

วิทยานิพนธ์การพัฒนารูปแบบเสาอากาศขนาดเล็กกำลังต่ำสำหรับ
การประยุกต์ใช้ร่วมกับ WLAN และ WIMAX

WIDEBAND COMPACT PATCH ANTENNA FOR WLAN
AND WIMAX APPLICATIONS

ฉัฐชัย - พุ่มพวง

THICHAI - PUMPOUNG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นทรัพย์สินของทางคณะเทคโนโลยีการศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่สามารถเผยแพร่หรือทำซ้ำ

โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางคณะ

© สงวนลิขสิทธิ์ของทางคณะ

สงวนลิขสิทธิ์โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

พ.ศ. 2552

KMUTL-2009-EN-010-067

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สายอากาศแพตช์ขนาดกะทัดรัดตอบสนองย่านความถี่กว้างสำหรับ
การประยุกต์ใช้งานกับ WLAN และ WIMAX

WIDEBAND COMPACT PATCH ANTENNA FOR WLAN
AND WIMAX APPLICATIONS



รัชชัย พุ่มพวง

TAJCHAI PUMPOUNG

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 105141
วัน,เดือน,ปี 16 พ.ย. 2552



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMITL-2009-EN-M-010-067

**WIDEBAND COMPACT PATCHANTENNA FOR WLAN
AND WiMAX APPLICATIONS**

TAJCHAI PUMPOUNG

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

2009

KMITL-2009-EN-M-010-067

COPYRIGHT 2009

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ สาขาอากาศแพตช์ขนาดกะทัดรัดตอบสนองย่านความถี่กว้างสำหรับการประยุกต์ใช้งานกับ WLAN และ WIMAX

Thesis Title Wideband Compact Patch Antenna for WLAN and WIMAX Applications

นักศึกษา นายรัชชัย พุ่มพวง

รหัสประจำตัว 50060907

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ชวรงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2009-EN-M-010-067

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.สมผล	โกศลวิตร	
ศ.ดร.โมไนย	ไกรฤกษ์	
ผศ.ดร.สุทธิชัย	นพนาคีพงษ์	
ดร.เอกรัฐ	บุญงูงา	
ผศ.ดร.ชวรงค์	พงศ์เจริญพาณิชย์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 26 พฤษภาคม พ.ศ. 2552 เวลา 09.00-11.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 2

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เดชหาญ)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 26 พฤษภาคม พ.ศ. 2552

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สายอากาศแพทช์ขนาดกะทัดรัดตอบสนองย่านความถี่กว้าง สำหรับการประยุกต์ใช้งานกับ WLAN และ WIMAX
นักศึกษา	นายรัชชัย พุ่มพวง
รหัสนักศึกษา	50060907
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2552
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ. ดร. ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอสายอากาศย่านความถี่กว้างครอบคลุมทุกๆ ย่านความถี่ที่ใช้ งานของเทคโนโลยี WLAN ที่ความถี่กลาง 2.4 กิกะเฮิรตซ์ 5.2 กิกะเฮิรตซ์ และ 5.8 กิกะเฮิรตซ์ และเทคโนโลยี WIMAX ที่ความถี่กลาง 2.3 กิกะเฮิรตซ์ 2.5 กิกะเฮิรตซ์ 3.3 กิกะเฮิรตซ์ 3.5 กิกะ เฮิรตซ์ และ 5.5 กิกะเฮิรตซ์ จากสายอากาศแบบโมโนโพลบนแผ่นวงจรพิมพ์ โดยใช้สายนำ สัญญาณที่อยู่บนแผ่นวงจรพิมพ์เป็นตัวป้อน และมีตัวนำสองชั้น โดยมีไดอิเล็กตริกคั่นกลาง ด้วย วัสดุฐานรองชนิด FR4 มีค่า $\epsilon_r = 4.3$ กับ โครงสร้างสี่เหลี่ยมแบบราบ โดยขนาดที่ได้ออกแบบคือ 26×63 ตารางมิลลิเมตร ด้านบนประกอบด้วยสายนำสัญญาณ และแผ่นสายอากาศโมโน โพลแบบวงกลม โดยถูกวางอยู่บนระนาบเดียวกับแผ่นวงจรพิมพ์เพื่อใช้ในการปรับอิมพีแดนซ์ให้ แมตซ์ดีที่ความถี่ที่ต้องการนำมาใช้งาน ในส่วนด้านล่างนั้นประกอบด้วยระนาบกราวนด์ โดยให้ ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศในช่วงความถี่ 2.29 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 6.37 กิกะเฮิรตซ์ ต่ำกว่า -10 dB ให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวทุกความถี่ที่ใช้งานในระบบ ค่าอัตราขยาย สูงสุด 3.5 dBi ต่ำสุด 0.3 dBi โดยพารามิเตอร์ของสายอากาศนั้นได้ถูกปรับเปลี่ยนขนาดให้ เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน

Thesis title	WIDEBAND COMPACT PATCH ANTENNA FOR WLAN AND WIMAX APPLICATIONS
Student	Mr. Tajchai Pumpoung
Student ID.	50060907
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2009
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Chuwong Phongcharoenpanich

ABSTRACT

This thesis presents a wideband antenna which can operate to all frequencies of WIFI technology with the center frequency of 2.4 GHz, 5.2 GHz and 5.8 GHz as well as WIMAX technology with the center frequency of 2.3 GHz, 2.5GHz, 3.3 GHz, 3.5 GHz and 5.5 GHz from printed monopole antennas. The proposed antenna uses a feeder the strip line. There are two layers separated by dielectric. The FR4 substrate with $\epsilon_r = 4.3$ of rectangular flat structure and size of $26 \times 63 \text{ mm}^2$ is designed. The upper layer consists of a strip line and a circular path to form planar the structure of printed circuit board to improve matching impedance at the desired frequency. The lower layer contains ground plane with rectangular conductor. The return loss is lower than -10 dB covering the frequency band of 2.29 GHz to 6.37 GHz. The patterns are omnidirectional all operation frequency of the both systems. The maximum gain is 3.5 dBi and the minimum gain is 0.3 dBi. The antenna parameters are varied to determine the suitable dimension for the specified applications .

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์จะสำเร็จขึ้นไม่ได้ถ้าปราศจากการสนับสนุนจาก คุณแม่สกุลพัตร คุณพ่อสมหมาย และคุณพี่กิตติศักดิ์ พุ่มพวง ที่คอยให้กำลังใจ และให้การสนับสนุนในเรื่องทุนทรัพย์ สำหรับการศึกษาอีกทั้งเข้าใจถึงปัญหาของข้าพเจ้าในการศึกษาเป็นเวลาค่อนข้างนาน

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านจากโรงเรียนสุวรรณภูมิจังหวัดบุรีรัมย์ โรงเรียนวัดนวลนรดิศ โรงเรียนช่างฝีมือทหาร สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครเหนือ และสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อบรมสั่งสอน และให้ความรู้แก่ข้าพเจ้าตลอดมา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง รองศาสตราจารย์ ดร. สมพล โกศลวิตร และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ เป็นผู้ช่วยเหลือและให้คำแนะนำทั้งในเรื่องวิชาการ ในด้านการวิจัย ตลอดจนข้อคิดในการดำเนินชีวิต

ขอขอบคุณ คุณจารุณี หรือตระกูล ที่คอยเป็นแรงใจ และให้กำลังใจในการทำงานโดยตลอดมา

ขอขอบคุณพี่ๆ ทุกคนในห้องปฏิบัติการสื่อสารไร้สายที่ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือในการทดสอบ และให้คำปรึกษา รวมถึงเทคนิคต่างๆที่สามารถนำมาใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ โดยเฉพาะ คุณพี่กิตติศักดิ์ แพ้ว คุณพี่สุภกิต แก้วดวงตา คุณพี่รัฐพงษ์ สุวลักษณ์ และคุณพี่ยุกติทัสน์ ชวานนท์พิทักษ์

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนร่วมชั้นปีในห้องปฏิบัติการสื่อสารไร้สายทุกท่าน โดยเฉพาะคุณคณะวัติ เนื่องวงษา คุณสรายุทธ ทดนาที และคุณพิชชานันท์ วงศ์ศิริธรที่ให้ความช่วยเหลือในการทดสอบ และช่วยเหลือข้าพเจ้าในเรื่องที่สามารถช่วยได้ ประโยชน์อันใดที่ได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

รัชชัย พุ่มพวง

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4 ประวัติและมาตรฐานที่ใช้กับเทคโนโลยี WLAN และ WiMAX.....	15
2.4.1 ประวัติของเทคโนโลยี WLAN.....	15
2.4.2 มาตรฐานของเทคโนโลยี WLAN.....	15
2.4.3 ประวัติลำดับของการพัฒนามาตรฐาน IEEE 802.16.....	17
2.4.4 มาตรฐานของเทคโนโลยี WiMAX.....	18
2.5 สายอากาศไมโครสตริป.....	18
2.6 การออกแบบสายนำสัญญาณ ไมโครสตริปและสายอากาศไมโครสตริป.....	20
2.6.1 อิมพีแดนซ์คุณลักษณะ (Characteristic Impedance: Z_0) ของสายนำสัญญาณไมโครสตริป.....	20
2.6.2 แบบจำลองควาวิตี้ (Cavity Model) ของสายอากาศไมโครสตริปแผ่นวงกลม.....	21
2.7 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
2.7.1 สายอากาศสองย่านความถี่กว้างบนแผ่นวงจรรพิมพ์สำหรับการประยุกต์ใช้งาน WLAN และ WiMAX.....	25
2.7.2 สายอากาศแบบช่องบนแผ่นวงจรรพิมพ์ป้อนด้วยสายนำสัญญาณไมโครสตริป.....	30
2.7.2.1 การสร้าง และผลการทดลอง.....	31
2.7.2.2 ข้อเสนอ.....	33
2.7.3 การออกแบบสายอากาศโมโพลรูปตัว T สำหรับสำหรับ WiMAX กับระนาบกราวนด์ที่ไม่เท่ากัน.....	33
2.7.3.1 การออกแบบและผลการทดลอง.....	33
2.7.3.2 ผลการทดลอง และ ข้อเสนอแนะ.....	35
2.7.3.3 ข้อเสนอ.....	36
2.7.4 สายอากาศแบบช่องแบบกะทัดรัดกับการป้อนด้วยท่อนำคลื่นระนาบร่วม สำหรับการประยุกต์ใช้กับมาตรฐาน IEEE 802.16-2004.....	37
2.7.4.1 โครงสร้างของสายอากาศและผลการวิเคราะห์.....	37
2.7.4.2 สรุป.....	41
2.8 บทสรุป.....	41

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การวิเคราะห์ และการสร้างสายอากาศ.....	43
3.1 บทนำ.....	43
3.2 โครงสร้างของสายอากาศ.....	43
3.3 การปรับอิมพีแดนซ์และค่าการสูญเสียย้อนกลับ.....	44
3.3.1 สายอากาศเบื้องต้น.....	44
3.3.2 สายอากาศเมื่อทำการปรับความสูงของระนาบกราวนด์.....	49
3.3.3 สายอากาศเมื่อทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ d	51
3.3.4 สายอากาศเมื่อทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ w_p	53
3.3.5 สายอากาศเมื่อทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ g	54
3.3.5 สายอากาศเมื่อทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ w_g	56
3.4 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น.....	58
3.4.1 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศหมายเลขที่ 1.....	59
3.4.2 เทคนิคการลดระดับ โพลาริไซซ์ไว.....	68
3.4.3 การปรับปรุงสมรรถนะเพื่อนำไปสู่การสร้าง.....	72
3.4.4 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศย่านความถี่กว้างสำหรับการ ประยุกต์ใช้งานในระบบ WLAN และ WiMAX.....	77
3.5 สรุปการวิเคราะห์ และการสร้างสายอากาศ.....	87
บทที่ 4 ผลการทดสอบ.....	91
4.1 บทนำ.....	91
4.2 ขั้นตอนการทดสอบ.....	91
4.3 ผลการทดสอบ.....	97
4.4 บทสรุป.....	110
บทที่ 5 การประเมินสมรรถนะ และการประยุกต์ใช้งาน.....	111
5.1 บทนำ.....	111
5.2 การทดสอบสมรรถนะในการใช้งานจริง.....	112
5.3 ข้อเสนอ.....	114
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	115
6.1 บทนำ.....	115
6.2 สรุปผล การวิจัย.....	115

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
6.3 ข้อดีข้อเสีย และ แนวทางการพัฒนา.....	121
บรรณานุกรม.....	122
ภาคผนวก.....	124
ประวัติผู้เขียน.....	130

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ขอบเขตแถบความถี่ที่ต่ำกว่า 10 dB จากการจำลอง และ แถบความถี่สำหรับสายอากาศ ซึ่งถูกนำเสนอเกี่ยวกับการเปลี่ยนขนาดของ W_1 และ W_2 ($h = 24.4$ มิลลิเมตร และ $g = 1.6$ มิลลิเมตร).....	26
3.1 พารามิเตอร์ของสายอากาศที่ใช้ในการสร้าง.....	44
3.2 พารามิเตอร์ของสายอากาศเริ่มต้น.....	48
3.3 พารามิเตอร์ของสายอากาศเมื่อทำการปรับระนาบกราวด์.....	50
3.4 พารามิเตอร์ของสายอากาศเมื่อทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ d	52
3.5 พารามิเตอร์ของสายอากาศเมื่อทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ w_f	54
3.6 พารามิเตอร์ของสายอากาศเมื่อทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ g	55
3.7 พารามิเตอร์ของสายอากาศหมายเลขที่ 1.....	58
3.8 ค่ามุมที่มีการแพร่กระจายสูงสุด และความกว้างของลำคลื่น.....	66
3.9 พารามิเตอร์ของสายอากาศหมายเลขที่ 2.....	69
3.10 พารามิเตอร์ของสายอากาศหมายเลขที่ 3.....	74
3.11 พารามิเตอร์ของสายอากาศหมายเลขที่ 4.....	75
3.12 พารามิเตอร์ของสายอากาศย่านความถี่กว้างสำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบ WLAN และ WiMAX.....	78
3.13 ค่ามุมที่มีการแพร่กระจายสูงสุด และความกว้างของลำคลื่นของสายอากาศย่านความถี่กว้าง สำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบ WLAN และ WiMAX.....	86
4.1 พารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศ.....	97
4.2 ค่าความผิดพลาดของค่าการสูญเสียย้อนกลับเปรียบเทียบการจำลองและการทดสอบ.....	99
4.3 อัตราส่วนแบนด์วิธของสายอากาศ.....	99
4.4 ค่ามุมที่มีการแพร่กระจายคลื่นสูงสุด และความกว้างลำคลื่น.....	109
6.1 พารามิเตอร์ของสายอากาศที่ใช้ในการทดสอบ.....	116
6.2 ค่าความผิดพลาดของค่าการสูญเสียย้อนกลับเปรียบเทียบการจำลอง และการทดสอบ.....	116
6.3 อัตราส่วนแบนด์วิธของสายอากาศ.....	117
6.4 ค่ามุมที่มีการแพร่กระจายสูงสุด และความกว้างลำคลื่น.....	118

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 โหมคการเชื่อมต่อแบบจุดต่อจุด.....	1
1.2 โหมคการเชื่อมต่อแบบจุดต่อหลายจุด.....	2
2.1 การเชื่อมต่อแบบ Ad-Hoc.....	6
2.2 การเชื่อมต่อแบบระบบพื้นฐาน.....	7
2.3 สถาปัตยกรรมของระบบ WiMAX.....	9
2.4 การเชื่อมต่อแบบ จุดต่อจุด และ จุดเดียวไปยังหลายจุด.....	10
2.5 แบบของ โครงสร้างแบบตาข่ายที่มีจุดศูนย์กลาง.....	11
2.6 การสื่อสารในแนวเส้นสายตา และการสื่อสารนอกแนวเส้นสายตา.....	12
2.7 ลักษณะการส่งสัญญาณขาขึ้น และขาลง.....	13
2.8 การแบ่งช่องสำหรับคนละช่วงเวลา.....	14
2.9 การแบ่งช่องสำหรับคนละช่วงความถี่.....	14
2.10 ลักษณะการป้อนของสายนำสัญญาณไมโครสตริป.....	19
2.11 โครงสร้างของสายนำสัญญาณไมโครสตริป และเส้นสนามไฟฟ้า.....	20
2.12 แบบจำลองควาวิตีของสายอากาศไมโครสตริปแผ่นวงกลม.....	21
2.13 โครงสร้างทางเรขาคณิตของสายอากาศบนแผ่นวงจรมิพท์ที่ถูกนำเสนอด้วยขนาดในหน่วย มิลลิเมตร (ก) ด้านข้าง (ข) ด้านหน้า และ (ค) ด้านหลัง.....	25
2.14 เปรียบเทียบค่าการสูญเสียย้อนกลับระหว่างผลการจำลอง และ ผลจากการทดสอบของสาย อากาศที่ได้นำเสนอ ($h=24.4$ มิลลิเมตร $g=1.6$ มิลลิเมตร $w_1=12$ มิลลิเมตร และ $w_2=17$ มิลลิเมตร).....	27
2.15 ผลจากการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ได้นำเสนอ (ก) 2.5 กิกะ เฮิร์ตซ์ (ข) 3.5 กิกะเฮิร์ตซ์ และ (ค) 5.5 กิกะเฮิร์ตซ์.....	28
2.16 ผลจากการทดสอบอัตราขยายสูงสุดที่เกี่ยวข้องกับความถี่ของสายอากาศที่ได้นำเสนอใน ย่านความถี่ (ก) 2.3-2.8 กิกะเฮิร์ตซ์ (ข) 3.2-3.8 กิกะเฮิร์ตซ์ (ค) 5.05-5.95ก กิกะเฮิร์ตซ์.....	29
2.17 โครงสร้างของสายอากาศแบบช่องที่ได้นำเสนอสำหรับการนำไปใช้ในระบบ WiMAX.....	30
2.18 ผลการเปรียบเทียบค่าการสูญเสียย้อนกลับระหว่างผลการจำลอง และการทดสอบของ สายอากาศตาม โครงสร้างในรูปที่ 2.47 เมื่อ $d = 8$ มิลลิเมตร และ $L = 16$ มิลลิเมตร.....	31
2.19 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจากการทดสอบที่ความถี่ (ก) 2130 เมกะเฮิร์ตซ์ (ข) 3550 เมกะเฮิร์ตซ์ (ค) 5775 เมกะเฮิร์ตซ์.....	32
2.20 โครงสร้างของสายอากาศที่ได้นำเสนอในหน่วยมิลลิเมตร.....	34

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.21 ผลการทดสอบ และการจำลองค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ.....	34
2.22 อัตราขยายของสายอากาศจากการทดสอบของสายอากาศกับการไม่มีช่องเป็นทางยาวใน ระนาบ $y-z$	35
2.23 ผลจากการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่สนามระยะไกลของสายอากาศสามย่าน ความถี่ในระนาบ $x-y$ และ $y-z$ ที่ (a) ความถี่ 2.5 กิกะเฮิรตซ์ (b) ความถี่ 5.5 กิกะเฮิรตซ์.....	36
2.24 โครงสร้างของสายอากาศที่นำเสนอ ($W = 25$ มิลลิเมตร $L = 20$ มิลลิเมตร $L_1 = 2$ มิลลิเมตร $L_2 = 4$ มิลลิเมตร $a = 8$ มิลลิเมตร $W_f = 1$ มิลลิเมตร $W_f = 2.5$ มิลลิเมตร $g = 0.3$ มิลลิเมตร $\alpha = 5^\circ$ และ $\beta = 30^\circ$).....	38
2.25 ผลจากการจำลองค่าการสูญเสียย้อนกลับที่มุม α	38
2.26 ผลจากการจำลองค่าการสูญเสียย้อนกลับที่มุม β	39
2.27 ผลจากการจำลองค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ W_f	39
2.28 ผลจากการจำลอง และการทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับ.....	40
2.29 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจากการจำลองของสายอากาศที่นำเสนอที่ความถี่ (ก) 2.39 กิกะ เฮิรตซ์ (ข) 5.29 กิกะเฮิรตซ์.....	41
3.1 โครงสร้างสายอากาศย่านความถี่กว้างบนแผ่นวงจรมินิมัมสำหรับการประยุกต์ใช้งานกับ เทคโนโลยี WLAN และ WiMAX.....	43
3.2 โครงสร้างของสายอากาศเริ่มต้น.....	47
3.3 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศเริ่มต้น.....	49
3.4 โครงสร้างของสายอากาศเริ่มต้นเมื่อ $L_g = L_f = 37.5$ มิลลิเมตร.....	50
3.5 ค่าการสูญเสียย้อนกลับเปรียบเทียบระหว่างเมื่อ $L_g = L = 75$ มิลลิเมตร กับ $L_g = L_f = 37.5$ มิลลิเมตรและความกว้างของระนาบกราวด์ เท่ากับ $W = 50$ มิลลิเมตร.....	51
3.6 ค่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อ $L_g = L_f = 37.5$ มิลลิเมตร $W = 50$ มิลลิเมตร และ ทำการ ปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ d	52
3.7 ค่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อ $L_g = L_f = 37.5$ มิลลิเมตร $W = 50$ มิลลิเมตร และ $d = 22.8$ มิลลิเมตรเมื่อทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ w_f	53
3.8 โครงสร้างของสายอากาศเมื่อปรับระดับความสูงของพารามิเตอร์ g	54
3.9 ค่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อ $L_g = L_f = 37.5$ เซนติเมตร $W = 50$ มิลลิเมตร $d = 22.8$ มิลลิเมตร และ พารามิเตอร์ w_f เมื่อทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ g	55
3.10 โครงสร้างของสายอากาศเมื่อปรับระดับความสูงของพารามิเตอร์ w_g	56

