

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่
ยูเอชเอฟแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น

UHF-RFID READER ANTENNA USING NOTCHED RECTANGULAR PLATE
WITH APERTURE AND LINE



T117900



สิทธิชัย เดนตรี

SITTHICHAI DENTRI

พ.ศ.
๒๕๕๔
๒๕๕๔

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 117900

วัน,เดือน,ปี 22 ต.ค. 2554

๒. 1234896x
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2554

KMITL-2011-EN-M-010-070

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**UHF-RFID READER ANTENNA USING NOTCHED RECTANGULAR PLATE
WITH APERTURE AND LINE**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULLFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2011

KMITL-2011-EN-M-010-070

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2011

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ยูเอชเอฟแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น
นักศึกษา	ว่าที่ร้อยตรี สิทธิชัย เคนตรี
รหัสประจำตัว	52611211
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2554
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ. ดร. ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ยูเอชเอฟแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้นที่มีการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางเดียวและมีโพลาไรซ์แบบวงกลมที่ความถี่ใช้งานที่ 920 MHz ถึง 925 MHz ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานทางความถี่ของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุภายในประเทศไทย สายอากาศที่นำเสนอนี้มีโครงสร้างเป็นสองชั้น โดยมีแผ่นระนาบกราวนด์เป็นแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้า และแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น การวิเคราะห์สายอากาศทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงขนาดของโครงสร้าง รวมทั้งทำการสร้างและทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศต้นแบบ ซึ่งพบว่าการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบทิศทางเดียว มีอัตราขยายเท่ากับ 7.25 dBic มีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กเท่ากับ 55° ทั้งสองระนาบ มีช่วงกว้างความถี่เท่ากับ 10.7% หรือครอบคลุมความถี่ 881 MHz ถึง 980 MHz ค่าอัตราส่วนแกนของสายอากาศที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ที่มีอัตราส่วนแกนต่ำกว่า 3 dB ครอบคลุมช่วงความถี่ 917 MHz ถึง 930 MHz และที่ความถี่เรโซแนนซ์ที่ 922.5 MHz มีค่าอัตราส่วนแกนที่บริเวณด้านหน้าของสายอากาศเท่ากับ 0.09 dB โดยมีค่าอัตราส่วนแกนต่ำที่สุดอยู่ที่ความถี่ 924 MHz ดังนั้นสายอากาศต้นแบบที่นำเสนอจึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้สำหรับเครื่องอ่านข้อมูลในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ยูเอชเอฟ โดยการทดสอบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ยูเอชเอฟแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้นร่วมกับเครื่องอ่านข้อมูลหาระยะการอ่านแท็กได้ไกลที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	UHF-RFID Reader Antenna Using Notched Rectangular Plate with Aperture and Line
Student	Acting Sub LT. Sitthichai Dentre
Student ID.	52611211
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2011
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Chuwong Phongcharoenpanich

ABSTRACT

This thesis presents a UHF-RFID reader antenna using notched rectangular plate with aperture and line for UHF-RFID Thailand standard. The design for circularly polarized antenna is carried out by using notched rectangular plate. The antenna structure consists of two plates, which they are rectangular plate with aperture and ground plane. The radiating plate has a square configuration with notched rectangular plate, aperture and line. The effects of antenna parameters are analyzed. The antenna prototype was fabricated and measured its characteristics. The pattern is unidirectional with the gain of 7.25 dBic. The half-power beam width in E-plane and H-plane are 55° of both plane, respectively. The bandwidth is 10.7% to cover 881 MHz to 980 MHz. The axial ratio of less than 3 dB is realized from 917 MHz to 930 MHz. The axial ratio at the resonant frequency of 922.5 MHz is 0.09 dB with the lowest ratio of frequency is 924 MHz. From the results of the investigation, it can be confirmed that the proposed antenna can be used for reader of RFID system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชูวงศ์ พงศ์เจริญ พานิชย์ เป็นผู้ให้โอกาสในด้านการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าว ทั้งในเวลาและนอกเวลาราชการ นอกจากนี้ยังให้หลักการการดำเนินชีวิตได้อย่างมีความสุข ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร. สมพล โกศลวิตร ที่ได้ช่วยในด้านวิชาความรู้ แนะนำ ตรวจสอบ ที่มีประโยชน์ในงานวิจัย ขอขอบคุณอาจารย์ทุก ๆ ท่าน ตลอดช่วงชีวิตการศึกษาของข้าพเจ้าที่ได้ ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ คุณสุกคิด แก้วดวงตา ผู้ซึ่งให้แนวคิดในการวิจัย คำแนะนำในการวิเคราะห์และ ทดสอบ ข้อคิดและสิ่งดี ๆ ต่อข้าพเจ้าเสมอมา

ขอขอบคุณ สมาชิกห้องปฏิบัติการสื่อสารไร้สายทุกท่านสำหรับคำแนะนำ กำลังใจ และ ข้อคิดดี ๆ ตลอดช่วงเวลาที่ผ่านไป ขอขอบคุณ คุณรัฐพงษ์ สุวลักษณ์ ผู้ให้คำแนะนำในการวิเคราะห์ และทดสอบ ขอขอบคุณ คุณประชา โยษคลัง คุณบัญชา เหลือแดง คุณเรวัฒน์ เสนาทอง สำหรับการร่วมศึกษา ให้กำลังใจ ตลอดช่วงเวลาที่ผ่านไป

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณพระเจ้า ที่ให้ข้าพเจ้ามีครอบครัว มีบิดา มีมารดา ที่เป็นกำลังใจ ให้ การสนับสนุนในทุกสิ่ง คุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าขอพรกับพระเจ้า ขอมอบแด่บุพการีทุกท่าน ซึ่งเป็นที่รักยิ่งของข้าพเจ้า ตลอดจนอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ ประสาทความรู้แก่ข้าพเจ้า

สิทธิชัย เต๋นตรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง	IX
สารบัญรูปภาพ	X

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 ความสำคัญของงานวิจัย	3
1.3 วัตถุประสงค์และขอบเขตวิทยานิพนธ์.....	4
1.4 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	6
2.1 บทนำ	6
2.2 ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ.....	6
2.2.1 แท็ก.....	8
2.2.1.1 แท็กของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบพาสซีฟ	8
2.2.1.2 แท็กของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบแอ็กทีฟ	8
2.2.1.3 แท็กของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบกึ่งแอ็กทีฟ.....	9
2.2.2 ประเภทของแท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ.....	9
.2.2.1 แท็กแบบจานและเหรียญ (Disk and Coin).....	9
.2.2.2 แท็กแบบกระเปาะแก้ว (Glass Housing).....	9
.2.2.3 แท็กแบบพลาสติก (Plastic Housing).....	10
.2.2.4 แท็กสำหรับใช้เฉพาะกิจ.....	10
.2.2.5 แท็กแบบพวงกุญแจ (Key and Key Fob)	10
.2.2.6 แท็กแบบนาฬิกา.....	10
.2.2.7 แท็กมาตรฐาน ID-1 และ สมาร์ทการ์ดแบบไร้การสัมผัส	10
.2.2.8 แท็กแบบ Smart Label	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.2.9 แท้กแบบขดลวดบนชิป (Coil-on-Chip).....	11
2.2.3 เครื่องอ่านข้อมูล (Reader).....	11
2.3 คุณลักษณะของอุปกรณ์ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ.....	12
2.3.1 ลักษณะการทำงาน (Operation Type).....	12
.3.1.1 การรับส่งข้อมูลแบบ Full Duplex	
.3.1.2 การรับส่งข้อมูลแบบ Half Duplex (HDX)	
2.3.2 ขนาดข้อมูล (Data Quantity).....	13
2.3.3 ความสามารถในการโปรแกรม (Programmable).....	13
2.3.4 แหล่งพลังงาน (Power Supply).....	14
2.3.5 ย่านความถี่ใช้งาน (Frequency Range).....	14
2.3.6 มาตรฐานของระบบระบุลักษณะทางคลื่นความถี่วิทยุ.....	15
2.4 ข้อพิจารณาการเลือกใช้อุปกรณ์ในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ.....	19
2.4.1 ความถี่ใช้งาน.....	19
2.4.2 ระยะทำการ.....	19
2.4.3 ข้อกำหนดด้านการรักษาความปลอดภัย.....	20
2.4.3.1 การรักษาความปลอดภัยของข้อมูล.....	20
2.4.3.2 การรักษาความปลอดภัยที่มีผลกระทบต่อมนุษย์.....	20
2.4.4 ขนาดของหน่วยความจำ.....	20
2.5 ทฤษฎีพื้นฐานการออกแบบสายอากาศ.....	21
2.5.1 งานวิจัยที่มีมาก่อน.....	21
2.5.2 ทฤษฎีพื้นฐานการออกแบบสายอากาศไมโครสตริป.....	23
2.5.2.1 ความถี่เรโซแนนซ์สำหรับโพรง (Cavity Resonance).....	23
2.5.2.2 ลักษณะการป้อนสัญญาณ.....	25
2.5.2.3 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น.....	26
2.5.2.4 ความกว้างลำคลื่น (Beamwidth).....	27
2.5.2.5 ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Intensity).....	27
2.5.2.6 ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity).....	28
2.5.2.7 ประสิทธิภาพของสายอากาศ (Antenna Efficiency).....	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.5.2.8 อัตราขยาย (Gain).....	28
2.5.2.9 ช่วงกว้างแถบความถี่.....	28
2.5.2.10 การโพลาไรซ์.....	29
2.5.3 เทคโนโลยีของระบบระบุลักษณะทางคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้หลักการสื่อสารแบบการเชื่อมต่อที่ระยะสนามระยะไกล.....	36
2.5.3.1 การออกแบบสายอากาศของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ.....	36
2.5.3.2 หลักการทำงาน.....	36
2.5.3.3 การติดต่อสื่อสารของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุในสนามระยะไกล.....	37
2.5.3.4 ค่ากำลังงานการแพร่กระจายคลื่นประสิทธิภาพไอโซทรอปิก (Effective Isotropic Radiated Power: EIRP) และค่ากำลังงานการแพร่กระจายคลื่นประสิทธิภาพ (Effective Radiated Power: ERP).....	40
2.5.3.5 ค่าสัมประสิทธิ์กำลังงานการส่งผ่าน.....	43
2.6 บทสรุป.....	43
บทที่ 3 ผลการวิเคราะห์สายอากาศ.....	44
3.1 บทนำ.....	44
3.2 สายอากาศแบบแผ่นระนาบบากร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น.....	44
3.2.1 โครงสร้างสายอากาศแบบแผ่นระนาบบากร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น.....	44
3.2.2 การออกแบบสายอากาศแบบแผ่นระนาบบากร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น.....	45
3.3 คุณลักษณะของสายอากาศ.....	46
3.3.1 สายอากาศแบบแผ่นระนาบบากและการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์.....	52
3.3.1.1 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ขนาด (u_x, u_y) ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบาก.....	54
3.3.1.2 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ความยาว (u_x) ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบาก.....	55
3.3.1.3 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ความกว้าง (u_y) ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบาก.....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.3.1.4 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ความสูง (h) ของสายอากาศแบบ แผ่นระนาบบาก.....	57
3.3.1.5 กระแสที่ไหลบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบ แผ่นระนาบบาก.....	58
3.3.2 สายอากาศแบบแผ่นระนาบบากร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและการเปลี่ยน ค่าพารามิเตอร์	61
3.3.2.1 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ขนาด (u_{2x}, u_{2y}) ของสายอากาศแบบ แผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยม	62
3.3.2.2 กระแสที่ไหลบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบ แผ่นระนาบบากร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยม	64
3.3.3 สายอากาศแบบแผ่นระนาบบากร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้นและ การเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์	66
3.3.3.1 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ความยาว (u_{3x}) ของสายอากาศแบบ แผ่นระนาบบากร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น	68
3.3.3.2 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ความกว้าง (u_{3y}) ของสายอากาศ แบบแผ่นระนาบบากร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น	69
3.3.3.3 กระแสที่ไหลบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบแผ่น ระนาบบากร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น	70
3.3.5 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ขนาด (w_x, w_y) ของสายอากาศแบบแผ่น ระนาบบากร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น	73
3.3.6 ค่าอัตราส่วนแกนและค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศในย่านความถี่ ยูเอชเอฟ.....	75
3.3.7 ค่าอัตราการขยายของสายอากาศในย่านความถี่ยูเอชเอฟ.....	76
3.3.8 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในย่านยูเอชเอฟ	77
3.6 บทสรุป	79
บทที่ 4 ผลการทดสอบสายอากาศ.....	80
4.1 บทนำ.....	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.2 สายอากาศดัดแบบ	80
4.3 การทดสอบสายอากาศ.....	81
4.4 ผลการทดสอบสายอากาศ.....	82
4.4.1 ผลการทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศแบบแผ่นระนาบปาก ร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น.....	83
4.4.2 การทดสอบค่าอัตราขยายของสายอากาศแบบแผ่นระนาบปากร่วมกับช่องเปิด สี่เหลี่ยมและเส้น	84
4.4.3 การทดสอบค่าอัตราส่วนแกนของสายอากาศแบบแผ่นระนาบปากร่วมกับช่องเปิด สี่เหลี่ยมและเส้น	85
4.4.4 การทดสอบค่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบแผ่นระนาบปาก ร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น.....	86
4.5 บทสรุป	88
บทที่ 5 การทดสอบประยุกต์ใช้งานและการประเมินสมรรถนะ	89
5.1 บทนำ	89
5.2 เครื่องมือ อุปกรณ์ ที่ใช้ในการทดสอบเบื้องต้นและทดลองในสภาพการใ้ใช้งานจริง	89
5.3 การทดสอบประยุกต์ใช้งาน	92
5.3.1 ผลการทดสอบสายอากาศโดยใช้งานร่วมกับแท่งในกรณีที่ใช้สายอากาศ อ้างอิงเป็นโพลาริซแบบเชิงเส้นและแท่งมีการโพลาริซแบบเชิงเส้น	94
5.3.2 ผลการทดสอบสายอากาศโดยใช้งานร่วมกับแท่งในกรณีที่ใช้สายอากาศ แบบแผ่นระนาบด้วยร่องและช่องเปิดที่ป้อนสัญญาณด้วยโพรมเป็น โพลาริซแบบวงกลมและแท่งมีการโพลาริซแบบเชิงเส้น.....	95
5.3.2.1 เมื่อทำการเปลี่ยนระยะมุมยก (a_2) และระยะมุมกวาด (a_1) ของแท่งในกรณี ที่แท่งวางตัวในแนวตั้งฉากกับแนวแกน x	98
5.5 บทสรุป	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	101
6.1 สรุปเนื้อหาโดยรวม	101
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา.....	103
เอกสารอ้างอิง.....	104
ประวัติผู้เขียน	106



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง.....	หน้า
2.1 ความถี่และข้อจำกัดของกำลังงานในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่	17
3.1 ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบ.....	47
3.2 ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบาก.....	53
3.3 ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบากร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยม	62
3.4 ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบากร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น	68
3.5 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศต้นแบบ	74
3.6 สรุปสมรรถนะของสายอากาศที่ได้จากการจำลองสายอากาศ	79
4.1 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศต้นแบบ	81
4.2 สรุปสมรรถนะของสายอากาศต้นแบบ.....	88
5.1 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการติดตั้งทดสอบสายอากาศสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลใช้งาน ร่วมกับแท็ก.....	93
6.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการสร้างสายอากาศต้นแบบ.....	102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูป	หน้า
1.1 ลักษณะการสื่อสารข้อมูลระหว่างสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก	2
1.2 โครงสร้างของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ	3
2.1 โครงสร้างทั่วไปของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ	7
2.2 แท็กของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบพาสซีฟ	8
2.3 แท็กของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบแอ็กทีฟ	9
2.4 แท็กของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบกึ่งแอ็กทีฟ	9
2.5 ส่วนประกอบของเครื่องอ่านข้อมูล	12
2.6 ความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex และ Half Duplex	13
2.7 ย่านความถี่ที่ใช้งานของระบบระบุลักษณะทางคลื่นความถี่วิทยุ	14
2.8 สายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมและมีช่องเปิด	21
2.9 สายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมและมีช่องเชื่อมต่อโค้งงอ	21
2.10 สายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมและมีช่องเชื่อมต่อโค้งงอ	22
2.11 สายอากาศไมโครสตริปวงแหวนสี่เหลี่ยมจัตุรัสกับสตริปใจั่ว สำหรับการโพลาไรซ์ แบบวงกลม	22
2.12 โครงสร้างไมโครสตริปสี่เหลี่ยมผืนผ้า	23
2.13 การหมุนของคลื่นระนาบแม่เหล็กไฟฟ้าและวงรีของการโพลาไรซ์ที่ $z = 0$	30
2.14 การโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นแนวตั้ง	31
2.15 การโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นแนวนอน	31
2.16 การโพลาไรซ์แบบเชิงวงกลมหมุนขวา (Right-Handed CP)	32
2.17 การโพลาไรซ์แบบเชิงวงกลมหมุนซ้าย (Left-Handed CP)	33
2.18 การโพลาไรซ์แบบเชิงวงรีหมุนขวา (Right-Handed EP)	34
2.19 การโพลาไรซ์แบบเชิงวงรีหมุนซ้าย (Left-Handed EP)	34
2.20 กำลังงานและกลไกของการติดต่อสื่อสารสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่น ความถี่วิทยุในสนามระยะไกล	37
2.21 กำลังงานการแพร่กระจายคลื่นประสิทธิผลไอโซทรอปิก	40
2.22 กำลังงานที่ส่งมายังแท็กและวงจรสมมูล	42
3.1 โครงสร้างของสายอากาศแบบแผ่นระนาบาร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น	45
3.2 โครงสร้างของสายอากาศแบบแผ่นระนาบ	47
3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้าง (v_y) ของสายอากาศกับความถี่เรโซแนนซ์	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป	หน้า
3.4 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศแบบแผ่นระนาบ.....	49
3.5 ค่าอัตราส่วนแกนของสายอากาศแบบแผ่นระนาบที่มุมต่าง ๆ	49
3.6 แสดงกระแสที่ไหลบนผิวแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบแผ่นระนาบที่เวลา (t) ต่าง ๆ	51
3.7 โครงสร้างของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบาก	53
3.8 ค่าอัตราส่วนแกนและค่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงขนาด (u_{1x}, u_{1y}) ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบาก	54
3.9 ค่าอัตราส่วนแกนและค่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความยาว (u_{1x}) ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบาก	56
3.10 ค่าอัตราส่วนแกนและค่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความกว้าง (u_{1y}) ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบาก.....	57
3.11 ค่าอัตราส่วนแกนและค่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความสูง (h) ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบาก.....	58
3.12 แสดงกระแสที่ไหลบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบาก ที่เวลา (t) ต่าง ๆ	60
3.13 โครงสร้างของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบากร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยม	61
3.14 ค่าอัตราส่วนแกนและค่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงขนาด (u_{2x}, u_{2y}) ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบากร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยม.....	63
3.15 แสดงกระแสที่ไหลบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบากร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมที่เวลา (t) ต่าง ๆ	65
3.16 โครงสร้างของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบากร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น.....	67
3.17 ค่าอัตราส่วนแกนและค่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความยาว (u_{3x}) ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบากร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น	69
3.18 ค่าอัตราส่วนแกนและค่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความกว้าง (u_{3y}) ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบากร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น	70
3.19 แสดงกระแสที่ไหลบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบากร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้นที่เวลา (t) ต่าง ๆ	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป	หน้า
3.20 ค่าอัตราส่วนแกนและค่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าขนาด (w_x, w_y) ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบนาร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น	73
3.21 ค่าอัตราส่วนแกนและค่าการสูญเสียย้อนกลับที่เป็นฟังก์ชันของความถี่	75
3.22 ค่าอัตราขยายของสายอากาศ.....	76
3.23 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ (ก) ระนาบ xz (ข) ระนาบ yz	78
4.1 ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศต้นแบบ.....	80
4.2 เปรียบเทียบผลของค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ได้จากการทดสอบและการจำลอง	83
4.3 เปรียบเทียบผลของค่าอัตราขยายที่ได้จากการทดสอบและการจำลอง	84
4.4 เปรียบเทียบผลของค่าอัตราส่วนแกนที่ได้จากการทดสอบและการจำลอง	85
4.5 เปรียบเทียบผลของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ได้จากการทดสอบและการจำลอง (ก) ระนาบ xz (ข) ระนาบ yz	87
5.1 เครื่องอ่านข้อมูลของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ยูเอชเอฟ.....	90
5.2 แท็กชนิดไดโพลแบบขด Alien รุ่น ALN-9640	90
5.3 แท็กชนิดไดโพลแบบขด UPM รุ่น Short dipole.....	90
5.4 สายอากาศอ้างอิงสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลที่มีโพลาริซ์เป็นแบบเชิงเส้น.....	91
5.5 สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ ยูเอชเอฟแบบแผ่นระนาบบนาร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น	91
5.6 การติดตั้งการทดสอบสายอากาศสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลใช้งานร่วมกับแท็ก	92
5.7 การกำหนดค่ากำลังส่งของเครื่องอ่านข้อมูล	92
5.8 การวางตัวของแท็กแต่ละแนวแกน (ก) แนวแกน x (ข) แนวแกน y (ค) แนวแกน z	93
5.9 ระยะในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กที่มุมต่าง ๆ ที่สายอากาศ ไดโพลที่มีการโพลาริซ์แบบเชิงเส้น	94
5.10 ระยะในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กที่มุมต่างๆ ที่ สายอากาศ แบบแผ่นระนาบบนาร่วมกับช่องสี่เหลี่ยมและเส้น ที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมกับ UPM tag	95
5.11 ระยะในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กที่มุมต่างๆ ที่ สายอากาศ แบบแผ่นระนาบบนาร่วมกับช่องสี่เหลี่ยมและเส้น ที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมกับ Alien tag	97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป	หน้า
5.12 การทดสอบผลการเปลี่ยนแปลงระยะมุมยก (a_2) และระยะมุมกวาด (a_1)	98
5.13 ระยะในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กที่ระยะมุมยก (a_2) ที่สายอากาศแบบแผ่นระนาบบากร่วมกับช่องสี่เหลี่ยมและเส้นที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลม และแท็กวางตัวตามแนวแกน x.....	99
5.14 ระยะในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กที่ระยะมุมกวาด (a_1) ที่สายอากาศแบบแผ่นระนาบบากร่วมกับช่องสี่เหลี่ยมและเส้นที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลม และแท็กวางตัวตามแนวแกน x.....	99



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

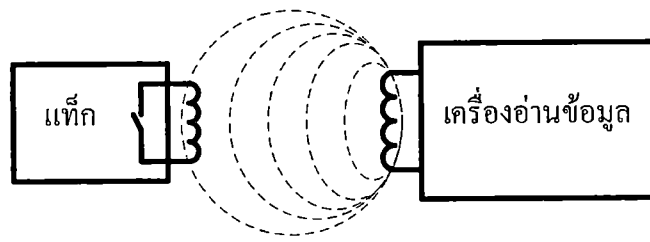
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของวิทยานิพนธ์

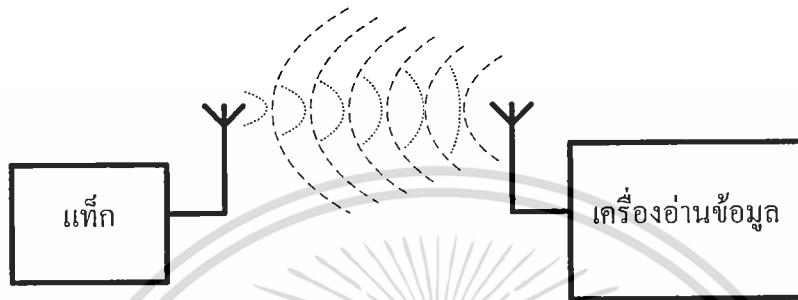
ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่กำลังมีบทบาทและความสำคัญเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การประยุกต์เทคโนโลยีของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ มีรูปแบบหลากหลายด้วยจุดประสงค์ที่แตกต่างกันแต่อยู่บนหลักการพื้นฐานเดียวกัน นั่นคือการใช้คลื่นความถี่วิทยุเพื่อการระบุเอกลักษณ์ของวัตถุที่ถูกติดป้ายแทนการระบุด้วยวิธีการอื่น ซึ่งวิธีการนี้จะช่วยอำนวยความสะดวกและเพิ่มประสิทธิภาพได้ดีกว่า

ปัจจุบันมีระบบต่างๆ มากมายที่ใช้เทคโนโลยีการติดต่อสื่อสารแบบไร้สาย ซึ่งเทคโนโลยีระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ เป็นระบบระบุลักษณะของวัตถุด้วยคลื่นวิทยุซึ่งได้ถูกพัฒนามาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 กำลังได้รับความสนใจและถูกพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว เพื่อวัตถุประสงค์หลักในการนำไปใช้งานแทนระบบรหัสแท่งหรือบาร์โค้ด โดยจุดเด่นของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุคือ สามารถอ่านค่าข้อมูลจากป้ายหรือเครื่องถูกข่ายได้หลาย ๆ ตัวในเวลาเดียวกัน แบบไร้การสัมผัส สามารถอ่านค่าได้แม้ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี (มองไม่เห็น) สามารถอ่านค่าได้แม้ไม่ต้องอยู่ในแนวเส้นสายตากับเครื่องอ่าน ทนต่อความเปียกชื้น แรงสั่นสะเทือน การกระทบกระแทก สามารถอ่านค่าข้อมูลได้ระยะไกล และด้วยความเร็วสูง โดยข้อมูลจะถูกเก็บในไมโครชิปที่อยู่ในแท็ก

ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ เป็นเทคโนโลยีที่ใช้คลื่นวิทยุในการระบุลักษณะของคน สัตว์ หรือวัตถุ โดยอัตโนมัติ ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless communications) การสื่อสารข้อมูลของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ คือการสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูล (Reader) กับแท็ก (Tag) โดยแบ่งออกเป็นสองหลักการคือ วิธีแรกเป็นวิธีเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Inductive coupling หรือ Proximity electromagnetic) วิธีที่สองเป็นวิธีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic propagation coupling) ซึ่งขึ้นอยู่กับความถี่ที่ใช้งานในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ [1]-[2] ดังแสดงในรูปที่ 1.



(ก) วิธีเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในย่านความถี่ต่ำ และย่านความถี่สูง



(ข) วิธีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในย่านความถี่ยูเอชเอฟและความถี่ไมโครเวฟ

รูปที่ 1.1 ลักษณะการสื่อสารข้อมูลระหว่างสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก [1]

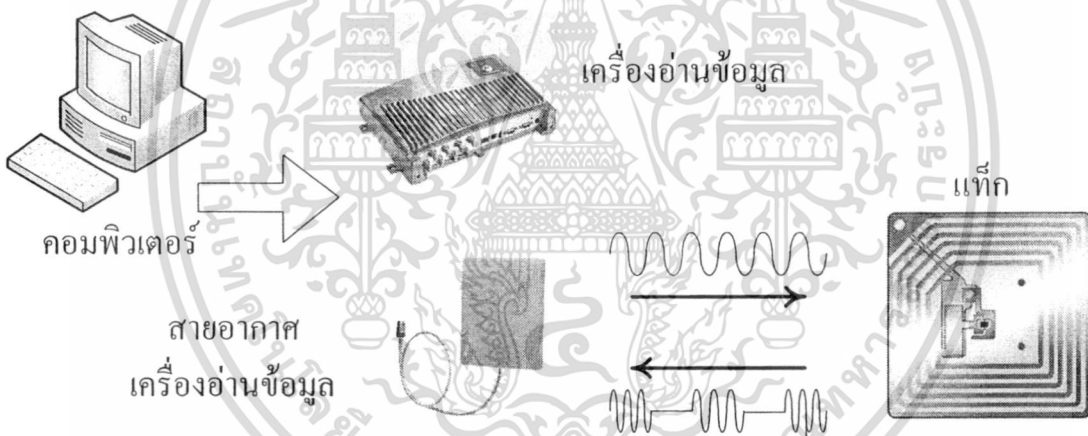
สำหรับสายอากาศของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุของเครื่องอ่านข้อมูลในย่านความถี่ยูเอชเอฟที่ความถี่ 920 MHz ถึง 925 MHz ใช้วิธีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งในทางด้านระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุซึ่งเป็นระบบการติดต่อสื่อสารแบบไร้สาย ดังนั้นสิ่งหนึ่งที่มีความจำป็นต่อระบบก็คือ สายอากาศ และเนื่องจากระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุมีความต้องการอัตราการส่งข้อมูลที่สูง ระยะทางในการส่งไกลและโครงสร้างของสายอากาศที่ไม่ซับซ้อน ขนาดเล็กและราคาถูก ดังนั้นย่านความถี่ยูเอชเอฟจึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานกับระบบดังกล่าว และเนื่องจากโครงสร้างของสายอากาศโดยทั่วไปทำให้การติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก ได้ในบางลักษณะการวางตัวของแท็กซึ่งถ้าสายอากาศของแท็กไม่ได้วางตัวอยู่ในลักษณะที่เหมาะสมทำให้ระยะการติดต่อสื่อสารต้องไกลมาก ๆ หรือไม่สามารติดต่อสื่อสารกันได้ ดังนั้นการออกแบบสายอากาศสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้ได้การติดต่อที่ระยะไกลมากขึ้นและติดต่อสื่อสารกับแท็กได้ในหลากหลายลักษณะการจัดวาง วิทยานิพนธ์นี้จึงเสนอสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ยูเอชเอฟแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น สายอากาศนี้ป้อนสัญญาณด้วยโพรบ มีการโพลารไรซ์เป็นแบบวงกลมซึ่งเหมาะสมสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ยูเอชเอฟ และสายอากาศที่นำเสนอมีคุณลักษณะคือ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียว โพลารไรซ์แบบวงกลม และมีอัตราขยายที่สูง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ความสำคัญของงานวิจัย

ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุมีองค์ประกอบหลักๆ อยู่ 3 ส่วนแสดงดังรูปที่ 1. คือ ส่วนแรกคือ เครื่องอ่านข้อมูลมีหน้าที่ในการเชื่อมต่อระหว่างแท็ก ส่วนที่สองคือแท็ก เป็นตัวระบุเอกลักษณ์ที่ใช้ติดกับวัตถุ และส่วนสุดท้ายคือส่วนควบคุมทำหน้าที่ในการอ่านและเขียนข้อมูลของแท็ก โดยหลักการทำงานของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ คือ เมื่อแท็กเข้ามาในช่วงการทำงานของเครื่องอ่านข้อมูล เครื่องอ่านข้อมูลจะทำการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุไปยังแท็ก หลังจากนั้นแท็กจะส่งสัญญาณกลับมายังเครื่องอ่านข้อมูล

ระบบการติดต่อสื่อสารแบบไร้สาย สิ่งหนึ่งที่มีความจำเป็นต่อระบบก็คือ สายอากาศ และเนื่องจากโครงสร้างของสายอากาศโดยทั่วไปทำให้การติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กได้ในบางลักษณะการวางตัวของแท็ก ซึ่งถ้าสายอากาศของแท็กไม่ได้วางตัวอยู่ในลักษณะที่เหมาะสมทำให้ระยะการติดต่อสื่อสารต้องไกลมาก ๆ หรือไม่สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ ดังนั้นการออกแบบสายอากาศสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้ได้การติดต่อที่ระยะไกลมากขึ้นและติดต่อกับแท็กได้ในหลากหลายลักษณะการจัดวาง



รูปที่ 1.2 โครงสร้างของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ

จากที่กล่าวมาข้างต้นระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่เอชเอฟมีการใช้งานอย่างกว้างขวาง ซึ่งมาตรฐานความถี่มีความแตกต่างกันออกไป ตามมาตรฐานและข้อกำหนดของแต่ละประเทศ [3] สำหรับประเทศไทยมีการจัดสรรช่วงความถี่ใช้งานในช่วง 920 MHz ถึง 925 MHz [4] วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอสายอากาศที่จะนำมาใช้งานร่วมกับเครื่องอ่านข้อมูลของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่เอชเอฟตามมาตรฐานประเทศไทย มีการโพลาริไรซ์เป็นแบบวงกลม รูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียว และมีอัตราขยายที่สูง โดยสายอากาศนั้นสามารถพัฒนา และใช้งานได้จริงในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 วัตถุประสงค์และขอบเขตวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่เอชเอฟแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น ซึ่งมีความต้องการสายอากาศที่มีคุณลักษณะดังนี้ เช่น มีอัตราขยายที่สูง มีการโพลาไรซ์เป็นแบบวงกลม แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งาน รวมทั้งขนาดของสายอากาศต้องเหมาะสมกับการใช้งานด้วย เป็นต้น การศึกษาและวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะทำการศึกษาและวิเคราะห์ถึงอิทธิพลของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น ขนาดแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นแบบแผ่นระนาบปาก ขนาดของช่องเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้าบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่น ขนาดของเส้นสี่เหลี่ยมผืนผ้าบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่น ความสูงระหว่างแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นกับแผ่นกราวด์ ขนาดของแผ่นกราวด์ เป็นต้น ซึ่งจะทำให้สายอากาศมีคุณลักษณะและคุณสมบัติตามที่ต้องการ โดยอาศัยโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ปัญหาทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบสามมิติ ในการจำลองผลและนำไปสร้างสายอากาศต้นแบบที่น่าเสนอ ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อพัฒนาสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่เอชเอฟแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้นให้มีระยะการสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลและแท็กได้ไกลที่สุดและมีการโพลาไรซ์แบบวงกลม

1.4 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย วัตถุประสงค์การศึกษาและขอบเขตงานวิจัยและเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 ในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ และทฤษฎีพื้นฐานการออกแบบสายอากาศไมโครสตริป รวมถึงงานวิจัยที่มีมาก่อน

บทที่ 3 กล่าวถึงการวิเคราะห์และผลการวิเคราะห์สายอากาศ เริ่มด้วยการกำหนดรูปแบบของสายอากาศโดยอาศัยทฤษฎีพื้นฐานและสมการในการคำนวณในบทที่ 2 จากนั้นจึงจำลองแบบสายอากาศและหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศ เพื่อให้ได้สายอากาศที่มีคุณลักษณะเหมาะสมกับความต้องการของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่เอชเอฟ

บทที่ 4 กล่าวถึงผลทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศ โดยนำค่าพารามิเตอร์มาจำลองแบบเพื่อดูผลกระทบของสมรรถนะของสายอากาศ เช่น ค่าการสูญเสียย้อนกลับ ค่าอัตราส่วนแกน ค่าอัตราขยาย แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น เป็นต้น โดยนำผลที่ได้จากการทดสอบมาเปรียบเทียบกับผลการจำลองที่ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 3

บทที่ 5 ในบทนี้ได้อธิบายถึงการประเมินสมรรถนะและการประยุกต์ใช้งาน เพื่อทดสอบว่ามีความสามารถในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กได้หรือไม่ จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์ความสามารถของสายอากาศในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กในกรณีแท็กวางตัวในทิศ xy และ z

บทที่ 6 กล่าวถึงการสรุปเนื้อหาโดยรวมทั้งหมดของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ พร้อมทั้งข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐาน ความเป็นมา และหลักการทั่วไปของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ [1]-[2] ซึ่งประกอบด้วย เครื่องอ่านข้อมูลและประเภทของแท็กแบบต่าง ๆ หลักการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุกับแท็ก หลักการสื่อสารที่อาศัยหลักการกระจัดกระจายย้อนกลับ (Backscattering communication) การเลือกใช้อุปกรณ์ของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ และทฤษฎีพื้นฐานการออกแบบสายอากาศแบบไมโครสตริปที่ใช้ในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ [5]-[7]

2.2 ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ

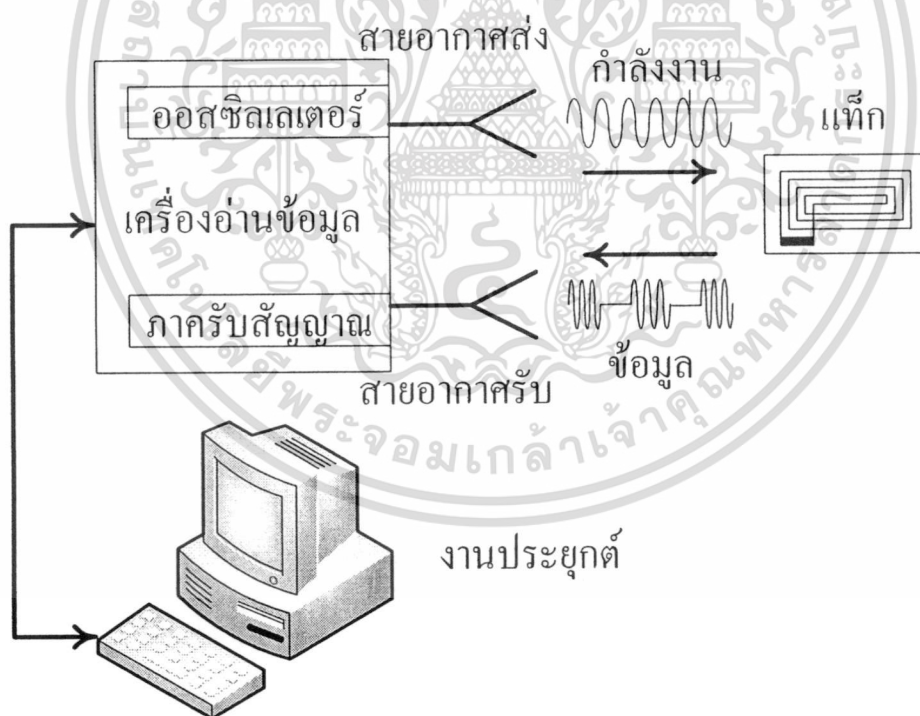
แนวความคิดในการนำคลื่นวิทยุมาใช้ เพื่อแสดงตำแหน่ง หรือแสดงตนเอง ได้เกิดขึ้นตั้งแต่วรรณกรรมปลายสงครามโลกครั้งที่สอง โดยการนำข้อมูลที่ต้องการส่ง มาทำการมอดูเลต (Modulation) กับคลื่นวิทยุแล้วส่งออกผ่านทางสายอากาศที่อยู่ในตัวรับข้อมูล ที่ได้ถูกพัฒนามาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อนำไปใช้งานแทนระบบบาร์โค้ด (Barcode) และเนื่องจากอุปกรณ์ของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ในขณะนั้นไม่สะดวกที่จะนำมาใช้งานเพราะ มีขนาดใหญ่ นอกจากนั้นยังมีราคาแพง จึงไม่ได้รับความนิยมมากเพียงพอที่จะนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ บริการ และเชิงราชการ ต่อมาจึงได้มีการพัฒนาระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุอย่างต่อเนื่อง จนสามารถลดขนาดให้เป็นแผ่นเล็ก ๆ ได้ดังในปัจจุบัน โดยจุดเด่นของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุอยู่ที่สามารถอ่านข้อมูลจากแท็กได้หลาย ๆ แท็กแบบไร้สัมผัส และสามารถอ่านได้แม้ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี ทนต่อความเปียกชื้น แรงสั่นสะเทือนการกระทบกระแทกและสามารถอ่านข้อมูลด้วยความเร็วสูง โดยข้อมูลจะถูกบันทึกอยู่ภายในไมโครชิปที่อยู่ในแท็ก

ในปัจจุบันได้มีการนำระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ไปประยุกต์ใช้งานด้านอื่น ๆ นอกเหนือจากการนำมาใช้ในระบบบาร์โค้ดแบบเดิม เช่น ใช้ในบัตรชนิดต่าง ๆ เช่น บัตรสำหรับใช้ผ่านเข้าออกสถานที่ต่าง ๆ บัตรที่จอดรถ ตามศูนย์การค้าต่าง ๆ ที่เราอาจพบเห็นอยู่ในรูปของแท็กสินค้า มีขนาดเล็กจนสามารถแทรกลงระหว่างชั้นของเนื้อกระดาษได้ หรือเป็นแคปซูลขนาดเล็กฝังเอาไว้ในตัวสัตว์เพื่อบันทึกประวัติต่าง ๆ เป็นต้น

ในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ จะมีองค์ประกอบหลัก ๆ อยู่ 2 ส่วนด้วยกัน ส่วนแรกคือทรานสปอนเดอร์หรือแท็กที่ใช้ติดกับวัตถุต่าง ๆ ที่เราต้องการ โดยแท็กที่ว่านี้จะบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้น ๆ เอาไว้ ส่วนที่สองก็คือเครื่องสำหรับอ่านหรือเขียนข้อมูลภายในแท็กด้วยคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่วิทยุ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยการทำงานนั้นเครื่องอ่านข้อมูลจะทำหน้าที่จ่ายกำลังงานในรูปคลื่นความถี่วิทยุให้กับตัวบัตรยังผลให้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายในสามารถส่งข้อมูลจำเพาะที่แสดงถึง "Identity" กลับมาประมวลผลที่ตัวอ่านได้ เพื่อความเข้าใจจึงขอเปรียบเทียบกับระบบบาร์โค้ด เพื่อให้เห็นภาพชัดเจน แท้ก็ในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุก็คือ ตัวบาร์โค้ดที่ติดกับฉลากของสินค้า และเครื่องอ่านข้อมูลในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ก็คือเครื่องอ่านบาร์โค้ด โดยข้อแตกต่างของทั้งสองระบบคือ ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุจะใช้คลื่นความถี่วิทยุในการอ่านหรือเขียน ส่วนระบบบาร์โค้ดจะใช้แสงเลเซอร์ในการอ่าน โดยข้อเสียของระบบบาร์โค้ด คือ การอ่านข้อมูลเป็นการใช้แสงในการอ่านบาร์โค้ดซึ่งจะต้องอ่านบาร์โค้ดที่ไม่มีอะไรปิดหรือต้องอยู่ในเส้นตรงเดียวกับลำแสงที่ยิงจากเครื่องสแกน และอ่านวัตถุได้ทีละชิ้นในระยาะใกล้ ๆ แต่ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุจะแตกต่าง โดยสามารถอ่านแท็กได้โดยไม่ต้องเห็นแท็ก หรือแท็กนั้นซ่อนอยู่ภายในวัตถุและไม่จำเป็นต้องอยู่ในเส้นตรงกับคลื่น เพียงแต่อยู่ในบริเวณที่สามารถรับคลื่นวิทยุได้ก็สามารถอ่านข้อมูลได้ และการอ่านแท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุยังสามารถอ่านได้หลาย ๆ แท็กในเวลาเดียวกัน โดยระยะการอ่านข้อมูลนั้น สามารถอ่านได้ไกลกว่าระบบบาร์โค้ดอีกด้วย



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทั่วไปของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 แท็ก

