

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สายอากาศอัลตรา – ไวด์แบนด์ ชนิดโมโนโพล

ULTRA-WIDEBAND PLANAR MONOPOLE ANTENNA



T104333



เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 104383

วัน,เดือน,ปี 5-2 พ.ย. 2552

ปฏิญานี้พจนนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศอัลตรา-ไวด์แบนด์ ชนิดโมโนโพล  
ULTRA-WIDEBAND PLANAR MONOPOLE ANTENNA



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2551

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง สายอากาศอัลตรา-ไวด์แบนด์ ชนิดโมโนโพล

ULTRA-WIDEBAND PLANAR MONOPOLE ANTENNA

ผู้จัดทำ

1. นายพิษณุ สมบัติคลัง รหัส 49015020

2. สิบเอกศราวุฒิ อยู่जू รหัส 49015029

3. นายเสกสรร พันธวัต รหัส 49015035

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

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผศ.ดร. ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศอัลตรา-ไวด์แบนด์ ชนิดโมโนโพล  
ULTRA-WIDEBAND PLANAR MONOPOLE ANTENNA

โดย นาย พิษณุ สมบัติคลัง 49015020  
สปีเอก ศราวุฒิ อยู่จู 49015029  
นาย เสกสรร พันธวิฑ 49015035

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. สมผล โกศลวิตร

ผศ.ดร. ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์

บทคัดย่อ

ในโครงการนี้ เป็นการออกแบบ และ สร้างสายอากาศชนิด โมโนโพล ที่สามารถทำงานได้ในย่านความถี่อัลตราไวด์แบนด์ ตั้งแต่ความถี่ 3.1 ถึง 10.6 กิกะเฮิรต์ และทำการวัดหาค่า อิมพีแดนซ์ เกน และรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น ของสายอากาศ

ABSTRACT

This project presents design and fabricated UWB antenna (3.1 – 10.6 GHz) the measured antenna characteristics including impedance gain and the radiation pattern are measured and compare with cst. program

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

หน้า

### บทที่ 1 บทนำ

1.1 แนวคิดและที่มาของโครงการงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการงาน	2
1.3 ขอบเขต	2
1.4 องค์ประกอบหลักของโครงการงาน	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินโครงการงาน	2

### บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีสายอากาศ

2.1 พารามิเตอร์พื้นฐานของสายอากาศ	4
2.1.1 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น	4
2.1.1.1 รูปแบบการแพร่กระจายแบบไอโซโทรปิก ไครเรชันแนลและอสมนิไครเรชันแนล	5
2.1.1.2 รูปแบบการแพร่กระจายหลัก	6
2.1.1.3 โลบของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น	6
2.1.1.4 บริเวณต่างๆของสนามสายอากาศ	8
2.1.2 ความหนาแน่นของการกระจายคลื่น	9
2.1.3 ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น	10
2.1.4 ไครเรตวิตี	11
2.1.5 อัตราขยาย	12
2.2 คลื่นนิ่ง (Standing Wave)	13
2.2.1 อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Voltage Standing Wave Ratio: VSWR)	13
2.2.2 S-พารามิเตอร์ (S-PARAMETER)	13
2.3 ทฤษฎีเชิงเงา (Image Theory)	14
2.4 สายอากาศโมโนโพล	15
2.4.1 สายอากาศมาตรฐานโมโนโพล	17
2.5 สายอากาศไมโครสตริป	18
2.5.1 ข้อดีและข้อเสียของสายอากาศแผ่นไมโครสตริป	19
2.5.2 รูปร่างลักษณะต่างๆของสายอากาศไมโครสตริป	19
2.5.2.1 สายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบ Patch (MPA)	19
2.5.2.2 สายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบ Slot	20
2.5.2.3 สายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบ Travelling-wave (MTA)	20
2.5.3 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริป	21
2.5.4 สนามที่แพร่กระจายของสายอากาศ	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.5 การโพลาไรซ์	21
2.5.5.1 การโพลาไรซ์เชิงเส้น (Linear Polarization: LP)	23
2.5.5.2 การโพลาไรซ์วงกลม (Circular Polarization: CP)	23
2.5.5.3 การโพลาไรซ์เชิงวงรี (Elliptical Polarization: EP)	24
2.5.6 อัตราส่วนแกน (Axil Ratio)	24
2.5.6.1 (Linear Polarization: LP)	24
2.5.6.2 (Circular Polarization: CP)	24
2.5.6.3 (Elliptical Polarization: EP)	25
2.5.7 สายนำสัญญาณระนาบร่วม	25
2.5.7.1 อิมพีแดนซ์คุณลักษณะเฉพาะ (Characteristic Impedance, $Z_0$ )	25
2.5.7.2 สายอากาศแถบความถี่กว้าง	26
2.5.7.3 สายอากาศแพทช์บน โครงสร้างระนาบ	26
2.5.7.4 สายอากาศแพทช์ไมโครสตริป	27
2.5.7.5 เทคนิคการป้อนสัญญาณสายอากาศไมโครสตริป (Excitation Techniques)	28
2.6 แบนด์วิดท์ (Bandwidth)	29
2.7 เทคโนโลยีอัตราไวด์แบนด์	29
2.7.1 เป็นระบบที่ไม่ต้องใช้คลื่นพาห้เรดิโอเฟรควเอนซี (Radio Frequency, RF)	29
2.7.2 ส่งข้อมูลได้ในปริมาณมาก	30
2.7.3 การที่ใช้กำลังในการส่งที่ใช้น้อยมาก	30
2.7.4 เป็นระบบที่มีความซับซ้อนน้อยและมีต้นทุนต่ำ	30
2.7.5 มีระดับของสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน	30
2.7.6 มีความต้านทานต่อคลื่นหลายวิถี (mulipath)	30
2.7.7 มีความละเอียดสูงในโดเมนเวลา	31
2.7.8 การนำไปใช้งานของระบบสื่อสาร	31

### บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างสายอากาศ UWB

3.1 การออกแบบสายอากาศ	32
3.1.1 กำหนดเป้าหมายของสายอากาศให้เหมาะสมกับสายอากาศ	33
3.1.2 โครงสร้างสายอากาศพื้นฐานระนาบร่วม	33
3.1.3 การกำหนดค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไมโครสตริประนาบร่วม ( $Z_{in}$ )	33
3.1.4 อิมพีแดนซ์คุณลักษณะเฉพาะ (Characteristic Impedance, $Z_0$ )	33
3.1.5 ขนาดของแผ่นแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ	35
3.1.6 ขนาดของแผ่นสะท้อนคลื่น	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2 กระบวนการสร้างสายอากาศ	45
3.2.1 จัดเตรียมอุปกรณ์	45
3.2.2 การสร้างสายอากาศ	45
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง</b>	
4.1 การทดลองวัดค่า S11 (ค่าสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ)	47
4.2 การวัดค่า SWR ( Standing wave ratio )	49
4.3 การวัดค่า Input Impedance	51
4.4 การวัดรูปแบบการแพร่กระจายของคลื่น	54
4.4 อัตรายายของสายอากาศ	67
<b>บทที่ 5 สรุปผล และวิจารณ์การทดลอง</b>	
5.1 สรุปผลการทดลอง	69
5.2 ปัญหาที่พบ	69
5.3 แนวทางแก้ไข	69
5.4 ข้อเสนอแนะ	69
<b>บรรณานุกรม</b>	71



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1เปรียบเทียบแบนด์วิดท์ของอัลตราไวด์แบนด์กับคลื่นชนิดอื่นๆ	1
รูปที่ 1.2 ขั้นตอนการทำปฏิกิริยานิวทริ	2
รูปที่ 2.1 ระบบ โคออดิเนทสำหรับการวิเคราะห์สายอากาศ	4
รูปที่ 2.2 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศสี่ทิศทาง (ออมนีไดเรกชันแนล)	5
รูปที่ 2.3 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ E และ H ของสายอากาศปากแตร	6
รูปที่ 2.4 (a) โลบต่างๆและมีมิตที่ของรูปแบบการแพร่กระจายสายอากาศ	7
รูปที่ 2.4 (b) รูปแบบการแพร่กระจายในแบบลิเนียร์	8
รูปที่ 2.5 การแบ่งบริเวณของสนามจากสายอากาศ	8
รูปที่ 2.6 (a) ไดโพลที่วางอยู่เหนือแผ่นตัวนำที่สมบูรณ์	14
(b) แบบสมมูลโดยใช้ทฤษฎีเชิงเงา	14
รูปที่ 2.7 สายอากาศโมโนโพล $\lambda/4$ ที่วางอยู่เหนือแผ่นตัวนำสมบูรณ์	
(a) ลักษณะทางกายภาพ	15
(b) แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน	15
รูปที่ 2.8 การรวมกันของคลื่นที่แผ่กระจายจากสายอากาศโมโนโพลและที่มาจากเงาของมัน	16
รูปที่ 2.9 สายอากาศโมโนโพลที่ป้อนด้วยสายโคแอกเซียลและระนาบกราวด์	17
รูปที่ 2.10 รูปแบบโครงสร้างโดยทั่วไปของสายอากาศไมโครสตริป	18
รูปที่ 2.11 ลักษณะของสายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบ Patch (MPA)	19
รูปที่ 2.12 ลักษณะของสายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบ Slot	20
รูปที่ 2.13 ลักษณะของสายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบ Travelling-wave (MTA)	20
รูปที่ 2.14 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ	21
รูปที่ 2.15 ลักษณะการกวาดของลูกศรที่แสดงความเข้มสนามไฟฟ้าขณะหนึ่ง	22
รูปที่ 2.16 การโพลาริไซส์แบบต่างๆ	22
รูปที่ 2.17 การโพลาริไซส์แนวตั้ง	23
รูปที่ 2.18 การโพลาริไซส์แนวอน	23
รูปที่ 2.19 การโพลาริไซส์แนวเฉียง	23
รูปที่ 2.20 การโพลาริไซส์เชิงวงกลมแบบหมุนขวา	23
รูปที่ 2.21 การโพลาริไซส์เชิงวงกลมแบบหมุนซ้าย	24
รูปที่ 2.22 การโพลาริไซส์ในรูปแบบต่างๆ	25
รูปที่ 2.23 สายนำสัญญาณระนาบร่วม	25
รูปที่ 2.24 สายอากาศแพทช์บนโครงสร้างระนาบ	27
รูปที่ 2.25 สายอากาศแพทช์ไมโครสตริป	27
รูปที่ 2.26 การป้อนสัญญาณแบบสายส่งไมโครสตริป	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงทำสายอากาศ อัดตราไวด์แบนด์	32
รูปที่ 3.2 โครงสร้างพื้นฐานสายอากาศไมโครสตริป ป้อนด้วยเส้นไมโครสตริประนาบกรวดร่วม	33
รูปที่ 3.3 ไมโครสตริประนาบร่วม	33
รูปที่ 3.4 โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริปป้อนด้วยเส้นไมโครสตริประนาบกรวดร่วม	36
รูปที่ 3.5 โครงสร้างเริ่มต้นของสายอากาศในโปรแกรม CST	36
รูปที่ 3.6 ผลการ Simulated ของ โปรแกรม CST เพื่อดูค่า $S_{11}$ ของค่าเริ่มต้น	37
รูปที่ 3.7 โครงสร้างที่ถูกปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ $L=L_0-1$ ของสายอากาศในโปรแกรม CST	37
รูปที่ 3.8 ผลของ $S_{11}$ ของการ Simulated ของ โปรแกรม CST	37
รูปที่ 3.9 โครงสร้างที่ถูกปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ $L=L_0-2$ ของสายอากาศในโปรแกรม CST	37
รูปที่ 3.10 ผลของ $S_{11}$ ของการ Simulated ของ โปรแกรม CST เมื่อเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ $L=L_0-2$	38
รูปที่ 3.11 โครงสร้างที่ถูกปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ $L=L_0-3$ ของสายอากาศใน โปรแกรม CST	38
รูปที่ 3.12 ผลของ $S_{11}$ ของการ Simulated ของ โปรแกรม CST เมื่อเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ $L=L_0-3$	38
รูปที่ 3.13 โครงสร้างที่ถูกปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ $L=L_0-4$ ของสายอากาศในโปรแกรม CST	39
รูปที่ 3.14 ผลของ $S_{11}$ ของการ Simulated ของ โปรแกรม CST เมื่อเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ $L=L_0-4$	39
รูปที่ 3.15 โครงสร้างที่ถูกปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ $L=L_0-5$ ของสายอากาศในโปรแกรม CST	39
รูปที่ 3.16 ผลของ $S_{11}$ ของการ Simulated ของ โปรแกรม CST เมื่อเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ $L=L_0-5$	40
รูปที่ 3.17 ผลการ simulated ของ โปรแกรม CST เพื่อดูค่า Input Impedance ของแต่ละความถี่	40
รูปที่ 3.18 กราฟจากคาร์พอร์ท ความถี่ (GHz) - อินพุทอิมพีแดนซ์ ( $\Omega$ ) จากการ Simulated	41
รูปที่ 3.19 ค่า SWR จากการ Simulated	41
รูปที่ 3.20 พิกัดของสายอากาศ	41
รูปที่ 3.21 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 3.1 GHz จากการ Simulated แบบ 3D	42
รูปที่ 3.22 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 3.1 GHz ระนาบ X-Z จากการ Simulated แบบ Polar	42
รูปที่ 3.23 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 3.1 GHz ระนาบ Y-Z จากการ Simulated แบบ Polar	42
รูปที่ 3.24 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 6.85 GHz จากการ Simulated แบบ 3D	43
รูปที่ 3.25 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 6.85 GHz ระนาบ X-Z จากการ Simulated แบบ Polar	43
รูปที่ 3.26 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 6.85 GHz ระนาบ Y-Z จากการ Simulated แบบ Polar	43
รูปที่ 3.27 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 10.6GHz จากการ Simulated แบบ 3D	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.28 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 10.6 GHz ระนาบ X-Z จากการ Simulated แบบ Polar	44
รูปที่ 3.29 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 10.6 GHz ระนาบ Y-Z จากการ Simulated แบบ Polar	44
รูปที่ 3.30 สายอากาศ UWB ชนิด โมโนโพลแบบไมโครสตริประนาบร่วมที่ทำการประกอบเสร็จแล้ว 2 ตัว	46
รูปที่ 4.1 ทำการทดลองวัดค่า S11 ในเครื่อง Network Analyzer	47
รูปที่ 4.2 ค่าของ S11 ที่ได้ค่าเครื่อง Network Analyzer ของสายอากาศตัวที่ 1	47
รูปที่ 4.3 ค่าของ S11 ที่ได้ค่าเครื่อง Network Analyzer ของสายอากาศตัวที่ 2	48
รูปที่ 4.4 ค่า S11 (การสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ) ที่เปรียบเทียบระหว่าง ผล Simulated กับ Measurement	49
รูปที่ 4.5 ค่าของ SWR ที่ได้ค่าเครื่อง Network Analyzer ของสายอากาศตัวที่ 1	49
รูปที่ 4.6 ค่าของ SWR ที่ได้ค่าเครื่อง Network Analyzer ของสายอากาศตัวที่ 2	50
รูปที่ 4.7 แสดงค่าเปรียบเทียบค่า SWR ระหว่างจากการ Simulated จากสายอากาศตัวที่ 1 และ จากสายอากาศตัวที่ 2	51
รูปที่ 4.8 ค่า Input Impedance ที่ได้จาก Smith chart ที่เครื่อง Network Analyzer ของสายอากาศตัวที่ 1	51
รูปที่ 4.9 ค่า Input Impedance ที่ได้จาก Smith chart ที่เครื่อง Network Analyzer ของสายอากาศตัวที่ 2	51
รูปที่ 4.10 ค่า $Z_{in}$ ( $\Omega$ ) ที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่าง Simulated กับ Measurement ที่ได้จากสายอากาศตัวที่ 1 และสายอากาศตัวที่ 2 แต่ช่วงความถี่ที่ 3.1-10.6 GHz	54
รูปที่ 4.11 ระนาบการวางของสายอากาศ ที่ทำการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น	54
รูปที่ 4.12 การทดลองวัดการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กระนาบ X-Z	54
รูปที่ 4.13 รูปแบบการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กจากการวัด ในระนาบ X-Z ที่ความถี่ 3.1 GHz	56
รูปที่ 4.14 รูปแบบการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กจากการ Simulated ในระนาบ X-Z ที่ความถี่ 3.1 GHz	56
รูปที่ 4.15 รูปแบบการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กจากการวัด ในระนาบ X-Z ที่ความถี่ 6.85 GHz	58
รูปที่ 4.16 รูปแบบการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กจากการ Simulated ในระนาบ Y-Z ที่ความถี่ 10.6 GHz	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.17 รูปแบบการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กจากผลการวัด ในระนาบ X-Z ที่ความถี่ 10.6 GHz	60
รูปที่ 4.18 รูปแบบการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กจากผลการ Simulated ในระนาบ X-Z ที่ความถี่ 10.6 GHz	60
รูปที่ 4.19 การทดลองวัดการแพร่กระจายสนามไฟฟ้าระนาบ Y-Z	61
รูปที่ 4.20 รูปแบบการแพร่กระจายสนามไฟฟ้าจากผลการวัด ในระนาบ Y-Z ที่ความถี่ 3.1 GHz	62
รูปที่ 4.21 รูปแบบการแพร่กระจายสนามไฟฟ้าจาก ผลการ Simulated ในระนาบ Y-Z ที่ความถี่ 3.1 GHz	62
รูปที่ 4.22 รูปแบบการแพร่กระจายสนามไฟฟ้าจากผลการวัด ในระนาบ Y-Z ที่ความถี่ 6.85 GHz	64
รูปที่ 4.23 รูปแบบการแพร่กระจายสนามไฟฟ้าจาก ผลการ Simulated ในระนาบ Y-Z ที่ความถี่ 6.85 GHz	64
รูปที่ 4.24 รูปแบบการแพร่กระจายสนามไฟฟ้าจากผลการวัด ในระนาบ Y-Z ที่ความถี่ 10.6 GHz	66
รูปที่ 4.25 รูปแบบการแพร่กระจายสนามไฟฟ้าจาก ผลการ Simulated ในระนาบ Y-Z ที่ความถี่ 10.6 GHz	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ผลการวัดค่า $S_{11}$ ในแต่ละช่วงความถี่ ของสายอากาศตัวที่ 1 และ ของสายอากาศตัวที่ 2	48
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองวัดค่า SWR ของสายอากาศตัวที่ 1 และ สายอากาศตัวที่ 2	50
ตารางที่ 4.3 (ก) ผลการวัดของค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ ในแต่ละช่วงความถี่ที่ได้ จากการทดลองวัด สายอากาศตัวที่ 1	52
ตารางที่ 4.3 (ข) ผลการวัดของค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ ในแต่ละช่วงความถี่ที่ได้ จากการทดลองวัด สายอากาศตัวที่ 2	53
ตารางที่ 4.4 ผลการวัดการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 3.1GHz ที่ระนาบ X-Z	55
ตารางที่ 4.6 ผลการวัดการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 6.85 GHz ระนาบ X-Z	57
ตารางที่ 4.7 ผลการวัดการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 10.6 GHz ระนาบ X-Z	59
ตารางที่ 4.8 ผลการวัดการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 3.1 GHz ระนาบ Y-Z	61
ตารางที่ 4.9 ผลการวัดการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 6.85 GHz ระนาบ Y-Z	63
ตารางที่ 4.10 ผลการวัดการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 10.6 GHz ระนาบ Y-Z	65
ตารางที่ 4.11 ค่า $P_r$ ที่จากการวัด และ ค่า $L_r$ ที่ได้จากการคำนวณจากสมการที่ (4.2)	67
ตารางที่ 4.12 ค่าอัตราขยายของสายอากาศ (Gain) ที่ความถี่ต่างๆ วัดหาค่า แล้วมาทำการคำนวณ	68

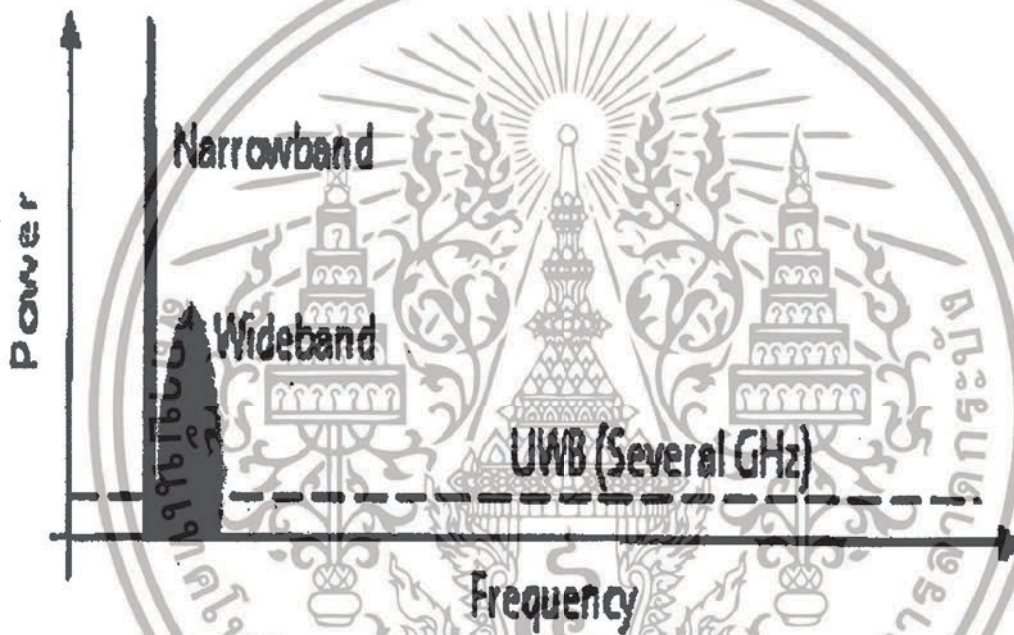
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 แนวคิดและที่มาของโครงการ

สายอากาศ อัลตราไวด์แบนด์ (UWB) เป็นสายอากาศที่สร้างขึ้นมาเพื่อรองรับกับการสื่อสารคลื่นอัลตราไวด์แบนด์ซึ่งเป็นคลื่นที่ใช้ความหนาแน่นกำลังในการส่งต่ำแต่มีแบนด์วิดท์ที่กว้างมากดังแสดงใน รูปที่ 1.1 ด้วยเหตุนี้ จึงทำให้คลื่นอัลตราไวด์แบนด์ความจุในการรับส่งข้อมูลได้มากซึ่งทำให้เกิดการส่งข้อมูลได้รวดเร็วขึ้น



รูปที่ 1.1.เปรียบเทียบแบนด์วิดท์ของอัลตราไวด์แบนด์กับคลื่นชนิดอื่นๆ

และระดับสัญญาณของคลื่นอัลตราไวด์แบนด์ยังมีระดับต่ำกว่าระดับสัญญาณรบกวน ดังนั้นสัญญาณของคลื่นอัลตราไวด์แบนด์จึงไม่รบกวนกับระบบการสื่อสารชนิดอื่น จึงสามารถใช้แถบความถี่ร่วมกับแถบความถี่ของระบบการสื่อสารชนิดอื่นได้ ด้วยคุณสมบัติของการสื่อสารโดยใช้คลื่นอัลตราไวด์แบนด์จึงต้องใช้สายอากาศที่มีช่วงความถี่ในการทำงานกว้างมาก เพื่อให้เหมาะสมกับคลื่นอัลตราไวด์แบนด์

เพื่อศึกษาคุณสมบัติของสายอากาศอัลตราไวด์แบนด์จึง ได้ออกแบบและสร้างสายอากาศที่สามารถทำงานได้ที่ความถี่ตั้งแต่ 3.1 ถึง 10.6 GHz รวมทั้งทำการวัดหาคุณสมบัติของสายอากาศ เช่น พารามิเตอร์ S, VSWR, อินพุท อิมพีแดนซ์, และรูปแบบการแพร่กระจายของสายอากาศ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 ศึกษาสายอากาศ ชนิดโมโนโพลที่ทำงานในความถี่แถบกว้าง

1.2.2 เพื่อออกแบบ และสร้างสายอากาศชนิดโมโนโพลที่ทำงานในช่วงความถี่ตั้งแต่ 3.1 ถึง 10.6 GHz

1.2.3 วัดหาคุณสมบัติพารามิเตอร์ S, VSWR, อินพุทอิมพีแดนซ์, รูปแบบการแผ่กระจายคลื่น, เกน

## 1.3 ขอบเขต

1.3.1 ออกแบบสายอากาศชนิด โมโนโพลให้ทำงานที่ความถี่ 3.1-10.6 GHz

1.3.2 ทำการสร้างและวัดคุณสมบัติของสายอากาศ

## 1.4 องค์ประกอบหลักของโครงการ

เป็นโครงการที่ได้ออกแบบและทำการสร้างสายอากาศเพื่อทำการวิเคราะห์หาถึง คุณสมบัติต่างๆของสายอากาศ โดยจะศึกษาจากทฤษฎีสายอากาศเพื่อหา โครงสร้างของสายอากาศที่เหมาะสมกับการสื่อสารคลื่นอัลตราไวด์แบนด์มากที่สุด

## 1.5 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

ในการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ ได้มีการศึกษาวางแผนและทำงานตามขั้นตอนการทำงานดัง รูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 ขั้นตอนการทำปริญญานิพนธ์

การศึกษาทฤษฎีจะอยู่ในบทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆที่ควรรู้และใช้ประกอบในการทำปริญญานิพนธ์ ซึ่งจะประกอบไปด้วยทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับวิศวกรรมสายอากาศความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและสร้างสายอากาศจะอยู่ในบทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบและขั้นตอนการทำงานทำสายอากาศโมโนโพล

การวัดค่าคุณสมบัติจะอยู่ในบทที่ 4 กล่าวถึงวิธีการวัดและผลการวัดคุณสมบัติของ สายอากาศ โมโนโพล

วิเคราะห์และสรุปจะอยู่ในบทที่ 5 วิเคราะห์ผลที่ได้จากการวัดและสรุปของผลการวัดคุณสมบัติของสายอากาศโมโนโพล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีสายอากาศ

### 2.1 พารามิเตอร์พื้นฐานของสายอากาศ

#### 2.1.1 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น

รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นสายอากาศ (Radiation Pattern) หรือรูปแบบสายอากาศ สายอากาศมีความหมายคือ ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์หรือ แสดงโดยเส้นที่สามารถแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติการแพร่กระจายของสายอากาศตามฟังก์ชันของสเปซโคออดิเนต (space Coordinates) ส่วนมากในกรณีของรูปแบบการแพร่กระจายของคลื่นนี้จะกำหนดการคิดในบริเวณที่เป็นสนามระยะไกล (Far-Field) และแสดงให้เห็นเช่นเดียวกับฟังก์ชันตามทิศทางของโคออดิเนต คุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นประกอบด้วย กำลังความหนาแน่น ฟลักซ์แม่เหล็ก (flux) ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Intensity) ความเข้มของสนาม (Field Strength) เฟส (Phase) หรือ โพลาไรเซชัน (Polarization) ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ใช้เพื่อแสดงการแจกแจงรูปของพลังงานเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งสามมิติที่สังเกตที่มีรัศมีคงที่



รูปที่ 2.1 ระบบโคออดิเนตสำหรับการวิเคราะห์สายอากาศ

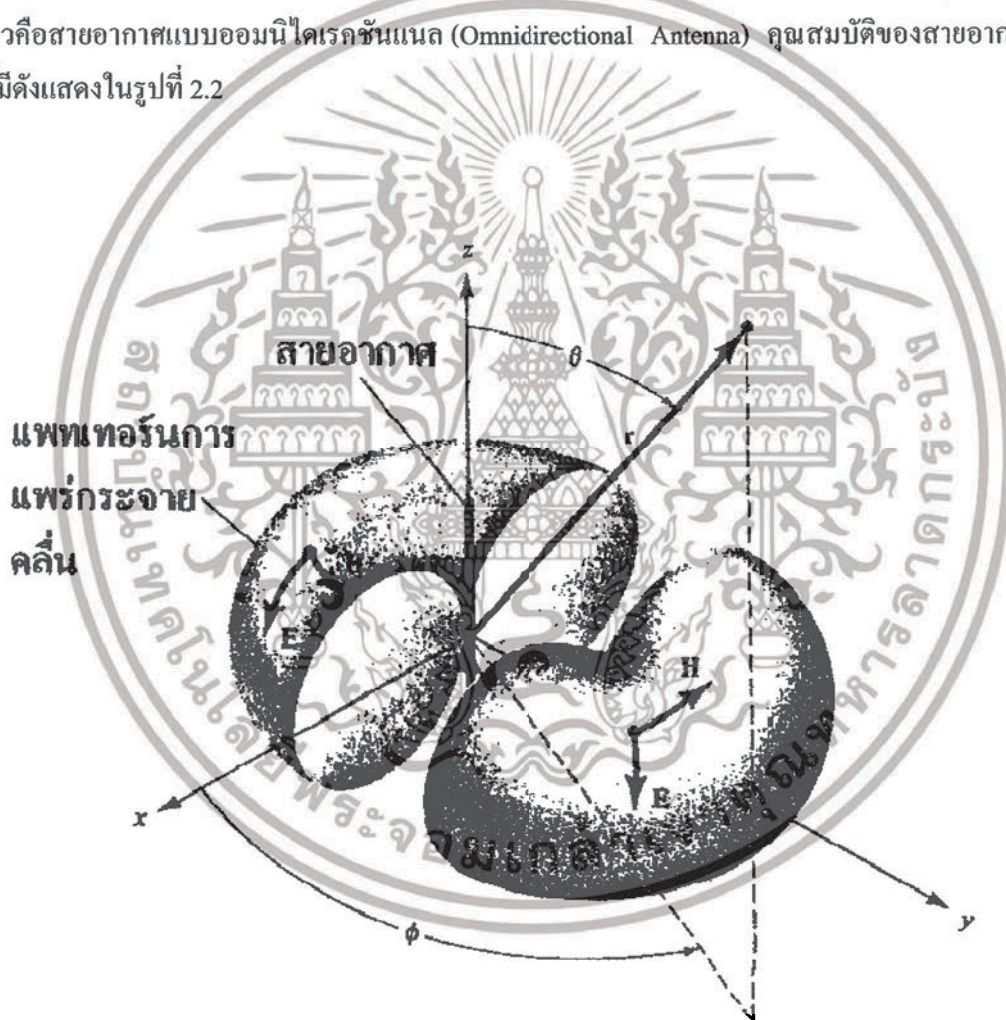
จากรูปที่ 2.1 เป็นการแสดงระบบโคออดิเนตที่ใช้แสดงคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่น สำหรับการ ใช้เส้นเพื่อแสดงกำลังงานที่สายอากาศรับได้ตามแนวรัศมีที่มีค่าคงที่มีชื่อเรียกว่า รูปแบบกำลัง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นภาพประกอบนี้เป็นการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งาน (Power Pattern) ของสายอากาศและกราฟที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าในทิศทางต่างๆที่มีรัศมีที่มีชื่อว่า สนามการแพร่กระจาย (Field Pattern) ของสายอากาศนั้น

