

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

**สายอากาศสะท้อนคลื่นสำหรับระบบ WIFI
REFLECTOR ANTENNA FOR WIFI SYSTEM**



รฟ.
ร1280
2550
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 83280
วัน,เดือน,ปี..... 11 ส.ค. 2551

b. 119 66014
i.....

**ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศสะท้อนคลื่นสำหรับระบบ WIFI
REFLECTOR ANTENNA FOR WIFI SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง **สายอากาศสะท้อนคลื่นสำหรับระบบ WIFI**

REFLECTOR ANTENNA FOR WIFI SYSTEM

ผู้จัดทำ

1. นางสาวดารากานต์ ฐิติศาสตร์ 47012021
2. นายสุทธิภูมิ จิระวารี 47012030


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร.สมผล โกศลวิตร)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.ดร.ชวรงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศสะท้อนคลื่นสำหรับระบบ WIFI

REFLECTOR ANTENNA FOR WIFI SYSTEM

โดย นางสาวดากานต์ จูติศาสตร์ 47012021

นายสุทธิภูมิ จิระวารี 47012030

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. สมผล โกศลวิตร

ผศ.ดร. ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอการศึกษา และการออกแบบสายอากาศสะท้อนคลื่นสำหรับระบบ WIFI ที่มีค่าสภาพการเจาะจงทิศทางปานกลาง โดยในโครงการนี้จะทำการวิเคราะห์และจำลองของผลสายอากาศก่อน แล้วจึงนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ ออกแบบ และสร้างต้นแบบสายอากาศ และทำการทดสอบเพื่อทำการประเมินประสิทธิภาพการทำงาน ซึ่งผลที่ได้นี้จะยืนยันว่าสามารถนำสายอากาศที่ได้นำเสนอไปใช้งานจริงในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายได้

ABSTRACT

This project presents the study and design of reflector antenna for WIFI system. This antenna has moderate directivity. The antenna properties is firstly simulated and analyzed. Subsequently, the results can be used for the analysis, design and fabrication. The antenna measurements are set up to evaluate the performance. The results of this measurement confirm the usefulness for the Wireless Local Area Network system of the actual applications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. สมพล โกศลวิตร ซึ่งให้คำปรึกษาคำแนะนำ และความช่วยเหลือในโครงการนี้มาโดยตลอดนอกจากนี้ ยังได้รับความกรุณาอย่างดียิ่งจาก ดร. ชวงส์ พงศ์เจริญพาณิชย์ ในด้านอุปกรณ์และให้ความกรุณาห้องเพื่อ ดำเนินการทดลองอย่างเป็นผลสำเร็จโดยที่สุด

ขอขอบคุณ คุณ กิตติศักดิ์ แพบัว ในการแนะนำเทคนิคและวิธีใช้โปรแกรม CST เพื่อใช้ในการ คำนวณค่าต่างๆ และ สมาชิกโครงการสายอากาศทุกท่าน ให้คำปรึกษาและข้อคิดที่ดีในการทำโครงการนี้ พร้อมทั้งยังให้ความช่วยเหลือในการทดสอบชิ้นงาน นอกจากนี้ทุกคนที่ยังไม่ได้กล่าวถึงในห้องปฏิบัติการไร สายที่มีส่วนร่วมในการช่วยเหลือในโครงการนี้ ให้ลุล่วงไปได้ด้วยดีเสมอมา

ท้ายสุดนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้ความรัก ความห่วงใย กำลังใจที่ดี รวมทั้งกำลังทรัพย์ และให้ทุกสิ่งทุกอย่างกับผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อภาษาไทย

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ

สารบัญรูปภาพ

สารบัญตาราง

บทที่ 1	คำนำ	1
1.1	แนวความคิดและที่มาของโครงการ	1
1.2	วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3	ขอบเขตของโครงการ	2
1.4	ขั้นตอนการดำเนินโครงการ	2
บทที่ 2	ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1	ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับทฤษฎีสายอากาศ	3
2.1.1	ธรรมชาติการทำงานของสายอากาศ	4
2.1.2	สายอากาศชนิดต่างๆ	5
2.1.3	ชนิดของงานสายอากาศ	6
2.2	พารามิเตอร์ที่สำคัญในการใช้งานสายอากาศ	9
2.2.1	แบบรูปการแผ่กระจายคลื่น (Radiation Pattern)	9
2.2.2	ความหนาแน่นกำลังงานการแผ่กระจายคลื่น (Radiation Power Density)	14
2.2.3	ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น (Radiation Intensity)	15
2.2.4	ค่าการชี้ทิศทางสูงสุด (Directivity)	15
2.2.5	รูปแบบการแผ่กระจายคลื่นแบบมีทิศทาง (Directional Patterns)	16
2.2.6	อัตราขยายของงานรับสัญญาณ (Gain)	17
2.2.7	ประสิทธิภาพของสายอากาศ (Antenna Efficiency)	20
2.2.8	ประสิทธิภาพของลำคลื่น (Beam Efficiency)	20
2.2.9	โพลาไรเซชัน (Polarization)	21
2.2.10	อินพุทอิมพีแดนซ์ (Input Impedance)	24
2.2.11	ประสิทธิภาพในการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ	28
2.2.12	ช่วงกว้างแถบความถี่ (Bandwidth)	29
2.2.13	อัตราส่วน f/D	29
2.2.14	ข้อเปรียบเทียบระหว่างงานพาราโบลิกแบบลึกลับกับแบบตื้น	31
2.3	สายอากาศเส้นลวด (Wire Antenna)	33
2.3.1	วัสดุทำงานสายอากาศดาวเทียม	33
2.3.2	วัสดุทำงานรับสัญญาณดาวเทียมทั่วไป	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4	ฟีดฮอร์น และอุปกรณ์ขยายสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนต่ำ	35
2.4.1	ฟีดฮอร์น (Feed horn)	35
2.4.2	อุปกรณ์ขยายสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนต่ำ	37
2.4.3	ขั้วคลื่นแบบแนวตั้งและแนวนอน	38
2.4.4	ขั้วคลื่นแบบวงกลม (Circular Polarization)	39
2.5	ทำความเข้าใจกับ Wireless LAN	39
2.5.1	มาตรฐานของเครือข่ายไร้สาย IEEE 802.11 (Wireless LAN Technology)	40
2.5.2	คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เครือข่ายไร้สาย	45
บทที่ 3	หลักการคำนวณและออกแบบ	50
3.1	หลักการออกแบบงานสายอากาศสะท้อนคลื่น (Reflector Antenna)	50
3.2	การคำนวณและการออกแบบกระบอก LNB	51
3.2.1	การกำหนดช่วงความถี่ในการใช้งาน	51
3.2.2	การกำหนดค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ	51
3.2.3	การคำนวณหาค่าความยาวคลื่น	51
3.2.4	การคำนวณหาค่าความยาวของท่อ Wave Length (λ_g)	51
3.3	การจำลองการออกแบบกระบอก LNB ผ่านโปรแกรม CST	52
3.3.1	ระยะห่างระหว่างตัวรับ - ส่งของกระบอก LNB	60
3.4	การคำนวณ และการออกแบบงานสายอากาศสะท้อนคลื่นกับกระบอก LNB	60
3.4.1	ระยะห่างระหว่างตัวรับ - ส่งของงานสายอากาศ (Reflected Power)	68
บทที่ 4	การสร้าง การติดตั้งงานสายอากาศ และผลการทดสอบ	70
4.1	การสร้าง การติดตั้งงานสายอากาศ และผลการทดสอบ	70
4.1.1	อุปกรณ์สำหรับการสร้างงานสายอากาศสะท้อนคลื่นสำหรับระบบ WIFI	70
4.1.2	กระบวนการสร้างงานสายอากาศสะท้อนคลื่นสำหรับระบบ WIFI	70
4.2	ผลการทดสอบกระบอก LNB	71
4.2.1	ผลการทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ (Return loss)	71
4.2.2	ผลการทดสอบค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (SWR)	73
4.2.3	ผลการทดสอบคุณลักษณะเชิงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ (Impedance)	75
4.2.4	ผลการทดสอบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ	75
4.2.5	อัตราขยายของสายอากาศ (Gain)	80
4.2.6	การหาค่าสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศ (Directivity)	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 ผลการทดสอบงานสายอากาศ	84
4.3.1 ผลการทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับของงานสายอากาศ (Return loss)	85
4.3.2 ผลการทดสอบค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (SWR)	86
4.3.3 ผลการทดสอบคุณลักษณะเชิงอิมพีแดนซ์ของงานสายอากาศ (Impedance)	87
4.4 ผลการทดสอบระดับสัญญาณของสายอากาศ	88
4.5 ผลการทดสอบระดับสัญญาณของสายอากาศโดยใช้คำสั่ง Ping	93
บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป	94
5.1 บทวิจารณ์และบทสรุป	94
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข	94
กิตติกรรมประกาศ	
เอกสารอ้างอิง	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า	
รูปที่ 1.1	บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการดำเนินโครงการ	2
รูปที่ 2.1	นิยามการทำงานของสายอากาศในภาคส่งและภาครับ	3
รูปที่ 2.2	การแผ่พลังงานจากสายอากาศ	4
รูปที่ 2.3	ตัวอย่างสายอากาศเส้นลวด	5
รูปที่ 2.4	ตัวอย่างสายอากาศช่องเปิด	5
รูปที่ 2.5	ตัวอย่างสายอากาศแถบบาง	6
รูปที่ 2.6	การเปรียบเทียบคุณลักษณะของงานสายอากาศทั้ง 3 ประเภท	6
รูปที่ 2.7	ส่วนของงานสายอากาศออฟเซตพาราโบลิก เมื่อเทียบกับงานสายอากาศพาราโบลิก	7
รูปที่ 2.8	การสะท้อนคลื่นของงานสายอากาศพาราโบลิก	8
รูปที่ 2.9	การสะท้อนคลื่นของงานสายอากาศแคสสิเกรน	8
รูปที่ 2.10	ระบบโคออร์ดิเนตสำหรับการวิเคราะห์สายอากาศ	9
รูปที่ 2.11	รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบทิศทางรอบตัว	10
รูปที่ 2.12	รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ E และ H ของสายอากาศปากแคบ	11
รูปที่ 2.13	(ก) ลำคลื่นต่างๆและบีบวิตซ์ของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ	12
รูปที่ 2.13	(ข) รูปแบบการแพร่กระจายในแบบลิเนียร์	12
รูปที่ 2.14	การแบ่งบริเวณสนามจากสายอากาศ	13
รูปที่ 2.15	มุมตันของลำคลื่นซึ่งมีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่ไม่สมมาตรกันและสมมาตรกัน	16
รูปที่ 2.16	การหมุนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าระนาบและวงรีโพลาไรเซชัน ที่เป็นฟังก์ชันของเวลาในระนาบ $Z=0$	21
รูปที่ 2.17	หน่วยเวกเตอร์โพลาไรเซชันของคลื่นและสายอากาศ	24
รูปที่ 2.18	สายอากาศส่งและวงจรสมมูลย์	25
รูปที่ 2.19	สายอากาศรับและวงจรสมมูลย์	28
รูปที่ 2.20	แสดงการแทนค่าสมาการในสูตรกับลักษณะงานรับสัญญาณค่า F/D Ratio	30
รูปที่ 2.21	แสดงผลที่ได้ของสัดส่วนระหว่าง Focus กับ Diameter ที่ต่างกัน	30
รูปที่ 2.22	แสดงถึงลักษณะของงานสายอากาศที่มีค่า f/D ต่างกัน	31
รูปที่ 2.23	ฟูตปรินท์ของดาวเทียม	32
รูปที่ 2.24	แสดงรูปแบบของงานรับสัญญาณทั้งแบบโปร่ง หรือแบบตาข่าย	34
รูปที่ 2.25	แสดงรูปแบบของงานรับสัญญาณทั้งแบบทึบ	34
รูปที่ 2.26	แสดงลักษณะพิเศษของงานรับสัญญาณดาวเทียมแบบโปร่ง	35
รูปที่ 2.27	ตัวรวมสัญญาณ Feed Horn	36
รูปที่ 2.28	ฟีดฮอร์นความถี่ย่าน C พร้อม LNB	36
รูปที่ 2.29	ภาพทางค้ำหน้าของฟีดฮอร์น	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.30 รูปกรณัขยายสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนต่ำ	38
รูปที่ 2.31 ขั้วการเดินทางของคลื่นแบบแนวตั้งและแนวนอน	38
รูปที่ 2.32 ขั้วการเดินทางของคลื่นแบบวงกลม	39
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการออกแบบงานสายอากาศสะท้อนคลื่น	50
รูปที่ 3.2 สายอากาศที่ทำการออกแบบด้วยโปรแกรม CST	52
รูปที่ 3.3 รายละเอียดโครงสร้างของสายอากาศที่ทำการออกแบบ	53
รูปที่ 3.4 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบ 3 มิติ	53
รูปที่ 3.5 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบ Polar ที่ในระนาบ H-Plane โดยมีค่า HPBW = 69.1 องศา	54
รูปที่ 3.6 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบ Polar ที่ในระนาบ E-Plane โดยมีค่า HPBW = 67.7 องศา	55
รูปที่ 3.7 การสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ (Return Loss) ซึ่งจะใช้งานได้ในช่วงความถี่ 2.405 GHz	56
รูปที่ 3.8 ค่า VSWR จากผลการทดลองในช่วง 2.40-2.50 GHz	57
รูปที่ 3.9 ค่าคุณลักษณะเชิงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ	58
รูปที่ 3.10 ค่าส่วนจริงของอิมพีแดนซ์ซึ่งจะเห็นว่าที่ความถี่ 2.45 GHz มีค่าเท่ากับ 56.2 Ω	58
รูปที่ 3.11 ค่าส่วนจินตภาพของอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 2.45 GHz	59
รูปที่ 3.12 งานสายอากาศที่ทำการออกแบบด้วยโปรแกรม CST	61
รูปที่ 3.13 รายละเอียดโครงสร้างของงานสายอากาศที่ทำการออกแบบ	61
รูปที่ 3.14 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบ 3 มิติ	62
รูปที่ 3.15 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบ Polar ที่ในระนาบ H-Plane โดยมีค่า HPBW = 8 องศา	63
รูปที่ 3.16 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบ Polar ที่ในระนาบ E-Plane โดยมีค่า HPBW = 8.3 องศา	64
รูปที่ 3.17 การสูญเสียย้อนกลับของงานสายอากาศ (Return Loss) ซึ่งจะใช้งานได้ในช่วงความถี่ 2.45 GHz	65
รูปที่ 3.18 ค่า VSWR จากผลการทดลองในช่วง 2.45 GHz	66
รูปที่ 3.19 ค่าคุณลักษณะเชิงอิมพีแดนซ์ของงานสายอากาศ	66
รูปที่ 3.20 ค่าส่วนจริงของอิมพีแดนซ์ซึ่งจะเห็นว่าที่ความถี่ 2.45 GHz มีค่าเท่ากับ 90.32 Ω	67
รูปที่ 3.21 ค่าส่วนจินตภาพของอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 2.45 GHz มีค่าเท่ากับ -6.21 Ω	67
รูปที่ 4.1 ครอบ LNB ที่จะนำไปประกอบกับงานสายอากาศ	71
รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss) ของสายอากาศ	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.3 ผลการทดสอบค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง	74
รูปที่ 4.4 ผลการทดสอบค่าคุณลักษณะเชิงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ	75
รูปที่ 4.5 การจัดวางอุปกรณ์ในการทดสอบสายอากาศ	76
รูปที่ 4.6 การวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบของสนามแม่เหล็ก	76
รูปที่ 4.7 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบของสนามแม่เหล็ก	78
รูปที่ 4.8 การวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า	78
รูปที่ 4.9 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า	80
รูปที่ 4.10 รูปการทดสอบวัดค่าอัตราขยายของสายอากาศ	81
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงผลการวัดค่าอัตราขยายของสายอากาศในช่วงความถี่ระหว่าง 2.40 – 2.50 GHz	82
รูปที่ 4.12 รูปงานสายอากาศประกอบกับท่อน LNB	84
รูปที่ 4.13 ผลการทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss) ของงานสายอากาศ	85
รูปที่ 4.14 ผลการทดสอบค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง	86
รูปที่ 4.15 ผลการทดสอบค่าคุณลักษณะเชิงอิมพีแดนซ์ของงานสายอากาศ	87
รูปที่ 4.16 แผนผังการทดสอบ	88
รูปที่ 4.17 ระดับสัญญาณที่ระยะทาง 200 เมตร	89
รูปที่ 4.18 ระดับสัญญาณที่ระยะทาง 400 เมตร	89
รูปที่ 4.19 ระดับสัญญาณที่ระยะทาง 600 เมตร	90
รูปที่ 4.20 ระดับสัญญาณที่ระยะทาง 800 เมตร	90
รูปที่ 4.21 ระดับสัญญาณที่ระยะทาง 1000 เมตร	91
รูปที่ 4.22 ระดับสัญญาณที่ระยะทาง 1200 เมตร	91
รูปที่ 4.23 ระดับสัญญาณที่ระยะทาง 1400 เมตร	92
รูปที่ 4.24 ระดับสัญญาณที่ระยะทาง 1600 เมตร	92
รูปที่ 4.25 การตรวจสอบสถานการณ์เชื่อมต่อโดยใช้คำสั่ง Ping	93

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบอัตราการขยายของงานรับสัญญาณดาวเทียม	19
ตารางที่ 2.2 ปริมาณอัตราการขยายเป็นเคซิเบลเทียบกับกำลังที่รับได้	19
ตารางที่ 3.1 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศในช่วงความถี่ที่ต้องการ	56
ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนคลื่นนิ่ง ของสายอากาศในช่วงความถี่ที่ต้องการ	57
ตารางที่ 4.1 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศที่ได้จากการทดสอบในช่วงความถี่ที่ต้องการ	72
ตารางที่ 4.2 อัตราส่วนคลื่นนิ่ง ของสายอากาศในช่วงความถี่ที่ต้องการ	74
ตารางที่ 4.3 ค่า Power ที่วัด ได้จากการทดลองเมื่อวางสายอากาศในระนาบ H-plane	77
ตารางที่ 4.4 ค่า Power ที่วัด ได้จากการทดลองเมื่อวางสายอากาศในระนาบ E-plane	79
ตารางที่ 4.5 อัตราการขยายของสายอากาศในช่วงความถี่ที่ต้องการ	82



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวความคิดและที่มาของโครงการ

ระบบสายแบบจานสะท้อนคลื่นเป็นที่นิยมนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในการสื่อสารโทรคมนาคมในรูปแบบต่างๆ รวมทั้งการใช้งานในระบบเรดาร์ ดาวเทียมเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ กัน เนื่องจากระบบสายอากาศดังกล่าวมีกำลังขยายสูงมากสามารถเลือกออกแบบตัวสะท้อนคลื่น (Reflector) แบบใดแบบหนึ่ง เพื่อให้ได้รูปแบบของการแผ่พลังงานที่เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการใช้งานตามที่ต้องการได้ ตัวอย่างของการใช้งานของสายอากาศแบบจานสะท้อนคลื่น ได้แก่ การติดต่อสื่อสารที่มีระยะทางห่างกันมากๆ เช่นการสื่อสารดาวเทียมในรูปของการส่งสัญญาณภาพ และเสียง ภาพเคลื่อนไหว หรือใช้ในการถ่ายทอดสัญญาณจากสถานีถ่ายทอดไปยังบ้านเรือนต่างๆ โดยตรง หรือถ่ายทอดไปยังประเทศต่างๆ ที่อยู่ในอีกซีกโลกหนึ่ง หรือนำไปใช้ในการค้นหาเป้าหมาย ตลอดจนใช้ในการสำรวจทรัพยากรต่างๆ ก็ได้ส่งสัญญาณภาพถ่ายลงมาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์บนภาคพื้นดิน สภาพภูมิประเทศ ตลอดจนวิเคราะห์สภาพอากาศล่วงหน้าได้เป็นต้น ในการรับส่งสัญญาณดาวเทียมที่กล่าวมาข้างต้น จำเป็นที่จะต้องใช้ระบบสายอากาศแบบจานสะท้อนคลื่นที่มีกำลังขยายสูงทั้งสิ้น

อนึ่งปัจจุบันเทคโนโลยีระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย หรือ WLAN (Wireless Local Area Network) กำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากประโยชน์ของระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายมีอยู่มากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย สร้างความสะดวก และอิสระในการใช้งาน และติดตั้งเครือข่ายเทคโนโลยีดังกล่าวทำให้การเชื่อมต่ออุปกรณ์คอมพิวเตอร์ในบ้านหรือสำนักงานเข้าด้วยกัน หรือต่อเข้ากับเครือข่ายไม่จำเป็นต้องใช้สายนำสัญญาณให้ยุ่งยากและดูแลรักษาอีกต่อไป อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ทั้งแบบตั้งโต๊ะและพกพาสามารถเชื่อมต่อถึงกันหรือเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายจากตำแหน่งต่างๆ ที่อยู่ในรัศมีของสัญญาณได้อย่างอิสระ

เนื่องจากระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย ยังมีข้อเสียคือการที่มีระยะทางในการส่งที่สั้นมากๆ ทำให้การใช้งานส่วนใหญ่ยังคงถูกจำกัดพื้นที่ ซึ่งถ้าต้องการที่จะใช้งานในบริเวณกว้างๆ จึงจำเป็นต้องใช้ ตัวแอมป์เซสพอยน์หลายตัวเพื่อให้มีบริการอย่างทั่วถึง และเนื่องจากระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย เป็นระบบการสื่อสารแบบจุดต่อจุด สายอากาศที่นำมาใช้ในระบบนี้นี้จึงควรจะเป็นสายอากาศที่มีอัตราขยายสูงและมีแบบรูปการกระจายคลื่นแบบมีทิศทาง

สำหรับโครงการนี้ได้ทำการออกแบบสายอากาศที่มีแบบรูปการกระจายคลื่นแบบทิศทางเดียวเพื่อใช้ในระบบการสื่อสารแบบจุดต่อจุด ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะเป็นประโยชน์ในการนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบสายอากาศแบบทิศทางเดียว สำหรับนำไปใช้ในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

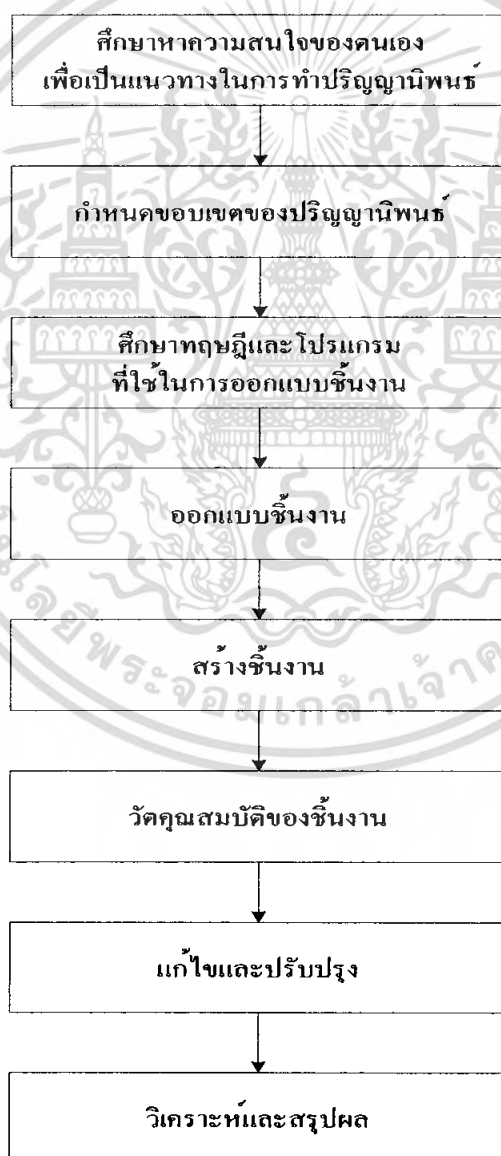
- 1.2.1 ศึกษาสายอากาศแบบงานสะท้อนคลื่นสำหรับระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย
- 1.2.2 เพื่อออกแบบและสร้างสายอากาศที่ทำงานได้ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 2.40-2.50 GHz
- 1.2.3 เพื่อวัดหาคูสมบัตินิพารามิเตอร์ของสายอากาศ

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ออกแบบสายอากาศแบบงานสะท้อนคลื่นที่ใช้งานที่ความถี่ 2.40-2.50 GHz
- 1.3.2 ทำการออกแบบและสร้างสายอากาศแบบงานสะท้อนคลื่น
- 1.3.3 ทำการวัดคุณสมบัติของสายอากาศที่สร้างเสร็จ

1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

ในการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ได้มีการศึกษาและวางแผนและทำงานตามขั้นตอนการทำงานดังแผนผังการทำงานต่อไปนี้



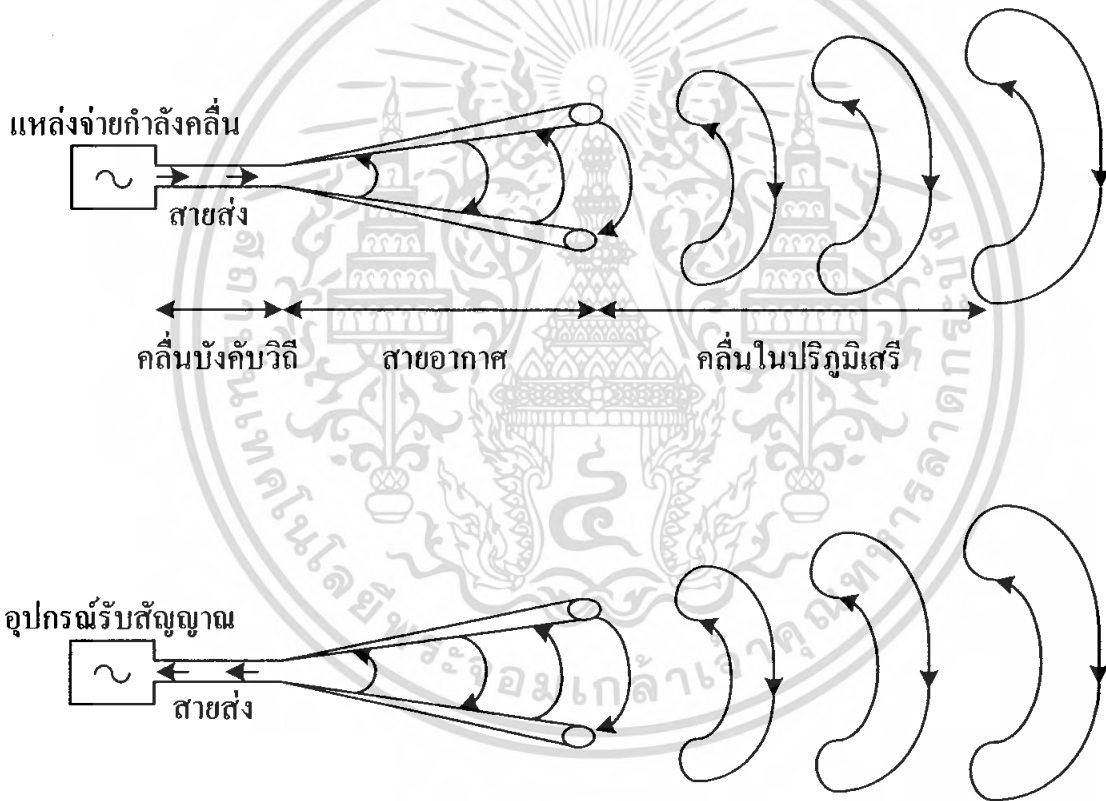
รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการดำเนินโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับทฤษฎีสายอากาศ

หน้าที่สำคัญของสายอากาศคือ การเปลี่ยนรูปพลังงานกลับไปมาระหว่างพลังงานในลักษณะคลื่นบังคับวิถีในสายส่งและพลังงานในปริภูมิเสรี (free space) สายอากาศจะเปลี่ยนรูปพลังงานจากลักษณะคลื่นบังคับวิถีไปเป็นคลื่นในปริภูมิเสรีที่แพร่กระจายไปในทิศทางที่ต้องการเมื่อปฏิบัติงานเป็นสายอากาศส่ง และเมื่อปฏิบัติงานเป็นสายอากาศรับสายอากาศจะเปลี่ยนคลื่นในปริภูมิเสรีที่มาจากทิศทางของสถานีอื่นฟังประสงค์หรือรวมทั้งบรรดาคลื่นรบกวนทั้งหลายเป็นคลื่นบังคับวิถีในสายส่งและเข้าสู่เครื่องรับในที่สุด นอกจากนี้ยังอาจกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า สายอากาศเป็นส่วนที่เป็นภาคเชื่อมต่อระหว่างอิล็กตรอน (คลื่นบังคับวิถี) กับโฟตอน (คลื่นในปริภูมิเสรี) รูปที่ 2.1 แสดงนิยามของสายอากาศตามที่กล่าวมาข้างต้น



รูปที่ 2.1 นิยามการทำงานของสายอากาศในภาคส่งและภาครับ

จุดเด่นของการเป็นสายอากาศไม่ได้หยุดอยู่เพียงการมีความสามารถในการรับหรือแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า สายอากาศต้องสามารถเลือกรับหรือส่งพลังงานจากต้นกำเนิดไปสู่ปลายทางที่กำหนดได้ด้วยเหตุนี้การออกแบบสายอากาศเพื่อให้สามารถปฏิบัติการกิจที่กำหนดได้จึงมีความหมายยิ่งนัก เมื่อนำผลลัพธ์จากการออกแบบไปวิเคราะห์ ก็จะสามารถทราบสมรรถนะของสายอากาศได้ว่าเป็นไปตามที่ต้องการหรือไม่ผลที่วิเคราะห์ทำให้สามารถหาทางปรับเปลี่ยนการออกแบบ เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นได้ล่วงหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

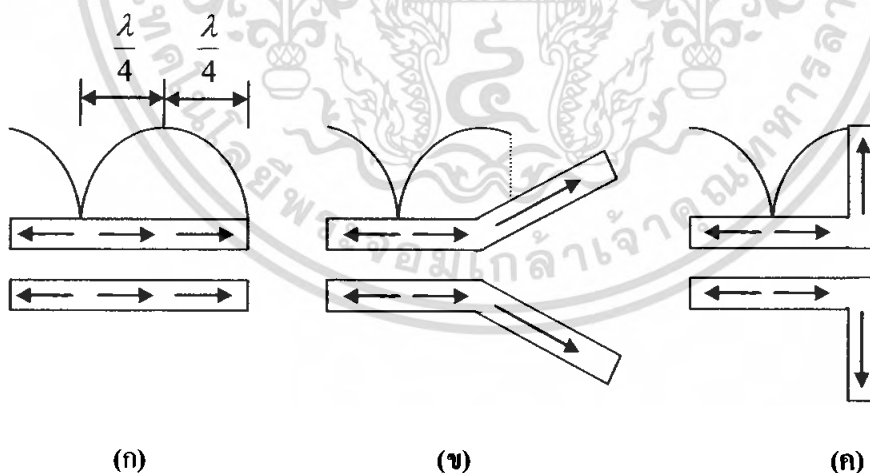
2.1.1 ธรรมชาติการทำงานของสายอากาศ

เมื่อสายอากาศทำงานในภาครับนั้น กลไกการทำงานเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนรูปพลังงานจากลักษณะของคลื่นในปริภูมิเสรีให้เป็นคลื่นบังคับวิธีสามารถเข้าใจได้โดยง่าย ด้วยการพิจารณาว่าคลื่นในปริภูมิเสรีที่ตกกระทบบนสายอากาศเหนี่ยวนำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วของสายอากาศอันเป็นผลสืบเนื่องให้มีการไหลของสัญญาณเมื่อมีการต่อขั้วดังกล่าวเข้ากับอุปกรณ์รับสัญญาณ

ในกรณีที่สายอากาศทำงานในภาคส่ง สิ่งที่เกิดขึ้นคือ พลังงานในลักษณะของคลื่นบังคับวิธีได้รับการแปลงรูปไปเป็นพลังงานในลักษณะของคลื่นในปริภูมิเสรี การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้น ในลักษณะที่มีการเคลื่อนย้ายของพลังงานจากสายอากาศเข้าสู่บริเวณปริภูมิเสรี โดยปราศจากการนำหรือการพา และมีใช้การแพร่เนื่องจากการเปลี่ยนรูปพลังงาน ดังนั้นจึงเรียกปรากฏการณ์ดังกล่าวที่เกิดขึ้นว่าการแผ่พลังงาน

สิ่งที่น่าสนใจเกี่ยวกับการแผ่พลังงานก็คือ กลไกการเกิดขึ้นของปรากฏการณ์ เมื่อพิจารณาการทำงาน ของสายอากาศเส้นลวด จะพบว่าเมื่อเริ่มต้นด้วยการป้อนกำลังงานคลื่นให้ที่ขั้วของสายอากาศ ในจังหวะนี้ เท่ากับการกระตุ้นให้อ่อนภาคมีประจุเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง เมื่ออ่อนภาวดังกล่าวเคลื่อนที่ ไปถึงปลายทางของเส้นลวดก็จะถูกหน่วงให้หยุดและกระดอนกลับ

ในช่วงที่อ่อนภาคมีประจุถูกเร่งและหน่วงนี้เองจะมีการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงาน ซึ่งผลลัพธ์ก็คือ การปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การถูกเร่งนั้นเกิดขึ้นจากการกระตุ้นด้วยแหล่งพลังงานที่ต่ออยู่ที่ขั้วของสายอากาศ ส่วนการหน่วงเป็นผลจากแรงต้านภายในเนื่องจากการเสียดสีของประจุที่ปลายสายอากาศ ดังนั้นถ้าหากสามารถทำให้อ่อนภาคมีประจุถูกเร่งและหน่วง ไม่ว่าจะด้วยการทำให้มีอิมพีแดนซ์ที่ไม่ต่อเนื่องหรือการตัดหรือการหักลวดให้งอ ก็จะส่งผลให้เกิดการแผ่พลังงานในรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า รูปที่ 2.2 แสดงกรณีต่างๆของการเกิดขึ้นของการแผ่พลังงานจากสายอากาศเส้นลวด



รูปที่ 2.2 การแผ่พลังงานจากสายอากาศ

(ก) สายส่งแบบขนาน

(ข) สายส่งแบบขนานที่ปลายถูกทำให้ต่างออก

(ค) สายอากาศขั้วคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 สายอากาศชนิดต่างๆ

ในบรรดาสายอากาศที่มีใช้งานอยู่เป็นจำนวนมากในระบบต่างๆ ในปัจจุบัน หากจัดแบ่งตามโครงสร้างหลักที่ปรากฏ จะสามารถแบ่งแยกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ดังนี้

2.1.2.1 สายอากาศเส้นลวด

ลักษณะที่ปรากฏของสายอากาศกลุ่มนี้จะประกอบด้วยเส้นลวดตัวนำในรูปแบบต่างๆ หรืออาจเป็นท่อทรงกระบอกกลวงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าความยาวคลื่นมากๆ สายอากาศชนิดนี้มักเป็นที่นิยมใช้งานในย่านความถี่ต่ำ ตัวอย่างสายอากาศกลุ่มนี้ ได้แก่ สายอากาศขั้วคู่ สายอากาศยาคิ-ดูดะ และสายอากาศขั้วเดี่ยว เป็นต้น รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างสายอากาศกลุ่มนี้



สายอากาศขั้วคู่

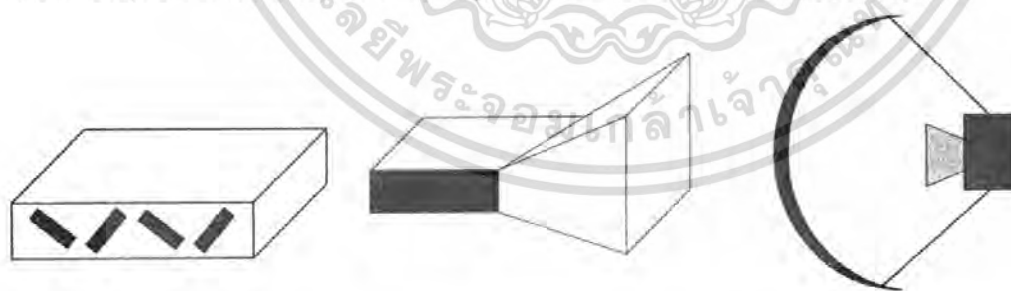
สายอากาศยาคิ-ดูดะ

สายอากาศขั้วเดี่ยว

รูปที่ 2.3 ตัวอย่างสายอากาศเส้นลวด

2.1.2.2 สายอากาศช่องเปิด

สายอากาศกลุ่มนี้มีลักษณะปรากฏให้เห็นชัดเจนในสภาพของช่องเปิดที่มีพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนตัวออกมา มักนิยมใช้งานในย่านความถี่สูง ตัวอย่างสายอากาศกลุ่มนี้ ได้แก่ สายอากาศร่อง สายอากาศปากแตรต่างๆ สายอากาศจานสะท้อน เป็นต้น รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างสายอากาศช่องเปิด



สายอากาศร่อง

สายอากาศปากแตรทรงพีระมิด

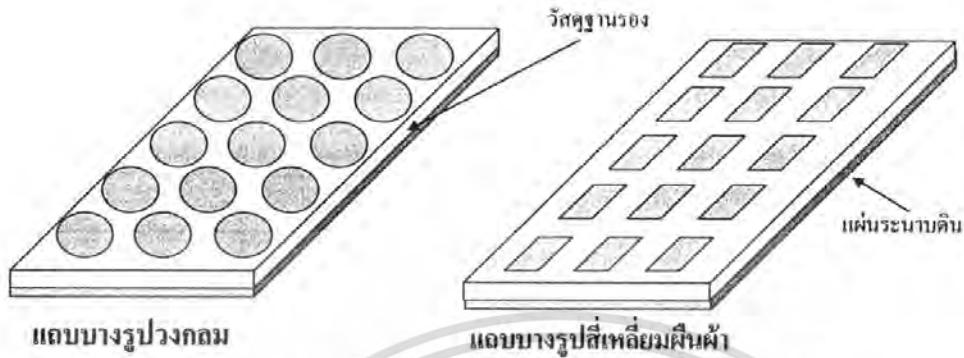
สายอากาศจานสะท้อน

รูปที่ 2.4 ตัวอย่างสายอากาศช่องเปิด

2.1.2.3 สายอากาศแถบบาง

ลักษณะสำคัญของสายอากาศชนิดนี้ คือ การเป็นแถบโลหะบางที่มีรูปร่างใดๆก็ได้โดยแถบโลหะบางนี้วางตัวอยู่เหนือแผ่นระนาบดิน มีวัสดุฐานรองคั่นระหว่างแถบโลหะบางกับแผ่นระนาบดินสายอากาศชนิดนี้มักสร้างให้อยู่ในลักษณะกลุ่มสายอากาศ เนื่องจากองค์ประกอบเดียวจะมีอัตราขยายต่ำมาก ไม่เหมาะสมไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

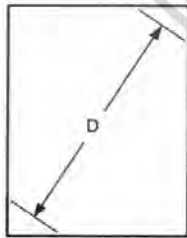
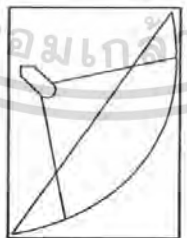
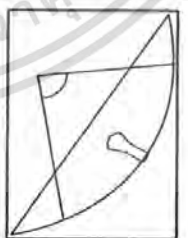
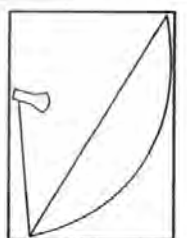
ที่จะทำงานในลักษณะสายอากาศองค์ประกอบเดี่ยว จุดเด่นของสายอากาศชนิดนี้ คือ ขนาดที่กะทัดรัด ความแบนราบ และความสามารถที่จะได้รับการติดตั้งบนโครงสร้างที่มีพื้นผิวโค้ง ปกติมักใช้งานที่ความถี่ค่อนข้างสูง รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างสายอากาศชนิดนี้



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างสายอากาศแถบบาง

2.1.3 ชนิดของจานสายอากาศ

จานสายอากาศโดยทั่วไปที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้ สามารถแบ่งออกเป็นตามลักษณะของจานสะท้อนคลื่น และลักษณะการรับสัญญาณ โดยสามารถแบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 3 ประเภท คือ จานสายอากาศพาราโบลิก (Parabolic Antenna) จานสายอากาศออฟเซตพาราโบลิก (Parabolic Offset) และ จานสายอากาศแคสซีเกรน (Cassegrain Antenna) จากรูปที่ 2.6 แสดงเปรียบเทียบคุณลักษณะของจานสายอากาศทั้ง 3 ชนิด ที่ได้แสดงลักษณะของจานสายอากาศ และคุณสมบัติทั่วไปของจานสายอากาศเปรียบเทียบให้เห็นอย่างคร่าวๆ โดยในที่นี้จะกล่าวถึงเพียง 2 ชนิดแรกเท่านั้น ซึ่งเป็นชนิดของจานสายอากาศควาเทียมที่ใช้อยู่กันโดยทั่วไป

	โฟกัสที่ศูนย์กลาง	แคสซีเกรน	ออฟเซต
			
ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางที่เหมาะสม	$D > 20 \lambda$	$D > 75 \lambda$	$D > 10 \lambda$
ประสิทธิภาพต่อพื้นที่ผิวของจาน	ดี	ดีมาก	ดี
การลดทอนขสัญญาณด้านข้างของจาน	ดี	ดี	ดีมาก
ลักษณะโครงสร้าง	ง่ายมาก	ซับซ้อน	ง่าย

รูปที่ 2.6 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของจานสายอากาศทั้ง 3 ประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

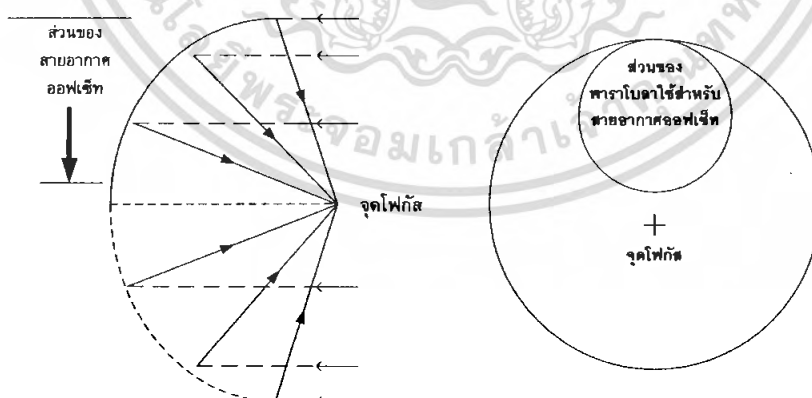
2.1.3.1 งานสายอากาศพาราโบลิก

งานสายอากาศพาราโบลิก เป็นงานควมเทียมที่ถูกออกแบบให้ผิวงานด้านในโค้งมนตามรูปสมการพาราโบลา โดยคลื่นสัญญาณควมเทียมเมื่อตกกระทบงานสะท้อน สัญญาณจากผิวงานสะท้อนจะมารวมกันที่จุดโฟกัสของงานพาราโบลิกนั้น ซึ่งที่จุดโฟกัสของงานสายอากาศนี้เอง จึงเป็นจุดที่จะมีระดับสัญญาณควมเข้มสูงมากที่สุด จะเป็นที่ตั้งติดตั้งอุปกรณ์รับสัญญาณฟีดฮอร์น

ด้วยคุณลักษณะทางกายภาพ และ โครงสร้างของงานสายอากาศ ไม่ว่าจะเป็ค่าอัตราส่วน f/D พื้นที่ประสิทธิภาพของงานสายอากาศ หรือควมลึก - ความตื้นของงานสายอากาศ จะมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการรับควมถี่คลื่นวิทยุ และอัตราการขยายของสายอากาศ งานสายอากาศพาราโบลิกจะมีข้อเสีย คือ การรับส่งสัญญาณควมเทียมจะถูกอุปกรณ์ต่างๆ ที่ติดตั้งอยู่บริเวณหน้าของงานสะท้อนคลื่นบดบัง ทำให้เกิดจุดบดบังสัญญาณที่จะไปตกกระทบงานสะท้อนสัญญาณ โดยตรง การสะท้อนจึงไม่สามารถเกิดขึ้นตลอดผิวหน้าสัมผัสได้ เป็นผลให้เกิดสัญญาณแทรกซ้อน และประสิทธิภาพด้อยลง

2.1.3.2 งานสายอากาศออฟเซตพาราโบลิก

งานสายอากาศออฟเซตพาราโบลิกนั้น โดยโครงสร้างแล้วจะเป็นส่วนหนึ่งของงานสายอากาศพาราโบลิก แสดงดังรูปที่ 2.7 แสดงส่วนของงานสายอากาศออฟเซตพาราโบลิกที่เป็นส่วนมาจากงานสายอากาศพาราโบลิก โดยที่ส่วนของฟีดฮอร์นยังคงเป็นตำแหน่งเดียวกันกับที่ตั้งจุดโฟกัสของงานสายอากาศพาราโบลิก ข้อได้เปรียบของงานสายอากาศออฟเซตพาราโบลิก ก็คือ ส่วนของจุดโฟกัสที่เป็นจุดติดตั้งอุปกรณ์รับสัญญาณฟีดฮอร์น จะไม่ไปบดบังพื้นที่ที่ใช้สะท้อนสัญญาณของงานสะท้อนคลื่น รวมถึงทำให้มีโพรบข้างน้อยลงด้วย ถึงอย่างไรก็ตามงานสายอากาศออฟเซตพาราโบลิกก็มีจุดด้อยคือ ขนาดของงานจะมีรัศมีที่ใหญ่ไม่เกิน 1.5 เมตร อันเป็นผลมาจากค่าอัตราส่วน f/D ที่จะทำให้ขอขยิดฟีดฮอร์นยาวมากจนเกินไป และด้วยเหตุจากคุณลักษณะของตัวงานสายอากาศจะไม่ได้เป็นในลักษณะสมมาตรตลอดทั่วทั้งงานสายอากาศ