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 ค่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อ $L_g = L_f = 37.5$ มิลลิเมตร $W = 50$ มิลลิเมตร $d = 22.8$ มิลลิเมตรและ พารามิเตอร์ w_f เมื่อทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ w_g	57
3.12 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศหมายเลขที่ 1.....	57
3.13 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศหมายเลขที่ 1 ที่ความถี่ 2.3 GHz.....	59
3.14 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศหมายเลขที่ 1 ที่ความถี่ 2.4 GHz.....	60
3.15 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศหมายเลขที่ 1 ที่ความถี่ 2.5 GHz.....	61
3.16 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศหมายเลขที่ 1 ที่ความถี่ 3.5 GHz.....	62
3.17 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศหมายเลขที่ 1 ที่ความถี่ 5.2 GHz.....	63
3.18 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศหมายเลขที่ 1 ที่ความถี่ 5.5 GHz.....	64
3.19 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ของสายอากาศหมายเลขที่ 1 ความถี่ 5.85 GHz.....	65
3.20 การกระจายตัวของกระแสเชิงผิวบนสายอากาศ (ก) องค์ประกอบของกระแสเชิงผิวในทิศทาง แนวแกน x ที่ความถี่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์ (ข) องค์ประกอบของกระแสเชิงผิวในทิศทางแนวแกน x ที่ความถี่ 5.85 กิกะเฮิรตซ์.....	67
3.21 การกระจายตัวของกระแสเชิงผิวบนสายอากาศ (ก) องค์ประกอบของกระแสเชิงผิวในทิศทาง แนวแกน y ที่ความถี่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์ (ข) องค์ประกอบของกระแสเชิงผิวในทิศทางแนวแกน y ที่ความถี่ 5.85 กิกะเฮิรตซ์.....	67
3.22 การกระจายตัวของกระแสเชิงผิวบนสายอากาศ (ก) องค์ประกอบของกระแสเชิงผิวในทิศทาง แนวแกน x ที่ความถี่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์ ของสายอากาศหมายเลขที่1 (ข) องค์ประกอบของกระแส เชิงผิวในทิศทางแนวแกน x ที่ความถี่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์ ของสายอากาศหมายเลขที่2.....	69
3.23 การกระจายตัวของกระแสเชิงผิวบนสายอากาศ (ก) องค์ประกอบของกระแสเชิงผิวในทิศทาง แนวแกน x ที่ความถี่ 5.85 กิกะเฮิรตซ์ ของสายอากาศหมายเลขที่1 (ข) องค์ประกอบของกระแส เชิงผิวในทิศทางแนวแกน x ที่ความถี่ 5.85 กิกะเฮิรตซ์ ของสายอากาศหมายเลขที่ 2.....	70
3.24 การกระจายตัวของกระแสเชิงผิวบนสายอากาศ (ก) องค์ประกอบของกระแสเชิงผิวในทิศทาง แนวแกน y ที่ความถี่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์ ของสายอากาศหมายเลขที่1 (ข) องค์ประกอบของกระแส เชิงผิวในทิศทางแนวแกน y ที่ความถี่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์ ของสายอากาศหมายเลขที่ 2.....	70
3.25 การกระจายตัวของกระแสเชิงผิวบนสายอากาศ (ก) องค์ประกอบของกระแสเชิงผิวในทิศทาง แนวแกน y ที่ความถี่ 5.85 กิกะเฮิรตซ์ ของสายอากาศหมายเลขที่1 (ข) องค์ประกอบของกระแส เชิงผิวในทิศทางแนวแกน y ที่ความถี่ 5.85 กิกะเฮิรตซ์ ของสายอากาศหมายเลขที่ 2.....	71

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.26 ค่าการสูญเสียย้อนกลับเปรียบเทียบระหว่างสายอากาศหมายเลขที่ 1 และ สายอากาศหมายเลขที่ 2.....	72
3.27 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศหมายเลขที่ 2 เมื่อทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ g เพื่อทำการปรับปรุงสมรรถนะนำสู่การสร้าง.....	73
3.28 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศหมายเลขที่ 3 เปรียบเทียบกับสายอากาศหมายเลขที่ 4..	74
3.29 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศหมายเลขที่ 4 กับ สายอากาศย่านกว้าง.....	76
3.30 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศย่านความถี่กว้างสำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบ WLAN และ WiMAX.....	77
3.31 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศย่านความถี่กว้างที่ความถี่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์.....	79
3.32 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศย่านความถี่กว้างที่ความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์.....	80
3.33 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศย่านความถี่กว้างที่ความถี่ 2.5 กิกะเฮิรตซ์.....	81
3.34 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศย่านความถี่กว้างที่ความถี่ 3.5 กิกะเฮิรตซ์.....	82
3.35 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศย่านความถี่กว้างที่ความถี่ 5.2 กิกะเฮิรตซ์.....	83
3.36แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศย่านความถี่กว้างที่ความถี่ 5.5 กิกะเฮิรตซ์.....	84
3.37 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศย่านความถี่กว้างที่ความถี่ 5.85 กิกะเฮิรตซ์.....	85
3.38 ค่าอัตราขยายสูงสุดที่มุม $\theta = 0$ องศา และ $\phi = 0$ องศา ของสายอากาศย่านความถี่กว้างสำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบ WLAN และ WiMAX จากการจำลองในทิศทางตามแนวแกน.....	87
4.1 การทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับ S_{11}	92
4.2 การทดสอบค่าอัตราขยายของสายอากาศ.....	94
4.3 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก.....	95
4.4 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า.....	96
4.5 โครงสร้างสายอากาศ.....	97
4.6 รูปถ่ายสายอากาศที่สร้างขึ้น.....	98
4.7 ผลการจำลอง และผลการทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับ.....	98
4.8 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ทำการทดสอบ และจำลองที่ความถี่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์.....	100
4.9 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ทำการทดสอบ และจำลองที่ความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์.....	101

สารบัญรูป(ต่อ)

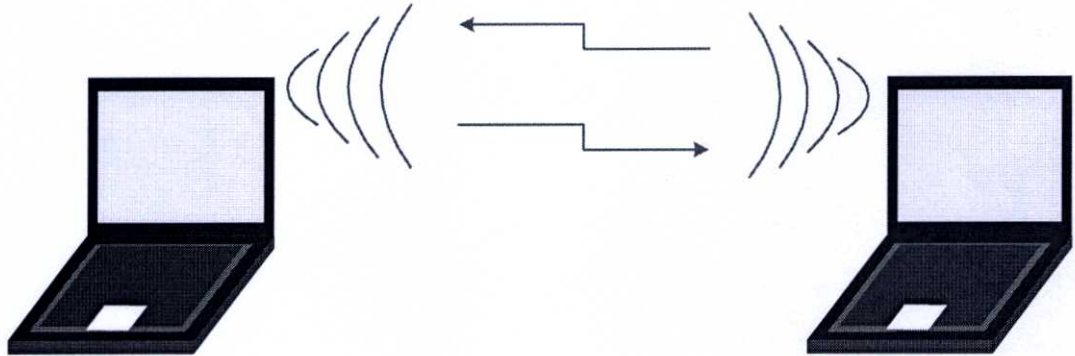
รูปที่	หน้า
4.10 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ทำการทดสอบ และจำลอง ที่ความถี่ 2.5 กิกะเฮิรตซ์.....	102
4.11 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ทำการทดสอบ และจำลอง ที่ความถี่ 3.5 กิกะเฮิรตซ์.....	103
4.12 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ทำการทดสอบ และจำลอง ที่ความถี่ 5.2 กิกะเฮิรตซ์.....	104
4.13 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ทำการทดสอบ และจำลอง ที่ความถี่ 5.5 กิกะเฮิรตซ์.....	105
4.14 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ทำการทดสอบ และจำลอง ที่ความถี่ 5.85 กิกะเฮิรตซ์.....	106
4.15 ผลการจำลองพร้อมคอนเนคเตอร์กับไม่มีคอนเนคเตอร์ และผลการทดสอบค่าการสูญเสีย ย้อนกลับ.....	108
4.16 ลักษณะการวางตัวของสายอากาศในการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ สนามไฟฟ้า.....	108
4.17 ลักษณะการวางตัวของสายอากาศในการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ สนามแม่เหล็ก.....	109
4.18 ค่าอัตราขยายจากการจำลอง และการทดสอบ.....	110
5.1 สภาพแวดล้อมในการทดสอบ.....	112
5.2 ผลการทดสอบค่าอัตราการส่งผ่านข้อมูล (Throughput).....	113
6.1 โครงสร้างสายอากาศที่ใช้ในการทดสอบ.....	115
6.2 ผลการทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับ.....	117
6.3 ลักษณะการวางตัวของสายอากาศในการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ สนามไฟฟ้า.....	119
6.4 ลักษณะการวางตัวของสายอากาศในการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ สนามแม่เหล็ก.....	119
6.5 ค่าอัตราขยายสูงสุดที่มุม $\theta = 0$ องศา และ $\phi = 0$ องศา.....	120

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

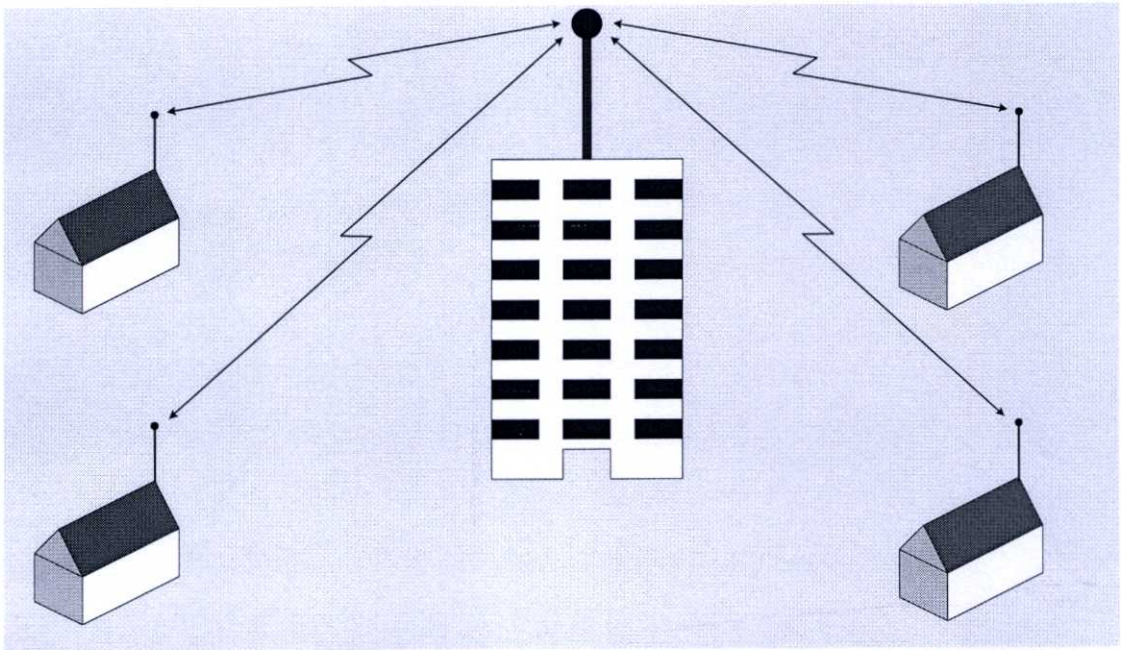
ในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีบรอดแบนด์แบบไร้สายทั้งระบบ UWB (Ultra Wide Band), Bluetooth, CDMA (Code Division Multiple Access), WLAN (Wireless Local Area Network) และ WiMAX (Worldwide Interoperability Microwave Access) ได้รับความนิยมนเป็นอย่างมาก เพราะวาระบบดังกล่าวนี้ไม่จำเป็นต้องใช้สายนำสัญญาณในการติดต่อสื่อสาร ด้วยการให้บริการของระบบเหล่านี้จึงสามารถใช้งานได้ง่ายและสะดวกในทุกสถานที่ทุกเวลา ที่มีความแรงของสัญญาณเข้าไปถึงเพียงพอ และมีอุปกรณ์ติดต่อสื่อสารรองรับ เพราะฉะนั้นสายอากาศจึงถือเป็นส่วนที่สำคัญอันหนึ่งในระบบการติดต่อสื่อสารในเทคโนโลยีไร้สายดังกล่าวเหล่านี้ สำหรับสายอากาศย่านความถี่กว้างหรือสายอากาศหลายย่านความถี่ซึ่งถูกสร้างจากแผ่นวงจรพิมพ์ PCB (Printed Circuit Board) ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในระบบดังกล่าวนี้ด้วย ด้วยเหตุผลที่ราคาต้นทุนต่ำ สามารถทำการสร้างได้โดยง่าย ใช้งานได้หลายย่านความถี่ และมีขนาดเล็ก



รูปที่ 1.1 โหมดการเชื่อมต่อแบบจุดต่อจุด

ในยุคแรกของการนำเอาเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สายมาใช้งานนั้นมักจะมุ่งเน้นไปที่การเชื่อมต่อแบบจุดต่อจุด (Point-to-Point) ดังแสดงในรูปที่ 1.1 ซึ่งการเชื่อมโยงระบบเครือข่ายภายในอาคาร 2 แห่งเข้าด้วยกันเพื่อให้ติดต่อสื่อสารถึงกันได้ ซึ่งต่อมากการใช้งานรูปแบบนี้มีข้อจำกัด จึงได้มีการพัฒนาการเชื่อมต่อในอีกรูปแบบหนึ่งขึ้นเป็นการเชื่อมต่อแบบจุดหนึ่งไปหลาย ๆ จุดได้ (Point-to-Multipoint) ดังแสดงในรูปที่ 1.2 ซึ่งวิธีการนี้ทำให้ผู้ให้บริการระบบอินเทอร์เน็ตบรอดแบนด์สามารถให้บริการที่ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการได้กว้างขึ้น ซึ่งในแง่ของธุรกิจแล้วจะให้ความคุ้มค่าในการลงทุนมากกว่า ดังนั้นระบบบรอดแบนด์ไร้สายจึงเป็นเทคโนโลยีที่ช่วยให้ผู้ให้บริการสามารถขยายพื้นที่ในการให้บริการบรอดแบนด์ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังใช้งบประมาณในการลงทุนที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการติดตั้งระบบ

บรอดแบนด์แบบไร้สาย เช่น โครงข่ายใยแก้วนำแสงที่ต้องมีการลากสายและติดตั้งท่อร้อยสายใต้ดิน รวมถึงจะเป็นทางเลือกใหม่ให้กับผู้ใช้ในการใช้บริการบรอดแบนด์ความเร็วสูงในราคาประหยัด [1]



รูปที่ 1.2 โหมคการเชื่อมต่อแบบจุดต่อหลายจุด

ในการออกแบบอุปกรณ์สำหรับระบบ WLAN นั้นจะครอบคลุมย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ (2.400 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 2.484 กิกะเฮิรตซ์) 5.2 กิกะเฮิรตซ์ (5.15 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 5.35 กิกะเฮิรตซ์) และ 5.8 กิกะเฮิรตซ์ (5.725 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 5.825 กิกะเฮิรตซ์) และสำหรับระบบ WiMAX นั้นจะครอบคลุมย่านความถี่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์ (2.300 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 2.400 กิกะเฮิรตซ์), 2.5 กิกะเฮิรตซ์ (2.500 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 2.690 กิกะเฮิรตซ์), 3.5 กิกะเฮิรตซ์ (3.300 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 3.700 กิกะเฮิรตซ์), และ 5.5 กิกะเฮิรตซ์ (5.250 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 5.850 กิกะเฮิรตซ์) [2-3]

WLAN หรือ โครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย มาตรฐานความเร็วที่ใช้ในการสื่อสารหรือเชื่อมต่อกัน มีมาตรฐานรองรับ คือ IEEE 802.1a, IEEE 802.11b และ IEEE 802.11g ซึ่งแต่ละมาตรฐานจะบอกถึงความเร็ว และ ความถี่ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารกัน ในประเทศไทยอนุญาตให้ใช้ช่องคลื่นความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ เป็นคลื่นความถี่เสรี ที่ทุกคนสามารถติดตั้งและใช้งานได้ จึงทำให้ในประเทศไทยจะมีอุปกรณ์กระจายสัญญาณ (Access Point) ที่จำหน่ายเพียงสองมาตรฐานคือ IEEE 802.11b และ 802.11bg เท่านั้น

WiMAX เป็นนวัตกรรมใหม่ของเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นจากการพัฒนาเทคโนโลยีสื่อสารแบบแนวระดับเส้นสายตา (Line of Sight: LOS) หรือการสื่อสารโดยใช้คลื่นวิทยุที่มีการเล็งแนวสัญญาณเครื่องรับเครื่องส่งให้อยู่ระดับเดียวกันเช่นเดียวกับที่ใช้ในการส่งสัญญาณไมโครเวฟ โดยพัฒนาให้สามารถรองรับกับระบบการสื่อสารที่ไม่ใช่เทคโนโลยีสื่อสารแบบแนวระดับเส้นสายตา

(Non Line of Sight: NLOS) โดยมาตรฐานของระบบ WiMAX โครงสร้างพื้นฐานจะใช้มาตรฐาน IEEE 802.16, IEEE 802.16a และ IEEE 802.16e ทำให้เทคโนโลยี WiMAX มีพฤติกรรมในการให้บริการคล้ายคลึงกับเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ แต่สามารถรองรับการสื่อสารข้อมูลด้วยอัตราเร็วที่สูงกว่ามาก [4]

1.2 วัตถุประสงค์การศึกษาและขอบเขตงานวิจัย

วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เพื่อพัฒนา และ ออกแบบสายอากาศย่านความถี่กว้างสำหรับการนำมาประยุกต์ใช้กับระบบ WLAN และ WiMAX สำหรับความถี่ที่อนุญาตให้ใช้งานในมาตรฐานของ IEEE ทั้งในต่างประเทศและภายในประเทศ จากแผ่นวงจรพิมพ์โดยได้มุ่งเน้นถึงการปรับปรุงสมรรถนะ สำหรับการประยุกต์ใช้งานให้มีประสิทธิภาพได้ดี มีขนาดเล็ก ต้นทุนต่ำ และสามารถสร้างได้ง่ายจากวัสดุพื้นฐานซึ่งสามารถหาซื้อได้ง่าย โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอสายอากาศย่านความถี่กว้างสำหรับการประยุกต์ใช้สำหรับระบบ WLAN และ WiMAX โดยอาศัยทฤษฎี และวิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศ [5] และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ สายอากาศแบบช่องบนแผ่นวงจรพิมพ์ป้อนด้วยสายนำสัญญาณไมโครสตริป [14] การออกแบบสายอากาศโมโพลารูปตัว T สำหรับ WiMAX กับระนาบกราวนด์ที่ไม่เท่ากัน [15] สายอากาศแบบช่องแบบกะทัดรัดกับการป้อนด้วยท่อนำคลื่นระนาบร่วมสำหรับการประยุกต์ใช้กับมาตรฐาน IEEE 802.16-2004 [16] สายอากาศโนโนโพลบนแผ่นวงจรพิมพ์สองย่านความถี่สำหรับการใช้งานในระบบ WLAN และ WiMAX [3] ที่ได้ นำเสนอมาก่อนหน้านี้

โดยในการศึกษาวิจัยจะศึกษาถึงผลกระทบของพารามิเตอร์ของสายอากาศ เพื่อพัฒนาให้ได้สายอากาศที่มีค่าเหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้งานในย่านความถี่กว้าง และพยายามปรับปรุงคุณสมบัติของค่าโพลาไรซ์ไขว้ให้ได้ต่ำกว่า -20 dB ซึ่งเป็นคุณสมบัติของสายอากาศที่ดี ไม่ก่อให้เกิดการรบกวนในระบบ ในขณะที่พยายามปรับปรุงขนาดของสายอากาศให้มีขนาดเล็กด้วยแผ่นวงจรพิมพ์ซึ่งมีวัสดุฐานรอง FR4 ที่มีค่า $\epsilon_r = 4.3$

1.3 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกัน คือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย วัตถุประสงค์การศึกษาขอบเขตการวิจัย และรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงพื้นฐานของระบบ WLAN และ WiMAX รวมถึงมาตรฐานที่ใช้ในทั้งสองระบบ ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง หลักการ และ ทฤษฎีพื้นฐานของสายอากาศไมโคร สตริป และ ทฤษฎีการคำนวณการจำลองควาวิตซ์ ซึ่งจะถูกนำมาประยุกต์ใช้กับการวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