มาจากคำว่าทรานสมิตเตอร์ (Transmitter) ผสมกับคำว่าเรสปอนเดอร์ (Responder) โครงสร้างภายในของแท็กจะประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่ ขดลวดขนาดเล็กซึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศ สำหรับเครื่องส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุและสร้างพลังงานป้อนให้ส่วนของไมโครชิปที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลของวัตถุ เช่น รหัสสินค้า เป็นต้น แท็กที่มีอยู่โดยทั่วไปแบ่งออกได้เป็นหลายชนิด เช่น กระดาษ แผ่นฟิล์ม พลาสติก มีขนาดและรูปร่างต่าง ๆ กันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่จะนำมาไปติด และมีหลายรูปแบบ เช่น ขนาดเท่าบัตรเครดิต เหรียญ กระดุม ฉลากสินค้า แคปซูล เป็นต้น แต่โดยหลักการอาจแบ่งแท็กที่มีใช้งานกันอยู่นั้นจะมีอยู่ 2 ชนิดใหญ่ ๆ โดยแต่ละชนิดก็จะมี ความแตกต่างกันในเรื่องของการใช้งาน ราคา โครงสร้างและหลักการทำงาน ซึ่งจะขอกกล่าวถึง และอธิบายแยกเป็นหัวข้อดังนี้

2.2.1.1 แท็กของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบพาสซีฟ

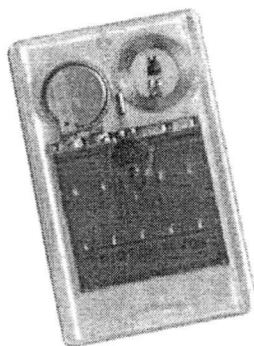
แท็กชนิดนี้ไม่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟภายนอกใด ๆ แสดงตามรูปที่ 2.2 เพราะภายในแท็กจะมีวงจรถูกกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาดเล็ก เป็นแหล่งจ่ายไฟในตัวอยู่ทำให้การอ่านข้อมูลทำได้ไม่ไกลมากนัก ขึ้นอยู่กับความแรงของเครื่องส่งและคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้ ขนาดและรูปร่างเป็นได้ตั้งแต่แท่งหรือแผ่นขนาดเล็กจนแทบไม่สามารถมองเห็นได้ไปจนถึงขนาดใหญ่สะดุดตา ซึ่งต่างก็มีความเหมาะสมกับชนิดงานที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.2 แท็กของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบพาสซีฟ [8]

2.2.1.2 แท็กของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบแอ็กทีฟ

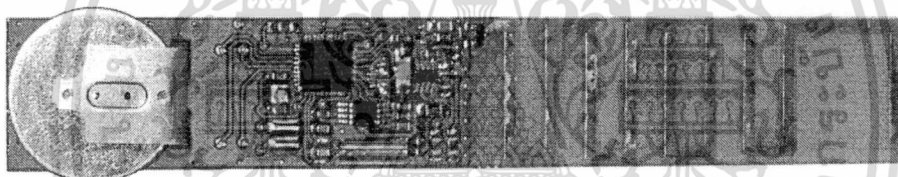
แท็กชนิดนี้จะต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ภายนอก เพื่อจ่ายพลังงานให้กับวงจรเครื่องส่งภายในแท็ก ซึ่งแท็กชนิดนี้มีขนาดค่อนข้างใหญ่ ส่งสัญญาณได้ไกล มีอายุการใช้งานสั้น และมีราคาแพง มักนิยมใช้กับเครื่องอ่านข้อมูลในย่านความถี่เอชเอฟหรือย่านความถี่ไมโครเวฟ



รูปที่ 2.3 แท้กของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบแอ็กทีฟ [9]

2.2.1.3 แท้กของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบกึ่งแอ็กทีฟ

แท้กชนิดนี้จะทำงานได้ต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ เพื่อจ่ายพลังงานให้กับวงจรเครื่องส่งภายในแท้ก แต่อย่างไรก็ตามแท้กชนิดนี้ยังต้องใช้กำลังงานที่ได้รับจากเครื่องอ่านข้อมูลในการส่งข้อมูลกลับไปยังเครื่องอ่านข้อมูล แท้กแบบกึ่งแอ็กทีฟนี้มีระยะการติดต่อสื่อสารที่ไกลกว่าแท้กแบบพาสซีฟ



รูปที่ 2.4 แท้กของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบกึ่งแอ็กทีฟ [10]

2.2.2 ประเภทของแท้กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ

อุปกรณ์แท้กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ประเภทต่าง ๆ ที่มีการผลิตใช้งานในกิจการต่าง ๆ ในปัจจุบัน โดยแยกกล่าวตามความแตกต่างของโครงสร้างและการออกแบบเป็นสำคัญตามด้วยตัวอย่างประเภทของการประยุกต์ใช้งาน

2.2.2.1 แท้กแบบจานและเหรียญ (Disk and Coin)

แท้กจะถูกบรรจุอยู่ใน โครงสร้างทรงกลมคล้ายจานหรือเหรียญและมีการเคลือบป้องกันไว้เป็นอย่างดี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท้กชนิดนี้มีตั้งแต่ไม่กี่มิลลิเมตร ไปจนถึง 10 cm

2.2.2.2 แท้กแบบกระเปาะแก้ว (Glass Housing)

เป็นแท้กที่ได้รับการพัฒนาและผลิตขึ้นสำหรับใช้ฝังไว้ใต้ผิวหนังของสัตว์เพื่อใช้ในการติดตามข้อมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแวดวงปศุสัตว์และการสาธารณสุข ตัวกระเปาะแก้วมีขนาดความยาวในช่วง 12-32 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.3 แท็กแบบพลาสติก (Plastic Housing)

นิยมเรียกกันในชื่อย่อว่า PP (Plastic package) ได้รับการคิดค้นและพัฒนาขึ้นสำหรับใช้ในกิจการอุตสาหกรรมบางประเภทที่มีความต้องการเฉพาะรูปแบบ แท็กแบบนี้มีขนาดบางและสามารถนำไปติดตั้งประกอบกับผลิตภัณฑ์หลาย ๆ ประเภท

2.2.2.4 แท็กสำหรับใช้เฉพาะกิจ

เป็นแท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ อีกประเภทหนึ่งที่ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษ สำหรับใช้งานในกรณีเฉพาะกิจดังเช่นการนำไปประยุกต์ใช้กับคอนเทนเนอร์หรือวัสดุที่เป็นโลหะ โดยมีการคิดค้นและพัฒนาเพื่อบรรจุแท็กลงในโครงสร้างและหน้าสัมผัสที่เป็นโลหะ

2.2.2.5 แท็กแบบพวงกุญแจ (Key and Key Fob)

แท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ สามารถได้รับการพัฒนาให้อยู่ในรูปของกุญแจพิเศษที่ใช้ในการเปิดปิดประตู หรือใช้กับระบบรักษาความปลอดภัยต่าง ๆ ซึ่งพวงกุญแจอิเล็กทรอนิกส์ชนิดนี้ไม่มีลูกกุญแจ แต่กลับทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณข้อมูลต่าง ๆ ซึ่งอาจมีการนำเข้ารหัสเพื่อใช้ในการยืนยันตัวตน

2.2.2.6 แท็กแบบนาฬิกา

แท็กแบบนาฬิกาได้รับการคิดค้นและพัฒนาตั้งแต่ พ.ศ. 2533-2535 โดยบริษัทสัญชาติออสเตรเลียที่มีชื่อว่า Sky-data โดยผลิตขึ้นเพื่อใช้เป็นนาฬิกาสวมใส่ข้อมือและใช้เป็นอุปกรณ์แสดงตัวตนในลักษณะช่องเซ็นเซอร์แบบไร้การสัมผัส (Contactless sensor) เพื่อผ่านเข้าสู่ลู่วิ่งสกีสำหรับนักสกีทั้งหลาย

2.2.2.7 แท็กมาตรฐาน ID-1 และ สมาร์ทการ์ดแบบไร้การสัมผัส

สมาร์ทการ์ดแบบไร้การสัมผัสเป็นรูปแบบของแท็กชนิดพาสซีฟอีกรูปแบบหนึ่ง โดยในปัจจุบันได้ถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางในหลายพื้นที่ ข้อมูลที่อยู่ภายในการ์ดจะถูกอ่านเมื่ออยู่ใกล้กับเครื่องอ่านข้อมูล โดยตัวการ์ดไม่จำเป็นต้องวางติดกับเครื่องอ่านข้อมูลเพื่อทำการอ่านข้อมูล

แท็กแบบ ID-1 มีรูปลักษณ์ภายนอกไม่ต่างจากบัตรเครดิตหรือบัตรโทรศัพท์ทั่วไป โดยมีขนาดประมาณ $85.72 \times 54.03 \text{ mm}^2$ ความหนา 0.76 mm เป็นแท็กที่ได้รับการนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย ด้วยคุณสมบัติพิเศษก็คือระยะทำการรับส่งสัญญาณที่เหนือกว่าแท็กแบบอื่น ๆ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากพื้นที่หน้าตัดที่กว้างมากของตัวบัตร ทำให้สามารถจัดวางระบบสายอากาศที่มีแกนขนาดใหญ่ช่วยเพิ่มรัศมีทำการขึ้นได้อีกมาก

2.2.2.8 แท็กแบบ Smart Label

เป็นแท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ บางที่สุดที่ได้รับการออกแบบเป็นกระดาษบาง ๆ สามารถงอหรือทบได้ โดยขดลวดสำหรับรับส่งสัญญาณจะถูกออกแบบเป็นแถบพอยล์พลาสติกความหนาเพียง 0.1 mm โดยใช้ขบวนการผลิตแบบพิมพ์สกรีน โดยทั่วไปแถบพอยล์เหล่านี้จะถูกเคลือบชั้นหนึ่งโดยเยื่อกระดาษและทับอีกชั้นหนึ่งด้วยสารยึดเกาะ เพื่อป้องกันการฉีกขาด

2.2.2.9 แท็กแบบขดลวดบนชิป (Coil-on-Chip)

แท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ชนิดนี้มีความแตกต่างจากแท็กแบบอื่น ๆ ซึ่งมีการแยกส่วนระหว่างแท็กกับขดลวดหรือสายอากาศอย่างชัดเจน แต่สำหรับแท็กแบบขดลวดบนชิปนั้นจะรวมส่วนที่เป็นขดลวดสายอากาศและตัววงจรประมวลผลเข้าด้วยกัน

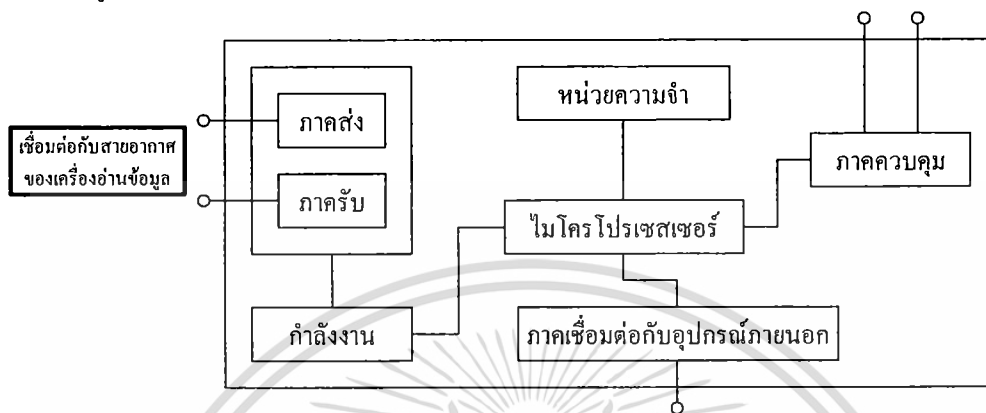
2.2.3 เครื่องอ่านข้อมูล (Reader)

เครื่องอ่านข้อมูลจะสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้โดยผ่านทางสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูล สำหรับเครื่องอ่านข้อมูลแต่ละเครื่องสามารถรองรับแท็กได้หลายตัวโดยใช้ตัวมัลติเพล็กซ์ (Multiplexer) สายอากาศทำหน้าที่ในการแพร่กระจายสัญญาณความถี่วิทยุจากภาคส่งของเครื่องอ่านข้อมูลออกมารอบ ๆ และรับการตอบสนองของแท็ก ดังนั้นตำแหน่งที่เหมาะสมของสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับความแม่นยำและถูกต้องในการอ่านข้อมูล อย่างไรก็ตามสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลจะอยู่ใกล้กับเครื่องอ่านข้อมูลเพื่อลดผลของการสูญเสียจากสายเคเบิล RF (RF cable) โดยเฉพาะเครื่องอ่านข้อมูลชนิดพกพา (Portable) จะรวมสายอากาศเข้าไปภายในตัวเครื่องอ่านข้อมูล โดยหน้าที่ของเครื่องอ่านข้อมูล ก็คือ การเชื่อมต่อสื่อสารกับแท็กเพื่อเขียนหรืออ่านข้อมูลภายในแท็กด้วยสัญญาณความถี่วิทยุ ส่วนประกอบของเครื่องอ่านข้อมูลแสดงดังรูปที่ 2.5 ซึ่งเครื่องอ่านข้อมูลจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักดังนี้ [1]-[2]

- ภาคส่ง (Transmitter) และภาครับ (Receiver) สัญญาณวิทยุ
- ไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor)
- หน่วยความจำ (Memory)
- เซ็นเซอร์ (Sensor)
- ภาคควบคุม (Controller)
- ภาคเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก (In/out interface)
- แหล่งจ่ายกำลังงาน (Power supply)
- สายอากาศ (Antenna)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไป หน่วยประมวลผลข้อมูลที่อยู่ภายในเครื่องอ่านข้อมูลมักใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งอัลกอริทึมที่อยู่ภายในโปรแกรม จะทำหน้าที่ถอดรหัสข้อมูล(Decoding) ที่ได้รับและทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ โดยลักษณะขนาดและรูปร่างของเครื่องอ่านข้อมูลจะแตกต่างกันไปตามประเภทของการใช้งาน เช่น แบบมือถือขนาดเล็กหรือคียบอร์ด จนถึงขนาดใหญ่เท่าประตู (Gate size) เป็นต้น



รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบของเครื่องอ่านข้อมูล

2.3 คุณลักษณะของอุปกรณ์ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ

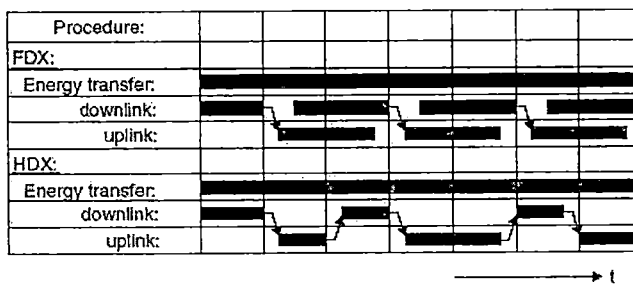
2.3.1 ลักษณะการทำงาน (Operation Type)

อุปกรณ์ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ทั้งแท็ก หรือเครื่องอ่านข้อมูล จะมีรูปแบบการทำงานอย่างใดอย่างหนึ่งระหว่างการรับส่งข้อมูลแบบ Full duplex (FDX)/Half duplex (HDX)

2.3.1.1 การรับส่งข้อมูลแบบ Full Duplex

เครื่องอ่านข้อมูลจะทำการส่งสัญญาณข้อมูลออกตลอดเวลา ซึ่งเท่ากับว่าเป็นการส่งพลังงานไฟฟ้าผ่านทางคลื่นวิทยุไปจ่ายให้กับแท็กที่อยู่ในบริเวณการใช้งานด้วย และเนื่องจากความแรงของคลื่นสัญญาณความถี่วิทยุที่แท็กส่งออกมามีกำลังส่งต่ำ ทำให้มีแนวโน้มว่าสัญญาณอาจส่งไปไม่ถึงเครื่องอ่าน หรืออาจส่งไปถึงแต่มีระดับสัญญาณรบกวนปะปนอยู่ด้วย เมื่อเทียบกับสัญญาณที่ถูกส่งออกจากเครื่องอ่านข้อมูล ซึ่งมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าเป็นของตนเองทำให้ส่งสัญญาณออกมาได้สูงกว่าดังนั้นจึงต้องมีมาตรการในการสร้างความแตกต่างของสัญญาณคลื่นวิทยุที่มีการส่งออกจากแท็กแต่ละเครื่อง ให้มีเอกลักษณ์ (Identity) ที่แตกต่างกัน เพื่อให้เครื่องอ่านสามารถแยกแยะแหล่งที่มาได้อย่างถูกต้อง โดยใช้มอดูเลตสัญญาณแบบ Load modulation ซึ่งการสื่อสารแบบ Full duplex เครื่องอ่านจะทำการส่งสัญญาณที่สามารถตรวจจับและแปลงเป็นกำลังงานไฟฟ้าให้กับแท็กได้ตลอดเวลา การส่งสัญญาณจากเครื่องอ่านไปยังแท็ก (Downlink) และการส่งข้อมูลจากแท็กกลับมายังเครื่องอ่าน (Uplink) สามารถกระทำขึ้นเมื่อใดก็ได้ไม่จำเป็นต้องรอจังหวะในการส่งไปกลับแต่อย่างใด ดังรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full duplex และ Half duplex [1]

2.3.1.2 การรับส่งข้อมูลแบบ Half Duplex (HDX)

การสื่อสารแบบ Half duplex เครื่องอ่านข้อมูลจะทำการส่งพลังงานไฟฟ้าไปที่แท็กตลอดเวลา ซึ่งการส่งสัญญาณจากเครื่องอ่านข้อมูลไปยังแท็ก และการส่งข้อมูลจากแท็กกลับมายังเครื่องอ่านข้อมูล จะต้องมีการกำหนดจังหวะผลการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลและแท็ก ดังรูปที่ 2.6

2.3.2 ขนาดข้อมูล (Data Quantity)

โดยทั่วไปอุปกรณ์แท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ จะมีขนาดของหน่วยความจำ หรือที่นิยมเรียกกันว่าขนาดความจุข้อมูล (Data capacity) ไล่ขนาดตั้งแต่ไม่กี่ไบต์ไปจนถึงหลาย ๆ กิโลไบต์ ตัวอย่างแท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ อีกกลุ่มหนึ่งที่ได้รับการออกแบบมาให้มีขนาดความจุเพียง 1 บิต (1-bit Transponder) ซึ่งแท็กแบบนี้มักมีราคาประหยัดและมีจุดประสงค์ในการนำไปใช้งานเพียงเพื่อการแจ้งสถานภาพเท่านั้น

2.3.3 ความสามารถในการโปรแกรม (Programmable)

การจำแนกประเภทของแท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ตามขีดความสามารถในการโปรแกรมข้อมูล สามารถแบ่งออกได้เป็นแท็กที่ไม่สามารถโปรแกรมได้ ซึ่งภายในจะมีการเขียนข้อมูลที่อาจเป็นรหัสเลขหมายใด ๆ ตามที่ได้รับคำสั่งข้างทำมาตั้งแต่สายการผลิตและไม่สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ อีกประเภทหนึ่งเป็นแท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ที่สามารถทำการโปรแกรมข้อมูลผ่านทางเครื่องอ่านข้อมูลได้ การจัดการลำดับคำสั่ง (Sequence) ในกรณีของแท็กที่สามารถโปรแกรมได้นั้น ก็มีเทคนิคที่ใช้ในการจัดการประมวลผลข้อมูลให้เลือกพิจารณาเป็นเรื่องทางเทคนิค

2.3.4 แหล่งพลังงาน (Power Supply)

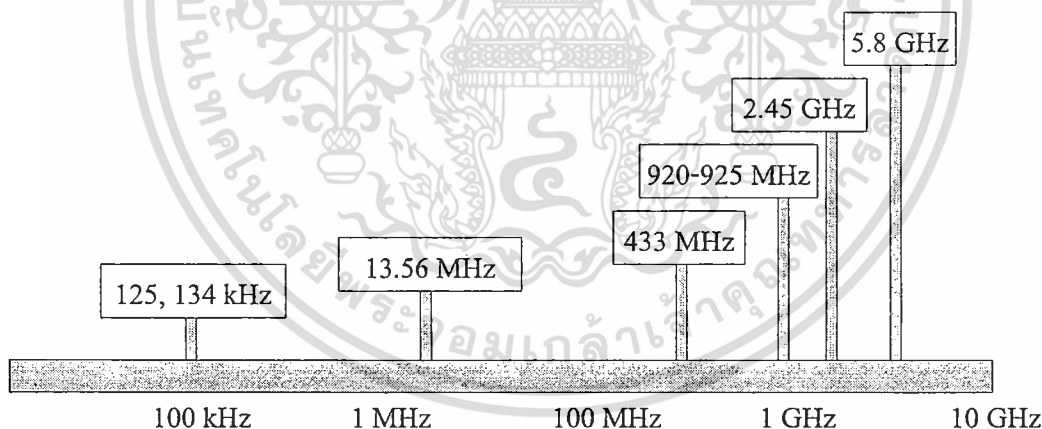
เป็นคุณสมบัติทางเทคนิคที่มีความสำคัญมากในการพิจารณาเลือกใช้แท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ทั้งนี้สามารถจำแนกประเภทของแท็กออกเป็น 2 กลุ่ม คือ แบบพาสซีฟ ซึ่งเป็นแท็กที่ไม่ต้องการแหล่งจ่ายไฟบรรจุไว้ภายในตัว แต่จะอาศัยการแปลงสัญญาณพลังงานไฟฟ้าที่ส่งมาจากเครื่องอ่านข้อมูลมาเป็นไฟเลี้ยงเพียงอย่างเดียว กับอีกประเภทหนึ่ง คือ แบบแอ็กทีฟ ซึ่งต้องการระบบจ่ายไฟภายในแท็กเพื่อใช้ป้อนจ่ายให้กับชิปประมวลผลที่ตั้งอยู่ภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 ย่านความถี่ใช้งาน (Frequency Range)

ความหมายของความถี่ใช้งาน (Operating frequency) ในมาตรฐานของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ นั้นจะหมายถึงคลื่นความถี่วิทยุที่เครื่องอ่านข้อมูลทำการส่งออกไปเท่านั้น โดยจะไม่นับว่าแท็กจะส่งคลื่นความถี่ในย่านใดตอบกลับมา ยิ่งในบางกรณีแท็กอาจมีการส่งคลื่นความถี่กลับมาเป็นค่าความถี่เดียวกับที่เครื่องอ่านข้อมูลส่งออกไป โดยแยกแยะความแตกต่างกันด้วยเทคนิคการมอดูเลตสัญญาณแบบ Load modulation ประเด็นของคลื่นความถี่จากแท็กจึงไม่ใช่สาระสำคัญในการนำมาพิจารณา ในปัจจุบันคลื่นพาหะที่ใช้งานกันในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ จะอยู่ในย่านความถี่ไอเอสเอ็ม (Industrial, Scientific and Medical: ISM) ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่กำหนดในการใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ สามารถใช้งานได้โดยไม่ตรงกับย่านความถี่ที่ใช้งานในการสื่อสาร โดยทั่วไปมีความถี่ใช้งาน สำหรับคลื่นพาหะที่ใช้กันในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบ่งออกได้เป็น 4 ย่าน หลักได้แก่

- ย่านความถี่ต่ำ (Low frequency: LF) 135/125/134.2 kHz
- ย่านความถี่สูง (High frequency: HF) 13.56 MHz
- ย่านความถี่ยูเอชเอฟ (Ultra high frequency: UHF) 433/860/960/920 MHz - 925 MHz
- ย่านความถี่ไมโครเวฟ (Microwave) 2.4/5.8 GHz



รูปที่ 2.7 ย่านความถี่ที่ใช้งานของระบบระบุลักษณะทางคลื่นความถี่วิทยุ [4]

ในแง่การใช้งาน 2 ย่านความถี่แรกจะเหมาะสำหรับใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะใกล้ ที่ย่านความถี่ต่ำ ระยะการอ่านประมาณ 10 cm ถึง 20 cm และย่านความถี่สูง ระยะการอ่านประมาณ 1 m เช่น การตรวจสอบการผ่านเข้าออกพื้นที่ การตรวจหาและเก็บประวัติในสัตว์ ส่วนย่านความถี่ยูเอชเอฟจะถูกใช้ในงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะไกล มีระยะการอ่านประมาณ 1 ถึง 10 m เช่นระบบเก็บค่าบริการทางด่วน ในแต่ละประเทศมีการอนุญาตให้ใช้ความถี่ของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุในย่านความถี่ยูเอชเอฟแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.1 เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการสงวนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยุโรป คือ 866 MHz ถึง 869 MHz อเมริกาเหนือและใต้ คือ 902 MHz ถึง 928 MHz ญี่ปุ่น คือ 950 MHz ถึง 956 MHz ส่วนในประเทศไทย คือ 920 MHz ถึง 925 MHz และสุดท้ายคือ ย่านความถี่ ไมโครเวฟมีระยะการอ่านไกลกว่า 10 m ซึ่งใช้ในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) ในส่วนของการใช้งานระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุในประเทศไทย เช่น การขนส่งที่ใช้บัตรทางด่วนและบัตรโดยสารรถไฟฟ้ามหานคร ห้องสมุดฉลาด การควบคุมการเข้าออกสถานที่ที่ใช้บัตรพนักงานและบัตรจอดรถ การจัดการสายการผลิตและการขนส่ง ปศุสัตว์ใช้ในการให้อาหารและการติดตามโรค เอกสารราชการใช้สำหรับหนังสือเดินทางอิเล็กทรอนิกส์และบัตรประชาชน เป็นต้น

ในแง่ของราคาและความเร็วในการสื่อสารข้อมูล เมื่อเทียบกันแล้วระบบระบุลักษณะทางคลื่นความถี่วิทยุซึ่งใช้คลื่นพาหะในย่านความถี่สูงเป็นระบบที่มีความเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุดและมีราคาแพงที่สุดด้วยเช่นกัน ส่วนระบบระบุลักษณะทางคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้คลื่นพาหะในอีก 2 ย่านความถี่แรกจะมีระดับราคาและความเร็วลดหลั่นกันไป

เนื่องจากระบบระบุลักษณะทางคลื่นความถี่วิทยุมีความต้องการอัตราการส่งข้อมูลที่สูง ระยะทางในการส่งไกลและโครงสร้างของสายอากาศที่มีไม่ซับซ้อน ขนาดเล็กและราคาถูก ดังนั้น ย่านความถี่ยูเอชเอฟจึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้งาน วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงเสนอสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ยูเอชเอฟแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น

2.3.6 มาตรฐานของระบบระบุลักษณะทางคลื่นความถี่วิทยุ

การนำมาตรฐานมาใช้กับระบบระบุลักษณะทางคลื่นความถี่วิทยุและอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับระบบนี้ถือว่าเป็นสิ่งที่ซับซ้อน แต่ก็มีพยายามนำมาใช้อย่างต่อเนื่อง มาตรฐานที่มีอยู่นั้นครอบคลุมใน 4 เรื่อง ของการประยุกต์ใช้งานระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ คือมาตรฐานการติดต่อสื่อสารในอากาศ (Air interface standard) มาตรฐานปริมาณความจุของข้อมูลและการเข้ารหัส (Data content and Encoding) มาตรฐานความเข้ากันได้ของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ (Conformance) มาตรฐานการทำงานร่วมกันระหว่างการประยุกต์ใช้งานกับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ

มาตรฐานหลัก ๆ ของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ในปัจจุบันมี 2 ค่าด้วยกันคือ ISO และ EPC Global ซึ่ง ISO ก็จะมีมาตรฐานการติดต่อสื่อสารในอากาศ ในย่านความถี่เอชเอฟ คือ 18000-6A กับ 18000-6B ส่วนทางด้าน EPC Global ก็จะมีมาตรฐานออกมาสองรุ่น รุ่นแรกคือ EPC Global gen 1 ซึ่งประกอบไปด้วย Class 0 กับ Class 1 แท้ก็อีกรุ่นหนึ่งคือ EPC Global gen 2 ซึ่งเตรียมไว้สำหรับ Class 1 ขึ้นไป แต่ตอนนี้ใช้กันหลัก ๆ ก็จะมีแต่เฉพาะ Class 1 เท่านั้น โดยถ้าจำแนกตาม Class ของแท็ก ก็จะมีตั้งแต่ Class 0, Class 1, Class 2 ไปจนถึง Class 3 โดยจะแบ่งตามความสามารถในการเขียนข้อมูลลงไปบนแท็กแบบพาสซีฟและแบบแอ็กทีฟ ถ้า Class 0 ก็จะเป็นแบบพาสซีฟและเขียนไม่ได้ Tag ID ถูกกำหนดมาตั้งแต่โรงงาน Class 1 ก็ยังคงเป็นแบบพาสซีฟอยู่แต่จะอ่านหรือเขียนข้อมูลได้ ส่วน Class 2 ก็จะเป็นแบบกึ่งแอ็กทีฟ คือ ในขณะที่รับข้อมูลจากเครื่องอ่านข้อมูลเป็นแบบพาสซีฟ แต่พอจะส่งข้อมูลจะใช้กำลังงานจากแบตเตอรี่ช่วยในการส่งสุดท้ายคือ Class 3 ก็จะเป็นแบบแอ็กทีฟ

มาตรฐานของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุที่รุ่งขึ้นมาใช้ในสาขาต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น มาตรฐานการระบุตัวสัตว์ (Animal identification) มาตรฐานการจัดการวัตถุ (Item management) เป็นต้น

มาตรฐานการระบุตัวสัตว์ (Animal identification) เช่น มาตรฐาน ISO 11784 เป็นมาตรฐานที่เกี่ยวกับการระบุตัวสัตว์ด้วยความถี่วิทยุซึ่งเป็นมาตรฐานเกี่ยวกับโครงสร้างรหัส ISO 11785 เป็นมาตรฐานที่เกี่ยวกับทางด้านเทคนิค และ ISO 14223/1 จะเกี่ยวกับแท็ก

มาตรฐานการจัดการวัตถุ (Item management) เช่น ISO 18000 เป็นมาตรฐานที่เกี่ยวกับการระบุวัตถุด้วยความถี่วิทยุ โดยเฉพาะพารามิเตอร์ต่าง ๆ สำหรับการติดต่อสื่อสารกันผ่านอากาศ

ตารางที่ 2.1 ความถี่และข้อจำกัดของกำลังงานในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ ยูเอชเอฟในประเทศต่าง ๆ

ประเทศ/ทวีป	สถานะ	ความถี่ (MHz)	กำลัง	เทคนิค	หมายเหตุ
แอฟริกา					
แอฟริกาเหนือ	OK	865.6-867.6	2 W ERP	LBT	ออกกฎบังคับใช้ในปี ค. ศ. 2006
แอฟริกาใต้		917-921	4 W EIRP	FHSS	ภายในอาคาร
ตุนีเซีย	IP	865.6-867.6	2 W ERP	LBT	วางแผนที่จะนำมาใช้งาน
เอเชียแปซิฟิก					
ออสเตรเลีย	OK	920-926	4 W EIRP		4W EIRP เหมาะจะใช้กับGS1
จีน	IP	917-922	2 W ERP		อนุญาตชั่วคราว
ฮ่องกง, จีน	OK	865-868	2 W ERP		
		920-925	4 W EIRP		
อินเดีย	OK	865-868	4 W ERP		อนุญาตให้ใช้ในเดือน พฤษภาคม ปี ค. ศ. 2005
อินโดนีเซีย	IP				พิจารณาในช่วง 923-925 MHz
ญี่ปุ่น	OK	952-954	4 W EIRP	LBT	ในช่วง 952-954 MHz อนุญาตให้ใช้ 4 W EIRP และสำหรับ 20 mW EIRP ไม่ต้องมีใบอนุญาต
เกาหลี	OK	908.5-910	4 W EIRP	LBT	อนุญาตให้ใช้ในเดือน กรกฎาคม ปี ค. ศ. 2004
		910-914	4 W EIRP	FHSS	อนุญาตให้ใช้ในเดือน กรกฎาคม ปี ค. ศ. 2004
มาเลเซีย	OK	866-869			กำลังอยู่ในการพิจารณา และที่ความถี่ 868 MHz อนุญาตให้ใช้ 50 mW
		919-923	2 W ERP		กำลังงาน 2 W ERP ไม่ต้องมีใบอนุญาต แต่กำลังงานตั้งแต่ 2 ถึง 4 W ต้องมีใบอนุญาต
สิงคโปร์	OK	866-869	0.5 W ERP		
ไต้หวัน	OK	922-928	1 W ERP	FHSS	ภายในอาคาร
		922-928	0.5 W ERP	FHSS	ภายนอกอาคาร
นิวซีแลนด์	OK	864-868	4 W EIRP		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ยุโรป					
ฟินแลนด์	OK	865.6-867.6	2 W ERP	LBT	ออกกฎบังคับใช้ตั้งแต่ 3 กุมภาพันธ์ ปี ค. ศ. 2005
ฝรั่งเศส	IP	865.6-867.6	2 W ERP	LBT	
เยอรมนี	OK	865.6-867.6	2 W ERP	LBT	ออกกฎบังคับใช้ตั้งแต่ 22 ธันวาคม ปี ค. ศ. 2004
อิตาลี	IP	865.6-867.6	2 W ERP	LBT	ตรงกับย่านความถี่ที่อนุญาตของทหาร
เนเธอร์แลนด์	OK	865.6-867.6	2 W ERP	LBT	
สหพันธรัฐรัสเซีย	IP	865.6-867.6	2 W ERP	LBT	ต้องใช้ใบอนุญาตเท่านั้น
สเปน	OK	865.6-867.6	2 W ERP	LBT	ออกกฎบังคับใช้ชั่วคราวตั้งแต่ มกราคม ปี ค. ศ. 2007
สวีเดน	OK	865.6-867.6	2 W ERP	LBT	ออกเป็นกฎหมายใช้ตั้งแต่ มกราคม ปี ค. ศ. 2006
สวิตเซอร์แลนด์	OK	865.6-867.6	2 W ERP	LBT	
สหราชอาณาจักร	OK	865.6-867.6	2 W ERP	LBT	ออกกฎบังคับใช้ตั้งแต่ 31 มกราคม ปี ค. ศ. 2006
อเมริกาเหนือ					
แคนาดา	OK	902-928	4 W EIRP	FHSS	
สหรัฐอเมริกา	OK	902-928	4 W EIRP	FHSS	
อเมริกาใต้					
อาร์เจนตินา	OK	902-928	4 W EIRP	FHSS	
บราซิล	OK	902-907.5	4 W EIRP	FHSS	
		915-928	4 W EIRP	FHSS	
ชิลี	OK	902-928	4 W EIRP	FHSS	

หมายเหตุ

OK แสดงถึง ได้มีการออกกฎข้อบังคับใช้แล้วหรือกำลังจะนำมาใช้ในอนาคตอันใกล้

IP แสดงถึง คาดการณ์ว่าจะออกกฎข้อบังคับภายใน 6-12 เดือนข้างหน้า

FHSS แสดงถึง Frequency hopping spread spectrum

LBT แสดงถึง Listen before talk

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ข้อพิจารณาการเลือกใช้อุปกรณ์ในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ

2.4.1 ความถี่ใช้งาน

หลักการของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ที่ใช้ย่านความถี่ในช่วง 100 kHz ถึง 30 MHz จะใช้รูปแบบส่งถ่ายสัญญาณข้อมูลระหว่างแท็กกับเครื่องรับเป็นแบบเหนี่ยวนำ (Inductive coupling) ในขณะที่หลักการของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ที่มีการสื่อสารโดยใช้ความถี่ย่านความถี่ไมโครเวฟซึ่งอยู่ในช่วง 2.45 GHz ถึง 5.8 GHz จะใช้การส่งถ่ายสัญญาณข้อมูลในลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การดูดซับคลื่นสัญญาณของตัวนำที่เป็นน้ำ ที่ความถี่ใช้งาน 100 kHz จะมีค่าต่ำกว่าการใช้งานที่ความถี่ 1 GHz ถึง 100,000 เท่า การเลือกใช้งานอุปกรณ์ของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ที่ความถี่สูงระดับ 1 GHz ในกรณีที่มีฝนตกย่อมจะเกิดปัญหาการลดทอนสัญญาณระหว่างแท็กและเครื่องอ่านข้อมูลซึ่งอยู่กลางแจ้งมากกว่าการใช้งานแบบเดียวกันที่ความถี่ 100 kHz การเลือกใช้อุปกรณ์ของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ทำงานที่ความถี่ในย่านความถี่ยูเอชเอฟน่าจะทำให้ผลดีในการแพร่กระจายคลื่นในระยะทางไกล

ส่วนการเลือกใช้อ่านความถี่ไมโครเวฟนั้น โดยทั่วไปจะให้ผลดีในเรื่องของระยะทางที่ไกลกว่าการเหนี่ยวนำโดยใช้คลื่นความถี่ต่ำ แต่อุปกรณ์แท็กที่ทำงานในย่านความถี่ไมโครเวฟนั้นจำเป็นต้องมีแหล่งจ่ายไฟสำรองไฟฟ้าทำให้ต้องมีขนาดใหญ่และมีข้อจำกัดในการพกพาหลาย ๆ ประการ สิ่งที่ควรพิจารณาประการหนึ่งสำหรับการใช้งานอุปกรณ์ของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ในย่านความถี่สูง ก็คือ การที่ระบบอาจถูกรบกวนจากการเดินเครื่องมอเตอร์ที่อยู่ใกล้เคียงได้ เนื่องจากเป็นการรับส่งข้อมูลที่ใช้การเหนี่ยวนำ ทำให้มีความนิยมใช้งานการสื่อสารโดยใช้คลื่นไมโครเวฟแทนในกรณีของการใช้งานภายในโรงงานอุตสาหกรรม

2.4.2 ระยะทำการ

ปัจจัยที่มีผลเกี่ยวข้องโดยตรงต่อระยะทำการในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลและแท็กของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ สามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ประการคือ ตำแหน่งของแท็กหรือระยะห่างขั้นต่ำระหว่างแท็กแต่ละตัวกับเครื่องอ่านข้อมูล ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงไปแล้วแต่ประเภทของการใช้งาน ความเร็วในการเคลื่อนที่ของแท็ก และความเร็วในการอ่าน/เขียนข้อมูลของแท็ก

2.4.3 ข้อกำหนดด้านการรักษาความปลอดภัย

2.4.3.1 การรักษาความปลอดภัยของข้อมูล

การรักษาความปลอดภัยของข้อมูล ซึ่งประกอบไปด้วยการตรวจยืนยันแท็กของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ และการเข้ารหัสข้อมูลที่จะถูกส่งผ่านทางคลื่นวิทยุ กระบวนการหรือความต้องการใช้งานในกรณีนั้น ๆ จำเป็นต้องใช้มาตรการรักษาความปลอดภัยหรือไม่ หรือหากต้องการใช้จะเป็นเพียงระดับใด เพื่อให้การลงทุนเป็นไปอย่างเหมาะสมที่สุด

2.4.3.2 การรักษาความปลอดภัยที่มีผลกระทบต่อมนุษย์

การรักษาความปลอดภัยที่มีผลกระทบต่อมนุษย์ ที่ความถี่ 0.1 MHz ถึง 3.0 MHz จะต้องมีค่าความเข้มของสนามไฟฟ้า (Electric field strength: E) ไม่เกิน 614 V/m ค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก (Magnetic field strength: H) ไม่เกิน $16.3/f$ A/m ค่าความหนาแน่นกำลัง (Power density: S) ไม่เกิน $10,000/f^2$ mW/cm² โดยคิดที่เวลาเฉลี่ย (Averaging time) 6 นาที ซึ่ง f มีหน่วยเป็น MHz [2] และในส่วนของมาตรฐานการลดทอนของความเข้มสนามแม่เหล็กที่ระยะ 10 m จะต้องมีค่าไม่เกิน 72 dB μ A/m ซึ่งเป็นมาตรฐานยุโรป EN300 [2]

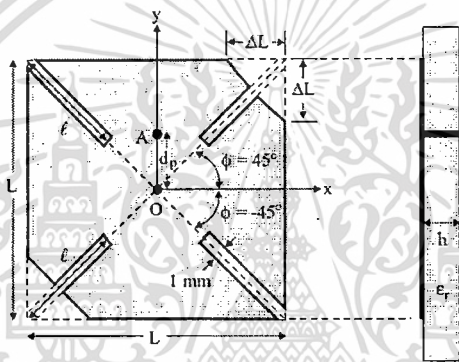
2.4.4 ขนาดของหน่วยความจำ

ต้นทุนของแท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ย่อมมีความสัมพันธ์กับลักษณะและขนาดของหน่วยความจำที่บรรจุอยู่ภายใน การใช้งานในระดับสาธารณะ เช่น ระบบขนส่งจึงนิยมใช้แท็กที่มีหน่วยความจำน้อย หรือในบางกรณีอาจใช้แท็กแบบโปรแกรมไม่ได้ เพื่อควบคุมต้นทุนของบัตร โดยอาจใช้บัตรหรือแท็กทำหน้าที่ส่งข้อมูลแสดงหมายเลข แล้วให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เขียนขึ้นใช้งานภายในระบบหรือเครือข่ายขนส่งทำหน้าที่ตรวจสอบแทน โดยไม่ต้องเก็บข้อมูลไว้ในบัตร

2.5 ทฤษฎีพื้นฐานการออกแบบสายอากาศ

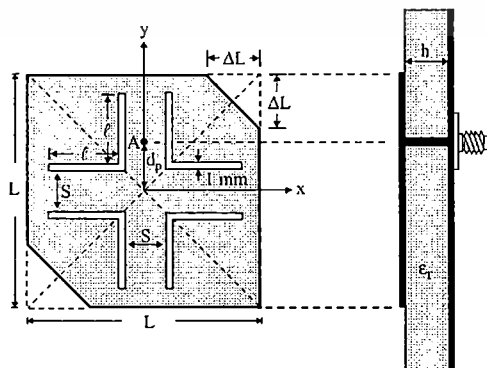
2.5.1 งานวิจัยที่มีมาก่อน

เนื่องจากโครงสร้างของสายอากาศที่มีอยู่เดิมโดยทั่วไปมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมและมีการใช้ตัวกลางที่เป็นสารไดอิเล็กตริก [11] - [19] ซึ่งทำให้เกิดค่าการสูญเสียในตัวกลางไดอิเล็กตริกส่งผลให้สายอากาศมีอัตราขยายต่ำกว่าสายอากาศแบบแผ่นระนาบที่นำเสนอ ตัวอย่างงานวิจัยที่มีมาก่อน เช่น สายอากาศไมโครสตริปของ K. L. Wong และคณะตามรูปที่ 2.8 ที่มีการเจาะช่องเปิดและใช้วัสดุฐานรองเป็นสารไดอิเล็กตริก มีการโพลาริซ์เป็นแบบวงกลม สร้างขึ้นในปี ค.ศ. 2001 ซึ่งสายอากาศนี้มีความถี่กลางอยู่ที่ 1.970 GHz อัตราขยาย 1.4 dB และมีช่วงกว้างแถบความถี่ที่มีการโพลาริซ์เป็นแบบวงกลมโดยคิดที่อัตราส่วนเกินไม่เกิน 3 dB เท่ากับ 0.8 % ซึ่งถือว่าเป็นช่วงแถบความถี่โพลาริซ์ที่แคบ



