

สายอากาศสองทิศทางที่ตอบสนองช่วงความถี่กว้าง
โดยใช้วงแหวนวงกลมมีอนุภาคมโนโพลในโพรงบาง

WIDE-BAND BI-DIRECTIONAL ANTENNA USING CIRCULAR RING
EXCITED BY DISC MONOPOLE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

มหาวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2302-7

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สายอากาศสองทิศทางที่ตอบสนองช่วงความถี่กว้าง
โดยใช้วงแหวนวงกลมป้อนด้วยโมนโพลกลมบาง

WIDE-BAND BI-DIRECTIONAL ANTENNA USING CIRCULAR RING
EXCITED BY DISC MONOPOLE



อิทธิชัย บัวแก้ว
ITTICHAJ BUAKAEW

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 67415
วัน,เดือน,ปี..... 15 S.ค. 2549

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
บัณฑิตวิทยาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และนำออกจากรั้วมหาวิทยาลัยโดยเด็ดขาด พ.ศ.2549

ISBN 974-15-2802-7

**WIDE-BAND BI-DIRECTIONAL ANTENNA USING CIRCULAR RING
EXCITED BY DISC MONOPOLE**

The seal of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang is a circular emblem. It features a central sunburst with rays emanating from a central point. Below the sunburst are three tiered stupas or pagodas, each supported by a decorative base. The entire emblem is surrounded by a circular border containing Thai text. The name 'ITTICHAJ BUAKAEW' is printed in the center of the seal.

ITTICHAJ BUAKAEW

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF**

MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATION ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ISBN 974-15-2802-7



COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สายอากาศสองทิศทางที่ตอบสนองช่วงความถี่กว้างโดยใช้วงแหวนวงกลมป้อนด้วยโมโนโพลกลมบาง
นักศึกษา	นาย อธิรัชช์ บัวแก้ว
รหัสนักศึกษา	44611208
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. สมผล โกศลวิตร
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม	ผศ.ดร. ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการศึกษา คำนวณ วิเคราะห์ ออกแบบ สร้างและทดสอบสายอากาศตอบสนองช่วงความถี่กว้างโดยใช้วงแหวนวงกลมป้อนด้วยโมโนโพลกลมบาง โดยสายอากาศชนิดนี้ประกอบด้วยสองส่วนคือส่วนที่เป็นตัวสะท้อนวงแหวนวงกลมและส่วนที่เป็นโมโนโพลกลมบาง ซึ่งขอบปลายด้านล่างเชื่อมต่อกับโพรบที่ยื่นออกมาจากสายนำสัญญาณโคแอกเซียล ลักษณะเด่นของสายอากาศชนิดนี้คือ เป็นสายอากาศที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบสองทิศทางอันเนื่องมาจากตัวสะท้อนวงกลมที่เป็นส่วนหนึ่งของท่อนำคลื่นและมีช่วงความถี่ที่กว้างอันเนื่องมาจากโมโนโพลกลมบาง สำหรับโครงสร้างของสายอากาศก็ไม่ซับซ้อน สร้างง่าย และมีต้นทุนการผลิตต่ำเหมาะสำหรับที่จะถูกนำไปใช้เป็นสายอากาศที่สถานีฐานสำหรับพื้นที่ให้บริการตามแนวยาว รวมไปถึงคุณลักษณะที่มีช่วงความถี่ที่กว้างก็ทำให้สามารถใช้งานได้หลากหลายระบบ ไม่ว่าจะเป็นระบบดาวเทียมนำร่อง (Satellite navigation system) ระบบการสื่อสารแบบรวงผึ้ง (Cellular system) ระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN system) และจะได้ทำการวิเคราะห์คุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่น อิมพีแดนซ์ด้านเข้า อัตราการขยายและโพลาไรซ์ของสายอากาศ จากผลการคำนวณที่ได้จะนำไปออกแบบสร้างและทดสอบเพื่อนำมาขึ้นต้นและปรับปรุงสายอากาศให้ดีขึ้นและนำไปใช้งานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Wide-Band Bi-Directional Antenna Using Circular Ring Excited by Disc Monopole
Student	Mr. Ittichai Buakaew
Student ID.	44611208
Degree	Master of Engineering
Programme	Telecommunication Engineering
Year	2006
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Sompol Kosulvit
Thesis Co-Advisor	Asst. Prof. Dr. Chuwong Phongcharoenpanich

ABSTRACT

This thesis presents the study, calculation, analysis, design, fabrication and measurement of the wide-band bi-directional antenna using circular ring fed by disc monopole. The antenna structure consists of the circular ring that exhibits as a reflector and disc monopole that is connected with the probe protruded from the coaxial transmission line. The merit of the antenna is that it radiates bidirectional pattern due to the confined circular ring. The bandwidth is enhanced by using the disc monopole excitation. The antenna structure is simple, easy to fabricate with inexpensive material. It is suitable to apply for the base station installation with long service area as well as wide-band characteristic. The applications of interest cover satellite navigation system, cellular communication system and wireless LAN system. The antenna characteristics such as radiation pattern, input impedance, gain, polarization are analyzed. Subsequently, the design and fabrication will be performed to test the antenna prototype. The antenna will be improved to use in further applications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ดีด้วยความสนับสนุนของ รศ. ดร. สมผล โกศลวิตร อาจารย์ที่ปรึกษาและ ผศ. ดร. ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ชี้แนะและคำปรึกษาที่มีประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และ ขอขอบพระคุณ ศ. ดร. โมไนย ไกรฤกษ์ สำหรับคำแนะนำต่างๆที่เป็นประโยชน์ใช้ในงานวิจัยของข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ ดร.ดวงอาทิตย์ ศรีมูล อ.ศราวุธ ชัยมูล สำหรับโปรแกรม IE3D รวมถึงสมาชิกห้องปฏิบัติการสื่อสารไร้สายทุกท่านที่ให้คำแนะนำและข้อคิดดีๆในการอภิปรายอย่างเป็นกันเองในกิจกรรมต่างๆ ตลอดเวลาที่ผ่านมา และขอขอบคุณสำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศสำหรับการสนับสนุนอุปกรณ์และสถานที่ในการทำวิจัย

สุดท้ายขอกราบพระคุณบิดา มารดา และสมาชิกในครอบครัว รวมถึงคุณมาโนช พุฒตาลที่ให้ความรัก ความห่วงใย ตลอดจนให้การสนับสนุนทางด้านการศึกษาด้วยดีตลอดมา คุณความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบแด่ บิดา มารดา และญาติพี่น้อง ซึ่งเป็นที่รักยิ่งของข้าพเจ้า ตลอดจนอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า

อิทธิชัย บัวแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ ภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อ ภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย.....	5
1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	6
1.4 ขั้นตอนของการศึกษา.....	7
1.5 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	7
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	9
2.1 วิวัฒนาการของสายอากาศ.....	9
2.1.1 สายอากาศสองทิศทางที่ใช้วงแหวนวงกลมล้อมรอบโพรบ.....	9
2.1.2 สายอากาศโมโนโพลกลมบาง.....	18
2.2 สายอากาศที่นำเสนอ.....	21
บทที่ 3 การวิเคราะห์สายอากาศสองทิศทางวงแหวนวงกลมป้อนด้วยโมโนโพลกลมบางโดยใช้โปรแกรม IE3D.....	31
3.1 โปรแกรม IE3D.....	31
3.1.1 ลักษณะต่างๆของโปรแกรม IE3D	31
3.1.2 การจำลองแบบสายอากาศด้วยโปรแกรม IE3D.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การศึกษาพารามิเตอร์และการออกแบบ.....	42
4.1 ขนาดของตัวป้อนสัญญาณ.....	42
4.2 ขนาดของวงแหวน.....	43
4.3 การออกแบบสร้างสายอากาศ.....	45
4.3.1 การออกแบบสร้างสายอากาศเพื่อใช้กับระการสื่อสารไร้สาย.....	48
4.3.2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ.....	51
4.3.3สภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity).....	54
4.3.4ประสิทธิภาพของสายอากาศและการแพร่กระจายคลื่น.....	55
4.4 สรุป.....	56
บทที่ 5 การสร้าง ทดสอบ และผลการทดสอบ.....	57
5.1 การสร้างสายอากาศ.....	57
5.1.1 การสร้างสายอากาศ Wireless LAN.....	57
5.1.2 การสร้างสายอากาศ Ultra-wideband.....	58
5.2 การทดสอบสายอากาศ.....	58
5.2.1 คุณลักษณะเชิงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ.....	58
5.2.1.1 คุณลักษณะเชิงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ Wireless LAN.....	58
5.2.1.2 คุณลักษณะเชิงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ Ultra-wideband.....	61
5.2.2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น.....	63
5.2.2.1 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ Wireless LAN.....	63
5.2.2.2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ Ultra-wideband.....	63
5.3 สรุป.....	72
บทที่ 6 สรุปและวิจารณ์.....	74
6.1 สรุปเนื้อหาโดยรวม.....	74
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา.....	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

เอกสารอ้างอิง.....	หน้า 76
ประวัติผู้เขียน.....	77



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า, ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ตำแหน่งทิศทางที่มีการแพร่กระจายคลื่นสูงสุด.....	53
4.2 ขนาดของสายอากาศที่นำไปสร้างและทดสอบ.....	56



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 สายอากาศที่สถานีฐาน (Base station antenna).....	1
1.2 สายอากาศ Biconical.....	2
1.3 สายอากาศโมโนโพลสี่เหลี่ยมบางบนแผ่นสะท้อน.....	3
1.4 สายอากาศโมโนโพลกลมบางบนแผ่นสะท้อน.....	3
1.5 สายอากาศ Novel bi-arm monopole.....	4
1.6 โครงสร้างสายอากาศสองทิศทางที่ตอบสนองช่วงความถี่กว้างโดยใช้วงแหวนวงกลมป้อนด้วย โมโนโพลกลมบาง.....	5
2.1 สายอากาศแบบสองทิศทางโดยใช้โพรบกระตุ้นวงแหวนวงกลม.....	10
2.2 เกณฑ์การออกแบบสายอากาศ.....	13
2.3 การเปรียบเทียบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ได้จากการคำนวณและทดสอบ.....	14
2.4 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ได้จากการทดสอบที่ความหนาของวงแหวน ต่างๆกัน.....	15
2.5 ค่าความต้านทานที่ความยาวโพรบค่าต่างๆ.....	15
2.6 ค่ารีแอกแตนซ์ที่ความยาวโพรบค่าต่างๆ.....	16
2.7 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ความยาวโพรบค่าต่างๆ.....	16
2.8 ค่าอิมพีแดนซ์ที่ได้จากการทดสอบของสายอากาศ.....	17
2.9 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ได้จากทดสอบของสายอากาศ.....	17
2.10 สายอากาศโมโนโพลกลมบางบนแผ่นสะท้อน.....	18
2.11 โครงร่างของสายอากาศโมโนโพลกลมที่ใช้เซลล์แบบสามเหลี่ยม.....	19
2.12 อิมพีแดนซ์ด้านเข้าที่ได้จากคำนวณเชิงทฤษฎีของสายอากาศโมโนโพลกลมบางที่มีค่า ความสูง h ต่างๆ ครอบคลุมช่วงความถี่ 2.25-17.25 GHz.....	20
2.13 อิมพีแดนซ์ด้านเข้าที่ได้จากคำนวณเชิงทฤษฎีเปรียบเทียบกับทดสอบที่มีค่าความสูง $h = 0.7$ mm ครอบคลุมช่วงความถี่ 2.25-17.25 GHz.....	21
2.14 โมโนโพลกลมบางบนแผ่นสะท้อนในระนาบ xz ที่มีแผ่นโลหะปิดด้านข้างในระนาบ zy	22
2.15 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ xy ของโมโนโพลกลมบางบนแผ่นสะท้อนที่มี แผ่นโลหะปิดด้านข้างดังรูปที่ 2.14.....	22
2.16 โมโนโพลกลมบางบนแผ่นสะท้อนในระนาบ xz ที่มีแผ่นโลหะปิดทั้งสองด้าน ในระนาบ zy	23

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.17 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ xy ของโมโนโพลกลมบางบนแผ่นสะท้อนที่มี แผ่นโลหะปิดด้านข้างดังรูปที่ 2.16.....	23
2.18 สายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมล้อมรอบโมโนโพลกลมบาง.....	24
2.19 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ yz สายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมล้อมรอบ โมโนโพลกลมบาง.....	24
2.20 สายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมที่มีขนาด $A \times B$ ถูกป้อนกระแสด้วยโมโนโพลกลมบาง.....	25
2.21 วงแหวนที่มีลักษณะเป็นหลายเหลี่ยม.....	25
2.22 เรขาคณิตของตัวสะท้อนเชิงทรงกลมและรังสีการสะท้อน.....	26
2.23 โมโนโพลกลมบางบนตัวสะท้อนวงกลมเท่ากับ π	27
2.24 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ yz ของโมโนโพลกลมบางบนตัวสะท้อนวงกลม เท่ากับ π	27
2.25 โมโนโพลกลมบางบนตัวสะท้อนวงกลมเท่ากับ 1.5π	28
2.26 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ yz ของโมโนโพลกลมบางบนตัวสะท้อนวงกลม เท่ากับ 1.5π	28
2.27 สายอากาศวงแหวนวงกลมป้อนด้วยโมโนโพลกลมบาง.....	29
2.28 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ yz ของสายอากาศวงแหวนวงกลมป้อนด้วย โมโนโพลกลมบาง.....	29
3.1 หน้าจอของโปรแกรม IE3D.....	33
3.2 การจำลองแบบสายอากาศวงแหวนวงกลมป้อนด้วยโมโนโพลกลมบาง.....	33
3.3 โครงสร้างตาข่ายของสายอากาศวงแหวนวงกลมป้อนด้วยโมโนโพลกลมบาง.....	34
3.4 ฟังก์ชัน Roof-top บนเซลล์สี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยม.....	35
3.5 กระแสที่ขอบสำหรับเซลล์ที่อยู่ติดกัน.....	38
3.6 การแบ่งโครงสร้างของสายอากาศด้วยเซลล์สามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยม.....	39
3.7 พิกัดตำแหน่งของเซลล์สี่เหลี่ยม.....	40
3.8 พิกัดตำแหน่งของเซลล์สามเหลี่ยม.....	40
3.9 ปริมาณกระแสที่ไหลบนโครงสร้างสายอากาศซึ่งถูกแบ่งความละเอียดด้วยอัตราส่วน 3 เซลล์ ต่อความยาวคลื่นที่มีความถี่ 1.6 GHz 2.45 GHz 3.5 GHz และ 5GHz.....	40

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.10 ขนาดและทิศทางของกระแสที่ไหลบน โครงสร้างสายอากาศด้วยความละเอียดของ 3 เซลล์ต่อความยาวคลื่นที่ความถี่ 1.6GHz 2.45GHz 3.5GHz 5GHz.....	41
4.1 การหาค่าค่าอิมพีแดนซ์เบนวิทท์.....	42
4.2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น 3 มิติของสายอากาศที่มุมตัวลงเมื่อขนาดของวงแหวนวงกลมเล็กกว่าช่วงความถี่ใช้งาน ($a=32$ mm).....	44
4.3 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น 3 มิติของสายอากาศเมื่อขนาดของวงแหวนวงกลมพอดีกับช่วงความถี่ใช้งาน ($a = 37$ mm).....	44
4.4 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น 3 มิติของสายอากาศที่เอียงตัวขึ้นเมื่อขนาดของวงแหวนวงกลมใหญ่กว่าช่วงความถี่ใช้งาน ($a=42$ mm).....	45
4.5 การสูญเสียย้อนกลับเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของรัศมีโมโน โพลกลมบาง.....	45
4.6 การสูญเสียย้อนกลับเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความหนาของวงแหวน.....	46
4.7 การสูญเสียย้อนกลับเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของรัศมีวงแหวนวงกลม.....	46
4.8 การสูญเสียย้อนกลับเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของระยะความสูงของช่องอากาศ.....	47
4.9 การสูญเสียย้อนกลับเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความหนาของโมโน โพลกลมบาง.....	48
4.10 การสูญเสียย้อนกลับเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของรัศมีวงแหวนวงกลม.....	48
4.11 การสูญเสียย้อนกลับเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของรัศมีโมโน โพลกลมบาง.....	49
4.12 การสูญเสียย้อนกลับเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความหนาของวงแหวนวงกลม.....	50
4.13 การสูญเสียย้อนกลับเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะความสูงของช่องว่างอากาศ.....	50
4.14 การสูญเสียย้อนกลับเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความหนาของโมโน โพลกลมบาง.....	51
4.15 แบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ Wireless LAN.....	52
4.16 แบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ Ultra-wideband.....	52
4.17 การเอียงตัวของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นตั้งแต่ 3.10 – 10.6 GHz.....	53
4.18 ค่าสภาพเจาะงทิศทางของสายอากาศระบบ Wireless LAN.....	54
4.19 ค่าสภาพเจาะงทิศทางของสายอากาศ Ultra-wideband.....	55
4.20 ประสิทธิภาพของสายอากาศและการแพร่กระจายคลื่น.....	55
5.1 สายอากาศ Wireless LAN ที่สร้างขึ้นจริง.....	57
5.2 สายอากาศ Ultra-wideband ที่สร้างขึ้นจริง.....	58
5.3 ค่าอิมพีแดนซ์ที่ได้จากการทดสอบสายอากาศ Wireless LAN.....	59

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.4 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ได้จากการทดสอบสายอากาศ Wireless LAN.....	59
5.5 ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ได้จากการทดสอบสายอากาศ Wireless LAN.....	60
5.6 การสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ Wireless LAN.....	60
5.7 ค่าอิมพีแดนซ์ที่ได้จากการทดสอบสายอากาศ Ultra-wideband.....	61
5.8 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ได้จากการทดสอบสายอากาศ Ultra-wideband.....	62
5.9 การสูญเสียย้อนกลับที่ได้จากการทดสอบสายอากาศ Ultra-wideband.....	62
5.10 การสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ Ultra-wideband.....	63
5.11 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 1.6 GHz.....	64
5.12 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 2.45 GHz.....	64
5.13 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 3.25 GHz.....	65
5.14 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 5 GHz.....	65
5.15 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 1.6 GHz.....	66
5.16 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 2.45 GHz.....	66
5.17 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 3.25 GHz.....	67
5.18 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 4.5 GHz.....	67
5.19 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 3.1 GHz.....	68
5.20 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 5 GHz.....	68
5.21 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 7 GHz.....	69
5.22 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 8 GHz.....	69
5.23 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 10.6 GHz.....	70
5.24 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 3.1 GHz.....	70
5.25 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 5 GHz.....	71
5.26 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 8 GHz.....	71
5.27 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 10.6 GHz.....	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

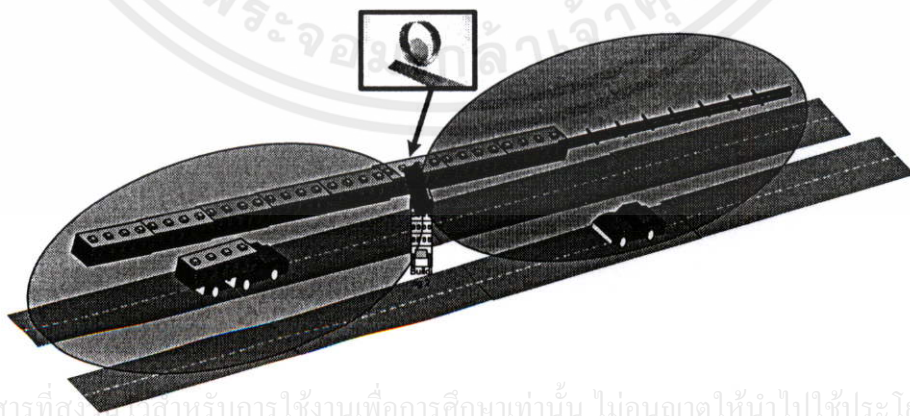
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์

ในระบบการสื่อสารไร้สายซึ่งมีปริมาณของผู้ใช้ที่เพิ่มมากขึ้นในอนาคต ระบบที่มีประสิทธิภาพเท่านั้นที่ตอบสนองความต้องการเหล่านั้นได้ ปัจจุบันซึ่งเข้าสู่ยุคกลางทศวรรษที่ 21 เทคโนโลยีที่หลากหลายได้เข้ามามีบทบาทและเป็นแรงผลักดันให้เกิดการสร้างสายอากาศชนิดใหม่ขึ้นมา สายอากาศช่วงความถี่กว้างก็เป็นสายอากาศที่มีวิวัฒนาการมายาวนานตั้งแต่ก่อน ค.ศ.1941 จนถึงปัจจุบัน สำหรับในอนาคตมีการสื่อสารหลายระบบที่ปฏิบัติการในช่วงความถี่กว้าง จึงเป็นเหตุให้มีการพัฒนาออกแบบและสร้างสายอากาศช่วงความถี่กว้างออกมาหลากหลายรูปแบบเพื่อรองรับระบบเหล่านั้น ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และระบบการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำเสนอเกี่ยวกับสายอากาศชนิดใหม่ที่ตอบสนองช่วงความถี่กว้างที่ปฏิบัติการในย่านความถี่ 3.1-10.6 GHz (Ultra-wideband) และ 2.45-5.00 GHz (Wireless LAN) สำหรับเทคโนโลยีใหม่อย่าง Ultra-wideband ซึ่งอาศัยเทคนิคทางด้านวิทยุอิมพัลส์ (Impulse radio technology)[1] ที่สามารถทำให้ส่งข้อมูลได้มากกว่าและมีขอบเขตลักษณะการใช้งานที่กว้างขวาง

ในระบบสื่อสารนั้น สายอากาศที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบสองทิศทางนั้นจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการสื่อสารในพื้นที่จำกัดที่มีลักษณะยาวและแคบเช่น ถนน อุโมงค์ ทางรถไฟ เป็นต้น ตัวอย่างเช่น สายอากาศวงกลมที่ป้อนสัญญาณด้วยโพรบ ซึ่งการประยุกต์ของสายอากาศดังกล่าว แสดงดังรูปที่ 1.1

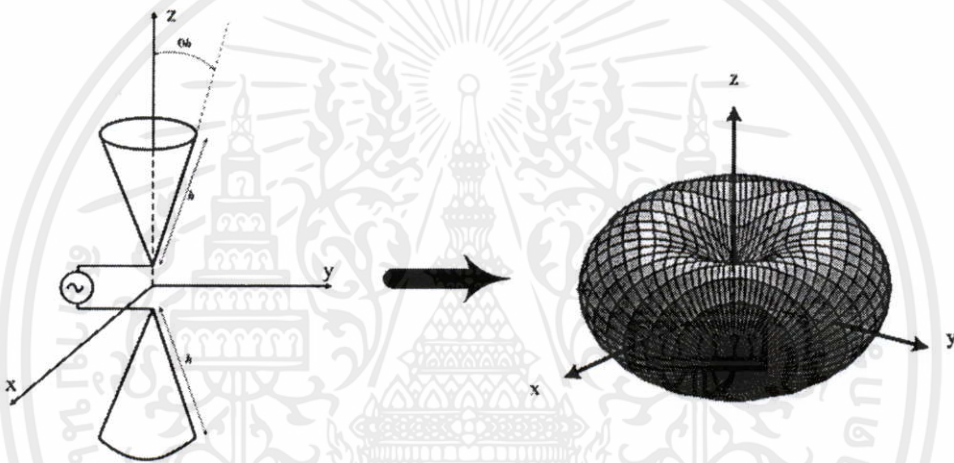


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1.1 สายอากาศที่สถานีฐาน (Base station antenna)

สำหรับวิวัฒนาการของสายอากาศ broadband (Broadband antennas) จากอดีตจนถึงปัจจุบัน ตัวอย่างเช่น ปี ค.ศ.1979 Biconical antenna [2] ปี ค.ศ.1987 Sinuous antenna [3] ปี ค.ศ.1993 Disc monopole [4] ปี ค.ศ.2005 Novel bi-arm rolled monopole for UWB application [5] โดยส่วนใหญ่ จะมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง (Omnidirectional pattern) หรือทิศทางเดียว (Unidirectional pattern) ซึ่งสามารถอธิบายได้ตามลักษณะ โครงสร้างของสายอากาศดังกล่าวดังนี้

- สายอากาศ Biconical เป็นสายอากาศที่มีโครงสร้างที่อิสระไม่มีตัวสะท้อนมาปิดกั้นตามแบบฉบับของสายอากาศไดโพล ทำให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเหมือนกับสายอากาศไดโพลคือเป็นแบบทุกทิศทางแต่จะมีช่วงกว้างความถี่ที่กว้างกว่าสายอากาศไดโพลตามรูปที่ 1.2



(ก) โครงสร้างสายอากาศ

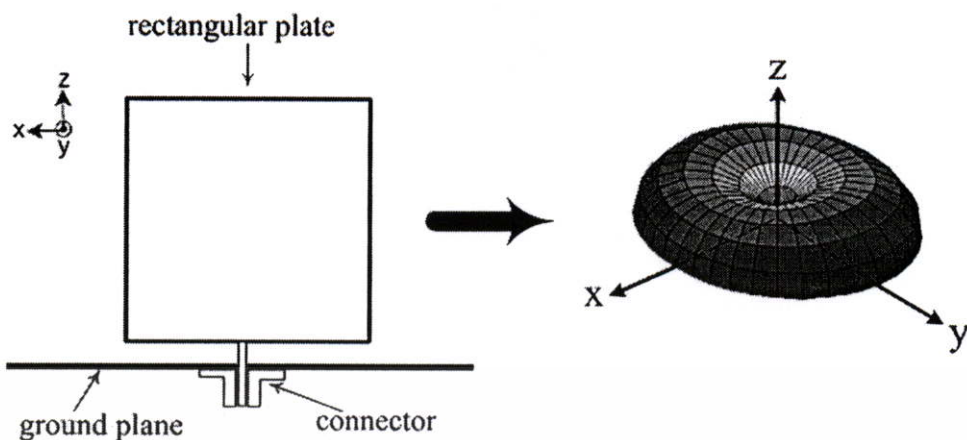
(ข) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

รูปที่ 1.2 สายอากาศ Biconical

จากรูปที่ 1.2 (ก) จะเป็นโครงสร้างของสายอากาศ Biconical ซึ่งประกอบด้วยตัวนำรูปกรวยสองตัวหันในทิศทางตรงกันข้ามและป้อนสัญญาณตรงส่วนของยอดกรวยทั้งสอง ส่วนรูปที่ 1.2 (ข) เป็นแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทุกทิศทางในเชิงสามมิติ

- สายอากาศโมโนโพลสี่เหลี่ยมบางบนแผ่นสะท้อนเป็นสายอากาศที่มีช่วงความถี่กว้างโดยมีโครงสร้างจัดเป็นชนิดของสายอากาศโมโนโพลบนแผ่นสะท้อน การเพิ่มเนื้อที่ของโมโนโพลให้ขยายออกไปในลักษณะเชิงพื้นผิวแทนที่แบบเชิงเส้นก็จะทำให้ขนาดและทิศทางของกระแสเปลี่ยนแปลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



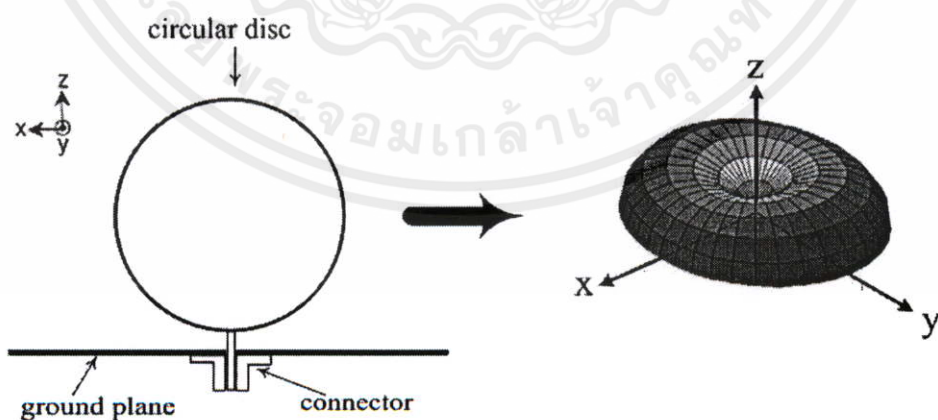
(ก) โครงสร้างสายอากาศ

(ข) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

รูปที่ 1.3 สายอากาศโมโนโพลสี่เหลี่ยมบางบนแผ่นสะท้อน

จากรูปที่ 1.3 (ก) เป็น สายอากาศประกอบด้วย โมโนโพลสี่เหลี่ยมบางบนแผ่นสะท้อนมีการป้อนสัญญาณด้วยโพรบที่ขั้วของสายอากาศ ผลกระทบโดยตรงจากแผ่นสะท้อนจึงทำให้สายอากาศไม่สามารถแพร่กระจายคลื่นผ่านไปได้ในส่วนด้านล่างของแผ่นสะท้อนจึงมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทุกทิศทางดังรูปที่ 1.3 (ข)

- สายอากาศ โมโนโพลกลมบางบนแผ่นสะท้อน (Circular disc antenna) ก็เป็นอีกชนิดหนึ่งของสายอากาศโมโนโพลบนแผ่นสะท้อน ลักษณะ โครงสร้างก็คล้ายๆกับ โมโนโพลสี่เหลี่ยมบนแผ่นสะท้อน โดยยังคงมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบทุกทิศทางแต่มีช่วงกว้างความถี่ซึ่งกว้างมากกว่าโมโนโพลสี่เหลี่ยมบนแผ่นสะท้อนดังรูปที่ 1.4

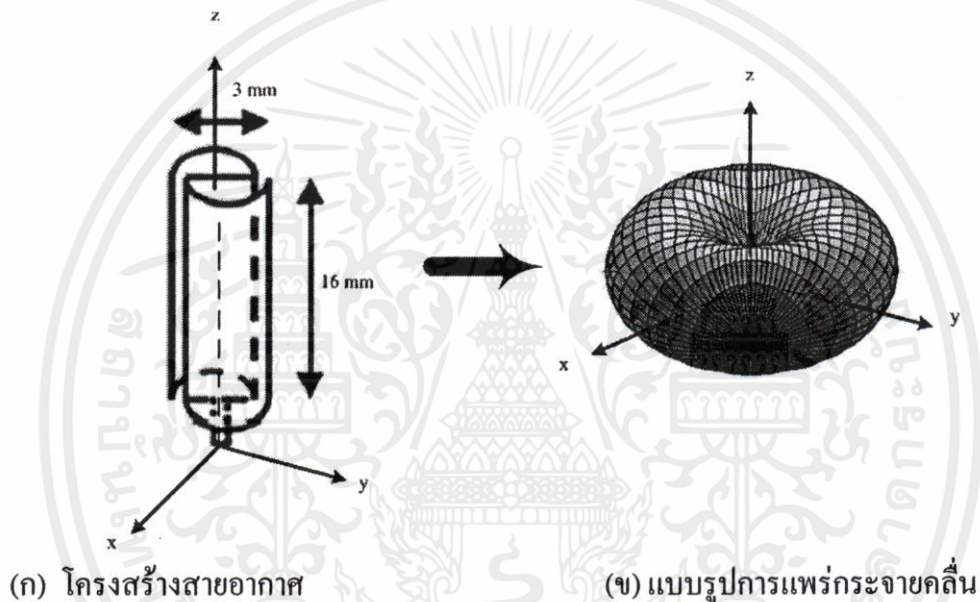


เอกสารนี้เป็น (ก) โครงสร้างสายอากาศ การใช้งานเพื่อการศึกษาที่ (ข) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น วิชาด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1.4 สายอากาศโมโนโพลกลมบางบนแผ่นสะท้อน

- สายอากาศโมโนโพลที่มีช่วงความถี่กว้างได้รับการออกแบบและพัฒนาหลากหลายรูปแบบด้วยกันซึ่งโดยมากมักจะเป็นการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหน้าตาของโมโนโพลที่ต่าง ๆ กันเพื่อวัตถุประสงค์ที่ต้องการให้สายอากาศมีช่วงกว้างความถี่ที่กว้างขึ้น แต่ก็ยังคงไว้ซึ่งความเป็นแผ่นเรียบ ในปี ค.ศ.2005 ได้มีการพัฒนาสร้าง Novel bi-arm rolled monopole antenna โดยเป็นการนำเอาแผ่นตัวนำม้วนให้ปลายทั้งสองด้านหันหน้าเข้าหากันตามรูปที่ 1.5 ซึ่งนอกจากจะทำให้สายอากาศมีช่วงความถี่ที่กว้างแล้วยังทำให้สายอากาศมีขนาดเล็กคือ สูง 16 มิลลิเมตรและกว้าง 3 มิลลิเมตรตอบสนองความถี่ตั้งแต่ 3.1-10.6 GHz ถือว่าเป็นจุดเด่นของสายอากาศชนิดนี้



รูปที่ 1.5 สายอากาศ Novel bi-arm monopole

จากรูปที่ 1.5 เป็นสายอากาศ Novel bi-arm monopole antenna ซึ่งมีการป้อนสัญญาณด้วยโพรบ และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทุกทิศทางคุณลักษณะทั่วไปของโมโนโพลบนแผ่นสะท้อนด้วยขนาดที่เล็กจึงสามารถที่จะนำสายอากาศเหล่านี้มาแถวลำดับกันบนแผ่นสะท้อน โดยที่ขนาดโดยรวมทั้งหมดไม่ใหญ่เกินไป จากตัวอย่างของสายอากาศที่มีช่วงความถี่กว้างที่ได้กล่าวไปจากอดีตจนถึงปัจจุบัน

