

สายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก
OFFSET PARABOLIC REFLECTOR ANTENNA



โดย
นายพิชญ สุพรรณกุล
นายวันวิฑูรย์ รักษาธรรมมัน

วัน เดือน ปี..... 22 ค.ค. 2541
เลขทะเบียน..... 039103
เลขเรียกหนังสือ..... 100๖๖ พ. ๒๖๑๓

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มี 039103

สายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก
OFFSET PARABOLIC REFLECTOR ANTENNA

โดย

นายพิชญ สุพรรณกุล 37014287

นายวันวิฑูรย์ รัชชธรรมมัน 37014389

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. ณรงค์

เหมกรณ์

ผศ. นิภา

ลีลารุจิ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก

OFFSET PARABOLIC REFLECTOR ANTENNA

โดย นายพิชญ สุพรรณกุล 37014287

นายวันวิษุรีย์ รัศมีธรรมมัน 37014389

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ณรงค์ เหมกรณ์

ผศ. นิภา ลีลาธุจิ

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติ การออกแบบ การสร้าง และผลการทดสอบของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก บนวัสดุฐานรองเพอะลูมิเนียม, มุ้งลวด และสีโลหะ สามารถทำงานได้ในย่านความถี่ KU ที่ 11.85 GHz จากผลการทดสอบของสายอากาศ สังเกตได้ว่าความแตกต่างของคุณสมบัติวัสดุฐานรองแต่ละชนิดจะให้ผลการสะท้อนไม่เท่ากันทางด้านกำลังงาน แต่แพทเทิร์นของสายอากาศก็ขึ้นไปตามทฤษฎี ดังได้แสดงไว้ในรายงานนี้แล้ว

ABSTRACT

This project concerns with studying of the property, design, construction and experimental results of offset parabolic reflector antenna. The reflecting materials are aluminium tape, ironed net and metallic color. The designed frequency is in KU-band at the frequency of 11.85 GHz. The experimental results can observe that the difference on quality of each material does not give equal power but antenna pattern is theoretically which present in this report.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2540

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

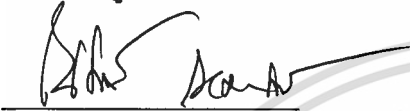
เรื่อง สายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก

OFFSET PARABOLIC REFLECTOR ANTENNA

ผู้จัดทำ

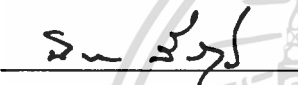
1. นายพิชญ สุพรรณกุล 37014287

2. นายวันวิฑูรย์ รัชชธรรมมัน 37014389



(รศ. ฌรงต์ เหมกรณ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา



(ผศ. นิภา สิตารัต)

อาจารย์ที่ปรึกษา

๖

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีหรือหลักการ	2
2.1 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับวิศวกรรมสายอากาศ	2
2.1.1 แพรทเทอร์นการแพร่กระจายคลื่น	2
2.1.2 ตัวแพร่กระจายคลื่น ไอโซโทรปิก	2
2.1.3 สายอากาศชี้ทิศทางและสายอากาศแบบอ้อมนิโคเรคชันแนล	3
2.1.4 โลบการแพร่กระจายคลื่น	3
2.1.5 ฮาร์ฟเพาเวอร์บีมวิทซ์	4
2.1.6 บีมวิทซ์ระหว่างนัลคู่แรก	4
2.1.7 อัตราส่วนของโลบข้างหรือระดับของโลบข้าง	4
2.1.8 อัตราส่วนของโลบหน้าต่อโลบหลัง	5
2.1.9 เรเดียนและสเตอเรเดียน	5
2.1.10 ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น	6
2.1.11 ไคเรคตีวิตี	6
2.1.12 เกน	7
2.1.13 ประสิทธิภาพของบีม	7
2.1.14 บริเวณค่า ๆ ของสนามจากงานสายอากาศ	7
2.2 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับวิศวกรรมแม่เหล็กไฟฟ้า	8
2.2.1 สมการของแมกซ์เวลล์	8
2.2.2 การแยกประเภทของตัวกลาง	9
2.2.3 คลื่นระนาบและสมการคลื่นในตัวกลางไดอิเล็กทริก	10
2.2.4 ตัวนำและคลื่นในระนาบตัวนำ	11
2.2.5 โพลาริเซชันของคลื่น	12
2.2.6 การสะท้อน การหักเห และการเบี่ยงเบนของคลื่น	14
2.3 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับระบบคาวเทียม	17
2.3.1 ความถี่ขาขึ้นและขาลง	17
2.3.2 ช่องสัญญาณของคาวเทียม	17
2.3.3 ฟูดปรินท์	18
2.3.4 การคำนวณหามุมเงยและมุมอาซิมุท	19
2.4 ทฤษฎีสายอากาศแบบพาราโบลิก	22
2.4.1 สายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
2.4.2 รูปทรงเรขาคณิตของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก	23
2.4.3 การแบ่งชนิดของงานสายอากาศตามวัสดุที่ใช้	24
2.4.4 อัตราการขยายของงาน	24
2.4.5 ข้อเปรียบเทียบระหว่างงานพาราโบลิกแบบลึกกับแบบตื้น	25
2.4.6 อัตราส่วน f/D	26
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	28
3.1 การออกแบบสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก	28
3.2 การคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D)	28
3.3 การเลือกค่า f/D	29
3.4 การสร้างสมการพาราโบลาที่ใช้ในการสร้างสายอากาศแบบเซ็นเตอร์ไฟกัส	29
3.5 การสร้างสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกจากสายอากาศแบบเซ็นเตอร์ไฟกัส	31
3.6 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้	31
3.7 การสร้างโมลด์ (Mold)	33
3.8 การสร้างงานสายอากาศ	34
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	37
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	37
4.2 บล็อกไดอะแกรมในการต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	37
4.3 ขั้นตอนการทดลอง	39
4.4 ผลการทดลอง	41
บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป	45
5.1 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง	45
5.2 แนวทางการพัฒนา	45
กิตติกรรมประกาศ	
หนังสืออ้างอิง	

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 ขั้นตอนการทำปฏิกิริยานิวทริ	2
รูปที่ 2.1 ระบบโคออดิเนทสำหรับการวิเคราะห์สายอากาศ	3
รูปที่ 2.2 แพทเทอร์นของสายอากาศแบบซีทีสทาง	4
รูปที่ 2.3 (a) โลกต่าง ๆ และบีมวิคท์ของแพทเทอร์นสายอากาศ (b) แพทเทอร์นในแบบลิเนียร์	5
รูปที่ 2.4 รูปแสดงคำจำกัดความของเรเดียนและสเตอเรเดียน	6
รูปที่ 2.5 การแบ่งบริเวณของสนามจากสายอากาศ	9
รูปที่ 2.6 องค์ประกอบของสนามต่าง ๆ ของคลื่นระนาบที่สัมพันธ์กับระบบพิกัด	11
รูปที่ 2.7 คลื่นระนาบเดินทางตกกระทบบนตัวกลางที่เป็นตัวนำในทิศตั้งฉากกับรอยต่อ	12
รูปที่ 2.8 การหมุนของคลื่น	13
รูปที่ 2.9 โพลาริเซชันแบบวงรี	15
รูปที่ 2.10 คลื่นระนาบเดินทางตกกระทบในทิศตั้งฉากกับรอยต่อระหว่างตัวกลาง 2 ชนิด	16
รูปที่ 2.11 รูปทรงเรขาคณิตแสดงระนาบของการตกกระทบ (ระนาบ xy) สำหรับคลื่นที่มีโพลาริเซชันแบบเชิงเส้นที่เดินทางตกกระทบในทิศทำมุมใด ๆ บนรอยต่อระหว่างตัวกลางสองชนิด	16
รูปที่ 2.12 แถบแสดงความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	19
รูปที่ 2.13 ฟุคปรินท์ของความถี่วิทยุในย่านความถี่ C	19
รูปที่ 2.14 ฟุคปรินท์ของความถี่วิทยุในย่านความถี่ KU	20
รูปที่ 2.15 มุมเงยและมุมอาซิมุม	20
รูปที่ 2.16 โคออร์ดิเนทของสถานีรับสัญญาณดาวเทียม	21
รูปที่ 2.17 โคออร์ดิเนทใหม่ของสถานีรับสัญญาณดาวเทียม	22
รูปที่ 2.18 สายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก	23
รูปที่ 2.19 (a) ระบบ โคออร์ดิเนท (coordinate) ของตัวสะท้อนแบบออฟเซต (b) แผนภาพแสดงค่าคงที่ θ, ϕ บนระนาบโปรเจกทอเพอร์เจอร์	24
รูปที่ 2.20 ความแตกต่างระหว่างงานรับสัญญาณแบบดัดกับแบบลึค	27
รูปที่ 2.21 ระยะโฟกัสสำหรับค่า f/d ต่าง ๆ	28
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก	29
รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการออกแบบสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก	30
รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมแสดงการหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ	30
รูปที่ 3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่ใช้งานกับแกน	32
รูปที่ 3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง y กับ x จากสมการ $x = y^2/120$	34
รูปที่ 3.6 การทำออฟเซตโฟกัสมาจากเซ็นเตอร์โฟกัส	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
รูปที่ 3.7 ลักษณะทางเรขาคณิตของจานคั่นแบบ	35
รูปที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรมกระบวนการสร้าง	36
รูปที่ 3.9 ลักษณะการวางโซ่สาย	37
รูปที่ 3.10 โมลของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก	39
รูปที่ 3.11 การวางแบบแกนค้ำและแบบรีเวอร์คแกนค้ำ	40
รูปที่ 3.12 สายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้เทปอะลูมิเนียมเป็นตัวสะท้อน	40
รูปที่ 3.13 สายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้มุ้งลวดเป็นตัวสะท้อน	41
รูปที่ 3.14 สายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้สลิโลหะเป็นตัวสะท้อน	41
รูปที่ 4.1 ชุดวัดความถี่เรโซแนนซ์	42
รูปที่ 4.2 การจัดวางเครื่องมือวัดสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้เทปอะลูมิเนียมเป็นตัวสะท้อน	43
รูปที่ 4.3 การจัดวางเครื่องมือวัดสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้มุ้งลวดเป็นตัวสะท้อน	44
รูปที่ 4.4 การจัดวางเครื่องมือวัดสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้สลิโลหะเป็นตัวสะท้อน	44
รูปที่ 4.5 ค่า S_{22} ของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้เทปอะลูมิเนียมเป็นตัวสะท้อน	45
รูปที่ 4.6 ค่า SWR ของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้เทปอะลูมิเนียมเป็นตัวสะท้อน	45
รูปที่ 4.7 ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้เทปอะลูมิเนียมเป็นตัวสะท้อน	46
รูปที่ 4.8 ค่า S_{22} ของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้มุ้งลวดเป็นตัวสะท้อน	46
รูปที่ 4.9 ค่า SWR ของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้มุ้งลวดเป็นตัวสะท้อน	47
รูปที่ 4.10 ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้มุ้งลวดเป็นตัวสะท้อน	47
รูปที่ 4.11 ค่า S_{22} ของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้สลิโลหะเป็นตัวสะท้อน	48
รูปที่ 4.12 ค่า SWR ของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้สลิโลหะเป็นตัวสะท้อน	48
รูปที่ 4.13 ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้สลิโลหะเป็นตัวสะท้อน	49
รูปที่ 4.14 บล็อกไดอะแกรมแสดงการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ	51
รูปที่ 4.15 คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ควบคุมการหมุนสายอากาศ	52
รูปที่ 4.16 การติดตั้งสายอากาศฮอร์นให้ส่งคลื่นตามแนวอน	53
รูปที่ 4.17 การติดตั้งสายอากาศฮอร์นให้ส่งคลื่นตามแนวตั้ง	53
รูปที่ 4.18 สเปกตรัมสนามไฟฟ้าของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้อะลูมิเนียมเป็นตัวสะท้อน	54
รูปที่ 4.19 สเปกตรัมสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้อะลูมิเนียมเป็นตัวสะท้อน	54
รูปที่ 4.20 กราฟเชิงขั้วแสดงแพทเทิร์นสนามไฟฟ้าของสายอากาศออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้อะลูมิเนียมเป็นตัวสะท้อน	55
รูปที่ 4.21 กราฟเชิงเส้นแสดงแพทเทิร์นสนามไฟฟ้าของสายอากาศออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้อะลูมิเนียมเป็นตัวสะท้อน	55
รูปที่ 4.22 กราฟเชิงขั้วแสดงแพทเทิร์นสนามแม่เหล็กของสายอากาศออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้อะลูมิเนียมเป็นตัวสะท้อน	56

	หน้า
รูปที่ 4.23 กราฟเชิงเส้นแสดงแพทเทอร์นสนามแม่เหล็กของสายอากาศออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้ อะลูมิเนียมเป็นตัวสะท้อน	56
รูปที่ 4.24 สเปกตรัมสนามไฟฟ้าของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้มั่งลวดเป็นตัวสะท้อน	57
รูปที่ 4.25 สเปกตรัมสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้มั่งลวดเป็นตัวสะท้อน	57
รูปที่ 4.26 กราฟเชิงขั้วแสดงแพทเทอร์นสนามไฟฟ้าของสายอากาศออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้มั่งลวด เป็นตัวสะท้อน	58
รูปที่ 4.27 กราฟเชิงเส้นแสดงแพทเทอร์นสนามไฟฟ้าของสายอากาศออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้มั่งลวด เป็นตัวสะท้อน	58
รูปที่ 4.28 กราฟเชิงขั้วแสดงแพทเทอร์นสนามแม่เหล็กของสายอากาศออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้มั่งลวด เป็นตัวสะท้อน	59
รูปที่ 4.29 กราฟเชิงเส้นแสดงแพทเทอร์นสนามแม่เหล็กของสายอากาศออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้มั่งลวด เป็นตัวสะท้อน	59
รูปที่ 4.30 สเปกตรัมสนามไฟฟ้าของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้สีโลหะเป็นตัวสะท้อน	60
รูปที่ 4.31 สเปกตรัมสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้สีโลหะเป็นตัวสะท้อน	60
รูปที่ 4.32 กราฟเชิงขั้วแสดงแพทเทอร์นสนามไฟฟ้าของสายอากาศออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้สีโลหะ เป็นตัวสะท้อน	61
รูปที่ 4.33 กราฟเชิงเส้นแสดงแพทเทอร์นสนามไฟฟ้าของสายอากาศออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้สีโลหะ เป็นตัวสะท้อน	61
รูปที่ 4.34 กราฟเชิงขั้วแสดงแพทเทอร์นสนามแม่เหล็กของสายอากาศออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้สีโลหะ เป็นตัวสะท้อน	62
รูปที่ 4.35 กราฟเชิงเส้นแสดงแพทเทอร์นสนามแม่เหล็กของสายอากาศออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้สีโลหะ เป็นตัวสะท้อน	62

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่ใช้งานกับแกน	32
ตารางที่ 3.2 ค่าของพารามิเตอร์ต่าง ๆ	33
ตารางที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง y กับ x จากสมการ $x = y^2/120$	34
ตารางที่ 4.1 สรุปผลการทดลองที่วัดได้	49
ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติต่าง ๆ ที่ได้จากการวัดแพทเทอร์นของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่มีเพออะลูมิเนียม, มั่งลวด และสีโลหะเป็นตัวสะท้อน	63
ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองที่วัดได้ในบทที่ 4	64



บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำที่มาและความสำคัญของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก

ปัจจุบัน วิศวกรรมไมโครเวฟและวิศวกรรมสายอากาศ ระบบการสื่อสารส่วนบุคคล และระบบ มัลติมีเดีย ถูกพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว และได้รับความสนใจมาก จึงจำเป็นต้องทำให้ระบบเหล่านี้มีประสิทธิภาพ สูง ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และมีราคาถูก

ในระบบการสื่อสารความถี่สูง สัญญาณที่รับมาจากความถี่สูงจะถูกลดทอนลง ไปมาก อันเนื่องจากระยะ ทางจากความถี่มายังโลกเป็นระยะทางที่ไกลมาก และใช้คลื่นที่มีความถี่สูง ดังนั้น สายอากาศที่ใช้จึงจำเป็นต้องมีเกนสูง สายอากาศแบบพาราโบลิกเป็นสายอากาศชนิดหนึ่งที่มีความเหมาะสม ซึ่งมีคุณสมบัติในการ สะท้อนคลื่น ได้ดี และมีลักษณะเป็นทรงพาราโบลิก ทำหน้าที่รวมคลื่นไว้ที่จุด ๆ หนึ่ง ซึ่งจุดนี้เรียกว่าจุดโฟกัส และจะมีตัวไฟลด์อยู่ที่จุด โฟกัส เพื่อทำหน้าที่รับคลื่นมาใช้งาน

การสื่อสารความถี่สูง ๆ จะเห็นว่าตัวไฟลด์และก้านที่ใช้ยึดตัวไฟลด์จะมีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับ ความยาวคลื่น ดังนั้น จึงทำให้เกิดการบึงการเดินทางของคลื่น และทำให้เกิดการกระจายของคลื่นออกไปในทิศ ทางที่เราไม่ต้องการ จึงได้มีการแก้ปัญหาโดยวิธีเลือกใช้เพียงส่วนหนึ่งของตัวสะท้อนคลื่น โดยที่ตัวไฟลด์ที่อยู่ บริเวณโฟกัสต้องไม่บังเส้นทางเดินของคลื่น สายอากาศชนิดนี้เรียกว่าสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก ซึ่งมี ผลให้ระดับของโลบข้างที่เกิดจากการกระจายของคลื่นลดลง ดังนั้น สายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกจึงมี ขนาดเล็ก มีน้ำหนักเบา ประหยัดวัสดุ และเหมาะสมแก่การใช้งาน

ในการทำสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก นอกจากจะต้องออกแบบรูปร่างหรือขนาดของสาย อากาศให้เหมาะสมแล้ว ยังจะต้องคำนึงถึงวัสดุที่นำมาทำเป็นตัวสะท้อนคลื่นด้วย วัสดุที่จะมาทำเป็นตัวสะท้อน นี้ควรจะมีส่วนผสมที่เป็นโลหะอยู่มาก เพื่อที่จะมีคุณสมบัติการสะท้อนคลื่นและรวมคลื่นเข้าสู่โฟกัสที่ดี

ปริญญานิพนธ์นี้มีจุดประสงค์เพื่อเสนอคุณสมบัติของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่มีตัว สะท้อนชนิดต่าง ๆ ที่หาได้ง่ายทั่วไป คือ เทปอะลูมิเนียม, มุ้งลวด และสีโลหะ ทำการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ หาวัสดุที่เหมาะสมที่จะทำเป็นตัวสะท้อนของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก

1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาการทำสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่มีตัวสะท้อนเป็นชนิดต่าง ๆ
3. เพื่อศึกษาวิธีการวัดและทดสอบสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. ทำสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกในช่วงความถี่ย่าน KU-band โดยมีเทปอะลูมิเนียม, มุ้งลวด และสีโลหะเป็นตัวสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการวัดและทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก
3. เปรียบเทียบคุณสมบัติของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่มีวัสดุเป็นตัวสะท้อนแตกต่างกัน

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ได้รับความรู้ที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศแบบพาราโบลิกแบบเซ็นเตอร์โฟกัส
2. ได้รับความรู้ที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก
3. ได้รู้จักกรรมวิธีการสร้างสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก
4. ได้รู้จักวิธีการวัดคุณสมบัติของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกเพื่อที่จะนำไปใช้งานจริง
5. ได้รู้จักวัสดุที่เหมาะสมที่จะมาใช้เป็นตัวสะท้อนในสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก
6. เพื่อใช้ในการพัฒนาสายอากาศต่อไปในอนาคต

1.5 รายละเอียดและขั้นตอนการทำปริญญานิพนธ์

ในการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ได้มีการศึกษา วางแผน และทำงานตามขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ขั้นตอนการทำวิทยานิพนธ์

การศึกษาทฤษฎี จะอยู่ในบทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่าง ๆ ที่ควรรู้ และใช้ประกอบในการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ ซึ่งจะประกอบไปด้วย ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับวิศวกรรมสายอากาศ ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับวิศวกรรมแม่เหล็กไฟฟ้า ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับระบบดาวเทียม และทฤษฎีสายอากาศแบบพาราโบลิก

การออกแบบและการสร้าง จะอยู่ในบทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบ และขั้นตอนการทำสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก

การวัดคุณสมบัติ จะอยู่ในบทที่ 4 กล่าวถึงวิธีการวัด และผลการวัดคุณสมบัติของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก

วิเคราะห์และสรุป จะอยู่ในบทที่ 5 วิเคราะห์ผลที่ได้จากการวัด และสรุปของผลการวัดคุณสมบัติของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

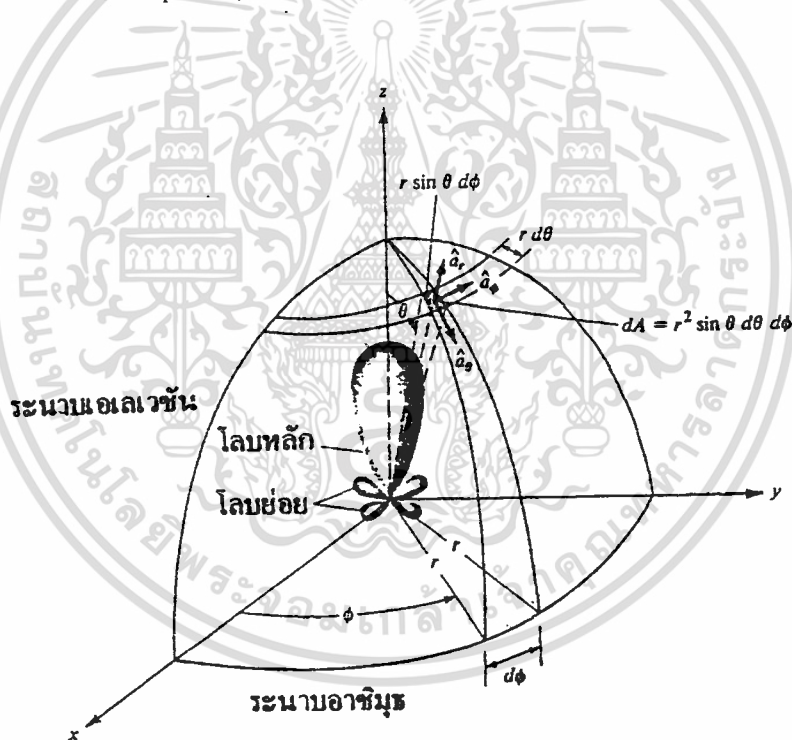
ทฤษฎีหรือหลักการ

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับวิศวกรรมสายอากาศ

2.1.1 แพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่น

แพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่น (radiation pattern) คือ รูปภาพที่ใช้เพื่อแสดงคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่น

รูปที่ 2.1 แสดงระบบ โคออดิเนตที่ใช้แสดงคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่น สำหรับการ ใช้เส้นเพื่อแสดงกำลังงานที่สายอากาศรับได้ตามแนวรัศมีที่มีค่าคงที่ เรียกว่า แพทเทิร์นกำลังงาน (power pattern) ของสายอากาศ และกราฟที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าในทิศทางต่าง ๆ ที่มีรัศมีคงที่ เรียกว่า แพทเทิร์นสนาม (field pattern) ของสายอากาศนั้น



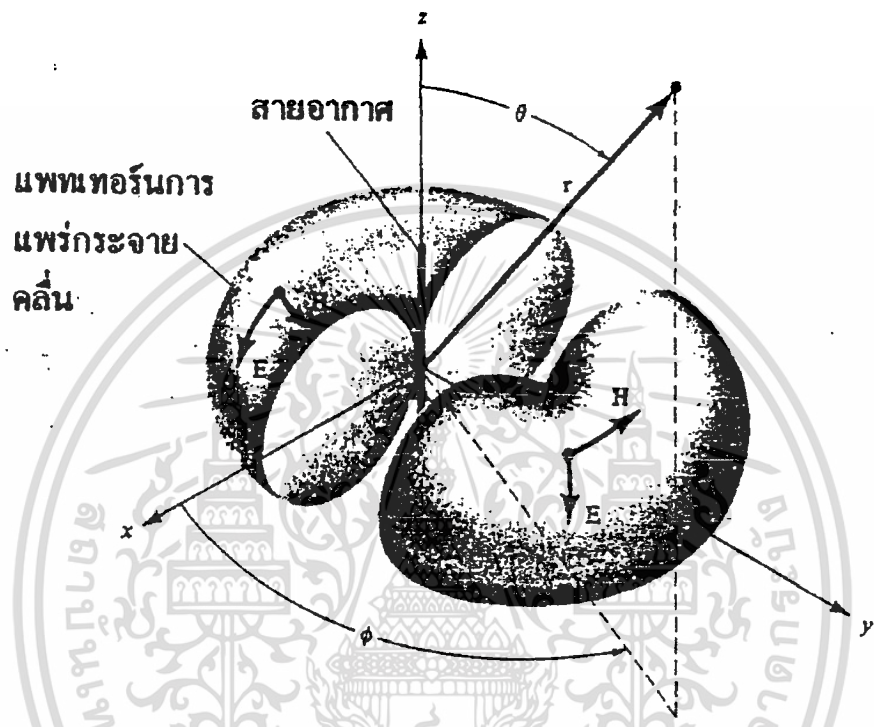
รูปที่ 2.1 ระบบ โคออดิเนตสำหรับการวิเคราะห์สายอากาศ

2.1.2 คิวแพร่กระจายคลื่น ไอโซโทรปิก

คิวแพร่กระจายคลื่นแบบไอโซโทรปิก (isotropic radiator) คือ สายอากาศที่ถูกสมมุติขึ้น โดยมีคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นเท่ากันในทุกทิศทาง ยกตัวอย่างเช่น พอยท์ซอร์ส (point source) เป็นสายอากาศแบบหนึ่งที่ไม่สามารถสร้างได้จริง แต่มักจะใช้เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบกับสายอากาศจริงเกี่ยวกับการแสดงคุณสมบัติ แสดงทิศทางของสายอากาศ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 สายอากาศชี้ทิศทางและสายอากาศแบบออมนิไดเรกชันแนล

สายอากาศชี้ทิศทาง (directional antenna) เป็นสายอากาศซึ่งมีคุณสมบัติของการส่งหรือรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดีในเฉพาะทิศทางที่กำหนดเท่านั้น ตัวอย่างหนึ่งของสายอากาศที่มีคุณสมบัตินี้คือ สายอากาศแบบออมนิไดเรกชันแนล (omnidirectional antenna) คุณสมบัตินี้แสดงในรูป 2.2



รูปที่ 2.2 แพทเทิร์นของสายอากาศแบบชี้ทิศทาง (ออมนิไดเรกชันแนล)

2.1.4 โลบของการแพร่กระจายคลื่น

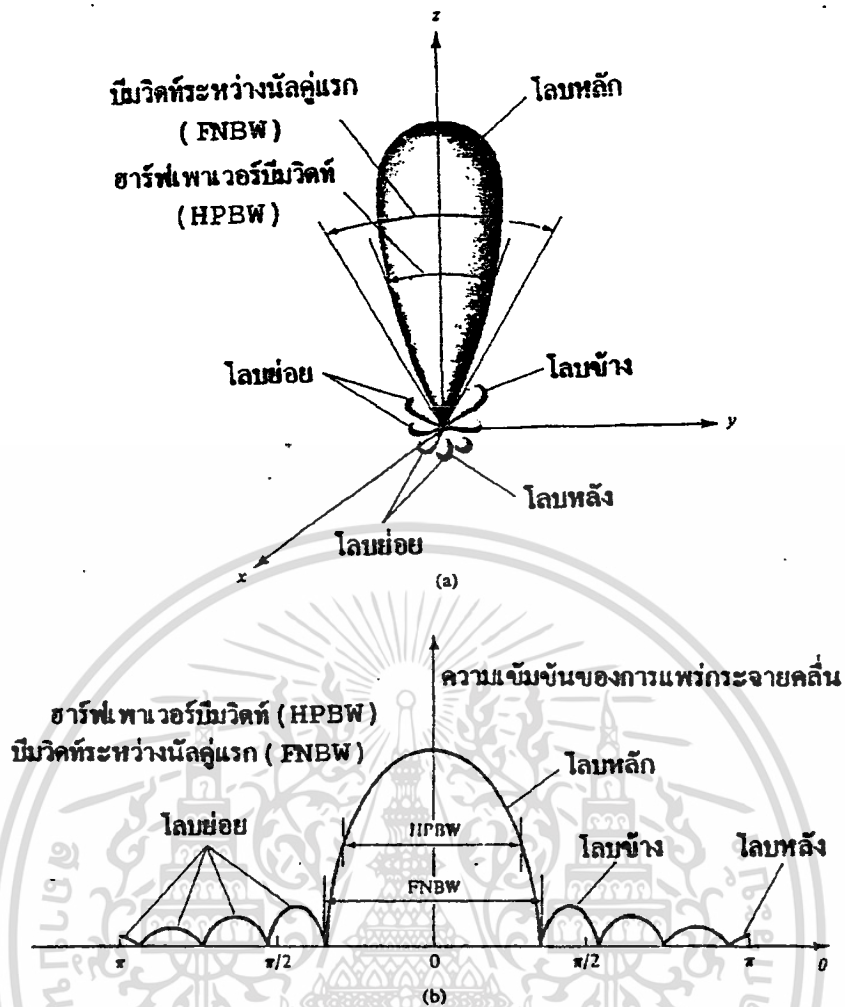
โอบของการแพร่กระจายคลื่น (radiation lobe) เป็นส่วนหนึ่งของแพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดเป็นบริเวณ โดยการปิดล้อมของส่วนที่มีความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นต่ำ รูปที่ 2.3 แสดงโพลาร์แพทเทิร์น (polar pattern) แบบสามมิติ ซึ่งแบ่งเป็นโอบแบบต่าง ๆ ได้ดังนี้

โอบหลัก (major lobe หรือ main lobe) เป็นโอบของการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งอยู่ในทิศทางที่มีการแพร่กระจายคลื่นแรงที่สุด