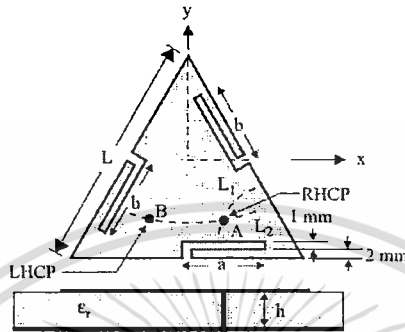
รูปที่ 2.8 สายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมและมีช่องเปิด [11]

สายอากาศไมโครสตริปของ W. S. Chen และคณะตามรูปที่ 2.9 ที่มีร่องเชื่อมต่อและใช้วัสดุฐานรองเป็นสารไดอิเล็กตริก มีการโพลาริซ์เป็นแบบวงกลม สร้างขึ้นในปี ค.ศ. 1998 ซึ่งสายอากาศนี้มีความถี่กลางอยู่ที่ 1.711 GHz อัตราขยายที่ต่ำ และมีช่วงกว้างแถบความถี่ที่มีการโพลาริซ์เป็นแบบวงกลมโดยคิดที่อัตราส่วนเกินไม่เกิน 3 dB เท่ากับ 0.8 % ซึ่งถือว่าเป็นช่วงแถบความถี่โพลาริซ์ที่แคบ



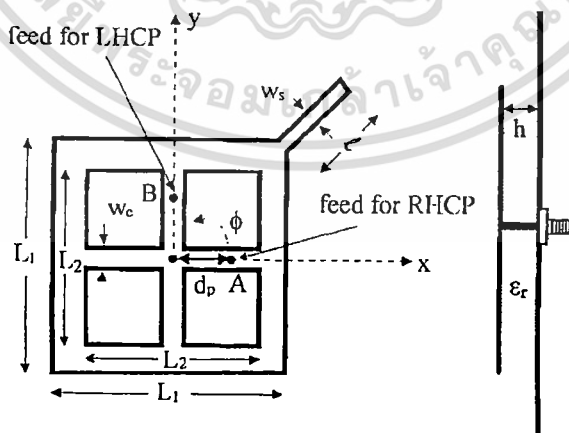
รูปที่ 2.9 สายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมและมีช่องเชื่อมต่อ ใ้้งอ [12]

สายอากาศไมโครสตริปของ J. H. Lu และคณะตามรูปที่ 2.10 ที่มีร่องเชื่อมต่อโค้งงอและใช้วัสดุฐานรองเป็นสารไดอิเล็กตริก มีการโพลาไรซ์เป็นแบบวงกลม สร้างขึ้นในปี ค.ศ. 1998 ซึ่งสายอากาศนี้มีความถี่กลางอยู่ที่ 1.664 GHz อัตราขยายที่ต่ำ และมีช่วงกว้างแถบความถี่ที่มีการโพลาไรซ์เป็นแบบวงกลม โดยคิดที่อัตราส่วนแกนไม่เกิน 3 dB เท่ากับ 0.9 % ซึ่งถือว่าเป็นช่วงแถบความถี่โพลาไรซ์ที่แคบ



รูปที่ 2.10 สายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมและมีช่องเชื่อมต่อโค้งงอ [13]

สายอากาศในรูปที่ 2.11 เป็นสายอากาศไมโครสตริปที่ใช้เทคนิคการเจาะร่องเชื่อมต่อร่วมกับการป้อนสัญญาณบนแผ่นสตริปไข่เพื่อทำให้สายอากาศมีการโพลาไรซ์เป็นแบบวงกลมซึ่งเป็นของ W. S. Chen และคณะ สร้างขึ้นในปี ค.ศ. 1999 สายอากาศนี้มีการใช้วัสดุฐานรองซึ่งมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกเท่ากับ 4.4 ทำให้เกิดการสูญเสียในสารไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรองสายอากาศนี้มีความถี่กลางที่ 1.725 GHz และมีช่วงกว้างแถบความถี่ที่มีการโพลาไรซ์เป็นแบบวงกลมที่แคบซึ่งคิดที่อัตราส่วนแกนไม่เกิน 3 dB มีค่าเท่ากับ 0.93 %



รูปที่ 2.11 สายอากาศไมโครสตริปวงแหวนสี่เหลี่ยมจัตุรัสกับสตริปไข่สำหรับการโพลาไรซ์แบบวงกลม [14]

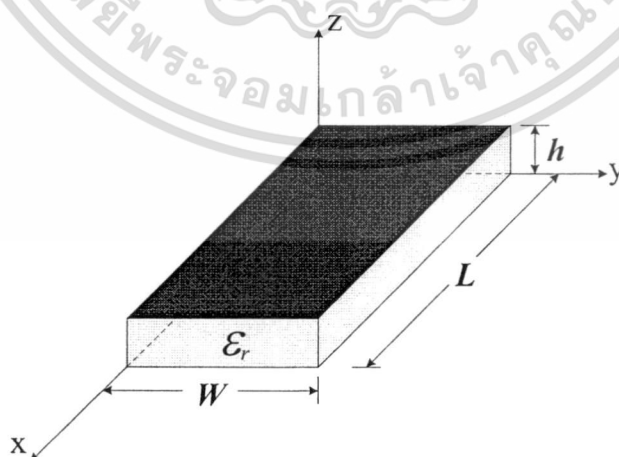
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งงานวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้น พบว่าสายอากาศนั้นมีโพลาไรซ์วงกลมจากร่องเชื่อมต่อบนพื้นผิวตัวสายอากาศ แต่สายอากาศค่าอัตราขยายที่ต่ำ และมีช่วงกว้างแถบความถี่ที่มีการโพลาไรซ์เป็นแบบวงกลมที่แคบ

2.5.2 ทฤษฎีพื้นฐานการออกแบบสายอากาศไมโครสตริป

สายอากาศไมโครสตริปได้เริ่มมีการใช้งานตั้งแต่ในทศวรรษที่ 50 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปนั้นมีอยู่หลายแบบด้วยกันซึ่งแบ่งตามลักษณะของแผ่นไมโครสตริปและลักษณะการป้อนสัญญาณ โครงสร้างของไมโครสตริปจะประกอบด้วยตัวนำอยู่สองด้าน ด้านหนึ่งเรียกว่า แผ่นระนาบกราวด์และด้านที่สองใช้สำหรับการสร้างตัวป้อนสัญญาณลายวงจหรือสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นลงไป โดยส่วนใหญ่จะมีสารไดอิเล็กตริกซึ่งเรียกว่า วัสดุฐานรองที่เป็นสารไดอิเล็กตริก (Dielectric substrate) อยู่ตรงกลางมีความหนาของวัสดุฐานรอง (h) ส่วนคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุฐานรองแสดงด้วยค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric constant: ϵ_r) และค่าของมุมความสูญเสีย (Loss tangent: δ) โดยทั่วไปสายอากาศแบบไมโครสตริปจะมีโครงสร้างเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น เพื่อที่จะสามารถทำงานที่โหมดหลัก (Fundamental mode) คือ TM_{01} หรือ TM_{10} ที่ความถี่เรโซแนนซ์ได้ ซึ่งสายอากาศไมโครสตริปมีคุณสมบัติที่เป็นข้อได้เปรียบกว่าสายอากาศชนิดอื่น ๆ เช่น มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนและมีลักษณะแบนราบ น้ำหนักเบา ต้นทุนการผลิตต่ำ เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามสายอากาศไมโครสตริปโดยทั่วไปจะมีข้อเสีย คือ มีประสิทธิภาพต่ำ ค่า Q สูงทนกำลังงานได้ต่ำ ความบริสุทธิ์โพลาไรซ์ไม่ดี (Poor polarization purity) และช่วงกว้างแถบความถี่แคบ เป็นต้น

2.5.2.1 ความถี่เรโซแนนซ์สำหรับโพรง (Cavity Resonance)



รูปที่ 2.12 โครงสร้างไมโครสตริปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่เรโซแนนซ์สำหรับ โพรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าตามรูปที่ 2.12 สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$(f_r)_{mnp} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{L}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{W}\right)^2 + \left(\frac{p\pi}{h}\right)^2} \quad (2.1)$$

โดยที่

h คือ ความสูงของตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

L คือ ความยาวของตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

W คือ ความกว้างของตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

μ คือ ค่าความซึมซาบแม่เหล็ก

ϵ คือ ค่าสภาพยอมไฟฟ้า

m คือ จำนวนของการเปลี่ยนแปลงครึ่งรอบสนามในทิศทาง x

n คือ จำนวนของการเปลี่ยนแปลงครึ่งรอบสนามในทิศทาง y

p คือ จำนวนของการเปลี่ยนแปลงครึ่งรอบสนามในทิศทาง z

สำหรับสายอากาศไมโครสตริปที่มี $h \ll L$ และ $h \ll W$ สามารถหาความถี่เรโซแนนซ์ได้ตามสมการต่อไปนี้ คือ

เมื่อ $h < W < L$

จะทำให้เกิดโหมดเป็นใหญ่ (Dominant mode) เป็น TM_{100}^x และความถี่เรโซแนนซ์หาได้

ดังนี้ คือ

$$(f_r)_{100} = \frac{1}{2L\sqrt{\mu\epsilon}} = \frac{v_0}{2L\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.2)$$

โดยที่

v_0 คือ ความเร็วของแสง

ϵ_r คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรอง

เมื่อ $h < \frac{L}{2} < W < L$

จะทำให้เกิดโหมดที่สอง (Second mode) เป็น TM_{010}^x และความถี่เรโซแนนซ์หาได้ดังนี้

$$(f_r)_{010} = \frac{1}{2W\sqrt{\mu\epsilon}} = \frac{v_0}{2W\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ในกรณี $h < W < \frac{L}{2}$

จะทำให้เกิดโหมดที่สองเป็น TM_{200}^x แทนโหมด TM_{010}^x และสามารถหาความถี่เรโซแนนซ์ ได้ดังนี้

$$(f_r)_{200} = \frac{1}{L\sqrt{\mu\epsilon}} = \frac{v_0}{L\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.4)$$

และในกรณี $h < L < W$

จะทำให้เกิดโหมดเป็นใหญ่เป็น TM_{010}^x และสามารถหาความถี่เรโซแนนซ์ ได้จากสมการที่ 2.3

นอกจากนี้ยังพบอีกว่า ในกรณี $h < L < \frac{W}{2} < W$ จะทำให้เกิดโหมดที่สองเป็น TM_{020}^x

2.5.2.2 ลักษณะการป้อนสัญญาณ

กลไกการป้อนสัญญาณของสายอากาศไมโครสตริปจะขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของโครงสร้างสายอากาศ โดยทั่วไปเทคนิคการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศไมโครสตริปสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

1. เทคนิคการป้อนสัญญาณโดยการเชื่อมต่อโดยตรงกับตัวแพร่กระจายคลื่น นั่นคือเทคนิคการป้อนสัญญาณด้วยเส้นไมโครสตริป (Microstrip line) และเทคนิคการป้อนสัญญาณด้วยโพรบที่เป็นสายโคแอกเซียล (Coaxial probe)
2. เทคนิคการป้อนสัญญาณโดยการเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้า (Coupling) ซึ่งจะอาศัยหลักการเชื่อมต่อกันของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ นั่นคือเทคนิคการเชื่อมต่อผ่านทางช่องเชื่อมต่อ (Aperture coupling) และเทคนิคการเชื่อมต่อในระยะใกล้ (Proximity)

เทคนิคการป้อนสัญญาณด้วยเส้นไมโครสตริป เป็นการเชื่อมต่อโดยตรงกับขอบของตัวแพร่กระจายคลื่น เทคนิคนี้จะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อใช้กับวัสดุฐานรองที่บาง

เทคนิคการป้อนสัญญาณด้วยโพรบที่เป็นสายโคแอกเซียล เป็นการเชื่อมต่อโดยใช้ตัวนำด้านในของสายโคแอกเซียลเชื่อมต่อกับตัวแพร่กระจายคลื่นผ่านทางช่องในตัวกลางไดอิเล็กตริก ส่วนตัวนำด้านนอกเชื่อมต่อกับกราวด์ของสายอากาศไมโครสตริป ข้อดีของการป้อนสัญญาณแบบนี้ คือ สามารถป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศได้ทุกตำแหน่ง แต่ข้อเสีย คือ จะทำให้มีความกว้างแถบความถี่ที่แคบ

เทคนิคการเชื่อมต่อผ่านทางช่องเชื่อมต่อ เป็นการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศโดยที่เส้นไมโครสตริปจะแยกออกจากตัวแพร่กระจายด้วยระยะกราวด์ ดังนั้นการป้อนสัญญาณจากเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครสตริปให้กับตัวแพร่กระจายคลื่นจึงอาศัยการเชื่อมต่อผ่านทางช่องเชื่อมต่อบนระนาบกราวนด์ เนื่องจากการป้อนสัญญาณแบบนี้ทำให้สายอากาศมีหลายชั้นจึงทำให้มีประสิทธิภาพต่ำกว่าเทคนิคการป้อนสัญญาณวิธีอื่น ๆ แต่ทำการออกแบบได้ง่าย

เทคนิคการเชื่อมต่อในระยะใกล้ จะมีเส้นไมโครสตริปอยู่ระหว่างวัสดุฐานรองสองชนิดที่ต่างกัน และมีตัวแพร่กระจายคลื่นอยู่บนวัสดุฐานรองชั้นบน ส่วนระนาบกราวนด์จะอยู่ด้านล่างของวัสดุฐานรองชั้นล่าง

2.5.2.3 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์หรือรูปที่ใช้เพื่อแสดงคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ ซึ่งสามารถแสดงถึงค่าของความหนาแน่นของกำลังการแพร่กระจายคลื่น (Power density) ความเข้มของสนาม (Field intensity) เฟสหรือการโพลาไรซ์ ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้มีการกระจายตัวใน 3 มิติ สามารถแสดงได้โดยการใช้ระบบพิกัดแบบ 3 มิติ และโดยทั่วไปแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นนั้น จะพิจารณาในบริเวณสนามระยะไกล (Far field zone)

1. ลำคลื่นของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation pattern lobes)

ลำคลื่นของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นบริเวณที่ปิดล้อมด้วยส่วนที่มีความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งแสดงในแกนเชิงขั้ว 3 มิติ ประกอบไปด้วยลำคลื่นต่าง ๆ คือ ลำคลื่นหลัก (Major or Main lobe) ลำคลื่นย่อย (Minor lobes) ลำคลื่นย่อยด้านข้าง (Side lobe) และลำคลื่นย่อยด้านหลัง (Back lobes)

ลำคลื่นหลัก คือ ลำคลื่นของสายอากาศที่มีความแรงมากกว่าลำคลื่นอื่น

ลำคลื่นย่อย คือ ลำคลื่นอื่นใดนอกเหนือจากลำคลื่นหลัก ซึ่งโดยทั่วไปจะมีความแรงน้อยกว่าลำคลื่นหลัก สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. ลำคลื่นย่อยด้านข้าง คือ ลำคลื่นย่อยที่มีทิศทางในระนาบเดียวกับลำคลื่นหลัก
2. ลำคลื่นย่อยด้านหลัง คือ ลำคลื่นย่อยที่มีทิศทางในระนาบตรงกันข้ามกับลำคลื่นหลัก

ลำคลื่นในทิศทางที่ไม่ต้องการ (Grating lobe) คือ ลำคลื่นย่อยที่มีขนาดใกล้เคียงกับลำคลื่นหลักแต่เกิดในทิศทางที่ไม่ต้องการ

ดังนั้นสายอากาศที่ดีต้องจำกัดลำคลื่นที่ไม่ต้องการให้มากที่สุด ระดับของลำคลื่นย่อยมักแสดงในรูปของค่าอัตราส่วนของความหนาแน่นของพลังงานในลำคลื่นที่สนใจต่อความหนาแน่นพลังงานในลำคลื่นหลัก เรียกว่า อัตราส่วนของลำคลื่นย่อยด้านข้าง (Side lobe ratio) หรือระดับของลำคลื่นย่อยด้านข้าง (Side lobe level) โดยทั่วไปในทางปฏิบัติต้องการให้ระดับของลำคลื่นด้านข้างน้อยกว่า -20 dB

2. ขอบเขตของสนาม (Field regions)

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

สนามระยะใกล้รีแอคทีฟ คือ ขอบเขตของสนามระยะใกล้ที่ติดกับสายอากาศซึ่งใช้หลักการรีแอคทีฟ

สนามระยะใกล้ที่แผ่กระจายคลื่น คือ ขอบเขตของสนามของสายอากาศระหว่างสนามระยะใกล้รีแอคทีฟและสนามระยะไกล ถ้ามิติที่ใหญ่ที่สุดของสายอากาศน้อยกว่าความยาวคลื่น ดังนั้นอาจจะไม่ปรากฏขอบเขตนี้ ขอบเขตด้านในมีระยะเป็น $R \geq 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$ และขอบเขตด้านนอกเป็น $R < 2D^2/\lambda$ โดยที่ D คือ มิติที่ใหญ่ที่สุดของสายอากาศ

สนามระยะไกล คือ ขอบเขตของสนามของสายอากาศซึ่งการแผ่กระจายของสนามไม่ขึ้นกับระยะทางจากสายอากาศ ขอบเขตด้านในมีระยะเป็น $R = 2D^2/\lambda$

2.5.2.4 ความกว้างลำคลื่น (Beamwidth)

ความกว้างลำคลื่น คือ มุมที่รองรับระหว่าง 2 ตำแหน่งที่มีความแรงเท่ากันแต่อยู่ด้านตรงข้ามกันของลำคลื่นหลัก โดยทั่วไปจะพิจารณาความกว้างลำคลื่น 2 ค่า คือ ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (Half power beamwidth) และความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์คู่แรก (First null beamwidth)

ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง คือ ความกว้างของลำคลื่นที่มีกำลังงานลดลงครึ่งหนึ่งของกำลังงานที่มากที่สุด ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่ง -3 dB ลงมาจากค่ากำลังงานที่มากที่สุด

ความกว้างลำคลื่นที่ตำแหน่งศูนย์คู่แรก คือ ความกว้างลำคลื่นที่ตำแหน่งศูนย์คู่แรก

อัตราส่วนลำคลื่นย่อยต่อลำคลื่นหลัก (Side lobe level: SLL) คือ อัตราส่วนของลำคลื่นย่อยต่อลำคลื่นหลัก

อัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อย (Side lobe ratio: SLR) คือ อัตราส่วนของลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อย

2.5.2.5 ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น (Radiation Intensity)

ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น คือ กำลังงานที่แผ่กระจายออกจากสายอากาศต่อหน่วยมุมตัน ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ในการแสดงคุณสมบัติของสายอากาศที่เกี่ยวกับสนามระยะไกล สามารถหาได้จากผลคูณของความหนาแน่นของการแผ่กระจายคลื่นกับระยะทางยกกำลังสอง

กำลังงานทั้งหมดหาได้จากการอินทิเกรตความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นตลอดมุมตันของ 4π

2.5.2.6 ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity)

ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง คือ อัตราส่วนของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นที่มากที่สุดต่อความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบไอโซทรอปิก (Isotropic) ถ้าไม่มีการระบุทิศทาง หมายความว่า ทิศทางที่มีความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นที่มากที่สุด

สำหรับสายอากาศที่มีการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบไอโซทรอปิก (Isotropic) จะมีค่าสภาพเจาะจงทิศทางเท่ากับหนึ่ง เนื่องจากค่าความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (U) ค่าความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นที่มากที่สุด (U_{\max}) และค่าความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบไอโซทรอปิก (Isotropic) มีค่าเท่ากัน

โดยทั่วไปค่าสภาพเจาะจงทิศทางจะแสดงในหน่วยของเดซิเบล (dB) ซึ่งสามารถหาได้จากการแปลงค่าสภาพเจาะจงทิศทางที่ไม่มีหน่วย (Dimensionless)

2.5.2.7 ประสิทธิภาพของสายอากาศ (Antenna Efficiency)

ประสิทธิภาพของสายอากาศจะใช้เพื่อคำนึงถึงค่าการสูญเสียในส่วนต่าง ๆ ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ การสูญเสียจากการไม่แมตช์ของสายนำสัญญาณกับสายอากาศและการสูญเสียภายในตัวสายอากาศ เช่น การสูญเสียในตัวนำ การสูญเสียในสารไดอิเล็กตริก เป็นต้น

โดยปกติแล้วในการทดสอบสายอากาศเพื่อหาค่าประสิทธิภาพนั้น พบว่าค่าประสิทธิภาพการสะท้อนของสายอากาศและค่าประสิทธิภาพของการสูญเสียในตัวนำไม่สามารถแยกออกจากกันได้ ดังนั้นค่าประสิทธิภาพรวมของสายอากาศ

2.5.2.8 อัตราขยาย (Gain)

อัตราขยายของสายอากาศ คือ อัตราส่วนของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่ต้องการต่อความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบไอโซทรอปิก โดยที่ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นมีความสัมพันธ์กับกำลังงานในการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบไอโซทรอปิกและมีค่าเท่ากับกำลังงานที่สายอากาศได้รับ (P_m) หากด้วย 4π อัตราขยายของสายอากาศโดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ อัตราขยายที่ไม่ได้คิดผลของการสูญเสียจากการสะท้อนและความไม่ตรงกันของโพลาริซชันของสายอากาศ และอัตราขยายที่คิดรวมผลของการสูญเสียจากการสะท้อนและความไม่ตรงกันของโพลาริซชันของสายอากาศ

2.5.2.9 ช่วงกว้างแถบความถี่

ช่วงกว้างแถบความถี่ของสายอากาศถูกกำหนดให้เป็นช่วงความถี่ที่สายอากาศมีคุณลักษณะอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดให้หรืออาจจะเป็นช่วงความถี่ที่สายอากาศมีคุณลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ อิมพีแดนซ์ด้านเข้า แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ความกว้างของลำคลื่น การโพลาริซชัน อัตราขยาย ประสิทธิภาพของสายอากาศ ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง เป็นต้น ที่สามารถทำงานได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากคุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศ พบว่า แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นและอิมพีแดนซ์ด้านเข้าจะเป็นตัวกำหนดช่วงกว้างแถบความถี่ที่ใช้งานของสายอากาศ โดยที่แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในช่วงความถี่ที่ใช้งานจะต้องมีความเหมาะสมกับการนำไปใช้งาน และอัตราส่วนคลื่นนิ่งต้องมีค่าไม่เกิน 2:1

ช่วงกว้างแถบความถี่ที่ใช้งานของสายอากาศสามารถแบ่งออกได้เป็น ดังนี้ คือ

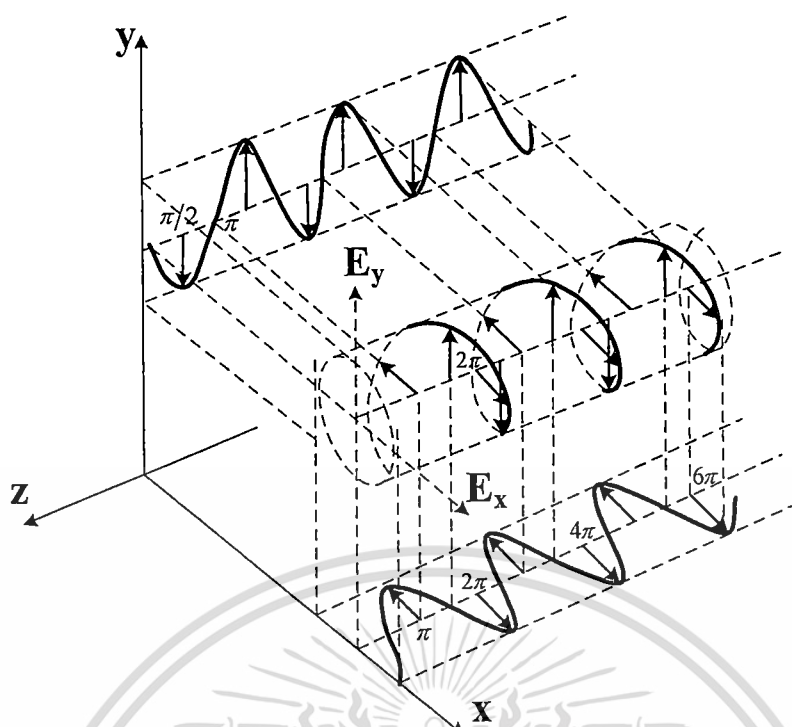
- สายอากาศที่มีช่วงกว้างแถบความถี่แคบ (Narrowband antenna) คือ สายอากาศที่มีการใช้งานในช่วงความถี่แคบ ซึ่งจะแสดงช่วงกว้างแถบความถี่เป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับความถี่กลาง
- สายอากาศที่มีช่วงกว้างแถบความถี่กว้าง (Wideband antenna) คือ สายอากาศที่มีการใช้งานในช่วงความถี่กว้าง ซึ่งโดยทั่วไปจะมีค่า f_H มากกว่า f_L ประมาณ 40 เท่า และจะแสดงเป็นอัตราส่วน
- สายอากาศที่มีอิสระจากความถี่ (Frequency independent antenna) คือ สายอากาศที่มีการใช้งานในช่วงความถี่กว้างมาก ซึ่งโดยทั่วไปจะมีค่า f_H มากกว่า f_L ประมาณ 80 เท่า

โดยที่

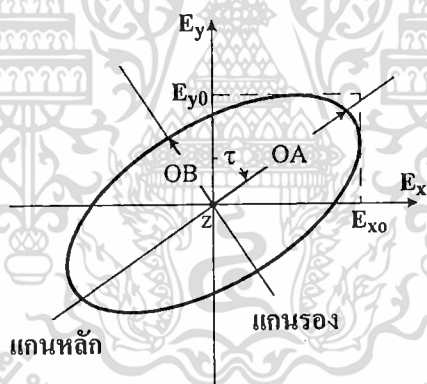
- f_H คือ ความถี่ที่สูงกว่า f_L
 f_L คือ ความถี่ที่ต่ำกว่า f_H
 f_c คือ ความถี่กลางระหว่าง f_H และ f_L

2.5.2.10 การโพลาไรซ์

การโพลาไรซ์ คือ ทิศทางของสนามไฟฟ้า (E) ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อคลื่นเดินทาง โดยการมองตามหลังคลื่น การโพลาไรซ์สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ การโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น (Linear polarization: LP) การโพลาไรซ์แบบเชิงวงกลม (Circular polarization: CP) การโพลาไรซ์แบบเชิงวงรี (Elliptical polarization: EP)



(ก) การหมุนของคลื่น



(ข) วงรีของการโพลาไรซ์

รูปที่ 2.13 การหมุนของคลื่นระนาบแม่เหล็กไฟฟ้าและวงรีของการโพลาไรซ์ที่ $z = 0$ [6]

การโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น คือ ทิศทางของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) คงที่ตลอดการเดินทางของคลื่น

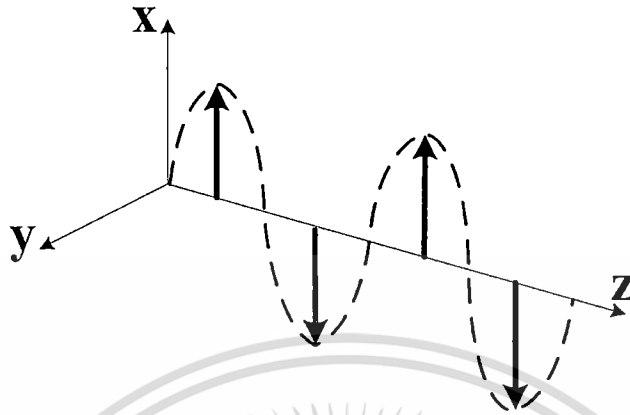
สำหรับคลื่นที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น ซึ่งจะมีความแตกต่างของเฟสระหว่างองค์ประกอบของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) ในแนวตั้งและในแนวนอน เป็นดังนี้

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = n\pi, \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

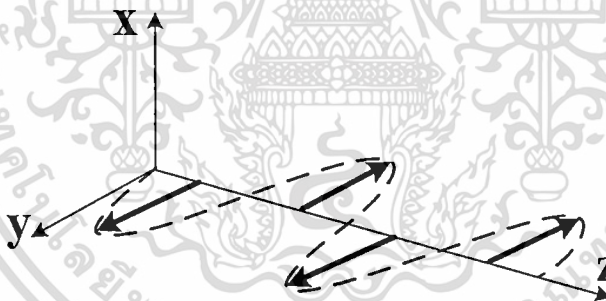
สามารถแบ่งชนิดของการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นออกได้เป็น 3 ชนิดหลัก ๆ คือ

- การโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นแนวตั้ง (Vertical polarization: VP) คือ ทิศทางของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) คงที่ในแนวตั้งตลอดการเดินทางของคลื่น แสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นแนวตั้ง

- การโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นแนวนอน (Horizontal polarization: HP) คือ ทิศทางของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) คงที่ในแนวนอนตลอดการเดินทางของคลื่น แสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นแนวนอน

- การโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นแนวเฉียง (Slant polarization: SP) คือ ทิศทางของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) คงที่ในแนวเฉียงตลอดการเดินทางของคลื่น

การโพลาไรซ์แบบเชิงวงกลม คือ ทิศทางของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) จะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ซึ่งจะมีลักษณะเป็นวงกลมที่เป็นฟังก์ชันของเวลา โดยมีเงื่อนไขที่จำเป็นในการเกิดโพลาไรซ์แบบเชิงวงกลม ดังนี้ คือ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าคลื่นแพร่กระจายไปในทิศทาง $-z$ สามารถหาค่าความต่างของเฟสของสนามไฟฟ้า (\bar{E}) ในแนวตั้งและในแนวนอน ได้ตามสมการดังต่อไปนี้

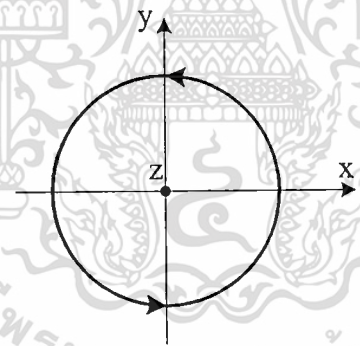
$$|E_x| = |E_y| \Rightarrow E_{x0} = E_{y0} \quad (2.6)$$

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = +\left(\frac{1}{2} + 2n\right)\pi, \quad n = 0, 1, 2, \dots \text{ สำหรับ } CW \quad (2.7)$$

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = -\left(\frac{1}{2} + 2n\right)\pi \quad n = 0, 1, 2, \dots \text{ สำหรับ } CCW \quad (2.8)$$

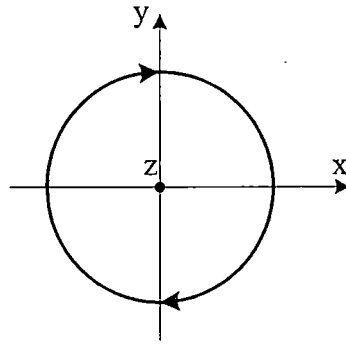
จากสมการที่ 2.7 และ 2.8 พบว่า สามารถแบ่งการโพลาไรซ์แบบเชิงวงกลมออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

- การโพลาไรซ์แบบเชิงวงกลมหมุนขวา (Right-handed CP) คือ ทิศทางของสนามไฟฟ้า (\bar{E}) จะหมุนตามเข็มนาฬิกา (Clockwise: CW) เมื่อมองไปในทิศทางที่แพร่กระจายคลื่น (ทิศทาง z) แสดงดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 การโพลาไรซ์แบบเชิงวงกลมหมุนขวา (Right-handed CP)

- การโพลาไรซ์แบบเชิงวงกลมหมุนซ้าย (Left-handed CP) คือ ทิศทางของสนามไฟฟ้า (\bar{E}) จะหมุนทวนเข็มนาฬิกา (Counter clockwise: CCW) เมื่อมองไปในทิศทางที่แพร่กระจายคลื่น (ทิศทาง z) แสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 การโพลาไรซ์แบบเชิงวงกลมหมุนซ้าย (Left-handed CP)

การโพลาไรซ์แบบเชิงวงรี คือ ทิศทางของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) จะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เงื่อนไขที่จำเป็นในการเกิดโพลาไรซ์ชนิดนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

- กรณี 1: 1) ต้องมีองค์ประกอบของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) แบบเชิงเส้น 2 องค์ประกอบ
 2) ถ้าองค์ประกอบของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) ทั้งสองต้องมีขนาดที่เท่ากันแล้ว
 3.) องค์ประกอบของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) ทั้งสอง ต้องมีเฟสต่างกันไม่เท่ากับจำนวน

เท่าของ $\frac{\pi}{2}$

$$|E_x| = |E_y| \Rightarrow E_{x0} = E_{y0} \quad (2.9)$$

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x \neq \pm \frac{n}{2}\pi > 0, n=0,1,2,3,\dots \text{ สำหรับ } CW \quad (2.10)$$

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x \neq \pm \frac{n}{2}\pi < 0, n=0,1,2,3,\dots \text{ สำหรับ } CCW \quad (2.11)$$

- กรณี 2: 1) ต้องมีองค์ประกอบของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) แบบเชิงเส้น 2 องค์ประกอบ
 2) ถ้าองค์ประกอบของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) ทั้งสองต้องมีขนาดที่ไม่เท่ากันแล้ว
 3) องค์ประกอบของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) ทั้งสอง ต้องมีเฟสต่างกันไม่เท่ากับจำนวน

เท่าของ π

$$|E_x| \neq |E_y| \Rightarrow E_{x0} \neq E_{y0} \quad (2.12)$$

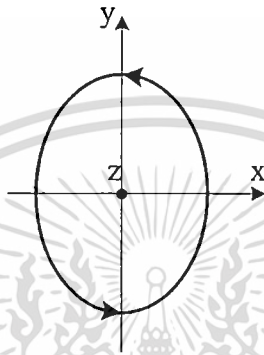
$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = +\left(\frac{1}{2} + 2n\right)\pi \quad n=0,1,2,\dots \text{ สำหรับ } CW \quad (2.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta\varphi = \varphi_y - \varphi_x = -\left(\frac{1}{2} + 2n\right)\pi \quad n=0,1,2,\dots \text{ สำหรับ } CCW \quad (2.14)$$

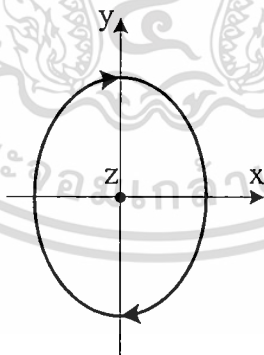
จากสมการที่ 2.9 ถึง 2.14 สามารถแบ่งการโพลาไรซ์แบบเชิงวงรีออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

- การโพลาไรซ์แบบเชิงวงรีหุมนขวา (Right-handed EP) คือ ทิศทางของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) จะหมุนตามเข็มนาฬิกา เมื่อมองไปในทิศทางที่แพร่กระจายคลื่น (ทิศทาง z) แสดงดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 การโพลาไรซ์แบบเชิงวงรีหุมนขวา (Right-handed EP)

- การโพลาไรซ์แบบเชิงวงรีหุมนซ้าย (Left-handed EP) คือ ทิศทางของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) จะหมุนทวนเข็มนาฬิกา เมื่อมองไปในทิศทางที่แพร่กระจายคลื่น (ทิศทาง z) แสดงดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 การโพลาไรซ์แบบเชิงวงรีหุมนซ้าย (Left-handed EP)

ในกรณีของการโพลาไรซ์แบบเชิงวงรีจะมีเส้นการกวาดของเวกเตอร์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามเวลา โดยทั่วไปจะแสดงในรูปของวงรีที่มีมุมเอียง (Tilted ellipse) ดังแสดงในรูปที่ 2.13 (ข) โดยอัตราส่วนของแกนหลัก (Major axis) ต่อแกนรอง (Minor axis) เรียกว่า อัตราส่วนของแกน (Axial ratio) สามารถแสดงในรูปของสมการได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$AR = \frac{\text{Major axis}}{\text{Minor axis}} = \frac{OA}{OB} = \frac{|E|_{\max}}{|E|_{\min}} \quad (2.15)$$

$$OA = \left[\frac{1}{2} \left\{ E_{x0}^2 + E_{y0}^2 + [E_{x0}^4 + E_{y0}^4 + 2E_{x0}^2 E_{y0}^2 \cos(2\Delta\phi)]^{1/2} \right\} \right]^{1/2} \quad (2.16)$$

$$OB = \left[\frac{1}{2} \left\{ E_{x0}^2 + E_{y0}^2 - [E_{x0}^4 + E_{y0}^4 + 2E_{x0}^2 E_{y0}^2 \cos(2\Delta\phi)]^{1/2} \right\} \right]^{1/2} \quad (2.17)$$

มุมเอียงของวงรีเมื่อเทียบกับแกน y จะแทนด้วยมุม τ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้ คือ

$$\tau = \frac{\pi}{2} - \frac{1}{2} \tan^{-1} \left[\frac{2E_{x0}E_{y0}}{E_{x0}^2 - E_{y0}^2} \cos(\Delta\phi) \right] \quad (2.18)$$

การจำแนกชนิดของการโพลาไรซ์จะพิจารณาได้จากค่าอัตราส่วนของแกน (Axial ratio: AR) ที่แสดงดังสมการที่ 2.15

ผลที่ได้จากสมการที่ 2.15 สามารถแบ่งชนิดของการโพลาไรซ์ออกได้เป็น 3 กรณีดังนี้
กรณีที่ 1 โพลาริซ์แบบเชิงเส้น (LP) ซึ่งจะมีเฉพาะค่า $|E|_{\max}$ ($|E|_{\min} = 0$) นั่นคือ

$$AR = \frac{|E|_{\max}}{0} = \infty \quad (2.19)$$

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

$$AR = \frac{|E|_{\max}}{|E|_{\min}} = 1 \quad (2.20)$$

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

$$1 < AR < \infty \quad (2.21)$$

สายอากาศที่มีการโพลาไรซ์เป็นแบบเชิงเส้น มีข้อดี คือ สายอากาศสร้างง่ายแต่จะเกิดการสูญเสียเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโพลาไรซ์มีค่าสูง ส่วนสายอากาศที่มีการโพลาไรซ์เป็นแบบวงกลม มีข้อดี คือ การสูญเสียที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงโพลาไรซ์มีค่าต่ำ แต่สายอากาศสร้างยากกว่าสายอากาศแบบเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 เทคโนโลยีของระบบระบุลักษณะทางคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้หลักการสื่อสารแบบการเชื่อมต่อที่ระยะสนามระยะไกล

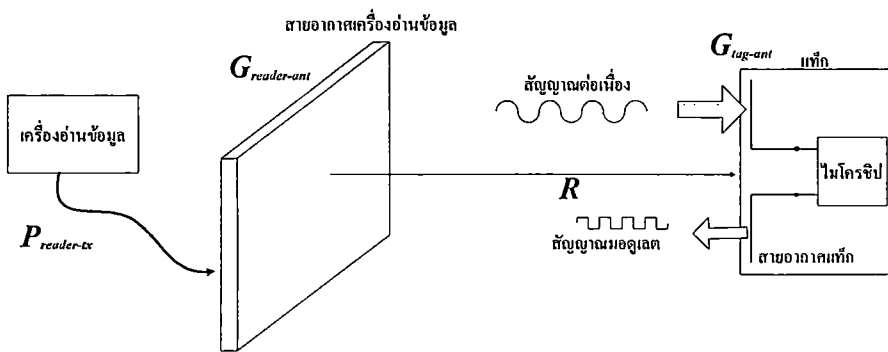
ระบบระบุลักษณะทางคลื่นความถี่วิทยุในสนามระยะไกล จะใช้หลักการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โครงสร้างของแท่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ แผงวงจรหรือชิป ที่เก็บบันทึกข้อมูลต่าง ๆ และสายอากาศสำหรับรับและส่งสัญญาณ

2.5.3.1 การออกแบบสายอากาศของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ

หลักเกณฑ์ที่สำคัญที่สุดสำหรับสมรรถนะของระบบระบุลักษณะทางคลื่นความถี่วิทยุ คือ ระยะทางในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท่ง ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าแท่งประกอบด้วยสายอากาศและชิป ซึ่งคุณลักษณะของชิปจะถูกกำหนดจากทางผู้ผลิตโดยที่ผู้ใช้ไม่สามารถแก้ไขได้ ในการออกแบบสายอากาศเพื่อที่จะให้ได้ระยะการติดต่อสื่อสารที่มากที่สุดโดยที่ได้ทำการเลือกชิปไว้แล้ว รวมทั้งอยู่ภายใต้ข้อจำกัดต่าง ๆ เช่น ขนาดของสายอากาศ ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น และราคา เป็นต้น

2.5.3.2 หลักการทำงาน

สำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นความถี่วิทยุในสนามระยะไกลนั้น สายอากาศมีความสำคัญต่อสมรรถนะและความน่าเชื่อถือของระบบ เนื่องมาจากหลักการทำงานนี้จะอาศัยการแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านทางสายอากาศ ในรูปที่ 2.20 แสดงหลักการทำงานของระบบระบุลักษณะทางคลื่นความถี่วิทยุแบบพาสซีฟในสนามระยะไกล เครื่องอ่านข้อมูลจะส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุที่มีความต่อเนื่องซึ่งบรรจุกำลังงานและสัญญาณนาฬิกาออกไปยังแท่ง หลังจากนั้นสายอากาศของแท่งจะเหนี่ยวนำแรงดัน RF แล้วแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อป้อนให้กับชิป โดยทั่วไปแรงดันที่ชิปใช้ในการอ่านข้อมูลมีค่าประมาณ 1.2 v ส่วนการเขียนข้อมูลแรงดันที่ชิปใช้ประมาณ 2.2 v เมื่อชิปได้รับกำลังงานที่เพียงพอจะทำการส่งข้อมูลโดยการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้ากลับไปยังเครื่องอ่านข้อมูล โดยทั่วไปอิมพีแดนซ์จะมีอยู่ 2 สถานะ คือ ค่าอิมพีแดนซ์ที่เป็นคอนจูเกตแมตซ์และค่าอิมพีแดนซ์ค่าอื่นบางค่า เพื่อไว้สำหรับมอดูเลตกับสัญญาณที่เกิดการกระจายย้อนกลับไปยังเครื่องอ่านข้อมูล



รูปที่ 2.20 กำลังงานและกลไกของการติดต่อสื่อสารสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นความถี่วิทยุในสนามระยะใกล้

2.5.3.3 การติดต่อสื่อสารของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุในสนามระยะใกล้