บทที่ 3 กล่าวถึงการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของสายอากาศที่จะทำการสร้าง เริ่มต้นจากการวิเคราะห์โดยการคำนวณ โดยการจำลองค่าวิดี และ อิมพีแดนซ์คุณลักษณะ จากนั้นนำค่าที่ได้จากการคำนวณไปวิเคราะห์ในโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO® เพื่อดูถึงความสอดคล้องของทฤษฎี และทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ของสายอากาศเพื่อให้ได้ค่าอิมพีแดนซ์ที่แมตช์ และมีแบนด์วิดธ์ที่กว้าง อีกทั้งเทคนิคในการลดค่าโพลาริไรซ์ในแนวสนามแม่เหล็ก

บทที่ 4 กล่าวถึงผลจากการทดสอบสายอากาศที่ได้ทำการวิเคราะห์มาในขั้นต้นแล้วนำมาสร้างขึ้นจริง จากนั้นนำผลจากการจำลองมาเปรียบเทียบกับผลในทางปฏิบัติจริง โดยแสดง ถึงค่าการสูญเสียย้อนกลับ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ค่าโพลาริไรซ์แบบไขว้ รวมถึงพิจารณาถึง กระแส และ สนามไฟฟ้า

บทที่ 5 กล่าวถึงการประเมินสมรรถนะการใช้งานและการนำไปประยุกต์ใช้งานในการทดสอบจริงในย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ของเทคโนโลยี WLAN ซึ่งมีใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบันและมีระบบรองรับอยู่ทั่วไป พร้อมผลทดสอบการใช้งานจริง

บทที่ 6 กล่าวถึงข้อสรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ ผลกระทบต่างๆในการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ ผลทดสอบของสายอากาศทั้งหมดที่ได้ทำการสร้างขึ้นพร้อมด้วย ข้อดี และ ข้อเสียของสายอากาศ แนวทางการพัฒนา และข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 บทนำ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงหลักการและทฤษฎีของระบบ WLAN ความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ 5.2 กิกะเฮิรตซ์ และ 5.8 กิกะเฮิรตซ์ และ WiMAX ในย่านความถี่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์ 2.5 กิกะเฮิรตซ์ 3.5 กิกะเฮิรตซ์ และ 5.5 กิกะเฮิรตซ์ มาตรฐานที่ใช้งานของทั้งสองระบบ รวมถึงทฤษฎีสายอากาศไมโครสตริป และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีมาก่อนสำหรับสายอากาศที่ถูกสร้างขึ้นจากแผ่นวงจรพิมพ์ ซึ่งถูกนำมาใช้งานในระบบ WLAN และ WiMAX

2.2 หลักการ และทฤษฎีของระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN)

โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย หรือ WLAN คือระบบที่เชื่อมต่อโคมพิวเตอร์เข้าด้วยกันเป็นเครือข่ายภายในพื้นที่แบบไร้สาย โดยใช้คลื่นความถี่วิทยุในการเชื่อมต่อหรือสื่อสารกัน การเชื่อมต่อแบบไร้สายมีทั้งแบบเชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วยกัน และเชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านอุปกรณ์กระจายสัญญาณ การส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายแบบไร้สายนั้นมีอยู่ 2 เทคโนโลยี [8] คือ

2.2.1 เทคโนโลยีแบบใช้คลื่นความถี่วิทยุ (Radio frequency)

ใช้ลักษณะการแปลงข้อมูลไปเป็นคลื่นทำให้สามารถส่งไปได้ระยะทางที่ไกล สามารถผ่านสิ่งกีดขวางได้ดี รวมทั้งเป็นการส่งแบบทุกทิศทาง โดยมีหลักการส่งทั้งสิ้น 4 ขั้นตอน คือ

- เปลี่ยนข้อมูลจากดิจิทัลไปเป็นแบบอนาลอก โดยจะมีการคี่ที่แปลงข้อมูลไบนารีไปเป็นคลื่นความถี่วิทยุโดยคลื่นนี้จะถูกส่งไปยังเครื่องส่งสัญญาณวิทยุ
- เครื่องส่งสัญญาณวิทยุจะส่งคลื่นวิทยุในชุดความถี่ที่สุ่มอัตรา 0.4 วินาทีต่อช่อง เรียกว่า สเปกตรัมกระโดดข้ามความถี่ (frequency-hopping spread spectrum)
- ฟังฝ่ายรับจะทำการรับโดยกระโดดข้ามความถี่ตามตัวส่งและทำการประมวลผลสัญญาณที่ได้รับ พร้อมทั้งกระจายคลื่นวิทยุกลับอีกครั้ง
- เมื่อได้รับสัญญาณแล้วเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เป็นตัวรับจะทำการแปลงคลื่นความถี่วิทยุเหล่านี้ไปเป็นข้อมูลไบนารีอีกครั้ง

การรับส่งโดยใช้เทคโนโลยีแบบใช้คลื่นความถี่วิทยุมี 2 ประเภท

2.2.1.1 แบบคลื่นความถี่แคบ (Narrow Band) มีความถี่แบ่งเป็น 3 ช่วงสำหรับใช้กับวงการอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ ได้แก่ ความถี่ 902 เมกะเฮิรตซ์ ถึง 928 เมกะเฮิรตซ์ ความถี่ 2.14 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 2.484 กิกะเฮิรตซ์ และความถี่ 5.725 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 5.850

กิกะเฮิร์ตซ์ โดยการใช้งานต้องมีการขออนุญาตก่อนจาก FCC (Federal Communication Committee)

2.2.1.2 คลื่นความถี่วิทยุแบบ Spread-Spectrum เป็นการวิธีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณข้อมูลเพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ความถี่วิทยุมากกว่าความต้องการเพื่อป้องกันคลื่นรบกวนและการดักฟัง ที่มีความถี่แบ่งเป็น 2 ช่วง ได้แก่ความถี่ 902 เมกะเฮิร์ตซ์ ถึง 928 เมกะเฮิร์ตซ์ และความถี่ 2.4 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 2.484 กิกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งไม่ต้องได้รับอนุญาตจาก FCC โดยการส่งแบบ Spread-Spectrum ที่ใช้กันโดยทั่วไปมีอยู่ 2 แบบ คือ

- **แบบ Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)**

การส่งสัญญาณรูปแบบนี้จะใช้ความถี่พาหะเพียงความถี่เดียว และจะเปลี่ยนแปลงไปมาอย่างต่อเนื่องในลักษณะหรือรูปแบบที่เป็นที่เข้าใจตรงกันระหว่างผู้ส่งกับผู้รับ ซึ่งเมื่อทางด้านผู้ส่งกับผู้รับสามารถทำงานประสานกันได้แล้ว จะทำให้วิธีการส่งแบบนี้ป้องกันสัญญาณรบกวนที่เกิดจากความถี่ข้างเคียงได้เป็นอย่างดี นอกจากนั้นแล้วรูปแบบที่ตกลงกันไว้ระหว่างผู้ส่งกับผู้รับก็สามารถที่จะปรับเปลี่ยนไปได้ตลอดเวลา ทำให้เกิดความปลอดภัยของข้อมูลสูง

- **แบบ Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)**

รูปแบบนี้จะใช้การเข้ารหัส โดยการแปลงเลขฐานสองแต่ละบิตในข้อมูลเดิมจะส่งไปให้อยู่ในรูปแบบเลขฐานสองที่มีความยาวเพิ่มมากขึ้น ข้อมูลที่แปลงแล้วนี้จะถูกส่งไปพร้อมๆ กัน ในลักษณะขนาน ซึ่งหากผู้รับสามารถจดจำรูปแบบการแปลงข้อมูลได้ก็จะได้รับข้อมูลที่ส่งไป โดยที่สัญญาณรบกวนไม่สามารถทำให้ข้อมูลเสียหายไปได้ หรือหากรูปแบบที่ส่งไปเกิดผิดพลาด ทางฝ่ายรับก็สามารถที่จะใช้เทคนิคในทางสถิติเพื่อกู้ข้อมูลให้กลับคืนมาได้

2.2.2 เทคโนโลยีแบบใช้สัญญาณอินฟราเรด (Infrared)

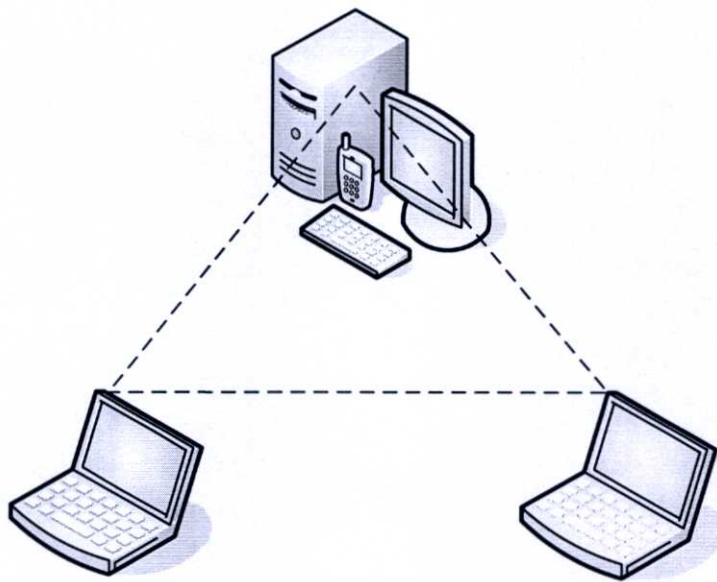
โดยอินฟราเรดเป็นส่วนหนึ่งของสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่เหนือคลื่นวิทยุและต่ำกว่าแสงที่มองเห็น โดยแสงอินฟราเรดสามารถใช้ส่งข้อมูลได้ถึงแม้ว่าการส่งจะถูกจำกัดให้เป็นแนวตรง และต้องต่อเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเข้ากับเครื่องพิมพ์หรือคอมพิวเตอร์เครื่องอื่นเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลได้โดยไร้สาย หลักการทำงานของอินฟราเรด คือ การส่งพัลส์ของแสงอินฟราเรดจะถูกส่งไปกลับระหว่างอุปกรณ์สองตัวเพื่อขนถ่ายแฟ้มเกจของข้อมูล ที่ประกอบกันเป็นแฟ้มเกจจะถูกสื่อสารด้วยพัลส์เปิด/ปิดของแสงอินฟราเรด โดยพัลส์จะถูกอ่านในรูปแบบของรหัสไบนารี ฝ่ายรับโฟโตไดโอดของเครื่องปลายทางจะรับแฟ้มเกจซึ่งจะถูกแปลงกลับไปเป็นข้อมูลอีกครั้ง ถ้ามีวัตถุมาขัดขวางลำของพัลส์ของอินฟราเรดขณะที่ข้อมูลกำลังถูกส่งสัญญาณจะถูกบล็อกข้อมูลที่ส่งก็จะเกิดข้อผิดพลาดและต้องทำการส่งข้อมูลที่ขาดหายไปใหม่

2.2.3 ลักษณะการเชื่อมต่อของอุปกรณ์

WLAN ได้กำหนดลักษณะการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ภายในเครือข่าย WLAN ไว้ 2 ลักษณะคือ แบบ Ad-Hoc หรือ Peer-to-Peer และ ระบบพื้นฐาน (Infrastructure)

- **แบบ Ad-Hoc หรือ Peer-to-Peer**

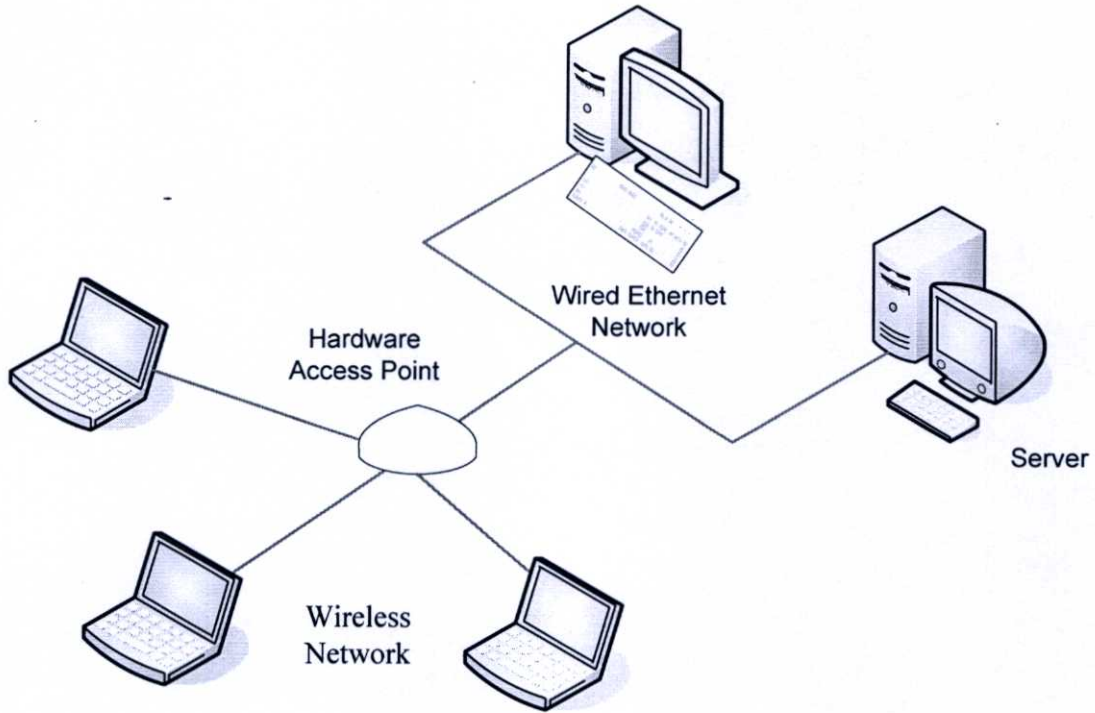
มาตรฐาน WLAN ในแบบ Ad-Hoc หรือ Peer-to-Peer เป็นเครือข่ายที่ไม่มีสถานีแม่ข่าย และไม่มีการเชื่อมต่อกับเครือข่ายอื่นในบริเวณ WLAN ในแบบ Ad-Hoc จะถูกเรียกว่า Independent Basic Service Set (IBSS) ซึ่งสถานีผู้ใช้หนึ่งสามารถติดต่อสื่อสารข้อมูลกับสถานีผู้ใช้อื่นๆในเขต IBSS เดียวกันได้โดยตรงโดยไม่ต้องผ่านสถานีแม่ข่ายแต่สถานีผู้ใช้จะไม่สามารถรับส่งข้อมูลกับเครือข่ายอื่นๆได้



รูปที่ 2.1 การเชื่อมต่อแบบ Ad-Hoc

- **แบบ ระบบพื้นฐาน (Infrastructure)**

โดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์ใน WLAN จะเชื่อมต่อกันในลักษณะของแบบระบบพื้นฐานซึ่งเป็นลักษณะที่อนุญาตให้อุปกรณ์ภายใน WLAN สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายอื่นได้ ในโหมดระบบพื้นฐานเครือข่าย WLAN จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ 2 ประเภทได้แก่ สถานีลูกข่าย (Client Station) ซึ่งก็คืออุปกรณ์คอมพิวเตอร์ (คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ แล็ปท็อป หรือ พีดีเอ ต่างๆ) ที่มีอุปกรณ์แปลงสำหรับใช้งาน เพื่อใช้รับส่งข้อมูลผ่าน WLAN และสถานีแม่ข่ายซึ่งทำหน้าที่ต่อเชื่อมสถานีผู้ใช้เข้ากับเครือข่ายอื่นซึ่งโดยปกติจะเป็นเครือข่ายแบบใช้สาย (Ethernet LAN)



รูปที่ 2.2 การเชื่อมต่อแบบระบบพื้นฐาน

2.3 หลักการและทฤษฎีของ WiMAX

WiMAX เป็นชื่อเรียกเทคโนโลยีไร้สายรุ่นใหม่โดย WiMAX เป็นชื่อย่อของ Worldwide Interoperability for Microwave Access ซึ่งเป็นเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สายความเร็วสูงรุ่นใหม่ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาบนมาตรฐาน IEEE 802.16 มีรัศมีทำการที่ 30 ไมล์ หรือเป็นระยะทางประมาณ 50 กิโลเมตร หมายความว่า WiMAX สามารถให้บริการครอบคลุมพื้นที่ที่กว้างกว่าระบบโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ 3G มากถึง 10 เท่า ยิ่งกว่านั้นก็ยังมีอัตราความเร็วในการส่งผ่านข้อมูลสูงสุดถึง 75 เมกะบิตต่อวินาที (Mbps) ซึ่งเร็วกว่า 3G ถึง 30 เท่าโดย WiMAX มีความสามารถในการส่งกระจายสัญญาณในลักษณะจากจุดเดียวไปยังหลายจุดได้พร้อมๆ กันโดยมีความสามารถรองรับการทำงานในแบบนอกแนวเส้นสายตาได้สามารถทำงานได้แม้กระทั่งมีสิ่งกีดขวาง เช่น ต้นไม้ หรือ อาคารได้เป็นอย่างดี มีอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงสุดถึง 75 Mbps มาตรฐาน IEEE 802.16a นี้ใช้งานอยู่บนคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ระหว่าง 2 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 11 กิกะเฮิรตซ์ และยังสามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์มาตรฐานชนิดอื่นๆ ที่ออกมาก่อนหน้านี้ได้เป็นอย่างดีจากจุดเด่นของการทำงานของ WiMAX คือสามารถตอบสนองความต้องการของการเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ตให้กับพื้นที่ที่ห่างไกล ที่สายเคเบิลไม่สามารถลากไปถึงได้เป็นอย่างดี ตลอดจนเพิ่มความสะดวกสบาย และประหยัดสำหรับการขยายเครือข่ายในเมืองที่มีอยู่แล้วได้ เนื่องจากไม่ต้องลงทุน ขุดถนนเพื่อวางสายเคเบิลใยแก้วใหม่ นอกจากนั้น WiMAX หรือบรอดแบนด์ไร้สายมาตรฐาน IEEE 802.16a ยังได้รับการปรับปรุงประสิทธิภาพของคุณภาพในการให้บริการซึ่งสามารถรองรับการใช้ การใช้งานภาพ หรือ การใช้งานเสียง และไม่จำเป็นต้องใช้ทรัพยากรของ

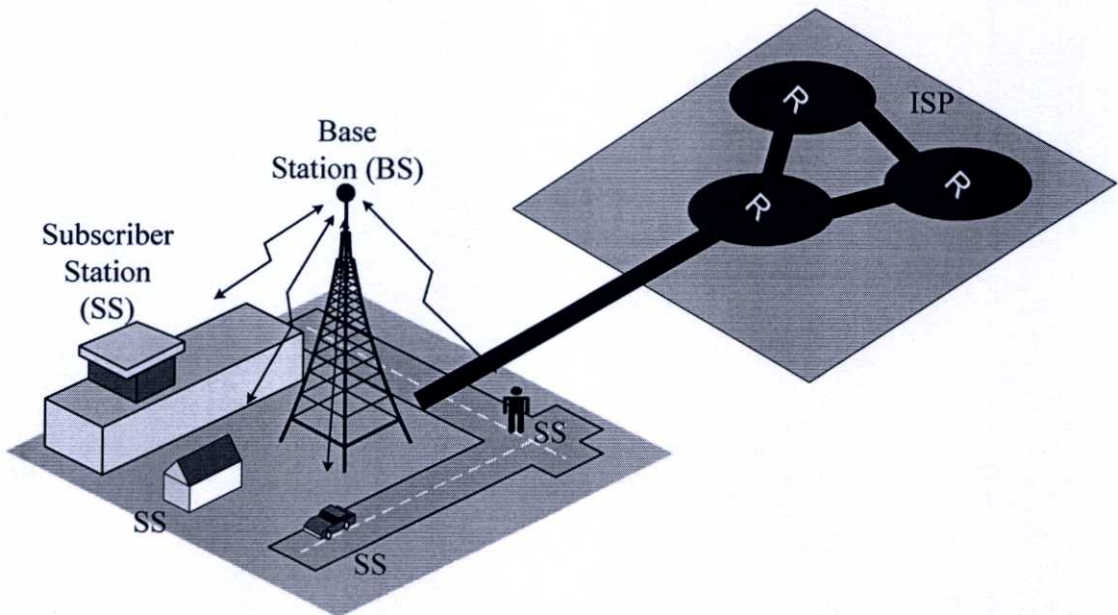
เครือข่ายมากแบบระบบเก่า ในเรื่องของความปลอดภัยได้เพิ่มคุณสมบัติของความเป็นส่วนตัว ซึ่งต้องได้รับอนุญาตก่อนที่จะเข้าออกเครือข่าย และข้อมูลต่างๆ ที่รับส่งก็จะได้รับการเข้ารหัสทำให้การรับส่งข้อมูลบน มาตรฐานตัวนี้มีความปลอดภัยมากขึ้นทำให้สามารถนำ WiMAX ไปประยุกต์เพื่อลดช่องว่างของ เทคโนโลยีในพื้นที่ห่างไกลที่เทคโนโลยีเข้าไปไม่ถึง ตลอดจนสนองความต้องการ การใช้งานบรอดแบนด์ในเมืองที่มีพื้นที่แออัดได้อย่างสะดวกรวดเร็ว และมีค่าใช้จ่ายที่ประหยัดกว่าการติดตั้งเครือข่ายในแบบวางสายสัญญาณที่ใช้งานกันอยู่ [1]

2.3.1 สถาปัตยกรรมของระบบ WiMAX

ระบบ WiMAX ประกอบไปด้วยอุปกรณ์สำคัญสองส่วน ดังรูปที่ 2.3 คือ

2.3.1.1 สถานีฐาน หรือ Base Station (BS)