โอบย่อย (minor lobe) ได้แก่โอบอื่น ๆ นอกเหนือไปจากโอบหลัก

โอบข้าง (side lobe) เป็นโอบย่อยที่อยู่ติดกับโอบหลัก และอยู่ในทิศทางครึ่งวงกลมซีกเดียวกับโอบหลัก

โอบหลัง (back lobe) เป็นโอบย่อยที่อยู่ในครึ่งวงกลมตรงข้ามกับโอบหลัก



รูปที่ 2.3 a) โลบต่าง ๆ และบีมวิดท์ของแพนเทอร์นสาขาอากาศ
b) แพนเทอร์น ในแบบลิเนียร์

2.1.5 ฮาร์ฟเพาเวอร์บีมวิดท์

ฮาร์ฟเพาเวอร์บีมวิดท์ (Half-Power Beamwidth : HPBW) เป็นมุมที่วัดระหว่างจุดที่ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นในโลบหลัก มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุดสองจุด ดังแสดงในรูปที่ 2.3

2.1.6 บีมวิดท์ระหว่างนัลคู่แรก

บีมวิดท์ระหว่างนัลคู่แรก (First Null Beamwidth : FNBW) เป็นมุมที่วัดระหว่างนัลคู่แรกที่อยู่ติดกับโลบหลัก ดังแสดงในรูปที่ 2.3

2.1.7 อัตราส่วนของโลบข้างหรือระดับของโลบข้าง

อัตราส่วนของโลบข้าง (Side Lobe Ratio) หรือระดับของโลบข้าง (Side Lobe Level : SLL) คือ อัตราส่วนของความหนาแน่นของพลังงานในโลบข้างที่กำลังคิดต่อความหนาแน่นของพลังงานในโลบหลัก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.8 อัตราส่วนของโอบหน้าต่อโอบหลัง

อัตราส่วนของโอบหน้าต่อโอบหลัง (Front to Back Ratio) คือ อัตราส่วนของความหนาแน่นของพลังงานในโอบหลักต่อความหนาแน่นของพลังงานในโอบหลัง

2.1.9 เรเดียนและสเตอเรเดียน

การวัดมุมบนระนาบจะมีหน่วยเป็นเรเดียน หนึ่งเรเดียนเป็นมุมบนระนาบ ซึ่งยอดของมันอยู่ที่จุดศูนย์กลางกลางของวงกลมที่มีรัศมี r และถูกปิดด้วยส่วนของเส้นรอบวง ซึ่งยาว r ดังแสดงในรูป 2.4a

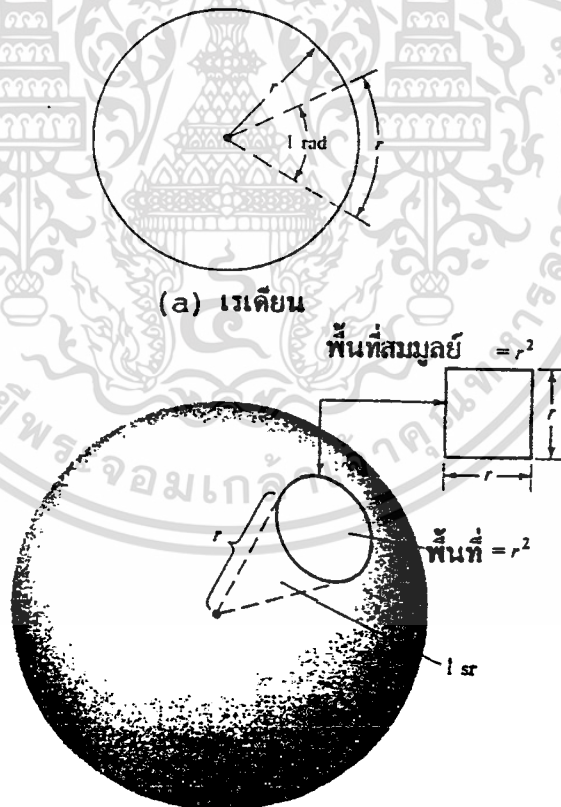
การวัดมุมตันมีหน่วยเป็นสเตอเรเดียน (sr) หนึ่งสเตอเรเดียนเป็นมุมตันที่มียอดอยู่ที่จุดศูนย์กลางกลางของทรงกลมรัศมี r ซึ่งจะครอบคลุมพื้นที่ r^2 ดังแสดงในรูป 2.4b

ตามรูป 2.1 พื้นที่ขนาดจิ๋ว dA บนผิวของทรงกลมรัศมี r จะคำนวณได้เป็น

$$dA = r^2 \sin\theta d\theta d\phi \quad (\text{radian}) \quad (2.1)$$

ดังนั้น เอลิเมนต์ (Element) ของมุมตัน $d\Omega$ ของทรงกลมเขียนได้เป็น

$$d\Omega = \sin\theta d\theta d\phi \quad (\text{sr}) \quad (2.2)$$



(b) สเตอเรเดียน

รูปที่ 2.4 รูปแสดงคำจำกัดความของเรเดียนและสเตอเรเดียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.10 ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น

ความเข้มการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่กำหนดคือ กำลังงานที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศในทิศทางนั้นต่อหน่วยมุมตัน ซึ่งสามารถหาได้จากผลคูณของความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่นกับผลจากการกำลังสองของระยะทาง โดยเขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$U = r^2 W_{\text{rad}} \quad (2.3)$$

เมื่อ U = ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (W/หน่วยมุมตัน)

W_{rad} = ความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่น (W/m²)

ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น ถ้าจะเขียนแสดงความสัมพันธ์กับสนามไฟฟ้าของสายอากาศระยะไกลได้คือ

$$\begin{aligned} U(\theta, \phi) &= \frac{r^2}{2\eta} |\bar{E}(r, \theta, \phi)|^2 \\ &\approx \frac{r^2}{2\eta} \left[|E_\theta(r, \theta, \phi)|^2 + |E_\phi(r, \theta, \phi)|^2 \right] \\ &\approx \frac{1}{2\eta} \left[|E_\theta(\theta, \phi)|^2 + |E_\phi(\theta, \phi)|^2 \right] \end{aligned} \quad (2.4)$$

เมื่อ \bar{E} = ความเข้มของสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระยะไกล

E_θ, E_ϕ = ส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระยะไกล

η = อินทริเนติกอิมพีแดนซ์ (intrinsic impedance) ของตัวกลาง

กำลังงานทั้งหมดนี้หาได้โดยอินทิเกรตความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นตาม (2.3) ตลอดมุมตัน 4π ทั้งหมด ซึ่งจะได้

$$P_{\text{rad}} = \iiint_{\Omega} U d\Omega = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi U \sin\theta d\theta d\phi \quad (2.5)$$

2.1.11 ไคเรคติวิตี

ไคเรคติวิตี (directivity) ในทิศทางที่กำหนดคือ อัตราส่วนของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางนั้นต่อความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ใช้สำหรับอ้างอิง ซึ่งปกติสายอากาศสำหรับอ้างอิงนี้จะใช้ไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์ส (isotropic point source)

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{\text{rad}}} \quad (2.6)$$

$$D_0 = \frac{U_{\text{max}}}{U_0} = \frac{4\pi U_{\text{max}}}{P_{\text{rad}}} \quad (2.7)$$

เมื่อ D = ไคเรคติวิตี (ไม่มีหน่วย)

D_0 = ค่าสูงสุดของไคเรคติวิตี (ไม่มีหน่วย)

U = ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (W/หน่วยมุมตัน)

เอกสารนี้ U_{max} = ค่าสูงสุดของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (W/หน่วยมุมตัน) ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

U_0 = ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นของไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์ส (W/หน่วยมุมตัน)

P_{rad} = กำลังงานที่แผ่กระจายทั้งหมด (W)

2.1.12 เกน

เกน (gain) ของสายอากาศในทิศทางที่กำหนดให้จะมีค่าเท่ากับ 4π คูณอัตราส่วนของความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นในทิศทางนั้นต่อกำลังงานสุทธิที่สายอากาศรับจากขั้วต่อของเครื่องส่ง เมื่อไม่ได้กำหนดทิศทางไว้ โดยทั่วไปแล้ว เราจะคิดเกนในทิศทางที่มีการแผ่กระจายคลื่นแรงที่สุด ดังนั้น

$$G = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (\text{ไม่มีหน่วย}) \quad (2.8)$$

เราสามารถเขียนได้ว่า กำลังงานที่แผ่กระจายทั้งหมด (P_{rad}) สัมพันธ์กับกำลังงานที่ป้อนให้สายอากาศ (P_{in}) ด้วย

$$P_{rad} = e_p P_{in} \quad (2.9)$$

เมื่อ e_p เป็นประสิทธิภาพรวมของสายอากาศ (ไม่มีหน่วย) ใช้ (2.8) จะทำให้ (2.7) มีความสัมพันธ์ง่ายเข้าเป็น

$$G(\theta, \phi) = e_p D(\theta, \phi) \quad (2.10)$$

2.1.13 ประสิทธิภาพของบีม

ประสิทธิภาพของบีม (Beam Efficiency : BE) สำหรับสายอากาศที่มีโลบหลักอยู่ในทิศทางแกน Z ($\theta=0$) ดังแสดงในรูป 2.3a ประสิทธิภาพของบีมจะกำหนดได้ดังนี้ คือ

$$BE = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{\theta_1} U(\theta, \phi) \sin \theta d\theta d\phi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} U(\theta, \phi) \sin \theta d\theta d\phi} \quad (\text{ไม่มีหน่วย}) \quad (2.11)$$

เมื่อให้ θ_1 เป็นมุมที่เกิดมีนัล (Null) คือ จุดตำแหน่งที่ค่ากำลังเป็นศูนย์เป็นคู่แรก ดังนั้นประสิทธิภาพของบีมจะเป็นปริมาณที่แสดงถึงอัตราส่วนของจำนวนกำลังงานใน โลบหลักต่อกำลังงานที่มีทั้งหมด

2.1.14 บริเวณต่าง ๆ ของสนามจากจานสายอากาศ

จะแบ่งบริเวณที่ล้อมรอบสายอากาศออกเป็น 3 ส่วน คือ

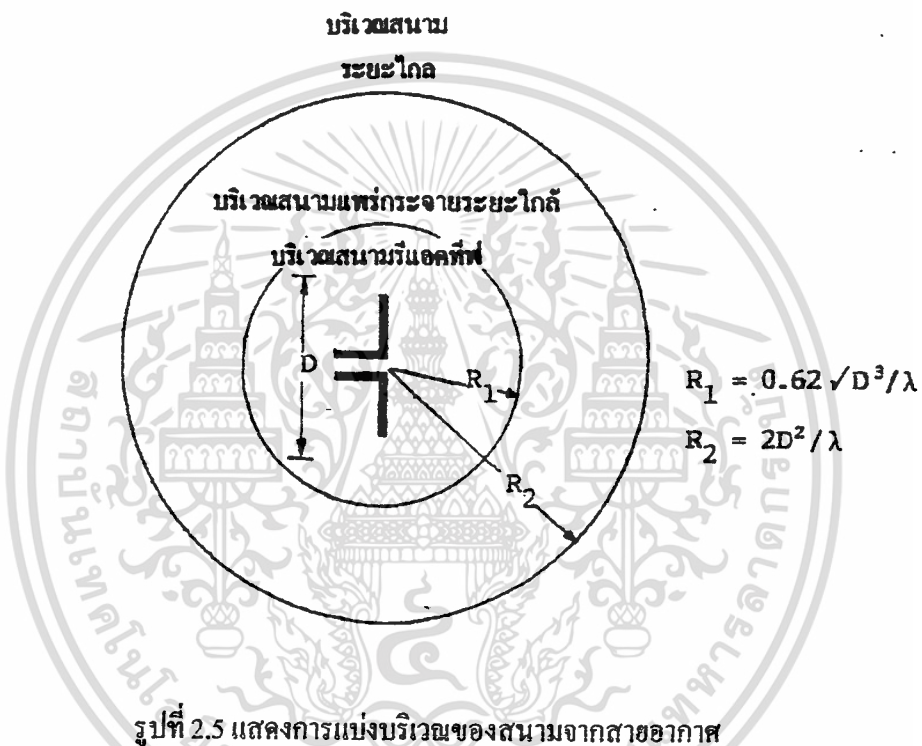
1. บริเวณสนามรีแอกทีฟระยะใกล้ (reactive-near field) เป็นบริเวณสนามที่ล้อมรอบใกล้สายอากาศมากที่สุด และมีสนามเป็นชนิดรีแอกทีฟเป็นส่วนใหญ่ บริเวณนี้จะมีระยะทาง $R < 0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}$ จากผิวของสายอากาศ เมื่อ λ เป็นความยาวคลื่น และ D เป็นมิติที่ยาวที่สุดของสายอากาศ

2. บริเวณสนามกระจายระยะใกล้ (radiating-near field) เป็นบริเวณสนามของสายอากาศที่อยู่ระหว่างบริเวณของสนามรีแอกทีฟระยะใกล้กับบริเวณสนามระยะไกล โดยมีสนามที่กระจายอยู่เป็นส่วนใหญ่ และการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระจายของสนามตามมุมต่าง ๆ นั้น แปรผันตามระยะทางจากสายอากาศ เมื่อสายอากาศมีขนาดเล็ก สนามบริเวณนี้อาจจะไม่เกิดขึ้น ในบริเวณนี้จะมีระยะทาง $0.62\sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \leq R \leq \frac{2D^2}{\lambda}$

3. บริเวณสนามระยะไกล เป็นบริเวณสนามของสายอากาศซึ่งการแพร่ของสนามของสายอากาศตามมุมต่าง ๆ ไม่ขึ้นกับระยะทางจากสายอากาศ ถ้าสายอากาศมีมิติใหญ่ที่สุดเท่ากับ D บริเวณสนามระยะไกลจะเกิดขึ้นที่ระยะทาง R มากกว่า $\frac{2D^2}{\lambda}$ จากงานสายอากาศ ในบริเวณนี้สนามจะมีลักษณะเป็นสนามคตัดขวาง (transverse field) และการแพร่กระจายของสนามตามมุมต่าง ๆ ไม่ขึ้นกับระยะทาง



2.2 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับวิศวกรรมแม่เหล็กไฟฟ้า

2.2.1 สมการของแมกซ์เวลล์

สมการของแมกซ์เวลล์เป็นสมการพื้นฐานสำหรับทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งหมด อยู่ในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (partial differential equation) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของสนามไฟฟ้ากับสนามแม่เหล็กและกับแหล่งกำเนิดกับความหนาแน่นประจุและกับความหนาแน่นกระแส ซึ่งมีอยู่ทั้งหมด 4 สมการ ได้แก่

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2.12)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (2.13)$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho \quad (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.15)$$

เมื่อ \vec{E} เป็นความเข้มสนามไฟฟ้า (NC^{-1} หรือ Vm^{-1})

\vec{H} เป็นความเข้มสนามแม่เหล็ก (Am^{-1})

t เป็นเวลา (s)

\vec{B} เป็นความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (Wbm^{-2})

\vec{J} เป็นความหนาแน่นกระแสคอนดัคชัน (Am^{-2})

\vec{D} เป็นความหนาแน่นฟลักซ์ไฟฟ้า (Cm^{-2})

ρ เป็นความหนาแน่นประจุเชิงปริมาตร (Cm^{-3})

นอกจากนี้ ยังมีสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง \vec{D} กับ \vec{E} และ \vec{B} กับ \vec{H} และ \vec{J} กับ \vec{E} อีก 3 สมการ คือ

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad (2.16)$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (2.17)$$

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (2.18)$$

เมื่อ ϵ เป็นค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของตัวกลาง ($C^2N^{-1}m^{-1}$ หรือ Fm^{-1})

μ เป็นค่าเพอร์มิบิลิตี (permeability) ของตัวกลาง (Hm^{-1})

σ เป็นค่าความนำของตัวกลาง (Sm^{-1})

2.2.2 การแยกประเภทของตัวกลาง

ในทางฟิสิกส์ เราสามารถแยกสารต่าง ๆ ได้ออกเป็น 3 ประเภท คือ ตัวนำ (conductor) สารกึ่งตัวนำ (semiconductor) และฉนวนหรือไดอิเล็กทริก (insulator or dielectric) โดยแยกประเภทตามค่าความนำไฟฟ้า ในการศึกษาเกี่ยวกับคลื่นจะแยกศึกษาในตัวกลางแต่ละชนิด

เราสามารถที่จะกำหนดเฉพาะเจาะจงลงไปสำหรับการแยกประเภทของตัวกลางว่าเป็นชนิดใด โดย

พิจารณาที่ค่าอัตราส่วน $\frac{\sigma}{\omega\epsilon}$ ดังต่อไปนี้

$$\text{ไดอิเล็กทริก} \quad \frac{\sigma}{\omega\epsilon} < \frac{1}{100}$$

$$\text{กึ่งตัวนำ} \quad \frac{1}{100} < \frac{\sigma}{\omega\epsilon} < 100$$

$$\text{ตัวนำ} \quad 100 < \frac{\sigma}{\omega\epsilon}$$

เมื่อ σ = ค่าความนำของตัวกลาง (Sm^{-1})

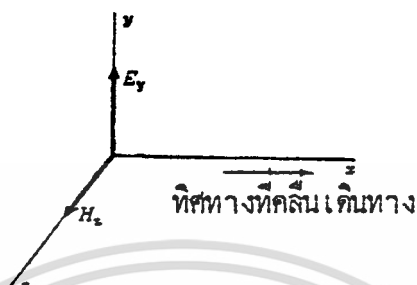
ϵ = ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของตัวกลาง (Fm^{-1})

ω = ความเร็วเชิงมุม = $2\pi f$ เมื่อ f เป็นความถี่ (Hz)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 คลื่นระนาบและสมการคลื่นในตัวกลางไดอิเล็กทริก

สมมติว่ามีคลื่นระนาบคลื่นหนึ่งกำลังเดินทางไปในทิศทางของแกน x สนามไฟฟ้า \vec{E} มีเพียงองค์ประกอบเดียว คือ E_y อยู่ในทิศ y และสนามแม่เหล็ก \vec{H} มีองค์ประกอบเดียวคือ H_z อยู่ในทิศ z ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 องค์ประกอบของสนามต่าง ๆ ของคลื่นระนาบที่สัมพันธ์กับระบบพิกัด

เนื่องจากกำลังพิจารณาถึงคลื่นในตัวกลางที่ไม่เป็นตัวนำ ค่าของความหนาแน่นของกระแสคอนดักชัน จะมีค่าเป็นศูนย์ ($\vec{J} = 0$) ดังนั้น สมการ (2.13) จะลดรูปลงเหลือเป็น

$$\nabla \times \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (2.19)$$

สำหรับคลื่นระนาบที่เดินทางไปในทิศ x และไม่มีการเปลี่ยนแปลงของคลื่นในทิศ y และ z (ค่าอนุพันธ์เทียบกับ y และ z จะเป็นศูนย์) และจากสมการ (2.12), (2.16), (2.17), (2.19) และใช้ความสัมพันธ์ของ

ความเร็ว $v = f\lambda = \frac{\omega}{\beta}$ จะสามารถหาค่า E_y ได้เป็น (โดยสมมติให้คลื่นเดินทางไปในทิศ $+x$)

$$E_y = E_0 \sin(\omega t - \beta x) \quad (2.20)$$

เมื่อ E_0 เป็นค่าสูงสุดของ E_y

ω เป็นความเร็วเชิงมุมมีค่าเท่ากับ $2\pi f$ โดยที่ f เป็นความถี่ (Hz)

β เป็นค่าคงที่ของการแพร่ (propagation constant) มีค่าเท่ากับ $2\pi/\lambda$ โดยที่ λ เป็นความยาวคลื่น (m) ในทำนองเดียวกัน ก็จะหาค่า H_z ได้เป็น

$$H_z = H_0 \sin(\omega t - \beta x) \quad (2.21)$$

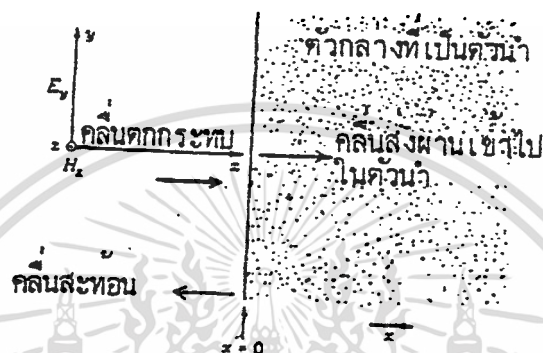
เมื่อ H_0 เป็นค่าสูงสุดของ H_z

สมการ (2.20) กับ (2.21) เราเรียกว่า สมการคลื่น โดยที่สมการทั้งสองจะมีความสัมพันธ์กันในรูปของอิมพีแดนซ์อินทรินซิก (intrinsic impedance) Z ดังสมการ (2.22)

$$Z = \frac{E_y}{H_z} = \frac{E_0}{H_0} = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \quad (2.22)$$

2.2.4 คำนวณและคลื่นในระนาบตัวนำ

สมมุติคลื่นระนาบที่เดินทางคลื่นหนึ่งเคลื่อนที่ตกกระทบบนรอยต่อของตัวกลางซึ่งเป็นตัวนำ ในทิศตั้งฉากกับรอยต่อดังแสดงในรูปที่ 2.7 ส่วนหนึ่งของพลังงานคลื่นตกกระทบบนรอยต่อจะสะท้อนกลับ ในขณะที่ส่วนที่เหลือจะเคลื่อนที่เข้าไปในตัวนำได้ เราจะละทิ้งความสนใจกับคลื่นที่สะท้อนกลับออกมาและจะสนใจไปที่คลื่นที่เดินทางเข้าไปเท่านั้น



รูปที่ 2.7 คลื่นระนาบเดินทางตกกระทบบนตัวกลางที่เป็นตัวนำในทิศตั้งฉากกับรอยต่อ

ในตัวกลางที่เป็นตัวนำ \vec{j} ไม่อาจละทิ้งได้ ดังนั้น จากสมการที่ (2.13) (2.16) และ (2.18) จะได้

$$\nabla \times \vec{H} = \sigma \vec{E} + \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (2.23)$$

สำหรับคลื่นระนาบที่มีโพลาไรเซชันเป็นแบบเชิงเส้น และเดินทางในทิศ $+x$ โดยมี \vec{E} ในทิศ y และ \vec{H} ในทิศ z และจากสมการ (2.12), (2.16), (2.17), (2.23) สามารถหาค่า E_y ได้เป็น

$$E_y = E_0 e^{-\gamma x} \quad (2.24)$$

ในทำนองเดียวกัน ก็จะหาค่า H_z ได้เป็น

$$H_z = H_0 e^{-\gamma x} \quad (2.25)$$

เมื่อ E_0 เป็นค่าสูงสุดของ E_y

H_0 เป็นค่าสูงสุดของ H_z

โดยที่ γ เป็นค่าคงที่ของการแพร่ (propagation constant) ของคลื่น มีค่าเป็น

$$\gamma^2 = \omega \mu \sigma - \omega^2 \mu \epsilon \quad (2.26)$$

สำหรับตัวนำ $\sigma \gg \omega \epsilon$ ดังนั้นสมการ (2.26) จะลดรูปเป็น

$$\gamma^2 = \omega \mu \sigma \quad (2.27)$$

และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\gamma = \sqrt{j\omega\mu\sigma} = (1+j)\sqrt{\frac{\omega\mu\sigma}{2}} \quad (2.28)$$

γ มีทั้งส่วนจริงและส่วนจินตภาพ ถ้าเราเขียนให้ $\gamma = \alpha + j\beta$ เราจะเห็นได้ว่า α ซึ่งเป็นส่วนจริงจะเกี่ยวข้องกับอัตราการลดทอนขนาด และ β ซึ่งเป็นส่วนจินตภาพจะเกี่ยวข้องกับเฟสของคลื่น

ถ้าเราเขียนสมการ (2.24) ให้อยู่ในรูปต่อไปนี้

$$E_y = E_0 e^{-\frac{x}{\delta}} e^{-j\frac{x}{\delta}} \quad (2.29)$$

โดยที่ δ เป็นความลึก $1/e$ ที่คลื่นเดินทางเข้าไปในตัวนำ ($1/e$ depth of penetration)

$$= \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}} \quad (m)$$

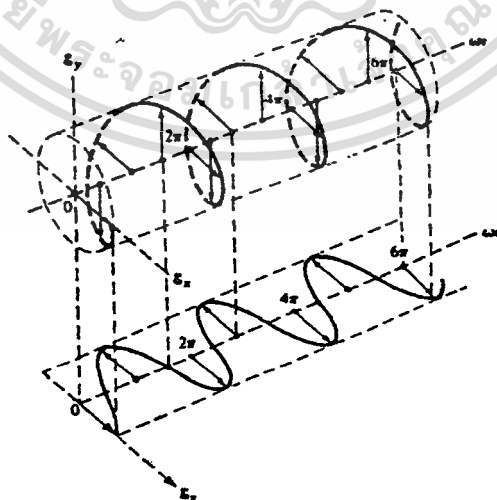
ดังนั้น ที่ระยะทาง $x=0$ หรือขณะที่คลื่นเดินทางเข้าไปในตัวนำได้ระยะทาง δ ขนาดของสนามไฟฟ้า E_y จะลดลงเป็น $1/e$ เท่า (36.8%) ของค่าเริ่มต้น

และจะได้ค่าอิมพีแดนซ์อินทรีนซิกสำหรับตัวกลางที่เป็นตัวนำดังนี้

$$Z_c = \frac{E_y}{H_z} = \frac{1+j}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{\omega\mu}{\sigma}} = (1+j) \frac{1}{\sigma\delta} \quad (2.30)$$

2.2.5 โพลาริเซชันของคลื่น

โพลาริเซชัน (polarization) ของคลื่นที่แพร่กระจายนั้น เป็นรูปแสดงคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายออกไป ที่อธิบายทิศทางและขนาดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าซึ่งแปรผันตามเวลา รูปแสดงโพลาริเซชันจะแสดงการกวาดของยอดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่เวลาต่าง ๆ ณ ตำแหน่งที่ทำการสังเกตซึ่งคงที่ และการสังเกตนี้จะทำโดยมองตามหลังคลื่นที่เดินทางไป รูป 2.8 ประกอบ



รูปที่ 2.8 แสดงการหมุนของคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมุติให้สนามไฟฟ้า \vec{E} มีองค์ประกอบของสนามไฟฟ้าในทิศ x เป็น E_x และในทิศ y เป็น E_y ซึ่งแต่ละองค์ประกอบนี้มีค่าเป็น

$$\vec{E}_x = E_x \sin(\omega t - \beta z) \vec{a}_x \quad (2.31)$$

$$\vec{E}_y = E_y \sin(\omega t - \beta z + \delta) \vec{a}_y \quad (2.32)$$

เมื่อ E_x เป็นขนาดของคลื่นที่มีโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น ในทิศ x

E_y เป็นขนาดของคลื่นที่มีโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น ในทิศ y

δ เป็นมุมเฟส-เวลาที่ E_y นำหน้า E_x

รวมสมการ (2.31) กับ (2.32) จะได้เวกเตอร์ของสนามทั้งหมด \vec{E} ที่ขณะหนึ่งขณะใดของเวลาคือ

$$\vec{E} = E_x \sin(\omega t - \beta z) \vec{a}_x + E_y \sin(\omega t - \beta z + \delta) \vec{a}_y \quad (2.33)$$

ก. โพลาไรเซชันแบบเชิงเส้น

คลื่นที่เป็นโพลาไรเซชันแบบเชิงเส้น จะเกิดขึ้นเมื่อ δ มีค่าเป็นดังนี้

$$\delta = n\pi, \quad n=0, 1, 2, \dots \quad (2.34)$$

ข. โพลาไรเซชันแบบวงกลม

คลื่นที่เป็นโพลาไรเซชันแบบวงกลม จะเกิดขึ้นเมื่อสนามทั้งสองจะต้องมีค่าเท่ากัน และค่า δ เป็นดังนี้

$$E_x = E_y \quad (2.35)$$

$$\delta = +(1/2+2n)\pi, \quad n=0, 1, 2, \dots \quad \text{ตามเข็มนาฬิกา (clockwise)} \quad (2.36)$$

$$-(1/2+2n)\pi, \quad n=0, 1, 2, \dots \quad \text{ทวนเข็มนาฬิกา (counter clockwise)} \quad (2.37)$$

ค. โพลาไรเซชันแบบวงรี

คลื่นที่มีโพลาไรเซชันแบบวงรี จะเกิดเมื่อสนามทั้งสองมีค่าไม่เท่ากัน และ δ มีค่าเป็นจำนวนคี่ของ $\pi/2$ หรือ δ มีค่าไม่เป็นจำนวนคี่ของ n นั่นคือ

$$E_x \neq E_y \quad (2.38)$$

$$\delta = +(1/2+2n)\pi, \quad n=0, 1, 2, \dots \quad \text{ตามเข็มนาฬิกา (clockwise)} \quad (2.39)$$

$$-(1/2+2n)\pi, \quad n=0, 1, 2, \dots \quad \text{ทวนเข็มนาฬิกา (counter clockwise)} \quad (2.40)$$