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

1. การติดต่อสื่อสารจากเครื่องอ่านข้อมูลไปยังแท็ก

เนื่องจากการทำงานของแท็กนั้นเป็นแบบพาสซีฟ คือ ไม่มีแหล่งกำลังงานภายในเป็นของตัวเอง จึงจำเป็นต้องรับกำลังงานมาจากเครื่องอ่านข้อมูลโดยตรง ด้วยเหตุนี้ จึงต้องมีการออกแบบระบบสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูล (ซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องส่งทั้งข้อมูลและกำลังงานไปในตัว) ให้สามารถส่งกำลังงานที่มีค่าสูงพอให้สามารถแพร่กระจายไปในพื้นที่ใช้งาน และสามารถทำให้สายอากาศของแท็กได้รับกำลังงานที่เพียงพอในการสั่งให้ชิปภายในแท็กทำงาน

เทคโนโลยีของระบบระบุลักษณะทางคลื่นความถี่วิทยุแบบการเชื่อมต่อระยะสนามระยะใกล้นั้นเป็นหลักการที่ใช้งานที่ความถี่สูง เช่น ย่านความถี่เอชเอฟและย่านความถี่ไมโครเวฟ เป็นต้น

ในรูปที่ 2.20 แสดงระบบระบุลักษณะทางคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้หลักการการเชื่อมต่อระยะสนามระยะใกล้ ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าต่าง ๆ ได้ เช่น กำลังที่ส่งออกมาจากเครื่องอ่านข้อมูล อัตราขยายของสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูล เป็นต้น

จากสมการการส่งสัญญาณในช่องว่างอิสระของฟรีส (Friis free-space transmission) สามารถหาค่ากำลังงานที่สายอากาศของแท็กได้รับ ได้ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_{tag-ant} = \left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2 P_{reader-ant} G_{reader-ant} G_{tag-ant} \chi \quad (2.22)$$

โดยที่

$P_{reader-ant}$	คือ กำลังงานที่ส่งออกมาจากเครื่องอ่านข้อมูล
$G_{reader-ant}$	คือ อัตราขยายของสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูล
R	คือ ระยะทางระหว่างสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก
$G_{tag-ant}$	คือ อัตราขยายของสายอากาศของแท็ก
λ	คือ ความยาวคลื่นในช่องว่างที่ความถี่ใช้งาน
χ	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแมตซ์ซิ่งของการโพลาไรซ์ระหว่างสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลและสายอากาศของแท็ก

ถ้าสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลกับสายอากาศของแท็กมีการโพลาไรซ์ที่ตรงกันจะมีค่าสัมประสิทธิ์การแมตซ์ซิ่งของการโพลาไรซ์เท่ากับ 1 หรือ 0 dB แต่ในการติดต่อสื่อสารของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุในสนามระยะไกลโดยทั่วไปสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลจะมีการโพลาไรซ์เป็นแบบวงกลมและสายอากาศของแท็กจะมีโพลาไรซ์เป็นแบบเชิงเส้น ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การแมตซ์ซิ่งของการโพลาไรซ์มีค่าเท่ากับ 0.5 หรือ -3 dB

กำลังงานบางส่วนที่สายอากาศของแท็กรับมาได้จะถูกส่งต่อไปยังชิป ซึ่งมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$P_{tag-chip} = \tau P_{tag-ant} \quad (2.23)$$

โดยที่

τ คือ สัมประสิทธิ์กำลังงานการส่งผ่าน (Transmission power coefficient)

ดังนั้นระยะทางที่เครื่องอ่านข้อมูลสามารถอ่านได้ไกลที่สุด คือ เมื่อ $P_{tag-chip}$ มีค่าเท่ากับกำลังงานที่น้อยที่สุดที่สามารถทำให้ชิปทำงานได้ ($P_{tag-threshold}$) และสามารถหาระยะทางที่มากที่สุดแสดงดังสมการนี้ คือ

$$R_{\max(reader)} = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_{reader-tx} G_{reader-ant} G_{tag-ant} \chi \tau}{P_{tag-threshold}}} \quad (2.24)$$

หรือ

$$R_{\max(reader)} = 10^\alpha \text{ (m)} \quad (2.25)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$$\alpha = 27.6 - 20 \log[f(\text{MHz})] + P_{\text{reader-tx}} (\text{dBm}) + G_{\text{reader-ant}} (\text{dBic}) + \frac{G_{\text{tag-ant}} (\text{dBi}) + \chi (\text{dB}) + \tau (\text{dB}) - P_{\text{tag-threshold}} (\text{dBm})}{20} \quad (2.26)$$

2. การติดต่อสื่อสารจากแท็กกลับมายังเครื่องอ่านข้อมูล

มาตรฐานของระบบระบุลักษณะทางคลื่นความถี่วิทยุแบบการเชื่อมต่อระยะสนามระยะไกล กำหนดรูปแบบการส่งข้อมูลจากแท็กมายังเครื่องอ่านข้อมูล โดยอาศัยเทคโนโลยีที่เป็น การแพร่กระจายคลื่นความถี่วิทยุกลับมายังเครื่องอ่านข้อมูล คือ การกระจายย้อนกลับ การติดต่อสื่อสารจากแท็กไปยังเครื่องอ่านข้อมูลด้วยวิธีการกระจายย้อนกลับนี้จะขึ้นอยู่กับความแรงของสนามที่เกิดการกระจายย้อนกลับของแท็ก บนพื้นฐานของสมการ Monostatic หรือ Backscatter radar สามารถหาค่ากำลังงานของสัญญาณมอดูเลตที่เครื่องอ่านข้อมูลรับได้ คือ

$$P_{\text{reader-rx}} = \frac{\lambda}{(4\pi)^3 R^4} P_{\text{reader-tx}} G_{\text{reader-ant}}^2 \chi \sigma \quad (2.27)$$

โดยที่

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

เมื่อกำลังงานที่รับได้มีค่าเท่ากับความไวในการตอบสนองของเครื่องอ่านข้อมูล ($P_{\text{tag-threshold}}$) จะทำให้ได้ระยะทางที่มากที่สุดสำหรับการติดต่อสื่อสารด้วยการกระจายย้อนกลับและสามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$R_{\text{max(Backscatter)}} = \sqrt[4]{\frac{\lambda P_{\text{reader-tx}} G_{\text{reader-ant}}^2 \chi \sigma}{(4\pi)^3 P_{\text{reader-threshold}}}} \quad (2.28)$$

หรือ

$$R_{\text{max(Backscatter)}} = 10^\beta \quad (\text{m}) \quad (2.29)$$

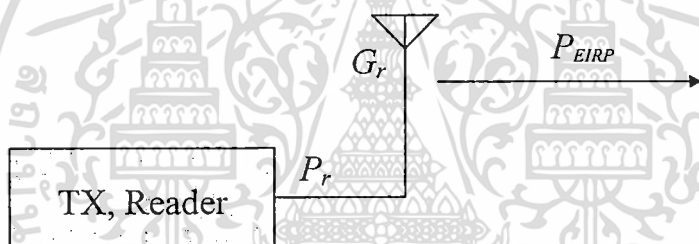
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$$\beta = 16.6 - 20 \log [f(\text{MHz})] + P_{\text{reader-tx}}(\text{dBm}) + 2G_{\text{reader-ant}}(\text{dBic}) + \frac{\chi(\text{dB}) + \sigma(\text{dBsm}) - P_{\text{reader-threshold}}(\text{dBm})}{40} \quad (2.30)$$

จากสมการที่ได้กล่าวมาข้างต้น พบว่าระยะทางในการอ่านของเครื่องอ่านข้อมูลขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ แต่มีพารามิเตอร์อยู่ 2 ตัว ที่สามารถทราบค่าได้ก่อนจากการเลือกเครื่องอ่านข้อมูลและตัวชิป คือ ค่ากำลังงานที่น้อยที่สุดที่สามารถทำให้ชิปทำงานได้ ($P_{\text{tag-threshold}}$) และค่าความไวในการตอบสนองของเครื่องอ่านข้อมูล ($P_{\text{reader-threshold}}$)

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



รูปที่ 2.21 กำลังงานการแพร่กระจายคลื่นประสิทธิภาพไอโซทรอปิก

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ระยะทางในการอ่านที่มากที่สุดเป็นส่วนหนึ่งกับกำลังงานด้านออกของเครื่องอ่านข้อมูลและอัตราขยายของสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูล นั่นคือ ถ้ากำลังงานและอัตราขยายของเครื่องอ่านข้อมูลมีค่าสูงจะทำให้ระยะทางการอ่านสูงขึ้นตามไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามในการส่งกำลังงานด้านออกของเครื่องอ่านข้อมูลต้องเป็นไปตามมาตรฐานข้อบังคับของแต่ละประเทศ เช่น

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

$$P_{EIRP} = P_{\text{reader-tx}} G_{\text{reader-ant}} \quad (2.31)$$

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

$$P_{EIRP} = 1.64P_{ERP} \quad (2.32)$$

2.5.3.5 ค่าสัมประสิทธิ์กำลังงานการส่งผ่าน

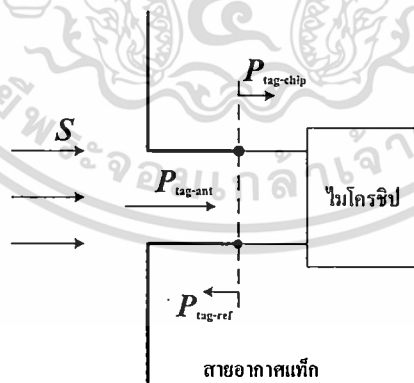
พิจารณาพื้นที่ประสิทธิผล (A_{e-max}) ของสายอากาศของแท่งที่วางอยู่ในสนามของสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลซึ่งมีความหนาแน่นกำลังงาน (S : W/m^2) แท่งจะได้รับกำลังงานและส่งต่อไปยังรอยต่อระหว่างสายอากาศและชิปที่มีอิมพีแดนซ์เป็น Z_T กำลังงานส่วนหนึ่งจะส่งผ่านไปยังชิป ในขณะที่บางส่วนจะถูกสะท้อนกลับและแพร่กระจายอีกครั้งหนึ่งที่สายอากาศ กำลังงานที่แท่งรับได้และกำลังงานที่ส่งต่อไปยังชิป คือ

$$P_{tag-ant} = SA_{e-max} \quad (2.33)$$

และ

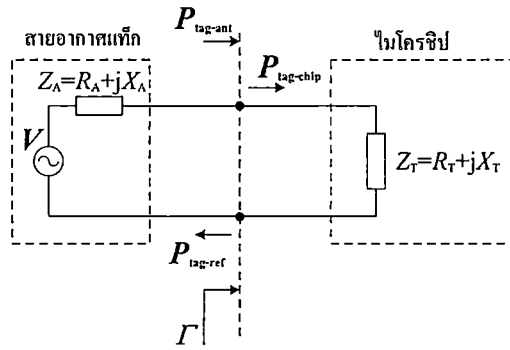
$$P_{tag-chip} = \tau P_{tag-ant} \quad (2.34)$$

ค่าสัมประสิทธิ์กำลังงานการส่งผ่านจะถูกกำหนดโดยค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ Z_A ของแท่งและอิมพีแดนซ์ของชิป Z_T ซึ่งขึ้นอยู่กับความถี่และกำลังงานที่จ่ายให้ชิป



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 2.22 กำลังงานที่ส่งมายังแท่งและวงจรสมมูล

(ก) กำลังงานที่ส่งมายังโครงสร้างของแท่ง (ข) วงจรสมมูล

จากรูปที่ 2.22 แสดงวงจรสมมูล อิมพีแดนซ์ของชิป Z_T จะรวมผลของตัวล่องที่ใส่ชิปด้วย โดยที่อิมพีแดนซ์ของทั้งสายอากาศและชิปจะขึ้นอยู่กับความถี่ จากค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (Γ) คือ

$$\Gamma = \frac{Z_T - Z_A^*}{Z_T + Z_A}, \quad 0 \leq |\Gamma| \leq 1 \quad (2.35)$$

โดยที่

$$Z_T = R_T + jX_T \quad (2.36)$$

$$Z_A = R_A + jX_A \quad (2.37)$$

Z_A^* คือ ค่าสังยุคของ Z_A
กำลังงานที่ส่งไปยังชิป คือ

$$P_{\text{tag-chip}} = (1 - |\Gamma|^2) P_{\text{tag-ant}} \quad (2.38)$$

สัมประสิทธิ์กำลังงานการส่งผ่านสามารถเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$\tau = \frac{P_{\text{tag-chip}}}{P_{\text{tag-ant}}} = 1 - |\Gamma|^2 = \frac{4R_A R_T}{(R_A + R_T)^2 + (X_A + X_T)^2}, \quad 0 \leq \tau \leq 1 \quad (2.39)$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_{tag-chip-max} = P_{tag-ant} = SA_{e-max} \quad (2.40)$$

ในขณะที่สายอากาศถูกทำให้ลัดวงจร นั่นคือ อิมพีแดนซ์ของชิปมีค่าเท่ากับ 0 ($R_T = 0$) และ $X_T = -X_A$ ส่งผลให้ $|\Gamma| = 1$ และ $\tau = 0$ ดังนั้นจะไม่มีกำลังงานส่งไปยังชิป

ในการจำลองหรือการทดสอบสายอากาศโดยส่วนใหญ่จะได้ผลออกมาในรูปของค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return loss) มีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนและค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน ซึ่งใช้เพื่ออธิบายคุณลักษณะของการเข้ากันได้ของอิมพีแดนซ์ กำหนดได้ดังนี้

$$RL(\text{dB}) = -20 \log_{10}(|\Gamma|) \quad (2.41)$$

2.6 บทสรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอทฤษฎีและหลักการของระบบระบุลักษณะทางคลื่นความถี่วิทยุความถี่ยูเอชเอฟ ตัวอย่างเช่น ลักษณะและประเภทของลูกข่าย การทำงานของเครื่องอ่าน ข้อพิจารณาในการเลือกใช้อุปกรณ์ การสื่อสารแบบการกระจายย้อนกลับ นอกจากนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปที่นิยมใช้กันทั่วไป รวมทั้งพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีความสำคัญต่อการวิเคราะห์คุณลักษณะและประสิทธิภาพของสายอากาศ เช่น แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ลำคลื่นแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ความกว้างลำคลื่น ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง ค่าอัตราขยาย ช่วงกว้างแถบความถี่ และการโพลาไรซ์ เป็นต้น

บทที่ 3

ผลการวิเคราะห์สายอากาศ

3.1 บทนำ

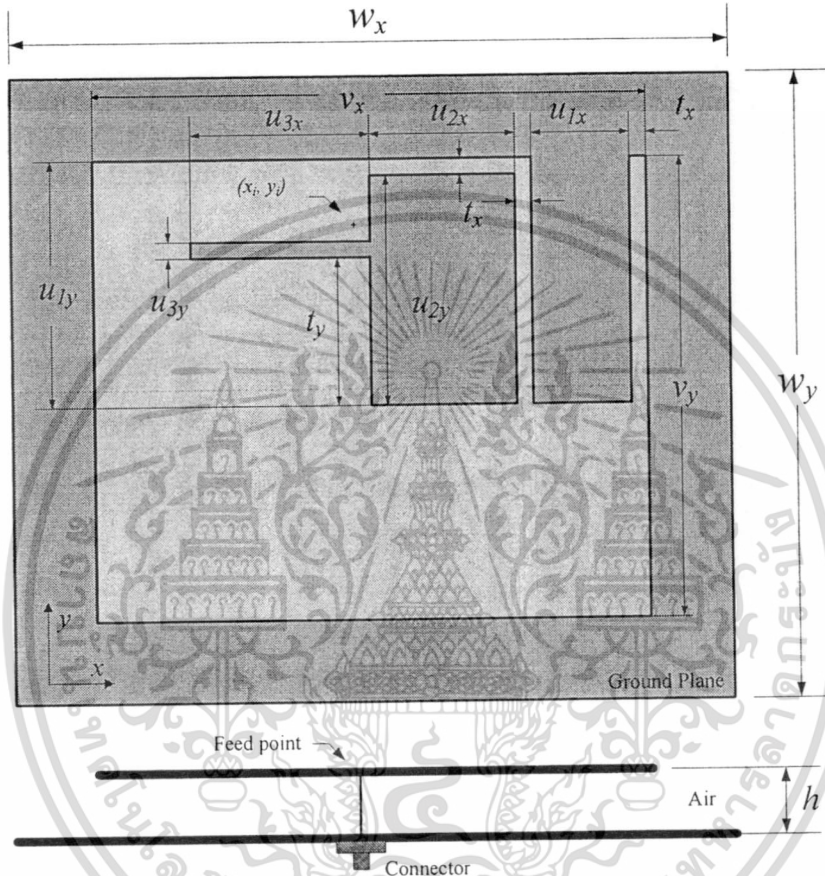
ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่เอชเอฟแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น ซึ่งสายอากาศที่นำเสนอนี้จะมีการโพลาไรซ์เป็นแบบวงกลมเพื่อให้สามารถใช้งานกับแท่งที่มีลักษณะการวางตัวหลากหลายรูปแบบได้ และในบทนี้ได้ทำการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในการสร้างสายอากาศต้นแบบ โดยพิจารณาค่าอัตราส่วนแกนและค่าการสูญเสียย้อนกลับในย่านความถี่ที่ต้องการใช้งาน ซึ่งจะเริ่มด้วยการกำหนดรูปแบบของสายอากาศโดยอาศัยทฤษฎีพื้นฐานและสมการคำนวณในบทที่ 2 จากนั้นจึงจำลองผลตัวสายอากาศและปรับพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศจะผ่านการจำลองด้วยโปรแกรม CST[®] (Microwave studio) [20] เพื่อศึกษาถึงผลกระทบที่มีต่อสมรรถนะของสายอากาศ รวมทั้งหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อให้สายอากาศนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องอ่านข้อมูลของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่เอชเอฟ ซึ่งระบบนี้มีความต้องการสายอากาศที่ให้การโพลาไรซ์เป็นแบบวงกลม มีอัตราขยายสูง และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่เหมาะสม รายละเอียดต่างๆ จะนำเสนอต่อหัวข้อต่อไปนี้

3.2 สายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น

3.2.1 โครงสร้างสายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น

โครงสร้างของสายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้นประกอบไปด้วยแผ่นระนาบกราวนด์ และแผ่นระนาบแพร่กระจายคลื่น คือชั้นล่างเป็นแผ่นระนาบกราวนด์มีลักษณะสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความยาวและความกว้างเป็น w_x และ w_y ตามลำดับซึ่งทำหน้าที่เป็นแผ่นกราวด์ของสายอากาศ ส่วนชั้นบนมีลักษณะเป็นแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยมีความยาวและความกว้างเป็น v_x และ v_y ตามลำดับ บนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นสี่เหลี่ยมผืนผ้านี้จะมีรอยบากสี่เหลี่ยมมีลักษณะเป็นรอยบากอยู่ด้านขวาบนของแผ่นตัวนำมีขนาดเป็น u_{1x} และ u_{1y} ตามลำดับ และมีช่องเปิดสี่เหลี่ยม โดยที่ช่องเปิดสี่เหลี่ยมมีขนาดเป็น u_{2x} และ u_{2y} ตามลำดับ ซึ่งมีลักษณะเป็นช่องเปิดที่จะเพิ่มเข้าไปใกล้กับรอยบากสี่เหลี่ยม โดยมีระยะห่างจากขอบด้านขวาเป็น t_x และมีเส้นสี่เหลี่ยมมีลักษณะเป็นเส้นยาวตัดขวางช่องเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยมีขนาดเป็น u_{3x} และ u_{3y} ตามลำดับ แผ่นระนาบกราวนด์และแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นทั้งสองแผ่นจะวางตัวในระนาบ xy มีความสูงระหว่างแผ่นระนาบกราวนด์และแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นเป็น h และมีการป้อนสัญญาณด้วยโพรบที่วางตัวในแนวแกน z ดังแสดงในรูปที่ 3.1 สายอากาศที่นำเสนอนี้มีการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แพร่กระจายคลื่นเป็นแบบโพลาริซวงกลมสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ยูเอชเอฟตามมาตรฐานของประเทศไทย การออกแบบสายอากาศให้มีแบบโพลาริซวงกลมนี้ทำได้โดยอาศัยแผ่นระนาบบาก การวิเคราะห์สายอากาศทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงขนาดโครงสร้างสายอากาศ รวมทั้งทำการสร้างสายอากาศต้นแบบและทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศต้นแบบ



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบากร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น

3.2.2 การออกแบบสายอากาศแบบแผ่นระนาบบากร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น

สำหรับการออกแบบสายอากาศแบบแผ่นระนาบบากร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้นขั้นต้นนั้น เริ่มจากการออกแบบสายอากาศแบบแผ่นระนาบโดยการกำหนดขนาดของแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าและแผ่นระนาบกราวด์ โดยโครงสร้างของสายอากาศจะเริ่มพิจารณาที่สายอากาศแบบแผ่นระนาบบากเพื่อให้ได้ค่าอัตราส่วนแอมป์ต่ำกว่า 3 dB ที่มุมใช้งานในย่านความถี่ยูเอชเอฟ และจากนั้นพิจารณาจะเพิ่มช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้นบนสายอากาศแบบแผ่นระนาบบากเพื่อให้ได้ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ความถี่ใช้งาน สายอากาศที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ใช้วัสดุฐานรองที่เป็นอากาศสำหรับการวิเคราะห์และออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 คุณสมบัติของสายอากาศ

กำหนดค่าความถี่ที่ใช้งานในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านยูเอชเอฟมีค่าอยู่ระหว่าง 920 MHz ถึง 925 MHz โดยมีค่าความถี่กลางเท่ากับ 922.5 MHz ตามมาตรฐานของประเทศไทย

λ_0 คือ ค่าความยาวคลื่นในช่องว่างอิสระ

c คือ ความเร็วแสงในช่องว่างอิสระ

ดังนั้น

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} = \left(\frac{3 \times 10^8}{922.5 \times 10^6} \right) = 0.325 \text{ m} \quad (3.1)$$

การกำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของสายอากาศซึ่งได้จากทฤษฎีในบทที่ 2 ในส่วนการคำนวณหาขนาดของสายอากาศไมโครสตริปที่มีความสูง h ของวัสดุฐานรองน้อยกว่าความยาว L ของสายอากาศไมโครสตริปหลายๆ และมีความสูง h ของวัสดุฐานรองน้อยกว่าความกว้าง W ของสายอากาศไมโครสตริปหลายๆ เมื่อทำการกำหนดให้ขนาดแผ่นตัวนำของสายอากาศไมโครสตริป $v_y = W$ ดังนั้นสามารถคำนวณหาขนาดของแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าได้จากสมการที่ 2.3

โดยที่

- h คือความสูงของตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริป
- L คือความยาวของตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริป
- W คือความกว้างของตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริป
- μ คือค่าความซึมซาบ
- ϵ คือค่าคงที่ไดอิเล็กตริก
- v_0 คือความเร็วของแสง
- ϵ_r คือค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรอง

$$W = v_y = \frac{1}{2(f_r)_{010} \sqrt{\mu\epsilon}} = \frac{v_0}{2(f_r)_{010} \sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.2)$$

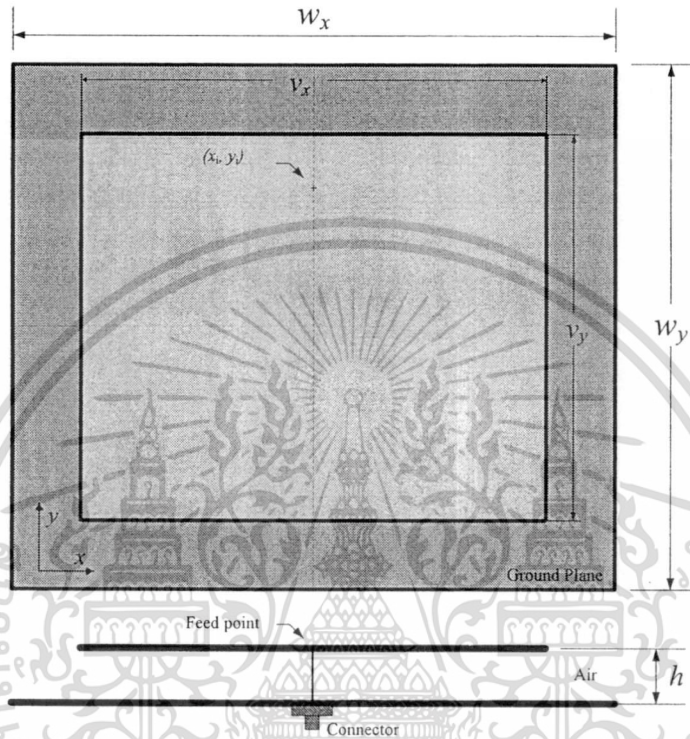
$$W = v_y = \frac{3 \times 10^8}{2(922.5 \times 10^6) \sqrt{1}} = 162.6 \text{ mm}$$

ดังนั้นความกว้างเริ่มต้น $v_y = W$ มีค่าเท่ากับ 162.6 mm และขนาดความยาวของสายอากาศไมโครสตริปกำหนดให้ $v_x = L$ ซึ่งกำหนดค่าเริ่มต้นได้จากเงื่อนไขดังนี้ คือ ค่าความยาว (v_x) ของสายอากาศไมโครสตริปจะต้องยาวกว่าความกว้าง (v_y) ของสายอากาศไมโครสตริป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สตริป แต่ความกว้าง (v_y) จะต้องกว้างกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวของสายอากาศ ไมโครสตริป $\left(h < \frac{v_x}{2} < v_y < v_x\right)$

จากการคำนวณจึงได้ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของสายอากาศแบบแผ่นระนาบ แสดงดังรูปที่ 3.2 และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบแสดงดังตารางที่ 3.1



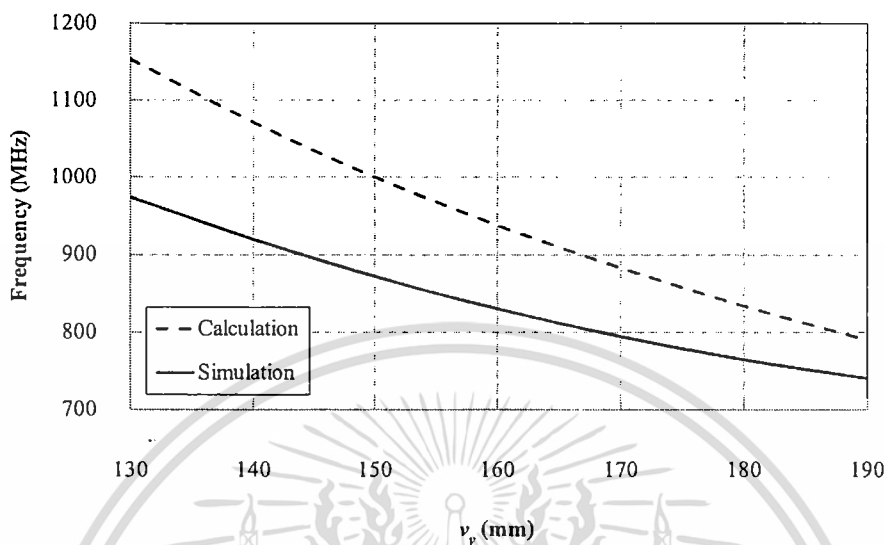
รูปที่ 3.2 โครงสร้างของสายอากาศแบบแผ่นระนาบ

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบ

พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพที่ความถี่ 922.5 MHz (mm)
w_x	220
w_y	190
v_x	170
v_y	140
h	20
x_i	0
y_i	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

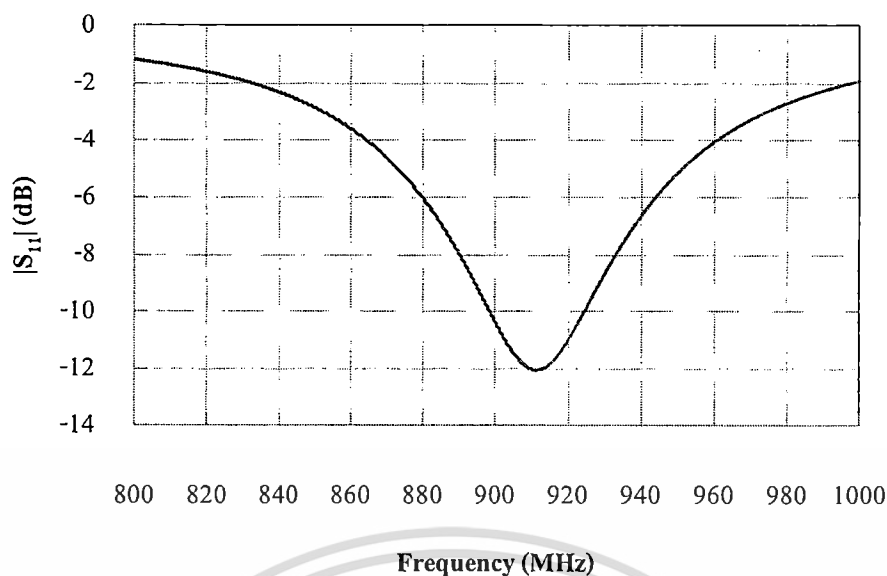
เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบดังที่แสดงในตารางที่ 3.1 ไปจำลอง เป็นสายอากาศเริ่มต้น ซึ่งทำให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้าง (v_y) ของสายอากาศกับความถี่เรโซแนนซ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้าง (v_y) ของสายอากาศกับความถี่เรโซแนนซ์

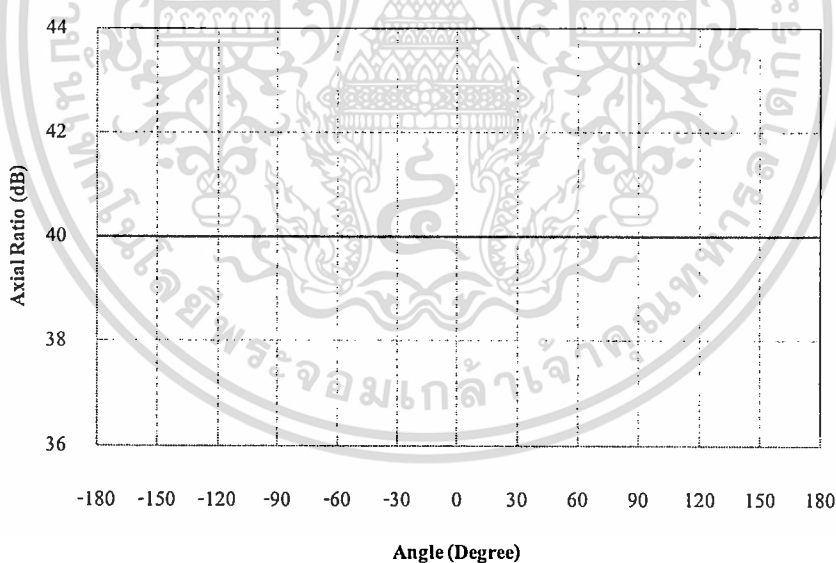
จากรูปที่ 3.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้าง (v_y) ของสายอากาศกับความถี่เรโซแนนซ์ โดยในการจำลองสายอากาศแบบแผ่นระนาบกำหนดให้ระนาบกราวด์มีขนาด ความยาว (w_x) เท่ากับ 220 mm และค่าความกว้าง (w_y) เท่ากับ 190 mm และมีจุดป้อนสัญญาณที่ x_i เท่ากับ 0 mm และ y_i เท่ากับ 55 mm พบว่าความกว้าง (v_y) ของสายอากาศ ส่งผลต่อค่าความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศเป็นอย่างมาก และจะสังเกตได้ว่าค่าที่ได้จากการคำนวณมีแนวโน้มเดียวกันกับค่าที่ได้จากการจำลองผล ดังนั้นในการหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศจึงใช้การจำลองผลเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของสายอากาศ

เมื่อทำการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับ โครงสร้างเริ่มต้นของสายอากาศแบบแผ่นระนาบแสดงดังรูปที่ 3.2 จะได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมดังแสดงในตารางที่ 3.1 และเมื่อนำไปจำลองสายอากาศเพื่อวิเคราะห์สมรรถนะของสายอากาศจากค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบ พบว่าผลที่ได้จากการจำลองคือค่าการสูญเสียย้อนกลับและค่าอัตราส่วนแกนแสดงดังรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5 ตามลำดับ



รูปที่ 3.4 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศแบบแผ่นระนาบ

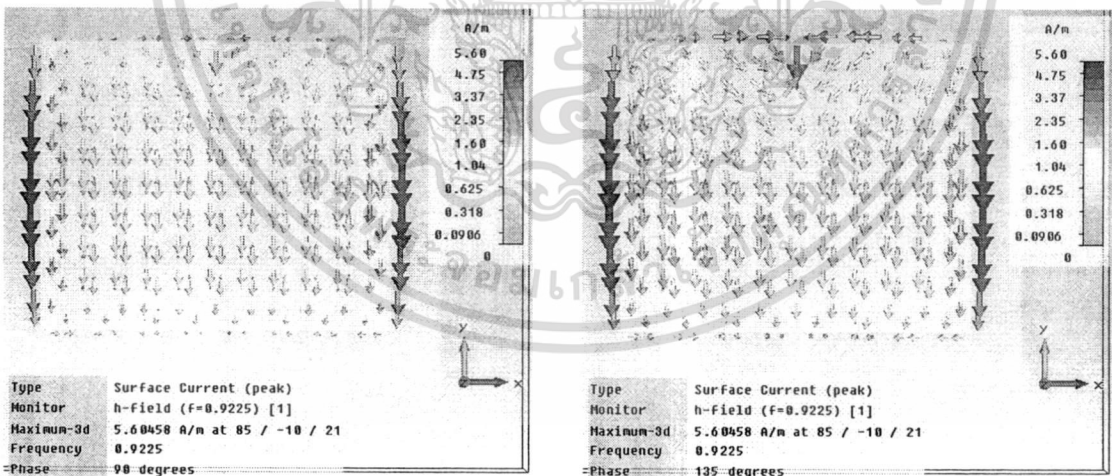
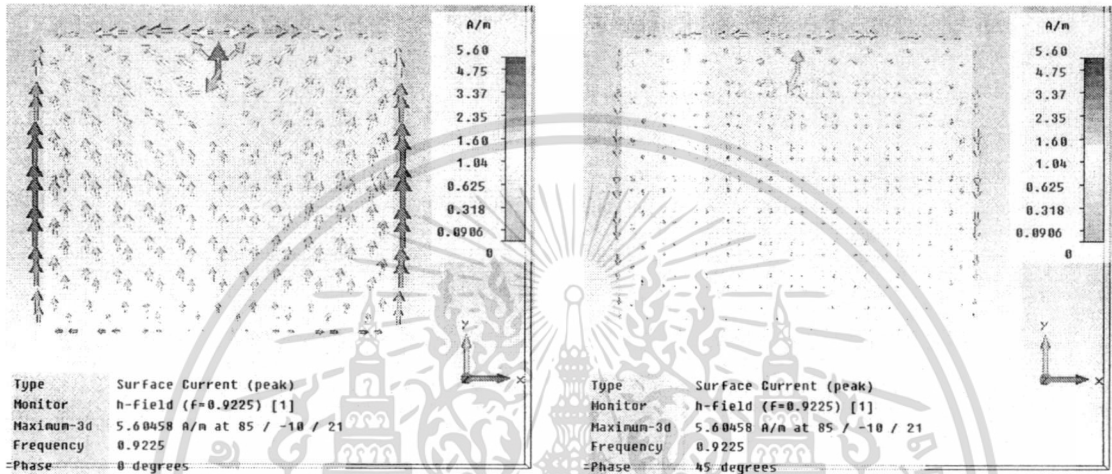
จากรูปที่ 3.4 พบว่าค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศแบบแผ่นระนาบในช่วงที่ความถี่ใช้งานมีค่าประมาณ -10 dB ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงค่าการสูญเสียย้อนกลับให้มีค่าดีกว่า -10 dB



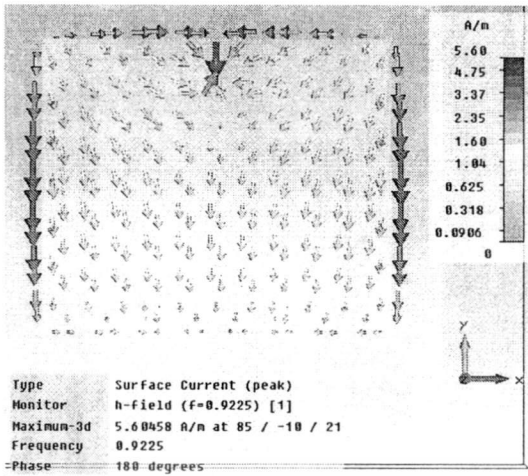
รูปที่ 3.5 ค่าอัตราส่วนแกนของสายอากาศแบบแผ่นระนาบที่มุมต่างๆ

จากรูปที่ 3.5 เมื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนแกนของสายอากาศแบบแผ่นระนาบที่ความถี่กลางของความถี่ใช้งานที่ 922.5 MHz ที่มุมต่าง ๆ พบว่าค่าอัตราส่วนแกนมีค่าสูงกว่า 3 dB ทุกมุม ส่งผลให้สายอากาศไม่เกิดการโพลาไรซ์วงกลม ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงค่าอัตราส่วนแกนให้มีค่าต่ำกว่า 3 dB โดยเฉพาะที่มุม 0° ซึ่งเป็นมุมที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร โดยทำการดัดแปลงร่างสร้างของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

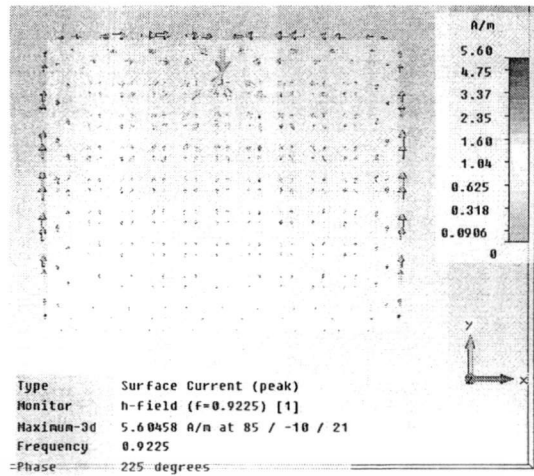
สายอากาศโดยอาศัยเทคนิคการเพิ่มร่องเชื่อมต่อโดยทำการเพิ่มรอยบากบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งจะทำให้กระแสที่ไหลบริเวณผิวของแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นมีองค์ประกอบของสนามไฟฟ้าที่มีขนาดเท่ากันแต่มีเฟสต่างกันเป็นจำนวนเท่าของ $\frac{\pi}{2}$ เรเดียน ซึ่งสายอากาศเริ่มต้นที่จะทำการปรับโครงสร้างเพื่อให้ได้ค่าอัตราส่วนแแกนให้มีค่าต่ำกว่า 3 dB ที่ความถี่ใช้งาน โดยจะดูทิศทางการไหลของกระแสที่คาบเวลา (Period: T) ต่าง ๆ บนผิวแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบแผ่นระนาบ เพื่อที่จะทำการปรับโครงสร้างต่อไป แสดงดังรูปที่ 3.6



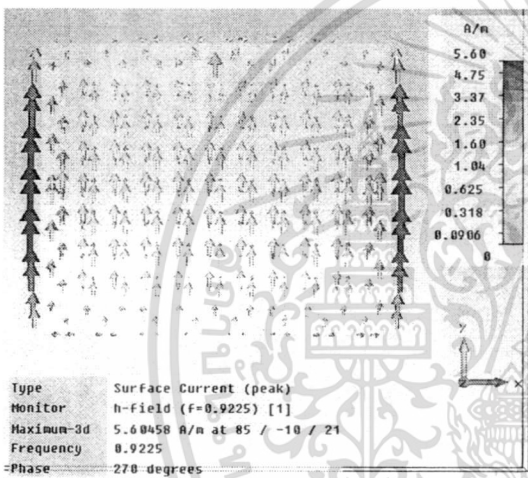
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



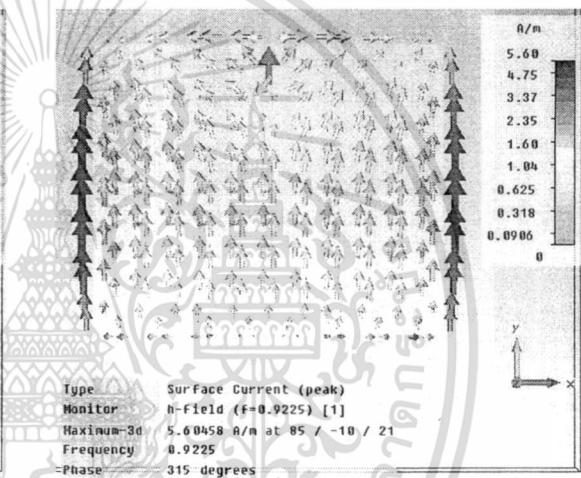
(จ) $t = \frac{T}{2}$



(ฉ) $t = \frac{5T}{8}$



(ช) $t = \frac{3T}{4}$



(ซ) $t = \frac{7T}{8}$

รูปที่ 3.6 แสดงกระแสที่ไหลบนผิวแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบแผ่นระนาบที่เวลา

(ด) ต่าง ๆ (ก) $t = 0$ (ข) $t = \frac{T}{8}$ (ค) $t = \frac{T}{4}$ (ง) $t = \frac{3T}{8}$ (จ) $t = \frac{T}{2}$ (ฉ) $t = \frac{5T}{8}$

(ช) $t = \frac{3T}{4}$ (ซ) $t = \frac{7T}{8}$

จากรูปที่ 3.6 แสดงกระแสที่ไหลบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบแผ่นระนาบที่เวลา (t) ต่าง ๆ พบว่ากระแสที่ไหลบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นที่เวลา (t) เท่ากับ 0 มีทิศทางการไหลของกระแสที่พุ่งขึ้น ต่อมาที่เวลา (t) เท่ากับ $\frac{T}{8}$ จะมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหลของกระแสไปในทิศทางที่พุ่งลง และจะมีทิศทางการไหลของกระแสไปในทิศทางที่พุ่งลงอย่างต่อเนื่องในเวลา (t) เท่ากับ $\frac{T}{4}$, $\frac{3T}{8}$ และ $\frac{T}{2}$ จากนั้นที่เวลา (t) เท่ากับ $\frac{5T}{8}$ จะมีการเปลี่ยนแปลงทิศ