ทำหน้าที่ควบคุมการรับส่งข้อมูลของ สถานีลูกข่ายหรือ Subscriber Station (SS) ทั้งหมดในพื้นที่บริการของสถานีฐาน หรือ เซลล์ นอกจากนี้ สถานีฐานยังทำหน้าที่เป็นจุดเชื่อมต่อกับ อินเทอร์เน็ตสายหลัก (Wired Internet Backbone) [2]



รูปที่ 2.3 สถาปัตยกรรมของระบบ WiMAX

2.3.1.2 สถานีลูกข่าย หรือ Subscriber Station (SS)

สถานีส่งผ่านอุปกรณ์ลูกข่าย (Customer Premises Equipment: CPE) อุปกรณ์ลูกข่าย มี 3 รูปแบบคือ

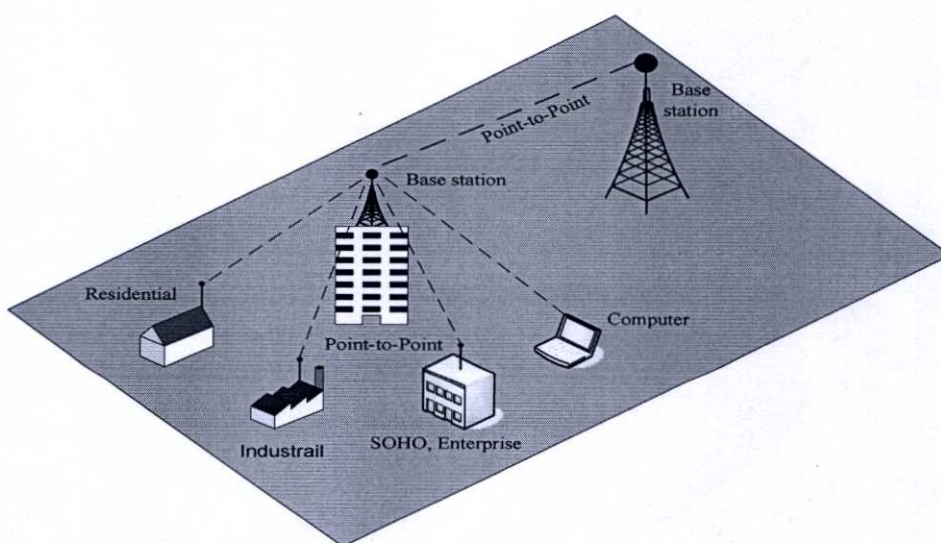
- อุปกรณ์ลูกข่ายที่อยู่คงที่มีการติดตั้งอุปกรณ์และสายอากาศที่มีตำแหน่งที่คงที่ เช่น อุปกรณ์ลูกข่ายภายนอกสถานที่เป็นต้น

- อุปกรณ์สามารถพกพาเคลื่อนย้ายได้ แต่อุปกรณ์จะต้องติดตั้งอยู่กับที่ในขณะที่ใช้งาน ตัวอย่างอุปกรณ์ เช่น อุปกรณ์ลูกข่ายภายในอาคารหรือ อุปกรณ์ลูกข่ายที่ติดตั้งไว้ใช้กับชีวิตประจำวัน เป็นต้น
- อุปกรณ์ลูกข่าย เคลื่อนที่ อุปกรณ์สามารถใช้งานในขณะที่เคลื่อนที่ได้ อุปกรณ์ลูกข่ายนี้อาจจะอยู่ในรูปแบบของ PCMCIA USB หรือ Flash Network Card ที่ใช้กับอุปกรณ์แล็ปท็อป และ พีดีเอ ซึ่งในอนาคต อุปกรณ์ลูกข่าย นี้จะถูกรวมเป็นอุปกรณ์พื้นฐาน อยู่แล็ปท็อป และ พีดีเอ ไปในตัว [2]

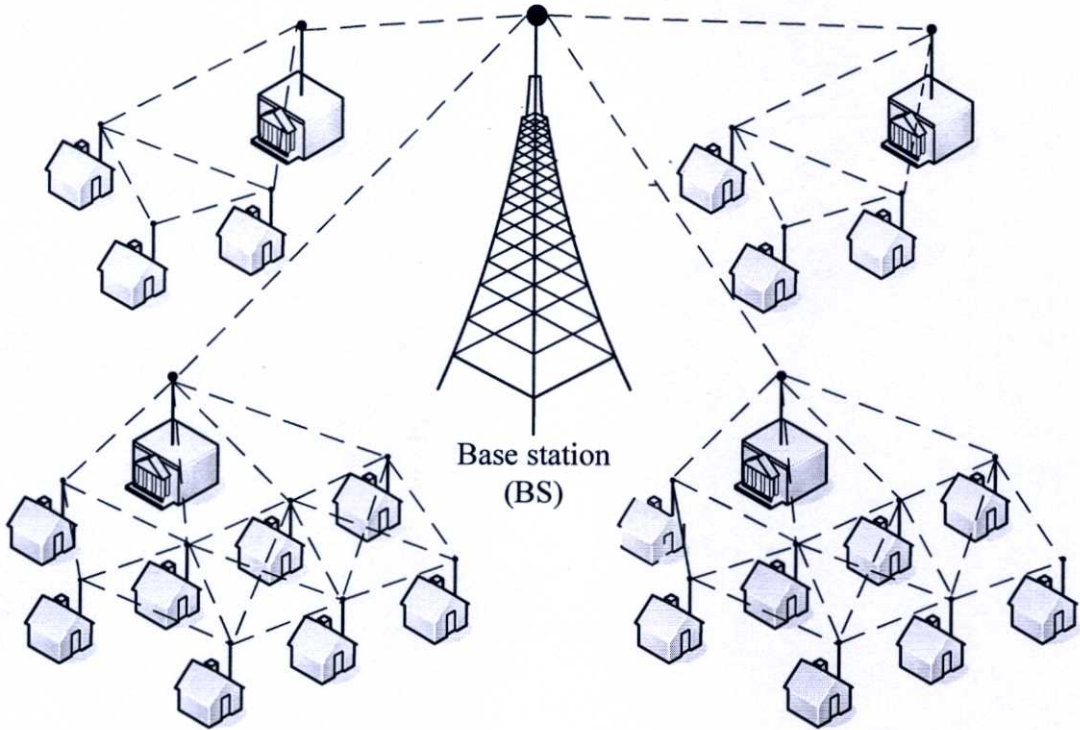
2.3.2 การเชื่อมต่อของ WiMAX

การเชื่อมต่อของ WiMAX มีได้ 3 รูปแบบ คือ

- จุดต่อจุด เป็นการเชื่อมต่อโดยตรงระหว่าง สถานีฐาน กับ สถานีฐาน หรือ ระหว่าง สถานีฐาน กับ สถานีลูกข่าย รูปแบบนี้เหมาะสำหรับการเชื่อมต่อแบบส่งต่อ (Backhaul Connection) ดังรูปที่ 2.4
- จุดเดียวไปยังหลายจุด เป็นการเชื่อมต่อระหว่าง สถานีฐาน กับ หลายๆ สถานีลูกข่าย พร้อมกัน การเชื่อมต่อนี้เป็นรูปแบบหลักและใช้มากที่สุดของ WiMAX ดังรูปที่ 2.4
- โครงสร้างแบบโยงใยเป็นการเชื่อมต่อในรูปแบบเครือข่าย คือ นอกจากสถานีลูกข่าย จะสามารถเชื่อมต่อกับสถานีฐานแล้ว สถานีลูกข่ายยังสามารถติดต่อกับกันเองได้อีกด้วย เป็นการขยายพื้นที่การให้บริการรูปแบบหนึ่ง การเชื่อมต่อนี้เป็นรูปแบบเสริม ในมาตรฐาน WiMAX ดังรูปที่ 2.5 ในปัจจุบัน การเชื่อมต่อรูปแบบนี้ยังไม่เป็นที่แพร่หลายนักและยังไม่มีอุปกรณ์ WiMAX ใดที่รองรับการเชื่อมต่อรูปแบบนี้

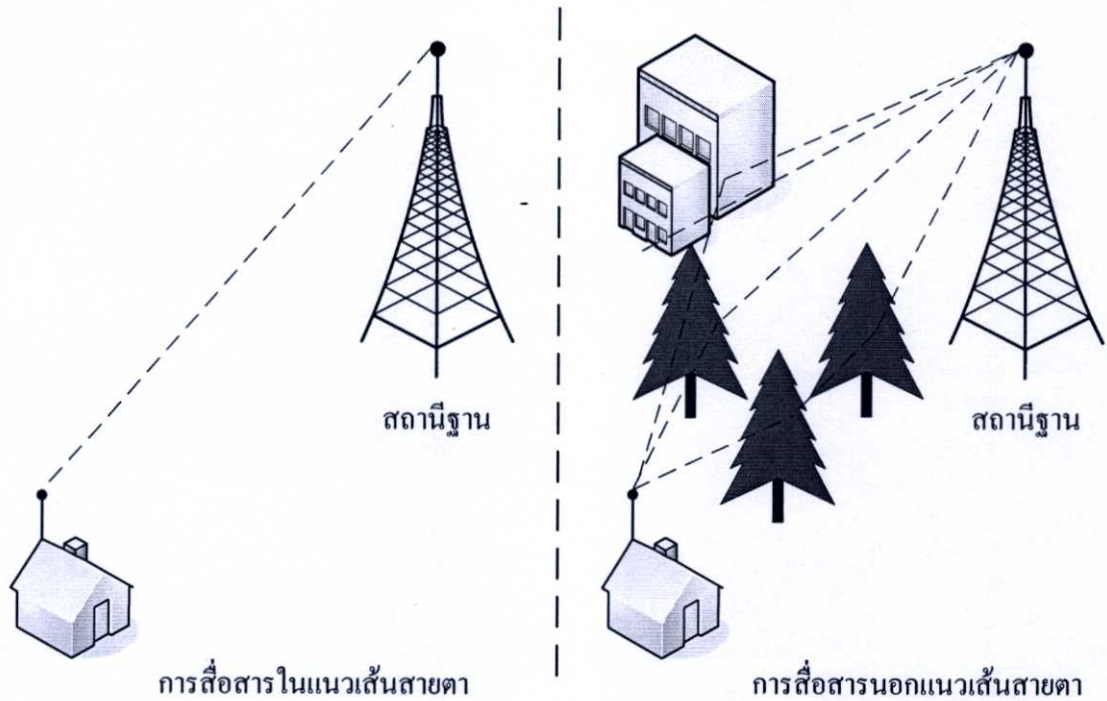


รูปที่ 2.4 การเชื่อมต่อแบบ จุดต่อจุด และ จุดเดียวไปยังหลายจุด



รูปที่ 2.5 แบบของ โครงสร้างแบบดาข่ายที่มีจุดศูนย์กลางรวม

ในการเชื่อมต่อในรูปแบบข้างต้นการติดต่อระหว่างสถานีฐาน และ สถานีลูกข่ายดังรูปที่ 2.6 สามารถสื่อสารในรูปแบบของ การสื่อสารในแนวเส้นสายตา คือ สัญญาณติดต่อสื่อสารระหว่างสถานีฐาน กับ สถานีลูกข่ายจะมาจากทิศทางตรงเท่านั้นโดยปราศจากสิ่งกีดขวางใดๆ สิ่งกีดขวางจะเป็นตัวลดทอนสัญญาณจนไม่สามารถสื่อสารกันได้ และการสื่อสารอีกรูปแบบหนึ่งคือการสื่อสารแบบนอกแนวเส้นสายตาสถานีฐาน กับ สถานีลูกข่าย สามารถสื่อสารกันได้แม้ว่าจะมีสิ่งกีดขวางมาขวาง สัญญาณที่รับได้มาจากหลายทิศทางคือ สัญญาณที่ผ่านสิ่งกีดขวางสัญญาณอ้อมผ่านสิ่งกีดขวางและ สัญญาณสะท้อน สัญญาณจากคนละทิศทางจะมีคุณสมบัติทางกายภาพแตกต่างกันทั้งความแรงของสัญญาณ เฟสของสัญญาณ โพลาไรซ์ และ การหมุนของสัญญาณ ซึ่งต้องใช้เทคโนโลยีที่มีความซับซ้อนที่ด้านอุปกรณ์ภาครับ จึงจะสามารถรับและแยกแยะสัญญาณที่มีมาจากคนละทิศทางนี้ได้ คุณสมบัติการสื่อสารในแนวเส้นสายตาและ การสื่อสารนอกแนวเส้นสายตา มีความเกี่ยวข้องกับความถี่ที่ใช้งาน ในกรณีที่มีความถี่สูงกว่า 11 กิกะเฮิร์ตซ์ การสื่อสารระหว่างสถานีฐาน และ สถานีลูกข่ายต้องการ การสื่อสารในแนวเส้นสายตาเท่านั้นส่วนความถี่ที่ต่ำกว่า 11 กิกะเฮิร์ตซ์ โดยเฉพาะย่านความถี่ต่ำกว่า 6 กิกะเฮิร์ตซ์ สถานีฐานและสถานีลูกข่ายสามารถติดต่อสื่อสารแบบการสื่อสารนอกแนวเส้นสายตาได้คุณสมบัติการสื่อสารนอกแนวเส้นสายตาทำให้เกิดความยืดหยุ่นในการติดตั้ง และ ใช้งานอุปกรณ์ลูกข่าย [2]



รูปที่ 2.6 การสื่อสารในแนวเส้นสายตา และการสื่อสารนอกแนวเส้นสายตา

2.3.3 Channel Access และ Media Access Control (MAC)

การส่งข้อมูลระหว่างสถานีฐานกับสถานีลูกข่าย มีสองทิศทางคือ ขาขึ้น คือการส่งข้อมูลจากสถานีลูกข่ายไปสถานีฐาน และ ขาลง คือส่งข้อมูลจากสถานีฐานไป สถานีลูกข่ายดังรูปที่ 2.7 ดังนั้น แผนผังการสื่อสารสองทาง สำหรับ ขาขึ้น กับ ขาลง มีได้สองรูปแบบหลักๆ คือ

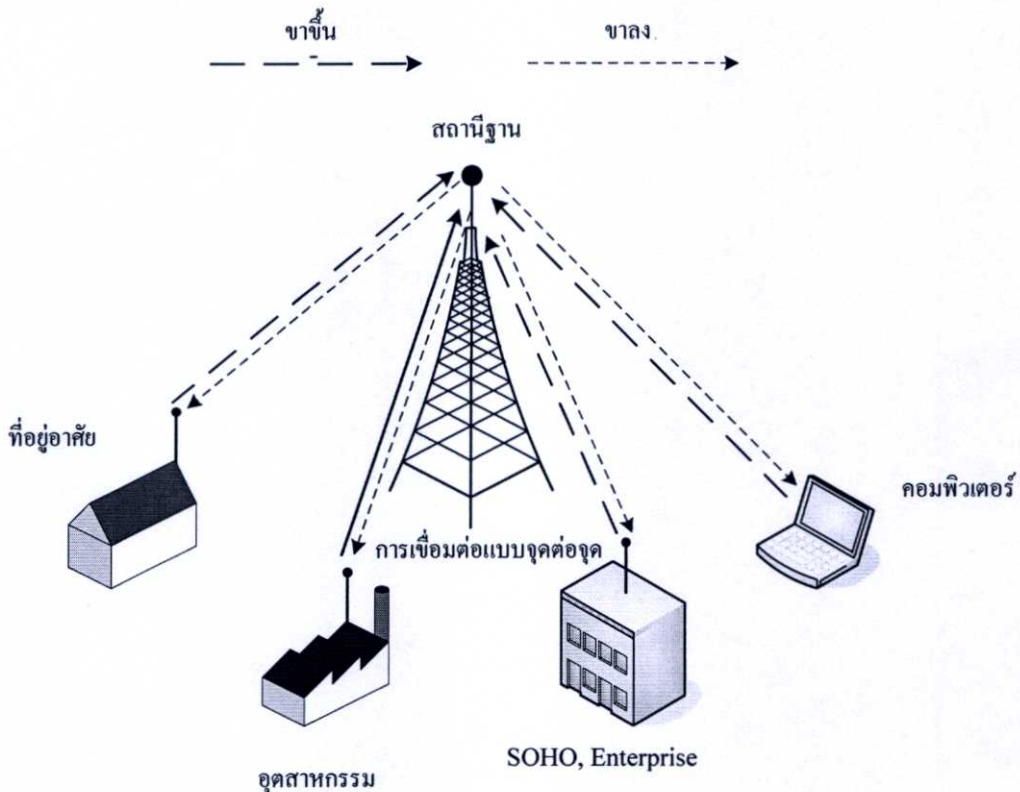
2.3.3.1 การแบ่งช่องสัญญาณสำหรับคนละช่วงเวลา (Time Division Duplex: TDD)

การส่งข้อมูลทางคาน ขาขึ้น กับ ขาลง ที่ความถี่เดียวกันแต่แบ่งการส่งคนละช่วงเวลา การส่งนั้นจะถูกแบ่งช่วงเวลาออกเป็นเฟรม และในแต่ละเฟรมมีการแบ่งช่วงเวลาย่อยเป็น 2 เฟรมย่อย (คือ เฟรมย่อยขาขึ้น และ เฟรมย่อยขาลง) การส่งข้อมูลทิศทางขาขึ้นจะถูกส่งในช่วงเวลาเฟรมย่อยขาขึ้น ขณะที่การส่งข้อมูลทิศทางขาลงจะส่งในช่วงเวลาเฟรมย่อยขาลงดังรูปที่ 2.8 การแบ่งช่องสัญญาณสำหรับสองช่วงเวลาสามารถรองรับการปรับเปลี่ยนช่วงเวลาของเฟรม ได้ คือ สัดส่วนช่วงเวลาของ เฟรมย่อยขาขึ้น กับ เฟรมย่อยขาลง มีการเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นกับปริมาณปริมาณการสื่อสารของ ขาขึ้น และขาลง ดังนั้น การแบ่งช่องสัญญาณสำหรับสองช่วงเวลาจึงมีความยืดหยุ่นในการจัดการแบนด์วิธ

2.3.3.2 การแบ่งช่องสำหรับคนละความถี่ (Frequency Division Duplex: FDD)

การส่งข้อมูล ขาขึ้นกับขาลงจะส่งที่คนละความถี่ การส่งข้อมูลขาขึ้นกับขาลง จึงสามารถส่งได้ในเวลาเดียวกัน ดังรูปที่ 2.9 นอกจากนี้การแบ่งช่องสำหรับสองช่วงความถี่ ยังรองรับอุปกรณ์ลูกข่ายที่เป็นแบบการแบ่งครึ่งช่องสำหรับสองช่วงความถี่ คือ อุปกรณ์ลูกข่ายจะทำการส่งข้อมูลและรับข้อมูลคนละเวลาคนกัน คือขณะที่อุปกรณ์ลูกข่ายกำลังส่งข้อมูลจะไม่สามารถรับข้อมูลได้ แต่การส่งและรับข้อมูลยังใช้คนละความถี่ การใช้รูปแบบการแบ่งครึ่งช่องสำหรับสองช่วง

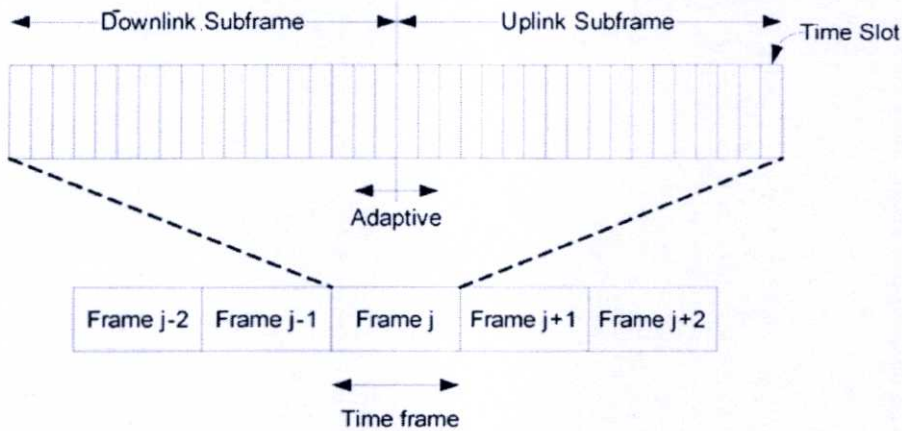
ความถี่อุปกรณ์จะมีราคาที่ถูกกว่าการแบ่งช่องสำหรับสองช่วงความถี่เพราะส่วนประกอบภาครับสัญญาณกับภาคส่งสัญญาณของอุปกรณ์สามารถใช้ชุดเดียวกันร่วมกันได้