ที่กล่าวมานั้นจะเป็นสายอากาศที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางหรือทิศทางเดียว ซึ่งไม่เหมาะสำหรับการสื่อสารในพื้นที่จำกัดที่มีลักษณะยาวและแคบเช่น ถนน อุโมงค์ ทางรถไฟ เป็นต้น สำหรับสายอากาศที่เหมาะสมกับการใช้งานในพื้นที่ดังกล่าวจะเป็นสายอากาศที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบสองทิศทาง สำหรับสายอากาศวงแหวนวงกลมป้อนด้วยโมโนโพลกลมบางเป็นอีกหนึ่งรูปแบบของสายอากาศช่วงความถี่กว้างที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบสองทิศทาง

สายอากาศสองทิศทางโดยใช้โพรบกระตุ้นวงแหวนวงกลมเป็นสายอากาศต้นแบบที่มีช่วงความถี่แคบซึ่งจะใช้งานได้จำกัดเฉพาะระบบ การพัฒนาทำให้สายอากาศมีช่วงความถี่ที่กว้างก็เพื่อให้สามารถใช้งานได้กว้างขึ้น สำหรับสายอากาศที่นำเสนอเป็นสายอากาศที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบสองทิศทางคือเฉพาะด้านหน้าและด้านหลังของสายอากาศจึงมีพื้นที่ครอบคลุมในแนวยาวและแคบ รวมไปถึงคุณลักษณะของสายอากาศที่มีช่วงความถี่กว้างสามารถใช้งานได้กับการสื่อสารหลายระบบตัวอย่างเช่น การสื่อสารไร้สาย Ultra wide-band ช่วงความถี่ตั้งแต่ 3.1-10.6 GHz ระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย Wireless LAN ด้วยคุณลักษณะทั้งหมดของสายอากาศดังที่ได้กล่าวมาแล้วถือว่าการเพิ่มประสิทธิภาพของการสื่อสารและมีความยืดหยุ่นในการใช้งานมากขึ้น

1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

สายอากาศที่นำเสนอเป็นการประยุกต์หลักการเดิมของสายอากาศสองทิศทางที่ใช้วงแหวนวงกลมล้อมรอบด้วยโพรบเชิงเส้น[6] และหลักการของสายอากาศโมโนโพลกลมบางบนแผ่นสะท้อน ด้วยคุณลักษณะขั้นพื้นฐานของสายอากาศวงแหวนวงกลมล้อมรอบโพรบเชิงเส้น ซึ่งมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบ 2 ทิศทาง และสายอากาศโมโนโพลกลมบางบนแผ่นสะท้อนซึ่งมีช่วงกว้างความถี่ที่กว้าง ด้วยมิติทางกายภาพที่สอดคล้องกันของสายอากาศทั้งสอง เมื่อรวมเข้าด้วยกันจึงได้สายอากาศที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบสองทิศทางและมีช่วงกว้างความถี่ที่กว้าง วิทยานิพนธ์นี้จะเริ่มจากการวิเคราะห์คุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลกลมบางบนแผ่นสะท้อนเรียบมาเป็นแผ่นสะท้อนโค้งงอเป็นรูปครึ่งวงกลมจนนำไปสู่สายอากาศโมโนโพลบนตัวสะท้อนรูปวงแหวนวงกลมการพิสูจน์หาสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะใช้โปรแกรม IE3D ซึ่งจะใช้หลักการของสมการการอินทิกรัลสำหรับการกระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าใน 3 มิติ โดยที่สนามไฟฟ้ารวมได้มาจากสนามซึ่งตกกระทบกับผิวตัวนำร่วมกับสนามซึ่งเกิดจากการกระจายของกระแส โดยโครงสร้างของตัวนำจะถูกแบ่งเป็นส่วนย่อยด้วยรูปทรงสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยม ฟังก์ชัน Roof-top ในรูปแบบสามมิติได้แสดงการกระจายของกระแสในรูปทรงส่วนย่อยที่ได้แบ่งออกไป เมื่อได้สัมประสิทธิ์ของการกระจายกระแสก็สามารถหาค่าการกระจายกระแสได้ จึงนำไปหาค่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นและค่าการสูญเสียย้อนกลับต่อไป จากนั้นได้ทำการสร้างและทดสอบสายอากาศจริง เพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับที่ยืนยันผลกับทางทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนของการศึกษา

เนื่องจากสายอากาศที่นำเสนอเป็นสายอากาศที่มีตัวสะท้อนคือวงแหวนวงกลม ดังนั้นจะนำแนวคิดในเรื่องของตัวสะท้อนมาใช้ โดยเปลี่ยนจากแผ่นสะท้อนแผ่นเรียบมาเป็นแผ่นสะท้อนที่โค้งงอเป็นรูปครึ่งวงกลม ซึ่งการเริ่มที่ครึ่งวงกลมก็เพื่อให้มิติของตัวสะท้อนสามารถครอบคลุมโมโนโพลได้ ทำให้สายอากาศแพร่กระจายคลื่นออกไปได้เพียงสองด้านเท่านั้น จากนั้นก็เพิ่มส่วนประกอบของตัวสะท้อนครึ่งวงกลมจนกลายเป็นตัวสะท้อนวงแหวนวงกลม

การออกแบบสายอากาศเริ่มต้นที่ความถี่ 2.45 GHz พารามิเตอร์พื้นฐานที่ได้ทำการออกแบบประกอบด้วย รัศมีวงแหวนวงกลม (a) ความหนาวงแหวนวงกลม (d) รัศมีโมโนโพลกลมบาง (r_p) ระยะห่างระหว่างขอบล่างของโมโนโพลกับตัวสะท้อนวงแหวน (h) ความหนาของโมโนโพลกลมบาง จากการศึกษาสายอากาศต้นแบบที่ความถี่ 2.45 GHz ทำให้สามารถเข้าใจถึงพฤติกรรมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับสายอากาศโดยมีโปรแกรม IE3D เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์และสามารถนำหลักการที่ได้ไปออกแบบสร้างสายอากาศให้ตรงกับวัตถุประสงค์การใช้งานต่อไป

จากนั้นได้ทำการออกแบบสายอากาศเพื่อใช้งานในระบบการสื่อสารไร้สายแบบ Ultra-Wideband ที่ความถี่ 3.1-10.6 GHz ขั้นตอนต่อไปคือนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ไปสร้างทดสอบสายอากาศ นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบเพื่อยืนยันผลกับทางทฤษฎี

1.5 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะแบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บท ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 เป็นการกล่าวถึงความเป็นมาของปัญหา วัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย ตลอดจนแนวความคิด ทฤษฎี วิธีการ และ ขั้นตอนที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 เป็นการนำเสนอทฤษฎีและหลักการต่างๆเพื่ออธิบายและสนับสนุนแนวความคิดที่นำมาใช้แก้ปัญหาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ โดยจะกล่าวสรุปวิวัฒนาการของสายอากาศต่างๆที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศตอบสนองช่วงความถี่กว้างโดยใช้วงแหวนวงกลมที่ถูกป้อนด้วยโมโนโพลกลมบาง

บทที่ 3 เป็นการวิเคราะห์คุณลักษณะของสายอากาศสองทิศทางที่ตอบสนองช่วงความถี่กว้างโดยใช้วงแหวนวงกลมป้อนด้วยโมโนโพลกลมบางโดยใช้โปรแกรม IE3D ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดต่างๆของโปรแกรม IE3D รวมถึงขั้นตอน วิธีการและหลักการในการจำลองแบบสายอากาศ

บทที่ 4 เป็นการศึกษาพารามิเตอร์และการออกแบบสายอากาศโดยการจำลองแบบโดยใช้โปรแกรม IE3D เพื่อหาพารามิเตอร์ของตัวป้อนสัญญาณและวงแหวน รวมถึงพารามิเตอร์ต่างๆที่เหมาะสม เพื่อให้สายอากาศสามารถตอบสนองช่วงความถี่กว้างได้

บทที่ 5 เป็นการสร้าง ทดสอบ และแสดงผลของการทดสอบของสายอากาศวงแหวนวงกลมที่ถูกป้อนด้วยโมโนโพลกลมบาง โดยใช้พารามิเตอร์ที่ได้รับการออกแบบจากบทที่ 4 เพื่อยืนยันความถูกต้องของการคำนวณและการจำลองแบบ

บทที่ 6 เป็นการสรุปเนื้อหาทั้งหมดของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนการวิจารณ์ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนะนำแนวทางในการนำผลการวิเคราะห์ไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบและสร้างสายอากาศตอบสนองช่วงความถี่กว้างโดยใช้วงแหวนวงกลมที่ถูกป้อนด้วยโมโนโพลกลมบางต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

สำหรับบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการที่ใช้ประกอบการวิเคราะห์สายอากาศสองทิศทางที่ตอบสนองช่วงความถี่กว้างโดยใช้วงแหวนวงกลมป้อนด้วยโมโนโพลกลมบาง โดยกล่าวถึงวิวัฒนาการของสายอากาศต่างๆที่เกี่ยวกับสายอากาศที่น่าเสนอ ตั้งแต่ สายอากาศสองทิศทางโดยใช้วงแหวนวงกลมป้อนด้วยโมโนโพลเชิงเส้น สายอากาศโมโนโพลชนิดแผ่นวงกลมบาง สายอากาศแบบสะท้อนวงกลมและสุดท้ายจะกล่าวถึงสายอากาศสองทิศทางที่ตอบสนองช่วงความถี่กว้างโดยใช้วงแหวนวงกลมป้อนด้วยโมโนโพลกลมบาง

2.1 วิวัฒนาการของสายอากาศ

ในระบบสื่อสารไร้สายนั้น สายอากาศเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการรับส่งสัญญาณ ดังนั้นจึงมีงานวิจัยจำนวนมากที่เน้นการพัฒนาตัวสายอากาศเพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและสอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้มากที่สุด จึงทำให้ในปัจจุบันมีสายอากาศจำนวนมากที่ถูกคิดค้นและนำมาใช้งาน สำหรับสายอากาศสองทิศทางที่ตอบสนองช่วงความถี่กว้างโดยใช้วงแหวนวงกลมป้อนด้วยโมโนโพลกลมบางเองก็ได้ถูกพัฒนามาจากสายอากาศอื่นๆในอดีต ซึ่งสามารถลำดับเป็นวิวัฒนาการได้ดังนี้

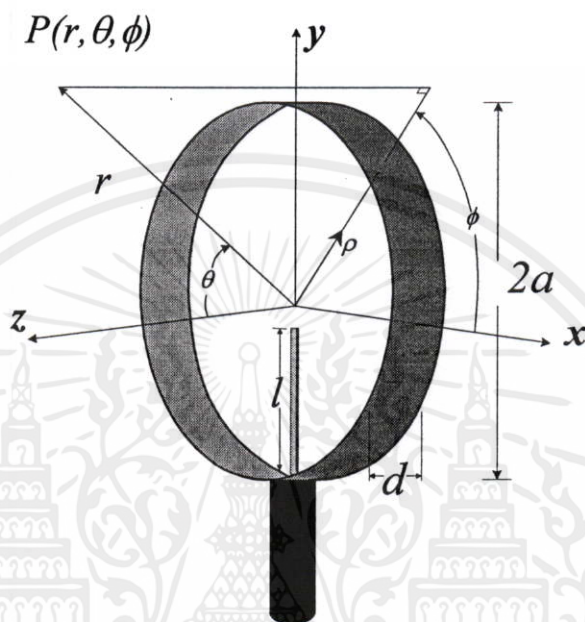
2.1.1 สายอากาศสองทิศทางที่ใช้วงแหวนวงกลมล้อมรอบโพรบ

สำหรับสายอากาศสองทิศทางที่ใช้วงแหวนวงกลมล้อมรอบโพรบ (Bidirectional antenna using a probe excited circular ring) ซึ่งอ้างมาจากวิทยานิพนธ์และบทความของ S. Kosulvit [6] เป็นสายอากาศแบบสองทิศทางอย่างง่ายและราคาถูก มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน กล่าวคือมีลักษณะที่เป็นโพรบเชิงเส้นที่ถูกล้อมรอบด้วยวงแหวนวงกลมและมีหลักการออกแบบที่ง่ายไม่ยุ่งยากและตรงไปตรงมา

หลักการของสายอากาศ

สายอากาศชนิดนี้ประกอบไปด้วยโพรบเชิงเส้นยาว l ขึ้นออกมาจากสายนำสัญญาณโคแอกเซียล (Coaxial) โดยมีรัศมีและความหนาของวงแหวนเป็น a และ d ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยที่โพรบวางในแนวแกน y และจะพิจารณาให้วงแหวนเป็นส่วนหนึ่งของท่อนำคลื่นรูปวงกลมที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางในทิศ z และ $-z$ และบริเวณช่องเปิดของวงแหวนทั้งสองด้านจะมีการแพร่กระจายคลื่นของสนาม โดยที่สนามที่บริเวณใกล้ๆ โพรบจะประกอบด้วยโหมดหลาย

โหมด แม้ว่าความหนาและรัศมีของวงแหวนจะถูกเลือกให้มีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้แล้วก็ตาม เพื่อให้มีเฉพาะคลื่นในโหมดพื้นฐาน TE_{11} แต่สนามที่บริเวณใกล้ๆ โพรบจะประกอบด้วยโหมดหลายโหมดซึ่งโดยทั่วไปแล้วโหมดอันดับสูงๆจะจางหายและแอมพลิจูดจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อระยะห่างจากโพรบมากขึ้น



รูปที่ 2.1 สายอากาศแบบสองทิศทางโดยใช้โพรบกระตุ้นวงแหวนวงกลม

ดังนั้นระยะที่เหมาะสมที่โหมดอันดับสูงสามารถตัดทิ้งได้จึงมีเฉพาะโหมดหลักเท่านั้นที่ถูกเลือก ซึ่งรัศมีของวงแหวนที่เลือกจะเป็นดังสมการที่ 2.1

$$0.293\lambda < a < 0.486\lambda \quad (2.1)$$

โดยที่ λ เป็นความยาวคลื่นที่ความถี่ที่ใช้งาน

เนื่องจากสายอากาศเป็นส่วนหนึ่งของท่อนำคลื่นรูปวงกลม ดังนั้นค่ารัศมีและความหนาของวงแหวนจึงสามารถเลือกได้ทั้งจากท่อนำคลื่นมาตรฐานและท่อนำคลื่นทั่วไปที่มีจำหน่ายในท้องตลาดที่ให้เฉพาะคลื่นในโหมดหลักเท่านั้นที่เดินทางได้ จากรูปที่ 2.1 เนื่องจากโพรบที่อยู่ในท่อนำคลื่นและขนานกับวงแหวนดังนั้นจะเกิดการกระตุ้นเฉพาะในโหมด TE เท่านั้น ในบริเวณใกล้ๆ โพรบค่าสนามจะมีความซับซ้อนและประกอบไปด้วยโหมดต่างๆหลายโหมด และที่ความถี่ที่ใช้งาน โหมดที่เป็นไปได้คือ โหมด TE_{11} , โหมด TE_{21} , โหมด TE_{01} และโหมดอื่น ๆ อีก ดังนั้นเมื่อคลื่นเดินทางไปในท่อนำคลื่นไปยังช่องเปิดทั้งสองด้าน คลื่นในโหมด TE_{11} จะเกิดการลดทอนดังสมการที่ 2.2

$$\alpha_{11} = \frac{R_s}{a\eta} \frac{8.686}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_{c11}}\right)^2}} \left[\left(\frac{\lambda}{\lambda_{c11}}\right)^2 + 0.420 \right] \quad (2.2)$$

โดยที่ λ_{c11} เป็นความยาวคลื่นตัดของคลื่นโหมด TE_{11} ซึ่งเท่ากับ $3.412a$ ส่วน η เป็นค่าอิมพีแดนซ์ของตัวกลาง R_s เป็นความต้านทานคุณลักษณะของผนังตัวนำที่ขึ้นอยู่กับความถี่ ถ้าความยาวคลื่นของสายอากาศมากกว่าความยาวคลื่นคัทออฟแล้วโหมดคลื่นจะเป็นคลื่นจางหาย (Evanescent mode) ซึ่งมีการลดทอนอย่างรวดเร็วเมื่อระยะทางมากขึ้นด้วยขนาดของการลดทอน $e^{-\alpha z}$ ค่าคงที่การลดทอนสำหรับโหมด TE_{21} แสดงได้ดังสมการที่ 2.3 และโหมด TE_{01} แสดงดังสมการที่ 2.4 [7]

$$\alpha_{21} = \frac{17.372\pi}{\lambda_{c21}} \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_{c21}}{\lambda}\right)^2} \quad (2.3)$$

และ

$$\alpha_{01} = \frac{17.372\pi}{\lambda_{c01}} \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_{c01}}{\lambda}\right)^2} \quad (2.4)$$

โดยที่ λ_{c21} แล λ_{c01} เป็นความยาวคลื่นตัดในโหมด TE_{21} แลโหมด TE_{01} ตามลำดับ ซึ่ง λ_{c21} มีค่าเท่ากับ $2.057a$ และ λ_{c01} มีค่าเท่ากับ $1.640a$

เมื่อพิจารณาเฉพาะ โหมดหลัก ค่าสนามการแพร่กระจายคลื่นทั้งหมดของสายอากาศเกิดจากผลรวมของสนามจากแต่ละช่องเปิดที่แพร่กระจายออกไปในทิศทางตรงกันข้ามกันแต่เฟสตรงกัน โดยสมการของสนามที่แพร่กระจายคลื่นจะคำนวณโดย ไม่คิดผลของการเลี้ยวเบนของคลื่นที่เกิดจากโครงสร้างของสายอากาศและการเชื่อมต่อระหว่างช่องเปิดทั้งสอง ซึ่งผลลัพธ์ของสนามจากสายอากาศแสดงได้ดังสมการที่ 2.5 และ 2.6 คือ

$$E_\theta = A_{11} a^2 \sin \phi \frac{J_1(1.8412)}{1.8412} \frac{J_1(ka \sin \theta)}{ka \sin \theta} \sin\left(\frac{1}{2} kd \cos \theta\right) \quad (2.5)$$

$$E_\phi = A_{11} a^2 \cos \theta \cos \phi \frac{1.8412 J_1(1.8412)}{(1.8412)^2 - (ka \sin \theta)^2} J_1'(ka \sin \theta) \sin\left(\frac{1}{2} kd \cos \theta\right) \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ (1.8412)² - (ka sin θ)² เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

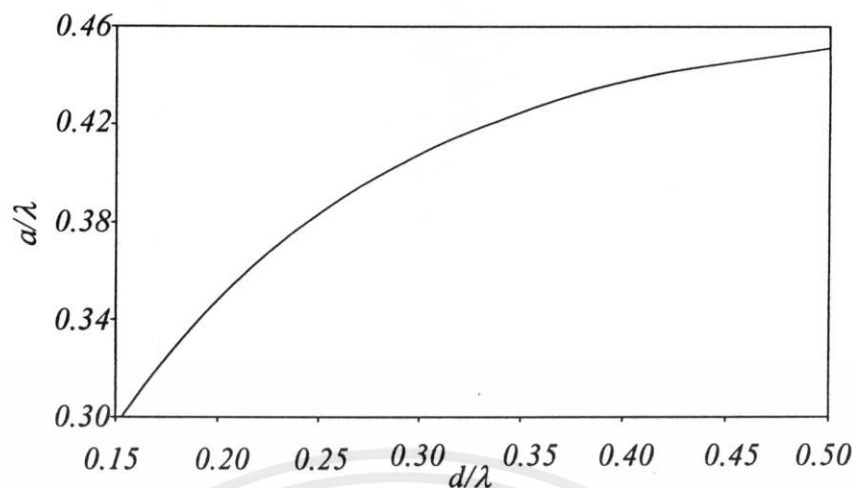
โดยที่ A_{11} เป็นแอมพลิจูดสัมพัทธ์ของสนามในโหมด TE_{11} ส่วน $J_1(*)$ เป็นฟังก์ชันเบสเซลชนิดที่หนึ่งอันดับที่หนึ่ง ส่วน k เป็นเลขคลื่นในช่องว่างอิสระและเครื่องหมายไพรม์ (prime) เป็น

อนุพันธ์เทียบกับมุมของฟังก์ชันเบสเซล นิพจน์ของสนามเหล่านี้จะถูกใช้ในการหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นและค่าสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศเมื่อวงแหวนมีความหนาแน่นมากพอและมีเฉพาะคลื่นในโหมดหลักเท่านั้น ซึ่งนิพจน์ดังกล่าวนี้ไม่สามารถใช้ในกรณีที่มีความหนาแน่นของวงแหวนมีค่าน้อยมากๆ ทั้งนี้ก็เพราะจะมีผลของโหมดอันดับสูงเกิดขึ้น

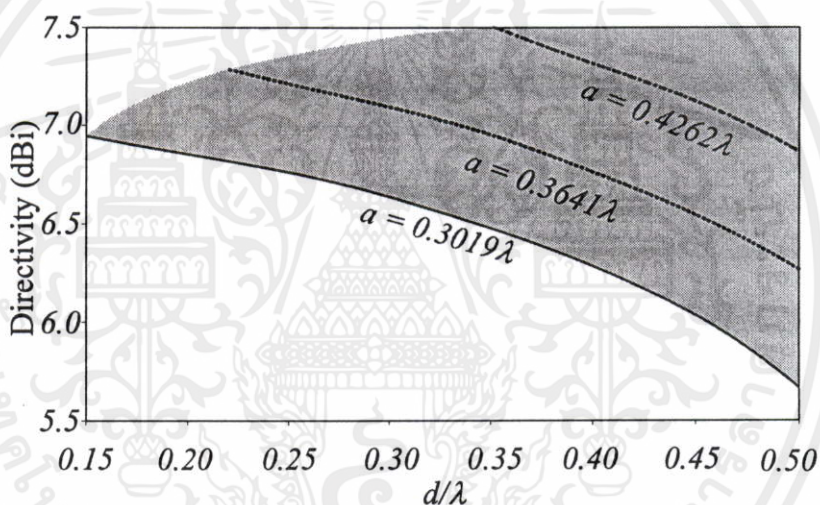
จากสมการของสนามไฟฟ้าในสมการที่ 2.5 และ 2.6 จะได้เส้นโค้งแสดงคุณลักษณะของสายอากาศ เพื่อแสดงค่ารัศมีที่เหมาะสม จากรูปที่ 2.2 (ก) นี้จะนำไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบ กล่าวคือเมื่อระบุค่ารัศมีของวงแหวนที่ค่าหนึ่ง จะสามารถหาความหนาแน่นของวงแหวนที่มีการกระจายคลื่นในโหมดหลักเท่านั้นและมีค่าสภาพเจาะจงทิศทางสูงสุดได้ และจะสังเกตได้ว่าเมื่อรัศมีของวงแหวนมีค่ามากกว่า 0.40λ ค่าความหนาแน่นของวงแหวนที่มีค่าสภาพเจาะจงทิศทางสูงสุดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งทำให้โครงสร้างของสายอากาศมีขนาดใหญ่เกินไปและไม่สามารถใช้งานได้จริงในทางปฏิบัติ ส่วนในรูปที่ 2.2 (ข) แสดงค่าสภาพเจาะจงทิศทางซึ่งเป็นฟังก์ชันของความหนาแน่นของวงแหวน โดยได้แสดงไว้ในบริเวณเงา ซึ่งพบว่าค่าสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศจะอยู่ในช่วง 5.5-7.5 dBi ซึ่งกราฟนี้จะมีประโยชน์อย่างมากในการหาค่าสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศเมื่อเปลี่ยนความหนาแน่นและค่ารัศมีของวงแหวน

ตัวอย่างในการออกแบบสายอากาศ เช่น ถ้าเลือกท่อนำคลื่นที่มีรัศมีเท่ากับ 0.35λ และต้องการค่าสภาพเจาะจงทิศทาง 6.5 dBi จะได้ความหนาแน่นของวงแหวนมีค่า 0.44λ หรือถ้าเลือกรัศมีของวงแหวนมีค่าเท่ากับ 0.40λ และเลือกความหนาแน่นของวงแหวนเท่ากับ 0.37λ จะได้ค่าสภาพเจาะจงทิศทางเป็น 7.4 dBi สรุปได้ว่าในระหว่างตัวแปรทั้งสามนี้ (รัศมีวงแหวน ความหนาแน่นวงแหวน และค่าสภาพเจาะจงทิศทาง) ถ้าสองตัวแปรใดถูกเลือกขึ้นมา ก่อนอีกตัวแปรที่เหลือก็จะหาค่าได้ ข้อสังเกตอีกประการหนึ่งพบว่า สำหรับความหนาแน่นของวงแหวนขนาดเดียวกัน เช่นที่ $d = 0.39\lambda$ ค่าสภาพเจาะจงทิศทางของวงแหวนที่มีรัศมีใหญ่กว่าจะมีค่าสูงกว่ากรณีของวงแหวนที่มีรัศมีน้อยกว่า นอกจากนี้ยังพบอีกว่าในกรณีที่ค่ารัศมีของวงแหวนมีขนาดเท่ากัน วงแหวนที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะมีแนวโน้มของค่าสภาพเจาะจงทิศทางลดลงกว่าวงแหวนที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า ส่วนกรณีที่ความหนาแน่นของวงแหวนมีค่ามากกว่า 0.50λ นั้นพบว่าค่าสภาพเจาะจงทิศทางจะลดลงอย่างมากอันเนื่องจากการแตกของลำคลื่นหลักเมื่อระยะห่างระหว่างปากทั้งสองของวงแหวนมีค่ามากเกินไป ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าในกรณีที่วงแหวนมีความหนาแน่นมากกว่า 0.50λ นั้นสายอากาศชนิดนี้ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน ทั้งนี้เนื่องจากสายอากาศมีคุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่นไม่เป็นแบบสองทิศทางนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) กราฟเส้นโค้งที่ใช้ในการออกแบบ



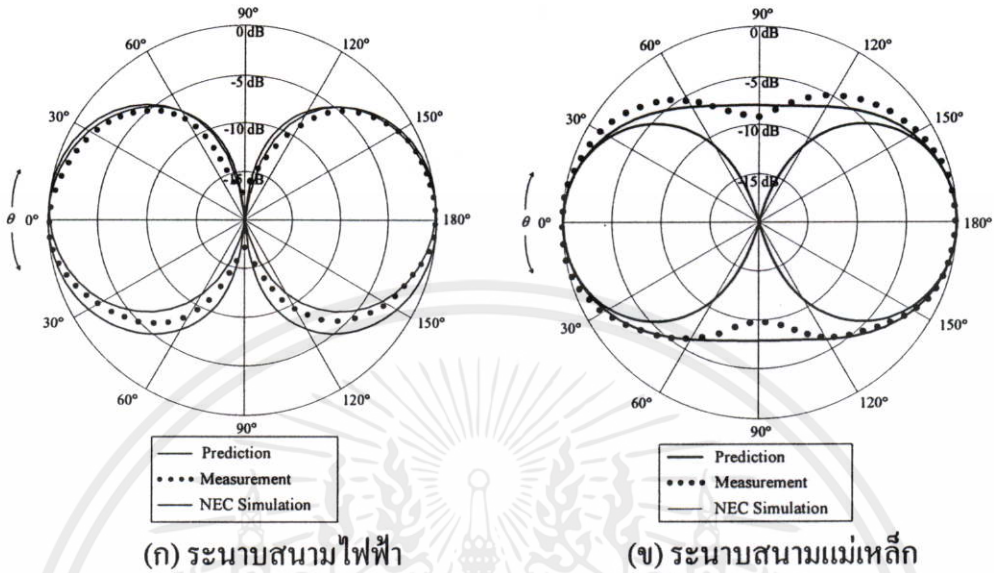
(ข) ค่าสภาพเจาะจงทิศทางที่เป็นฟังก์ชันของความหนาของวงแหวน

รูปที่ 2.2 เกณฑ์การออกแบบสายอากาศ

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

จากสมการการออกแบบในสมการที่ 2.1 ทำให้สามารถออกแบบสายอากาศที่ความถี่ใช้งาน 1.9065 GHz ได้โดยความยาวของโพรบที่เลือกเท่ากับ 3.93 เซนติเมตร (0.25λ) สำหรับการออกแบบเพื่อหาค่าความหนาของวงแหวนนั้นสามารถหาได้โดยใช้เส้นโค้งในรูปที่ 2.3 ซึ่งพบว่า ค่ารัศมีของวงแหวนเท่ากับ 4.7506 ซม. (0.3019λ) ความหนาของวงแหวนที่มีคุณลักษณะดีที่สุด

เท่ากับ 2.43 ซม. (0.154λ) แบบรูปการกระจายคลื่นของสายอากาศที่มีขนาดดังกล่าวได้ถูกทำการทดสอบทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กดังแสดงในรูปที่ 2.3(ก) และ(ข) ตามลำดับ



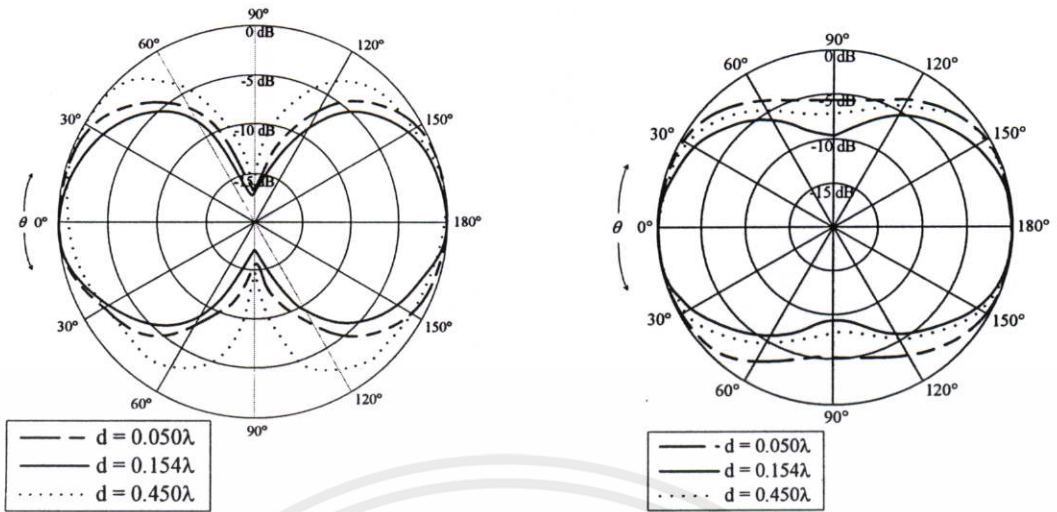
รูปที่ 2.3 การเปรียบเทียบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ได้จากการคำนวณและทดสอบ

จากรูปที่ 2.3 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบและผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สูตรในสมการที่ 2.5 และ 2.6 ความกว้างลำคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าเกือบเท่ากันซึ่งคล้ายแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก จากผลการทดสอบพบว่าลำคลื่นที่กว้างกว่าผลที่ได้จากการคำนวณ ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากการคำนวณที่ต้องใช้การประมาณค่าของสนามทั้งหมดที่แพร่กระจายจากสายอากาศโดยรวมจากปากเปิดเดี่ยวๆทั้งสองปาก ซึ่งไม่พิจารณาการเชื่อมต่อระหว่างปากทั้งสองของวงแหวนทำให้ผลการคำนวณมีความกว้างของลำคลื่นแคบกว่าผลจากการทดสอบ

จากวิธีการออกแบบดังกล่าว ทำให้พบว่า ค่าความหนาของวงแหวนของสายอากาศนี้จะมีค่า 0.154λ เพื่อให้ได้ค่าสภาพเจาะจงทิศทางสูงที่สุด และทำการสร้างสายอากาศที่มีความหนาสามขนาดด้วยกัน ทั้งนี้เพื่อนำคุณลักษณะที่ได้มาเปรียบเทียบกัน สำหรับวงแหวนที่มีความหนาน้อยกว่า 0.050λ เนื่องจากว่ายังคงมีผลของคลื่นในโหมดอื่นๆทำให้ลำคลื่นมีความกว้าง ในทางกลับกัน สำหรับกรณีที่วงแหวนมีความหนามากคือ 0.450λ ลำคลื่นมีความกว้างเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจาก

ระยะห่างระหว่างสองปากที่มีค่านั่นเอง

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ระบายสนามไฟฟ้า

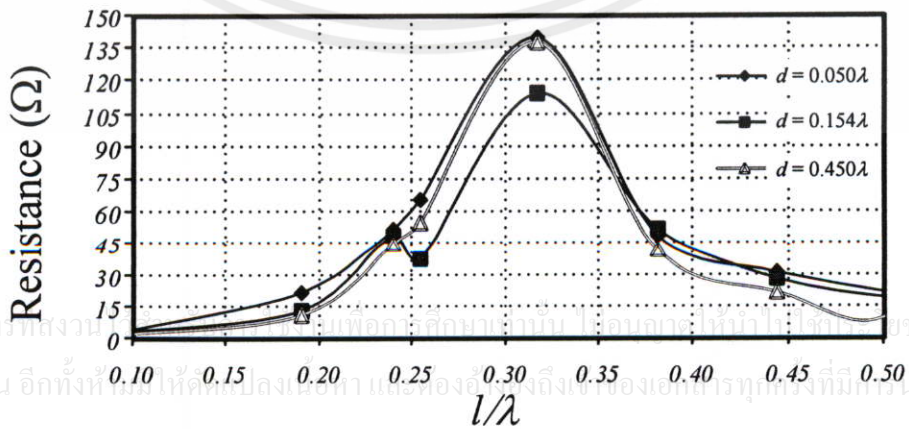
(ข) ระบายสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 2.4 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ได้จากการทดสอบที่ความหนาของวงแหวนต่าง ๆ กัน