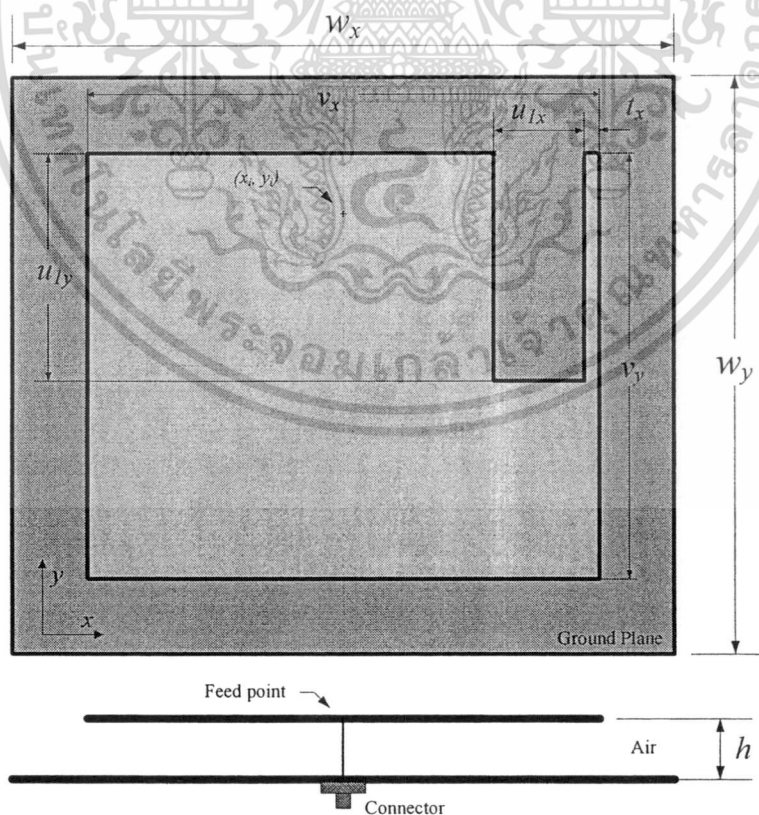
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางการไหลของกระแสอีกครั้งไปในทิศทางที่พุ่งขึ้น ต่อเนื่องไปที่เวลา (t) เท่ากับ $\frac{3T}{4}$, $\frac{7T}{8}$ และ T จะมีทิศทางการไหลของกระแสไปในทิศทางที่พุ่งขึ้น ดังนั้นสามารถคาดเดาได้ว่าการไหลของกระแสในทิศทางที่พุ่งขึ้นและพุ่งลงอย่างต่อเนื่อง ไม่สามารถทำให้เกิดการโพลาไรซ์แบบวงกลม

ในการหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เหมาะสมเพื่อนำไปสร้างสายอากาศต้นแบบ สามารถทำได้โดยใช้โปรแกรมจำลองการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศ โดยที่ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจะพิจารณาจากค่าอัตราส่วนแถมและค่าการสูญเสียย้อนกลับ โดยที่สายอากาศจะต้องมีค่าอัตราส่วนแถมที่น้อยกว่า 3 dB และมีค่าการสูญเสียย้อนกลับต่ำกว่า -10 dB ตลอดย่านความถี่ที่ต้องการใช้งาน รวมทั้งขนาดของสายอากาศต้องเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งาน ซึ่งในขั้นตอนแรกจะเพิ่มรอยบากบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบแผ่นระนาบเพื่อให้ได้ค่าอัตราส่วนแถมที่น้อยกว่า 3 dB และเมื่อได้ค่าอัตราส่วนแถมที่น้อยกว่า 3 dB แล้วจึงเพิ่มช่องเปิดสี่เหลี่ยมบนสายอากาศแบบแผ่นระนาบสำหรับปรับค่าการสูญเสียย้อนกลับให้ได้ค่าที่ต่ำกว่า -10 dB

3.3.1 สายอากาศแบบแผ่นระนาบและการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์

ในขั้นตอนแรกเป็นการเพิ่มรอยบากสี่เหลี่ยมบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบแผ่นระนาบมีลักษณะเป็นรอยบากอยู่ด้านขวาบนของแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นมีขนาดความยาว (u_x) และความกว้าง (u_y) มีค่าเท่ากับ 30 mm และ 75 mm ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 โครงสร้างของสายอากาศแบบแผ่นระนาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.7 การเพิ่มรอยบากสี่เหลี่ยมบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบแผ่นระนาบ จะทำให้กระแสที่ไหลบนผิวแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศมีองค์ประกอบของสนามไฟฟ้าที่มีขนาดเท่ากันแต่มีเฟสต่างกันเป็นจำนวนเท่าของ $\frac{\pi}{2}$ เรเดียน ซึ่งค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบปากแสดงดังตารางที่ 3.2 โดยสายอากาศแบบแผ่นระนาบปากนี้จะดูผลของค่าอัตราส่วนแกนให้มีค่าต่ำกว่า 3 dB เป็นหลัก

ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบปาก

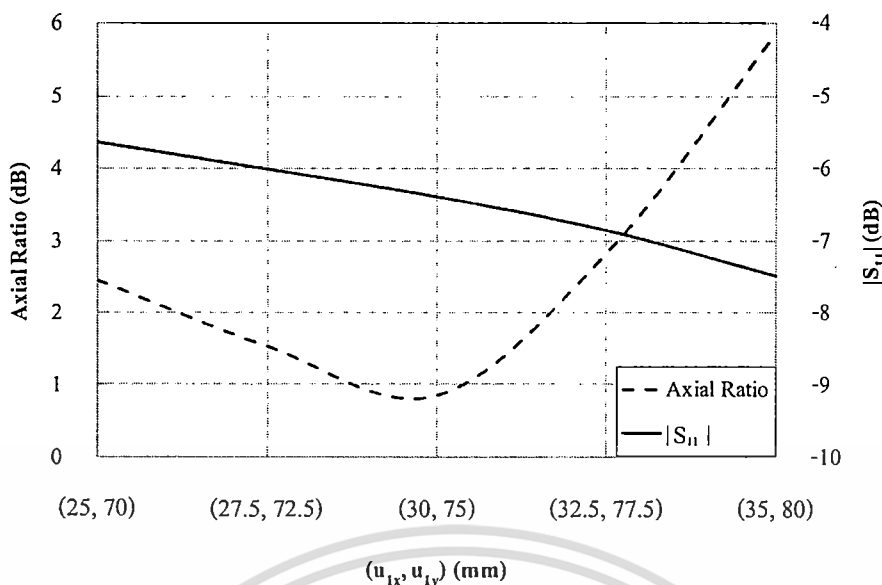
พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพที่ความถี่ 922.5 MHz (mm)
w_x	220
w_y	190
v_x	170
v_y	140
u_{1x}	30
u_{1y}	75
t_x	5
h	20
x_i	0
y_i	55

ในการหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เหมาะสมเพื่อที่จะให้สายอากาศมีแบบโพลาริซวงกลมที่ความถี่ใช้งาน สามารถทำได้โดยใช้โปรแกรมจำลองการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศ โดยที่ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจะพิจารณาจากค่าอัตราส่วนแกนน้อยกว่า 3 dB ตลอดย่านความถี่ที่ต้องการใช้งาน (920 MHz ถึง 925 MHz)

3.3.1.1 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ขนาด (u_{1x}, u_{1y}) ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบปาก

ในหัวข้อนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของขนาดความยาว (u_{1x}) และความกว้าง (u_{1y}) รอยบากสี่เหลี่ยม โดยที่รอยบากสี่เหลี่ยมนี้จะวางตัวอยู่ด้านขวาบนของสายอากาศแบบแผ่นระนาบ โดยค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นความยาว (u_{1x}) และความกว้าง (u_{1y}) เท่ากับ 25 มิลลิเมตรและ 70 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของขนาดรอยบากสี่เหลี่ยมที่ความถี่กลาง (922.5 MHz) ของย่านความถี่ใช้งาน แสดงได้ดังรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

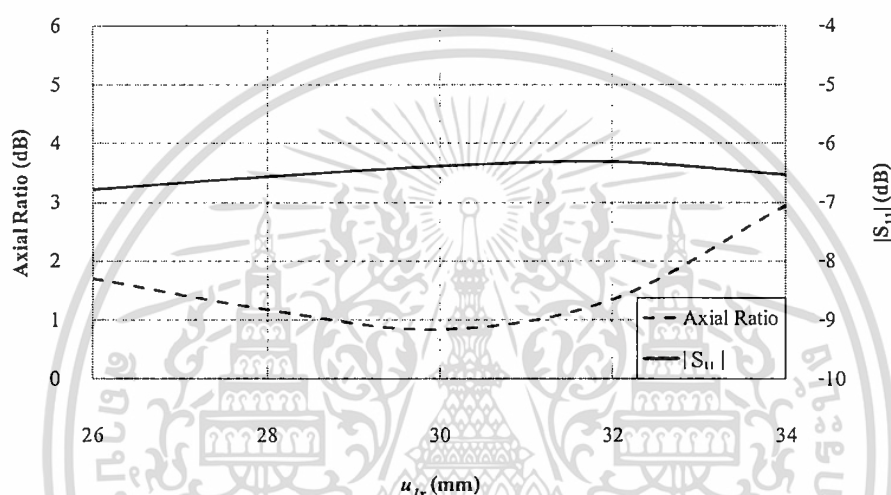


รูปที่ 3.8 ค่าอัตราส่วนแกนและค่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงขนาด (u_x, u_y) ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบาก

จากรูปที่ 3.8 พบว่าการเพิ่มรอยบากสี่เหลี่ยมบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบแผ่นระนาบ ทำให้ค่าอัตราส่วนแกนต่ำกว่า 3 dB แต่ส่งผลกระทบต่อค่าการสูญเสียย้อนกลับอย่างมากโดยที่มีค่ามากกว่า -10 dB เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงขนาดรอยบากสี่เหลี่ยม โดยมีแกนหลักเป็น (u_x) และแกนรองเป็น (u_y) โดยเริ่มจากค่าเริ่มต้น พบว่าจะส่งผลกระทบต่อค่าอัตราส่วนแกนและค่าอัตราการสูญเสียย้อนกลับจากสายอากาศแบบแผ่นระนาบตัวเริ่มต้น กล่าวคือจากกราฟเมื่อเพิ่มขนาดรอยบากสี่เหลี่ยมในช่วงตั้งแต่ค่าความยาว (u_x) เท่ากับ 25 mm และความกว้าง (u_y) เท่ากับ 70 mm จนถึงค่าความยาว (u_x) เท่ากับ 30 mm และความกว้าง (u_y) เท่ากับ 75 mm จะส่งผลให้ค่าอัตราส่วนแกนและค่าการสูญเสียย้อนกลับมีค่าที่ลดลง ส่วนค่าความยาว (u_x) เท่ากับ 30 mm และความกว้าง (u_y) เท่ากับ 75 mm จนถึงค่าความยาว (u_x) เท่ากับ 35 mm และความกว้าง (u_y) เท่ากับ 80 mm จะได้ค่าอัตราส่วนแกนที่มีค่าเพิ่มขึ้น จากผลของค่าอัตราส่วนแกนที่ได้จากการจำลองเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงขนาดของรอยบากสี่เหลี่ยม ได้ค่าที่เหมาะสมคือความยาว (u_x) เท่ากับ 30 mm และความกว้าง (u_y) เท่ากับ 75 mm เนื่องจากค่านี้ให้ค่าอัตราส่วนแกนที่ต่ำที่สุด แต่อย่างไรก็ตามในส่วนของค่าอัตราการสูญเสียย้อนกลับนั้นยังมากกว่า -10 dB ซึ่งจะมีการปรับเพื่อให้ได้ค่าตามต้องการต่อไปโดยการเพิ่มช่องเปิดสี่เหลี่ยมบนสายอากาศแบบแผ่นระนาบบาก ซึ่งในหัวนี้จะดูผลของค่าอัตราส่วนแกนให้มีค่าต่ำกว่า 3 dB เป็นหลัก ซึ่งจะนำค่าที่ได้ไปใช้จำลองผลในหัวข้อต่อไป

3.3.1.2 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ความยาว (u_x) ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบ

ในหัวข้อนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของขนาดความยาว (u_x) ของรอยบากสี่เหลี่ยม โดยใช้ค่าที่ได้จากการจำลองให้หัวข้อที่ 3.3.1.1 มีค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นเท่ากับ 30 mm โดยกำหนดความกว้าง (u_y) ของรอยบากสี่เหลี่ยมให้มีค่าเท่ากับ 75 mm ในการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์จะลดและเพิ่มขนาดของความยาว (u_x) ของรอยบากสี่เหลี่ยม ผลของค่าอัตราส่วนแกนและการสูญเสียย้อนกลับ เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของความยาว (u_x) ช่องเปิดสี่เหลี่ยมที่ความถี่กลาง (922.5 MHz) ของย่านความถี่ใช้งาน แสดงดังรูปที่ 3.9

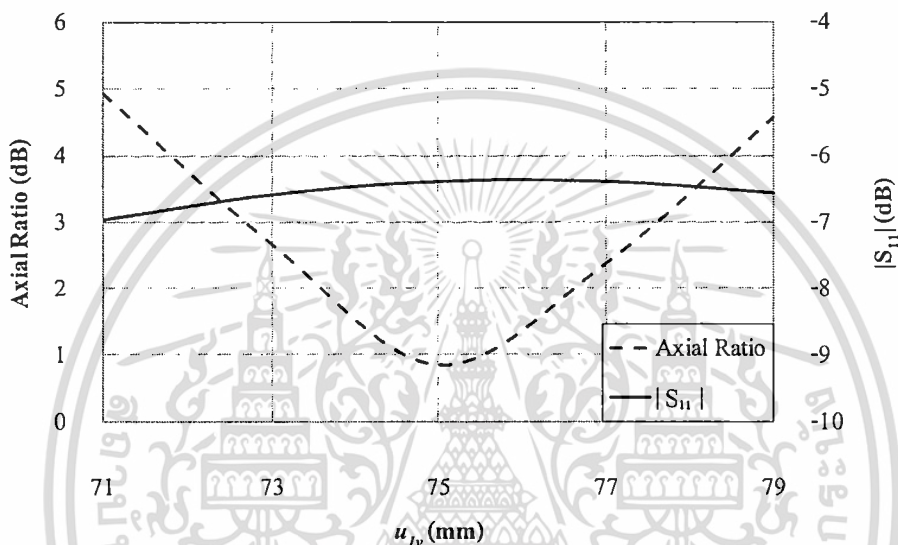


รูปที่ 3.9 ค่าอัตราส่วนแกนและค่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความยาว (u_x) ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบ

จากรูปที่ 3.9 และเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงขนาดความยาว (u_x) ของรอยบากสี่เหลี่ยมพบว่าส่งผลต่อค่าอัตราส่วนแกนจากการเปลี่ยนแปลงความยาว (u_x) ของรอยบากจะมีเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ ซึ่งขนาดความยาว (u_x) ที่เปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 26 mm ถึง 34 mm ได้ค่าอัตราส่วนแกนที่ต่ำกว่า 3 dB โดยค่าความยาว (u_x) ที่ให้ค่าอัตราส่วนแกนต่ำที่สุดเท่ากับ 30 mm แต่อย่างไรก็ตามในส่วนของค่าอัตราการสูญเสียย้อนกลับนั้นยังมากกว่า -10 dB ตลอดช่วงการเปลี่ยนแปลงขนาดความยาว (u_x) ของรอยบากสี่เหลี่ยม ซึ่งจะมีการปรับเพื่อให้ได้ค่าตามต้องการต่อไป ดังนั้นค่าที่เหมาะสมเมื่อดูจากค่าอัตราส่วนแกนของขนาดความยาว (u_x) ของรอยบากสี่เหลี่ยมมีค่าเท่ากับ 30 mm

3.3.1.3 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ความกว้าง (u_y) ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบ

ในขั้นตอนนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของขนาดความกว้าง (u_y) ของรอยบากสี่เหลี่ยม โดยใช้ค่าที่ได้จากการจำลองให้หัวข้อที่ 3.3.1.1 มีค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นเท่ากับ 75 mm โดยกำหนดความยาว (u_x) ของรอยบากสี่เหลี่ยมให้มีค่าเท่ากับ 30 mm เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของความกว้าง (u_y) ของรอยบากสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ความถี่กลาง (922.5 MHz) ของย่านความถี่ใช้งาน แสดงดังรูปที่ 3.10

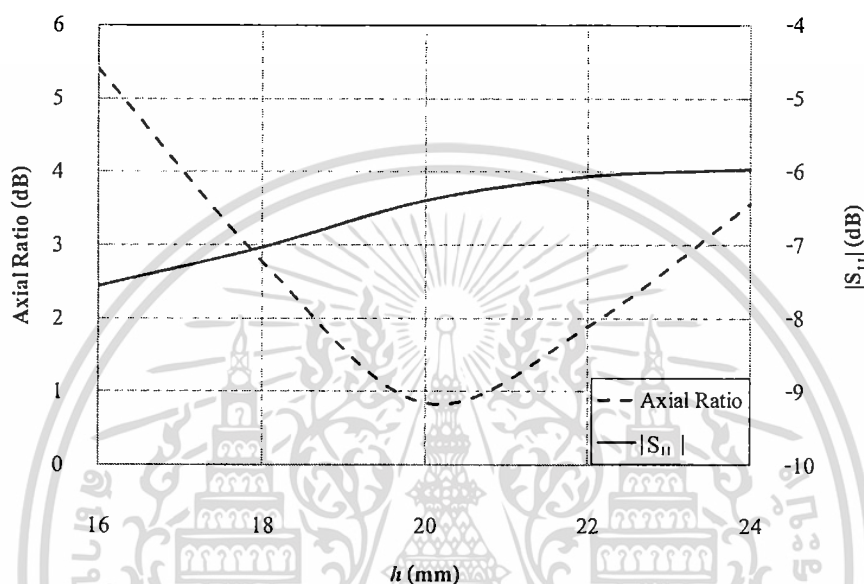


รูปที่ 3.10 ค่าอัตราส่วนแกนและค่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความกว้าง (u_y) ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบ

จากรูปที่ 3.10 เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความกว้าง (u_y) ของรอยบากสี่เหลี่ยม พบว่าความกว้าง (u_y) ของรอยบากสี่เหลี่ยมส่งผลต่อค่าอัตราส่วนแกนเป็นอย่างมากเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงขนาดความยาว (u_x) ของรอยบากสี่เหลี่ยม กล่าวคือเมื่อทำการเพิ่มขนาดความกว้าง (u_y) ในช่วง 71 mm ถึง 75 mm ส่งผลให้ค่าอัตราส่วนแกนมีค่าลดลง จนกระทั่งถึงช่วง 75 mm ถึง 79 mm ค่าอัตราส่วนแกนก็จะเพิ่มขึ้น โดยค่าความกว้าง (u_y) ที่ให้ค่าอัตราส่วนแกนต่ำที่สุดเท่ากับ 75 mm แต่อย่างไรก็ตามในส่วนของค่าอัตราสูญเสียย้อนกลับนั้นยังมากกว่า -10 dB ซึ่งจะมีการปรับเพื่อให้ได้ค่าตามต้องการต่อไป

3.3.1.4 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ความสูง (h) ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบ

ในขั้นตอนนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของขนาดความสูง (h) ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบ โดยการกำหนดรอยบากสี่เหลี่ยมให้มีความกว้าง (u_y) และความยาว (u_x) เท่ากับ 75 mm และ 30 mm ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลการจำลองที่ได้พิจารณาในหัวข้อที่ 3.3.1.1 พบว่าผลของค่าอัตราส่วนแกนเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ความสูง (h) ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบที่มีความถี่กลาง (922.5 MHz) ของย่านความถี่ใช้งาน แสดงดังรูปที่ 3.11

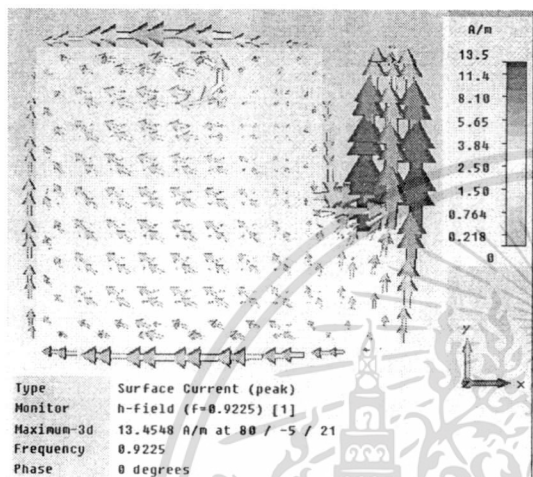


รูปที่ 3.11 ค่าอัตราส่วนแกนและค่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความสูง (h) ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบ

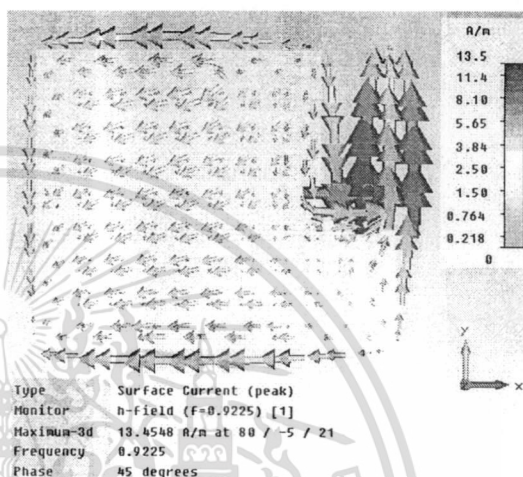
จากรูปที่ 3.11 เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความสูง (h) ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบ พบว่าความสูง (h) ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบมีผลต่อค่าอัตราส่วนแกนเป็นอย่างมาก กล่าวคือจากกราฟเมื่อความสูง (h) ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบในช่วงตั้งแต่ค่า 16 mm จนถึง 20 mm จะส่งผลให้ค่าอัตราส่วนแกนมีค่าที่ต่ำลง แต่ในช่วงตั้งแต่ค่า 20 mm ถึง 24 mm จะได้ค่าอัตราส่วนแกนมีค่าสูงขึ้น จากผลของค่าอัตราส่วนแกนที่ได้จากการจำลอง มีค่าต่ำกว่า 3 dB ที่ดีที่สุดเมื่อความสูง (h) ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบมีค่าเท่ากับ 20 mm แต่อย่างไรก็ตามในส่วน of ค่าอัตราส่วนการสูญเสียย้อนกลับนั้นยังมากกว่า -10 dB ซึ่งจะนำค่าที่ได้นี้ใช้ในการจำลองผลต่อไป

3.3.1.5 กระแสที่ไหลบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบาก

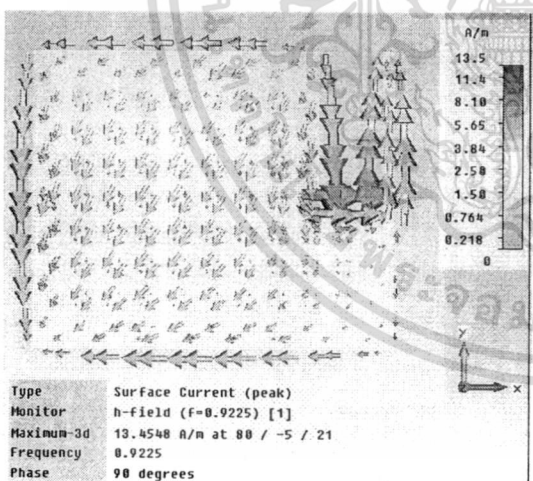
ในหัวข้อนี้เป็นการนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบากมาจำลองสายอากาศเพื่อดูกระแสที่ไหลบนผิวของแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่น โดยการกำหนดรอยบากที่เหลี่ยมให้มีความกว้าง (u_{1y}) และความยาว (u_{1x}) เท่ากับ 75 mm และ 30 mm ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลการจำลองที่ได้พิจารณาแล้ว พบว่าผลของกระแสที่ไหลบนผิวตัวนำของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบากที่ความถี่กลาง (922.5 MHz) ของย่านความถี่ใช้งาน แสดงดังรูปที่ 3.12



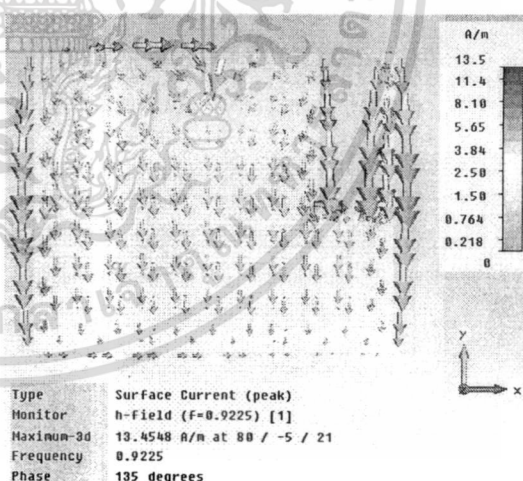
(ก) $t = 0$



(ข) $t = \frac{T}{8}$

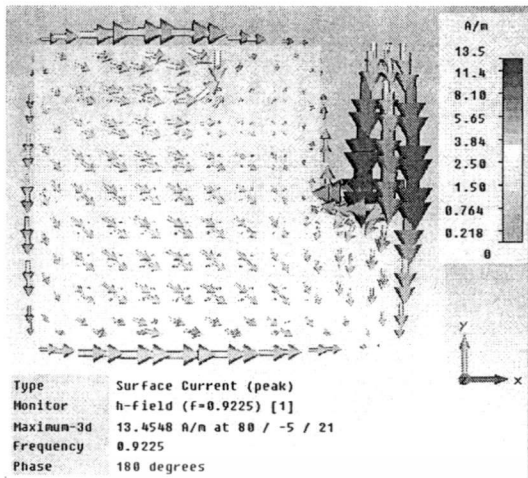


(ค) $t = \frac{T}{4}$

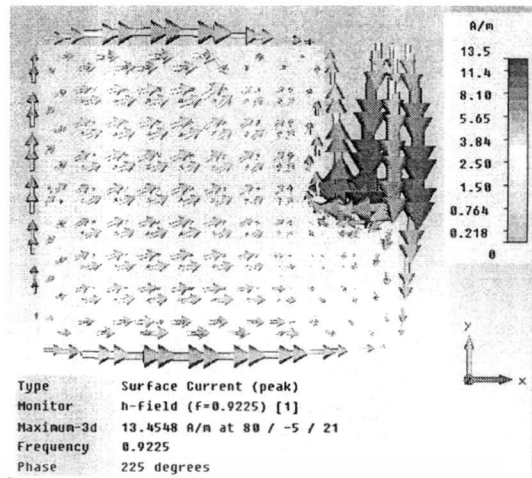


(ง) $t = \frac{3T}{8}$

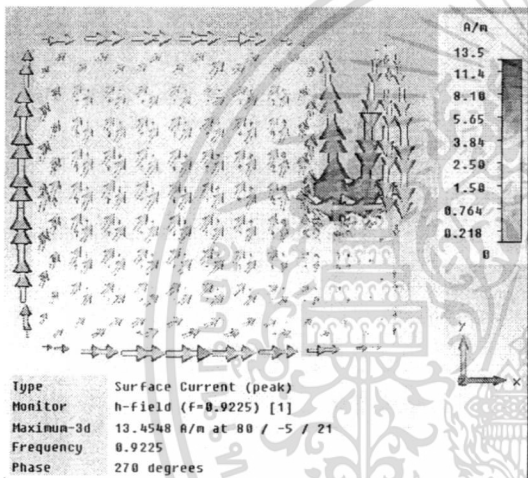
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



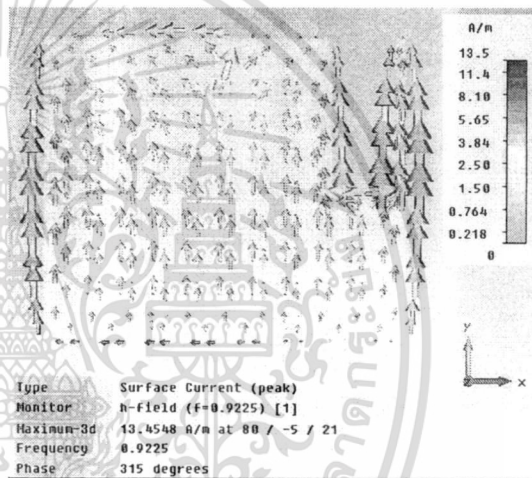
(จ) $t = \frac{T}{2}$



(ฉ) $t = \frac{5T}{8}$



(ช) $t = \frac{3T}{4}$



(ซ) $t = \frac{7T}{8}$

รูปที่ 3.12 แสดงกระแสที่ไหลบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบแผ่นระนาบฉากที่

เวลา (t) ต่าง ๆ (ก) $t = 0$ (ข) $t = \frac{T}{8}$ (ค) $t = \frac{T}{4}$ (ง) $t = \frac{3T}{8}$ (จ) $t = \frac{T}{2}$ (ฉ) $t = \frac{5T}{8}$

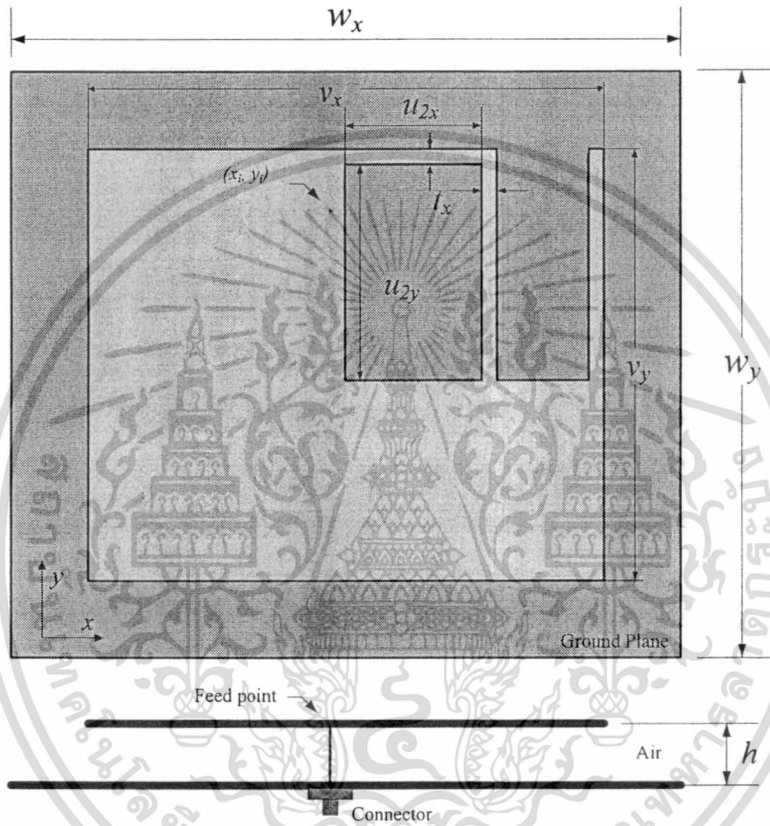
(ช) $t = \frac{3T}{4}$ (ซ) $t = \frac{7T}{8}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.12 แสดงกระแสที่ไหลบนแผ่นตัวนำที่เวลา (t) ต่าง ๆ ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบาก ที่รอยบากสี่เหลี่ยมมีความกว้าง (u_y) และความยาว (u_x) เท่ากับ 75 mm และ 30 mm ตามลำดับพบว่ากระแสที่ไหลบนแผ่นตัวนำที่เวลา (t) ต่าง ๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหลของกระแสตลอดเวลา กล่าวคือเวลา (t) ต่าง ๆ จะมีทิศทางการไหลของกระแสบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นที่เปลี่ยนแปลงไปมีทิศทางโดยประมาณได้ดังนี้ ที่เวลา (t) เท่ากับ 0 มีทิศของกระแส \nwarrow ที่เวลา (t) เท่ากับ $\frac{T}{8}$ มีทิศของกระแส \leftarrow ที่เวลา (t) เท่ากับ $\frac{T}{4}$ มีทิศของกระแส \swarrow ที่เวลา (t) เท่ากับ $\frac{3T}{8}$ มีทิศของกระแส \downarrow ที่เวลา (t) เท่ากับ $\frac{T}{2}$ มีทิศของกระแส \searrow ที่เวลา (t) เท่ากับ $\frac{5T}{8}$ มีทิศของกระแส \rightarrow ที่เวลา (t) เท่ากับ $\frac{3T}{4}$ มีทิศของกระแส \nearrow ที่เวลา (t) เท่ากับ $\frac{7T}{8}$ มีทิศของกระแส \uparrow และที่เวลา (t) เท่ากับ T มีทิศของกระแส \nwarrow ดังนั้นสามารถคาดเดาได้ว่าการไหลของกระแสบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงไปทุกช่วงเวลานั้นสามารถทำให้เกิดการโพลาไรซ์แบบวงกลมได้ โดยจากค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ข้างต้นของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบากนั้นให้ค่าอัตราส่วนแคนที่ต่ำกว่า 3 dB แต่อย่างไรก็ตามค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ได้มีค่ามากกว่า -10 dB ยังไม่ได้ตามคุณสมบัติของสายอากาศตามต้องการ จึงจะทำการปรับเปลี่ยนโครงสร้างสังเกตจากกระแสที่ไหลบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นใกล้เคียงรอยบากสี่เหลี่ยมมีกระแสไหลในปริมาณที่น้อย จึงคาดว่า การเพิ่มช่องเปิดสี่เหลี่ยมเพื่อปรับค่าการสูญเสียย้อนกลับจะมีผลกระทบต่อค่าอัตราส่วนแคนที่น้อยที่สุด กล่าวคือปรับค่าการสูญเสียย้อนกลับให้ต่ำกว่า -10 dB และคงค่าอัตราส่วนแคนที่ได้ให้ต่ำกว่า 3 dB ดังหัวข้อที่ 3.3.2

3.3.2 สายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์

ในขั้นตอนที่สองเป็นการเพิ่มช่องเปิดสี่เหลี่ยมบนสายอากาศแบบแผ่นระนาบ มีลักษณะเป็นช่องเปิดอยู่ใกล้กับรอยบากสี่เหลี่ยมของแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่น ซึ่งมีขนาดความยาว (u_{1x}) และความกว้าง (u_{1y}) มีค่าเท่ากับ 45 mm และ 70 mm ตามลำดับ โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบจากการจำลองในหัวข้อที่ 3.3.1 ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 โครงสร้างของสายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยม

จากรูปที่ 3.13 การเพิ่มช่องเปิดสี่เหลี่ยมบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบแผ่นระนาบเพื่อให้ผลของค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ดี โดยส่งผลกระทบต่อค่าอัตราส่วนแกนน้อยที่สุดจากที่ได้จำลองสายอากาศแบบแผ่นระนาบมาแล้วในหัวข้อที่ 3.3.1 ซึ่งค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศเมื่อเพิ่มช่องเปิดสี่เหลี่ยมบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบแผ่นระนาบแสดงดังตารางที่ 3.3 โดยการเพิ่มช่องเปิดสี่เหลี่ยมนี้ต้องการเพื่อปรับค่าการสูญเสียย้อนกลับให้มีค่าที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

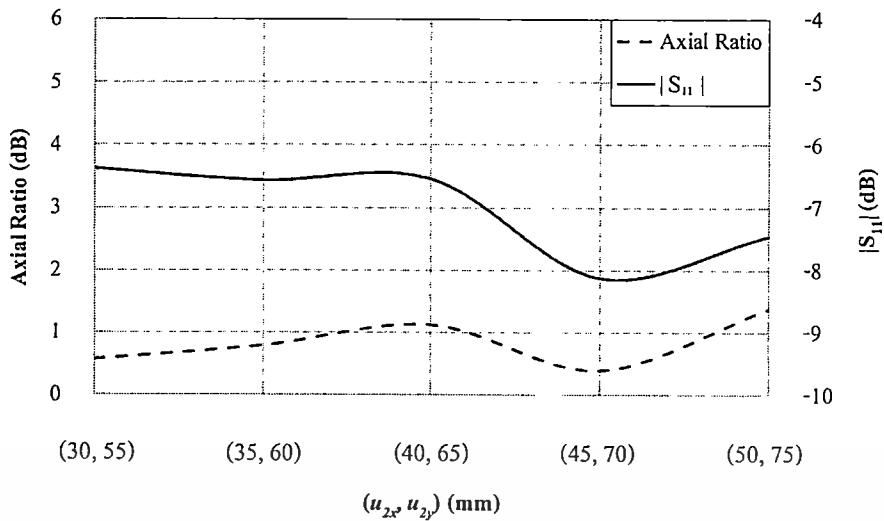
ตารางที่ 3.3 ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยม

พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพที่ความถี่ 922.5 MHz (mm)
w_x	220
w_y	190
v_x	170
v_y	140
u_{2x}	45
u_{2y}	70
t_x	5
h	20
x_i	5
y_i	55

ในการหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เหมาะสมเพื่อที่จะให้ช่องเปิดสี่เหลี่ยมสามารถปรับค่าการสูญเสียย้อนกลับให้มีค่าต่ำกว่า -10 dB สามารถทำได้โดยใช้โปรแกรมจำลองการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศ โดยที่ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจะพิจารณาจากค่าอัตราส่วนเกนน้อยกว่า 3 dB และค่าการสูญเสียย้อนกลับให้มีค่าต่ำกว่า -10 dB ตลอดย่านความถี่ที่ต้องการใช้งาน (920 MHz ถึง 925 MHz)

3.3.2.1 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ขนาด (u_{2x}, u_{2y}) ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยม

ในขั้นตอนนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของขนาดช่องเปิดสี่เหลี่ยม (u_{2x}, u_{2y}) ที่เพิ่มบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบแผ่นระนาบปาก โดยการกำหนดค่าเริ่มต้นช่องเปิดสี่เหลี่ยมให้มีความยาว (u_{2x}) และความกว้าง (u_{2y}) เท่ากับ 35 mm และ 60 mm ตามลำดับ โดยการเพิ่มขนาดไปจนกระทั่งมีผลกระทบต่อเนื้อที่ของจุดป้อนสัญญาณที่มากกว่าความยาว (u_{2x}) และความกว้าง (u_{2y}) เท่ากับ 45 mm และ 70 mm ตามลำดับจึงได้ย้ายจุดป้อนสัญญาณจาก x_i เท่ากับ 0 mm และ y_i เท่ากับ 55 mm เป็น x_i เท่ากับ 5 mm และ y_i เท่ากับ 55 mm พบว่าผลของค่าอัตราส่วนเกนและค่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงขนาดช่องเปิดสี่เหลี่ยม (u_{2x}, u_{2y}) ของสายอากาศ ที่ความถี่กลาง (922.5 MHz) ของย่านความถี่ใช้งาน แสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ค่าอัตราส่วนแกนและค่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงขนาด (u_{2x}, u_{2y}) ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยม

จากรูปที่ 3.14 เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงขนาดของช่องเปิดสี่เหลี่ยม (u_{2x}, u_{2y}) ที่มีแกนหลักเป็น u_{2x} และแกนรองเป็น u_{2y} โดยเริ่มจากค่าเริ่มต้นของขนาดช่องเปิดสี่เหลี่ยม (u_{2x}, u_{2y}) พบว่าไม่มีผลกระทบต่อค่าอัตราส่วนแกนมากนัก กล่าวคือจากกราฟเมื่อเพิ่มขนาดของช่องเปิดสี่เหลี่ยมในช่วงตั้งแต่ค่าของความยาว (u_{2x}) เท่ากับ 30 mm และค่าความกว้าง (u_{2y}) เท่ากับ 55 mm จนถึงค่าของความยาว (u_{2x}) เท่ากับ 50 mm และค่าความกว้าง (u_{2y}) เท่ากับ 75 mm ได้ผลของค่าอัตราส่วนแกนที่มีค่าต่ำกว่า 3 dB ในส่วนของค่าอัตราการสูญเสียย้อนกลับนั้นยังมากกว่า -10 dB แต่ขนาดช่องเปิดสี่เหลี่ยม (u_{2x}, u_{2y}) ที่เท่ากับ 45 mm และ 70 mm ตามลำดับมีค่าการสูญเสียย้อนกลับและค่าอัตราส่วนแกนต่ำที่สุด จากผลของค่าอัตราส่วนแกนและค่าอัตราการสูญเสียย้อนกลับที่ได้จากการจำลอง เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงขนาดแกนหลักและแกนรองของช่องเปิดสี่เหลี่ยม ดังนั้นค่าที่เหมาะสมของขนาดช่องเปิดสี่เหลี่ยม (u_{2x}, u_{2y}) มีค่าเท่ากับ 45 mm และ 70 mm ตามลำดับ เนื่องจากมีแนวโน้มของค่าอัตราการสูญเสียย้อนกลับที่สามารถปรับปรุงให้มีค่าที่ดีได้และค่าอัตราส่วนแกนที่ได้ยังคงมีค่าต่ำกว่า 3 dB ซึ่งจะนำค่าที่ได้นี้ใช้ในการจำลองผลต่อไป

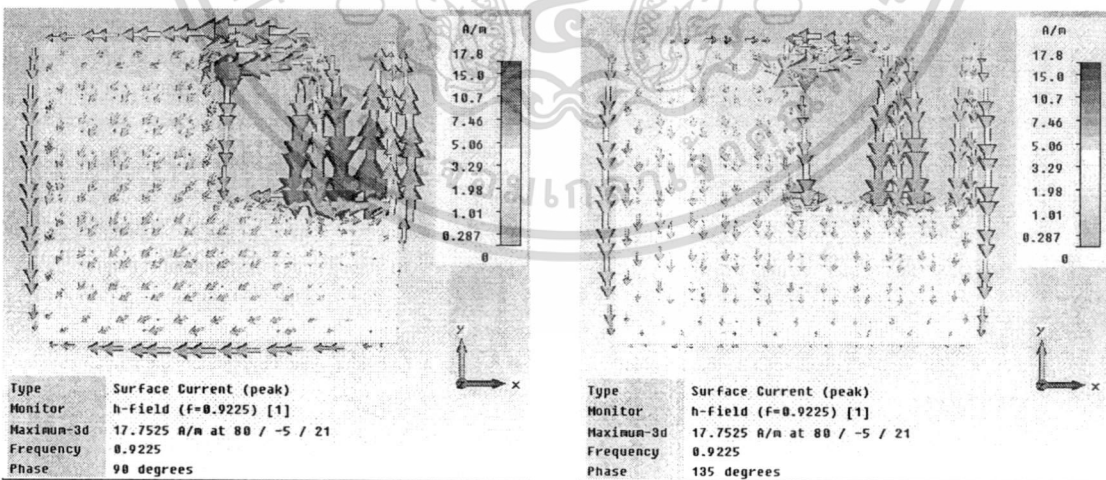
3.3.2.2 กระแสที่ไหลบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบาก ร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยม

ในหัวข้อนี้เป็นการนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบาก ร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมมาจำลองสายอากาศเพื่อดูกระแสที่ไหลบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่น โดยการกำหนดช่องเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้มีความยาว (u_{2x}) และความกว้าง (u_{2y}) เท่ากับ 70 mm และ 45 mm ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลการจำลองที่ได้พิจารณาแล้ว พบว่าผลของกระแสที่ไหลบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ความถี่กลาง (922.5 MHz) ของย่านความถี่ใช้งาน แสดงดังรูปที่ 3.15