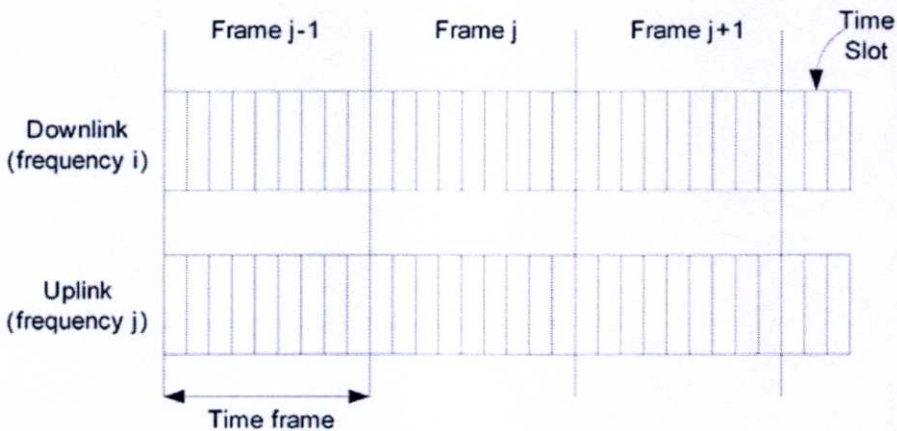
รูปที่ 2.7 ลักษณะการส่งสัญญาณขาขึ้น และขาลง

การจัดสรรความถี่สำหรับการแบ่งช่องสัญญาณสำหรับสองช่วงเวลาจะใช้ความถี่เพียงหนึ่งช่องสัญญาณเท่านั้น ส่วนการจัดสรรความถี่สำหรับการแบ่งช่องสำหรับสองช่วงความถี่ จะใช้สองช่องสัญญาณ คือช่องสัญญาณหนึ่งสำหรับขาขึ้นอีกช่องสัญญาณหนึ่งสำหรับขาลง โดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์ การแบ่งช่องสัญญาณสำหรับสองช่วงเวลาจะมีราคาที่ถูกกว่าอุปกรณ์ การแบ่งช่องสำหรับสองช่วงความถี่ เพราะอุปกรณ์การแบ่งช่องสัญญาณสำหรับสองช่วงเวลานั้น ส่วนประกอบภาครับสัญญาณกับส่วนประกอบภาคส่งสัญญาณสามารถใช้ร่วมกันได้ แต่อุปกรณ์ การแบ่งช่องสำหรับสองช่วงความถี่ นั้นส่วนประกอบภาครับกับภาคส่งแยกคนละชุดกันเพราะ ต้องทำงานพร้อมกัน การแบ่งช่องสำหรับสองช่วงความถี่ ใช้ 2 ช่องสัญญาณ (สำหรับขาขึ้น กับ ขาลง) จึงสามารถรองรับจำนวนสถานีลูกข่ายได้มากกว่า แต่ในแง่ของการบริหารจัดการแบนด์ วิดท์แล้ว การแบ่งช่องสัญญาณสำหรับสองช่วงเวลาจะมีประสิทธิภาพกว่า เพราะโดยธรรมชาติ ของการใช้งานเครือข่ายนั้น ปริมาณข้อมูลในทิศทาง ขาลง จะมีมากกว่า ขาขึ้น หรือที่เรียกว่า Asymmetry Traffic ดังที่กล่าวมาข้างต้นการแบ่งช่องสัญญาณสำหรับสองช่วงเวลาสามารถ ปรับเปลี่ยนสัดส่วนของเฟรม เพื่อรองรับปริมาณข้อมูลที่ไม่สมมาตรกันได้ดีกว่า ดังนั้นสำหรับผู้ ให้บริการสามารถที่จะเลือกใช้เทคโนโลยีการแบ่งช่องสัญญาณสำหรับคนละช่วงเวลา หรือ การ

แบ่งช่องสำหรับคนละช่วงความถี่ ขึ้นกับคุณสมบัติของผู้ใช้บริการ การออกแบบระบบ และงบประมาณการลงทุน [2]



รูปที่ 2.8 การแบ่งช่องสำหรับคนละช่วงเวลา (TDD) [2]



รูปที่ 2.9 การแบ่งช่องสำหรับคนละช่วงความถี่ (FDD) [2]

จากรูปที่ 2.8 และ 2.9 จะเห็นได้ว่า ภายในเฟรมของทั้งการแบ่งช่องสัญญาณสำหรับคนละช่วงเวลา และ การแบ่งช่องสำหรับคนละช่วงความถี่ จะมีการแบ่งย่อยออกเป็นช่วงเวลา ซึ่งการส่งข้อมูลของทั้งสถานีฐานและสถานีลูกข่าย จะต้องส่งตรงตามช่วงเวลา ที่ว่านี้ดังนั้นทั้งสถานีฐานและสถานีลูกข่ายจะต้องมีการตั้งเวลาให้ตรงกัน หรือ สอดคล้องเวลากันเพื่อให้ส่งข้อมูลลงในช่วงเวลาทำได้ถูกต้องแม่นยำ

การเข้าถึงช่องสัญญาณ หรือ การเข้าถึงสัญญาณหลายจุด สำหรับในทิศทางขาขึ้นจะไม่ซับซ้อนเพราะ ทิศทางขาลงนั้นมีเพียงสถานีฐานผู้เดียวเท่านั้นที่เป็นผู้ส่งข้อมูลในช่วงเวลา ขาขึ้นเฟรมย่อย และส่งกระจายข้อมูลไปทุกๆสถานีลูกข่าย ส่วนการเข้าถึงช่องสัญญาณในทิศทางขาขึ้นนั้นมีหลายๆสถานีลูกข่ายที่มีโอกาสที่จะส่งได้ในช่วงเวลาเฟรมย่อยขาขึ้นได้ ดังนั้นจึงต้องมีการจัดการเพื่อป้องกัน ไม่ให้เกิดการส่งข้อมูลจากหลายสถานีลูกข่ายในเวลาพร้อมกันซึ่งจะก่อให้เกิดการชนกันของข้อมูล ดังนั้นในส่วนขาขึ้น จึงต้องใช้ Time Division Multiple Access (TDMA)

ช่วยจัดตารางเวลาของการส่งของสถานีลูกข่าย ตารางเวลาของการส่งนี้ถูกกำหนดและควบคุมโดยสถานีฐาน ทุกๆ ช่วงเวลา สถานีฐานจะทำการส่งกระจายข่าวสารไปที่สถานีลูกข่าย ภายในข่าวสารจะประกอบไปด้วยตารางเวลาการส่งของสถานีลูกข่าย ดังนั้นสถานีลูกข่ายจะรู้ว่าควรจะส่งข้อมูลลงในช่องเวลาใดและจำนวนช่องเวลาเท่าไร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสถานีฐานสามารถกำหนดช่วงเวลาและจำนวนช่องเวลาให้แก่สถานีลูกข่ายให้เหมาะสมกับความต้องการแบนด์วิดธ์ของแต่ละสถานีลูกข่าย [2]

2.4 ประวัติและมาตรฐานที่ใช้กับเทคโนโลยี WLAN และ WiMAX

2.4.1 ประวัติของเทคโนโลยี WLAN

มาตรฐาน IEEE 802.11 หรือ WLAN ได้รับการตีพิมพ์ครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2540 โดย IEEE (The Institute of Electronics and Electrical Engineers) และเป็นเทคโนโลยีสำหรับ WLAN ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด คือข้อกำหนดสำหรับอุปกรณ์ WLAN ในส่วนของ Physical (PHY) Layer และ Media Access Control (MAC) Layer โดยในส่วนของ PHY Layer มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้กำหนดให้อุปกรณ์มีความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 1 Mbps 2 Mbps 5.5 Mbps 11 Mbps และ 54 Mbps โดยมีสื่อ 3 ประเภทให้เลือกใช้ได้แก่ คลื่นวิทยุที่ความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ 5 กิกะเฮิรตซ์ และ อินฟราเรด(1 และ 2 Mbps เท่านั้น) สำหรับในส่วนของ MAC Layer มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้ กำหนดให้มีกลไกการทำงานที่เรียกว่า CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับหลักการ CSMA/CD (Collision Detection) ของมาตรฐาน IEEE 802.3 Ethernet ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันทั่วไปในเครือข่าย LAN แบบใช้สายนำสัญญาณ นอกจากนี้ในมาตรฐาน IEEE802.11 ยังกำหนดให้มีทางเลือกสำหรับสร้างความปลอดภัยให้กับเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN โดยกลไกการเข้ารหัสข้อมูลและการตรวจสอบผู้ใช้ ที่มีชื่อเรียกว่า WEP (Wired Equivalent Privacy) ด้วย

เนื่องจากมาตรฐาน IEEE 802.11 เวอร์ชันแรกเริ่มมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำและไม่มีบริการรองรับหลักการ Quality of Service (QoS) ซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาด อีกทั้งกลไกรักษาความปลอดภัยที่ใช้ยังมีช่องโหว่อยู่มาก IEEE จึงได้จัดตั้งคณะทำงานขึ้นมาหลายชุดด้วยกันเพื่อทำการปรับปรุงเพิ่มเติมมาตรฐานให้มีศักยภาพสูงขึ้นได้แก่ IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11e, IEEE 802.11g, และ IEEE 802.11i [9]

2.4.2 มาตรฐานของเทคโนโลยี WLAN

- **IEEE 802.11b** ใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า CCK (Complimentary Code Keying) ผสมกับ DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) เพื่อปรับปรุงความสามารถของอุปกรณ์ให้รับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดที่ 11 Mbps ผ่านคลื่นวิทยุความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ เป็นย่านความถี่ที่เรียกว่า ISM (Industrial Scientific and Medical) ซึ่งถูกจัดสรรไว้อย่างสากล

สำหรับการใช้งานอย่างสาธารณะด้านวิทยาศาสตร์ อุตสาหกรรม และการแพทย์ โดยอุปกรณ์ที่ใช้ความถี่ย่านนี้ก็เช่น บลูทูธ โทรศัพท์ไร้สาย และเตาไมโครเวฟ) ส่วนใหญ่แล้วอุปกรณ์ IEEE 802.11 หรือ WLAN ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะเป็นอุปกรณ์ตามมาตรฐาน IEEE 802.11b นี้และใช้เครื่องหมายการค้าที่รู้จักกันดีในนาม Wi-Fi ซึ่งเครื่องหมายการค้าดังกล่าวถูกกำหนดขึ้นโดยสมาคม WECA (Wireless Ethernet Compatability Alliance) โดยอุปกรณ์ที่ได้รับเครื่องหมายการค้าดังกล่าวได้ผ่านการตรวจสอบแล้วว่าเป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 802.11b และสามารถนำไปใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ยี่ห้ออื่นๆที่ได้รับเครื่องหมาย Wi-Fi ได้

- **IEEE 802.11a** ใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) เพื่อปรับปรุงความสามารถของอุปกรณ์ให้รับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดที่ 54 Mbps แต่จะใช้คลื่นวิทยุที่ความถี่ 5 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นย่านความถี่สาธารณะสำหรับใช้งานในประเทศสหรัฐอเมริกาที่มีสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์อื่นน้อยกว่าในย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ อย่างไรก็ตามข้อเสียหนึ่งของมาตรฐาน IEEE 802.11a ที่ใช้คลื่นวิทยุที่ความถี่ 5 กิกะเฮิรตซ์ ก็คือในบางประเทศย่านความถี่ดังกล่าวไม่สามารถนำมาใช้งานได้อย่างสาธารณะ ตัวอย่างเช่น ประเทศไทยไม่อนุญาตให้มีการใช้งานอุปกรณ์ IEEE 802.11a เนื่องจากความถี่ย่าน 5 กิกะเฮิรตซ์ ได้ถูกจัดสรรสำหรับกิจการอื่นอยู่ก่อนแล้ว นอกจากนี้ข้อเสียอีกอย่างหนึ่งของอุปกรณ์ IEEE 802.11a WLAN ก็คือรัศมีของสัญญาณมีขนาดค่อนข้างสั้น (ประมาณ 30 เมตร ซึ่งสั้นกว่ารัศมีสัญญาณของอุปกรณ์ IEEE 802.11b WLAN ที่มีขนาดประมาณ 100 เมตร สำหรับการใช้งานภายในอาคาร) อีกทั้งอุปกรณ์ IEEE 802.11a WLAN ยังมีราคาสูงกว่า IEEE 802.11b WLAN ด้วย ดังนั้นอุปกรณ์ IEEE 802.11a WLAN จึงได้รับความนิยมน้อยกว่า IEEE 802.11b WLAN มาก
- **IEEE 802.11g** ได้นำเทคโนโลยี OFDM มาประยุกต์ใช้ในช่องสัญญาณวิทยุความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งอุปกรณ์ IEEE 802.11g WLAN มีความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงสุดที่ 54 Mbps ส่วนรัศมีสัญญาณของอุปกรณ์ IEEE 802.11g WLAN จะอยู่ระหว่างรัศมีสัญญาณของอุปกรณ์ IEEE 802.11a และ IEEE 802.11b เนื่องจากความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ เป็นย่านความถี่สาธารณะสากล อีกทั้งอุปกรณ์ IEEE 802.11g WLAN สามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ IEEE 802.11b WLAN ได้ (Backward Compatible) ดังนั้นจึงมีแนวโน้มสูงกว่าอุปกรณ์ IEEE 802.11g WLAN จะได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายหากมีราคาไม่แพงจนเกินไปและน่าจะมาแทนที่ IEEE 802.11b ในที่สุด ตามแผนการแล้วมาตรฐาน IEEE 802.11g ได้รับการตีพิมพ์ประมาณช่วงกลางปี พ.ศ. 2546
- **IEEE 802.11e** ได้ปรับปรุง MAC Layer ของ IEEE 802.11 เพื่อให้สามารถรองรับการใช้งานหลักการ QoS สำหรับการประยุกต์ใช้เกี่ยวกับมัลติมีเดีย เนื่องจาก IEEE 802.11e เป็น

การปรับปรุง MAC Layer ดังนั้นมาตรฐานเพิ่มเติมนี้จึงสามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN ทุกเวอร์ชันได้

- **IEEE 802.11i** ได้ปรับปรุง MAC Layer ของ IEEE 802.11 ในด้านความปลอดภัย เนื่องจากเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN มีช่องโหว่อยู่มากโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเข้ารหัสข้อมูลด้วยคีย์ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง คณะทำงานชุด IEEE 802.11i จะนำเอาเทคนิคขั้นสูงมาใช้ในการเข้ารหัสข้อมูลด้วย key ที่มีการเปลี่ยนค่าอยู่เสมอและการตรวจสอบผู้ใช้ที่มีความปลอดภัยสูง มาตรฐานเพิ่มเติมนี้จึงสามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN ทุกเวอร์ชันได้[9]

2.4.3 ประวัติลำดับของการพัฒนามาตรฐาน IEEE 802.16

- กรกฎาคม 1999, IEEE 802.16 กลุ่มคณะทำงานได้กำเนิดขึ้นเพื่อพัฒนามาตรฐานสำหรับอุปกรณ์ในการใช้ในระบบไร้สายย่านความถี่กว้าง โดยกลุ่มคณะทำงานอยู่ภายใต้องค์กร IEEE Standard Association (IEEE-SA) ประกอบไปด้วยนักวิจัยและพัฒนา จากหน่วยงานรัฐ บริษัทเอกชนจากทั่วโลก ร่วมกันพัฒนามาตรฐาน
- ธันวาคม 2001, มาตรฐานแรกของ IEEE 802.16 ได้ผ่านการรับรองซึ่งมีชื่อว่า IEEE 802.16-2001 ซึ่งเป็นการกำหนดมาตรฐาน สำหรับอุปกรณ์เครือข่ายและลูกข่ายติดตั้งอยู่กับที่ และ ทำงานที่แถบคลื่นวิทยุ 10-66 กิกะเฮิร์ตซ์
- ในปี 2002, มาตรฐาน IEEE 802.16a ถูกพัฒนาขึ้นและได้รับการรับรองเพื่อเป็นมาตรฐานเสริมสำหรับ IEEE 802.16-2001 (ซึ่งเป็นตัวมาตรฐานหลัก) IEEE 802.16a กำหนดมาตรฐาน สำหรับอุปกรณ์เครือข่ายและลูกข่ายติดตั้งอยู่กับที่แต่ทำงานที่แถบคลื่นวิทยุ 2-11 กิกะเฮิร์ตซ์ และในปีเดียวกันยังมีการพัฒนามาตรฐานย่อยหลายมาตรฐานตามมา ตัวอย่างเช่น
 - IEEE 802.16c กำหนด คุณสมบัติตั้งต้นของระบบ เพื่อช่วยให้ผู้ผลิตอุปกรณ์สามารถนำไปกำหนดใช้ในผลิตภัณฑ์ของตัวเองหรืออีกนัยหนึ่งเป็นการกำหนด เพื่อให้อุปกรณ์จากต่างผู้ผลิตสามารถทำงานร่วมกัน ได้บนคุณสมบัติตั้งต้นอันเดียวกัน
 - IEEE 802.16.2 ซึ่งมีชื่อว่า วิธีปฏิบัติข้อเสนอแนะบน "Coexistence of Fixed Broadband Wireless Access Systems" ในความถี่ 10 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 66 กิกะเฮิร์ตซ์ หมายถึง มาตรฐานนี้จะเป็นการกำหนดแนวทางและคำแนะนำในการออกแบบและติดตั้งระบบสำหรับอุปกรณ์เครือข่ายและลูกข่ายติดตั้งอยู่กับที่เพื่อควบคุมสัญญาณรบกวนให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ใช้กับระบบที่ทำงานที่แถบคลื่นวิทยุ 10 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 66 กิกะเฮิร์ตซ์
 - IEEE 802.16.2a ซึ่งเป็นวิธีปฏิบัติข้อเสนอแนะบน "Coexistence of Fixed Broadband Wireless Access Systems" ในความถี่ 2 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 11 กิกะ

เฮิร์ตซ์ จะคล้ายคลึงกับ IEEE 802.16.2 แต่ต่างที่เป็นมาตรฐานสำหรับระบบที่ทำงานที่แถบคลื่นวิทยุ 2-11 กิกะเฮิร์ตซ์

- ในปี 2005 มาตรฐาน IEEE 802.16e ซึ่งเป็นมาตรฐานเสริมให้กับมาตรฐาน IEEE 802.16-2004 เพื่อรองรับอุปกรณ์ไร้สายย่านความถี่กว้าง ได้รับการรับรองเมื่อเดือนธันวาคม 2548 จึงมีชื่อเรียกมาตรฐานเป็นทางการว่า IEEE 802.16e-2005
- ส่วนประเด็นเรื่องมาตรฐานความปลอดภัยบนเครือข่าย IEEE 802.16 นั้น ได้มีการกำหนดไว้ในมาตรฐาน IEEE 802.16-2004 แต่จากผลการศึกษาของจากหลายๆ สถาบันยังพบช่องโหว่ในมาตรฐาน ซึ่งทาง IEEE 802.16 กลุ่มคณะทำงานได้แก้ไขปรับปรุงและบรรจุอยู่ใน IEEE 802.16-2004 ฉบับแก้ไขหรือที่เรียกว่า IEEE 802.16-2004/Corrigendum1 และบางส่วนถูกเพิ่มเติมอยู่ใน IEEE 802.16e-2005

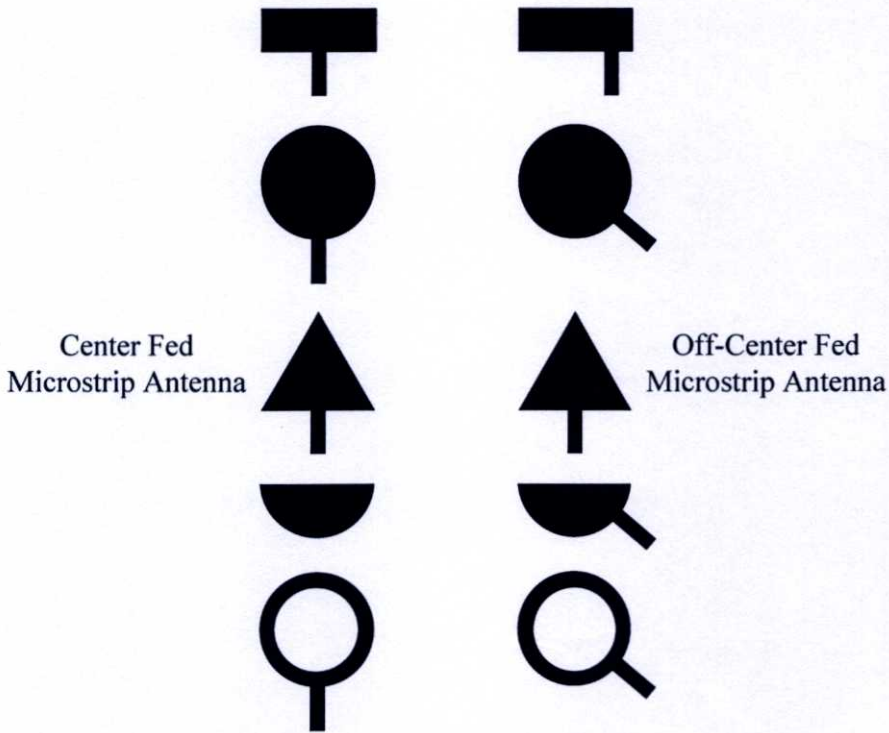
2.4.4 มาตรฐานของเทคโนโลยี WIMAX

- **IEEE 802.16** เป็นมาตรฐานที่ให้ระยะทางการเชื่อมโยง 1.6 ถึง 4.8 กิโลเมตร เป็นมาตรฐานเดียวที่สนับสนุน LoS โดยมีการใช้งานในช่วงความถี่ที่สูงมากคือ 10 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 66 กิกะเฮิร์ตซ์
- **IEEE 802.16a** เป็นมาตรฐานที่แก้ไขปรับปรุงจาก IEEE 802.16 เดิม โดยใช้งานที่ความถี่ 2 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 11 กิกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งคุณสมบัติเด่นที่ได้รับการแก้ไขจากมาตรฐาน 802.16 เดิม คือคุณสมบัติการรองรับการทำงานแบบที่ไม่อยู่ในระดับแนวเส้นสายตา (NLoS) ทั้งยังมีคุณสมบัติการทำงานเมื่อมีสิ่งกีดขวาง อาทิ เช่น ต้นไม้ อาคาร ฯลฯ นอกจากนี้ก็ยังช่วยให้สามารถขยายระบบเครือข่ายเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตไร้สายความเร็วสูงได้อย่างกว้างขวางด้วยรัศมีทำการที่ไกลถึง 31 ไมล์ หรือประมาณ 52 กิโลเมตร และมีอัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงสุดถึง 75 Mbps ทำให้สามารถรองรับการเชื่อมต่อการใช้งานระบบเครือข่ายของบริษัทที่ใช้สายประเภท T1 (T1-type) กว่า 60 รายและการเชื่อมต่อแบบ DSL ตามบ้านเรือนที่พักอาศัยอีกหลายร้อยครัวเรือนได้พร้อมกันโดยไม่เกิดปัญหาในการใช้งาน
- **IEEE 802.16e** เป็นมาตรฐานที่ออกแบบมาให้สนับสนุนการใช้งานร่วมกับอุปกรณ์พกพาประเภทต่างๆ เช่น พีดีเอ และ แลปท็อป เป็นต้น โดยให้รัศมีทำงานที่ 1.6 กิโลเมตร ถึง 4.8 กิโลเมตร มีระบบที่ช่วยให้ผู้ใช้งานยังสามารถสื่อสารได้โดยให้คุณภาพในการสื่อสารที่ดีและมีเสถียรภาพขณะใช้งานแม้จะมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาก็ตาม [2]