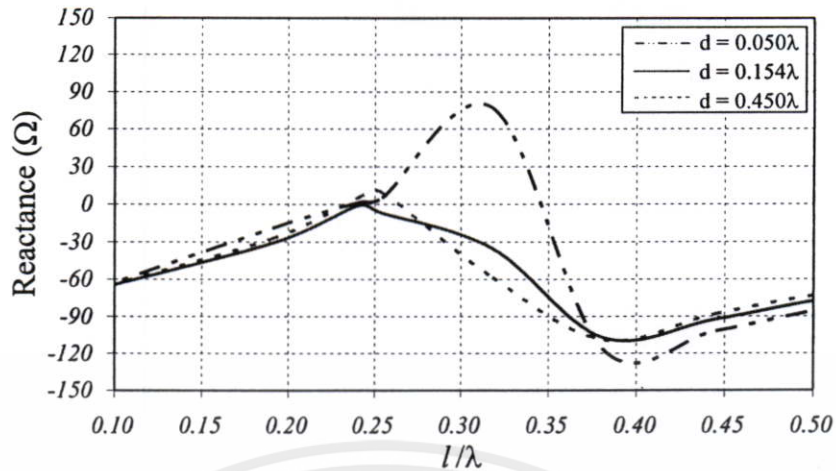
ส่วนรูปที่ 2.4 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบของความหนาของวงแหวนที่มีต่อแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

อิมพีแดนซ์ด้านเข้า

สำหรับค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศสามารถปรับค่าให้ดีขึ้นได้ง่ายโดยการปรับค่าความยาวของโพรบ

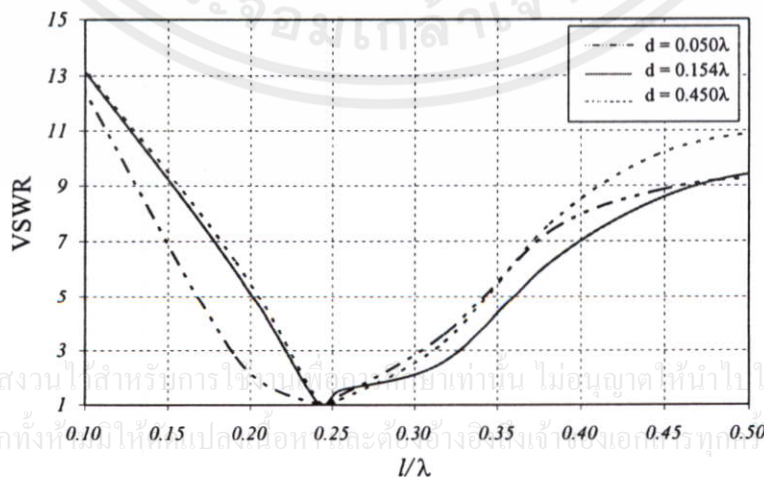


รูปที่ 2.5 ค่าความต้านทานที่ความยาวโพรบค่าต่างๆ



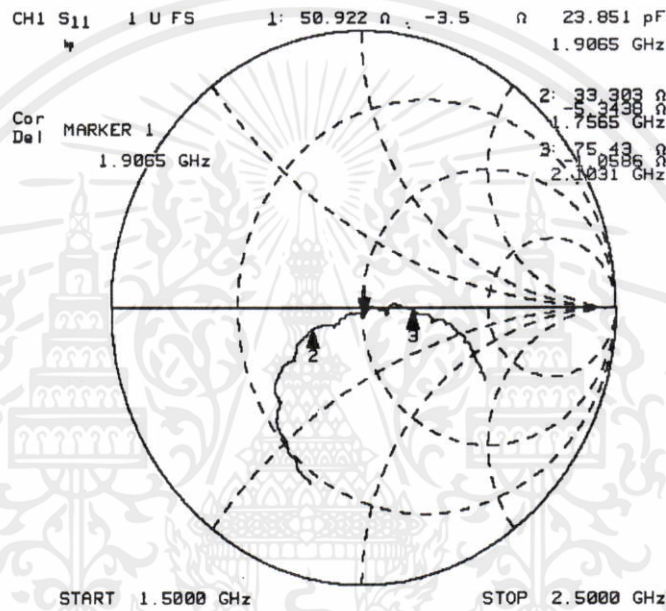
รูปที่ 2.6 ค่ารีแอกแตนซ์ที่ความยาวโพรบค่าต่างๆ

จากรูปที่ 2.5 และ 2.6 จะแสดงค่าความต้านทานและค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศจากการทดสอบเป็นฟังก์ชันของความยาวโพรบของสายอากาศที่มีขนาดครีมี 3 ขนาดที่ได้สร้างขึ้น มิติของสายอากาศที่สร้างขึ้นมีค่าดังนี้ $a = 0.3019\lambda$ และ $d = 0.050\lambda$, 0.154λ และ 0.450λ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการแปรผันของค่าความต้านทานของสายอากาศทั้งสามมีแนวโน้มเหมือนกันกล่าวคือจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าน้อยๆที่ความยาวโพรบ 0.10λ และจะมีค่าสูงสุดที่ความยาวโพรบประมาณ 0.32λ จากนั้นค่าความต้านทานจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อความยาวโพรบมากขึ้นอีก ส่วนค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศทั้งสามก็มีแนวโน้มเหมือนกันกล่าวคือจะมีค่าเป็นรีแอกแตนซ์ความจุไฟฟ้าที่ประมาณ 60 โอห์มเมื่อโพรบยาว 0.10λ และค่ารีแอกแตนซ์มีแนวโน้มจะเรโซแนนซ์เมื่อความยาวโพรบประมาณ 0.25λ และกลับมาเป็นรีแอกแตนซ์ความจุไฟฟ้าอีกครั้งเมื่อโพรบยาวขึ้น ส่วนรูปที่ 2.7 แสดงค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่เป็นฟังก์ชันของความยาวโพรบ

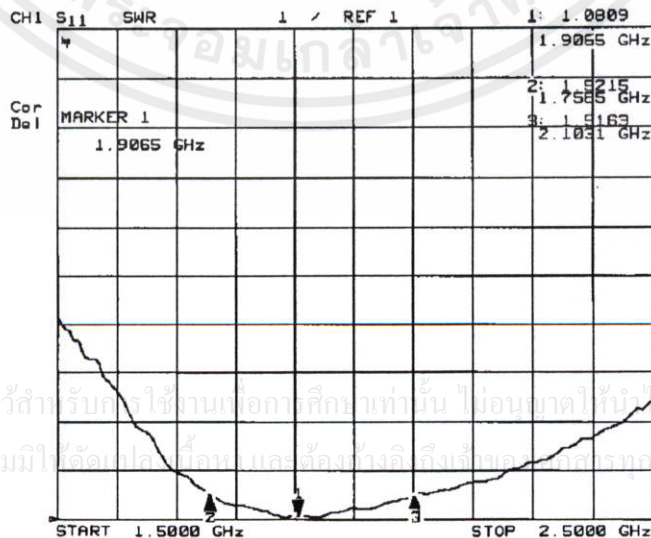


รูปที่ 2.7 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ความยาวโพรบค่าต่างๆ

จากรูปที่ 2.7 จะเห็นว่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งสำหรับทุกรณีจะเกิดขึ้นที่ความยาวโพรบประมาณ 0.24λ ซึ่งค่าดังกล่าวจะใช้เป็นพารามิเตอร์ในการออกแบบ ดังนั้นจากที่ได้กล่าวมาทั้งหมด ทำให้พอที่จะสรุปพารามิเตอร์ของสายอากาศที่ให้คุณลักษณะของสายอากาศที่ดีที่สุดคือ a เท่ากับ 0.3019λ d มีค่าเท่ากับ 0.154λ l มีความยาวเท่ากับ 0.24λ จากนั้นได้สร้างสายอากาศที่มีขนาดดังกล่าว โดยมีค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าและค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งเป็นฟังก์ชันความถี่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.8 และรูปที่ 2.9 ตามลำดับ



รูปที่ 2.8 ค่าอิมพีแดนซ์ที่ได้จากการทดสอบของสายอากาศ



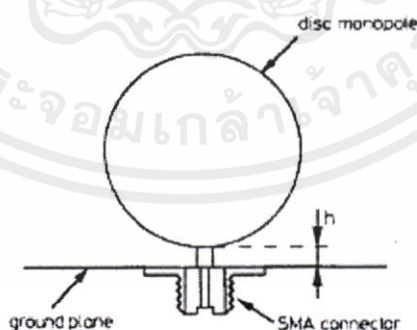
รูปที่ 2.9 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ได้จากการทดสอบของสายอากาศ

พบว่าสายอากาศมีค่ารีแอกแตนซ์ความจุไฟฟ้าทั้งความถี่ต่ำกว่าและสูงกว่าความถี่ที่ออกแบบดังแสดงในรูปที่ 2.8 โดยที่ความถี่ที่ออกแบบสายอากาศเกือบจะเรโซแนนซ์โดยมีค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้ามีค่าเท่ากับ $Z = 50.9 - j3.5$ โอห์ม และจากรูปที่ 2.9 จะเห็นค่าความกว้างแถบความถี่ของสายอากาศที่มีอัตราส่วนคลื่นนิ่งไม่เกิน 1.5 มีค่า 17.8 % ซึ่งความกว้างแถบความถี่เท่านี้เพียงพอสำหรับการใช้งานในทางปฏิบัติสำหรับระบบการสื่อสารเคลื่อนที่แต่ยังรองรับระบบการสื่อสารที่เป็นแบบ Ultra-wideband ไม่ได้

สำหรับการประยุกต์ใช้งานสายอากาศดังกล่าว ได้นำไปติดตั้งใช้งานในเขตกรุงเทพมหานคร โดยใช้เป็นสายอากาศที่สถานีฐานสำหรับระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล (Personal Communication Telephone) หรือระบบพีซีทีซึ่งสายอากาศสองทิศทางนี้สามารถเพิ่มระยะทางระหว่างสถานีฐานได้ถึงสองเท่าเมื่อเทียบกับสายอากาศดั้งเดิมที่แพร่กระจายคลื่นออกรอบทิศทาง ดังนั้นจึงลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสถานีฐานลงไปได้อย่างมาก

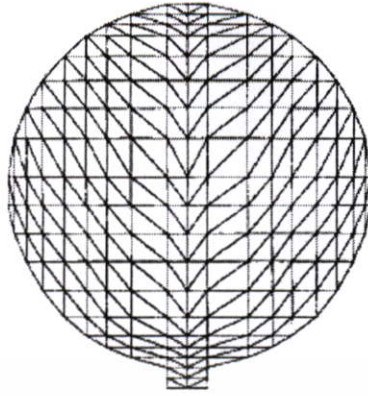
2.1.2 สายอากาศโมโนโพลกลมบาง

สำหรับสายอากาศโมโนโพลกลมบางเคยถูกนำไปใช้เป็นสายอากาศโทรทัศน์ในย่านความถี่ 90-770 MHz [8] ซึ่งสายอากาศจะมีการสูญเสียย้อนกลับที่วัดได้จะครอบคลุมแถบความถี่ที่กว้าง โดยใช้แบบจำลองกริดเชิงเส้น (wire grid) ในการวิเคราะห์ สำหรับโครงสร้างของสายอากาศโมโนโพลกลมบางที่ตอบสนองในช่วงความถี่กว้าง (2.25-17.25 GHz) สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.10 สำหรับวิธีในการคำนวณจะใช้ขั้นตอนของวิธีโมเมนต์ สำหรับรูปที่ 2.11 จะเป็นโครงร่างที่ใช้เซลล์แบบสามเหลี่ยมในการคำนวณหาสูตร



รูปที่ 2.10 สายอากาศโมโนโพลกลมบางบนแผ่นสะท้อน[4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 โครงร่างของสายอากาศโมโนโพลกลมที่ใช้เซลล์แบบสามเหลี่ยม [4]

สำหรับวัสดุที่นำมาใช้เป็นตัวโมโนโพลกลมบางก็คือ แผ่นทองเหลืองหนา 0.5 มิลลิเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร โดยมีตัวเชื่อมอยู่ตรงกลางของแผ่นสะท้อนสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 300×300 ตารางมิลลิเมตร ตัวเชื่อมจะเป็นแบบ SMA 50Ω โดยที่ h เป็นระยะห่างระหว่างขอบของตัวโมโนโพลกลมบางและแผ่นสะท้อน

การวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์จะใช้วิธีการของวิธีโมเมนต์ที่ใช้องค์ประกอบแบบสามเหลี่ยม ซึ่งวิธีนี้ได้ถูกพัฒนาและใช้สำหรับการศึกษาปัญหาเกี่ยวกับการเลี้ยวเบนบนโครงสร้างที่เป็นโลหะที่มีรูปร่างแบบต่างๆ [10] สำหรับในการวิเคราะห์สายอากาศโมโนโพลกลมบางจะนำแบบจำลองการป้อนสัญญาณ (feeding model) มาประยุกต์ใช้ที่ขอบของโครงสร้างที่เป็นวงกลมและพัฒนาให้เป็นวงแหวนของกระแสแม่เหล็ก ซึ่งหลีกเลี่ยงการนำโหมดที่เกิดขึ้นที่สายอากาศไปยังจุดเชื่อมต่อของข้อเชื่อมแบบ SMA การศึกษาเชิงวิเคราะห์จะไม่สามารถนำมาใช้ในกรณีนี้เพราะว่าข้อเชื่อม SMA ภายในมีหน้าตัดสี่เหลี่ยมที่แผ่นเอาต์พุตของข้อเชื่อม ส่วนการศึกษาเชิงทฤษฎี จะสมมุติให้มีเฉพาะโหมด TEM ที่เกิดขึ้นโดยช่องเปิดของข้อเชื่อมและให้สมการลาปลาซ $\nabla^2 V = 0$ ที่แผ่นเอาต์พุตของข้อเชื่อม โดยนำไปใช้พิจารณาเรขาคณิตของข้อเชื่อมภายใน ดังนั้นจึงทำให้พหุนามค่ากระแสแม่เหล็กได้และสนามไฟฟ้าตกกระทบ \vec{E}^i ตลอดตัวสายอากาศได้ สำหรับรูปที่ 2.11 จะมีข้อเชื่อมภายในแสดงไว้ด้วยเพื่อให้การวิเคราะห์เชิงทฤษฎีและผลการทดลองสอดคล้องกัน

โมโนโพลนี้จะถูกป้อนสัญญาณด้วยสนามไฟฟ้าตกกระทบ \vec{E}^i ซึ่งส่วนประกอบเชิงสัมผัส (tangential component) ของสมการเชิงอินทิกรัลสนามไฟฟ้า (Electric field integral equation :EFIE) จะมีค่าเท่ากับ

$$\vec{E}_{\text{tan}}^i = (j\omega \vec{A} + \nabla \phi)_{\text{tan}} \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ A และ ϕ จะแทนเวกเตอร์สนามแม่เหล็กและศักย์เชิงสเกลาร์ (scalar potential) ที่สัมพันธ์กับค่ากระแสเชิงพื้นผิว ซึ่งสมการที่ 2.7 สามารถเขียนให้อยู่ในระบบเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$[V_m] = [Z_{m,n}][I_n] \quad (2.8)$$

ในกรณีฟังก์ชันทดสอบ (testing function) จะเท่ากับฟังก์ชันฐาน (basis function) ซึ่งเป็นวิธีของ Galerkin ซึ่งผลเฉลยที่ได้จะมีความแน่นอนและครอบคลุม เมื่อกำหนด $[Z_{m,n}]$ และ $[V_m]$ ได้ ทำให้สามารถหา $[I_n]$ ได้ ซึ่ง $[I_n]$ จะแทนการกระจายกระแสเชิงพื้นผิว และสุดท้ายค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าก็สามารถหาได้จาก $Z_{in} = V_0 / I_0$ โดยที่ V_0 เป็นค่าแรงดันระหว่างข้อเชื่อมภายในและภายนอกของช่องเปิดโคเอกเซียลที่ระนาบของแผ่นวงกลมและ I_0 เป็นค่ากระแสที่แผ่นเดียวกัน

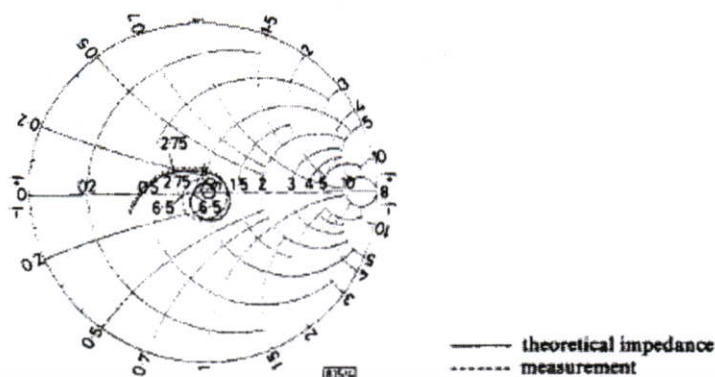
ผลลัพธ์

สำหรับรูปที่ 2.12 จะแสดงค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าบนแผนภูมิสมิท (Smith chart) ที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีของสายอากาศโมนโพลกลมบางที่มีแถบความถี่ 2.25-17.25 GHz เส้นโค้งทั้งสามแสดงถึงอิมพีแดนซ์ด้านเข้าสำหรับพารามิเตอร์ h ที่ค่าต่างๆ ในการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้ที่จะหาค่า h ที่เหมาะสมสำหรับการแมตช์ที่ดี ผลลัพธ์ที่ได้ก็สอดคล้องกับผลการทดสอบที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.12 อิมพีแดนซ์ด้านเข้าที่ได้จากการคำนวณเชิงทฤษฎีของสายอากาศโมนโพลกลมบางที่มีค่าความสูง h ต่างๆ ครอบคลุมช่วงความถี่ 2.25-17.25 GHz [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 อิมพีแดนซ์ด้านเข้าที่ได้จากคำนวณเชิงทฤษฎีเปรียบเทียบกับผลการทดสอบที่มีค่าความสูง $h=0.7$ mm ครอบคลุมช่วงความถี่ 2.25-17.25 GHz [4]

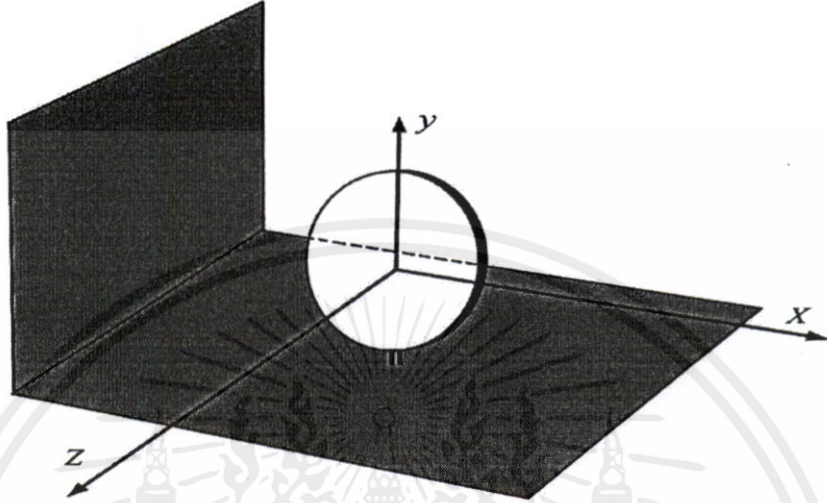
จากรูปที่ 2.13 พบว่าผลที่ได้จากคำนวณจะใกล้เคียงกันในช่วงความถี่ 2.25 ถึง 8 GHz ส่วนตั้งแต่ 8 GHz ไปจนถึง 17.25 GHz จะมีความแตกต่างความถี่เรโซแนนซ์ระหว่างทฤษฎีและการทดสอบประมาณ 5 % แม้ว่าความกว้างแถบอิมพีแดนซ์จะกว้าง (2.25-17.25 GHz) แต่ความถี่ที่สามารถใช้งานจะจำกัดด้วยแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่แปร่งที่ปรากฏจากความถี่ 12 GHz ดังที่กล่าวในข้างต้นว่าสายอากาศสร้างขึ้นง่าย ๆ จากแผ่นทองเหลือง ด้วยเหตุนี้จึงไม่มีค่าการสูญเสียไดอิเล็กตริก (dielectric loss) แต่เนื่องจากความนำของทองเหลืองที่มีค่าสูงมากและสายอากาศมีช่วงความถี่ที่กว้าง ดังนั้นจึงทำให้ค่าประสิทธิภาพของแหล่งกำเนิดการแพร่กระจายคลื่นมีค่าที่ต่ำมาก

2.2. สายอากาศที่นำเสนอ

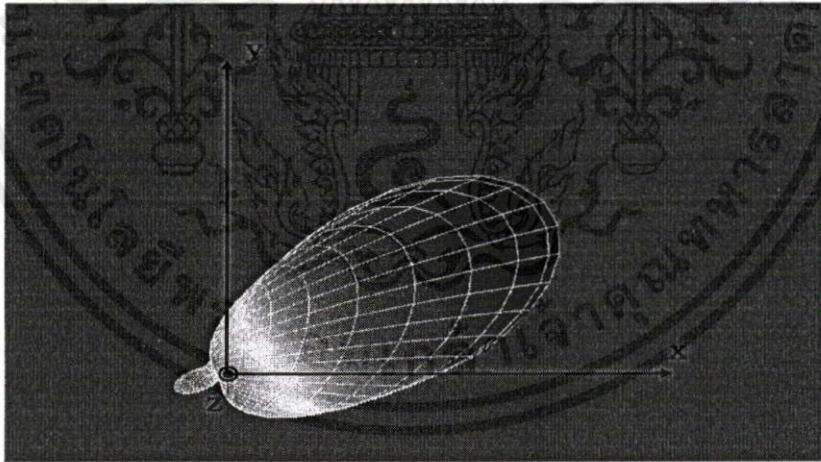
สำหรับสายอากาศที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ก็คือ สายอากาศสองทิศทางที่ตอบสนองช่วงความถี่กว้างโดยใช้วงแหวนวงกลมป้อนด้วยโมโนโพลกลมบาง จะเป็นการประยุกต์หลักการเดิมของสายอากาศสองทิศทางที่ใช้วงแหวนวงกลมล้อมรอบด้วยโพรบเชิงเส้น และหลักการของสายอากาศโมโนโพลกลมบางบนแผ่นสะท้อนดังที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ผ่านมา ด้วยแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบ 2 ทิศทางของสายอากาศวงแหวนวงกลมล้อมรอบโพรบเชิงเส้น รวมถึงการมีช่วงกว้างความถี่ที่กว้างของสายอากาศโมโนโพลกลมบางบนแผ่นสะท้อนและด้วยมิติทางกายภาพที่สอดคล้องกันของสายอากาศทั้งสอง ถ้านำสายอากาศดังกล่าวทั้งสองตัวรวมเข้าด้วยกัน จะทำให้ได้สายอากาศที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบสองทิศทางและมีช่วงกว้างความถี่ที่กว้าง

ในการพัฒนาสร้างสายอากาศที่นำเสนอให้มีแบบรูปการแพร่กระจายแบบสองทิศทางนั้น จะเริ่มจากหลักการของตัวสะท้อน (Reflector) ปกติแล้วการนำแผ่นโลหะมาวางปิดกัน ในแนวที่ล้าคลื่น ไม่ว่าจะหันเข้าหรือหันออกก็ยังมีทิศทางของคลื่น และต้องอิงอิงถึงเจ้าของเอกสารที่กล่าวถึงมาไว้ใช้ที่พุ่งออก ขนาดของแผ่นโลหะต้องสามารถครอบคลุมตัวโมโนโพลกลมบางได้ทั้งหมดเพื่อให้เกิดการสะท้อนกลับ ซึ่งถ้าขนาดของแผ่นโลหะเล็กกว่าโมโนโพลกลมบางก็จะทำให้ล้าคลื่นเดินทางไป

ในทิศทางนั้นแทนหรือเรียกว่าตัวชี้ทิศทาง (Director) จากรูปที่ 2.14 ได้ใช้แผ่นโลหะปิดด้านข้างเพียงด้านเดียวในระนาบ zy และโมโนโพลกลมบางบนแผ่นสะท้อน (ระนาบ xz) หันหน้าไปในทิศทางแกน z และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นดังรูปที่ 2.15

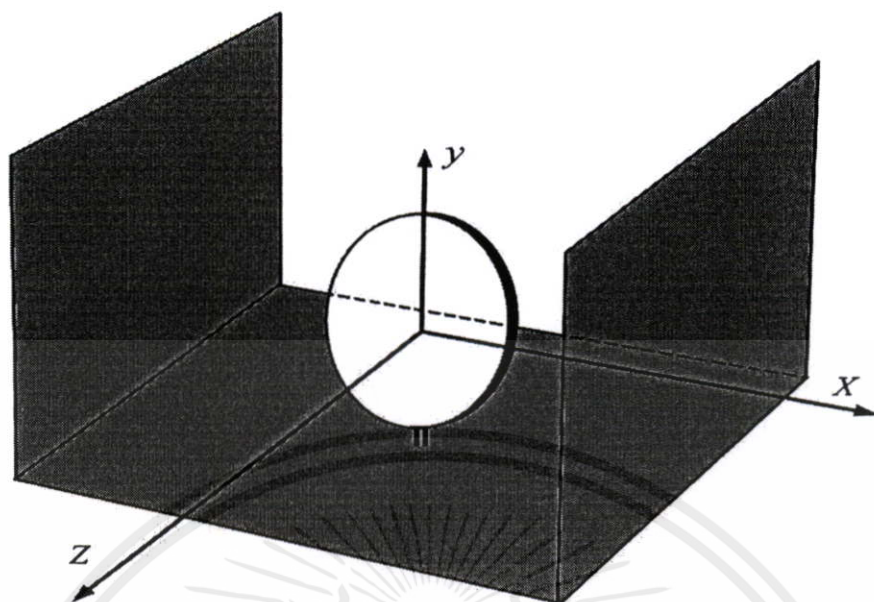


รูปที่ 2.14 โมโนโพลกลมบางบนแผ่นสะท้อนในระนาบ xz ที่มีแผ่นโลหะปิดด้านข้างในระนาบ zy

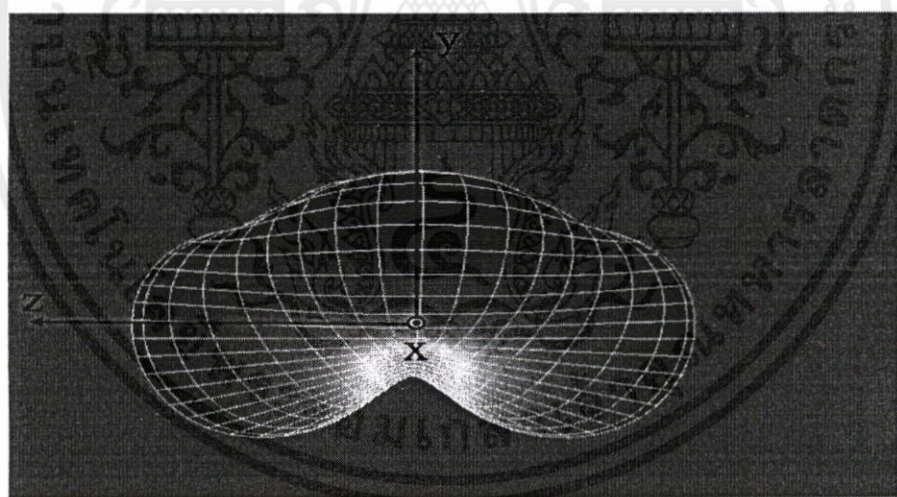


รูปที่ 2.15 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ xy ของโมโนโพลกลมบางบนแผ่นสะท้อนที่มีแผ่นโลหะปิดด้านข้างดังรูปที่ 2.14

เอกสารจากรูปที่ 2.15 จะเห็นว่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบทิศทางเดียวซึ่งชี้ไปในทิศทางแกน x มากกว่า y อย่างไรก็ตามถ้าเราแยกตัวขึ้นจากแนวระดับตามคุณลักษณะเดิมของโมโนโพลกลมบาง ต่อมาได้เพิ่มแผ่นโลหะปิดกันเป็นสองด้านในระนาบ yz ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.16 ซึ่งมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นดังรูปที่ 2.17

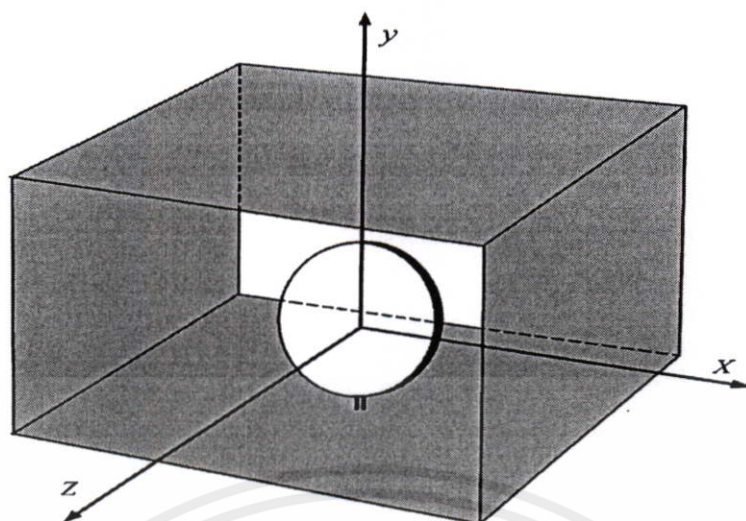


รูปที่ 2.16 โมโนโพลกลุมบางบนแผ่นสะท้อนในระนาบ xz ที่มีแผ่นโลหะปิดทั้งสองด้านในระนาบ zy



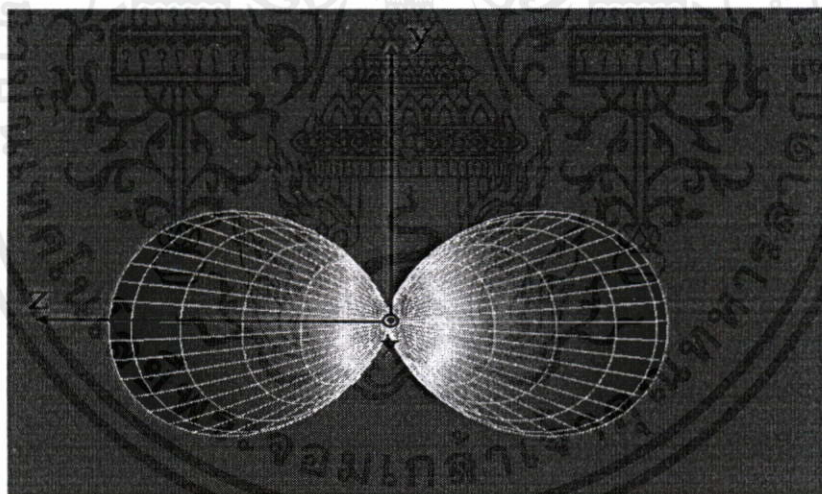
รูปที่ 2.17 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ xy ของโมโนโพลกลุมบางบนแผ่นสะท้อนที่มีแผ่นโลหะปิดด้านข้างดังรูปที่ 2.16

จากรูปที่ 2.17 จะเห็นว่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศจะชี้ไปในทิศทางแนวแกน z และยังคงมีส่วนที่ชี้ไปในแนวแกน y และ x อยู่ จึงได้เพิ่มแผ่นโลหะปิดในส่วนระนาบ xz ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 สายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมล้อมรอบโมโนโพลกลมบาง

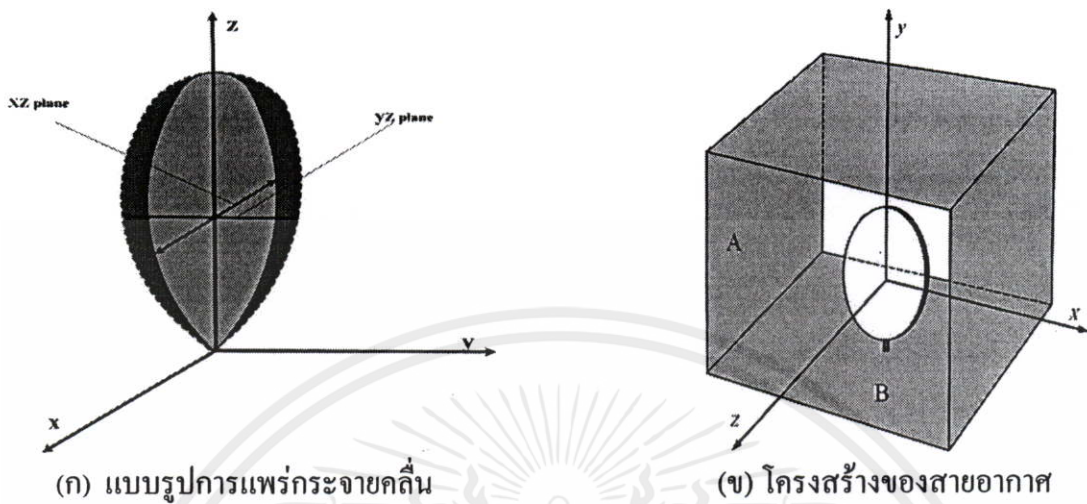
จากรูปที่ 2.18 สายอากาศที่ได้จะเป็นลักษณะของวงแหวนสี่เหลี่ยมล้อมรอบ โมโนโพลกลมบาง ซึ่งแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ได้จะเป็นแบบสองทิศทางที่สมบูรณ์มากมีความสมดุลของลำคลื่นและแกนกลางทั้งสองแสดงไว้ดังรูปที่ 2.19