หรือเมื่อ $\delta \neq \pm \frac{n\pi}{2}, \quad n=0, 1, 2, \dots$

$$\delta > 0 \quad \text{ตามเข็มนาฬิกา (clockwise)} \quad (2.41)$$

$$\delta < 0 \quad \text{ทวนเข็มนาฬิกา (counter clockwise)} \quad (2.42)$$

ในกรณีของโพลาไรเซชันแบบวงรี รูปแสดงการกวาดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งใด ๆ จะเป็นวงรีเอียง ดังแสดงในรูปที่ 2.9 อัตราส่วนของแกนหลักต่อแกนย่อยจะเรียกว่าเป็นอัตราส่วนของแกน (axial ratio : AR) ซึ่งมีค่าดังต่อไปนี้

$$AR = \frac{OA}{OB} \quad 1 \leq AR \leq \infty \quad (2.43)$$

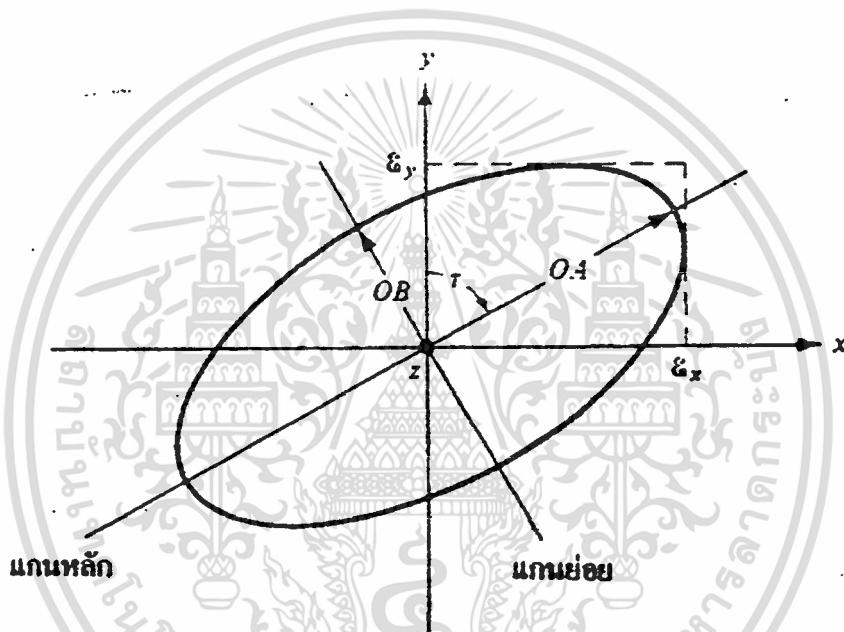
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ
$$OA = \sqrt{\frac{1}{2} \left(E_x^2 + E_y^2 + \sqrt{E_x^4 + E_y^4 + 2E_x^2 E_y^2 \cos(2\delta)} \right)} \quad (2.44)$$

$$OB = \sqrt{\frac{1}{2} \left(E_x^2 + E_y^2 - \sqrt{E_x^4 + E_y^4 + 2E_x^2 E_y^2 \cos(2\delta)} \right)} \quad (2.45)$$

การเอียงของวงรีเทียบกับแกน y สามารถแสดงด้วยมุมเอียง ดังนี้คือ

$$\tau = \frac{\pi}{2} - \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{2E_x E_y}{E_x^2 - E_y^2} \cos \delta \right) \quad (2.46)$$



รูปที่ 2.9 โพลาริเซชันแบบวงรี

2.2.6 การสะท้อน การหักเห และการเบี่ยงเบนของคลื่น

พิจารณาคลื่นที่มีโพลาริเซชันแบบเชิงเส้นที่เดินทางในทิศ $+x$ โดยมี \vec{E} ในทิศ y และ \vec{H} ในทิศ z คลื่นที่ตกกระทบในทิศตั้งฉากบนรอยต่อระหว่างตัวกลางสองชนิด ดังแสดงในรูปที่ 2.10 สมมติว่าคลื่นที่ตกกระทบโดยทั่วไปแล้วจะสะท้อนกลับ ในขณะที่อีกส่วนหนึ่งจะส่งผ่านเข้าไปในตัวกลางที่สอง คลื่นสะท้อนกลับมีองค์ประกอบของสนามเป็น E_r และ H_r ที่รอยต่อ และคลื่นส่งผ่านมีองค์ประกอบของสนามเป็น E_t และ H_t ที่รอยต่อ เราจะได้ว่า

$$E_t = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1} E_i = \tau E_i \quad (2.47)$$

$$E_r = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} E_i = \rho E_i \quad (2.48)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ Z_1 เป็นอิมพีแดนซ์อินทริเนติกของตัวกลางที่ 1
- Z_2 เป็นอิมพีแดนซ์อินทริเนติกของตัวกลางที่ 2
- τ เป็นค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (transmission coefficient)
- ρ เป็นค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (reflection coefficient)



รูปที่ 2.10 คลื่นระนาบเดินทางตกกระทบบนทิศตั้งฉากกับรอยต่อระหว่างตัวกลาง 2 ชนิด

กรณีที่คลื่นระนาบที่มีโพลาไรเซชันแบบเชิงเส้นที่ตกกระทบบนทิศทำมุมใด ๆ บนรอยต่อระหว่างตัวกลางสองชนิด ดังแสดงในรูปที่ 2.11 คลื่นตกกระทบบน (จากตัวกลางที่ 1) ทำมุม θ_i กับแกน y คลื่นสะท้อน (ในตัวกลางที่ 1) ทำมุม θ_r กับแกน y และคลื่นส่งผ่าน (ในตัวกลางที่ 2) ทำมุม θ_t กับแกน $-y$



รูปที่ 2.11 รูปทรงเรขาคณิตแสดงระนาบของการตกกระทบบน (ระนาบ xy) สำหรับคลื่นที่มีโพลาไรเซชันแบบเชิงเส้นที่เดินทางตกกระทบบนทิศทำมุมใด ๆ บนรอยต่อระหว่างตัวกลางสองชนิด

เอกสารนี้เป็นรูปแสดงกรณีสำหรับโพลาไรเซชันตั้งฉากศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราจะแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 กรณีคือ : (ก) กรณีของคลื่นที่มีสนามไฟฟ้าตั้งฉากกับระนาบของการตกกระทบ (ระนาบ xy) และ (ข) กรณีของคลื่นที่มีสนามไฟฟ้าขนานกับระนาบของการตกกระทบ คลื่นเหล่านี้จะถูกเรียกว่าเป็นคลื่นที่มีโพลาไรเซชันตั้งฉาก (perpendicular polarized) และโพลาไรเซชันขนาน (parallel polarized) ตามลำดับ เวกเตอร์ของสนามที่แสดงในรูปที่ 2.11 เป็นกรณีของโพลาไรเซชันตั้งฉากจะเห็นได้ชัดว่า คลื่นในระนาบใด ๆ จะสามารถแยกองค์ประกอบของคลื่นออกได้เป็นองค์ประกอบที่มีโพลาไรเซชันตั้งฉาก และ โพลาไรเซชันขนานได้ทั้งสิ้น

จากกฎของสเนลล์ (Snell's Law) จะได้

$$\theta_r = \theta_i \quad (2.49)$$

$$\sin \theta_i = \frac{\eta_1}{\eta_2} \sin \theta_t \quad (2.50)$$

เมื่อ η_1 และ η_2 เป็นดัชนีการหักเหของตัวกลางที่ 1 และที่ 2 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\sqrt{\mu_r \epsilon_r}$

ก. กรณีโพลาไรเซชันตั้งฉาก

เราสามารถแสดงได้ว่าค่าของสนามต่าง ๆ จะเป็นดังต่อไปนี้

$$\vec{E}_i = \vec{a}_x E_0 \exp[j\beta_1 (x \sin \theta_i + y \cos \theta_i)] \quad (2.51)$$

$$\vec{H}_i = (-\vec{a}_z \cos \theta_i + \vec{a}_y \sin \theta_i) \frac{E_0}{Z_1} \exp[j\beta_1 (x \sin \theta_i + y \cos \theta_i)] \quad (2.52)$$

$$\vec{E}_r = \vec{a}_x \rho_{\perp} E_0 \exp[j\beta_1 (x \sin \theta_i - y \cos \theta_i)] \quad (2.53)$$

$$\vec{H}_r = (\vec{a}_x \cos \theta_i + \vec{a}_y \sin \theta_i) \rho_{\perp} \frac{E_0}{Z_1} \exp[j\beta_1 (x \sin \theta_i - y \cos \theta_i)] \quad (2.54)$$

$$\vec{E}_t = \vec{a}_x \tau_{\perp} E_0 \exp[j\beta_2 (x \sin \theta_t + y \cos \theta_t)] \quad (2.55)$$

$$\vec{H}_t = (-\vec{a}_z \cos \theta_t + \vec{a}_y \sin \theta_t) \tau_{\perp} \frac{E_0}{Z_2} \exp[j\beta_2 (x \sin \theta_t + y \cos \theta_t)] \quad (2.56)$$

เมื่อ

$$1 + \rho_{\perp} = \tau_{\perp} \quad (2.57)$$

$$\rho_{\perp} = \frac{Z_2 \cos \theta_i - Z_1 \cos \theta_t}{Z_2 \cos \theta_i + Z_1 \cos \theta_t} \quad (2.58)$$

ข. กรณีโพลาไรเซชันขนาน

เราสามารถแสดงได้ว่าค่าของสนามต่าง ๆ จะเป็นดังต่อไปนี้

$$\vec{E}_i = (-\vec{a}_x \cos \theta_i + \vec{a}_y \sin \theta_i) E_0 \exp[j\beta_1 (x \sin \theta_i + y \cos \theta_i)] \quad (2.59)$$

$$\vec{H}_i = -\vec{a}_z \frac{E_0}{Z_1} \exp[j\beta_1 (x \sin \theta_i + y \cos \theta_i)] \quad (2.60)$$

$$\vec{E}_r = (-\vec{a}_x \cos \theta_r - \vec{a}_y \sin \theta_r) \rho_{\parallel} E_0 \exp[j\beta_1 (x \sin \theta_r - y \cos \theta_r)] \quad (2.61)$$

$$\bar{H}_i = \bar{a}_x \rho_{\parallel} \frac{E_0}{Z_1} \exp[j\beta_1(x \sin \theta_i - y \cos \theta_i)] \quad (2.62)$$

$$\bar{E}_i = (-\bar{a}_x \cos \theta_i + \bar{a}_y \sin \theta_i) \tau_{\parallel} E_0 \exp[j\beta_2(x \sin \theta_i + y \cos \theta_i)] \quad (2.63)$$

$$\bar{H}_i = -\bar{a}_z \tau_{\parallel} \frac{E_0}{Z_2} \exp[j\beta_2(x \sin \theta_i + y \cos \theta_i)] \quad (2.64)$$

เมื่อ

$$1 + \rho_{\parallel} = \frac{\cos \theta_i}{\cos \theta_i} \tau_{\parallel} \quad (2.65)$$

$$\rho_{\parallel} = \frac{Z_2 \cos \theta_i - Z_1 \cos \theta_i}{Z_2 \cos \theta_i + Z_1 \cos \theta_i} \quad (2.66)$$

2.3 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับระบบดาวเทียม

2.3.1 ความถี่ขาขึ้นและขาลง

ดาวเทียมแต่ละดวงนั้นเป็นเสมือนกับสถานีทวนสัญญาณ หรือที่เรียกว่า รีพีทเตอร์ (repeater) ซึ่งติดตั้งอยู่สูงมาประมาณ 35,860 กิโลเมตร จึงต้องทำหน้าที่เป็นทั้งเครื่องรับและเครื่องส่งเพื่อติดต่อกับสถานีภาคพื้นดิน โดยสถานีภาคพื้นดินจะส่งสัญญาณในช่วง “ขาขึ้น” ที่ความถี่หนึ่งซึ่งเรียกว่า อัปลิงค์ (uplink) เมื่อดาวเทียมได้รับก็จะทำการเปลี่ยนความถี่ที่รับได้ให้มาเป็นความถี่อีกความถี่หนึ่ง และส่งกลับมาให้สถานีภาคพื้นดินอื่น ๆ ซึ่งสัญญาณที่ส่งลงมาจกดาวเทียมจะเรียกว่า ดาวน์ลิงค์ (downlink) หรือความถี่ “ขาลง”

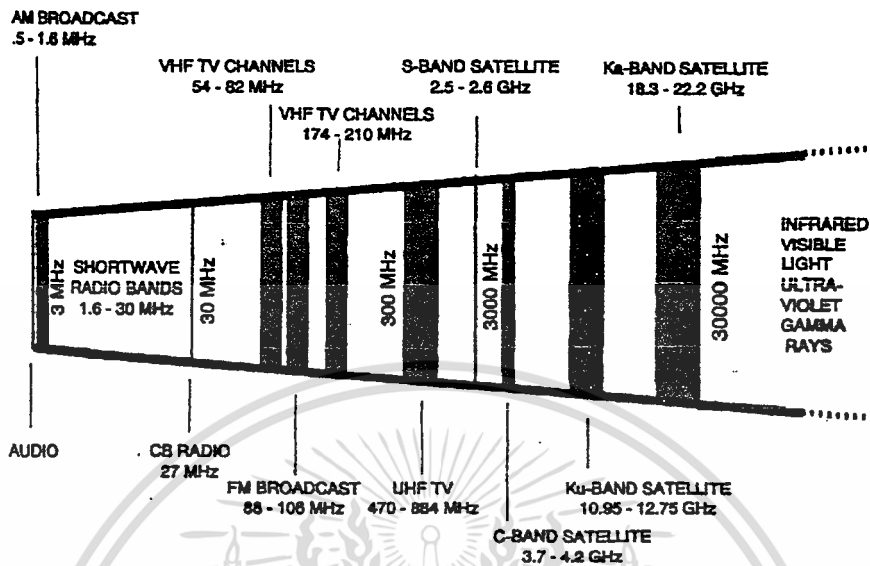
2.3.2 ช่องสัญญาณของดาวเทียม

ดาวเทียมทุกดวงที่ใช้อยู่ จะมีช่องสัญญาณ ซึ่งเรียกว่าทรานสปอนเดอร์ (transponder) ซึ่งมีหลาย ๆ รูปแบบเพื่อใช้ในการสื่อสารลักษณะต่าง ๆ กัน โดยแต่ละช่องสามารถให้ถ่ายทอดสัญญาณ โทรทัศน์ได้หนึ่งสัญญาณ หรือสามารถรับ-ส่งสัญญาณ โทรศัพท์พูดติดต่อกันได้เป็นจำนวนหลายพันคู่สาย ส่วนทรานสปอนเดอร์อื่น ๆ อาจจะใช้ในการส่งสัญญาณวิทยุให้กับเรือชาย หรือข่าวสารที่เรียกว่าเทลเท็กซ์ (teletext) หรือข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ (data communication)

สัญญาณความถี่ในทุก ๆ ทรานสปอนเดอร์จะมีการจัดโพลาริเซชันของคลื่น มีทั้งโพลาริเซชันในแนวตั้ง (vertical) และโพลาริเซชันในแนวนอน (horizontal) เพื่อให้เหมือนกับการขยายช่องสัญญาณจากย่านความถี่ที่มีจำนวนอันจำกัดให้ได้ช่องสัญญาณมากขึ้น ในการรับสัญญาณที่สถานีภาคพื้นดินนั้นสามารถแยกแยะได้ว่า จะรับในแนวตั้งหรือแนวนอน

ทรานสปอนเดอร์ของดาวเทียมจะทำงานที่ความถี่สูงกว่าความถี่ที่ใช้ในสถานี โทรทัศน์ภาคพื้นดิน เนื่องจากความถี่ที่ใช้ในย่าน SHF (Super High Frequency) จึงไม่มีผลกระทบจากสภาพของอากาศหรือการเกิดชั้นสเปค (sunspot) เท่าใดนัก ทำให้การสื่อสารด้วยดาวเทียมนี้มีความเชื่อถือตลอด 24 ชั่วโมง ความถี่ส่วนใหญ่ที่ใช้ในกิจการส่งสัญญาณ โทรทัศน์ผ่านดาวเทียมเพื่อส่งตรง ไปยังที่หกอากาศจะอยู่ในช่วง 3.7-4.2 GHz ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

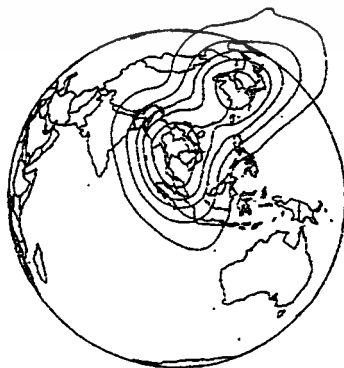
หรือเรียกว่า “ความถี่ย่าน C” (C-band) หรืออยู่ระหว่าง 1.6 - 12.75 GHz หรือเรียกว่า “ความถี่ย่าน KU” (Ku-band) ซึ่งแถบความถี่ต่าง ๆ ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แถบแสดงความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

2.3.3 ฟุตพริ้นท์

ส่วนที่เป็นสายอากาศของดาวเทียมจะทำหน้าที่ส่งสัญญาณ โทรทัศน์ลงมายังพื้น โลกให้มีรูปร่างเฉพาะตัวได้ ลักษณะของลำคลื่นที่ออกแบบไว้ให้ครอบคลุมเฉพาะพื้นที่ที่ต้องการนี้เรียกว่า “ฟุตพริ้นท์” (footprint) โดยดาวเทียมแต่ละดวงจะมีฟุตพริ้นท์เป็นลักษณะเฉพาะของตัวเอง ซึ่งพื้นที่ที่จะได้รับสัญญาณจากดาวเทียมได้ดีหรือแรงที่สุดจะอยู่ในส่วนที่เรียกว่า ศูนย์กลาง (center) ของฟุตพริ้นท์ หากหลุดออกไปจากศูนย์กลางนี้ความแรงของสัญญาณจะลดลง ฟุตพริ้นท์ของดาวเทียมไทยคมในย่านความถี่ C และ KU แสดงในรูปที่ 2.13 และรูปที่ 2.14 ตามลำดับ



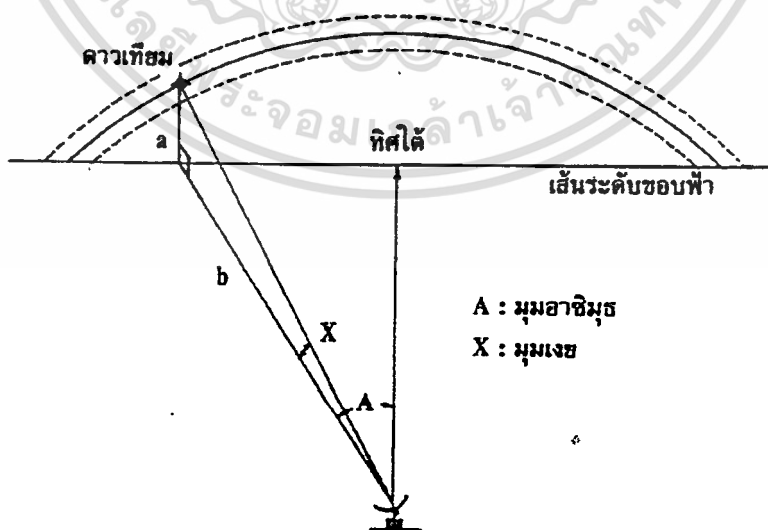
รูปที่ 2.13 ฟุตพริ้นท์ของดาวเทียมไทยคมในย่านความถี่ C



รูปที่ 2.14 ฟูคปรินท์ของดาวเทียมไทยคมในย่านความถี่ KU

2.3.4 การคำนวณหามุมเงยและมุมอาซิมุท

ความสำคัญประการหนึ่งในการรับสัญญาณจากดาวเทียมให้ได้ผลดีก็คือ จำเป็นต้องตั้งจานสายอากาศรับให้ทิศทางของจานสายอากาศชี้ไปยังดาวเทียมได้ถูกต้องแม่นยำ เนื่องจากจานสายอากาศพาราโบลิกมีลำคลื่นบีบหลักที่แคบมาก ซึ่งจานขนาดใหญ่ลำคลื่นก็ยิ่งแคบลงไปอีก ถ้าทิศทางที่ชี้ไปยังดาวเทียมดวงที่ต้องการจะรับผิดพลาดไปเพียงหนึ่งหรือสององศา สัญญาณที่รับได้จะมีระดับต่ำลงอย่างมาก ดังนั้นต้องมีการคำนวณมุมเงยและมุมอาซิมุทอย่างละเอียดถูกต้อง มุมเงยและมุมอาซิมุทจะแสดงในรูปที่ 2.15

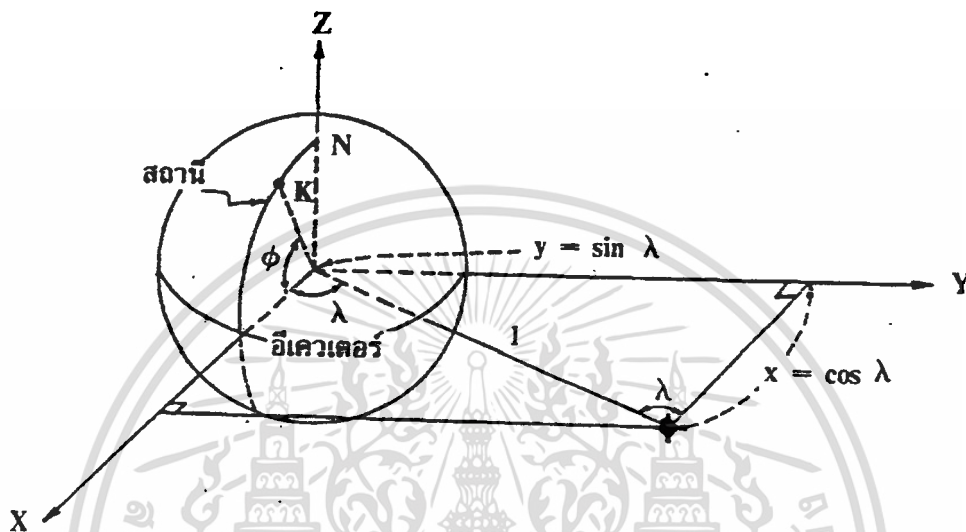


รูปที่ 2.15 มุมเงยและมุมอาซิมุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.16 เส้นอีควีเตอร์ และตัวดาวเทียมอยู่บนแนวระนาบ x-y งานสายอากาศรับสัญญาณจากดาวเทียมอยู่บนแนวระนาบ x-z ค่า ϕ เป็นค่าเส้นรุ้งของตำแหน่งที่ตั้งงานสายอากาศ ให้ K เป็นอัตราส่วนระหว่างรัศมีของโลกกับรัศมีวงโคจรของดาวเทียม ซึ่งจะได้ค่า $K = 6370 \times 10^3 / (6370 + 35860) \times 10^3 = 0.15084$

สมมติให้ระยะทางจากใจกลางของโลกไปยังดาวเทียมมีค่าเท่ากับ I รัศมีของโลกจะสามารถเขียนได้ในรูปเท่ากับ K และให้ λ เป็นความแตกต่างของเส้นแวงระหว่างจุดที่ตั้งงานสายอากาศและดาวเทียม



รูปที่ 2.16 โคออร์ดิเนตของสถานีรับสัญญาณดาวเทียม

เราสามารถแสดง โคออร์ดิเนตของจุดที่ตั้งงานสายอากาศและดาวเทียม ได้ดังนี้

โคออร์ดิเนตของจุดที่ตั้งงานสายอากาศ : $(K \cos \phi, 0, K \sin \phi)$

โคออร์ดิเนตของดาวเทียม : $(\cos \lambda, \sin \lambda, 0)$

ต่อไปถ้าเราหมุนโลกไปเป็นมุม α ทางระนาบ x-z ดังนั้นจากรูปที่ 2.16 เขียนได้เป็นรูปที่ 2.17 ซึ่งตำแหน่งที่ตั้งของงานสายอากาศจะมีโคออร์ดิเนต x ทางเดียว

โคออร์ดิเนตใหม่ของจุดที่ตั้งงานสายอากาศ : $(k, 0, 0)$

โคออร์ดิเนตใหม่ของดาวเทียม : $(\cos \lambda \cos \phi, \sin \lambda, -\cos \lambda \sin \phi)$

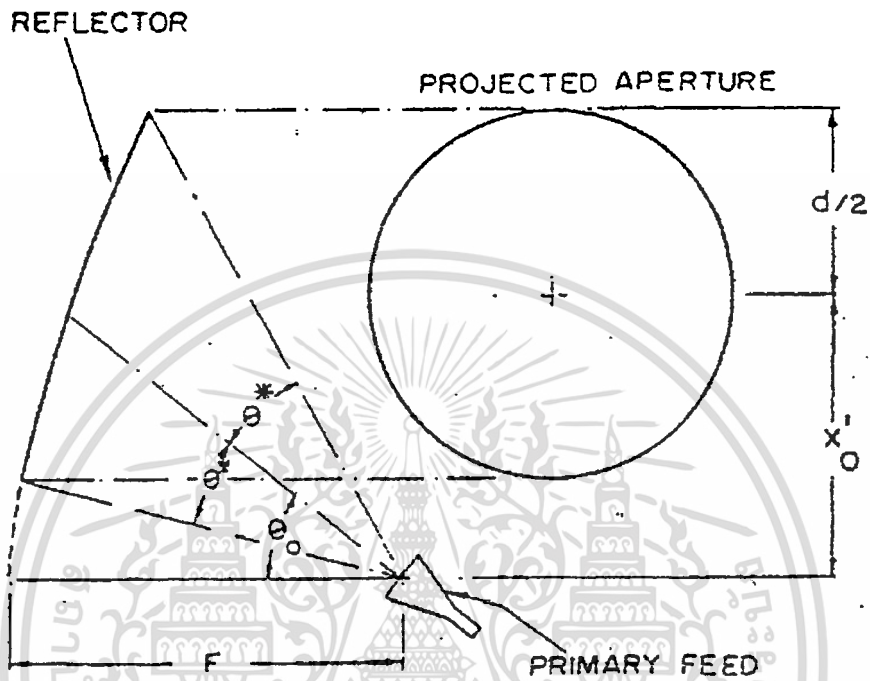
ในรูปที่ 2.17 ระนาบที่สัมผัสโลกตรงจุดที่ตั้งงานสายอากาศจะขนานกับระนาบ y-z ดังนั้นมุมเงยและมุมอาซิมูทจากงานสายอากาศหาได้ดังนี้

$$\text{มุมเงย} : \alpha = \tan^{-1} \frac{\cos \lambda \cos \phi - 0.1508}{\sqrt{1 - \cos^2 \lambda \cos^2 \phi}} \quad (2.67)$$

$$\text{มุมอาซิมูท} : A = \tan^{-1} \frac{\tan \lambda}{\sin \phi} \quad (2.68)$$

2.4 ทฤษฎีสายอากาศพาราโบลิก.