2.5 สายอากาศไมโครสตริป

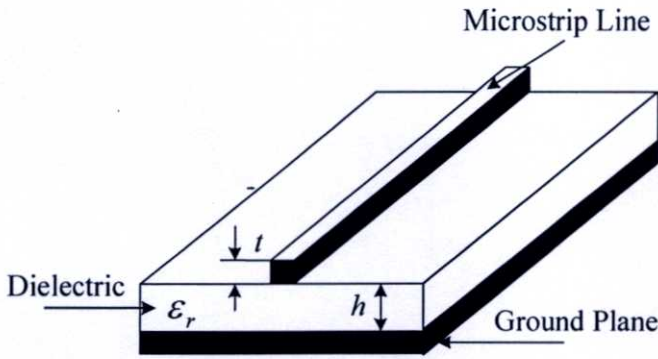
โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปนั้นมีอยู่หลายแบบซึ่งแบ่งตามลักษณะของแผ่นไมโครสตริป (Microstrip Patch) และลักษณะการป้อนของสัญญาณ สายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น (Patch) และระนาบกราวด์แบบช่องเปิดมีหลายลักษณะ เช่น วงกลม (Circular) แผ่นวงรี

(Ellipse) แผ่นสี่เหลี่ยม (Rectangle) แผ่นห้าเหลี่ยมด้านเท่า (Equilateral Triangle) และแผ่นวงแหวน (Ring) เป็นต้น ส่วนการป้อนสัญญาณของไมโครสตริปแบ่งได้เป็นสองแบบ คือ การป้อนสัญญาณแบบตรงกลาง (Center Feed) และการป้อนสัญญาณแบบเยื้องจากตรงกลาง (Off-Center-Feed) [5] และ [10] ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.10

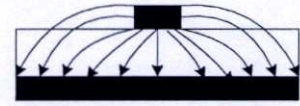


รูปที่ 2.10 ลักษณะการป้อนของสายนำสัญญาณไมโครสตริป

ส่วนโครงสร้างของไมโครสตริปจะประกอบด้วยตัวนำอยู่สองด้าน ด้านหนึ่งเรียกว่า แผ่นระนาบกราวด์ (Ground Plane) และด้านที่สองใช้สำหรับการสร้างตัวป้อนสัญญาณ ลายวงจรหรือสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นวงจรมี โดยมิได้วัสดุฐานรองอิเล็กทรอนิกส์ (Dielectric Substrate) อยู่ตรงกลาง ตัวนำส่วนใหญ่จะเป็นทองแดงซึ่งความหนาของทองแดง (t) ประมาณ 0.01778 มิลลิเมตร ถึง 0.03556 มิลลิเมตร ส่วนความหนาของวัสดุฐานรอง (h) มีหลายขนาดแต่ที่นิยมนำมาออกแบบคือ 0.8 มิลลิเมตร 1.6 มิลลิเมตร เป็นต้น ส่วนคุณสมบัติทางไฟฟ้าวัสดุฐานรองแสดงด้วยสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ (Relative Permittivity) หรือ ϵ_r และค่าของ Loss Tangent หรือ $\tan \delta$ [11] ดังแสดงในรูปที่ 2.11



(ก) สายนำสัญญาณไมโครสตริป [5]



(ข) เส้นสนามไฟฟ้า [12]

รูปที่ 2.11 โครงสร้างของสายนำสัญญาณไมโครสตริป และเส้นสนามไฟฟ้า

2.6 การออกแบบสายนำสัญญาณไมโครสตริปและสายอากาศไมโครสตริป

สายอากาศไมโครสตริปมีโครงสร้างอยู่หลายแบบซึ่งมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามโครงสร้างในการออกแบบ เช่น โครงสร้างสายนำสัญญาณแบบระนาบร่วม (Coplanar Waveguide) โครงสร้างสายนำสัญญาณไมโครสตริป (Microstrip Line) เป็นต้น ซึ่งการออกแบบการวิเคราะห์และสมการในการคำนวณมีความแตกต่างกัน วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำสมการพื้นฐานที่มีความเกี่ยวข้องที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปเบื้องต้นมาแสดงไว้ดังต่อไปนี้

2.6.1 อิมพีแดนซ์คุณลักษณะ (Characteristic Impedance: Z_o) ของสายนำสัญญาณไมโครสตริป

การป้อนสัญญาณแบบสายไมโครสตริป มีสมการในการออกแบบซึ่งต้องให้มีเกณฑ์เฉพาะ ตามต้องการดังต่อไปนี้ [5]

$$\text{เมื่อ } \frac{W}{H} \leq 1$$

$$Z_o = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln\left(\frac{8H}{W} + \frac{W}{4H}\right) \quad \text{โอห์ม (2.1)}$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + 12\frac{W}{H}}} + 0.4\left(1 - \frac{W}{H}\right)^2 \right] \quad (2.2)$$

$$\text{เมื่อ } \frac{W}{H} \geq 1$$

$$Z_o = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \left\{ \frac{W}{H} + 1.393 + 0.667 \ln \left(\frac{W}{H} + 1.444 \right) \right\}^{-1} \quad \text{โอห์ม} \quad (2.3)$$

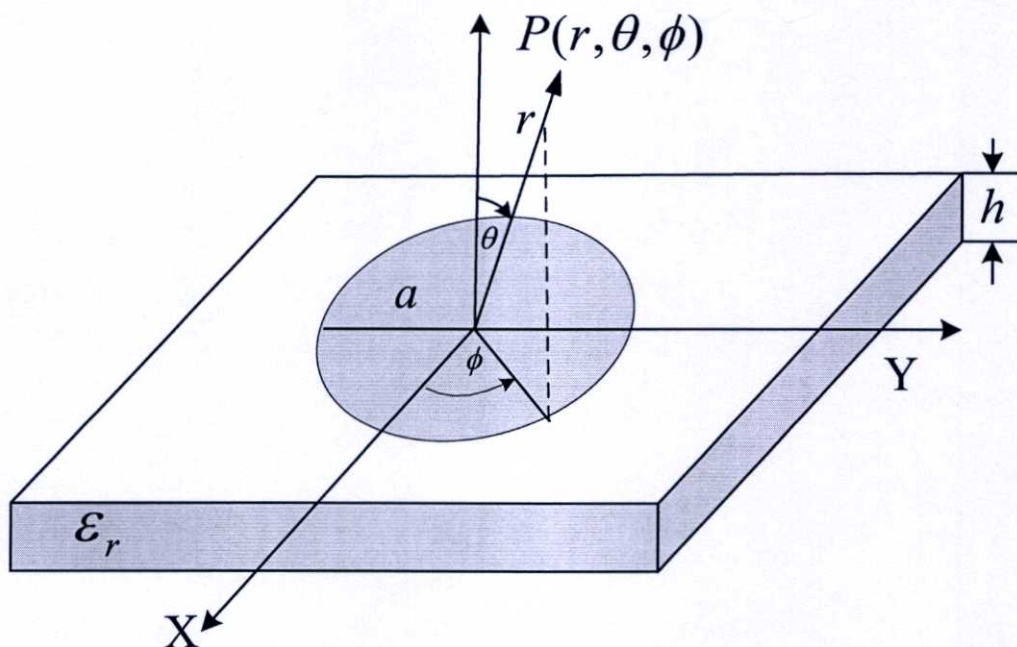
$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2\sqrt{1 + 12\frac{W}{H}}} \quad (2.4)$$

เมื่อ W คือ ความกว้างของสายนำสัญญาณ และ H คือความสูงของแผ่นวงจรมินิพีททำได้ จาก

$$W = w + \frac{t}{\pi} \left[\ln \left(\frac{2h}{t} \right) + 1 \right] \quad (2.5)$$

$$H = h - 2t \quad (2.6)$$

2.6.2 แบบจำลองคาวิตี (Cavity Model) ของสายอากาศไมโครสตริปแผ่นวงกลม



รูปที่ 2.12 แบบจำลองคาวิตีของสายอากาศไมโครสตริปแผ่นวงกลม [12]

สายอากาศไมโครสตริปแผ่นวงกลมสามารถใช้วิธีวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองคาวิตี [5, 10] โดยใช้ระบบแกนพิกัดเป็นทรงกระบอก (Cylindrical Coordinates) ซึ่งแบบจำลองคาวิตีประกอบด้วยส่วนตัวนำไฟฟ้าที่สมบูรณ์ 2 ส่วน คือ ส่วนบน และส่วนล่าง ซึ่งเป็นส่วนของแผ่นไมโครสตริป และระนาบกราวด์ และตัวนำแม่เหล็กสมบูรณ์ทรงกระบอกรอบๆ เส้นรอบวงของ

คาวิตี โดยจะไม่นำค่าวัสดุฐานรองที่เป็นสารไดอิเล็กตริกมารวมในการคำนวณ ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 2.12

การหาสนามในคาวิตีสามารถใช้วิธีของฟังก์ชันศักย์เวกเตอร์ (Vector Potential) สำหรับโหมด TM^z ต้องหาศักย์เวกเตอร์แม่เหล็ก A_z ก่อนจะได้สมการแบบคลื่นเอกพันธ์ (Homogeneous Wave Equation) ในระบบพิกัดทรงกระบอกดังสมการ [12]

$$\nabla^2 A_z(\rho, \phi, z) + k^2 A_z(\rho, \phi, z) = 0 \quad (2.7)$$

สามารถแสดงโหมด TM^z ของสนามแม่เหล็ก และสนามไฟฟ้าโดยขึ้นกับฟังก์ชันศักย์เวกเตอร์ A_z ดังสมการ

$$E_\rho = -j \frac{1}{\omega\mu\epsilon} \frac{\partial^2 A_z}{\partial\rho\partial z} \quad H_\rho = \frac{1}{\mu} \frac{1}{\rho} \frac{\partial A_z}{\partial\phi} \quad (2.8)$$

$$E_\phi = -j \frac{1}{\omega\mu\epsilon} \frac{\partial^2 A_z}{\partial\phi\partial z} \quad H_\phi = -\frac{1}{\mu} \frac{\partial A_z}{\partial\rho} \quad (2.9)$$

$$E_z = -j \frac{1}{\omega\mu\epsilon} \left(\frac{\partial^2}{\partial z^2} + k^2 \right) A_z \quad H_z = 0 \quad (2.10)$$

มีเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) เป็น

$$E_\rho(0 \leq \rho' \leq a, 0 \leq \phi' \leq 2\pi, z' = 0) = 0 \quad (2.11)$$

$$E_\rho(0 \leq \rho' \leq a, 0 \leq \phi' \leq 2\pi, z' = h) = 0 \quad (2.12)$$

$$H_\phi(\rho' = a, 0 \leq \phi' \leq 2\pi, z' = h) = 0 \quad (2.13)$$

ฟังก์ชันศักย์เวกเตอร์ของสนามแม่เหล็กถูกลดรูปเป็น

$$A_z = B_{m\rho} j_m(k_\rho \rho') [A_2 \cos(m\phi') + B_2 \sin(m\phi')] \cos(k_z z') \quad (2.14)$$

เมื่อ

$$(k_\rho)^2 + (k_z)^2 = k_r^2 = \omega_r^2 \mu\epsilon \quad (2.15)$$

ค่าของระบบพิกัดไพร์ม (Prime Coordinate) ρ', ϕ', z' เป็นค่าสนามที่อยู่ในคาวิตี้โดยที่ $J_m(X)$ เป็นฟังก์ชันเบสเซล (Bessel Function) ของอนุพันธ์อันดับที่ m โดยมีสมการ

$$k_p = \frac{\chi'_{mn}}{a} \quad (2.16)$$

$$k_z = \frac{p\pi}{h} \quad (2.17)$$

$$m = 0, 1, 2, \dots \quad (2.18)$$

$$n = 1, 2, 3, \dots \quad (2.19)$$

$$p = 0, 1, 2, \dots \quad (2.20)$$

ค่า χ'_{mn} จะแสดงค่าศูนย์ของอนุพันธ์ฟังก์ชันเบสเซล $J_m(X)$ และลำดับของความถี่เรโซแนนซ์ (Resonant Frequency) ที่ค่าแรกของ χ'_{mn} ในลำดับสูงขึ้นไปจะเป็น

$$\chi'_{11} = 1.8412 \quad (2.21)$$

$$\chi'_{22} = 3.0542 \quad (2.22)$$

$$\chi'_{01} = 3.8318 \quad (2.23)$$

$$\chi'_{31} = 4.2012 \quad (2.24)$$

ในแต่ละโหมดสามารถหาความถี่เรโซแนนซ์ ซึ่งทำให้อนุพันธ์ของฟังก์ชันเบสเซลเป็นศูนย์และได้รูปแบบสนามและกระแสพื้นผิวในโหมดต่างๆ ค่า n เป็นตัวแสดงลำดับของฟังก์ชันเบสเซล และค่า m เป็นลำดับศูนย์ของอนุพันธ์ของฟังก์ชันเบสเซลสำหรับความถี่ใดๆ เมื่อค่า $n=m=1$ จะ ได้รัศมีที่ต่ำที่สุดเรียกว่า โหมดหลัก (Dominant Mode)

ความถี่เรโซแนนซ์ของคาวิตี้หรือสายอากาศไมโครสตริปที่มีความหนาของวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริก (h) ที่น้อยมาก ($h \leq 0.005\lambda_0$) ทำให้ค่าสนามตามทิศทางแกน z จะมีค่าคงที่และเมื่อ $p=0$ ทำให้ $k_z = 0$ ดังนั้นความถี่เรโซแนนซ์สำหรับโหมด TM_{mno}^z สามารถใช้สมการที่ 2.15 เขียนสมการได้เป็น

$$(f_r)_{mn0} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}} \left(\frac{\chi'_{mn}}{a} \right) \quad (2.25)$$

โดยขึ้นอยู่กับค่าของ χ'_{mn} ในสมการที่ (2.25) โดยสี่โหมดแรกเรียงตามลำดับที่สูงขึ้นเป็น $TM_{110}^Z, TM_{210}^Z, TM_{010}^Z, TM_{310}^Z$ มีโหมดหลักเป็น TM_{110}^Z จะให้ความถี่เรโซแนนซ์ดังสมการ

$$(f_r)_{110} = \frac{1.8412}{2\pi a \sqrt{\mu\epsilon}} = \left(\frac{1.8412 v_o}{2\pi a \sqrt{\epsilon_r}} \right) \quad (2.26)$$

เมื่อค่า v_o เป็นความเร็วของแสงในช่องว่างอิสระ (Free space)

ความถี่เรโซแนนซ์ในสมการที่ (2.26) ไม่รวมการคิดสนามที่ขอบ (Fringing Field) ซึ่งเกิดขึ้นที่ขอบเขตของเรโซแนนซ์ซึ่งจะทำให้ความยาวทางไฟฟ้ามากกว่าความยาวทางกายภาพ ซึ่งจะต้องนำไปคำนวณหาค่าชดเชย ในกรณีของแผ่นสตริปกลมค่าชดเชยจะเป็นการหาค่ารัศมีประสิทธิผล ซึ่งจะใช้แทนที่รัศมีจริงได้ในสมการ (2.27) [10, 12]

$$a_e = a \left\{ 1 + \frac{2h}{\pi a \epsilon_r} \left[\ln \left(\frac{2a}{2h} \right) + 1.7726 \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad \text{เซนติเมตร} \quad (2.27)$$

ดังนั้นแทนค่าสมการ (2.27) ลงในสมการ (2.26) สมการเขียนใหม่ได้เป็น

$$(f_r)_{110} = \frac{1.8412 v_o}{2\pi a_e \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.28)$$

สมการที่ (2.28) จะสามารถคำนวณหารัศมีได้ใกล้เคียงและเกิดอัตราการผิดพลาด 2.5% เมื่อค่าของ $\frac{a}{h} \gg 1$

ส่วนค่าในฟังก์ชันลอการิทึม a ได้เป็นสมการ

$$a = \frac{F}{\left\{ 1 + \left(\frac{2h}{\pi \epsilon_r F} \right) \left[\ln \left(\frac{\pi F}{2h} \right) + 1.7726 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}} \quad \text{เซนติเมตร} \quad (2.29)$$

$$F = \frac{8.791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.30)$$

ดังนั้นเมื่อได้ค่า a ในสมการที่ (2.29) แล้วจึงนำค่ากลับมาแทนลงในสมการที่ (2.27) อีกครั้งจึงได้รัศมีที่มีการชดเชยแล้ว

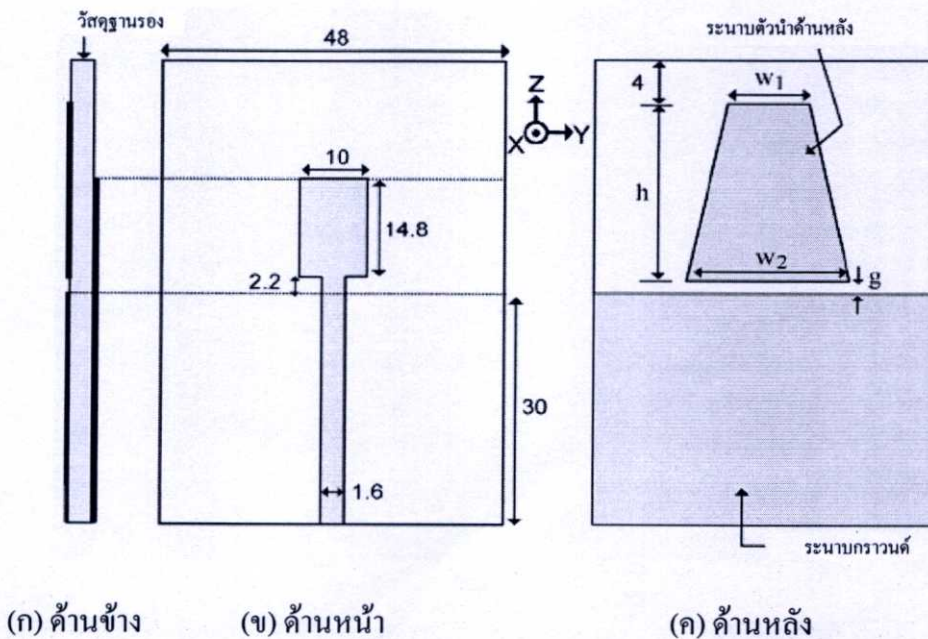
ดังนั้นจากสมการที่ (2.29) และ (2.30) สามารถคำนวณหาค่ารัศมีของสายอากาศไมโครสตริปแผ่นกลมโดยมีค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณคือค่าความถี่เรโซแนนซ์ ค่าสภาพความยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ และ ความหนาของวัสดุ ซึ่งมีผลต่อค่าของรัศมีของสายอากาศที่ออกแบบ

2.7 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 สายอากาศสองย่านความถี่กว้างบนแผ่นวงจรพิมพ์สำหรับการประยุกต์ใช้งาน