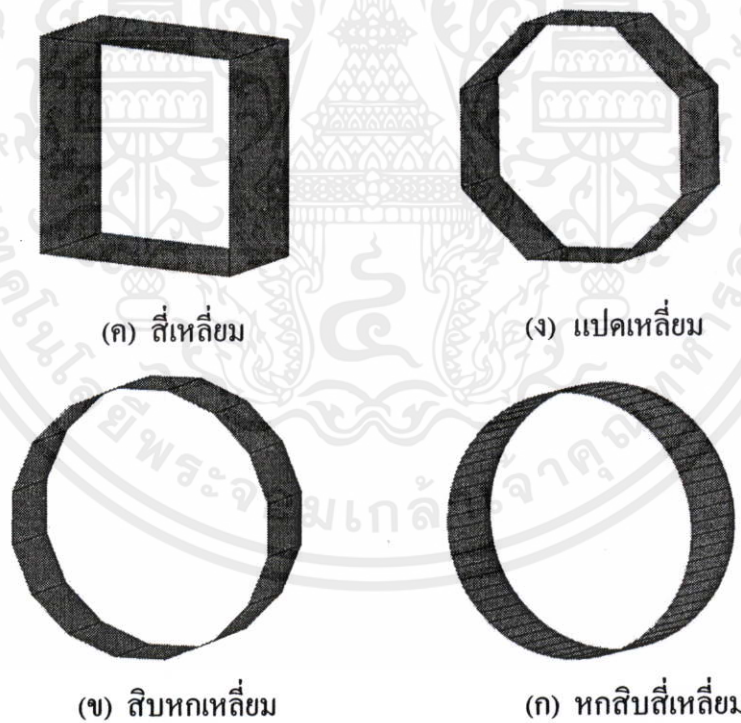
รูปที่ 2.19 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ yz สายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมล้อมรอบ โมโนโพลกลมบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ผลกระทบที่สำคัญสำหรับปากวงแหวนสี่เหลี่ยมต่อแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ xz
และ yz โดยขนาดความยาวของ A และ B จะมีผลทำให้เกิดความสมดุลของลำคลื่นในระนาบ xz
และ yz ซึ่งทำให้สายอากาศสามารถชี้ทิศทางได้ดีแสดงไว้ดังรูปที่ 2.20 ด้วยแนวคิดอันนี้จึงได้พัฒนา

เป็นวงแหวนให้มีส่วนประกอบที่เท่ากันเป็นลักษณะของ 8 เหลี่ยม 16 เหลี่ยม จนถึง 64 เหลี่ยมดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.20 สายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมที่มีขนาด $A \times B$ ถูกป้อนกระแสด้วยโมโนโพลกลมบาง



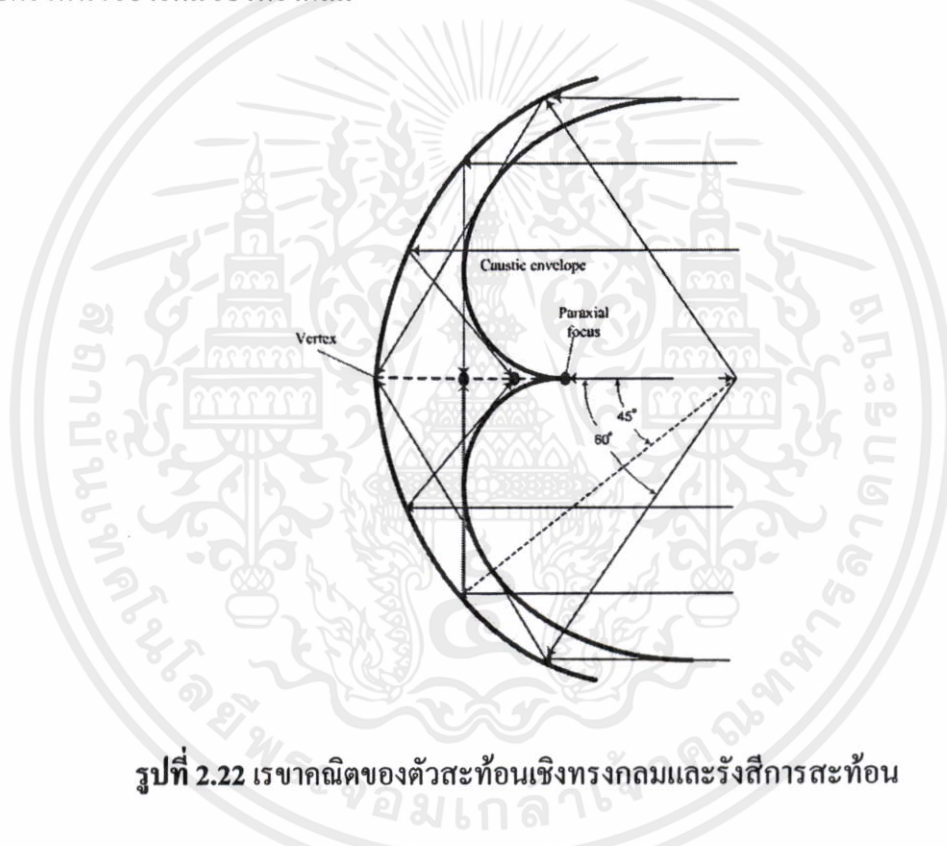
รูปที่ 2.21 วงแหวนที่มีลักษณะเป็นหลายเหลี่ยม

จากรูปที่ 2.21 เมื่อจำนวนส่วนประกอบย่อยของวงแหวนเพิ่มมากขึ้นจะนำไปสู่ตัวสะท้อนที่เป็นวงแหวนวงกลม ซึ่งลักษณะการสะท้อนของคลื่นบริเวณผิววงแหวนด้านในก็สามารถศึกษาได้จากคู่มือลักษณะของตัวสะท้อนเชิงทรงกลม

ตัวสะท้อนเชิงทรงกลม

ตัวสะท้อนเชิงทรงกลมเป็นตัวสะท้อนชนิดหนึ่งที่มีโครงสร้างที่ถูกแบ่งออกมาจากทรงกลม ดังนั้นเมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากจุดแหล่งกำเนิดที่วางอยู่ ณ จุดกึ่งกลางในทางแนวตั้งของทรงกลม เดินทางมาถึงตัวสะท้อนจะเกิดการสะท้อนออกจากพื้นผิวของตัวสะท้อนย้อนกลับผ่านจุดกึ่งกลางของทรงกลม จากโครงสร้าง จะเห็นได้ว่าตัวสะท้อนเชิงทรงกลม สามารถนำมาเป็นตัวสแกนเชิงมุมแบบกว้าง (wide-angle scanner) ในอุดมคติเพราะว่ามีโครงสร้างทางเรขาคณิตที่สมมาตรกัน

สำหรับโครงสร้างทางเรขาคณิตของตัวสะท้อนเชิงทรงกลมสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.22 ซึ่งแสดงถึงคุณลักษณะจุดโฟกัสและวิถีของการสะท้อน สำหรับจุด F คือจุดโฟกัส paraxial ซึ่งมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของรัศมีของทรงกลม

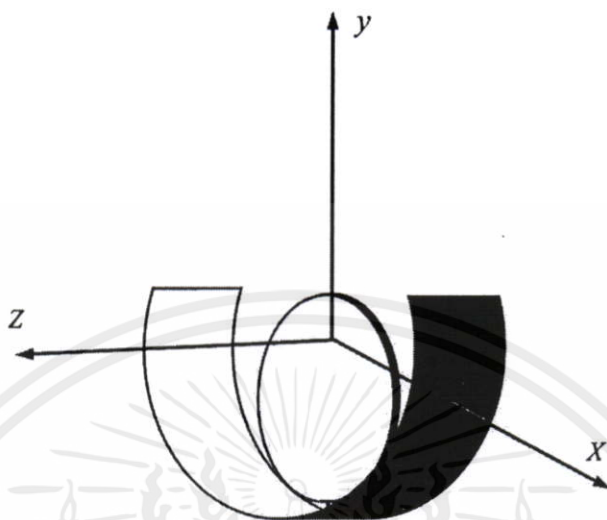


รูปที่ 2.22 เรขาคณิตของตัวสะท้อนเชิงทรงกลมและรังสีการสะท้อน

อย่างไรก็ตาม ตัวสะท้อนเชิงทรงกลมจะเกิดการเบี่ยงเบนเชิงทรงกลม(spherical aberration) เนื่องจากวิถีสะท้อนจะไม่โฟกัสบนจุดกึ่งกลางทั้งหมดซึ่งขึ้นอยู่กับศูนย์กลางและความยาวโฟกัสของทรงกลม และได้มีศึกษาและวิจัยเพื่อหาวิธีที่จะลดการเบี่ยงเบนทรงกลม ศึกษา รายละเอียดได้ใน [10-11]

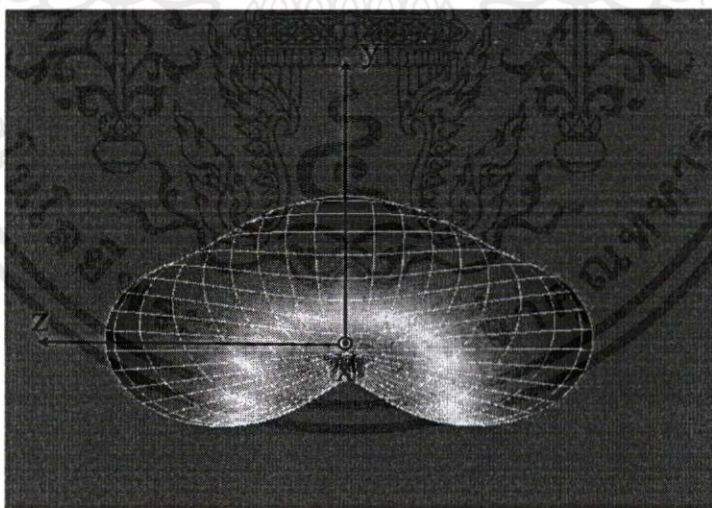
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า โดยทั่วไปการใช้ตัวสะท้อนจะเป็นการควบคุมให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศมี ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลเบื้องหน้าและต้องอยู่เบื้องหลังของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ทิศทางไปยังทิศต้องการรวมไปถึงอัตราขยายที่เพิ่มขึ้น วงแหวนวงกลมจัดเป็นตัวสะท้อนชนิด วงกลม(Circular reflector)[6] ซึ่งทำให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเป็นแบบ

สองทิศทางโดยในการเริ่มต้นศึกษาได้ออกแบบขนาดของตัวสะท้อนแบบครึ่งวงกลมเพื่อให้ครอบคลุมมิติด้านข้างของโมนโพลกลมบาง ซึ่งมีโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 โมนโพลกลมบางบนตัวสะท้อนวงกลมเท่ากับ π

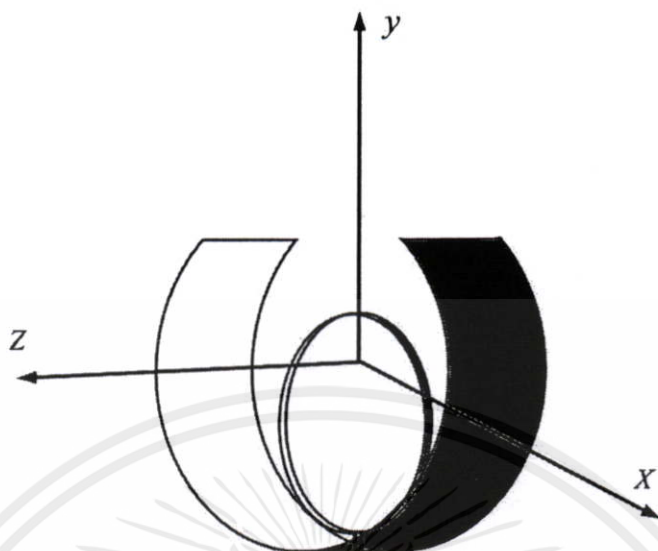
อย่างไรก็ดีพบว่าสายอากาศมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบสองทิศทางชี้ในแนวแกน z และบางส่วนยังคงชี้ในทิศ x และ y ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.24 ช่วงกว้างความถี่ที่ได้ก็ยังคงแคบอยู่



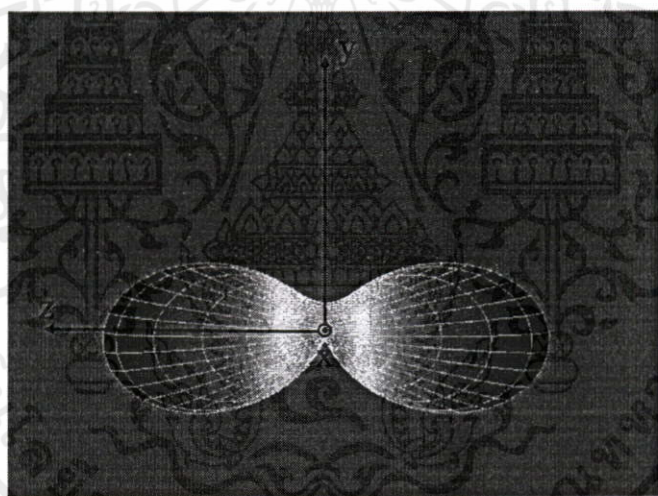
รูปที่ 2.24 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ yz ของโมนโพลกลมบางบนตัวสะท้อนวงกลมเท่ากับ π

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นได้ทำการเพิ่มส่วนย่อยของวงกลมดังแสดงในรูปที่ 2.25

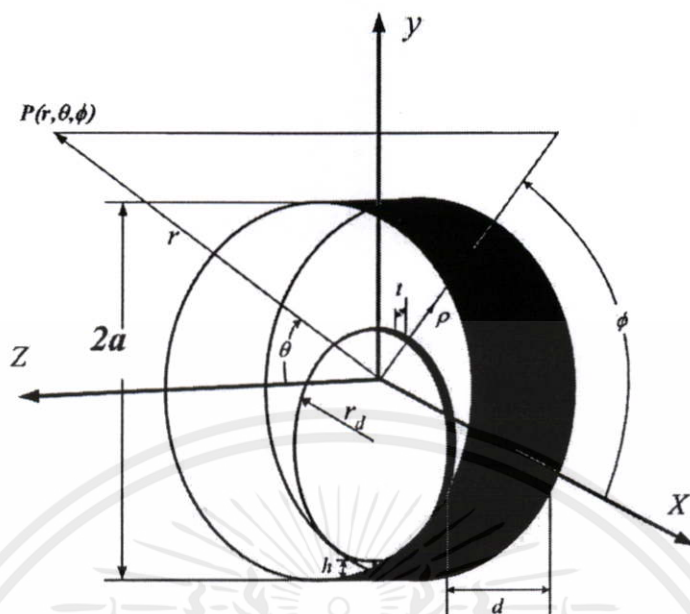


รูปที่ 2.25 โมโนโพลกลมบางบนตัวสะท้อนวงกลมเท่ากับ 1.5π



รูปที่ 2.26 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ yz ของ โมโนโพลกลมบางบนตัวสะท้อนวงกลมเท่ากับ 1.5π

จากโครงสร้างในรูปที่ 2.25 ทำให้สายอากาศมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่เกือบจะสมบูรณ์สำหรับลำคลื่นทั้งสองข้างส่วนแกนกลางก็เข้าใกล้จุดศูนย์กลางดังแสดงในรูปที่ 2.26 ช่วงกว้างความถี่ที่ได้ก็กว้างขึ้นด้วย ต่อมาเพิ่มส่วนประกอบย่อยของวงกลมจนเป็นวงแหวนวงกลมดังแสดงในรูปที่ 2.27 ซึ่งทำให้สายอากาศมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบสองทิศทางที่สมบูรณ์รวมทั้งมีช่วงกว้างความถี่ที่กว้างมากแสดงได้ดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.27 สายอากาศวงกลมป้อนด้วย โมโนโพลกลมบาง



รูปที่ 2.28 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ yz ของสายอากาศวงกลมป้อนด้วย โมโนโพลกลมบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
จากรูปที่ 2.28 พบว่าเมื่อตัวสะท้อนเป็นรูปวงแหวนเต็มวงจะทำให้สายอากาศมีค่าสภาพเจาะจง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ฟังก์ชันอีกฟังก์ชันที่มีที่จุดแบบสองเนื้อที่คู่สะท้อนอันเนื่องถึงเงาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ทิศทางและอัตราขยายมากที่สุด ด้วยเหตุนี้จึงเลือกใช้วงแหวนวงกลมในการออกแบบสายอากาศ
ต่อไป ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอสายอากาศสองทิศทางที่ตอบสนองช่วงความถี่กว้างโดย

ใช้วงแหวนวงกลมป้อนด้วยโมนโพลกลมบาง ซึ่งมีโครงสร้างที่เคยแสดงไว้ในรูปที่ 1.2 การออกแบบสายอากาศเริ่มต้นที่ความถี่ 2.45 GHz พารามิเตอร์พื้นฐานที่ได้ทำการออกแบบประกอบด้วย รัศมีวงแหวนวงกลม (a) ความหนาวงแหวนวงกลม (d) รัศมีโมนโพลกลมบาง (r_p) ระยะห่างระหว่างขอบล่างของโมนโพลกับตัวสะท้อนวงแหวน (h) ความหนาของโมนโพลกลมบาง จากการศึกษาสายอากาศต้นแบบที่ความถี่ 2.45GHz ทำให้สามารถเข้าใจถึงพฤติกรรมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับสายอากาศโดยมีโปรแกรม IE3D เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์และสามารถนำหลักการที่ได้ไปออกแบบสร้างสายอากาศให้ตรงกับวัตถุประสงค์การใช้งานต่อไป

จากนั้นได้ทำการออกแบบสายอากาศเพื่อใช้งานในระบบการสื่อสารไร้สายแบบ Ultra-Wideband ที่ความถี่ 3.10-10.6 GHz ขั้นตอนต่อไปคือนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ไปสร้างทดสอบสายอากาศ นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบเพื่อยืนยันผลกับทางทฤษฎี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การวิเคราะห์สายอากาศสองทิศทางวงแหวนวงกลมป้อนด้วย โมนโพลกลมบางโดยใช้โปรแกรม IE3D

ในบทนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์สายอากาศโดยใช้โปรแกรม IE3D โดยได้รับการพัฒนามาเพื่อใช้วิเคราะห์โครงสร้างที่เป็นระนาบและรูปทรงสามมิติในย่านความถี่สูงและวงจรรีเลย์ทริกอนิกส์ความเร็วสูง การจำลองรูปทรงสามมิติในแบบต่างๆด้วยโครงสร้างของโลหะที่เป็นชั้นๆ สมการการอินทิเกรต และวิธีโมเมนต์เป็นพื้นฐานการแก้ปัญหาสำหรับการกระจายของกระแสบนโครงสร้างของตัวนำ ซึ่งถูกแบ่งเป็นส่วนย่อยๆของรูปทรง 3 เหลี่ยมและ 4 เหลี่ยมโดยฟังก์ชัน Roof-Top หลังจากการหาค่าการกระจายของกระแสก็สามารถหาค่า S พารามิเตอร์ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น วงจรสมมูล RLC และพารามิเตอร์อื่นๆที่เราสนใจ

3.1 โปรแกรม IE3D

โปรแกรม IE3D เป็นแบบจำลองแบบทางแม่เหล็กไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นที่อาศัยหลักการวิธีโมเมนต์ที่ใช้ในแก้ปัญหาการกระจายกระแสบนโครงสร้างรูปร่างทั่วไปแบบหลายชั้นหรือแบบสามมิติ ซึ่งสามารถนำมาจำลองแบบโครงสร้างสายอากาศให้อยู่ในรูปของโครงสร้างของชั้นไดอิเล็กตริกต่างๆได้ ดังนั้นจึงถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางในการออกแบบสายอากาศ

3.1.1 ลักษณะต่างๆของโปรแกรม IE3D

- สามารถจำลองแบบโครงสร้างโลหะในชั้นของไดอิเล็กตริกแบบหลายชั้นแบบสามมิติได้อย่างสมจริง
- เครื่องมือจำลองแบบทางแม่เหล็กไฟฟ้าบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่มีราคาไม่แพงและให้ผลที่มีความถูกต้องสูงและมีประสิทธิภาพที่ดีและสามารถรับข้อมูลและแสดงผลในระบบปฏิบัติการ Windows ซึ่งสามารถจำลองแบบได้อย่างรวดเร็ว
- มีเมนูให้เลือกคำสั่งใช้ต่างๆในการสร้างแบบ interactive ของโครงสร้างสามมิติโลหะแบบหลายชั้นให้เป็นชุดของรูปหลายเหลี่ยม และยังสามารถในการแก้ไขหลายอย่างสำหรับการสร้างรวมถึงจัดการรูปหลายเหลี่ยมและการเชื่อมต่อรูปหลายเหลี่ยมแต่ละรูปเข้าด้วยกัน

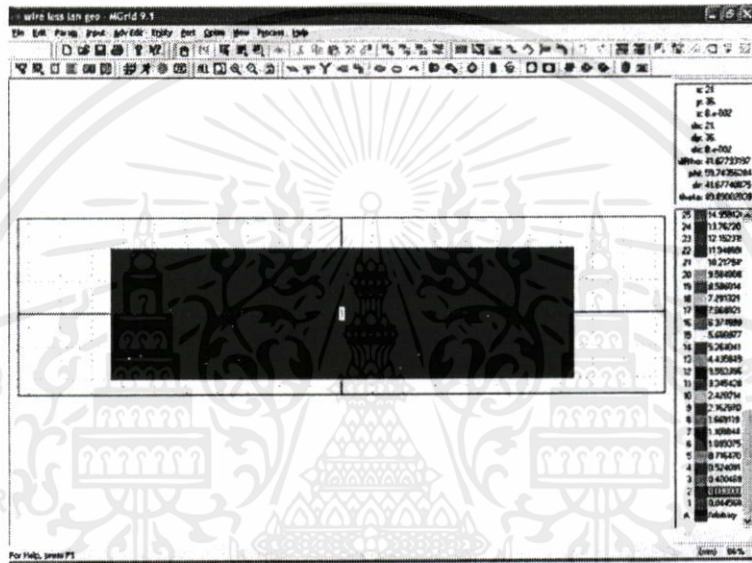
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีการรวบรวมชุดของ โครงสร้างมาตรฐานของ โครงสร้างต่างๆ อย่างเช่น วงกลม วงแหวน ทรงกลม รูปก้นหอยวงกลมและสี่เหลี่ยม ขดลวดทรงกรวยและทรงกระบอก เป็นต้น จึงทำให้สามารถสร้าง โครงสร้างแบบสามมิติหลายชั้นที่ซับซ้อนได้เพียงไม่กี่ วินาทีหรือนาที
- มีการสร้าง โครงร่างแหที่ ไม่มีรูปแบบอย่างอัตโนมัติโดยใช้เซลล์แบบสี่เหลี่ยมและ สามเหลี่ยม
- มีลักษณะเซลล์ที่ขอบอัตโนมัติทำให้โปรแกรม IE3D ให้ผลลัพธ์ที่เหนือกว่าสำหรับ ผู้ใช้ที่เริ่มใช้โปรแกรม
- โปรแกรม IE3D จะมีรูปแบบการถอด (de-embedding) พารามิเตอร์ในวงจรเพื่อให้ได้ การแยกพารามิเตอร์ออกที่ยืดหยุ่นและถูกต้อง ไม่มีข้อจำกัดว่าพอร์ตนั้นถูกนิยามที่ใด รูปแบบการถอดที่เพิ่มเติมเข้ามาจะทำให้มีการแยกพารามิเตอร์ออกอย่างรวดเร็วและ ถูกต้อง รูปแบบการถอดพารามิเตอร์ของคลื่นจะใช้แนวคิดเรื่องคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า อย่างเดียวและทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องที่สุด
- มีการจำลอง โครงสร้างที่ใช้แผ่นสะท้อนที่ขนาดจำกัดและ โครงสร้างของการป้อนที่ หลากหลาย
- ทำให้การจำลองแบบของ โครงสร้าง โลหะสามมิติและความหนาของ โลหะที่ถูกต้อง
- การหาค่าที่เหมาะสมทางด้านแม่เหล็ก ไฟฟ้า
- สามารถจำลองแบบความบาง ความสูญเสีย และค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของฐานรอง
- การวิเคราะห์ทางด้านแม่เหล็ก ไฟฟ้าแบบผสม
- ตัวแก้ระบบเมตริกซ์ที่มีประสิทธิภาพ
- สามารถแสดงผลของพารามิเตอร์ S Y และ Z
- สามารถแยกวงจรเสมือน SPICE หรือ RLC
- สามารถจำลองแบบกระแสแม่เหล็กของ โครงสร้างที่ช่องสล็อต
- "Simulate and Find Excitation" เป็นคำสั่งที่ใช้ในการติดตามการกระจายกำลังบน โครงข่ายมีลักษณะการใช้งานที่ยืดหยุ่นและมีตัวจำลองแบบวงจรมาให้เรียบร้อย
- โปรแกรม IE3D มาพร้อมกับตัวจำลองแบบวงจรที่ผู้ใช้คุ้นเคยและง่าย

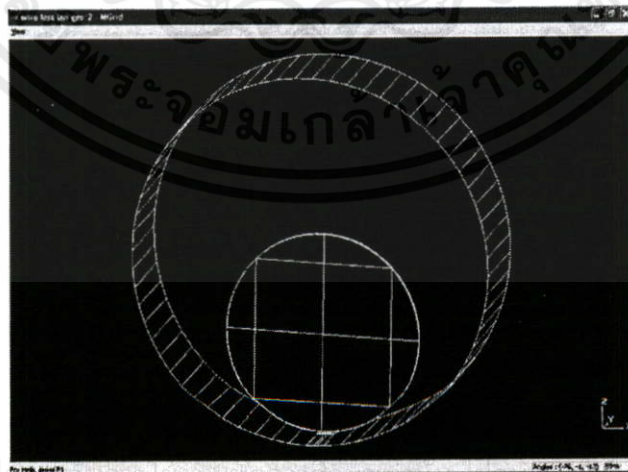
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การจำลองแบบสายอากาศด้วยโปรแกรม IE3D

ในหัวข้อนี้จะแสดงการจำลองแบบของสายอากาศด้วยโปรแกรม IE3D โดยจะจำลองแบบสายอากาศวงแหวนวงกลมป้อนด้วยโมโนโพลกลมบางแบบสามมิติด้วยโครงสร้างของโลหะที่เป็นชั้นๆ ต่างๆตามลักษณะของวัสดุที่นำมาทำสายอากาศ จากรูปที่ 3.1 เป็นการแสดงหน้าจอของโปรแกรม IE3D โดยรายละเอียดของโครงสร้างสายอากาศจะแสดงอยู่บนเส้นตารางซึ่งเป็นพิกัดของตำแหน่งในระนาบ xy ส่วนความสูงชั้น ไดอิเล็กทริกในแนวแกน z จะแทนด้วยชั้นสีต่างๆ ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 หน้าจอของโปรแกรม IE3D



รูปที่ 3.2 การจำลองแบบสายอากาศวงแหวนวงกลมป้อนด้วยโมโนโพลกลมบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การเผยแพร่หรือการดัดแปลงโดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมาย ผู้ที่นำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

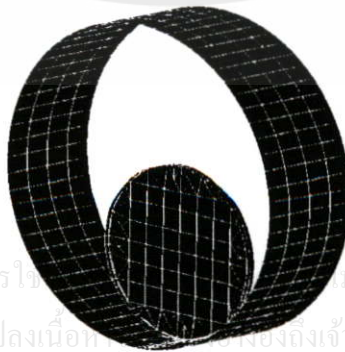
จากรูปที่ 3.2 จะเห็นได้ว่าโครงสร้างของสายอากาศแบบ 3 มิติในโปรแกรม IE3D นั้นมีชั้นตีผนัง และสี่เหลี่ยมซึ่งแสดงให้เห็นว่าเป็นบริเวณที่พื้นผิวขนานกับแนวระนาบ ส่วนบริเวณอื่นที่ไม่สามารถระบุชั้นตีก็จะแสดงด้วยสีน้ำตาล

สำหรับโปรแกรม IE3D เป็นโปรแกรมที่มีวิวัฒนาการมาจากวิธีการ MPIE (a mixed-potential integral equation) ซึ่งใช้วิเคราะห์โครงสร้างที่เป็นลักษณะของเซลล์ที่เป็น 2 มิติ หรือเป็นแผ่นระนาบ รูปแบบต่างๆ ซึ่งเซลล์ 2 มิติที่กล่าวมาจะประกอบด้วยเซลล์ 3 เหลี่ยมและเซลล์ 4 เหลี่ยมซึ่งแต่ละเซลล์ก็จะมีกรไลของกระแส โดยฟังก์ชันที่แสดงการไหลของกระดิ่งกล่าวเรียกว่า Roof-top functions ต่อมาได้มีการคิดค้นอัลกอริทึม P-mesh ขึ้นมา สำหรับการคำนวณทางคอมพิวเตอร์จะใช้อัลกอริทึม P-mesh ซึ่งเป็นรูปแบบที่ใช้ในการวิเคราะห์ MMIC (Microwave/Millimeter wave Integrated Circuit) ซึ่งเป็นการพัฒนาด้วยวิธีการแบบเต็มคลื่น (Full wave) ในรูปแบบต่างๆ

P-mesh หรือ P (pseudo)-mesh เป็นอัลกอริทึมที่ได้พัฒนาโดยวิธีการ โมเมนต์กับ MPIE (Mixed – potential integral equation) เพื่อหาค่าของการประจุและการกระจายของกระแสบนพื้นผิวของโครงสร้างที่ทำการวิเคราะห์ อัลกอริทึม P(seudo)-mesh เดิมมีรากฐานมาจากวิธีการ MPIE ที่ได้รับการพัฒนามาเพื่อใช้วิเคราะห์สายอากาศไมโครสตริปและสายอากาศในรูปทรงต่างๆ ซึ่งอัลกอริทึมจะอยู่ในพื้นฐานของการใช้ roof-top basis function ที่เป็นสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมรวมผสมกันอยู่ และถูกวิเคราะห์ด้วย Quadruple moment integrals involved P(seudo)-mesh เป็นอัลกอริทึมที่ให้ความแม่นยำสูงและสามารถเปลี่ยนแปลงรูปแบบการคำนวณทางคอมพิวเตอร์ได้

ส่วนฟังก์ชัน roof-top จะเป็นฟังก์ชันฐาน (basis function) ที่ใช้ในการประมาณค่าการกระจายกระแสโดย Mosig ในรูปแบบเซลล์ที่เป็นสี่เหลี่ยม แต่การแบ่งเซลล์ด้วยสี่เหลี่ยมก็ไม่สามารถที่จะทำให้พอดีกับโครงสร้างบางแบบได้ จึงมีการนำเสนอรูปแบบที่มีลักษณะสามเหลี่ยมขึ้นมา

ตัวอย่างสำหรับ โครงสร้างตาข่ายของสายอากาศวงแหวนวงกลมป้อนด้วย โมโนโพลกลมบางซึ่งประกอบประกอบด้วยเซลล์สามเหลี่ยมและเซลล์สี่เหลี่ยมที่นำไปวิเคราะห์ด้วยอัลกอริทึม P-mesh แสดงได้ดังรูปที่ 3.3

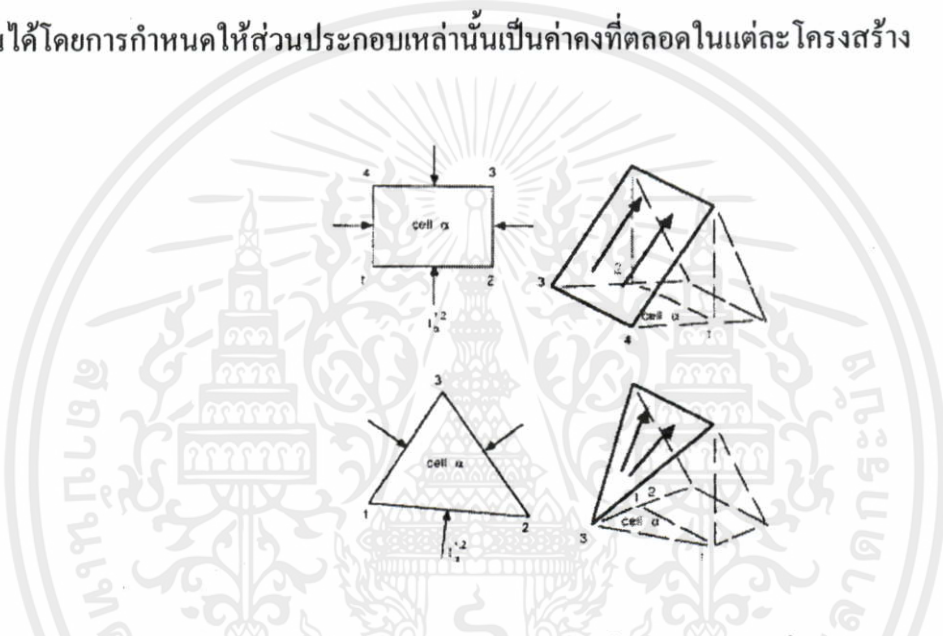


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาก่อนจะส่งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 โครงสร้างตาข่ายของสายอากาศวงแหวนวงกลมป้อนด้วย โมโนโพลกลมบาง

ฟังก์ชันฐานแบบ Roof-top (Roof-top basis functions)