รูปที่ 2.7 ส่วนของงานสายอากาศออฟเซตพาราโบลิก เมื่อเทียบกับงานสายอากาศพาราโบลิก

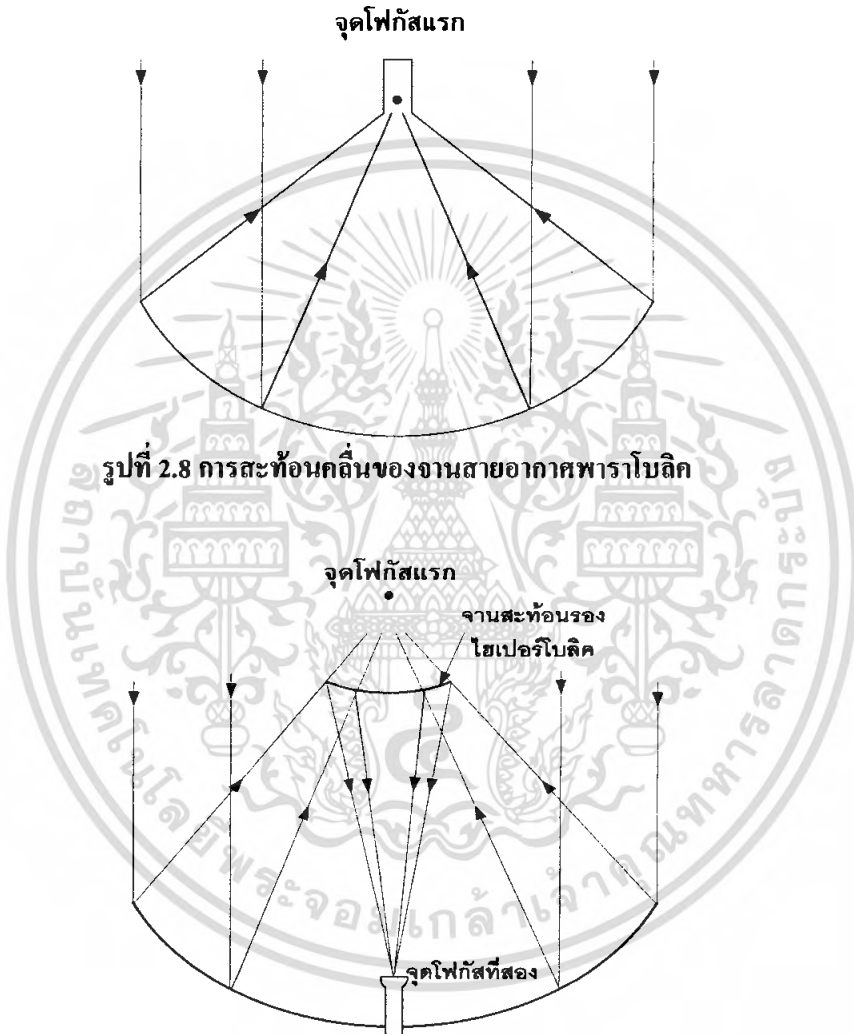
รูปร่างของฟีดฮอร์นจะมีความสำคัญที่ติดตั้งจะต้องมีทิศทางเข้าสู่พื้นที่รับสัญญาณของงานสายอากาศ ดังรูป 2.7 ฟีดฮอร์นแบบวงกลมจะใช้กับงานสายอากาศออฟเซตที่จะส่งคลื่นวิทยุขึ้นในบางครั้งอาจจะรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่สะท้อนจากสายอากาศออปติคัลพาราโบลิกได้หมด หรือในบางกรณีก็อาจจะมีมีมเลขขอบเขตพื้นที่งานสายอากาศไปเลย ดังนั้นการเลือกใช้ฟีดฮอร์นจึงจำเป็นต้องใช้ให้เหมาะสมกับพื้นที่รับสัญญาณของงานสายอากาศด้วย

2.1.3.3 งานสายอากาศพาราโบลิก

ในปัจจุบันงานสายอากาศแบบพาราโบลิกมีความเหมาะสมที่สุด ในเรื่องของอัตราขยายและราคาเมื่อเปรียบเทียบกับแบบอื่น อาทิเช่น แบบลวดทรงกลม และฮอร์น ลักษณะทั่วไปของงานสายอากาศ



รูปที่ 2.9 การสะท้อนคลื่นของงานสายอากาศแคสซิเกรน

แบบพาราโบลิกจะเป็นวงกลม ในรูปที่ 2.8 จะเป็นเส้น โคจร 2 มิติ ซึ่งเรียกว่า พาราโบล่า ส่วนแบบ 3 มิติซึ่งเรียกว่า พาราโบลอยด์นั้นสามารถทำได้โดยการหมุนพาราโบลารอบแกนกลางในการรับสัญญาณ ความเทียมงานพาราโบลิกจะมีการสะท้อนมาตกกระทบผิวหน้าไปที่จะ โฟกัส F เป็นดังรูปที่ 2.8

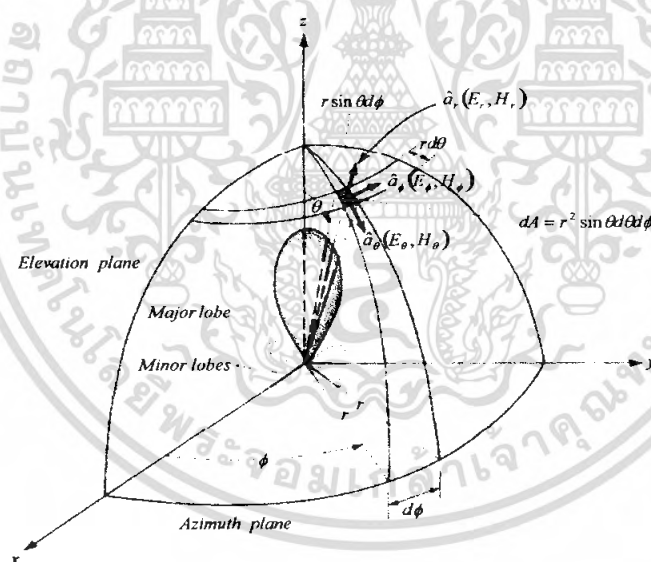
ลักษณะของงานพาราโบลิกนั้น หน้าคลื่นแบบสเฟียร์ริคอล (Spherical Wavefront) จะถูกส่งออกมาจากจุดโฟกัส ไปสะท้อนที่ผิวหน้าของงาน และเปลี่ยนหน้าคลื่นเป็นแบบระนาบ (Plane Wavefront) ดังรูปที่ 2.8 ในทำนองเดียวกัน คลื่นระนาบที่มาตกกระทบงานพาราโบลิกจะเปลี่ยนหน้าคลื่นไปเป็นแบบ สเฟียร์ริคอล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สะท้อนผิวหน้าไปที่จุดโฟกัส ซึ่งท่อนำคลื่นจะต่ออยู่ที่ตำแหน่งนี้เพื่อจะนำสัญญาณที่รับได้ไปใช้งานดังแสดงในรูปที่ 2.8 ซึ่งลักษณะนี้เรียกว่า Primary Focus Feed ถ้าสัญญาณนั้นถูกสะท้อนอีกครั้งโดยรีเฟล็กเตอร์ย่อย (Sub-reflector) ซึ่งวางอยู่ที่ตำแหน่ง Primary Focus หรือใกล้เคียง ซึ่งลักษณะนี้จะเรียกว่า Secondary Focus Feed งานสายอากาศแบบแคสเกรน (Cassegrain) จะใช้หลักการนี้ดังรูปที่ 2.9

2.2 พารามิเตอร์ที่สำคัญในการใช้งานสายอากาศ

2.2.1 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern)

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสายอากาศ (Radiation Pattern) หรือรูปแบบสายอากาศ มีความหมายคือ ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ หรือ แสดง โดยเส้นที่สามารถแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติการแพร่กระจายของสายอากาศตามฟังก์ชันของสเปซโคออร์ดิเนต (Space Coordinates) ส่วนมากในกรณีของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นนี้จะกำหนดการคิดในบริเวณที่เป็นสนามระยะไกล (Far-Field) และแสดงให้เห็นเช่นเดียวกับฟังก์ชันตามทิศทางของ โคออร์ดิเนต คุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นประกอบด้วยกำลังความหนาแน่น ฟลักซ์แม่เหล็ก (Flux), ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Intensity), ความเข้มของสนาม (Field Strength), เฟส (Phase), หรือ โพลาริเซชัน (Polarization) ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ใช้เพื่อแสดงการแจกแจงรูปของพลังงานเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งสามมิติที่สังเกตที่มีรัศมีคงที่



รูปที่ 2.10 ระบบโคออร์ดิเนตสำหรับการวิเคราะห์สายอากาศ

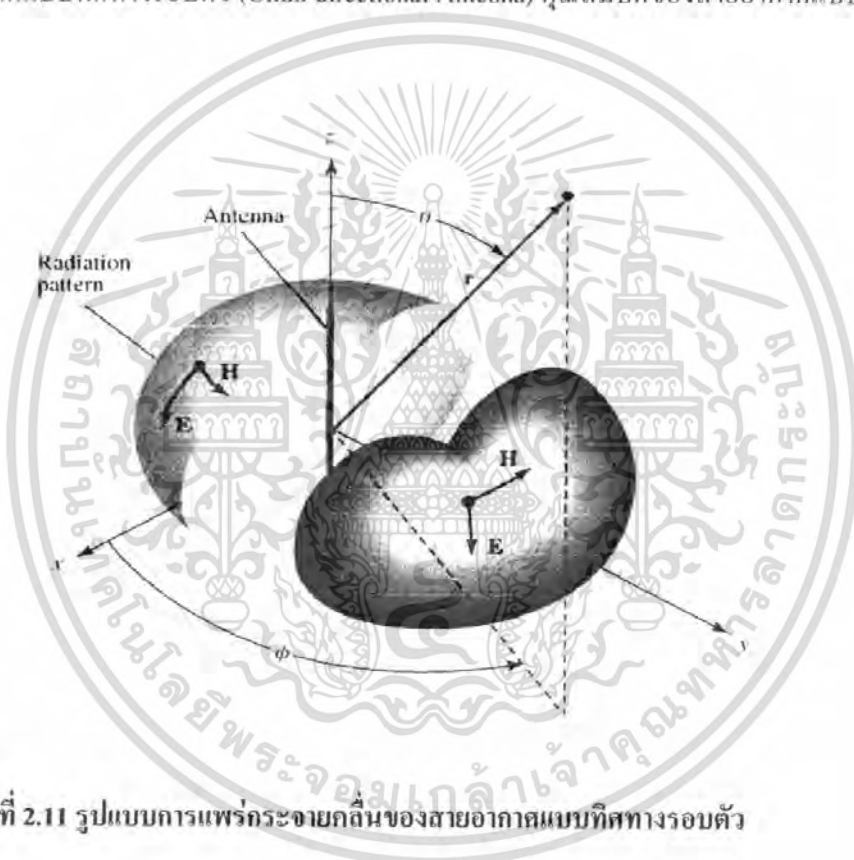
จากรูปจะเป็นการแสดงระบบโคออร์ดิเนตที่ใช้ในการแสดงคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นสำหรับการใช้เส้นเพื่อแสดงกำลังงานที่สายอากาศรับได้ตามแนวรัศมีที่มีค่าคงที่ มีชื่อเรียกว่า แบบรูปกำลังงาน (Power Pattern) ของสายอากาศและกราฟที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าในทิศทางต่างๆที่มีรัศมีคงที่เรียกว่า สนามการแพร่กระจายคลื่น (Field Pattern) ของสายอากาศนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.1 แบบรูปการแพร่กระจายแบบไอโซทรอปิกแบบชี้ทิศทางและแบบทิศทางรอบตัว (Isotropic, Directional, and Omnidirectional Pattern)

ตัวแพร่กระจายคลื่นไอโซทรอปิก (Isotropic Radiation) คือ สายอากาศที่ถูกสมมติขึ้นให้มีการแพร่กระจายคลื่นเท่าๆกันในทุกทิศทาง แม้ว่ามันจะเป็นแค่แนวความคิดและสามารถที่จะเป็นจริงได้ในทางกายภาพ แต่ก็มักจะใช้เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบกับสายอากาศจริงเกี่ยวกับการแสดงคุณสมบัติและทิศทางของสายอากาศ

สายอากาศชี้ทิศทาง (Directional Antenna) คือสายอากาศที่มีคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นหรือรองรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดีในเฉพาะทิศทางที่กำหนดเท่านั้น ตัวอย่างของสายอากาศที่มีคุณสมบัติดังกล่าวคือ สายอากาศแบบทิศทางรอบตัว (Omnidirectional Antenna) คุณสมบัติของสายอากาศแบบนี้แสดงได้ดังรูปที่ 2.11



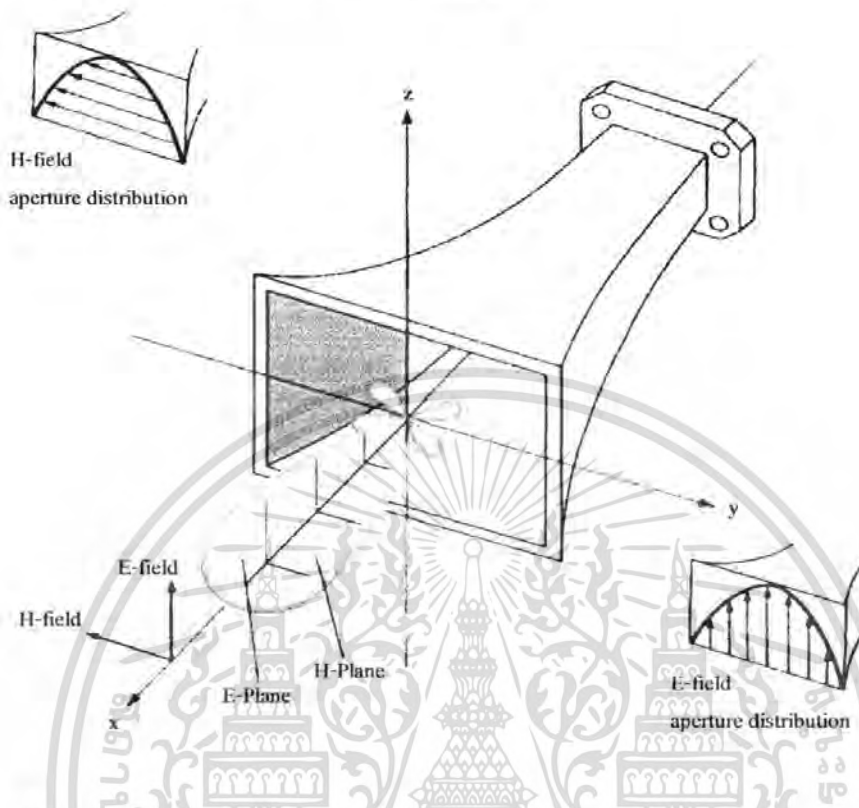
รูปที่ 2.11 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบทิศทางรอบตัว

จากรูปจะเห็นได้ว่ารูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบนี้ ไม่มีทิศทางในระนาบอาซิมุทหรือระนาบมุมกวาด (Azimuth Plane) [$f(\phi), \theta = \pi/2$] แต่เป็นแบบชี้ทิศทางในระนาบเอเลเวชันหรือมุมยก (Elevation Plane) [$g(\theta), \phi = \text{ค่าคงที่}$] รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวนี้เป็นกรณีพิเศษของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบชี้ทิศทาง

2.2.1.2 รูปแบบการกระจายคลื่นหลัก (Principal Pattern)

เรามักจะอธิบายคุณสมบัติของสายอากาศ ในเทอมของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นหลัก (Principal Pattern) ของสนามไฟฟ้า E และสนามแม่เหล็ก H สำหรับสายอากาศโพลาริเซชันแบบเชิงเส้น รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ E จะเป็นระนาบที่บรรจุเวกเตอร์สนามไฟฟ้า และทิศทางของการไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แพร่กระจายคลื่นที่แรงที่สุด ส่วนรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ H จะเป็นระนาบที่บรรจุเวกเตอร์สนามแม่เหล็กและทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นที่แรงที่สุด



รูปที่ 2.12 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ E และ H ของสายอากาศปากแตร

จากรูปเป็นการแสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นหลัก โดยมีระนาบ XZ (ระนาบเอเลเวชัน; $\phi = 0$) เป็นระนาบ E หลักและมีระนาบ XY (ระนาบอาซิมุท; $\theta = \pi/2$) เป็นระนาบ H หลัก

2.2.1.3 ลำคลื่นของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Lobe)

ลำคลื่นของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Lobe) เป็นส่วนหนึ่งของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดเป็นบริเวณ โดยการปิดล้อมของส่วนที่มีความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นต่ำรูปที่ 2.13 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบสามมิติ ซึ่งสามารถแบ่งลำคลื่นเป็นแบบต่างๆดังนี้

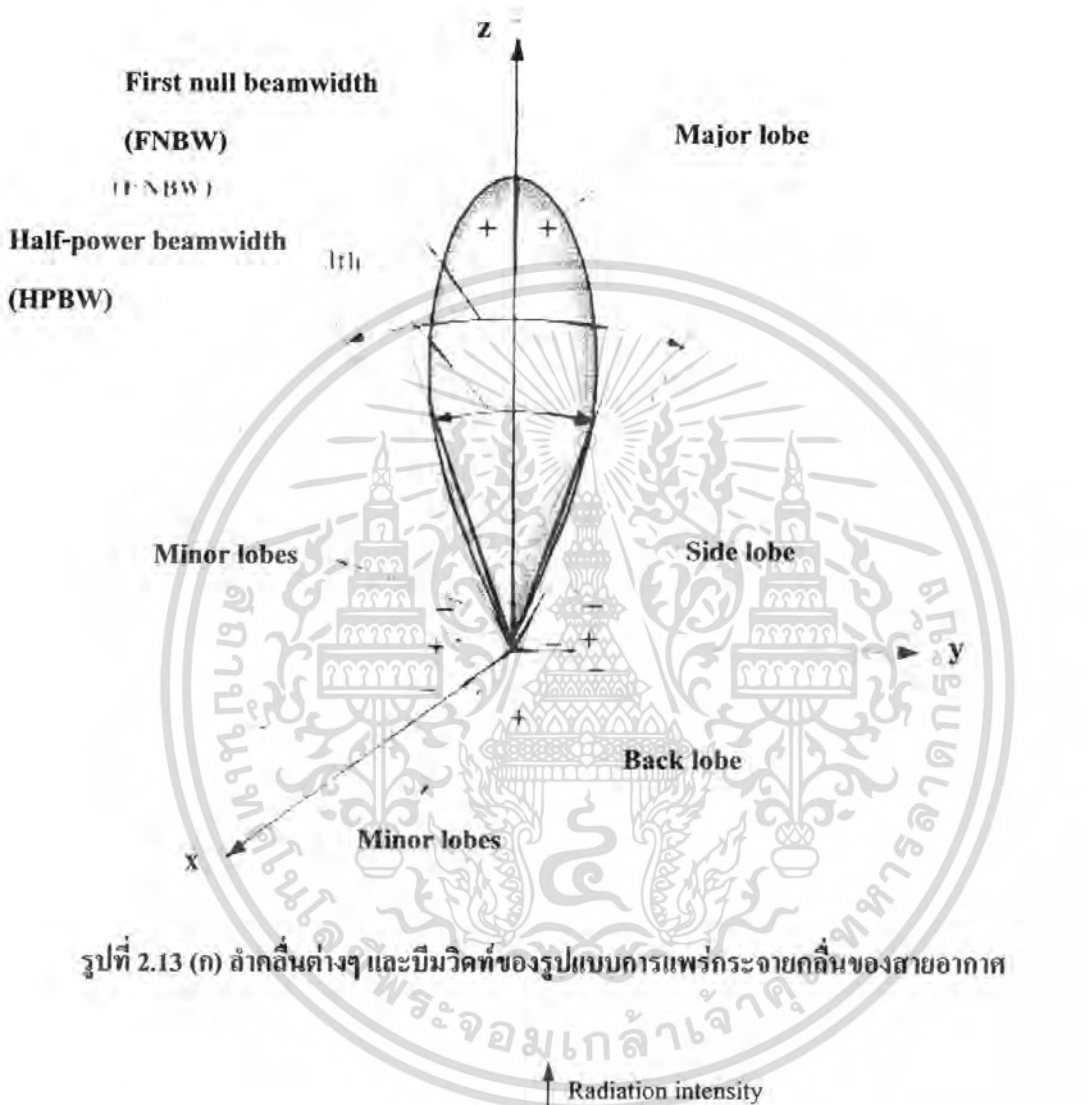
ลำคลื่นหลัก (Major Lobe หรือ Main Lobe) เป็นลำคลื่นของการแพร่กระจายคลื่นที่อยู่ในทิศทางที่มีการแพร่กระจายคลื่นแรงที่สุดตามรูปที่ 2.13 มีลำคลื่นหลักอยู่ในทิศทาง $\theta = 0$ สำหรับสายอากาศบางชนิดอาจมีลำคลื่นหลักมากกว่าหนึ่งลำคลื่น เช่นสายอากาศแยกลำคลื่น (Split-beam Antenna)

ลำคลื่นย่อย (Minor Lobe) คือลำคลื่นอื่นที่นอกเหนือจากลำคลื่นหลัก

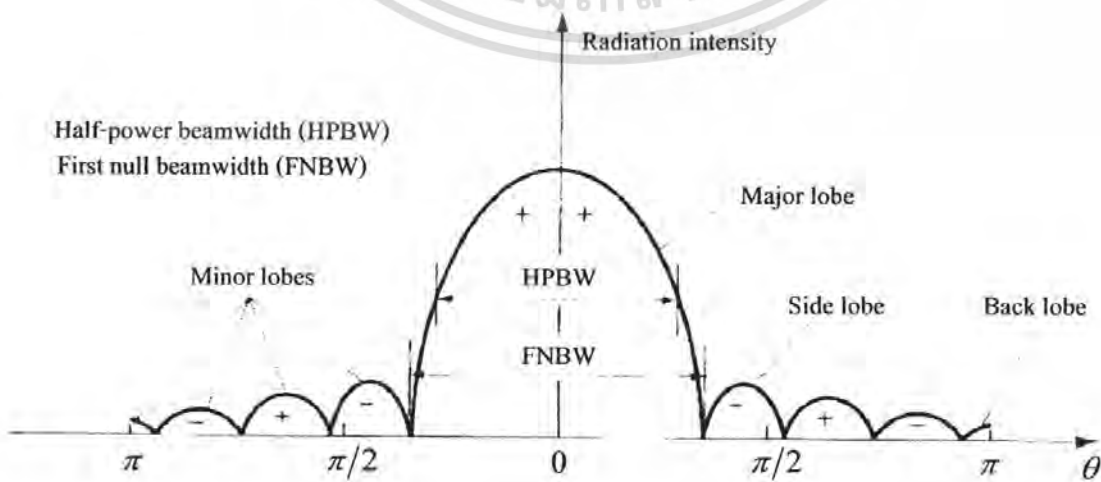
ลำคลื่นข้าง (Side Lobe) เป็นลำคลื่นย่อยที่ติดอยู่กับลำคลื่นหลักและอยู่ในทิศทางของครึ่งวงกลมซีกเดียวกับลำคลื่นหลัก

ลำคลื่นหลัง (Back Lobe) เป็นลำคลื่นย่อยที่อยู่ในครึ่งวงกลมตรงข้ามกับลำคลื่นหลัก ปกติแล้วลำคลื่นย่อยจะเกิดจากการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่ไม่ต้องการ ดังนั้นสายอากาศที่ดีจึงต้องกำจัดลำคลื่นเหล่านี้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้เหลือน้อยที่สุด ระดับของลำคลื่นย่อยมักจะแสดงเป็นอัตราส่วนของความหนาแน่นพลังงานในลำคลื่นที่ กำลังคิดต่อความหนาแน่นพลังงานในลำคลื่นหลัก ซึ่งเรียกว่าอัตราส่วนของไซด์โลป (Side Lobe Level: SLL) ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปนั้นมักจะต้องการให้ระดับของไซด์โลปน้อยกว่า -20 dB



รูปที่ 2.13 (ก) ลำคลื่นต่างๆ และบีมวิทท์ของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 2.13 (ข) รูปแบบการแพร่กระจายในแนวลอนแนวยุติ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.4 บริเวณต่างๆของสนามจากสายอากาศ

โดยทั่วไปมักจะเป็นบริเวณที่ล้อมรอบสายอากาศออกเป็น 3 ส่วน คือสนามรีแอกทีฟระยะใกล้ (Reactive-Near Field) สนามกระจายระยะใกล้ (Radiating - Near Field) และสนามกระจายระยะไกล (Far Field) ดังแสดงในรูปที่ 2.14

บริเวณสนามแพร่กระจายระยะใกล้



$$R_r = 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$$

$$R_f = 2D^2/\lambda$$

รูปที่ 2.14 การแบ่งบริเวณสนามจากสายอากาศ

บริเวณสนามรีแอกทีฟระยะใกล้ เป็นบริเวณที่ล้อมรอบใกล้สายอากาศมากที่สุด และมีสนามเป็นชนิดแอกทีฟเป็นส่วนใหญ่บริเวณนี้จะมีระยะทาง $R < 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$ จากผิวของสายอากาศเมื่อ λ เป็นความยาวคลื่นและ D เป็นมิติที่ยาวที่สุดของสายอากาศ

บริเวณสนามกระจายระยะใกล้เป็นบริเวณของสนามของสายอากาศที่อยู่ระหว่างบริเวณของสนามรีแอกทีฟระยะใกล้กับ บริเวณสนามระยะไกล โดยมีสนามที่แพร่กระจายอยู่เป็นส่วนใหญ่

การกระจายของสนามตามมุมต่างๆนั้นแปรผันตามระยะทางจากสายอากาศ เมื่อสายอากาศมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น สนามในบริเวณนี้อาจไม่เกิดขึ้น ในบริเวณนี้จะมีระยะทาง $0.62\sqrt{D^3/\lambda} \leq R \leq 2D^2$

บริเวณสนามระยะไกลเป็นบริเวณสนามของสายอากาศ ซึ่งการแพร่ของสนามของสายอากาศตามมุมต่างๆไม่ขึ้นกับระยะทางจากสายอากาศถ้าสายอากาศมีมิติที่ใหญ่ที่สุดเท่ากับ D บริเวณสนามระยะไกลจะเกิดขึ้นที่ระยะทาง R มากกว่า $2D^2/\lambda$ จากสายอากาศ

ในบริเวณนี้สามารถมีลักษณะเป็นสนามตัดขวาง (Transverse Field) และการแพร่กระจายของสนามตามมุมต่างๆไม่ขึ้นกับระยะทาง ขอบในบริเวณดังกล่าวมีค่า R เท่ากับ $2D^2/\lambda$ และขอบนอกมีค่าเป็นอนันต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ความหนาแน่นกำลังงานการแผ่กระจายคลื่น (Radiation Power Density)

เนื่องจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในการส่งข่าวสารผ่านตัวกลางถูกกำหนดให้มีความสัมพันธ์กับพลังงานและกำลังงานไฟฟ้า โดยใช้ตัวความสัมพันธ์ดังกล่าวได้แก่ พอยดิงเวกเตอร์ชั่วขณะเวลานั้น (Instantaneous Poynting Vector) ซึ่งมีสมการแสดงความสัมพันธ์ดังนี้คือ

$$\vec{W} = \vec{E} \times \vec{H} \quad (2.1)$$

เมื่อ \vec{W} = พอยดิงเวกเตอร์ชั่วขณะเวลานั้น (W/m²)
 \vec{E} = ความเข้มของสนามไฟฟ้าชั่วขณะเวลานั้น (V/m)
 \vec{H} = ความเข้มสนามแม่เหล็กชั่วขณะ (A/m)

เนื่องจากพอยดิงเวกเตอร์มีความหมายแสดงถึงความหนาแน่นของกำลังงาน ดังนั้นกำลังงานทั้งหมดที่พุ่งตัดผ่านพื้นผิวปิดจะสามารถหาได้โดยการอินทิเกรตส่วนของพอยดิงเวกเตอร์ที่ตั้งฉากกับผิวทั้งหมดซึ่งเมื่อเขียนเป็นสมการจะได้

$$P = \oint_S \vec{W} \cdot d\vec{s} = \oint_S \vec{W} \cdot \vec{n} da \quad (2.2)$$

เมื่อ P = กำลังงานทั้งหมดชั่วขณะเวลานั้น (W)
 da = พื้นที่จ็วบนพื้นที่ปิด (m²)

ในกรณีของสนามที่แปรผันกับเวลามักจะหาค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นกำลังงานได้โดยการอินทิเกรตค่าพอยดิงเวกเตอร์ชั่วขณะเวลานั้นตลอดหนึ่งคาบ แล้วหารด้วยคาบเวลานั้นสำหรับสนามที่แปรผันกับเวลา ซึ่งกระจายเป็นฮาร์โมนิกในรูป $e^{j\omega t}$ เมื่อกำหนดสนาม \vec{E} และ \vec{H} เป็นสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กเชิงซ้อนแล้วจะหาความสัมพันธ์กับค่า \vec{E} และ \vec{H} ชั่วขณะเวลาใดๆได้จาก

$$\vec{E}(x, y, z; t) = \text{Re}[\vec{E}(x, y, z)e^{j\omega t}] \quad (2.3)$$

$$\vec{H}(x, y, z; t) = \text{Re}[\vec{H}(x, y, z)e^{j\omega t}] \quad (2.4)$$

จากสมการ(2.3), (2.4) โดยอาศัย $\text{Re}[\vec{E}e^{j\omega t}] = \frac{1}{2}[\vec{E}e^{j\omega t} + \vec{E}^*e^{-j\omega t}]$ และสมการ (2.1) จะสามารถเขียนได้ใหม่เป็น

$$\vec{W} = \vec{E} \times \vec{H} = \frac{1}{2}\text{Re}[\vec{E} \times \vec{H}^*] + \frac{1}{2}[\vec{E} \times \vec{H}e^{2j\omega t}] \quad (2.5)$$

เทอมแรกของสมการที่ (2.5) ไม่เป็นฟังก์ชันของเวลาและเทอมที่สองมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาเป็นสองเท่าของความถี่ที่กำหนดให้ ดังนั้นค่าเฉลี่ยของพอยดิงเวกเตอร์จึงสามารถที่จะหาได้เป็น

$$\vec{W}_{AV}(x, y, z) = [\vec{W}(x, y, z; t)]_{AV} = \frac{1}{2}\text{Re}[\vec{E} \times \vec{H}^*] \quad (\text{W/m}^2) \quad (2.6)$$

ตัวประกอบ $\frac{1}{2}$ ในสมการที่ (2.5) และ (2.6) เกิดขึ้นเพราะสนาม E และ H เป็นค่าสูงสุด จากสมการที่ (2.6) กำลังงานเฉลี่ยที่แผ่กระจายในอากาศ จะเขียนได้เป็น

$$P_{rad} = P_{AV} = \oint_S \vec{W}_{rad} \cdot d\vec{s}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{1}{2} \oint_S \operatorname{Re}[\vec{E} \times \vec{H}^*] \cdot d\vec{s} \quad (2.7)$$

2.2.3 ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น (Radiation Intensity)

คำจำกัดความของคำว่าความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นในทิศทางที่กำหนดให้คือ กำลังงานที่แผ่ออกจากสายอากาศต่อหน่วยมุมตัน ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอย่างหนึ่งในการแสดงคุณสมบัติของสายอากาศเกี่ยวกับสนามระยะไกลความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นสามารถหาได้จากผลคูณของความหนาแน่นของการแผ่กระจายคลื่นและผลจากการยกกำลังสองของระยะทาง ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$U = r^2 W_{rad} \quad (2.8)$$

เมื่อ U = ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น (W/หน่วยมุมตัน)

W_{rad} = ความหนาแน่นของการแผ่กระจายคลื่น (W/m²)

ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นถ้าจะเขียนแสดงความสัมพันธ์กับสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระยะไกลได้คือ

$$\begin{aligned} U(\theta, \phi) &= \frac{r^2}{2\eta} |E(r, \theta, \phi)|^2 \\ &= \frac{r^2}{2\eta} [|E_\theta(r, \theta, \phi)|^2 + |E_\phi(r, \theta, \phi)|^2] \\ &= \frac{1}{2\eta} [|E_\theta(\theta, \phi)|^2 + |E_\phi(\theta, \phi)|^2] \end{aligned}$$

เมื่อ E = ความเข้มของสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระยะไกล

E_θ, E_ϕ = ส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระยะไกล

η = อินทริเนติกอิมพีแดนซ์ (Intrinsic Impedance) ของตัวกลาง

ดังนั้นในรูปแบบของการแผ่กระจายคลื่นของกำลังงานก็จะใช้เพื่อแสดงถึงความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นตลอดมุมตัน 4π ทั้งหมดซึ่งจะได้

$$P_{rad} = \oint_{\Omega} U d\Omega = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi U \sin\theta d\theta d\phi \quad (2.9)$$

2.2.4 ค่าการชี้ทิศทางสูงสุด (Directivity)

ค่าการชี้ทิศทางในทิศทางที่กำหนดคือ อัตราส่วนของความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นในทิศทางนั้นต่อความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศซึ่งใช้สำหรับอ้างอิง ซึ่งปกติสายอากาศสำหรับใช้อ้างอิงนี้จะใช้ไอโซทรอปิกพอยท์ซอร์ส (Isotropic Point Source)

ค่าการชี้ทิศทางสูงสุดคือ ค่าการชี้ทิศทางในทิศทางที่มีค่ามากที่สุดหรือค่าการชี้ทิศทางสูงสุดของต้นกำเนิดที่ไม่เป็นไอโซทรอปิกคือ อัตราส่วนของความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นที่มากที่สุดต่อความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นของไอโซทรอปิกพอยท์ซอร์สเขียนเป็นสมการได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D_g = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (2.10)$$

$$D_{max} = D_g = \frac{U_{max}}{U_0} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}} \quad (2.11)$$

เมื่อ D_g = ค่าการชี้ทิศทาง (ไม่มีหน่วย)

D_0 = ค่าการชี้ทิศทางสูงสุด (ไม่มีหน่วย)

U = ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (W/หน่วยมุมตัน)

U_{max} = ค่าสูงสุดของความเข้มของการแพร่กระจาย (W/หน่วยมุมตัน)

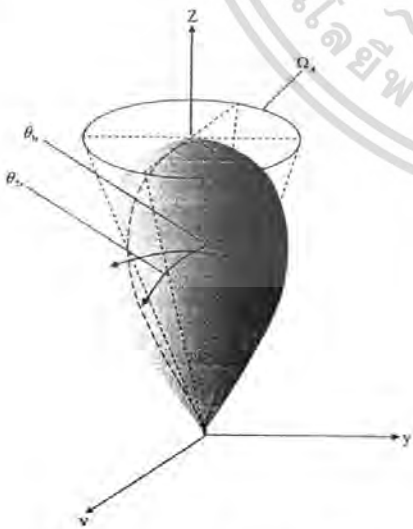
U_0 = ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นของไอโซทรอปิกพอยท์ซอร์ส (W/หน่วยมุมตัน)

P_{rad} = กำลังงานที่แพร่กระจายทั้งหมด (W)

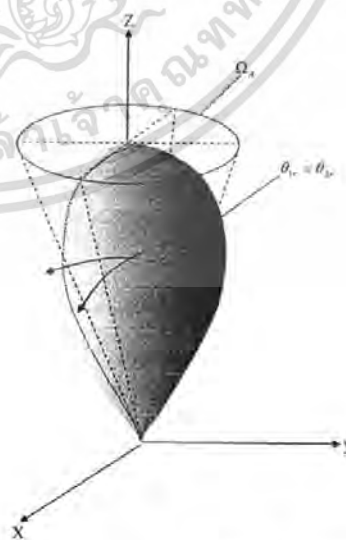
จากสมการที่ (2.10) และ (2.11) จะทราบ ค่าการชี้ทิศทางและค่าการชี้ทิศทางสูงสุดของไอโซทรอปิกพอยท์ซอร์สที่มีค่าเป็นหนึ่งเพราะว่ามันมีการแพร่กระจายกำลังงานออกไปทุกทิศทางด้วยค่าที่เท่ากันคือ U, U_{max} และ U_0 ต่างมีค่าเท่ากัน แต่สำหรับคลื่นกำเนิด (สายอากาศ) แบบอื่นๆนั้นย่อมมีค่าการชี้ทิศทางมากกว่าหนึ่งเสมอ และค่าของการชี้ทิศทางจะมากกว่าหรือเท่ากับศูนย์และน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าการชี้ทิศทางสูงสุด ($0 \leq D_g \leq D_0$)

2.2.5 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบมีทิศทาง (Directional Patterns)

สายอากาศที่มีลำคลื่นหลักแคบๆเพียงลำคลื่นเดียวและมีลำคลื่นย่อยที่มีขนาดเล็กจนสามารถตัดทิ้งได้ มุมตันของลำคลื่น จะมีค่าประมาณเท่ากับผลคูณของ HPBW ใน 2 ระนาบ ซึ่งตั้งฉากกันดังแสดงในรูป 2.15(ก) สำหรับแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่หมุนแล้วสมมาตรกัน โคจรรอบ HPBW ในระนาบใดๆจะเท่ากัน ดังแสดงในรูป 2.15(ข)



(ก) รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นไม่สมมาตร



(ข) รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นสมมาตร

รูปที่ 2.15 มุมตันของลำคลื่นซึ่งมีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่ไม่สมมาตรกันและสมมาตรกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D_0 = \frac{4\pi}{\Omega_A} = \frac{4\pi}{\Theta_{1r}\Theta_{2r}} \quad (2.12)$$

มุมตันของลำคลื่น Ω_A ประมาณได้จาก

$$\Omega_A \approx \Theta_{1r}\Theta_{2r} \quad (2.13)$$

$\Theta_{1r} = \text{HPBW}$ ในระนาบใดๆ (องศา)

$\Theta_{2r} = \text{HPBW}$ ในระนาบซึ่งตั้งฉากกับระนาบแรก (องศา)

เมื่อรู้ความกว้างของลำคลื่นเป็นองศา สมการ (2.12) จะสามารถคิดแปลงให้เหมาะสมที่จะแทนค่าความกว้างของลำคลื่นนั้นโดยตรงได้เป็น

$$D_0 \approx \frac{4\pi(180/\pi)^2}{\Theta_{1d}\Theta_{2d}} = \frac{41253}{\Theta_{1d}\Theta_{2d}} \quad (2.14)$$

2.2.6 อัตราขยายของจานรับสัญญาณ (Gain)

อัตราขยายเป็นความสัมพันธ์ที่ได้มาจากค่าสภาพเจาะจงทิศทางโดยรวมประสิทธิภาพของสายอากาศเข้ามาด้วย ในขณะที่ค่าสภาพเจาะจงทิศทางอธิบายคุณสมบัติในการชี้ทิศทางของสายอากาศเท่านั้น

อัตราขยายกำลัง (Power Gain) ของสายอากาศในทิศทางที่กำหนดให้ นั้นมีค่าเท่ากับ 4π คูณอัตราส่วนของความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นในทิศทางนั้นต่อทิศทางกำลังงานสุทธิที่สายอากาศรับจากหัวต่อของเครื่องส่ง เมื่อไม่ได้กำหนดทิศทางไว้โดยเฉพาะ โดยทั่วไปแล้วจะคิดค่ากำลังขยายในทิศทางที่มีการแผ่กระจายคลื่นแรงที่สุด ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{อัตราขยาย} &= 4\pi (\text{ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น}) / (\text{กำลังงานที่ป้อนให้สายอากาศ}) \\ &= 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \end{aligned} \quad (2.15)$$

โดยทั่วไปแล้วมักจะพูดถึงอัตราขยายสัมพัทธ์ ซึ่งเป็นอัตราส่วนของอัตราขยายกำลังในทิศทางที่กำหนดให้ต่ออัตราขยายกำลังของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบในทิศทางนั้น เมื่อกำลังงานที่ป้อนเข้าสายอากาศนั้นต้องเท่ากับสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบอาจจะเป็นสายอากาศไดโพล สายอากาศปากแตร แต่โดยส่วนใหญ่สายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบจะเป็นไอโซทรอปิกพอยท์ซอร์สที่ไม่มีการสูญเสีย ดังนั้น

$$G_g = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (2.16)$$

กำลังงานที่แผ่กระจายทั้งหมด P_{rad} สัมพันธ์กับกำลังงานที่ป้อนให้สายอากาศ P_{in} ดังนั้น

$$P_{rad} = e_r P_{in} \quad (2.17)$$

เมื่อ e_r เป็นประสิทธิภาพรวมของสายอากาศ (ไม่มีหน่วย) ทำให้จะได้

$$G_g(\theta, \phi) = e_r \left[\frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{rad}} \right] \quad (2.18)$$

ซึ่งสัมพันธ์กับค่าการชี้ทิศทางดังนี้

$$G_g(\theta, \phi) = e_r D_g(\theta, \phi) \quad (2.19)$$

ในทำนองเดียวกัน ค่าสูงสุดของอัตราขยายจะสัมพันธ์กับค่าการชี้ทิศทางสูงสุดโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเป็น **83280** บ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G_0 = D_g(\theta, \phi)_{\max} = e_r D_g(\theta, \phi)_{\max} \quad (2.20)$$

ดังนั้นค่าประมาณของอัตราขยายจะได้

$$G_0 = \frac{30000}{\Theta_{1r} \Theta_{2r}} \quad (2.21)$$

Θ_{1r} = HPBW ในระนาบใดๆ (องศา)

Θ_{2r} = HPBW ในระนาบซึ่งตั้งฉากกับระนาบแรก (องศา)

สายอากาศที่มีรูปร่างคล้ายจานจะมีค่าแสดงอัตราค่าต่างๆ เหมือนกับสายอากาศแบบอื่นเช่นกัน สิ่งหนึ่งที่กล่าวก็คือ ค่าอัตราการขยาย หรือที่มักเรียกทับศัพท์ภาษาอังกฤษกันเสมอว่า เกน (Gain) นั่นเอง

อัตราการขยายของจานสายอากาศก็คือ การวัดความสามารถของจานสายอากาศที่รับหรือส่งพลังงานออกไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งสิ่งที่กล่าวต่อไปนี้มีผลกระทบต่ออัตราการขยายของจานรับสัญญาณ ซึ่งถือว่าเป็นสายอากาศทั้งสิ้นได้แก่

1. พื้นที่หน้าตัดของจานรับสัญญาณ (ไม่ใช่พื้นที่ผิวของจาน บางตำราใช้ว่าพื้นที่ช่องเปิด)
2. ช่องเปิดของ LNB หรือขนาดของรีเฟล็กเตอร์ย่อย (Sub-reflector)
3. ผิวของจานรับสัญญาณ
4. รีเฟล็กเตอร์ย่อยไม่อยู่ในตำแหน่งโฟกัสที่ดีที่สุด
5. ความโค้งของผิวจานที่ไม่เป็นไปตามลักษณะพาราโบลิก

หากเกิดสิ่งผิดปกติ หรือข้อผิดพลาดจากปัจจัยทั้ง 5 จะเป็นสาเหตุทำให้อัตราการขยายลดลง โดยจานรับสัญญาณแบบพาราโบลิกจะมีค่าสัมประสิทธิ์ของประสิทธิภาพ (η) กำหนดไว้เช่นเดียวกับสายอากาศแบบอื่นเช่นกัน ซึ่งค่า η ของสายอากาศแบบพาราโบลิกจะมีประมาณ 60-75% ในการออกแบบจานรับสัญญาณแบบพาราโบลิกนั้น ผู้ออกแบบสามารถคำนวณอัตราการขยายกำลังของจานรับสัญญาณแบบนี้ได้โดยใช้สูตร

$$G = 10 \log \left[\pi^2 \eta \left(\frac{D}{\lambda} \right)^2 \right] \quad (2.22)$$

โดยที่

- D = เส้นผ่านศูนย์กลางของจานรับสัญญาณ หน่วยเมตร
- λ = ความยาวคลื่น (V/f) หน่วยเป็นเมตร
- η = ค่าประสิทธิภาพของจาน (Efficiency)

ส่วนโค้งของจานรับสัญญาณก็จะทำหน้าที่คล้ายกับเลนส์ คือ ทำการบีบสัญญาณให้แคบลงแล้วพุ่งตรงไปยังข้างหน้า และตรงกับจุดศูนย์กลางของสายอากาศ (ลักษณะนี้เรียกว่า Bore Sight) จะทำให้สัญญาณที่รับได้มีความรุนแรงมากที่สุด ขณะเดียวกันก็จะมีกำจัดสัญญาณอื่นๆ (อาจเป็น Noise ก็ได้) ที่มาจากทิศทางอื่นออกไปด้วย ปริมาณของสัญญาณที่ถูกส่งจากจานออก ไปนั้นจะเป็นจุดที่ LNB รับ ได้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 2.1 เป็นตารางแสดงการเปรียบเทียบอัตราการขยายของงานรับสัญญาณระหว่างงานที่ใช้รับสัญญาณในย่าน Ku และย่าน C ซึ่งมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากันและมีประสิทธิภาพของงาน 65% เท่ากัน

ประสิทธิภาพงานสายอากาศ											
ความถี่ (GHz)	ความยาวคลื่น (m)	เส้นผ่านศูนย์กลางงานสายอากาศ (m)									
		0.3	0.45	0.6	0.75	0.9	1.2	1.5	1.8	2	
ย่าน C	3.4	0.0882	18.7	22.2	24.7	26.7	28.2	30.7	32.7	34.3	35.2
	3.7	0.0811	19.4	23.0	25.5	27.4	29.0	31.5	33.4	35.0	35.9
	4.2	0.0714	20.5	24.1	26.6	28.5	30.1	32.6	34.5	36.1	37.0
ย่าน Ku	10.7	0.0280	28.7	32.2	34.7	36.6	38.2	40.7	42.7	44.2	45.1
	11.7	0.0256	29.4	33.0	35.5	37.4	39.0	41.5	43.4	45.0	45.9
	12.5	0.0240	30.0	33.5	36.0	38.0	39.6	42.1	44.0	45.6	46.5

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบอัตราการขยายของงานรับสัญญาณดาวเทียม

อัตราการขยาย (เดซิเบล)	จำนวนเท่าของกำลังที่ได้รับ
3	x2
10	x10
20	x100
30	x1000
40	x10000
50	x100000