WLAN และ WiMAX

สายอากาศโมโนโพลบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่ได้นำเสนอนี้ ถูกสร้างขึ้นโดย C. Y. Pan [1] และ คณะ สำหรับการประยุกต์ใช้งานทั้งสองระบบคือ WLAN และ WiMAX โดยโครงสร้างของสายอากาศเป็นแบบ โมโนโพลบนแผ่นวงจรพิมพ์รูปทรงสี่เหลี่ยมกับสายนำสัญญาณสำหรับกระตุ้นและแผ่นตัวนำด้านหลังรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมูไว้สำหรับทำให้ย่านความถี่กว้างขึ้น โดยได้ทดสอบผลของแถบความถี่สำหรับค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ 10 dB จาก 2.01 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 4.27 กิกะเฮิรตซ์ และ 5.06 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 6.79 กิกะเฮิรตซ์ ครอบคลุมตลอดย่าน 2.4/5.2/5.8 กิกะเฮิรตซ์ สำหรับ WLAN และ 2.5/3.5/5.5 กิกะเฮิรตซ์ สำหรับ WiMAX โดยโครงสร้างของสายอากาศถูกแสดงรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 โครงสร้างทางเรขาคณิตของสายอากาศบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่ได้นำเสนอกับขนาดในหน่วยมิลลิเมตร (ก) ด้านข้าง (ข) ด้านหน้า และ (ค) ด้านหลัง [1]

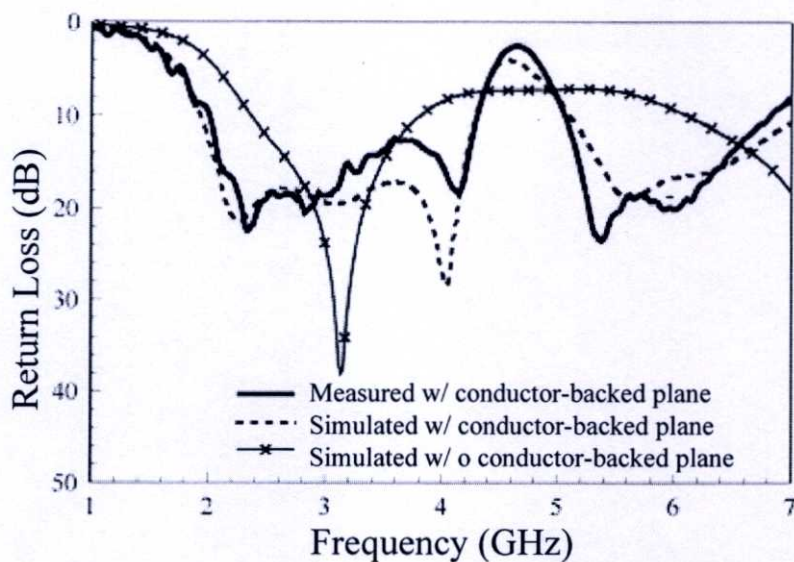
จากรูปที่ 2.13 คือโครงสร้างของสายอากาศ สายอากาศโมโนโพลบนแผ่นวงจรพิมพ์สองย่านความถี่กว้างสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานกับ WLAN และ WiMAX ซึ่งถูกสร้างจากแผ่น PCB (Printed Circuit Board) วัสดุฐานรองชนิด FR4 มีค่า $\epsilon_r = 4.4$ มีขนาด 30×60 ตารางมิลลิเมตร

ตารางที่ 2.1 ขอบเขตแถบความถี่ที่ต่ำกว่า 10 dB จากการจำลอง และแถบความถี่สำหรับสายอากาศซึ่งถูกนำเสนอเกี่ยวกับการเปลี่ยนขนาดของ W_1 และ W_2 ($h = 24.4$ มิลลิเมตร และ $g = 1.6$ มิลลิเมตร)

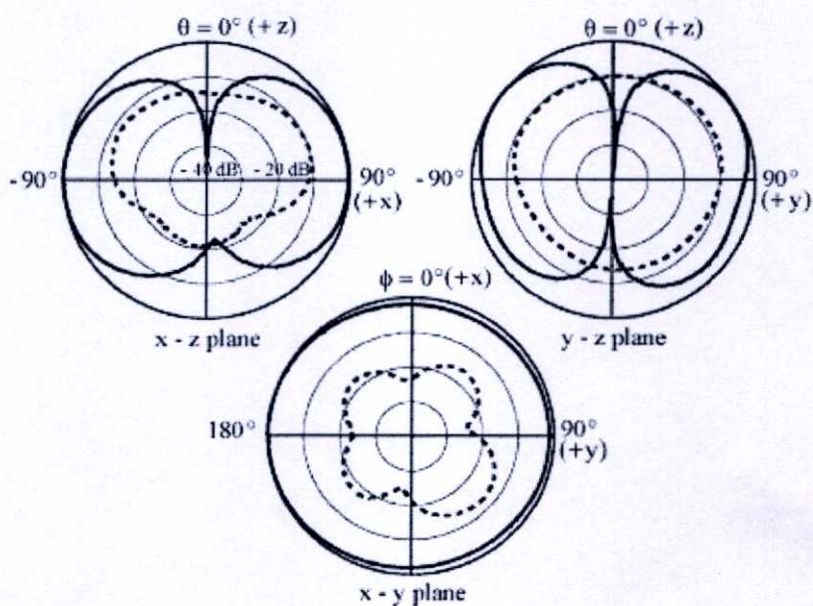
W_1, W_2 (มิลลิเมตร)	ย่านความถี่ที่ 1 และแบนด์วิธ (กิกะเฮิรตซ์)	ย่านความถี่ที่ 2 และแบนด์วิธ (กิกะเฮิรตซ์)
4, 17	2.08-4.14, 2.06	5.18-6.09, 1.72
12, 17	2.00-4.16, 2.16	5.02-7.03, 2.01
16, 17	1.94-4.18, 2.24	4.96-6.94, 1.98
12, 11	1.94-3.35, 1.41	5.34-8.30, 2.96
12, 22	2.04-4.15, 2.11	4.97-5.71, 0.74

จากตารางที่ 2.1 แสดงค่าการสูญเสียย้อนกลับของขอบเขตแถบความถี่ที่ต่ำกว่า 10 dB จากการจำลอง และระยะของช่วงความถี่สำหรับสายอากาศซึ่งนำเสนอเกี่ยวกับการเปลี่ยนการขนาดของ W_1 และ W_2 ($h = 24.4$ มิลลิเมตร และ $g = 1.6$ มิลลิเมตร)

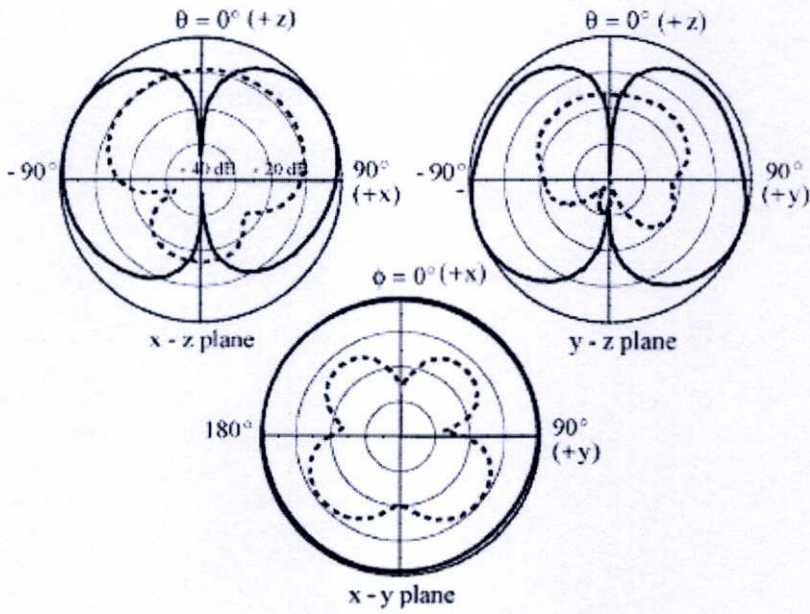
ในรูปที่ 2.14 แสดงถึงผลค่าการสูญเสียย้อนกลับทั้งในการจำลอง และทดสอบจะสังเกตได้ว่าผลจากการจำลองในเส้นบางคาดด้วยกากบาทนั้นเมื่อสายอากาศไม่มีแผ่นตัวนำด้านหลังค่าการสูญเสียย้อนกลับนั้นจะไม่ครอบคลุมถึงการใช้งานในระบบ WLAN และ WiMAX และเมื่อเพิ่มแผ่นตัวนำด้านหลังรูปสี่เหลี่ยมคางหมูเพิ่มเติมในด้านหลังของสายอากาศเพื่อให้เกิดผลถึงค่ากับอิมพีแดนซ์ที่แมตช์ สำหรับการนำไปใช้งานในระบบ และครอบคลุมถึงการใช้งานของระบบ



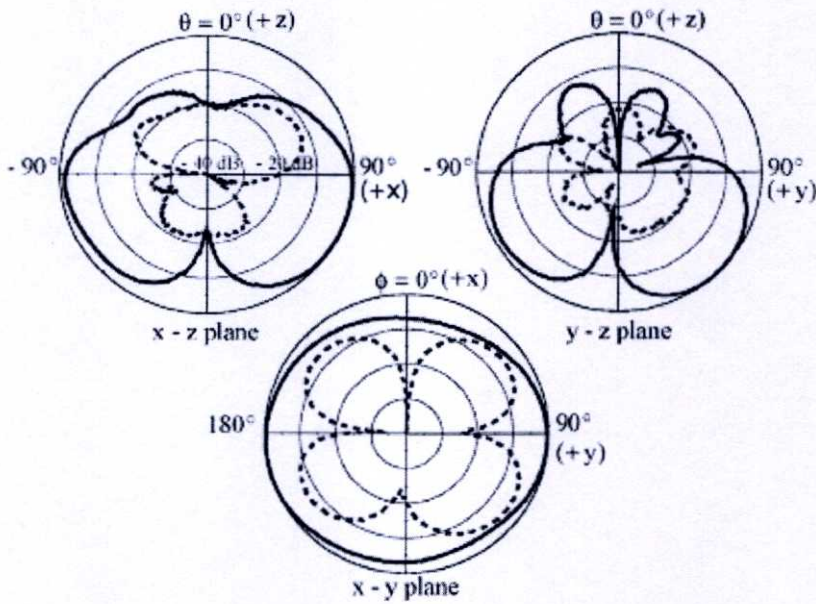
รูปที่ 2.14. เปรียบเทียบค่าการสูญเสียย้อนกลับระหว่างผลจากการจำลอง และ ผลจากการทดสอบของสายอากาศที่ได้นำเสนอ ($h = 24.4$ มิลลิเมตร $g = 1.6$ มิลลิเมตร $w_1 = 12$ มิลลิเมตร และ $w_2 = 17$ มิลลิเมตร) [1]



(ก) 2.5 กิกะเฮิรตซ์



(ข) 3.5 กิกะเฮิรตซ์

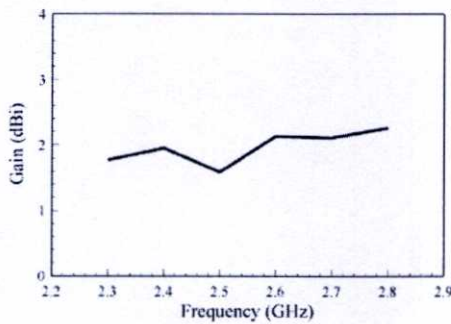


(ค) 5.5 กิกะเฮิรตซ์

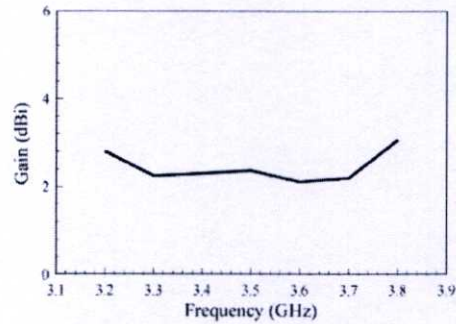
รูปที่ 2.15 ผลจากการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ได้นำเสนอ (ก) 2.5 กิกะเฮิรตซ์ (ข) 3.5 กิกะเฮิรตซ์ และ (ค) 5.5 กิกะเฮิรตซ์ [1]

รูปที่ 2.15 เป็นแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในระนาบ $x-y$ ระนาบ $x-z$ และระนาบ $y-z$ ให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวที่ความถี่ 2.5 กิกะเฮิรตซ์ และ 3.5 กิกะเฮิรตซ์ ดังจะสังเกตได้จากรูปที่ 2.15 (ก) และ (ข) ในระนาบ $x-y$ เป็นตัวบ่งชี้ว่ามีคุณสมบัติแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวเนื่องจากสนามในระนาบ $x-y$ มีค่าคลื่นที่มีลักษณะเป็นวงกลมและยังมีมีความแตกต่างของค่าคลื่นในแนวแกน x และ y มากกว่า -3 dB ซึ่งมากกว่ากำลัง

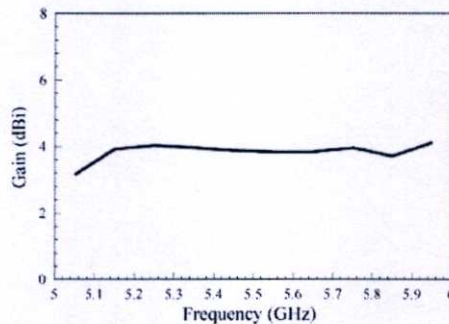
งานครึ่งหนึ่งของลำคลื่นจึงทำยังคงเป็นคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวอยู่ และ ความถี่ที่ให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบสองทิศทางคือ 5.5 กิกะเฮิร์ตซ์ ดังจะสังเกตได้จาก รูปที่ 2.15 (ก) ในระนาบ x - y สังเกตได้ว่าลำคลื่นโดยรวมมีลักษณะเป็นวงรีมีทิศทางสูงสุดออก สองทิศทางมีลำคลื่นสูงสุดในแกน x และ y ต่างกัน น้อยกว่า -3 dB ซึ่งเกินกว่ากำลังงานครึ่งหนึ่งของลำคลื่นจึงบ่งชี้ได้ว่าลักษณะของ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 5.5 กิกะเฮิร์ตซ์ นี้ เป็น แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบสองทิศทางส่วนของโพลาริซัชันนั้นจากรูปที่ 2.15 ทั้ง (ก), (ข) และ (ค) จะสังเกตได้ว่ามีค่ามากกว่า -20 dB โดยที่ความถี่ 2.5 กิกะเฮิร์ตซ์ ให้ค่าโพลาริซัชันต่ำที่สุด และที่ความถี่ 3.5 กิกะเฮิร์ตซ์ มาเป็นอันดับรอง และ ที่ความถี่ 5.5 กิกะเฮิร์ตซ์ มีค่า โพลาริซัชันสูงที่สุด โดยแปรผันตามความถี่ซึ่งมีความถี่สูงขึ้นค่าของโพลาริซัชันก็จะสูงขึ้นตาม



(ก) 2.3–2.8 กิกะเฮิร์ตซ์



(ข) 3.2–3.8 กิกะเฮิร์ตซ์



(ค) 5.05–5.95 กิกะเฮิร์ตซ์

รูปที่ 2.16 ผลจากการทดสอบอัตราขยายสูงสุดที่เกี่ยวข้องกับความถี่ของสายอากาศที่ได้นำเสนอ ในย่านความถี่ (ก) 2.3-2.8 กิกะเฮิร์ตซ์ (ข) 3.2-3.8 กิกะเฮิร์ตซ์ (ค) 5.05-5.95 กิกะเฮิร์ตซ์ [1]

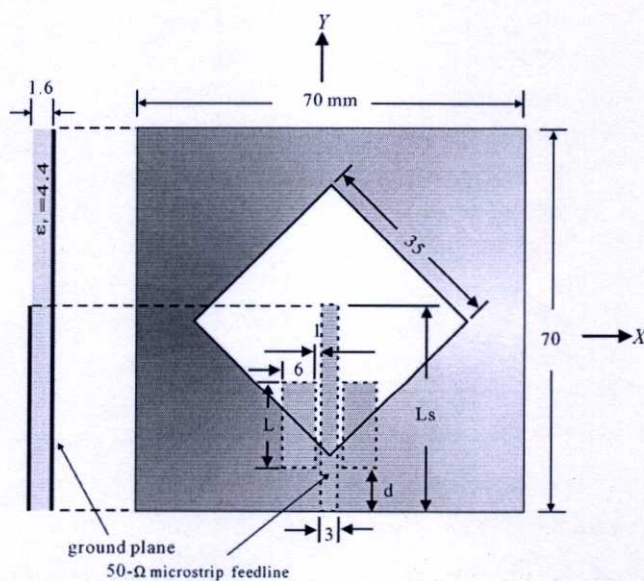
จากรูปที่ 2.16 คือค่าอัตราขยายในช่วงความถี่ 2.2 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 2.8 กิกะเฮิร์ตซ์ 3.2 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 3.8 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 3.8 กิกะเฮิร์ตซ์ และ 5.05 ถึง 5.95 กิกะเฮิร์ตซ์ โดยในช่วง ความถี่ต่ำ ของระบบหรือช่วงความถี่ 2.2 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 2.8 กิกะเฮิร์ตซ์ นั้นคืออัตราขยายเฉลี่ยประมาณ 2 dBi ในช่วงความถี่กลางของระบบหรือในช่วงความถี่ 3.2 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 3.8 กิกะเฮิร์ตซ์ มี

อัตราขยายอยู่ประมาณ 2.1 dBi และในช่วงความถี่สูงของระบบหรือในช่วงความถี่ 5.05 ถึง 5.95 กิกะเฮิรตซ์ มีอัตราขยายอยู่ประมาณ 4 dBi

2.7.2 สายอากาศแบบช่องบนแผ่นวงจรพิมพ์ป้อนด้วยสายนำสัญญาณไมโครสตริป

สายอากาศแบบช่องบนแผ่นวงจรพิมพ์ป้อนด้วยสายนำสัญญาณไมโครสตริปที่ได้นำเสนอนี้ นำเสนอโดย J. Y. Jan [14] และ คณะ โดยแนวความคิดที่ว่าในช่วงที่หลายปีที่ผ่านมา ผลงานวิจัยในลักษณะของสายอากาศแบบช่องบนแผ่นวงจรพิมพ์มีอยู่มากเนื่องด้วยให้ผลที่มีแบนด์วิธที่กว้าง จากผลงานวิจัยที่มีอยู่แสดงไว้ว่าแบนด์วิธอิมพีแดนซ์ของสายอากาศช่องที่กว้างสามารถให้แบนด์วิธอิมพีแดนซ์ที่กว้างได้มากกว่าสายอากาศที่มีช่องแคบซึ่งแสดงไว้ในผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศช่องกว้างป้อนด้วยสายนำสัญญาณไมโครสตริป การออกแบบที่ดีของสายอากาศช่องกว้างป้อนด้วยสายนำสัญญาณไมโครสตริปแบบช่องสามารถปรับเปลี่ยนได้อย่างง่ายสำหรับความถี่ในระดับเดียวกันได้เคยถูกนำเสนอและวิเคราะห์ ซึ่งได้ผลของแบนด์วิธที่กว้าง 2200 เมกะเฮิรตซ์ (49.4%) ที่ความถี่กลาง 4453 เมกะเฮิรตซ์ แต่อย่างไรก็ตามก็ไม่เพียงพอสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้กับระบบ WiMAX

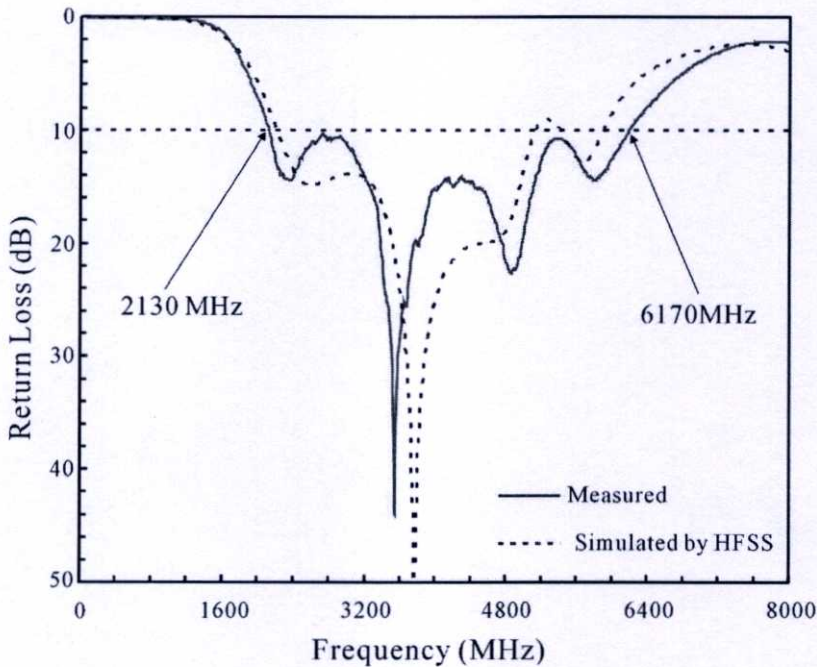
ในผลงานวิจัยนี้ได้พัฒนาสายอากาศช่องเปิดแบบอื่นๆ โดยถือเอาขนาดของเส้นปรสิคตามหลักของสายนำสัญญาณไมโครสตริปที่ได้เคยถูกนำเสนอ โดยเลือกตำแหน่งและระยะที่เหมาะสมของเส้นปรสิคของสายนำสัญญาณ สามารถคำนวณได้จากโหมคปฏิบัติกรความถี่เรโซแนนซ์ใกล้เคียงกับโหมคพื้นฐานที่สามารถหาได้จากหลักการสายอากาศช่องกว้าง เป็นผลทำให้ได้อิมพีแดนซ์ที่กว้างกว่าผลงานวิจัยที่เคยมีมา ดังนั้นสายอากาศแบบช่องย่านความถี่กว้างกับแบนด์วิธที่กว้างกว่าจึงเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานในระบบ WiMAX โดยรายละเอียดของผลงานวิจัยนี้ได้บอกถึงผลที่ได้จากการทดลอง และข้อเสนอแนะ