สำหรับอัลกอริทึม P-mesh จะสามารถใช้เซลล์สามเหลี่ยมและเซลล์สี่เหลี่ยม โครงสร้างเดียวพร้อมกันตามที่แสดงในรูปที่ 3.1 เนื่องจากได้มีการหลีกเลี่ยงสิ่งที่เกิดขึ้นจากความหนาแน่นประจุของฟังก์ชัน δ ซึ่งในทางการคำนวณเชิงเลขให้มีเพียงส่วนประกอบของความหนาแน่นกระแสปกติแต่จะไม่มี ความหนาแน่นของกระแสแม่เหล็กตัวมันเอง ดังนั้นจึงแทนที่การกระจายกระแสในพจน์ของเวกเตอร์โทนคระแสที่จุดต่อ 3 จุดของเซลล์สามเหลี่ยมทำให้สามารถกำหนดพจน์ส่วนประกอบของกระแสนบนแต่ละด้านของสามเหลี่ยมได้ ในการแก้ปัญหาสำหรับกระแสที่ไม่เท่ากัน ได้โดยการกำหนดให้ส่วนประกอบเหล่านั้นเป็นค่าคงที่ตลอดในแต่ละโครงสร้าง



รูปที่ 3.4 ฟังก์ชัน Roof-top บนเซลล์สี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยม

ฟังก์ชัน Roof-top บนเซลล์สี่เหลี่ยม (Roof-top Function on Rectangular Cells)

การแสดงด้านของสี่เหลี่ยมแต่ละด้านด้วยโหนด i และ j (i, j) จะสามารถอธิบายความหนาแน่นของการกระจายกระแส $\bar{J}_\alpha(x, y)$ ในสี่เหลี่ยมด้วยพจน์ของ α ได้โดยมีส่วนประกอบของ $I_\alpha^{i, j}$ บนด้านของสี่เหลี่ยมตัวห้อย α และด้วย (i, j) หมายถึงด้าน (i, j) และที่เซลล์ α ได้ดังนี้

$$\bar{J}_\alpha(x, y) = \sum_{i=1}^4 I_\alpha^{i, j+1} \bar{D}_\alpha^{i, j+1}(x, y) \quad (3.1)$$

โดยที่ $\bar{D}_\alpha^{i, j+1}$ หมายถึงฟังก์ชัน roof-top ที่ด้าน $(i, j+1)$ ของเซลล์ ตามรูปที่ 3.4 รูปเซลล์สี่เหลี่ยมมี 4 โหนดด้วยกันซึ่งสามารถพิจารณา i ในรูปแบบ $i=i-4$ เมื่อ $i > 4$ และ $i=i+4$ เมื่อ $i < 1$ ซึ่งเป็นเรื่องที่ไม่ยากที่จะแสดงค่าขนาดของหนึ่งบนด้าน $(i, j+1)$ และด้านตรงข้ามนั้นจะหายไป ตัวอย่างเช่นด้าน $(i+2, i+3)$ ที่แสดงในรูปที่ 3.4 แสดงเป็นสมการได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ ใช้งานด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ฟังก์ชันนี้จัดทำขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์นี้ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\bar{D}_\alpha^{i,i+1}(x,y) = \frac{[(y_{i+1}-y_i)(x-x_{i+1})-(x_{i+1}-x_i)(y-y_{i-1})]}{\Delta_{i-1,i,i+1}} \cdot \frac{(x_{i-1}-x_i)\hat{x}+(y_{i-1}-y_i)\hat{y}}{d_{i-1,i}} \quad (x,y) \in \text{สี่เหลี่ยม } \alpha \quad (3.2)$$

$$d_{i,j} = \sqrt{(x_i-x_j)^2 + (y_i-y_j)^2} \quad (3.3)$$

$$\Delta_{i-1,i,i+1} = \begin{vmatrix} 1 & x_{i-1} & y_{i-1} \\ 1 & x_i & y_i \\ 1 & x_{i+1} & y_{i+1} \end{vmatrix} \quad (3.4)$$

และ \hat{x}, \hat{y} คือเวกเตอร์หนึ่งหน่วยในทิศทาง x และ y ตามลำดับ สำหรับโคเวอริเจนซ์ของความหนาแน่นการกระจายกระแสในเซลล์สามเหลี่ยมสามารถเขียนได้ว่า

$$\nabla \cdot \bar{J}_\alpha(x,y) = \sum_{i=1}^4 I_\alpha^{i,i+1} Q_\alpha^i; \quad (x,y) \in \text{สี่เหลี่ยม } \alpha \quad (3.5)$$

โดยที่

$$Q_\alpha^i = -\frac{1}{d_{i-1,i}} \quad (3.6)$$

ฟังก์ชัน Roof-top บนเซลล์สามเหลี่ยม (Roof-top Function on Triangular Cells)

เหมือนกับกรณีของเซลล์สี่เหลี่ยม ความหนาแน่นของกระแสบนเซลล์สามเหลี่ยมสามารถเขียนได้ว่า

$$\bar{J}_\alpha(x,y) = \sum_{i=1}^3 I_\alpha^{i,i+1} \bar{D}_\alpha^{i,i+1}(x,y); \quad (x,y) \in \text{สามเหลี่ยม } \alpha \quad (3.7)$$

$$\nabla \cdot \bar{J}_\alpha(x,y) = \sum_{i=1}^3 I_\alpha^{i,i+1} Q_\alpha^i; \quad (x,y) \in \text{สามเหลี่ยม } \alpha \quad (3.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ฟังก์ชัน roof-top $\bar{D}_\alpha^{i,i+1}$ เท่ากับ

$$\bar{D}_\alpha^{i,i+1}(x, y) = -\frac{d_{i,i+1}}{|\Delta_{i-1,i,i+1}|} \cdot [(x - x_{i-1})\hat{x} + (y - y_{i-1})\hat{y}] \quad (3.9)$$

$$Q_\alpha^i = \frac{2d_{i,i+1}}{|\Delta_{i-1,i,i+1}|} \quad (3.10)$$

และ $i = i-3$ สำหรับ $i > 3$ หรือ $i = i+3$ สำหรับ $i < 1$

สิ่งที่ไม่เหมือนกับเซลล์สี่เหลี่ยมก็คือ ฟังก์ชันฐาน roof-top สำหรับเซลล์สามเหลี่ยมจะเปลี่ยนทิศทางเมื่อตำแหน่งเกิดการเปลี่ยนแปลง สำหรับสามเหลี่ยม α ที่แสดงในรูปที่ 3.4 ฟังก์ชัน roof-top สำหรับด้าน $(i, i+1)$ คือเวกเตอร์ที่ขนานด้าน $(i-1, i)$ ที่โหนด i ขนานด้าน $(i-1, i+1)$ ที่โหนด $(i+1)$ และหายไปที่โหนด $(i-1)$ ส่วนประกอบถูกจำกัดเท่ากับ 1 บนด้าน $(i, i+1)$

การแทนการกระจายกระแสแบบ Pseudo-Mesh

(Pseudo-Mesh Current Distribution Representation)

ในเซลล์สามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมจะสามารถแสดงกระแสได้จากความหนาแน่นของกระแสบนผิวของเซลล์ เมื่อนำค่าความหนาแน่นของเซลล์แต่ละเซลล์รวมกันก็จะได้ค่าความหนาแน่นของกระแสรวมตลอดโครงสร้าง การแทนที่โครงสร้างตาข่ายสมมูล (Equivalent meshes) ทำให้การกระจายกระแสบนพื้นผิวของเซลล์เป็นการสอดคล้องกับการไหลของกระแสในโครงสร้างตาข่าย ซึ่งไม่เหมือนกับตาข่ายของโครงสร้างจริง ผลรวมของกระแสที่ไหลในเส้นตาข่าย มีการไหลเข้าออกที่จุดเชื่อมต่อไม่ได้เป็นไปตามกฎของ Kirchoff ในทางความเป็นจริงความแตกต่างระหว่างกระแสที่เข้ามาและออกไปจะส่งผลให้เกิดการกระจายของประจุบนเซลล์ จากเงื่อนไขที่ว่า กระแสที่ขอบของโครงสร้างจะหายไป ทำให้ง่ายที่จะเชื่อมต่อตาข่ายกับขอบโดยใช้เซลล์สามเหลี่ยมเชื่อมต่อตรงมุม ดังนั้นประโยชน์ที่สำคัญของ P-mesh สามารถสร้างแบบตาข่ายได้สอดคล้องกับรูปแบบทางกายภาพจริงๆตามที่ผู้ออกแบบต้องการ และยังทำให้สามารถประมวลผลด้วยการคำนวณทางคอมพิวเตอร์ได้เร็วขึ้น

นิพจน์ทั่วไปสำหรับการกระจายกระแส

จากหัวข้อที่ผ่านมา เมื่อพิจารณาฟังก์ชัน roof-top ในแต่ละเซลล์และโครงสร้างที่สมบูรณ์ของ P-mesh นั้นจะต้องทำการอินทิเกรตค่ากระแสที่ไม่ทราบค่าของแต่ละเซลล์ เช่น $I_\alpha^{i,i+1}$ ของเซลล์ α ลงในตาข่ายเชื่อมต่อทั้งหมด (a global set of mesh) กระแส I_m , $m = 1, 2, \dots, M$ โดยที่ M คือจำนวนทั้งหมดของโครงข่ายที่เชื่อมต่อกัน โดยที่ตาข่ายซึ่งเป็นโครงสร้างที่ทำการวิเคราะห์จะถูกละ

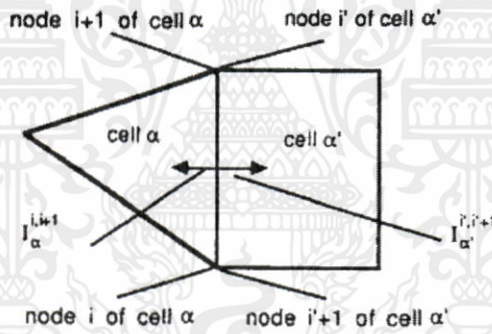
ทั้งไป และกระแสที่ขอบของโครงสร้างจะเป็นศูนย์ เซลล์ที่อยู่ติดกันคือ α และ α' ดังรูปที่ 3.5 เป็นโครงสร้างธรรมดาที่อธิบายด้วย $(\alpha; i, i+1)$ หรือ $(\alpha'; i', i'+1)$ ค่ากระแสที่ไม่ทราบค่าตลอด โครงสร้างจะถูกอธิบายด้วยพจน์ของตาข่ายกระแสในรูปของ I_m ดังต่อไปนี้

$$I_m = I_\alpha^{i, i+1} = -I_\alpha^{i', i'+1} \quad (3.11)$$

ฟังก์ชันฐาน Roof-top สำหรับกระแสไม่ทราบค่าคือ

$$\bar{H}_m = \bar{D}_\alpha^{i, i+1} - \bar{D}_\alpha^{i', i'+1} \quad (3.12)$$

โดยที่ $\bar{D}_\alpha^{i, i+1}$ เป็นการนิยามของเซลล์ α
 $\bar{D}_\alpha^{i', i'+1}$ เป็นการนิยามของเซลล์ α'



รูปที่ 3.5 กระแสที่ขอบสำหรับเซลล์ที่อยู่ติดกัน

สำหรับไดเวอร์เจนซ์ของฟังก์ชันฐาน roof-top คือ

$$P_m = Q_\alpha^i - Q_\alpha^{i'} \quad (3.13)$$

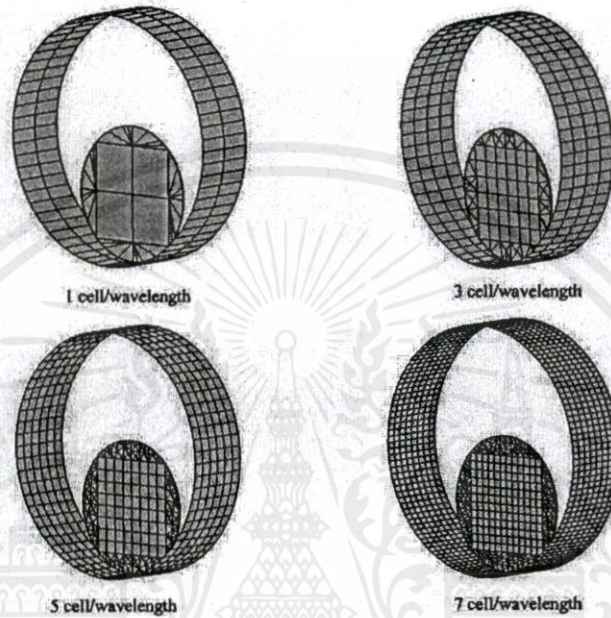
ดังนั้นการกระจายของกระแสโครงข่าย P-mesh บนโครงสร้างสามารถเขียนได้เป็น
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\bar{J}(x, y) = \sum_{m=1}^M I_m \bar{H}_m(x, y) \quad (3.14)$$

โดยที่ M คือจำนวนของตาข่ายที่เชื่อมติดกัน

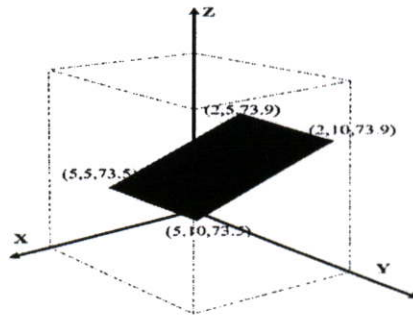
สำหรับการแบ่งโครงสร้างของสายอากาศวงกลมป้อนด้วยโมโนโพลกลมบาง ด้วยเซลล์สามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมด้วยอัตราส่วนของความละเอียดของเซลล์ต่อความยาวคลื่นต่างๆ จะแสดงได้ดังรูปที่ 3.6



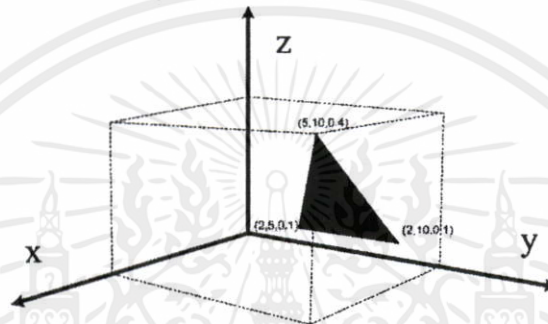
รูปที่ 3.6 การแบ่งโครงสร้างของสายอากาศด้วยเซลล์สามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยม

จำนวนเซลล์ทั้งหมดของโครงสร้างสายอากาศจะประกอบด้วยเซลล์สามเหลี่ยมและเซลล์สี่เหลี่ยม นอกจากนี้ในเซลล์สามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมก็ยังแบ่งเซลล์ที่เป็น โครงสร้างของสองมิติและสามมิติ จากรูปที่ 3.7 จะแสดงตัวอย่างพิกัดตำแหน่งของเซลล์สี่เหลี่ยมซึ่งเป็นเซลล์สี่เหลี่ยมแบบสามมิติ โดยโครงสร้างของสายอากาศถูกแบ่งความละเอียดของเซลล์ด้วยอัตราส่วน 3 เซลล์ต่อความยาวคลื่น และตัวอย่างพิกัดตำแหน่งของเซลล์สามเหลี่ยมซึ่งเป็นเซลล์สามเหลี่ยมแบบสามมิติโดยโครงสร้างสายอากาศถูกแบ่งความละเอียดของเซลล์ด้วยอัตราส่วน 3 เซลล์ต่อความยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

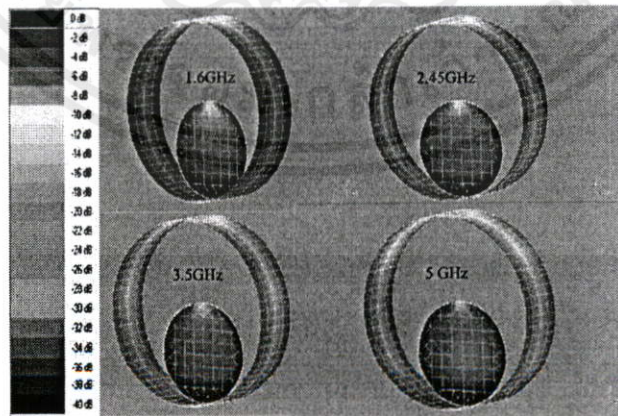


รูปที่ 3.7 พิกัดตำแหน่งของเซลล์สี่เหลี่ยม

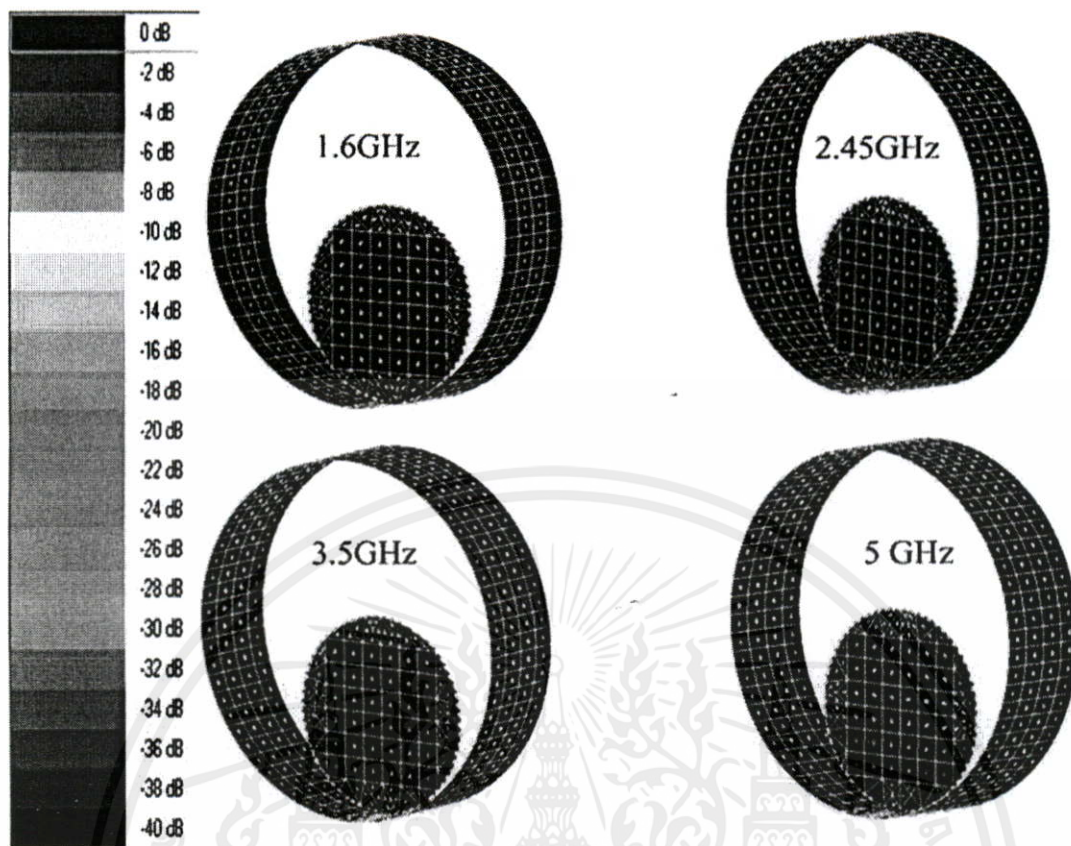


รูปที่ 3.8 พิกัดตำแหน่งของเซลล์สามเหลี่ยม

สำหรับปริมาณกระแสที่ไหลบนโครงสร้างของสายอากาศวงกลมป้อนด้วยโมโนโพลกลมบางซึ่งถูกแบ่งความละเอียดด้วยอัตราส่วน 3 เซลล์ต่อความยาวคลื่นแสดงได้ดังรูปที่ 3.9 ส่วนขนาดและทิศทางของกระแสที่ไหลบนโครงสร้างสายอากาศด้วยความละเอียดของ 3 เซลล์ต่อความยาวคลื่นแสดงดังรูปที่ 3.10



เอกสารรูปที่ 3.9 ปริมาณกระแสที่ไหลบนโครงสร้างสายอากาศซึ่งถูกแบ่งความละเอียดด้วยอัตราส่วน 3 ารค่า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งนี้ เซลล์ต่อความยาวคลื่นที่มีความถี่ 1.6 GHz, 2.45 GHz, 3.5 GHz และ 5 GHz ที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 ขนาดและทิศทางของกระแสที่ไหลบนโครงสร้างสายอากาศด้วยความละเอียดของ 3 เซลล์ต่อความยาวคลื่นที่ความถี่ 1.6 GHz, 2.45 GHz, 3.5 GHz และ 5 GHz

สำหรับการศึกษาพารามิเตอร์และออกแบบสายอากาศวงกลมป้อนด้วยโมโนโพลกลมบาง เพื่อให้ตอบสนองช่วงความถี่กว้างจะแสดงไว้ในบทต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

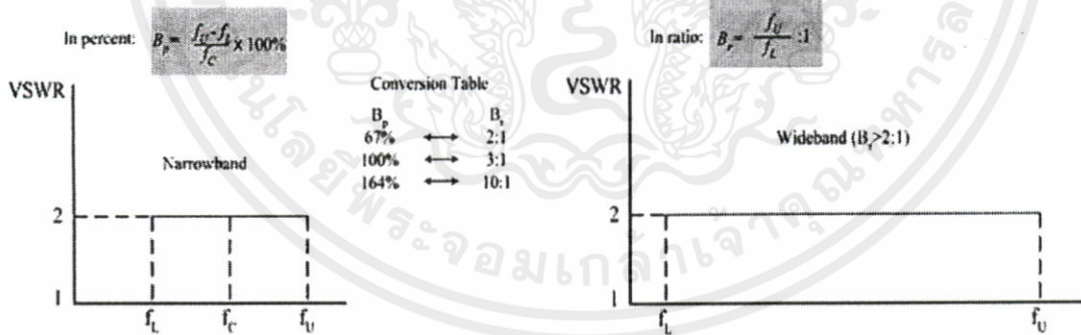
บทที่ 4

การศึกษาพารามิเตอร์และการออกแบบสายอากาศ

ในการออกแบบสายอากาศวงกลมป้อนด้วยโมโนโพลกลมบางเพื่อให้ตอบสนองช่วงความถี่กว้าง มีส่วนประกอบสำคัญสองส่วนคือ ส่วนของโมโนโพลกลมบางและส่วนของตัวสะท้อนวงกลม ในโครงสร้างของสายอากาศโมโนโพลกลมบางบนแผ่นสะท้อน การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ของแผ่นสะท้อนเรียกขึ้นอยู่กัขนาดของโมโนโพลกลมบางที่ใ้ใช้ว่ามีช่วงกว้างความถี่เท่าไร แต่สำหรับโครงสร้างของสายอากาศโมโนโพลกลมบางในวงกลมการเปลี่ยนแปลงของรัศมีและความหนาของวงกลมก็จะทำให้พื้นที่ของตัวสะท้อนเปลี่ยนแปลง ซึ่งก็ยังคงขึ้นอยู่กัขนาดของโมโนโพลกลมบางกับช่วงความถี่ที่ใช้งาน โดยช่วงความถี่สูงทั้งโมโนโพลกลมบางและวงกลมจะมีขนาดเล็กกว่าช่วงความถี่ต่ำ

4.1 ขนาดของตัวป้อนสัญญาณ

ในการศึกษาพารามิเตอร์เพื่อใช้ในการออกแบบสายอากาศให้มีช่วงความถี่กว้างค่าพารามิเตอร์สำคัญที่พิจารณาเป็นลำดับแรกคือค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ โดยค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์คือช่วงความถี่ที่มีค่า $VSWR < 2$ หรือ การสูญเสียย้อนกลับ (Return loss) < -10 dB แสดงได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การหาอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์

ความถี่เรโซแนนซ์เริ่มต้นของสายอากาศโมโนโพลกลมบาง สามารถคำนวณโดยการประมาณพื้นที่ของโมโนโพลกลมบางเทียบเป็นพื้นที่เมื่ออยู่ในรูปของลวดโมโนโพลซึ่งมีความสูง l และรัศมี r ไม่ว่าจะฉีดยาทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$2\pi rl = \pi a^2 \quad (4.1)$$

$$l = 0.24\lambda F \quad (4.2)$$

โดยที่ $F = (1/r)(l+1/r)$

จากสมการข้างบน ความถี่เรโซแนนซ์แสดงได้โดย

$$f_r = \frac{c}{\lambda} = \frac{30 \times 0.24}{(l+r)} \text{ GHz} \quad (4.3)$$

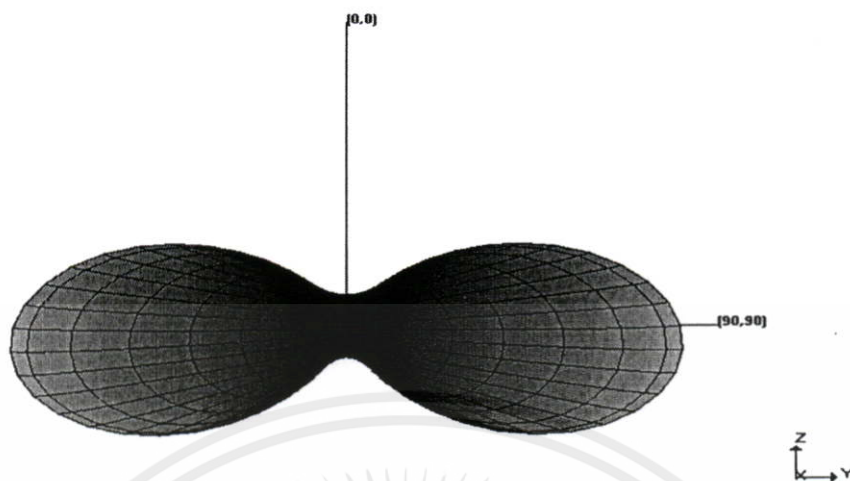
l และ r มีหน่วยเป็น cm

โดยธรรมชาติของโมโนโพลกลมบางบนแผ่นสะท้อนจะมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทุกทิศทางและเอียงตัวขึ้นเมื่อความถี่สูงขึ้น เมื่อเปลี่ยนจากแผ่นสะท้อนมาเป็นวงแหวนวงกลมขนาดของวงแหวนวงกลมและโมโนโพลที่เหมาะสมกับช่วงความถี่ที่ใช้งานจึงจะทำให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบสองทิศทาง

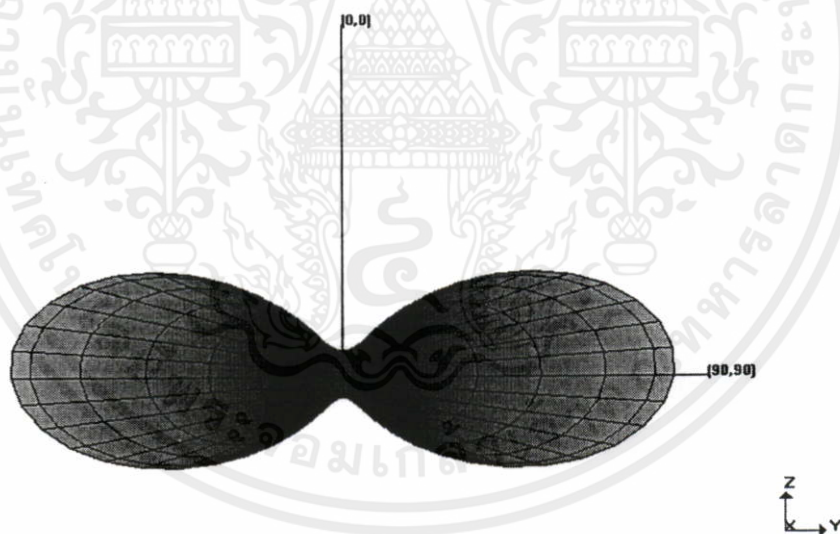
4.2 ขนาดของวงแหวนวงกลม

ในการออกแบบสายอากาศให้มีช่วงความถี่กว้าง สามารถทำได้หลากหลายรูปแบบในปัจจุบัน เช่นวิธีการกำหนดการไหลของกระแสบนผิวตัวนำรูปทรงต่างๆกันไปบนแผ่นสะท้อนเรียบ โดยมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทุกทิศทาง ทำให้การออกแบบสายอากาศสองทิศทางโดยวงแหวนวงกลมสามารถป้อนด้วยโมโนโพลหลากหลายรูปแบบและอาจทำให้มีช่วงความถี่ที่กว้างขึ้นกว่าเดิม แต่คงไม่มีประโยชน์เลยถ้าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเหล่านั้นไม่เป็นแบบสองทิศทางในช่วงความถี่ที่ใช้งาน ไม่ว่าจะป้อนด้วยช่วงความถี่กว้างหรือแคบ ถ้าขนาดของวงแหวนไม่เหมาะสมกับช่วงความถี่ที่ใช้งาน การรุ่มตัวลงหรือเอียงตัวขึ้นของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นก็จะเกิดขึ้นดังตัวอย่างการออกแบบสายอากาศวงแหวนวงกลมป้อนโดยโมโนโพลกลมบางที่ ความถี่ 2.45 GHz โดยใช้รัศมีวงแหวน 32 mm, 37 mm, 42 mm ตามลำดับดังรูปที่ 4.2-4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

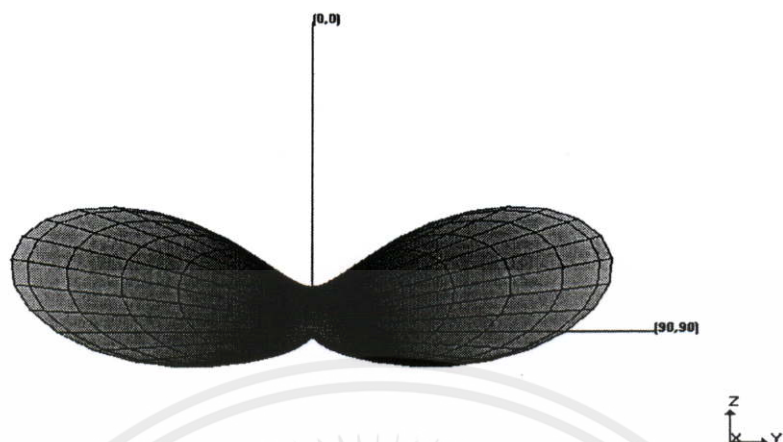


รูปที่ 4.2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น 3 มิติของสายอากาศที่จุ่มตัวลงเมื่อขนาดของวงแหวนวงกลมเล็กกว่าช่วงความถี่ใช้งาน ($a = 32 \text{ mm}$)



รูปที่ 4.3 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น 3 มิติของสายอากาศเมื่อขนาดของวงแหวนวงกลมพอดีกับช่วงความถี่ใช้งาน ($a = 37 \text{ mm}$)

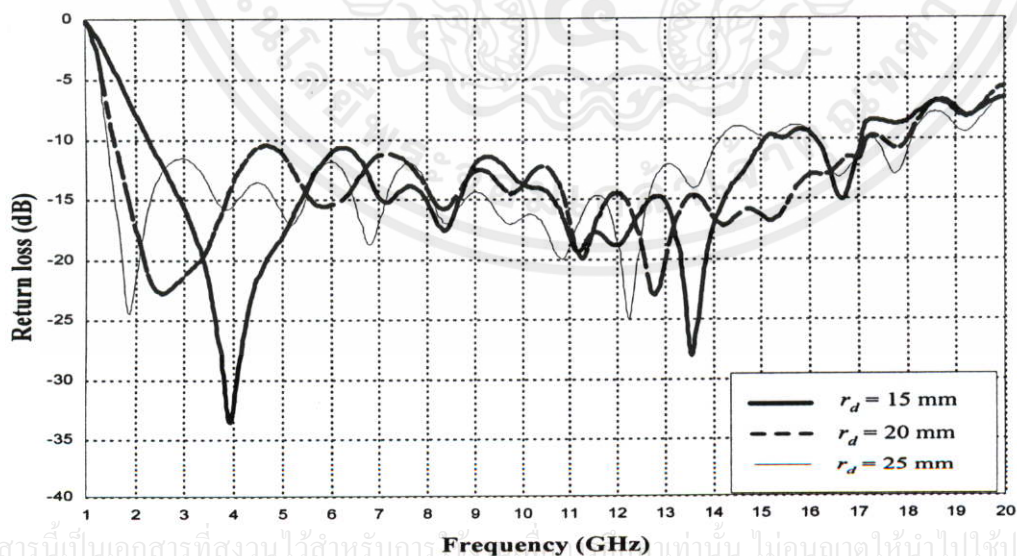
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น 3 มิติของสายอากาศที่เอียงตัวขึ้นเมื่อขนาดของวงแหวนวงกลมใหญ่กว่าช่วงความถี่ใช้งาน ($a = 42 \text{ mm}$)