ตารางที่ 2.2 ปริมาณอัตราการขยายเป็นเดซิเบลเทียบกับกำลังที่ได้รับ

จากตารางที่ 2.2 จะแสดงถึงอัตราการขยายของงานรับสัญญาณที่มีขนาดต่างๆ กัน ซึ่งโรงงานผู้ผลิตบางแห่งอาจให้อัตราการขยายสูงกว่าค่านี้เล็กน้อย โดยการปรับปรุงประสิทธิภาพ (Efficiency) ของงานให้ดีขึ้น และมีการตรวจสอบส่วนโค้งของงานให้มีความแน่นอนยิ่งขึ้น หรือปรับปรุงในเรื่องของเทคนิคการพีดสัญญาณ และจากตารางที่แสดงนี้เรายังสามารถเห็นว่าอัตราการขยายของสายอากาศยังเปลี่ยนแปลงตามความถี่ที่ได้รับได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.7 ประสิทธิภาพของสายอากาศ (Antenna Efficiency)

ประสิทธิภาพทั้งหมดของสายอากาศ e_t จะใช้ได้เมื่อเราคำนึงถึงการสูญเสียต่างๆ ที่จั่วและภายใน โครงสร้างของสายอากาศด้วย การสูญเสียต่างๆนั้นอาจเนื่องมาจาก

- 1) การสะท้อนกลับเนื่องมาจากความเข้ากันไม่ได้ (Mismatch) กันระหว่างสายส่งกับสายอากาศ
- 2) การสูญเสียทั้งในตัวนำและฉนวน ($I^2 R$)

โดยทั่วไปแล้ว ประสิทธิภาพทั้งหมด คำนวณได้จาก

$$e_t = e_r e_c e_d \quad (2.23)$$

- เมื่อ
- e_t = ค่าประสิทธิภาพทั้งหมด (ไม่มีหน่วย)
 - e_r = ค่าประสิทธิภาพที่เกี่ยวกับการสะท้อนกลับ $(1 - |\Gamma|^2)$ (ไม่มีหน่วย)
 - e_c = ค่าประสิทธิภาพของตัวนำ (ไม่มีหน่วย)
 - e_d = ค่าประสิทธิภาพของฉนวน (ไม่มีหน่วย)
 - Γ = ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของศักดาไฟฟ้าที่จั่วของสายอากาศ

โดยที่

$$\Gamma = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \quad (2.24)$$

- เมื่อ
- Z_{in} = ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ
 - Z_0 = ค่าอิมพีแดนซ์คุณสมบัติ (Characteristic Impedance) ของสายส่ง
- ปกติ e_c และ e_d คำนวณหาได้ลำบาก ส่วนมากมักหาได้จากการทดลอง แต่ถึงกระนั้นก็แยก e_c จาก e_d ไม่ออก ดังนั้นเพื่อความสะดวก มักจะเขียนสมการ (2.24) ใหม่เป็น

$$e_t = e_r e_{cd} = (1 - |\Gamma|^2) \quad (2.25)$$

- เมื่อ $e_{cd} = e_c e_d$ คือประสิทธิภาพในการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

2.2.8 ประสิทธิภาพของลำคลื่น (Beam Efficiency)

เป็นพารามิเตอร์อีกตัวหนึ่ง ที่จะใช้ในการตัดสินใจว่าสายอากาศมีคุณภาพของการส่งหรือรับคลื่นดีเพียงใด ได้แก่ ประสิทธิภาพของลำคลื่น สำหรับสายอากาศ ซึ่งมีลำคลื่นหลักอยู่ในทิศทางแกน $Z(\theta = 0)$ ประสิทธิภาพของลำคลื่นจะกำหนดได้ดังนี้คือ

$$BE = \frac{\text{Power transmitted (received) within cone angle } \theta_1}{\text{Power transmitted (received) by the antenna}} \quad (2.26)$$

เมื่อ θ_1 เป็นมุมที่มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของมุมของกรวย ที่เราต้องการจะหาเปอร์เซ็นต์ของกำลังงาน ทั้งหมดในนั้น ดังนั้น จะเขียนสมการได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

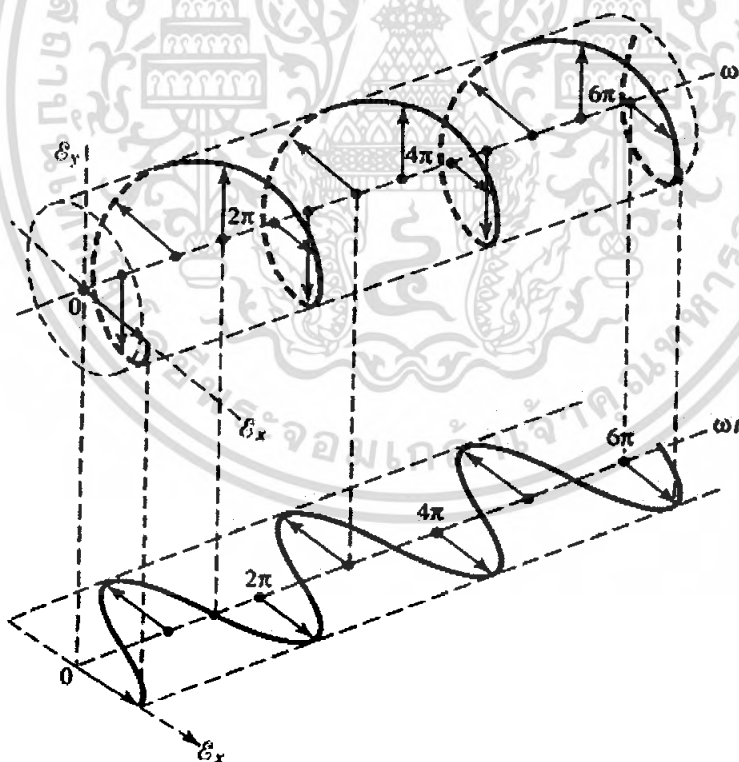
$$BE = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{\theta_1} U(\theta, \phi) \sin \theta d\theta d\phi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\theta_1} U(\theta, \phi) \sin \theta d\theta d\phi} \quad (2.27)$$

เมื่อให้ θ_1 เป็นมุมที่เกิดมีนัล (Null) คือ จุดตำแหน่งที่กำลังมีค่าเป็นศูนย์คู่แรก ดังนั้น ประสิทธิภาพของลำคลื่นจะเป็นปริมาณที่แสดงถึงอัตราส่วนของจำนวนกำลังงานในคลื่นหลัก ต่อ กำลังงานที่มีทั้งหมด

2.2.9 โพลาริเซชัน (Polarization)

ก่อนที่จะกล่าวถึงความหมายของโพลาริเซชันของสายอากาศ จะกล่าวถึงความหมายของโพลาริเซชันของคลื่นเสียก่อน

โพลาริเซชันของลำคลื่นที่แพร่กระจายนั้น เป็นรูปแสดงคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายออกไป ที่อธิบายทิศทางและขนาดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าซึ่งแปรผันตามเวลา โพลาริเซชันจะแสดงการกวาดของยอดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ ณ ตำแหน่งที่ทำการสังเกตซึ่งคงที่และการสังเกตนี้จะทำโดยมองตามหลังคลื่นที่เดินทางไป แสดงดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 การหมุนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าระนาบและวงรีโพลาริเซชัน
ที่เป็นฟังก์ชันของเวลาในระนาบ $z=0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับโพลาไรเซชันของสายอากาศ ในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง จะเป็นโพลาไรเซชันของคลื่นที่มาตกกระทบสายอากาศนั้นจากทิศทางที่กำหนดให้ ซึ่งเมื่อสายอากาศรับคลื่นแล้วจะมีกำลังที่หัวของสายอากาศมากที่สุด ถ้าไม่ได้กำหนดทิศทางมาจะให้หมายถึง ทิศทางที่สายอากาศมีค่าการขยายมากที่สุด ดังนั้นโพลาไรเซชันของสายอากาศในทิศทางที่ต่างกัน จะต่างกัน การแบ่งชนิดของโพลาไรเซชันอาจแบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ

- 1) โพลาไรเซชันเชิงเส้น (Linear Polarization)
- 2) โพลาไรเซชันวงกลม (Circular Polarization)
- 3) โพลาไรเซชันแบบวงรี (Elliptical Polarization)

ถ้าสนามไฟฟ้าหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกาจะเรียกว่า โพลาไรเซชันมือขวา ในขณะที่หากสนามไฟฟ้าหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาจะเป็นโพลาไรเซชันมือซ้าย ซึ่งจะเขียนสนามชั่วขณะเวลานั้นของคลื่นระนาบ ที่เดินทางในทิศทาง $-Z$ ได้ว่า

$$\vec{E}(z;t) = \hat{a}_x E_x(z;t) + \hat{a}_y E_y(z;t) \quad (2.28)$$

เมื่อส่วนประกอบของสนามชั่วขณะเวลานั้น สัมพันธ์กับค่าเชิงซ้อนของสนามนั้นดังนี้

$$\begin{aligned} E_x(z;t) &= E_x \cos(\omega t + kz + \phi_x) \\ E_y(z;t) &= E_y \cos(\omega t + kz + \phi_y) \end{aligned} \quad (2.29)$$

เมื่อ E_x และ E_y เป็นขนาดของสนามค่าสูงสุด ในทิศทาง x และ y ตามลำดับ

2.2.9.1 โพลาไรเซชันแบบเชิงเส้น (Linear Polarization)

คลื่นซึ่งเป็นโพลาไรเซชันเชิงเส้น ความแตกต่างเฟสระหว่างส่วนประกอบทั้งสองของสนาม จะมีค่าดังนี้

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = n\pi \quad ; \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (2.30)$$

2.2.9.2 โพลาไรเซชันวงกลม (Circular Polarization)

การที่จะสามารถเกิดการโพลาไรเซชันแบบวงกลมได้ ก็ต่อเมื่อขนาดของส่วนประกอบของสนามทั้งสองมีค่าเท่ากัน และความต่างเฟส ระหว่างส่วนประกอบทั้งสอง เป็นจำนวนคี่เท่าของ $\frac{\pi}{2}$ นั่นคือ

$$|E_x| = |E_y| \longrightarrow E_x = E_y \quad (2.31)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} \Delta\phi = \phi_y - \phi_x &= +\frac{(1+4n)\pi}{2} \quad ; \quad n = 0, 1, 2, \dots \text{cw} \\ &= -\frac{(1+4n)\pi}{2} \quad ; \quad n = 0, 1, 2, \dots \text{ccw} \end{aligned} \quad (2.32)$$

เมื่อ

CW (Clockwise) คือ สนามหมุนตามเข็มนาฬิกา

CCW (Counter Clockwise) คือ สนามหมุนทวนเข็มนาฬิกา

ถ้าคลื่นเดินทางในทิศทางตรงกันข้าม (คือทิศทาง $+Z$) เฟสในสมการ (2.32) ที่ทำให้เกิด CW (Clockwise) และ CCW (Counter Clockwise) จะต้องสลับกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.9.3 โพลาริเซชันแบบวงรี (Elliptical Polarization)

โพลาริเซชันแบบวงรี จะเกิดขึ้นเมื่อความต่างเฟสเป็นจำนวนคี่เท่าของ $\frac{\pi}{2}$ แต่ขนาดของสนามไฟฟ้าจะไม่เท่ากัน หรือความต่างเฟสเป็นจำนวนคี่ของ $\frac{\pi}{2}$ นั่นคือ

$$\begin{aligned} |E_x| \neq |E_y| &\longrightarrow E_x \neq E_y \\ \Delta\phi = \phi_y - \phi_x &= +\frac{(1+4n)\pi}{2} ; n = 0,1,2,\dots,cw \\ &= -\frac{(1+4n)\pi}{2} ; n = 0,1,2,\dots,ccw \end{aligned} \quad (2.33)$$

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x \neq \pm \frac{n\pi}{2} > 0 \longrightarrow cw \quad (2.34)$$

$$< 0 \longrightarrow ccw \quad (2.35)$$

โดยที่ $n = 0,1,2,\dots$

ในกรณีของโพลาริเซชันแบบวงรีนั้น การกวาดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งใดๆจะเป็นวงรีเอียง อัตราส่วนของแกนหลักต่อแกนย่อย จะเรียกว่าเป็นอัตราส่วนของแกน (Axial Ratio: AR) ซึ่งมีค่าดังต่อไปนี้

$$AR = \frac{OA}{OB} \quad \text{โดยที่ } 1 \leq AR \leq \infty \quad (2.36)$$

เมื่อ $OA =$ แกนหลัก และ $OB =$ แกนย่อย

การเอียงของวงรีเทียบกับแกน y สามารถแสดงได้ด้วยมุมเอียงดังนี้คือ

$$\tau = \frac{\pi}{2} - \frac{1}{2} \tan^{-1} \left[\frac{2E_x E_y}{E_x^2 + E_y^2} \cos(\Delta\phi) \right] \quad (2.37)$$

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

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

2.2.9.4 โพลาริเซชันลอสแฟกเตอร์ (Polarization Loss Factor : PLF)

โดยทั่วไปแล้วโพลาริเซชันของสายอากาศจะไม่เหมือนกับโพลาริเซชันของคลื่นที่เดินทางมายังสายอากาศ ซึ่งเรียกว่า เกิดโพลาริเซชันมิสมัทช์ (Polarization Mismatch) ทำให้สายอากาศไม่สามารถดึงเอากำลังงานออกจากคลื่นได้สูงสุด เนื่องจากเกิดการสูญเสียจากโพลาริเซชัน (Polarization Loss) สมมติว่าสนามไฟฟ้าของคลื่นที่เดินทางเข้ามายังสายอากาศนั้นเขียนได้ดังนี้

$$\vec{E}_i = \hat{\rho}_w E_i \quad (2.38)$$

เมื่อ $\hat{\rho}_w$ เป็นหน่วยเวกเตอร์ของคลื่น และโพลาริเซชันของสนามไฟฟ้าของสายอากาศรับ มีค่าดังนี้

เอกลีกรีนเป็นเอกลีกรีนสองวงรีสำหรับกรณีโพลาไรเซชันแบบวงรี เมื่ออนุพันธ์เห็นเป็นเชิงประจักษ์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

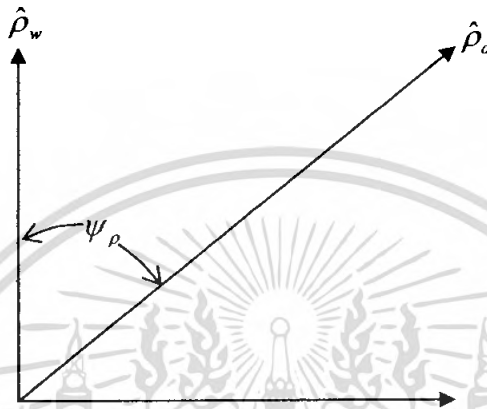
$$\bar{E}_a = \hat{\rho}_a E_a \quad (2.39)$$

เมื่อ $\hat{\rho}_a$ เป็นหน่วยเวกเตอร์ของสายอากาศ

จะสามารถกำหนดให้โพลาไรเซชันลอสแฟกเตอร์ (Polarization Loss Factor: PLF) มีค่าดังนี้

$$PLF = |\hat{\rho}_w \cdot \hat{\rho}_a|^2 = |\cos \psi_p|^2 \quad (2.40)$$

เมื่อ ψ_p เป็นมุมระหว่างหน่วยเวกเตอร์ทั้งสอง ดังแสดงในรูป 2.17

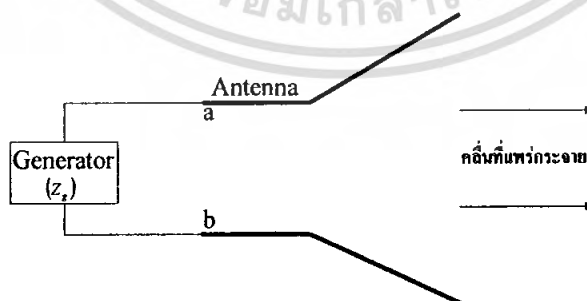


รูปที่ 2.17 หน่วยเวกเตอร์โพลาไรเซชันของคลื่นและสายอากาศ

2.2.10 อินพุทอิมพีแดนซ์ (Input Impedance)

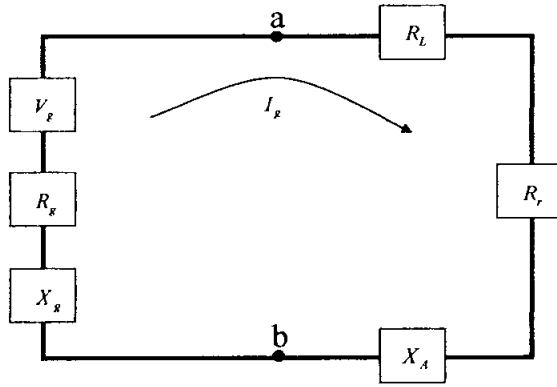
อินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ จะเป็นค่าอิมพีแดนซ์ที่ขั้วของสายอากาศนั้น อาจเป็นอัตราส่วนระหว่างศักดาไฟฟ้าต่อกระแสไฟฟ้าที่ขั้วของสายอากาศนั้นหรือเป็นอัตราส่วนของสนามไฟฟ้าต่อสนามแม่เหล็กที่จุดใดๆ ในรูปที่ 2.18 (ก) ที่ขั้ว a และ b เป็นขั้วของสายอากาศ อัตราส่วนของศักดาไฟฟ้าต่อกระแสไฟฟ้าที่ขั้วนี้ เมื่อไม่ได้ต่อโหลด จะเป็นอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ ซึ่งมีค่า

$$Z_A = R_A + jX_A \quad (2.41)$$

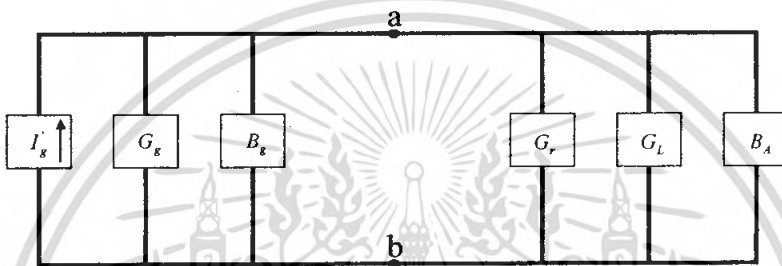


(ก) สายอากาศในโหมดการส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) วงจรสมมูลย์เทวินิน



(ค) วงจรสมมูลย์นอร์ตัน

รูปที่ 2.18 สายอากาศส่งและวงจรสมมูลย์

เมื่อ Z_A = อิมพีแดนซ์ที่ขั้ว $a-b$ ของสายอากาศ (โอห์ม)

R_A = ความต้านทานที่ขั้ว $a-b$ ของสายอากาศ (โอห์ม)

X_A = รีแอกแตนซ์ที่ขั้ว $a-b$ ของสายอากาศ (โอห์ม)

โดยทั่วไปความต้านทานในสมการ (2.42) จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

$$R_A = R_r + R_L \tag{2.42}$$

เมื่อ R_r คือ ความต้านทานการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

R_L คือ ความต้านทานการสูญเสียของสายอากาศ

สายอากาศทำหน้าที่เป็นสายอากาศส่ง จะแสดงวงจรสมมูลย์ได้ดังรูปที่ 2.18(ข) และ 2.18(ค) ในการหาปริมาณกำลังงานที่ถูกนำมาสู่ความต้านทานการแพร่กระจายคลื่นเพื่อแพร่กระจายออก กับกำลังงานที่สูญเสียในความต้านทานการสูญเสีย ที่กลายเป็นความร้อน $\left(\frac{I^2 R_L}{2}\right)$ นั้น เราจะหากระแสที่ไหลภายในรูป

(Loop) ได้ว่ามีค่าดังนี้

$$\begin{aligned} I_g &= \frac{V_g}{Z_t} = \frac{V_g}{Z_A + Z_g} \\ &= \frac{V_g}{(R_r + R_L + R_g) + j(X_A + X_g)} \end{aligned} \tag{2.43}$$

เมื่อ R_g คือ ความต้านทานของเครื่องกำเนิดสัญญาณ (โอห์ม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X_g คือ รีแอกแตนซ์ของเครื่องกำเนิดสัญญาณ (โอห์ม)

และขนาดของกระแสจะมีค่าดังนี้

$$|I_g| = \frac{|V_g|}{\left[(R_r + R_L + R_g)^2 + (X_A + X_g)^2 \right]^{1/2}} \quad (2.44)$$

เมื่อ V_g เป็นค่าศักดาไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดสัญญาณ กำลังงานที่ถูกนำมายังสายอากาศเพื่อการแพร่กระจายคลื่น จะมีค่าดังนี้

$$\begin{aligned} P_r &= \frac{1}{2} |I_g|^2 R_r \\ &= \frac{|V_g|^2}{2} \left[\frac{R_r}{(R_r + R_L + R_g)^2 + (X_A + X_g)^2} \right] \end{aligned} \quad (2.45)$$

และกำลังงานที่สูญเสียกลายเป็นความร้อน จะค่าดังนี้

$$\begin{aligned} P_L &= \frac{1}{2} |I_g|^2 R_L \\ &= \frac{|V_g|^2}{2} \left[\frac{R_L}{(R_r + R_L + R_g)^2 + (X_A + X_g)^2} \right] \end{aligned} \quad (2.46)$$

กำลังงานส่วนที่เหลือ จะเป็นส่วนที่สูญเสียเป็นความร้อนในความต้านทานที่จั่ว R_g ของเครื่องกำเนิดสัญญาณ ซึ่งมีค่า

$$P_g = \frac{|V_g|^2}{2} \left[\frac{R_g}{(R_r + R_L + R_g)^2 + (X_A + X_g)^2} \right] \quad (2.47)$$

กำลังงานที่ถูกนำมายังสายอากาศจะมีค่ามากที่สุด เมื่อเกิดการคอนจูเกตแมทซ์ (Conjugate Match) นั่นคือจะเกิดเมื่อ

$$R_g = R_r + R_L \quad (2.48)$$

และ

$$X_A = -X_g \quad (2.49)$$

ในกรณีนี้ สมการ (2.46), (2.47) และ (2.48) จะกลายเป็นสมการดังนี้

$$P_r = \frac{|V_g|^2}{2} \left[\frac{R_r}{4(R_r + R_L)^2} \right] = \frac{|V_g|^2}{8} \left[\frac{R_r}{(R_r + R_L)^2} \right] \quad (2.50)$$

$$P_L = \frac{|V_g|^2}{8} \left[\frac{R_L}{(R_r + R_L)^2} \right] \quad (2.51)$$

$$P_g = \frac{|V_g|^2}{8} \left[\frac{R_g}{(R_r + R_L)^2} \right] = \frac{|V_g|^2}{8} \left[\frac{1}{(R_r + R_L)} \right] \quad (2.52)$$

จากสมการ (2.50) ถึง (2.52) จะพบว่า

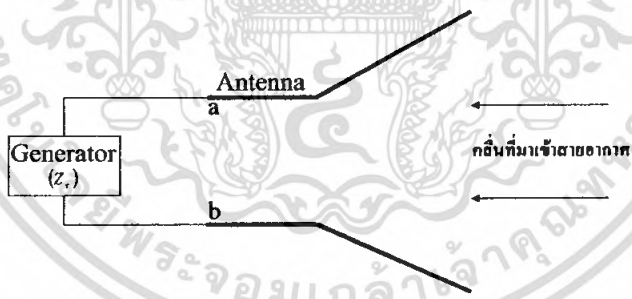
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 P_g &= P_r + P_L = \frac{|V_g|^2}{8} \left[\frac{R_g}{(R_r + R_L)^2} \right] \\
 &= \frac{|V_g|^2}{8} \left[\frac{R_r + R_L}{(R_r + R_L)^2} \right]
 \end{aligned}
 \tag{2.53}$$

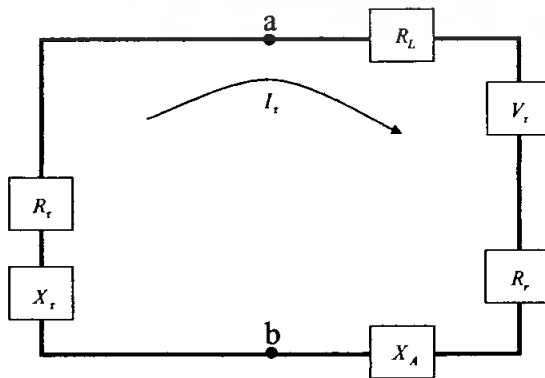
ดังนั้น กำลังงานที่เครื่องกำเนิดสัญญาณ จะต้องจ่ายเมื่อเป็นคอนจูเกตแมทซ์ จะมีค่าดังนี้

$$\begin{aligned}
 P_s &= \frac{1}{2} V_g I_g^* = \frac{1}{2} V_g \left[\frac{V_g^*}{2(R_r + R_L)} \right] \\
 &= \frac{|V_g|^2}{4} \left[\frac{1}{(R_r + R_L)} \right]
 \end{aligned}
 \tag{2.54}$$

ในจำนวนกำลังงานที่เครื่องกำเนิดสัญญาณจ่ายทั้งหมด ครึ่งหนึ่งจะสูญเสียเป็นความร้อนภายในความต้านทานภายใน (R_g) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณ และอีกครึ่งหนึ่งจะถูกนำมาขังสายอากาศซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อเป็นคอนจูเกตแมทซ์เท่านั้น ในส่วนของกำลังงานที่ยังสายอากาศส่วนหนึ่งจะแพร่กระจายออกไป โดยผ่านกำลังงานที่เกิดจากความต้านทานการแพร่กระจายคลื่น อีกส่วนหนึ่งจะสูญเสียเป็นความร้อนซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพทั้งหมดของสายอากาศ ซึ่งถ้าสายอากาศไม่มีการสูญเสีย ($e_{ca} = 1$) ครึ่งหนึ่งของกำลังงานที่เครื่องกำเนิดสัญญาณจ่าย จะแพร่กระจายออกไปเมื่อเป็นคอนจูเกตแมทซ์ ถ้าสมมุติว่าเป็นการแมทซ์ที่สมบูรณ์ระหว่างสายอากาศกับสายส่ง ($e_r = 1$) ถ้ามีการสูญเสียเนื่องจากไม่แมทซ์กันแล้ว จะทำให้ประสิทธิภาพของสายอากาศลดลง สำหรับการใส่สายอากาศเป็นสายอากาศรับ ดังรูปที่ 2.19 ถ้าที่คลื่นตกกระทบเข้ามาขังสายอากาศ จะเหนี่ยวนำให้เกิดศักย์ไฟฟ้า V_i ซึ่งเทียบได้กับ V_g ในโหมคการส่ง

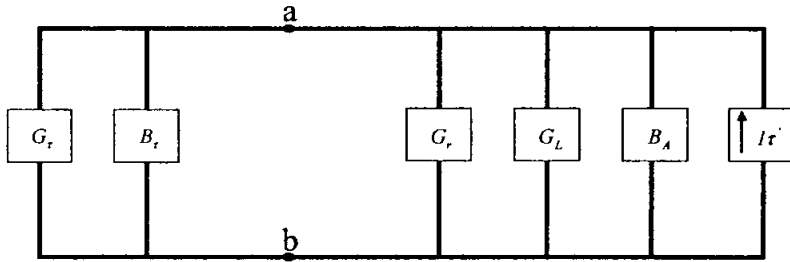


(ก) สายอากาศในโหมคการรับ



(ข) วงจรสมมูลเทวินิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) วงจรสมมูลย์นอร์ตัน

รูปที่ 2.19 สายอากาศรับและวงจรสมมูลย์

โดยปกติอินพุทอิมพีแดนซ์ ของสายอากาศจะเป็นฟังก์ชันของความถี่ และจะเหมาะสมกับสายส่ง เฉพาะในช่วงความถี่หนึ่งๆเท่านั้น นอกจากนี้ อินพุทอิมพีแดนซ์ ของสายอากาศยังขึ้นกับแพลตฟอร์มต่างๆอีก ได้แก่ รูปทรง วิธีการป้อนสัญญาณ และสิ่งแวดล้อมข้างเคียง เนื่องจากคำนวณได้ยากจึงมักจะหาค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ ได้จากการทดลอง

2.2.11 ประสิทธิภาพในการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ (Antenna Radiation Efficiency)

ประสิทธิภาพของตัวนำและฉนวน e_{cd} เป็นอัตราส่วนของกำลังงานที่ถูกนำมายังความต้านทานการแพร่กระจายคลื่น R_r และความต้านทานการสูญเสีย R_L จากสมการ (2.45)

$$P_r = \frac{1}{2} |I_g|^2 R_r$$

$$= \frac{|V_g|^2}{2} \left[\frac{R_r}{(R_r + R_L + R_g)^2 + (X_A + X_g)^2} \right]$$

และจากสมการ (2.46)

$$P_L = \frac{1}{2} |I_g|^2 R_L$$

$$= \frac{|V_g|^2}{2} \left[\frac{R_L}{(R_r + R_L + R_g)^2 + (X_A + X_g)^2} \right]$$

จะได้ว่า

$$e_{cd} = \left[\frac{R_r}{R_r + R_L} \right] \tag{2.55}$$

ในกรณีของท่อโลหะซึ่งยาว ℓ และมีพื้นที่หน้าตัดสม่ำเสมอ มีค่าเท่ากับ A ความต้านทานกระแสดตรง มีค่า R_{dc} ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$R_{dc} = \left[\frac{\ell}{\sigma A} \right] \tag{2.56}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าสกินเคปต์ (Skin Depth) δ มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับเส้นทแยงมุมที่สั้นที่สุดของพื้นที่หน้าตัดนั้น กระแสจะไหลอยู่เฉพาะในบริเวณชั้นบางๆ ที่ผิวตัวนำเท่านั้น ดังนั้นค่าความต้านทานที่สูง จะมีค่าดังนี้คือ

$$R_{hf} = \frac{\ell R_s}{P} = \frac{\ell}{P} \sqrt{\frac{\omega \mu_0}{2\sigma}} \quad (2.57)$$

เมื่อ P เป็นเส้นรอบวงของพื้นที่หน้าตัดท่อโลหะ ($P = C = 2\pi b$ สำหรับลวดวงกลมรัศมี b) R_s คือความต้านทานที่ผิวของตัวนำ ω เป็นความถี่เชิงมุม μ_0 เป็นสภาพซึมซาบแม่เหล็กของอากาศและ σ เป็นความนำของโลหะ

2.2.12 ช่วงกว้างแถบความถี่ (Bandwidth)

แบนด์วิดท์ของสายอากาศ ถูกกำหนดให้เป็นช่วงความถี่ ที่สายอากาศมีคุณสมบัติอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดให้ อาจเป็นช่วงความถี่ที่สายอากาศมีคุณสมบัติต่างๆ เช่น อินพุทอิมพีแดนซ์ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ความกว้างของลำคลื่น โพลาริเซชัน ระดับของไซด์โลบ ค่าอัตราขยาย ประสิทธิภาพของการแพร่กระจายคลื่น ฯลฯ อยู่ในค่าที่ใช้งานได้ คือ ไม่ต่างจากคุณสมบัติที่วัดที่ความถี่ตรงกลางที่ออกแบบจนทำให้คุณสมบัติเหล่านี้เสียไปจากข้อกำหนดหรือมาตรฐาน สำหรับสายอากาศแบนด์กว้างมักจะคิดเป็นอัตราส่วนของความถี่ที่ใช้งานได้ด้านสูงต่อความถี่ที่ใช้งานได้ด้านต่ำ ยกตัวอย่าง เช่น แบนด์วิดท์ 10 : 1 แสดงว่าความถี่ที่ใช้งานได้ด้านสูง มีค่ามากกว่าความถี่ที่ใช้งานได้ด้านต่ำอยู่ 10 เท่า สำหรับสายอากาศแบนด์แคบ แบนด์วิดท์จะเป็นเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างของความถี่ (ความถี่ด้านสูงลบด้วยความถี่ด้านต่ำ) แล้วหารด้วยความถี่กลางของแบนด์วิดท์นั้น เช่น แบนด์วิดท์ 5 % แสดงว่าผลต่างของความถี่ของช่วงการทำงานของสายอากาศ เป็น 5% ของความถี่กลางของแบนด์วิดท์นั้น

เนื่องจากคุณสมบัติต่างๆของสายอากาศที่กล่าวมา จะไม่เปลี่ยนแปลง ตามความถี่ในลักษณะเดียวกันทั้งหมด ดังนั้นจึงไม่สามารถกำหนดแบนด์วิดท์ตามคุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่ง จึงต้องมีการกำหนดข้อบังคับให้เป็นไปตามการประยุกต์ใช้งานแต่ละอย่าง ปกติแล้วคุณสมบัติของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นกับอินพุทอิมพีแดนซ์ มักจะถูกใช้เป็นตัวกำหนดแบนด์วิดท์ของสายอากาศ

2.2.13 อัตราส่วน f/D

ความสัมพันธ์ของความลึกหรือความถี่ของงานรับสัญญาณดาวเทียมนี้ มักจะบอกมาในรูปของอัตราส่วนของระยะโฟกัสต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (Focal Length to Diameter: f/D ratio) ในการสร้างงานสายอากาศแสดงถึงภาคตัดของงานสายอากาศแบบพาราโบลา 1.5 เมตร และมีค่า f/D เป็น 0.27 โดยตามความเป็นจริงแล้วอัตราส่วน f/D นั้น จะขึ้นอยู่กับกรอกแบบงานสายอากาศ ซึ่งโดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.25 ถึง 0.5 โดยการพล็อตของงานพาราโบลาเป็นไปตามสมการ

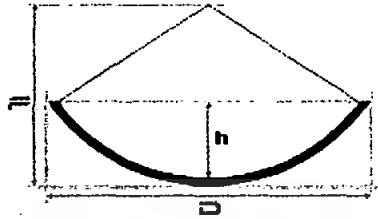
$$x = \frac{y^2}{4D(f/D)} \quad (2.58)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย F = จุบรวมสัญญาณว่าสะท้อนจากหน้าจานไปยังตำแหน่งเดียวกัน โดยมีจุดวัดระยะจากท้องจานถึง จุด F (Focus)

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของจาน Diameter

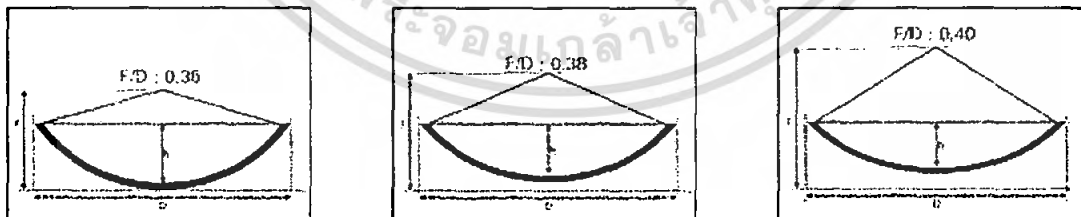
h = ค่าความลึกของท้องจานถึงปากขอบของจาน Depth



รูปที่ 2.20 แสดงการแทนค่าสมการในสูตรกับลักษณะจานรับสัญญาณค่า F/D RATIO

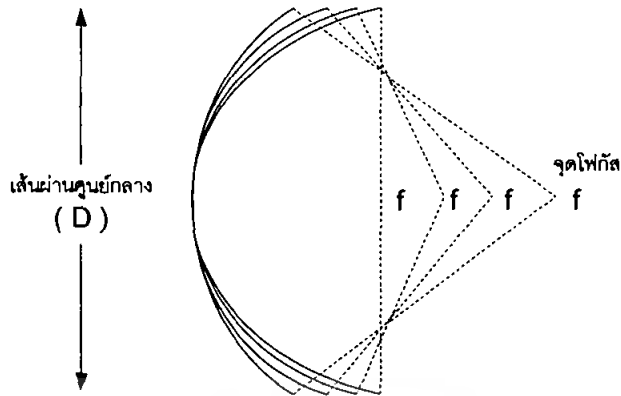
จานที่มีอัตราส่วน f/D เท่ากับ 0.5 นั้น จะมีลักษณะจานตื้นกว่าจานที่มี f/D เท่ากับ 0.3 กล่าวคือ จานที่มีความลึกจะมีค่าอัตราส่วน f/D ตั้งแต่ 0.25 ถึง 0.35 ขณะที่อัตราส่วน f/D ของจานที่มีความตื้นจะอยู่ในช่วง 0.4 ถึง 0.5 แต่โรงงานผู้ผลิตส่วนใหญ่มักจะผลิตออกมาอยู่ในช่วงกลางๆ คือ ตั้งแต่ 0.6 ถึง 0.375 โดยที่จานตื้นนั้นจะมีระยะโฟกัสที่ไกลกว่า ซึ่งทำให้มีการออกแบบพีคได้ง่าย เป็นผลให้มีประสิทธิภาพที่สูงกว่า และมีอัตราการขยายที่สูงกว่าด้วย แต่จะปรากฏโลบย่อย (Side lobe) สูงตามไปด้วย อันเป็นผลให้เกิดสัญญาณรบกวนมาก จานที่มีอัตราส่วน f/D ต่ำ (จานลึก) จะต้องใช้พีคที่มีวงกว้าง ซึ่งสร้างได้ยาก และมีราคาสูง ดังนั้นจึงต้องออกแบบให้มีความเหมาะสมกันระหว่างระดับของโลบย่อยต่ำๆ อัตราการขยายที่สูง ดังแสดงในรูปที่ 2.21 ซึ่งแสดงถึงลักษณะของจานสาขาอากาศที่มีค่า f/D ต่างกัน เมื่อเราทราบค่าของอัตราส่วน f/D ของจานรับสัญญาณแต่ละจาน จะทำให้เราทราบระยะของจุบรวมสัญญาณ หรือจุดโฟกัสของจานนั้นๆ ได้อย่างถูกต้อง

ค่า f/D Ratio คืออัตราส่วนระหว่าง Focus กับ Diameter ถ้าค่า f/D น้อยหน้าจานจะมีความลึก (h ค่ามาก)



รูปที่ 2.21 แสดงผลที่ได้ของสัดส่วนระหว่าง Focus กับ Diameter ที่ต่างกัน

จะเห็นได้ว่าค่า f/D มากระยะโฟกัสจะสูงแต่ค่า f/D น้อยระยะของโฟกัสจะอยู่ต่ำ จานที่มีค่า f/D มากจะมีแกนสูง ซึ่งผู้ผลิตส่วนใหญ่จะนิยมใช้ f/D อยู่ในช่วง 0.38 – 0.40



รูปที่ 2.22 แสดงถึงลักษณะของจานสายอากาศที่มีค่า f/D ต่างกัน

เพื่อจะได้ติดตั้งตัวพีคฮอร์น และ LNB ในตำแหน่งที่สามารถรับสัญญาณได้แรงที่สุด โดยการคูณขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเข้ากับค่าของอัตราส่วน f/D เช่น มีจานรับสัญญาณที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 เซนติเมตร และมีอัตราส่วน f/D เท่ากับ 0.273 จะมีระยะของโฟกัสเท่ากับ $150 \times 0.273 = 41.0$ เซนติเมตร

2.2.14 ข้อเปรียบเทียบระหว่างจานพาราโบลิกแบบลึกกับแบบตื้น

ในการออกแบบความโค้งของจานพาราโบลิกนั้น วิศวกรผู้ออกแบบจะต้องเป็นผู้พิจารณาว่าจะออกแบบให้จานมีความตื้น หรือความลึกมากน้อยเพียงใดนั้น ความลึกตื้นดังกล่าวก่อให้เกิดคุณสมบัติของจานสายอากาศต่างกันไป

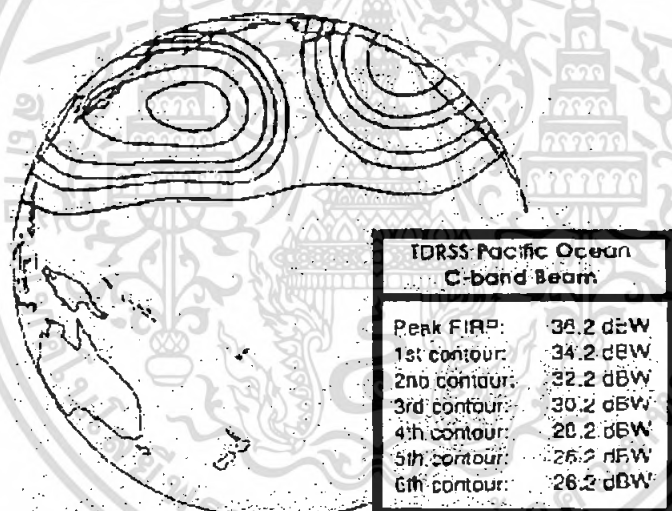
จานพาราโบลิกที่มีความตื้นกว่านั้น จะมีระยะโฟกัสยาวมาก ทำให้ต้องติดตั้งอุปกรณ์พีคฮอร์น และ LNB ห่างออกไปจากจุดศูนย์กลางของจานมากด้วย แต่จานที่มีความตื้นนั้นจะให้อัตราขยายของจานสูงกว่าจานแบบลึก เนื่องจากพีคฮอร์นสามารถรับเอาคลื่นที่สะท้อนจากพื้นท้องของจานมาสู่ตัวมันได้ทั้งหมด แต่อย่างไรก็ตาม ข้อเสียที่เห็นได้จากการออกแบบให้จานพาราโบลิกมีความตื้นก็คือ สามารถรับเอาสัญญาณรบกวนที่เกิดจากพื้นผิวโลก ซึ่งอยู่ในย่านความถี่เดียวกันกับที่ใช้ในการสื่อสารดาวเทียมเข้ามาด้วย สัญญาณที่รับได้จากดาวเทียม จะถูกรวมเข้ากับสัญญาณรบกวน ทำให้ความแรงของสัญญาณที่เราต้องการรับจริงจากจานดาวเทียมลดลงไปอีก ซึ่งจานพาราโบลิกแบบตื้นนี้จะป้องกัน หรือบดบังสัญญาณรบกวนได้ก็ต่อเมื่อถูกนำไปติดตั้งในที่มีมุมเงย (Elevation Angle) ต่ำๆ และการที่มีระยะของจุดโฟกัสยาวมากๆ นั้นจึงมีตำแหน่งการติดตั้งของพีคฮอร์นออกมาจากตัวจานระยะของจุดโฟกัสด้วย

สถานที่ที่ใช้จานรับสัญญาณที่มีความตื้นมากๆนั้น จะต้องอยู่ที่มีการแทรกสอดของสัญญาณ (Interference) จากสถานีไมโครเวฟอื่นๆ ต่ำมาก อาจเป็นบริเวณที่เป็นชานเมือง เพราะในเมืองมีการแทรกสอดของสัญญาณจากสถานีภาคพื้นดินอื่นๆค่อนข้างสูง

เมื่อมาพิจารณาจานรับสัญญาณจากดาวเทียมที่มีความลึกมาก จะพบว่า LNB และพีคฮอร์นที่ถูกติดตั้งไว้เกือบจะอยู่ในระดับขอบของจาน จานแบบนี้สามารถป้องกันสัญญาณรบกวนจากพื้นโลก หรือสัญญาณเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทรกสอดจากสถานีอื่นที่จะเข้าไปสู่ฟีดฮอร์น และ LNB ได้ดีกว่างานแบบดิน ข้อเสียก็คือเมื่อตัวฟีดฮอร์นอยู่ใกล้กับผิวของงานมากเกินไป ทำให้ฟีดฮอร์นไม่สามารถรับสัญญาณที่สะท้อนมาจากผิวของงานได้ทั้งหมด (สัญญาณที่สะท้อนจากขอบงาน และส่วนที่อยู่ใกล้กับขอบงานไม่สามารถส่งเข้าไปในฟีดฮอร์นได้โดยตรง) ผลที่ตามมาก็คือ อัตราการขยายของงานที่มีลักษณะแบบนี้มีค่าต่ำกว่างานแบบดิน

งานรับสัญญาณดาวเทียมที่มีขนาดเล็กที่สุด ที่สามารถรับสัญญาณภาพจากทรานสปอนเดอร์ของดาวเทียมย่าน C ได้ต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 ฟุต ขึ้นไป แต่นั่นก็หมายถึงว่าตำแหน่งหรือสถานที่ที่ติดตั้งงานขนาดนี้จะต้องอยู่ในพื้นที่ที่มีสัญญาณแรงที่สุดของฟุตพริ้นท์ดาวเทียมตัวที่เราต้องการรับสัญญาณ รวมทั้งต้องมี LNB ที่ดีมาใช้งานร่วมด้วย ซึ่งตำแหน่งพื้นที่ที่มีสัญญาณจากทรานสปอนเดอร์ของดาวเทียมแรงที่สุดจะอยู่ที่วงในสุดหรือจุดศูนย์กลางของฟุตพริ้นท์นั่นเอง เมื่อดูในรูปที่ 2.23 เป็นตัวอย่างที่แสดงให้เห็นว่าอยู่ในศูนย์กลางของฟุตพริ้นท์ของดาวเทียมแซต ซึ่งสามารถรับสัญญาณจากงานดาวเทียมวงนี้ได้แรงที่สุด แต่บางครั้งก็จะเป็นต้องเลือกงานรับสัญญาณขนาด 6-8 ฟุต เหมือนกัน เพราะตำแหน่งหรือพื้นที่ที่ติดตั้งอาจจะมีอุปสรรคทางสภาพแวดล้อมของเมืองก็เป็นได้ ส่วนสัญญาณดาวเทียมที่อยู่ห่างไกลออกไปจากศูนย์กลางของฟุตพริ้นท์จะมีความแรงอ่อนลง ดังนั้นจึงต้องเลือกงานรับสัญญาณที่มีขนาดกว้างขึ้นเพื่อให้อัตราการขยายของงานรับสูงขึ้น



รูปที่ 2.23 ฟุตพริ้นท์ของดาวเทียม

สำหรับตำแหน่งของพื้นที่ส่วนต่างๆ ในทวีปเอเชียที่แสดงในรูปที่ 2.23 จะแสดงขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของงานที่น้อยที่สุดซึ่งรับรองได้ว่าเมื่อใช้ในอาณาบริเวณนั้นๆ แล้ว จะต้องรับสัญญาณดาวเทียมจากดาวเทียมแซต 1 ได้อย่างคมชัดแน่นอน และระดับของค่ากำลังส่งประสิทธิผล (EIRP: Effective Isotropic Radiated Power) ของสัญญาณที่ส่งลงมาจาดาวเทียมไปยังส่วนต่างๆ ของพื้นโลก จะบอกค่าเอาไว้ในแต่ละอาณาเขตเพื่อให้ภาคพื้นดินได้ทราบว่าตรงอาณาเขตส่วนนั้นจะได้รับสัญญาณขนาดเท่าใดซึ่งมักจะบอกเป็นหน่วยของเดซิเบล (dB) ที่เทียบกับกำลังส่ง 1 วัตต์ (dBW) โดยเราสามารถใช้อะไรของฟุตพริ้นท์ที่ให้มานี้ นำไปใช้ในการออกแบบเพื่อเป็นตัวกำหนดขนาดของงานรับสัญญาณดาวเทียมของเราได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 วัสดุทำงานสายอากาศ