(ก) $t = 0$

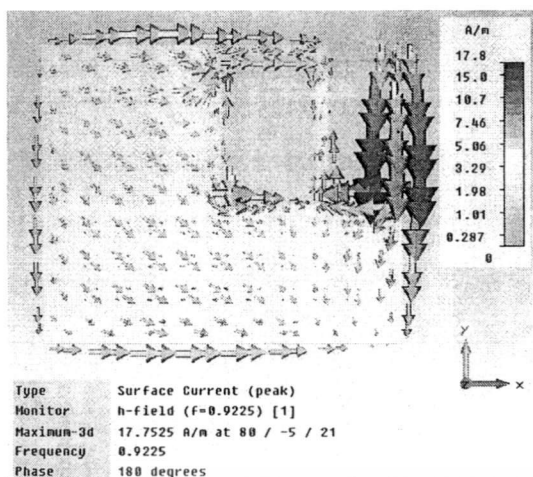
(ข) $t = \frac{T}{8}$



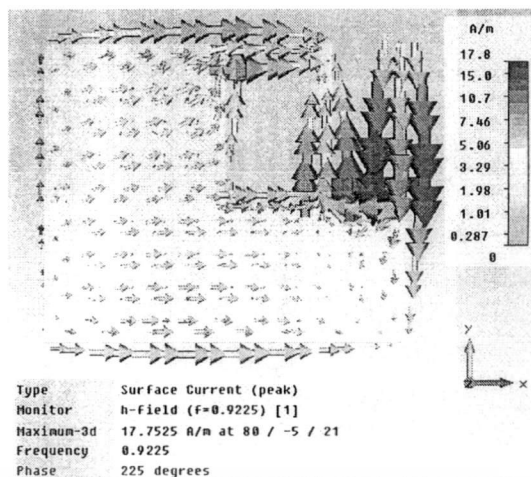
(ค) $t = \frac{T}{4}$

(ง) $t = \frac{3T}{8}$

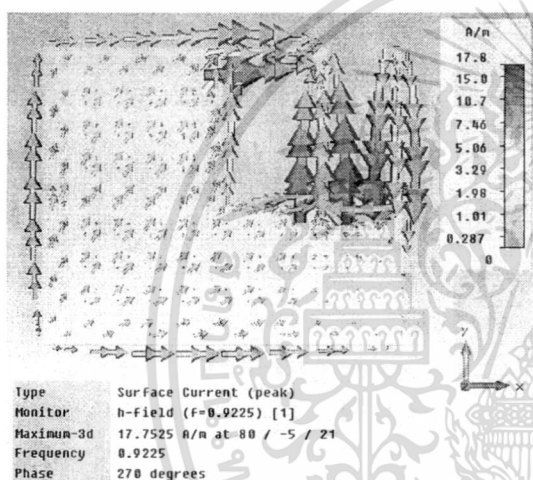
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



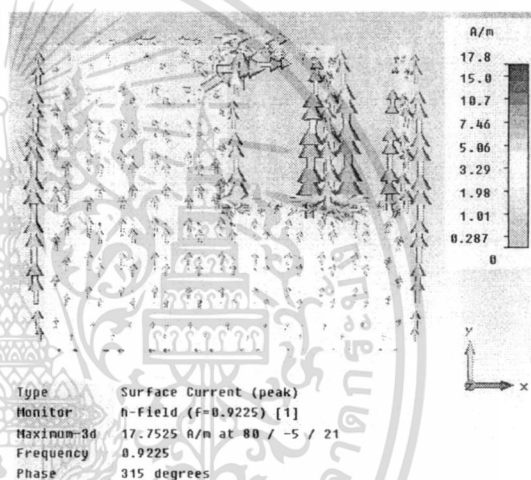
(จ) $t = \frac{T}{2}$



(ฉ) $t = \frac{5T}{8}$



(ช) $t = \frac{3T}{4}$



(ซ) $t = \frac{7T}{8}$

รูปที่ 3.15 แสดงกระแสที่ไหลบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบแผ่นระนาบฉาก

ร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมที่เวลา (t) ต่าง ๆ (ก) $t = 0$ (ข) $t = \frac{T}{8}$ (ค) $t = \frac{T}{4}$ (ง) $t = \frac{3T}{8}$

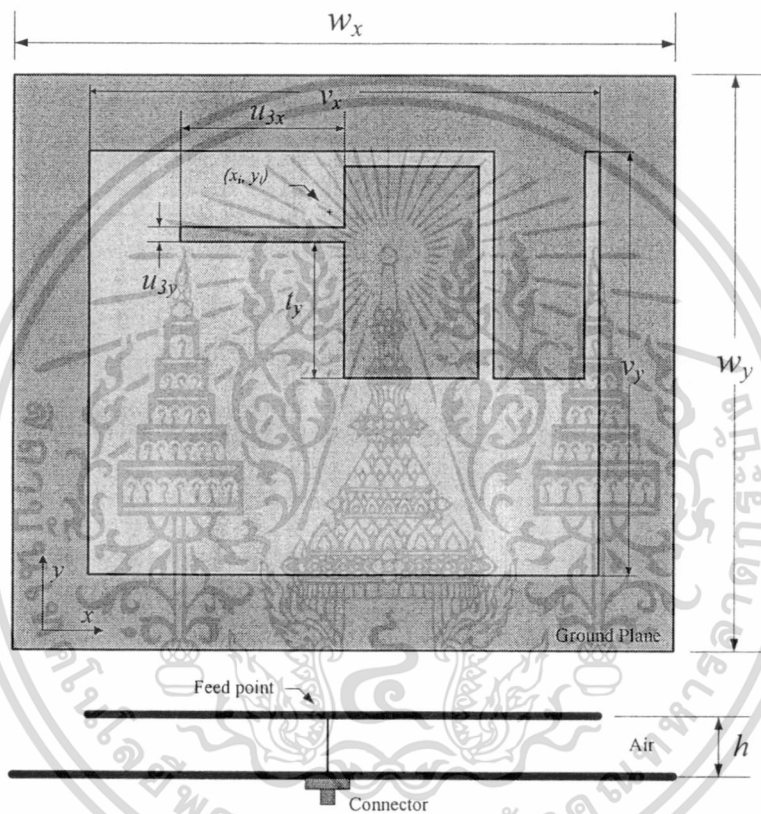
(จ) $t = \frac{T}{2}$ (ฉ) $t = \frac{5T}{8}$ (ช) $t = \frac{3T}{4}$ (ซ) $t = \frac{7T}{8}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.15 แสดงกระแสที่ไหลบนแผ่นตัวนำที่เวลา (t) ต่าง ๆ ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบากร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยม พบว่ากระแสที่ไหลบนแผ่นตัวนำที่เวลา (t) ต่าง ๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางไหลของกระแสตลอดเวลา กล่าวคือที่เวลา (t) ต่าง ๆ จะมีทิศทางไหลของกระแสนบนแผ่นตัวนำแพร่กระจายคลื่นที่เปลี่ยนแปลงไปมีทิศทางโดยประมาณได้ดังนี้ ที่เวลา (t) เท่ากับ 0 มีทิศของกระแส \blackleftarrow ที่เวลา (t) เท่ากับ $\frac{T}{8}$ มีทิศของกระแส \blackleftarrow ที่เวลา (t) เท่ากับ $\frac{T}{4}$ มีทิศของกระแส \blackleftarrow ที่เวลา (t) เท่ากับ $\frac{3T}{8}$ มีทิศของกระแส \blackdown ที่เวลา (t) เท่ากับ $\frac{T}{2}$ มีทิศของกระแส \blackdown ที่เวลา (t) เท่ากับ $\frac{5T}{8}$ มีทิศของกระแส \blackrightarrow ที่เวลา (t) เท่ากับ $\frac{3T}{4}$ มีทิศของกระแส \blackrightarrow ที่เวลา (t) เท่ากับ $\frac{7T}{8}$ มีทิศของกระแส \blackup และที่เวลา (t) เท่ากับ T มีทิศของกระแส \blackleftarrow ดังนั้นสามารถคาดเดาได้ว่าการไหลของกระแสที่มีการเปลี่ยนแปลงไปทุกเวลา (t) บนแผ่นตัวนำแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบากร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมนั้น สามารถทำให้เกิดการโพลาไรซ์แบบวงกลมได้ โดยจากค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ข้างต้นของการเพิ่มช่องเปิดสี่เหลี่ยมนั้นให้ค่าอัตราส่วนแกนที่ต่ำกว่า 3 dB แต่อย่างไรก็ตามค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ได้มีแนวโน้มลดลงแต่ก็ยังคงมีค่าสูงกว่า -10 dB จึงจะทำการปรับเปลี่ยนโครงสร้างโดยเพิ่มเส้นสี่เหลี่ยมบนแผ่นตัวนำแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบากร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยม มีลักษณะตัดขวางกับช่องเปิดสี่เหลี่ยม โดยจำลองสายอากาศเพื่อหาขนาดของเส้นสี่เหลี่ยมที่เหมาะสม โดยให้มีผลกระทบต่อค่าอัตราส่วนแกนน้อยที่สุด กล่าวคือ ปรับค่าการสูญเสียย้อนกลับให้ต่ำกว่า -10 dB และคงค่าอัตราส่วนแกนที่ได้ให้ต่ำกว่า 3 dB ดังหัวข้อที่ 3.3.3

3.3.3 สายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้นและการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์

ในขั้นตอนที่สามเป็นการเพิ่มเส้นสี่เหลี่ยมบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยม มีลักษณะเป็นช่องตัดขวางช่องเปิดสี่เหลี่ยมโดยมีความยาว (u_{3x}) และความกว้าง (u_{3y}) มีค่าเท่ากับ 55 mm และ 5 mm ตามลำดับ โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยม ที่ได้จากการจำลองในหัวข้อที่ 3.3.1 และหัวข้อที่ 3.3.2 ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 โครงสร้างของสายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น

จากรูปที่ 3.16 การเพิ่มเส้นสี่เหลี่ยมบนสายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมเพื่อให้ได้ผลของค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ดี โดยส่งผลกระทบต่อค่าอัตราส่วนแกนจากที่ได้จำลองสายอากาศมาแล้วในหัวข้อที่ 3.3.1 และหัวข้อที่ 3.3.2 น้อยที่สุด ซึ่งค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศเมื่อเพิ่มเส้นสี่เหลี่ยมแสดงดังตารางที่ 3.4 โดยการเพิ่มเส้นสี่เหลี่ยมนี้ต้องการเพื่อปรับค่าการสูญเสียย้อนกลับให้มีค่าที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

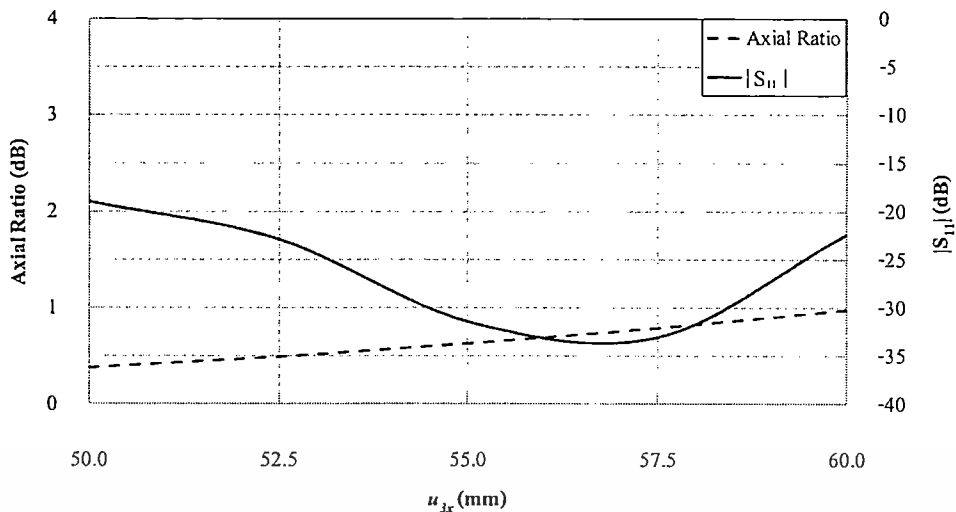
ตารางที่ 3.4 ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น

พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพที่ความถี่ 922.5 MHz (mm)
w_x	220
w_y	190
v_x	170
v_y	140
u_{3x}	55
u_{3y}	5
t_y	45
h	20
x_i	5
y_i	55

ในการหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เหมาะสมเพื่อที่จะให้เส้นสี่เหลี่ยมบนสายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมสามารถปรับค่าการสูญเสียย้อนกลับให้มีค่าต่ำกว่า -10 dB สามารถทำได้โดยใช้โปรแกรมจำลองการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศ โดยที่ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจะพิจารณาจากค่าอัตราส่วนแฉกน้อยกว่า 3 dB และค่าการสูญเสียย้อนกลับให้มีค่าต่ำกว่า -10 dB ตลอดย่านความถี่ที่ต้องการใช้งาน (920 MHz ถึง 925 MHz)

3.3.3.1 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ความยาว (u_{3x}) ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น

ในหัวข้อนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของขนาดความยาว (u_{3x}) ของเส้นสี่เหลี่ยม โดยใช้ค่าของสายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมที่ได้จากการจำลองในหัวข้อที่ 3.3.1 และ 3.3.2 โดยมีค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของขนาดความยาว (u_{3x}) เท่ากับ 55 mm ซึ่งกำหนดให้ความกว้าง (u_{3y}) มีค่าเท่ากับ 5 mm ผลของค่าอัตราส่วนแฉกและค่าการสูญเสียย้อนกลับ เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของความยาว (u_{3x}) ของเส้นสี่เหลี่ยมที่ความถี่กลาง (922.5 MHz) ของย่านความถี่ใช้งาน แสดงดังรูปที่ 3.17

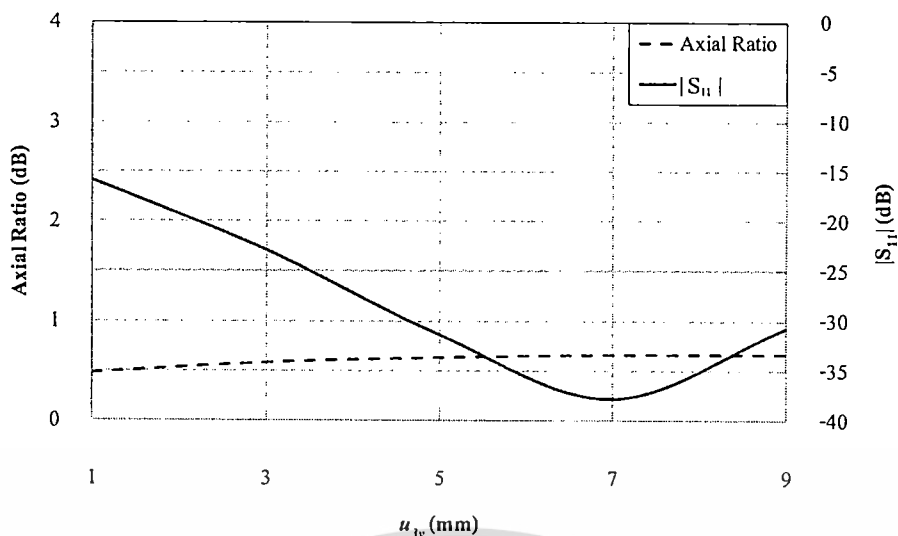


รูปที่ 3.17 ค่าอัตราส่วนแกนและค่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความยาว (u_{3x}) ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบากร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น

จากรูปที่ 3.17 พบว่าเมื่อทำการเพิ่มเส้นสี่เหลี่ยมบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบากร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมจะทำให้ค่าอัตราการสูญเสียย้อนกลับมีค่าต่ำกว่า -10 dB และเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของขนาดความยาว (u_{3x}) ของเส้นสี่เหลี่ยม พบว่าค่าอัตราส่วนแกนตั้งแต่ค่าความยาว (u_{3x}) เท่ากับ 50 mm จนถึง 60 mm ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ส่วนค่าการสูญเสียย้อนกลับอยู่ต่ำกว่า -10 dB ตลอดระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ กล่าวคือเมื่อทำการเพิ่มขนาดความยาว (u_{3x}) ในช่วง 50 mm ถึง 57.5 mm ส่งผลให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับมีค่าลดลง จนกระทั่งถึงช่วง 57.5 mm ถึง 60 mm ค่าการสูญเสียย้อนกลับก็จะเพิ่มขึ้น ดังนั้นค่าที่เหมาะสมสำหรับขนาดความยาว (u_{3x}) ของเส้นสี่เหลี่ยมมีค่าเท่ากับ 57 mm และจะใช้ในการจำลองผลต่อไป

3.3.3.2 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ความกว้าง (u_{3y}) ของของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบากร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น

ในหัวข้อนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของขนาดความกว้าง (u_{3y}) ของเส้นสี่เหลี่ยม โดยใช้ค่าความยาว (u_{3x}) ของเส้นสี่เหลี่ยมที่ได้จากการจำลองในหัวข้อที่ 3.3.3.1 มีค่าเท่ากับ 57 mm และค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของความกว้าง (u_{3y}) เท่ากับ 5 mm ผลของค่าอัตราส่วนแกนและค่าการสูญเสียย้อนกลับ เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของความกว้าง (u_{3y}) ของเส้นสี่เหลี่ยมที่ความถี่กลาง (922.5 MHz) ของย่านความถี่ใช้งาน แสดงดังรูปที่ 3.18

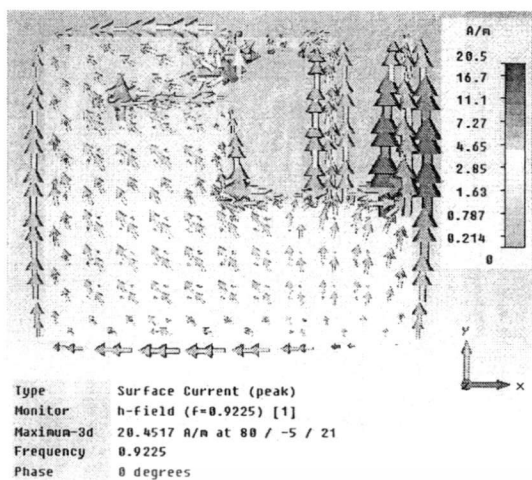


รูปที่ 3.18 ค่าอัตราส่วนแกนและค่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความกว้าง (u_{3y}) ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น

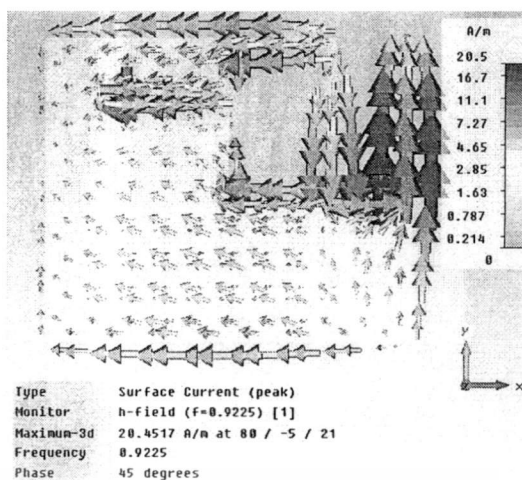
จากรูปที่ 3.18 เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของขนาดความกว้าง (u_{3y}) ของเส้นสี่เหลี่ยม พบว่าค่าอัตราส่วนตั้งแต่ค่าความกว้าง (u_{3y}) เท่ากับ 1 mm จนถึง 9 mm ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ส่วนค่าการสูญเสียย้อนกลับอยู่ต่ำกว่า -10 dB ตลอดระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ กล่าวคือเมื่อทำการเพิ่มขนาดความกว้าง (u_{3y}) ในช่วง 1 mm ถึง 7 mm ส่งผลให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับมีค่าลดลง จนกระทั่งถึงช่วง 7 mm ถึง 9 mm ค่าการสูญเสียย้อนกลับก็จะเพิ่มขึ้น ดังนั้นค่าที่เหมาะสมสำหรับขนาดความกว้าง (u_{3y}) ของเส้นสี่เหลี่ยมมีค่าเท่ากับ 7 mm และจะใช้ในการจำลองผลเพื่อคุณสมบัติของสายอากาศต่อไป

3.3.3.3 กระแสที่ไหลบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น

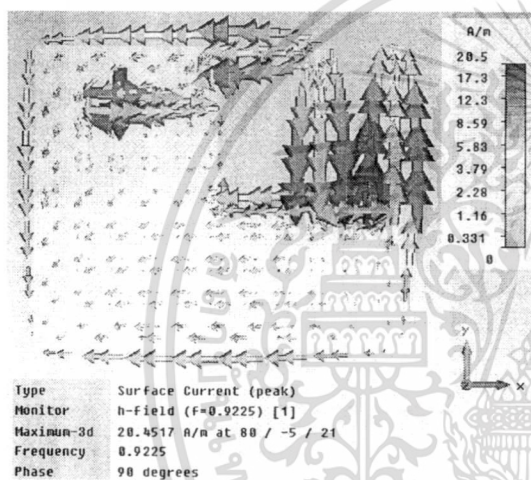
ในหัวข้อนี้เป็นการนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้นมาจำลองสายอากาศเพื่อดูกระแสที่ไหลบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่น โดยการกำหนดเส้นสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้มีความกว้าง (u_{3y}) และความยาว (u_{3x}) เท่ากับ 7 mm และ 57 mm ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลการจำลองที่ได้พิจารณาแล้ว พบว่าผลของกระแสที่ไหลบนผิวตัวนำของสายอากาศที่ความถี่กลาง (922.5 MHz) ของย่านความถี่ใช้งาน แสดงดังรูปที่ 3.19



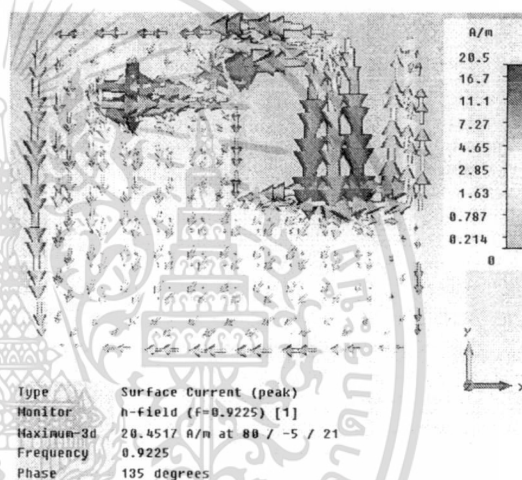
(ก) $t = 0$



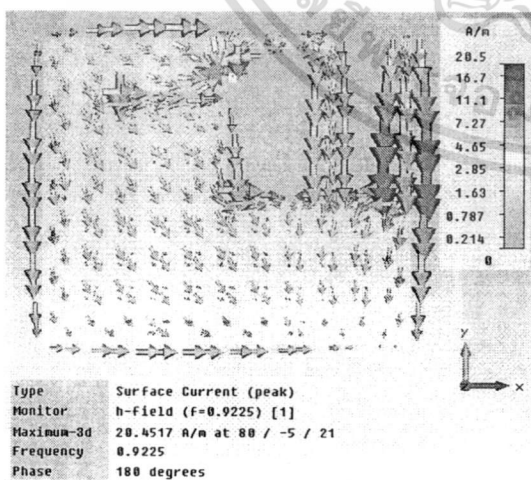
(ข) $t = \frac{T}{8}$



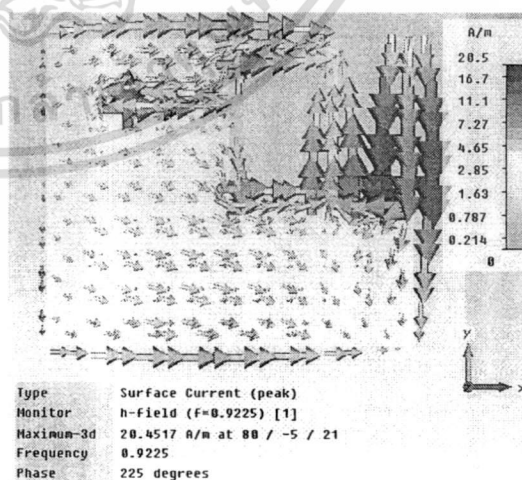
(ค) $t = \frac{T}{4}$



(ง) $t = \frac{3T}{8}$

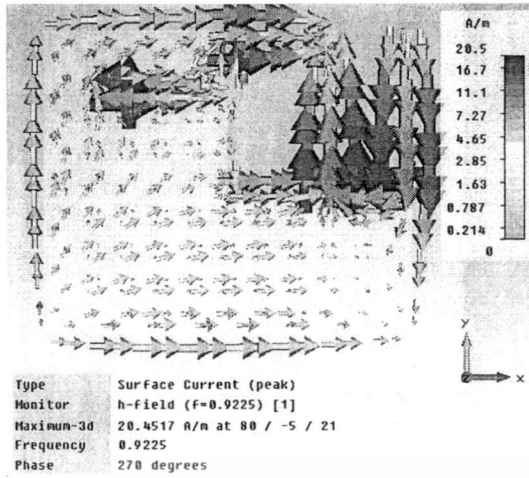


(จ) $t = \frac{T}{2}$

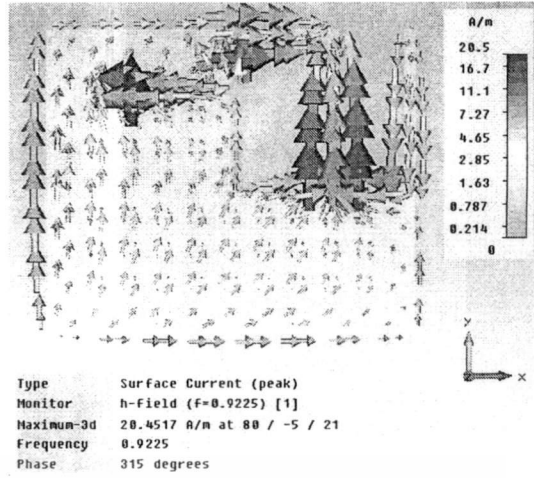


(ฉ) $t = \frac{5T}{8}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$(ข) t = \frac{3T}{4}$$



$$(ง) t = \frac{7T}{8}$$

รูปที่ 3.19 แสดงกระแสที่ไหลบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบาก

ร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้นที่เวลา (t) ต่าง ๆ (ก) $t=0$ (ข) $t = \frac{T}{8}$ (ค) $t = \frac{T}{4}$ (ง)

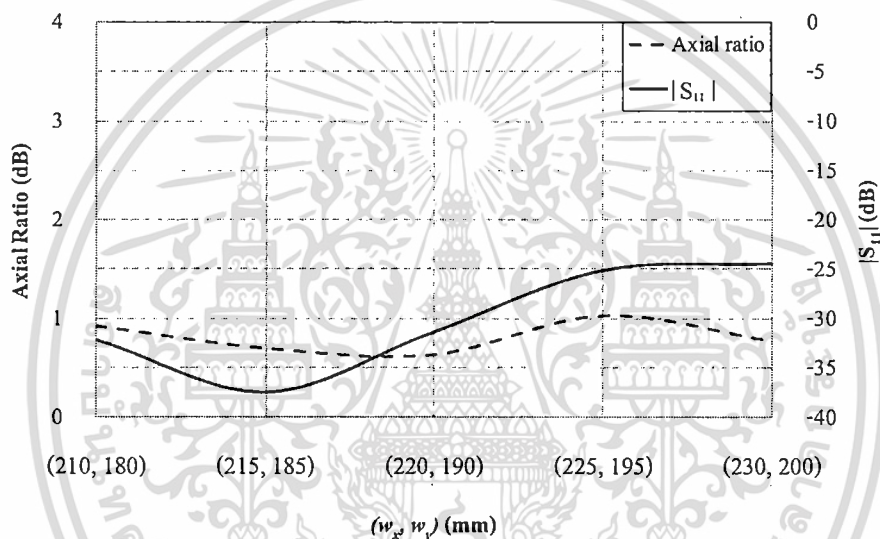
$t = \frac{3T}{8}$ (จ) $t = \frac{T}{2}$ (ฉ) $t = \frac{5T}{8}$ (ช) $t = \frac{3T}{4}$ (ซ) $t = \frac{7T}{8}$

จากรูปที่ 3.15 แสดงกระแสที่ไหลบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบากร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้นที่เวลา (t) ต่าง ๆ พบว่ากระแสที่ไหลบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นที่เวลา (t) ต่าง ๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหลของกระแสตลอดเวลา กล่าวคือเวลา (t) ต่าง ๆ จะมีทิศทางการไหลของกระแสบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นที่เปลี่ยนแปลงไปมีทิศทางโดยประมาณได้ดังนี้ ที่เวลา (t) เท่ากับ 0 มีทิศของกระแส \leftarrow ที่เวลา (t) เท่ากับ $\frac{T}{8}$ มีทิศของกระแส \leftarrow ที่เวลา (t) เท่ากับ $\frac{T}{4}$ มีทิศของกระแส \nwarrow ที่เวลา (t) เท่ากับ $\frac{3T}{8}$ มีทิศของกระแส \downarrow ที่เวลา (t) เท่ากับ $\frac{T}{2}$ มีทิศของกระแส \swarrow ที่เวลา (t) เท่ากับ $\frac{5T}{8}$ มีทิศของกระแส \rightarrow ที่เวลา (t) เท่ากับ $\frac{3T}{4}$ มีทิศของกระแส \nearrow ที่เวลา (t) เท่ากับ $\frac{7T}{8}$ มีทิศของกระแส \uparrow และที่เวลา (t) เท่ากับ T มีทิศของกระแส \leftarrow ดังนั้นสามารถคาดเดาได้ว่าการไหลของกระแสที่มีการเปลี่ยนแปลงไปทุกเวลา (t) นั้นสามารถทำให้เกิดการโพลาไรซ์แบบวงกลมได้ และการเพิ่มเส้นสี่เหลี่ยมนี้ยังสามารถทำให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับต่ำกว่า -10 dB อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ขนาด (w_x, w_y) ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบ บากร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น

ในขั้นสุดท้ายของการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบากร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้นคือ การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของค่าขนาดความกว้าง (w_y) และค่าขนาดความยาว (w_x) ของระนาบกราวด์ของสายอากาศ โดยค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 220 mm และ 190 mm ตามลำดับ ผลของค่าอัตราส่วนแกนและค่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อทำการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของค่าขนาดความกว้าง (w_y) และค่าขนาดความยาว (w_x) ของระนาบกราวด์ของสายอากาศ เมื่อพิจารณาที่ความถี่กลางที่ 922.5 MHz ของย่านความถี่ที่ใช้งาน แสดงดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ค่าอัตราส่วนแกนและค่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าขนาด (w_x, w_y) ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบากร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น

จากรูปที่ 3.20 เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของค่าความกว้าง (w_y) และค่าขนาดความยาว (w_x) ของระนาบกราวด์ของสายอากาศ พบว่าค่าขนาดความกว้าง (w_y) และค่าขนาดความยาว (w_x) ของระนาบกราวด์ของสายอากาศส่งผลกระทบต่อค่าอัตราส่วนแกนและค่าการสูญเสียย้อนกลับในลักษณะที่คล้ายคลึงกัน กล่าวคือเมื่อทำการเพิ่มขนาดความกว้าง (w_y) และค่าขนาดความยาว (w_x) ของระนาบกราวด์ของสายอากาศ จะส่งผลให้ทั้งค่าอัตราส่วนแกนและค่าการสูญเสียย้อนกลับมีค่าลดลงอย่างช้า ๆ อยู่ที่ขนาดความยาว (w_x) เท่ากับ 210 mm และค่าความกว้าง (w_y) เท่ากับ 180 mm และจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ของผลค่าอัตราส่วนแกนที่ขนาดความยาว (w_x) เท่ากับ 220 mm และค่าความกว้าง (w_y) เท่ากับ 190 mm ส่วนผลค่าการสูญเสียย้อนกลับจะมีค่าเพิ่มขึ้นที่ขนาดความยาว (w_x) เท่ากับ 215 mm และค่าความกว้าง (w_y) เท่ากับ 225 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

185 mm และจะสังเกตได้ว่าที่ขนาดความยาว (w_x) เท่ากับ 220 mm และค่าความกว้าง (w_y) เท่ากับ 190 mm มีค่าอัตราส่วนแกนที่ต่ำที่สุด ดังนั้นค่าที่เหมาะสมของค่าขนาดความกว้าง (w_y) และค่าขนาดความยาว (w_x) ของระนาบกรวดของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 220 mm และ 190 mm ตามลำดับ ซึ่งจะนำไปใช้จำลองผลเพื่อทำการวิเคราะห์สมรรถนะของสายอากาศต่อไป

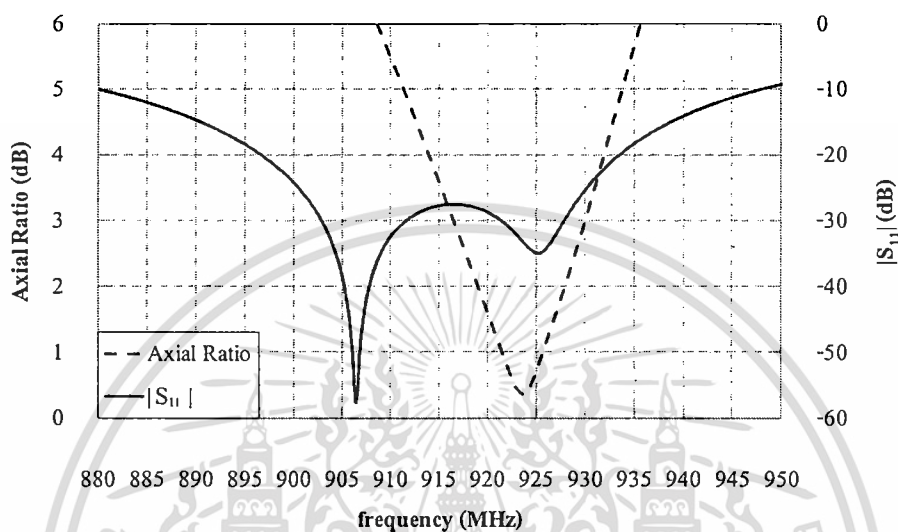
ตารางที่ 3.5 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศต้นแบบ

พารามิเตอร์	ขนาดทางไฟฟ้า	ขนาดทางกายภาพที่ความถี่ 922.5 MHz
w_x	0.646 λ	210 mm
w_y	0.585 λ	190 mm
v_x	0.523 λ	170 mm
v_y	0.431 λ	140 mm
u_{1x}	0.093 λ	30 mm
u_{1y}	0.230 λ	75 mm
u_{2x}	0.138 λ	45 mm
u_{2y}	0.215 λ	70 mm
u_{3x}	0.175 λ	57 mm
u_{3y}	0.021 λ	7 mm
t_x	0.015 λ	5 mm
t_y	0.138 λ	45 mm
h	0.061 λ	20 mm

จากขั้นตอนทั้งหมดของการจำลองผลของสายอากาศแบบแผ่นระนาบกรวดร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น ซึ่งได้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เหมาะสมของสายอากาศ ดังแสดงในตารางที่ 3.5 โดยค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการจำลองผลของสายอากาศจะนำไปใช้ในการวิเคราะห์สมรรถนะของสายอากาศที่นำเสนอต่อไป

3.3.6 ค่าอัตราส่วนแกนและค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศในย่านความถี่ยูเอชเอฟ

ในหัวข้อนี้เป็นการพิจารณาค่าอัตราส่วนแกนและค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ได้จากการจำลองผลของสายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น โดยทำการพิจารณาค่าอัตราส่วนแกนและค่าการสูญเสียย้อนกลับตลอดย่านความถี่ที่ต้องการใช้งาน ค่าอัตราส่วนแกนและค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศตลอดย่านความถี่ใช้งานแสดงได้ดังรูปที่ 3.21

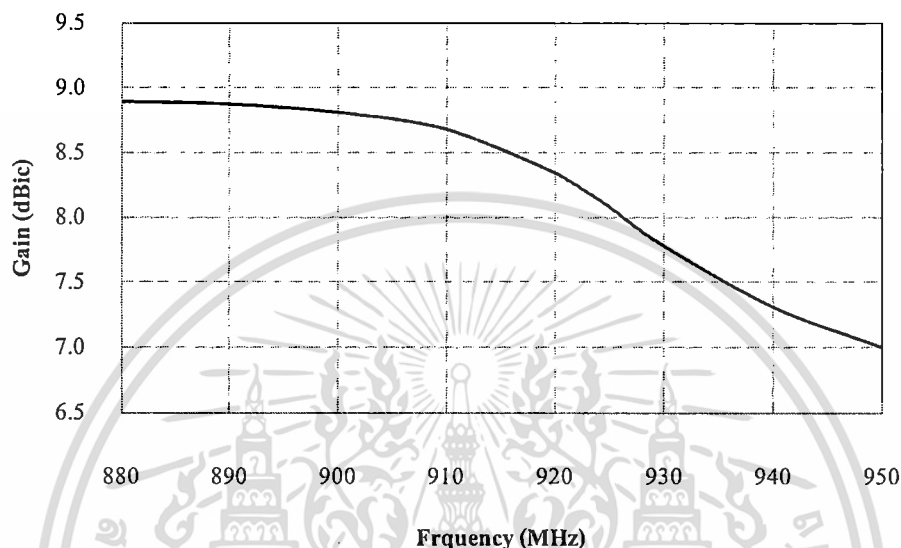


รูปที่ 3.21 ค่าอัตราส่วนแกนและค่าการสูญเสียย้อนกลับที่เป็นฟังก์ชันของความถี่

จากรูปที่ 3.21 พบว่าช่วงกว้างความถี่ของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 67 MHz หรือครอบคลุมตั้งแต่ความถี่ 880 MHz ถึง 947 MHz ซึ่งครอบคลุมย่านความถี่ที่ต้องการใช้งานทั้งหมดและที่ความถี่กลางที่ 922.5 MHz ของย่านความถี่ที่ต้องการใช้งานมีค่าการสูญเสียย้อนกลับเท่ากับ -31 dB ดังนั้นสายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้นสามารถทำงานได้ในช่วงความถี่ที่ต้องการใช้งาน และเมื่อทำการพิจารณาค่าอัตราส่วนแกนในย่านความถี่ที่ใช้งานคือ 920 MHz ถึง 925 MHz พบว่ามีมีค่าอัตราส่วนแกนที่ต่ำกว่า 3 dB ทุกช่วงความถี่ นอกจากนี้ยังพบว่าค่าอัตราส่วนแกนที่มีค่าต่ำกว่า 3 dB ครอบคลุมช่วงความถี่ตั้งแต่ประมาณ 917 MHz ถึง 930 MHz ดังนั้นช่วงความถี่นี้จึงเป็นความถี่ที่สายอากาศสามารถทำงานได้โดยที่มีการ โพลาริเซชันเป็นแบบวงกลม

3.3.7 ค่าอัตราขยายของสายอากาศในย่านความถี่เอชเอฟ

ในหัวข้อนี้เป็นการพิจารณาค่าอัตราขยายที่ได้จากการจำลองผลการออกแบบสายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น โดยทำการพิจารณาค่าอัตราขยายที่ด้านหน้าของสายอากาศตรงมุม 0° ซึ่งเป็นมุมที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร ค่าอัตราขยายของสายอากาศภายในย่านความถี่ที่ต้องการใช้งาน แสดงดังรูปที่ 3.22

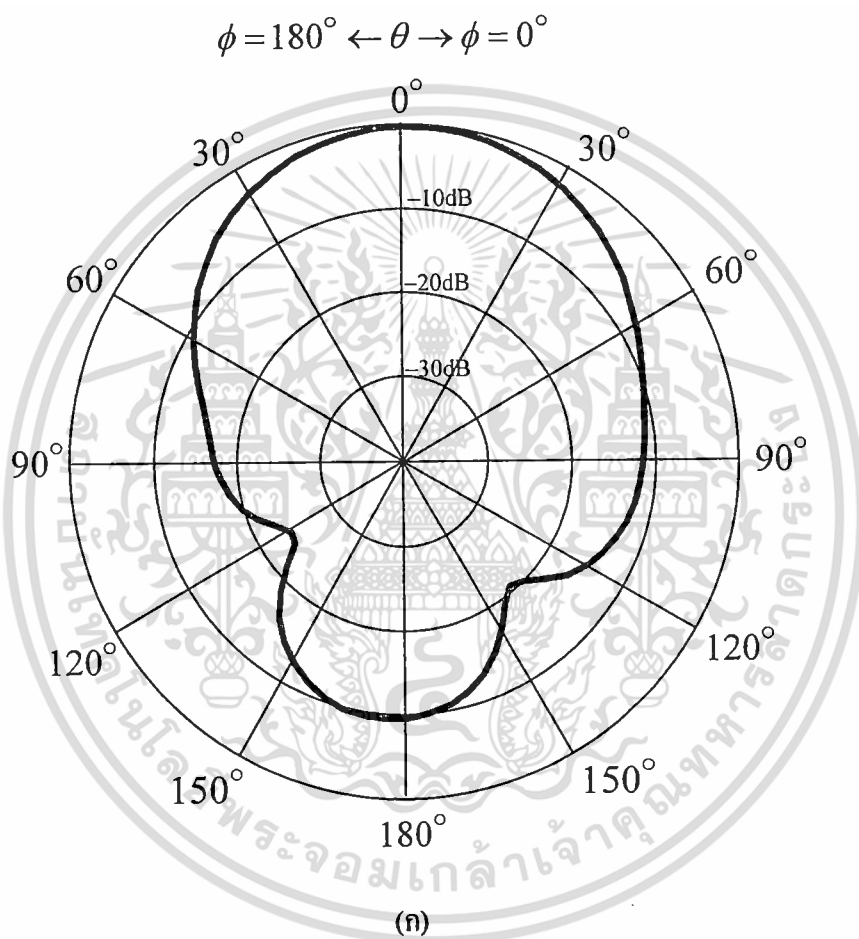


รูปที่ 3.22 ค่าอัตราขยายของสายอากาศ

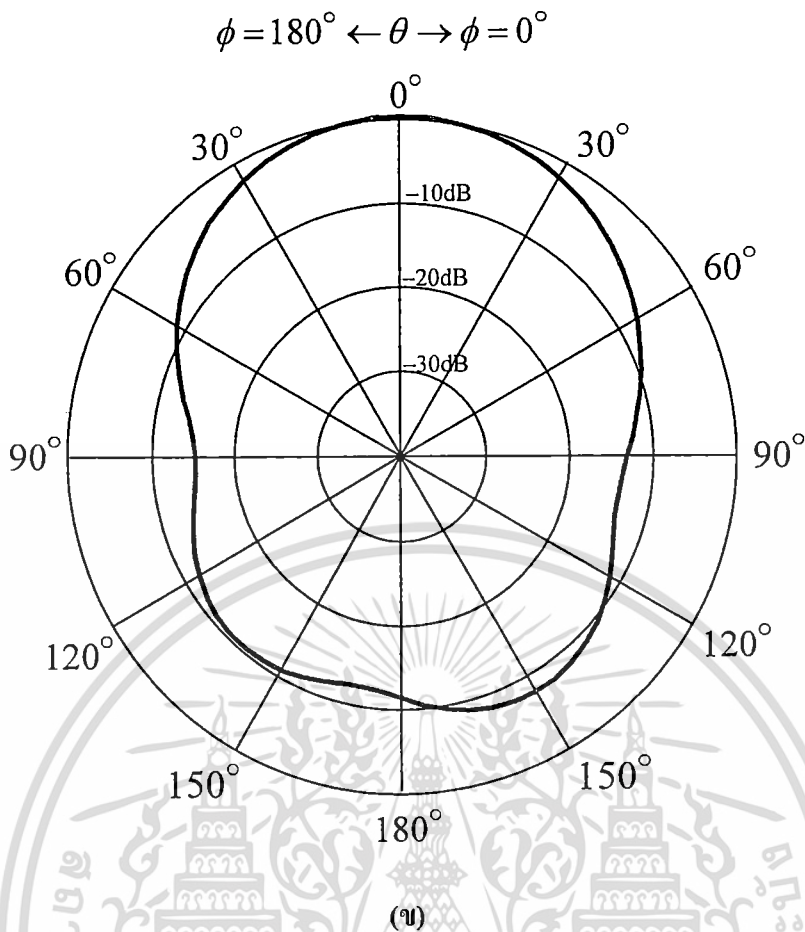
จากรูปที่ 3.22 แสดงค่าอัตราขยายของสายอากาศ พบว่าค่าอัตราขยายมีค่าสูงในช่วงความถี่ต่ำและมีค่าสูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 8.89 dBic ซึ่งอยู่ที่ความถี่ 880 MHz และมีค่าอัตราขยายที่ลดลงเมื่อมีความถี่สูงขึ้น ส่วนในช่วงความถี่ที่ต้องการใช้งาน (920 MHz ถึง 925 MHz) มีค่าอัตราขยายอยู่ในช่วงตั้งแต่ 8.34 dBic ถึง 8.08 dBic และที่ความถี่กลางมีค่าเท่ากับ 8.22 dBic ซึ่งถือว่าเป็นค่าอัตราขยายที่สูง