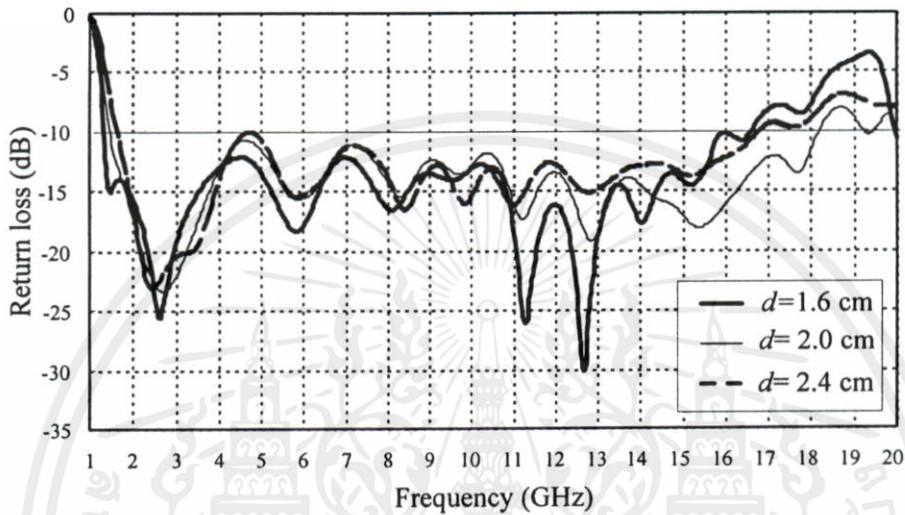
4.3 การออกแบบสร้างสายอากาศ

สำหรับการออกแบบสร้างสายอากาศให้สามารถใช้ได้กับระบบ Wireless LAN ที่ความถี่เรโซแนนซ์ 2.45 GHz เลือกใช้คาร์ซีมิงแหวนวงกลมเริ่มต้นที่ 3.7 เซนติเมตรและ สามารถแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของช่วงกว้างความถี่ที่เกิดขึ้นเมื่อใช้รัศมีโมโนโพลที่ขนาดต่างกันได้ดังกราฟในรูปที่ 4.5



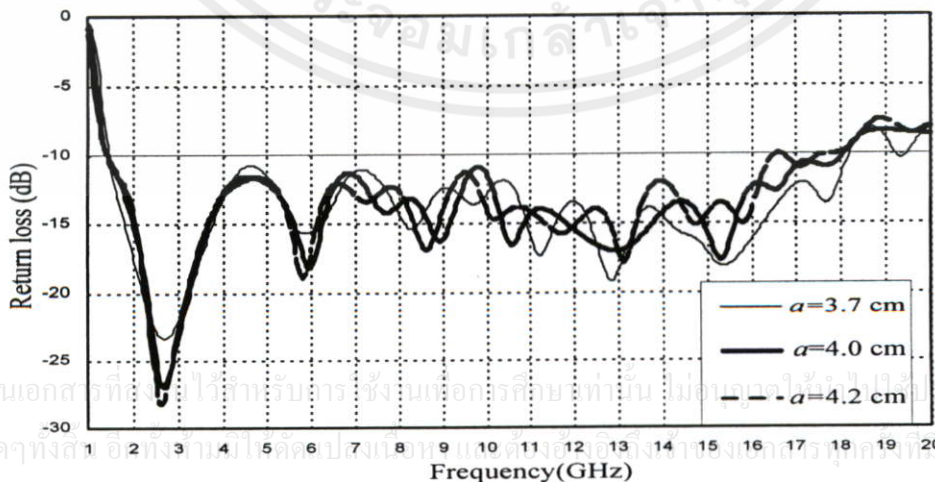
รูปที่ 4.5 การสูญเสียย้อนกลับเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของรัศมีโมโนโพลกลมบาง

จากรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าเมื่อรัศมีของโมโนโพลกลมบางเท่ากับ 20 มิลลิเมตรสายอากาศจะมีช่วงกว้างความถี่ตั้งแต่ 1.48-17.20 GHz ณ ความถี่ใช้งาน 2.45 GHz จะมีค่า Return loss เท่ากับ -23 dB ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมในการออกแบบสายอากาศเพื่อใช้งานกับระบบ Wireless LAN ที่ 2.45 GHz



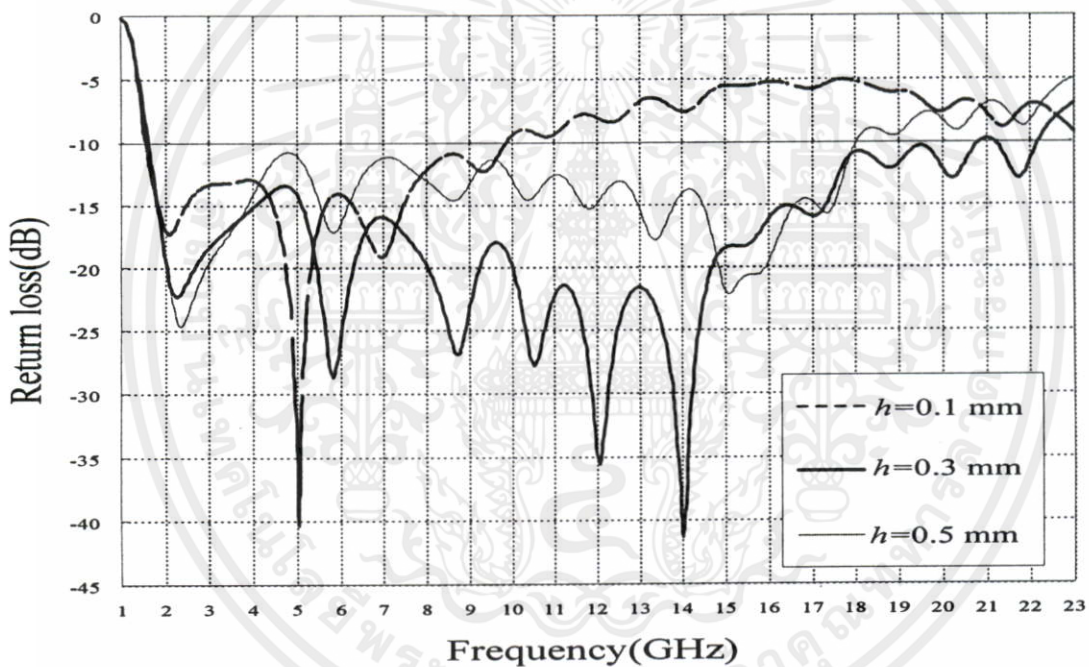
รูปที่ 4.6 การสูญเสียย้อนกลับเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความหนาของวงแหวน

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นว่าที่ความหนาวงแหวน $d=2$ cm จะให้ช่วงกว้างความถี่ที่กว้างที่สุดคือ 1.48-18.20 GHz ซึ่งถ้าพิจารณาในลักษณะของช่วงกว้างความถี่ค่าพารามิเตอร์ d ที่มากกว่าหรือน้อยกว่า 2 cm จะให้ช่วงกว้างความถี่ที่ลดลงและอาจทำให้ช่วงกว้างความถี่บางช่วงเกิดการแกว่งสูงกว่า -10 dB



รูปที่ 4.7 การสูญเสียย้อนกลับเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของรัศมีวงแหวนวงกลม

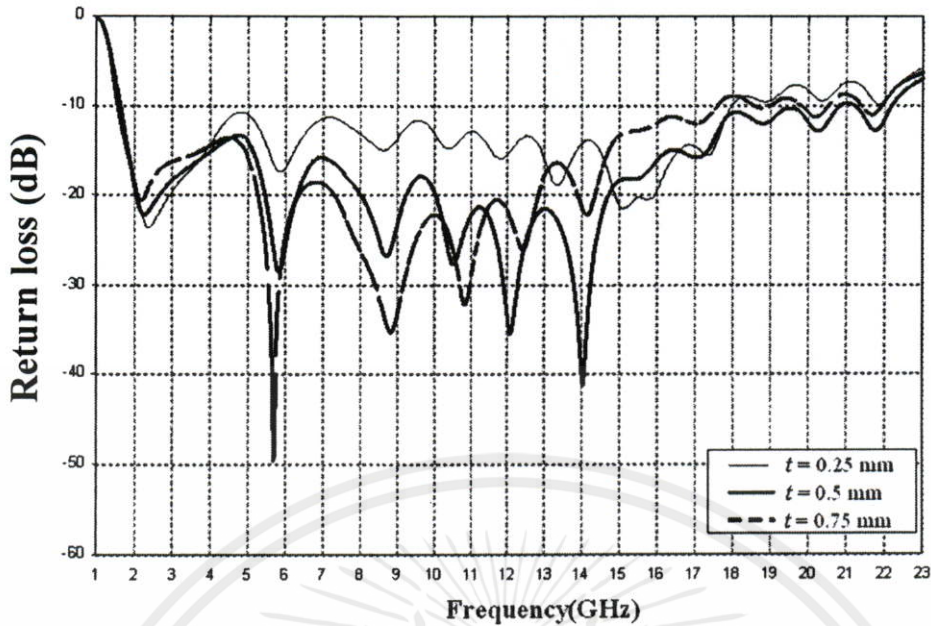
จากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าขนาดของโมโนโพลกลมบางที่ใหญ่กว่าความถี่จุดตัดจะต่ำกว่าโมโนโพลกลมบางที่มีขนาดเล็กกว่า ดังนั้นขนาดของรัศมีวงแหวนวงกลมที่เหมาะสมกับ โมโนโพลแต่ละขนาดก็จะเปลี่ยนไปด้วย จากกราฟที่ 4.7 จะเห็นว่าค่าการสูญเสียย้อนกลับ ของค่าพารามิเตอร์ a แต่ละค่าจะใกล้เคียงกัน แต่ถ้าพิจารณาทางด้านแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแล้วจะแตกต่างกันมาก จะเห็นได้ว่าพารามิเตอร์ a มีส่วนสำคัญอย่างยิ่งที่จะทำให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบ 2 ทิศทาง โดยถ้าขนาดเล็กหรือใหญ่เกินไปก็จะทำให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเกิดการจุ่มหรือยกตัวขึ้น ในช่วงความถี่ที่ใช้งานคงที่กล่าวไว้ข้างต้น จากรูปที่ 4.7 และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นทั้งสาม ในรูปที่ 4.2-4.4 จะทำให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดคือ $a = 3.7$ cm



รูปที่ 4.8 การสูญเสียย้อนกลับเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของระยะความสูงของช่องอากาศ

จากรูปที่ 4.8 ค่าพารามิเตอร์ $h = 0.3$ mm จะทำให้ได้ค่าช่วงกว้างความถี่ที่กว้างที่สุดคือ 1.63-20.83 GHz ถ้ามากหรือน้อยกว่า 0.3 mm จะทำให้ช่วงกว้างความถี่แคบลงและเมื่อค่าพารามิเตอร์ ϵ เปลี่ยนไปจะทำให้ค่าการสูญเสียเปลี่ยนแปลงดังแสดงในรูปที่ 4.9 ค่าพารามิเตอร์ $\epsilon = 0.5$ mm จะมีช่วงกว้างความถี่ที่กว้างที่สุดคือ 1.63-20.83 GHz

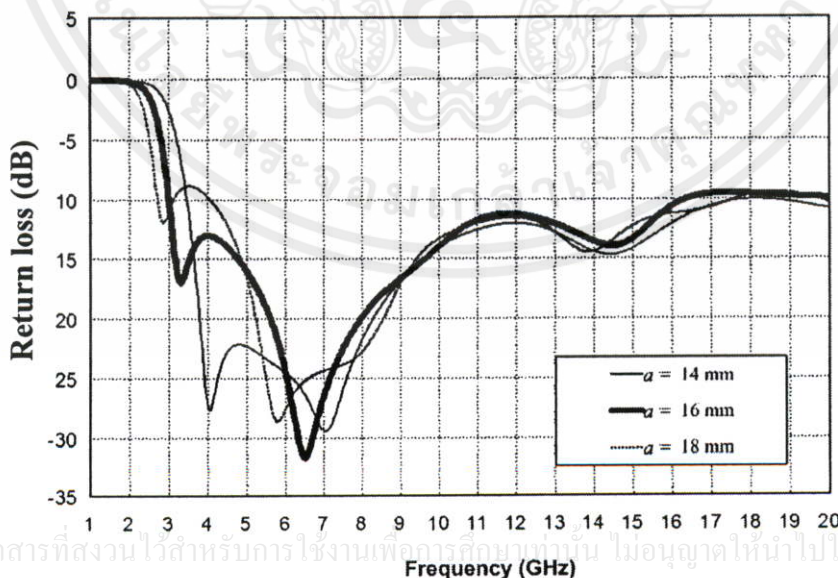
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 การสูญเสียย้อนกลับเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความหนาของโมโนโพลกลมบาง

4.3.1 การออกแบบสร้างสายอากาศเพื่อใช้กับระบบการสื่อสารไร้สาย

สำหรับการออกแบบก็คล้ายกับระบบ Wireless LAN ต่างกันก็ตรงที่ช่วงความถี่ที่ใช้งานซึ่งระบบการสื่อสารไร้สายแบบ Ultra-Wideband จะมีช่วงความถี่ที่ใช้งานซึ่งกว้างกว่าระบบ Wireless LAN มากดังนั้นการออกแบบจึงต้องเลือกขนาดของวงแหวนวงกลมที่สามารถให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่เหมาะสมกับช่วงความถี่ 3.10-10.6 GHz

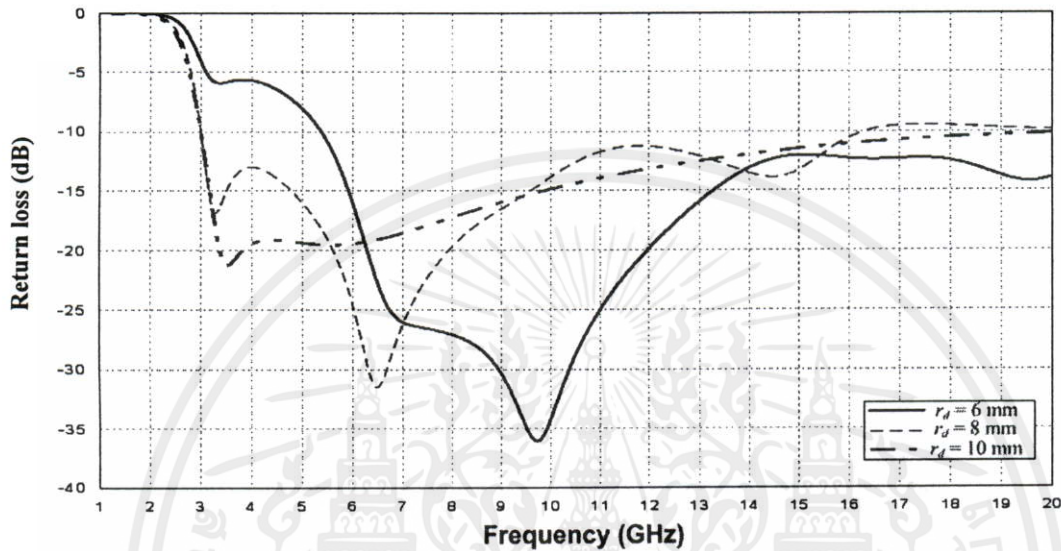


รูปที่ 4.10 การสูญเสียย้อนกลับเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของรัศมีวงแหวนวงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

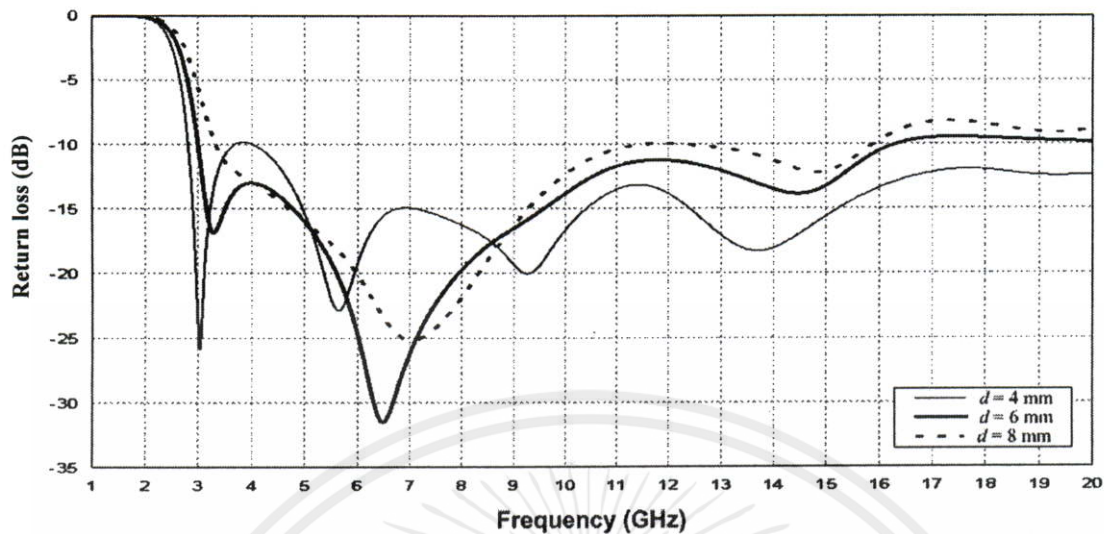
จากรูปที่ 4.10 จะเห็นว่าขนาดวงแหวน $a=16$ cm จะทำให้สายอากาศมีช่วงกว้างของความถี่เริ่มต้นที่ 3 GHz ขนาดวงแหวนที่ใหญ่กว่าคือ $a=18$ mm จะมีจุดเริ่มต้นของความถี่ที่ต่ำกว่า 2.5 GHz แต่จะไม่มีผลดีต่อแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในช่วงความถี่สูง ส่วนขนาดวงแหวนที่เล็กกว่าก็มีจุดเริ่มต้นของความถี่ที่สูงกว่า 3.10 GHz ดังนั้นพารามิเตอร์ $a=16$ cm จึงเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด



รูปที่ 4.11 การสูญเสียย้อนกลับเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของรัศมีโมโนโพลกลมบาง

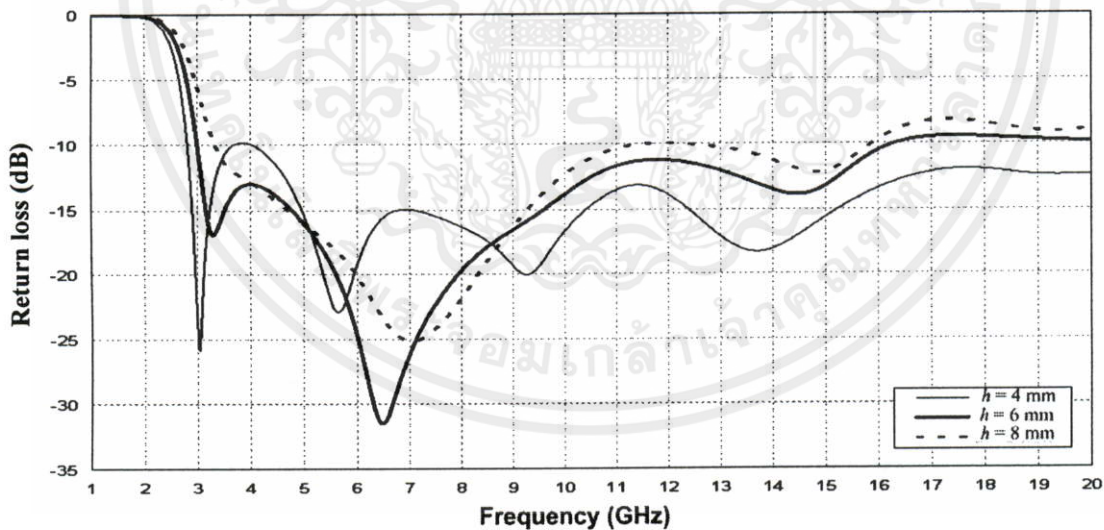
จากรูปที่ 4.11 เมื่อกำหนดให้วงแหวนวงกลม $a=16$ mm ค่ารัศมีโมโนโพล $r_d = 8$ mm และ $r_d = 10$ mm จะทำให้สายอากาศทั้งคู่มีช่วงกว้างของความถี่ที่สามารถรองรับกับระบบการสื่อสารไร้สาย Ultra-wideband ได้ แต่เมื่อพิจารณาค่าสภาพเจาะจงทิศทางที่มุมศูนย์สายอากาศที่ $r_d = 10$ mm จะมีค่าสภาพเจาะจงทิศทางที่ต่ำ ส่วนรัศมีโมโนโพล $r_d = 6$ mm จะมีความถี่เริ่มต้นที่สูงกว่า 3.10 GHz ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมคือ $r_d = 8$ mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



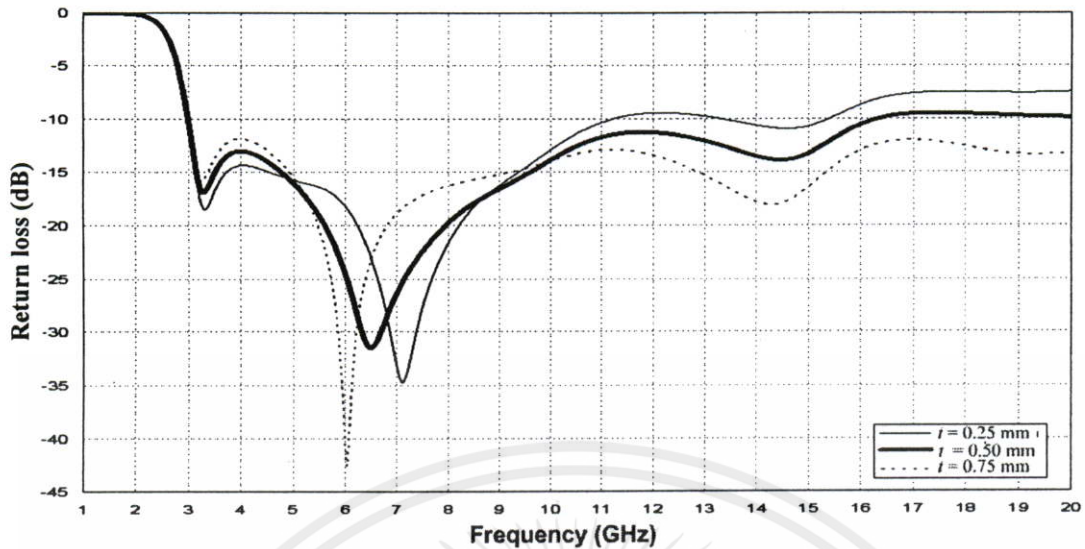
รูปที่ 4.12 การสูญเสียย้อนกลับเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความหนาของวงแหวนวงกลม

จากกราฟรูปที่ 4.12 เมื่อความหนาของวงแหวน $d = 4$ mm จะทำให้สายอากาศมีช่วงความถี่กว้างมากที่สุดแต่เนื่องด้วยมีค่าสภาพเจาะจงทิศทางต่ำที่มุมศูนย์ จึงทำให้พารามิเตอร์ $d = 6$ mm เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด



รูปที่ 4.13 การสูญเสียย้อนกลับเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะความสูงของช่องว่างอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



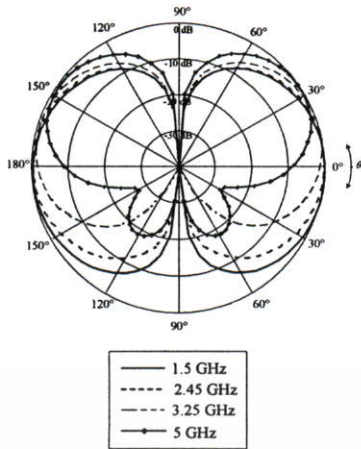
รูปที่ 4.14 การสูญเสียย้อนกลับเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความหนาของโมโนโพลกลมบาง

จากกราฟในรูปที่ 4.13 และ 4.14 สายอากาศมีการตอบสนองช่วงความถี่ที่รวมไปถึงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่คล้ายกันมาก ทำให้ต้องพิจารณาเงื่อนไขของค่าสภาพเจาะจงทิศทางที่มุมศูนย์ พบว่าค่าพารามิเตอร์ $t = 0.5$ mm และ $h = 0.5$ mm เป็นค่าที่เหมาะสมกับการออกแบบสายอากาศมากที่สุด

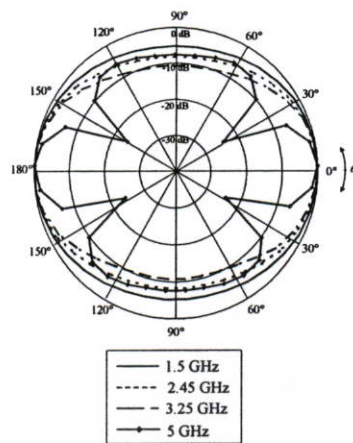
4.3.2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation pattern) คือรูปภาพที่ใช้เพื่อแสดงคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งเป็นฟังก์ชันของตำแหน่ง (Space coordinate) ส่วนใหญ่แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นนี้มักจะคิดในบริเวณที่เป็นสนามระยะไกล (Far field) เรามักจะอธิบายคุณสมบัติของสายอากาศในเทอมของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นหลัก (Principal pattern) ของระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะในรูปแบบใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



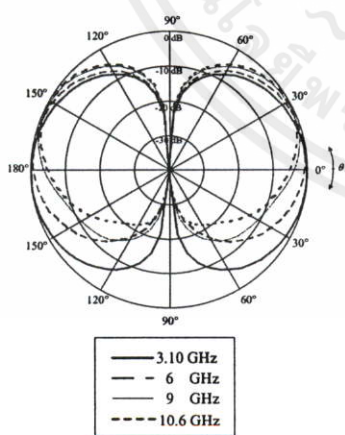
ระนาบสนามไฟฟ้า



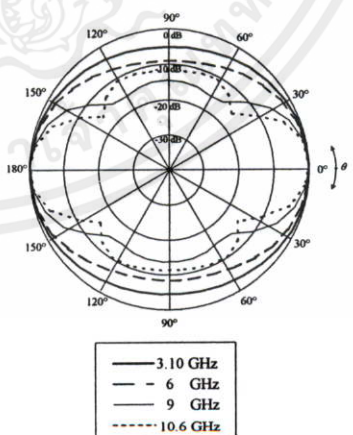
ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.15 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ Wireless LAN

จากแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในรูปที่ 4.15 พบว่าเมื่อความถี่สูงขึ้นจะมีการเอียงตัวของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าและเกิดลำคลื่นย่อยด้านข้างขึ้นมาในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 2.45 GHz จะเป็นช่วงที่สายอากาศมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบสองทิศทางได้สมบูรณ์แบบมากที่สุด ซึ่งเมื่อพิจารณาช่วงกว้างความถี่ที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ยอมรับได้ก็ถือว่ายังเป็นสายอากาศที่ตอบสนองช่วงความถี่กว้าง คือมากกว่า 2:1 และเพียงพอที่จะนำสายอากาศไปใช้กับระบบ Wireless LAN ได้ อย่างไรก็ตามสายอากาศจะมีค่ากว้างลำคลื่นที่ลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้นและมีค่าสภาพเจาะจงทิศทางในมุมสูงสุดที่มากขึ้นซึ่งรายละเอียดทั้งหมดจะถูกนำไปเป็นประสบการณ์ในการออกแบบสายอากาศ Ultra-wideband ต่อไป



ระนาบสนามไฟฟ้า



ระนาบสนามแม่เหล็ก

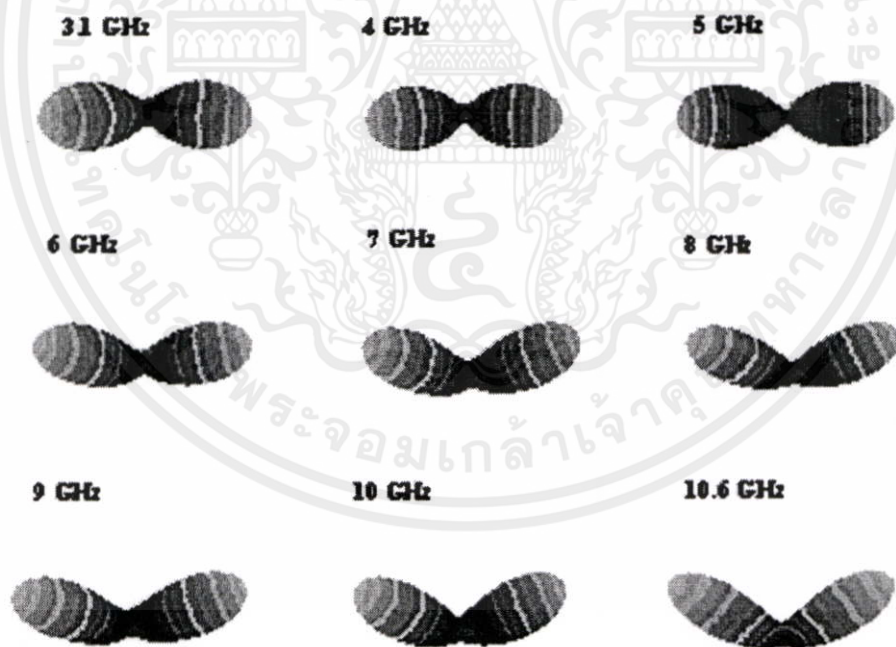
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดูเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.16 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ Ultra-wideband

จากประสบการณ์ในการออกแบบสายอากาศ Wireless LAN ทำให้มีความเข้าใจในพฤติกรรมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับสายอากาศซึ่งผลกระทบที่ชัดเจนที่สุดคือขนาดของวงแหวนวงกลมที่ทำให้สายอากาศมีช่วงกว้างความถี่ที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่สามารถยอมรับได้ตั้งแต่ 3.10-10.6 GHz รวมไปถึงช่วงกว้างความถี่เมื่อพิจารณาจากค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ต่ำกว่า -10 dB ตั้งแต่ 2.98-16.42GHz ด้วยโครงสร้างของสายอากาศที่ประกอบด้วยพารามิเตอร์ $a = 16 \text{ mm}$, $d = 6 \text{ mm}$, $r_d = 8 \text{ mm}$, $h = 0.5 \text{ mm}$ และ $t = 0.5 \text{ mm}$ ในระนาบสนามแม่เหล็กมีลำคลื่นย่อยด้านข้างเกิดขึ้นมาในช่วงความถี่สูง ในระนาบสนามไฟฟ้าเริ่มต้นจะมีการเอียงตัวขึ้นของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น สามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นได้ดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.17

ตารางที่ 4.1 ตำแหน่งทิศทางที่มีการแพร่กระจายคลื่นสูงสุด

ความถี่ (GHz)	3.1	4	5	6	7	8	9	10	10.6
มุม (องศา)	-5	-2	0	5	10	15	20	25	30



รูปที่ 4.17 การเอียงตัวของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นตั้งแต่ 3.1 – 10.6 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

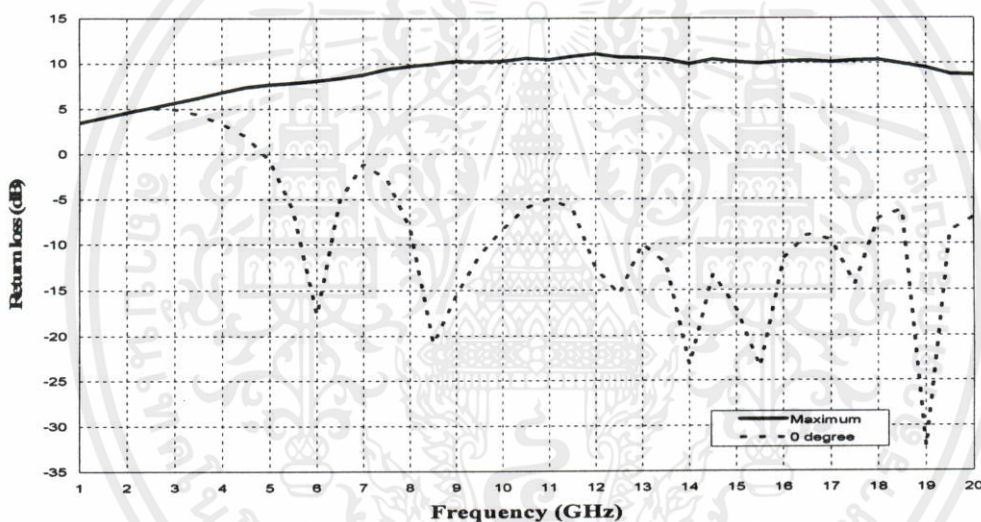
4.3.3 ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity)

ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง คือ ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้แสดงว่าสายอากาศมีความแรงที่ทิศทางต่างๆ มากน้อยแค่ไหน ซึ่งวัดในหน่วยของ dBi เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$D_0 = \frac{4\pi U_{\max}}{P_{\text{rad}}} \quad (4.4)$$

เมื่อ P_{rad} คือ กำลังงานที่แผ่กระจายคลื่นทั้งหมด

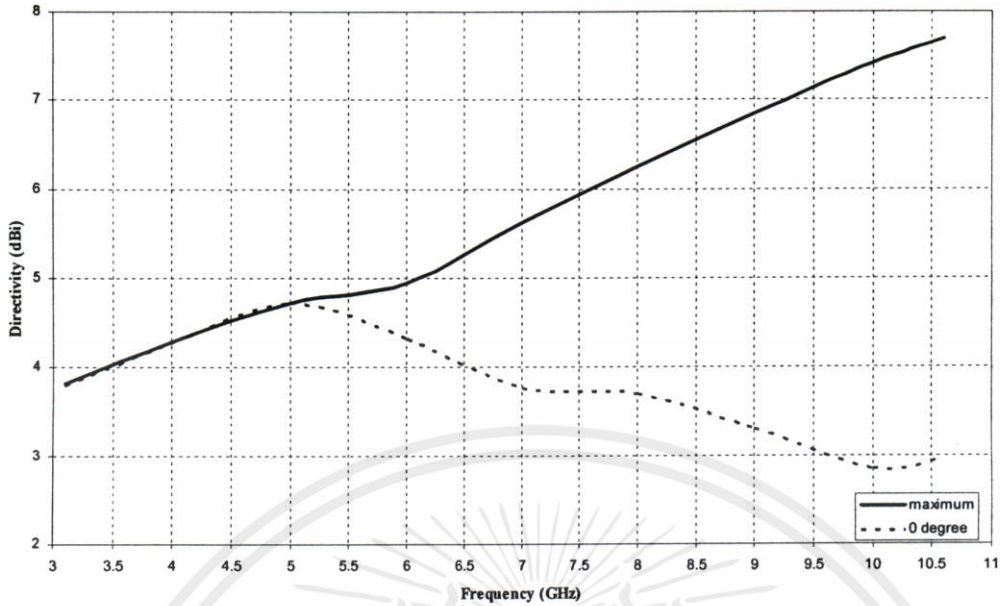
$$P_{\text{rad}} = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} U \sin(\theta) d\theta d\phi \quad (4.5)$$