### 2.1.1.1 รูปแบบการแพร่กระจายแบบไอโซโทรปิกไดเรกชันแนลและออมนิไดเรกชันแนล

ตัวแพร่คลื่นไอโซโทรปิก (Isotropic Radiation) คือ สายอากาศที่ถูกสมมติขึ้นให้มีการแพร่กระจายคลื่นเท่าๆกันในทุกทิศทาง แม้ว่ามันจะแค่แนวความคิดและไม่สามารถเป็นจริงได้ทางกายภาพ แต่ก็มักจะใช้เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบกับสายอากาศจริงเกี่ยวกับการแสดงคุณสมบัติแสดงทิศทางของสายอากาศ

สายอากาศชี้ทิศทาง (Directional Antenna) คือสายอากาศที่มีคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นหรือรองรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดีในเฉพาะทิศทางที่กำหนดเท่านั้น ตัวอย่างของสายอากาศที่มีคุณสมบัติดังกล่าวคือสายอากาศแบบออมนิไดเรกชันแนล (Omnidirectional Antenna) คุณสมบัติของสายอากาศแบบนี้มีดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศชี้ทิศทาง (ออมนิไดเรกชันแนล)

ตามรูปจะเห็นว่ารูปแบบการแพร่กระจายแบบนี้ไม่มีทิศทางในระนาบอาซิมุท (Azimuth Plane)

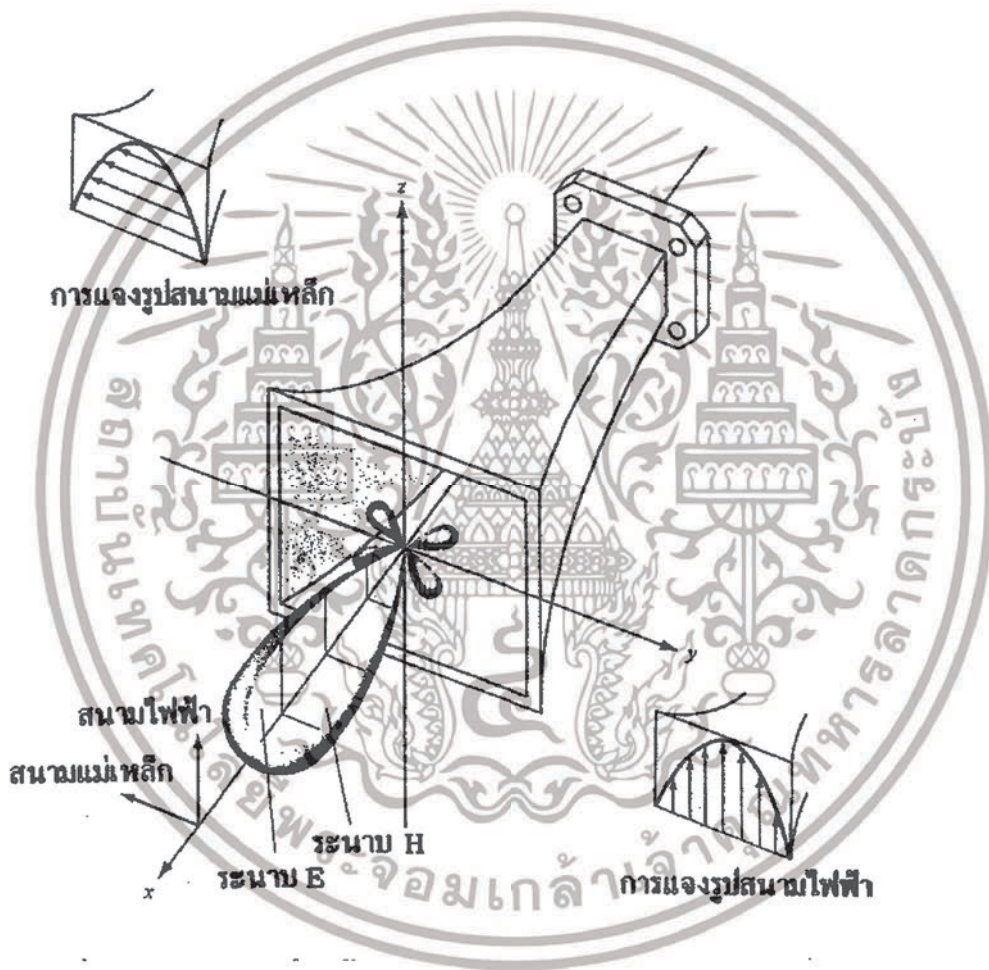
$[f(\Phi), (\theta) = \pi/2]$  แต่เป็นแบบชี้ทิศทางในระนาบเอเลเวชัน (Elevation plane)  $[f(\Phi), (\theta) = \text{ค่าคงที่}]$  เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบการแพร่กระจายชนิดนี้ออกแบบสำหรับออมนิไดเรกชันแนลเป็นกรณีพิเศษของรูปแบบการแพร่กระจายแบบชี้ทิศทาง

### 2.1.1.2 รูปแบบการแพร่กระจายหลัก

สำหรับสายอากาศลิเนียร์โพลาไรเซชัน (Linearly Polarized Antenna) จะอธิบายคุณสมบัติของสายอากาศในเทอมของรูปแบบการแพร่กระจายหลัก (Principal Pattern) สนามไฟฟ้า E สนามแม่เหล็ก H แพทเทอร์นในระนาบ E จะเป็นที่ยับรวมเวกเตอร์สนามไฟฟ้า และทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นที่แรงที่สุดส่วนรูปแบบการแพร่กระจายในระนาบ H จะเป็นระนาบที่ยับรวมเวกเตอร์สนามแม่เหล็กและทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นที่แรงที่สุด



รูปที่ 2.3 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ E และ H ของสายอากาศปากแตร

รูปที่ 2.3 เป็นการแสดงรูปแบบการแพร่กระจายหลัก โดยมีระนาบ XZ (ระนาบเอเลเวชัน;  $\Phi = 0$ ) เป็นระนาบ E หลักและมีระนาบ XY (ระนาบ อาซิมุท,  $\theta = \pi/2$ ) เป็นระนาบ H หลัก

### 2.1.1.3 โลบของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น

โอบของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Lobe) เป็นส่วนหนึ่งของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดเป็นบริเวณ โดยการปิดล้อมของส่วนที่มีความเข้มของการแพร่กระจาย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

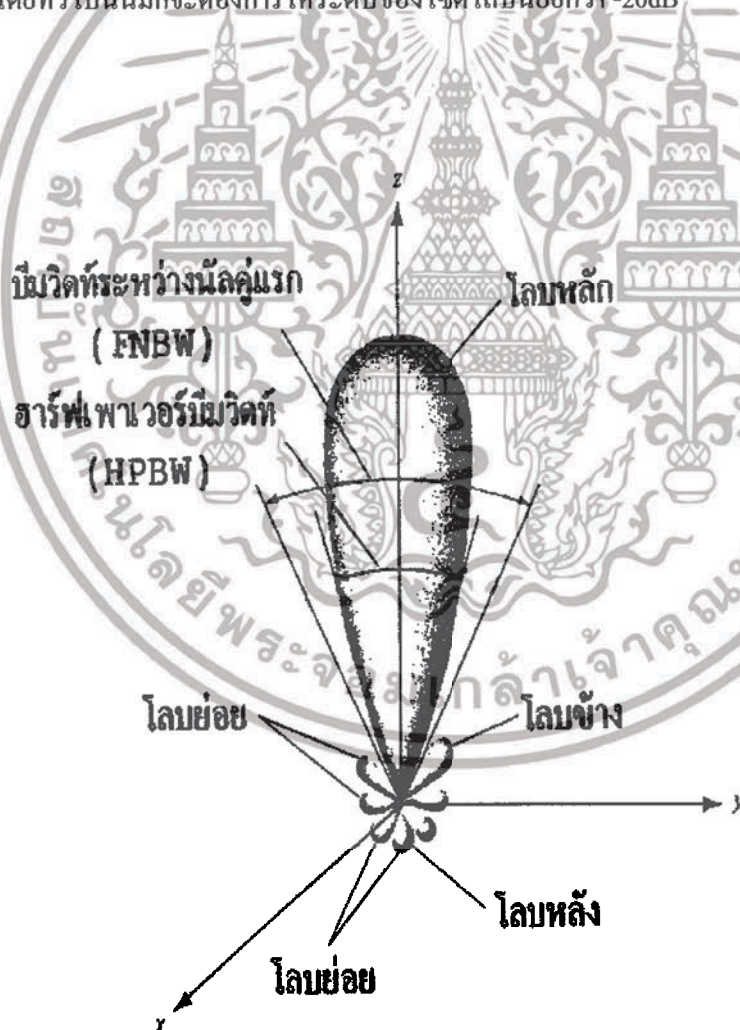
คลื่นตำรูปที่ 2.4 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายแบบโพลาร์ (Polar Pattern) แบบสามมิติ ซึ่งแบ่งเป็นโบบแบบต่างๆดังนี้

- โบบหลัก (Major Lobe หรือ Main lobe) เป็นโบบของการแพร่กระจายคลื่นซึ่งอยู่ในทิศทางที่มีการแพร่กระจายคลื่นแรงที่สุดตามรูปที่ 2.4 มีโบบหลักอยู่ในทิศทาง  $\theta = 0$  สำหรับสายอากาศบางชนิดอาจมีโบบหลักมากกว่าหนึ่งโบบ เช่น สายอากาศแยกบีม (Split-bean Antenna)

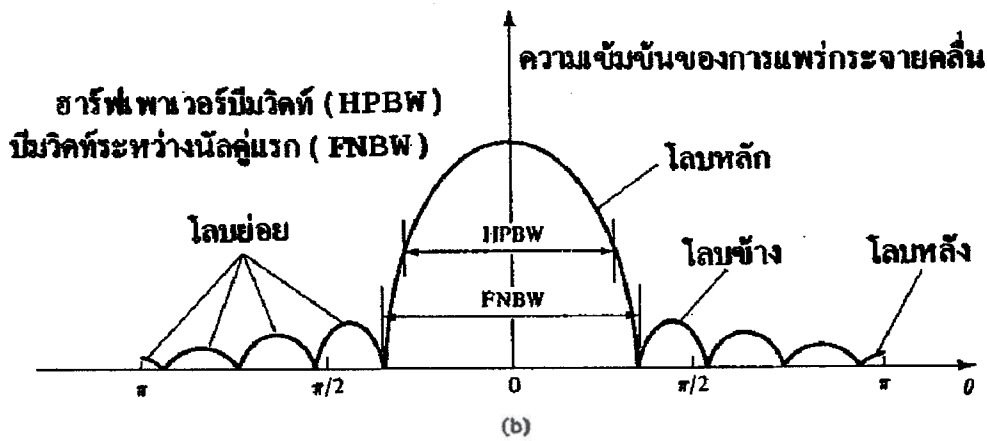
- โบบย่อย (Minor Lobe) ได้แก่ โบบอื่นๆนอกเหนือไปจากโบบหลัก

- โบบข้างหรือไซด์โบบ (Side Lobe) เป็นโบบย่อยที่อยู่ติดกับโบบหลักและอยู่ในทิศทางบนครึ่งวงกลมซีกเดียวกับโบบหลัก

- โบบหลัง (Back Lobe) เป็นโบบย่อยที่อยู่ในครึ่งวงกลมตรงข้ามกับโบบหลักปกติแล้วโบบย่อยจะเกิดจากการแพร่กระจายคลื่นในทิศที่ไม่ต้องการ ดังนั้นสายอากาศที่ดีจะต้องกำจัดโบบเหล่านี้ให้เหลือน้อยที่สุดระดับของโบบย่อยมักแสดงเป็นอัตราส่วนของความหนาแน่นของพลังงานในโบบที่กำลังคิดต่อความหนาแน่นของพลังงานในโบบหลักซึ่งเรียกว่าอัตราส่วนของไซด์โบบ (Side Lobe Level: SLL) ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปนั้นมักจะต้องการให้ระดับของไซด์โบบน้อยกว่า -20dB



รูปที่ 2.4(a) โบบต่างๆและมุมวัดของรูปแบบการแพร่กระจายสายอากาศ  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 (b) รูปแบบการแผ่กระจายในแบบลิเนียร์

#### 2.1.1.4 บริเวณต่างๆของสนามสายอากาศ

โดยทั่วไปมักจะแบ่งบริเวณที่ล้อมสายอากาศออกเป็น 3 ส่วน คือ สนามรีแอกทีฟระยะใกล้ (Reactive-Near Field) สนามกระจายระยะใกล้ (Radiating-Near Field) และสนามระยะไกล (Far Field) ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การแบ่งบริเวณของสนามจากสายอากาศ

บริเวณสนามรีแอกทีฟระยะใกล้ เป็นบริเวณสนามที่ล้อมรอบใกล้สายอากาศมากที่สุด และมีสนามเป็นชนิดรีแอกทีฟเป็นส่วนใหญ่บริเวณนี้จะมีระยะทาง  $R < 0.62 \sqrt{D^3/\lambda}$  จากผิวของสายอากาศ เมื่อ  $\lambda$  เป็นความยาวคลื่นและ  $D$  เป็นมิติที่ยาวที่สุดของสายอากาศ

บริเวณสนามกระจายระยะใกล้เป็นบริเวณสนามของสายอากาศที่อยู่ระหว่างบริเวณของสนามรีแอกทีฟระยะใกล้กับ บริเวณสนามระยะไกล โดยมีสนามที่กระจายอยู่เป็นส่วนใหญ่ และการกระจายของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนามตามมุมต่างๆ นั้น แปรผันตามระยะทางจากสายอากาศ เมื่อสายอากาศมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นสนามในบริเวณนี้อาจไม่เกิดขึ้นในบริเวณนี้จะมีระยะทาง  $2D^2/\lambda > R \geq 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$  บริเวณสนามระยะไกลเป็นบริเวณสนามของสายอากาศ ซึ่งแพร่ของสนามของสายอากาศตามมุมต่างๆ ไม่ขึ้นกับระยะทางจากสายอากาศถ้าสายอากาศมีมิติใหญ่ที่สุดเท่ากับ  $D$  บริเวณสนามระยะไกลจะเกิดขึ้นที่ระยะทาง  $R$  มากกว่า  $2D^2/\lambda$  จากสายอากาศ

ในบริเวณนี้สามารถมีลักษณะเป็นสนามตัดขวาง (Transverse Field) และการแพร่กระจายของสนามตามมุมต่างๆ ไม่ขึ้นกับระยะทางของบริเวณดังกล่าวมีค่า  $R$  เท่ากับ  $2D^2/\lambda$  และขอบนอกเป็นอนันต์

### 2.1.2 ความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่น

เนื่องจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ในการส่งข่าวสารผ่านตัวกลางถูกกำหนดให้มีความสัมพันธ์กับพลังงานและกำลังงานไฟฟ้า โดยใช้ตัวความสัมพันธ์ดังกล่าวได้แก่ พอยดิงเวกเตอร์ชั่วขณะเวลานั้น (Instantaneous Poynting Vector) ซึ่งมีสมการแสดงความสัมพันธ์ดังนี้คือ

$$W = E \times H \quad (2.1)$$

เมื่อ

$W$  = พอยดิงเวกเตอร์ชั่วขณะเวลานั้น (W/m<sup>2</sup>)

$E$  = ความเข้มสนามไฟฟ้าชั่วขณะเวลานั้น (V/m)

$H$  = ความเข้มสนามแม่เหล็กชั่วขณะเวลานั้น (A/m)

เนื่องจากพอยดิงเวกเตอร์มีความหมายแสดงถึงความหนาแน่นของกำลังงาน ดังนั้นกำลังงานทั้งหมดที่พุ่งตัดผ่านพื้นผิวปิดจะสามารถหาได้โดยอินทิกรัลทั่วของพอยดิงเวกเตอร์ที่ตั้งฉากกับผิวทั้งหมดซึ่งเมื่อเขียนเป็นสมการจะได้

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

เมื่อ

$P$  = กำลังงานทั้งหมดซึ่งขณะเวลานั้น (W)

$d_a$  = พื้นที่จวบจนพื้นที่ปิด (m<sup>2</sup>)

ในกรณีของสนามที่แปรผันกับเวลามักจะหาค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นของกำลังงานได้โดยการอินทิเกรตค่าพอยดิงเวกเตอร์ชั่วขณะเวลาตลอด 1 คาบ แล้วหารด้วยคาบเวลานั้นสำหรับสนามที่แปรผันกับเวลา ซึ่งกระจายเป็นฮาร์โมนิกในรูป  $e^{j\omega t}$  เมื่อกำหนดสนามสนาม  $\vec{E}$  และ  $\vec{H}$  เป็นสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กเชิงซ้อนแล้วจะหาความสัมพันธ์กับค่า  $E$  และ  $H$  ชั่วขณะเวลาใดๆได้จาก

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก (2.3), (2.4) และโดยอาศัย  $\text{Re}[\bar{E}e^{j\omega t}] = \frac{1}{2}[Ee^{j\omega t} + E^*e^{j\omega t}]$  สมการ (2.1) จะเขียนได้ใหม่เป็น

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

เทอมแรกของ (2.5) ไม่เป็นฟังก์ชันของเวลาและเทอมที่สองมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาเป็นสองเท่าของความถี่ที่กำหนดให้ ดังนั้นค่าเฉลี่ยของพอยติงเวกเตอร์จึงสามารถที่จะหาได้เป็น

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

ตัวประกอบ  $1/2$  ใน (2.5) และ (2.6) เกิดขึ้นเพราะสนาม  $E$  และ  $H$  เป็นค่าสูงสุดไม่ใช่ค่า rms จาก (2.6) กำลังงานเฉลี่ยที่แพร่กระจายจากสายอากาศ จะเขียนได้เป็น

$$\begin{aligned} P_{rad} = P_{av} &= \iint_s \bar{W}_{rad} \cdot \bar{ds} \\ &= \iint_s \bar{W}_{rad} \cdot \bar{ds} \\ &= \frac{1}{2} \iint_s \text{Re}[\bar{E} \times \bar{H}^*] \cdot \bar{ds} \end{aligned} \quad (2.7)$$

### 2.1.3 ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น

คำจำกัดความของคำว่าความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่กำหนดให้คือ กำลังงานที่แพร่ออกจากสายอากาศมุมตัน ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอย่างหนึ่งในการแสดงคุณสมบัติของสายอากาศเกี่ยวกับสนามระยะไกลความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นสามารถหาได้จากผลคูณของความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่นและผลจากการกำลังสองของระยะทาง ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

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

เมื่อ  $U$  = ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (W/ หน่วยมุมตัน)

$W_{rad}$  = ความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่น (W/m<sup>2</sup>)

ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นถ้าจะเขียนแสดงความสัมพันธ์กับสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระยะในระยะไกลได้คือ

$$\begin{aligned} U(\theta, \phi) &= \frac{r^2}{2\eta} |\bar{E}(r, \theta, \phi)|^2 \\ &= \frac{r^2}{2\eta} [ |E_\theta(r, \theta, \phi)|^2 + |E_\phi(r, \theta, \phi)|^2 ] \\ &= \frac{1}{2\eta} [ |E_\theta(\theta, \phi)|^2 + |E_\phi(\theta, \phi)|^2 ] \end{aligned} \quad (2.8a)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ  $\bar{E}$  = ความเข้มของสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระยะไกล  
 $E_\theta, E_\phi$  = ส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระยะไกล  
 $\eta$  = อินทรีนสิกอิมพีแดนซ์ (Intrinsic Impedance) ของตัวกลาง

ดังนั้นรูปแบบของการแพร่กระจายคลื่นของกำลังงานก็ใช้เพื่อแสดงถึงความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นได้เช่นกันกำลังงานทั้งหมดนี้หาได้โดยอินเทกรัลความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (สมการ 2.8) ตลอดมุมตัน  $4\pi$  ทั้งหมดซึ่งจะได้

$$Prad = \oint U d\Omega = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi U \sin \theta d\theta d\phi \quad (2.9)$$

#### 2.1.4 ไคเรคติวิตี

ไคเรคทีฟเกนในทิศทางที่กำหนดคือ อัตราส่วนของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางนั้นต่อความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศซึ่งใช้สำหรับอ้างอิงซึ่งปกติสายอากาศสำหรับใช้อ้างอิงนี้จะใช้ไอโซทรอปิกพอยท์ซอร์ส (Isotropic Point Source)

ไคเรคติวิตีคือ ค่าของไคเรคทีฟเกนในทิศทางที่มีค่ามากที่สุดหรือ ไคเรคติวิตีของต้นกำเนิดที่ไม่เป็นไอโซทรอปิกคือ อัตราส่วนของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นที่มากที่สุดต่อความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นของไอโซทรอปิกพอยท์ซอร์สเขียนเป็นสมการได้ว่า

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

$$D_0 = \frac{U_{max}}{U_0} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}} \quad (2.11)$$

$D_g$  = ไคเรคทีฟเกน (ไม่มีหน่วย)

$D_0$  = ไคเรคติวิตี (ไม่มีหน่วย)

$U_{max}$  = ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (W/หน่วยมุมตัน)

$U_0$  = ค่าสูงสุดของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (W/หน่วยมุมตัน)

$P_{rad}$  = กำลังงานที่แพร่กระจายทั้งหมด (W)

จากสมการที่ (2.10) และ (2.11) จะทราบไคเรคทีฟเกนและ ไคเรคติวิตีของไอโซทรอปิกพอยท์ซอร์ส ที่มีค่าเป็นหนึ่งเพราะว่ามันมีการแพร่กระจายกำลังงานออกไปทุกทิศทางด้วยค่าที่เท่ากันคือ  $U$ ,  $U_{max}$  และ  $U_0$  ต่างมีค่าเท่ากันตั้งแต่ต้นกำเนิด (สายอากาศ) แบบอื่น ๆ นั้นย่อมมีไคเรคติวิตีมากกว่าหนึ่งเสมอ

สายอากาศที่มีโลบหลักแคบๆเพียง โลบเดียวและมีโลบย่อยที่มีขนาดเล็กจนสามารถตัดทิ้งได้มุมตันของบีมจะมีค่าประมาณเท่ากับผลคูณของ HPBW ในระนาบซึ่งตั้งฉากกัน

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มุมตันของบีบ  $\Omega$  ประมาณได้จาก

$$\Omega = \Theta_{1r} = \Theta_{2r} \quad (2.13)$$

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

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

### 2.1.5 อัตราขยาย

อัตราขยายเป็นความสัมพันธ์ที่ได้มาจากโคเรคทีวิตีโดยรวมประสิทธิภาพของสายอากาศเข้ามาด้วยในขณะที่ โคเรคทีวิตีอธิบายคุณสมบัติในการชี้ทิศทางของสายอากาศเท่านั้น

เพาเวอร์เกน (Power Gain) ของสายอากาศในทิศทางที่กำหนดให้มีค่าเท่ากับ  $4\pi$  คูณอัตราส่วนของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางนั้นต่อกำลังสุทธิที่สายอากาศรับจากชั้นต่อของเครื่องส่งเมื่อไม่ได้กำหนดทิศทางไว้โดยเฉพาะ โดยทั่วไปแล้วจะคิดแล้วจะคิดเพาเวอร์เกนในทิศทางที่มีการแพร่กระจายคลื่นแรงที่สุด ดังนั้น

อัตราขยาย =  $4\pi$  (ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น) / (กำลังงานทั้งหมดที่ป้อนให้สายอากาศ)

$$= 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (2.14)$$

โดยทั่วไปแล้วมักจะพูดถึงอัตราขยายสัมพันธ์ซึ่งเป็นอัตราส่วนของเพาเวอร์เกนในทิศทางที่กำหนดให้ต่อเพาเวอร์เกนของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบในทิศทางนั้น เมื่อกำลังงานที่ป้อนเข้าสายอากาศนั้นต้องเท่ากับสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบอาจจะเป็นสายอากาศไดโพลสายอากาศปากแตรแต่ส่วนใหญ่สายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบจะเป็น ไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์สที่ไม่มีการสูญเสีย ดังนั้น

$$G_g = 4\pi U(\theta, \phi) / P_{in} \quad (\text{ไอโซโทรปิกที่ไม่มีการสูญเสีย}) \quad (2.15)$$

กำลังงานที่แพร่กระจายทั้งหมด ( $P_{rad}$ ) - สัมพันธ์กับกำลังงานที่ป้อนให้สายอากาศ  $P_{in}$  ดังนี้

$$P_{rad} = e_r P_{in} \quad (2.16)$$

เมื่อ  $e$  เป็นประสิทธิภาพรวมของสายอากาศ (ไม่มีหน่วย) ทำให้จะได้

$$G_g(\theta, \phi) = e_r [4\pi U(\theta, \phi) / P_{in}]$$

(2.17)

ซึ่งสัมพันธ์กับโคเรคทีฟเกนดังนี้

$$G_g(\theta, \phi) = e_r D_g(\theta, \phi) \quad (2.18)$$

ในทำนองเดียวกันค่าสูงสุดของเกนจะสัมพันธ์กับโคเรคทีวิตีโดย

$$G_0 = D_g(\theta, \phi)_{\max} = e_r D_g(\theta, \phi)_{\max} \quad (2.19)$$

ดังนั้นค่าประมาณของเกนจะได้

$$G_0 = 3000 / \Theta_{1r} \Theta_{2r} \quad (2.20)$$

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 คลื่นนิ่ง (Standing Wave)

กำลังที่ได้ออกจากสายอากาศแพร์ออกสู่อากาศแพร์ออกสู่อากาศโดยกำลังที่ส่งออกไปอาจจะมีกำลังส่วนหนึ่งที่มีการสะท้อนกลับมาสู่สายอากาศส่วนหนึ่ง เมื่อเปรียบเทียบเทียบคลื่นที่ส่งออกไปเป็นคลื่นเดินไปข้างหน้าและเมื่อคลื่นเดินหน้าชนกับคลื่นที่สะท้อนกลับจะเสริมกันหรือหักล้างกันแล้วแต่ความแตกต่างจากเฟสของคลื่นทั้งสองผลลัพธ์ของคลื่นทั้งนี้จะปรากฏเป็นคลื่นนิ่งก็คือ ผลที่เกิดจากคลื่นเดินหน้าและคลื่นสะท้อนกลับผสมกัน

### 2.2.1 อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Voltage Standing Wave Ratio: VSWR)

อัตราส่วนคลื่นนิ่งคือ อัตราส่วนของแรงดันสูงสุดและแรงดันต่ำสุดของรูปคลื่นนิ่งอัตราส่วนนี้เป็นค่าวัดปริมาณที่โหดผิดไปจากสภาวะที่โหดเมตรกันมากน้อยเพียงใดเรหาค่าของอัตราส่วนคลื่นนิ่ง ได้จากสูตร

$$VSWR = \frac{|V|_{\max}}{|V|_{\min}} = \frac{1 + |\Gamma_L|}{1 - |\Gamma_L|} \quad (2.21)$$

เมื่อ  $\Gamma_L$  คือสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนมีค่าเท่ากับ

$$\Gamma_L = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (2.22)$$

เมื่อ  $Z_1 \cdot Z_2$  คืออิมพีแดนซ์ของคลื่น

### 2.2.2 S-พารามิเตอร์ (S-PARAMETER)

เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับหาสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนกลับเราสามารถเขียน S-พารามิเตอร์ได้ดังนี้

$$V_1^- = S_{11}V_2^+ + S_{12}V_2^+ \quad (2.23ก)$$

$$V_2^- = S_{21}V_1^+ + S_{22}V_2^+ \quad (2.23ข)$$

เมื่อ  $V_1^+$  แรงดันที่จ่ายที่พอร์ตที่ 1 และ  $V_1^-$  คือแรงดันที่สะท้อนกลับที่พอร์ตที่ 1