2.4.1 สายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก



รูปที่ 2.18 สายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก

สายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.18 คือตัวงานสะท้อนคลื่นจะเป็นส่วนหนึ่งของพาราโบลิก และตัวฟีดขั้นต้น (Primary feed) จะวางอยู่บริเวณจุดโฟกัสของพาราโบลิก ลักษณะเฉพาะของสายอากาศแบบนี้คือ ตัวฟีดขั้นต้นจะไม่อยู่ตรงกลางของตัวงานสะท้อน ลักษณะดังกล่าวนี้ทำให้มีชื่อเรียกว่าสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก

ฟีดฮอร์นที่ใช้กับงานรับสัญญาณแบบออฟเซตโฟกัส จะมีปากหรือช่องของฟีดฮอร์นที่แตกต่างจากฟีดฮอร์นที่ใช้กับงานรับสัญญาณแบบเซ็นเตอร์โฟกัส โดยช่องของฟีดฮอร์นค่อนข้างจะบานออกเพื่อลดบีบอัดของลำคลื่นให้เล็กลง ซึ่งจำเป็นอย่างมากเนื่องจากงานมีขนาดเล็กลง (เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ทั้งหมดของงานพาราโบลิก) และหากนำเอาฟีดฮอร์นแบบธรรมดามาใช้ ก็จะทำให้มีการขยายสัญญาณรบกวนจากภาคพื้นดินเข้าไปด้วย

2.4.2 รูปทรงเรขาคณิตของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก

จากรูปที่ 2.19 เป็นการแสดงรูปร่างทางเรขาคณิตของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก จะมีค่าตัวสะท้อนต่าง ๆ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของพาราโบลิก และจะเปลี่ยนคลื่นทรงกลมจากฟีดเป็นคลื่นระนาบที่โปรเจกต์อเพอร์เจอร์ (projected aperture) เรายังคงวางฟีดบริเวณจุดโฟกัสของจานสะท้อนคลื่น แต่จะหันฟีดเข้าสู่กึ่งกลางของจานออฟเซต เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาการสปิลโอเวอร์ (spill over)

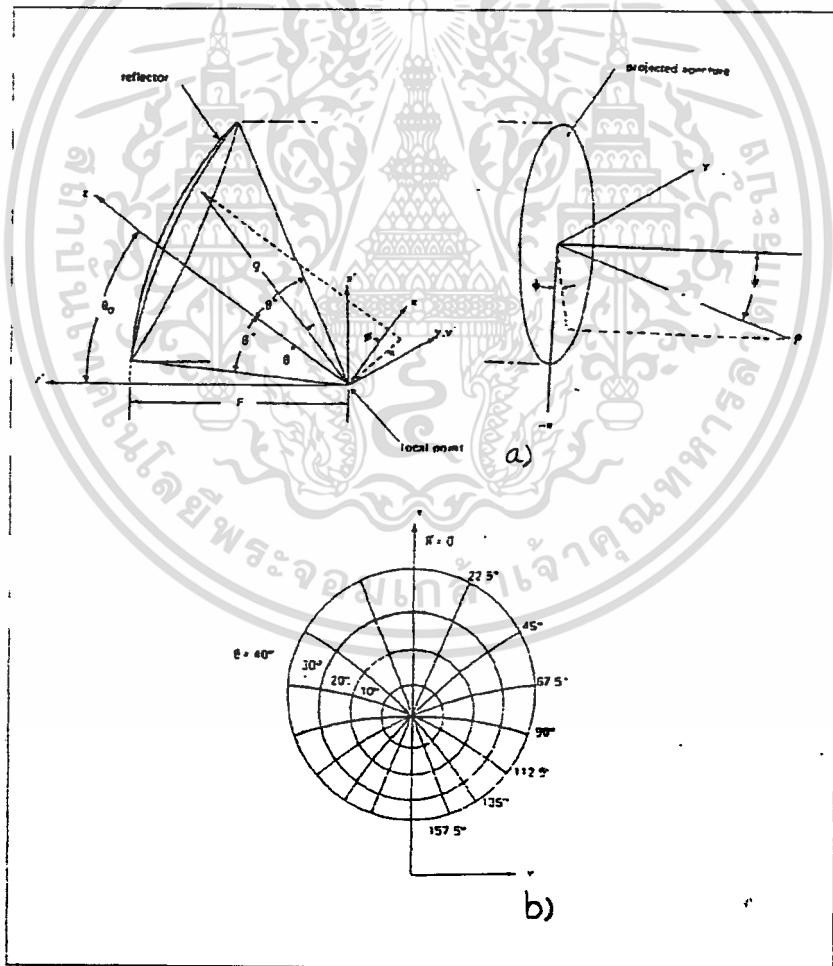
ซึ่งจากการคำนวณทางคณิตศาสตร์ เราจะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{F}{d} = \frac{\cos \theta_0 + \cos \theta'}{4 \sin \theta'} \quad (2.69)$$

โดยที่ θ_0 เรียกว่า มุมออฟเซต (offset angle)

θ' เรียกว่ามุมเซมิ (semi angle)

ซึ่งความสัมพันธ์ในสมการ (2.69) จะเป็นตัวช่วยในการออกแบบจานสายอากาศ



รูปที่ 2.19 a) ระบบ โคออร์ดิเนต (coordinate) ของตัวสะท้อนแบบออฟเซต

b) แผนภาพแสดงค่าคงที่ θ, ϕ บนระนาบโปรเจกต์อเพอร์เจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 การแบ่งชนิดของงานสาขาอากาศ ตามวัสดุที่ใช้

ไม่ว่าจะเป็นงานรับสัญญาณแบบใด ๆ ก็จะมีหลักการเดียวกันคือ รับสัญญาณจากดาวเทียมลงมา แล้วสะท้อนกลับขึ้นไปยังจุดเดียวกันซึ่งเรียกว่าจุดโฟกัส (Focus point) สัญญาณที่มีกำลังอ่อน ๆ เมื่อพุ่งลงมากระทบพื้นผิวของจาน แล้วสะท้อนไปรวมยังจุดเดียวกัน จะมีผลทำให้สัญญาณแรงขึ้นมาได้ ไม่ว่าจะผลติมาจากอะลูมิเนียม ไฟเบอร์กลาส หรือแบบคาบาชึตาม สิ่งแรกที่จะต้องสนใจก็คือ ต้องมีส่วนโค้งที่ถูกต้องและมีลักษณะเป็นพาราโบลิกเท่านั้น ก็สามารถรับสัญญาณได้แล้ว วิธีการผลิตจะขึ้นอยู่กับโรงงานว่าใช้วิธีการแบบใด

1. จานอะลูมิเนียมแบบทึบ จะได้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าจานแบบไฟเบอร์กลาสหรือแบบคาบาชึ งานอะลูมิเนียมแบบทึบมักจะเคลือบด้วยสีที่มีคุณสมบัติไม่สะท้อนแสง เพราะหากสะท้อนแสงแล้วจะทำให้เกิดการรวมแสงเช่นเดียวกับคลื่น ผลที่ตามมาคือ อุปกรณ์ LNB อาจจะทำหรือเสียหายก่อนเวลาที่ควรจะเป็น ส่วนเนื้ออะลูมิเนียมมักจะทำจากอะลูมิเนียมเกรดดี สามารถป้องกันการผุกร่อนจากสนิมออกไซด์ของอะลูมิเนียมได้ดี

2. จานรับสัญญาณแบบคาบาชึ ขณะนี้จะนิยมมากที่สุดเพราะไม่ทำให้เสียทัศนียภาพมากนัก เนื่องจากสามารถมองทะลุผ่านออกไปเห็นทัศนียภาพข้างหลังได้ แต่จานแบบคาบาชึนั้นค่อนข้างจะเกิดการเสียหายหรือผิดรูปได้ง่าย เนื่องจากเป็นโลหะที่มีรูพรุนจึงบอบบาง ดังนั้นการติดตั้งใช้งานแต่ละส่วนจึงควรจะเป็นไปตามคำแนะนำของผู้ผลิต ที่เน้นมากก็คือ ความเป็นส่วนโค้งพาราโบลิกของเนื้อจานจะต้องโค้งได้รูปตลอดเวลา วิธีเช็คง่าย ๆ โดยการใช้มือลูบที่ผิวของจานก็สามารถรู้ได้ว่า โค้งตลอดทั้งแผ่นหรือไม่ หากผิวของส่วนโค้งของแต่ละแผ่นไม่เป็นไปตามพาราโบลิกแล้ว จะทำให้คลื่นที่มาจากกระพบบางส่วนไม่พุ่งไปรวมที่จุดโฟกัส สัญญาณก็จะมีความแรงลดลง

3. จานแบบไฟเบอร์ ลักษณะทางโครงสร้างก็เหมือนกับจานทึบ และใช้กันค่อนข้างมาก จานแบบไฟเบอร์ที่เป็นมาตรฐานนั้น ภายในโครงสร้างของมันจะมีการฝังลวดคาบาชึเอาไว้ เพื่อใช้เป็นตัวสะท้อนสัญญาณจากดาวเทียม เพราะหากไม่มีลวดคาบาชึฝังเอาไว้ภายใน สัญญาณจะทะลุผ่านจานออกไปหมด ลักษณะของการผลิตจะใช้วิธีพันไฟเบอร์กลาสลงบน โพล (mold) แล้ววางลวดคาบาชึที่ทอหรือถักลงไป จากนั้นจึงฉีดไฟเบอร์กลาสลงไปอีกครั้งหนึ่ง

การจัดสร้างจานขึ้นมานั้น อาจจะทำเป็นชั้นเดียวหรือหลายชั้น แล้วนำมาประกอบเข้าด้วยกันก็ได้ แต่ความแน่นอนในเรื่องของประสิทธิภาพการสะท้อนของสัญญาณแล้ว จานแบบชั้นเดียวจะดีกว่า ส่วนจานที่แบ่งออกเป็นสี่ส่วนแล้วมาประกอบกันจะมีข้อเสียตรงส่วนนี้ แต่จะมีความแข็งแรงมากกว่า เพราะช่วงรอยต่อที่นำมาประกบกันจะกลายเป็นกระดูก หรือเป็นส่วนที่เสริมความแข็งแรงให้กับจาน อีกทั้งยังสะดวกต่อการขนส่ง และถอดเปลี่ยนได้ง่ายในกรณีที่ชั้นใดชั้นหนึ่งเสียหาย ส่วนเรื่องของรอยต่อแต่ละชั้นที่เป็นปัญหาในการสะท้อนของคลื่นนั้น ถือว่ามีน้อยมาก (ขึ้นอยู่กับจำนวนชั้นของจานด้วย) เมื่อเทียบพื้นที่ของจานทั้งหมด

2.4.4 อัตราการขยายของงานรับสัญญาณ

สาขาอากาศที่มีรูปร่างคล้ายจานจะมีค่าแสดงอัตราต่าง ๆ เหมือนกับสาขาอากาศแบบอื่นเช่นกัน สิ่งหนึ่งที่จะกล่าวก็คือค่าอัตราการขยาย หรือที่มักจะเรียกว่า เกน (Gain) นั่นเอง

อัตราการขยายของสายอากาศก็คือ การวัดความสามารถของสายอากาศที่รับหรือส่งพลังงานออกไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง สิ่งที่จะกล่าวต่อไปนี้มีผลกระทบต่ออัตราการขยายของจานรับสัญญาณ ซึ่งถือว่าเป็นสายอากาศทั้งสิ้น ได้แก่

- 1) พื้นที่หน้าตัดของจานรับสัญญาณ (ไม่ใช่พื้นที่ผิวหรือพื้นที่ช่องเปิดของจาน)
- 2) ช่องเปิดของ LNB หรือขนาดของรีเฟล็กเตอร์ย่อย (Sub-reflector)
- 3) ผิวของจานรับสัญญาณ
- 4) รีเฟล็กเตอร์ย่อย ไม่อยู่ในตำแหน่งโฟกัสที่ดีที่สุด
- 5) ความโค้งของผิวจานที่ไม่เป็นไปตามลักษณะพาราโบลิก

หากเกิดสิ่งผิดปกติหรือข้อผิดพลาดจากปัจจัยทั้งห้านี้จะเป็นสาเหตุทำให้อัตราการขยายลดลง โดจานรับสัญญาณแบบพาราโบลิกจะมีค่าสัมประสิทธิ์ของประสิทธิภาพ (η) กำหนดเอาไว้เช่นเดียวกับสายอากาศแบบอื่นเช่นกัน ซึ่งค่า η ของสายอากาศแบบพาราโบลิกจะมีประมาณ 60-75 % ในการออกแบบจานรับสัญญาณแบบพาราโบลิกนั้น ผู้ออกแบบสามารถคำนวณอัตราการขยายกำลังของจานรับสัญญาณแบบนี้ได้ โดยใช้สูตร

$$G = 10 \log \left[\eta \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \right] \quad (\text{dB}) \quad (2.70)$$

เมื่อ D เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของจานรับสัญญาณ (เมตร)

λ เป็นความยาวคลื่น (เมตร)

η เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของประสิทธิภาพ

ส่วนโค้งของจานรับสัญญาณจะทำหน้าที่คล้ายกับเลนส์ คือ ทำการบีบสัญญาณให้แคบลงแล้วพุ่งตรงไปยังด้านหน้า และตรงกับจุดศูนย์กลางของสายอากาศ (ลักษณะนี้เรียก Boresight) จะทำให้สัญญาณที่รับได้มีความแรงมากที่สุด ขณะเดียวกันก็จะมีกำจัดสัญญาณอื่น ๆ (อาจจะเป็น Noise ก็ได้) ที่มาจากทิศทางอื่นออกไปด้วย ปริมาณของสัญญาณที่ถูกส่งจากจานออกไปนั้นจะเป็นจุดที่ LNB รับได้ดีที่สุด

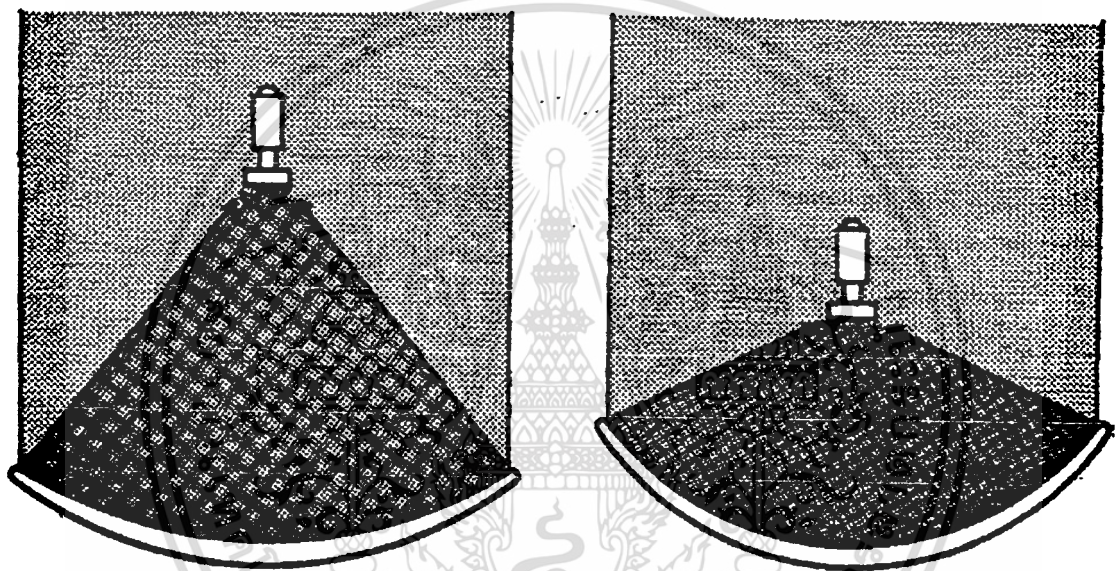
2.4.5 ข้อเปรียบเทียบระหว่างจานพาราโบลิกแบบลึกกับแบบตื้น

จานพาราโบลิกที่มีความตื้นกว่า จะมีระยะของจุดโฟกัสยาวมาก ทำให้ต้องติดตั้งอุปกรณ์ฟีดฮอร์น และ LNB ห่างออกไปจากจุดศูนย์กลางของจานมากด้วย แต่จานที่มีความตื้นนั้นจะให้อัตราการขยายของจานสูงกว่าจานแบบลึก เนื่องจากฟีดฮอร์นสามารถรับเอาคลื่นที่สะท้อนจากพื้นที่ของจานมาสู่ตัวมันได้ทั้งหมด แต่อย่างไรก็ตาม ข้อเสียที่เห็นได้จากกรอออกแบบให้จานพาราโบลิกมีความตื้นก็คือ สามารถรับเอาสัญญาณรบกวนที่เกิดจากพื้นผิวโลกซึ่งอยู่ในย่านความถี่เดียวกันกับที่ใช้ในการสื่อสารดาวเทียมเข้ามาด้วย สัญญาณที่รับได้จากดาวเทียมจะถูกรวมเข้ากับสัญญาณรบกวน ทำให้ความแรงของสัญญาณที่เราต้องการรับจริงจากดาวเทียมลดลงไปอีก ซึ่งจานพาราโบลิกแบบตื้นนี้จะป้องกันหรือบดบังสัญญาณรบกวนได้ก็ต่อเมื่อถูกนำไปติดตั้งในที่มีมุมเงย (Elevation Angle) ค่าๆ และการที่มีระยะของจุดโฟกัสยาวมาก ๆ นั้น จึงมีตำแหน่งการติดตั้งของฟีดฮอร์นห่างออกมาจากตัวจานตามระยะของจุดโฟกัสด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานีที่ใช้จานรับสัญญาณที่มีความถี่มาก ๆ นั้น จะต้องอยู่ในบริเวณที่มีการแทรกสอดของสัญญาณ (Interference) จากสถานีไมโครเวฟอื่น ๆ คำนึง อาจเป็นบริเวณที่เป็นชานเมือง เพราะในเมืองมีการแทรกสอดของสัญญาณจากสถานีภาคพื้นดินอื่น ๆ ค่อนข้างสูง

เมื่อมาพิจารณาจานรับสัญญาณจากดาวเทียมที่มีความถี่มาก จะพบว่าตัว LNB และฟีดฮอร์นที่ถูกติดตั้งไว้เกือบจะอยู่ในระดับเดียวกับขอบของจาน จานแบบนี้สามารถป้องกันสัญญาณรบกวนจากพื้นโลก หรือสัญญาณแทรกสอดจากสถานีอื่นที่จะเข้าไปสู่ฟีดฮอร์นและ LNB ได้ดีกว่าจานแบบคั่น แต่ข้อเสียก็คือเมื่อตัวฟีดฮอร์นอยู่ใกล้กับผิวของจานมากเกินไป ทำให้ฟีดฮอร์นไม่สามารถจะรับเอาสัญญาณที่สะท้อนมาจากผิวของจานได้ทั้งหมด (สัญญาณที่สะท้อนจากขอบจาน และส่วนที่อยู่ใกล้ขอบจาน ไม่สามารถพุ่งเข้าไปในฟีดฮอร์นได้โดยตรง) ผลที่ตามมาก็คือ อัตราการขยายของจานที่มีลักษณะแบบนี้มีค่าต่ำกว่าจานแบบคั่น

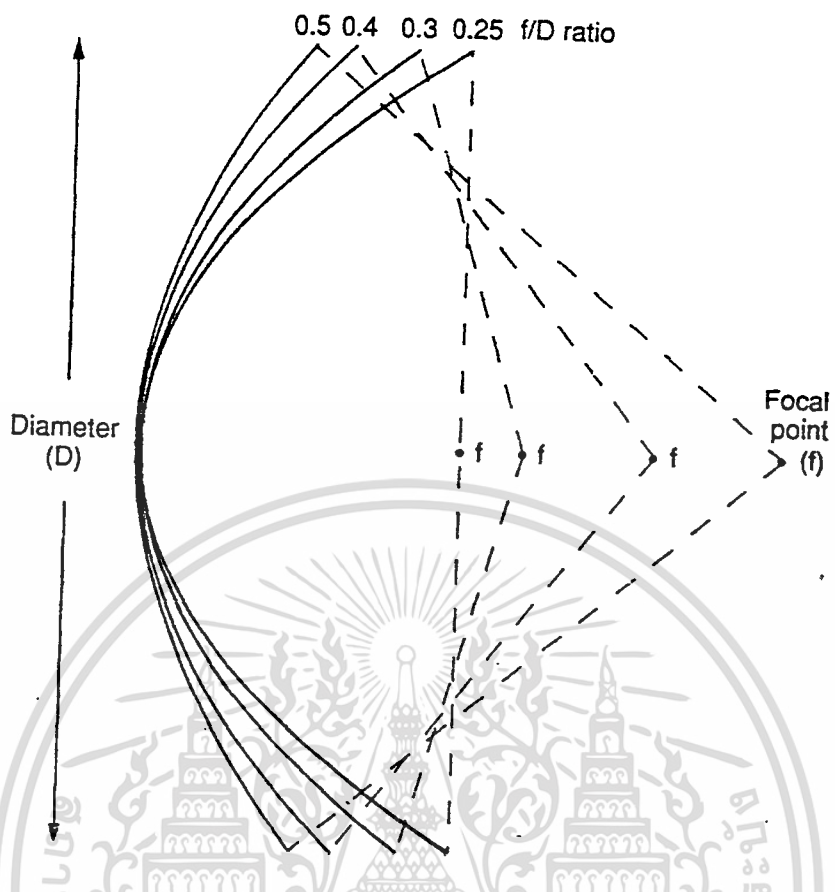


รูปที่ 2.20 ความแตกต่างระหว่างจานรับสัญญาณแบบคั่นกับแบบลึก

2.4.6 อัตราส่วน f/D

ความสัมพันธ์ของความถี่หรือความถี่ของจานรับสัญญาณดาวเทียมนี้ มักจะบอกมาในรูปของอัตราส่วนของระยะจุดโฟกัสต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง(Focal Length to Diameter) หรือ (f/D ratio) โดยจานที่มีความถี่ จะมีค่าอัตราส่วน f/D ตั้งแต่ 0.25 ถึง 0.35 ขณะที่ค่าอัตราส่วน f/D ของจานที่มีความถี่จะอยู่ในช่วง 0.4 ถึง 0.5 แต่โรงงานผู้ผลิตส่วนใหญ่มักจะผลิตออกมาอยู่ในช่วงกลาง ๆ คือ ตั้งแต่ 0.36 ถึง 0.375 เมื่อเราทราบค่าของอัตราส่วน f/D ของจานรับสัญญาณแต่ละจาน จะทำให้เราทราบระยะของจุดรวมสัญญาณหรือจุดโฟกัสของจานนั้น ๆ ได้อย่างถูกต้อง เพื่อจะได้ติดตั้งตัวฟีดฮอร์นและ LNB ในตำแหน่งที่สามารถรับสัญญาณได้แรงที่สุด โดยการคูณขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเข้ากับค่าอัตราส่วน f/D เช่น มีจานรับสัญญาณที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 180 เซนติเมตร และมีค่าอัตราส่วน f/D เท่ากับ 0.315 จะมีระยะของจุดโฟกัสเท่ากับ $150(0.315) = 56.7$ เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



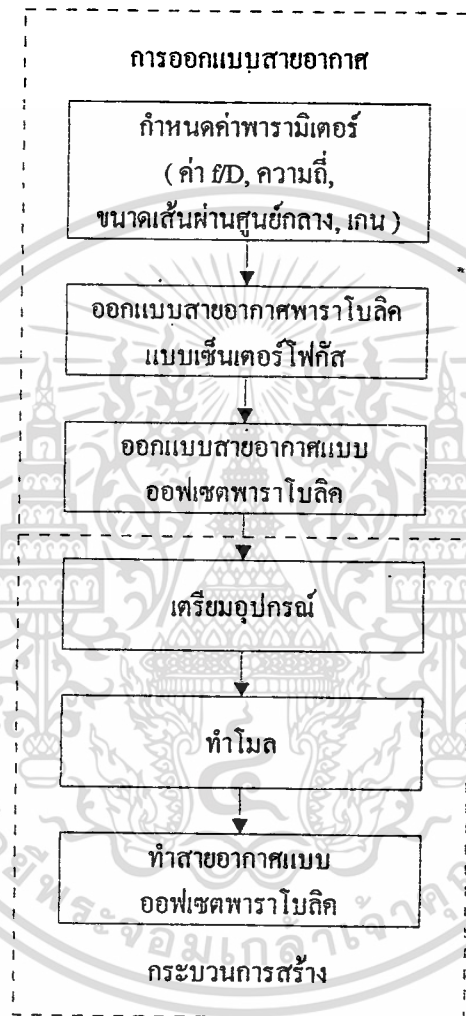
รูปที่ 2.21 ระยะโฟกัสสำหรับค่า f/d ต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

ในการทำสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกจะประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ การออกแบบสายอากาศ และกระบวนการสร้าง โดยที่แต่ละส่วนมีขั้นตอนการทำงานดังแสดงในรูปที่ 3.1

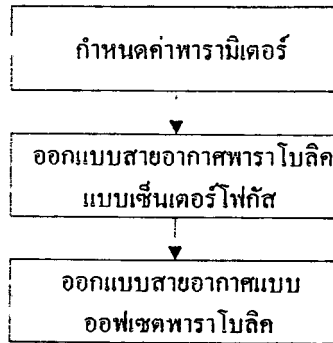


รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก

3.1 การออกแบบสายอากาศ

การออกแบบสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกจะต้องมีการกำหนดหรือคำนวณหาพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบก่อน จากนั้นจึงทำการออกแบบสายอากาศพาราโบลิกแบบเซ็นเตอร์ไฟกัส แล้วจึงนำบางส่วนของสายอากาศพาราโบลิกแบบเซ็นเตอร์ไฟกัสมาสร้างสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก ขั้นตอนต่าง ๆ จะแสดงไว้ในรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการออกแบบสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก

3.1.1 กำหนดและหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ

พารามิเตอร์ที่จำเป็นในการใช้ออกแบบคือ อัตราส่วนระหว่างความยาวโฟกัสกับเส้นผ่านศูนย์กลางของสายอากาศ (f/D), ช่วงความถี่ที่ใช้งาน, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายอากาศ และแกนของสายอากาศ ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมแสดงการหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ

3.1.1.1 การเลือกค่า f/D ที่เหมาะสม

ก่อนอื่นต้องกำหนดว่าจะออกแบบสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกให้เป็นแบบดิสก์หรือแบบลิค โดยแบบลิคจะมีค่าอัตราส่วน f/D ตั้งแต่ 0.25 ถึง 0.35 ขณะที่ค่าอัตราส่วน f/D ของแบบดิสก์จะอยู่ในช่วง 0.4 ถึง 0.5

แบบลิคจะสามารถกันสัญญาณรบกวนที่สะท้อนมาจากพื้นโลกได้ดี แต่จะทำให้เกิดการสูญเสียของสัญญาณที่รับได้มากกว่าแบบดิสก์ ส่วนจานแบบดิสก์จะมีสัญญาณรบกวนจากภายนอกเข้ามาพร้อมกับสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารควาเวียมได้ง่าย และยังสามารถกำหนดควบคุมให้สัญญาณสะท้อนมาที่จุดโฟกัสได้ง่ายกว่าแบบลิค

ในการออกแบบนี้ จะกำหนดให้สายอากาศเป็นแบบดิสก์ ซึ่งจะใช้ค่า f/D เท่ากับ 0.5 ประโยชน์ด้านการคำนวณเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.2 การกำหนดช่วงความถี่ที่ใช้งาน

สายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกจะมีคุณสมบัติที่ดีกว่าสายอากาศพาราโบลิกแบบเซ็นเตอร์โฟกัสที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากันที่ความถี่สูง ๆ เพราะว่าจะไม่มีก้านของพีดและตัวพีดมาบังเส้นทางของคลื่นส่วนที่ความถี่ต่ำ ๆ ตัวพีดและก้านของพีดจะไม่มีผลกระทบต่อเส้นทางเดินของคลื่นมากนัก

ในการออกแบบนี้ จะออกแบบให้ใช้งานในช่วงความถี่ย่าน KU-band ซึ่งจะอยู่ในช่วงความถี่ 10.95-12.75 GHz

3.1.1.3 การกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

การกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายอากาศจะต้องคำนึงถึงช่วงความถี่ที่ใช้งานด้วย ถ้าใช้งานที่ความถี่ต่ำสายอากาศจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ แต่ถ้าใช้งานที่ความถี่สูงสายอากาศควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กเพื่อป้องกันไม่ให้ความถี่ต่ำมารบกวน

นอกจากจะต้องคำนึงถึงช่วงความถี่ที่ใช้งาน ยังจะต้องคำนึงถึงเกนอีกด้วย ถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่จะมีเกนมาก ส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กจะมีเกนน้อย การที่จะรู้ว่าจะต้องออกแบบสายอากาศให้มีเกนเท่าไร จะต้องดูสถานที่ที่จะนำสายอากาศไปใช้ เพราะแต่ละสถานที่จะสามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้ไม่เท่ากัน

ในประเทศไทย สายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้งานในช่วงความถี่ย่าน KU-band จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เหมาะสมคือ 60 เซนติเมตร

3.1.1.4 การคำนวณหาค่าเกน

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายอากาศแบบพาราโบลิกมีความสัมพันธ์กับเกนของสายอากาศ โดยกำหนดเกนที่ต้องการก่อน แล้วค่อยคำนวณหาขนาดที่เหมาะสม จากสมการ (3.1)

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

$$= 10 \log \left[\eta \left(\frac{\pi D f}{c} \right)^2 \right] \quad (\text{dB}) \quad (3.1)$$

โดยที่ G เป็นเกนของสายอากาศ

D เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของสายอากาศ (เมตร)

λ เป็นความยาวคลื่น (เมตร)

η เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของประสิทธิภาพ

f เป็นความถี่ที่ใช้งาน (Hz)

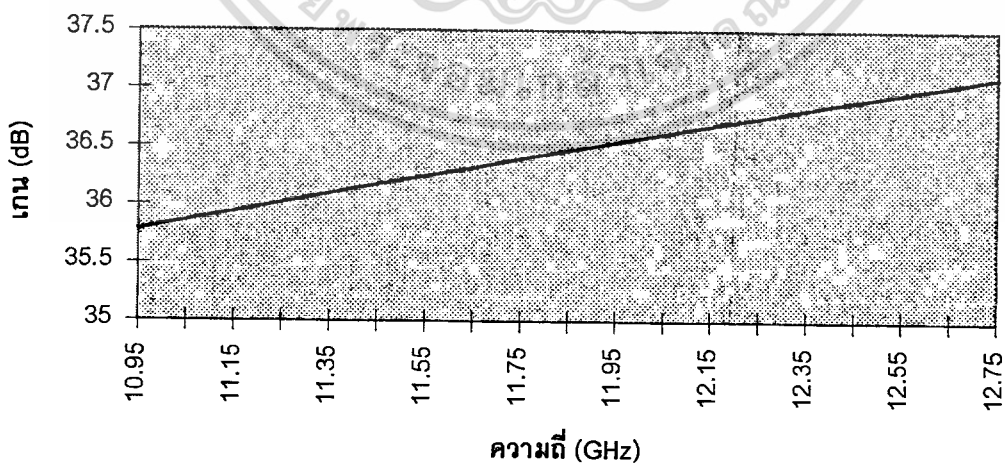
c เป็นความเร็วแสงมีค่าเท่ากับ 3×10^8 เมตร/วินาที

ในที่นี้จะใช้รับคลื่นที่ช่วงความถี่ 10.95-12.75 GHz และสำหรับสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก จะมีค่า $\eta \approx 0.8$ และมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 60 เซนติเมตร จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่ใช้งานกับเกนเป็นดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่ใช้งานกับเกน

ความถี่ (GHz)	เกน (dB)
10.95	35.78
11.15	35.94
11.35	36.10
11.55	36.24
11.75	36.39
11.95	36.54
12.15	36.68
12.35	36.82
12.55	36.96
12.75	37.10

จากตารางที่ 3.1 สามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่ใช้งานกับเกนได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่ใช้งานกับเกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.5 สรุปค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ

จากหัวข้อที่ 3.1.1.1 ถึง 3.1.1.4 สามารถสรุปค่าของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าของพารามิเตอร์ต่าง ๆ

ชื่อพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์
f/D	0.5
ช่วงความถี่ที่ใช้งาน	10.95 - 12.75 GHz
เส้นผ่านศูนย์กลาง	60 เซนติเมตร
เกน	35.78 - 37.10 dB

3.1.2 การออกแบบเสาอากาศพาราโบลาแบบเข็นเตอร์โฟกัส

เสาอากาศแบบเข็นเตอร์โฟกัสที่จะนำมาใช้สร้างเสาอากาศแบบออฟเซตพาราโบลา จะต้องมีส่วนผ่านศูนย์กลางมากกว่าหรือเท่ากับสองเท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาอากาศแบบออฟเซตพาราโบลา หรือมี f/D น้อยกว่าหรือเท่ากับสองเท่านั่นเอง (ระยะโฟกัสเท่าเดิม) จากหัวข้อ 3.1.1 เรากำหนดให้เสาอากาศแบบออฟเซตพาราโบลาที่ต้องการสร้างมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.6 เมตร และ f/D เท่ากับ 0.5 ดังนั้น จะกำหนดให้เสาอากาศแบบเข็นเตอร์โฟกัสมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1.2 เมตร นั่นคือมีค่า f/D เท่ากับ 0.25 และจะมีความยาวโฟกัส (f) เท่ากับ $1.2 \times 0.25 = 0.3$ เมตร

จากสมการ (3.2) ซึ่งเป็นสมการพาราโบลา

$$x = \frac{1}{4f} y^2 \quad (3.2)$$

สามารถเขียนใหม่ให้อยู่ในรูปของ f/D และ D ได้เป็นสมการ (3.3) ซึ่งเป็นสมการรูปทรงของเสาอากาศแบบเข็นเตอร์โฟกัส

$$x = \frac{y^2}{4D(f/D)} \quad (3.3)$$

แทนค่า $D = 120$ เซนติเมตร และ $f/D = 0.25$ ลงไปในสมการ (3.3) จะได้สมการของเสาอากาศแบบเข็นเตอร์โฟกัส คือ