รูปที่ 4.18 ค่าสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศในระบบ Wireless LAN

จากรูปที่ 4.18 จะเห็นว่าเมื่อความถี่สูงขึ้นค่าสภาพเจาะจงทิศทางที่มุมศูนย์ จะมีค่าติดลบแต่จะเพิ่มขึ้นในทิศทางที่มีการแผ่กระจายคลื่นสูงสุด นั่นแสดงให้เห็นสายอากาศจะมีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นที่เอียงตัวขึ้นจากแนวระนาบนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

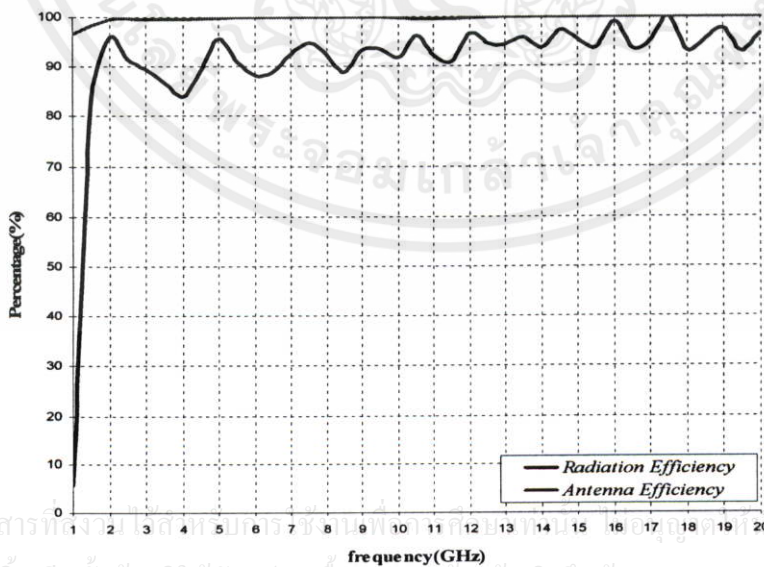


รูปที่ 4.19 ค่าสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศ Ultra-wideband

จากกราฟในรูปที่ 4.19 เมื่อความถี่สูงขึ้นค่าสภาพเจาะจงทิศทางในทิศทางการแพร่กระจายคลื่นสูงสุดจะมีค่าสูงขึ้น ส่วนค่าสภาพเจาะจงทิศทางในทิศทางแนวระดับที่มุมศูนย์ลดลงและแตกต่างกันน้อยกว่า 3 dBi ซึ่งสามารถยอมรับได้

4.3.4 ประสิทธิภาพของสายอากาศและการแพร่กระจายคลื่น

Antenna Efficiency and Radiation Efficiency



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับกรรขันธ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.20 ประสิทธิภาพของสายอากาศและการแพร่กระจายคลื่น

ค่าประสิทธิภาพของสายอากาศจะใช้เมื่อเรากำลังการสูญเสียต่างๆที่ขั้วและภายใน โครงสร้างของสายอากาศด้วยการสูญเสียต่างๆอันเนื่องมาจากสาเหตุต่างๆคือ

- การสะท้อนกลับเนื่องจากการไม่แมตช์ (Mismatch) กันระหว่างสายส่ง (Transmission Line) กับสายอากาศ
- การสูญเสียทั้งในตัวนำและฉนวน

ซึ่งวัสดุตัวนำที่ใช้ทำสายอากาศเป็นโลหะทองเหลืองและทองแดง จากกราฟรูปที่ 4.20 แสดงค่าประสิทธิภาพของสายอากาศเทียบกับแต่ละความถี่มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ ผลที่ได้จากการคำนวณพบว่าค่าประสิทธิภาพของสายอากาศมีค่าอยู่ระหว่าง 96%-100% ตลอดช่วงความถี่ 1.5-20 GHz สำหรับค่าประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่นเป็นการแสดงถึงอัตราส่วนระหว่างกำลังการแพร่กระจายคลื่นที่กระจายออกไปจากสายอากาศกับกำลังงานทั้งหมดด้านขาเข้าที่ป้อนให้กับตัวสายอากาศ จากกราฟที่ 4.20 ค่าประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่นมีค่าอยู่ระหว่าง 84%-100% ตลอดช่วงความถี่ 1.5-20 GHz

4.4 สรุป

ในบทนี้ได้ทำการศึกษาพารามิเตอร์และการออกแบบสายอากาศ โดยเริ่มต้นได้กล่าวถึงขนาดของตัวป้อนสัญญาณกับความถี่เรโซแนนซ์เริ่มต้น ต่อมาได้แสดงถึงผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของตัวป้อนสัญญาณ การเปลี่ยนแปลงความหนาของวงแหวนวงกลม การเปลี่ยนแปลงรัศมีวงแหวนวงกลม การเปลี่ยนระยะช่องอากาศ และการเปลี่ยนแปลงความหนาของโมโนโพลกลมบางจากผลที่ได้จะนำค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุด ไปคำนวณหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง ประสิทธิภาพสายอากาศและประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดที่จะนำไปสร้างสายอากาศและสามารถสรุปได้ดังตารางข้างล่างต่อไปนี้

ตารางที่ 4.2 ขนาดของสายอากาศที่นำไปสร้างและทดสอบ

ชนิดสายอากาศ	a (mm)	d (mm)	r_d (mm)	h (mm)	t (mm)
Wireless LAN	37	20	20	0.3	0.5
Ultra-wideband	16	6	8	0.5	0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การสร้าง การทดสอบ และผลการทดสอบ

จากบทที่ 4 ซึ่งเป็นผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของสายอากาศวงกลมป้อนด้วยโมโนโพลกลุมบาง โดยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจะถูกนำไปสร้างและทำการทดสอบสายอากาศเพื่อเปรียบเทียบและยืนยันผลที่ได้จากการคำนวณว่ามีความแม่นยำและถูกต้องมากน้อยเพียงใด ซึ่งการทดสอบสายอากาศได้ออกแบบสายอากาศที่ทำงานในระบบการสื่อสาร ไร้สาย ไร้สาย (Wireless LAN) ที่ ความถี่ 2.45 GHz และระบบการสื่อสาร ไร้สาย Ultra-wideband 3.10-10.6 GHz

5.1 การสร้างสายอากาศ

5.1.1 การสร้างสายอากาศ สำหรับประยุกต์ใช้งานในระบบ Wireless LAN

จากการคำนวณได้ทำการเลือกค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดคือ รัศมีของวงแหวนเท่ากับ 3.7cm ความหนาของวงแหวนเท่ากับ 2 cm รัศมีของโมโน โพลกลุมบางเท่ากับ 2 cm ความหนาของ โมโน โพลกลุมบางเท่ากับ 0.5 mm และระยะช่องอากาศเท่ากับ 0.3 mm

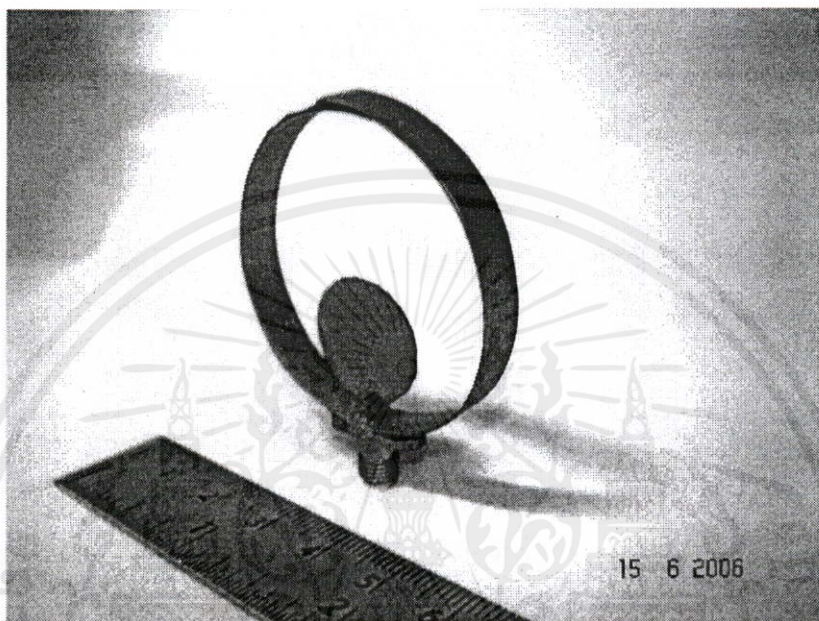


รูปที่ 5.1 สายอากาศ Wireless LAN ที่สร้างขึ้นจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 การสร้างสายอากาศ Ultra-wideband

จากการคำนวณได้ทำการเลือกค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดคือ ใช้อัตราส่วนของวงแหวนเท่ากับ 1.6 cm ความหนาของวงแหวนเท่ากับ 6 mm รัศมีของโมโนโพลกลมบางเท่ากับ 8 mm ความหนาของโมโนโพลกลมบางเท่ากับ 0.5 mm และระยะช่องอากาศเท่ากับ 0.5 mm



รูปที่ 5.2 สายอากาศ Ultra-wideband ที่สร้างขึ้นจริง

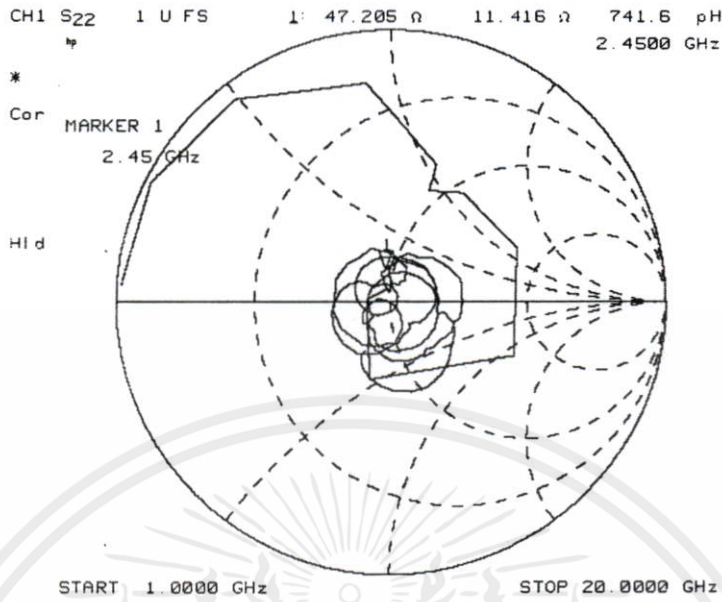
5.2 การทดสอบสายอากาศ

5.2.1 คุณลักษณะเชิงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ

คุณลักษณะเชิงอิมพีแดนซ์ที่ได้ทำการทดสอบคือค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศโดยทั่วไปค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศจะใช้ระบบ 50 โอห์ม แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถทำได้ดังนั้นจึงต้องออกแบบให้มีค่าใกล้เคียง และเมื่อพิจารณาค่าที่ใกล้เคียงนั้นในรูปของอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศ (SWR) ที่ไม่เกิน 2:1 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้หรือพิจารณาในรูปของกำลังงานที่สะท้อนกลับซึ่งต่ำกว่า -10 dB

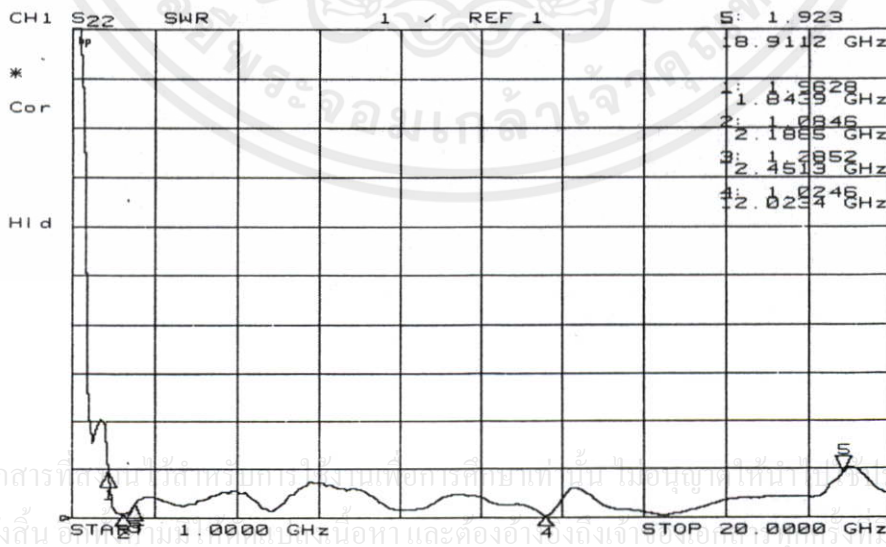
5.2.1.1 คุณลักษณะเชิงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ Wireless LAN

รูปที่ 5.3 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศ และในรูปที่ 5.4 แสดงค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง จากการทดลองสายอากาศสองทิศทางที่ตอบสนองช่วงความถี่กว้าง โดยใช้วงแหวนวงกลมป้อนด้วยโมโนโพลกลมบาง เป็นสายอากาศที่ตอบสนองช่วงความถี่กว้างตั้งแต่ 1.63-20.83 GHz โดยที่ความถี่ 2.45 GHz มีค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศเท่ากับ $47.205 + j11.416 \Omega$ และมีการสูญเสียย้อนกลับเท่ากับ -18.221 dB

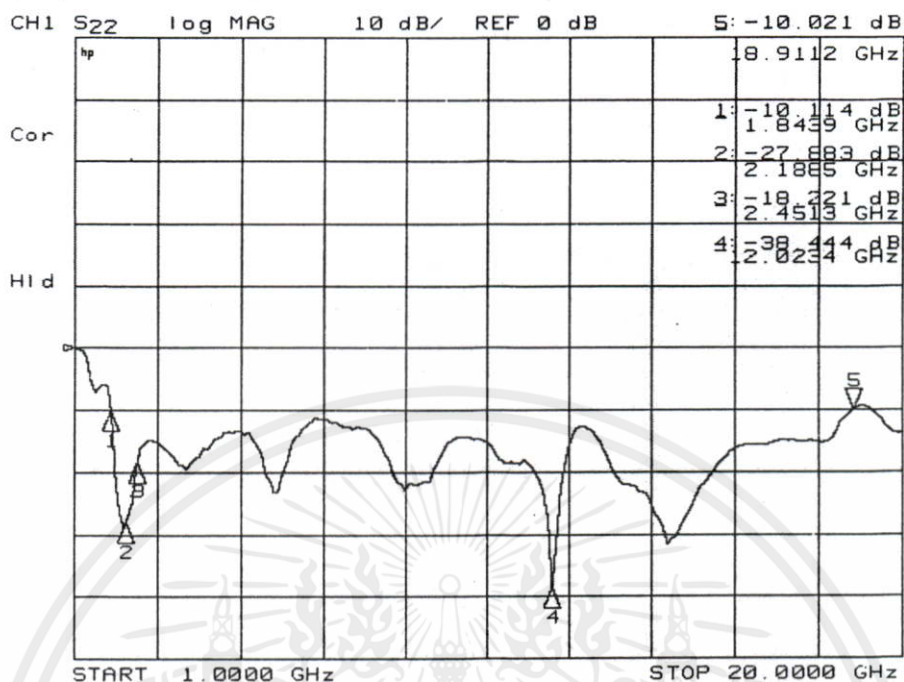


รูปที่ 5.3 ค่าอิมพีแดนซ์ที่ได้จากการทดสอบสายอากาศ Wireless LAN

ในการทดสอบสายอากาศเริ่มต้นที่ 1 GHz และสิ้นสุดที่ 2.0 GHz ค่าอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 2.4 GHz มีค่าเท่ากับ $-47.205 + j 11.416 \Omega$ ซึ่งแสดงไว้โดยตัวชี้ (Marker) ในรูปที่ 5.3 และเส้นกราฟที่ขดวนซ้อนกันใกล้จุดศูนย์กลาง (50Ω) ก็เป็นบริเวณซึ่งสายอากาศมีค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งน้อยกว่า 2:1 ซึ่งเริ่มตั้งแต่ 1.8439-18.9112 GHz ส่วนอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ความถี่ 1.8439-18.9112 GHz ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.4 ด้วยตัวชี้ 1, 2, 3, 4, 5 ตามลำดับ

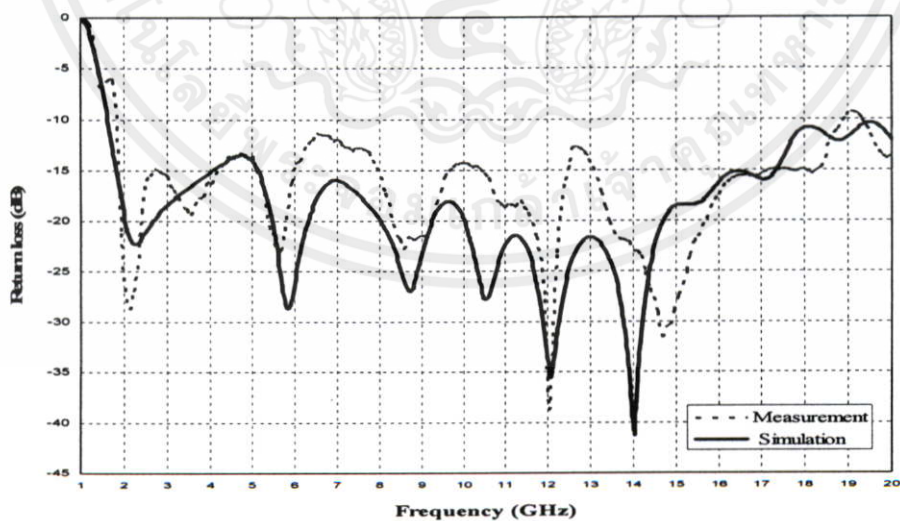


รูปที่ 5.4 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ได้จากการทดสอบสายอากาศ Wireless LAN



รูปที่ 5.5 ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ได้จากการทดสอบสายอากาศ Wireless LAN

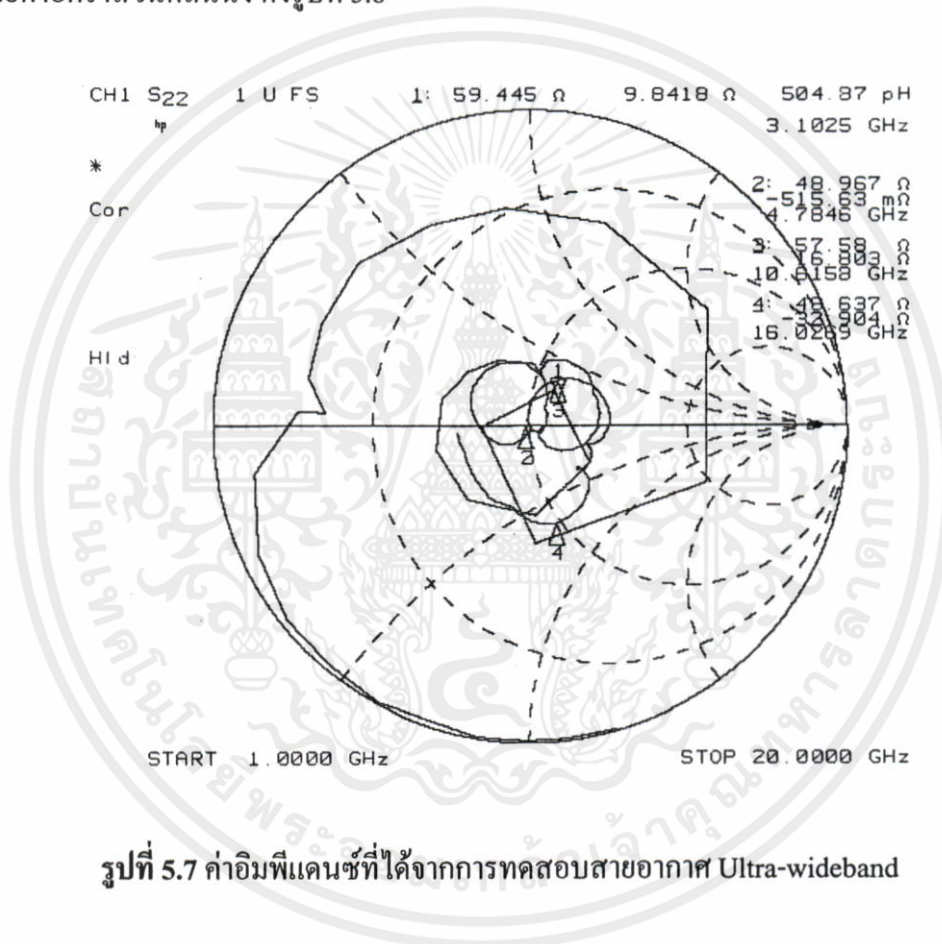
รูปที่ 5.5 เป็นค่าการสูญเสียย้อนกลับจากการทดสอบซึ่งแสดงผลหน้าจอโดยเครื่อง Network Analyzer 8020C และรูปที่ 5.6 เป็นการนำค่าที่ได้จากการทดสอบมาเปรียบเทียบกับค่าคำนวณ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 5.6 การสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ Wireless LAN ครั้งที่มีการนำไปใช้

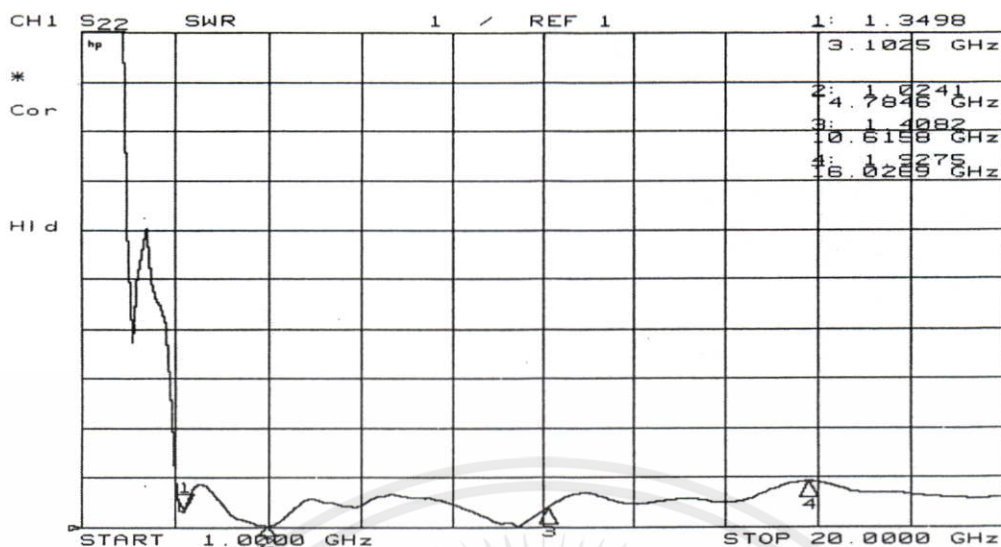
5.2.1.2 คุณสมบัติเชิงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ Ultra-wideband

รูปที่ 5.7 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศ ซึ่งตอบสนองช่วงความถี่กว้างตั้งแต่ 3.10-15.80 GHz มีค่าอิมพีแดนซ์ $59.445 + j9.8418 \Omega$ ที่ความถี่ 4.7846 GHz ซึ่งเป็นช่วงที่สายอากาศมีค่าอิมพีแดนซ์ใกล้เคียง 50Ω ที่สุด มีค่าเท่ากับ $48.967 - j515.63 \Omega$ ที่ความถี่ 10.6 GHz มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ $57.58 + j6.803 \Omega$ และที่ความถี่ 16.02 GHz มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ $46.637 - j32.904 \Omega$ เมื่อพิจารณาช่วงความถี่ที่อัตราส่วนคลื่นนิ่งไม่เกิน 2:1 สายอากาศจะมีช่วงกว้างความถี่ตั้งแต่ 3 GHz ขึ้นไปตลอดย่านการทดสอบและที่ตำแหน่งตัวชี้ เดียวกัน ในรูปที่ 5.7 สามารถแสดงได้ด้วยค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง ดังรูปที่ 5.8

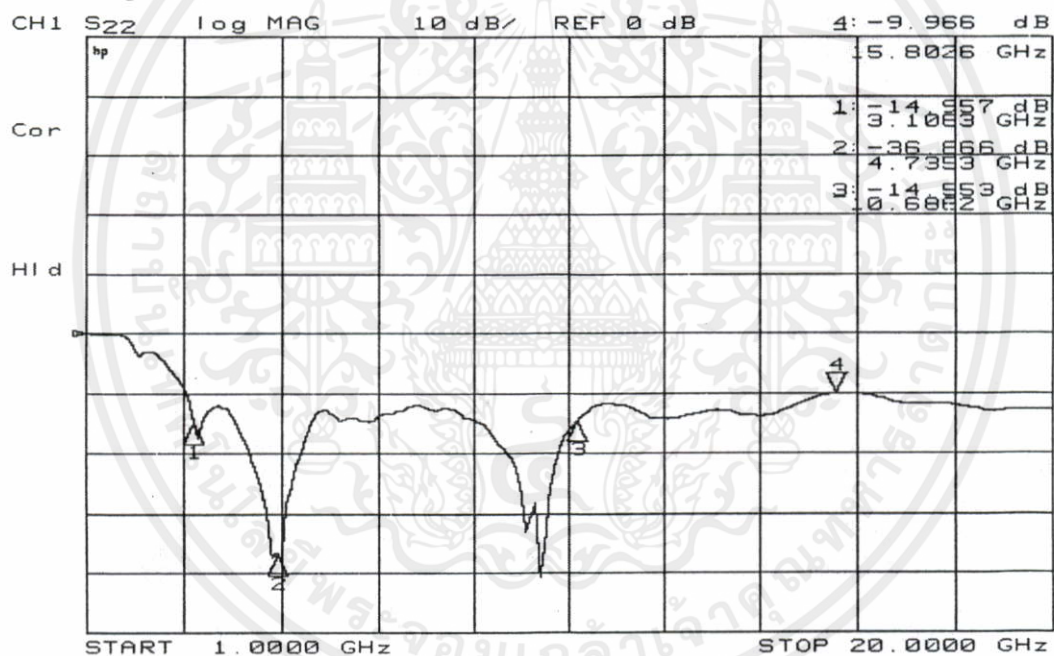


รูปที่ 5.7 ค่าอิมพีแดนซ์ที่ได้จากการทดสอบสายอากาศ Ultra-wideband

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

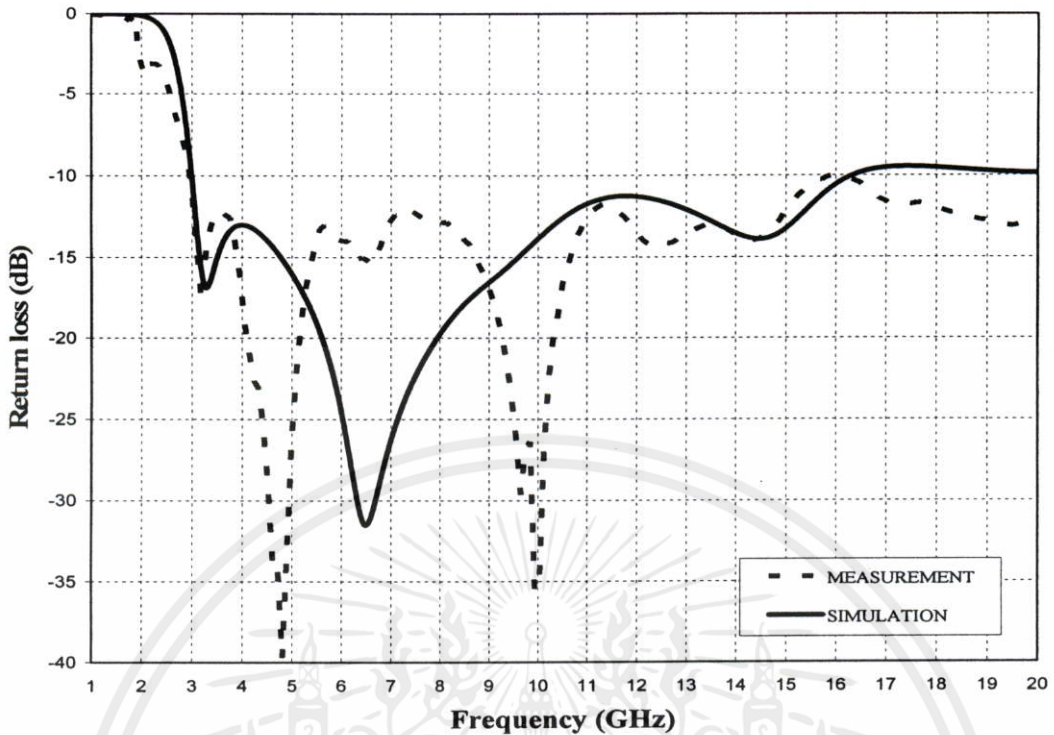


รูปที่ 5.8 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ได้จากการทดสอบสายอากาศ Ultra-wideband



รูปที่ 5.9 การสูญเสียย้อนกลับที่ได้จากการทดสอบสายอากาศ Ultra-wideband

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 การสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ Ultra-wideband

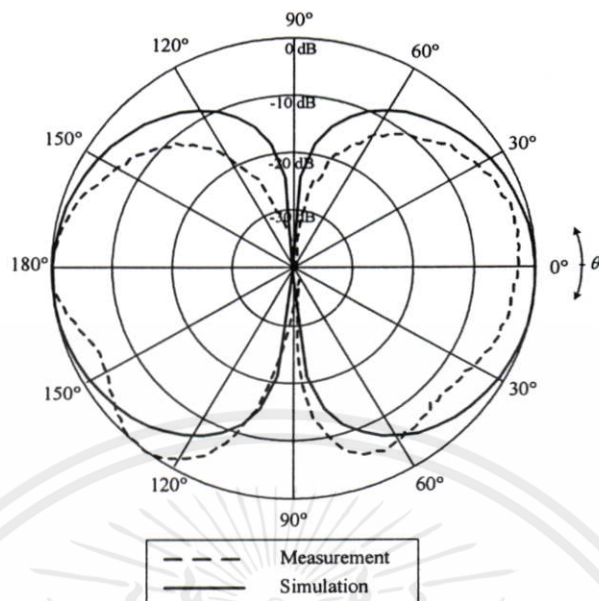
สำหรับรูปที่ 5.9 เป็นค่าของการสูญเสียย้อนกลับจากการทดสอบซึ่งแสดงผลหน้าจอ โดยเครื่อง Network Analyzer 8720C และรูปที่ 5.10 เป็นการนำค่าที่ได้จากการทดสอบมาเปรียบเทียบกับกรคำนวณ

5.2.2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

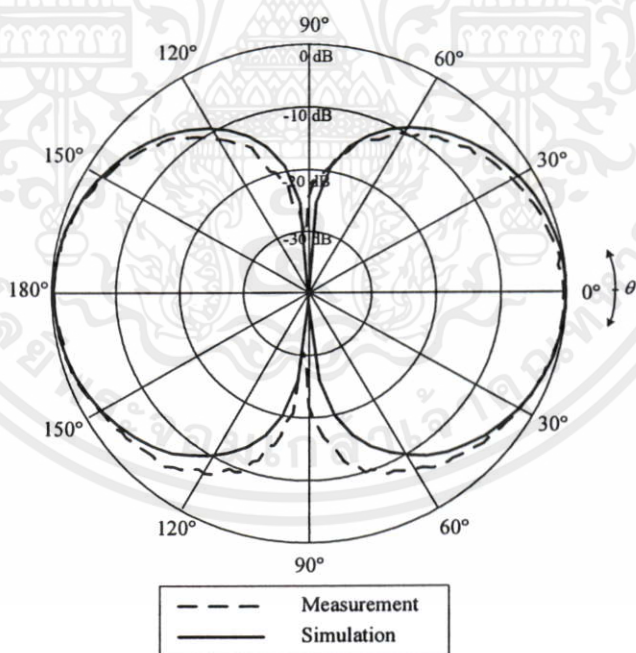
5.2.2.1 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ Wireless LAN

จากรูปที่ 5.11 เป็นแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 1.6 GHz โดยทิศทางของลำคลื่นที่ออกจากปากวงแหวนทั้งสองจะมีทิศทางในมุม 0 และ 180 องศาแต่ก็ยังมีทิศทางของลำคลื่นย่อยด้านข้างที่พุ่งออกมามีทิศเฉียงลงทำมุม 50 องศาและเมื่อความถี่สูงขึ้นเป็น 2.45 GHz ดังรูปที่ 5.12 จะเห็นว่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจะมีทิศชี้ขนานกับแนวระนาบคือทิศทางในมุม 0 และ 180 องศา ซึ่งมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบสองทิศทางที่สมบูรณ์มากซึ่งเมื่อเทียบกับผลการคำนวณจะใกล้เคียงกันมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