2.3.1 วัสดุทำงานสายอากาศดาวเทียม

คุณสมบัติของวัสดุทำงานสายอากาศดาวเทียมมีส่วนต่างๆ ที่จำเป็นต้องคำนึงถึงน้ำหนัก รวมถึง ปริมาตรของวัสดุที่ใช้ ซึ่ง ได้แก่

๑ ความแข็งแรง : มีความแข็งแรงพอที่จะทนต่อสภาพของโครงสร้างงาน และภาระที่จะต้องทนต่อ ความร้อน ทั้งในขณะที่ส่งดาวเทียมสู่อวกาศ และขณะที่ดาวเทียมนั้น โคจรอยู่ในวงโคจร

๑ ความแข็ง : มีความแข็งพอต่อการส่งดาวเทียมสู่อวกาศ และขณะโคจรในวงโคจร

๑ การผิกรูปเนื่องจากอุณหภูมิ : อุณหภูมิจะต้องมีผลที่จะทำให้งานสายอากาศผิกรูปไปได้น้อยที่สุด

๑ ความทนทานสำหรับการแพร่กระจายคลื่น : ในระหว่างอายุการใช้งานของดาวเทียมจะต้องมีการลด คุณภาพของการแพร่กระจายคลื่นให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

2.3.2 วัสดุทำงานรับสัญญาณดาวเทียมทั่วไป

ไม่ว่าจะเป็นงานรับสัญญาณแบบใดๆ ก็จะมีหลักการเดียวกันคือ รับสัญญาณจากงานดาวเทียมลงมา และสะท้อนกลับขึ้นไปยังจุดโฟกัส (Focus Point) สัญญาณที่มีกำลังอ่อนๆ เพื่อพุ่งลงมากระทบพื้นผิวของงาน แล้วสะท้อน ไปรวมยังจุดเดียวกัน จะมีผลทำให้สัญญาณแรงขึ้นมาได้ ไม่ว่าจะผลิตมาจากอะลูมิเนียม ไฟเบอร์ กลาส หรือแบบตาข่ายก็ตาม สิ่งแรกที่จะต้องสนใจก็คือ ต้องมีส่วนโค้งที่ถูกต้องและมีลักษณะเป็นพาราโบลา เท่านั้น ก็สามารถรับสัญญาณ ได้แล้ว วิธีการผลิตก็จะต้องขึ้นอยู่กับโรงงานว่าจะใช้วิธีใด

วัสดุที่นำมาผลิตงานดาวเทียมส่วนใหญ่จะใช้อะลูมิเนียมสาเหตุที่นิยมใช้อะลูมิเนียมมากกว่าเหล็ก เพราะ เหล็กมีการดูดซับสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ของงานลดลง อะลูมิเนียมมีน้ำหนักที่เบา และอะลูมิเนียมมีความทนทานมากกว่าเหล็ก (ไม่เกิดสนิม) ซึ่งหมายความว่าถ้ารูของตะแกรงนั้นมีขนาดกว้าง ไม่เกินที่กำหนด สัญญาณก็จะ ไม่มีการสูญเสีย ดังนั้นผู้ผลิตส่วนใหญ่จึงต้องคำนวณให้เหมาะสมกับย่านความถี่ มีใช้งานเพื่อให้งานมีประสิทธิภาพในการรับดี

1. งานอะลูมิเนียมแบบทึบ

สำหรับงานอะลูมิเนียมแบบทึบนั้น จะได้ประสิทธิภาพดีกว่างานแบบไฟเบอร์กลาส หรือแบบตาข่าย งานอะลูมิเนียมทึบจะมีลักษณะเคลือบด้วยสีที่มีคุณสมบัติไม่สะท้อนแสง เพราะหากสะท้อนแสงแล้วจะทำให้ เกิดการรวมแสงเช่นเดียวกับคลื่น ผลที่ตามมาก็คืออุปกรณ์ LNB อาจจะพังหรือเสียหายก่อนเวลาที่ควรจะเป็นก็ได้ ส่วนเนื้ออะลูมิเนียมมักจะทำจากอะลูมิเนียมเกรดดี สามารถป้องกันการสุกก่อนจากสนิมออกไซด์ของ อะลูมิเนียมได้ดี

2. จานแบบดาข่าย



รูปที่ 2.24 แสดงรูปแบบของจานรับสัญญาณทั้งแบบโปร่ง หรือแบบดาข่าย

ส่วนจานรับสัญญาณแบบดาข่าย ขณะนี้จะนิยมมากที่สุดเพราะไม่ทำให้เสียทัศนียภาพมากนัก เนื่องจากสามารถมองทะลุจานออกไปเห็นที่ทัศนียภาพข้างหลังได้ แต่จานแบบดาข่ายนี้ค่อนข้างจะเกิดการเสียหายหรือผิดรูปได้ง่าย เนื่องจากเป็นโลหะที่มีรูพรุนจึงบอบบาง ดังนั้นการติดตั้งใช้งานแต่ละส่วนจึงควรจะเป็นไปตามคำแนะนำของผู้ผลิตที่เน้นมากที่สุดคือ ความเป็นส่วนโค้งพาราโบลาของเนื้อจานจะต้องโค้งได้รูปตลอดเวลา วิธีตรวจสอบง่ายๆ โดยการใช้มือลูบที่ผิวของจานสายอากาศก็สามารถรู้ได้ว่าโค้งตลอดทั้งแผ่นหรือไม่ หากผิวของส่วนโค้งของแต่ละแผ่นไม่เป็นไปตามพาราโบลาแล้ว จะทำให้คลื่นที่มาจากกระทบบางส่วนไม่พุ่งไปรวมที่จุดโฟกัส สัญญาณก็จะมีความแรงลดลง

3. จานไฟเบอร์กลาส



รูปที่ 2.25 แสดงรูปแบบของจานรับสัญญาณทั้งแบบทึบ

สำหรับจานแบบไฟเบอร์กลาส ลักษณะทางโครงสร้างก็เหมือนกับจานทึบ และใช้กันค่อนข้างมาก จานแบบไฟเบอร์ที่เป็นมาตรฐานนั้น ภายในโครงสร้างของมันจะมีการฝังลวดดาข่ายเอาไว้ เพื่อใช้เป็นตัวสะท้อนสัญญาณจากดาวเทียม เพราะหากไม่มีลวดดาข่ายฝังเอาไว้ภายใน สัญญาณจะทะลุจานออกไปหมด ลักษณะของการผลิตจะใช้วิธีพ่นไฟเบอร์กลาสลงบนโมล แล้ววางลวดดาข่ายที่ทอหรือถักลงไป จากนั้นจึงฉีดไฟเบอร์กลาสทับลงไปอีกครั้งหนึ่ง

การจัดสร้างจานสายอากาศขึ้นมานั้น อาจจะทำเป็นชิ้นเดียวหรือหลายๆ ชิ้น แล้วนำมาประกอบเข้าด้วยกันก็ได้ แต่ความแน่นอนในเรื่องของประสิทธิภาพการสะท้อนของสัญญาณแล้ว จานแบบชิ้นเดียวจะดีกว่า ส่วนจานที่แบ่งออกเป็นเสี้ยวแล้วนำมาประกอบกันจะมีข้อเสียตรงส่วนนี้ แต่จะมีความแข็งแรงกว่า เพราะช่วงรอยต่อที่นำมาประกบกันจะกลายเป็นกระดูกหรือเป็นส่วนที่เสริมความแข็งแรงให้กับจาน อีกทั้งยังสะดวกต่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขนส่ง และถอดเปลี่ยนได้ง่าย ในกรณีที่ขึ้นไค้ขึ้นหนึ่งเสียหาย ส่วนในเรื่องของรอยต่อแต่ละชั้นที่เป็นปัญหาในการสะท้อนของคลื่นนั้นถือว่ามึ้น้อยมาก (ขึ้นอยู่กับจำนวนชั้นของจานด้วย) เมื่อเทียบกับจานพื้นที่ของจานทั้งหมด

จานรับสัญญาณแบบตะแกรงโปร่งจะเป็นที่นิยมมากกว่าแบบที่มีตะแกรงทึบเพราะเนื่องจาก

1. ใช้วัสดุน้อยกว่าทำให้มีน้ำหนักที่เบา
2. ไม่ต้านลมเมื่อเกิดพายุ
3. มีความสวยงามกว่า



รูปที่ 2.26 แสดงลักษณะพิเศษของจานรับสัญญาณดาวเทียมแบบโปร่ง

ความเข้าใจเกี่ยวกับเรื่องจานแบบทึบ และแบบโปร่งของคนที่ทั่วไปยังไม่ถูกต้อง คือ จานแบบทึบจะมีเกณฑ์การขยายมากกว่าแบบโปร่ง เพราะจานแบบโปร่งสัญญาณจะรั่วได้ซึ่งก็มีส่วนถูกอยู่บ้างถ้าตะแกรงที่นำมาผลิตมีขนาดใหญ่เกินไปก็มีความกว้างของรูตะแกรงมากกว่า $\lambda/16$ ของความถี่จึงได้มีการออกแบบจานสะท้อนแบบ “พารา โบลิก” เพื่อมาทำหน้าที่ในการรับสัญญาณแทนสายอากาศแบบยากิ

2.4 ฟีดฮอร์น และอุปกรณ์ขยายสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนต่ำ

จานพาราโบลิกที่กล่าวไปแล้วนั้นเป็นเพียงส่วนประกอบส่วนเดียวที่จะรับเอาสัญญาณมาเท่านั้น โดยทำหน้าที่สะท้อนเอาสัญญาณให้พุ่งไปรวมเพียงจุดเดียวที่จุดโฟกัส ดังนั้นขั้นตอนต่อไปเราจะต้องเอาสัญญาณนี้มาผ่านเครื่องขยายที่มีสัญญาณรบกวนต่ำ และมีการสูญเสียของสัญญาณน้อยที่สุดเสียก่อน และต่อไปนี้จะทำหน้าที่ของฟีดฮอร์น (Feed horn) ซึ่งติดตั้งอยู่กับอุปกรณ์ขยายสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนต่ำ (Low Noise Box Down converter: LNB) ที่อยู่เหนือจานนั่นเอง

2.4.1 ฟีดฮอร์น (Feed horn)

ในช่วงแรกๆนั้น ระบบเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมประจำบ้าน ส่วนใหญ่ตัวจานรับสัญญาณจะใช้ฟีดฮอร์นที่เป็นแบบสี่เหลี่ยมในการรวมสัญญาณจากจานสายอากาศ แต่ในทางปฏิบัติพบว่าถ้าใช้ฟีดฮอร์นแบบวงกลมจะได้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า โดยให้เกนเพิ่มขึ้นจากเดิมประมาณ 1dB.

ฟีดฮอร์นที่ใช้กันอยู่ทุกวันนี้ ส่วนใหญ่จะเป็นแบบสเกลาร์ฟีดฮอร์น (Scalar Feed) ซึ่งที่ปากกระบอกจะมีวงแหวนซ้อนกันอยู่หลายรอบ เพื่อป้องกันสัญญาณจากขอบภายนอกของจุดโฟกัสสะท้อนแสงไปยังเสาอากาศเป็นเสาอากาศที่ส่งคลื่นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นานมานี้หันไปใช้ประโยชน์ตามอาคารพาณิชย์ของจานอีกครั้ง สัญญาณทั้งหมดจะถูกขยายให้แรงขึ้นโดยการสะท้อนในอัตราประมาณ 70% ของผิวไม่วากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จานทั้งหมดพุ่งไปรวมกันที่ฟีดฮอร์น โดยสเกลาร์ฟีดฮอร์น จะถูกออกแบบให้สามารถมองลงมายังพื้นผิวของจานให้ได้มากที่สุด ในขณะที่สัญญาณจะถูกลดทอนลงที่บริเวณพื้นผิวที่อยู่ใกล้ขอบจานประมาณ 10-15 dB.

หน้าที่หลักของ Feed Horn ทำหน้าที่รวมสัญญาณที่ได้จากการสะท้อน จากจานรับสัญญาณดาวเทียม เพื่อรวมสัญญาณป้อนให้กับตัว LNB โดยส่งเข้าที่อนำสัญญาณ หรือกระบอกนำสัญญาณที่เรียกว่าท่อเวฟไกด์ (Waveguide)

ปกติแล้วอุณหภูมิของพื้นผิวโลกจะสร้างสัญญาณรบกวนหลายรูปแบบเข้ามาในความถี่ย่าน 4 GHz. เป็นจำนวนมาก และมีความแรงมากกว่าสัญญาณที่ส่งมาจากดาวเทียมหลายเท่า ซึ่งการลดทอนที่เกิดขึ้นบริเวณผิวขอบนอกของจานนี้ มีผลทำให้สามารถไปลดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากพื้นผิวโลกซึ่งไปรวมกันอยู่บริเวณพื้นผิวที่อยู่ใกล้ขอบของจานสายอากาศ ซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 30% ของพื้นผิวของจานสายอากาศทั้งหมด พื้นผิวของจานที่อยู่บริเวณดังกล่าวจึงทำหน้าที่เสมือนป้องกันสัญญาณรบกวนที่จะเข้าไปยังฟีดฮอร์นไปในตัวนั่นเอง



รูปที่ 2.28 ฟีดฮอร์นความถี่ย่าน C พร้อม LNB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 ภาพทางด้านหน้าของฟีดฮอร์น

สำหรับวิธีการพิจารณาเลือกใช้งานให้ถูกต้องและได้ผลดีนั้น ในทางปฏิบัติคือตัวฟีดจะต้องเลือกให้เหมาะสมกับชนิดของงานที่เราเลือก สำหรับงานรับสัญญาณที่มีทองงานต้น สามารถใช้งานได้ดีที่สุดกับฟีดมาตรฐานใดก็ได้ ขณะที่แบบที่มีทองงานลึกอาจจะต้องใช้ฟีดแบบพิเศษ หรืออาจจะต้องมีอะแดปเตอร์ริง (Adapter Ring) ซึ่งมีลักษณะเป็นวงแหวนเข้ามาช่วย จะมีผลทำให้บริเวณช่องเปิดของฟีดยาวขึ้นอีกเล็กน้อยทำให้ความยาวที่แท้จริงของฟีดนั้นสัมพันธ์กับค่าอัตราส่วน f/D ของสายอากาศ หรือของงานรับสัญญาณได้ถูกต้องยิ่งขึ้น และอีกประการหนึ่งฟีดที่จะนำมาใช้งานให้ได้ผลดีขึ้นกว่าที่จะสามารถทำการปรับแต่งผลของการรับสัญญาณให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

2.4.2 อุปกรณ์ขยายสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนต่ำ

หลังจากที่สัญญาณถูกส่งเข้าไปในฟีดฮอร์นแล้ว จะถูกส่งต่อเข้าไปยังอุปกรณ์ขยายสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนต่ำ (LNB) หรือที่เรียกว่า Low Noise Amplifier (LNA) โดยเราจะถือว่าเป็นขั้นตอนแรกที่มีการขยายสัญญาณเกิดขึ้นภายในเม้าท์ของ LNB จะมีโพรบโลหะชิ้นเล็กๆ ความยาวไม่ถึง 1 นิ้วอยู่อันหนึ่งซึ่งจริงๆ แล้วเป็นสายอากาศที่เรา โชนานท์กับสัญญาณที่มีความถี่ที่ส่งมาจากดาวเทียมนั่นเอง เมื่อรับสัญญาณมาแล้วจะทำการส่งต่อโดยการคับปลิงเข้าไปยังวงจรขยายทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งแน่นอนว่าสัญญาณรบกวนจะเกิดขึ้นภายในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วย โดย LNB จะขยายสัญญาณรบกวนนี้พร้อมกับสัญญาณที่ต้องการ แล้วส่งผ่านไปยังขั้นตอนต่อไป ซึ่งในขั้นตอนนี้ LNB จะต้องสามารถควบคุมระดับของสัญญาณรบกวนนี้ให้มีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

ในสมัยก่อนนั้น ระบบโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมต้องใช้งานที่มีขนาดใหญ่หลายๆ เพื่อจะได้ทำการหักล้างกันระหว่างสัญญาณที่ต้องการรับจริงกับสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นใน LNB เพื่อให้เหลือสัญญาณจริงมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

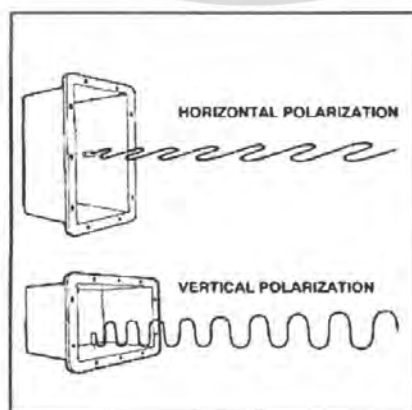


รูปที่ 2.30 อุปกรณ์ขยายสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนต่ำ

เมื่อสัญญาณที่รวมจากจานดาวเทียมแล้ว จะถูกส่งต่อเข้าไปยังอุปกรณ์ขยายสัญญาณที่มีการรบกวนของสัญญาณต่ำ LNB (Low Noise Block down converter) จะมีขั้วโลหะชิ้นเล็กๆ ความยาวประมาณ 1 นิ้ว อยู่ 2 ขั้ว ซึ่งในส่วนนี้จริงๆ แล้วคือขั้วสายอากาศที่ทำหน้าที่รับสัญญาณจากดาวเทียม ในแนวตั้ง 1 อันและแนวนอนอีก 1 อัน เมื่อรับสัญญาณได้แล้วจะส่งต่อไปยังวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่มีการควบคุมสัญญาณรบกวนให้ต่ำที่สุด ถ้าเปรียบเทียบเมื่อสมัยก่อนจะต้องใช้จานขนาดใหญ่ทำให้เกิดความต่างของสัญญาณรบกวนและสัญญาณจริงที่รับจากดาวเทียม ก่อนที่จะทำการขยายสัญญาณในวงจร Low Noise Amplifier เพื่อให้ได้สัญญาณจริงจากดาวเทียมให้มากที่สุด

Noise Temperature ของ LNB จะบอกเป็นค่าองศาเคลวิน (Degree Kelvin's: K) ซึ่งถ้าหากว่าค่า Noise Temperature ยิ่งมีค่าต่ำเท่าไร สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นใน LNB ก็จะน้อยลงไปด้วย โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในย่าน 20-40 องศาเคลวิน ปัจจุบันเทคโนโลยีที่ทันสมัยมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้การผลิต ทำได้ง่ายขึ้นกว่าเดิมมาก

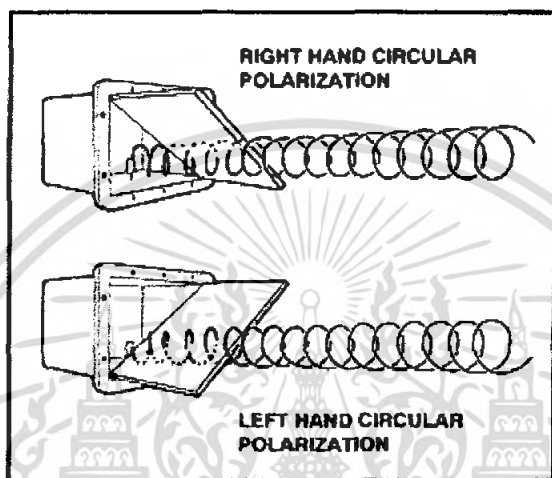
2.4.3 ขั้วคลื่นแบบแนวตั้งและแนวนอน



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 2.31 ขั้วการเดินทางของคลื่นแบบแนวตั้งและแนวนอนให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่ส่งจากดาวเทียมจะมีการส่งขั้วคลื่นแบบแนวตั้ง Vertical และแนวนอน Horizontal เพื่อให้การส่งสัญญาณที่มีความถี่เหมือนกัน สามารถที่จะทำการส่งได้ในพร้อมกัน 2 แนว โดยไม่เกิดการรบกวนระหว่างกัน เนื่องจากความถี่ที่มีใช้ในระบบการรับส่งสัญญาณดาวเทียมมีใช้อย่างอย่างจำกัด เมื่อติดตั้ง LNB แบบนี้จำเป็นต้องหมุนขั้วคลื่นให้รับสัญญาณ ได้ตรงตามแนวการส่งด้วย จึงจะทำให้รับสัญญาณได้ดีที่สุด ปัจจุบัน LNB ในแบบรุ่นนี้เป็นที่นิยมใช้มากที่สุด

2.4.4 ขั้วคลื่นแบบวงกลม (Circular Polarization)



รูปที่ 2.32 ขั้วการเดินทางของคลื่นแบบวงกลม

การส่งคลื่นสัญญาณจากดาวเทียมเป็นแบบวงกลม หรือที่เรียกว่า Circular Polarization ดังนั้นหากว่าเราต้องการรับสัญญาณที่ส่งแบบขั้วคลื่นแบบนี้ให้ได้ประสิทธิภาพสูงที่สุดแล้ว เราจะต้องใช้ LNB ที่มีฟีดฮอร์นที่มีโครงสร้างของโพรบเป็นแบบ Circular ด้วยเช่นกัน โพรบจะมีลักษณะเป็นวงกลม (Helical) และมีลักษณะของรูปคลื่น (Pattern) หมุนเป็นเกลียว และยังแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ แบบที่มีคลื่นหมุนทางขวา (Right Hand Circular Polarization) และแบบคลื่นที่หมุนทางซ้าย (Left Hand Circular Polarization) ส่วนแบบลิเนียร์ (Linear Polarization) แบ่งออกเป็น Horizontal Polarization และ Vertical Polarization ถึงแม้ว่าฟีดฮอร์นแบบลิเนียร์ ซึ่งเป็นแบบมาตรฐานจะสามารถรับสัญญาณได้ก็ตาม แต่ครั้งหนึ่งของสัญญาณก็จะเกิดการสูญเสียไป ฉะนั้นหากต้องการสัญญาณที่มีความสมบูรณ์ควรเลือกใช้ให้ถูกต้องด้วยจึงจะรับสัญญาณได้ดี

2.5 ทำความรู้จักกับ Wireless LAN

การใช้งานเครือข่ายไร้สายมีอัตราการเติบโตเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วนับตั้งแต่มาตรฐาน IEEE 802.11 เกิดขึ้น เครือข่ายไร้สายก็ได้รับการปรับปรุงและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งปัจจุบันเครือข่ายไร้สายสามารถใช้งานได้ด้วยความสะดวก และมีความปลอดภัยสูงขึ้นมา นอกจากนั้นก็ยังมีให้อัตราความเร็วของการสื่อสารที่เพิ่มสูงขึ้นจนสามารถรองรับกับการใช้งานในด้านต่างๆ ได้อย่างดี ไม่ว่าจะเป็นการใช้งานอินเทอร์เน็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วสูง การใช้งานวิดีโอสตรีมมิงมัลติมีเดียและการใช้งานด้านความบันเทิงต่างๆ สำหรับการประยุกต์ใช้งานเครือข่ายไร้สายนับว่ามีอย่างหลากหลาย ซึ่งพอจะยกตัวอย่างได้ต่อไปนี้

- ผู้ใช้งานตามบ้านเรือนที่พัก สามารถนำระบบเครือข่ายไร้สายมาใช้งานทั้งการแชร์การใช้งานอินเทอร์เน็ตร่วมกับสมาชิกในครอบครัว รับประทานอาหารและรับชมสื่อบันเทิงบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านผลิตภัณฑ์ไร้สายแบบต่างๆ ได้จากทุกๆ ที่ภายในบริเวณบ้านโดยไม่ต้องเดินสายนำสัญญาณให้ยากลำบาก
- ผู้ใช้งานภายในองค์กร สามารถนำมาใช้เพื่อเพิ่มผลผลิตของการทำงานของพนักงาน ลดค่าใช้จ่ายของการวางสายนำสัญญาณลง ใช้ขยายขอบเขตการใช้งานเครือข่ายเดิมให้มีความยืดหยุ่น ในกิจการโรงแรมสามารถให้บริการแก่แขกผู้มาเข้าพักได้โดยสะดวก ร้านอาหารสามารถนำมาให้บริการกับลูกค้าที่เข้ามาสั่งอาหาร, ผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเดินสายสัญญาณให้เข้าถึงจุดบริการต่างๆ มากขึ้น และสามารถให้บริการในจุดบริการที่สายสัญญาณไม่สามารถเข้าถึงได้เช่นกัน, ผู้บริหารระบบเครือข่ายสามารถเฝ้าตรวจสอบระบบ และปรับเปลี่ยนแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดขึ้นกับระบบเครือข่ายจากจุดใดก็ได้ ทำให้สะดวกและรวดเร็วต่อการจัดการมากขึ้น
- ผู้ใช้งานภายในสถานศึกษา สถานศึกษาสามารถใช้เครือข่ายไร้สายโดยให้นักศึกษาสามารถเข้าเรียนในแบบออนไลน์ได้ สามารถสืบค้นข้อมูลบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตจากจุดใดจุดหนึ่งของสถาบันได้ ช่วยให้นักศึกษาสามารถใช้งานได้สะดวกและรวดเร็วมากขึ้น

2.5.1 มาตรฐานของเครือข่ายไร้สาย IEEE 802.11 (Wireless LAN Technology)

เครือข่ายไร้สายมาตรฐาน IEEE 802.11 ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2540 โดยสถาบัน IEEE (The Institute of Electronics and Electrical Engineers) ซึ่งมีข้อกำหนดระบุไว้ว่า ผลิตภัณฑ์เครือข่ายไร้สายในส่วนของ PHY Layer นั้นมีความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 1, 2, 5.5, 11 และ 54 เมกะบิตต่อวินาที โดยมีสื่อสัญญาณ 3 ประเภทให้เลือกใช้งานอันได้แก่ คลื่นวิทยุย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์, 2.5 กิกะเฮิรตซ์ และคลื่นอินฟราเรด ส่วนในระดับชั้น MAC Layer นั้นได้กำหนดกลไกของการทำงานแบบ CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับ CSMA/CD (Collision Detection) ของมาตรฐาน IEEE 802.3 Ethernet ซึ่งนิยมใช้งานบนระบบเครือข่ายแลนไร้สาย โดยมีกลไกในการเข้ารหัสข้อมูลก่อนแพร่กระจายสัญญาณไปบนอากาศ พร้อมกับมีการตรวจสอบผู้ใช้งานอีกด้วย

มาตรฐาน IEEE 802.11 ในยุคเริ่มแรกนั้นให้ประสิทธิภาพการทำงานที่ค่อนข้างต่ำ ทั้งไม่มีการรับรองคุณภาพของการให้บริการที่เรียกว่า QoS (Quality of Service) ซึ่งมีความสำคัญในสภาพแวดล้อมที่มีแอปพลิเคชันหลากหลายประเภทให้ใช้งาน นอกจากนั้นกลไกในเรื่องการรักษาความปลอดภัยที่นำมาใช้ก็ยังมีช่องโหว่จำนวนมาก IEEE จึงได้จัดตั้งคณะทำงานขึ้นมาหลายชุดด้วยกัน เพื่อทำการพัฒนาและปรับปรุงมาตรฐานให้มีศักยภาพเพิ่มสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันเทคโนโลยีเครือข่าย LAN แบบไร้สาย หรือ WLAN (Wireless LAN) กำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากประโยชน์ของ WLAN มีอยู่มากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง WLAN สร้างความสะดวกและอิสระในการใช้งานและติดตั้งเครือข่าย เทคโนโลยี WLAN ทำให้การเชื่อมต่ออุปกรณ์คอมพิวเตอร์ในบ้านหรือสำนักงานเข้าด้วยกันหรือต่อเข้ากับเครือข่ายไม่จำเป็นจะต้องใช้สายนำสัญญาณให้ยุ่งยากและดูเกะกะอีกต่อไป อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ทั้งแบบตั้งโต๊ะและพกพาสามารถเชื่อมต่อถึงกันหรือเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายจากตำแหน่งต่างๆ ที่อยู่三尺มีของสัญญาณได้อย่างอิสระ

เทคโนโลยีสำหรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ ผ่านสื่อไร้สายที่รู้จักกันมีอยู่หลายเทคโนโลยีเช่น Bluetooth, IEEE 802.11, IrDA, HiperLAN, HomeRF และ GPRS เป็นต้น แต่เทคโนโลยีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุดสำหรับ WLAN คือเทคโนโลยีตามมาตรฐาน IEEE 802.11 เนื่องจากอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN มีราคาไม่แพงนักและถูกลงเรื่อยๆ อีกทั้งมีสมรรถนะในการรับส่งข้อมูลค่อนข้างสูง ง่ายต่อการติดตั้งและใช้งาน IEEE 802.11 WLAN ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายมากขึ้นเรื่อยๆ และมีแนวโน้มว่าในอนาคตอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ต่างๆ จะมีอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN ติดตั้งจากโรงงานหรือ Built-in มาด้วย

แต่อย่างไรก็ตาม ความง่ายและสะดวกต่อการติดตั้งและใช้งานของอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN ก็นำมาซึ่งความไม่ปลอดภัยของเครือข่ายด้วยเช่นกัน อีกทั้งเทคโนโลยี IEEE 802.11 WLAN อยู่ในช่วงเริ่มต้นเท่านั้น (ยังไม่ถึงจุดสมบูรณ์และอิ่มตัว) ทำให้ยังมีช่องโหว่ด้านความปลอดภัยอีกมาก ดังนั้นผู้ที่เลือกใช้ IEEE 802.11 WLAN ควรมีความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีและตระหนักถึงช่องโหว่ต่างๆ รวมถึงการรักษาความปลอดภัยอย่างเหมาะสม ซึ่งบทความนี้จะกล่าวถึงความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับมาตรฐาน IEEE 802.11 รวมถึงช่องโหว่และการรักษาความปลอดภัยสำหรับเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN

● IEEE 802.11a

เป็นมาตรฐานที่ได้รับการตีพิมพ์และเผยแพร่เมื่อปี พ.ศ. 2542 โดยใช้เทคโนโลยี OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) เพื่อพัฒนาให้ผลิตภัณฑ์ไร้สายมีความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยอัตราความเร็วสูงสุด 54 เมกะบิตต่อวินาที โดยใช้คลื่นวิทยุย่านความถี่ 5 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่ไม่ได้รับอนุญาตให้ใช้งานโดยทั่วไปในประเทศไทย เนื่องจากสงวนไว้สำหรับกิจการทางด้านการทหาร ข้อเสียของผลิตภัณฑ์มาตรฐาน IEEE 802.11a ก็คือมีรัศมีการใช้งานในระยะสั้นและมีราคาแพง ดังนั้นผลิตภัณฑ์ไร้สายมาตรฐาน IEEE 802.11a จึงได้รับความนิยมน้อย

● IEEE 802.11b

เป็นมาตรฐานที่ถูกตีพิมพ์และเผยแพร่ออกมาพร้อมกับมาตรฐาน IEEE 802.11a เมื่อปี พ.ศ. 2542 ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีและได้รับความนิยมในการใช้งานกันอย่างแพร่หลายมากที่สุด ผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบมาให้รองรับมาตรฐาน IEEE 802.11b ใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า CCK (Complimentary Code Keying) ร่วมกับเทคโนโลยี DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) เพื่อให้สามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยอัตราความเร็วสูงสุดที่ 11 เมกะบิตต่อวินาที เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิตต่อวินาที โดยใช้คลื่นสัญญาณวิทยุย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่อนุญาตให้ใช้งานในแบบสาธารณะทางด้านวิทยาศาสตร์ อุตสาหกรรม และการแพทย์ โดยผลิตภัณฑ์ที่ใช้ความถี่ย่านนี้มีชนิดทั้งผลิตภัณฑ์ที่รองรับเทคโนโลยี Bluetooth, โทรศัพท์ไร้สายและเตาไมโครเวฟ จึงทำให้การใช้งานนั้นมีปัญหาในเรื่องของสัญญาณรบกวนของผลิตภัณฑ์เหล่านี้ ข้อดีของมาตรฐาน IEEE 802.11b ก็คือ สนับสนุนการใช้งานเป็นบริเวณกว้างกว่ามาตรฐาน IEEE 802.11a ผลิตภัณฑ์มาตรฐาน IEEE 802.11b เป็นที่รู้จักในเครื่องหมายการค้า Wi-Fi ซึ่งกำหนดขึ้นโดย WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance) โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้รับเครื่องหมาย Wi-Fi ได้ผ่านการตรวจสอบและรับรองว่าเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน IEEE 802.11b ซึ่งสามารถใช้งานร่วมกันกับผลิตภัณฑ์ของผู้ผลิตรายอื่นๆ ได้

• IEEE 802.11g

เป็นมาตรฐานที่นิยมใช้งานกันมากในปัจจุบันและได้เข้ามาทดแทนผลิตภัณฑ์ที่รองรับมาตรฐาน IEEE 802.11b เนื่องจากสนับสนุนอัตราความเร็วของการรับส่งข้อมูลในระดับ 54 เมกะบิตต่อวินาที โดยใช้เทคโนโลยี OFDM บนคลื่นสัญญาณวิทยุย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ และให้รัศมีการทำงานที่มากกว่า IEEE 802.11a พร้อมความสามารถในการใช้งานร่วมกันกับมาตรฐาน IEEE 802.11b ได้ (Backward-Compatible)

• IEEE 802.11e

เป็นมาตรฐานที่ออกแบบมาสำหรับการใช้งานแอปพลิเคชันทางด้านมัลติมีเดียอย่าง VoIP (Voice over IP) เพื่อควบคุมและรับประกันคุณภาพของการใช้งานตามหลักการ QoS (Quality of Service) โดยการปรับปรุง MAC Layer ให้มีคุณสมบัติในการรับรองการใช้งานให้มีประสิทธิภาพ

• IEEE 802.11f

มาตรฐานนี้เป็นที่รู้จักกันในนาม IAPP (Inter Access Point Protocol) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ออกแบบมาสำหรับจัดการกับผู้ใช้งานที่เคลื่อนที่ข้ามเขตการให้บริการของ Access Point ตัวหนึ่งไปยัง Access Point เพื่อให้บริการในแบบโรมมิ่งสัญญาณระหว่างกัน

• IEEE 802.11h

มาตรฐานที่ออกแบบมาสำหรับผลิตภัณฑ์เครือข่ายไร้สายที่ใช้งานย่านความถี่ 5 กิกะเฮิรตซ์ ให้ทำงานถูกต้องตามข้อกำหนดการใช้ความถี่ของประเทศในทวีปยุโรป

• IEEE 802.11i

เป็นมาตรฐานในด้านการรักษาความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์เครือข่ายไร้สาย โดยการปรับปรุง MAC Layer เนื่องจากระบบเครือข่ายไร้สายมีช่องโหว่มากมายในการใช้งาน โดยเฉพาะฟังก์ชันการเข้ารหัสแบบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อสาธารณะไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WEP 64/128-bit ซึ่งใช้คีย์ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งไม่เพียงพอสำหรับสภาพการใช้งานที่ต้องการความมั่นใจในการรักษาความปลอดภัยของการสื่อสารระดับสูง มาตรฐาน IEEE 802.11i จึงกำหนดเทคนิคการเข้ารหัสที่ใช้คีย์ชั่วคราวด้วย WPA, WPA2 และการเข้ารหัสในแบบ AES (Advanced Encryption Standard) ซึ่งมีความน่าเชื่อถือสูง

● IEEE 802.11k

เป็นมาตรฐานที่ใช้จัดการการทำงานของระบบเครือข่ายไร้สาย ทั้งจัดการการใช้งานคลื่นวิทยุให้มีประสิทธิภาพ มีฟังก์ชันการเลือกช่องสัญญาณ, การโรมมิ่งและการควบคุมกำลังส่ง นอกจากนี้ก็ยังมีการร้องขอและ ปรับแต่งค่าให้เหมาะสมกับการทำงาน การหาวิธีการใช้งานสำหรับเครื่องไคลเอนต์ที่เหมาะสมที่สุด เพื่อให้ระบบจัดการสามารถทำงานจากศูนย์กลางได้

● IEEE 802.11n

เป็นมาตรฐานของผลิตภัณฑ์เครือข่ายไร้สายที่คาดหมายกันว่า จะเข้ามาแทนที่มาตรฐาน IEEE 802.11a, IEEE 802.11b และ IEEE 802.11g ที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน โดยให้อัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูลในระดับ 100 เมกะบิตต่อวินาที

● IEEE 802.1x

เป็นมาตรฐานที่ใช้งานกับระบบรักษาความปลอดภัย ซึ่งก่อนเข้าใช้งานระบบเครือข่ายไร้สายจะต้องตรวจสอบสิทธิ์ในการใช้งานก่อน โดย IEEE 802.1x จะใช้โพรโตคอลอย่าง LEAP, PEAP, EAP-TLS, EAP-FAST ซึ่งรองรับการตรวจสอบผ่านเซิร์ฟเวอร์ เช่น RADIUS, Kerberos เป็นต้น

2.5.2 ผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานกับเครือข่ายไร้สาย

เครือข่ายไร้สายที่จะนำมาใช้งานประกอบขึ้นด้วยอุปกรณ์ประเภทต่างๆ มากมาย ซึ่งมีทั้งออกแบบมาสำหรับใช้งานกับผู้ใช้ภายในบ้านและผู้ใช้ภายในองค์กรต่างๆ

PCI Card

ในเมนบอร์ดรุ่นใหม่ๆ หลายๆ รุ่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมนบอร์ดในระดับไฮเอนด์ จะมีคุณสมบัติไร้สายแบบ Built-in ให้มาด้วย แต่ถ้าท่านต้องการให้เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพีซีที่มีอยู่ต้องการใช้งานร่วมกับระบบไร้สาย ได้ก็สามารถเลือกติดตั้ง PCI Card ได้ ด้วยการถอดฝาครอบเครื่องของเราออกแล้วติดตั้งเข้าไปได้ทันที การ์ดเครือข่ายไร้สายแบบนี้จะมีเสาส่งสัญญาณแบบ Dipole ให้มาด้วย 1 เสา ถอดเปลี่ยนได้มาให้พร้อมกันด้วย ซึ่งผู้ใช้งานนั้นสามารถที่จะปรับองศาให้หันไปทิศทางที่ Access Point ตั้งอยู่เพื่อให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนสัญญาณระหว่างกันนั้นดีขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PCMCIA Card

เครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กที่มีจำหน่ายในปัจจุบันนี้นิยมผนวกรวมความสามารถในการใช้งานเครือข่ายไร้สายเข้าไว้ด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งโน้ตบุ๊กที่ใช้งานเทคโนโลยี Intel Centrino ของทาง Intel แต่ถ้าเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กของท่านไม่สามารถใช้งานเครือข่ายไร้สาย ก็สามารถหาซื้อการ์ดแบบ PCMCIA CardBus Adapter มาติดตั้งได้ โดยลักษณะของตัวการ์ดจะมีขนาดเล็กเท่าบัตรเครดิต บางเบาและน้ำหนักน้อย จึงสามารถติดตั้งเข้ากับสล็อตแบบ PCMCIA ของเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กได้โดยง่ายทีเดียว

USB Adapter

เป็นการ์ดที่ออกแบบมาให้ใช้งานได้ทั้งเครื่องคอมพิวเตอร์พีซีและโน้ตบุ๊ก โดยมีให้เลือกใช้ทั้งแบบที่เชื่อมต่อผ่านสายนำสัญญาณและในแบบที่ต่อเข้ากับพอร์ต USB โดยตรง การ์ดเครือข่ายไร้สายแบบ USB นับว่าได้ให้ความคุ้มค่าสำหรับการใช้ทีเดียว

Access Point

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เป็นตัวกลางในการรับและส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งการ์ดเครือข่ายไร้สายให้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ ลักษณะการทำงานจะเป็นเช่นเดียวกับ Hub ที่ใช้กับระบบเครือข่ายใช้สาย โดย Access Point จะมีพอร์ต RJ-45 สำหรับใช้เพื่อเชื่อมโยงเข้ากับเครือข่ายใช้สายที่ใช้งานกันอยู่

Wireless Broadband Router

อุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงระดับ ADSL ซึ่งออกแบบมาสำหรับจุดประสงค์การใช้งานอย่างหลากหลายเป็นทั้ง Router, Switch และ Access Point ปกติผู้ผลิตจะออกแบบมาให้มีพอร์ตเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์แบบใช้สายจำนวน 4 พอร์ต แต่ผู้ผลิตหลายรายก็ออกอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กขนาดพ็อกเก็ตที่มีปุ่มสลับโหมดการทำงานมาให้ ซึ่งเหมาะสำหรับการเคลื่อนย้ายบ่อยครั้ง

Wireless Signal Booster

เป็นอุปกรณ์เครือข่ายไร้สายที่ใช้เพิ่มระยะทางและประสิทธิภาพการทำงานของ Access Point โดยการเพิ่มกำลังส่งของสัญญาณเพื่อให้ได้รัศมีการใช้งานที่มากขึ้นกว่าเดิม

Wireless Bridge

เป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบมาสำหรับใช้เชื่อมต่อเครือข่าย 2 เครือข่าย ให้สื่อสารกันได้ มีให้เลือกใช้งานทั้งแบบติดตั้งภายนอกซึ่งใช้เชื่อมต่อเครือข่ายระหว่างอาคาร และแบบที่ติดตั้งภายในอาคาร โดย Wireless

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bridge มี 2 ลักษณะให้เลือกใช้ คือ แบบที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างจุดต่อจุด (Point-to-Point) และแบบจุดต่อหลายจุด (Point-To-Multipoint)

Wireless Print Server

สำหรับเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องพิมพ์เพื่อให้มีความสามารถในการแบบไร้สาย มีทั้งรุ่นที่ออกแบบมาสำหรับใช้งานกับเครื่องพิมพ์ที่มีพอร์ต Parallel, USB หรือทั้งสองพอร์ตรวมกันด้วย

PoE (Power over Ethernet) Adapter

เป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบมาสำหรับแก้ไขข้อยุ่งยากในการเดินสายไฟฟ้าเพื่อใช้งานกับอุปกรณ์ไร้สาย โดยหันมาใช้วิธีการจ่ายไฟผ่านสายนำสัญญาณ UTP ที่ยังมีคู่สายที่ยังไม่ถูกนำมาใช้งานมาทำหน้าที่แทน ซึ่งอุปกรณ์ PoE Adapter จะมี 2 ส่วน คือ Power Injector เป็นอุปกรณ์กำเนิดไฟฟ้าและนำสัญญาณข้อมูลจาก Switch Hub เข้าไปสายนำสัญญาณสู่อุปกรณ์ไร้สายอย่าง Access Point และอีกอุปกรณ์เป็น Splitter ที่ใช้แยกสัญญาณข้อมูลและไฟฟ้าให้กับ Access Point ผู้ผลิตหลายรายในปัจจุบันออกแบบให้ Switch สนับสนุนมาตรฐาน IEEE 802.3af (PoE) มาพร้อมด้วย

2.5.3 คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เครือข่ายไร้สาย

การเลือกซื้อผลิตภัณฑ์สำหรับใช้งานกับเครือข่ายไร้สายนั้น มีข้อพิจารณาไม่ได้แตกต่างไปจากผลิตภัณฑ์เครือข่ายใช้สายเท่าใดนัก โดยคุณสมบัติที่ควรมีมีดังต่อไปนี้

มาตรฐานเหมาะสมสำหรับการใช้งาน ในปัจจุบันมาตรฐานที่นิยมใช้กันงานกันอยู่จะเป็นมาตรฐาน IEEE 802.11g ซึ่งรองรับอัตราความเร็วสูงสุดในระดับ 54 เมกะบิตต่อวินาที (Mbps) ซึ่งเพียงพอสำหรับการใช้งานโดยทั่วๆ ไปในปัจจุบันได้อย่างดี พร้อมกันนั้นก็ยังสนับสนุนการทำงานร่วมกันกับมาตรฐานเดิมอย่าง IEEE 802.11b ได้อย่างไรปัญหา แต่ในขณะนี้ก็เริ่มที่จะเห็นผู้ผลิตหลายๆ รายต่างส่งผลิตภัณฑ์ที่สนับสนุนเทคโนโลยี MIMO ออกมามากขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งเป็นที่คาดหมายกันว่า ในอนาคตอันใกล้นี้ เครือข่ายไร้สายที่ให้แบนด์วิดท์, ให้ประสิทธิภาพการใช้งานที่มากกว่าและมีรัศมีการทำงานที่ดีกว่านั้นจะเข้ามาทดแทนมาตรฐาน IEEE 802.11g เดิม แต่ผลิตภัณฑ์ที่จะใช้งานคุณสมบัติเหล่านี้ได้อย่างเต็มพิกัดจะต้องเป็นอุปกรณ์จากซีรีส์เดียวกัน ซึ่งตอนนี้ยังมีราคาแพงอยู่มาก การเลือกใช้อุปกรณ์สำหรับมาตรฐาน IEEE 802.11g จึงยังคงเป็นคำตอบที่คุ้มค่ามากที่สุดอยู่

ระบบอินเทอร์เน็ตเฟสแบบใหม่สำหรับคุณ การ์ดอีเทอร์เน็ตไร้สายก็มีหลายแบบหลายชนิดให้เราๆ ได้เลือกใช้เช่นเดียวกัน สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์แบบโน้ตบุ๊กคุณสมบัติแบบไร้สายจะถูกผนวกรวมมาพร้อมกับตัวเครื่องแล้ว แต่สำหรับท่านที่ยังต้องการการ์ดไร้สายสำหรับโน้ตบุ๊กตัวโปรดอยู่ Wireless PCMCIA Card ก็คือคำตอบสุดท้าย หรือถ้าอยากจะใช้งานร่วมกับเครื่องพีซีอย่างคุ้มค้ำก็ควรเลือกการ์ดแบบ USB Adapter ที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ราคาอาจจะแพงขึ้นมาหน่อยแต่ก็แลกมาด้วยความคุ้มค่าใช้งานได้หลากหลายกว่า สำหรับท่านที่มีเครื่องพีซีที่มีอินเทอร์เฟซแบบ PCI Card มาเป็นตัวเลือกเช่นเดียวกัน ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะมาพร้อมสายสัญญาณและเสาอากาศที่ตั้งบนที่สูงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการสื่อสารได้