เมื่อ  $V_2^+$  แรงดันที่จ่ายที่พอร์ตที่ 1 และ  $V_2^-$  คือแรงดันที่สะท้อนกลับที่พอร์ตที่ 1

โดยที่ความหมายของ S- พารามิเตอร์แต่ละตัวคือ  $S_{11}$  และ  $S_{22}$  เป็นสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนที่วัดที่พอร์ตที่ 1 และพอร์ตที่ 2 สำหรับ  $S_{12}$  และ  $S_{21}$  ก็จะเป็นสัมประสิทธิ์ของการส่งผ่านจากพอร์ตที่ 2 มายังพอร์ตที่ 1 และ จากพอร์ตที่ 1 ไปยังพอร์ตที่ 2 ตามลำดับเราจะสามารถหาค่า  $S_{ij}$  ได้โดยการวัดคลื่นที่สะท้อนกลับมายังพอร์ตที่ 1 และจากที่ได้กล่าวไปแล้วว่า  $S_{ij}$  ก็คือสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนกลับและภายใต้เงื่อนไขเดียวกันนี้  $V_j^+$  จะเขียนได้ดังนี้

$$V_j^+ = S_{ij}V_1^+$$

หรือ  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S_{ij} = \frac{V_i^-}{V_j^+} \quad (2.24)$$

ดังนั้น

$$S_{11} = \frac{V_1^-}{V_1^+} \quad (2.25)$$

ในการทำงานเดียวกันจะสามารถหาค่า  $S_{22}$  ได้ดังนี้

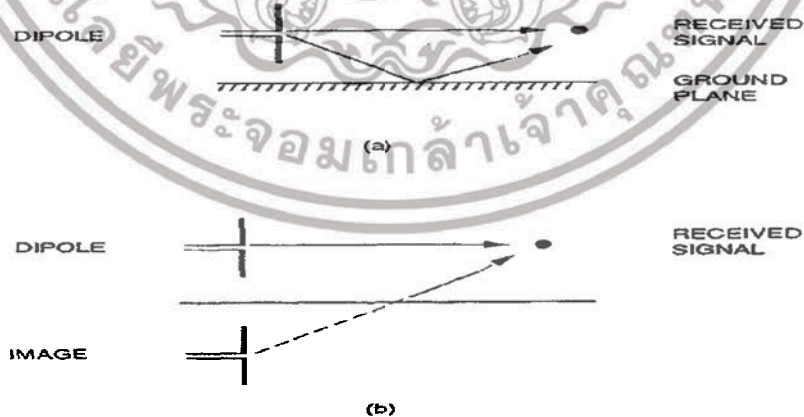
$$S_{22} = \frac{V_2^-}{V_2^+} \quad (2.27)$$

และแทน  $S_{12}$  กับ  $S_{21}$  จะได้

$$S_{12} = S_{21} = \frac{V_1^-}{V_2^+} = \frac{V_1^-}{V_2^+} \quad (2.28)$$

### 2.3 ทฤษฎีเชิงเงา (Image Theory)

ระนาบกราวด์ที่เป็นตัวนำสมบูรณ์ (Perfectly Conducting Ground Plane) จะทำหน้าที่เสมือนกระจกเงาตัวเดียวกันคือ ถ้ามีไดโพล ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวส่งคลื่นอยู่บนเหนือแผ่นระนาบกราวด์ที่เป็นตัวนำ สัญญาณที่เครื่องรับสามารถรับได้จะเป็นผลรวมของสัญญาณที่ส่งเข้าไปโดยตรงกับสัญญาณที่ถูกสะท้อนโดยแผ่นระนาบกราวด์ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (a) ส่วนในรูปที่ 2.6 (b) จะเป็นการสมมูลด้วยการแทนแผ่นระนาบกราวด์ด้วยกระจกเงา ซึ่งลักษณะนี้คือทฤษฎีเชิงเงาในรูปแบบที่ง่ายที่สุด



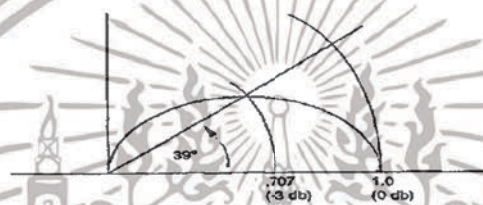
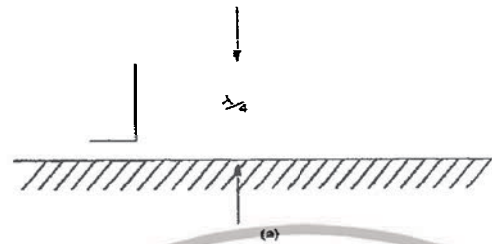
รูปที่ 2.6 (a) ไดโพลที่วางอยู่เหนือแผ่นตัวนำที่สมบูรณ์

(b) แบบสมมูลโดยใช้ทฤษฎีเชิงเงา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 สายอากาศโมโนโพล

จากรูปที่ 2.7 แสดงสายอากาศแบบโมโนโพลที่มีความยาว  $l$  ใน  $4$  ของความยาวคลื่น ( $\lambda/4$ ) ที่คิดจากความถี่ปฏิบัติการ วางอยู่เหนือแผ่นตัวนำสมบูรณ์ซึ่งมีความยาวเป็นครึ่งหนึ่งของสายอากาศไดโพลที่มีความถี่หนึ่งของความยาวคลื่น ( $\lambda/2$ )



รูปที่ 2.7 สายอากาศโมโนโพล  $\lambda/4$  ที่วางอยู่เหนือแผ่นตัวนำสมบูรณ์

- (a) ลักษณะทางกายภาพ  
(b) แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน

กระแสไฟฟ้าที่เกิดการแรงแรูปในสายอากาศโมโนโพล จะเหมือนกับกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในครึ่งใดครึ่งหนึ่งของสายอากาศไดโพล  $\lambda/2$  อย่างไรก็ตามแรงดันที่ขั้วอินพุตของสายอากาศโมโนโพลจะมีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของสายอากาศไดโพล ดังนั้นค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศโมโนโพลจึงมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของสายอากาศไดโพล

$$Z_{in} = 37.5 \Omega$$

(2.29)

การที่การแรงแรูปของกระแสไฟฟ้าในสายอากาศโมโนโพลมีลักษณะเหมือนกับสายอากาศไดโพล  $\lambda/2$  ดังนั้นกำลังงานที่แผ่กระจาย ออกไปจึงมีลักษณะเหมือนกับของสายอากาศไดโพลด้วย แต่เนื่องจากแผ่นระนาบกราวด์ได้ตัดผ่านจุดกึ่งกลางของรูปแบบการกระจายกำลังงาน ความกว้างลำคลื่นจึงมีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของไดโพล ดังนั้นค่าสภาพเจาะจงทิศทางและค่าอัตราขยาย จึงมีค่าเป็นสองเท่าของสายอากาศไดโพล คือ

$$G = 2 \times 1.64 = 3.2 = 5 \text{ dB}$$

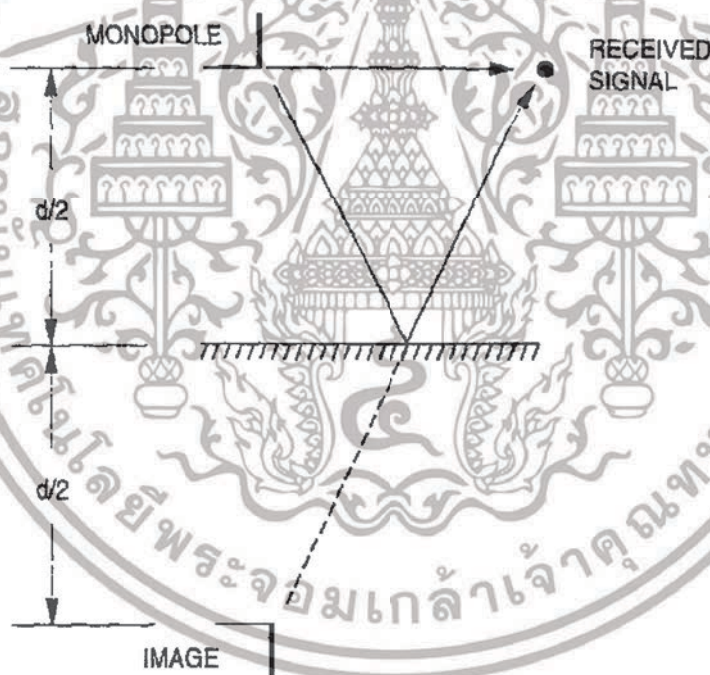
(2.30)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศโมโนโพล  $\lambda/4$  ซึ่งอยู่ที่ผิวของแผ่นกราวด์ จะมีรูปร่างเหมือนกับของสายอากาศไดโพล  $\lambda/2$  ที่มุมเหนือจากศูนย์กลางขึ้นไป รูปแบบการแผ่กระจายกำลังงานที่ได้จากทฤษฎีได้แสดงไว้ในรูปที่ 1.2 (ข) ซึ่งหาได้จากสมการ (1.3) ซึ่งเป็นของสายอากาศไดโพล  $\lambda/2$  ที่ได้อธิบายผ่านไปแล้ว

$$F(\theta)_{\lambda/4 \text{ monopole}} = \frac{1}{2} \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin \theta}, \quad \theta > 0 \quad (2.31)$$

ถ้าสายอากาศโมโนโพลถูกยกขึ้นเหนือแผ่นกราวด์ที่ความสูง  $d/2$  ดังแสดงในรูปที่ 1.3 ตัวของสายอากาศจะแสดงตัวเหมือนกับสายอากาศแถวลำดับแบบ 2 องค์ประกอบ (2- Element Array) การแผ่กระจายกำลังงานจากองค์ประกอบด้านบนและจากตัวล่างจะพุ่งเข้ามารวมกันที่จุดรับสัญญาณ ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันมากเท่าใดนั้น จะขึ้นอยู่กับระยะความสูงจากแผ่นกราวด์ที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้เกิดค่าตัวประกอบแถวลำดับ (Array Factor) ขึ้นมา



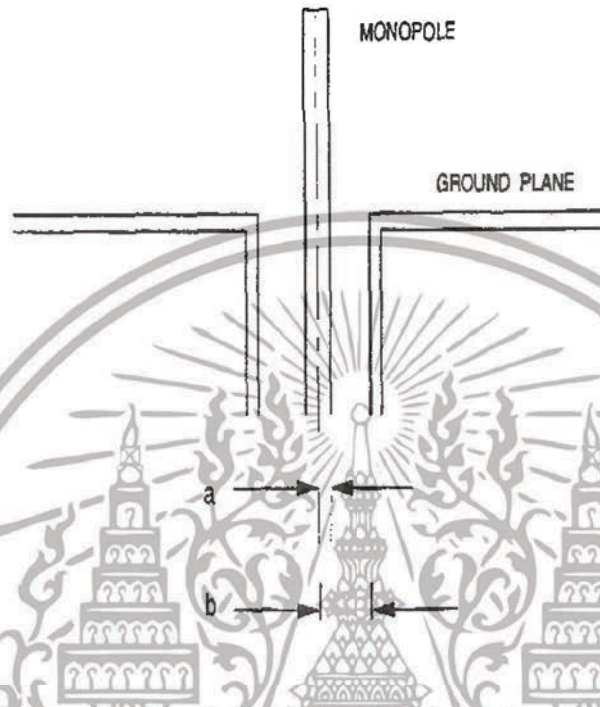
รูปที่ 2.8 การรวมกันของคลื่นที่แผ่กระจายจากสายอากาศโมโนโพลและที่มาจากเชิงเงาของมัน

กรณีนี้จะคล้ายกันกับกรณีของสายอากาศไดโพลที่วางอยู่เหนือแผ่นตัวนำสมบูรณ์ ซึ่งยังไม่ได้กล่าวถึงมาก่อน เพราะว่าได้ทำการศึกษาในกรณีของสายอากาศไดโพลในอากาศอิสระ (Free Space) เท่านั้น ยังไม่ได้ศึกษาในกรณีที่วางอยู่เหนือแผ่นกราวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4.1 สายอากาศมาตรฐานโมโนโพล

สายอากาศโมโนโพลมาตรฐาน ที่ใช้ในการปฏิบัติการได้แสดงไว้ รูปที่ 2.9 ซึ่งจะมีการป้อนสัญญาณ โดยผ่านสายโคแอกเซียล  $50 \Omega$  ผ่านช่องของแผ่นระนาบกราวด์ขนาดใหญ่เข้าไปที่ขั้วอินพุตของสายอากาศโมโนโพล



รูปที่ 2.9 สายอากาศโมโนโพลที่ป้อนด้วยสายโคแอกเซียลและระนาบกราวด์

แผ่นระนาบกราวด์ คือ ส่วนที่จำเป็นสำหรับการออกแบบสายอากาศโมโนโพล ในทางอุดมคติ นั้นจะต้องมีขนาดเป็นอนันต์ แต่ในทางปฏิบัติจะกำหนดให้มีรัศมีเท่ากับ  $5\lambda$  ก็เพียงพอที่จะให้เกิดเงื่อนไขใกล้เคียงกับขนาดในอุดมคติได้ หรือจะใช้ขนาดที่ต่ำที่สุดซึ่งจะให้เงื่อนไขใกล้เคียงอุดมคติได้เช่นกัน ก็คือที่  $0.5\lambda$  ซึ่งสายอากาศโมโนโพลที่ใช้ในปฏิบัติการ จะใช้แผ่นระนาบกราวด์ที่มีขนาดดังกล่าวนี้

สายเคเบิลที่ใช้สำหรับป้อนสัญญาณให้กับตัวสายอากาศจะเป็นสายโคแอกเซียลที่มีค่าอิมพีแดนซ์  $50 \Omega$  ซึ่งจะต้องมีการแปลงค่าอิมพีแดนซ์นี้ให้ลดลงไปอยู่ที่  $37.5 \Omega$  เพื่อให้เกิดการแมตช์กับค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศโมโนโพล ในกรณีนี้ค่าอิมพีแดนซ์ที่จะเปลี่ยนไปจะเป็นฟังก์ชันของเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำที่อยู่ตรงกลางกับระยะห่าง  $b$  ระหว่างตัวนำตรงกลางกับขอบของช่องวงกลมในแผ่นระนาบกราวด์ ดังแสดงในรูปที่ 1.4 และสมการแสดงความสัมพันธ์ของค่าอิมพีแดนซ์นี้ ได้แสดงไว้ในสมการ (2.31)

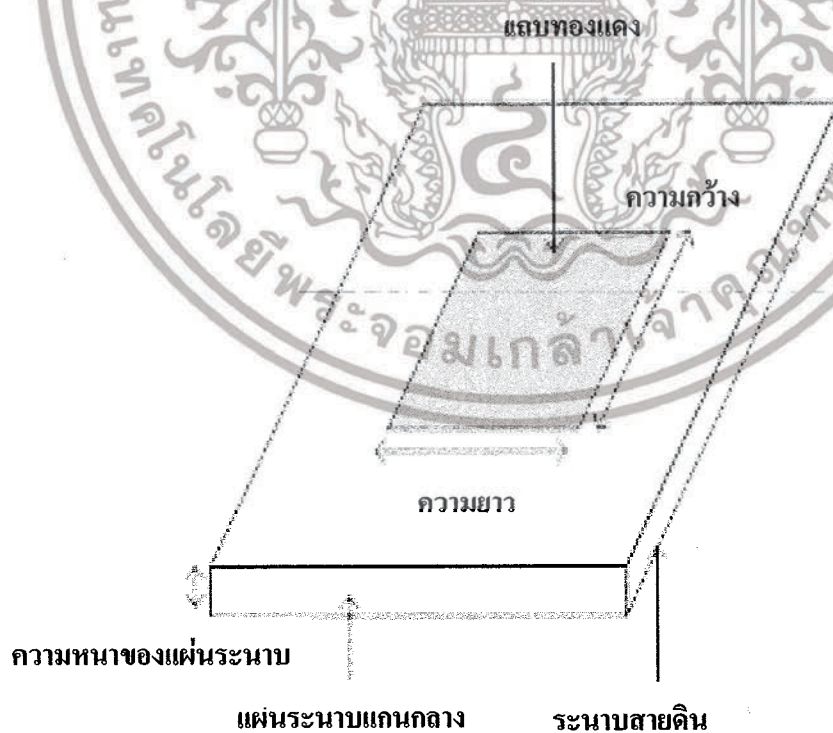
$$Z_0 = 60 \log\left(\frac{b}{a}\right) \quad (2.32)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 สายอากาศไมโครสตริป

แนวความคิดในการใช้ไมโครสตริปซึ่งมีรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาดเล็ก ในการแพร่กระจายคลื่นถูกนำเสนอครั้งแรก โดย Deschamps ค.ศ. 1953 และหลังจากนั้น 20 ปี จึงมีการสร้างเป็นสายอากาศใช้งานจริงโดยมีการพัฒนาแบบจำลองทางทฤษฎี และเทคนิค photo-etch ของฐานรองที่เป็น copper หรือ gold-clad และคุณสมบัติทางอุณหภูมิตั้งแต่บัดนี้มีค่า loss tangent ที่ต่ำ สายอากาศไมโครสตริปถูกสร้างขึ้นมาเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1970 โดย Howell, Munsun จากนั้นก็มีการวิจัยและพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วและกว้างขวางขึ้น ไปสู่การใช้งานที่แตกกัน

ลักษณะ โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปจะประกอบด้วย แผ่นตัวนำสองแผ่นวางขนานกันอยู่ โดยมีแผ่นตัวนำที่อยู่ด้านบนซึ่งจะมีรูปร่างต่าง ๆ เช่น รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular) รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (square) วงกลม (Circle) วงรี (elliptical) ฯลฯ เรียกว่าตัวแพร่กระจายคลื่น (Radiating Patch) โดยทั่วไปมักจะเป็นแผ่นทองแดงหรือทองคำ แผ่นตัวที่อยู่ด้านล่างจะเป็นลักษณะแผ่นตัวนำทั้งแผ่น โดยอุทกคติจะต้องมีขนาดใหญ่กว่าตัวแพร่กระจายคลื่นมาก เรียกว่า แผ่นกราวด์ (Ground Plane) และมีวัสดุที่ไม่เป็นสื่อกลางทางไฟฟ้า (Dielectric Substrate) กั้นกลางระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสอง ขนาดของตัวแพร่กระจายคลื่นจะมีขนาดตามความเหมาะสมกับงานหรือความถี่ที่จะนำไปใช้งาน ซึ่งขึ้นอยู่กับกรayoutแบบตั้งแพร่กระจายคลื่นให้มีขนาดตามความต้องการ แผ่นกราวด์ตามทฤษฎีจะต้องมีขนาดที่ไม่จำกัด แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถที่จะให้แผ่นกราวด์มีขนาดถึงอนันต์ (Infinite) ได้ ดังนั้นในการ ออกแบบจึง ไม่มีข้อกำหนดของแผ่นกราวด์ว่าควรจะมีขนาดเท่าใด เพียงแต่จะต้องมีขนาดใหญ่กว่าตัวแพร่กระจายคลื่น ลักษณะ โครงสร้างทั่วไปของสายไมโครสตริปสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 รูปแบบ โครงสร้าง โดยทั่วไปของสายอากาศไมโครสตริป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.1 ข้อดีและข้อเสียของสายอากาศแผ่นไมโครสตริบ

สายอากาศไมโครสตริบ จะมีข้อได้เปรียบหลายประการเมื่อเทียบกับสายอากาศที่ใช้ในย่านไมโครเวฟแบบอื่นๆ โดยสายอากาศไมโครสตริบสามารถใช้งานในย่านความถี่ตั้งแต่ 100 MHz ถึง 50 GHz

ข้อดีที่เห็นได้ชัดของสายอากาศไมโครสตริบ

- น้ำหนักเบา (Lightweight), ขนาดเล็ก (Low volume)
- ทำให้เป็นแผ่นบางๆ ได้ เพราะไม่มีผลทางอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamics)
- พื้นี่หน้าตัดเล็กน้อย (Low profile)
- สามารถผลิตได้ง่ายและราคาถูก (Low fabrication cost)
- มีความสะดวกในการติดตั้งบนวัตถุที่เคลื่อนที่ได้ เช่น จรวด, ดาวเทียม เป็นต้น
- มีการโพลาไรซ์ทั้งแบบเชิงเส้นและแบบวงกลม

ข้อเสียที่เห็นได้ชัดเจนของสายอากาศไมโครสตริบ

- มีช่วงความถี่ที่รับและส่งสัญญาณแคบเกินไป (Narrow bandwidth)
- มีอัตราการสูญเสีย (Loss)
- มีอัตราขยายค่อนข้างต่ำ
- ในทางปฏิบัติอัตราขยายสูงสุดจะถูกจำกัดประมาณ 20 dB
- มีการแพร่กระจายคลื่นต่ำ

### 2.5.2 รูปร่างลักษณะต่างๆ ของสายอากาศไมโครสตริบ

สายอากาศไมโครสตริบจะมีพารามิเตอร์ต่างๆ ทางฟิสิกส์มากกว่าสายอากาศย่านไมโครเวฟทั่วไปที่เห็นได้ชัดคือ รูปร่างของสายอากาศไมโครสตริบแบบต่างๆ อย่างไรก็ตามสายอากาศไมโครสตริบสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ คือ สายอากาศแผ่นไมโครสตริบแบบ Patch, สายอากาศแผ่นไมโครสตริบแบบ Slot, สายอากาศแผ่นไมโครสตริบแบบ Travelling-wave ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

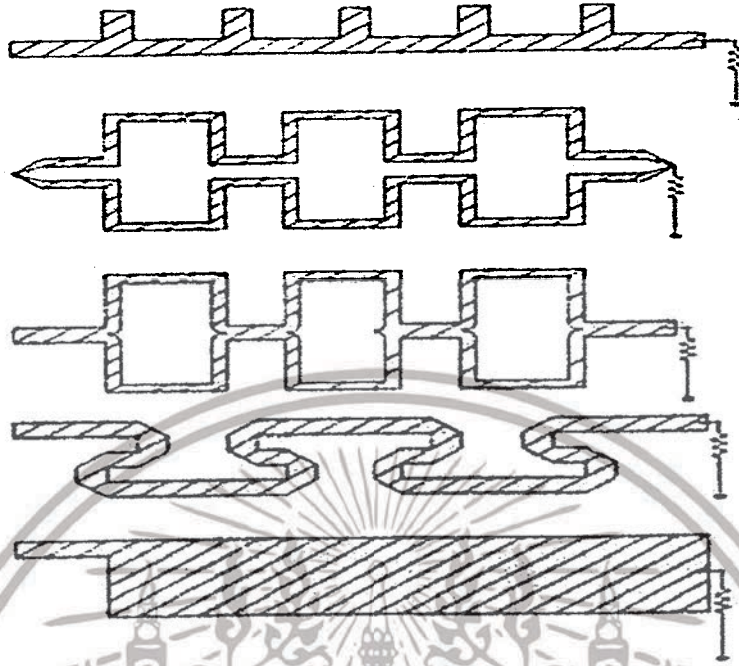
2.5.2.1 สายอากาศแผ่นไมโครสตริบแบบ Patch (MPA) ประกอบด้วยแผ่นตัวนำบางมีรูปทรงทางเรขาคณิตอยู่บนแผ่นไดอิเล็กตริก อีกด้านหนึ่งของไดอิเล็กตริกจะเป็นพื้นกราวด์ แผ่นตัวนำจะเป็นตัวกำหนดการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งหาได้จากคาร์คำนวณรูปร่างลักษณะต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ลักษณะของสายอากาศแผ่นไมโครสตริบแบบ Patch (MPA)

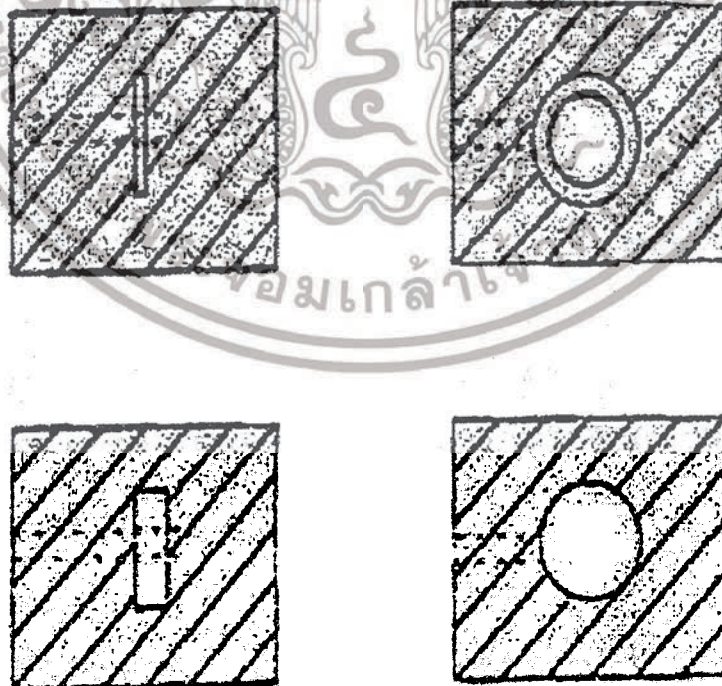
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2.2 สายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบ Slot ประกอบด้วยช่องซึ่งต่อกับเส้นไมโครสตริปช่องนี้จะมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า (กว้างหรือแคบก็ได้) วงกลม หรือวงแหวนดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ลักษณะของสายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบ Slot

2.5.2.3 สายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบ Travelling-wave (MTA) ประกอบด้วยตัวนำลักษณะเป็นคาบหรือมีความยาวสั้น TEM จะต่อกับความต้านทานที่เป็นภาระ โดยมีรูปร่างดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ลักษณะของสายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบ Travelling-wave (MTA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

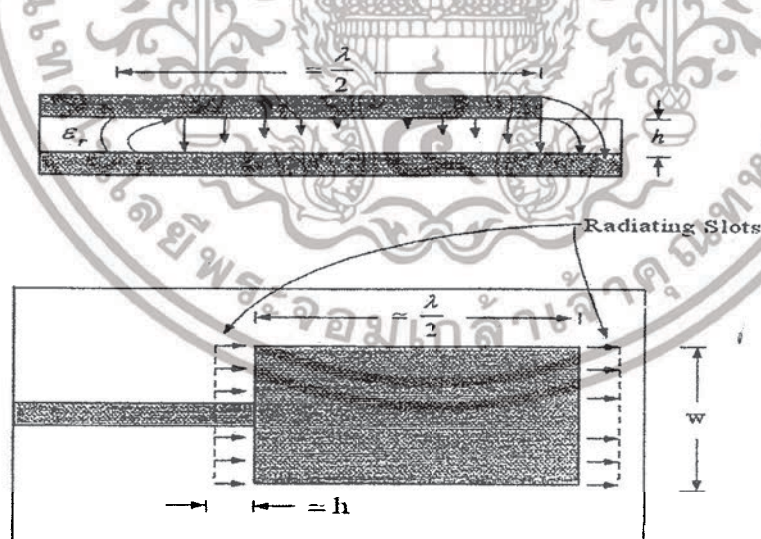
### 2.5.3 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริป

การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริปเกิดจากสนาม โป่งที่เกิดขึ้นระหว่างขอบของตัวนำของสายอากาศไมโครสตริปกับพื้นกราวด์ โดยการแพร่กระจายคลื่นอย่างไม่ต่อเนื่องของสายอากาศไมโครสตริปถูกทดสอบโดย Levin การวิเคราะห์ของเขาจะพิจารณากระแสที่ไหลในตัวนำ วิธีนี้จะใช้คำนวณหาค่า  $Q$  ของความถี่ที่สายอากาศไมโครสตริปตอบสนองถ้าพิจารณาสนาม

ในรูปแบบของช่องเปิด (Aperture form) โดยเปิดให้สายอากาศไมโครสตริปแยกจากพื้นกราวด์ใช้ในการวิเคราะห์หาค่า  $Q$  ทั้งหมด ค่า  $Q$  นี้จะเป็นฟังก์ชันที่เกิดจากความถี่ที่สายอากาศไมโครสตริปตอบสนองค่าความเป็นฉนวนและความหนาของฐานรอง ผลลัพธ์ทั้งทางทฤษฎี และปฏิบัติจะแสดงว่าที่ความถี่สูง การสูญเสียเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่น จะมีค่ามากกว่าการสูญเสียเนื่องมาจกตัวนำ และค่าความเป็นฉนวน