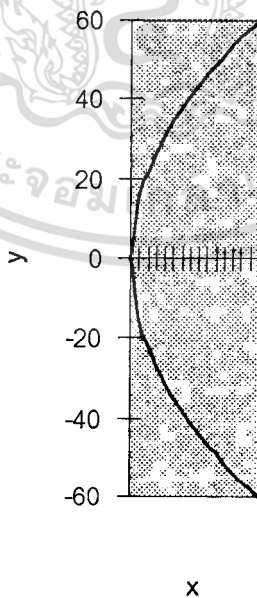
$$x = \frac{1}{120} y^2 \quad (3.4)$$

จากสมการ (3.4) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง y กับ x ดังในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง y กับ x จากสมการ $x = \frac{1}{120}y^2$

y (เซนติเมตร)	x (เซนติเมตร)
5	0.21
10	0.83
15	1.88
20	3.33
25	5.21
30	7.50
35	10.21
40	13.33
45	16.88
50	20.83
55	25.21
60	30.00

จากตาราง 3.3 นำมาพลอตเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 3.5

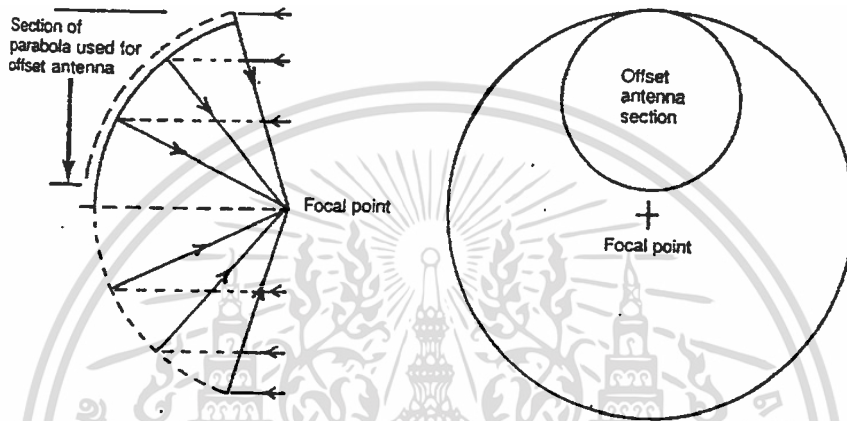


รูปที่ 3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง y กับ x จากสมการ $x = \frac{1}{120}y^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

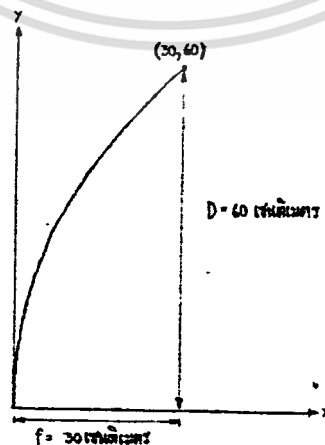
3.1.3 การออกแบบสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก

สายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกได้มาจากการนำเอาส่วนหนึ่งของสายอากาศแบบเซ็นเตอร์โฟกัส (center focus) ขนาดใหญ่ ซึ่งมีผิวเป็นพาราโบลิกมาใช้งาน อุปกรณ์รับสัญญาณที่เรียกว่าฟีดยังคงติดตั้งอยู่ที่ตำแหน่งเดิม ทำให้มองเห็นแล้วเหมือนกับว่าฟีดสอร์นยื่นออกมาจากส่วนล่างของจานรับสัญญาณ หากจานรับสัญญาณแบบนี้มีขนาดใหญ่กว่า 1.5 เมตร จะทำให้มีระยะของจุดโฟกัสยาวเพิ่มขึ้น นั่นก็คือ แขนที่ใช้ยึดฟีดสอร์นจะยาวเพิ่มมากขึ้น ทำให้ไม่ได้สัดส่วนและติดตั้งค่อนข้างยาก ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การทำออฟเซต โฟกัสมาจากเซ็นเตอร์ โฟกัส

การสร้างสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก ทำได้โดยใช้สายอากาศแบบเซ็นเตอร์โฟกัสที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 120 เซนติเมตร ความยาวโฟกัสเท่ากับ 30 เซนติเมตร โดยกำหนดขนาดของโปรเจคเตอร์เจอร์ของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็นครึ่งหนึ่งของสายอากาศแบบเซ็นเตอร์โฟกัสคือเท่ากับ 60 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.7



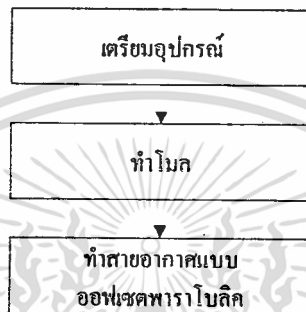
รูปที่ 3.7 ลักษณะทางเรขาคณิตของจานคั่นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลให้หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 กระบวนการสร้าง

เนื่องจากถ้าทำงานสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกจากสายอากาศแบบเซ็นเตอร์โฟกัสตามหัวข้อ

3.1 จะทำได้ยาก เพราะว่าจะต้องทำสายอากาศแบบเซ็นเตอร์โฟกัสให้ได้รูปร่างตามสมการที่คำนวณได้ และยังต้องทำให้มีผิวหน้าที่เรียบอีกด้วย นอกจากนี้ในการโปรเจกเตอร์เจอร์เพื่อทำเป็นสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกต้องใช้ความชำนาญและมีมือค่อนข้างสูงเพื่อให้ได้รูปร่างของสายอากาศที่ถูกต้อง ดังนั้นเพื่อความสะดวกจึงใช้งานต้นแบบที่เป็นสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่มีรูปร่าง และค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เหมือนกับที่ได้คำนวณไว้มาเป็นงานต้นแบบ บล็อกโคอะแกรมกระบวนการสร้างแสดงไว้ในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงบล็อกโคอะแกรมกระบวนการสร้าง

3.2.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้

การทำงานสายอากาศจะต้องมีการทำโมลด์ (Mold) ขึ้นมาก่อนจากงานต้นแบบ หลังจากนั้นจึงค่อยทำงานสายอากาศจากโมลด์ที่สร้างได้แล้ว โดยแต่ละขั้นตอนจะมีการใช้วัสดุและอุปกรณ์หลายชนิด ซึ่งได้แก่

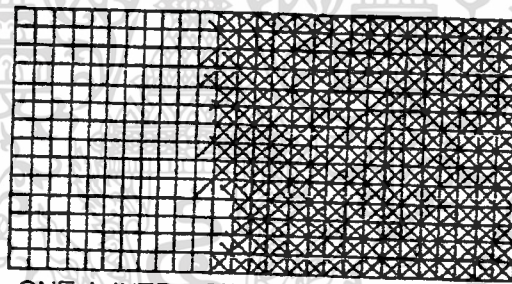
1. เรซิน (Resin) ปริมาณ 1 แกลลอน เป็นตัวประสานระหว่างชั้นใยแก้วหรือใยสาน โดยมีน้ำยาทำแข็งเป็นตัวทำให้แข็งตัว
2. แวกซ์ (Wax) จำนวน 1 คลับ ใช้เพื่อป้องกันไม่ให้หน้าชิ้นงานกับแบบหรือโมลด์ติดกัน สามารถลอกออกได้ง่าย
3. PVA (Polyvinyl alcohol) จำนวน 1 ขวด มีจุดประสงค์ในการใช้เช่นเดียวกับแวกซ์
4. เจลโค้ด (Jel Coats) จำนวน 1 กระปุก ช่วยให้ผิวหน้าของงานสายอากาศเรียบ ไม่ขรุขระ
5. น้ำยาทำแข็ง (Hardener) จำนวน 1 ขวด ใช้ผสมกับเรซิน ทำให้เรซินแข็งตัว
6. ใยแก้ว (Fiber Glass หรือ Glass Mat) น้ำหนัก 5 กิโลกรัม ใช้เมื่อต้องการชั้นที่มีความแข็งแรงในทุกทิศทาง (all directional strength) ซึ่งส่วนมากจะถูกใช้ต่อจากชั้นเจลโค้ด มีคุณสมบัติที่สำคัญคือ โดยปกติจะแข็งแต่เมื่อใช้ร่วมกับเรซินจะอ่อนลงและมีความยืดหยุ่น ทำให้สามารถทำเป็นรูปร่างต่างๆตามต้องการได้ ในกรณีที่อุปกรณ์ต้นแบบมีส่วนโค้งมาก จำเป็นที่จะต้องแบ่งใยแก้วออกเป็นชั้นย่อย ๆ แล้วค่อยนำมาค่อกัน ทั้งนี้ก็เพื่อป้องกันรอยร้าวและฟองอากาศที่อาจเกิดขึ้นได้ รวมทั้งยังช่วยให้ได้ผิวหน้าที่เรียบอีกด้วย นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มใยแก้วเข้าไปอีกชั้นซึ่งเรียกว่า ground glass fiber เพื่อเป็นส่วนสนับสนุนให้กับชั้นแรก และช่วยเสริมราก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฐานให้กับการทำชั้นต่อไป หรือหากค้นแบบมีส่วนโค้งน้อยหรือมีลักษณะค่อนข้างแบน ก็ไม่จำเป็นต้องแบ่งใยแก้วเป็นส่วนย่อย ๆ และทำชั้น ground glass fiber ดังกล่าวอีกด้วย

7. ใยสานหรือตาสาน (Glass Cloth) ประมาณ 5 เมตร เป็นผ้าทอที่มีน้ำหนักมาก โคลนนิคมใช้ในชั้นสุดท้ายซึ่งเป็นส่วนหลังของชิ้นงาน มีความแข็งแรงใน 2 ทิศทาง (bi-directional strength) คือ ในแนวระนาบและแนวตั้ง เหมาะสำหรับทำชิ้นงานขนาดเล็กถึงขนาดกลางที่มีส่วนโค้งน้อยหรือคี่น แต่มักจะเกิดรอยร่นได้ง่าย เช่น งานที่มีส่วนโค้งประมาณ 6-10 นิ้ว การสร้างชิ้นงานอย่างน้อยควรใช้ 2 ชั้นเพื่อเพิ่มความแข็งแรงโดยวางชั้นที่ 2 ในลักษณะให้ตาหรือเส้นใยขัดหรือเป็นเส้นทแยงกับชั้นแรกดังรูปที่ 3.9 ส่วนถ้ามีการใช้หลาย ๆ ชั้นก็ทำได้โดยวางให้เส้นใยขัดกับชั้นก่อนหน้า เช่น ในชั้นที่ 3 จะวางในทิศเดียวกับชั้นแรก, ชั้นที่ 4 วางในทิศเดียวกับชั้นที่ 2

8. ใยทึบประมาณ 5 เมตรมีลักษณะเป็นแผ่นบางคล้ายกระดาษแต่ไม่ขาดง่าย
9. ลูกกลิ้งเหล็ก 2 อัน ใช้สำหรับไล่อากาศ
10. ลูกกลิ้งขนแกะ 2 อัน ใช้สำหรับทาเรซิน
11. มุ้งลวด ประมาณ 4 ตารางเมตร, เทปอะลูมิเนียม 1 ม้วน และสีโลหะ ใช้เพื่อเป็นพื้นผิวสะท้อน
12. ไขควงไฟฟ้าและเครื่องเจีย สำหรับตัด, แต่งขอบของโมลและงานสาขาอากาศ
13. ค้อนยาง สำหรับเคาะ โมลและงานสาขาอากาศออกจากกัน



ONE LAYER, SECOND ON THE BIAS

รูปที่ 3.9 ลักษณะการวางใยสาน

3.2.2 การสร้างโมล(Mold)

การใช้จำนวนชั้นของใยแก้วและใยสานนั้นสามารถเปลี่ยนแปลงได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมกับชนิดและรูปร่างของอุปกรณ์ต้นแบบ ตลอดจนความต้องการทางด้านความแข็งแรงหรือความหนาที่ต้องการ โมลที่ทำขึ้นนี้ประกอบด้วย 5 ชั้น ได้แก่ ใยทึบ 1 ชั้น, ใยแก้ว 3 ชั้น และใยสานอีก 1 ชั้น โดยมีขั้นตอนการทำความลำบาก ดังนี้

1. ทำความสะอาดงานสาขาอากาศต้นแบบที่บริเวณหน้าและขอบของงาน โดยต้องเช็ดฝุ่นหรือสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ ให้หมด หรืออาจใช้น้ำล้างออกแล้วเช็ดให้แห้ง
2. ทาแว็กซ์ลงบนหน้าและขอบของงานต้นแบบ ทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที
3. ทา PVA ทับลงบนแว็กซ์ แล้วทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เติมโคลบอลทิ้งไปในเจลโคคั้ประมาณครึ่งหยด และเติมน้ำยาทำแข็งลงไป 1-2 เเปอร์เซ็นต์ ข้อควรระวังก็คือ ไม่ควรผสมโคลบอลท์และน้ำยาทำแข็งลงไปพร้อมๆ กัน เพราะอาจเกิดปฏิกิริยาทำให้ติดไฟได้ หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้แห้ง

5. คัดใยพืชหยาบให้มีพื้นที่มากกว่าหน้าและขอบของงานเล็กน้อย

6. ผสมน้ำยาทำแข็ง 1-2 เเปอร์เซ็นต์ เทียบกับปริมาณเรซินที่จะให้พอเหมาะกับพื้นที่ของหน้าและขอบงานคั่นแบบ

7. ใช้ลูกกลิ้งขนแกะชุบเรซินที่ผสมไว้และทาให้ทั่ว ต่อจากนั้นวางใยพืชลงข้างบน แล้วทาเรซินทับอีกที

8. ใช้ลูกกลิ้งเหล็กถูไล่ฟองอากาศที่เกิดขึ้นจากบริเวณกลางงานไปยังขอบงาน หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้แห้ง

9. คัดใยแก้วให้มีพื้นที่มากกว่าหน้าและขอบของงานเล็กน้อย

10. ผสมน้ำยาทำแข็งกับเรซินเช่นเดียวกับในข้อ 6

11. ใช้ลูกกลิ้งเหล็กถูไล่ฟองอากาศที่เกิดขึ้น หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้แห้ง

12. ทำซ้ำข้อ 9-11 อีก 2 ครั้ง

13. ในขั้นสุดท้ายจะทำซ้ำข้อ 9-11 เช่นกัน แต่ใช้ใยสานแทน

14. แกะโมลและงานสายอากาศคั่นแบบออกจากกัน โดยใช้ค้อนยางเคาะที่ด้านหลังงานเพื่อให้โมลเกาะเทาะออกทีละน้อย เมื่อเกาะเทาะออกหมดแล้วก็ทำการดึงออกจากกัน

15. ไล่ใบคัดไฟเบอร์ลงในเครื่องเจีย ทำการตัดส่วนที่เกินจากขอบโมลออก แล้วแต่งขอบให้เรียบ หลังจากทำโมลเสร็จเรียบร้อยแล้ว ควรระมัดระวังไม่ให้มีรอยขีดข่วนที่ผิวหน้าอันเนื่องมาจากฝุ่นละออง และสิ่งแปลกปลอมต่าง ๆ

โมลที่สร้างได้จะแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 โมลของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นหน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การสร้างงานสายอากาศ

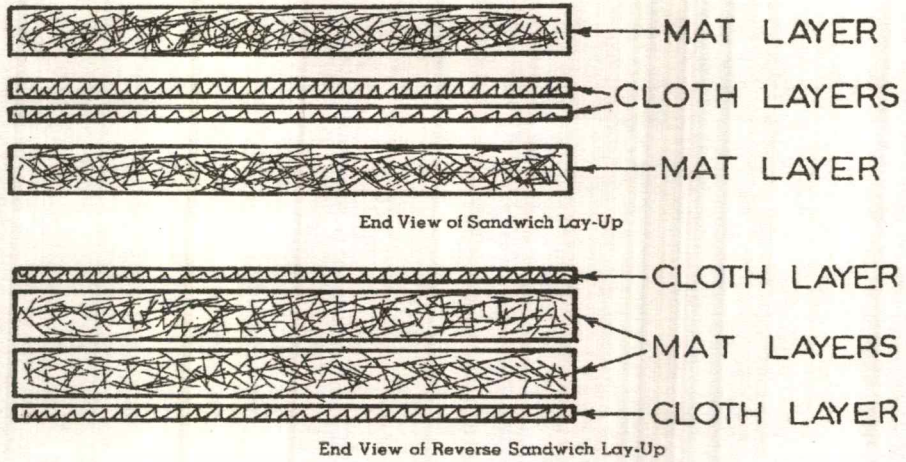
งานสายอากาศที่ดีต้องมีผิวหน้าเรียบ เพื่อช่วยให้คลื่นสะท้อนไปยังจุดโฟกัสให้ได้มากที่สุด แต่จะเรียบเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับผิวหน้าของโมลที่ได้ สำหรับในส่วนของจำนวนชั้นที่เรามี 5 ชั้น ได้แก่ โยทิสซู 1 ชั้น, โยแก้ว 2 ชั้น และโยसान 2 ชั้น นอกจากนี้ยังมีการใส่พื้นผิวสะท้อนคลื่น 3 ชนิด คือ มุ้งลวด, สีสผสมโลหะ และเทปอะลูมิเนียม ชั้นตอนการทำมีดังนี้

1. ทำความสะอาดโมลโดยการเช็ดฝุ่นละอองและสิ่งแปลกปลอมต่างๆ ออกให้หมด เพื่อป้องกันการเกิดตามไม่เรียบบนหน้างานสายอากาศ หากบริเวณผิวของโมลเปื่อยก็ควรเช็ดให้แห้ง
2. ทำตามขั้นตอนการทำโมลตั้งแต่ข้อ 2-4 แต่ใช้โมลเป็นคั้นแบบแทน
3. ถ้าเป็นงานที่มีมุ้งลวดเป็นพื้นผิวสะท้อนคลื่น ให้ตัดมุ้งลวดให้มิมพื้นที่เท่ากับผิวหน้าของโมลโดยไม่รวมขอบ วางบนลงไปบนงานแล้วทาเจลดึดทับ พยายามรีดมุ้งลวดให้เรียบอย่าให้มีฟองอากาศเกิดขึ้น
4. ทำตามขั้นตอนการทำโมลตั้งแต่ข้อ 5-8
5. ตัดโยแก้วให้มิมพื้นที่มากกว่าหน้าและขอบของโมลเล็กน้อย
6. ผสมน้ำยาทำแข็ง 1-2 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับปริมาณเรซินที่จะให้พอเหมาะกับพื้นที่ของหน้าและขอบ

โมล

7. ใช้ลูกกลิ้งเหล็กกลูไล์ฟองอากาศที่เกิดขึ้น หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้แห้ง
 8. ตัดโยसानให้มิมพื้นที่มากกว่าหน้าและขอบของโมลเล็กน้อย
 9. ผสมน้ำยาทำแข็งกับเรซินเช่นเดียวกับในข้อ 6
 10. ใช้ลูกกลิ้งเหล็กกลูไล์ฟองอากาศที่เกิดขึ้น หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้แห้ง
 11. ทำอีก 1 ชั้น โดยทำซ้ำข้อ 8-10
 11. ในขั้นสุดท้ายจะใช้โยแก้วโดยการซ้ำข้อ 5-7
 12. แคะโมลและงานสายอากาศที่ได้ออกจากกัน โดยใช้ค้อนข้างเคาะที่ด้านหลังของโมลเพื่อให้งานสายอากาศกะเทาะออกทีละน้อย เมื่อกะเทาะออกหมดแล้วก็ทำการดึงออกจากกัน
 13. ใส่ใบตัดไฟเบอร์ลงในเครื่องเจีย ทำการตัดส่วนที่เกินจากขอบของงานสายอากาศออก แล้วแต่งขอบให้เรียบ
 14. ทำที่ยึดติดกับขาตั้งโดยใช้เหล็ก แล้วนำมาติดที่บริเวณด้านหลังงานสายอากาศโดยทาเรซินและวางโยแก้ว(ตัดให้มิมพื้นที่ใหญ่กว่าพื้นที่ของที่ยึดเล็กน้อย) เหมือนกับวิธีข้างต้น ทำประมาณ 3 ชั้น
 15. ถ้าเป็นงานที่มีสีผสมโลหะเป็นผิวสะท้อนให้สีผสมโลหะพ่นที่หน้างานให้ทั่ว พยายามพ่นหลาย ๆ ชั้น ส่วนถ้าเป็นงานที่มีเทปอะลูมิเนียมเป็นผิวสะท้อนให้นำเทปอะลูมิเนียมมาติดบนหน้างานให้ทั่ว
- จำนวนชั้นของโยแก้วและโยसानอาจเปลี่ยนแปลงได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าชิ้นงานต้องการความแข็งแรงมากน้อยเพียงใด แต่โดยทั่วไปมักใช้โยแก้ว 1 ชั้นกับโยसान 2 ชั้นก็เพียงพอแล้ว ตัวอย่างการวาง 2 แบบคือ แบบแซนวิช (Sandwich Lay-up) ประกอบด้วย โยแก้ว 2 ชั้นกับโยसानอีก 1 ชั้นหรือมากกว่าแทรกอยู่ระหว่างชั้นโยแก้ว และแบบรีเวอร์คแซนวิช (Reverse Sandwich Lay-Up) ซึ่งประกอบด้วย โยसान 2 ชั้นกับโยแก้วอีก 1 ชั้นหรือมากกว่าแทรกอยู่ระหว่างชั้นโยसान ดังรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



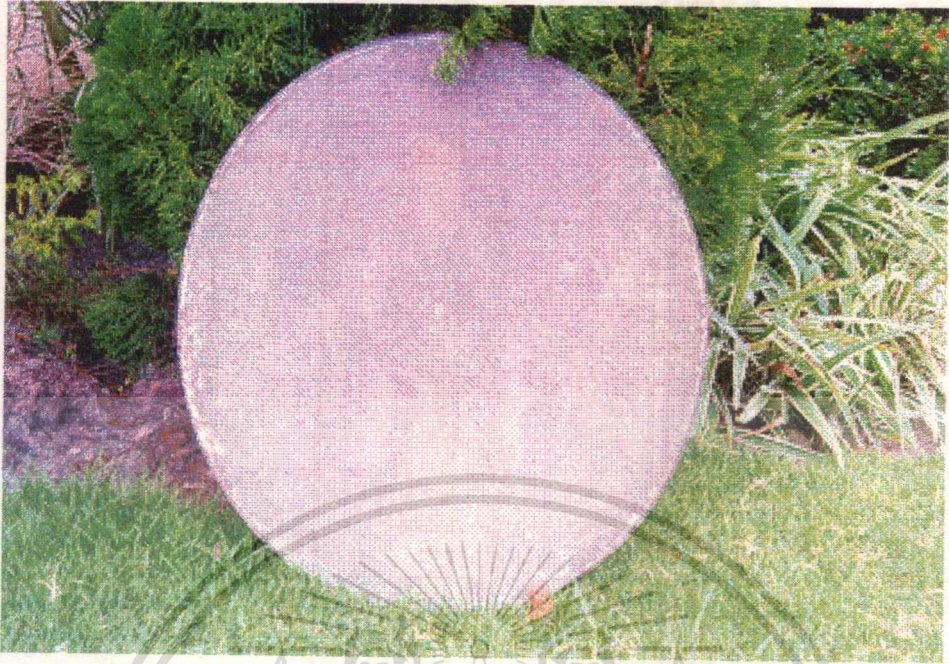
รูปที่ 3.11 การวางแบบแซนด์วิชและแบบรีเวิร์ดแซนด์วิช

สายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลาที่มีตัวสะท้อนเป็นเทปอะลูมิเนียม, มุ้งลวด และสีโลหะ ที่ทำขึ้นจะแสดงไว้ในรูปที่ 3.12 - 3.14 ตามลำดับ



รูปที่ 3.12 แสดงสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลาที่ใช้เทปอะลูมิเนียมเป็นตัวสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 แสดงสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลาที่ใช้มุ้งลวดเป็นตัวสะท้อน



รูปที่ 3.14 แสดงสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลาที่ใช้สีโลหะเป็นตัวสะท้อน

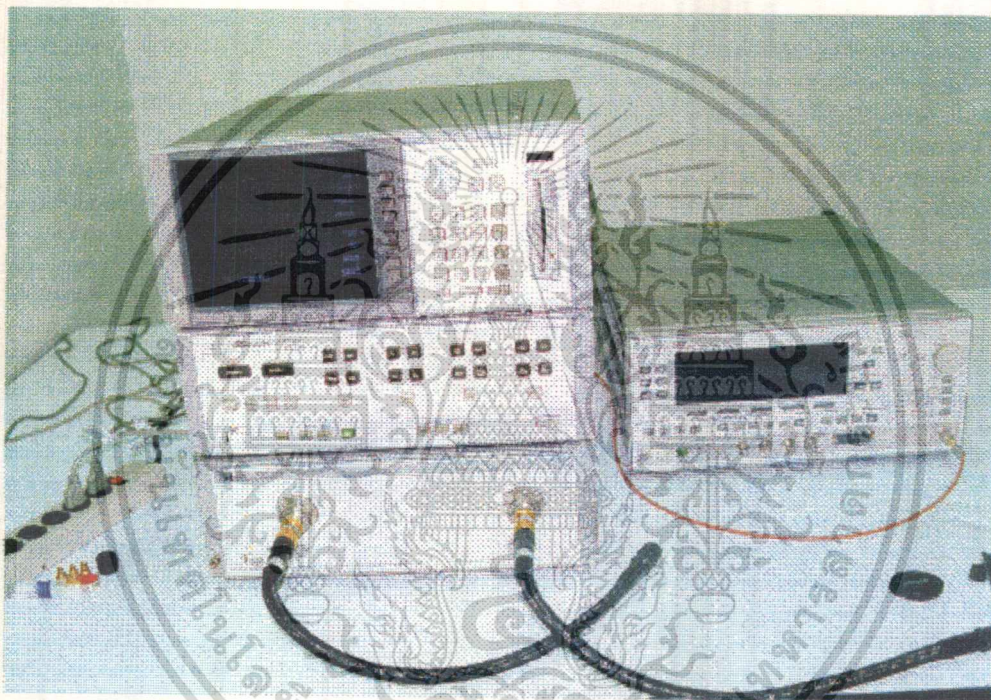
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การวัดความถี่เรโซแนนซ์ (Resonant Frequency Response)

ชุดวัดความถี่เรโซแนนซ์สามารถวัดเอส-พารามิเตอร์ (s-parameter) เพื่อหาค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ [return loss : S_{22} (dB)] วัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งต่อแรงดัน (SWR) ของสายอากาศว่าเป็นไปตามมาตรฐานหรือไม่ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะมีค่าน้อยกว่า 2 และใช้วัดค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ (input impedance) ของสายอากาศ



รูปที่ 4.1 ชุดวัดความถี่เรโซแนนซ์

4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

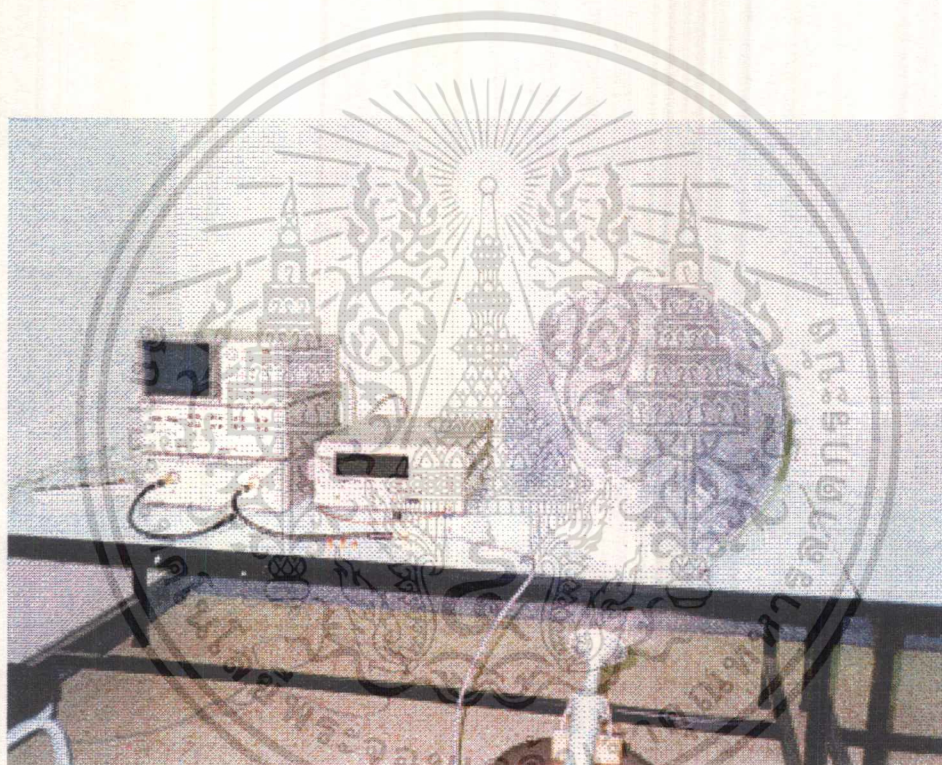
1. ชุดวัดความถี่เรโซแนนซ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งประกอบไปด้วย
 - 1.1 เครื่อง 8150C Network Analyzer
 - 1.2 เครื่อง 8514B 8510B S-Parameter Test Set (45 MHz - 20 GHz)
 - 1.3 เครื่อง 8360 Series Synthesized Sweeper (10 MHz - 20 GHz)
2. ชุดคาลิเบรท 85052B (Calibration kit 85052B 3.5 mm.)
3. สายโคแอกเซียล (coaxial cable) และตัวต่อ (connector) ชนิดที่มีความสูญเสียต่ำ (low loss)
4. สายอากาศที่ต้องการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ขั้นตอนการทดลอง