ผลิตภัณฑ์เชื่อมโยงสัญญาณระหว่างกัน นอกจากจะสนับสนุนการทำงานในแบบ Ad-Hoc หรือ Peer-to-Peer แล้ว ระบบเครือข่ายไร้สายก็ยังสามารถใช้ Access Point เป็นจุดเชื่อมต่อสัญญาณกับเครือข่ายใช้สายเพื่อการแชร์การใช้ทรัพยากรร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพและตอบสนองความต้องการได้ยืดหยุ่นกว่า ในแบบ Infrastructure โดยถ้ายังไม่มีการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตหรือคิดตั้งระบบเครือข่ายมาก่อน ก็ควรจะเลือกใช้อุปกรณ์อย่าง Wireless Router ที่มีคุณสมบัติในแบบ All-in-One จะให้ความคุ้มค่าได้มากกว่า หรือถ้ามีการใช้งานเครือข่ายใช้สายและไร้สายอยู่ก่อนแต่ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพของการทำงาน การเลือกใช้ Access Point ที่สนับสนุนโหมดการทำงานแบบ Bridge และ Repeater รวมด้วย จะเป็นการลงทุนที่คุ้มค่ากว่า

ปกป้องการใช้งานด้วยระบบรักษาความปลอดภัย สิ่งที่ต้องใส่ใจเป็นพิเศษในการจัดซื้อผลิตภัณฑ์ระบบเครือข่ายไร้สายก็คือ การสื่อสารไร้สายนั้นเป็นการติดต่อสื่อสารด้วยการใช้คลื่นวิทยุที่แพร่ไปตามบรรยากาศ จึงต้องให้ความสนใจในการเข้ารหัสข้อมูล ทั้งนี้ก็เพื่อป้องกันการดักจับสัญญาณจากผู้ไม่ประสงค์ดี การเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ไร้สายจึงต้องคำนึงถึงฟังก์ชันการเข้ารหัสที่ใช้ ซึ่งเทคนิคที่ใช้งานโดยทั่วไป สำหรับผู้ใช้ตามบ้าน Wired Equivalent Privacy หรือ WEP ขนาด 64/128-bit ร่วมกับ MAC Address Filtering ก็ดูจะเพียงพอ แต่สำหรับการใช้งานภายในองค์กรนั้นเทคนิคการตรวจสอบและกำหนดสิทธิ์การใช้งานต้องดูแลแข็งแกร่งกว่าโดยเลือกใช้ WPA (Wi-Fi Protected Privacy) ซึ่งใช้หลักการเข้ารหัสที่น่าเชื่อถือร่วมกับเทคนิคการตรวจสอบและการกำหนดสิทธิ์ในแบบ 2 ฟังก์ชันแบบอื่นๆ อย่าง RADIUS รวมด้วยจึงเป็นคำตอบที่เหมาะสม

เสารับส่งสัญญาณของผลิตภัณฑ์ สำหรับเสาอากาศของการ์ดไร้สายนั้น ถ้าเป็นการ์ดแบบ PCMCIA และแบบ USB จะเป็นเสาอากาศ Built-in มาพร้อมตัวการ์ด ส่วนการ์ดแบบ PCI นั้นจะเป็นเสาอากาศแบบ Reverse-SMA Connector ซึ่งสามารถถอดออกได้ โดยที่พบเห็นจะเป็นทั้งในแบบเสาเดี่ยวๆ ที่หมุนเข้ากับตัวการ์ด และอีกแบบจะเป็นแบบที่มีสายนำสัญญาณต่อเชื่อมกับเสาที่ตั้งบนพื้นหรือยึดติดกับผนัง ได้ ซึ่งการเลือกซื้อนั้นควรเลือกซื้อเสาอากาศแบบหลัง เนื่องจากให้ความยืดหยุ่นในการติดตั้งมากกว่า เพราะสามารถติดตั้งบนที่สูงๆ ได้ สำหรับอุปกรณ์อย่าง Access Point หรือ Wireless Router นั้นจะมีเสานำสัญญาณทั้งในแบบเสาเดี่ยวและ 2 เสา โดยการเลือกซื้อนั้นควรเลือกซื้อแบบ 2 เสา เนื่องจากให้ประสิทธิภาพในการรับส่งสัญญาณที่ดีกว่า โดยลักษณะของเสานั้นจะมีทั้งในแบบที่ยึดติดกับเข้ากับตัวอุปกรณ์ ซึ่งส่วนใหญ่จะพบเห็นในรุ่นที่ออกแบบมาสำหรับผู้ใช้งานตามบ้าน และอีกแบบเป็นเสาที่สามารถถอดเปลี่ยนได้ ซึ่งหัวเชื่อมต่อนั้นจะเป็นทั้งแบบ Reverse-SMA Connector, SMA Connector และแบบ T-Connector ซึ่งถ้าจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนเสาอากาศควรจะต้องเลือกรื้อจากทางผู้ผลิตรายเดียวกันเพื่อให้แน่ใจว่าจะไม่ซื้อหัวเชื่อมต่อผิดประเภท สำหรับชนิดของเสาอากาศที่มีจำหน่ายจะมี 2 ชนิดหลักๆ ก็คือ แบบ Omni-Direction Antenna ซึ่งเป็นเสาที่ทุกผู้ผลิตให้มากับตัวผลิตภัณฑ์แล้ว โดยคุณสมบัติของเสาประเภทนี้ก็คือ การรับและส่งสัญญาณในแบบรอบทิศทางในลักษณะเป็นวงกลม ทำให้การกระจายสัญญาณนั้นมีรัศมีโดยรอบ ครอบคลุมพื้นที่ แต่ถ้าต้องการใช้งานที่มีลักษณะรับส่งสัญญาณเป็นเอกส่วนเป็นเอกส่วนที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับว่าเหมาะไปใช้ประโยชน์ตามการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นตรงเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการรับส่งและระยะทางตามต้องการก็มีเสาอีกชนิดหนึ่ง คือ Direction Antenna ซึ่งนิยมใช้งานกับผลิตภัณฑ์ประเภท Wireless Bridge สำหรับการสื่อสารในแบบ Point-to-Point สำหรับท่านที่ต้องการเพิ่มระยะทางการเชื่อมต่อให้ได้ไกลมากยิ่งขึ้น ก็สามารถเลือกซื้อเสาอากาศ High Gain ที่มีการขยายสัญญาณสูงกว่าเสาอากาศที่ทางผู้ผลิตให้มากับตัวอุปกรณ์ โดยมีให้เลือกใช้หลายแบบทั้งในแบบที่มีค่า Gain 5, 8, 12, 14 หรือสูงกว่าได้

กำลังส่งที่ปรับได้ สำหรับการใช้งานผลิตภัณฑ์ไร้สายนั้น การปรับกำลังส่งสัญญาณได้นับว่าเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของตัวผลิตภัณฑ์ โดยกำลังส่งสูงสุดจะไม่เกิน 100mW หรือ 20dBm ซึ่งผู้ผลิตบางรายจะมีผลิตภัณฑ์ที่สนับสนุนกำลังสูงสุดนี้ทีเดียว โดยค่ากำลังส่งที่มากก็แสดงว่า สามารถที่จะแพร่สัญญาณไปในระยะทางที่ไกล หรือให้รัศมีที่มากขึ้น แต่ก็สามารถปรับกำลังส่งให้ลดต่ำลงเพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้งานภายในองค์กรที่จะต้องใช้กำลังส่งให้เหมาะสมกับพื้นที่ เนื่องจากกำลังส่งสูงๆ อาจจะไปรบกวนสำนักงานข้างเคียงและอาจถูกลักลอบใช้งานระบบเครือข่ายไร้สายก็เป็นไปได้

การอัปเดตเฟิร์มแวร์เพื่อเพิ่มเติมคุณสมบัติใหม่ๆ อุปกรณ์สำหรับระบบเครือข่ายไร้สายโดยเฉพาะอย่างยิ่ง Access Point, Wireless Router หรือผลิตภัณฑ์ไร้สายประเภทอื่นๆ ทางผู้ผลิตก็อาจจะเพิ่มเติมคุณสมบัติใหม่ๆ ในภายหลัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องของฟังก์ชันการเข้ารหัส ซึ่งอุปกรณ์ที่ผลิตออกมาก่อนหน้าจะสนับสนุน WEP, WPA ซึ่งไม่เพียงพอสำหรับระบบรักษาความปลอดภัยที่ต้องการความน่าเชื่อถือสูงมากกว่า ทำให้ผู้ผลิตรายต่างๆ มีการออกเฟิร์มแวร์รุ่นใหม่ๆ ที่สนับสนุนการทำงานเพิ่มเติมอย่างทำให้รองรับ WPA2 ซึ่งเป็นฟังก์ชันการเข้ารหัสรุ่นใหม่ล่าสุดของอุปกรณ์ไร้สายออกมา ซึ่งผู้ผลิตจะมีเมนูเชื่อมโยงเว็บไซต์ เพื่อให้ผู้ใช้งานได้ดาวน์โหลดเฟิร์มแวร์รุ่นใหม่มาใช้งานได้

เคล็ดไม่ลับเพื่อความคุ้มค่าทั้งในวันนี้และในวันหน้า การใช้งานเครือข่ายไร้สายให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดนั้น ขึ้นอยู่กับความเข้ากันได้ของผลิตภัณฑ์ไร้สายด้วยเช่นกัน เพราะหากผลิตภัณฑ์ไร้สายของแต่ละผู้ผลิตไม่สามารถทำงานเข้ากันได้กับผู้ผลิตรายอื่นๆ ก็จะทำให้การใช้งานเครือข่ายไร้สายด้วยประสิทธิภาพลงไป ดังนั้นเพื่อให้การใช้งานเครือข่ายไร้สายได้ประสิทธิภาพและความคุ้มค่าในแบบเต็มเปี่ยม ควรเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดจากผู้ผลิตรายเดียวกัน ซีรีส์เดียวกัน หรือถ้าเลือกใช้จากผู้ผลิตก็ให้แน่ใจว่า เลือกใช้ชิปเซ็ตซึ่งสนับสนุนเทคโนโลยีเดียวกัน ก่อนการเลือกซื้อควรตรวจสอบความเข้ากันได้ของผู้ผลิตแต่ละราย โดยสังเกตได้จากตราสัญลักษณ์ที่ผ่านการรับรองจาก Wi-Fi ก่อน และควรตรวจสอบในรายละเอียดเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์ดังนี้

- ความเร็วในการรับส่งข้อมูล
- รัศมีของผลิตภัณฑ์เครือข่ายไร้สายที่ครอบคลุมถึง
- ความเข้ากันได้กับผลิตภัณฑ์ของผู้ผลิตรายอื่น
- Access Point หรือผลิตภัณฑ์ไร้สายอื่นมีความสามารถในการปรับเปลี่ยนช่องสัญญาณและกำลังส่งได้
- ผลิตภัณฑ์มีความน่าเชื่อถือเป็นที่ยอมรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การติดตั้งที่ง่ายและสะดวกในการใช้งาน
- ฟังก์ชันในการเข้ารหัสสัญญาณที่ใช้เพื่อความปลอดภัย
- มีการพัฒนาและมีซอฟต์แวร์ให้ดาวน์โหลดผ่านเว็บไซต์ของผู้ผลิต
- ผลิตภัณฑ์มีไฟแสดงสถานะการทำงาน
- ผลิตภัณฑ์มีเครื่องหมายแสดงการผ่านการตรวจสอบมาตรฐานจาก Wi-Fi Alliance

108 เมกะบิตต่อวินาทีจริงหรือ ?

ผู้ผลิตผลิตภัณฑ์สำหรับเครือข่ายไร้สายหลายรายต่างก็นำเสนอผลิตภัณฑ์ที่รองรับมาตรฐาน IEEE 802.11g ออกมาอย่างหลากหลาย แต่ได้ใช้เทคโนโลยีในการรับส่งข้อมูลที่แตกต่างกันออกไป ทำให้สามารถทำอัตราความเร็วได้มากถึงระดับ 108 เมกะบิตต่อวินาทีเลยทีเดียว และด้วยเทคโนโลยีที่แตกต่างกันนี้เองทำให้เกิดความไม่เข้ากันของผลิตภัณฑ์ที่รองรับ 108 เมกะบิตต่อวินาทีของแต่ละค่าย ซึ่งแบ่งออกได้ตามเทคโนโลยีที่ผู้ผลิตซิบเซต ไร้สายใช้ ดังนี้

- เทคโนโลยี Super G ของ Atheros
- เทคโนโลยี Nitro ของ Intersil ซึ่งปัจจุบันเปลี่ยนชื่อเป็น Conexant
- เทคโนโลยี Xpress ของ Broadcom

โดยเทคโนโลยีทั้ง 3 นี้ ใช้กระบวนการในการเพิ่มความสามารถของการเร่งอัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูลแบบ Packet Bursting หรือ Frame Bursting Technology ซึ่งออกแบบมาเพื่อแก้ปัญหาในการส่งข้อมูลแบบเดิมที่จะต้องมีการหยุดรอหลังจากส่งข้อมูลออกไป 1 ชิ้น (Packet) เพื่อตรวจสอบการใช้งานว่าขณะนี้มียุกรณ์ใดที่ใช้ช่องสัญญาณในการสื่อสาร ถ้าตรวจสอบพบว่าช่องสัญญาณว่างลงก็จะได้ส่งข้อมูล (Packet) ออกไปเป็นชุด ทำให้กรรมวิธีนี้สามารถส่งข้อมูลได้มากกว่า โดยเทคโนโลยี Nitro และ Xpress จะเน้นที่การเพิ่มความเร็วให้กับเครือข่ายไร้สายที่ผสมผสานกันระหว่างผลิตภัณฑ์มาตรฐาน IEEE 802.11b และ IEEE 802.11g ในขณะที่เทคโนโลยี Super G จะใช้งานร่วมกันกับกรรมวิธีอื่นๆ อีก เช่น Fast Frame, On-the-fly Data Compression/Decompression และ Dual-Channel Bonding สำหรับกรรมวิธี Fast Frame นั่นก็คือ การนำข้อมูลมาห่อหุ้มใหม่อีกชั้นหนึ่ง โดยรวมข้อมูลหลายๆ ชิ้นเข้าไว้ด้วยกัน แล้วจัดส่งไปในครั้งเดียว เพื่อการลดการเกิดโอเวอร์เฮดให้น้อยลง

Dual-Channel Bonding ทำงานโดยการรวมสัญญาณวิทยุ 2 ช่อง (Channel) เข้าด้วยกันเพื่อให้เป็นช่องสัญญาณเพียงช่องเดียว ซึ่งกรรมวิธีนี้ได้ก่อให้เกิดปัญหาตามมาเนื่องจากจะไปรบกวนการทำงานของช่องสัญญาณอื่นๆ ทำให้เครือข่ายไร้สายที่ไม่สนับสนุนเทคโนโลยี Super-G อาจด้อยประสิทธิภาพลง การแก้ปัญหาของ Super G ก็คือ การมีโหมดการใช้งาน 2 โหมด ให้เลือกใช้ คือ โหมด Dynamic Turbo ซึ่งสนับสนุนการใช้งานคุณสมบัติทั้งหมดของ Super G จึงเป็นโหมดที่เหมาะสมสำหรับใช้งานกับผลิตภัณฑ์ที่รองรับ Super G ทั้งหมด และโหมด b&g เป็นโหมดที่เหมาะสมสำหรับเครือข่ายไร้สายที่มีการใช้งานผลิตภัณฑ์ทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐาน IEEE 802.11b และ IEEE 802.11g ร่วมกันอยู่ในส่วนของเทคโนโลยี Nitro และ Xpress นั้น ได้รับการออกแบบมาสำหรับการใช้งานในแบบ Mixed Mode ซึ่งเมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่สนับสนุนมาตรฐาน IEEE 802.11b และ IEEE 802.11g มาใช้งานร่วมกันก็ไม่ได้ทำให้ประสิทธิภาพของการทำงานลดต่ำลงแต่ประการใด สำหรับการใช้งานผลิตภัณฑ์ที่รองรับอัตราความเร็ว 108 เมกะบิตต่อวินาทีจากผู้ผลิตกันนั้น ถ้าผู้ผลิตใช้ชิปเซ็ต ซึ่งสนับสนุนเทคโนโลยีเดียวกันก็สามารถใช้งานอัตราความเร็วในระดับนี้ได้ แต่ถ้าใช้เทคโนโลยีแตกต่างกัน อัตราความเร็วสูงสุดที่ใช้งานได้ก็จะเหลือเพียง 54 เมกะบิตต่อวินาที เท่านั้น

ผู้ผลิตหลายๆ รายต่างก็นำเสนอผลิตภัณฑ์ซีรีส์ Pre-N ออกสู่ตลาด โดยผนวกรวมความสามารถของเทคโนโลยี MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่เพิ่มอัตราความเร็วให้กับผลิตภัณฑ์ไร้สายมากกว่ามาตรฐาน IEEE 802.11g ถึง 600% และให้รัศมีการใช้งานมากกว่าเดิม 800% ร่วมด้วย โดย Pre-N เป็นผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่ผ่านการรับรองมาตรฐาน IEEE 802.11n ซึ่งจะเป็มาตรฐานของผลิตภัณฑ์เครือข่ายไร้สายในอนาคตอันใกล้นี้ สำหรับเทคโนโลยี Pre-N ได้ผนวกรวมมากับหลายผลิตภัณฑ์ของหลายๆ ผู้ผลิต ในขณะที่ข้อกำหนดของมาตรฐาน IEEE 802.11n ยังไม่ถึงเวลาสิ้นสุด การเลือกผลิตภัณฑ์ Pre-N เพื่อให้ความคุ้มค่าและประสิทธิภาพการใช้งานสูงสุด ควรเลือกซื้อจากผู้ผลิตรายเดียวกัน หรือผู้ผลิตที่ใช้เทคโนโลยีเดียวกันเท่านั้น เครือข่ายไร้สายช่วยให้ผู้ใช้งานได้รับความสะดวก สามารถปรับเปลี่ยน เคลื่อนย้าย ขยายขนาดได้ตลอดเวลา ด้วยความสะดวกสบายของเครือข่ายไร้สายทำให้ได้รับการยอมรับจากผู้ใ้เพิ่มมากขึ้นและมีพัฒนาการอย่างไม่หยุดยั้ง

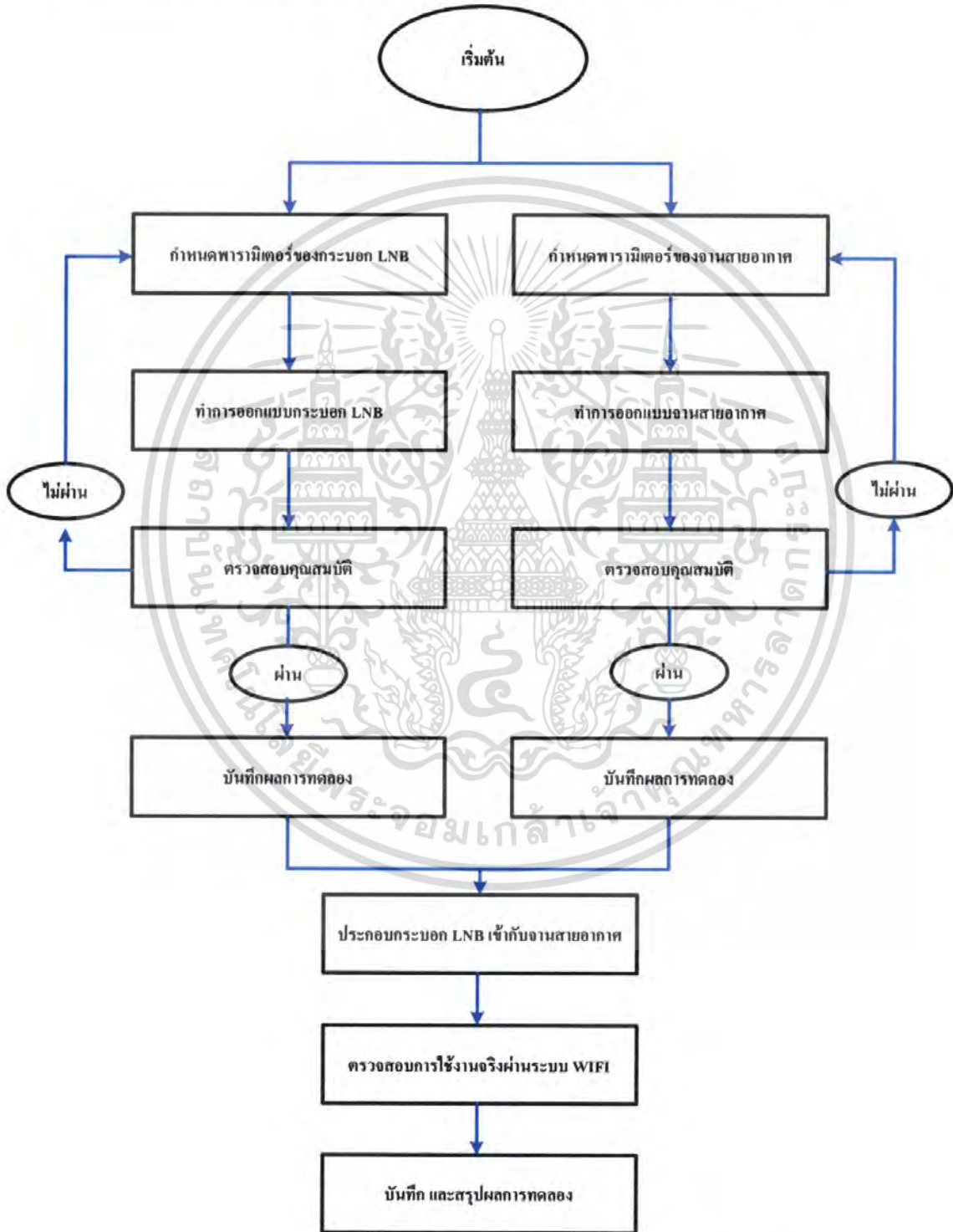
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

หลักการคำนวณและออกแบบ

3.1 หลักการออกแบบงานสายอากาศสะท้อนคลื่น (Reflector Antenna)

โดยการออกแบบงานสายอากาศจะมีขั้นตอนการทำงานตามบล็อกไดอะแกรมดังนี้



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการออกแบบงานสายอากาศสะท้อนคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้การคุ้มครองของกรมทรัพย์สินทางปัญญา ผู้ใช้ต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขและข้อควรระวังในการใช้งาน ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การคำนวณและการออกแบบระบบอก LNB

หลักการในการออกแบบที่สำคัญประการหนึ่งคือการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการสร้างสายอากาศโดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆของงานสายอากาศสะท้อนคลื่นจะเป็นไปดังนี้

3.2.1 การกำหนดช่วงความถี่ในการใช้งาน

เนื่องจากงานสายอากาศสะท้อนคลื่นเป็นสายอากาศที่มีทิศทางการแพร่กระจายทิศทางเดียวดังนั้นจึงเหมาะสมที่จะใช้ในการติดต่อสื่อสารแบบจุดต่อจุด โดยในหัวข้อโครงการนี้ได้กำหนดให้ใช้งานกับระบบสื่อสารไร้สายซึ่งจะใช้ความถี่ในช่วง 2.40 - 2.50 GHz โดยจะมีค่าความถี่หลักที่ใช้งานอยู่ที่ค่า 2.45 GHz

3.2.2 การกำหนดค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ

ในการกำหนดค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศนั้นเพื่อให้เหมาะสมกับอิมพีแดนซ์ของสายส่งที่นำมาต่อกับสายอากาศเนื่องจากในโครงการนี้ได้ใช้สายส่งที่มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ 50Ω ดังนั้นเพื่อความเหมาะสมกับสายอากาศจึงกำหนดให้สายอากาศมีค่าอินพุทอิมพีแดนซ์เท่ากับ 50Ω

3.2.3 การคำนวณหาค่าความยาวคลื่น

ในการติดต่อสื่อสารในช่วงความถี่ 2.45 GHz เราสามารถหาค่าความยาวคลื่น Wave length ในอากาศ (λ) และค่าความถี่ Cut-off (λ_c): Cut-off frequency หาค่าความยาวคลื่นจาก

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (3.1)$$

เมื่อ $c = 3 \times 10^8$ m/s และค่าความถี่ที่ใช้งาน $f = 2.45$ GHz

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{2.45 \times 10^9} = 12.245$$

เส้นรอบวงของระบบอก : 10.2 เซนติเมตร

ดังนั้น รัศมี (a) = 5.1 เซนติเมตร

จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \lambda_c &= 3.412a \\ &= 3.412 \times 5.1 \\ &= 17.405 \quad \text{เซนติเมตร} \end{aligned}$$

3.2.4 การคำนวณหาค่าความยาวของท่อ Guide Wave Length (λ_g)

จาก $\lambda = 12.245$

$\lambda_c = 17.405$

$$\lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_c}\right)^2}} \quad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ว่า

$$\lambda_g = \frac{12.245}{\sqrt{1 - \left(\frac{12.245}{17.405}\right)^2}}$$

$$\lambda_g = \frac{12.245}{\sqrt{1 - 0.495}}$$

$$\lambda_g = 18.4 \quad \text{เซนติเมตร}$$

ดังนั้น

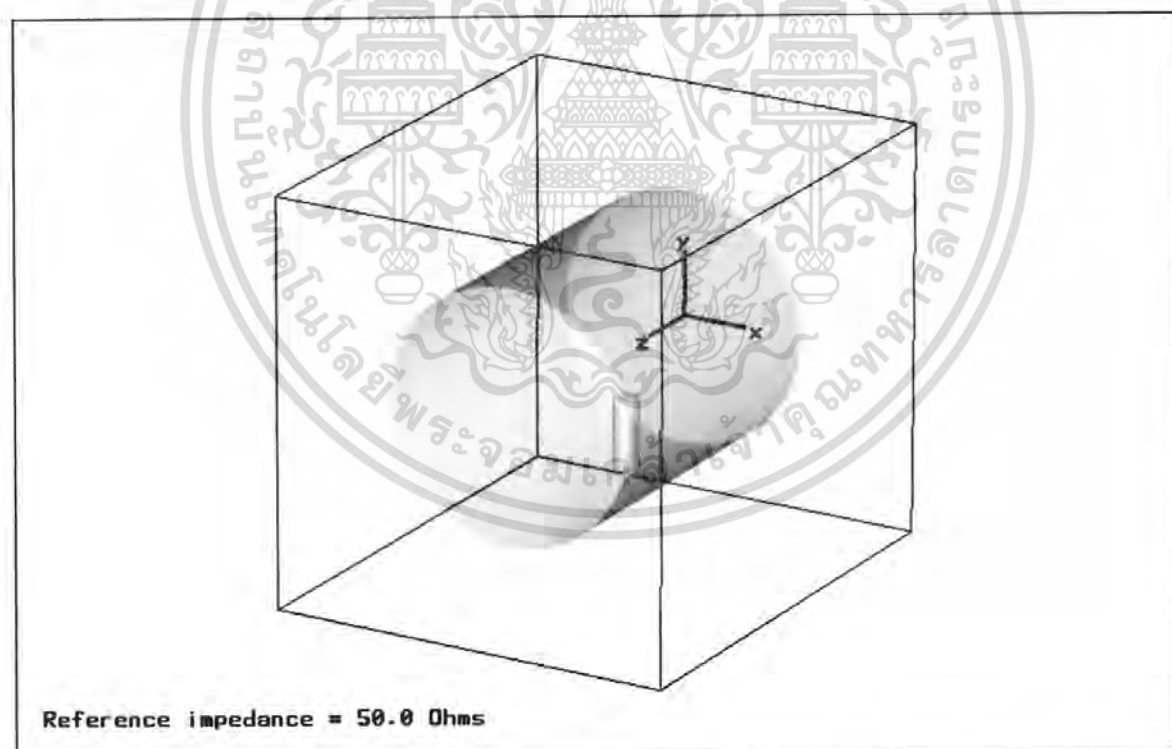
$$\lambda_g/4 = 4.6 \quad \text{เซนติเมตร}$$

$$\lambda_g/2 = 9.2 \quad \text{เซนติเมตร}$$

$$3\lambda_g/4 = 13.8 \quad \text{เซนติเมตร}$$

3.3 การจำลองการออกแบบกระบอก LNB ผ่านโปรแกรม CST

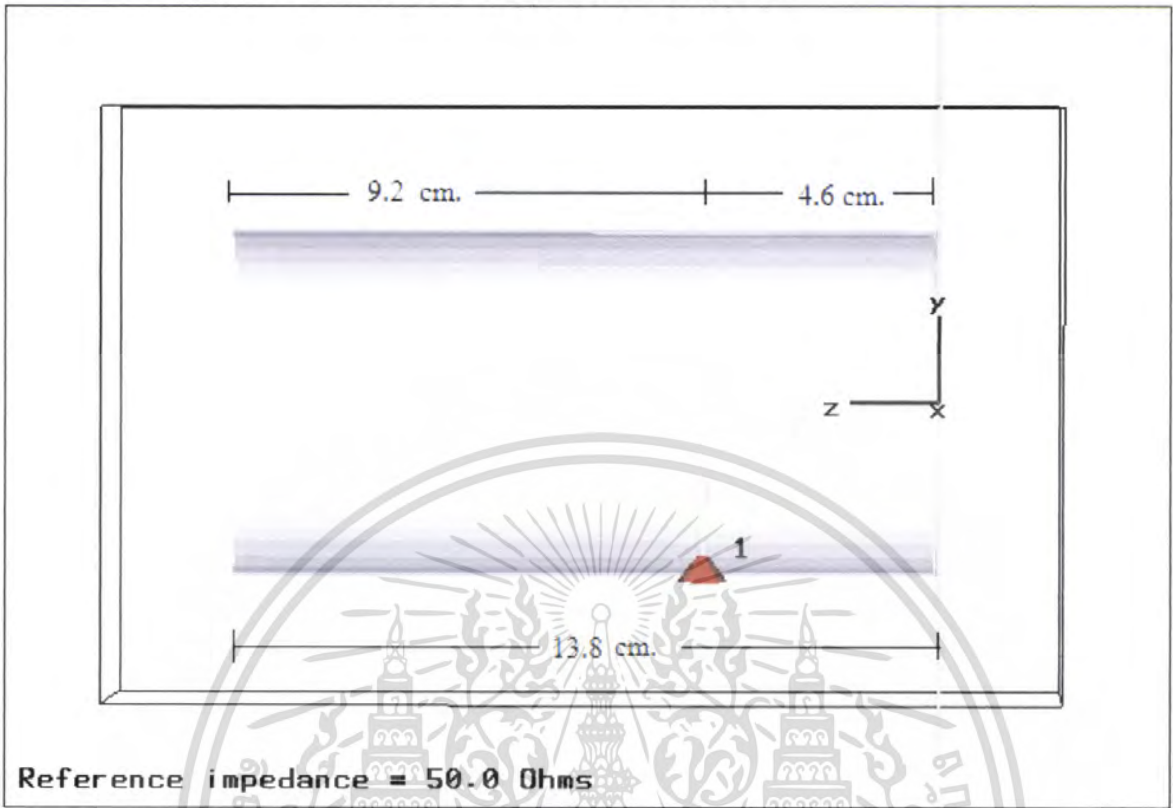
เมื่อได้องค์ประกอบของสายอากาศต่างๆที่เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการออกแบบแล้วจึงนำไป Simulate โดยจะใช้โปรแกรม CST (Computer Simulation Technology) เป็นส่วนสำคัญในการช่วยออกแบบ โดยเมื่อกำหนดองค์ประกอบต่างๆทั้งหมดแล้วจะได้ดังรูปที่ 3.2



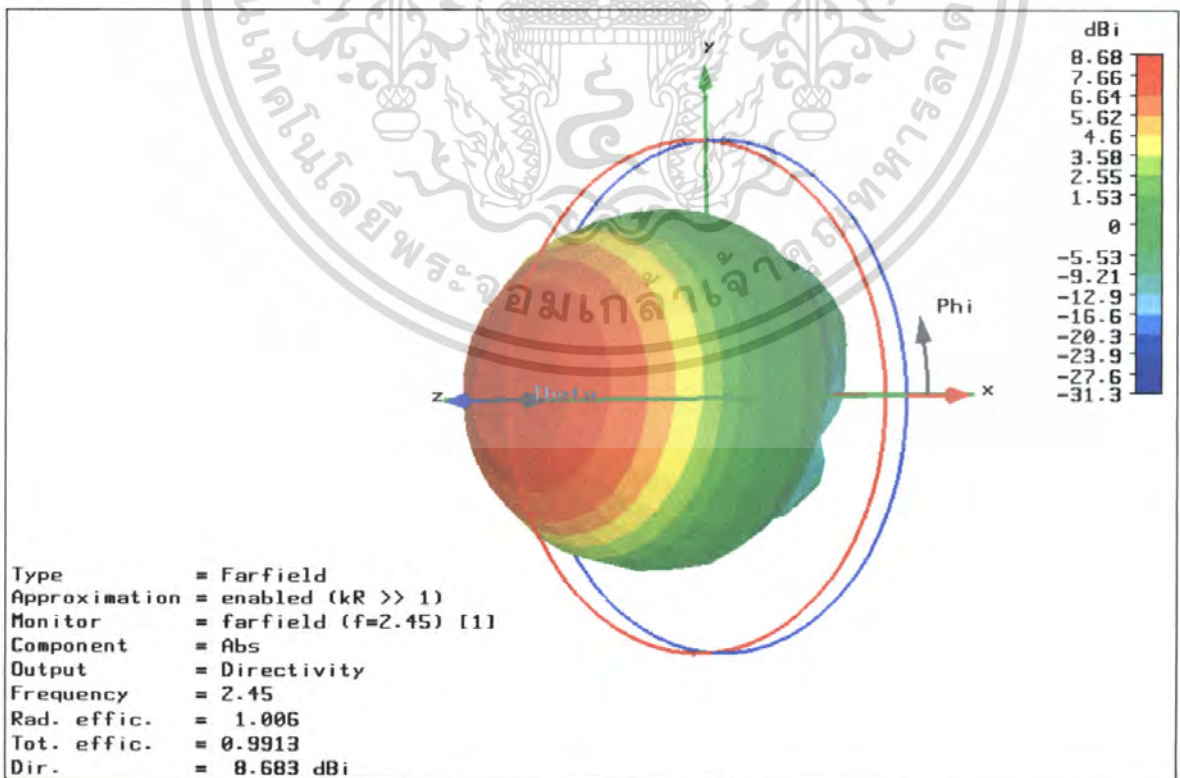
รูปที่ 3.2 สายอากาศที่ทำการออกแบบด้วยโปรแกรม CST

จากรูปที่ 3.2 เป็นรูปที่แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างที่ทำการออกแบบโดยใช้โปรแกรม CST โดยจากรูป จะมีความยาวของกระบอก LNB $3\lambda_g/4 = 13.8$ เซนติเมตร มีความยาวระหว่างจุดโพรบจนถึงก้นกระบอก $\lambda_g/4 = 4.6$ เซนติเมตร และมีความยาวโพรบ = 3 เซนติเมตร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจะแสดงรายละเอียดของโครงสร้างของสายอากาศดังรูปที่ 3.3



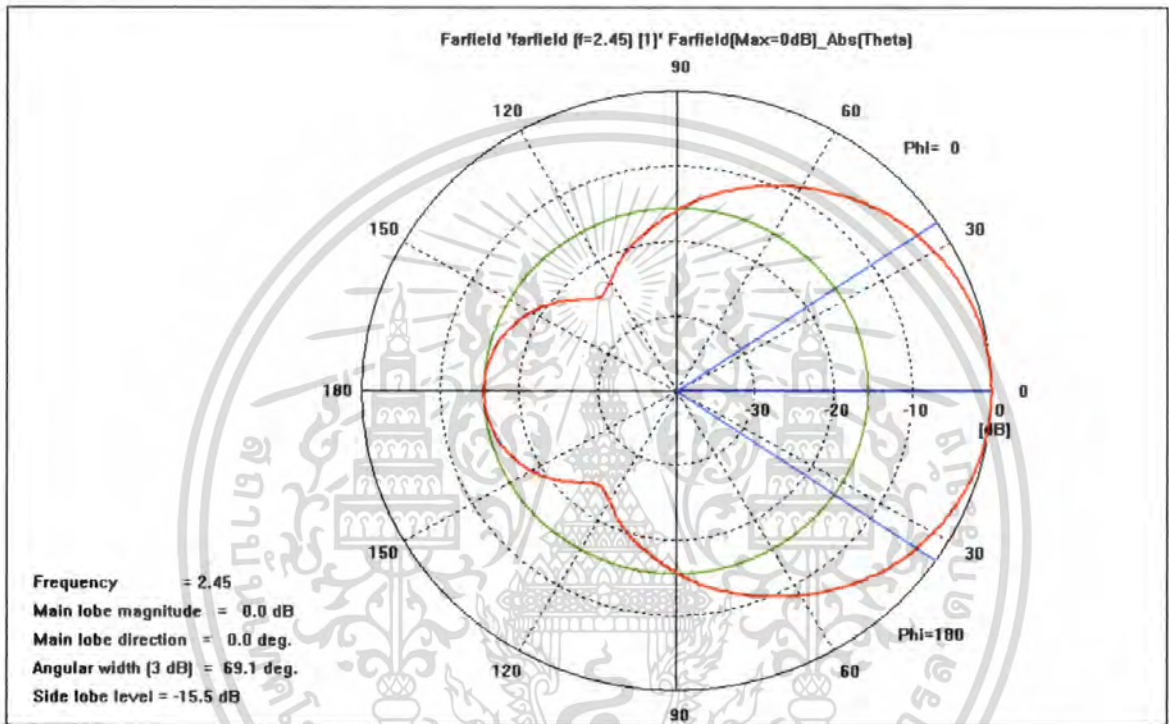
รูปที่ 3.3 รายละเอียดโครงสร้างของสายอากาศที่ทำการออกแบบ



รูปที่ 3.4 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบ 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

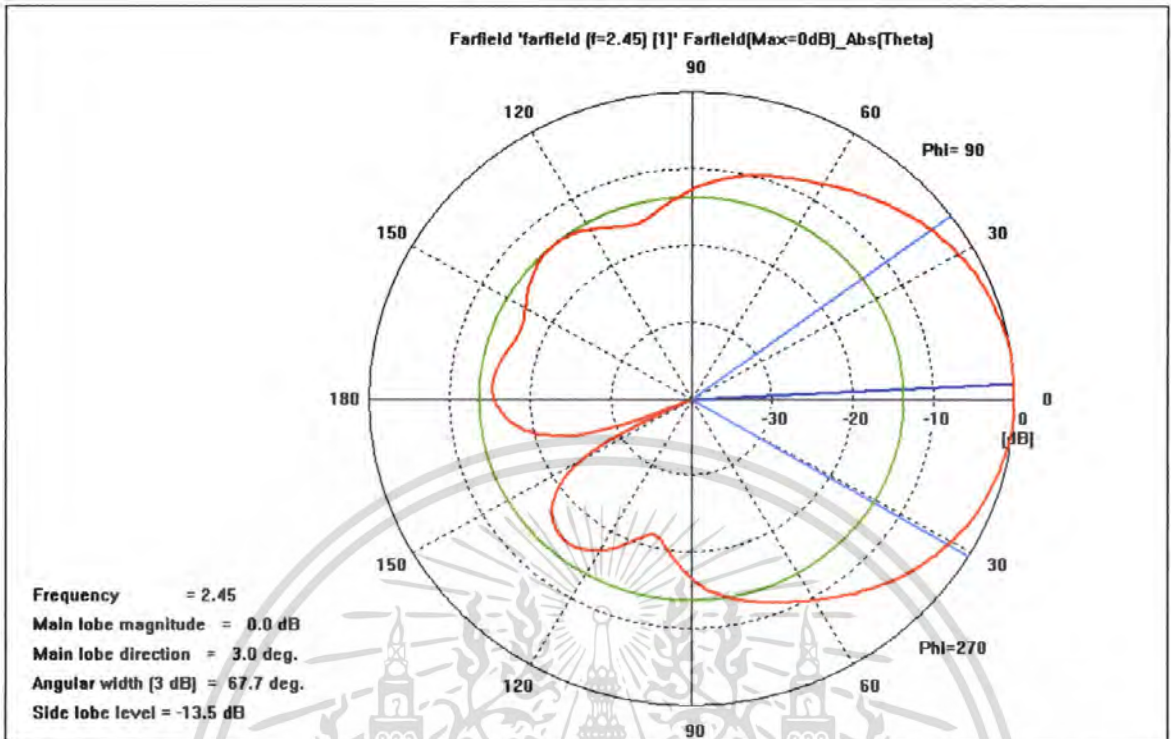
จากรูปที่ 3.4 เมื่อทำการพิจารณาที่สนามระยะไกลที่ความถี่ 2.45 GHz จะเห็นได้ว่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ทำการออกแบบจะเป็นแบบรูปการมีทิศทาง (Directional Patterns) คือสายอากาศจะมีลำคลื่นหลักแคบๆ เพียงลำคลื่นเดียว และจากการพิจารณาจะพบว่าสายอากาศจะเป็นแบบการแพร่กระจายคลื่นไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งและสามารถทำงานได้ในทิศทางที่ต้องการ โดยจะมีค่าการชี้ทิศทางสูงสุด (Directivity) = 8.683 dBi ซึ่งหมายถึงสายอากาศที่ทำการออกแบบได้เมื่อนำมาวัดค่าการชี้ทิศทางเมื่อเทียบกับสายอากาศไอโซทรอปิกจะมีค่า 8.863 dB



รูปที่ 3.5 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบ Polar ที่ในระนาบ H-Plane โดยมีค่า HPBW = 69.1 องศา

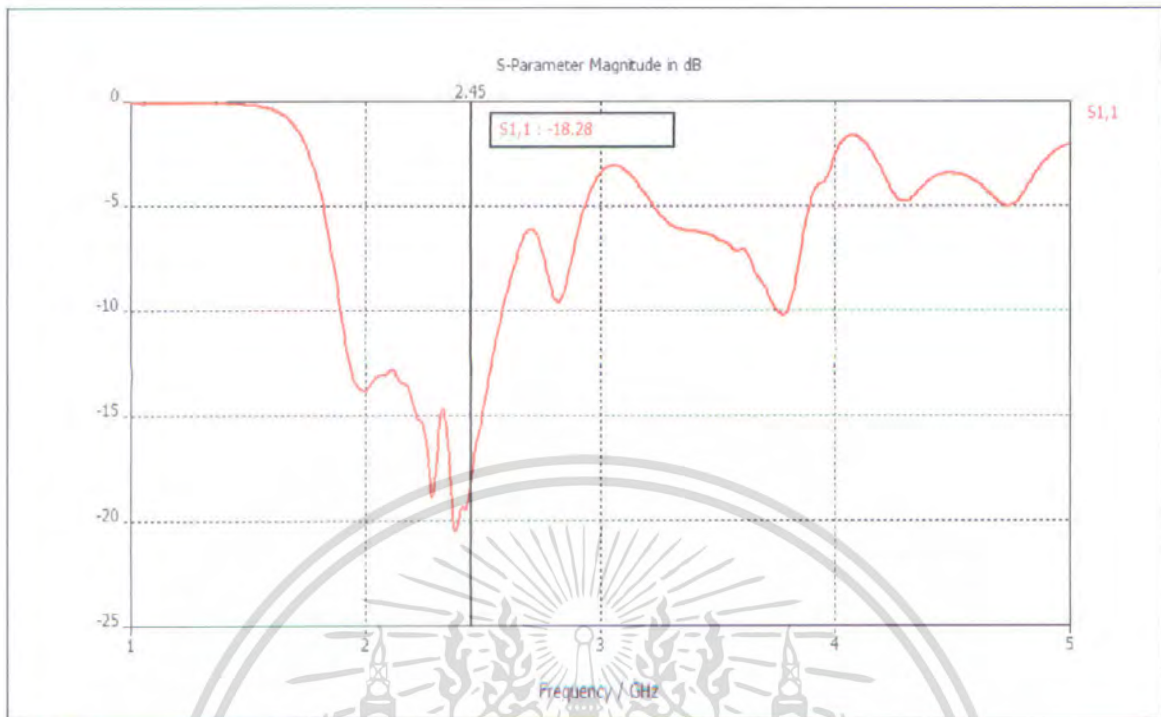
รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ H จะเป็นระนาบที่บรรจบจุดยอดของสนามแม่เหล็ก และทิศทางของการแพร่กระจายในทิศทางที่แรงที่สุด เมื่อพิจารณารูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ H ที่ได้จะมีค่าระดับของลำคลื่นย่อย = -15.5 dB โดยจะมีค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังงานลดลงครึ่งหนึ่ง (Half Power Beam width: HPBW) = 69.1 องศา และมีค่า Front to Back Ratio = 16 dB จากรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบ Polar ที่ในระนาบ H จะเห็นได้ว่าการออกแบบสามารถทำให้ได้รูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ H ที่มีทิศทางตรง ไม่มีการเบี่ยงเบนทิศทางออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบ Polar ที่ในระนาบ E-Plane โดยมีค่า HPBW = 67.7 องศา

รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ E จะเป็นระนาบที่บรรจุเวกเตอร์สนามไฟฟ้า และทิศทางการแพร่กระจายในทิศที่แรงที่สุด เมื่อพิจารณารูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่ในระนาบ E ที่ได้จะมีค่าระดับของลำคลื่นย่อย = -13.5 dB โดยจะมีค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังงานลดลงครึ่งหนึ่ง (Half Power Beamwidth: HPBW) = 67.7 องศา และมีค่า Front to Back Ratio = 16 dB จากรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบ Polar ที่ในระนาบ E จะเห็นได้ว่าการออกแบบสามารถทำให้ได้รูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ E ที่มีทิศทางตรงไม่มีการเบี่ยงเบนทิศทางออกไป



รูปที่ 3.7 การสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ (Return Loss) ซึ่งจะใช้งานได้ในช่วงความถี่ 2.40 - 2.50 GHz

ตารางที่ 3.1 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศในช่วงความถี่ที่ต้องการ

ความถี่ (GHz)	ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (dB)
2.40	-18.71
2.45	-18.28
2.50	-10.59