### 2.5.4 สนามที่แพร่กระจายของสายอากาศ

การแพร่กระจายสนามของสายอากาศจะเกิดขึ้นที่สนามรอบนอกระหว่างขอบของแผ่นตัวนำของสายอากาศและแผ่นกราวด์เฟลน (Ground Plane) ซึ่งสายอากาศไมโครสตริปจะมีลักษณะโครงสร้างดังที่ได้กล่าวมาแล้ว แผ่นตัวนำที่เป็นสายอากาศจะมีขนาดขึ้นอยู่กับความต้องการที่จะใช้งานที่จะออกแบบให้เหมาะสมกับงานนั้นๆ แผ่นกราวด์เฟลนที่ใช้เป็นลักษณะเป็นทองแดงกว้างทั้งแผ่น ในส่วนของตัวนำจะมองขอบของตัวนำโดยจะมองเหมือนสายอากาศปากเปิด (Aperture Antenna) ซึ่งถ้าเป็นสายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยมหนึ่งเอเลเมนต์จะมีสายอากาศปากเปิดสองช่องเปิด ซึ่งทั้งสองช่องเปิดนี้จะถูกแยกออกจากกันโดยความยาวของตัวสายอากาศซึ่งจะมีความยาวประมาณครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น ( $\lambda_g/2$ ) ของแผ่น ไดอิเล็กทริกซึ่งทั้งสองช่องเปิดจะวางตัวเป็นแบบอาร์เรย์กัน

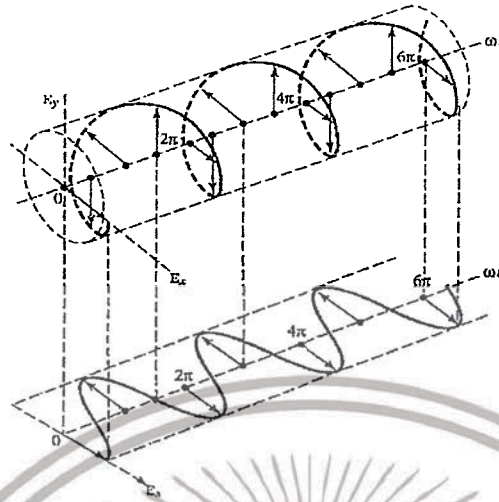


รูปที่ 2.14 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

### 2.5.5 การโพลาริซ

การโพลาริซได้ถูกกำหนดให้เป็นคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อธิบายทิศทางและขนาดสัมพัทธ์ของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา จะเป็นรูปที่แสดงการกวาดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งหนึ่งๆ เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป ในการสังเกตลักษณะการกวาดของสนามไฟฟ้าครั้งนี้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมองตามหลังคลื่นที่เดินทางออกไป เราอาจสรุปได้อีกนัยหนึ่งว่าการโพลาไรซ์จะเป็นรูปกราฟที่วาดขึ้นจากการกวาดของปลายลูกศรที่แสดงความเข้มสนามไฟฟ้าขณะหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.15



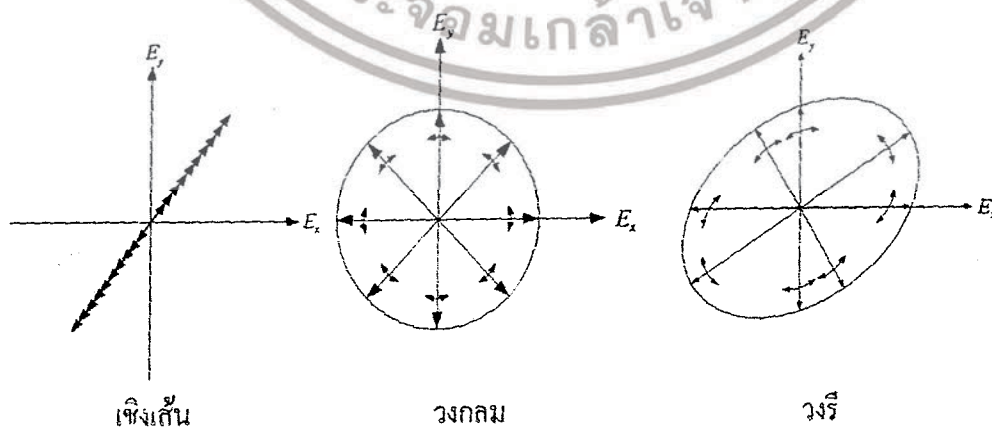
รูปที่ 2.15 ลักษณะการกวาดของลูกศรที่แสดงความเข้มสนามไฟฟ้าขณะหนึ่ง

จากรูปที่ 2.15 แสดงลูกศรที่แสดงสนามขนาดและทิศทางสัมพัทธ์ของสนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งคงที่ตำแหน่งหนึ่ง โดยลูกศรนี้จะมีความยาวและทิศทางที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาต่างๆ สำหรับการกวาดแบบวงรี เมื่อเรามองตามหลังคลื่นที่เดินทางไปในทิศทาง  $-Z$  ที่  $Z$  คงที่ค่าหนึ่งจะเห็นว่าเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป ลูกศรจะกวาดเป็นลักษณะวงรีในทิศทางตามเข็มนาฬิกา สำหรับการกวาดแบบเชิงเส้นจะเห็นว่าการกวาดของลูกศรเป็นลักษณะเส้นตรง

เราจะแบ่งการโพลาไรซ์เป็น 3 แบบ ด้วยกัน คือ

1. การโพลาไรซ์เชิงเส้น (Linear Polarization)
2. การโพลาไรซ์วงกลม (Circular Polarization)
3. การโพลาไรซ์วงรี (Elliptical Polarization)

ซึ่งสามารถอธิบายด้วยรูปดังแสดงในรูปที่ 2.16

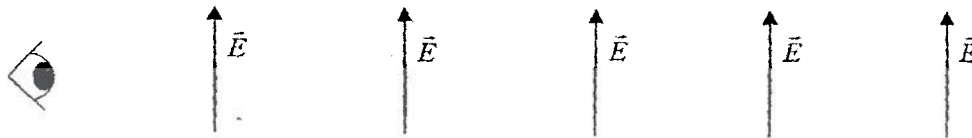


รูปที่ 2.16 การโพลาไรซ์แบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5.1 การโพลาไรซ์เชิงเส้น (Linear Polarization: LP) คือ คลื่นเดินทางไปโดยไม่มี การเปลี่ยนแปลงทิศของ E ตลอดการเดินทาง

- การโพลาไรซ์แนวตั้ง (Vertical Polarization: VP) ทิศของ E จะมีทิศทางแนวตั้งตลอด การเดินทาง



รูปที่ 2.17 การโพลาไรซ์แนวตั้ง

- การโพลาไรซ์แนวนอน (Horizontal Polarization: HP) ทิศของ E จะมีทิศในแนวนอน ตลอดการเดินทาง



รูปที่ 2.18 การโพลาไรซ์แนวนอน

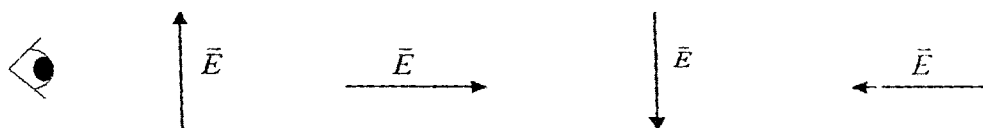
- การโพลาไรซ์แนวเฉียง Slant Polarization: SP) ทิศของ E จะเอียงทำมุมใดๆ ตลอด การเดินทาง



รูปที่ 2.19 การโพลาไรซ์แนวเฉียง

2.5.5.2 การโพลาไรซ์วงกลม (Circular Polarization: CP) คือคลื่นเดินทางไปโดยมีการ เปลี่ยนแปลงทิศของ E ตลอดเวลาโดยรักษาขนาดของ E ไว้คงที่

- การโพลาไรซ์เชิงวงกลมแบบหมุนขวา (Right-Hand Circular Polarization: RHCP) หรือ เรียกว่า การโพลาไรซ์ตามเข็มนาฬิกา (Clockwise Polarization: CWEP)



รูปที่ 2.20 การโพลาไรซ์เชิงวงกลมแบบหมุนขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การโพลาไรซ์เชิงวงกลมแบบหมุนซ้าย (Left-Hand Circular Polarization: LHCP) หรือเรียกว่า การโพลาไรซ์ทวนเข็มนาฬิกา (Anti-Clockwise Polarization: AWCP)



### รูปที่ 2.21 การโพลาไรซ์เชิงวงกลมแบบหมุนซ้าย

2.5.5.3 การโพลาไรซ์เชิงวงรี (Elliptical Polarization: EP) คือคลื่นเดินทางไป โดยมี การเปลี่ยนแปลงในทั้งทิศและขนาดของสนามไฟฟ้าตลอดการเดินทางแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด

- การโพลาไรซ์แบบหมุนขวา (Right-Hand Elliptical Polarization: RHEP) หรือเรียกว่า การโพลาไรซ์ตามเข็มนาฬิกา (Clockwise Polarization: CWEP)

- การโพลาไรซ์แบบหมุนซ้าย (Left-Hand Elliptical Polarization: LHEP) หรือเรียกว่า การโพลาไรซ์ทวนเข็มนาฬิกา (Anti-Clockwise Polarization: AWEP)

### 2.5.6 อัตราส่วนแกน (Axial Ratio)

การที่เราจะรู้ว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีการโพลาไรซ์แบบใด เราจะพิจารณาจากอัตราส่วน แกน (Axial Ratio หรือ AR) จากสูตร

$$AR = \frac{\text{Major Axis}}{\text{Minor Axis}} = \frac{|\vec{E}_r|_{\max}}{|\vec{E}_r|_{\min}} \quad (2.33)$$

โดยที่

$$1 \leq AR \leq \infty$$

2.5.6.1 (Linear Polarization: LP) สนามไฟฟ้าจะชี้ในทิศทางเดียวจะมีเฉพาะแกนหลักเท่านั้น

$$AR = \frac{\text{Major Axis}}{\text{Minor Axis}} = \infty$$

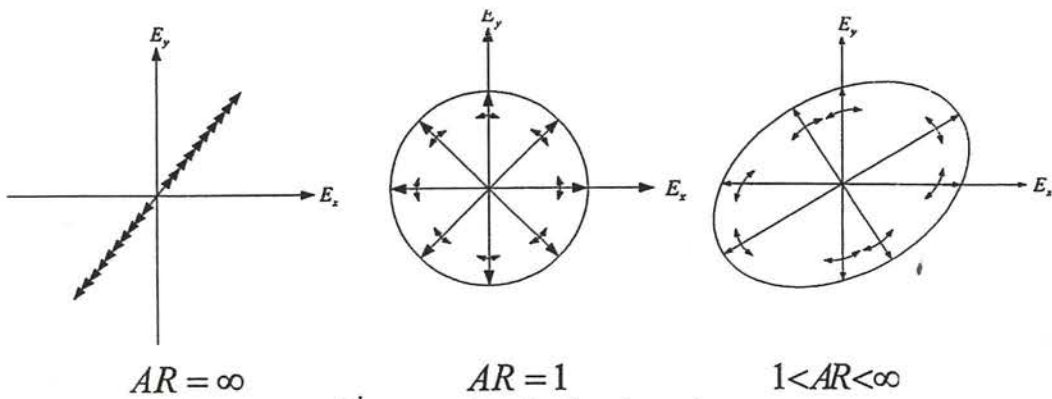
2.5.6.2 (Circular Polarization: CP) สนามไฟฟ้าเท่ากันตลอดคือแกนหลัก = แกนรอง

$$AR = \frac{\text{Major Axis}}{\text{Minor Axis}} = 1$$

2.5.6.3 (Elliptical Polarization: EP) สนามไฟฟ้ามีขนาดเท่าๆ กัน

$$AR = \frac{\text{Major Axis}}{\text{Minor Axis}} ; 1 \leq AR \leq \infty$$

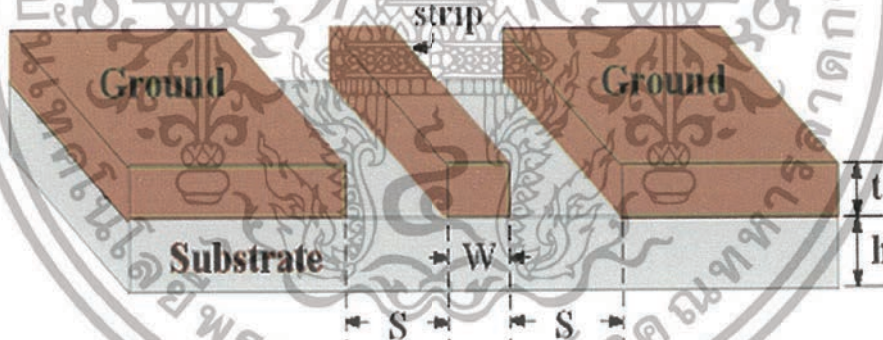
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 การโพลาไรซ์ในรูปแบบต่างๆ

2.5.7 สายนำสัญญาณระนาบร่วม

สายนำสัญญาณแบบระนาบร่วม (Coplanar waveguide หรือ CPW) ถูกคิดค้นโดย Wen โดยมีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.23 ซึ่งประกอบไปด้วยสตริปอยู่ตรงกลางด้านบนของฉับริต โดยมีความกว้างของสตริปคือ  $S$  ด้านข้างของสตริปเป็นระนาบกราวด์ ซึ่งมีความกว้างสตริป ถึงระนาบกราวด์คือ  $W$  และมีความหนาของฉับริตคือ  $h$  การใช้งานสายนำสัญญาณระนาบร่วมมีข้อดีที่การเชื่อมต่ออุปกรณ์กับระนาบกราวด์ทำได้ง่ายเนื่องจากระนาบเดียวกันกับสตริป การสร้างวงจรในรูปแบบของวงจรรวมนั้นการตัด ระนาบกราวด์ออกจะช่วยให้ลดค่าใช้จ่ายได้ และสิ่งสำคัญการกระจายของเส้นสนามไฟฟ้าในสายนำสัญญาณระนาบร่วมจะดีกว่าในไมโครสตริป



รูปที่ 2.23 สายนำสัญญาณระนาบร่วม

2.5.7.1 อิมพีแดนซ์คุณลักษณะเฉพาะ (Characteristic Impedance,  $Z_0$ ) ของเส้นไมโครสตริป

วิธีการป้อนสัญญาณแบบไมโครสตริป มีสมการในการออกแบบซึ่งจะต้องให้มีอิมพีแดนซ์คุณลักษณะเฉพาะตามต้องการ สามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$Z_0 = \frac{30\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \frac{K'(k)}{K(k)} \quad \Omega \quad (2.34)$$

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} \quad (2.35)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่อัตราส่วนของ 
$$\frac{K(k)}{K'(k)} = \frac{\pi}{\ln\left(2\frac{1+\sqrt{k'}}{1-\sqrt{k'}}\right)} \quad ; 0 \leq k \leq 0.707 \quad (2.36)$$

$$\frac{K(k)}{K'(k)} = \frac{1}{\pi} \ln\left(2\frac{1+\sqrt{k}}{1-\sqrt{k}}\right) \quad ; 0.707 \leq k \leq 1 \quad (2.37)$$

$$k = \frac{w}{w+2s} \quad (2.38)$$

$$k' = \sqrt{1-k^2} \quad (2.39)$$

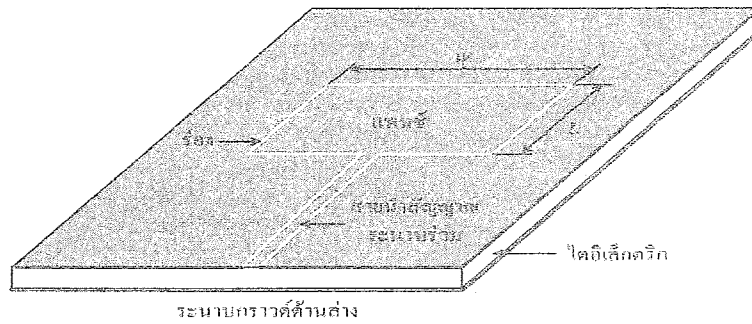
#### 2.5.7.2 สายอากาศแถบความถี่กว้าง

แม้ว่าสายอากาศไมโครสตริปเป็นสายอากาศแบบระนาบที่นิยมใช้งานมากที่สุดก็ตาม ข้อดีของสายอากาศไมโครสตริปก็คือมีแบนวิธที่แคบ ซึ่งปกติจะน้อยกว่า 3% ของค่าความถี่ใช้งาน และมีทิศทางการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปในทิศทางเดียว ส่วนสายอากาศที่จะกล่าวถึงในหัวข้อนี้เป็นสายอากาศบนโครงสร้างระนาบร่วม ซึ่งมีคุณสมบัติบางประการคล้ายกับสายอากาศไมโครสตริป ได้แก่ มีลักษณะเรียบแบน น้ำหนักเบา และมีโครงสร้างที่ง่าย แต่มีข้อดีที่เหนือสายอากาศไมโครสตริปคือ สามารถออกแบบให้มีแบนวิธที่กว้างมากได้ (อาจมากกว่า 100%) หรือมีหลายแถบความถี่ใช้งาน นอกจากนี้ยังสามารถออกแบบให้มีการแผ่คลื่นได้ทั้งทิศทางเดียวหรือสองทิศทาง

#### 2.5.7.3 สายอากาศแพทช์บนโครงสร้างระนาบ

สายอากาศแพทช์บนโครงสร้างระนาบร่วมประกอบด้วยแพทช์ล้อมรอบด้วยช่องว่าง และป้อนสายนำสัญญาณระนาบร่วมดังแสดงในรูปที่ 2. 24 โดยสายอากาศนี้เป็นแบบระนาบร่วม ความยาวโดยรอบของแพทช์จะประมาณหนึ่งความยาวคลื่น ถึงแม้โครงสร้างของสายอากาศจะคล้ายกับสายอากาศแบบห้วง แต่จากการศึกษาและจำลองการทำงานพบว่าสายอากาศมีคุณสมบัติคล้ายสายอากาศแพทช์มากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากสายอากาศมีความถี่เรโซแนนซ์ที่สัมพันธ์กับความยาว  $L$  ของแพทช์ ไม่ใช่ความยาวโดยรอบของห้วง นอกจากนี้ยังมีแบนวิธที่แคบเช่นเดียวกับสายอากาศแพทช์ไมโครสตริป คือแบนวิธที่ประมาณ 3.4 %

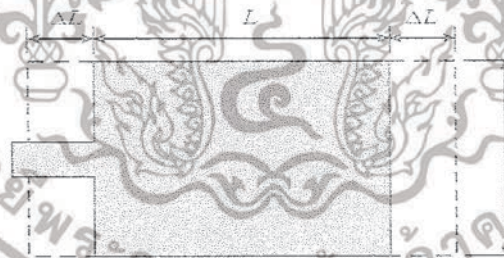
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 สายอากาศแพทช์บน โครงสร้างระนาบ

#### 2.5.7.4 สายอากาศแพทช์ไมโครสตริป

ในปัจจุบันสายอากาศแพทช์ไมโครสตริปมี โครงสร้างเช่นเดียวกับลายวงจรถบนแผ่นวงจรพิมพ์ ดังนั้นเทคโนโลยีการผลิตจึงเป็นเทคโนโลยีมาตรฐานที่ใช้ผลิตแผ่นวงจรพิมพ์นั่นเอง โครงสร้างสายอากาศแพทช์ไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมแสดงดัง รูปที่ 2.25 ประกอบไปด้วยแพทช์โลหะบางอยู่บนฉนวนที่มีค่าการสูญเสียต่ำและด้านล่างของฉนวนเป็นระนาบกราวด์ขนาดของแพทช์สี่เหลี่ยมขนาดของแพทช์สี่เหลี่ยมยาว  $L$  และกว้าง  $W$  สายอากาศแพทช์ไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมจะแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยมีทิศทางพุ่งขึ้นด้านบนและตั้งฉากกับแพทช์สี่เหลี่ยม ปรกติความยาว  $L$  จะมีค่าประมาณครึ่งความยาวคลื่นในสายอากาศไมโครสตริป ( $\lambda_g/2$ ) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้กำหนดความถี่ในการใช้งาน ส่วนความกว้าง  $W$  จะมีค่าน้อยกว่าครึ่งความยาวคลื่นในอากาศ ( $\lambda_0/2$ ) โดยจะเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมค่าความต้านทานการแผ่คลื่นของสายอากาศแพทช์สี่เหลี่ยม



รูปที่ 2.25 สายอากาศแพทช์ไมโครสตริป

โดยค่าความยาวของแพทช์จะสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$L = \frac{\lambda_0}{2\sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2\Delta L \quad (2.40)$$

สำหรับแผ่นคลื่น  $TM_{010}$  (Dominant mode) ค่าความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศไมโครสตริป จะเป็นฟังก์ชันของความยาว ดังนี้

$$(f)_{010} = \frac{1}{2L\sqrt{\epsilon_r}\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} = \frac{c}{2L\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.41)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

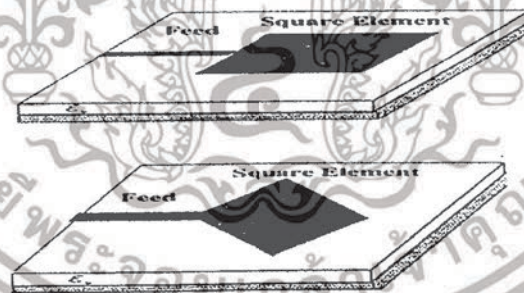
สำหรับกรณีที่ทราบค่าความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศที่เราจะสามารถคำนวณหาความกว้างของสายอากาศแพย์ไมโครสตริป รูปสี่เหลี่ยมได้ดังนี้

$$W = \frac{1}{2 f_r \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{\lambda_0}{2} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (2.42)$$

### 2.5.7.5 เทคนิคการป้อนสัญญาณสายอากาศไมโครสตริป (Excitation Techniques)

สายอากาศไมโครสตริปจะมีการแพร่กระจายคลื่นของเอเลเมนต์ในแต่ละด้านของสายอากาศจะมีสารไดอิเล็กตริกและมีวิธีการป้อนสัญญาณสองวิธีคือ การป้อนสัญญาณแบบสายส่งไมโครสตริป (Microstrip Feed) และการป้อนสัญญาณแบบสายส่งโคแอกเชียล (Coaxial Feed) ในการป้อนสัญญาณจะต้องป้อนให้เกิดความสมดุล (Matching) เสมอระหว่างสายป้อนสัญญาณกับตัวสายอากาศเพราะอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศกับสายป้อนสัญญาณจะต้องมีค่าเท่ากันประมาณ 50 โอห์ม ซึ่งจะเกิดการสมดุล (Matching) ได้นั้นจะต้องเลือกตำแหน่งของสายป้อนสัญญาณ (Feed Line) ด้วยตำแหน่งการป้อนสัญญาณทั้งการป้อนสัญญาณแบบสายส่งไมโครสตริป และการป้อนสัญญาณแบบสายส่งโคแอกเชียล เราสามารถกล่าวสรุปวิธีการป้อนทั้งสองแบบได้ดังนี้

การป้อนสัญญาณทั้งการป้อนสัญญาณแบบสายส่งไมโครสตริป (Microstrip Feed) การป้อนสัญญาณแบบสายส่งไมโครสตริปเราสามารถแบ่งวิธีการป้อนสัญญาณได้สองวิธีคือ วิธีการป้อนสัญญาณที่ศูนย์กลางของแผ่นสายอากาศไมโครสตริป (Center Feed Microstrip Antennas) และ วิธีการป้อนสัญญาณแบบด้านข้างของแผ่นสายอากาศไมโครสตริป (Off-Center Feed Microstrip Antennas) ดังแสดงในรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.26 การป้อนสัญญาณแบบสายส่งไมโครสตริป

ตำแหน่งของจุดป้อนสัญญาณจะเป็นตัวกำหนดวิธีการกระตุ้นให้กับสายอากาศ เช่น การป้อนแบบจุดศูนย์กลางของแผ่นสายอากาศจะต้องทำการทดลองเพื่อที่จะหาตำแหน่งที่มีอิมพีแดนซ์ของสายป้อน 50 โอห์ม ซึ่งอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายป้อนเราสามารถวัดค่าออกมาได้ เมื่อนำสายป้อนมาป้อนให้กับสายอากาศแล้วจะต้องเกิดการสมดุลขึ้นระหว่างสายป้อนสัญญาณกับแผ่นตัวนำที่เป็นสายอากาศในรูปแบบเฉพาะของการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศสามารถป้อนได้หลายวิธีสนามของสายอากาศเปลี่ยนแปลงตามความกว้างของสายส่งแบบไมโครสตริปอินพุทอิมพีแดนซ์ก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วยในรูปแบบเฉพาะของการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศสามารถป้อนได้หลายวิธีสนามของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงตามความกว้างของสายส่งแบบไมโครสตริปอินพุทอิมพีแดนซ์ก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วยในการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของสายป้อน (Feed Line) จะมีผลกระทบบ้างเล็กน้อย โดยจะทำให้ความถี่เกิดการรีโซแนนซ์ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงระหว่างสายป้อนสัญญาณ และสายอากาศ แต่ในส่วนของกาแพร์กระจายคลื่นหรือแพทเทิร์นของสายอากาศจะไม่มีเปลี่ยนแปลง ถ้าความถี่รีโซแนนซ์มีการเลื่อนออกไปสามารถชดเชยได้โดยการเปลี่ยนแปลงขนาดของแผ่นสายอากาศให้มีขนาดเล็กลง

## 2.6 แบนด์วิธ (Bandwidth)

แบนด์วิธของสายอากาศถูกกำหนดให้เป็นช่วงของความถี่ ที่สายอากาศมีคุณสมบัติอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดให้ อาจคิดว่าเป็นช่วงความถี่ที่สายอากาศมีคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ อินพุท, อิมพีแดนซ์, แพทเทิร์น, บีมวิธ, โพลาริเซชัน, ระดับของไซด์โลบ, เกน, ประสิทธิภาพของการแผ่กระจายคลื่น ฯลฯ อยู่ค่าที่ใช้งานได้ คือไม่ต่างกับคุณสมบัติที่วัดที่ความถี่ตรงกลางที่ออกแบบ จนทำให้คุณสมบัติเหล่านี้เสียไปจากข้อกำหนดหรือมาตรฐานสำหรับสายอากาศแบนด์กว้างมักจะคิดเป็นอัตราส่วนของความถี่ที่ใช้งานได้ด้านสูงต่อความถี่ที่ใช้งานได้ด้านต่ำยกตัวอย่างเช่น แบนด์วิธ 10:1 แสดงว่าความถี่ที่ใช้งานได้สูงมีค่ามากกว่าความถี่ที่ใช้งานได้ด้านต่ำอยู่ 10 เท่า สำหรับสายอากาศแบนด์แคบ ที่จะเป็นเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างของความถี่ (ความถี่ด้านสูงลบด้วยความถี่ด้านต่ำ) หารด้วยความถี่กลางของแบนด์นั้น เช่น แบนด์วิธ 5% แสดงว่าผลต่างของความถี่ของช่วงการทำงานของสายอากาศเป็น 5% ของความถี่กลางของแบนด์วิธนั้น เนื่องจากคุณสมบัติต่างๆ ของสายอากาศ (ได้แก่ อินพุทอิมพีแดนซ์, แพทเทิร์น, เกน, โพลาริเซชัน ฯลฯ) ไม่เปลี่ยนแปลงตามความถี่ในลักษณะเดียวกันทั้งหมด ดังนั้นจึงไม่สามารถกำหนดแบนด์วิธตามคุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่งแต่เพียงอย่างเดียวได้ จึงต้องมีการกำหนดข้อบังคับให้เป็นไปตามการประยุกต์การใช้งานแต่ละอย่างไป ปกติแล้วคุณสมบัติของแพทเทิร์นกับอิมพีแดนซ์แบนด์วิธจึงมักถูกใช้เป็นตัวกำหนดแบนด์วิธของสายอากาศ นอกจากนี้แบนด์วิธของ เกน, ระดับของไซด์โลบ, บีมวิธ, โพลาริเซชัน จะมีแบนด์วิธค่าเดียวกับแพทเทิร์นแบนด์วิธ ในขณะที่แบนด์วิธของอินพุทอิมพีแดนซ์ และประสิทธิภาพของการแผ่กระจายคลื่น จะเป็นค่าเดียวกับอิมพีแดนซ์แบนด์วิธ

## 2.7 เทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์

ปัจจุบันความต้องการในการเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เข้าด้วยกันเพื่อเพิ่มความสะดวก สบายในการใช้งาน เริ่มมีสูงขึ้นไม่ว่าจะเป็นเครื่องข่ายในอาคารสำนักงานหรือ การเชื่อมต่อเครือข่ายเพื่อความบันเทิงภายในแหล่งที่พักอาศัย โดยมีเทคโนโลยีไร้สายที่นิยมให้เพื่อการเชื่อมต่ออุปกรณ์ดังกล่าวประกอบด้วย Wi-Fi, Bluetooth และ เทคโนโลยี Ultra wideband (UWB) ซึ่งคาดว่าจะเข้ามาเปลี่ยนแปลงข้อมูลครั้งใหญ่ ด้วยความสามารถที่เหนือกว่าเทคโนโลยีเดิมอย่าง Wi-Fi หรือ Bluetooth อย่างเห็นได้ชัด อัลตราไวด์แบนด์ถือได้ว่าเป็นเทคโนโลยีไร้สายใหม่ที่เพิ่งได้รับอนุญาตให้นำมาทดลองนำมาใช้ใน ทางการค้าทั่วไป โดยเทคโนโลยีนี้แตกต่างจากการส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุที่มีกันอยู่ในปัจจุบันที่เป็นการส่งความถี่แคบในขณะที่ อัลตราไวด์แบนด์จะเป็นการส่งข้อมูลพัลส์สั้นๆ ผ่านความถี่กว้างซึ่งให้เป็นการ โอนข้อมูลจำนวนมากเป็นระยะทางสั้นและไม่สิ้นเปลืองพลังงาน เทคโนโลยีการสื่อสารระบบอัลตราไวด์แบนด์ จะมีลักษณะและจุดเด่นหลายประการดังนี้

