, and Sitthichai Dentri, "Circularly Polarized Bidirectional S-Slot Antenna for Universal UHF-RFID Reader," *Ladkrabang Engineering Journal*, 2017.