จะเห็นว่าความถี่ที่ใช้งานจริงคือ 2.45 GHz มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -18.28 dB ซึ่งเป็นค่าที่สามารถนำไปสร้างและใช้งานได้เพราะโดยทั่วไปแล้วจะกำหนดค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss) จะต้องมีค่าที่น้อยกว่า -10 dB ซึ่งจากผลการออกแบบโดยโปรแกรม CST ที่ได้ดังตารางที่ 3.1 นี้ จะเป็นการยืนยันว่าสายอากาศที่ทำการออกแบบนั้นสามารถทำงานได้ในช่วงความถี่ที่ต้องการใช้งาน โดยสามารถคิดเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ Bandwidth ดังนี้

$$\Delta f = \frac{f_H - f_L}{f_0} \times 100\% \quad (3.5)$$

โดยค่า

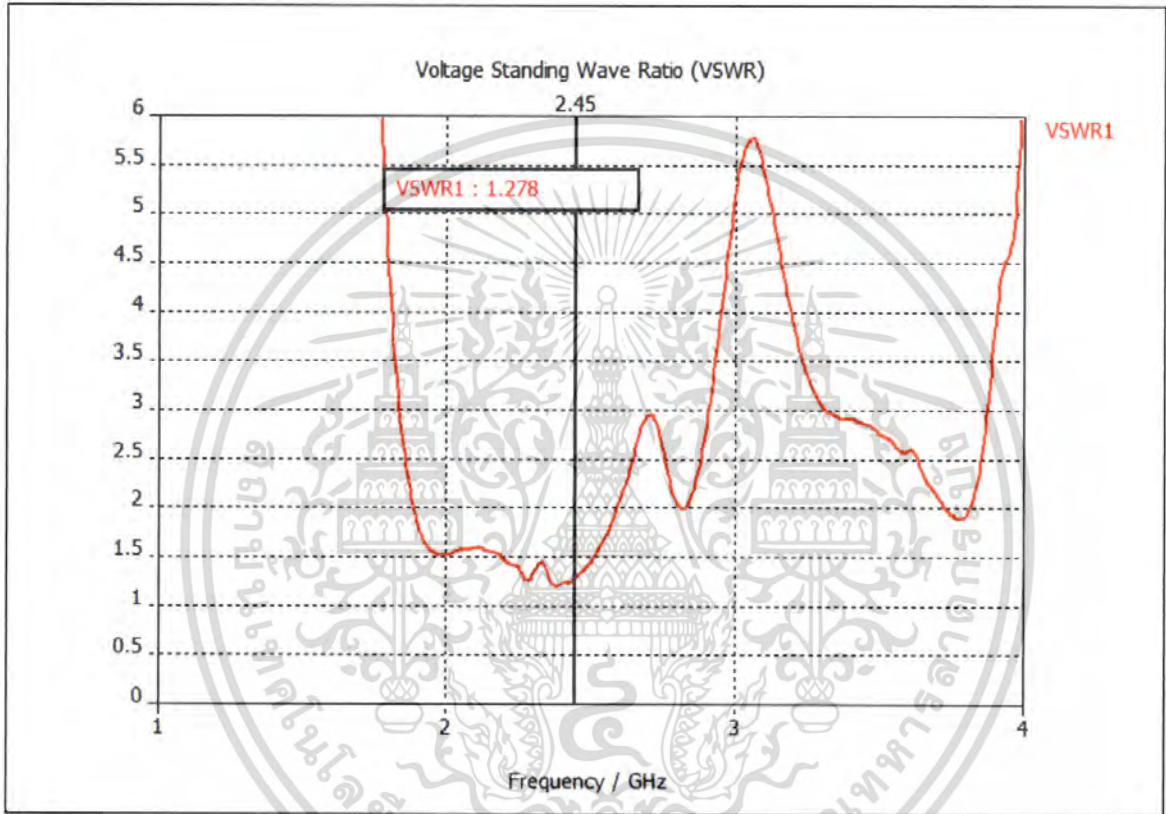
$$f_0 = \frac{2.50 + 2.40}{2} = 2.45 \text{ GHz}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta f = \frac{2.50 - 2.40}{2.45} \times 100\%$$

$$= 4.081\%$$

ดังนั้นค่าเปอร์เซ็นต์ Bandwidth จะมีค่าเท่ากับ 4.081 %



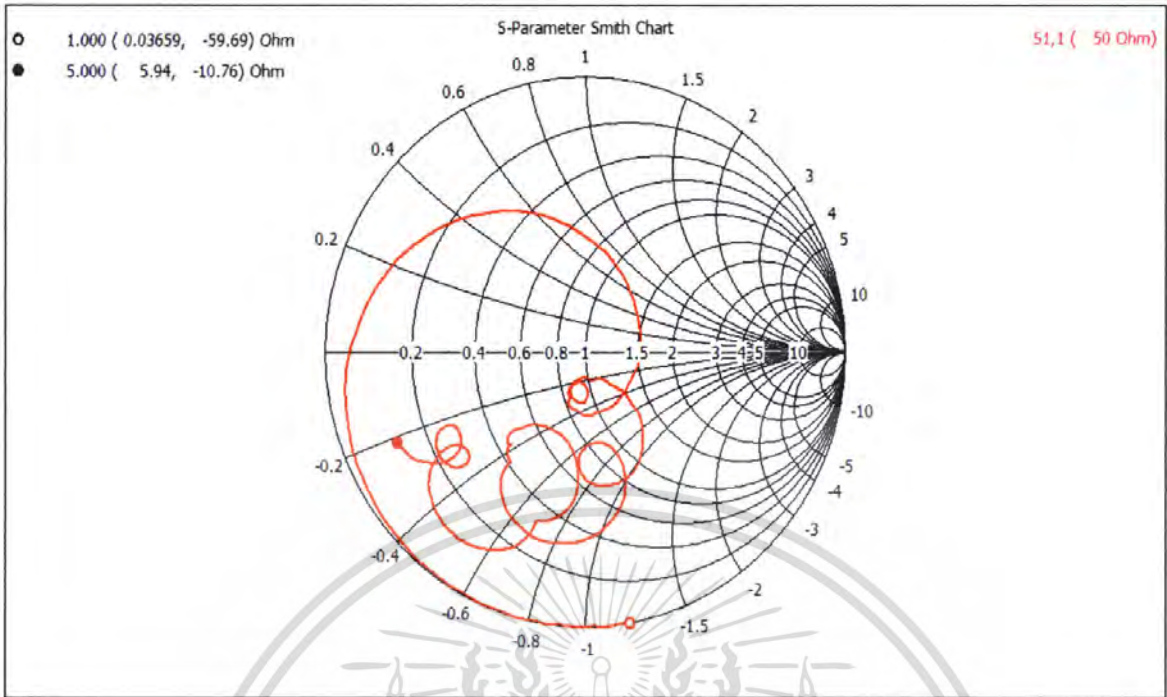
รูปที่ 3.8 ค่า VSWR จากผลการทดลองในช่วง 2.40-2.50 GHz

จากรูปค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ได้ในช่วงที่ต้องการใช้งานจะมีค่าที่ไม่เกิน 2: 1 แสดงดังตารางที่ 3.2 ดังนี้

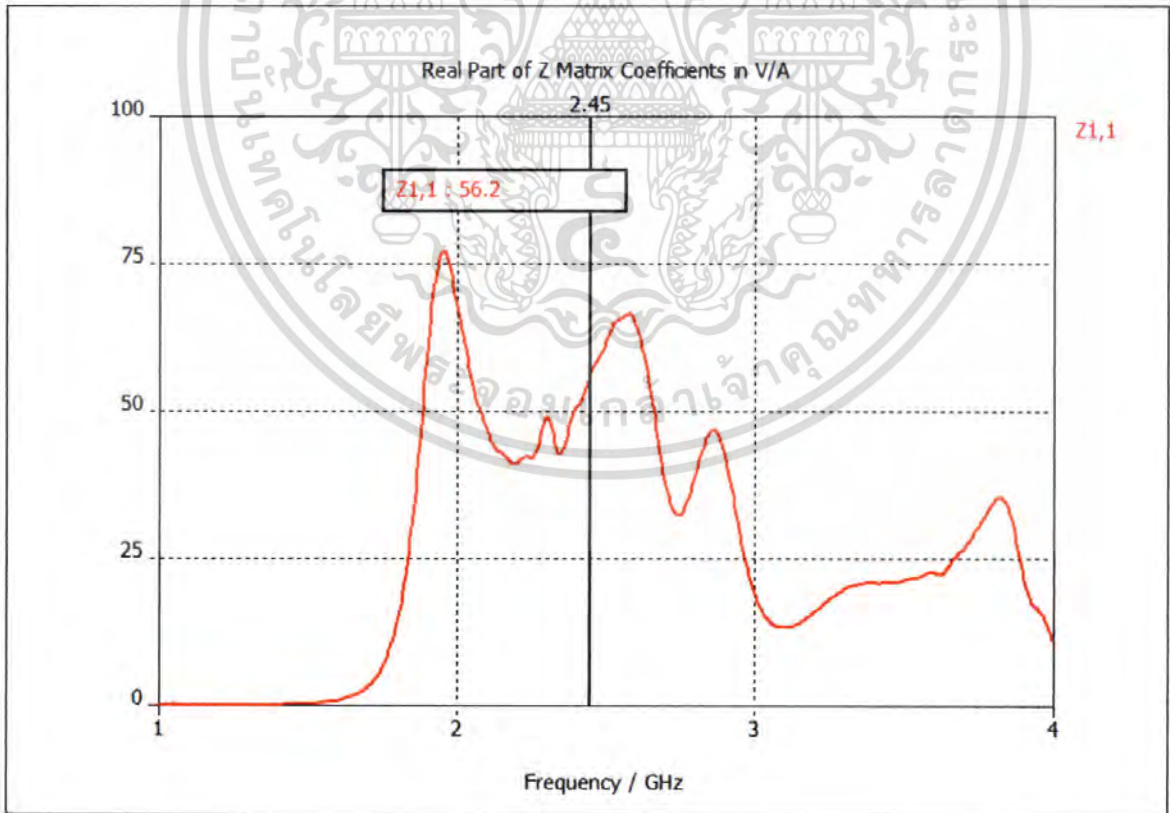
ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนคลื่นนิ่ง ของสายอากาศในช่วงความถี่ที่ต้องการ

ความถี่ (GHz)	ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง
2.40	1.262:1
2.45	1.278:1
2.50	1.975:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

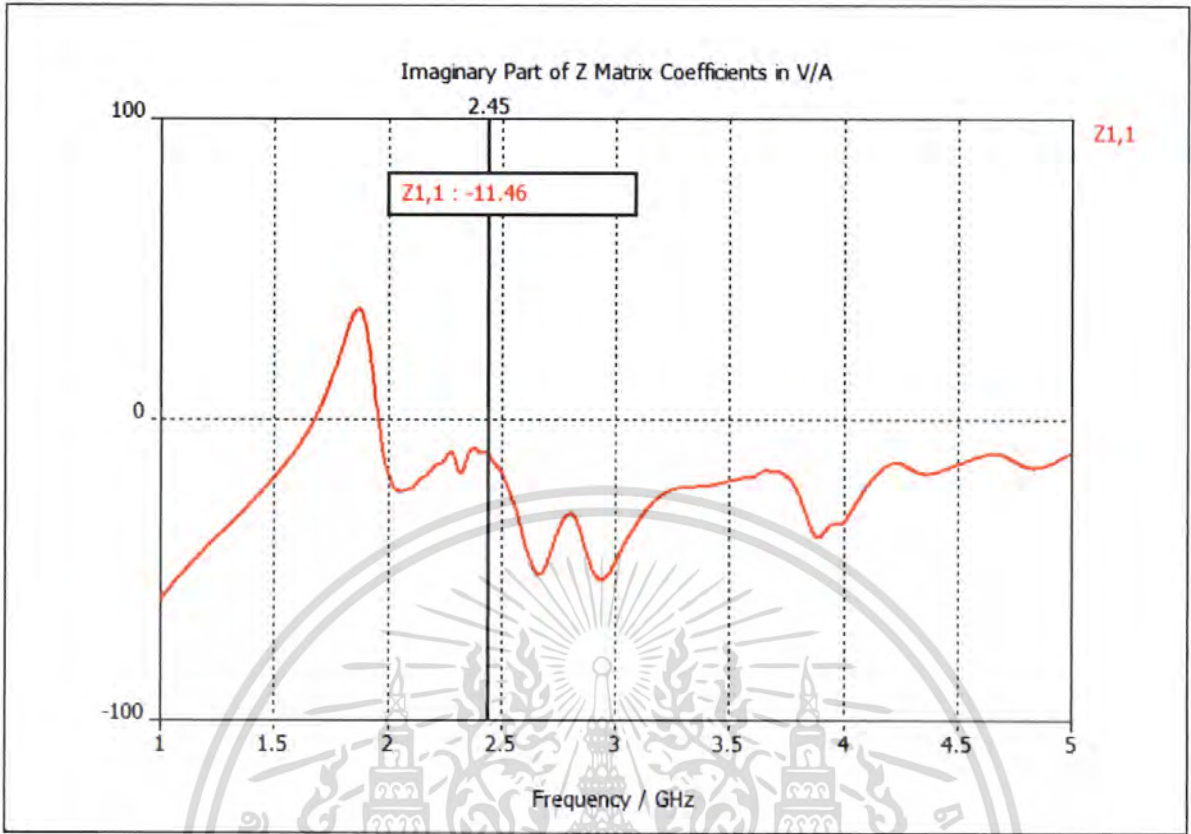


รูปที่ 3.9 ค่าคุณลักษณะเชิงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ



รูปที่ 3.10 ค่าส่วนจริงของอิมพีแดนซ์ซึ่งจะเห็นว่าที่ความถี่ 2.45 GHz มีค่าเท่ากับ 56.2 Ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ค่าส่วนจินตภาพของอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 2.45 GHz มีค่าเท่ากับ -11.40 Ω

จะเห็นว่าเมื่อนำค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ที่ได้จากโปรแกรม CST (Computer Simulation Technology) มาทำการคำนวณหาค่า Standing Wave Ratio (SWR) จากสูตร

$$SWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (3.6)$$

โดยที่
$$\Gamma = \frac{Z_A - Z_o}{Z_A + Z_o} \quad (3.7)$$

เมื่อ Z_A คือ Input impedance

Z_o คือ Output impedance โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 50 Ω

Γ คือ Reflection Coefficient

โดยค่า Input impedance (Z_A) ที่อ่านได้จากโปรแกรม CST มีค่าเท่ากับ 56.20 - j11.46 Ω

$$\Gamma = \frac{56.20 - j11.46 - 50}{56.20 - j11.46 + 50}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}\Gamma &= 0.069 - j0.1 \\ |\Gamma| &= \sqrt{(0.069)^2 + (-0.1129)^2} \\ &= 0.1215 \\ SWR &= \frac{1 + 0.1215}{1 - 0.1215} \\ &= 1.276 \\ SWR &= 1.276:1\end{aligned}$$

จะเห็นว่าค่า SWR ที่ได้จากการคำนวณมีค่าตรงกับค่าที่โปรแกรมคำนวณให้ ซึ่งสามารถจะนำไปใช้ได้เพราะ โดยทั่วไปค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้สำหรับสายอากาศ คือค่าของ SWR ไม่ควรมีค่ามากกว่า 2:1

3.3.1 ระยะห่างระหว่างตัวรับ - ส่งของกระบอก LNB

การวัดแบบรูปของการแพร่กระจายคลื่นนั้นจะต้องทำการพิจารณาที่บริเวณสนามระยะไกล (Far Field) ของสายอากาศ

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda} \quad (\text{เซนติเมตร}) \quad (3.8)$$

เมื่อ R = ระยะห่างระหว่างสายอากาศ (เซนติเมตร)

D = คือมิติที่กว้างที่สุดของสายอากาศ (เซนติเมตร)

จากสายอากาศที่ทำการออกแบบและสร้าง

$D = 10.2$ เซนติเมตร และ $\lambda = 12.245$ เซนติเมตร

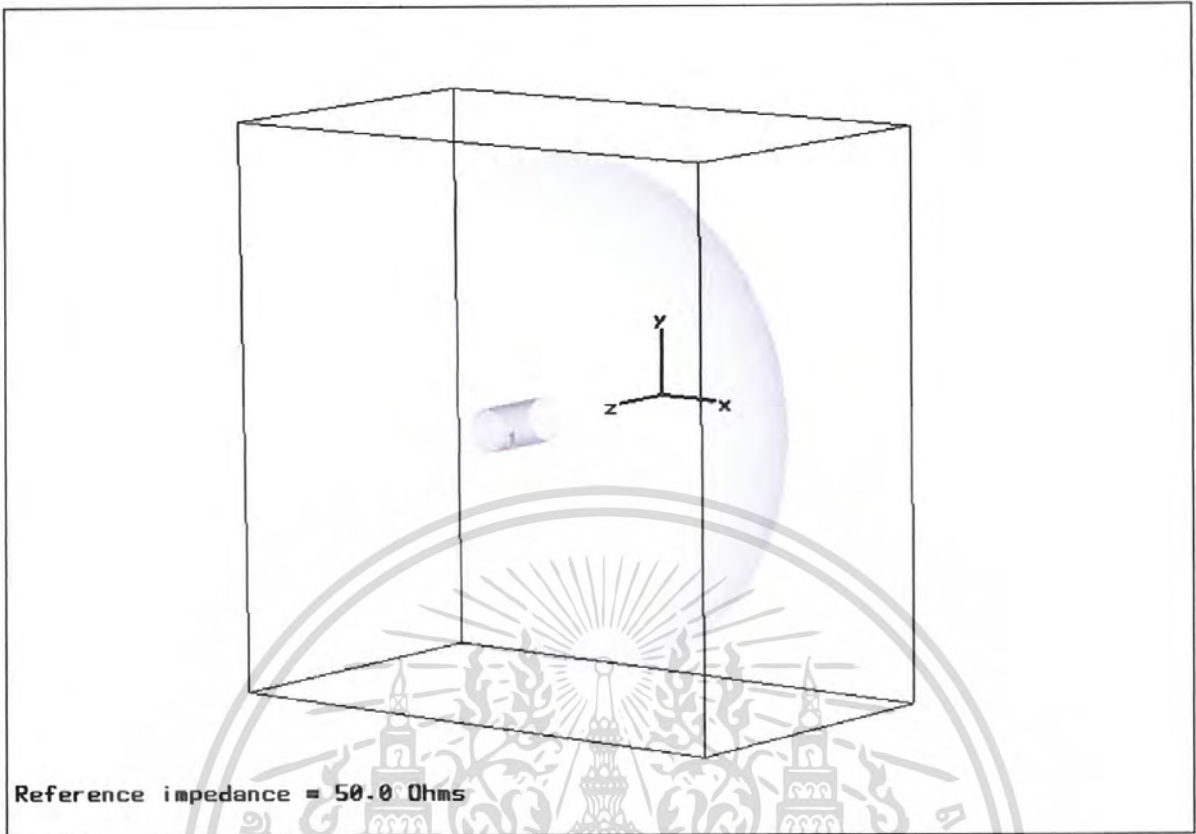
$$R \geq \frac{2(10.2)^2}{12.245}$$

$$R \geq 16.92 \quad \text{เซนติเมตร}$$

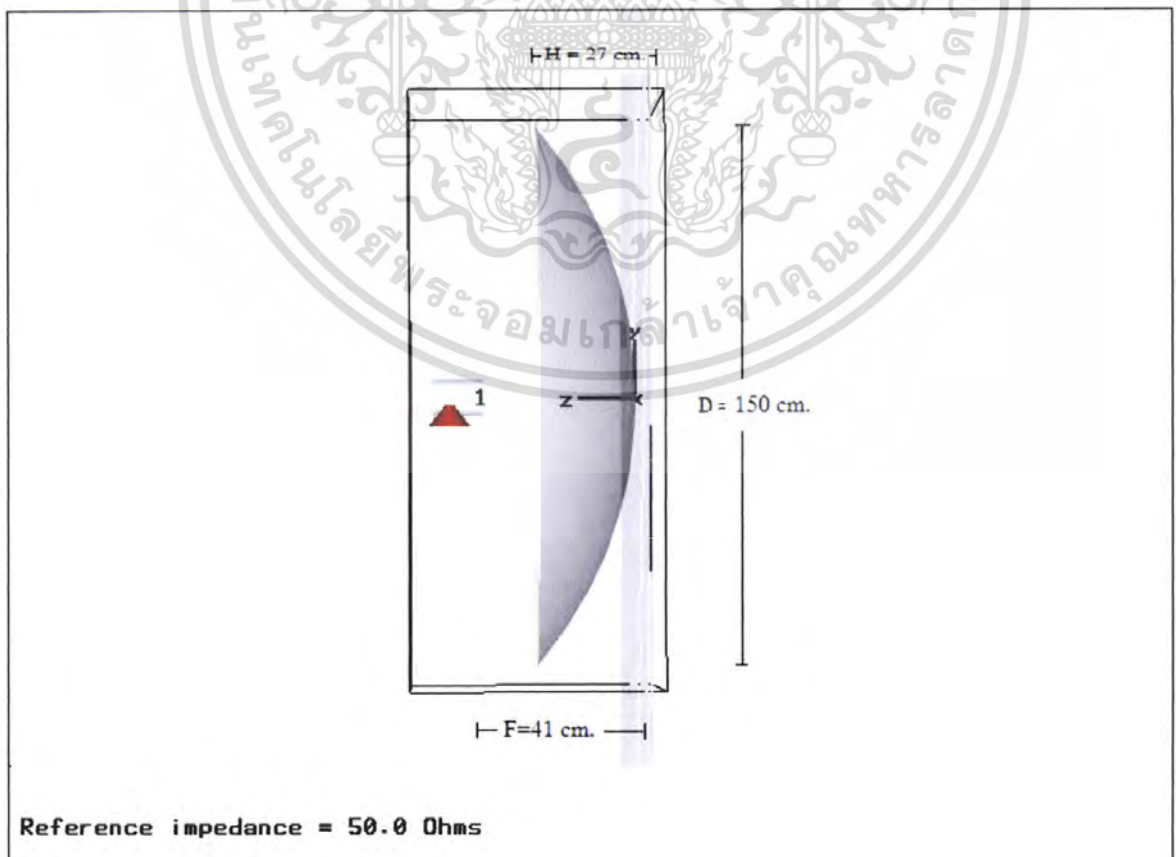
ซึ่งจะได้ค่าระยะห่างของสายอากาศที่ทำการทดสอบโดยต้องมีระยะห่างที่มากกว่า 16.92 เซนติเมตร

3.4 การคำนวณ และการออกแบบงานสายอากาศสะท้อนคลื่นกับกระบอก LNB

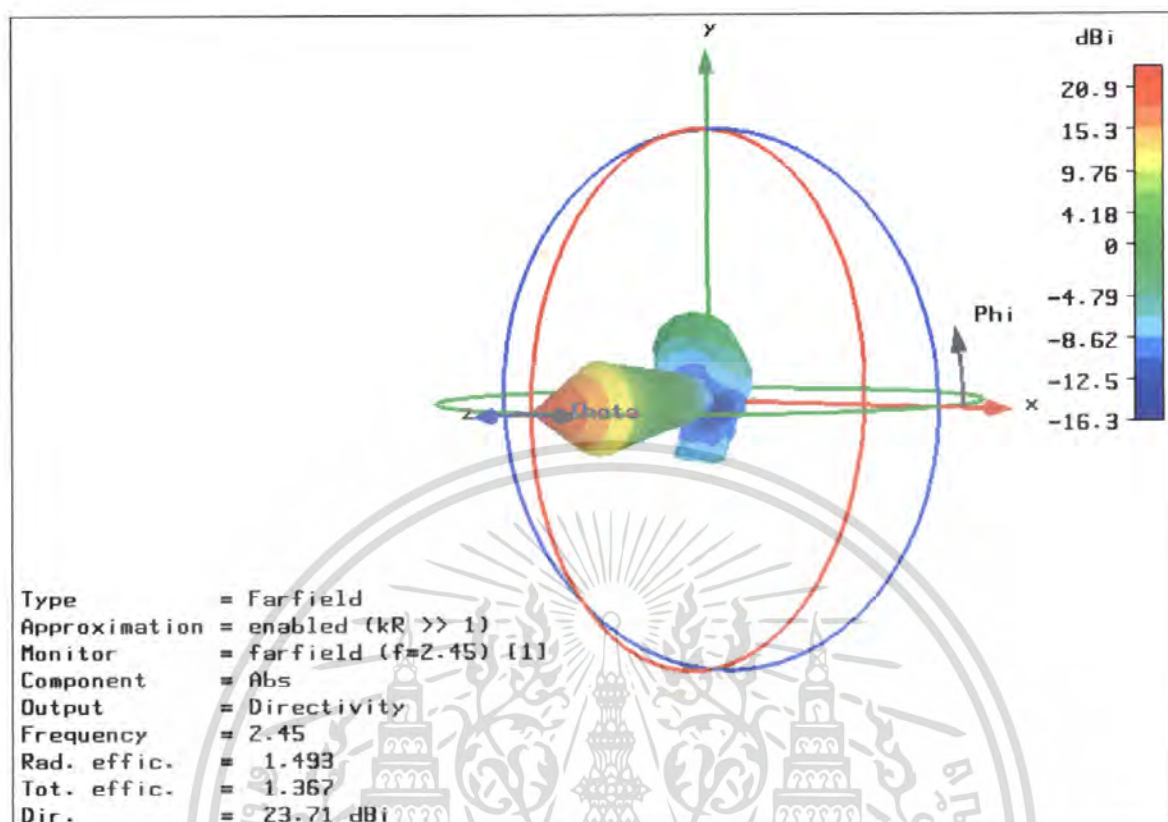
เมื่อได้องค์ประกอบของสายอากาศต่างๆ ที่เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการออกแบบแล้ว นำกระบอก LNB ข้างต้น มาทำการประกอบกับงานสายอากาศแล้วนำไปทำการ Simulate โดยจะใช้โปรแกรม CST (Computer Simulation Technology) เป็นส่วนสำคัญในการช่วยออกแบบ โดยเมื่อกำหนดองค์ประกอบต่างๆทั้งหมดแล้วจะได้ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 งานสายอากาศที่ทำการออกแบบด้วยโปรแกรม CST

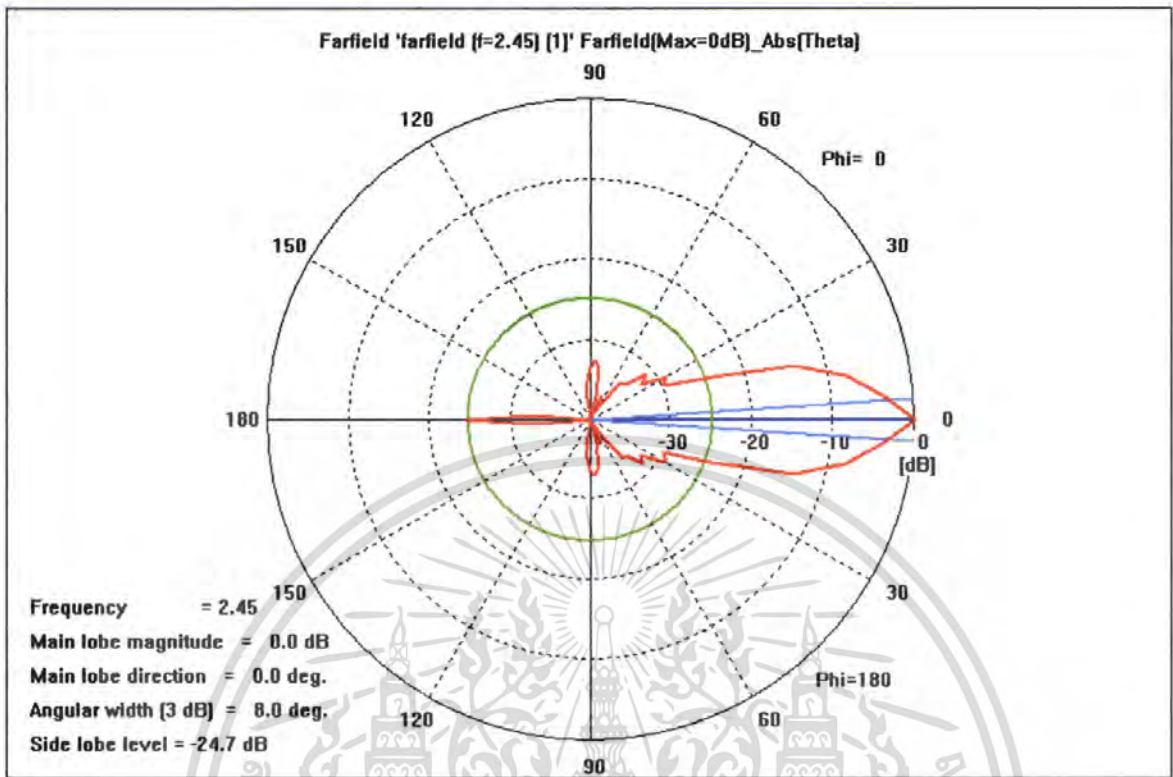


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 รูปที่ 3.13 รายละเอียดโครงสร้างของงานสายอากาศที่ทำการออกแบบ
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



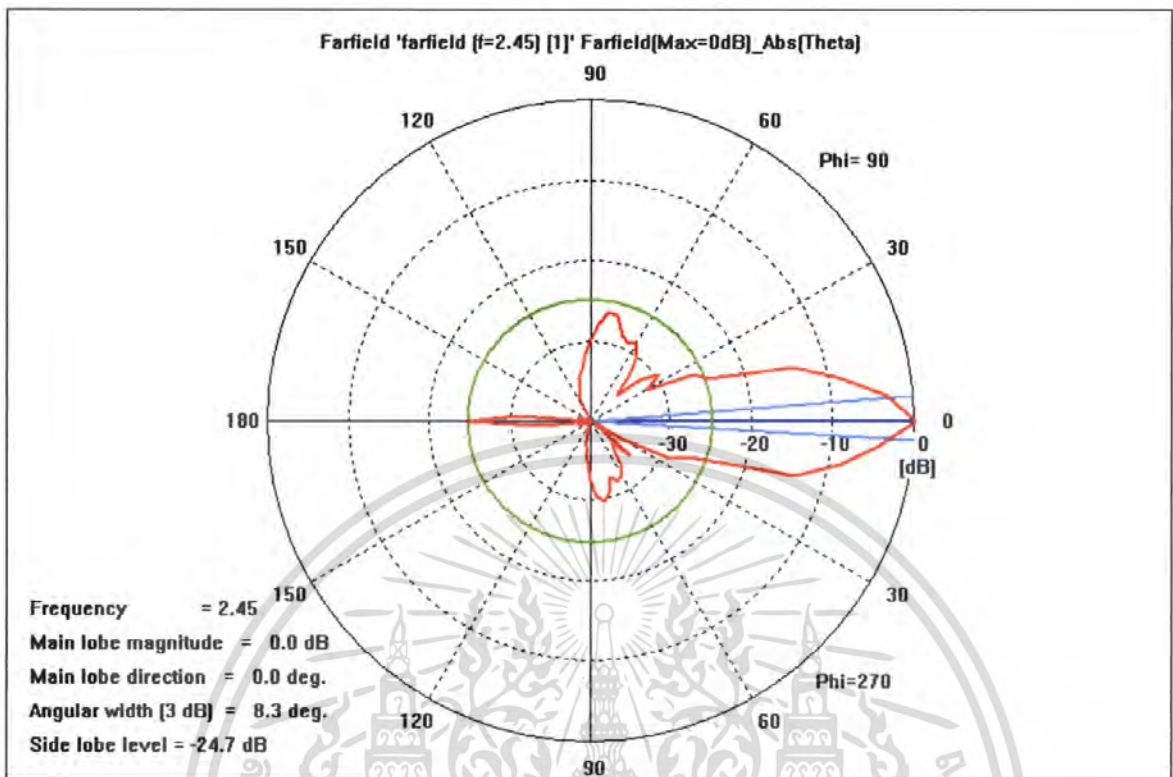
รูปที่ 3.14 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบ 3 มิติ

จากรูปที่ 3.14 เมื่อทำการพิจารณาที่สนามระยะไกลที่ความถี่ 2.45 GHz จะเห็นได้ว่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ทำการออกแบบจะเป็นแบบรูปการมีทิศทาง (Directional Patterns) คือสายอากาศจะมีลำคลื่นหลักแคบๆ เพียงลำคลื่นเดียว และจากการพิจารณาจะพบว่าสายอากาศจะเป็นการแพร่กระจายคลื่นไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง และสามารถทำงานได้ในทิศทางที่ต้องการ โดยจะมีค่าการชี้ทิศทางสูงสุด (Directivity) = 23.71 dBi ซึ่งหมายถึงสายอากาศที่ทำการออกแบบได้เมื่อนำมาวัดค่าการชี้ทิศทางเมื่อเทียบกับสายอากาศไอโซทรอปิกจะมีค่า 23.71 dB



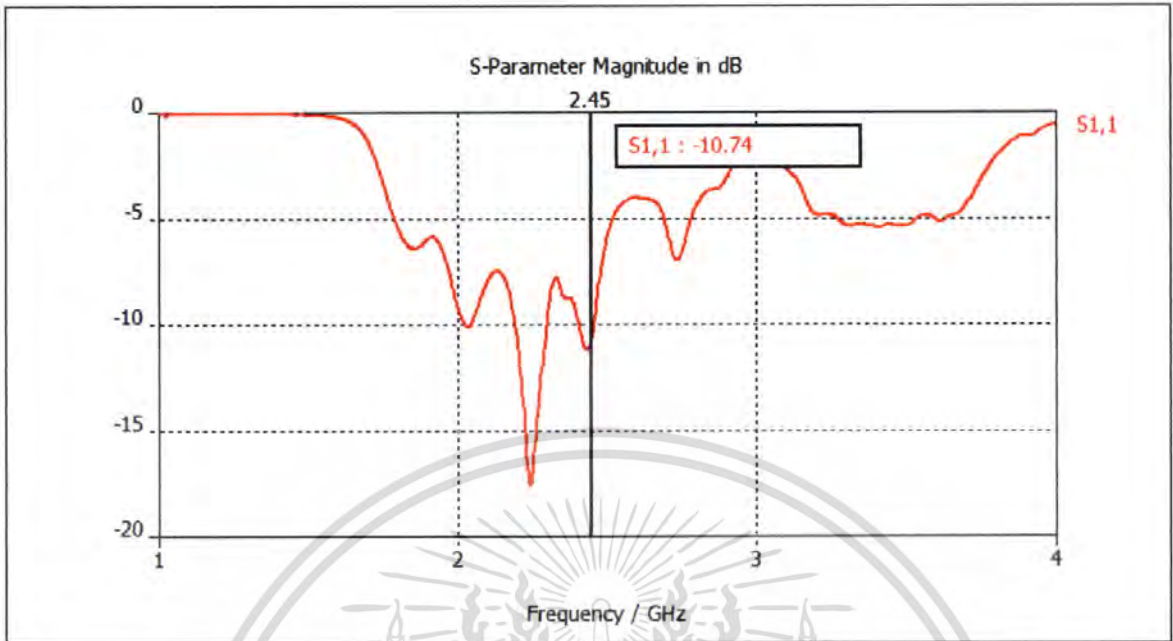
รูปที่ 3.15 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบ Polar ที่ในระนาบ H-Plane โดยมีค่า HPBW = 8 องศา

จากรูปที่ 3.15 เมื่อทำการพิจารณาที่สนามระยะไกลที่ความถี่ 2.45 GHz จะเห็นได้ว่ารูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ H จะเป็นระนาบที่บรรจุเวกเตอร์สนามแม่เหล็ก และทิศทางการแพร่กระจายในทิศที่แรงที่สุด เมื่อพิจารณารูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ H ที่ได้จะมีค่าระดับของลำคลื่นย่อย = -24.7 dB โดยจะมีค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังงานลดลงครึ่งหนึ่ง (Half Power Beamwidth: HPBW) = 8 องศา และมีค่า Front to Back Ratio = 25 dB จากรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบ Polar ที่ในระนาบ H จะเห็นได้ว่าการออกแบบสามารถทำให้ได้รูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ H ที่มีทิศทางตรงไม่มีการเบี่ยงเบนทิศทางออกไป



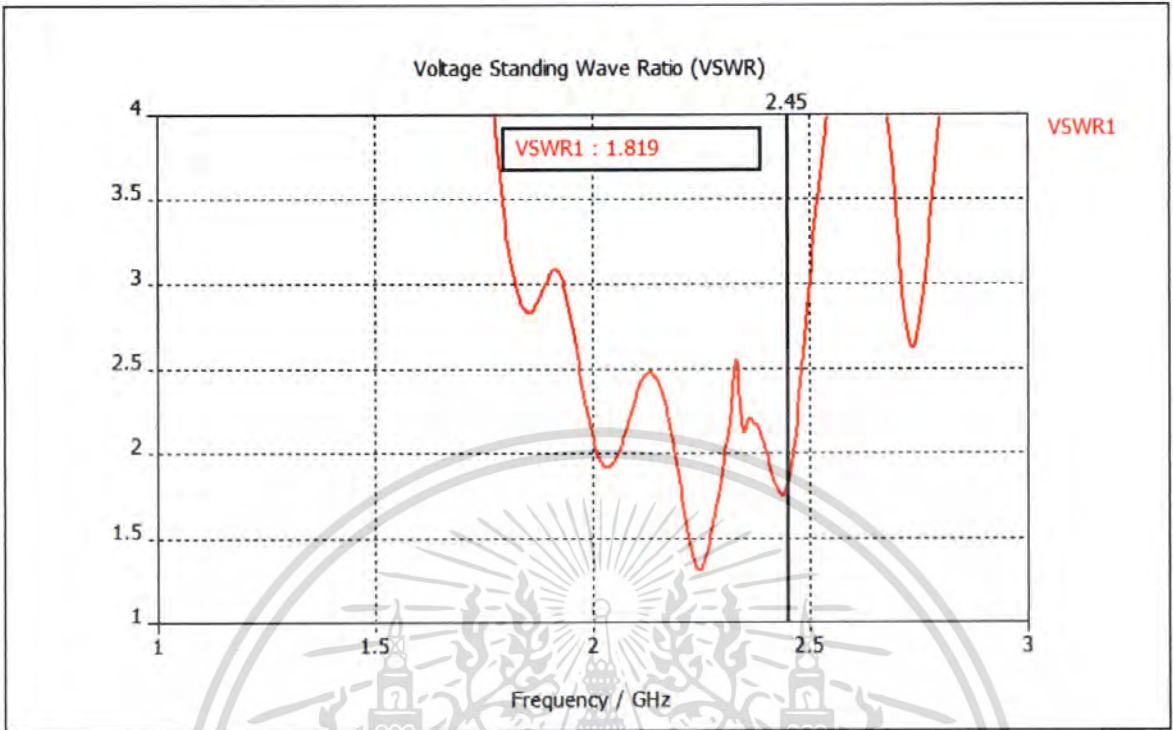
รูปที่ 3.16 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบ Polar ที่ในระนาบ E-Plane โดยมีค่า HPBW = 8.3 องศา

จากรูปที่ 3.16 เมื่อทำการพิจารณาที่สนามระยะไกลที่ความถี่ 2.45 GHz จะเห็นได้ว่ารูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ E จะเป็นระนาบที่บรรจุเวกเตอร์สนามไฟฟ้า และทิศทางการแพร่กระจายในทิศที่แรงที่สุด เมื่อพิจารณารูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่ในระนาบ E ที่ได้จะมีค่าระดับของลำคลื่นย่อย = -24.7 dB โดยจะมีค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังงานลดลงครึ่งหนึ่ง (Half Power Beamwidth: HPBW) = 8.3 องศา และมีค่า Front to Back Ratio = 25 dB จากรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบ Polar ที่ในระนาบ E จะเห็นได้ว่าการออกแบบสามารถทำให้ได้รูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ E ที่มีทิศทางตรงไม่มีการเบี่ยงเบนทิศทางการออกไป



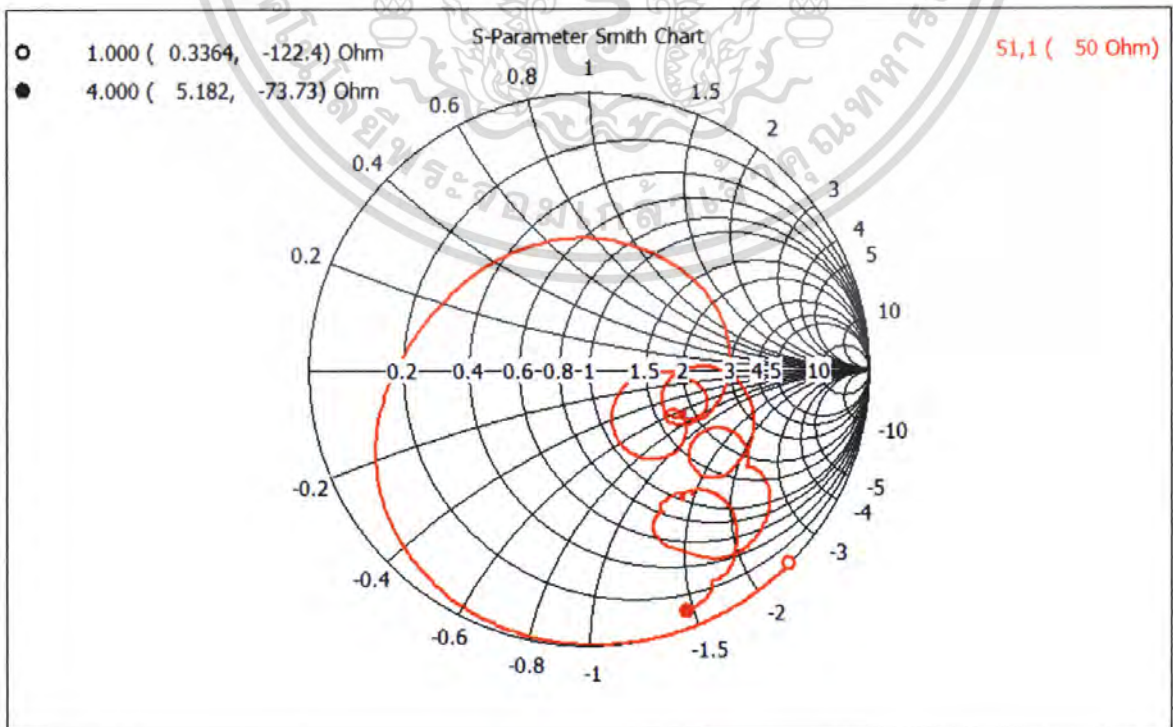
รูปที่ 3.17 การสูญเสียย้อนกลับของงานสายอากาศ (Return Loss) ซึ่งจะใช้งานได้ในช่วงความถี่ 2.40 - 2.50 GHz

จากรูปที่ 3.17 เมื่อทำการพิจารณาที่สนามระยะไกลที่ความถี่ 2.45 GHz จะเห็นได้ว่ารูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ E มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -10.74 dB ซึ่งเป็นค่าที่สามารถนำไปสร้างและใช้งานได้เพราะโดยทั่วไปแล้วจะกำหนดค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss) จะต้องมีค่าที่น้อยกว่า -10 dB ซึ่งจากผลการออกแบบโดยโปรแกรม CST ที่ได้ นี้จะเป็นการยืนยันว่าสายอากาศที่ทำการออกแบบนั้นสามารถทำงานได้ในช่วงความถี่ที่ต้องการใช้งาน

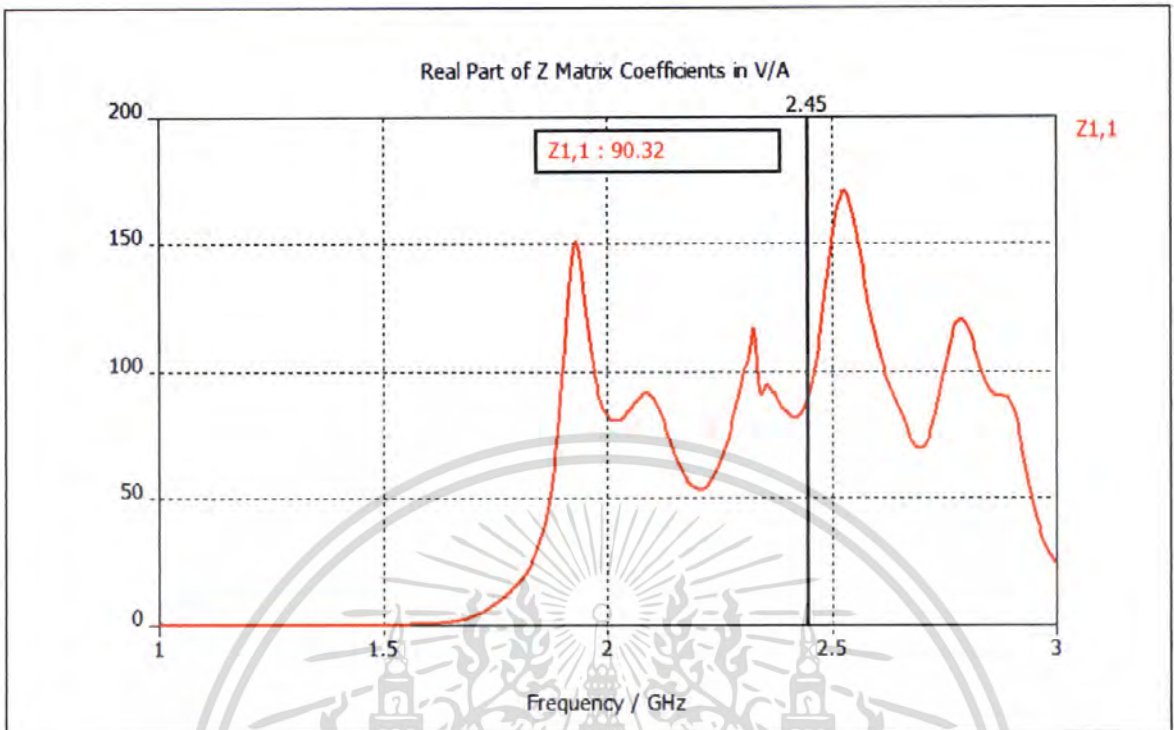


รูปที่ 3.18 ค่า VSWR จากผลการทดสอบในช่วง 2.45 GHz

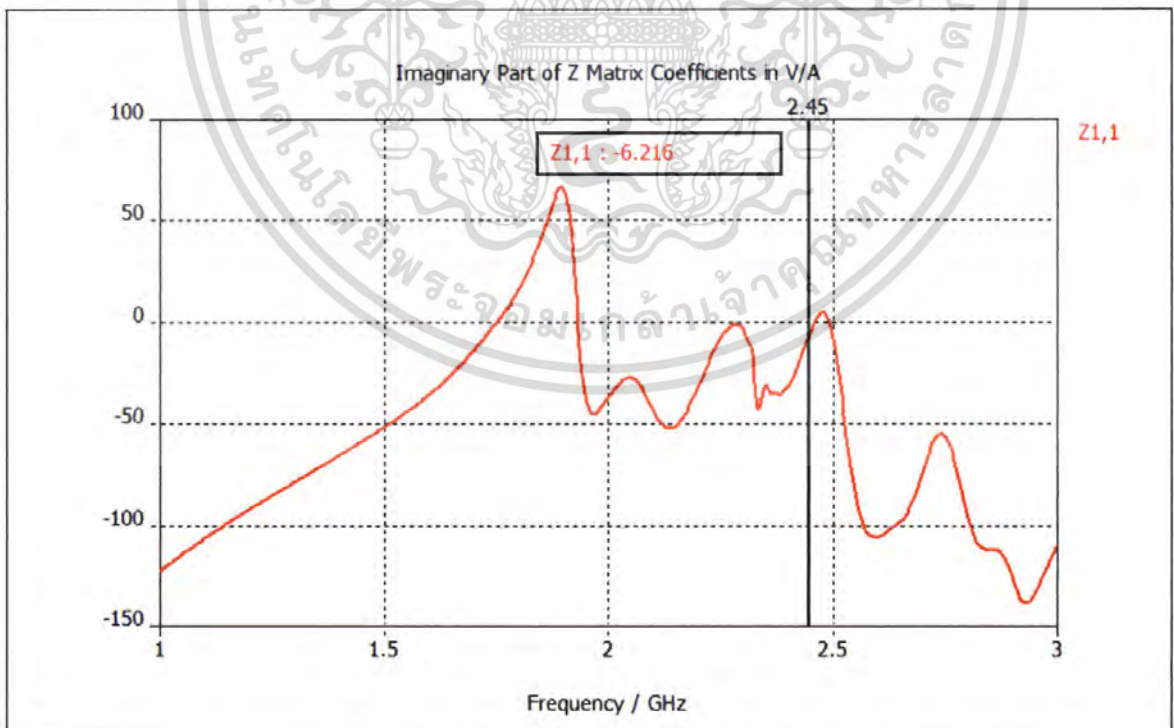
จากรูปที่ 3.18 เมื่อทำการพิจารณาที่สนามระยะไกลที่ช่วงความถี่ 2.45 GHz จะเห็นได้ว่าจากรูปค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ได้ในช่วงที่ต้องการใช้งานจะมีค่าที่ไม่เกิน 2:1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อวัตถุประสงค์อื่นที่ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 ค่าส่วนจริงของอิมพีแดนซ์ซึ่งจะเห็นว่าที่ความถี่ 2.45 GHz มีค่าเท่ากับ 90.32 Ω