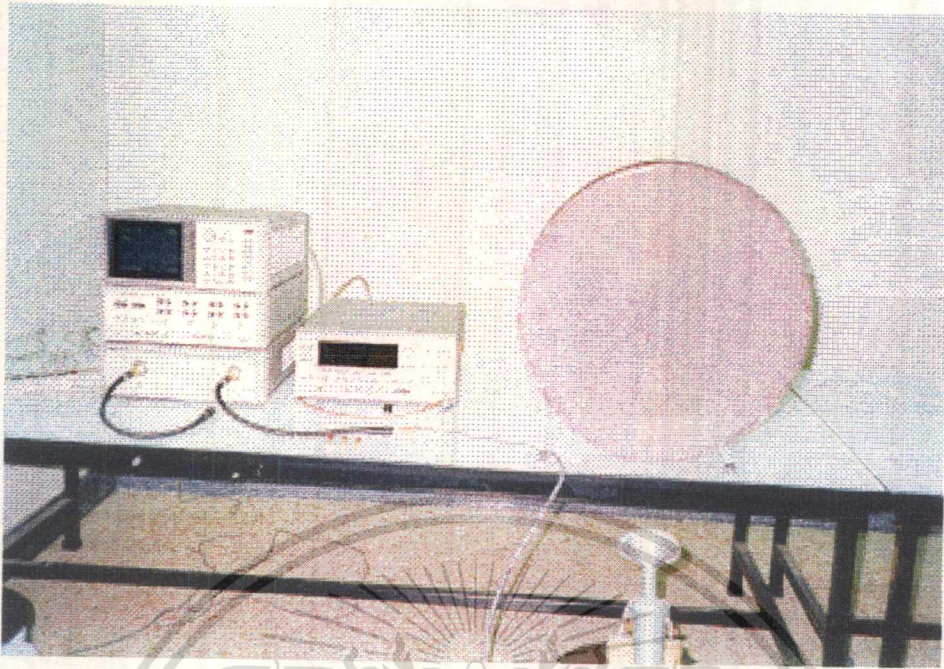
1. เปิดเครื่องของชุดวัดความถี่เรโซแนนซ์ทุกตัว
2. ทำการคาบิเบรทเครื่องด้วยชุดคาบิเบรท ซึ่งประกอบไปด้วยตัวลัดวงจร (short circuit), ตัวเปิดวงจร (open circuit) และ โหลดบรอดแบนด์ (load broadband)
3. ต่อสายอากาศที่ต้องการวัดเข้ากับชุดวัดความถี่เรโซแนนซ์
4. เลือกเมนู (menu) วัดค่าแอมพลิจูด-พารามิเตอร์, ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งต่อแรงดัน และค่าอินพุทอิมพีแดนซ์
5. เปลี่ยนสายอากาศและทำซ้ำข้อ 4 จนครบทั้ง 3 งาน

รูปที่ 4.2-4.4 แสดงการจัดวางเครื่องมือวัดของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้เทปอะลูมิเนียม, มั่งลวด และสีโลหะเป็นตัวสะท้อน ตามลำดับ

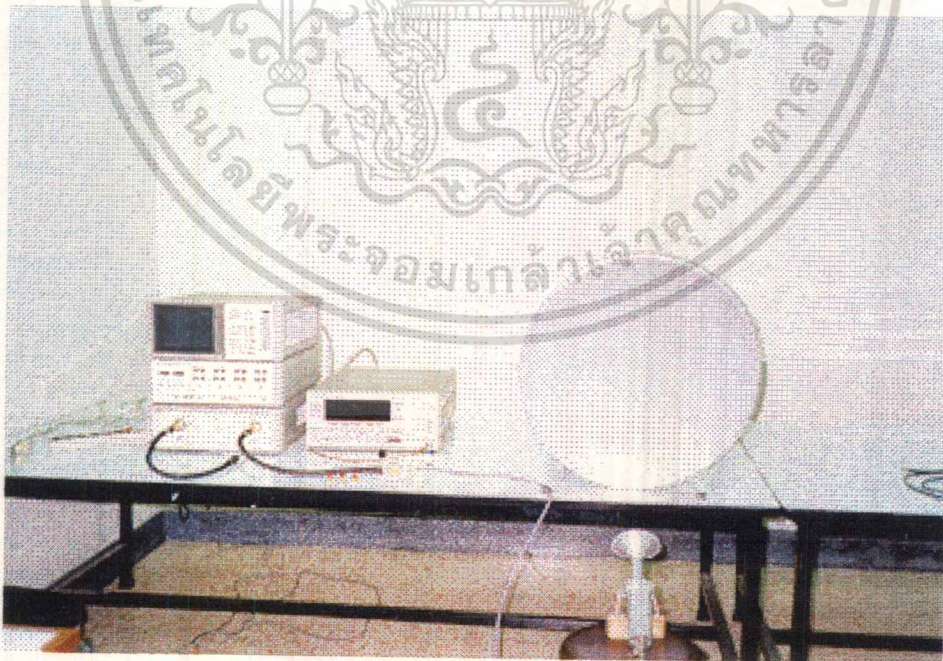


รูปที่ 4.2 แสดงการจัดวางเครื่องมือวัดสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้เทปอะลูมิเนียมเป็นตัวสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงการจัดวางเครื่องมือวัดสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิคที่ใช้มั่งลวดเป็นตัวสะท้อน



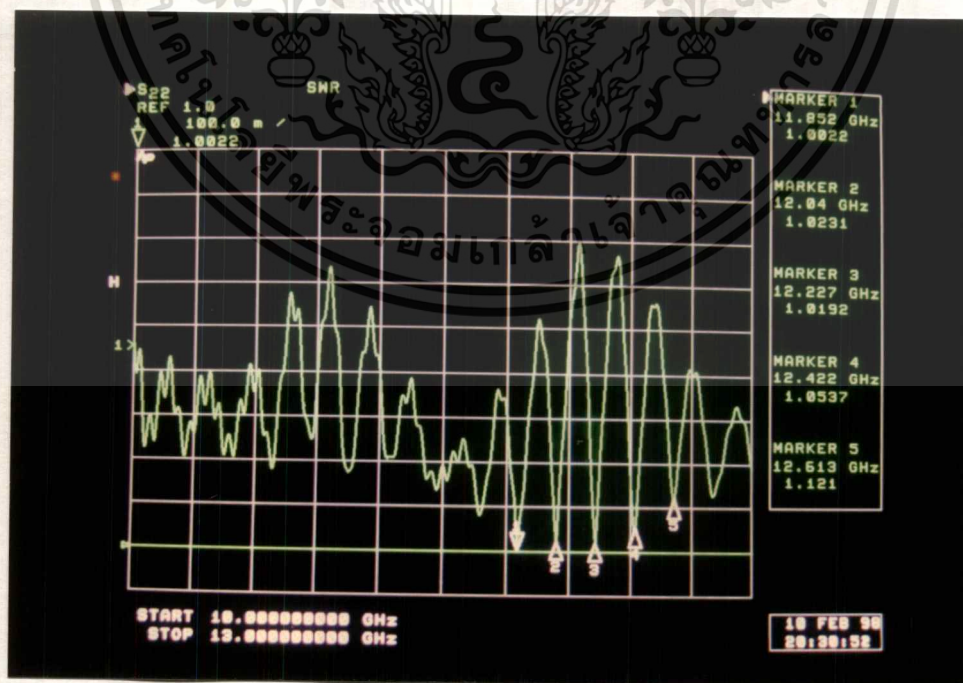
รูปที่ 4.4 แสดงการจัดวางเครื่องมือวัดสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิคที่ใช้สี่โลหะเป็นตัวสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ผลการทดลอง

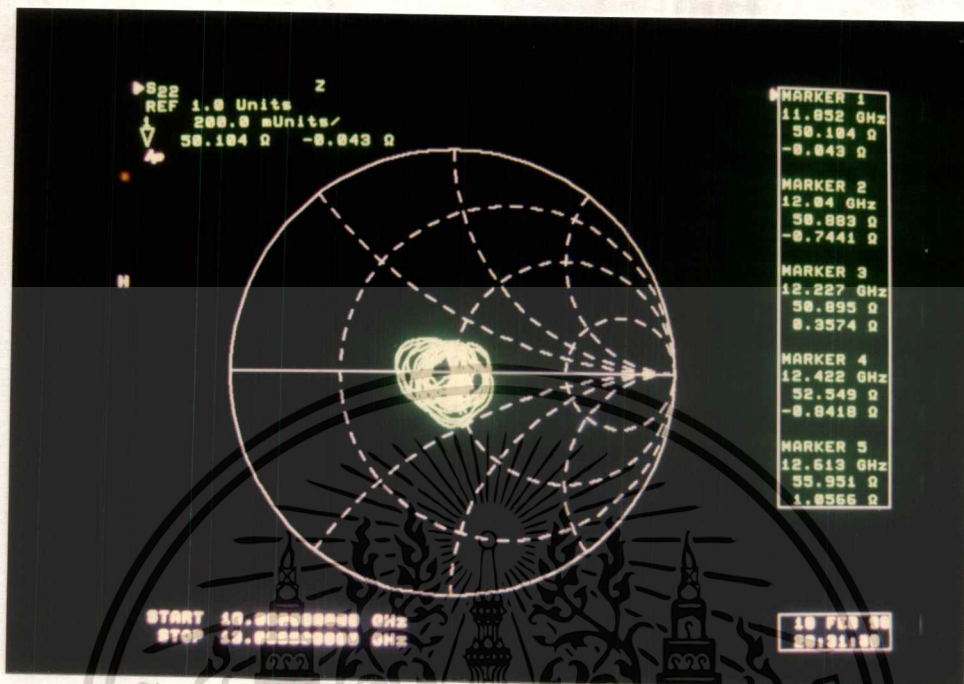


รูปที่ 4.5 แสดงค่า S_{22} ของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิคที่ใช้เทปอะลูมิเนียมเป็นตัวสะท้อน

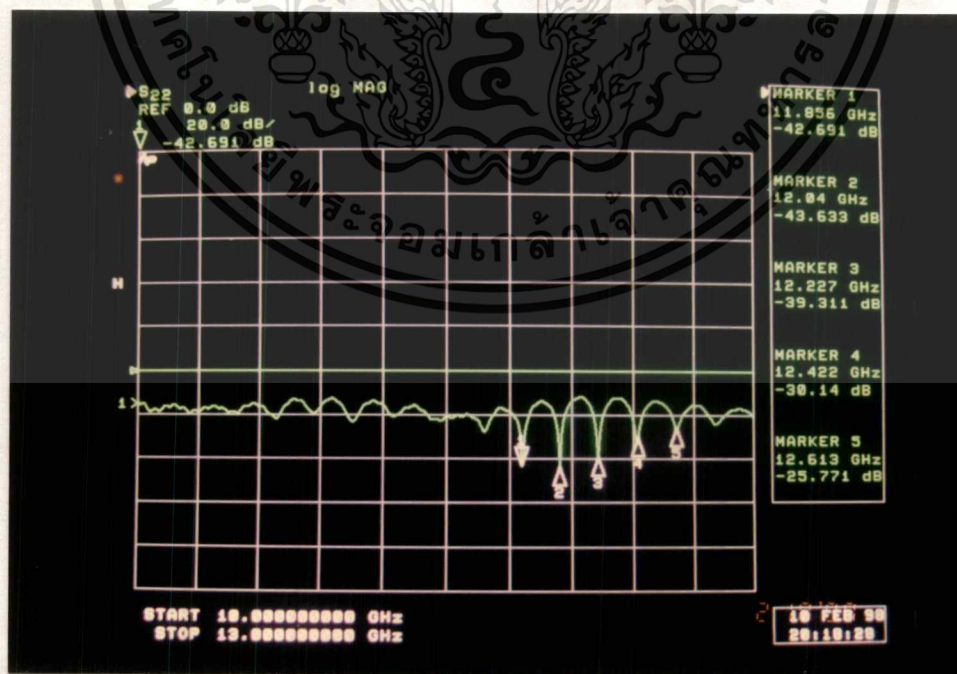


รูปที่ 4.6 แสดงค่า SWR ของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิคที่ใช้เทปอะลูมิเนียมเป็นตัวสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้นำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

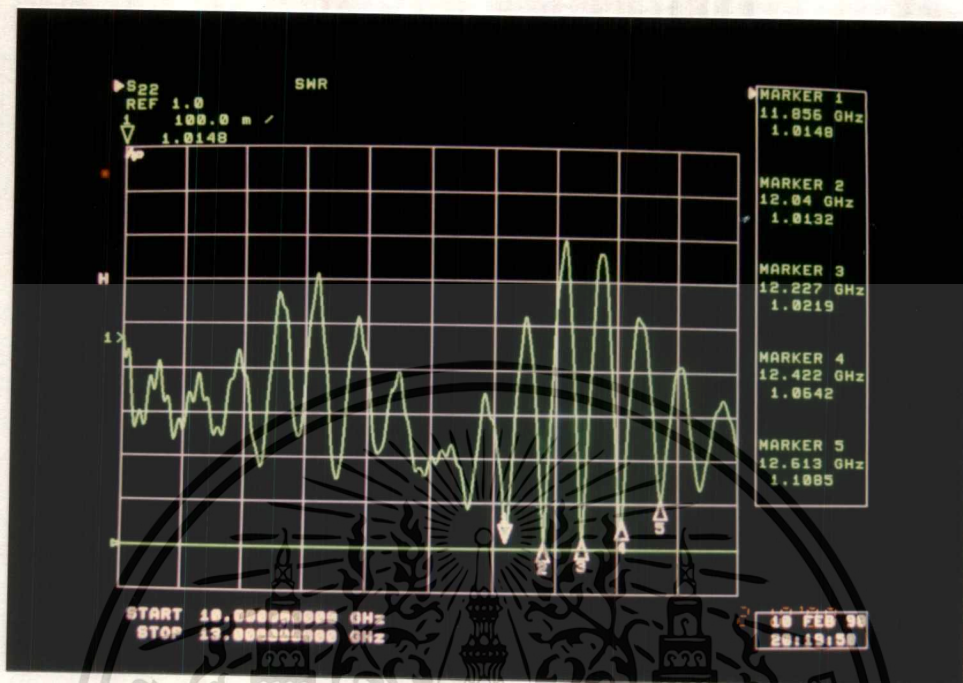


รูปที่ 4.7 แสดงค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้เทปอะลูมิเนียมเป็นตัวสะท้อน

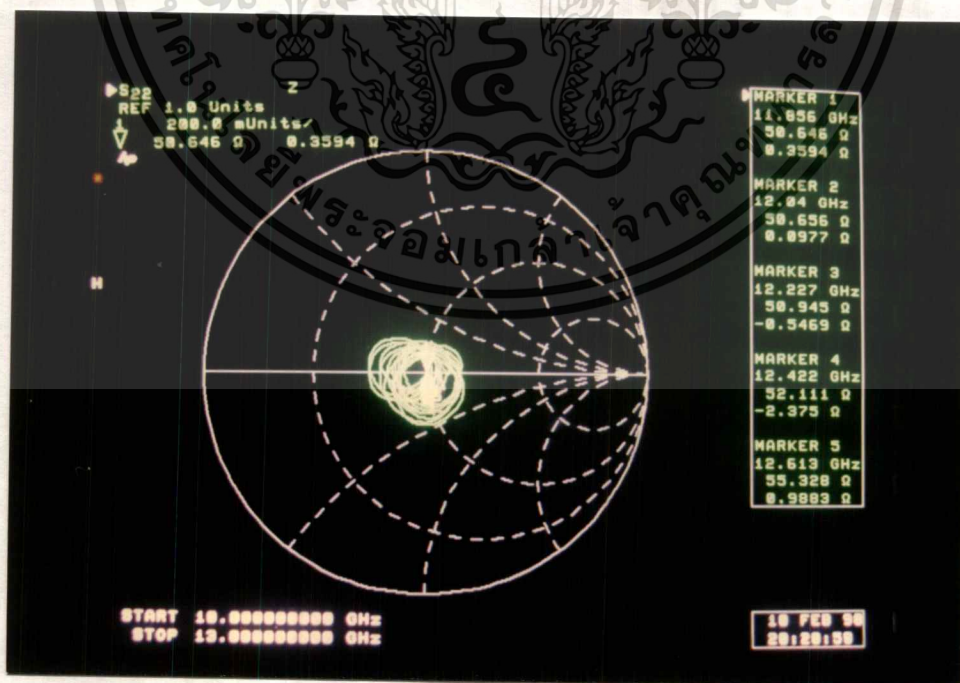


รูปที่ 4.8 แสดงค่า S_{22} ของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้มัลลวดเป็นตัวสะท้อน

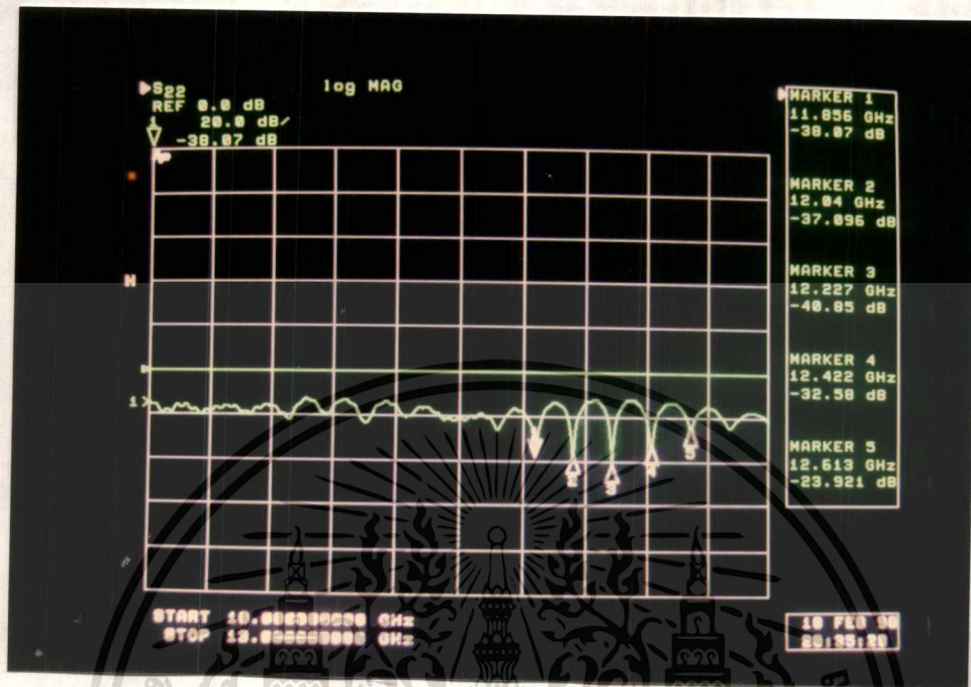
เอกสารนี้เป็นเอกสารทงสวนเวสสำหรับกรใช้งานเพอกรรคกษเทอเนน เมอผูอูเทเนนไปเขบระยชนด้นกรค้
ไม่วกรณใด ๆ ท้งส้น อีกรท้งห้มมิให้ดัดแปลงเนือหา และดอองอ้งอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกกร้งที่มกรน้ไปใช้



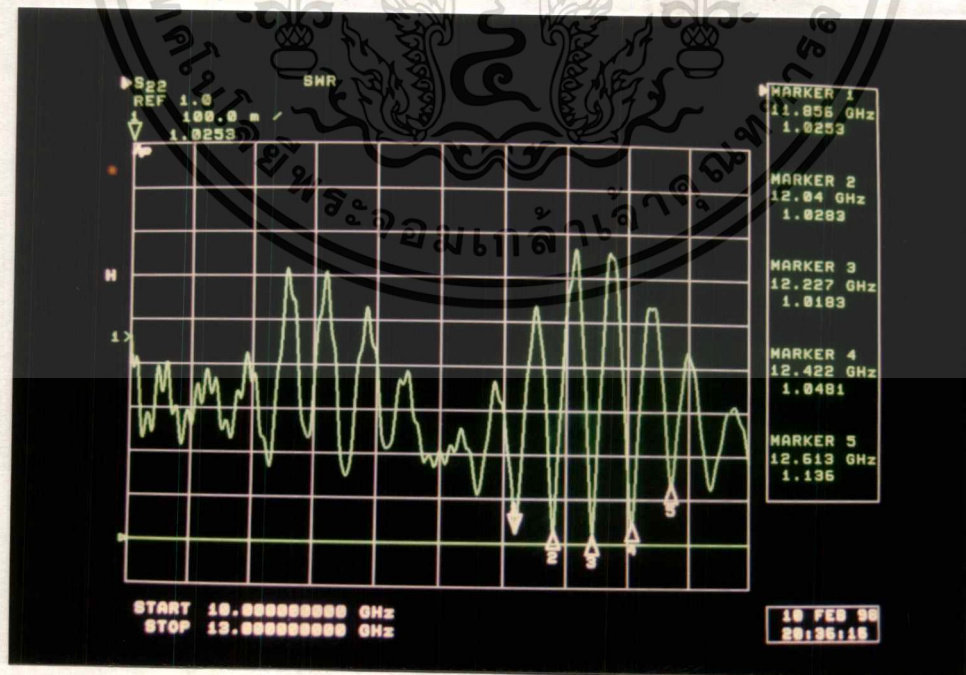
รูปที่ 4.9 แสดงค่า SWR ของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิคที่ใช้มั่งลวดเป็นตัวสะท้อน



รูปที่ 4.10 แสดงค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิคที่ใช้มั่งลวดเป็นตัวสะท้อน
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยูที่เห็นได้ใช้ประโยชน์จากการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

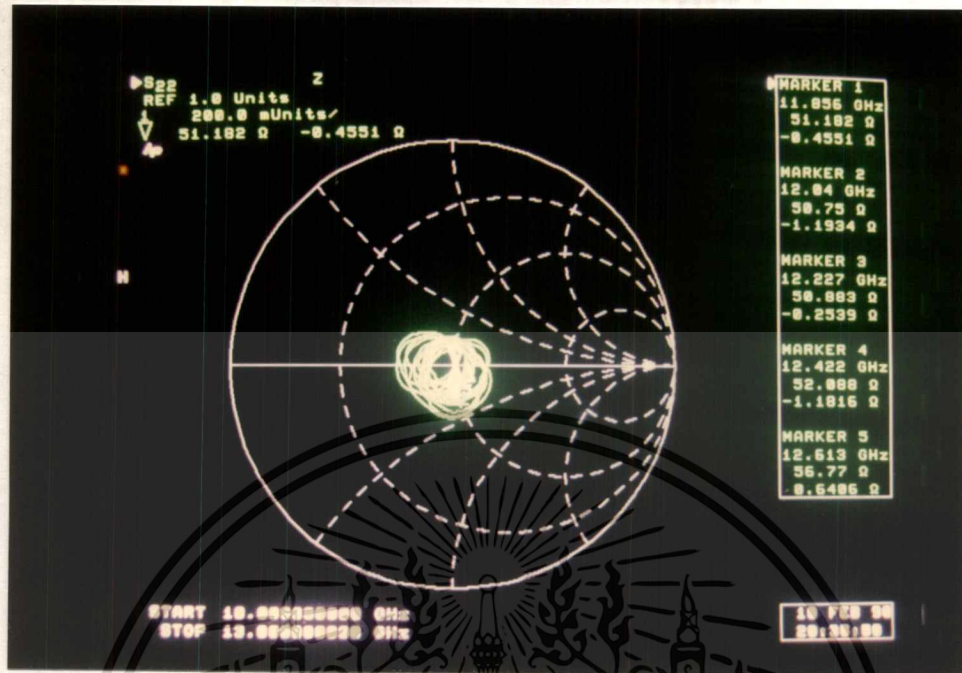


รูปที่ 4.11 แสดงค่า S_{22} ของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้โลหะเป็นตัวสะท้อน



รูปที่ 4.12 แสดงค่า SWR ของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้โลหะเป็นตัวสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลงนามในชื่อสำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่ผู้จัดทำเนื้อหาหรือเจ้าของข้อมูลด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แสดงค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้สี่โลหะเป็นตัวสะท้อน

จากรูปที่ 4.5 - 4.13 คูณเฉพาะที่ความถี่ที่ใกล้เคียง 11.85 GHz สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สรุปผลการทดลองที่วัดได้

ชนิดของตัวสะท้อน	เทปอะลูมิเนียม	มุงลวด	สี่โลหะ
ความถี่ที่รีโซแนนซ์ (GHz)	11.852	11.856	11.856
S_{22} (dB)	-58.98	-42.691	-38.07
SWR	1.0022	1.0140	1.0283
อินพุทอิมพีแดนซ์ (โอห์ม)	50.104-j0.043	50.646+j0.3594	51.182-j0.4551

หมายเหตุ S_{22} เป็นค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ ใช้แทน S_{11} เนื่องจากตัวต่อที่พอร์ท 2 สามารถต่อเข้ากับเอกสารนี้เป็นตัวต่อของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกได้พอดีเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การวัดแพทเทิร์นของสายอากาศ

การวัดแพทเทิร์นของสายอากาศ เป็นการวัดคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในมุมต่าง ๆ ซึ่งจะเป็นตัวบอกให้รู้ว่าสายอากาศรับคลื่นได้ดีในทิศทางใด รับคลื่นได้ไม่ดีในทิศทางใด และยังใช้ในการคำนวณหาค่าไดเรคทิวิตีและเกนได้ด้วย

4.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องกำเนิดสัญญาณ (signal generator) ย่านความถี่ 11.85 GHz
2. สายโคแอกเซียล (coaxial cable) และตัวต่อ (connector) ชนิดที่มีความสูญเสียต่ำ (low loss)
3. สายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่จะนำมาทดสอบ
4. สายอากาศฮอร์นที่ใช้เป็นตัวส่งสัญญาณ และกำหนดโพลาไรเซชันของสัญญาณ
5. ฟีดฮอร์นที่มี LNB (Low Noise Block down converter) ซึ่งใช้สัญญาณอินพุตในย่านความถี่ KU
6. เครื่องจ่ายไฟกระแสตรง
7. เครื่องบล็อกสัญญาณ DC (DC Blocking Device)
8. เครื่องประมวลผลสเปกตรัม (Spectrum Analyzer)
9. อุปกรณ์หมุนสายอากาศเพื่อวัดแพทเทิร์น

4.2.2 บล็อกไดอะแกรมในการต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 4.14 เป็นการต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อใช้ในการทดลอง ซึ่งทางด้านส่งจะประกอบไปด้วย เครื่องกำเนิดสัญญาณและสายอากาศฮอร์นซึ่งทำหน้าที่ส่งสัญญาณออกไป ส่วนสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกทำหน้าที่เป็นสายอากาศรับ จะอยู่บนเครื่องหมุน (turntable) ระยะจากสายอากาศออฟเซตพาราโบลิกและสายอากาศฮอร์นจะอยู่ที่สนามระยะไกล (far field) สามารถคำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้

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

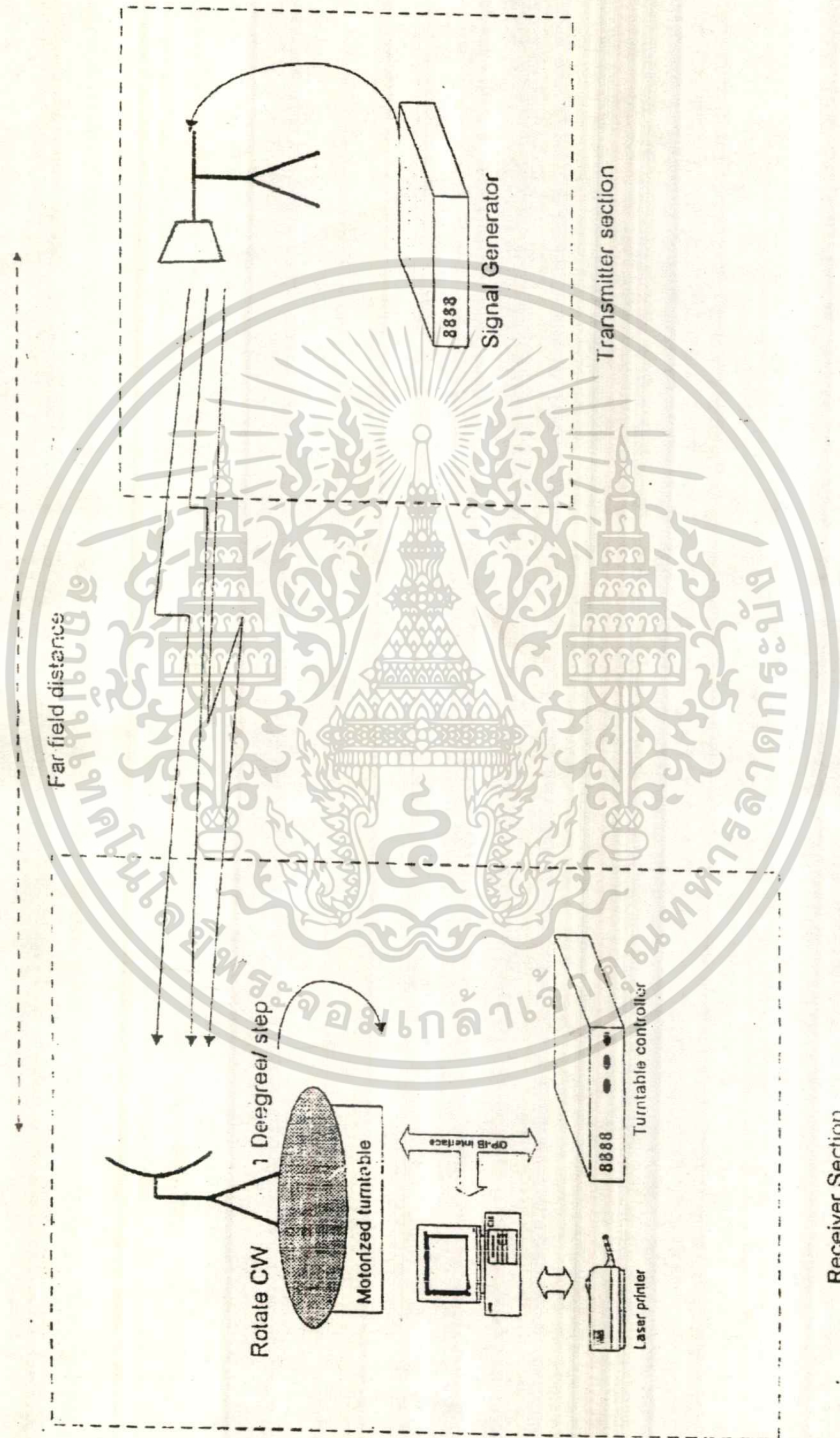
โดยที่ R : ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ (far field)