3.3.8 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในย่านยูเอชเอฟ

จากการนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมทั้งหมดของสายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้นมาจำลองผลเพื่อพิจารณาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ความถี่กลาง 922.5 MHz ของย่านความถี่ใช้งาน โดยจะทำการพิจารณาทั้งในระนาบ xz และระนาบ yz โดยที่สายอากาศวางตัวตั้งฉากกับทิศทางแกน z ดังแสดงในรูปที่ 3.1 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในระนาบ xz และระนาบ yz ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้นแสดงดังรูปที่ 3.23



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ (ก) ระนาบ xz (ข) ระนาบ yz

จากรูปที่ 3.23(ก) และรูปที่ 3.23(ข) พบว่ามีลักษณะแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบทิศทางเดียวเนื่องจากสายอากาศที่นำเสนอมีลักษณะเป็นไมโครสตริปซึ่งมีระนาบกราวด์ด้านล่างแล้วยังพบว่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นไม่สมมาตรกันอันเนื่องมาจากโครงสร้างของสายอากาศและตำแหน่งการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศไม่สมมาตรกัน แต่อย่างไรก็ตามแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในทั้งสองระนาบมีค่าความแรงที่ด้านหน้าของสายอากาศ ซึ่งเป็นทิศทางที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ xz และระนาบ yz มีค่าความกว้างของลำคลื่นเท่ากับ 65° และ 68° ตามลำดับ และมีอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังเท่ากับ 10.07 dB

ตารางที่ 3.6 สรุปสมรรถนะของสายอากาศที่ได้จากการจำลองสายอากาศ

สมรรถนะของสายอากาศ	ค่าที่ได้จากการจำลองที่ความถี่ 922.5 MHz
ค่าการสูญเสียย้อนกลับ	-31 dB
ค่าอัตราขยาย	8.22 dBic
ค่าอัตราส่วนแกน	0.64 dB
ความกว้างของลำคลื่นในระนาบ xz	65°
ความกว้างของลำคลื่นในระนาบ yz	68°

3.6 บทสรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอขั้นตอนในการออกแบบและการจำลองผลของสายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้นสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ยูเอชเอฟ โดยเริ่มจากการกำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นให้กับสายอากาศก่อนแล้วทำการออกแบบสายอากาศแบบแผ่นระนาบ และทำการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของสายอากาศเพื่อให้ได้ค่าอัตราส่วนแกนตามต้องการ คือสายอากาศแบบแผ่นระนาบบาก โดยนำมาจำลองสายอากาศเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศซึ่งได้ทำการพิจารณาอัตราส่วนแกนโดยกำหนดเงื่อนไขขอบเขตคือค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศจะต้องทำให้ค่าอัตราส่วนแกนมีค่าต่ำกว่า 3 dB ตลอดย่านความถี่ที่ต้องการใช้งาน แล้วจึงปรับเปลี่ยนโครงสร้างของสายอากาศเป็นสายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้นเพื่อให้ได้ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศมีค่าต่ำกว่า -10 dB และยังคงค่าอัตราส่วนแกนมีค่าต่ำกว่า 3 dB ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบากก่อนหน้า โดยกำหนดเงื่อนไขขอบเขตคือค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศจะต้องทำให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับต่ำกว่า -10 dB โดยที่ค่าอัตราส่วนแกนยังคงมีค่าต่ำกว่า 3 dB ตลอดย่านความถี่ที่ต้องการใช้งาน เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมแล้ว หลังจากนั้นทำการพิจารณาสมรรถนะของสายอากาศ โดยพิจารณาค่าต่างๆ คือ ค่าอัตราส่วนแกน ค่าการสูญเสียย้อนกลับ ค่าอัตราขยาย และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ พบว่าสายอากาศมีอัตราส่วนแกนที่ต่ำกว่า 3 dB ตลอดย่านความถี่ที่ต้องการใช้งานที่ 920 MHz ถึง 925 MHz ซึ่งส่งผลให้สายอากาศมีการโพลาไรซ์เป็นแบบวงกลม และที่ความถี่กลางของย่านความถี่ที่ต้องการใช้งาน (922.5 MHz) มีค่าอัตราส่วนแกนเท่ากับ 0.64 dB เมื่อพิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับพบว่ามีความต่ำกว่า -10 dB ตลอดย่านความถี่ที่ต้องการใช้งาน มีค่าอัตราขยายประมาณ 8 dBic ตลอดย่านความถี่ที่ต้องการใช้งาน และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเป็นแบบทิศทางเดียว ฉะนั้นเพื่อยืนยันความถูกต้องของผลจากการจำลองโดยจะนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการจำลองสายอากาศนำไปสร้างสายอากาศต้นแบบเพื่อนำผลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลอง ซึ่งจะกล่าวในบทถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

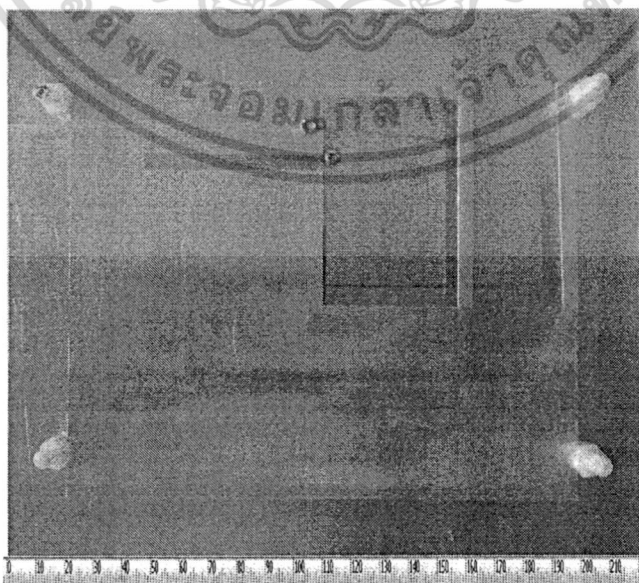
ผลการทดสอบสายอากาศ

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงการทดสอบและผลการทดสอบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่เอชเอฟแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น ซึ่งจะพิจารณาถึงผลค่าการสูญเสียย้อนกลับ ค่าอัตราขยาย ค่าอัตราส่วนแกน และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโดยจะนำผลที่ได้จากการทดสอบมาทำการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองซึ่งได้นำเสนอไว้แล้วในบทที่ 3 เพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องของผลที่ได้จากการจำลอง ในส่วนรายละเอียดต่างๆ จะได้กล่าวไว้ในหัวข้อถัดไป

4.2 สายอากาศต้นแบบ

ในหัวข้อนี้จะเป็นการนำเสนอต้นแบบของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่เอชเอฟแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น สำหรับใช้ในการทดสอบเพื่อยืนยันความถูกต้อง โดยสายอากาศที่นำเสนอนี้ใช้งานที่ความถี่ 920 MHz ถึง 925 MHz ซึ่งเป็นมาตรฐานประเทศไทยของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่เอชเอฟ วัสดุที่นำมาใช้สร้างสายอากาศต้นแบบเป็นวัสดุที่เป็นอลูมิเนียม เนื่องจากไม่เป็นสนิม มีความแข็งแรงทนทาน น้ำหนักเบา และมีราคาถูก ลักษณะของสายอากาศต้นแบบแสดงดังรูปที่ 4.1 ส่วนค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้สร้างสายอากาศต้นแบบ แสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งได้มาจากการจำลองผลในบทที่ 3



รูปที่ 4.1 ลักษณะ โครงสร้างของสายอากาศต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศต้นแบบ

พารามิเตอร์	ขนาดทางไฟฟ้า	ขนาดทางกายภาพที่ความถี่ 922.5 MHz
w_x	0.646λ	210 mm
w_y	0.585λ	190 mm
v_x	0.523λ	170 mm
v_y	0.431λ	140 mm
u_{1x}	0.093λ	30 mm
u_{1y}	0.230λ	75 mm
u_{2x}	0.138λ	45 mm
u_{2y}	0.215λ	70 mm
u_{3x}	0.175λ	57 mm
u_{3y}	0.021λ	7 mm
t_x	0.015λ	5 mm
t_y	0.138λ	45 mm
h	0.061λ	20 mm

4.3 การทดสอบสายอากาศ

การทดสอบสายอากาศได้ทำการสร้างสายอากาศต้นแบบขึ้นมา ที่จะนำสายอากาศต้นแบบนี้มาทำการทดสอบสมรรถนะต่างๆ เช่น ค่าการสูญเสียย้อนกลับ ค่าอัตราขยาย ค่าอัตราส่วนแกน และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ และนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลการจำลองที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดสอบสายอากาศแบบแผ่นระนาบด้วยร่องและช่องเปิดที่ป้อนสัญญาณด้วยโพรบมีดังต่อไปนี้

1. เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย HP 8720C
2. สายนำสัญญาณ
3. มัลติมิเตอร์
4. สายอากาศแบบเกลียว

การทดสอบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ยูเอชเอฟแบบแผ่นระนาบมากร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้นเพื่อหาค่าการสูญเสียย้อนกลับ โดยได้นำสายอากาศที่จะทำการทดสอบผลมาทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย HP 8720C ในการหาค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบเพื่อหาค่าอัตราขยายของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่เอชเอฟแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น ซึ่งในการทดสอบเพื่อหาค่าอัตราขยายนั้นจะใช้สายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้นทำหน้าที่เป็นสายอากาศทางด้านรับและใช้สายอากาศแบบไดโพลมาตรฐานทำหน้าที่เป็นสายอากาศทางด้านส่ง โดยที่การทดสอบสายอากาศจะต้องทำภายในสนามระยะไกล เพราะฉะนั้นระยะห่าง (d) ระหว่างสายอากาศของตัวส่งและสายอากาศของตัวรับต้องเป็นไปตามเงื่อนไข $d \geq \frac{2D^2}{\lambda_0}$ โดยที่ D คือ ขนาดของสายอากาศที่มีความยาวที่สุดและ λ_0 คือความยาวคลื่นในอากาศโดยพิจารณาที่ความถี่ใช้งาน ดังนั้นจึงกำหนดให้ระยะห่างระหว่างสายอากาศของตัวส่งและสายอากาศของตัวรับมีค่าเท่ากับ 1 เมตร

การทดสอบค่าอัตราส่วนแกนและการทดสอบค่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น ซึ่งในการทดสอบนั้นจะใช้สายอากาศแบบเกลียวที่มีจำนวนรอบเท่ากับ 7 รอบ และมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 9 cm มาใช้ทำหน้าที่เป็นสายอากาศทางด้านส่ง และใช้สายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้นทำหน้าที่เป็นสายอากาศด้านรับ กำหนดให้ระยะห่างระหว่างสายอากาศของตัวส่งและสายอากาศของตัวรับมีค่าเท่ากับ 1 เมตร ซึ่งผลจากการทดสอบที่ได้สามารถคำนวณหาค่าอัตราส่วนแกนได้จากสมการที่ 4.1

$$\text{Axial Ratio} = 20 \log \left[\frac{|E_{co}| + |E_{xp}|}{|E_{co}| - |E_{xp}|} \right] \quad (4.1)$$

โดยที่

$|E_{co}|$ คือขนาดของสนามไฟฟ้าที่มีการโพลาไรซ์แบบเดียวกับโพลาไรซ์ของสายอากาศตัวรับ

$|E_{xp}|$ คือขนาดของสนามไฟฟ้าที่มีการโพลาไรซ์ตรงกันข้ามกับโพลาไรซ์ของสายอากาศตัวรับ

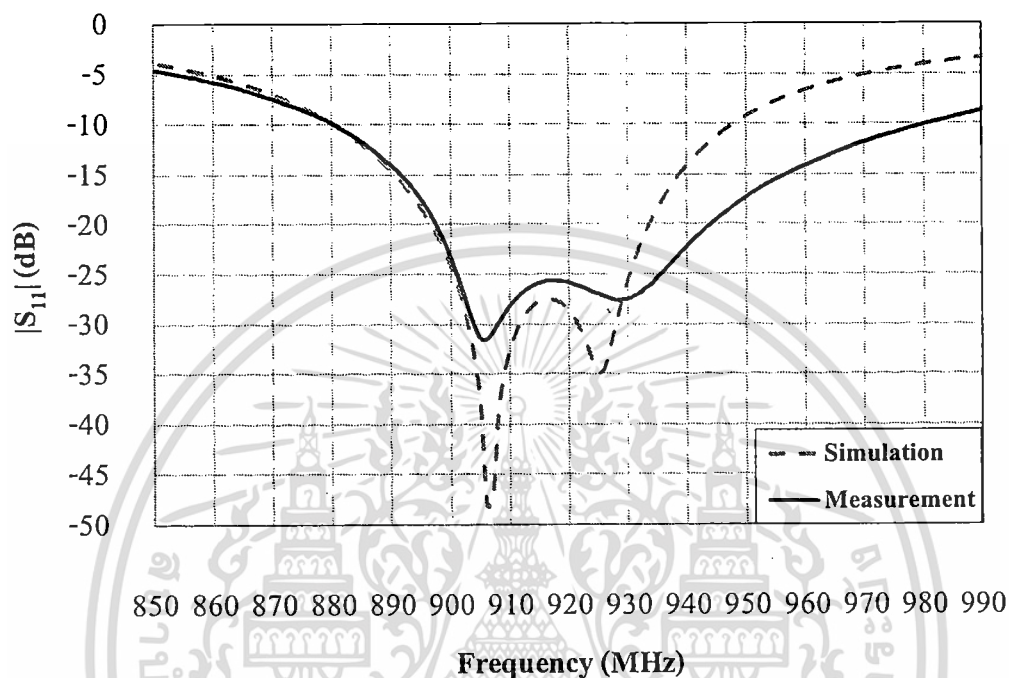
4.4 ผลการทดสอบสายอากาศ

เมื่อทำการสร้างสายอากาศตัวต้นแบบซึ่งเป็นสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่เอชเอฟแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้นเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จากนั้นเป็นการนำสายอากาศต้นแบบที่ได้มาทำการทดสอบสมรรถนะต่าง ๆ ของสายอากาศแล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองในบทที่ 3 โดยมีการเปรียบเทียบผลที่ได้ของค่าสูญเสียย้อนกลับ ค่าอัตราขยาย ค่าอัตราส่วนแกน และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ จะแสดงรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1 ผลการทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น

ในหัวข้อนี้เป็นการเปรียบเทียบผลของค่าการสูญเสียย้อนกลับระหว่างผลที่ได้จากการทดสอบกับผลที่ได้จากการจำลอง ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.2 ผลของค่าการสูญเสียย้อนกลับทั้งสองจะทำการเปรียบเทียบกับย่านความถี่เอชเอฟ



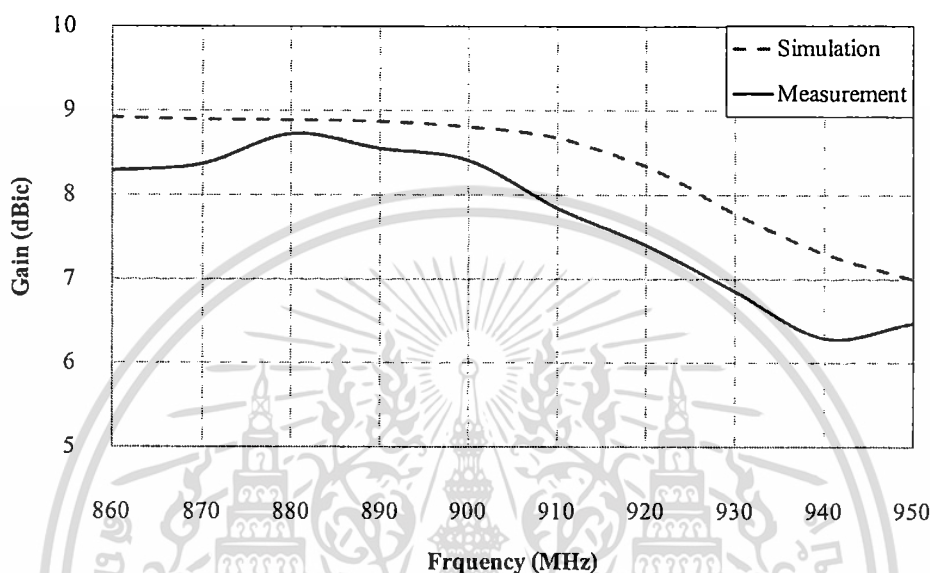
รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบผลของค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ได้จากการทดสอบและการจำลอง

จากรูปที่ 4.2 พบว่าผลของค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ได้จากการทดสอบกับผลที่ได้จากการจำลองมีความสอดคล้องกันแต่ก็มีความคลาดเคลื่อน โดยที่ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ได้จากการทดสอบจะมีช่วงกว้างความถี่ 99 MHz ที่ 881 MHz ถึง 980 MHz ในขณะที่ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ได้จากการจำลองจะมีช่วงกว้างความถี่ 67 MHz ที่ 881 MHz ถึง 947 MHz ซึ่งจากการทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ได้จะมีช่วงความถี่ที่กว้างกว่าผลที่ได้จากการจำลอง และผลระดับของค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ความถี่กลาง 922.5 MHz ที่ได้จากการทดสอบมีค่าที่ได้้น้อยกว่าการจำลอง สาเหตุน่าจะเกิดจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศต้นแบบที่มีการสร้างขึ้นมามีความคลาดเคลื่อนไปจากค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการจำลองผล รวมทั้งผลของวัสดุที่นำมาใช้สร้างสายอากาศ อย่างไรก็ตามค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศต้นแบบของสายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้นอยู่ในช่วงย่านความถี่ใช้งานมีค่าต่ำกว่า -10 dB ตลอดทั้งย่าน และที่ความถี่กลางผลของค่าการสูญเสียย้อนกลับเท่ากับ -26 dB ดังนั้นสายอากาศจึงสามารถทำงานได้ในย่านความถี่ใช้งานที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 การทดสอบค่าอัตราขยายของสายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น

ในหัวข้อนี้เป็นการเปรียบเทียบผลของอัตราขยายตลอดย่านความถี่ตอบสนองที่ต้องการใช้งานย่านความถี่ยูเอชเอฟระหว่างผลที่ได้จากการทดสอบและผลที่ได้จากการจำลอง ผลการเปรียบเทียบของอัตราขยายของสายอากาศแสดงดังรูปที่ 4.3

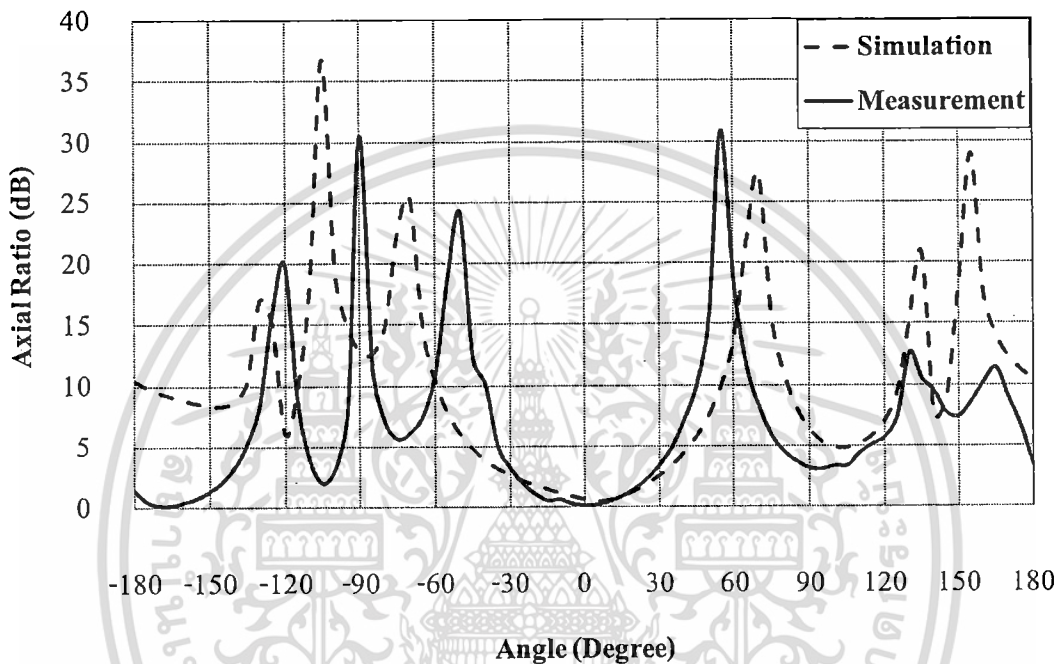


รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบผลของค่าอัตราขยายที่ได้จากการทดสอบและการจำลอง

จากรูปที่ 4.3 เมื่อทำการเปรียบเทียบผลของค่าอัตราขยายระหว่างผลที่ได้จากการทดสอบกับผลที่ได้จากการจำลองมีแนวโน้มที่สอดคล้องกัน โดยที่ความถี่ใช้งานที่ความถี่กลาง 922.5 MHz มีค่าเท่ากับ 7.25 dBic แต่จะสังเกตว่าตลอดช่วงความถี่ที่มีความคลาดเคลื่อนที่สูงพอสมควร คือผลของค่าอัตราขยายที่ได้จากการทดสอบมีค่าต่ำกว่าผลที่ได้จากการจำลองตลอดช่วงความถี่ สาเหตุน่าจะเกิดมาจากการทดสอบสายอากาศต้นแบบนั้น อาจมีผลของสภาพแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้อง ในขณะที่การจำลองผลค่าอัตราขยายของสายอากาศจะไม่รวมผลของสภาพแวดล้อม ดังนั้นจึงทำให้ผลของค่าอัตราขยายที่ได้จากการทดสอบมีความคลาดเคลื่อนไปจากค่าอัตราขยายที่ได้จากการจำลองผล

4.4.3 การทดสอบค่าอัตราส่วนแกนของสายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น

ในหัวข้อนี้เป็นการเปรียบเทียบผลของค่าอัตราขยายส่วนแกนของสายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้นระหว่างผลที่ได้จากการทดสอบกับผลที่ได้จากการจำลอง โดยพิจารณาในย่านความถี่ที่ต้องการใช้งานย่านความถี่ยูเอชเอฟที่ความถี่กลาง ผลของการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนแกนของสายอากาศแสดงได้ดังรูปที่ 4.4

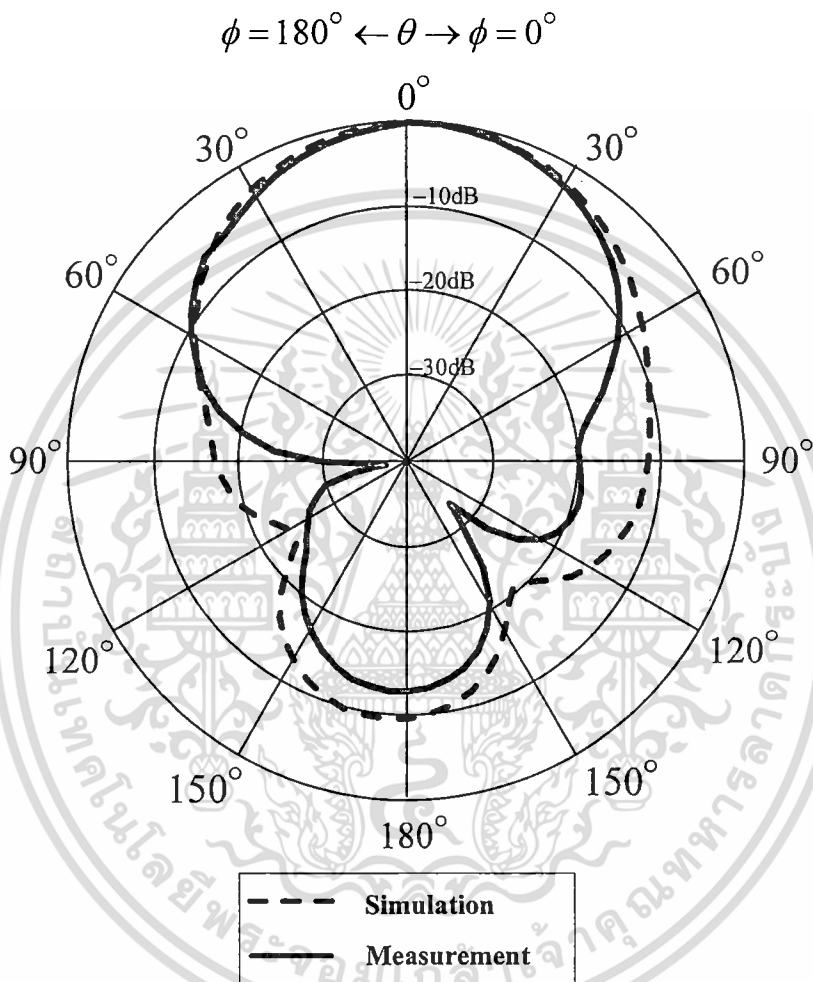


รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบผลของค่าอัตราส่วนแกนที่ได้จากการทดสอบและการจำลอง

จากรูปที่ 4.4 เมื่อทำการเปรียบเทียบผลของค่าอัตราส่วนแกนที่ได้จากการทดสอบกับผลที่ได้จากการจำลอง มีแนวโน้มเดียวกันระหว่างผลการทดสอบกับผลที่ได้จากการจำลอง พบว่าค่าอัตราส่วนแกนที่มุมต่าง ๆ ของผลที่ได้จากการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการจำลอง แต่ก็ยังมีความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากหลายๆสาเหตุ เช่น สายอากาศแบบเกลียวที่มีโพลาริซเป็นแบบวงกลมที่ใช้ทำหน้าที่เป็นสายอากาศตัวส่งอาจจะมิโพลาริซเป็นแบบวงกลมที่ไม่ดีพอ การสูญเสียจากวัสดุที่นำมาทำสายอากาศต้นแบบที่ใช้ลูมิเนียมเป็นตัวนำ และค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศต้นแบบมีความคลาดเคลื่อนจากค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการจำลองผล เป็นต้น อย่างไรก็ตามผลที่ได้จากการทดสอบค่าอัตราส่วนแกนของสายอากาศที่มุม 0° หรือบริเวณด้านหน้าของสายอากาศ พบว่าค่าอัตราส่วนแกนที่ต่ำกว่า 3 dB จากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 50° ส่วนจากการจำลองมีค่า 60° และที่มุม 0° มีค่าอัตราส่วนแกนจากการทดสอบเท่ากับ 0.09 dB ส่วนผลที่ได้จากการจำลองที่มุม 0° มีค่าอัตราส่วนแกนเท่ากับ 0.64 dB ดังนั้นจึงส่งผลให้สายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้นมีการโพลาริซเป็นแบบวงกลม

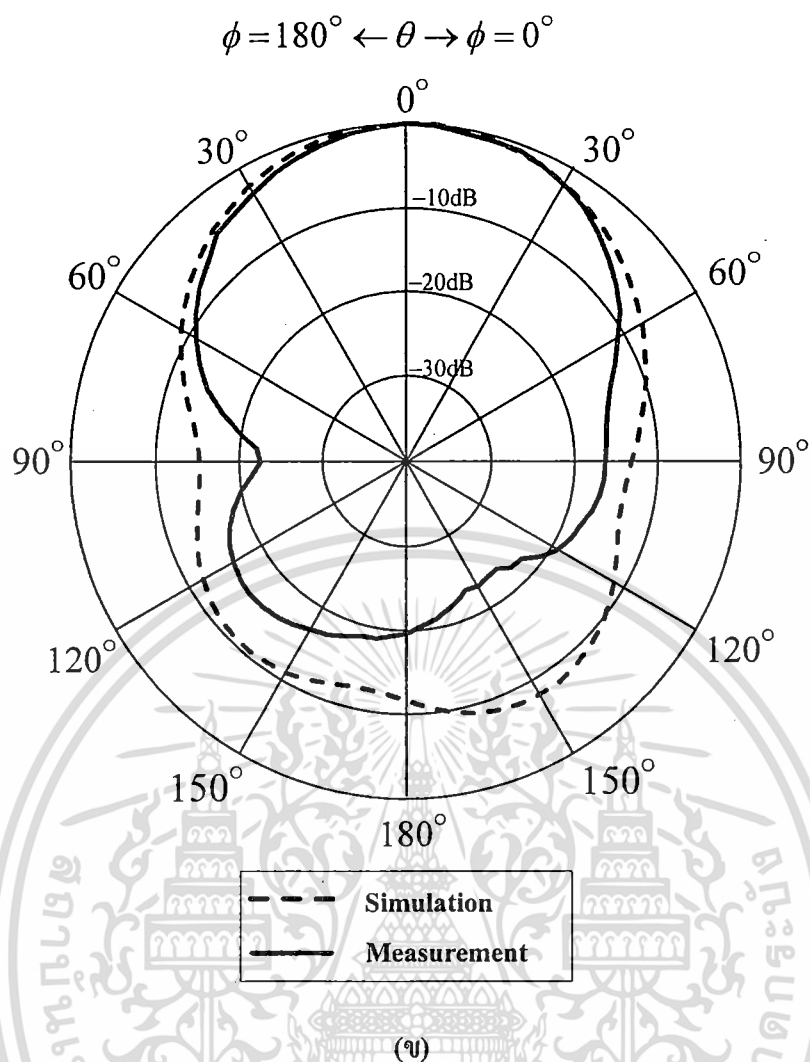
4.4.4 การทดสอบค่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบแผ่นระนาบบวก ร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น

ในหัวข้อนี้เปรียบเทียบผลของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ใช้งาน ซึ่งผลที่นำมาเปรียบเทียบจะมีผลของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบไฟฟ้าซึ่งอยู่ในระนาบ xz และระนาบสนามแม่เหล็กซึ่งอยู่ในระนาบ yz ที่ความถี่กลาง 922.5 MHz ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.5



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบผลของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ได้จากการทดสอบและการจำลอง

(ก) ระนาบ xz (ข) ระนาบ yz

จากรูปที่ 4.5(ก) และ 4.8(ข) เป็นการเปรียบเทียบผลของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ได้จากการทดสอบและผลที่ได้จากการจำลองในระนาบ xz และระนาบ yz ตามลำดับ ที่ความถี่กลางของย่านความถี่ที่ต้องการใช้งาน จะพบว่าจากการทดสอบได้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียว โดยมีความกว้างของลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบ xz และระนาบ yz มีค่าเท่ากับ 55° ทั้งสองระนาบ โดยที่มุม 0° เป็นทิศทางที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร และมีอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังของระนาบ xz จากการจำลองและการทดสอบมีค่าเท่ากับ 9.79 dB และ 12.96 dB ตามลำดับ ส่วนระนาบ yz จากการจำลองและการทดสอบมีค่าเท่ากับเท่ากับ 11.84 dB และ 19.83 dB ตามลำดับ ซึ่งพบว่าผลที่ได้จากการทดสอบและผลที่ได้จากการจำลองมีแนวโน้มสอดคล้องกัน แต่ก็ยังมีความผิดเพี้ยนอันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมและการติดตั้งสายอากาศในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 สรุปสมรรถนะของสายอากาศต้นแบบ

สมรรถนะของสายอากาศ	ค่าที่ได้จากการทดสอบที่ความถี่ 922.5 MHz
ค่าการสูญเสียย้อนกลับ	-26 dB
ค่าอัตราขยาย	7.25 dBic
ค่าอัตราส่วนแกน	0.09 dB
ความกว้างของลำคลื่นในระนาบ xz	55°
ความกว้างของลำคลื่นในระนาบ yz	55°

4.5 บทสรุป

ผลที่ได้จากการทดสอบพบว่าสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ยูเอชเอฟแบบแผ่นระนาบมากร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น พบว่ามีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นทิศทางเดียว มีค่าความกว้างลำคลื่นในระนาบมุมยกและระนาบมุมกวาดเท่ากับ 55° ทั้งสองระนาบ มีอัตราการสูญเสียย้อนกลับที่สามารถรับการใช้งานในย่านความถี่ยูเอชเอฟของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ มีอัตราขยายที่ 7.25 dBic มีแบบโพลาริซวงกลมเมื่อเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากการทดสอบและการจำลองนั้นมีแนวโน้มของการเรโซแนนซ์ในช่วงความถี่ใช้งานที่ย่านความถี่ยูเอชเอฟ แต่ผลที่ได้จากการทดสอบมีช่วงกว้างความถี่มากกว่าผลที่ได้จากการจำลองอาจจะมาจากขนาดของสายอากาศตามที่ได้จำลองผลเมื่อนำไปสร้างสายอากาศต้นแบบมีความคลาดเคลื่อน เมื่อทำการพิจารณาผลของค่าอัตราขยายของสายอากาศที่ได้จากการทดสอบมีแนวโน้มเดียวกับผลการจำลองแต่ก็มีค่าที่ได้จากผลการทดลองต่ำกว่าตลอดย่าน อาจมาจากการสร้างและผลของสภาพแวดล้อมในการทดสอบ ในส่วนของค่าอัตราส่วนแกนที่พบว่ามีค่าอัตราส่วนแกนที่ต่ำกว่า 3 dB ที่มุมใช้งาน แต่ก็มีคลาดเคลื่อนไปจากผลการจำลองเนื่องจากหลายสาเหตุคือ สายอากาศที่ทำหน้าที่เป็นตัวส่งมีการโพลาริซแบบวงกลมที่ไม่ดีพอขนาดของสายอากาศที่คลาดเคลื่อนไปจากผลการจำลอง วัสดุที่เป็นอลูมิเนียมที่นำมาใช้เป็นตัวนำที่ไม่ดีพอ เป็นต้น และเมื่อทำการพิจารณาผลของค่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ได้จากการทดสอบที่ความถี่กลางของย่านความถี่ที่ต้องการใช้งานพบว่ามีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบทิศทางเดียวซึ่งใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการจำลอง จากผลที่ได้จากการทดสอบสมรรถภาพของสายอากาศ แสดงให้เห็นว่าสายอากาศที่นำเสนอขึ้นมานั้นสามารถประยุกต์ใช้งานกับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ยูเอชเอฟ

บทที่ 5

การทดสอบประยุกต์ใช้งานและการประเมินสมรรถนะ

5.1 บทนำ

จากในบทที่ 4 ได้ทำการสร้างสายอากาศต้นแบบจากค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการจำลองแบบ และทดสอบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ยูเอชเอฟแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้นเพื่อหาค่าสมรรถนะของสายอากาศมาแล้ว ในบทนี้จะนำสายอากาศที่ได้ทำการทดสอบมาประยุกต์ใช้งานกับเครื่องอ่านข้อมูลของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุความถี่ยูเอชเอฟ โดยใช้งานร่วมกับแท็ก เพื่อหาระยะในการติดต่อสื่อสารระหว่างสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก โดยได้ทำการทดสอบหาระยะที่สามารถติดต่อสื่อสารได้ไกลที่สุดระหว่างสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก ซึ่งแท็กที่ใช้ในการทดสอบจะมีด้วยกัน 2 รูปแบบพร้อมทั้งทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบของแท็กดังกล่าว โดยการทดสอบประยุกต์ใช้งานสายอากาศต้นแบบมีรายละเอียดคั้งหัวข้อต่อไปนี้

5.2 เครื่องมือ อุปกรณ์ ที่ใช้ในการทดสอบเบื้องต้นและทดลองในสภาพการใช้งานจริง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบมีดังต่อไปนี้

1. เครื่องอ่านข้อมูลของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ยูเอชเอฟ ของบริษัท Motorola รุ่น XR480 [21] จำนวน 1 เครื่อง ดังแสดงในรูปที่ 5.1
2. แท็กชนิดไดโพลแบบขดลวด ของบริษัท Alien รุ่น ALN-9640 [22] จำนวน 1 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 5.2
3. แท็กชนิดไดโพลแบบขดลวด ของบริษัท UPM รุ่น Short dipole [23] จำนวน 1 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 5.3
4. สายอากาศอ้างอิงเป็นสายอากาศไดโพลมาตรฐาน แสดงดังรูปที่ 5.4
5. สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ยูเอชเอฟแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น แสดงดังรูปที่ 5.5
6. มัลติมิเตอร์
7. คอมพิวเตอร์
8. สายนำสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



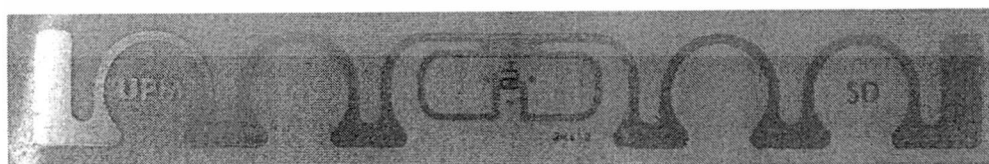
รูปที่ 5.1 เครื่องอ่านข้อมูลของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ยูเอชเอฟ [21]

จากรูปที่ 5.1 แสดงเครื่องอ่านข้อมูลของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ยูเอชเอฟ ของบริษัท Motorola รุ่น XR480 มี 4 แชนแนล มีกำลังส่งสูงสุด 30 dBm รองรับมาตรฐาน EPC Gen 2



รูปที่ 5.2 แท้กชนิดไดโพลแบบขด Alien รุ่น ALN-9640 [22]

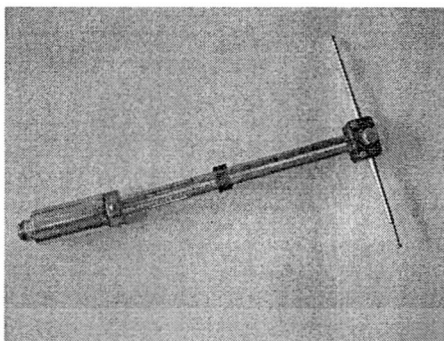
จากรูปที่ 5.2 แสดงแท้กชนิดไดโพลแบบขด ของบริษัท Alien รุ่น ALN-9640 โดยการนำแท้กชนิดไดโพลแบบขดมาใช้งานร่วมกับเครื่องอ่านข้อมูล ซึ่งรูปแบบแท้กดังกล่าวรองรับตามมาตรฐานของ EPC Global Class 1 Gen 2 ที่มีการโพลาริซเป็นแบบเชิงเส้น มีการเรโซแนนซ์ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 860 MHz ถึง 960 MHz ขนาดความกว้างและความยาวของแท้กมีค่าเท่ากับ 94.8 mm และ 8.1 mm ตามลำดับ



รูปที่ 5.3 แท้กชนิดไดโพลแบบขด UPM รุ่น ShortDipole [23]

จากรูปที่ 5.3 แสดงแท้กชนิดไดโพลแบบขด ของบริษัท UPM รุ่น Short dipole โดยการนำแท้กชนิดไดโพลแบบขดมาใช้งานร่วมกับเครื่องอ่านข้อมูล ซึ่งรูปแบบแท้กดังกล่าวรองรับตามมาตรฐานของ EPC global Class 1 Gen 2 ที่มีการโพลาริซเป็นแบบเชิงเส้น มีการเรโซแนนซ์ในช่วงเอกลาร์นเป็นเอกลาร์นที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกลาร์นทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ตั้งแต่ 860 MHz ถึง 960 MHz ขนาดความกว้างและยาวของแท่งเท่ากับ 93 mm และ 11 mm ตามลำดับ



รูปที่ 5.4 สายอากาศอ้างอิงสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลที่มีโพลาริซเป็นแบบเชิงเส้น

จากรูปที่ 5.4 แสดงสายอากาศอ้างอิงเป็นสายอากาศแบบไดโพลมาตรฐาน มีการเรโซแนนซ์ที่ความถี่ใช้งาน มีการโพลาริซแบบเส้นตรง แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นทิศทางรอบตัว และอัตราการขยายที่ความถี่ใช้งานที่ความถี่ความถี่ใช้งานมีค่าเท่ากับ 2.1 dBi



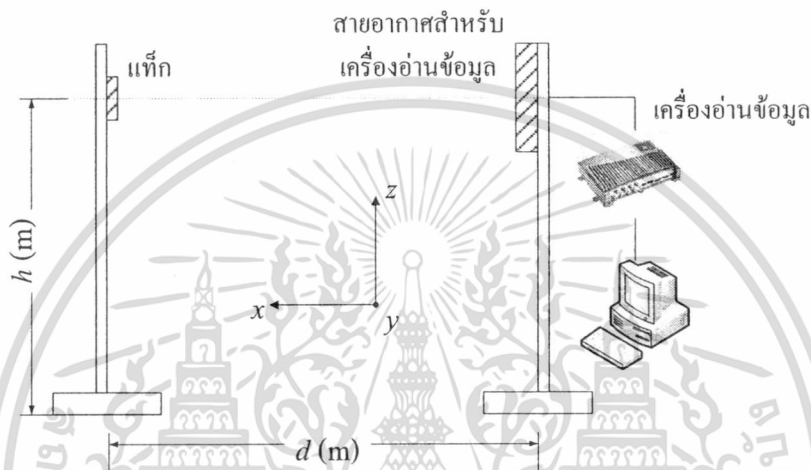
รูปที่ 5.5 สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ยูเอชเอฟแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น