รูปที่ 3.21 ค่าส่วนจินตภาพของอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 2.45 GHz มีค่าเท่ากับ -6.21 Ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าเมื่อนำค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ที่ได้จากโปรแกรม CST (Computer Simulation Technology) มาทำการคำนวณหาค่า Standing Wave Ratio (SWR) จากสูตร

$$SWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (3.9)$$

โดยที่
$$\Gamma = \frac{Z_A - Z_o}{Z_A + Z_o} \quad (3.10)$$

เมื่อ Z_A คือ Input impedance

Z_o คือ Output impedance โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 50 Ω

Γ คือ Reflection Coefficient

โดยค่า Input impedance (Z_A) ที่อ่านได้จากโปรแกรม CST มีค่าเท่ากับ 90.32 - j6.21 Ω

$$\begin{aligned} \Gamma &= \frac{90.32 - j6.21 - 50}{90.32 - j6.21 + 50} \\ &= 0.284 - j0.056 \\ |\Gamma| &= \sqrt{(0.284)^2 + (-0.056)^2} \\ &= 0.288 \\ SWR &= \frac{1 + 0.288}{1 - 0.288} \\ &= 1.808 \\ SWR &= 1.808 : 1 \end{aligned}$$

จะเห็นว่าค่า SWR ที่ได้จากการคำนวณมีค่าตรงกับค่าที่โปรแกรมคำนวณให้ ซึ่งสามารถจะนำไปใช้ได้เพราะ โดยทั่วไปค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้สำหรับสายอากาศ คือค่าของ SWR ไม่ควรมีค่ามากกว่า 2:1

3.4.1 ระยะห่างระหว่างตัวรับ - ส่งของงานสายอากาศ (Reflected Power)

การวัดแบบรูปของการแพร่กระจายคลื่นนั้นจะต้องทำการพิจารณาที่บริเวณสนามระยะไกล (Far Field) ของสายอากาศ

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda} \quad (\text{เซนติเมตร}) \quad (3.11)$$

เมื่อ R = ระยะห่างระหว่างสายอากาศ (เซนติเมตร)

D = คือมิติที่กว้างที่สุดของสายอากาศ (เซนติเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสายอากาศที่ทำการออกแบบและสร้าง

$D = 150$ เซนติเมตร และ $\lambda = 12.245$ เซนติเมตร

$$R \geq \frac{2(150)^2}{12.245}$$

$R \geq 3674.97$ เซนติเมตร

ซึ่งจะได้ค่าระยะห่างของสายอากาศที่ทำการทดสอบ โดยต้องมีระยะห่างที่มากกว่า 3674.97 เซนติเมตร หรือ 36.75 เมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การสร้าง การติดตั้งงานสายอากาศ และผลการทดสอบ

4.1 การสร้าง การติดตั้งงานสายอากาศ และผลการทดสอบ

จากผลการวิเคราะห์ในบทที่ 3 ที่ทำการออกแบบสายอากาศสะท้อนคลื่นสำหรับระบบ WIFI เพื่อให้ได้ตามคุณสมบัติที่ต้องการแล้วในส่วนของบทที่ 4 นี้ก็จะนำรูปแบบที่ได้จากบทที่ 3 มาทำการสร้างงานสายอากาศโดยจะมีอุปกรณ์ กระบวนการสร้าง และกระบวนการติดตั้งงานสายอากาศดังนี้

4.1.1 อุปกรณ์สำหรับการสร้างงานสายอากาศสะท้อนคลื่นสำหรับระบบ WIFI

1. งานสายอากาศขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 เซนติเมตร
2. กระจกทองแดงเส้นผ่าศูนย์กลาง 10.2 เซนติเมตร
3. Access point 2 ตัว
4. สายรีจิด โคแอคเซียล มีค่าอิมพีแดนซ์ของสาย 50Ω
5. คอนเนคเตอร์ (SMA) N-type
6. เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer)
7. สายนำสัญญาณ
8. ตะกั่ว และหัวแร้ง
9. สว่านไฟฟ้า
10. ไม้อัด
11. ค้อน ตะปู

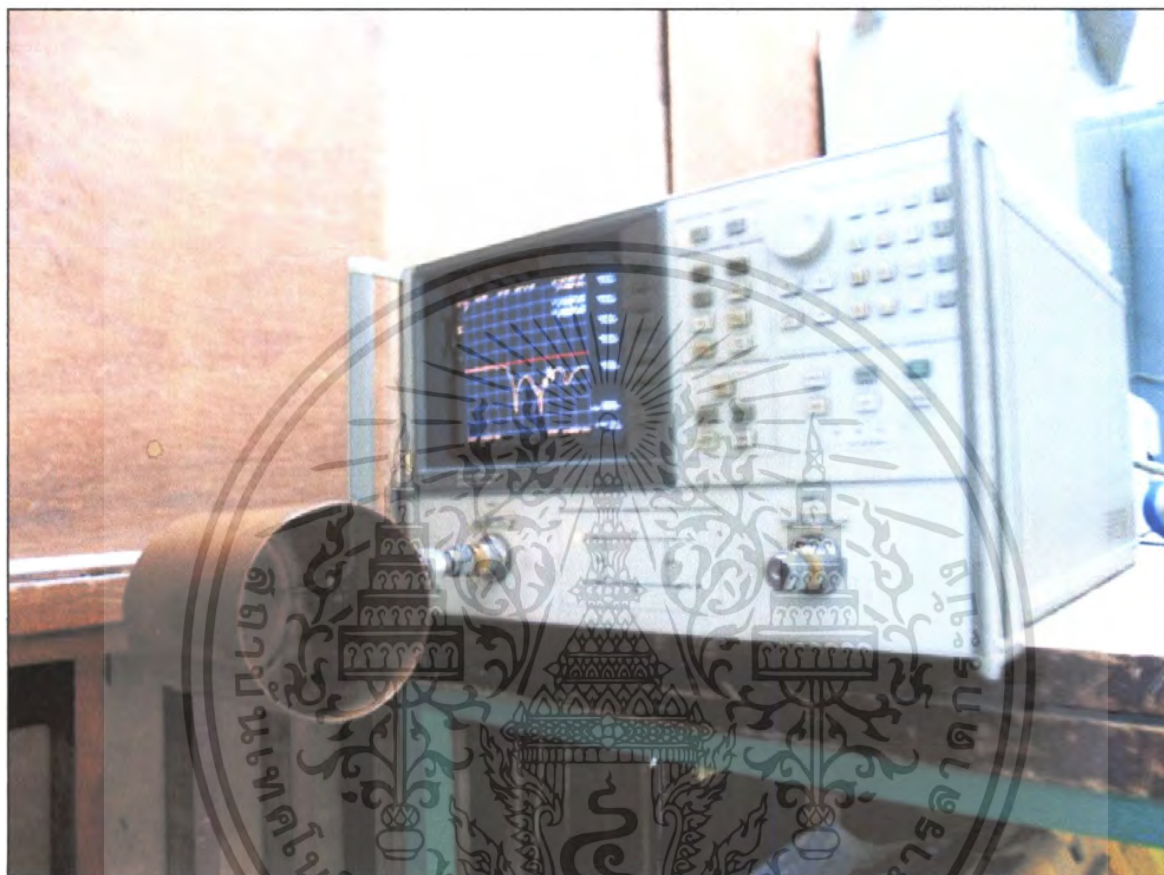
4.1.2 กระบวนการสร้างงานสายอากาศสะท้อนคลื่นสำหรับระบบ WIFI

1. สร้างกระจกทองแดงให้มีความยาว 13.8 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 10.2 เซนติเมตร
2. ทำการเจาะรูกระจกทองแดง จากก้นกระจกความยาว 4.6 cm โดยในการเจาะรูนั้นให้มีขนาดเท่ากับขนาดของคอนเนคเตอร์ (SMA) N-type ที่นำมาใช้
3. นำโพรบมาบัดกรีเชื่อมต่อกับคอนเนคเตอร์ N-type
4. นำคอนเนคเตอร์ (SMA) N-type มาเชื่อมติดกับกระจกทองแดงให้เรียบร้อย
5. ทำการเชื่อมต่อสายรีจิด โคแอคเซียลกับคอนเนคเตอร์ (SMA)
6. ปรับขนาดโพรบให้ได้ค่า VSWR ≈ 1 ตามต้องการเพื่อให้ได้ค่าที่ดีที่สุดในการส่งสัญญาณ และจะทำให้ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ ที่ยอมรับได้มีค่าน้อยกว่า -10 dB
7. นำกระจก LNB ที่สร้างเสร็จแล้วมาประกอบเข้ากับงานสายอากาศขนาด 150 เซนติเมตร โดยมีระยะโฟกัส 41 เซนติเมตร
8. นำไปทดสอบหาระยะทาง และระดับความแรงของสัญญาณ
9. บันทึกผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดสอบระบบอก LNB

เมื่อทำการออกแบบสายอากาศที่มีองค์ประกอบต่างๆ แล้วจากนั้นก็นำสายอากาศสะท้อนคลื่นที่สร้างเสร็จแล้วมาวัดค่าคุณสมบัติต่างๆ ของสายอากาศ

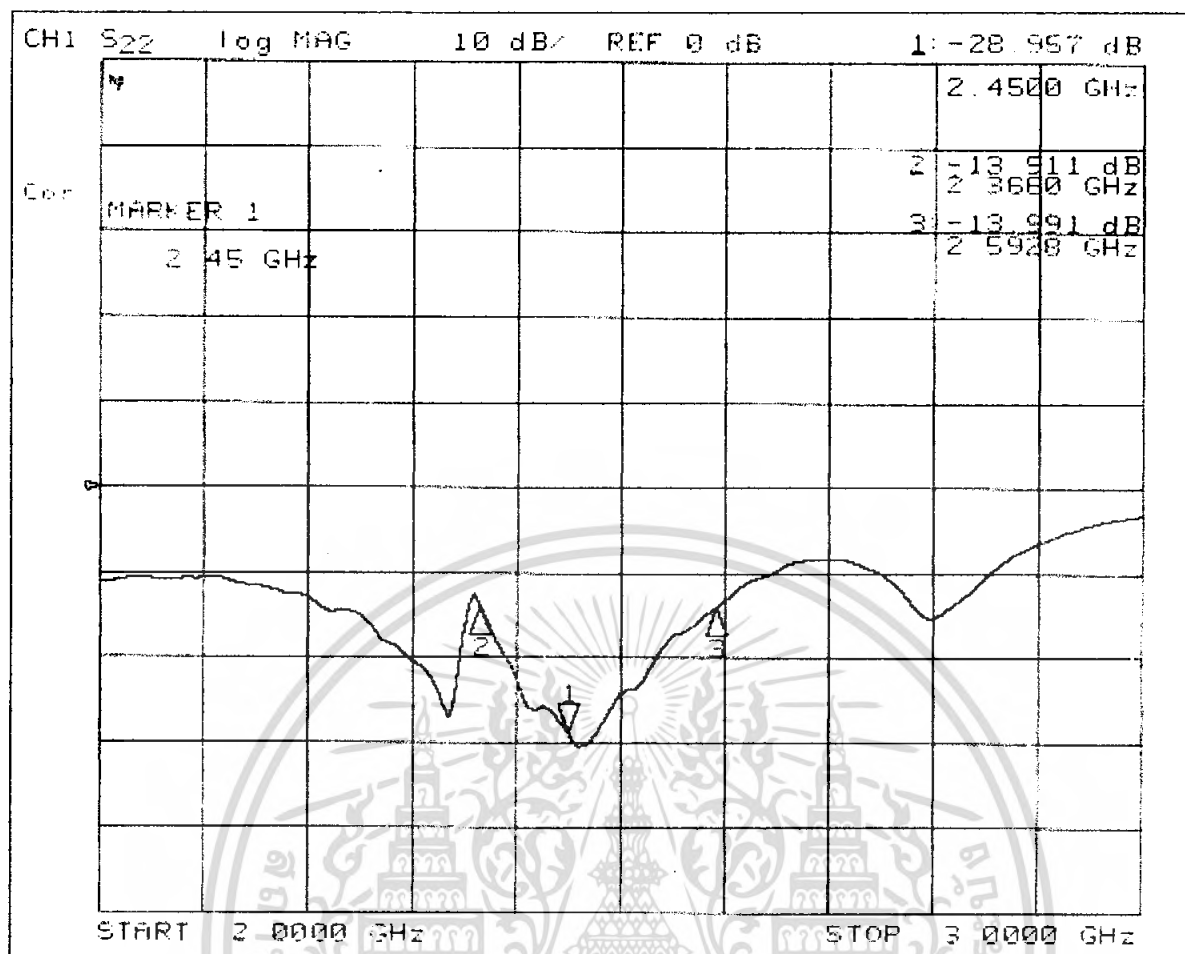


รูปที่ 4.1 ครอบอก LNB ที่จะนำไปประกอบกับจานสายอากาศ

4.2.1 ผลการทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ (Return loss)

กำลังงานที่คลื่นแพร่กระจายออกไปนั้นจะมีค่าการสูญเสียย้อนกลับโดยจะคิดเป็นหน่วย dB ในทางปฏิบัตินั้นต้องการให้มีสัญญาณย้อนกลับต่ำโดยทั่วไป ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับที่ยอมรับได้ ควรมีค่าที่น้อยกว่า -10 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss) ของสายอากาศ

จากผลการทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศจะเห็นได้ว่าสายอากาศสามารถทำงานได้ในช่วง 2.36-2.59 GHz จากช่วงความถี่ที่ทำงานได้ดังกล่าวจะพบว่าสายอากาศสามารถทำงานได้ในช่วงความถี่ที่ต้องการซึ่งเมื่อพิจารณาที่ค่าความถี่เท่ากับ 2.45 GHz สายอากาศจะมีค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss) = -28.957 dB จากผลการทดสอบจะพบว่าสายอากาศที่ทำการออกแบบสามารถทำงานได้ในช่วงความถี่ที่ต้องการ

ตารางที่ 4.1 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศที่ได้จากการทดสอบในช่วงความถี่ที่ต้องการ

ความถี่ (GHz)	ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (dB)
2.368	-13.911
2.450	-28.957
2.593	-13.991

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสามารถคิดเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ Bandwidth ดังนี้

$$\Delta f = \frac{f_H - f_L}{f_0} \times 100\%$$

โดยค่า

$$f_0 = \frac{2.59 + 2.36}{2}$$

$$= 2.475 \text{GHz}$$

$$\Delta f = \frac{2.59 - 2.36}{2.475} \times 100\%$$

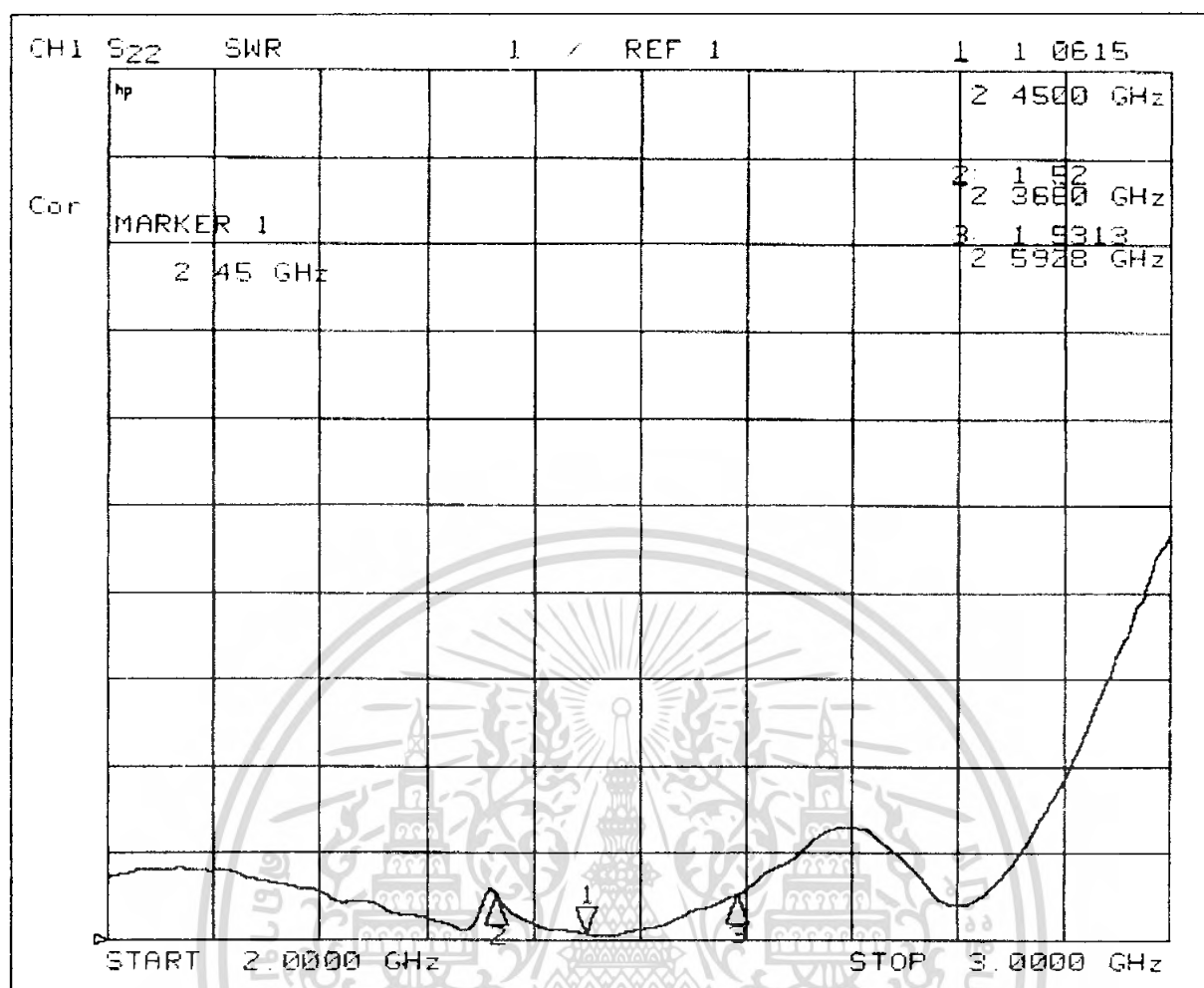
$$= 9.29\%$$

ดังนั้นค่า เปอร์เซ็นต์ Bandwidth จะมีค่าเท่ากับ 9.29%

4.2.2 ผลการทดสอบค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (SWR)

ในทางปฏิบัตินั้นสายอากาศที่ทำการออกแบบไม่สามารถที่จะปรับให้มีค่าอิมพีแดนซ์ (ค่าอิมพีแดนซ์ที่วัดได้จากขั้วของสายอากาศ) ให้มีค่าเท่ากับอิมพีแดนซ์ของเครื่องรับหรือเครื่องส่ง ได้ ดังนั้นเมื่อมีการต่อสายอากาศเข้ากับเครื่องรับหรือเครื่องส่ง ผลก็จะทำให้มีกำลังงานส่วนหนึ่งเกิดการสะท้อนกลับที่จุดอินพุทของสายอากาศ ดังนั้นเพื่อเป็นการบ่งบอกแก่ผู้ที่นำสายอากาศไปใช้งาน ว่าสายอากาศตัวนี้ถ้าหากนำไปใช้งานแล้ว จะสามารถรับกำลังงานที่ส่งมาจากเครื่องส่งได้มากน้อยเพียงใด ซึ่งสามารถบอกได้ด้วยค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง

ซึ่งโดยทั่วไปแล้วค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่จะต้องนำมาใช้งานตามมาตรฐานจะต้องมีค่าไม่เกิน 2:1 แต่ถ้านำไปใช้งานจริงๆ ควรมีค่าไม่เกิน 1.5:1 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศควรมีค่าใกล้เคียง 50Ω ซึ่งค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ดีที่สุดก็คือ 1:1



รูปที่ 4.3 ผลการทดสอบค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง

จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าสายอากาศเมื่อพิจารณาที่ความถี่ 2.45 GHz จะมีค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง 1.0615:1 ซึ่งจะพบว่าสายอากาศมีค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งเป็นไปตามมาตรฐาน โดยจะมีค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งไม่เกิน 2:1 จากรูปค่า SWR ที่ได้ในช่วงที่ต้องการใช้งานจะมีค่าที่ไม่เกิน 2:1 แสดงดังตารางที่ 4.2 ดังนี้

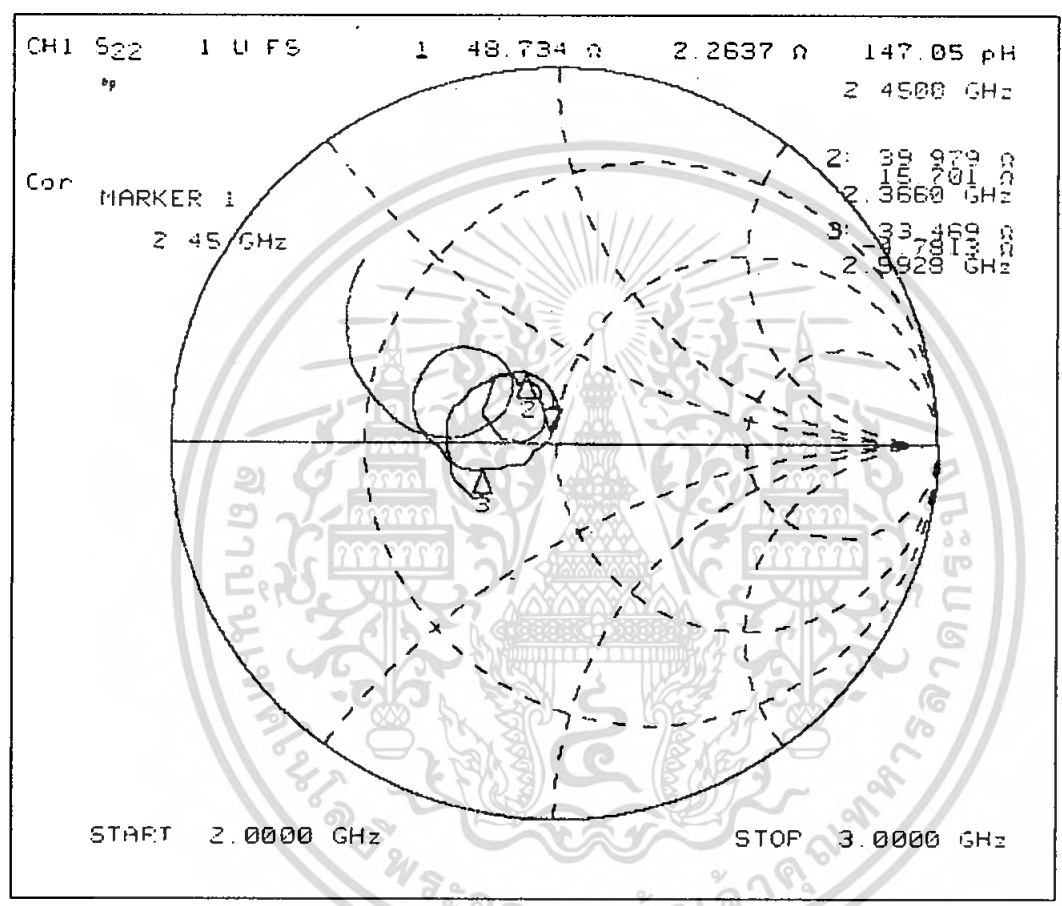
ตารางที่ 4.2 อัตราส่วนคลื่นนิ่ง ของสายอากาศในช่วงความถี่ที่ต้องการ

ความถี่ (GHz)	ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (SWR)
2.368	1.52:1
2.450	1.06:1
2.593	1.53:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ผลการทดสอบคุณลักษณะเชิงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ (Impedance)

สำหรับการทดสอบวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ เพื่อนำมาใช้ในการปรับค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ ให้สามารถเข้ากันได้กับอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ โดยที่ค่าอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ มีค่าเท่ากับ 50Ω ซึ่งในการทดสอบนั้นควรที่จะให้ผลที่วัดออกมาได้มีค่าใกล้เคียงกับ 50Ω โดยจะทำการทดสอบกับเครื่องวิเคราะห์ระบบโครงข่าย (Network analyzer) พบว่าค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ได้มีค่าเท่ากับ 48.734Ω



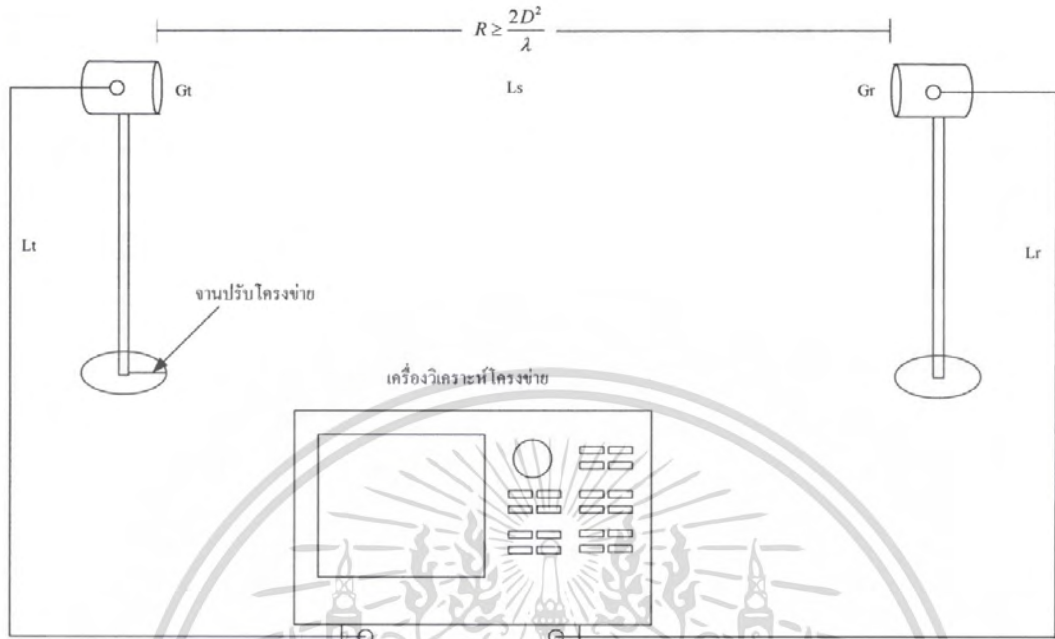
รูปที่ 4.4 ผลการทดสอบค่าคุณลักษณะเชิงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ

4.2.4 ผลการทดสอบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

ในการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในโครงการนี้ จะกำหนดให้สายอากาศแบบสะท้อนคลื่นระบอบที่ 1 เป็นสายอากาศทางด้านรับ และใช้สายอากาศแบบสะท้อนคลื่นระบอบที่ 2 มาใช้เป็นสายอากาศทางด้านส่ง โดยจะทำการทดสอบในห้องทดสอบการสะท้อนค่า เพื่อเป็นการป้องกันผลกระทบที่เกิดจากสภาพแวดล้อมภายนอก โดยการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศจะทำการวัดทั้งระนาบของสนามแม่เหล็กและระนาบของสนามไฟฟ้าโดยการหมุนปรับสายอากาศทางด้านรับครั้งละ 5 องศาแล้วทำการบันทึกผลการทดสอบ ซึ่งการทดสอบนั้นจะทำทดสอบที่สนามระยะไกล (Far Field) ของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งได้ทำการคำนวณไว้แล้วในบทที่ 3 โดยการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศจะทำการทดสอบโพลาไรเซชัน



รูปที่ 4.5 การจัดวางอุปกรณ์ในการทดสอบสายอากาศ

4.2.4.1 การทดสอบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในระนาบของสนามแม่เหล็ก (H-Plane)



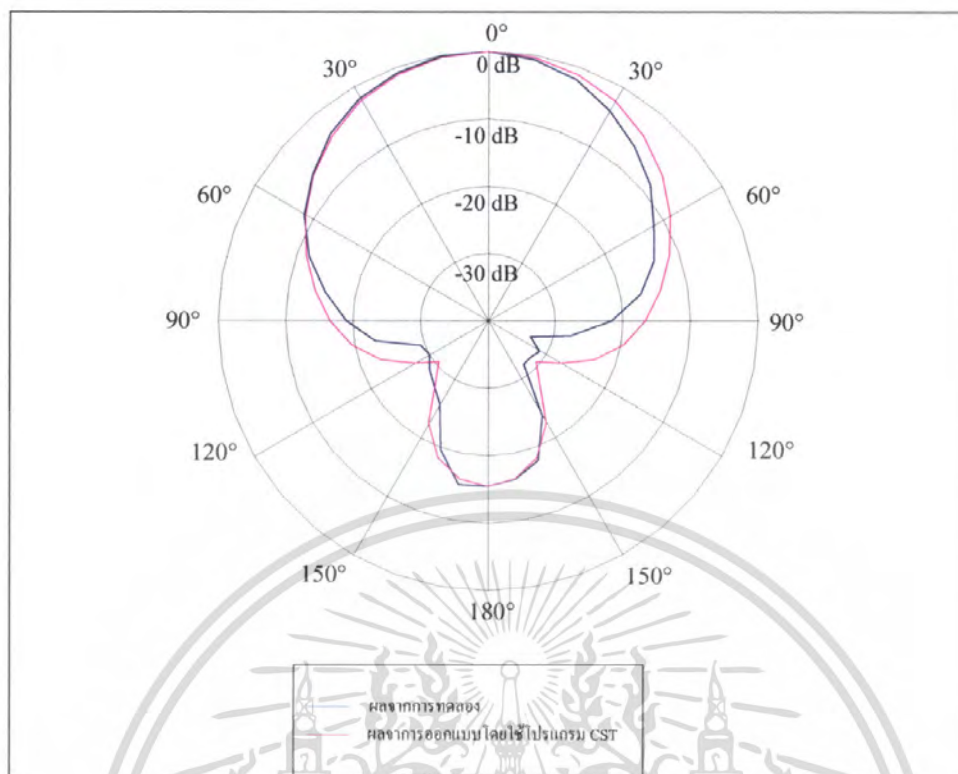
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่งานวิจัยสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ทำเป็นประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.6 การวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบของสนามแม่เหล็ก
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่วัดได้ในระนาบ H-plane นำมาบันทึกลงในตารางที่ 4.3 แล้วนำค่าที่ได้จากผลการทดลองไปนอร์มอลไลซ์จากค่าสูงสุดและนำมาพล็อตใน Polar plot

มุม (องศา)	Power ที่รับได้ (dBm)	Normalize(dB)	มุม (องศา)	Power ที่รับได้ (dBm)	Normalize(dB)
0	-23.2	0	190	-40.3	-17.1
10	-23.4	-0.2	200	-50	-26.8
20	-23.7	-0.5	210	-59.8	-36.6
30	-24.8	-1.7	220	-52.1	-28.9
40	-26.3	-3.1	230	-52.5	-29.3
50	-28.4	-5.2	240	-56.7	-33.5
60	-30.8	-7.6	250	-43.7	-20.5
70	-33.1	-9.9	260	-38.6	-15.4
80	-35.4	-12.2	270	-36.4	-13.2
90	-38.6	-15.4	280	-35.7	-12.5
100	-38.1	-14.9	290	-34.7	-11.5
110	-38.9	-15.7	300	-32.6	-11.5
120	-38.3	-15.1	310	-30.5	-7.3
130	-37.5	-14.3	320	-28.1	-4.9
140	-38.1	-14.9	330	-26.3	-3.1
150	-40.6	-17.4	340	-24.9	-1.7
160	-41.2	-18	350	-23.7	-0.5
170	-40.9	-17.7	360	-23.2	0
180	-39	-15.8	0	-23.2	0

ตารางที่ 4.3 ค่า Power ที่วัดได้จากการทดลองเมื่อวางสายอากาศในระนาบ H-plane

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบของสนามแม่เหล็ก

จากผลการทดสอบจะพบว่ารูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในระนาบของสนามแม่เหล็กที่ได้จากการทดสอบและรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในระนาบของสนามแม่เหล็กที่ได้จากการออกแบบโดยโปรแกรม CST จะมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน

4.2.4.2 การทดสอบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในระนาบของ สนามไฟฟ้า (E-Plane)



รูปที่ 4.8 การวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า

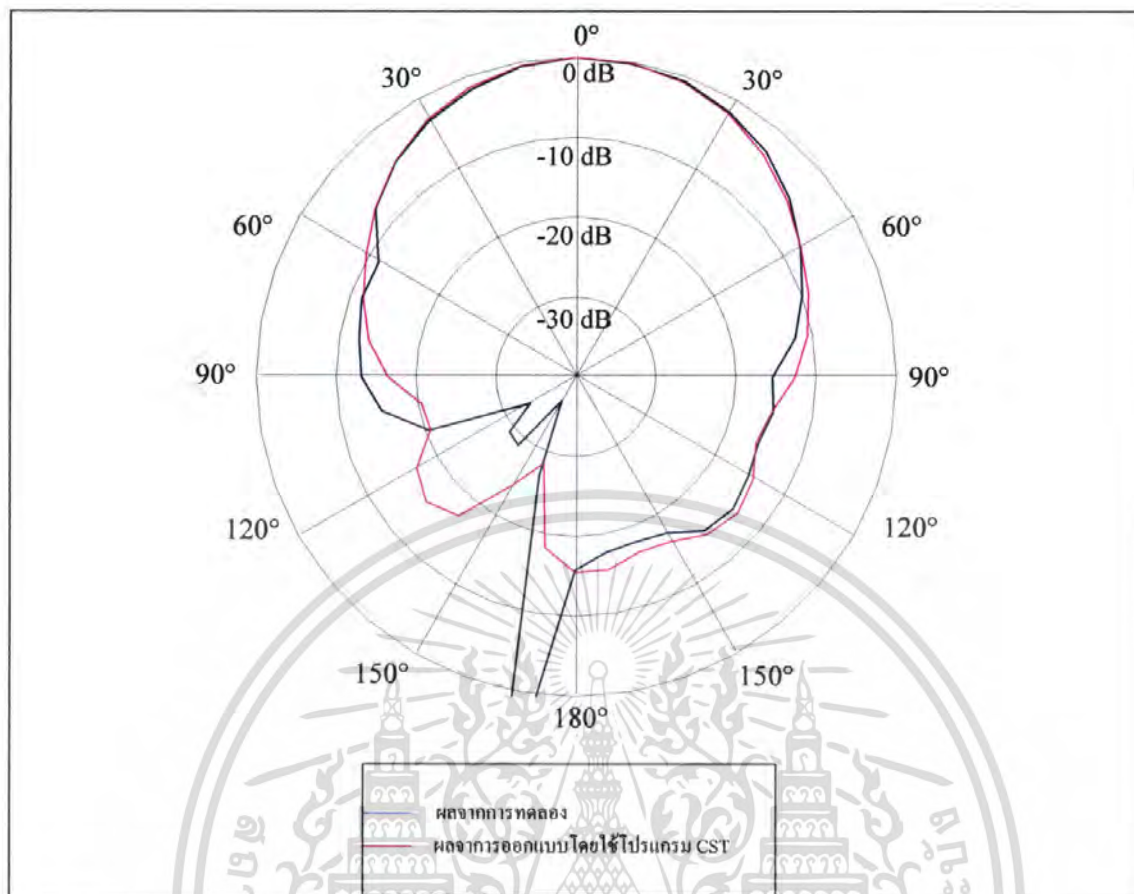
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่วัดได้ในระนาบ E-plane นำมาบันทึกลงในตารางที่ 4.4 แล้วนำค่าที่ได้จากผลการทดลองไปนอร์มอลไลซ์จากค่าสูงสุดและนำมาพล็อตใน Polar plot

มุม (องศา)	Power ที่รับได้ (dBm)	Normalize(dB)	มุม (องศา)	Power ที่รับได้ (dBm)	Normalize(dB)
0	-23.7	0	190	-39.1	-15.4
10	-24.3	-0.6	200	-43.4	-19.7
20	-25.5	-1.8	210	-49.6	-25.9
30	-27.6	-3.9	220	-51.4	-27.7
40	-29.9	-6.2	230	-52.5	-28.8
50	-32.3	-8.6	240	-53.8	-30.1
60	-35.3	-11.6	250	-53.2	-29.5
70	-37.5	-13.8	260	-46.8	-23.1
80	-40.7	-17	270	-42.8	-19.1
90	-45.4	-21.7	280	-39.3	-15.6
100	-51.2	-27.5	290	-35.5	-11.8
110	-56.9	-33.2	300	-32.3	-8.6
120	-54.8	-31.1	310	-29.8	-6.1
130	-55.4	-31.7	320	-27.4	-3.7
140	-55.6	-31.7	330	-25.6	-1.9
150	-47.5	-23.8	340	-24.5	-0.8
160	-41.7	-18	350	-23.8	-0.1
170	-39.9	-16.2	360	-23.7	0
180	-39.2	-15.5	0	-23.7	0

ตารางที่ 4.4 ค่า Power ที่วัดได้จากการทดลองเมื่อวางสายอากาศในระนาบ E-plane

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า

จากผลการทดสอบจะพบว่ารูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในระนาบของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบและรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในระนาบของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการออกแบบโดยโปรแกรม CST จะมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน

4.2.5 อัตราขยายของสายอากาศ (Gain)

อัตราขยายของสายอากาศ เป็นสิ่งที่ยกคุณสมบัติที่สำคัญของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศซึ่งทดสอบ โดยการวางสายอากาศทั้ง ทางด้านรับ และทางด้านส่ง ห่างกันในระยะที่มากกว่าสนามระยะไกลซึ่งได้คำนวณไว้ ในบทที่ 3 คือมีค่าเท่ากับ 16.92 เซนติเมตร โดยทำการวัด โดยใช้สายอากาศชนิดเดียวกันทั้งทาง ด้านรับและทางด้านส่ง ดังในรูปที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 รูปการทดสอบวัดค่าอัตราขยายของสายอากาศ

โดยสามารถคำนวณหาอัตราขยายของสายอากาศได้จากสูตร

$$P_r = P_t + (G_{ot})_{dB} + (G_{or})_{dB} - 32.4 - 20\log_{10}(f) - 20\log_{10}(R) \quad (4.1)$$

โดย

$(G_{ot})_{dB}$ = ค่าอัตราขยายของสายอากาศส่ง (dBi)

$(G_{or})_{dB}$ = ค่าอัตราขยายของสายอากาศรับ (dBi)

R = ระยะห่างระหว่างสายอากาศ (Km)

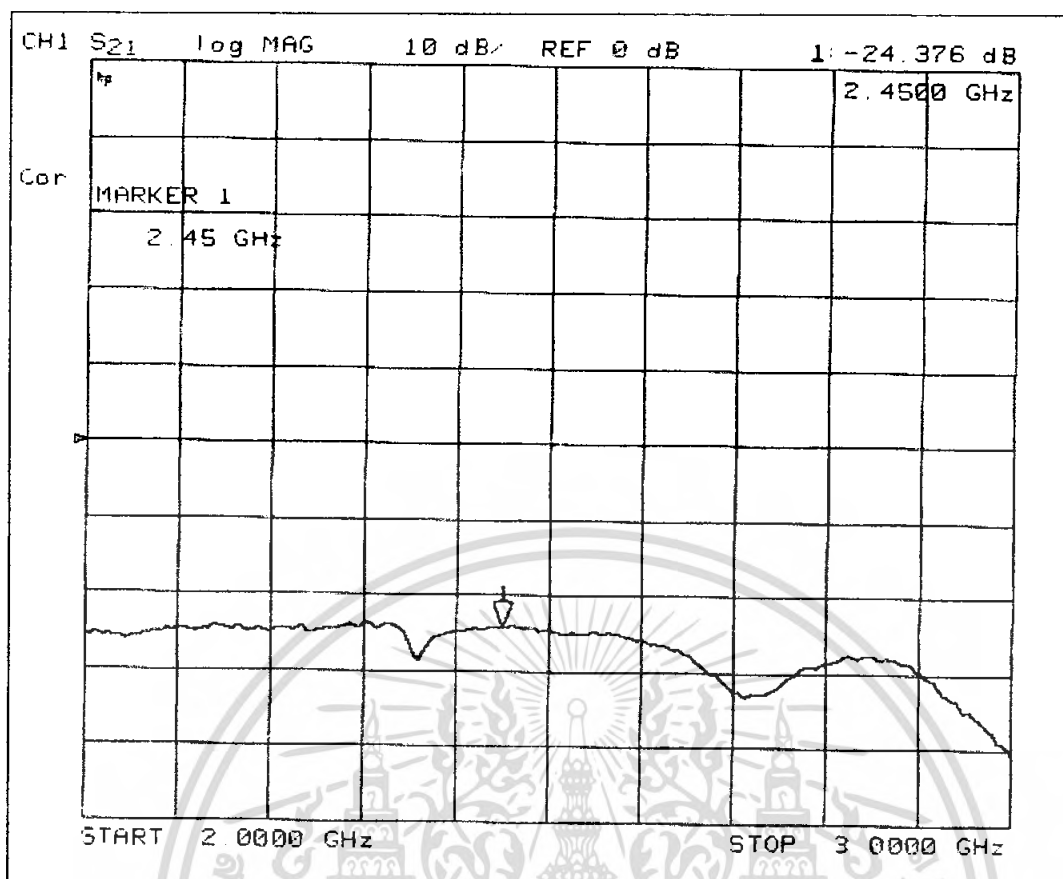
P_t = ค่ากำลังงานทางด้านส่ง (W)

P_r = ค่ากำลังงานทางด้านรับ (W)

f = ค่าความถี่ (GHz)

จากการทดสอบจะได้ผลการทดสอบค่าอัตราขยายของสายอากาศดังรูปกราฟที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงผลการวัดค่าอัตราขยายของสายอากาศในช่วงความถี่ระหว่าง 2.40 – 2.50 GHz

ตารางที่ 4.5 อัตราการขยายของสายอากาศในช่วงความถี่ที่ต้องการ

ความถี่ (GHz)	ค่าอัตราการขยายของสายอากาศ (dBi)
2.40	8.940
2.45	8.505
2.50	8.790

4.2.6 การหาค่าสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศ (Directivity)

ค่าสภาพเจาะจงทิศทางเป็นค่าที่ใช้แสดงทิศทางของสายอากาศซึ่งโดยปกติจะถือเอาตามทิศทางของลำคลื่นหลัก โดยค่าสภาพเจาะจงทิศทางจะเป็นอัตราส่วนของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นที่มากที่สุดต่อความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นของไอโซทรอปิกพอยท์ซอร์ส ถ้าค่าสภาพเจาะจงทิศทางยังมีค่ามากจะมีคุณสมบัติการชี้ทิศทางที่ดีกว่าค่าสภาพเจาะจงทิศทางที่มีค่าน้อย โดยการหาค่าสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศในทางปฏิบัติสามารถหาได้จากค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครั้งหนึ่งที่ได้จากการวัดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น โดยนำมาคำนวณตามสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D = \frac{4\pi(180/\pi)^2}{\theta_H \theta_V} \approx \frac{41253}{\theta_H \theta_V}$$

$\theta_H = \text{HPBW}$ ในระนาบสนามแม่เหล็ก (องศา)

$\theta_V = \text{HPBW}$ ในระนาบสนามไฟฟ้า (องศา)

โดยจากวัดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจะได้ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งได้

$$\theta_H = 67^\circ \text{ และ } \theta_V = 70^\circ$$

ดังนั้นจะได้ว่า

$$D = \frac{41253}{\theta_H \theta_V} = \frac{41253}{67 \times 70} = 8.796$$

$$= 10 \log 8.796 = 9.442 \text{ dBi}$$

ดังนั้นจะได้ค่าสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 9.442 dBi

โดยสามารถหาค่าประสิทธิภาพของสายอากาศได้จากสมการ

$$\eta = \frac{G}{D}$$

η = ค่าประสิทธิภาพของสายอากาศ

G = ค่าอัตราขยายของสายอากาศ

D = ค่าสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศ

$$\eta = \frac{8.505}{9.442}$$

$$= 0.9007 \text{ หรือ } = 90.07\%$$

ดังนั้นจะได้ค่าประสิทธิภาพของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 90.07%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดสอบงานสายอากาศ

เมื่อทำการออกแบบกระบอก LNB ที่มีองค์ประกอบต่างๆ ตามต้องการแล้วจากนั้นก็นำกระบอก LNB ที่ได้จากการสร้าง มาทำการประกอบกับงานสายอากาศ โดยมีระยะ โฟกัส 41 เซนติเมตร แล้วทำการวัดค่าคุณสมบัติต่างๆ ของงานสายอากาศ และทำการเก็บบันทึกผลการทดลอง

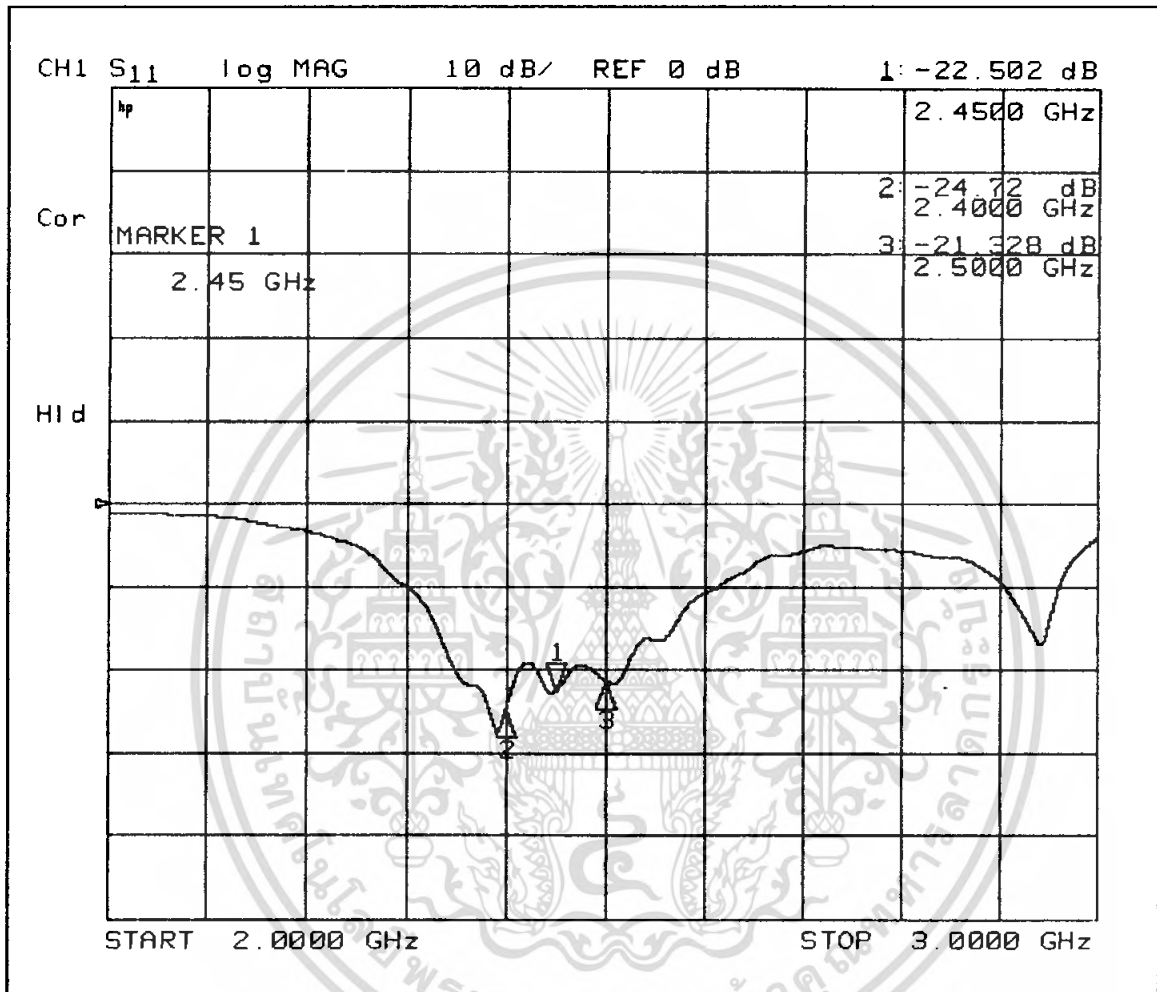


รูปที่ 4.12 รูปงานสายอากาศประกอบกับท่อ LNB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 ผลการทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับของงานสายอากาศ (Return loss)

กำลังงานที่คลื่นแพร่กระจายออกไปนั้นจะมีค่าการสูญเสียย้อนกลับ โดยจะคิดเป็นหน่วย dB ในทางปฏิบัตินั้นต้องการให้มีสัญญาณย้อนกลับต่ำโดยทั่วไป ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ ที่ยอมรับได้ ควรมีค่าที่น้อยกว่า -10 dB



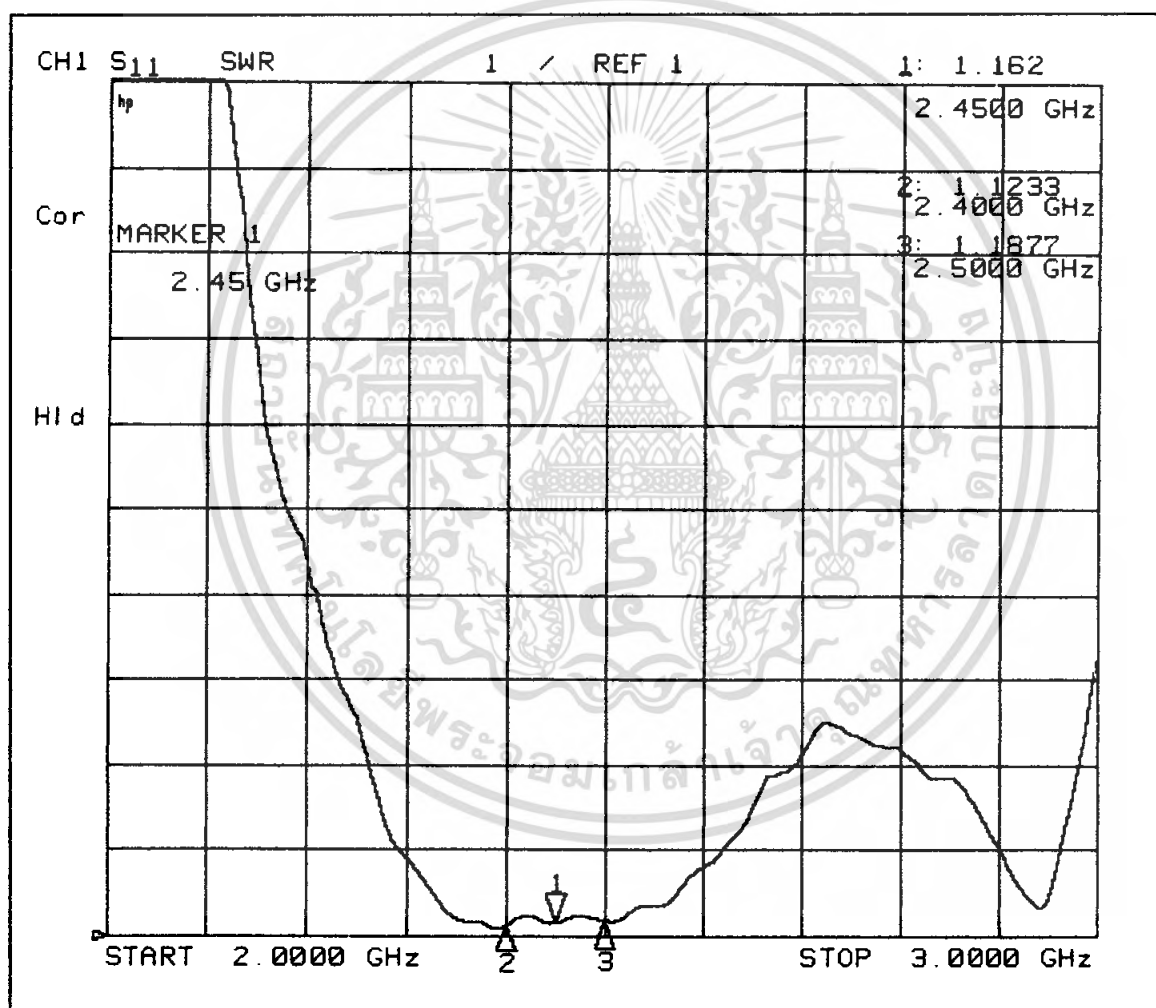
รูปที่ 4.13 ผลการทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss) ของงานสายอากาศ

จากผลการทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศจะเห็นได้ว่าสายอากาศสามารถทำงานได้ในช่วง 2.4-2.5 GHz จากช่วงความถี่ที่ทำงานได้ดังกล่าวจะพบว่าสายอากาศสามารถทำงานได้ในช่วงความถี่ที่ต้องการซึ่งเมื่อพิจารณาที่ค่าความถี่เท่ากับ 2.45 GHz สายอากาศจะมีค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss) = -22.502 dB จากผลการทดสอบจะพบว่าสายอากาศที่ทำการออกแบบสามารถทำงานได้ในช่วงความถี่ที่ต้องการ

4.3.2 ผลการทดสอบค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (SWR)

ในทางปฏิบัตินั้นสายอากาศที่ทำการออกแบบไม่สามารถที่จะปรับให้มีค่าอิมพีแดนซ์ (ค่าอิมพีแดนซ์ที่วัดได้จากหัวของสายอากาศ) ให้มีค่าเท่ากับอิมพีแดนซ์ของเครื่องรับหรือเครื่องส่งได้ ดังนั้นเมื่อมีการต่อสายอากาศเข้ากับเครื่องรับหรือเครื่องส่ง ผลก็จะทำให้มีกำลังงานส่วนหนึ่งเกิดการสะท้อนกลับที่จุดอินพุทของสายอากาศ ดังนั้นเพื่อเป็นการบ่งบอกแก่ผู้ที่นำสายอากาศไปใช้งาน ว่าสายอากาศตัวนี้ถ้าหากนำไปใช้งานแล้วจะสามารถรับกำลังงานที่ส่งมาจากเครื่องส่งได้มากน้อยเพียงใด ซึ่งสามารถบอกได้ด้วยค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง

ซึ่งโดยทั่วไปแล้วค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่จะต้องนำมาใช้งานตามมาตรฐานจะต้องมีค่าไม่เกิน 2:1 แต่ถ้านำไปใช้งานจริงๆควรมีค่าไม่เกิน 1.5:1 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศควรมีค่าใกล้เคียง 50Ω ซึ่งค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ดีที่สุดก็คือ 1:1



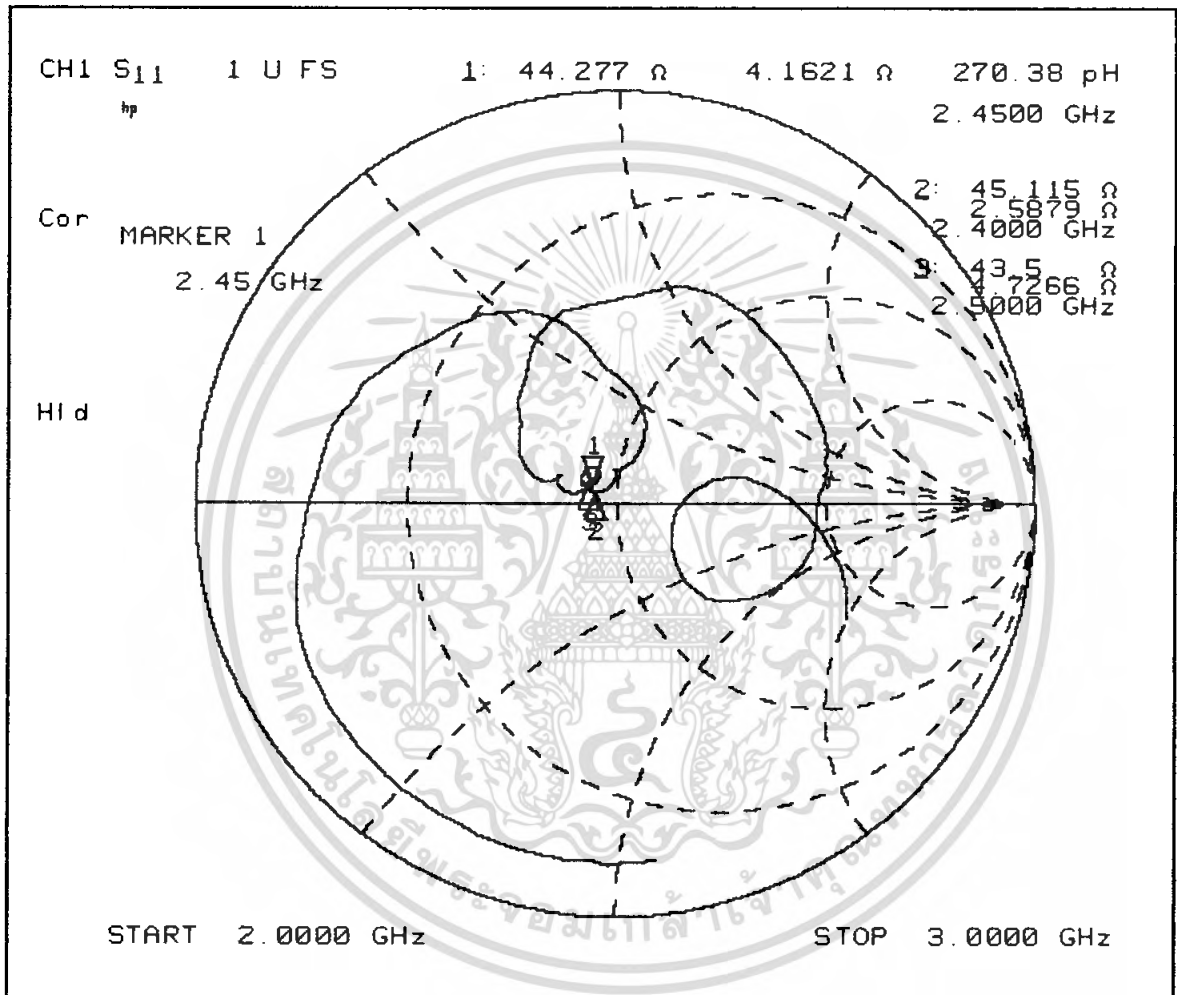
รูปที่ 4.14 ผลการทดสอบค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง

จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าสายอากาศเมื่อพิจารณาที่ความถี่ 2.45 GHz จะมีค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง 1.162:1 ซึ่งจะพบว่าสายอากาศมีค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งเป็นไปตามมาตรฐาน โดยจะมีค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งไม่เกิน 2:1 จากรูปค่า SWR ที่ได้ในช่วงที่ต้องการใช้งานจะมีค่าที่ไม่เกิน 2:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ผลการทดสอบคุณลักษณะเชิงอิมพีแดนซ์ของงานสายอากาศ (Impedance)

สำหรับการทดสอบวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ เพื่อนำมาใช้ในการปรับค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ ให้สามารถเข้ากันได้กับอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ โดยที่ค่าอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ มีค่าเท่ากับ 50Ω ซึ่งในการทดสอบนั้นควรที่จะให้ผลที่วัดออกมาได้มีค่าใกล้เคียงกับ 50Ω โดยจะทำการทดสอบกับเครื่องวิเคราะห์ระบบโครงข่าย (Network analyzer) พบว่าค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ได้มีค่าเท่ากับ $44.277\ \Omega$



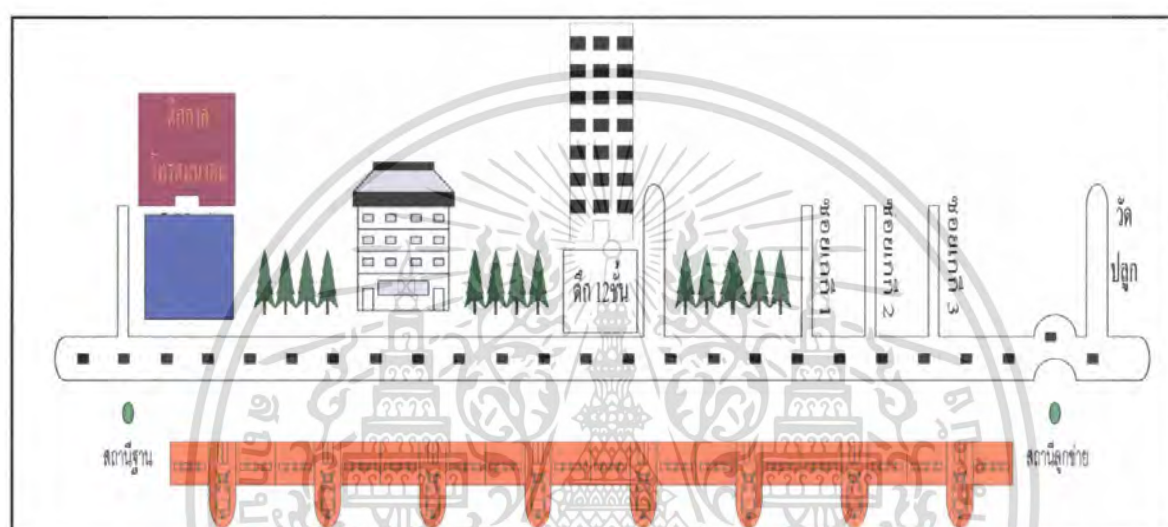
รูปที่ 4.15 ผลการทดสอบค่าคุณลักษณะเชิงอิมพีแดนซ์ของงานสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดสอบระดับสัญญาณของสายอากาศ

การสื่อสารแบบจุดต่อจุดสำหรับโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายซึ่งโดยทั่วไปใช้ในการเชื่อมต่อสองเครือข่ายที่อยู่ระหว่างอาคารเข้าด้วยกันซึ่งเป็นการเชื่อมต่อระหว่างสถานีฐานกับสถานีการทดสอบด้วยเงินไนน์ทำได้ยากเนื่องจากมีระยะบริการสูงสุดที่ไกลมากดังนั้นปริมาณพันธันี้จึงสมมุติให้ลูกข่ายทำหน้าที่แทนสถานีฐานด้านรับ ซึ่งการสื่อสารแบบจุดต่อจุดส่วนมาก คือแนวระดิมเส้นสายตาระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่ง

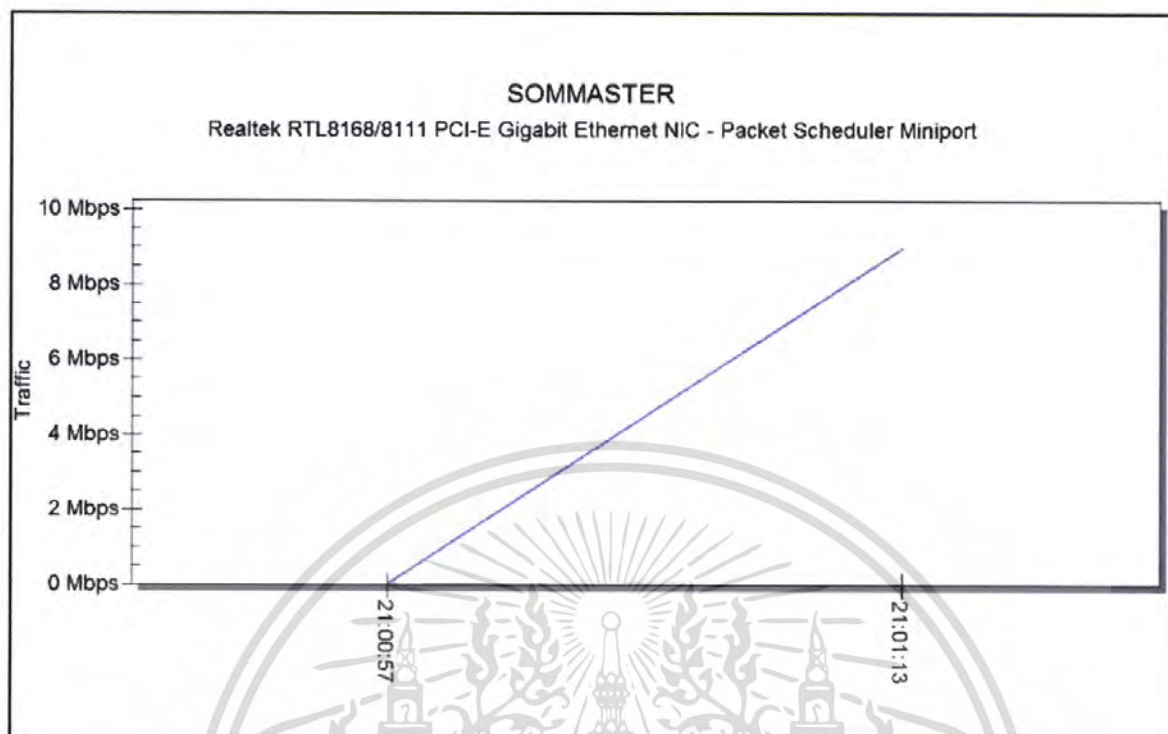
โดยทำการเลือกสถานที่คือเลียบถนนข้างทางรถไฟ ในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นตรงดังรูปที่ 4.16 ดังนี้



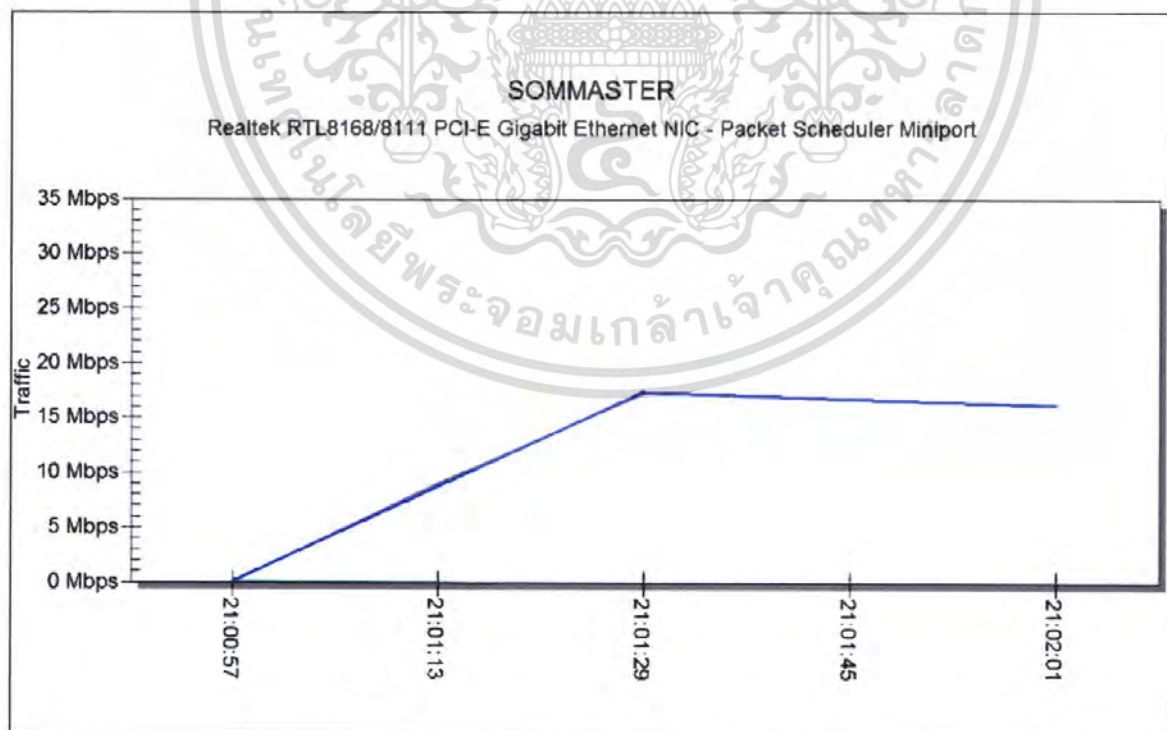
รูปที่ 4.16 แผนผังการทดสอบ

สถานีฐานติดตั้งบริเวณด้านหลังตึกโทรคมนาคม บริเวณเลียบถนนข้างทางรถไฟ แล้วเริ่มต้นการวัดจากจุดดังกล่าวแล้วค่อยเลื่อนไปที่ละ 200 เมตร จนไปถึงบริเวณที่สัญญาณไม่สามารถเชื่อมต่อถึงกันได้โดยใช้โปรแกรม Network Stumbler ในการทดสอบระดับความแรงของสัญญาณจะแสดงผลการทดลองได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

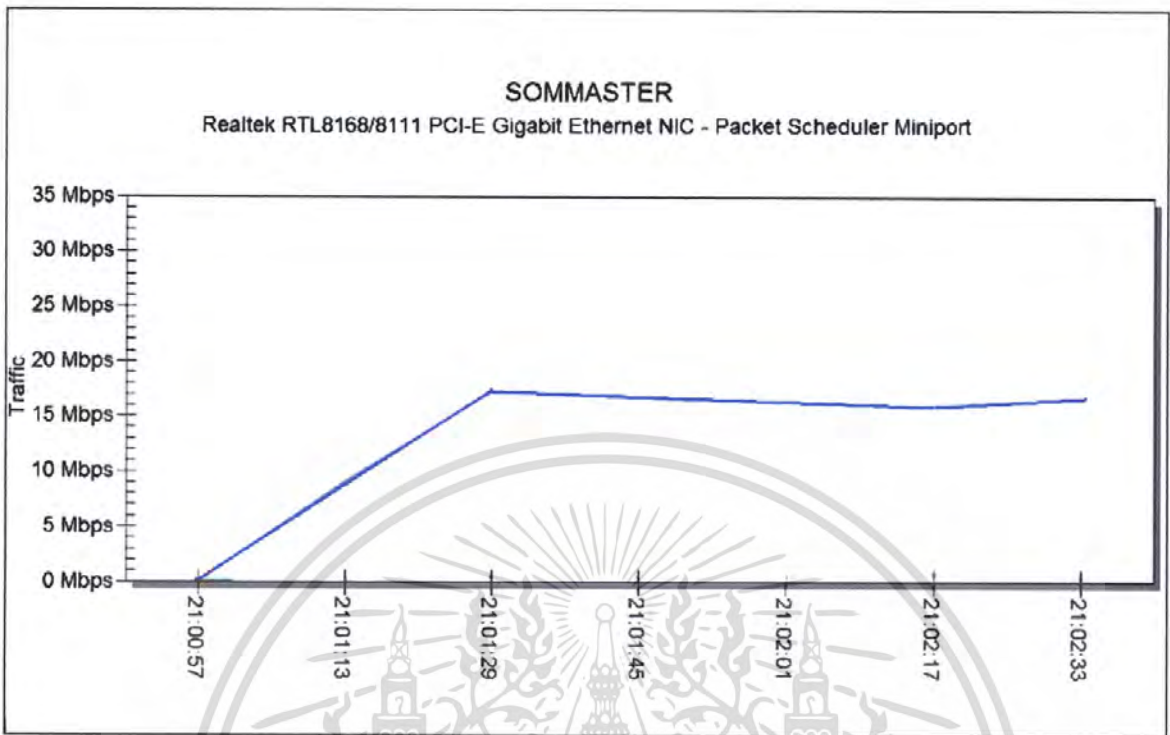


รูปที่ 4.17 ระดับสัญญาณที่ระยะทาง 200 เมตร

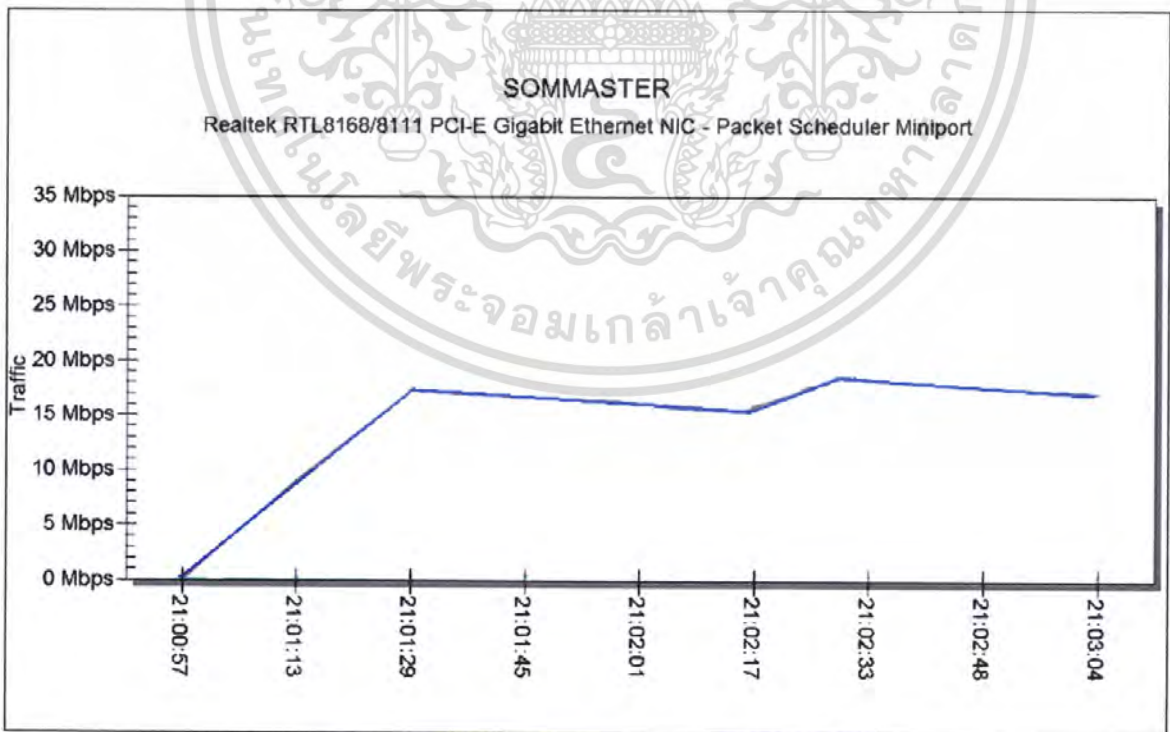


รูปที่ 4.18 ระดับสัญญาณที่ระยะทาง 400 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

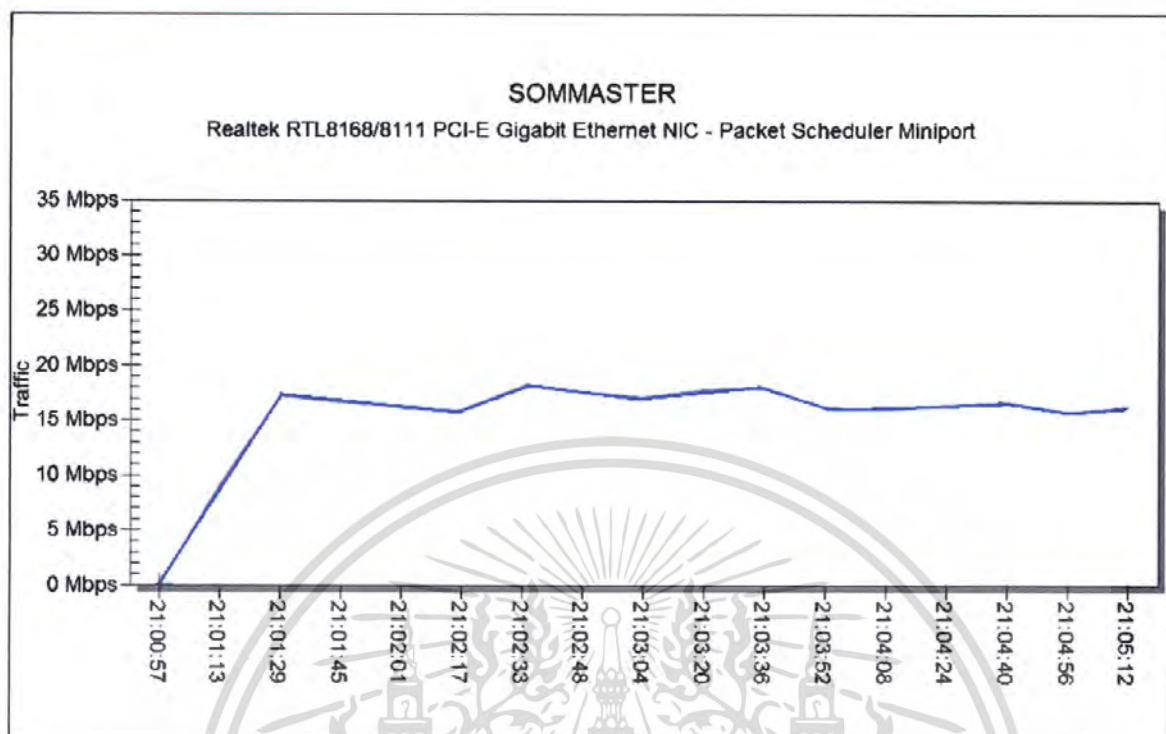


รูปที่ 4.19 ระดับสัญญาณที่ระยะทาง 600 เมตร

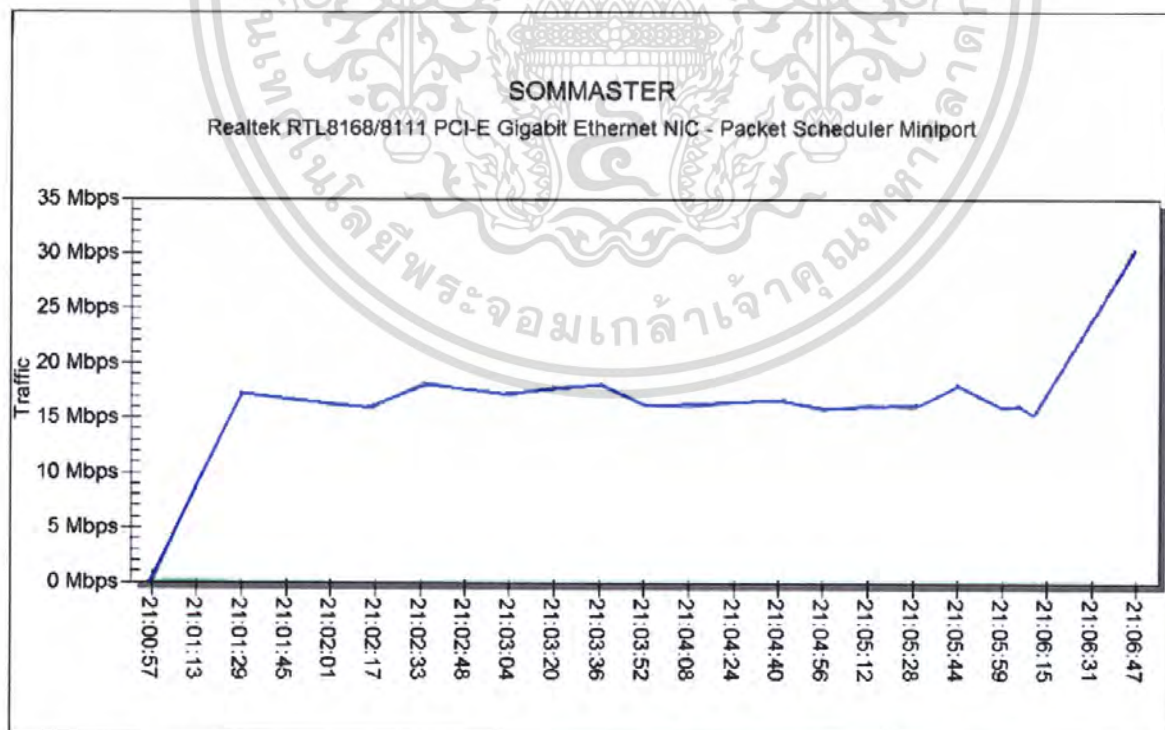


รูปที่ 4.20 ระดับสัญญาณที่ระยะทาง 800 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

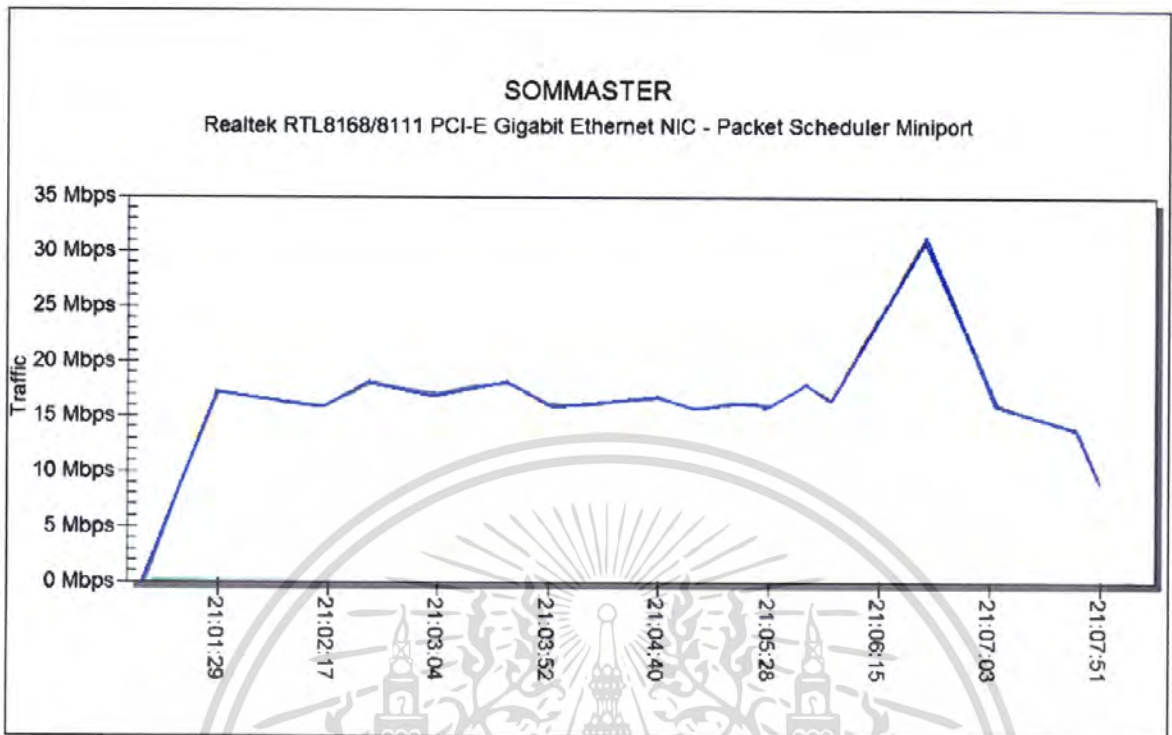


รูปที่ 4.21 ระดับสัญญาณที่ระยะทาง 1000 เมตร

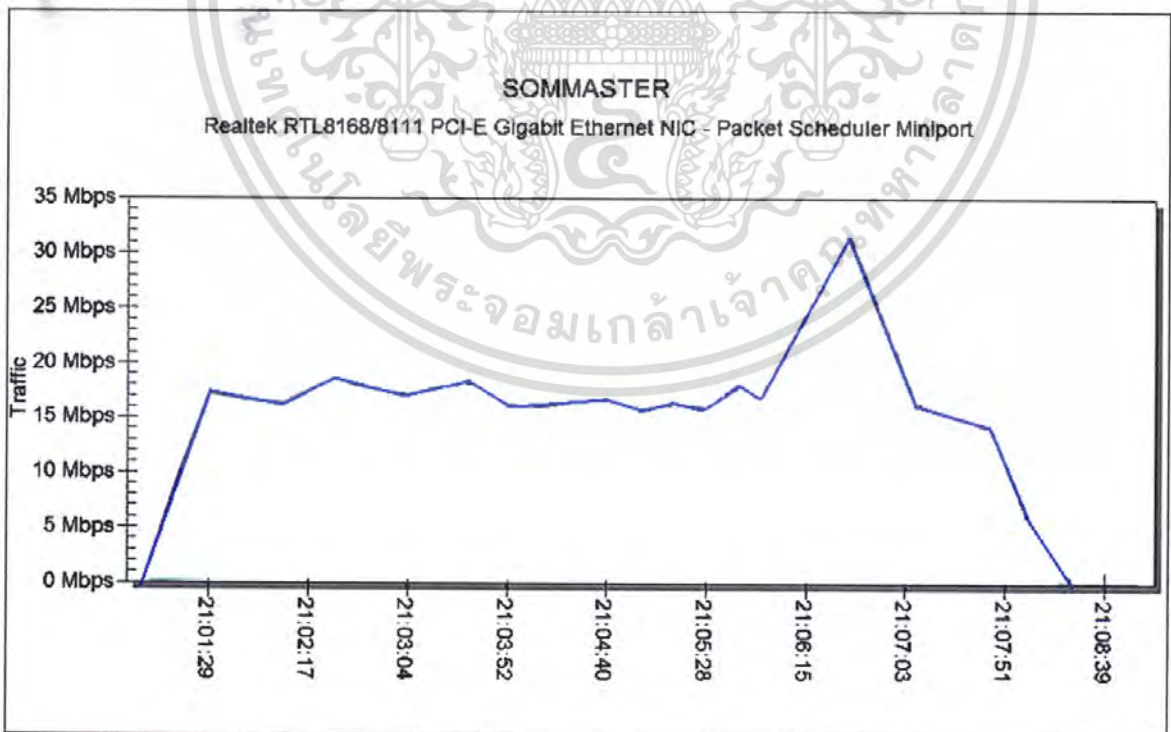


รูปที่ 4.22 ระดับสัญญาณที่ระยะทาง 1200 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 ระดับสัญญาณที่ระยะทาง 1400 เมตร



รูปที่ 4.24 ระดับสัญญาณที่ระยะทาง 1600 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป

5.1 บทวิจารณ์และบทสรุป

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการวิเคราะห์การออกแบบ การสร้าง และทดสอบสายอากาศแบบงานสะท้อนคลื่นซึ่งเป็นสายอากาศที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียวทำให้มีอัตราขยายสูง จึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการติดต่อสื่อสารแบบจุดต่อจุด หรือใช้เชื่อมโยงระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายระหว่างอาคารเป็นต้น โดยสายอากาศที่ออกแบบไว้จะทำงานที่ความถี่เท่ากับ 2.40-2.50 GHz ซึ่งเป็นความถี่ที่ใช้กับระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย แล้วทำการสร้างและทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในระนาบของสนามแม่เหล็ก และระนาบของสนามไฟฟ้า

จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม CST (Computer Simulation Technology) จำลองการสร้างสายอากาศ จะเห็นว่าการคำนวณโดยใช้โปรแกรม CST นั้นจะทำให้ทำงานได้ในช่วงความถี่ที่ต้องการ และได้ค่าอัตราขยายที่ดี

จากการทดลองจะพบว่าระยะห่างตรงจุดที่ใช้ป้อนสัญญาณให้กับกระบอก LNB จะมีผลต่อค่าการสูญเสียย้อนกลับ ค่าอิมพีแดนซ์จึงต้องทำการปรับระยะห่างนั้นให้ได้ค่าตามที่ต้องการ และสามารถทำงานในช่วงความถี่ที่ใช้จริง

การปรับจุกโฟกัสของจานพาราโบลา จะมีผลต่อค่า Return loss ของสัญญาณ ดังนั้นจุดโฟกัสจะเป็นจุดที่สำคัญที่สุดในการรับส่งสัญญาณ

สายอากาศแบบงานสะท้อนคลื่นนี้มีข้อดีคือสามารถเลือกทิศทางที่ต้องการในการรับส่งสัญญาณได้ มีค่าอัตราขยายและค่าสภาพเจาะจงทิศทางที่ค่อนข้างสูง สามารถรับส่งสัญญาณในระยะทางไกลได้ มีค่าประสิทธิภาพในการรับส่งสัญญาณที่ค่อนข้างสูง มีโครงสร้างที่แข็งแรงเมื่อเทียบกับสายอากาศชนิดอื่น

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

1). ปัญหา อุปกรณ์ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ค่อนข้างราคาสูง

แนวทางแก้ไข ทำการศึกษาการทำงานของอุปกรณ์ให้ละเอียดจากผู้ขาย และศึกษาจากสื่อทางอินเทอร์เน็ต เพื่อป้องกันการเสียหายของอุปกรณ์

2). ปัญหา สถานที่ในการทดสอบการวัดระดับความแรงของสัญญาณ มีสิ่งกีดขวางขณะทำการทดลอง หรือมีสัญญาณรบกวนจากภายนอก จึงมีผลทำให้ระดับความแรงของสัญญาณมีค่าความผิดพลาดเกิดขึ้นเล็กน้อย

แนวทางแก้ไข ทำการทดลองหาสถานที่ที่มีสิ่งกีดขวางน้อยที่สุด และมีสัญญาณรบกวนจากภายนอกน้อยที่สุด

3). ปัญหา อาจเกิดอันตรายจากอุบัติเหตุรถชนในขณะที่ทำการทดลอง

แนวทางแก้ไข ทำการทดลองด้วยความระมัดระวังมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. นัตรชัย ไวยาพัฒน์กร “การวิเคราะห์สายอากาศ”, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
2. Constantine A. Balanis “Antenna Theory Analysis and Design (Third Edition)” John Wiley & Son, 2005.
3. B.R.Ackrouyed, “Satellite Communications, Project UNIVERSE and local area network”, Communication & Broadcasting, pp.4-7, 2006.
4. Balanis, Constantine A., “Antennas Theory Analysis and Design”, Network, John Wiley & Sons, 1982.
5. John D.Kraus, “Antennas”, 2nd Ed, McGraw-Hill, 1992.
6. Thomas A. Milligan, “Modern Antenna Design”, McGraw-Hill, 1985.
7. wireless.gumph.org.Wireless Info Easy Homemade 2.4 GHz. Antenna.[online]. Available: <http://wireless.gumph.org/article/homemade.html> 2005-2007.
8. p-hz. 13 Element Grid Antennas for 2.4GHz. WLAN.[online]. Available: http://www.p-hz.com/module/webboard.php?fn=show&q_id=21 2006-2007.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้