D : มิติที่ยาวที่สุด (efficiency length) ของสายอากาศออฟเซตพาราโบลิก

λ : ความยาวคลื่นที่ใช้ในการทดลอง

สายอากาศออฟเซตพาราโบลิกทำหน้าที่เป็นสายอากาศรับจะต่ออยู่กับ LNB (ต้องการไฟเลี้ยงจึงต้องต่อเข้ากับเครื่องจ่ายไฟกระแสตรงด้วย) ซึ่งภายใน LNB จะประกอบไปด้วยวงจรมิกเซอร์ (mixer) และวงจรมขยาย (amplifier) ซึ่งจะทำการแปลงสัญญาณความถี่ในย่าน Ku เป็นความถี่ในย่าน IF แล้วจึงทำการขยายสัญญาณ ดังนั้น จะต้องปรับเครื่องประมวลผลสเปกตรัมให้รับสัญญาณในย่านความถี่ IF นี้ไว้ จากนั้นสัญญาณที่ได้จากเอาต์พุต LNB จะถูกส่งผ่านเครื่องบล็อกสัญญาณ DC ก่อนที่จะเข้าเครื่องประมวลผลสเปกตรัม เพื่อป้องกันสัญญาณ DC อันจะทำให้เครื่องประมวลผลสเปกตรัมเกิดความเสียหายได้ จากนั้น ค่าที่ได้จากการวัดด้วยสเปกตรัมจะอินเตอร์เฟส (interface) เข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อเอาค่าต่าง ๆ มาพล็อตกราฟแพทเทิร์นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแพร่กระจายของสายอากาศ แล้วส่งพิมพ์กราฟนั้นออกมาทางเครื่องพิมพ์ นอกจากนี้ เครื่องคอมพิวเตอร์ยังทำหน้าที่ควบคุมอุปกรณ์หมุนสายอากาศ ซึ่งจะทำหน้าที่หมุนสายอากาศขณะที่ทำการวัด ตั้งแต่ 0 องศา จนถึง 360 องศา (หมุนครั้งละ 1 องศา) โดยสามารถกำหนดเวลาการหมุนในแต่ละองศาว่าจะใช้เวลากี่วินาทีได้ ซึ่งคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ควบคุมการหมุนสายอากาศในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.14 บล็อกไดอะแกรมแสดงการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ขั้นตอนการทดลอง

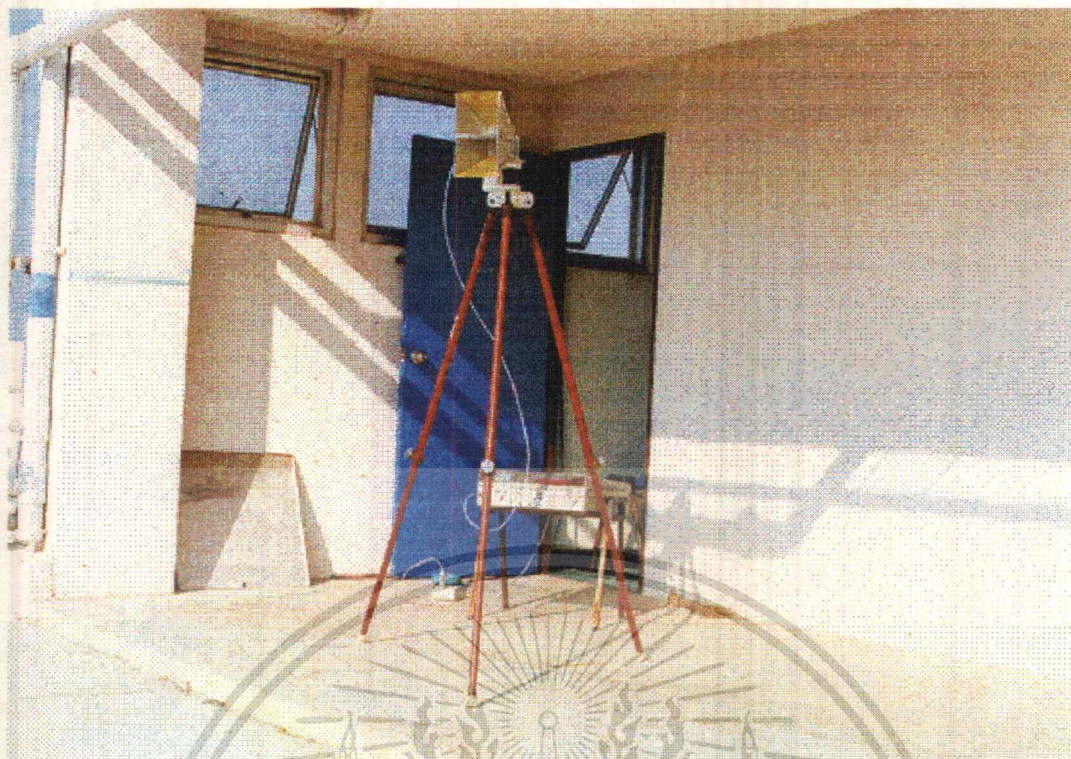
การทดลองนี้จะทำการวัดแพทเทิร์นการแพร่กระจายของสายอากาศออฟเซตพาราโบลิก โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. จัดอุปกรณ์ตามบล็อกไดอะแกรม (รูปที่ 4.14)
2. คำนวณหาระยะของสนามระยะไกลโดยใช้สมการ (4.1) โดยที่ $D = 0.6$ เมตร $\lambda = 3 \times 10^8 / 11.85 \times 10^9$ ซึ่งจะได้ค่า $R = 28.44$ เมตร ในการทดลองจริงใช้ค่า $R = 30$ เมตร
3. ตั้งเครื่องกำเนิดสัญญาณให้ส่งสัญญาณที่ความถี่ 11.85 GHz โดยต่อเข้ากับสายอากาศฮอร์น
4. ติดตั้งสายอากาศฮอร์นให้ส่งคลื่นความถี่แนวนอน (horizontal) เพื่อวัดสนามไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 4.16
5. ติดตั้งสายอากาศที่จะวัดบนตัวหมุนและวางห่างจากสายอากาศฮอร์นเป็นระยะทาง 30 เมตร
6. ต่อสายสัญญาณ สายควบคุม รวมทั้งตรวจตราอุปกรณ์ และจุดต่อต่างๆ ให้ถูกต้อง
7. ให้เครื่องกำเนิดสัญญาณส่งสัญญาณ
8. วัดสัญญาณที่รับได้ และควบคุมตัวหมุนให้หมุนไปที่ละหนึ่งองศา โดยใช้เวลาลงสเกล 3 วินาที
9. นำสัญญาณที่วัดได้มาพลอตกราฟแพทเทิร์นการแพร่กระจายแล้วพิมพ์ออกมา
10. ทำการทดลองอีกครั้งโดยเปลี่ยนสายอากาศฮอร์นให้ส่งคลื่นความถี่ตั้ง เพื่อวัดสนามแม่เหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 4.17
11. เปลี่ยนสายอากาศที่จะวัดแล้วทำตามข้อ 4 - 10 อีกที่ ทำจนกว่าวัดสายอากาศครบทั้ง 3 งาน

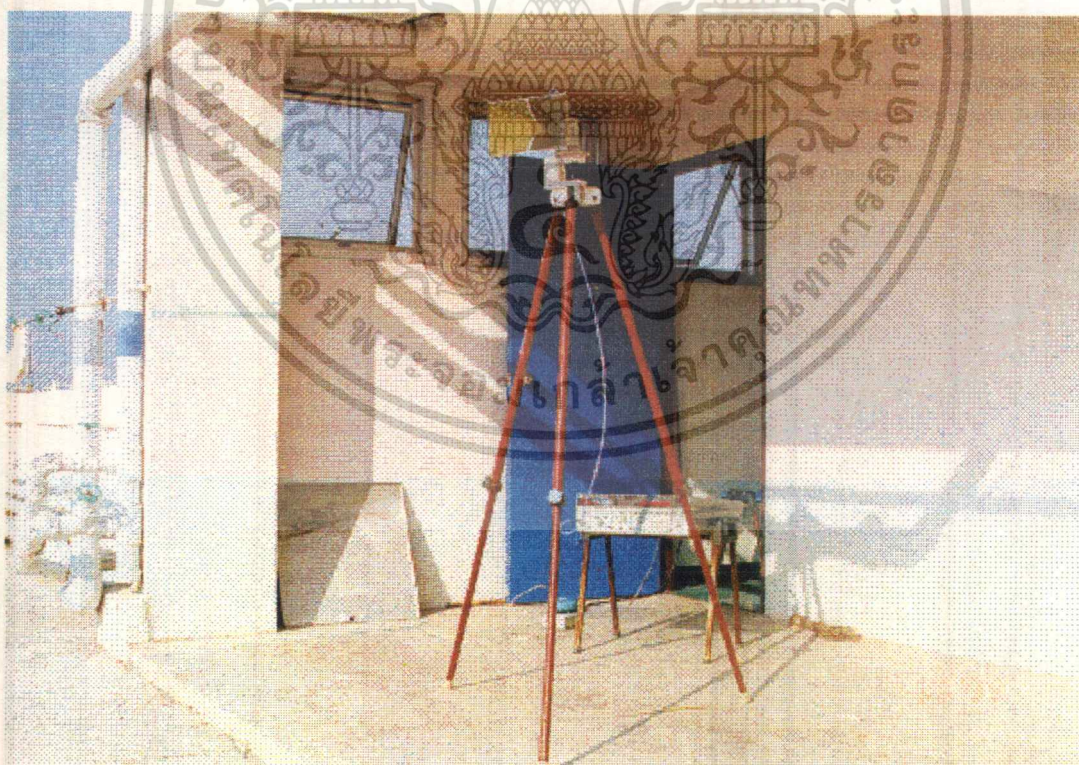


รูปที่ 4.15 คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ควบคุมการหมุนสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



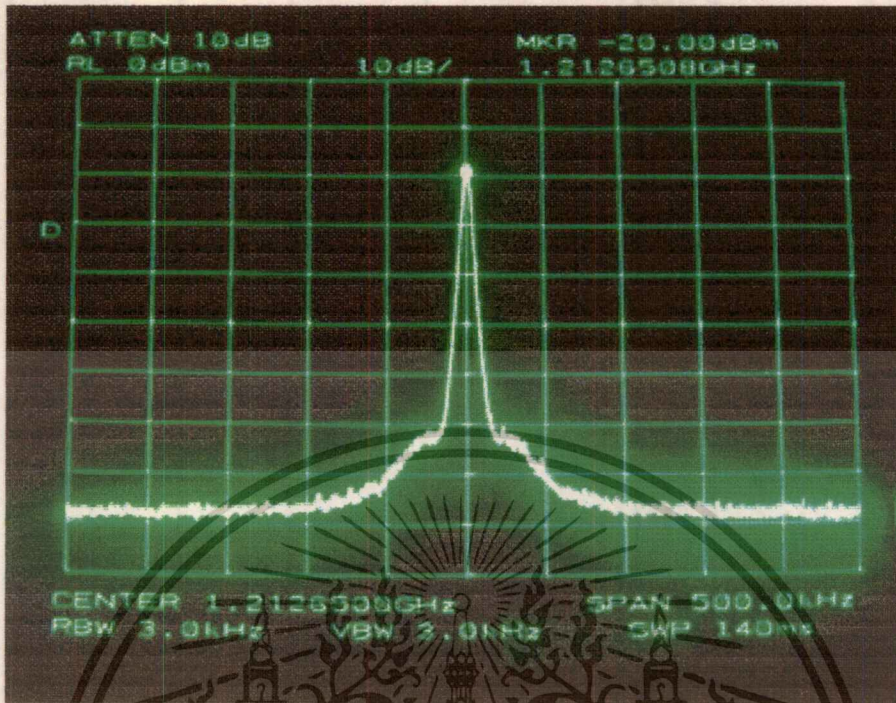
รูปที่ 4.16 การติดตั้งสายอากาศฮอร์นให้ส่งคลื่นตามแนวอน



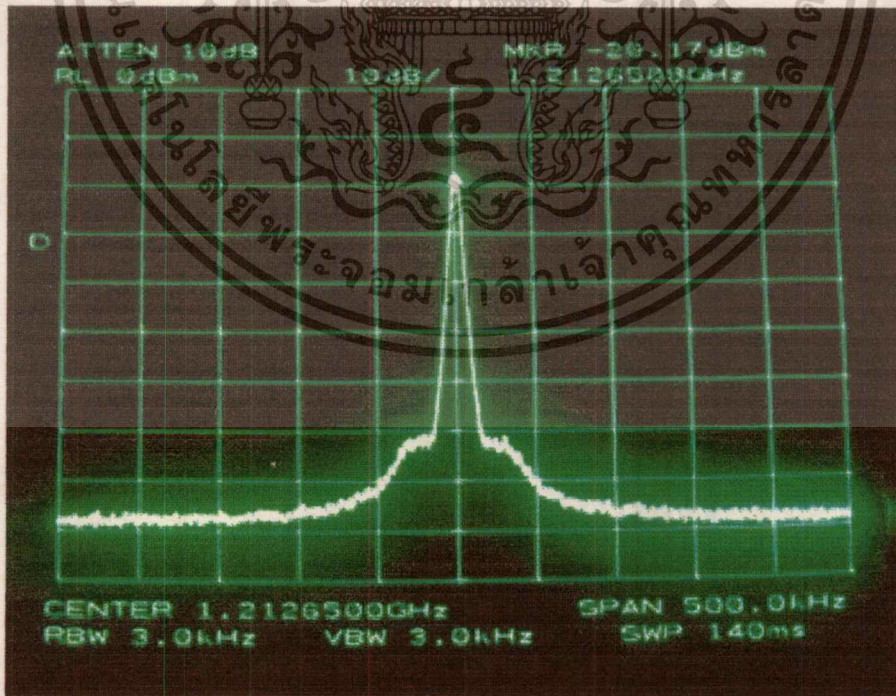
รูปที่ 4.17 ติดตั้งสายอากาศฮอร์นให้ส่งคลื่นตามแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดลอง

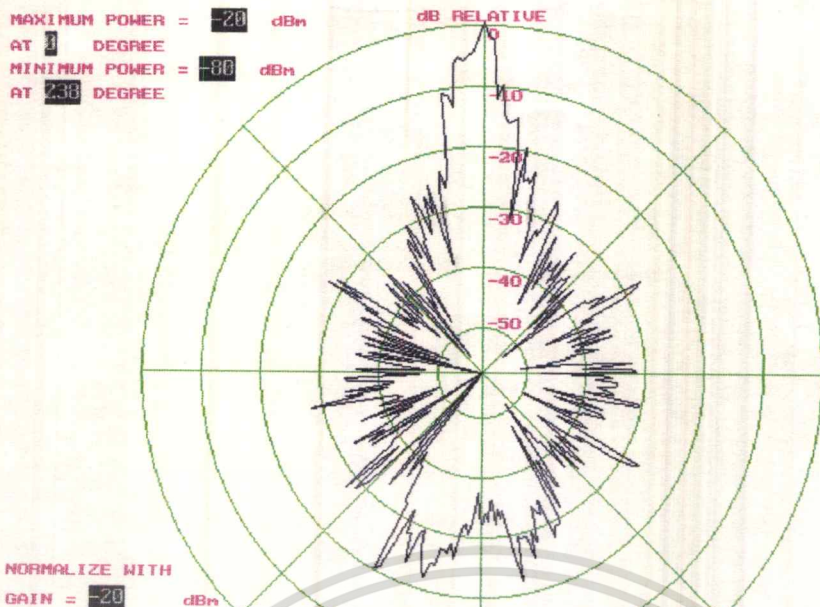


รูปที่ 4.18 แสดงสเปกตรัมสนามไฟฟ้าของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้อะลูมิเนียมเป็นตัวสะท้อน

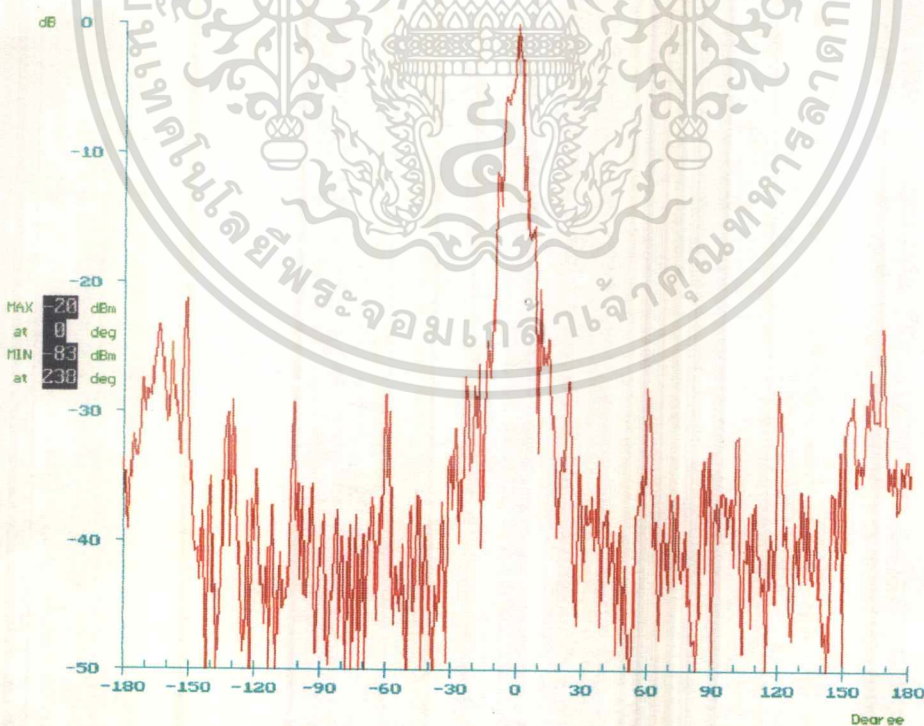


รูปที่ 4.19 แสดงสเปกตรัมสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้อะลูมิเนียมเป็นตัวสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

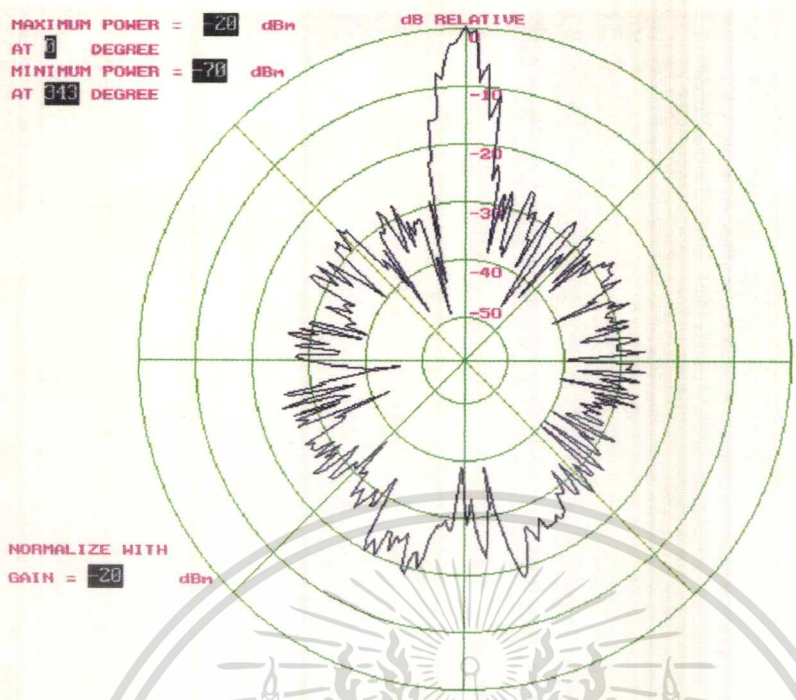


รูปที่ 4.20 กราฟเชิงขั้วแสดงแพทเทิร์นสนามไฟฟ้าของสายอากาศออฟเซตพาราโบลาที่ใช้อะลูมิเนียมเป็นตัวสะท้อน

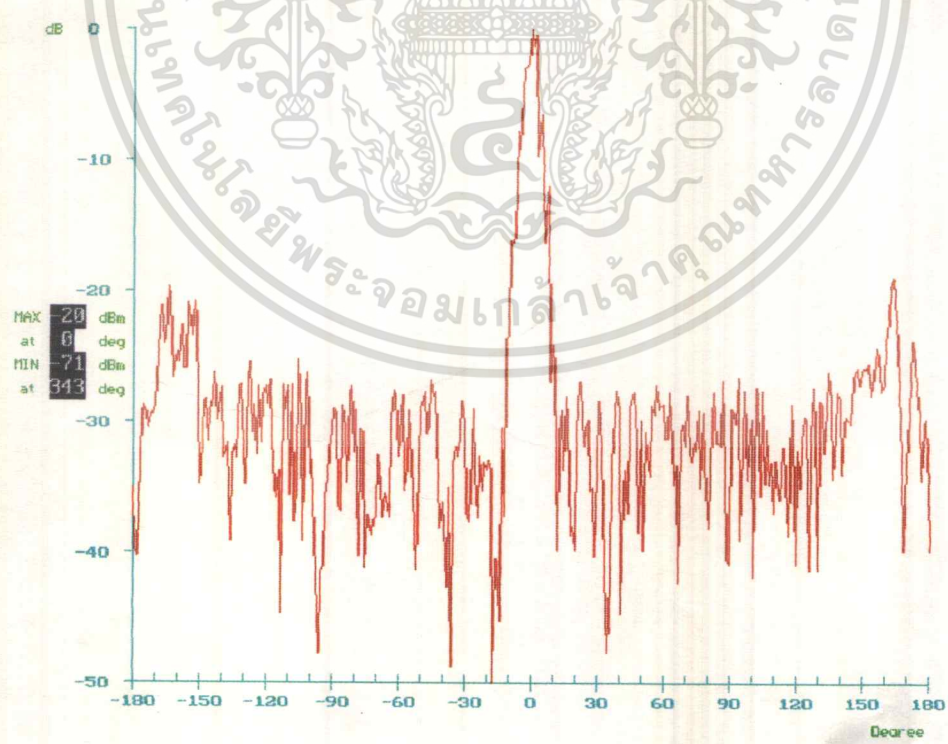


รูปที่ 4.21 กราฟเชิงเส้นแสดงแพทเทิร์นสนามไฟฟ้าของสายอากาศออฟเซตพาราโบลาที่ใช้อะลูมิเนียมเป็นตัวสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

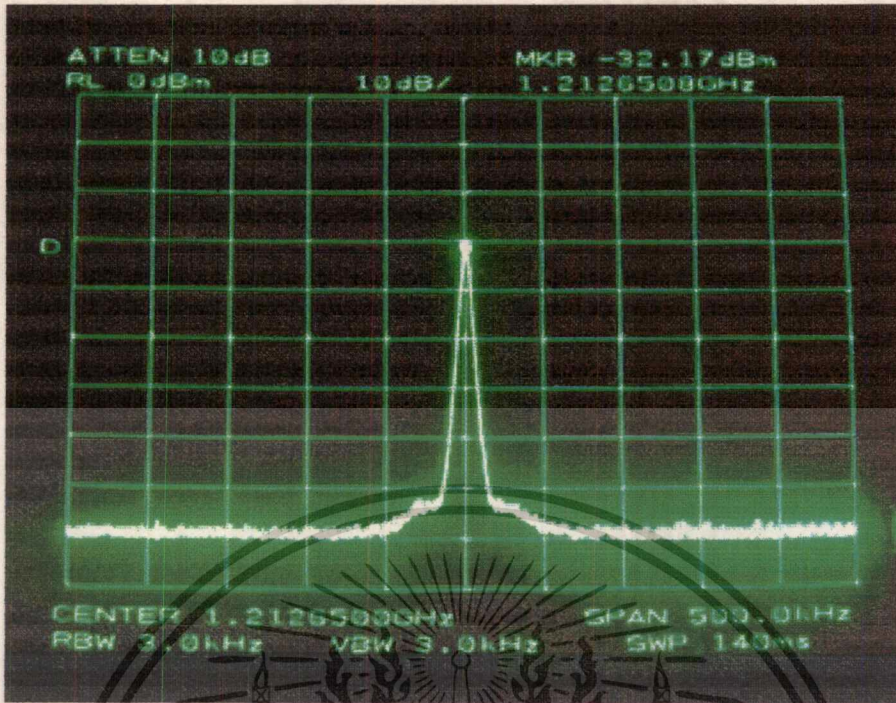


รูปที่ 4.22 กราฟเชิงขั้วแสดงแพทเทิร์นสนามแม่เหล็กของสายอากาศออฟเซตพาราโบลาที่ใช้อะลูมิเนียมเป็นตัวสะท้อน

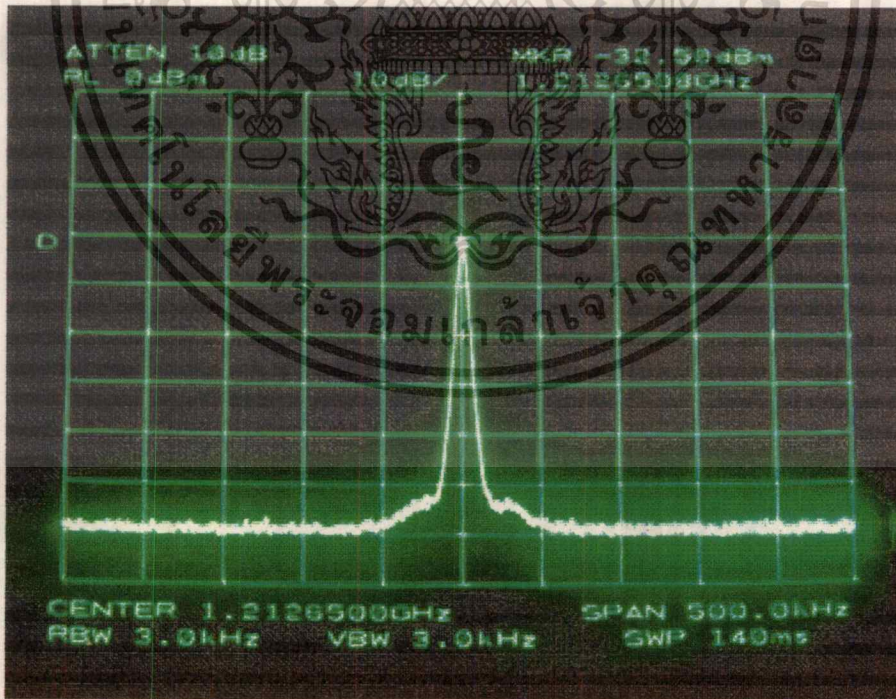


รูปที่ 4.23 กราฟเชิงเส้นแสดงแพทเทิร์นสนามแม่เหล็กของสายอากาศออฟเซตพาราโบลาที่ใช้อะลูมิเนียมเป็นตัวสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

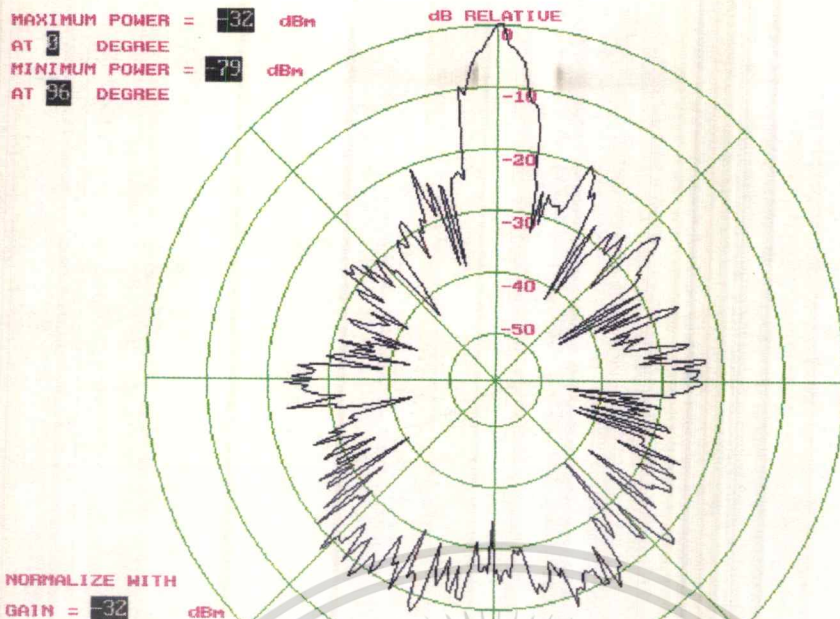


รูปที่ 4.24 แสดงสเปกตรัมสนามไฟฟ้าของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิคที่ใช้มั่งลวดเป็นตัวสะท้อน

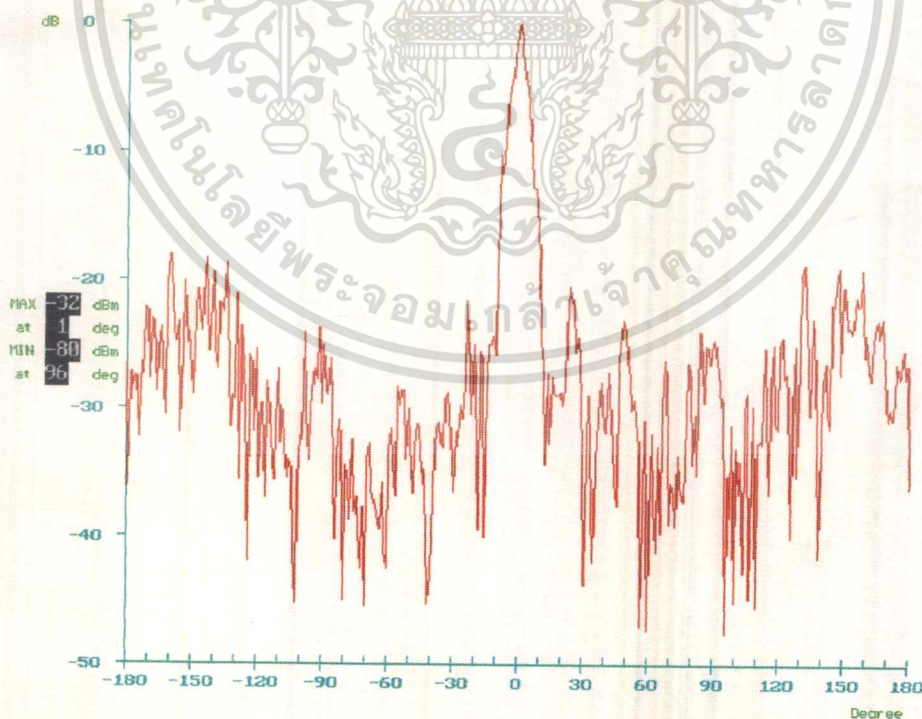


รูปที่ 4.25 แสดงสเปกตรัมสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิคที่ใช้มั่งลวดเป็นตัวสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