จากรูปที่ 5.5 สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ยูเอชเอฟแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น มีการเรโซแนนซ์ที่ความถี่ 862 MHz ถึง 933 MHz มีการโพลาริซแบบวงกลม แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นทิศทางเดียว และอัตราการขยายที่ความถี่ใช้งานที่ความถี่กลางมีค่าเท่ากับ 7.25 dBic

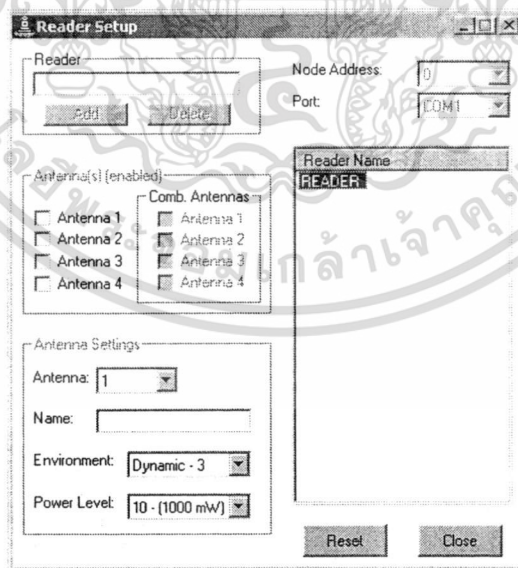
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การทดสอบประยุกต์ใช้งาน

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึง การทดสอบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ยูเอชเอฟแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น โดยใช้งานร่วมกับแท็กพิจารณาในย่านความถี่ยูเอชเอฟ สำหรับการทดสอบการประยุกต์ใช้งานนี้จะทำการทดสอบสายอากาศไดโพลที่มีแบบโพลาริซเส้นตรงร่วมกับเครื่องอ่านข้อมูลใช้งานร่วมกับแท็ก และทดสอบสายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้นที่มีแบบโพลาริซวงกลมร่วมกับเครื่องอ่านข้อมูล โดยใช้งานร่วมกับแท็ก ในส่วนรายละเอียดจะแสดงในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 5.6 การติดตั้งการทดสอบสายอากาศสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลใช้งานร่วมกับแท็ก



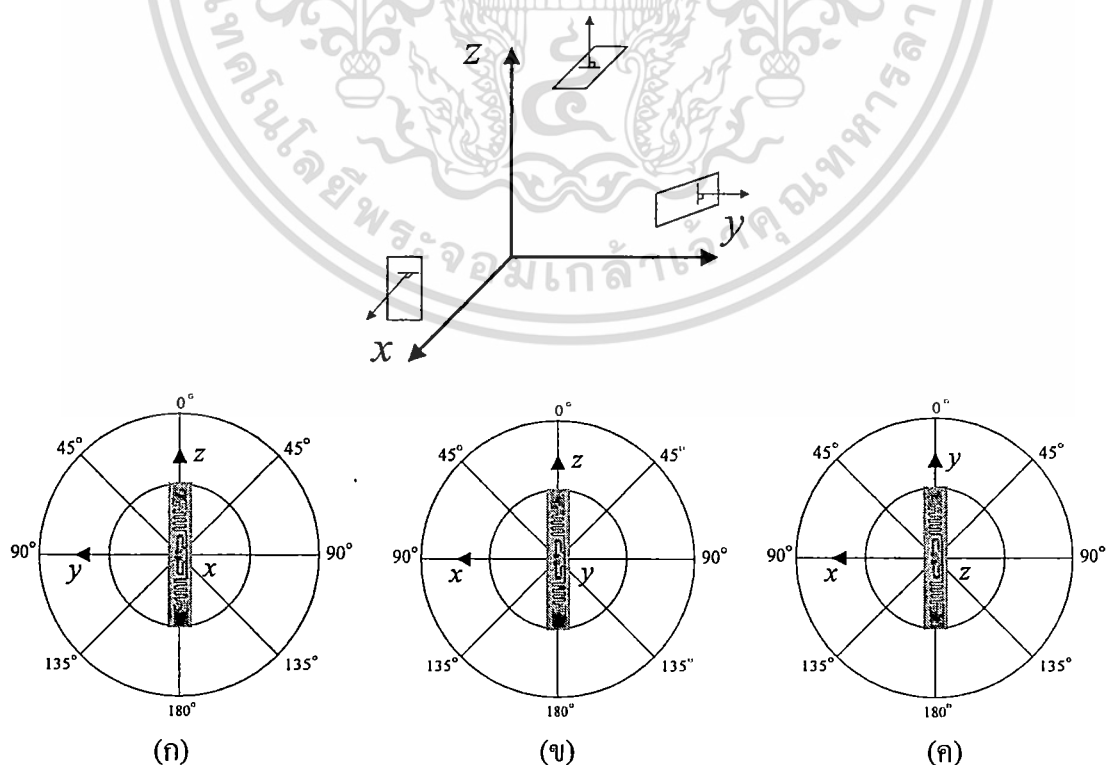
รูปที่ 5.7 การกำหนดค่ากำลังส่งของเครื่องอ่านข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการติดตั้งทดสอบสายอากาศสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลใช้งานร่วมกับแท็ก

พารามิเตอร์	ขนาด
h	1 m
d	1 m – 10 m
Power	1000 mW

จากรูปที่ 5.6 แสดงการติดตั้งการประยุกต์ใช้งานสายอากาศสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลของระบบระบุลักษณะทางวิทยุย่านความถี่ยูเอชเอฟใช้งานร่วมกับแท็ก โดยสายอากาศทดสอบและแท็กมีระยะห่าง (d) เริ่มต้นเท่ากับ 1-10 เมตร และความสูง (h) ของสายอากาศทดสอบกับแท็กให้เท่ากันที่ความสูงเท่ากับ 1 เมตร โดยการทดสอบการประยุกต์ใช้งานสายอากาศสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ยูเอชเอฟ ประกอบด้วยการทดสอบสายอากาศอ้างอิงแบบไดโพลมาตรฐานที่มีโพลาริเซชันเส้นร่วมกับแท็กที่มีโพลาริเซชันเส้น และการทดสอบสายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้นร่วมกับแท็กที่มีโพลาริเซชันเส้น โดยทำการหาระยะทางสูงสุดในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กด้วยวิธีการเคลื่อนตำแหน่งของแท็กออกจากสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลจนกระทั่งเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กไม่สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ โดยการวางตัวของแท็กจะอ้างอิงโดยใช้แกนที่ตั้งฉากกับระนาบของแท็กแสดงดังรูปที่ 5.7

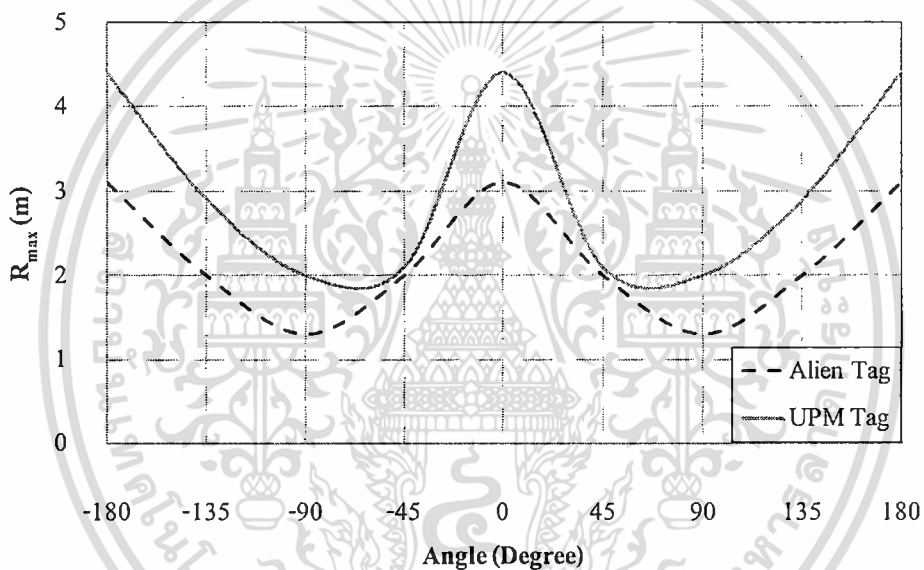


รูปที่ 5.8 การวางตัวของแท็กแต่ละแนวแกน (ก) แนวแกน x (ข) แนวแกน y (ค) แนวแกน z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้พิมพ์หนังสือฉบับนี้จะขอคืนค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.1 ผลการทดสอบสายอากาศโดยใช้งานร่วมกับแท็กในกรณีที่ใช้สายอากาศอ้างอิงแบบไดโพลมาตรฐานเป็นโพลาริซ์แบบเชิงเส้นและแท็กมีการโพลาริซ์แบบเชิงเส้น

ในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบการประยุกต์ใช้งานสายอากาศสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่เอชเอฟ ประกอบด้วย การทดสอบสายอากาศอ้างอิงที่มีการโพลาริซ์แบบเชิงเส้นร่วมกับแท็ก 2 แบบคือ Alien tag และ UPM tag ที่มีการโพลาริซ์แบบเชิงเส้นเช่นเดียวกัน โดยที่สายอากาศอ้างอิงแบบไดโพลมาตรฐานจะมีการโพลาริซ์เป็นแบบแนวตั้ง การทดสอบในหัวข้อนี้จะทำการหมุนแท็กเป็นมุมครั้งละ 45 องศาในแนวแกน x เพื่อที่จะหาระยะทางในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กในแต่ละมุมเมื่อแท็กวางตัวตั้งฉากกับแนวแกน x ซึ่งเป็นทิศทางที่บริเวณด้านหน้าของแท็กจะหันเข้าหาด้านหน้าของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูล ผลที่ได้จากการทดสอบแสดงดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.9 ระยะในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กที่มุมต่าง ๆ ที่ใช้สายอากาศไดโพลมาตรฐานที่มีการโพลาริซ์แบบเชิงเส้น

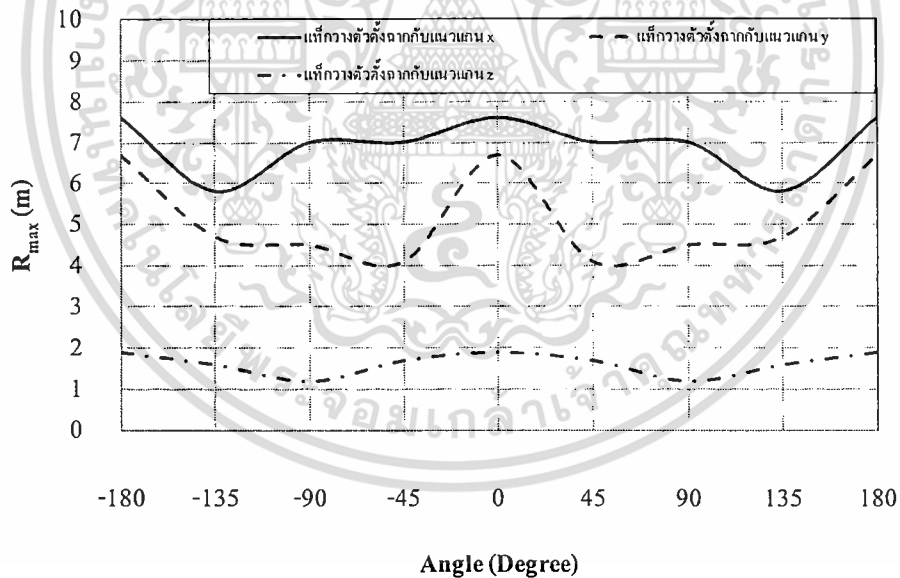
จากรูปที่ 5.8 พบว่าระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กจะมีการเปลี่ยนแปลงไป เมื่อแท็กมีการวางตัวในมุมที่ต่างกันและจะเห็นว่าในมุม 0° ได้ระยะการอ่านที่ไกลที่สุดของแท็กทั้งสองตัว ส่วนระยะการอ่านที่น้อยที่สุดอยู่ประมาณมุม 90° ของทั้งสองแท็ก สาเหตุอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะการวางตัวของแท็กในมุมต่าง ๆ ส่งผลให้การโพลาริซ์ของแท็กเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย กล่าวคือการวางตัวของแท็กที่ตั้งฉากกับแกน x วางตัวในมุม 0° หรือมุม 180° ซึ่งเป็นมุมที่แท็กมีการโพลาริซ์เป็นแบบแนวตั้งซึ่งเหมือนกับการโพลาริซ์ของสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูล ดังนั้นจึงเกิดการเมตซึ่งกันของการโพลาริซ์ระหว่างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับสายอากาศแท็ก ทำให้ได้ระยะในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กได้ไกลที่สุด ส่วนที่มุมต่างๆจะเกิดการไม่เมตซึ่งกันของการโพลาริซ์ระหว่างสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับสายอากาศแท็ก โดยการไม่แมตซิ่งกันที่สุดของแท็ก UPM อยู่ที่มุม 90 องศาและ -90 องศา ส่งผลให้ระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กได้น้อยที่สุด ในส่วนของแท็ก Alien จะอยู่ใกล้เคียงซึ่งอาจเกิดมาจากสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดสอบ และการติดตั้งการทดสอบ

5.3.2 ผลการทดสอบสายอากาศโดยใช้งานร่วมกับแท็กในกรณีที่ใช้สายอากาศแบบแผ่นระนาบบากร่วมกับช่องสี่เหลี่ยมและเส้นที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมและแท็กมีการโพลาริซ์แบบเชิงเส้น

ในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบการประยุกต์ใช้งานสายอากาศสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ยูเอชเอฟ ประกอบด้วย การทดสอบสายอากาศแบบแผ่นระนาบบากร่วมกับช่องสี่เหลี่ยมและเส้นที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมร่วมกับแท็ก 2 แบบคือ Alien tag และ UPM tag ที่มีการโพลาริซ์แบบเชิงเส้นเช่นเดียวกัน การทดสอบในหัวข้อนี้จะทำการหมุนแท็กเป็นมุมครั้งละ 45 องศาในแนวแกน x เพื่อที่จะหาระยะทางในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กในแต่ละมุมเมื่อแท็กวางตัวตั้งฉากกับแนวแกน x , y และ z ดังรูปที่ 5.7 ผลที่ได้จากการทดสอบแสดงดังรูปที่ 5.9

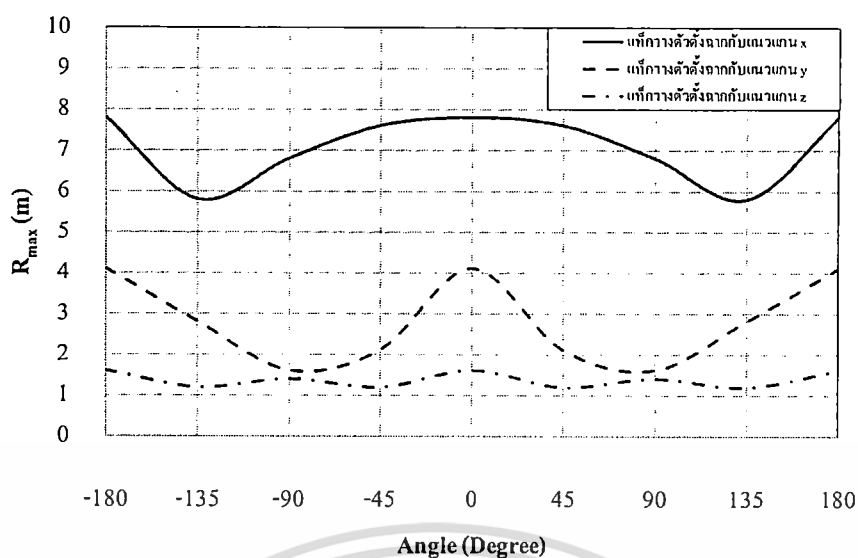


รูปที่ 5.10 ระยะในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กที่มุมต่างๆ ที่สายอากาศแบบแผ่นระนาบบากร่วมกับช่องสี่เหลี่ยมและเส้นที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมกับ UPM tag

จากรูปที่ 5.9 ทำการทดสอบระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก (UPM tag) พบว่าระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กที่วางตัวตั้งฉากกับแนวแกน x จะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อวางในมุมที่ต่างกัน และจะเห็นว่าที่มุม -135° หรือ 135° จะมีระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 5.8 m และมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับระยะการติดต่อสื่อสารที่มากที่สุดอยู่ที่มุม 0° หรือ -180° มีค่าเท่ากับ 7.6 m สาเหตุเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของลักษณะการวางตัวของแท็กในมุมต่าง ๆ จะส่งผลให้การโพลาไรซ์ของแท็กที่เป็นเชิงเส้นเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย จึงทำให้เกิดการไม่แมตซิงกันของการโพลาไรซ์ระหว่างสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลกับสายอากาศแท็ก ดังนั้นเมื่อใช้สายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลที่มีโพลาไรซ์เป็นแบบวงกลม จึงทำให้ได้ระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กที่มุมต่างๆ มีความแตกต่างกันน้อยกว่าในกรณีของสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลมีการโพลาไรซ์เป็นแบบเชิงเส้น

เมื่อแท็กวางตัวตั้งฉากกับแนวแกน y ดังแสดงในรูปที่ 5.7 ซึ่งผลทดสอบแสดงได้ดังรูปที่ 5.9 พบว่า ระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก (UPM tag) จะมีการเปลี่ยนแปลงไป เมื่อแท็กวางตัวในมุมที่ต่างกัน และจะเห็นว่าที่มุม -45° หรือ 45° จะมีการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กที่น้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 4 m จะมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับระยะการติดต่อสื่อสารที่มากที่สุดอยู่ที่มุม 0° หรือ -180° มีค่าเท่ากับ 6.7 m สาเหตุเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของลักษณะการวางตัวของแท็กในมุมต่าง ๆ จะส่งผลให้การโพลาไรซ์ของแท็กที่เป็นเชิงเส้นเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย จึงทำให้เกิดการไม่แมตซิงกันของการโพลาไรซ์ระหว่างสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลกับสายอากาศแท็ก และผลของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแท็กที่วางตัวในระนาบแกน y จึงส่งผลต่อระยะการอ่านข้อมูลของแท็ก

เมื่อแท็กวางตัวตั้งฉากกับแนวแกน z ดังแสดงในรูปที่ 5.7 ซึ่งผลทดสอบแสดงได้ดังรูปที่ 5.9 พบว่า ระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก (UPM tag) จะมีการเปลี่ยนแปลงไป เมื่อแท็กวางตัวในมุมที่ต่างกัน และจะเห็นว่าที่มุม -90° หรือ 90° จะมีการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กที่น้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 1.2 m จะมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับระยะการติดต่อสื่อสารที่มากที่สุดอยู่ที่มุม 0° หรือ -180° มีค่าเท่ากับ 1.9 m สาเหตุเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของลักษณะการวางตัวของแท็กในมุมต่าง ๆ จะส่งผลให้การโพลาไรซ์ของแท็กที่เป็นเชิงเส้นเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย จึงทำให้เกิดการไม่แมตซิงกันของการโพลาไรซ์ระหว่างสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลกับสายอากาศแท็ก และผลของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแท็กที่วางตัวในระนาบแกน z จึงส่งผลต่อระยะการอ่านข้อมูลของแท็กในระนาบแกน z ทำให้ระยะการอ่านได้น้อยกว่าในระนาบแกนอื่น



รูปที่ 5.11 ระยะในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กที่มุมต่างๆ ที่สายอากาศแบบแผ่นระนาบบวกพร้อมกับช่องสี่เหลี่ยมและเส้นที่มีการ โพลาริซ์แบบวงกลมกับ Alien tag

จากรูปที่ 5.10 ทำการทดสอบระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก (Alien tag) พบว่าระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กที่วางตัวตั้งฉากกับแนวแกน x จะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อวางในมุมที่ต่างกัน และจะเห็นว่าที่มุม -135° หรือ 135° จะมีระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 5.8 m และมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับระยะการติดต่อสื่อสารที่มากที่สุดอยู่ที่มุม 0° หรือ -180° มีค่าเท่ากับ 7.8 m สาเหตุเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของลักษณะการวางตัวของแท็กในมุมต่าง ๆ จะส่งผลให้การโพลาริซ์ของแท็กที่เป็นเชิงเส้นเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย จึงทำให้เกิดการไม่แมตชิ่งกันของการโพลาริซ์ระหว่างสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลกับสายอากาศแท็ก ดังนั้นเมื่อใช้สายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลที่มีโพลาริซ์เป็นแบบวงกลม จึงทำให้ได้ระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กที่มุมต่างๆ มีความแตกต่างกันน้อยกว่าในกรณีของสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลมีการโพลาริซ์เป็นแบบเชิงเส้น

เมื่อแท็กวางตัวตั้งฉากกับแนวแกน y ดังแสดงในรูปที่ 5.7 ซึ่งผลทดสอบแสดงได้ดังรูปที่ 5.10 พบว่า ระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก (Alien tag) จะมีการเปลี่ยนแปลงไป เมื่อแท็กวางตัวในมุมที่ต่างกัน และจะเห็นว่าที่มุม -90° หรือ 90° จะมีการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กที่น้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 1.2 m จะมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับระยะการติดต่อสื่อสารที่มากที่สุดอยู่ที่มุม 0° หรือ -180° มีค่าเท่ากับ 4.1 m สาเหตุเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของลักษณะการวางตัวของแท็กในมุมต่าง ๆ จะส่งผลให้การโพลาริซ์ของแท็กที่เป็นเชิงเส้นเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย จึงทำให้เกิดการไม่แมตชิ่งกันของการโพลาริซ์ระหว่างสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลกับสายอากาศแท็ก และผลของแบบรูปการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้

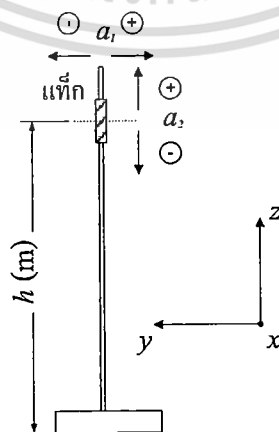
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพลาไรซ์ระหว่างสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลกับสายอากาศแท็ก และผลของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแท็กที่วางตัวในระนาบแกน y จึงส่งผลกระทบต่อระยะการอ่านข้อมูลของแท็ก

เมื่อแท็กวางตัวตั้งฉากกับแนวแกน z ดังแสดงในรูปที่ 5.7 ซึ่งผลทดสอบแสดงได้ดังรูปที่ 5.10 พบว่า ระยะการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก (Alien tag) จะมีการเปลี่ยนแปลงไป เมื่อแท็กวางตัวในมุมที่ต่างกัน และจะเห็นว่าที่มุม -45° หรือ 45° จะมีการติดต่อดูดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กที่น้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 1.2 m จะมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับระยะการติดต่อสื่อสารที่มากที่สุดอยู่ที่มุม 0° หรือ -180° มีค่าเท่ากับ 1.6 m สาเหตุเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของลักษณะการวางตัวของแท็กในมุมต่าง ๆ จะส่งผลให้การโพลาไรซ์ของแท็กที่เป็นเชิงเส้นเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย จึงทำให้เกิดการไม่แมตชิงกันของการโพลาไรซ์ระหว่างสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลกับสายอากาศแท็ก และผลของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแท็กที่วางตัวในระนาบแกน z จึงส่งผลกระทบต่อระยะการอ่านข้อมูลของแท็กในระนาบแกน z ทำให้ระยะการอ่านได้น้อยกว่าในระนาบแกนอื่น

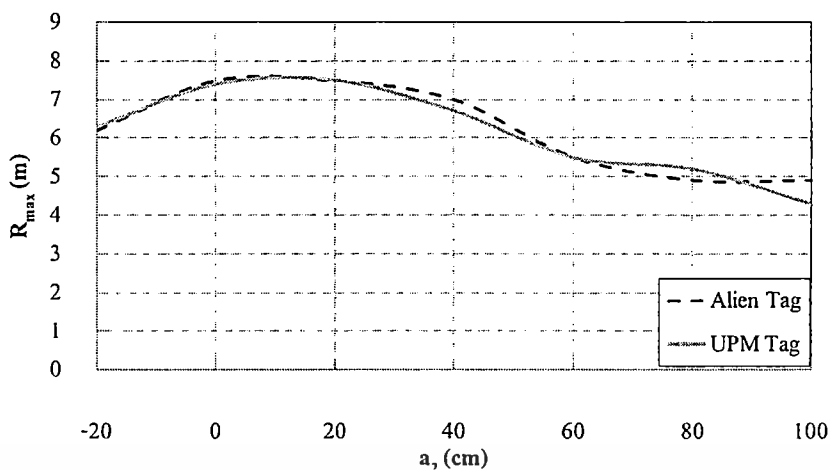
5.3.2.1 เมื่อทำการเปลี่ยนระยะมุมยก (a_2) และระยะมุมกวาด (a_1) ของแท็กในกรณีที่แท็กวางตัวในแนวตั้งฉากกับแนวแกน x

ในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบการประยุกต์ใช้งานสายอากาศสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ยูเอชเอฟ ประกอบด้วย การทดสอบสายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องสี่เหลี่ยมและเส้นที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมร่วมกับแท็ก 2 แบบคือ Alien tag และ UPM tag ที่มีโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นเช่นเดียวกัน การทดสอบในหัวข้อนี้ตามรูปที่ 5.6 จะทำการเปลี่ยนแปลงระยะมุมยก (a_2) และระยะมุมกวาด (a_1) ของสายอากาศแท็ก โดยกำหนดให้สายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลมีความสูงคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 5.12 และการวางตัวของแท็กจะอ้างอิงโคเนให้แนวแกน x ดังรูปที่ 5.8(ก) และแสดงผลการทดสอบดังรูปที่ 5.13 และ รูปที่ 5.14

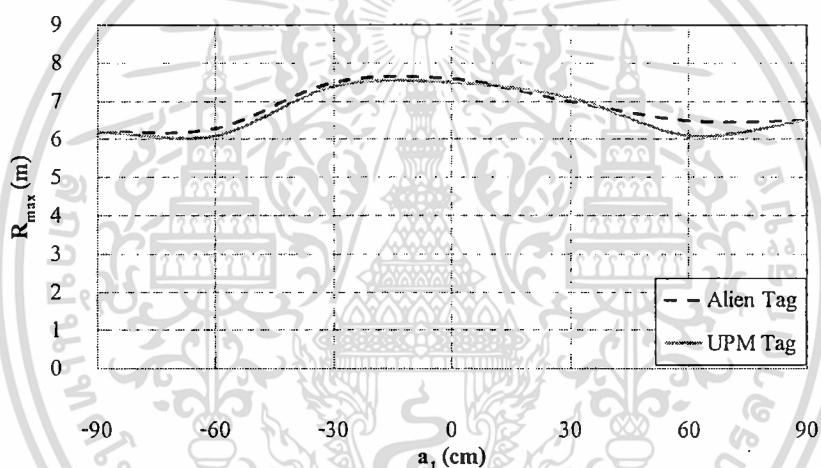


รูปที่ 5.12 การทดสอบผลการเปลี่ยนแปลงระยะมุมยก (a_2) และระยะมุมกวาด (a_1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 ระยะในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กที่ระยะมุมยก (a_2) ที่สายอากาศแบบแผ่นระนาบบากร่วมกับช่องสี่เหลี่ยมและเส้นที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลม และแท็กวางตัวตามแนวแกน x



รูปที่ 5.14 ระยะในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กที่ระยะมุมกวาด (a_1) ที่สายอากาศแบบแผ่นระนาบบากร่วมกับช่องสี่เหลี่ยมและเส้นที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลม และแท็กวางตัวตามแนวแกน x

จากรูปที่ 5.13 ระยะติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กที่มุมยกต่าง ๆ โดยที่มุมยก (a_2) มีค่าเท่ากับ 0 cm คือมีความสูงของจากพื้นเท่ากับ 1 m มีระยะการติดต่อสื่อสารที่ไกลที่สุดคือ 7.5 m ของ Alien tag และ UPM tag ได้ระยะ 7.4 m เนื่องจากแท็กมีความสูงเท่ากับตัวสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูล จากนั้นระยะการติดต่อสื่อสารจะลดลงอย่างรวดเร็วที่มุมยกเท่ากับ 60 cm และในรูปที่ 5.14 ระยะติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กที่มุมกวาดต่าง ๆ มีความใกล้เคียงกัน โดยที่มุมยก (a_2) มีค่าเท่ากับ 0 cm คือมีความสูงของจากพื้นเท่ากับ 1 m มีระยะการติดต่อสื่อสารที่ไกลที่สุดคือ 7.6 m ของ Alien tag และ UPM tag ได้ระยะ 7.5 m

5.5 บทสรุป

จากผลการทดสอบสายอากาศเพื่อหาระยะในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก พบว่าสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ยูเอชเอฟแบบแผ่นระนาบาร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้นมีโพลาริซ์แบบวงกลม คือมีความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กที่มีการโพลาริซ์แบบต่าง ๆ ได้ใกล้เคียงกัน และบริเวณด้านหน้าของสายอากาศจะสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้ไกลที่สุด ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลที่ได้จากการจำลอง และผลที่ได้จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่า สายอากาศที่พัฒนาขึ้นมาสามารถปรับปรุงความสามารถในการติดต่อสื่อสารเมื่อแท็กมีการ โพลาริซ์เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นสายอากาศที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับแท็กได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ยูเอชเอฟแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น โดยจุดประสงค์เพื่อสร้างสายอากาศที่มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดซึ่งทำให้มีการโพลาริไรซ์เป็นแบบวงกลม มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบทิศทางเดียว และมีอัตราการขยายที่สูง พร้อมทั้งสามารถนำสายอากาศมาประยุกต์ใช้กับเครื่องอ่านข้อมูลของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุร่วมกับแท็กได้ทุกลักษณะการจัดวางตัวของแท็ก

ในหัวข้อ 6.1 จะกล่าวถึงผลสรุปโดยรวมของวิทยานิพนธ์นี้ซึ่งประกอบไปด้วยผลการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ยูเอชเอฟแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น ผลที่ได้จากการจำลองแบบสายอากาศ ผลที่ได้จากการทดสอบสมรรถนะของสายอากาศ และผลที่ได้จากการประยุกต์ใช้งานสายอากาศกับเครื่องอ่านข้อมูลของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุกับแท็ก ในหัวข้อ 6.2 จะกล่าวถึงข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนาต่อไป

6.1 สรุปเนื้อหาโดยรวม

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้อธิบายถึงความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย วัตถุประสงค์ในการออกแบบสายอากาศ ทฤษฎีและหลักการของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ทฤษฎีพื้นฐานการออกแบบสายอากาศไมโครสตริป และทำการศึกษาถึงผลที่ได้จากการคำนวณมาจำลองแบบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น รวมทั้งผลการทดสอบสมรรถนะของสายอากาศต้นแบบ

จากผลการศึกษาเกี่ยวกับการจำลองแบบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ยูเอชเอฟแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้น เพื่อให้ได้คุณสมบัติของสายอากาศที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบทิศทางเดียว มีอัตราการขยายสูง และมีการโพลาริไรซ์เป็นแบบวงกลม โดยกระบวนการหาค่าพารามิเตอร์นี้จะใช้โปรแกรม CST[®] (Microwave studio) เพื่อจำลองแบบของสายอากาศ แล้ววิเคราะห์คุณสมบัติลักษณะในด้านต่างๆ พบว่าสายอากาศมีคุณลักษณะครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานและความถี่กลางที่ 922.5 MHz มีค่าอัตราส่วนแอมพลิจูดต่ำกว่า 3 dB ตลอดย่านใช้งาน และมีค่าอัตราส่วนแอมพลิจูดที่ความถี่กลางมีค่าเท่ากับ 0.63 dB มีค่าการสูญเสียย้อนกลับในช่วงความถี่ตั้งแต่ 880 MHz ถึง 947 MHz มีช่วงกว้างความถี่เท่ากับ 67 MHz ที่มีค่าต่ำกว่า -10 dB และที่ความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้งานครอบคลุมค่าอัตราส่วนแคนที่ต่ำกว่า 3 dB มีค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ความถี่กลางเท่ากับ -31 dB ดังนั้นผลจากการจำลองแบบสายอากาศจึงสามารถทำงานภายในย่านความถี่ที่ต้องการใช้งานได้ โดยมีการ โพลาริซเป็นแบบวงกลมตลอดทั้งย่านความถี่ที่ต้องการใช้งาน โดยมีค่าอัตราขยาย ในช่วงความถี่ที่ต้องการใช้งานมีค่าในช่วง 8.342 dBic ถึง 8.077 dBic และที่ความถี่กลางมีค่าเท่ากับ 8.216 dBic ซึ่งถือว่าเป็นค่าอัตราขยายที่สูง ซึ่งมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบทิศทาง เดียวตลอดย่านความถี่ที่ต้องการใช้งาน

จากนั้นได้นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบระบุ ลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ยูเอชเอฟแบบแผ่นระนาบร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้นที่ได้จากการจำลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศ จึงได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม แสดงในตารางที่ 6.1 และนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้สร้างสายอากาศต้นแบบขึ้นมา

ตารางที่ 6.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการสร้างสายอากาศต้นแบบ

พารามิเตอร์	ขนาดทางไฟฟ้า	ขนาดทางกายภาพที่ความถี่ 922.5 MHz
w_x	0.646λ	210 mm
w_y	0.585λ	190 mm
v_x	0.523λ	170 mm
v_y	0.431λ	140 mm
u_{1x}	0.093λ	30 mm
u_{1y}	0.230λ	75 mm
u_{2x}	0.138λ	45 mm
u_{2y}	0.215λ	70 mm
u_{3x}	0.175λ	57 mm
u_{3y}	0.021λ	7 mm
t_x	0.015λ	5 mm
t_y	0.138λ	45 mm
h	0.061λ	20 mm

เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้สร้างสายอากาศต้นแบบและทำการทดสอบสมรรถนะของ สายอากาศเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบกับผลการจำลอง พบว่าสายอากาศมีคุณลักษณะ ครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานและความถี่กลางที่ 922.5 MHz มีค่าอัตราส่วนแคนที่ต่ำกว่า 3 dB ตลอดย่านใช้งานและมีค่าอัตราส่วนแคนที่ความถี่กลางมีค่าเท่ากับ 0.09 dB มีค่าการสูญเสีย ย้อนกลับในช่วงความถี่ตั้งแต่ 881 MHz ถึง 980 MHz มีช่วงกว้างความถี่เท่ากับ 99 MHz ที่มีค่าต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่า -10 dB ซึ่งค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ได้จากการทดสอบกับผลที่ได้จากการจำลองมีความสอดคล้องกันแต่ก็มีความคลาดเคลื่อน การทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ได้จะเลื่อนลงมาที่ความถี่ต่ำกว่าผลที่ได้จากการจำลอง และผลระดับของค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ความถี่กลางที่ได้จากการทดสอบมีค่าระดับของค่าการสูญเสียย้อนกลับน้อยกว่าการจำลอง สาเหตุน่าจะเกิดจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศต้นแบบที่มีการสร้างขึ้นมามีความคลาดเคลื่อนไปจากค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการจำลองผล รวมทั้งผลของวัสดุที่นำมาใช้สร้างสายอากาศ โดยมีค่าอัตราการขยายในช่วงความถี่ที่ต้องการใช้งานมีแนวโน้มสอดคล้องกับผลที่ได้จากการจำลอง และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบทิศทางเดียวสอดคล้องกับผลที่ได้จากการจำลอง

ในส่วนนี้ได้นำสายอากาศที่ได้ทำการทดสอบสมรรถนะเบื้องต้นแล้วไปประยุกต์ใช้กับเครื่องอ่านข้อมูลของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่เอชเอฟ โดยทำงานร่วมกับแท็ก ซึ่งผลที่ได้จากการนำสายอากาศแบบแผ่นระนาบมากร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้นไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับแท็ก พบว่าเครื่องอ่านสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้ ดังนั้นสายอากาศที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับแท็กได้จริง

6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

จากผลการวิเคราะห์และทดสอบจะพบว่าสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่เอชเอฟแบบแผ่นระนาบมากร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้นสำหรับประยุกต์ใช้งานกับเครื่องอ่านข้อมูลร่วมกับแท็ก จะเห็นว่าการเพิ่มรอยบากบนแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นสี่เหลี่ยมของสายอากาศแบบแผ่นระนาบเพื่อให้กระแสที่ไหลบริเวณผิวมีองค์ประกอบของสนามไฟฟ้าที่มีขนาดเท่ากันแต่มีเฟสต่างกันเป็นจำนวนเท่าของ $\frac{\pi}{2}$ ซึ่งส่งผลให้สายอากาศมีการโพลาริไรซ์เป็นแบบวงกลมหมุนซ้าย และสายอากาศแบบแผ่นระนาบมากร่วมกับช่องเปิดสี่เหลี่ยมและเส้นเพื่อปรับค่าการสูญเสียย้อนกลับ ในทางกลับกันหากรอยบากและช่องเปิดสี่เหลี่ยมวางตัวทางด้านซ้าย และเส้นสี่เหลี่ยมวางตัวทางด้านขวา จะส่งผลในทางตรงกันข้ามต่อการโพลาริไรซ์ ให้สายอากาศมีการโพลาริไรซ์เป็นแบบหมุนขวา แต่เมื่อทำการพิจารณาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น จะสังเกตเห็นว่า แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นยังคงมีค่าอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังที่สูงอยู่ ดังนั้นในการปรับปรุงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสามารถทำได้โดยการตัดแปลงในส่วนของระนาบกราวด์ให้มีลักษณะที่มีมิติความสูงเพื่อปรับค่าอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลัง วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการออกแบบสายอากาศและได้ทำการทดสอบสายอากาศเพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ที่สนใจสามารถนำไปพัฒนาสายอากาศและปรับปรุง โครงสร้างให้มีรูปแบบที่ง่ายขึ้นและหลากหลายเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Klaus Finkenzeller, *RFID Handbook*, John Wiley & Sons, 2003.
- [2] RFID system, [Online]. Available: www.controlelectric.com/RFID/What_isRFID.html
- [3] D. M. Dobkin, *The RF in RFID passive UHF in practice*, United States of America, Newnes, 2008
- [4] สำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ มาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องโทรคมนาคมและอุปกรณ์ เครื่องวิทยุคมนาคมประเภท RFID Frequency Identification: RFID 17 มกราคม 2551
- [5] Z. N. Chen, *Antenna for Portable Devices*, John Wiley & Sons, 2007.
- [6] C. A. Balanis, *Antenna Theory*, John Wiley & Sons, 2005.
- [7] C. A. Balanis, *Advanced Engineering Electromagnetic*, John Wiley & Sons, 1989.
- [8] RFID tag, [Online]. Available: http://www.jesic-tech.com/RFID_tag.html
- [9] Active tag, [Online]. Available:
http://www.acentech.net/cms/index.php?option=com_content&task=view&id=417&Itemid=205
- [10] semi-passive Tag, [Online]. Available:
http://www.bridge-project.eu/data/File/BRIDGE_WP04_Secure_semi-passive_RFID_Tags.pdf
- [11] W. S. Chen, C. K. Wu, and K. L. Wong, "Novel compact circularly polarized square microstrip antenna," *IEEE Trans. Antennas Propagat.* 49, 340–342, March 2001.
- [12] W. S. Chen, C. K. Wu and K. L. Wong, "Compact circularly polarized Microstrip antenna with bent slots," *Electron. Lett.*, vol. 34, 1278-1279, 1998.
- [13] J. H. Lu, H. C. Yu, and K. L. Wong, "Compact circular polarization design for equilateral triangular microstrip antenna with spur lines," *Electron. Lett.* 34, 1989–1990, Oct. 15, 1998.
- [14] W. S. Chen, C. K. Wu and K. L. Wong, "Square-ring microstrip antenna with a cross strip for compact circular polarization operation," *IEEE Trans. Antenna Propagat.*, vol. 47, 1566-1568, 1999.

- [15] W. S. Chen, C. K. Wu, and K. L. Wong, "Square-ring microstrip antenna with a cross strip for compact circular polarization operation," *IEEE Trans. Antennas Propagat.* 47, 1566–1568, Oct. 1999.
- [16] C. L. Tang, J. H. Lu, and K. L. Wong, "Circularly polarized equilateral-triangular microstrip antenna with truncated tip," *Electron. Lett.* 34, 1277–1278, June 25, 1998.
- [17] K. L. Wong and M. H. Chen, "Slot-coupled small circularly polarized microstrip antenna with modified cross-slot and bent tuning-stub," *Electron. Lett.* 34, 1542–1543, Aug. 6, 1998.
- [18] J. Y. Wu, C. Y. Huang, and K. L. Wong, "Compact broadband circularly polarized square microstrip antenna," *Microwave Optical Technol. Lett.* 21, 423–425, June 20, 1999.
- [19] K. L. Wong and Y. F. Lin, "Circularly polarized microstrip antenna with a tuning stub," *Electron. Lett.* 34, 831–832, April 30, 1998.
- [20] CST[®] (Microwave Studio), [Online]. Available: <http://www.cst.com/Content/Products/MWS/Overview.aspx>
- [21] RFID Reader รุ่น Motorola XR480, [Online]. Available: <http://www.motorola.com>
- [22] Alien Tag รุ่น ALN-9640, [Online]. Available: http://www.alientechnology.com/docs/products/DS_ALN_9640.pdf
- [23] UPM Tag รุ่น ShotDipole, [Online]. Available: [http://www.upmrfid.com/rfid/rfid.nsf/images/ShortDipole_M4_datasheet.pdf/\\$FILE/ShortDipole_M4_datasheet.pdf](http://www.upmrfid.com/rfid/rfid.nsf/images/ShortDipole_M4_datasheet.pdf/$FILE/ShortDipole_M4_datasheet.pdf)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล ว่าที่ร้อยตรี สิทธิชัย เด่นตรี
 วัน เดือน ปีเกิด 5 กุมภาพันธ์ 2526 ที่กรุงเทพมหานคร
 ประวัติการศึกษา 2549 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] S. Dentre and C. Phongcharoenpanich, “A Flat Antenna Radiating Circularly Polarized Unidirectional Beam for UHF-RFID Reader,” *Proceedings of the 2010 Joint International Conference on Information Communication Technology, Electronic and Electrical Engineering (JICTEE2010)*, Luangprabang, pp. 524-527, Dec 2010.
- [2] S. Dentre and C. Phongcharoenpanich, “A Broadband Flat Antenna on Corrugated Structure,” accepted *Proceedings of the 2010 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2010)*, Macau, pp.FC2.4.1-4, Nov 2010.
- [3] S. Dentre and C. Phongcharoenpanich, “A UHF-RFID Reader Antenna using Rectangular Plate with Corrugated Structure,” *Proceedings of the 25th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC2010)*, Pattaya, pp.1033-1036 Jul 2010.