### 2.7.1 เป็นระบบที่ไม่ต้องใช้คลื่นพาห้ เรดิโอฟรีแควนซี (Radio Frequency, RF)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมือนกับระบบอื่นเนื่องจากการส่งสัญญาณของระบบอัลตราไวด์แบนด์เป็นการส่งสัญญาณแบบพัลส์ (Pulse) โดยจะเป็นพัลส์แคบๆ ขนาดประมาณ 0.2 nS (นาโนวินาที) จึงทำให้มีความหนาแน่นแถบความถี่สเปกตรัมเด้นซิตี (Spectrum density) ที่กว้างมาก และด้วยเหตุของการส่งสัญญาณแบบพัลส์ทำให้การส่งข้อมูลจึงมีลักษณะเป็นแบบการส่งเป็นดิจิทัลโดยด้านรับจะสืบหาดีเทกชัน (detection) รูปคลื่นแล้วทำการแปลงเป็นข้อมูลได้

### 2.7.2 ส่งข้อมูลได้ในปริมาณมาก

เนื่องจากการที่อัลตราไวด์แบนด์มีขนาดแบนด์วิดท์ที่กว้างมากทำให้สามารถรองรับการส่งข้อมูลได้มาก โดยอัลตราไวด์แบนด์จะมีความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุด 480 Mbps (เมกะบิตต่อวินาที) ที่ระยะทางประมาณ 2 เมตรและความเร็ว 110 Mbps (เมกะบิตต่อวินาที) ที่ระยะทางประมาณ 10 เมตร การที่ส่งข้อมูลในปริมาณมากเมื่อเทียบกับระบบอย่างไวด์ไฟด์ที่สามารถรับส่งข้อมูลที่สูงสุดที่ 54 Mbps (เมกะบิตต่อวินาที) ซึ่งมากกว่า 6 เท่าและหากนำไปเปรียบเทียบกับบลูทูธ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความนิยมสำหรับเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคลในปัจจุบันจะเร็วกว่าถึง 100 เท่า

### 2.7.3 การที่ใช้กำลังในการส่ง ที่ใช้น้อยมาก

จากการที่ส่งสัญญาณที่เป็นแบบพัลส์แคบจึงทำให้ควัตัไซเคิล (duty cycle) มีค่าที่ต่ำจึงเป็นสาเหตุให้ระบบนี้มีการใช้กำลังที่ต่ำไปด้วย และยังปลอดภัยสำหรับบุคคลที่ใช้งานด้วย

### 2.7.4 เป็นระบบที่มีความซับซ้อนน้อยและมีต้นทุนต่ำ

ความซับซ้อนและต้นทุนที่ต่ำของระบบอัลตราไวด์แบนด์ เกิดจากลักษณะของเบสแบนด์ (baseband) ของการส่งสัญญาณที่ไม่เหมือนกับระบบการส่งสัญญาณวิทยุแบบอื่นๆ โดยที่เครื่องส่งจะทำการสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณที่น้อยมากๆ ในโดเมนทางเวลาซึ่งสามารถที่จะแพร่กระจายคลื่นออกไปโดยที่ไม่ต้องใช้ในการเพิ่มความถี่ทางคลื่นวิทยุหรือคลื่นพาห้รวมเข้าไปสำหรับส่วนของการรวมสัญญาณวิทยุนั้นจะเป็นการนำเอาสัญญาณเบสแบนด์รวมเข้าไปกับคลื่นพาห้เพื่อย้ายสัญญาณไปยังแถบความถี่ที่มีคุณลักษณะในการแพร่กระจายคลื่นตามต้องการ ซึ่งสัญญาณจะถูกแพร่กระจายได้ดีโดยปราศจากความต้องการในการเพิ่มการเปลี่ยนแปลงความถี่ให้สูงขึ้น และการเพิ่มกำลังให้สูงขึ้น โดยในกระบวนการกลับกันการแปลงความถี่ลง และตัวผลิตความถี่

### 2.7.5 มีระดับของสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน

เนื่องจากความหนาแน่นของพลังงานต่ำและลักษณะเฉพาะในการสุ่มเทียบ ของสัญญาณส่งจึงทำให้สัญญาณแบบอัลตราไวด์แบนด์นี้มีลักษณะคล้ายกับสัญญาณรบกวนซึ่งทำให้การตรวจหาสัญญาณทำได้ยากและ ยังปรากฏในในว่าเอกสารทางวิจัยว่าการส่งสัญญาณแบบแถบกว้างยั้งนั้นไม่ก่อให้เกิดผลการแทรกสอดของสัญญาณ ที่มีต่อระบบคลื่นความถี่วิทยุอื่นๆ เนื่องจากสัญญาณของระบบแถบกว้างยั้งนั้นมีการแพร่กระจายกำลังงานในระดับต่ำโดยอยู่ในระดับของสัญญาณรบกวนระบบกวน (noise floor) จึงทำให้ระบบอื่นมองว่าสัญญาณแบบแถบกว้างยั้งนี้คือสัญญาณรบกวนเลยถูกกำจัดออกจากพิจารณาของระบบ

### 2.7.6 มีความต้านทานต่อคลื่นหลายวิถี (multipath)

การรบกวนของสัญญาณใกล้เคียงในระบบการมอดูเลตทางเวลา แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะทำการส่งด้วยข้อมูลที่ความเร็วสูงในระดับหลักร้อยเมกะบิตต่อวินาที อีกทั้งยังถูกประเมินเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของจำนวนผู้ใช้งาน ในระบบการสื่อสารแบบคลื่นวิทยุแบบอิมพัลส์ว่าได้มากกว่าระบบทั่วไปและเนื่องด้วยมีแบนด์วิดท์ของสัญญาณส่งที่กว้างนั้นทำให้เกิดความแตกต่างทางความถี่อย่างมากซึ่งรวมรวมเข้ากับการส่งสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยังมีการมอดูเลตทางเวลานั้นมีความต้านทานต่อการแพร่กระจายของคลื่นหลายวิธีรุนแรงและการรบกวนหรือแทรกสอดสัญญาณความถี่ใกล้เคียงได้

### 2.7.7 มีความละเอียดสูงในโดเมนเวลา

สำหรับการกำหนดตำแหน่งและการประยุกต์ใช้ในระบบติดตาม (tracking) ด้วยพัลส์ที่มีลักษณะทางโดเมนเวลาที่แคบมาก ๆ หรืออาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าเป็นพัลส์ที่มีความกว้างของ สัญญาณน้อยมาก ๆ นั้นหมายถึง ระบบคลื่นวิทยุแบบแถบกว้างยังมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถควบคุมจังหวะและคำนวณเวลาได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากกว่าระบบดาวเทียมบอกพิกัด (GPS) และระบบคลื่นวิทยุอื่นๆ อีกทั้งด้วยคุณสมบัติในการทะลุผ่านวัสดุได้จึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยังที่มีการมอดูเลตทางเวลาถูกนำมาใช้งานในระบบเรดาร์ระยะสั้น เช่น ในการช่วยเหลือชีวิตและปฏิบัติการป้องกันอาชญากรรม เช่นเดียวกับการใช้ในงานสำรวจและในอุตสาหกรรมการทำเหมืองเป็นต้น

### 2.7.8 การนำไปใช้งานของระบบสื่อสาร

อัลตราไวด์แบนด์ใช้เทคนิคที่ทำให้แบนด์วิดท์ (RF) กว้างการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ เชื่อมต่อกลายเป็นสิ่งเป็นไปได้แบนด์วิดท์ที่นำมาใช้ที่เปรียบเทียบกับความถี่ต่ำโดยจะทำให้ลดลงเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน ในอาคารเป็นความสำคัญของการส่งของอัลตราไวด์แบนด์สำหรับทำให้คลื่นมีขนาดที่เล็กลงแต่มีแบนด์สูง โดยใช้พลังงานที่ต่ำในส่วนของ การสูญเสีย (losses) ก็จะทำให้เกิดน้อยที่สุด และต้องการที่จะแพร่กำลังงาน

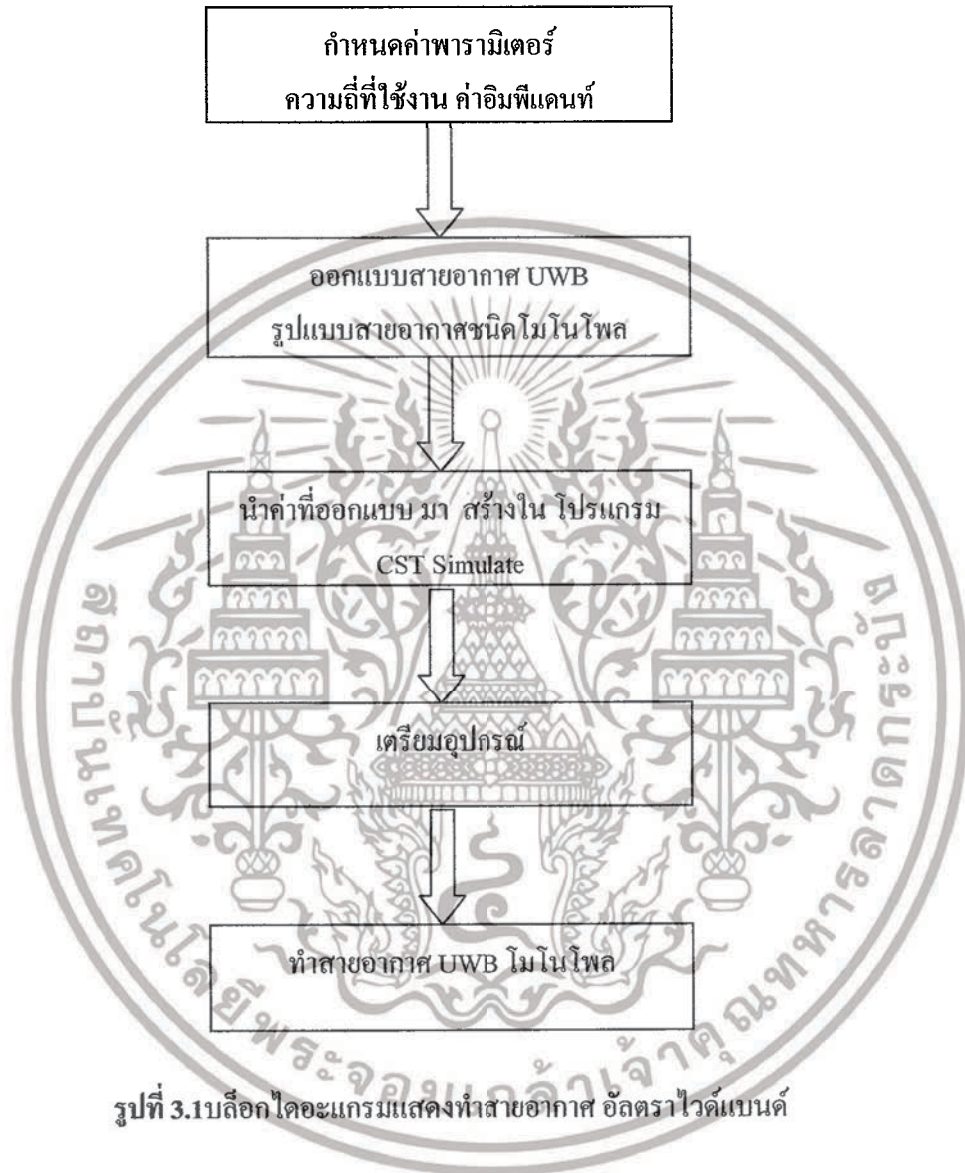
อัลตราไวด์แบนด์สามารถทำงานในระดับที่มีการรบกวนสูงได้โดยส่งข้อมูลระดับที่มีการขยายคุณสมบัติของการแพร่กระจายกำลังต่ำและแบนด์กว้าง ด้วยวิธีนี้คลื่นวิทยุอัลตราไวด์แบนด์จึงสามารถทำงานในสเปกตรัมเดียวกันกับคลื่นวิทยุแวนโรลแบนด์ได้โดยไม่รบกวนกันทำการจำกัดหรือลดโลบที่ไม่ต้องการในส่วนของความห่างของอาเรย์ สายอากาศเมื่อใช้ร่วมกับการส่งแบบแวนโรลแบนด์และร่วมไปกับรูปคลื่นของ อัลตราไวด์แบนด์ ด้วยเหตุนี้จึงใช้สเปกตรัมให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุดเหมือนกันการนำสเปกตรัมกลับมาใช้อีกครั้งหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### การออกแบบและการสร้างสายอากาศ UWB

ในการออกแบบสายอากาศ UWB จะประกอบไปด้วยสองส่วน คือการออกแบบสายอากาศ และกระบวนการสร้าง โดยจะมีขั้นตอนของการปฏิบัติงานดังที่แสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1บล็อกไดอะแกรมแสดงทำสายอากาศ อัลตราไวด์แบนด์

#### 3.1 การออกแบบสายอากาศ

ในการออกแบบสายอากาศขั้นต้นแรกเราจะต้องมีการกำหนดหรือหาค่าพารามิเตอร์ ต่างๆที่ใช้ในการออกแบบก่อนจากนั้นจึงทำการออกแบบสายอากาศแล้วจึงนำไปสู่กระบวนการสร้างสายอากาศ

สำหรับการออกแบบสายอากาศ เลือกใช้การจำลองของวัสดุฐานรอง (Substrate) แบบ FR-4 ซึ่งใช้พารามิเตอร์ดังนี้

ค่าคงตัวไดอิเล็กทริก เท่ากับ 4.3

ความหนาวัสดุฐานรอง (h) เท่ากับ 1.6 mm

ค่าความหนาของแผ่นตัวนำ (t) เท่ากับ 0.05 mm

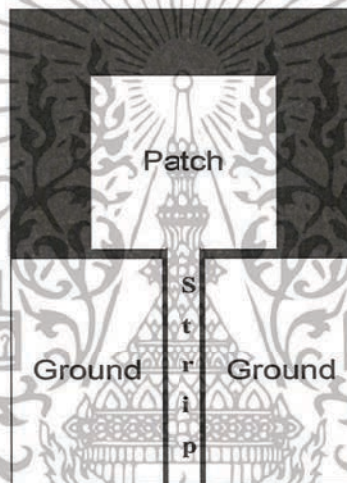
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 กำหนดเป้าหมายของสายอากาศให้เหมาะสมกับสายอากาศ คือในที่นี้สายอากาศที่ต้องการ ออกแบบให้ใช้งานได้

ตารางเป้าหมายของสายอากาศที่ต้องการสร้าง

Bandwidth	= 3.1 – 10.6 GHz
Center frequency	≅ 6.85 GHz
$S_{11}$	≤ -10 dB
Input Impedance ( $Z_{in}$ )	≅ 50 $\Omega$

3.1.2 โครงสร้างสายอากาศพื้นฐานระนาบร่วม

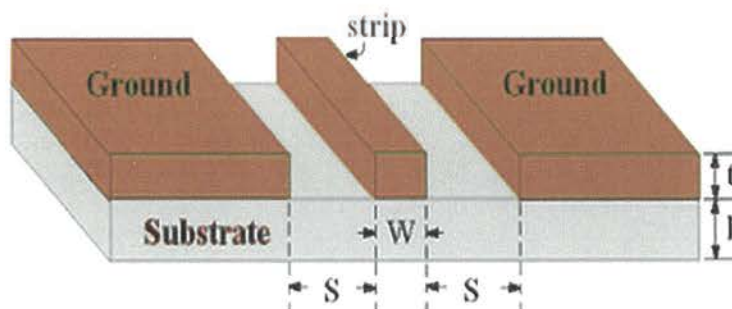


รูปที่ 3.2 โครงสร้างพื้นฐานสายอากาศไมโครสตริป ป้อนด้วยเส้นไมโครสตริประนาบกราวด์ร่วม

3.1.3 การกำหนดค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไมโครสตริประนาบร่วม ( $Z_{in}$ )

ในการการกำหนดค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศเพื่อให้เหมาะสมกับ อิมพีแดนซ์ของสายอากาศสายส่ง(ที่ต่อกับสายอากาศ) ประมาณ 50 ohm ดังนั้นเราจึงออกแบบสายอากาศให้ค่าอิมพีแดนซ์ ( $Z_{in}$ ) ประมาณ 50 ohm

3.1.4 อิมพีแดนซ์คุณลักษณะเฉพาะ (Characteristic Impedance,  $Z_0$ )



รูปที่ 3.3 ไมโครสตริประนาบร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$W$	=	3.00 mm
$S$	=	1.85 mm
Relative Dielectric Constant $\epsilon_r$	=	4.3

$$Z_0 = \frac{30\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \frac{K'(k)}{K(k)} \quad \Omega \quad (3.1)$$

โดยที่

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} \quad (3.2)$$

แทนค่า

$$\begin{aligned} \epsilon_{eff} &= \frac{4.3 + 1}{2} \\ \epsilon_{eff} &= 1.65 \\ k &= \frac{w}{w + 2s} \end{aligned} \quad (3.3)$$

แทนค่า

$$\begin{aligned} k &= \frac{3}{3 + 2(1.85)} \\ k &= 0.448 \end{aligned} \quad (3.4)$$

แทนค่า

$$k' = \sqrt{1 - k^2} \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned} k' &= \sqrt{1 - 0.448^2} \\ k' &= 0.894 \end{aligned} \quad (3.5)$$

$$\frac{K(k)}{K'(k)} = \frac{1}{\pi} \ln \left( 2 \frac{1 + \sqrt{k}}{1 - \sqrt{k}} \right) ; 0.707 \leq k \leq 1 \quad (3.5)$$

แทนค่า

$$\frac{K(k)}{K'(k)} = \frac{1}{\pi} \ln \left( 2 \frac{1 + \sqrt{0.894}}{1 - \sqrt{0.894}} \right)$$

$$\frac{K(k)}{K'(k)} = 1.362$$

$$Z_0 = \frac{30\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \frac{K'(k)}{K(k)} \quad (3.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าลงในสมการที่ 3.1

$$Z_0 = \frac{30\pi}{1.65} \times 0.734$$

$$Z_0 = 41.92 \Omega$$

### 3.1.5 ขนาดของแผ่นแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

$$W = \frac{1}{2 f_r \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{\lambda_0}{2} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}}$$

ความกว้างด้าน

$$W \cong \frac{\lambda_0}{2} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}}$$

โดยที่

$$= \frac{0.0438}{2} \sqrt{\frac{2}{4.3+1}}$$

$$= 16 \text{ mm}$$

ดังนั้น

$$w = 16 \text{ mm}$$

ความสูงด้าน

$$L = \frac{\lambda_0}{2\sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2\Delta L$$

$$L = \frac{0.0438}{2\sqrt{5.3}} - 2(0)$$

ดังนั้น

$$L = 18 \text{ mm}$$

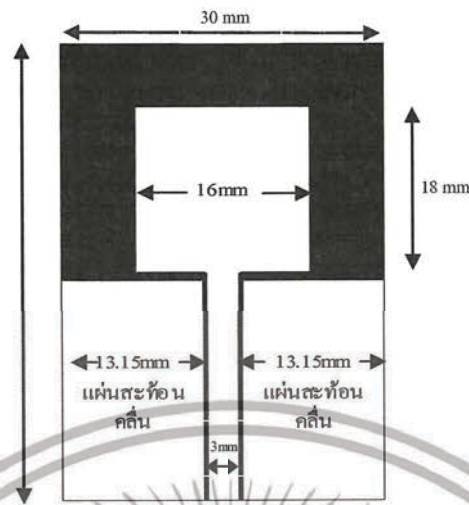
### 3.1.6 ขนาดของแผ่นสะท้อนคลื่น

ในอุดมคติขนาดของแผ่นสะท้อนคลื่น ต้องมีขนาดเป็นอนันต์ แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถทำได้ จึงต้องมีขนาดใหญ่มากกว่าแผ่นแพร่กระจายคลื่น อย่างน้อย 0.5λ

$$\text{ถ้าความยาวคลื่นที่ความถี่กลาง} \quad \frac{3 \times 10^8}{6.85 \times 10^9} \times 0.5 = 21.9 \text{ mm}$$

ดังนั้นขนาดของแผ่นสะท้อนคลื่นมากกว่า 21.9 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

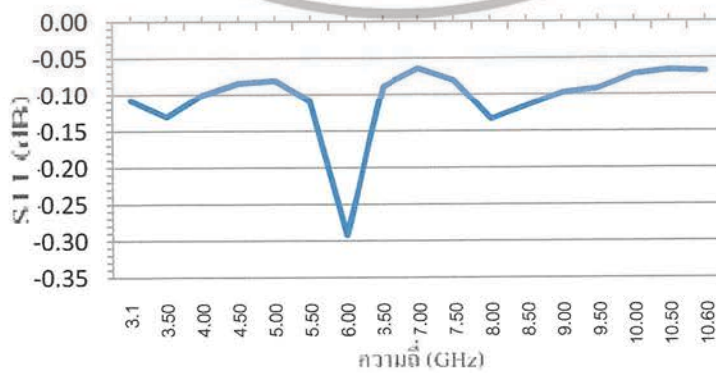


รูปที่ 3.4 โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริปป้อนด้วยเส้นไมโครสตริประนาบกราวด์ร่วม  
นำโครงสร้างที่ได้ ทำการจำลองแบบจากโครงสร้างต้น ไปวิเคราะห์หาค่าต่างๆ ใน CST  
MICROWAVE STUDIO ซึ่งค่าที่เราสนใจเป็นอันดับแรกคือ ค่า  $S_{11}$  และทำการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ  
เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสม



รูปที่ 3.5 โครงสร้างเริ่มต้นของสายอากาศในโปรแกรม CST

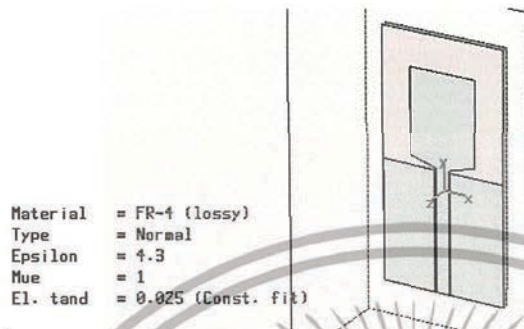
กราฟแสดงสัมพันธระหว่าง ความถี่ GHz กับ  $S_{11}$  (dB)



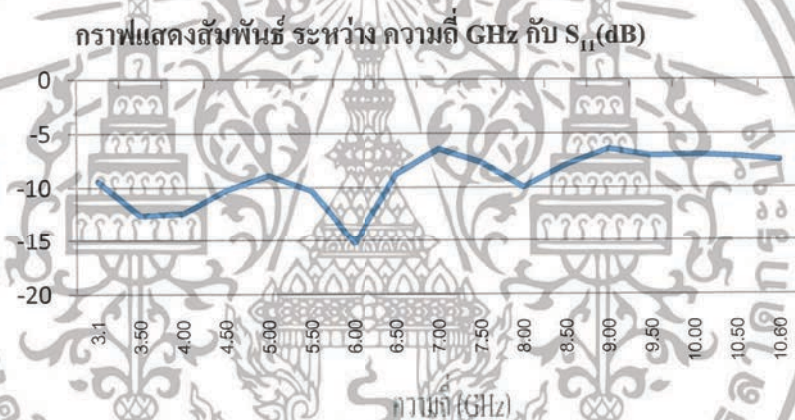
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6 ผลการ Simulated ของโปรแกรม CST เพื่อดูค่า  $S_{11}$  ของค่าเริ่มต้น

จากรูปที่ 3.6 จะเห็นว่าค่า  $S_{11}$  ในย่านความถี่ 3.1 – 10.6 GHz ยังไม่ต่ำกว่า -10 dB ทั้งหมด จึงได้ทำการปรับค่าพารามิเตอร์ โดยปรับให้เป็นมุม ทำมุมกับแกน Y ในระนาบ X- Y ดังรูป โดยให้ด้าน  $L = L_0 - 1$  โดย  $L_0$  คือค่าเริ่มต้น เท่ากับ 18mm

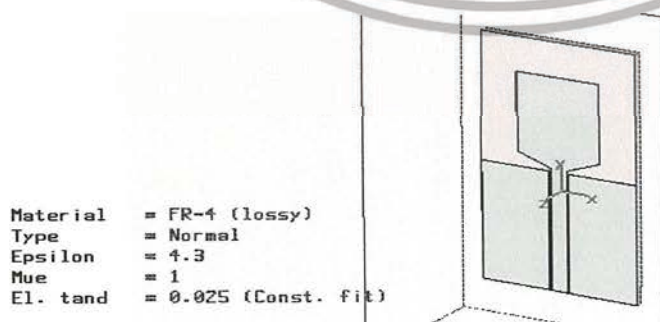


รูปที่ 3.7 โครงสร้างที่ถูกปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์  $L=L_0-1$  ของสายอากาศในโปรแกรม CST



รูปที่ 3.8 ผลของ  $S_{11}$  ของการ Simulated ของโปรแกรม CST

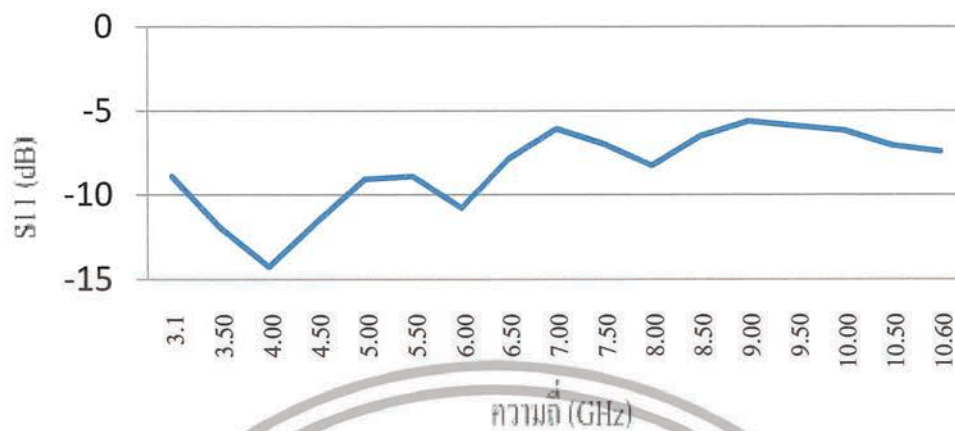
จากรูปที่ 3.8 จะเห็นว่าเมื่อเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์  $L = L_0 - 1$  ซึ่งค่า  $S_{11}$  ในย่านความถี่ 3.1 – 10.6 GHz ยังไม่ต่ำกว่า -10 dB ทั้งหมด จึงได้ทำการปรับค่าพารามิเตอร์ โดยปรับให้เป็นมุมทำมุมกับแกน Y ในระนาบ X- Y ดังรูป โดยให้ด้าน  $L = L_0 - 2$  โดย  $L_0$  คือค่าเริ่มต้น เท่ากับ 18 mm



รูปที่ 3.9 โครงสร้างที่ถูกปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์  $L=L_0-2$  ของสายอากาศในโปรแกรม CST

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงสัมพัทธ์ ระหว่าง ความถี่ GHz กับ  $S_{11}$ (dB)

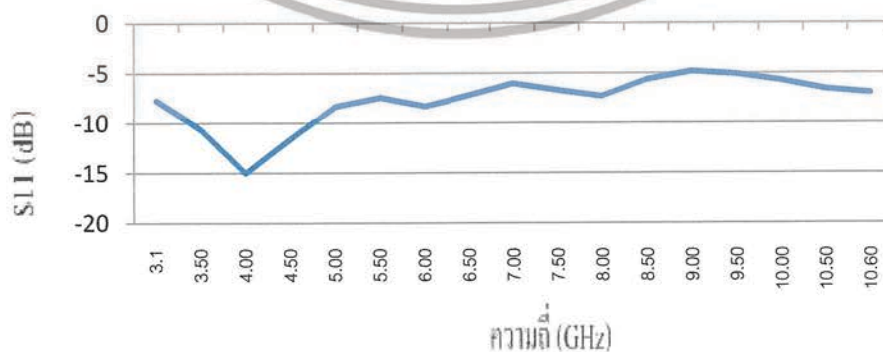


รูปที่ 3.10 ผลของ  $S_{11}$  ของการ Simulated ของโปรแกรม CST เมื่อเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์  $L=L_0-2$  จากรูปที่ 3.10 จะเห็นว่าค่า  $S_{11}$  ในย่านความถี่ 3.1 – 10.6 GHz ยังไม่ต่ำกว่า -10 dB ทั้งหมด จึงได้ทำการปรับค่าพารามิเตอร์ โดยปรับให้เป็นมุมคังรูป 3.11 โดยให้ด้าน  $L=L_0-3$  โดย  $L_0$  คือค่าเริ่มต้น



รูปที่ 3.11 โครงสร้างที่ถูกปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์  $L=L_0-3$  ของสายอากาศในโปรแกรม CST