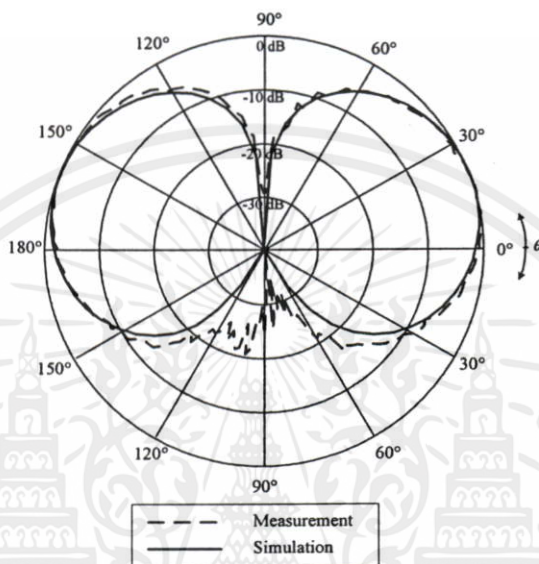
รูปที่ 5.11 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 1.6 GHz



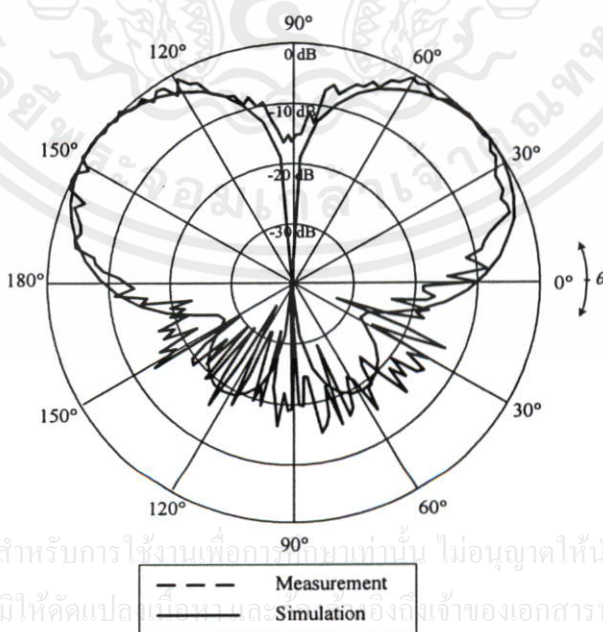
รูปที่ 5.12 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 2.45 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.13 และ 5.14 เป็นการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นความถี่ 3.25 GHz และ 5 GHz ในระนาบสนามไฟฟ้า ซึ่งผลที่ได้จะเห็นว่า สายอากาศจะมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นพุ่งออกจากปากวงแหวนวงกลมซึ่งเอียงขึ้นทำมุมประมาณ 12 องศา และ 25 องศา กับแนวระนาบตามลำดับ และจะเกิดค่าคลื่นย่อยด้านหลังขึ้น ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณ และการทดสอบเป็นไปในทิศทางเดียวกัน



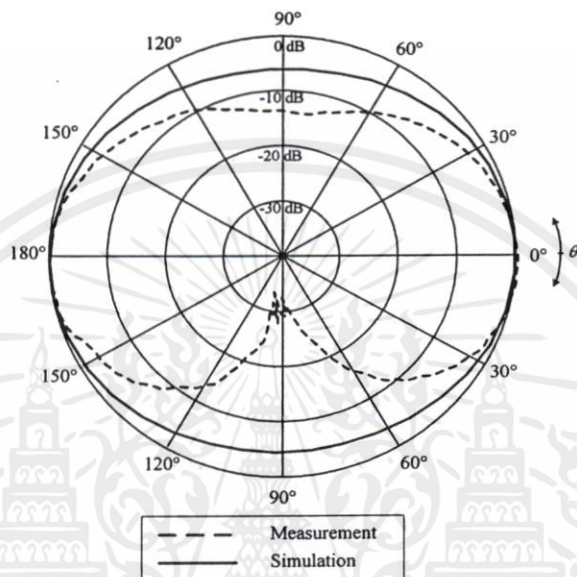
รูปที่ 5.13 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 3.25 GHz



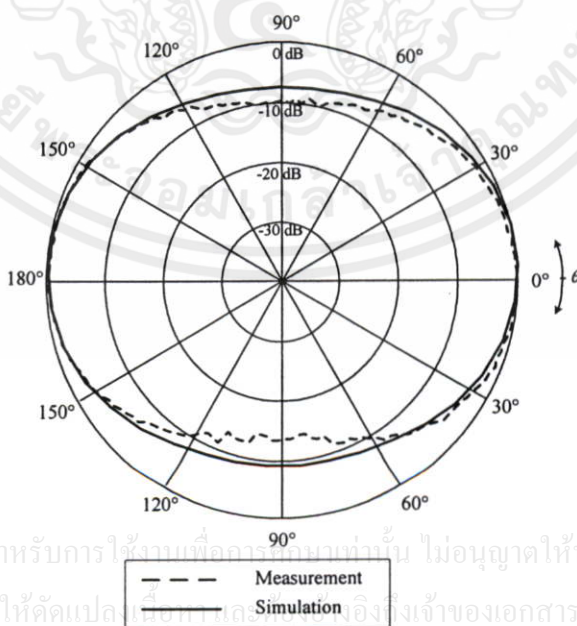
รูปที่ 5.14 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 5 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการนำเสนอเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่เอกสารนี้ออกไปโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.15 จะเห็นว่ารูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ ในระนาบสนามแม่เหล็ก จะค่อนข้างกลม โดยมีกรงุ้มเข้าหาแกนกลาง ทางด้านส่วนล่างที่เกิดขึ้น เฉพาะความถี่ 1.6 GHz สำหรับที่ความถี่ 2.45 GHz และ 3.25 GHz แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นค่อนข้างสมบูรณ์แบบมาก ดังแสดงในรูปที่ 5.16-5.17

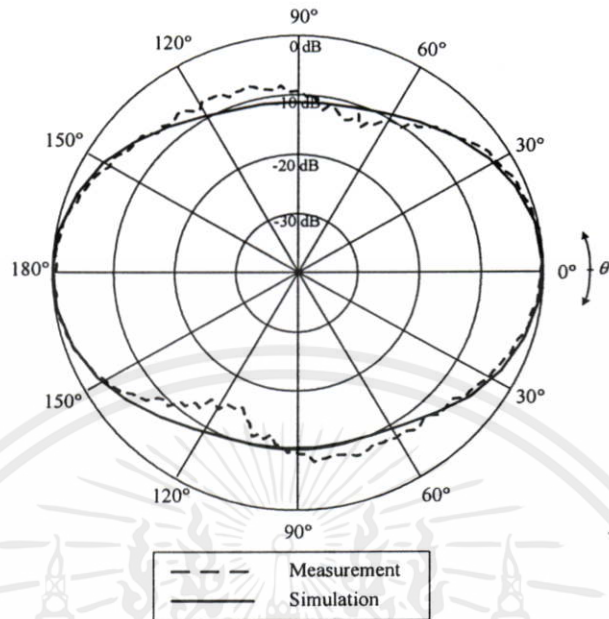


รูปที่ 5.15 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 1.6 GHz

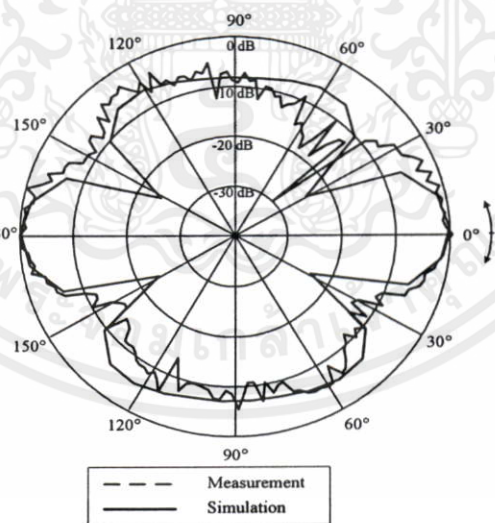


รูปที่ 5.16 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 2.45 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



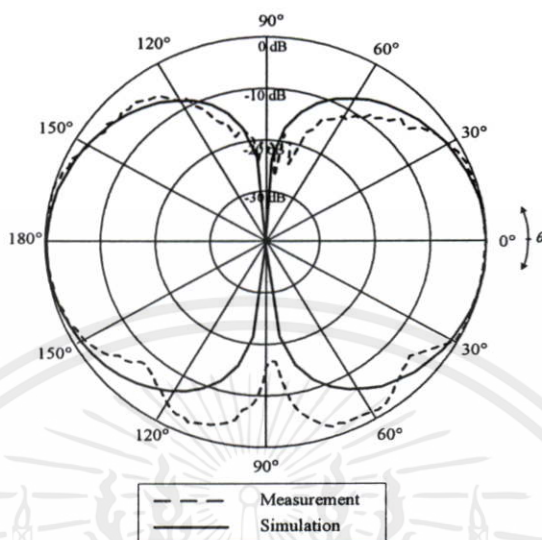
รูปที่ 5.17 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 3.25 GHz



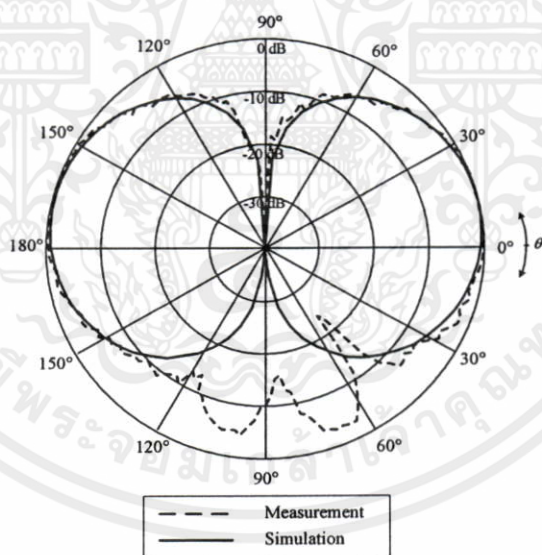
รูปที่ 5.18 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 4.5 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด จากรูปที่ 5.18 จะเห็นว่า แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็กจะ
เกิดการแตกออกซึ่งก็เป็นการสอดคล้องกับผลการคำนวณซึ่งพบว่าจะเกิดขึ้นเมื่อความถี่สูงช่วง 5
GHz ดังรูปที่ได้แสดงไว้

5.2.2.2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ Ultra-wideband



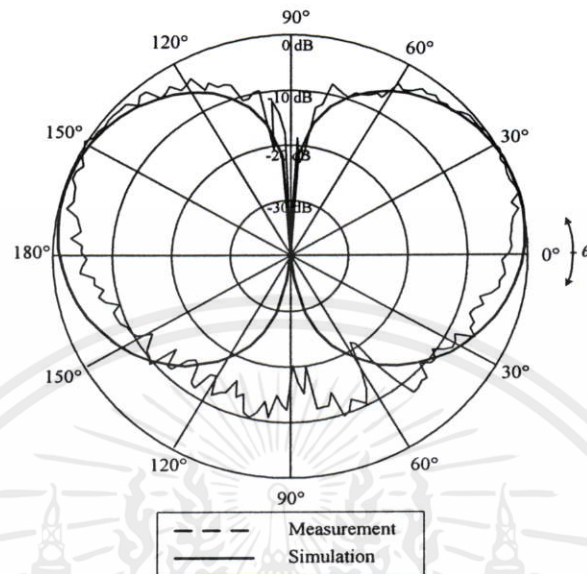
รูปที่ 5.19 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 3.1 GHz



รูปที่ 5.20 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 5 GHz

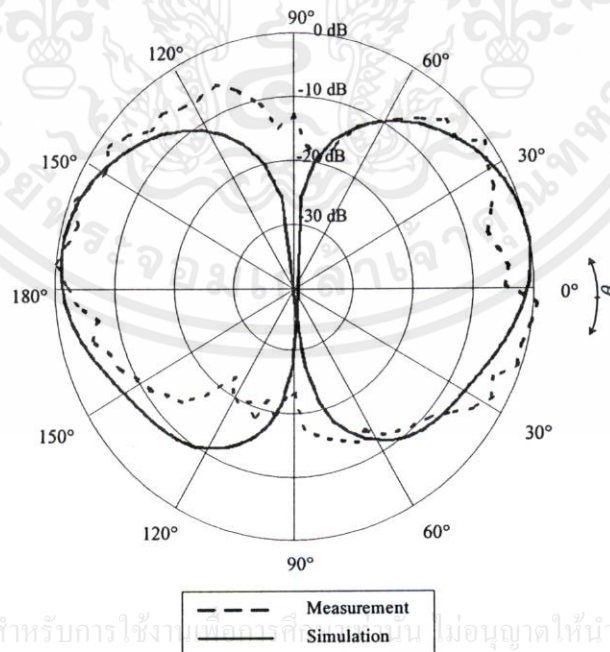
จากรูปที่ 5.19 เป็นแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 3.1 GHz ซึ่งทิศทางของลำคลื่นที่ออกจากปากวงแหวน ทั้งสองจะมีทิศทางในมุม 0 และ 180 องศา และยังมีทิศทางของลำคลื่นย่อยด้านข้างที่พุ่งออกไปทำมุมเอียงลงจากแนวระดับ 60 องศา ต่อมาที่ความถี่ 5 GHz แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ออกจากปากวงแหวนทั้งสองจะทำมุมเอียงขึ้นจากแนวระดับ

ประมาณ 15 องศา และมีลำคลื่นย่อยด้านข้างเกิดขึ้น ทำมุมเอียงลงประมาณ 65 องศา ของลำคลื่นทั้งสองข้างที่พุ่งออกจากปากวงแหวนวงกลมครึ่งรูปที่ 5.20



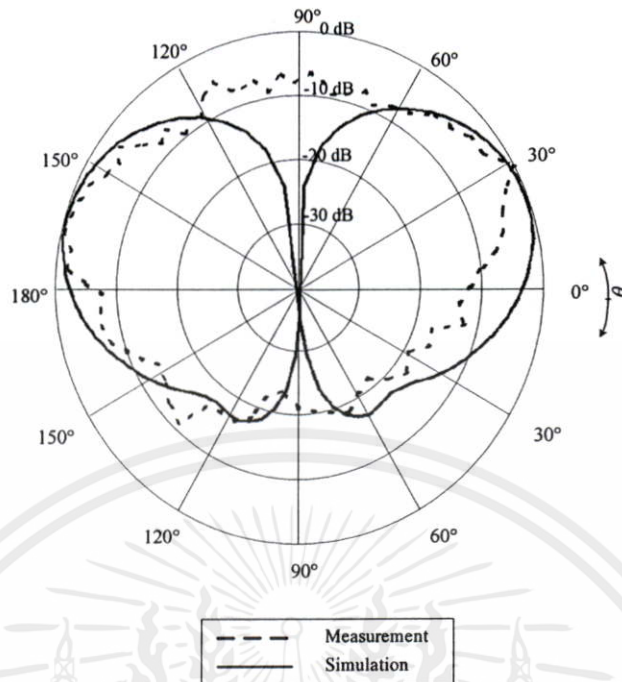
รูปที่ 5.21 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 7 GHz

จากรูปที่ 5.21 เป็นแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ทดสอบที่ความถี่ 7 GHz ซึ่งลำคลื่นที่ออกจากปากวงแหวนทำมุมเอียงขึ้นประมาณ 30 องศา



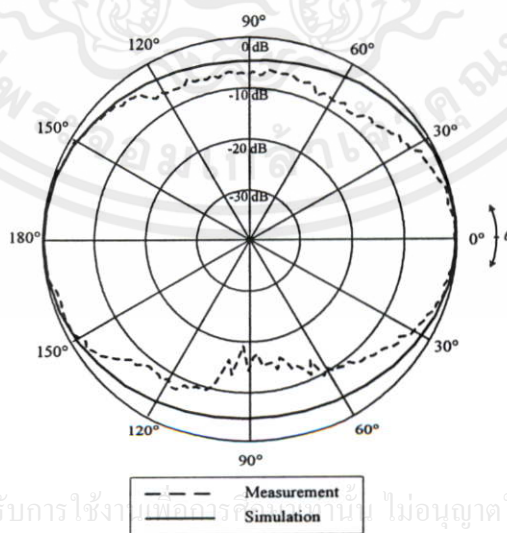
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.22 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 8 GHz

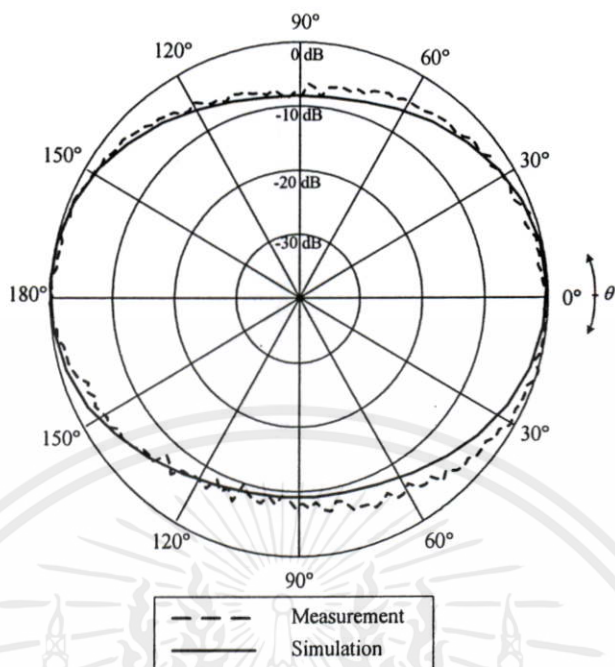


รูปที่ 5.23 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 10.6 GHz

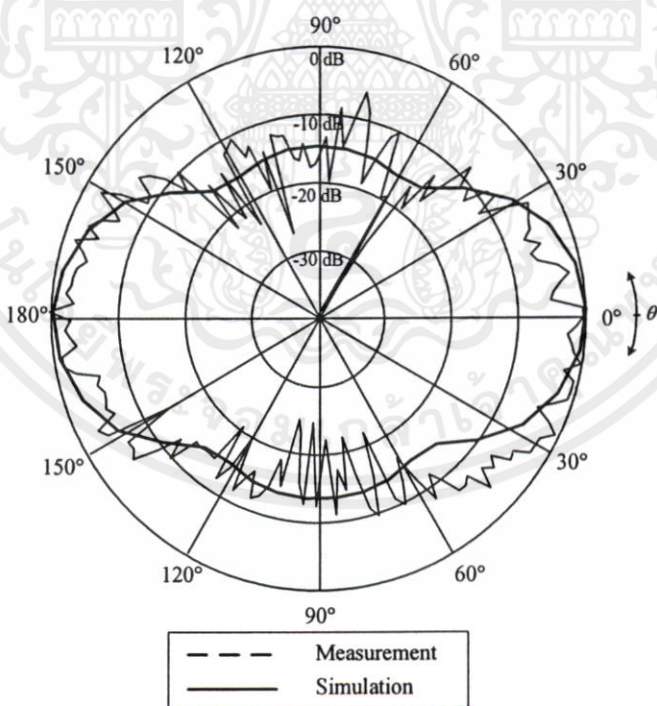
ส่วนแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 8 GHz มีการทำมุมเอียงขึ้นของลำคลื่นที่พุ่งออกจากปากวงแหวนทั้งสอง ประมาณ 20 องศา ส่วนที่ความถี่ 10.6 GHz มีการทำมุมเอียงขึ้นของลำคลื่นที่พุ่งออกปากวงแหวนทั้งสอง ประมาณ 22 องศา ดังแสดงไว้ดังรูปที่ 2.22 และรูปที่ 2.23 ผลที่ได้จากการทดสอบจริงสามารถประเมินได้ว่า ผลการทดสอบและผลการคำนวณเป็นไปในทางทิศเดียวกันและมีความใกล้เคียงกันมาก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งรูปที่ 5.24 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 3.1 GHz

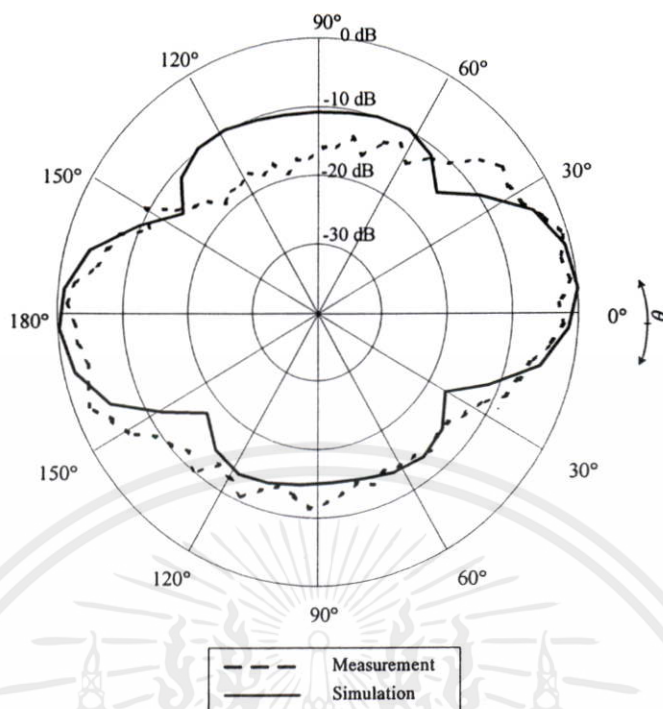


รูปที่ 5.25 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 5 GHz



รูปที่ 5.26 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 8 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ในเชิงพาณิชย์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 10.6 GHz

สำหรับผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก ของสายอากาศ Ultra-Wideband ที่ความถี่ 3.1-10.6 GHz ก็คล้ายกับสายอากาศ Wireless LAN 1.6-5 GHz ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันก็คือ เมื่อความถี่สูง แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ของสายอากาศก็จะเกิด ลำคลื่นย่อยๆ ขึ้นมา และลำคลื่นย่อยๆ จะเพิ่มระดับความแรงขึ้น เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นดังเช่น ในความถี่ 3.1-5 GHz สายอากาศจะมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นค่อนข้างกลม ดังแสดงในรูปที่ 5.24 และ 5.25 และเริ่มมีลำคลื่นย่อยๆ ขึ้นมา เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นเป็น 8 GHz และ 10.6 GHz ดังแสดงในรูปที่ 5.26 และ 5.27 ซึ่งพบว่าการแตกของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น เนื่องจากการทดสอบที่ ทดสอบในระดับความถี่สูงมากๆ ซึ่งเป็นผลกระทบมีผลมาจากการสูญเสียของสายนำสัญญาณ

5.3 สรุป

ในบทนี้เป็นการแสดงการออกแบบ การสร้าง และการทดสอบสายอากาศ ทั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบ ผลที่ได้จากการคำนวณและการทดสอบว่ามีความสอดคล้องกันมากน้อยเพียงใด ซึ่งคุณลักษณะของ สายอากาศที่พิจารณาได้แก่ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศและคุณลักษณะเชิง อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
เริ่มจากแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ Wireless LAN พบว่าผลที่ได้จากการ ทดสอบและการคำนวณมีความสอดคล้องกัน โดยช่วงความถี่ตั้งแต่ 1.6 - 5 GHz ซึ่งเป็นช่วงที่

สายอากาศมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบสองทิศทาง และมีช่วงกว้างความถี่ในเชิงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศตั้งแต่ 1.85-18.9 GHz

ในส่วน of สายอากาศ Ultra-wideband พบว่าสายอากาศจะตอบสนองในช่วงความถี่ตั้งแต่ 3.10 GHz โดยพบว่าในระนาบสนามแม่เหล็กสายอากาศจะเริ่มลาคลื่นย้อยด้านข้างตั้งแต่ความถี่ 8 GHz ขึ้นไป และมีการเอียงตัวขึ้นของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าตั้งแต่ความถี่ 7 GHz ขึ้นไป ช่วงกว้างความถี่ของสายอากาศในเชิงอิมพีแดนซ์และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นกับผลที่ได้ทำการวิเคราะห์ดีถือว่ามีความสอดคล้องกันสำหรับลักษณะการทดสอบสายอากาศจริงในช่วงความถี่ที่สูงมากๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทนี้จะกล่าวถึงการสรุปเนื้อหาโดยรวมพร้อมข้อเสนอแนะต่างๆและแนวทางในการพัฒนาต่อสำหรับวิทยานิพนธ์

6.1 สรุปเนื้อหาโดยรวม

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กล่าวถึงสายอากาศชนิดใหม่ที่มีการแพร่กระจายคลื่นแบบสองทิศทาง และมีช่วงความถี่ที่กว้างอันเป็นคุณลักษณะขั้นพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับวิวัฒนาการของระบบการสื่อสารในยุคปัจจุบัน สายอากาศที่นำเสนอเป็นสายอากาศที่มีโครงสร้างที่ง่ายไม่สลับซับซ้อนรวมไปถึงต้นทุนการผลิตที่ต่ำ หลักการโดยรวมเป็นการนำเอาโมโนโพลกลมบาง บนแผ่นสะท้อนรวมเข้ากับสายอากาศวงแหวนวงกลมล้อมรอบโพรบ ด้วยคุณลักษณะขั้นพื้นฐานของโมโนโพลกลมบางบนแผ่นสะท้อนที่มีช่วงความถี่ที่กว้าง และวงแหวนวงกลมซึ่งเป็นตัวสะท้อนที่มีคุณลักษณะบางอย่างคล้ายกับท่อนำคลื่นก็คือการจำกัดความถี่ที่ใช้งานจึงจำเป็นต้องเลือกขนาดของท่อนำคลื่นกับขนาดของโมโนโพลกลมบางให้สอดคล้องกันสายอากาศจึงจะสามารถทำงานได้ ผลกระทบที่เห็นเป็นรูปธรรมชัดเจนก็คือการรุ่มหรือเอียงของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นอันเนื่องมาจากขนาดของช่วงความถี่ต้นและปลายของการใช้งานไม่เหมาะสมกับขนาดของวงแหวนที่ใช้งาน ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการออกแบบและทดสอบสายอากาศเพื่อใช้งานกับโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย Wireless LAN ที่ความถี่ 2.45 GHz และระบบการสื่อสารไร้สาย Ultra-wideband 3.10-10.6 GHz

จากการทดสอบพบว่าการทำให้สายอากาศมีแบบรูปการแพร่กระจายแบบตรงมุม 0 องศาที่สุดนั้นเป็นเรื่องทำได้ยากสำหรับการที่ยังคงโครงสร้างของสายอากาศที่ง่ายอยู่ เพราะฉะนั้นการออกแบบให้สายอากาศมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่มีการรุ่มหรือเอียงของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่น้อยที่สุดในช่วงความถี่ที่ใช้งานจึงเป็นเรื่องที่เหมาะสมที่สุด ดังพารามิเตอร์ที่ได้ ออกแบบไว้ข้างต้น โดยค่าพารามิเตอร์ที่ได้ออกแบบคำนวณและสร้างทดสอบสายอากาศสำหรับระบบ Wireless LAN 2.45 GHz คือ รัศมีวงแหวน (a) เท่ากับ 3.7 ซม. ความหนาของวงแหวนวงกลม(d) เท่ากับ 2 ซม. รัศมีโมโนโพลกลมบาง (r_p) เท่ากับ 2 ซม. ระยะช่องว่างอากาศ (h) เท่ากับ 0.3 ซม. ความหนาของโมโนโพลกลมบาง (t) เท่ากับ 0.5 ซม. ส่วนค่าพารามิเตอร์ที่ได้ออกแบบคำนวณและสร้างทดสอบสายอากาศสำหรับระบบ Ultra-wideband 3.10-10.6 GHz คือ รัศมีวงแหวน (a) เท่ากับ 1.6 ซม. ความหนาของวงแหวนวงกลม(d) เท่ากับ 6 มม. รัศมีโมโนโพลกลมบาง (r_p) เท่ากับ 8 มม. ระยะช่องอากาศ (h) เท่ากับ 0.5 มม. ความหนาของโมโนโพลกลมบาง (t) เท่ากับ 0.5 มม.

สำหรับเนื้อหาโดยรวมของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ในบทที่ 1 เป็นบทนำที่กล่าวถึงความเป็นมา วัตถุประสงค์ แนวคิด ทฤษฎีวิธีการและขั้นตอนที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ บทที่ 2 เป็นทฤษฎีและหลักการรวมไปถึงวิวัฒนาการของสายอากาศต้นแบบที่จะนำไปสู่การสร้างสรรค์สายอากาศชนิดใหม่ขึ้นมา บทที่ 3 กล่าวถึงการวิเคราะห์สายอากาศชนิดใหม่ คือสายอากาศสองทิศทางที่ตอบสนองช่วงความถี่กว้างโดยใช้วงแหวนวงกลมป้อนด้วยโมโนโพลกลมบางในบทนี้จะเป็นการวิเคราะห์สายอากาศโดยใช้โปรแกรม IE3D ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้หลักการของวิธีโมเมนต์ในการวิเคราะห์โดยอาศัยฟังก์ชันฐาน Roof-Top ในการแก้ปัญหาค่ากระจายของกระแส บน โครงสร้างของตัวนำ ซึ่งถูกแบ่งเป็นส่วนย่อยด้วยเซลล์เล็กๆที่เป็นทั้ง 2 มิติ และ 3 มิติในรูปแบบของเซลล์สามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยม หลังจากการหาค่ากระแสได้ก็จะสามารถที่จะหาค่าพารามิเตอร์อื่นๆต่อไป บทที่ 4 เป็นการศึกษาพารามิเตอร์และการออกแบบสายอากาศเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ในบทที่ 5 เป็นการสร้างและทดสอบรวมถึงผลการทดสอบ และบทสุดท้ายคือบทที่ 6 เป็นสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ เพื่อเป็นการสะดวกที่จะนำประโยชน์ไปใช้สำหรับผู้ที่สนใจศึกษาค้นคว้าต่อไปในอนาคต

6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

จากการทดสอบสายอากาศจริงพบว่า การเกิดลำคลื่นด้านข้างในทางปฏิบัตินั้นค่อนข้างมาก วิธีการคำนวณที่คิดผลกระทบของตัวสะท้อน โดยตรงจะช่วยสามารถอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] FCC Report and Order for part 15 acceptance of Ultra Wideband (UWB) system from 3.1 10.6 GHz, Feb. 2002, FCC website.
- [2] C. E. Smitch, C. M. Bulter and K. B. Umashankar, "Characteristics of a wire Biconical Antenna," *Microwave Journal*, pp.37-40, September 1979.
- [3] R. H. Duhamel, "Dual Polarized Simuous Antennas," U.S.Patent 4,658,262, April 14, 1987.
- [4] M. Hammoud, P. Poey and F. Colombel, "Matching the Input Impedance of a Broadband Disc Monopole," *Electronics Letters*, pp 406 - 407, February 1993.
- [5] Z. N. Chen, "Novel Bi-Arm Rolled Momnopole for UWB Applications," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol.53, pp.672-677, Feb 2005.
- [6] S. Kosultvit C. Phongcharoenpanich, M. Krairksh, and T. Wakabayashi, "Design of a Bidirectional Antenna using aProbe Excited CircularRing," *Proc.1999 Thailand-Janpan Joint Symp.on Microwaves*, pp.55-59, Sep 1999.
- [7] K. F. Sander and G. A. L. Reed, "*Transmission and Propagation of Electromagnetic Wave*," Cambridge University Press, 1986.
- [8] S. Honda, M. Ito, H. Seki, and Y. Jingo, "A disk monopole antenna with 1:8 impedance bandwidth and omnidirectional radiation pattern," *Proc. ISAP '92*, Sapporo, Japan pp. 1145-1148, 1992.
- [9] S. M. RAO, D. R. WILTON and A. W. GLISSON, "Electromagnetic scattering by surfaces of arbitrary shape," *IEEE Trans Antennas and Propagation*, AP-30,(3), pp. 409 – 418, 1982.
- [10] J. Ashmead and A. B. Pippard, "The Use of Spherical Reflectors as Microwave Scanning Aerials," *J. Inst. Elec. Eng.*, Vol. 93, Part III-A, pp. 627-632, 1946.
- [11] T. Li, "A Study of Spherical Reflectors as Wide-Angle Scanning Antennas," *IRE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. AP-7, No. 3, pp. 223-226, July 1959.
- [12] Radio Research Labaratory (U.S.), "*Very High-frequency Techniques*," McGraw Hill, New York, 1947, pp.1-25, Chap 1.
- [13] J. D. Kraus, "*Antennas*," MacGraw Hill, New York, 1950, pp.9, Chap 1.
- [14] N. E. Lindenblad, "*Antennas and Transmission Lines at the Empire State Television Station*," *Communications*, pp.10-26, April, 1941.
- [15] R. Johonson, "*Antenna Engineering Handbook*," McGraw-Hill, 1993.

- [16] C. A. Balanis, “*Antenna Theory Analysis and Design*”, 2nd ed., John Wiley & Sons, 1997.
- [17] N. P. Agrawal, G. Kumar and K. P. Ray, “Wide-Band Planar Monopole Antennas,” *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, Vol. 46, pp. 294-295, Feb 1998.
- [18] D.C. Chang and J.X. Zheng, “Electromagnetic modeling of passive circuit elements in MMIC,” *IEEE Transactions Microwave Theory and Techniques*, Vol. 40, Issue 9, pp.1741 – 1747, Sep 1992 .



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นายอิทธิชัย บัวแก้ว

วัน เดือน ปีเกิด 28 ตุลาคม 2516 ที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี

ที่อยู่ 5/2220 ม.ประชาชื่น ถ.สามัคคี ต.บางตลาด อ.ปากเกร็ด

จ.นนทบุรี 11120 โทร 0-2503-6208

ประวัติการศึกษา 2541 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

ความชำนาญเฉพาะด้าน ระบบโทรคมนาคม

ระบบสายอากาศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้