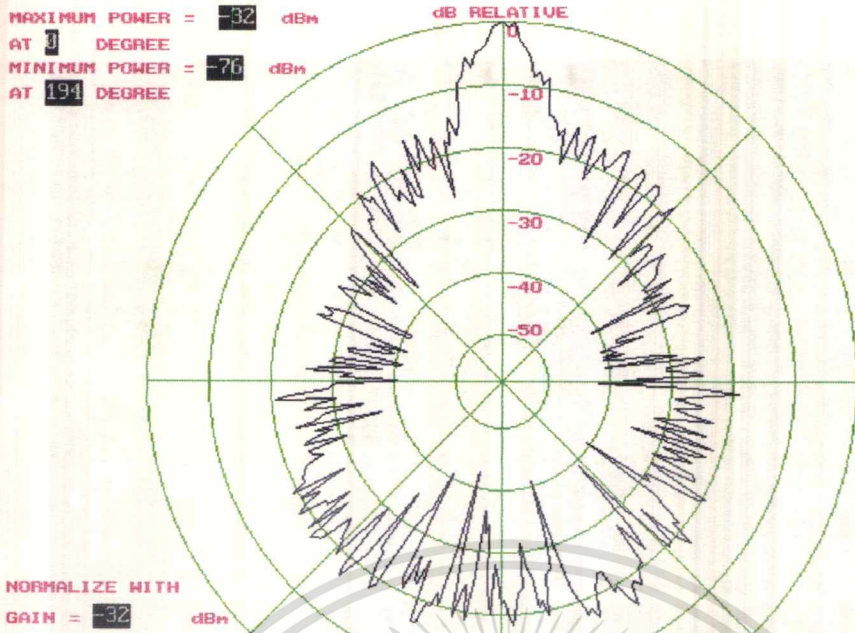


รูปที่ 4.26 กราฟเชิงขั้วแสดงแพทเทิร์นสนามไฟฟ้าของสายอากาศออปเซคทาราโบลิกที่ใช้มั่งลวดเป็นตัวสะท้อน

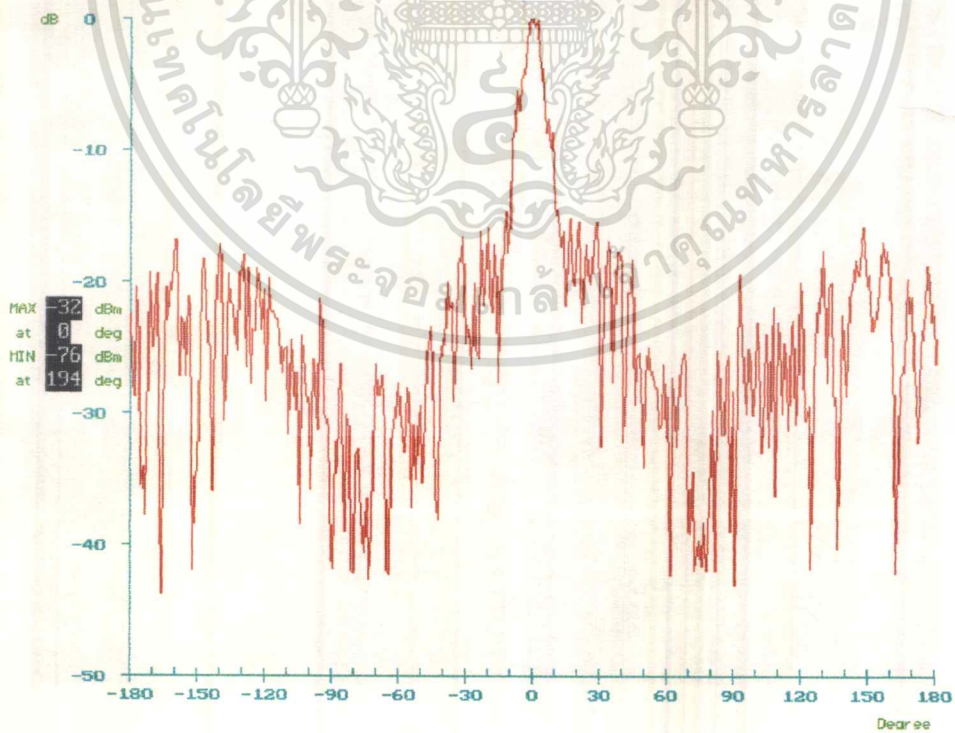


รูปที่ 4.27 กราฟเชิงเส้นแสดงแพทเทิร์นสนามไฟฟ้าของสายอากาศออปเซคทาราโบลิกที่ใช้มั่งลวดเป็นตัวสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

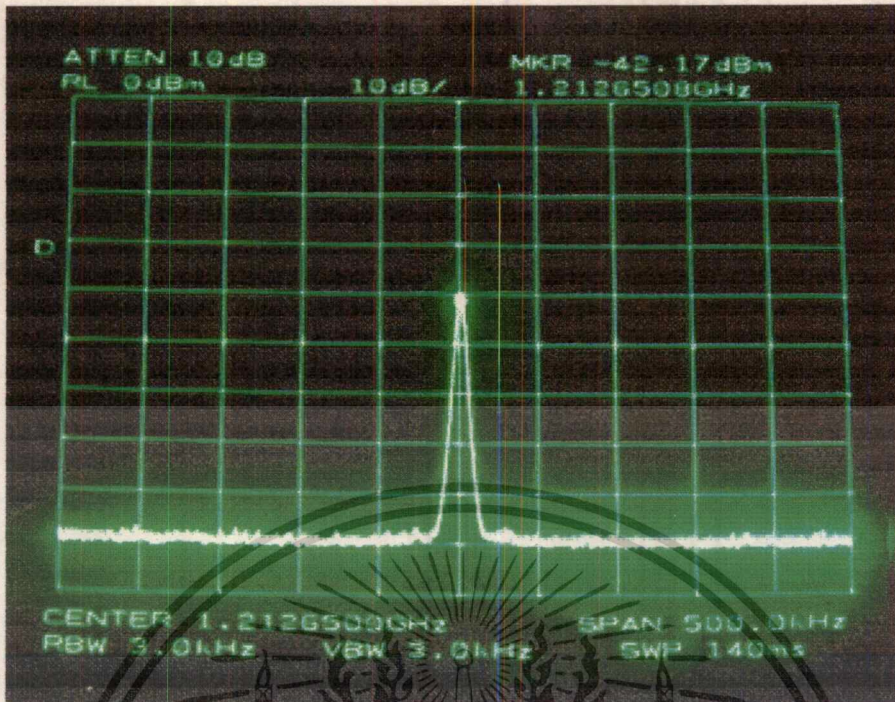


รูปที่ 4.28 กราฟเชิงขั้วแสดงแพทเทิร์นสนามแม่เหล็กของสายอากาศออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้มุ่งลวดเป็นตัวสะท้อน

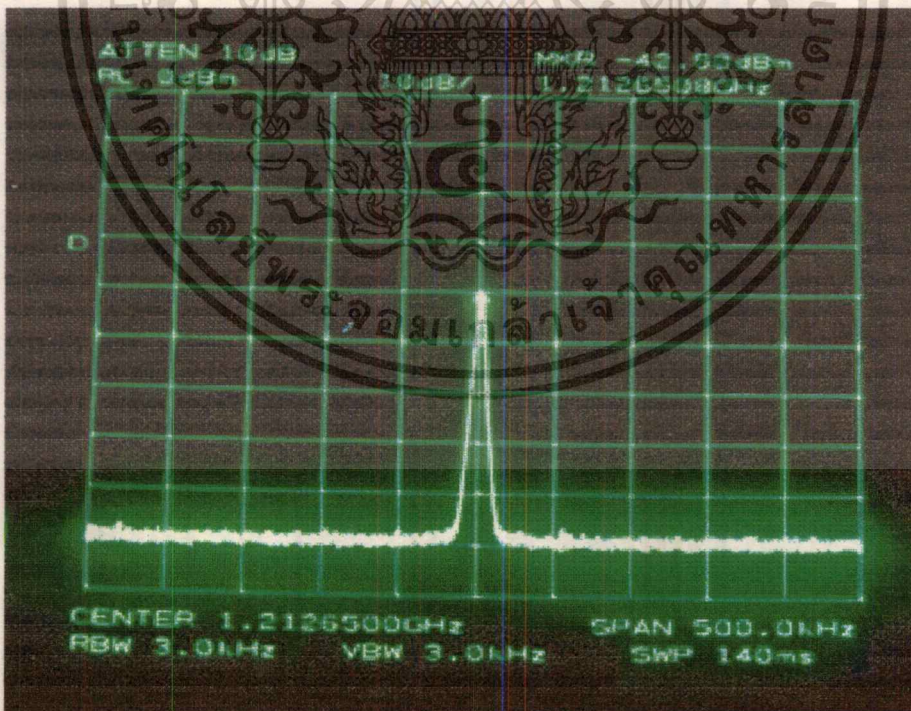


รูปที่ 4.29 กราฟเชิงเส้นแสดงแพทเทิร์นสนามแม่เหล็กของสายอากาศออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้มุ่งลวดเป็นตัวสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

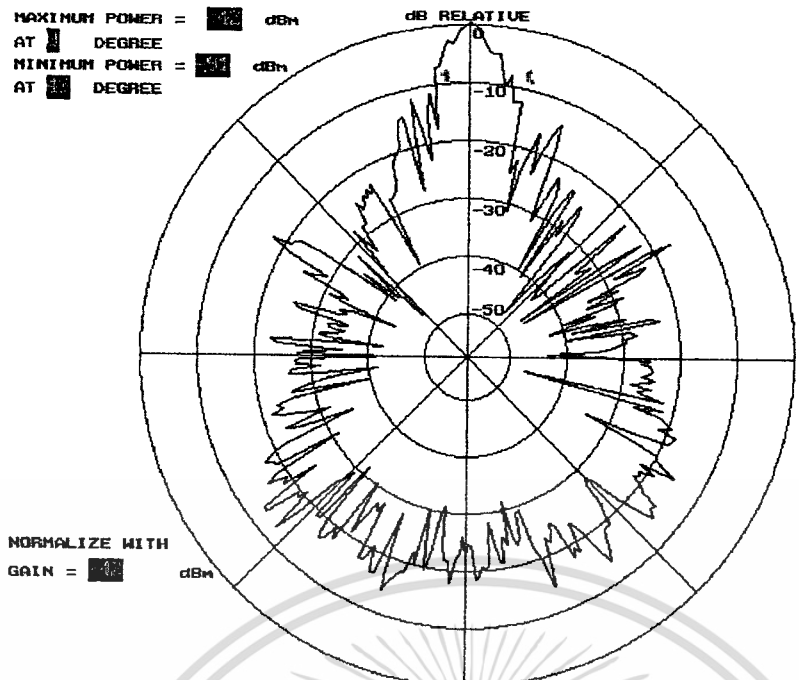


รูปที่ 4.30 แสดงสเปกตรัมสนามไฟฟ้าของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิคที่ใช้สโโลหะเป็นตัวสะท้อน

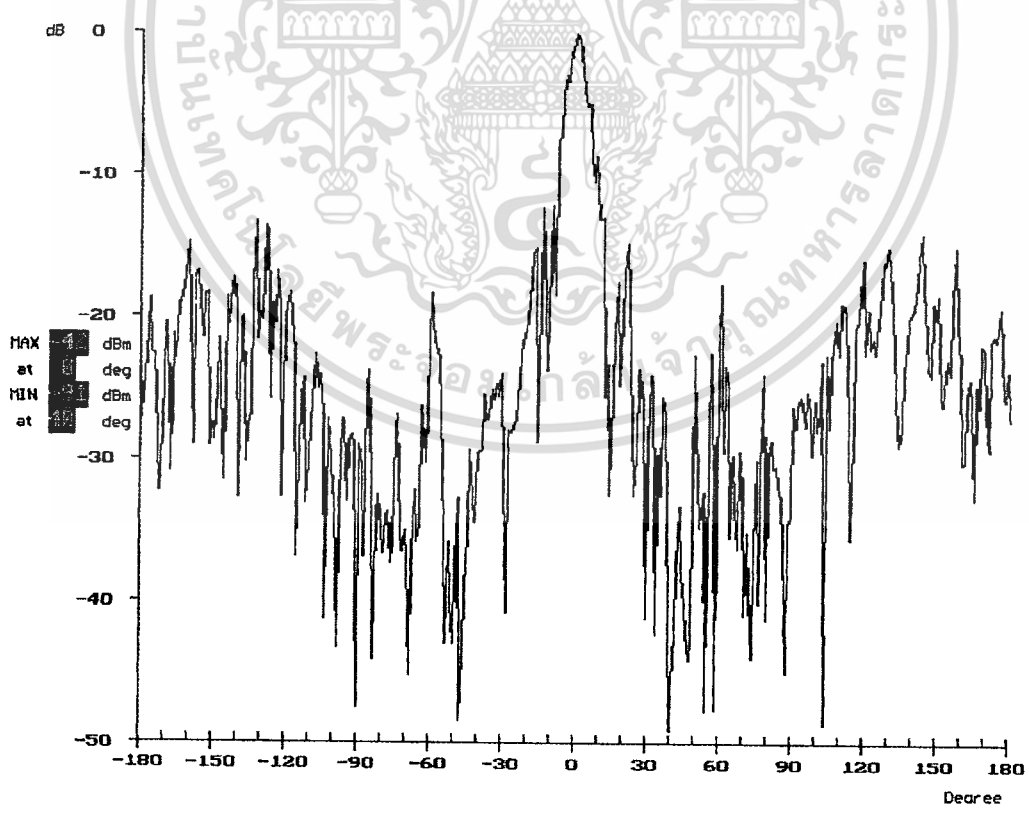


รูปที่ 4.31 แสดงสเปกตรัมสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิคที่ใช้สโโลหะเป็นตัวสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

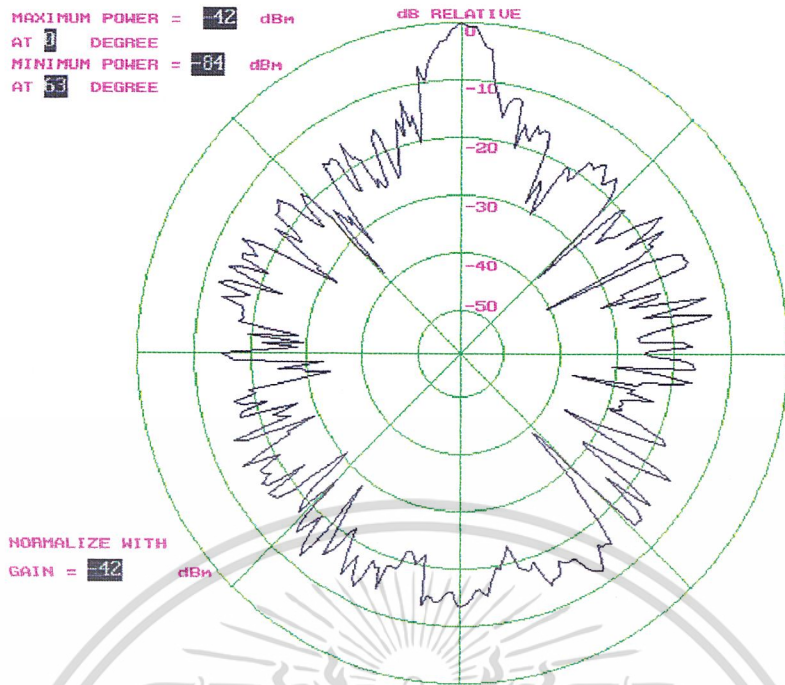


รูปที่ 4.32 กราฟเชิงขั้วแสดงแพทเทิร์นสนามไฟฟ้าของสายอากาศออฟเซตพาราโบลาที่ใช้สี่โลหะ เป็นตัวสะท้อน

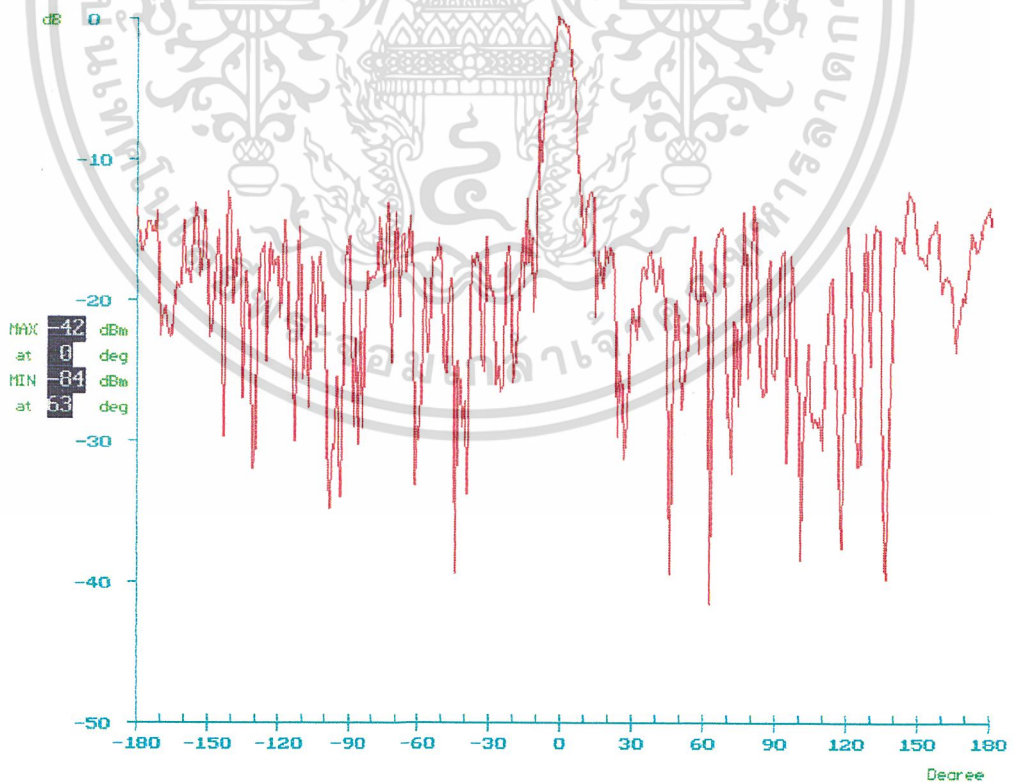


รูปที่ 4.33 กราฟเชิงเส้นแสดงแพทเทิร์นสนามไฟฟ้าของสายอากาศออฟเซตพาราโบลาที่ใช้สี่โลหะ เป็นตัวสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 กราฟเชิงขั้วแสดงแพทเทิร์นสนามแม่เหล็กของสายอากาศออฟเซตพาราโบลาที่ใช้โลหะเป็นตัวสะท้อน



รูปที่ 4.35 กราฟเชิงเส้นแสดงแพทเทิร์นสนามแม่เหล็กของสายอากาศออฟเซตพาราโบลาที่ใช้โลหะ

เป็นตัวสะท้อน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแพพเทอร์นการแพร่กระจาย สามารถหาคุณสมบัติต่าง ๆ ของสายอากาศได้ดังนี้

1. มุมฮาร์ฟเพาเวอร์บีมวิคท์ของสนามไฟฟ้า (θ_H) และสนามแม่เหล็ก (θ_V) ซึ่งดูจากความกว้างของมุมที่มีระดับสัญญาณลดลง 3 dB ที่โลบหลัก

2. ไคเรคทิวิตี หาได้ 2 แบบ คือ

2.1 หาโดยใช้สมการของ Kraus

$$D_o \approx 10 \log \left(\frac{41253}{\theta_H \theta_V} \right) \quad (\text{dB}) \quad (4.2)$$

2.2 หาโดยใช้สมการของ Tai และ Pereira

$$D_o \approx 10 \log \left(\frac{72815}{\theta_H^2 + \theta_V^2} \right) \quad (\text{dB}) \quad (4.3)$$

3. เกนโดยใช้สูตร

$$G_o \approx 10 \log \left(\frac{30000}{\theta_H \theta_V} \right) \quad (\text{dB}) \quad (4.4)$$

4. ค่าสัมประสิทธิ์ของประสิทธิภาพ (η) ได้จาก

$$G_o = 10 \log \left[\eta \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \right] \quad (\text{dB}) \quad (4.5)$$

5. ค่าประสิทธิภาพการแพร่กระจายของสายอากาศ (antenna radiation efficiency : e_{rad}) ได้จาก

$$G_o = e_{\text{rad}} D_o \quad (4.6)$$

ตารางที่ 4.2 แสดงคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ได้จากการวัดแพพเทอร์นของสายอากาศแบบออฟเซคพาราโบลิกที่มีเพปอะลูมิเนียม, มั่งลวด และสีโลหะเป็นตัวสะท้อน

		เพปอะลูมิเนียม	มั่งลวด	สีโลหะ
เพาเวอร์สูงสุด ที่รับได้ (dB)	สนามไฟฟ้า	-20.00	-32.17	-42.17
	สนามแม่เหล็ก	-20.17	-32.50	-42.50
ฮาร์ฟเพาเวอร์ บีมวิคท์ (องศา)	สนามไฟฟ้า	3	4	6
	สนามแม่เหล็ก	5	6	7
ไคเรคทิวิตี (dB)	ใช้วิธีของ Kraus	34.39	32.35	29.92
	ใช้วิธีของ Pereira	33.31	31.46	29.33
เกน (dB)		33.01	30.97	28.54
ค่าสัมประสิทธิ์ของประสิทธิภาพ (η)		0.36	0.23	0.13
ค่าประสิทธิภาพ การแพร่กระจาย (e_{rad})	ใช้วิธีของ Kraus	0.73	0.73	0.73
	ใช้วิธีของ Pereira	0.78	0.89	0.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนสิทธิ์ในชื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ใด ๆ ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทวิจารณ์และบทสรุป

5.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองทั้งหมดที่วัดได้ในบทที่ 4 สามารถเขียนสรุปได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดลองที่วัดได้ในบทที่ 4

		เทปอะลูมิเนียม	มุ้งลวด	สีโลหะ
ความถี่ที่รีโซแนนซ์ (GHz)		11.852	11.856	11.856
S_{22} (dB)		-58.98	-42.691	-38.07
SWR		1.0022	1.0140	1.0283
อินพุทอิมพีแดนซ์ (โอห์ม)		50.104-j0.043	50.646+j0.3594	51.182-j0.4551
เพาเวอร์สูงสุด ที่รับได้ (dBm)	สนามไฟฟ้า	-20.00	-32.17	-42.17
	สนามแม่เหล็ก	-20.17	-32.50	-42.50
ฮาร์ฟเพาเวอร์ บีมวิดท์ (องศา)	สนามไฟฟ้า	3	4	6
	สนามแม่เหล็ก	5	6	7
โคเรคทีวิตี (dB _r)	ใช้วิธีของ Kraus	34.39	32.35	29.92
	ใช้วิธีของ Pereira	33.31	31.46	29.33
เกน (dB _r)		33.01	30.97	28.54
ค่าสัมประสิทธิ์ของประสิทธิภาพ (η)		0.36	0.23	0.13
ค่าประสิทธิภาพ การแพร่กระจาย (e_{ca})	ใช้วิธีของ Kraus	0.73	0.73	0.73
	ใช้วิธีของ Pereira	0.78	0.89	0.83

ซึ่งจากตารางที่ 5.1 สามารถสรุปได้ว่า

1. สายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้เทปอะลูมิเนียมเป็นตัวสะท้อนจะมีค่า S_{22} , SWR และอินพุทอิมพีแดนซ์ดีที่สุด รองลงมาเป็นสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้มุ้งลวดเป็นตัวสะท้อน และสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้สีโลหะเป็นตัวสะท้อนตามลำดับ
2. เทปอะลูมิเนียมเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติสะท้อนคลื่นได้ดีที่สุด รองลงมาเป็นมุ้งลวดและสีโลหะตามลำดับ เนื่องจากสายอากาศที่ใช้เทปอะลูมิเนียมเป็นตัวสะท้อนสามารถรับเพาเวอร์สูงสุดได้มากที่สุด
3. สายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้เทปอะลูมิเนียมเป็นตัวสะท้อนจะมีฮาร์ฟเพาเวอร์บีมวิดท์แคบที่สุด รองลงมาเป็นสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกที่ใช้มุ้งลวดเป็นตัวสะท้อน และสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศแบบออฟเซตพาราโบลิคที่ใช้ซิลิโหละเป็นตัวสะท้อน จึงทำให้สายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิคที่ใช้เทปอะลูมิเนียมเป็นตัวสะท้อนมีค่าโคเรคทีวิตีและ เกน มากที่สุด รองลงมาเป็นสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิคที่ใช้มั่งลวด และซิลิโหละเป็นตัวสะท้อนตามลำดับ

4. สายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิคที่สร้างขึ้นทั้ง 3 งาน มีค่าสัมประสิทธิ์ของประสิทธิภาพต่ำกว่าในทางทฤษฎี (ในทางทฤษฎี ค่าสัมประสิทธิ์ของประสิทธิภาพของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิคมีค่าเท่ากับ 0.8) อาจเป็นผลมาจากผิวโค้งของตัวสะท้อนอาจไม่เป็นไปตามที่ออกแบบอย่างสมบูรณ์จึงทำให้รวมคลื่นเข้าสู่จุดโฟกัสได้น้อย และพื้นผิวตัวสะท้อนของสายอากาศไม่เรียบ ซึ่งจะมีผลกระทบอย่างมากสำหรับคลื่นที่มีความถี่สูง คลื่นจะแตกกระจายไปไม่รวมเข้าสู่จุดศูนย์กลาง
5. ค่าประสิทธิภาพการแพร่กระจายของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิคทั้ง 3 งาน อยู่ในเกณฑ์ที่ดี คือมีค่ามากกว่า 70 %

และกราฟแพทเทิร์นการแพร่กระจายที่วัดได้ในบางมุมจะมีโลบข้างที่สูง ซึ่งมีสาเหตุมาจากบริเวณที่วัดไม่ได้เป็นสถานที่โล่ง มีกำแพงและมีคอมเพรสเซอร์ (compressor) ของเครื่องปรับอากาศซึ่งมีส่วนประกอบของโลหะอยู่แถวนั้น ทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นขึ้น จึงทำให้บางมุมสายอากาศพาราโบลิคสามารถรับคลื่นสะท้อนได้มาก ทำให้มีขนาดโลบข้างที่สูง และโลบข้างยังมีสาเหตุมาจากคลื่นผิว (surface wave) และความไม่เรียบของพื้นผิวตัวสะท้อนอีกด้วย

5.2 สรุปผลการทดลอง

ปฏิญานพนธ์เล่มนี้ ได้เสนอการออกแบบ และการสร้างของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิค โดยเน้นใช้วัสดุการสะท้อนที่มีราคาถูกและหาง่ายภายในประเทศ ได้ทดลองสร้างขึ้น บนฐานรองเทปอะลูมิเนียม มั่งลวด และซิลิโหละ ซึ่งได้ออกแบบสายอากาศทำงานที่ความถี่ KU-band ด้วยคุณสมบัติของวัสดุทำให้ผลการสะท้อนคลื่นนั้นไม่เหมือนกัน จากผลการทดสอบของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิคที่เป็นวัสดุฐานรองเทปอะลูมิเนียม ให้กำลังงานการสะท้อนที่ -20 dBm ส่วนวัสดุฐานรองที่เป็นมั่งลวดให้กำลังงานการสะท้อนคลื่นที่ -32.17 dBm และวัสดุฐานรองที่เป็นซิลิโหละให้กำลังงานการสะท้อนคลื่น -42.17 dBm จากกราฟที่ได้ สาระจะเห็นว่า คุณสมบัติของการสะท้อนคลื่นของเทปอะลูมิเนียมจะให้กำลังงานดีกว่าวัสดุฐานรองชนิดอื่น และผลการทดสอบสังเกตว่า แบบรูปของสายอากาศใกล้เคียงกับทฤษฎี ดังนั้น จึงเชื่อว่าสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิคจะถูกนำไปใช้กับงานได้อย่างถูกต้องเหมาะสมตามที่ต้องการ และสามารถนำวัสดุการสะท้อนคลื่นที่ดีมาใช้ได้อย่างถูกต้อง

กิตติกรรมประกาศ

1. ผศ. สมผล โกศลวัตร
2. อ. สถาพร พรหมวงศ์
3. อ. มนต์ชัย แซ่มชัย
4. อ. มณฑา เทียมเมือง
5. นาย มณฑรี พรรณรัตน์
6. นาย สมบูรณ์ สุวรรณ
7. นาย ประยุทธ์ รัตนวิทย์
8. นาย พีรพล บัวแก้ว
9. นาย เอนก มีมุขอ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. C. A. Balanis, "Antenna Theory Analysis And Design." Second Edition, John Wiley and Sons, New York, pp.28-68, 1997
2. J. Breeds, "Satellite Antennas," PP. 15.1-15-.19
3. Fiber Glass, pp. 44-81
4. ดร. โมไนย ไกรฤกษ์ และ ดร. วิวัฒน์ กิรานนท์, "ทฤษฎีสายอากาศ," ตำราชุดวิศวกรรมศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กทม., หน้า 6-34, 2538
5. ผศ. ดร. จเร สุรวัฒน์ปัญญา, "วิศวกรรมแม่เหล็กไฟฟ้า," ตำราชุดวิศวกรรมศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กทม., หน้า 8-122, 2532
6. รศ. ณรงค์ เหมกรณ์, "การสื่อสารดาวเทียม," ตำราชุดวิศวกรรมศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กทม., หน้า 15-19, 2533
7. รังสรรค์ วงศ์สรรค์, "โลกของการรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม." สำนักพิมพ์ นิตยสาร "ซีลิว", กทม., หน้า4-7, 2536