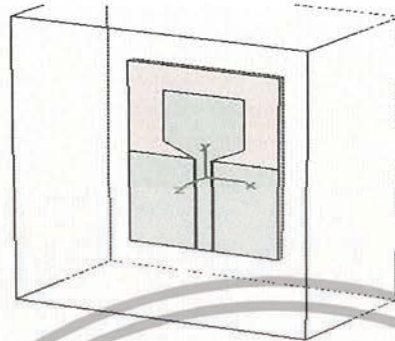
กราฟแสดงสัมพัทธ์ ระหว่าง ความถี่ GHz กับ  $S_{11}$ (dB)



รูปที่ 3.12 ผลของ  $S_{11}$  ของการ Simulated ของโปรแกรม CST เมื่อเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์  $L=L_0-3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

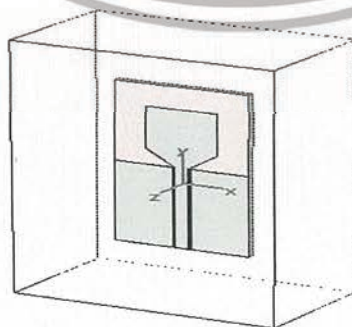
จากรูปที่ 3.12 จะเห็นว่าค่า  $S_{11}$  ในย่านความถี่ 3.1 – 10.6 GHz ยังไม่ต่ำกว่า -10 dB ทั้งหมด จึงได้ทำการปรับค่าพารามิเตอร์ โดย ปรับให้เป็นมุมค้งรูป ที่ 3.13 โดยให้ด้าน  $L = L_0 - 4$  โดย  $L_0$  คือค่าเริ่มต้น



รูปที่ 3.13 โครงสร้างที่ถูกปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์  $L=L_0-4$  ของสายอากาศในโปรแกรม CST  
กราฟแสดงสัมพันธ ระหว่าง ความถี่ GHz กับ  $S_{11}$ (dB)

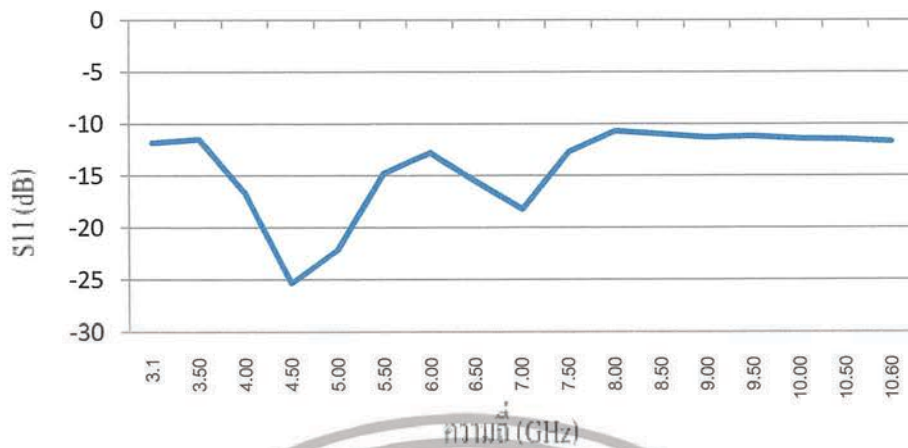


รูปที่ 3.14 ผลของ  $S_{11}$  ของการ Simulated ของ โปรแกรม CST เมื่อเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์  $L=L_0-4$  จากรูปที่ 3.14 ค่า  $S_{11}$  ในย่านความถี่ 3.1 – 10.6 GHz ยังไม่ต่ำกว่า -10 dB ทั้งหมด จึงได้ทำการปรับค่าพารามิเตอร์ โดย ปรับให้เป็นมุมค้งรูป ที่ 3.15 โดยให้ด้าน  $L = L_0 - 5$  โดย  $L_0$  คือค่าเริ่มต้นเท่ากับ 18mm



รูปที่ 3.15 โครงสร้างที่ถูกปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์  $L=L_0-5$  ของสายอากาศใน โปรแกรม CST  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงสัมพัทธ์ ระหว่าง ความถี่ GHz กับ  $S_{11}$  (dB)

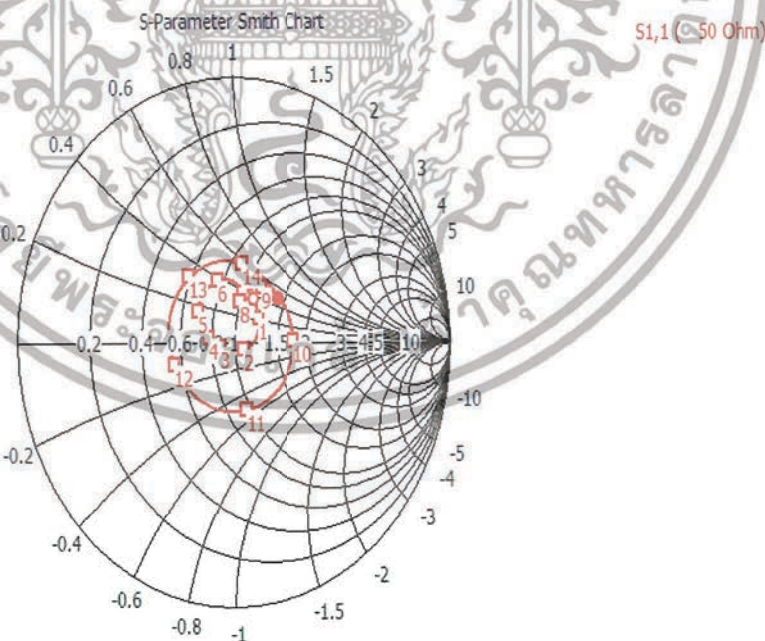


รูปที่ 3.16 ผลของ  $S_{11}$  ของการ Simulated ของโปรแกรม CST เมื่อเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์  $L=L_0-5$  จากรูปที่ 3.16 ค่า  $S_{11}$  ในย่านความถี่ 3.1–10.6 GHz มีค่าต่ำกว่า -10 dB ทั้งย่านความถี่ จึงพบว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม  $L=L_0-5$  ซึ่งเป็นมุม  $58^\circ$  เทียบกับแกน Y

เมื่อได้  $S_{11}$  ตรงตามเป้าหมาย ดังนั้นจึงไปดูผล Simulated ของ Input Impedance ของแต่ละความถี่ (3.1-10.6 GHz) ในทางอุดมคติ เราต้องการ Input Impedance ( $Z_{in} = 50 \Omega$ ) ทุกย่านความถี่ต้องการ แต่ในทางปฏิบัติเราไม่สามารถทำให้ Input Impedance =  $50 \Omega$  ได้ในทุกๆย่านความถี่ที่เราต้องการได้

0	3.100 ( 56.03, 19.1) Ohm
□ <sub>1</sub>	3.497 ( 61.71, 11.54) Ohm
□ <sub>2</sub>	4.000 ( 54.38, -3.265) Ohm
□ <sub>3</sub>	4.495 ( 43.87, -1.617) Ohm
□ <sub>4</sub>	4.997 ( 39.47, 1.69) Ohm
□ <sub>5</sub>	5.500 ( 34.85, 8.484) Ohm
□ <sub>6</sub>	5.995 ( 38.73, 19.36) Ohm
□ <sub>7</sub>	6.497 ( 50.74, 19.72) Ohm
□ <sub>8</sub>	7.000 ( 50.26, 16.16) Ohm
□ <sub>9</sub>	7.495 ( 58.6, 25.87) Ohm
□ <sub>10</sub>	7.997 ( 88.67, 1.186) Ohm
□ <sub>11</sub>	8.500 ( 48.46, -26.78) Ohm
□ <sub>12</sub>	8.995 ( 27.77, -5.206) Ohm
□ <sub>13</sub>	9.498 ( 29.44, 16.4) Ohm
□ <sub>14</sub>	10.00 ( 44.87, 29.43) Ohm
●	10.60 ( 70.28, 25.56) Ohm

Parameter = Frequency / GHz



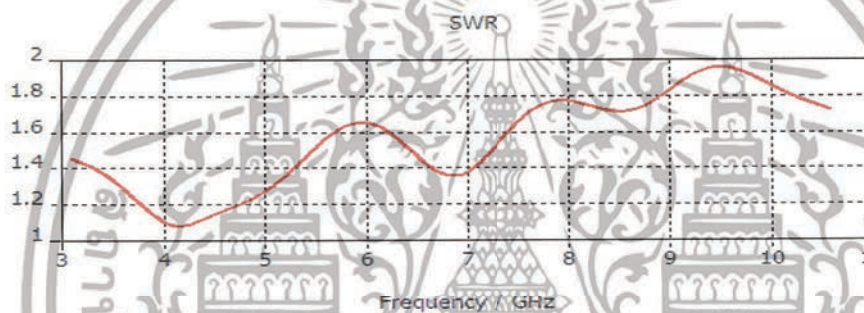
รูปที่ 3.17 ผลการ simulated ของโปรแกรม CST เพื่อดูค่า Input Impedance ของแต่ละความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



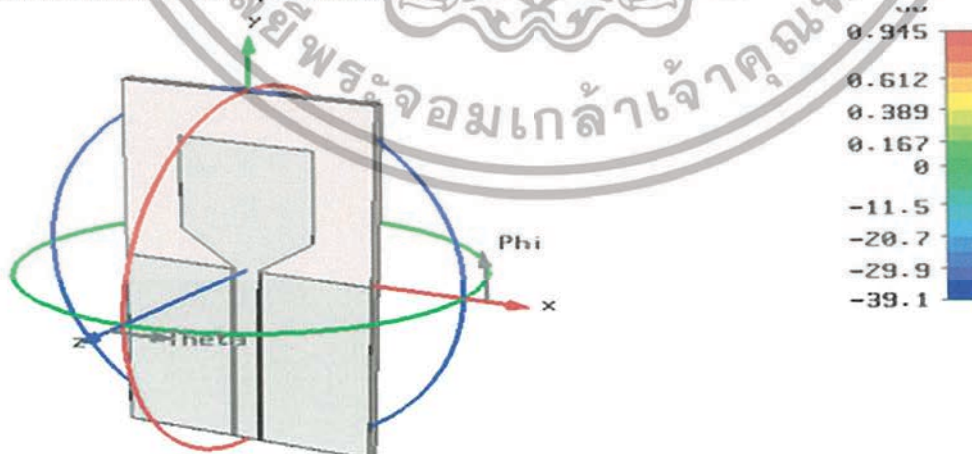
**รูปที่ 3.18** กราฟจากการพอร์ท ความถี่ (GHz) – อินพุทอิมพีแดนซ์ ( $\Omega$ ) จากการ Simulated

ผลจากการ Simulated ของ SWR ในย่านความถี่ 3.1 – 10.6 GHz ซึ่งค่าที่ได้จากการ Simulated มีค่าต่ำกว่า 2:1 ตลอดย่านความถี่ที่เราต้องการดังรูปที่ 3.19



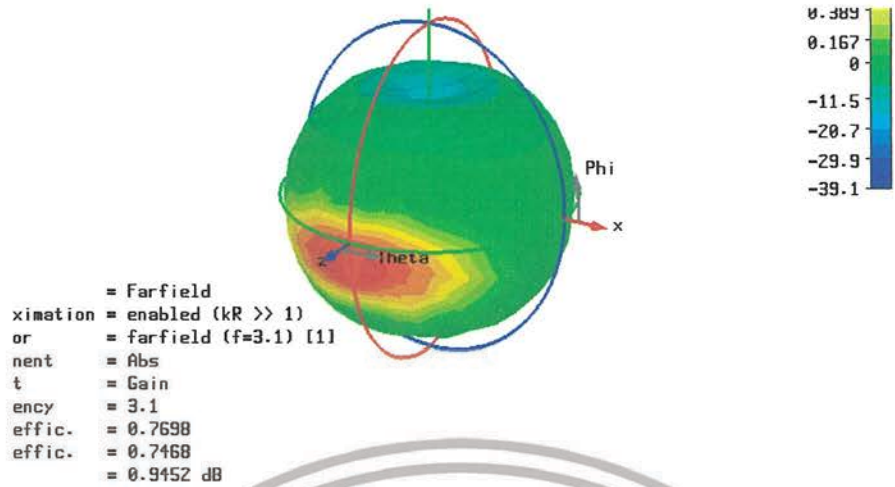
**รูปที่ 3.19** ค่า SWR จากการ Simulated

ผลจากการ Simulated ของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระยะ far field ในย่านความถี่ 3.1 -10.6 GHz แต่เราได้ทำการเลือกหาวิเคราะห์ เพียง 3 ความถี่ที่เราสนใจ คือความถี่เริ่มต้น 3.1GHz ความถี่กลาง 6.85GHz ความถี่สุดท้าย 10.6 GHz

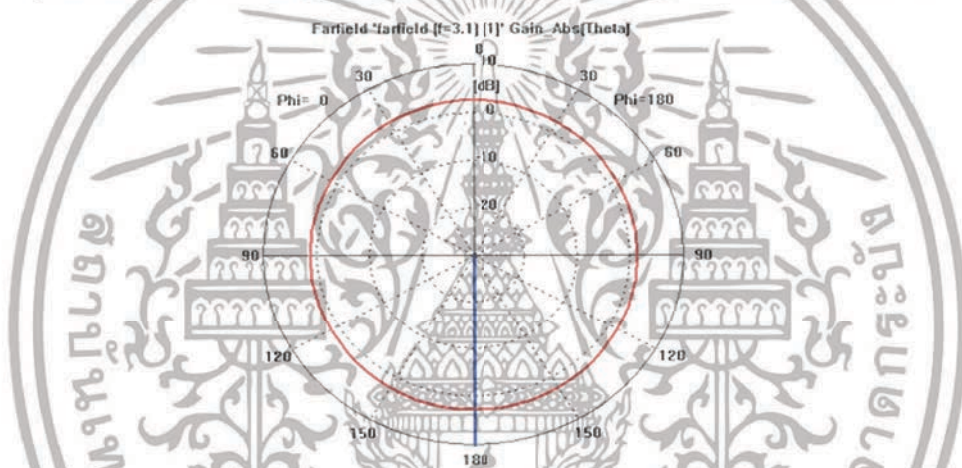


**รูปที่ 3.20** พิกัดของสายอากาศ

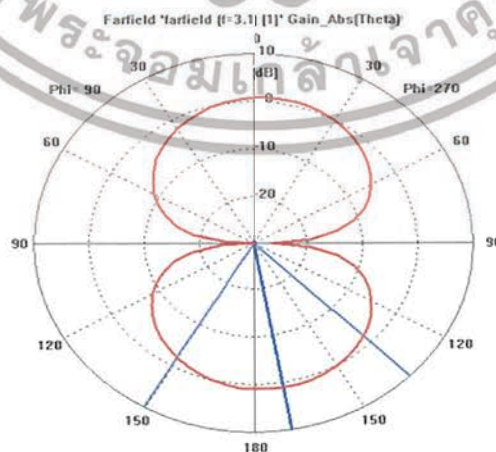
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 3.1 GHz จากการ Simulated แบบ 3D

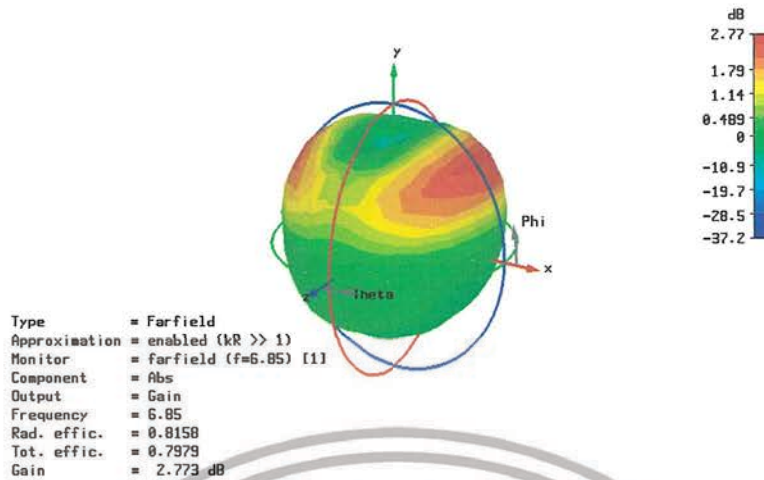


รูปที่ 3.22 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 3.1 GHz ระนาบ X-Z จากการ Simulated แบบ Polar

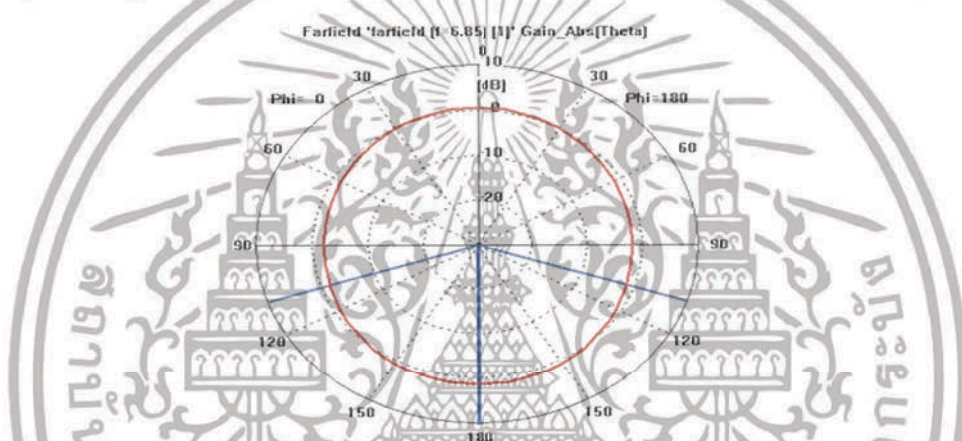


รูปที่ 3.23 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 3.1 GHz ระนาบ Y-Z จากการ Simulated แบบ Polar

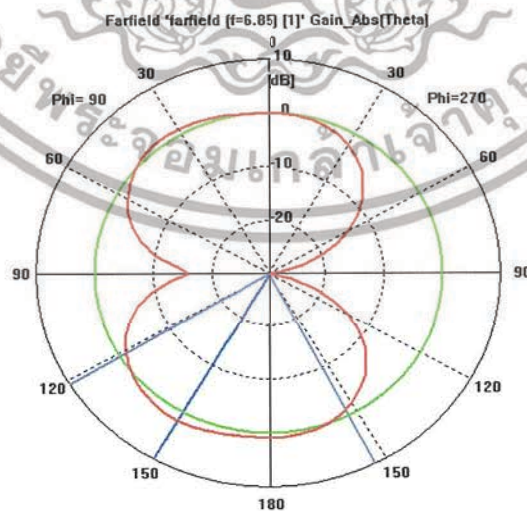
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 6.85 GHz จากคาร์ Simulated แบบ 3D

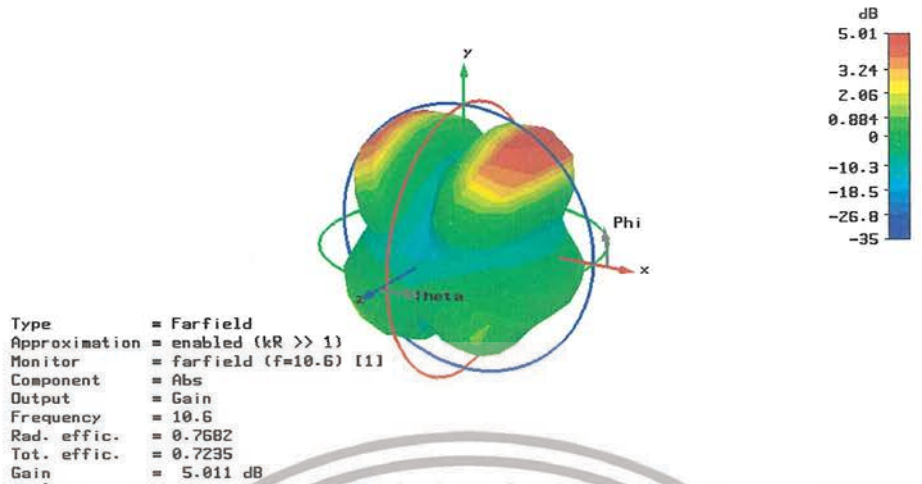


รูปที่ 3.25 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 6.85 GHz ระนาบ X-Z จากคาร์ Simulated แบบ Polar

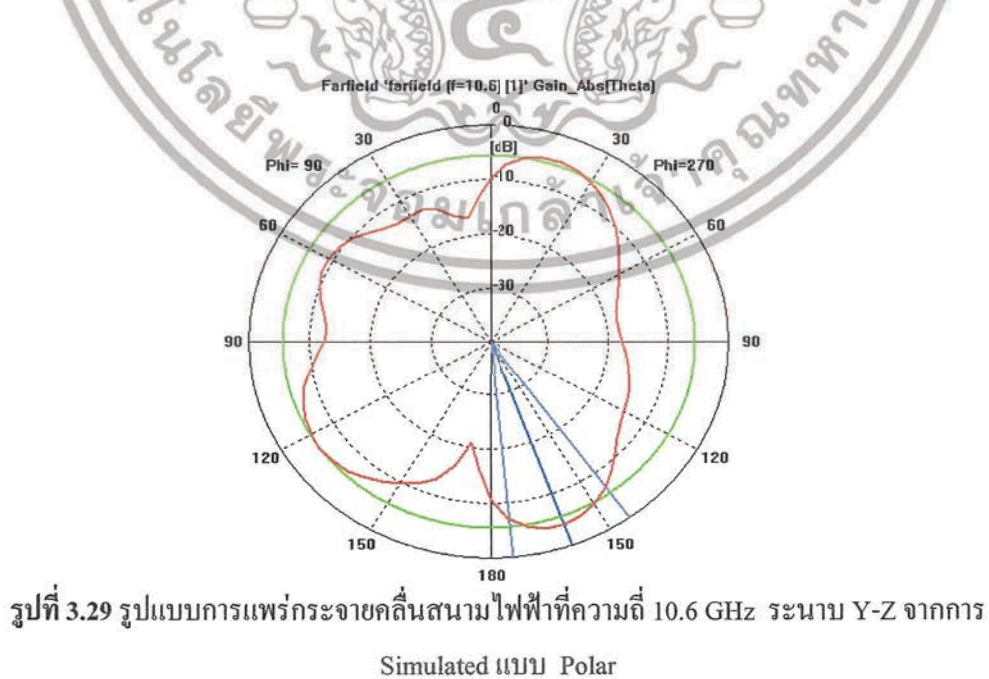
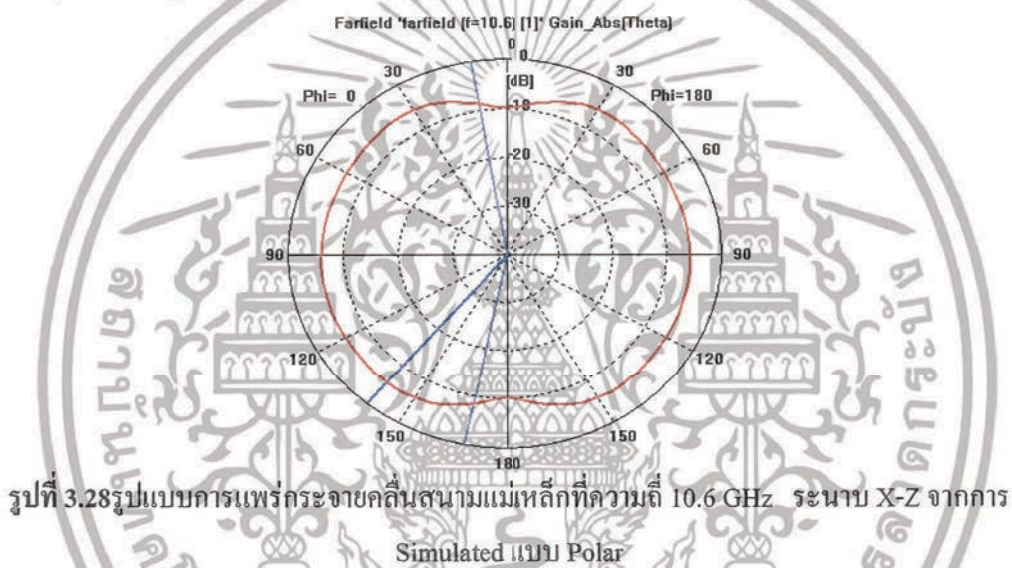


รูปที่ 3.26 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 6.85 GHz ระนาบ Y-Z จากคาร์ Simulated แบบ Polar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.27 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 10.6GHz จากผลการ Simulated แบบ 3D



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 กระบวนการสร้างสายอากาศ

หลังจากที่ได้รูปแบบของสายอากาศที่ได้จากการคำนวณ และการ Simulate โดยโปรแกรม CST ขั้นตอนต่อไปก็คือการสร้างอากาศซึ่งจะมีกระบวนการดังนี้

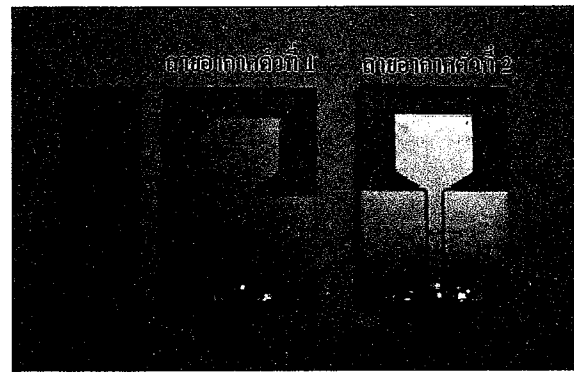
#### 3.2.1 จัดเตรียมอุปกรณ์

1. แผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR-4 โดยที่ ค่าสภาพยอมให้ไฟฟ้าสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรองเท่ากับ 4.3 มีความสูงเท่ากับ 1.6 mm ความหนาของแผ่นทองแดงเท่ากับ 0.05 mm
2. กระดาษไข
3. สติกเกอร์
4. น้ำยาคัดแผ่นวงจรพิมพ์
5. มีดคัดเตอร์สำหรับตัดสติกเกอร์
6. คอนเน็คเตอร์ SMA
7. ตะกั่ว สำหรับบัดกรี และน้ำยาประสาน
8. หัวแร้วใช้สำหรับเชื่อมต่อคอนเน็คเตอร์กับสายอากาศ
9. กาว

#### 3.2.2 การสร้างสายอากาศ

1. เขียนแบบลงในโปรแกรม Microsoft office Visio โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่เราออกแบบและคำนวณไว้ โดยใช้สเกลจริง
  2. ปรีนลงกระดาษไข
  3. นำสติกเกอร์ ไปติดทับลายทองแดงบนแผ่นปรีน ขั้นตอนนี้ควรจะทำความสะดวกทองแดงบนแผ่นปรีน และไล่อากาศออกให้ดี เพื่อที่เวลาไปใส่ในน้ำยาคัดแผ่นปรีนแล้วไม่ เกิดการแทรกซึมของน้ำยาคัดเข้าไปในลายทองแดง
  4. นำกระดาษไขที่ปรีนแบบแล้วทากาวไปว่าติดทับสติกเกอร์ ที่ติดลงบนลายทองแดงแล้ว
  5. ทำการตัดสติกเกอร์ตามแบบแล้วทำการลอกสติกเกอร์ออกโดยส่วนที่เราต้องการจะมีสติกเกอร์ซึ่งเป็นส่วนที่ทองแดงจะคงอยู่ หลังจากคัดทองแดงในน้ำยาคัดแผ่นปรีน
  6. เมื่อทำการกัดแผ่นปรีนเสร็จแล้ว ให้ลอกสติกเกอร์ออกเราจะได้สายอากาศอัลตราไวด์แบนด์ไมโครสตริประนาบกรวดพร้อม แล้วนำคอนเน็คเตอร์ มาเชื่อมต่อ
- ดังรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.30 สายอากาศ UWV ชนิดโมโนโพลแบบไมโครสตริประนาบร่วมที่ทำการประกอบเสร็จแล้ว 2 ตัว

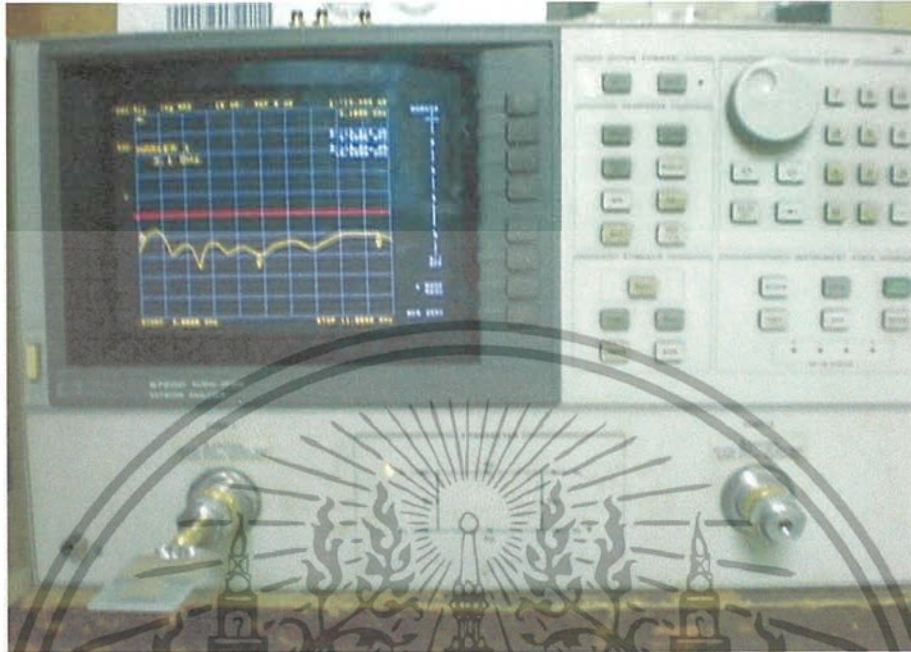


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

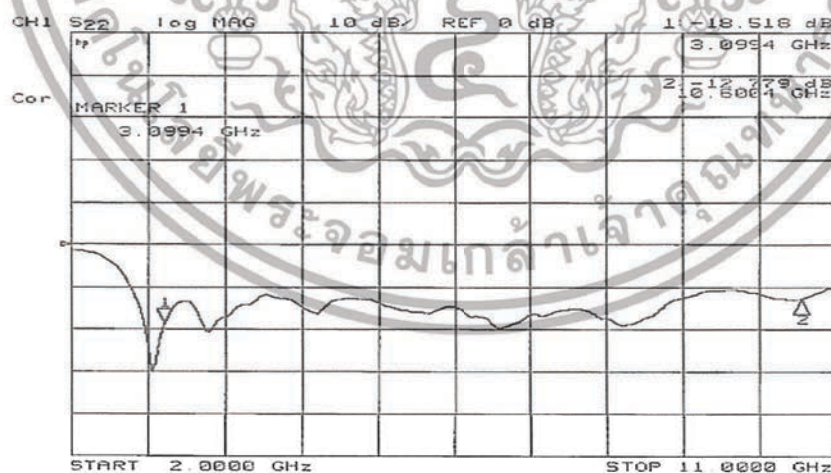
## ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง

## 4.1 การทดลองวัดค่า S11 (ค่าสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ)



รูปที่ 4.1 ทำการทดลองวัดค่า S11 ในเครื่อง Network Analyzer

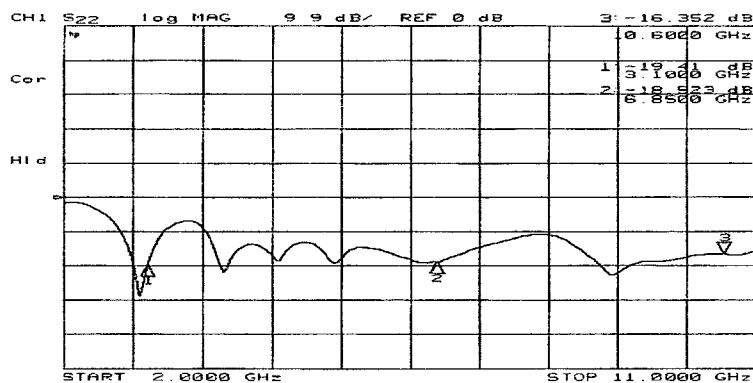
การทดลองเพื่อดูว่าสายอากาศ แมตซ์ซึ่งใหม่ ซึ่งเป็นาหมายของเราต้องการให้ค่าสูญเสียเนื่องจากการการย้อนกลับมีค่า ต่ำกว่า  $-10$  dB ที่ย่านความถี่  $3.1 - 10.6$  GHz แต่ในทางอุดมคติไม่ต้องการให้มีการย้อนกลับเลย รูปที่ 4.2 เป็นการวัดค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศตัวที่ 1 และ รูปที่ 4.3 เป็นการวัดค่าการสูญเสียจากการย้อนกลับของสายอากาศตัวที่ 2



รูปที่ 4.2 ค่าของ S11 ที่ได้ค่าเครื่อง Network Analyzer ของสายอากาศตัวที่ 1 ที่ย่านความถี่ 3.1-10.6 GHz

จากผลการทดลองวัดค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศตัวที่ 1 นั้นมีค่าต่ำกว่า  $-10$  dB หมายถึง ว่าเครื่อง Network Analyzer ได้ทำการส่งกำลังไฟฟ้า เข้าไปในสายอากาศตัวที่ 1 ที่กำลังไฟฟ้า  $0$  dB แล้วสะท้อนกลับมายังเครื่อง Network Analyzer มีค่าเท่าไรบ้างที่ ความถี่  $3.1-10.6$  GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

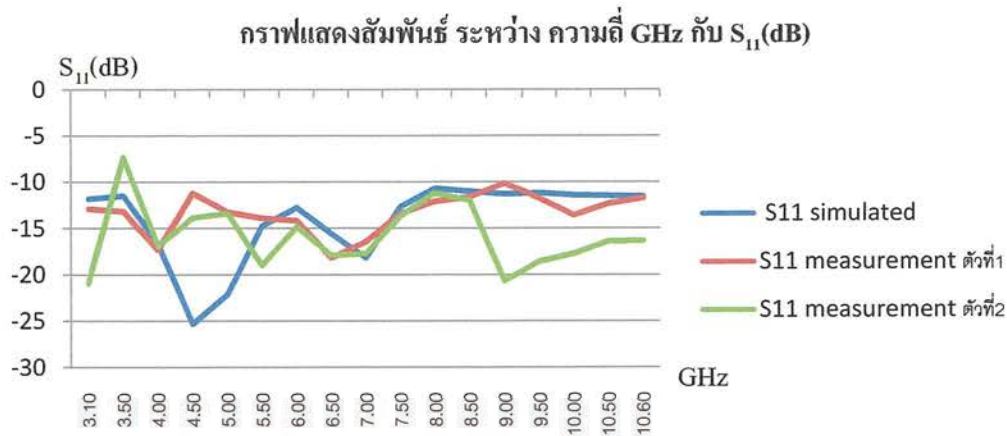


รูปที่ 4.3 ค่าของ S11 ที่ได้ค่าเครื่อง Network Analyzer ของสายอากาศตัวที่ 2 ที่ย่านความถี่ 3.1-10.6 GHz

จากผลการทดลองวัดค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศตัวที่ 2 นั้น ที่ความถี่ 3.5-4.0 GHz นั้นมีค่าเกินกว่า -10 dB นั้นทำให้สายอากาศตัวที่ 2 ไม่เป็นไปตามคุณสมบัติที่ต้องการ ตารางที่ 4.1 ผลการวัดค่า  $S_{11}$  ในแต่ละช่วงความถี่ ของสายอากาศตัวที่ 1 และ ของสายอากาศตัวที่ 2 เปรียบเทียบกับผลการ Simulated และค่าเฉลี่ย ตลอดทั้งย่านความถี่ 3.1-10.6 GHz

ความถี่ (GHz)	S11 simulated	S11 measurement ตัวที่1	S11 measurement ตัวที่2
3.10	-11.81	-12.87	-20.94
3.50	-11.46	-13.15	-7.31
4.00	-16.64	-17.34	-16.92
4.50	-25.31	-11.18	-13.86
5.00	-22.11	-13.21	-13.37
5.50	-14.75	-13.89	-18.99
6.00	-12.75	-14.17	-14.80
6.50	-15.55	-18.20	-17.92
7.00	-18.18	-16.43	-17.70
7.50	-12.65	-13.38	-13.65
8.00	-10.67	-12.08	-11.19
8.50	-10.99	-11.62	-11.95
9.00	-11.28	-10.12	-20.65
9.50	-11.15	-11.74	-18.57
10.00	-11.41	-13.57	-17.72
10.50	-11.46	-12.34	-16.39
10.60	-11.53	-11.72	-16.33
ค่าเฉลี่ย	-14.10	-13.35	-15.78

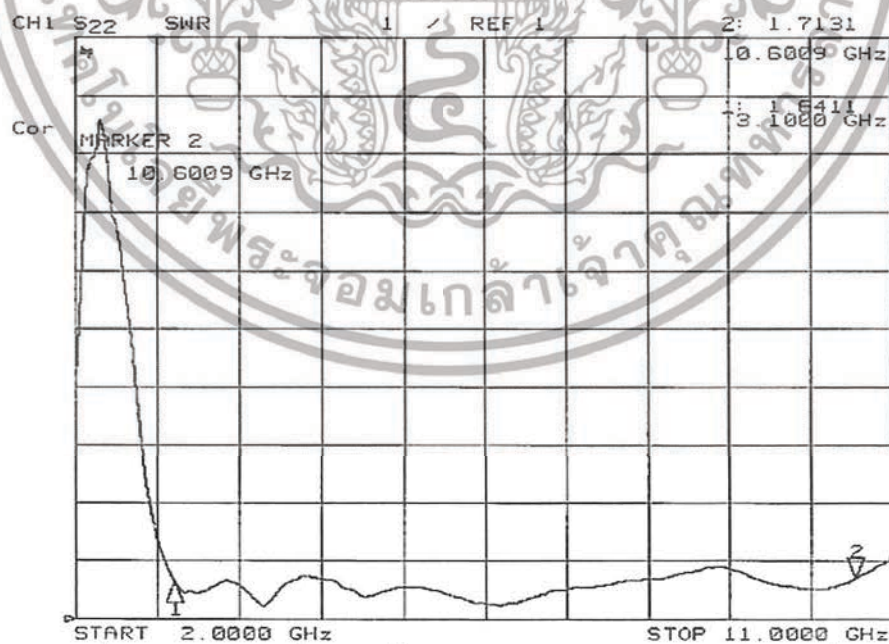
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ค่า  $S_{11}$  (การสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ) ที่เปรียบเทียบระหว่างผล Simulated กับ Measurement แต่ละช่วงความถี่ตั้งแต่ 3.1-10.6 GHz ซึ่งพบมาที่ความถี่ 4.0-5.0 GHz สายอากาศทั้งสองตัว ไม่ตรงกับผล Simulated แต่สายอากาศทั้งสองตัวมีแนวโน้มเดียวกัน และที่ความถี่ 9.0-10.6 GHz ของสายตัวที่ 2 มีแนวโน้มไม่ตรงกับผล Simulated สายอากาศตัวที่ 1 นอกนั้นที่ความถี่อื่นๆ มีแนวโน้มเดียวกับผล Simulated

#### 4.2 การวัดค่า SWR (Standing wave ratio)

SWR เป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าเข้าต่อกำลังไฟฟ้าออก ( $P_{in} / P_{out}$ ) ในทางอุดมคติเราต้องการ ให้ค่า SWR มี ลดลงเข้าใกล้มากๆ แต่จะไม่น้อยกว่า 1 หมายถึงว่า ส่งกำลังเข้าไปที่สายอากาศ 1 Watt แล้ว สายอากาศแพร่กระจายกำลังออกอีก 1 Watt ถ้าแพร่กระจายออกทั้งหมด แสดงว่าจะแพร่กระจายคลื่นออกเท่ากับ 1 Watt จะ ได้ SWR เท่ากับ 1:1 ซึ่งจะดีมากแต่มัน เป็นเพียงในอุดมคติเท่านั้น



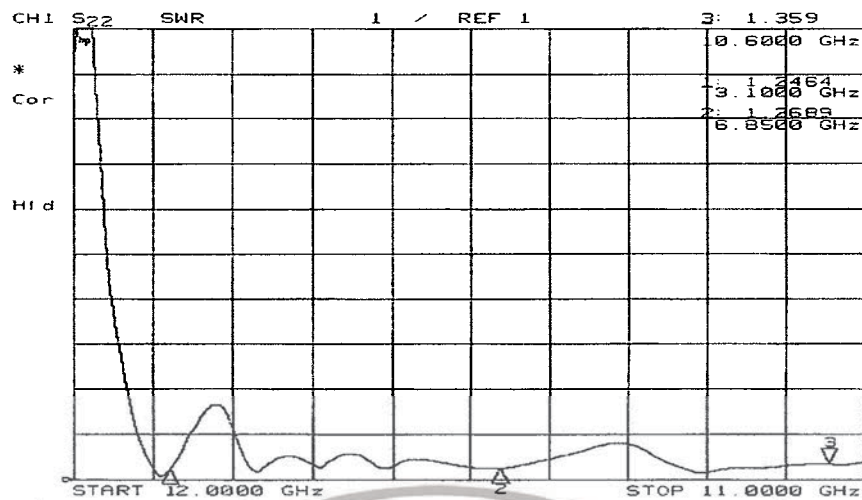
รูปที่ 4.5 ค่าของ SWR ที่ได้ค่าเครื่อง Network Analyzer ของสายอากาศตัวที่ 1

จากค่าที่วัด SWR ของสายอากาศตัวที่ 1 ตั้งแต่ย่านความถี่ที่ 3.1-10.6 GHz มีค่า SWR น้อยกว่าใน

#### อัตราส่วน 2 : 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ค่าของ SWR ที่ได้ค่าเครื่อง Network Analyzer ของสายอากาศตัวที่ 2

จากค่าที่วัด SWR ของสายอากาศตัวที่ 2 จะพบว่า ค่าที่แสดงเป็นกราฟที่ย่านความถี่ที่ 3.5-4.0 GHz มีค่า SWR มากกว่า 2 : 1 ส่วนที่ย่านอื่นๆของความถี่ที่ 3.1-10.6 GHz มีค่าน้อยกว่า 2:1

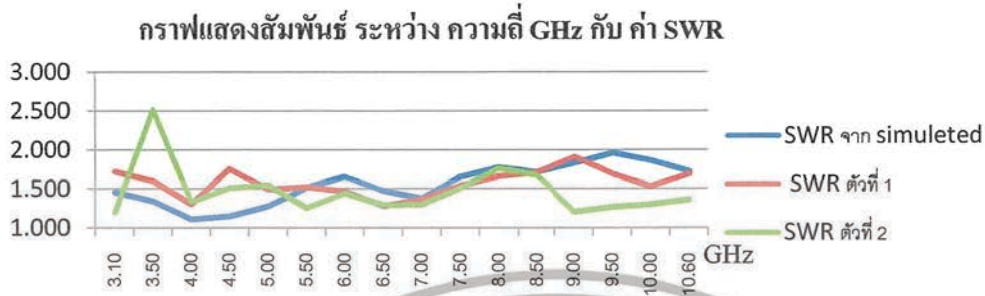
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองวัดค่า SWR ของสายอากาศตัวที่ 1 และ สายอากาศตัวที่ 2

ความถี่(GHz)	SWR จาก simulated	SWR ตัวที่ 1	SWR ตัวที่ 2
3.10	1.456	1.722	1.197
3.50	1.340	1.600	2.514
4.00	1.110	1.306	1.333
4.50	1.147	1.756	1.509
5.00	1.273	1.493	1.547
5.50	1.512	1.523	1.253
6.00	1.654	1.468	1.445
6.50	1.472	1.280	1.291
7.00	1.378	1.367	1.300
7.50	1.650	1.541	1.508
8.00	1.774	1.662	1.762
8.50	1.713	1.713	1.676
9.00	1.834	1.912	1.205
9.50	1.960	1.690	1.267
10.00	1.860	1.530	1.299
10.60	1.722	1.695	1.360
ค่าเฉลี่ย	1.554	1.579	1.466

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.2 ของค่า SWR ที่ได้จากผล Simulated และจากการวัดค่า ของสายอากาศตัวที่ 1 และสายอากาศตัวที่ 2 ได้ผลเฉลี่ย ทั้งย่านความถี่ ที่ 3.1-10.6 GHz ผลเฉลี่ยจากการ Simulated เท่ากับ 1.554 จากสายอากาศตัวที่ 1 เท่ากับ 1.579 และจากสายอากาศตัวที่ 2 เท่ากับ 1.466 ซึ่งมีค่าแตกต่างกันเพียง  $\pm 0.1$

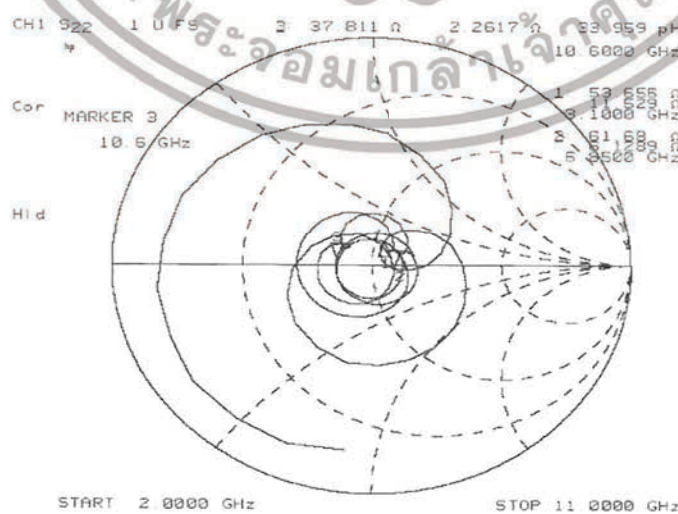


รูปที่ 4.7 แสดงค่าเปรียบเทียบค่า SWR ระหว่างจากผลการ Simulated จากสายอากาศตัวที่ 1 และจากสายอากาศตัวที่ 2

### 4.3 การวัดค่า Input Impedance



รูปที่ 4.8 ค่า Input Impedance ที่ได้จาก Smith chart ที่เครื่อง Network Analyzer ของสายอากาศตัวที่ 1



รูปที่ 4.9 ค่า Input Impedance ที่ได้จาก Smith chart ที่เครื่อง Network Analyzer ของสายอากาศตัวที่ 2 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ก) ผลการวัดของค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ ในแต่ละช่วงความถี่ที่ได้จากการทดลองวัดสายอากาศตัวที่ 1

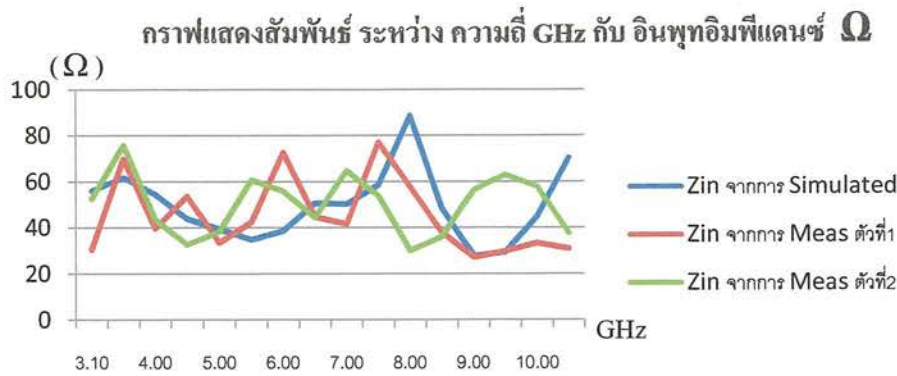
ความถี่ (GHz)	อินพุทอิมพีแดนซ์ measurement ตัวที่ 1	
	Re	Im-meas
3.10	30.56	-7.64
3.50	69.76	19.25
4.00	39.67	-7.16
4.50	53.79	-28.79
5.00	33.54	0.00
5.50	42.39	18.53
6.00	72.74	-6.73
6.50	44.77	-9.96
7.00	41.76	12.37
7.50	77.11	3.70
8.00	57.79	-25.81
8.50	37.95	-20.72
9.00	27.18	-8.53
9.50	29.76	4.14
10.00	33.39	7.07
10.60	30.98	8.88
ค่าเฉลี่ย	45.20	-2.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ข) ผลการวัดของค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ ในแต่ละช่วงความถี่ที่ได้จากการทดลองวัดสายอากาศตัวที่ 2

ความถี่(GHz)	อินพุทอิมพีแดนซ์ measurement ตัวที่ 2	
	Re	Im-meas
3.10	52.64	9.37
3.50	75.78	-50.68
4.00	43.51	12.48
4.50	32.68	1.06
5.00	38.21	14.85
5.50	60.71	6.48
6.00	55.90	-18.37
6.50	44.52	10.10
7.00	64.72	1.04
7.50	53.95	-20.62
8.00	30.10	-9.97
8.50	36.05	17.81
9.00	56.60	7.43
9.50	62.99	4.17
10.00	57.97	-11.83
10.60	37.72	1.94
<b>ค่าเฉลี่ย</b>	<b>50.25</b>	<b>-1.55</b>

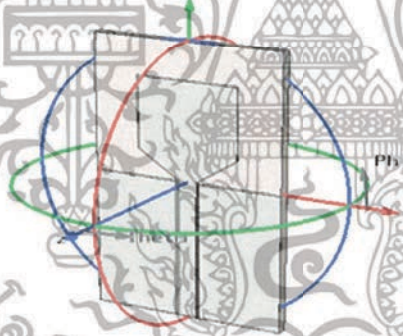
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



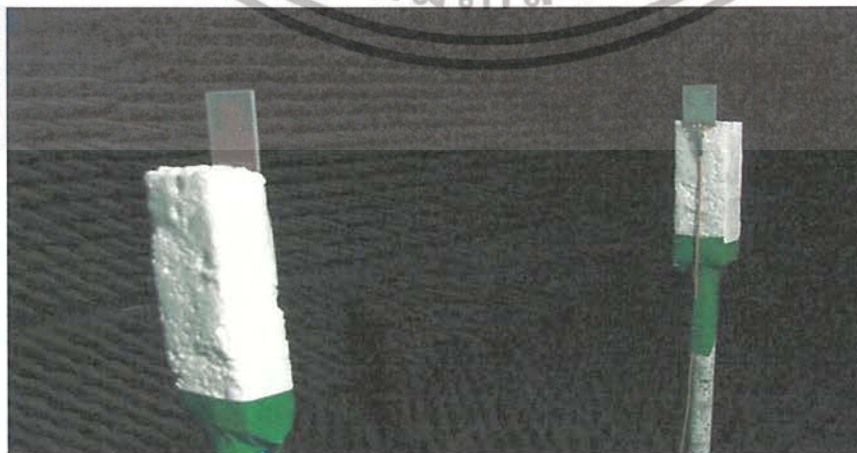
รูปที่ 4.10 ค่า  $Z_{in}$  ( $\Omega$ ) ที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่าง Simulated กับ Measurement ที่ได้จากสายอากาศตัวที่ 1 และสายอากาศตัวที่ 2 ในช่วงความถี่ที่ 3.1-10.6 GHz

จากการกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ (GHz) กับค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ที่เปรียบเทียบกัน ระหว่างผล Simulated กับ สายอากาศตัวที่ 1 และ ตัวสายอากาศตัวที่ 2 ซึ่งสายอากาศทั้งสองตัวที่ความถี่ 8.5-9.5 GHz มีค่าไม่ตรงกับผล Simulated ส่วนค่าเฉลี่ยของอินพุทอิมพีแดนซ์ตลอดทั้งย่านความถี่ที่ 3.1-10.6 GHz จากผล Simulated  $Z_{in} = 49.88 + j9.85 \Omega$  ส่วนสายอากาศตัวที่ 1  $Z_{in} = 45.2 - j2.59 \Omega$  และสายอากาศตัวที่ 2  $Z_{in} = 50.25 - j1.55 \Omega$

#### 4.4 การวัดรูปแบบการแพร่กระจายของคลื่น



รูปที่ 4.11 ระนาบการวางของสายอากาศ ที่ทำการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น



รูปที่ 4.12 การทดลองวัดการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กระนาบ X-Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยให้วางห่างกันเป็นระยะ Far field ทำการปรับค่า มุม Theta ที่ละ 10 องศา ทำกับแกน Z และให้มุม Phi เท่ากับ 0 องศาทำกับแกน X แล้วทำการวัดค่า กำลังงาน (dB) ที่ได้รับจนครบหนึ่งรอบที่มุม 360 องศาทำกับแกน Z แล้วนำมา เขียนกราฟ ในแบบกราฟเรดาร์

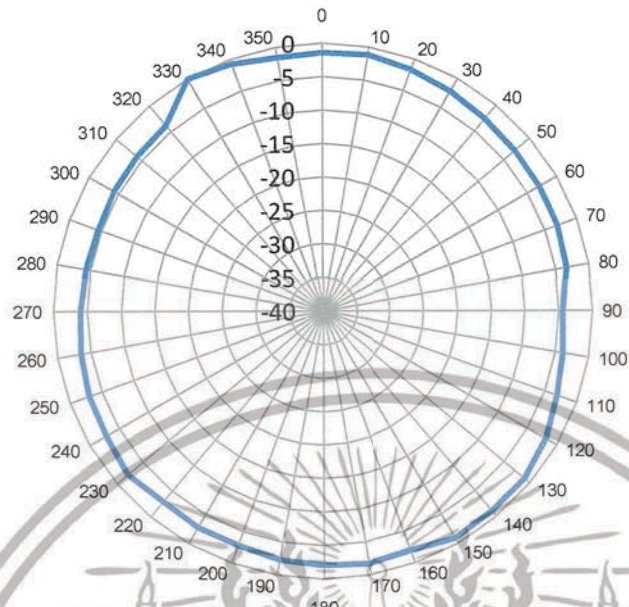
### ผลการทดลอง ที่ความถี่ 3.1 GHz ที่ระนาบ X-Z

ตารางที่ 4.4 ผลการวัดการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 3.1GHz ที่ระนาบ X-Z

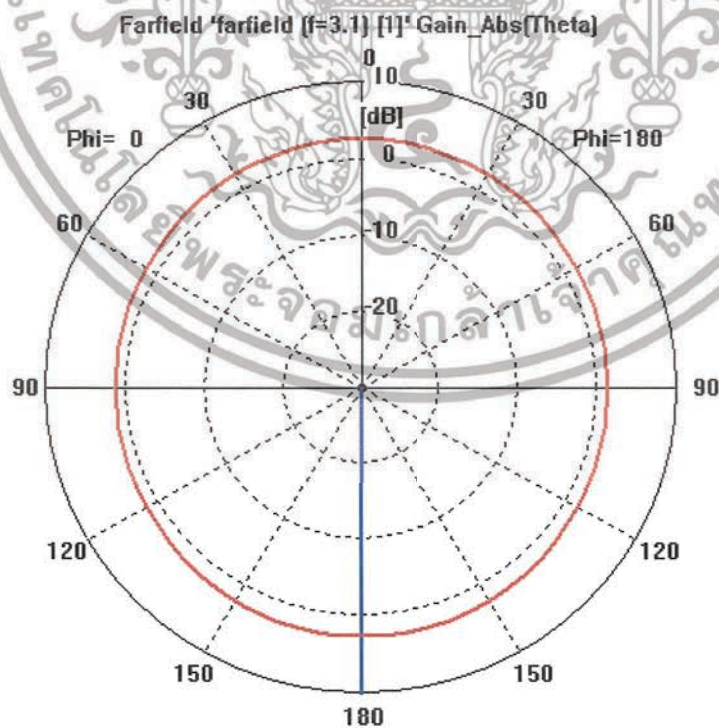
มุม องศา	Power ด้านรับ (dB)	Normalized	มุม องศา	Power ด้านรับ (dB)	Normalized
0	-69.593	-3.28	180	-67.551	-1.238
10	-68.489	-2.176	190	-67.495	-1.182
20	-68.348	-2.035	200	-67.623	-1.31
30	-67.964	-1.651	210	-67.735	-1.422
40	-67.526	-1.213	220	-68.47	-2.157
50	-67.807	-1.494	230	-68.63	-2.317
60	-66.955	-0.642	240	-68.872	-2.559
70	-66.654	-0.341	250	-68.197	-1.884
80	-66.313	0	260	-68.038	-1.725
90	-66.85	-0.537	270	-67.563	-1.25
100	-66.822	-0.509	280	-68.043	-1.73
110	-67.804	-1.491	290	-67.545	-1.232
120	-67.017	-0.704	300	-68.008	-1.695
130	-68.509	-2.196	310	-68.144	-1.831
140	-67.712	-1.399	320	-68.292	-1.979
150	-68.079	-1.766	330	-68.648	-2.335
160	-67.62	-1.307	340	-68.799	-2.486
170	-67.637	-1.324	350	-68.956	-2.643

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ความถี่ 3.1 GHz



รูปที่ 4.13 รูปแบบการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กจากผลกราวด์ ในระนาบ X-Z ที่ความถี่ 3.1 GHz เป็นแบบรอบทิศทางของสายอากาศมีโน้มแนวเดียวกันกับผล Simulated



รูปที่ 4.14 รูปแบบการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กจาก ผลการ Simulated ในระนาบ X-Z ที่ความถี่ 3.1 GHz เอกสารนี้เป็นเอกสารทสวงนเวสสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญตาดเห็นาเปไซประโยชน์ดานการค้ำ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

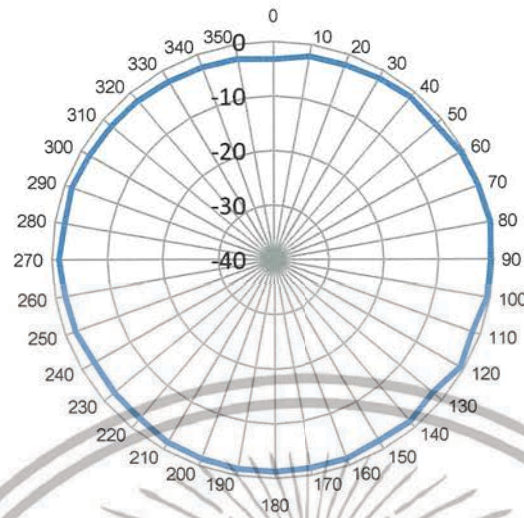
## ผลการทดลอง ที่ความถี่ 6.85 GHz ระนาบ X-Z

ตารางที่ 4.6 ผลการวัดการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 6.85 GHz ระนาบ X-Z

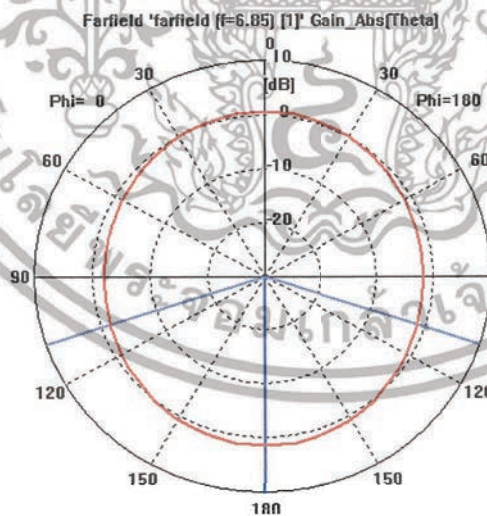
มุม องศา	Power ด้านรับ (dB)	Normalized	มุม องศา	Power ด้านรับ (dB)	Normalized
0	-88.803	85.407	180	-93.189	-7.782
10	-86.591	95.407	190	-94.873	-9.466
20	-90.334	105.407	200	-91.414	-6.007
30	-87.022	115.407	210	-89.921	-4.514
40	-95.361	125.407	220	-85.407	0
50	-91.539	135.407	230	-86.943	-1.536
60	-102.32	145.407	240	-91.294	-5.887
70	-93.095	155.407	250	-89.034	-3.627
80	-92.576	165.407	260	-92.109	-6.702
90	-88.308	175.407	270	-89.003	-3.596
100	-89.751	185.407	280	-91.203	-5.796
110	-95.264	195.407	290	-96.272	-10.865
120	-92.018	205.407	300	-88.404	-2.997
130	-96.983	215.407	310	-89.211	-3.804
140	-94.583	225.407	320	-91.741	-6.334
150	-95.935	235.407	330	-87.048	-1.641
160	-92.88	245.407	340	-99.326	-13.919
170	-94.844	255.407	350	-90.067	-4.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ความถี่ 6.85 GHz



รูปที่ 4.15 รูปแบบการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กจากผลกรวัด ในระนาบ X-Z ที่ความถี่ 6.85 GHz เป็นแบบรอบทิศทางของสายอากาศมีโน้มแนวเดียวกันกับผล Simulated



รูปที่ 4.16 รูปแบบการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กจากผลกรการ Simulated ในระนาบ Y-Z ที่ความถี่ 10.6 GHz

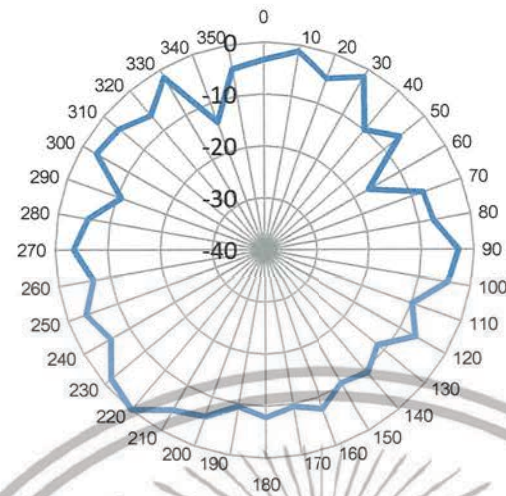
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง ที่ความถี่ 10.6 GHz ระนาบ X-Z  
 ตารางที่ 4.7 ผลการวัดการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 10.6 GHz ระนาบ X-Z

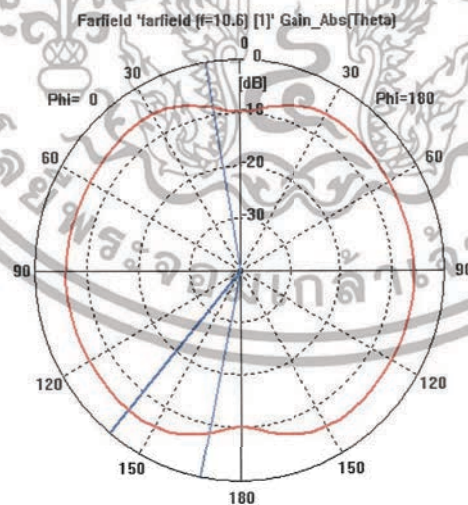
มุม องศา	Power ด้านรับ (dB)	Normalized	มุม องศา	Power ด้านรับ (dB)	Normalized
0	-88.803	85.407	180	-93.189	-7.782
10	-86.591	95.407	190	-94.873	-9.466
20	-90.334	105.407	200	-91.414	-6.007
30	-87.022	115.407	210	-89.921	-4.514
40	-95.361	125.407	220	-85.407	0
50	-91.539	135.407	230	-86.943	-1.536
60	-102.32	145.407	240	-91.294	-5.887
70	-93.095	155.407	250	-89.034	-3.627
80	-92.576	165.407	260	-92.109	-6.702
90	-88.308	175.407	270	-89.003	-3.596
100	-89.751	185.407	280	-91.203	-5.796
110	-95.264	195.407	290	-96.272	-10.865
120	-92.018	205.407	300	-88.404	-2.997
130	-96.983	215.407	310	-89.211	-3.804
140	-94.583	225.407	320	-91.741	-6.334
150	-95.935	235.407	330	-87.048	-1.641
160	-92.88	245.407	340	-99.326	-13.919
170	-94.844	255.407	350	-90.067	-4.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ความถี่ 10.6 GHz

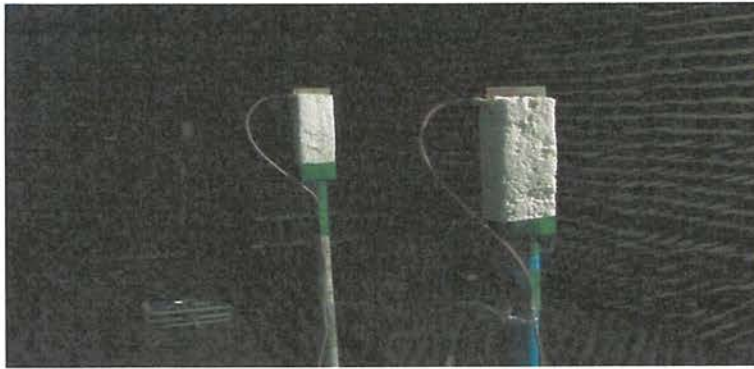


รูปที่ 4.17 รูปแบบการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กจากผลการวัด ในระนาบ X-Z ที่ความถี่ 10.6 GHz เนื่องจากว่าที่ความถี่ 10.6 GHz มีค่าการสูญเสียกำลังสูงทั้งที่สายส่งตัวสายอากาศและอากาศจึงทำให้ค่าที่วัดได้มีความผิดเพี้ยนจากผล Simulated แต่มันยังพอมองเห็นค่าบ้างยังคงมีแนวโน้มใกล้เคียงกับผล Simulated



รูปที่ 4.18 รูปแบบการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กจากผลการ Simulated ในระนาบ X-Z ที่ความถี่ 10.6 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 การทดลองวัดการแพร่กระจายสนามไฟฟ้าระนาบ Y-Z

โดยให้วางห่างกันเป็นระยะ Far field ทำการปรับค่า มุม Theta ที่ละ 10 องศา ทำกับแกน Z และให้มุม Phi เท่ากับ 90 องศาทำกับแกน X แล้วทำการวัดค่า กำลังงาน (dB) ที่ได้รับจนครบหนึ่งรอบที่มุม 360 องศาทำกับแกน Z แล้วนำมา เขียนกราฟ ในแบบกราฟ เรดาร์

ผลการทดลอง ที่ความถี่ 3.1 GHz ระนาบ Y-Z

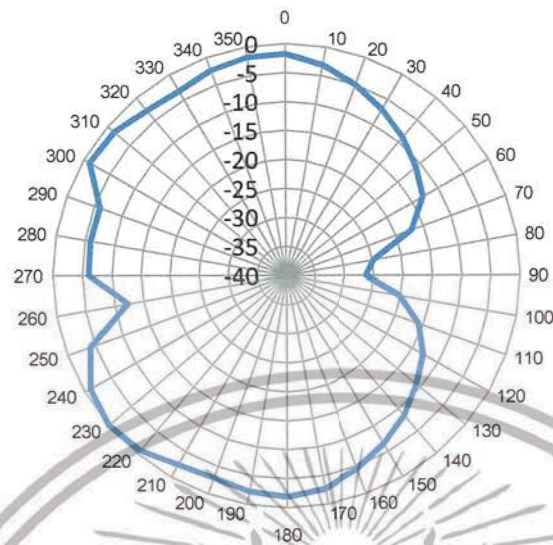
ตารางที่ 4.8 ผลการวัดการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 3.1 GHz ระนาบ Y-Z

มุม องศา	Power ด้านรับ (dB)	Normalized	มุม องศา	Power ด้านรับ (dB)	Normalized
0	-54.219	-1.774	180	-54.268	-1.823
10	-55.563	-3.118	190	-54.609	-2.164
20	-57.463	-5.018	200	-55.329	-2.884
30	-59.394	-6.949	210	-54.874	-2.429
40	-61.343	-8.898	220	-53.079	-0.634
50	-63.403	-10.958	230	-52.445	0
60	-65.338	-12.893	240	-53.46	-1.015
70	-69.558	-17.113	250	-56.59	-4.145
80	-77.191	-24.746	260	-64.742	-12.297
90	-78.727	-26.282	270	-58.535	-6.09
100	-72.613	-20.168	280	-58.374	-5.929
110	-68.227	-15.782	290	-58.444	-5.999
120	-65.3	-12.855	300	-53.536	-1.091
130	-63.274	-10.829	310	-53.937	-1.492
140	-60.943	-8.498	320	-55.319	-2.874
150	-58.915	-6.47	330	-55.741	-3.296
160	-56.95	-4.505	340	-54.834	-2.389
170	-55.105	-2.66	350	-54.231	-1.786

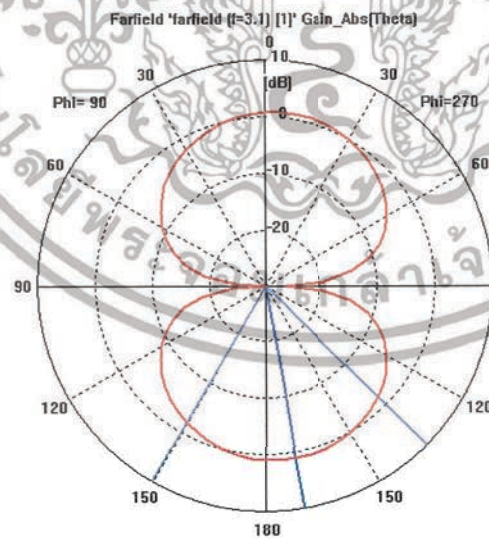
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ความถี่ 3.1 GHz



รูปที่ 4.20 รูปแบบการแพร่กระจายสนามไฟฟ้าจากผลการวัด ในระนาบ Y-Z ที่ความถี่ 3.1 GHz รูปร่าง และแนวโน้มน่าใกล้เคียงกับผล Simulated



รูปที่ 4.21 รูปแบบการแพร่กระจายสนามไฟฟ้าจาก ผลการ Simulated ในระนาบ Y-Z ที่ความถี่ 3.1 GHz

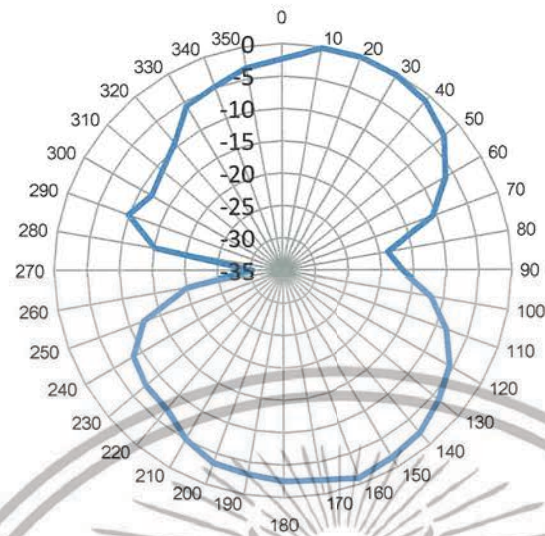
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง ที่ความถี่ 6.85 GHz ระนาบ Y-Z  
 ตารางที่ 4.9 ผลการวัดการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 6.85 GHz ระนาบ Y-Z

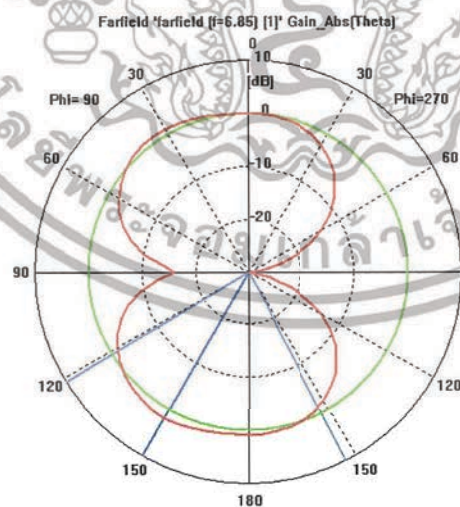
มุม องศา	Power ด้านรับ (dB)	Normalized	มุม องศา	Power ด้านรับ (dB)	Normalized
0	-65.857	-2.31	180	-66.043	-2.496
10	-63.725	-0.178	190	-66.675	-3.128
20	-63.547	0	200	-66.986	-3.439
30	-63.759	-0.212	210	-68.598	-5.051
40	-64.498	-0.951	220	-70.704	-7.157
50	-66.337	-2.79	230	-71.032	-7.485
60	-69.816	-6.269	240	-72.029	-8.482
70	-74.184	-10.637	250	-75.816	-12.269
80	-82.304	-18.757	260	-83.662	-20.115
90	-80.288	-16.741	270	-93.911	-30.364
100	-75.459	-11.912	280	-78.635	-15.088
110	-71.909	-8.362	290	-73.444	-9.897
120	-69.076	-5.529	300	-75.421	-11.874
130	-67.424	-3.877	310	-74.568	-11.021
140	-65.892	-2.345	320	-72.869	-9.322
150	-65.219	-1.672	330	-69.254	-5.707
160	-64.483	-0.936	340	-68.335	-4.788
170	-65.729	-2.182	350	-66.812	-3.265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ความถี่ 6.85 GHz



รูปที่ 4.22 รูปแบบการแพร่กระจายสนามไฟฟ้าจากผลการวัด ในระนาบ Y-Z ที่ความถี่ 6.85 GHz รูปร่าง และแนวโน้มนับเดียวกับผล Simulated



รูปที่ 4.23 รูปแบบการแพร่กระจายสนามไฟฟ้าจาก ผลการ Simulated ในระนาบ Y-Z ที่ความถี่ 6.85 GHz

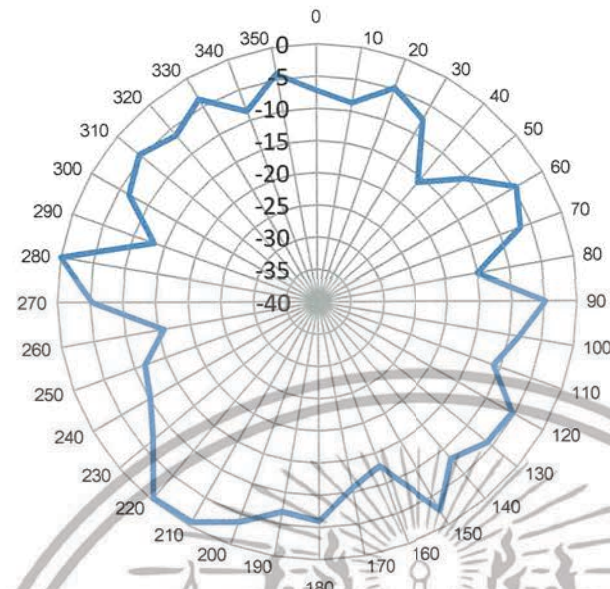
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง ที่ความถี่ 10.6 GHz ระนาบ Y-Z  
 ตารางที่ 4.10 ผลการวัดการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 10.6 GHz ระนาบ Y-Z

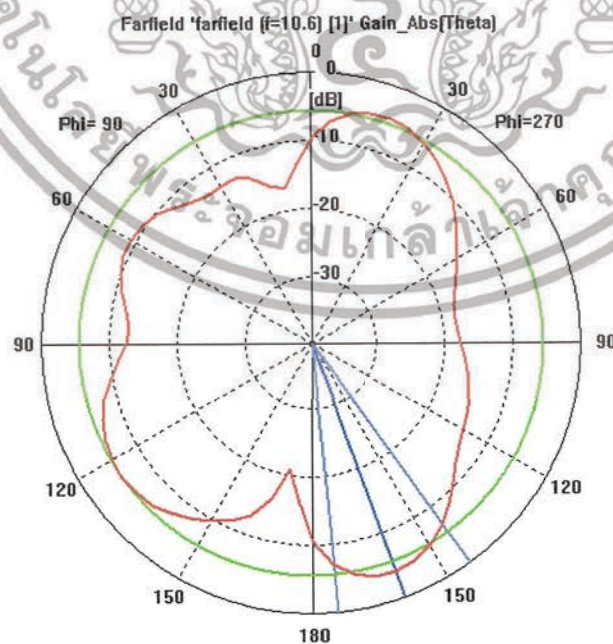
มุม องศา	Power ด้านรับ (dB)	Normalized	มุม องศา	Power ด้านรับ (dB)	Normalized
0	-93.828	-7.209	180	-92.605	-5.986
10	-95.316	-8.697	190	-93.617	-6.998
20	-91.426	-4.807	200	-90.32	-3.701
30	-94.053	-7.434	210	-87.288	-0.669
40	-102.58	-15.961	220	-86.999	-0.38
50	-97.107	-10.488	230	-93.402	-6.783
60	-91.243	-4.624	240	-96.777	-10.158
70	-93.388	-6.769	250	-98.298	-11.679
80	-101.68	-15.061	260	-102.56	-15.941
90	-91.458	-4.839	270	-91.947	-5.328
100	-95.107	-8.488	280	-86.619	0
110	-97.73	-11.111	290	-99.906	-13.287
120	-92.021	-5.402	300	-93.285	-6.666
130	-92.544	-5.925	310	-91.048	-4.429
140	-94.762	-8.143	320	-92.917	-6.298
150	-89.164	-2.545	330	-90.315	-3.696
160	-99.469	-12.85	340	-95.143	-8.524
170	-97.322	-10.703	350	-90.759	-4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ความถี่ 10.6 GHz



รูปที่ 4.24 รูปแบบการแพร่กระจายสนามไฟฟ้าจากผลการวัด ในระนาบ Y-Z ที่ความถี่ 10.6 GHz เนื่องจากว่าที่ความถี่ 10.6 GHz มีค่าการสูญเสียกำลังสูงทั้งที่สายส่งตัวสายอากาศและอากาศจึงทำให้ค่าที่วัดได้มีความผิดเพี้ยนจากผล Simulated แต่มันยังพอมองเห็นค่าบ้างยังคงมีแนวโน้มใกล้เคียงกับผล Simulated



รูปที่ 4.25 รูปแบบการแพร่กระจายสนามไฟฟ้าจาก ผลการ Simulated ในระนาบ Y-Z

ที่ความถี่ 10.6 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 อัตราขยายของสายอากาศ

อัตราขยาย (Gain) ของสายอากาศเป็นความสามารถในการส่งหรือรับคลื่นของสายอากาศเมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศมาตรฐาน แต่ในการทดลองครั้งนี้ไม่สามารถหาสายอากาศมาตรฐานในการทดลองได้ จึงใช้สายอากาศที่มีคุณสมบัติเหมือนกันในการทดลองผลของอัตราขยายที่สามารถคำนวณได้จะเป็นอัตราขยายของสายอากาศทั้งส่งและรับ ดังนั้นอัตราขยายจริงของสายอากาศจะเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราขยายของสายอากาศที่คำนวณได้ซึ่งสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ (4-1) ดังนี้

$$G_R(dBi) = \frac{P_R(dBm) - P_T(dBm) + L_{ft}(dB) + L_S(dB) + L_{fT}(dB)}{2} \quad (4.1)$$

โดย  $G_R(dBi)$  คือ อัตราขยายของสายอากาศ

$P_R(dBm)$  คือ กำลังงานที่เครื่องได้รับ

$P_T(dBm)$  คือ กำลังงานที่เครื่องส่ง

$L_{fT}(dB)$  คือ กำลังงานที่สูญเสียในสายส่งด้านฝั่งส่ง

$L_{fR}(dB)$  คือ กำลังงานที่สูญเสียในสายส่งด้านฝั่งรับ

$L_S(dB)$  คือ กำลังงานที่สูญเสียในอากาศ (Free Space Loss)

โดยที่  $L_S(dB)$  สามารถคำนวณหาได้จากสมการ

$$L_S(dB) = 20 \log \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right) \quad (4.2)$$

สายอากาศ UWB ชนิดโมโนโพลแบบไมโครสตริประนาบร่วมที่ความถี่ต่างๆ

ผลการทดลอง  $P_r$  ที่ความถี่ต่างๆ

ตารางที่ 4.11 ค่า  $P_r$  ที่จากการวัด และ ค่า  $L_s$  ที่ได้จากการคำนวณจากสมการที่ (4.2)

ความถี่ (GHz)	3.10	4.00	5.00	6.00	6.85	7.00	8.00	9.00	10.00	10.60
$P_r$ (dBm)	-42.3	-46.8	-47.5	-45.4	-48.4	-51.2	-59.6	-57.8	-69.2	-48.4
$L_s$ (dBm)	42.3	44.5	46.4	48.0	49.2	49.3	50.5	51.5	52.4	52.9

$$P_T(dBm) = 0 \text{ dBm}$$

$$L_{fT}(dB) = 0 \text{ dB}$$

$$L_{fR}(dB) = 0 \text{ dB}$$

เนื่องจากในขั้นตอนการทดลองได้ทำการเทียบมาตรฐาน (Calibrate) เครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่ายที่ปลายสายนำสัญญาณทางด้านส่งและรับ เสร็จแล้วจึงนำค่าพารามิเตอร์ต่างไปแทนในสมการที่ (4-1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G_r = \frac{-Pr + Ls}{2}$$

ดังนั้น Gain ที่ความถี่ต่างๆ

ตารางที่ 4.12 ค่าอัตราขยายของสายอากาศ (Gain) ที่ความถี่ต่างๆ วัดหาค่า แล้วมาทำการคำนวณ

ความถี่ (GHz)	3.10	4.00	5.00	6.00	6.85	7.00	8.00	9.00	10.00	10.60
Gr (dBi)	0.012	-1.151	-0.56	1.298	0.387	-0.964	-4.569	-3.149	-8.364	2.283



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลและวิจารณ์การทดลอง

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการออกแบบสายอากาศ อัลตราไวด์แบนด์ ชนิดโมโนโพลแบบไมโครสตริประนาบร่วมผลการทดลองพบว่าค่า S11 (ความสูญเสียกำลังเนื่องจากการย้อนกลับ) มีค่าที่แวนโวม์เดียวกับผลการ Simulated  $Z_{in}$  (Input Impedance) มีแวนโวม์เดียวกับผล Simulated และในย่านความถี่ 3.1- 10.6 GHz ยังมี ได้ความถี่หลายความถี่ ที่มี Input Impedance ที่มีค่าประมาณ  $50 \Omega$  โดย มีค่า ถึง 8 ความถี่ ในขณะที่ค่า Simulated มีเพียง 3 ความถี่ ส่วนรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น ทั้งสามความถี่ที่ทำการวัด มีลักษณะ เดียวกับการ Simulated

#### 5.2 ปัญหาที่พบ

สำหรับปัญหาที่พบ ในทางปฏิบัติ นั้นเกิดขึ้นหลายประการ ได้แก่

5.2.1 วัสดุที่ใช้ในการสร้างสายอากาศอัลตราไวด์แบนด์ชนิดโมโนโพล แบบไมโครสตริประนาบร่วมมีคุณสมบัติต่างๆที่ไม่ตรงกับสเปคจริงของแผ่นทำลายวงจรออกมาเช่นความหนาของ Supstat Relative Dielectric Constant ( $\epsilon_r$ ) จึงทำให้ผลการทดลองที่ได้มีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยกับค่าที่คำนวณไว้ในขั้นตอนการออกแบบ

5.2.2 การบัดกรีหัวต่อมีผลต่อผลการทดลองที่ได้ คือ ตะกั่วที่มีผลอย่างมากที่ใช้ในการบัดกรีอาจทำให้คุณลักษณะของไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปได้เนื่องสายอากาศชนิดนี้ทำงานที่ย่านความถี่สูง

5.2.3 ความละเอียดของค่าพารามิเตอร์ต่างๆมีความละเอียดมากเทียบเท่าการก่อสร้างอาจเกิดการผิดพลาดของค่าพารามิเตอร์เนื่องจากกระบวนการสร้างได้

5.2.4 เนื่องจากอากาศที่ทำการสร้างในโครงการนี้มีย่านความถี่ที่กว้างมาก การที่จะให้มีพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกันตลอดทั้งย่านความถี่นั้นทำได้ยากโดยเฉพาะความถี่สูง ตั้งแต่ 10 GHz ขึ้นไป

#### 5.3 แนวทางแก้ไข

5.3.1 ควรใช้แผ่นทำลายวงจร ที่มีความน่าเชื่อถือ ทางคุณสมบัติ ยังเป็นแผ่นทำรายวงจรที่ใช้สำหรับทำสายอากาศโดยเฉพาะ ยิ่งดี เพราะจะมีผลทางด้านความถี่สูง จะทำให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับผลลัพท์ที่ Simulated เพราะแผ่นทำลายวงจรที่ขายในประเทศไทย เป็นเพียงแผ่นทำรายวงจรทั่วไป

5.3.2 เพิ่มความละเอียดอ่อนในการต่อคอนเน็คเตอร์ เนื่องจากตะกั่วมีผลทางไฟฟ้าที่ด้านความถี่สูง

5.3.3 ใส่ค่า C หรือ L หรือสดับ แล้วทำการจูนค่า โดยดูจากการวัดเครื่องเน็ตเวิร์คอนาไลซ์เซอร์ โดยตรง

#### 5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 วัสดุและเทคนิคการสร้าง เป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญต่อค่าต่างๆ ทางไฟฟ้าค่าความหนา ของแผ่นปริน Epoxy ค่าความหนาของแผ่นทองแดง และค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ที่แน่นอน

5.4.2 การสร้างสายอากาศต้องมีความแน่นอนของขนาดค่าพารามิเตอร์การป้อนสัญญาณเข้า

feed line เข้าที่ แผ่นสะท้อน อาจมีการคลาดเคลื่อนของจุดป้อนสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.3 การประกอบและบัดกรีหัวต่อการประกอบและบัดกรีหัวต่อเข้ากับตัวสายอากาศต้องมีความละเอียดและแน่นอนเพราะหัวต่อก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลที่คลาดเคลื่อน

5.4.4 การผิดพลาดของตัวผู้ออกแบบ เนื่องจากทฤษฎี สายอากาศมีมากมายแล้วแต่รูปแบบแล้วแต่ละชนิด อาจเกิดผิดพลาดในการคำนวณ จากการใช้ทฤษฎี ที่ผิดตามรูปแบบแล้วก็ชนิดได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] B.Sanz-Izquierdo, Q.bai, P.R Young and J.C. Batchelor “ Compact UWB Monopole for System-on-Package Applications “ IEEE Kent. 2006
- [2]Jana Jilkov, Zbynk Raida “Ultra-Wideband Coplanar-Fed MonopolesA Comparative Study” Radioengineering,Vol.17,No.1,April 2007
- [3] J.S. Mandeep and T.C. How “ Design of a dual monopole antenna with wideband frequency “ Progress in Electromagnetic Research C, Vol.3, 119-128,2008
- [4] Kenneth C. L. CHAN, Yi HUANG and Xu ZHU ” Planar Elliptical Monopole with CPW Feed for UWB Applications” ,Liverpool, L69 3GJ, United Kingdom
- [5] K.P. Ray “ Design Aspects of Printed Monopole Antennas for Ultra Wide Bandwidth” Sameer.IIT Campus.Powai,Mumbai -400076,India
- [6] Masahiro Yanagi Shigemi Kurashima Takashi Arita Takehiko Kobayashi “ A Planar UWB Monopole Antenna Formed on aPrinted Circuit Board” ,Tokyo Donki University
- [7] M.A. Peyrot-Solis, J.A. Tirado-Mendez,H.Jardon-Aguilar “Dcsign of Multiband UWB Planarized Mopole Using DMS Technique ,IEEE Antennas and wireless propagation letters, Vol.6,2007
- [8] M.Ferrando-Bataller, M. Cabedo- Fabre, E.Antonino-Daviu and A.Valero-Nogueire ”Overview of planar monopole antennas for UWB applications” .ESA SP-626,October 2006
- [9]Z.Li,C.-X.Zhang,G.-M. Wang,andW.-R.Su “DesignsonCPW-FEDApertureantenafor Ultra-widebandapplications.
- [10] โมไนย ไกรฤกษ์ “ ทฤษฎีสายอากาศ ” ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ ,กทม. 2535
- [11] ร.ศ.ประยูทธ อัครเอกผดาลัย “ การออกแบบวงจรไมโครเวฟ ” มิสเตอร์ก๊อปปี้, กทม 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้