รูปที่ 2.17 โครงสร้างของสายอากาศแบบช่องที่ได้นำเสนอสำหรับการนำไปใช้ในระบบ WiMAX

2.7.2.1 การสร้าง และผลการทดลอง

จากรูปที่ 2.17 แสดงรูปทรงของสายอากาศแบบช่องบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่ป้อนด้วยสายนำสัญญาณไมโครสตริป โดยสายอากาศที่ได้นำเสนอนี้ประกอบด้วยช่องที่เป็นลักษณะสี่เหลี่ยมรูปขนมเปียกปูนพร้อมด้วยระนาบกราวด์ มีขนาด 70×70 ตารางมิลลิเมตร อยู่บนวัสดุฐานรองชนิด FR4 มีความสูงของวัสดุฐานรอง 16 มิลลิเมตรและมีค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ $\epsilon_r = 4.4$ ป้อนด้วยสายนำสัญญาณไมโครสตริปที่มีอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม มีความกว้างของสายนำสัญญาณ 3 มิลลิเมตร วางอยู่หลังช่องสายอากาศโดยปรกติของสายนำสัญญาณที่วางอยู่เป็นสัดส่วนตามสายนำสัญญาณที่ใช้ในการป้อน ระยะสายนำสัญญาณกำหนดให้เป็น L_s ในหน่วยมิลลิเมตร จากจุดป้อนถึงส่วนด้านบน

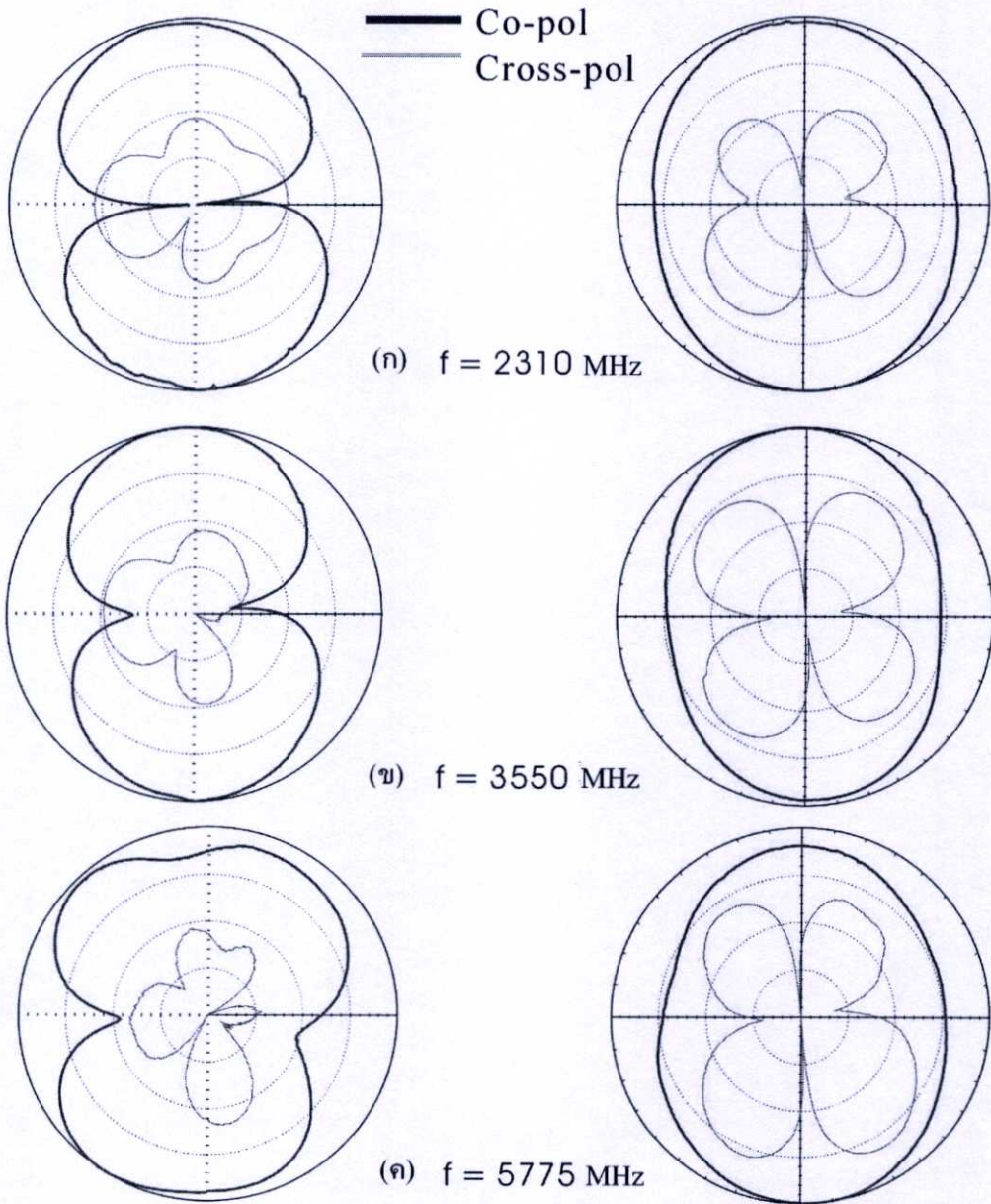


รูปที่ 2.18 ผลการเปรียบเทียบค่าการสูญเสียย้อนกลับระหว่างผลการจำลอง และการทดสอบของสายอากาศตามโครงสร้างในรูปที่ 2.47 เมื่อ $d = 8$ มิลลิเมตร และ $L = 16$ มิลลิเมตร [14]

โดยการปรับเปลี่ยนตำแหน่ง และระยะของเส้นปรกติของทั้งสองด้านช่วยให้ เหมาะกับการดำเนินการในย่านความถี่ที่กว้างของสายอากาศป้อนด้วยสายนำสัญญาณไมโครสตริปสำหรับการนำไปใช้งานในระบบ WiMAX อีกทั้งสามารถปรับเปลี่ยนให้มีคุณสมบัติที่ดีได้ด้วยการปรับแมตซ์อิมพีแดนซ์

รูปที่ 2.18 แสดงผลจากการทดสอบ และ การจำลองของค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศที่ได้นำเสนอในรูปที่ 2.47 ที่ $d = 8$ มิลลิเมตร และ $L = 16$ มิลลิเมตร โดยให้แบนด์วิดท์ 4040 เมกะเฮิร์ตซ์ โดยกำหนดค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ต่ำกว่า 10 dB ซึ่งได้ประมาณ 97.35 % ขณะที่ค่าแบนด์วิดท์ที่ได้ 97~98 % นั้นสรุปได้ว่าถ้า d และ L อยู่ในระยะ 8~9 มิลลิเมตร และ

15-16 มิลลิเมตรตามลำดับ คุณลักษณะที่ได้แสดงนี้คือขอบเขตของการสร้างจากการออกแบบ ในรูปที่ 2.19 แสดงถึงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ความถี่ 2130 เมกะเฮิร์ตซ์ ความถี่ 3550 เมกะเฮิร์ตซ์ ความถี่ 5775 เมกะเฮิร์ตซ์ ในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก ในรูปที่ 2.19 แสดงการทดสอบผลของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ย่านความถี่ใช้งานของระบบ WiMAX ลักษณะคล้ายกับผลงานวิจัยที่เคยมีมาก่อน ด้วยค่าอัตราขยายสูงสุดภายในช่วงที่ใช้งานจากการทดสอบเฉลี่ย 4-6 dBi ในช่วงความถี่ 2.3 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 5.8 กิกะเฮิร์ตซ์ สำหรับระบบ WiMAX



รูปที่ 2.19 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจากการทดสอบที่ความถี่ (ก) 2130 เมกะเฮิร์ตซ์ (ข) 3550 เมกะเฮิร์ตซ์ (ค) 5775 เมกะเฮิร์ตซ์ [14]

2.7.2.2 ข้อสรุป

สายอากาศแบบช่องป้อนด้วยสายนำสัญญาณไมโครสตริปบนแผ่นวงจรพิมพ์ย่านความถี่กว้าง กับ เส้นปรสิค พิสูจน์ได้ว่าผลที่ได้แสดงออกนั้นสามารถนำมาใช้งานในระบบ WiMAX ได้อย่างเหมาะสม และค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดธ์ถูกกำหนดโดยให้มีค่าการสูญเสียย้อนกลับต่ำกว่า -10 dB ที่ความถี่กลาง 4040 เมกะเฮิร์ตซ์ให้แบนด์วิดธ์ประมาณ 97.35% แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบสองทิศทาง ซึ่งผลจากการทดสอบให้อัตราขยายต่ำกว่า 2 dBi ภายในระยะแบนด์วิดธ์อิมพีแดนซ์นี้ภายใต้ระบบ WiMAX

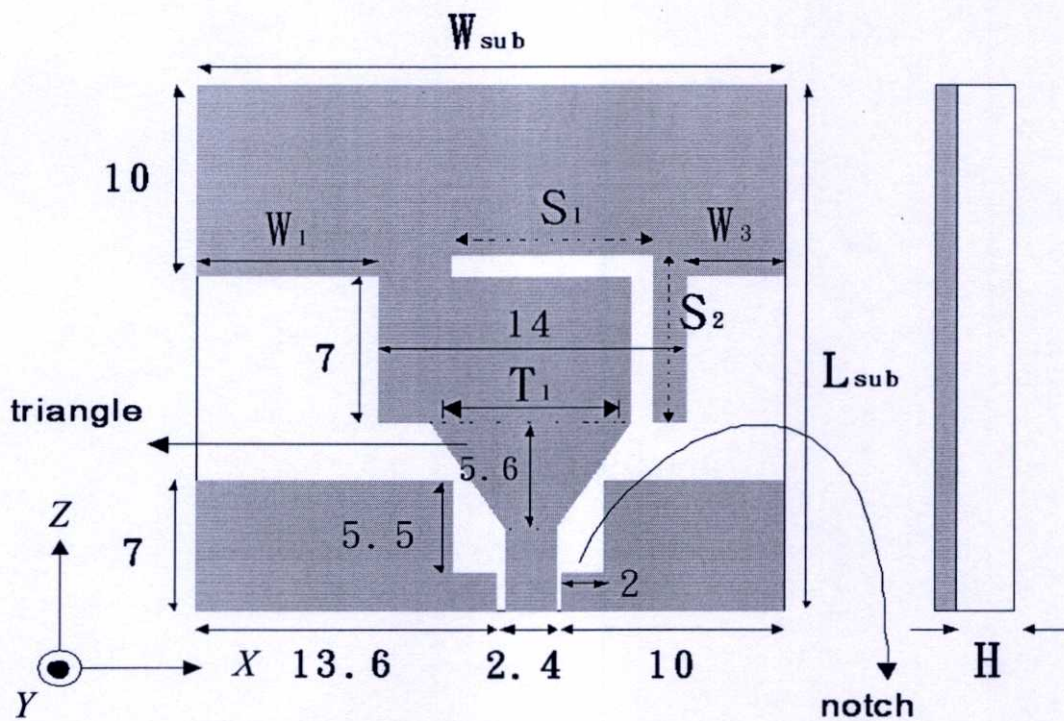
2.7.3 การออกแบบสายอากาศโมโนโพลรูปตัว T สำหรับสำหรับ WiMAX กับระนาบกราวด์ที่ไมเท่ากัน

สายอากาศแบบช่องบนแผ่นวงจรพิมพ์ป้อนด้วยสายนำสัญญาณไมโครสตริปที่ได้ นำเสนอนี้ นำเสนอโดย K. C. Yang [15] และ คณะ กับเทคโนโลยี WiMAX เป็นมาตรฐานการใช้งานกับเครือข่ายไร้สายไร้พรหมแดน หรือ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ IEEE 802.16a/d/e/2004 ในระยะที่ผ่านมารอกแบบของสายอากาศบางชนิดสำหรับ WiMAX ได้ถูกนำเสนอ และ เรียนรู้ในผลงานวิจัย เช่น การออกแบบของสายอากาศโมโนโพลป้อนด้วยท่อนำคลื่นระนาบร่วมบนแผ่นวงจรพิมพ์ หรือ การประยุกต์ใช้งานในระบบ WiMAX สามย่านความถี่ สายอากาศแบบช่องย่านความถี่กว้างบนแผ่นวงจรพิมพ์ซึ่งครอบคลุมความถี่ 1.85 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 5.83 กิกะเฮิร์ตซ์ การออกแบบสายอากาศที่มีโครงสร้างที่สลับซับซ้อนและมีขนาดใหญ่ สายอากาศย่านกว้างในระบบ หรือ แพล็กจ (AiSiP) สำหรับ WLAN และ WiMAX ในการดำเนินการสองเครือข่ายในช่วงความถี่ 2.4 กิกะเฮิร์ตซ์ และ 2.5 กิกะเฮิร์ตซ์ สายอากาศไดโพลบนแผ่นวงจรพิมพ์สองด้านสำหรับการประยุกต์ใช้ในเทคโนโลยี บลูทูธ และ WiMAX ในย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 2.7 กิกะเฮิร์ตซ์ และ 3.3 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 3.8 กิกะเฮิร์ตซ์ สายอากาศแบบบ่วงกับขนาดที่เล็ก ด้วยขนาด $26 \times 8 \times 3$ ลูกบาศก์มิลลิเมตร และ สายอากาศที่ให้แบนด์วิดธ์ 19.9 เปอร์เซ็นต์ (ความถี่ 2.26 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 2.76 กิกะเฮิร์ตซ์) และ 45.6 เปอร์เซ็นต์ (ความถี่ 4.03 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 6.4 กิกะเฮิร์ตซ์) คือ สิ่งที่ได้เคยถูกเสนอในการเรียนรู้ได้นำเสนอสายอากาศโมโนโพลป้อนด้วยท่อนำคลื่นระนาบร่วมขนาดเล็ก กับองค์ประกอบสองย่านความถี่ที่ถูกตัดออก โดยแทรกช่องตัดเป็นทางยาวรูปตัวแอลกลับหัวแบบแคบไปบนแผ่นแพร่กระจายคลื่น คุณสมบัติสองด้านที่ถูกตัดออกสามารถผลิตจากสายอากาศโมโนโพล ซึ่งนำไปสู่แบบของ สายอากาศสามย่านความถี่ การออกแบบของสายอากาศ และผลจากการทดสอบของสายอากาศที่ได้นำเสนอ นั้นคือสิ่งที่ได้เรียนรู้และศึกษาในผลงานวิจัยฉบับนี้

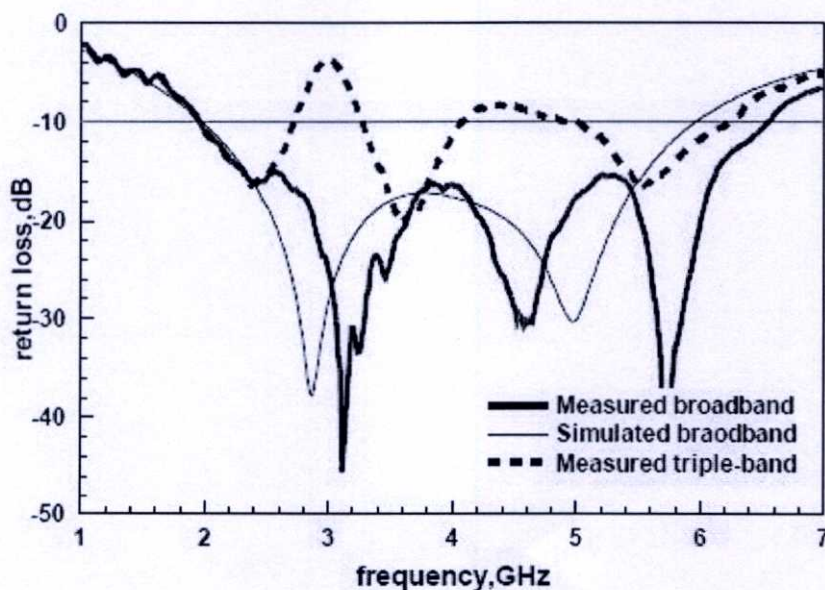
2.7.3.1 การออกแบบและผลการทดลอง

สายอากาศสามย่านความถี่บนแผ่นวงจรพิมพ์ที่ได้ นำเสนอ สำหรับ การประยุกต์ในระบบ WiMAX ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 2.20 สายอากาศสร้างขึ้นจากแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยวัสดุฐานรองชนิด FR4 มีค่าความยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ $\epsilon_r = 4.4$ และมีความหนา $H = 0.8$ มิลลิเมตร มีขนาด

28×26.4 ตารางมิลลิเมตร ป้อนด้วยท่อนำคลื่นระนาบร่วมซึ่งมีอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม กับการคงไว้ซึ่งขนาดความกว้างของสายนำสัญญาณไว้ที่ 2.4 มิลลิเมตร และ ระยะห่างของช่องว่างจากจุดป้อน 0.2 มิลลิเมตร ความกว้างของจุดป้อนรูปสี่เหลี่ยมคางหมูเส้น T_1 คือ 9 มิลลิเมตร



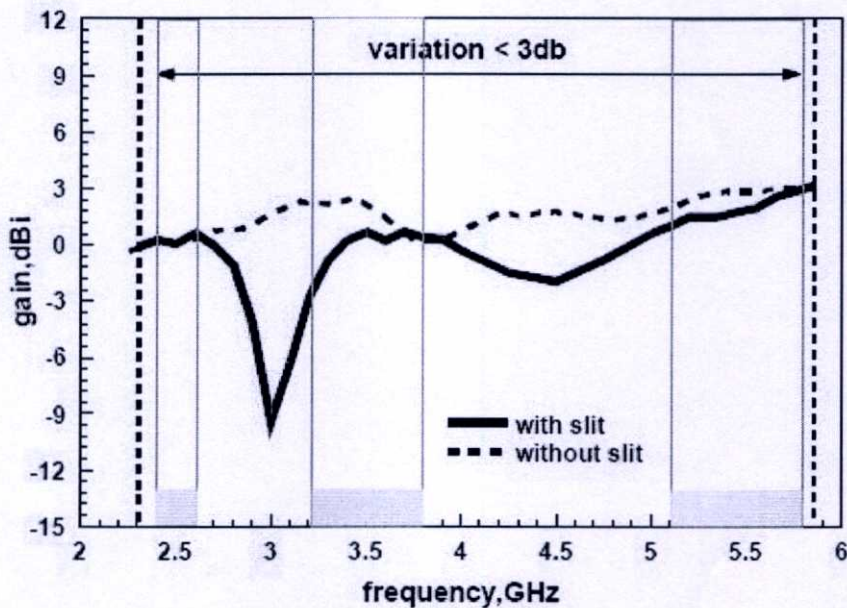
รูปที่ 2.20 โครงสร้างของสายอากาศที่ได้เสนอ ในหน่วยมิลลิเมตร [15]



รูปที่ 2.21 ผลการทดสอบ และการจำลองค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ [15]

คุณสมบัติด้านความถี่กว้างของสายอากาศถูกปรับเปลี่ยนให้เหมาะสม แผ่นแพร์กระจายคลื่นรูปสี่เหลี่ยมได้ทำการเลือกกำหนดขนาดไว้ที่ 8×14 ตารางมิลลิเมตรตั้งอยู่ตำแหน่งตรงกลางด้านบน

ของแผ่นแพร่กระจายคลื่นรูปสี่เหลี่ยมเป็นส่วนที่ยื่นออกไปเป็นแบบโมโนโพลรูปทรงตัว T ระยะของ W_1 และ W_3 คือสิ่งที่ถูกใช้ในการปรับเปลี่ยนไปสู่การแมตช์อิมพีแดนซ์ที่ดีของสายอากาศที่ได้นำเสนอ และได้ขนาดที่ดีที่สุด 8 มิลลิเมตร และ 4 มิลลิเมตร หลังจากนั้นได้ตัดออกสองส่วนโดยขนาดที่เหมาะสมคือ 5.5×2 ตารางมิลลิเมตร บนส่วนขอบของระนาบกราวนด์ การปรับแต่งนี้นำไปสู่แบนด์วิดท์อิมพีแดนซ์ที่เลื่อนออกไปในด้านความถี่ต่ำ ความกว้างของระนาบกราวนด์ เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับคุณสมบัติความกว้างของแบนด์วิดท์ และความสูงของระนาบกราวนด์ทั้งสองด้านคงไว้ให้เป็น 7 มิลลิเมตร การปรับเปลี่ยนความถี่ที่ดีที่สุดนี้อยู่ใน ระยะ 10 มิลลิเมตร และ 13.6 มิลลิเมตร ดังนั้นยังเหมาะที่จะนำไปใช้ในย่านความถี่บรอดแบนด์ นอกจากนี้ยังใส่ช่องเป็นทางยาวรูปตัว L กลับหัวแบบแคบ ($S_1 + S_2$) ที่ตำแหน่งที่เหมาะสม เพื่อให้เข้าคุณลักษณะสำหรับการตัดย่านความถี่สองย่านสามารถนำไปใช้ได้กับการใช้งานสำหรับ WiMAX

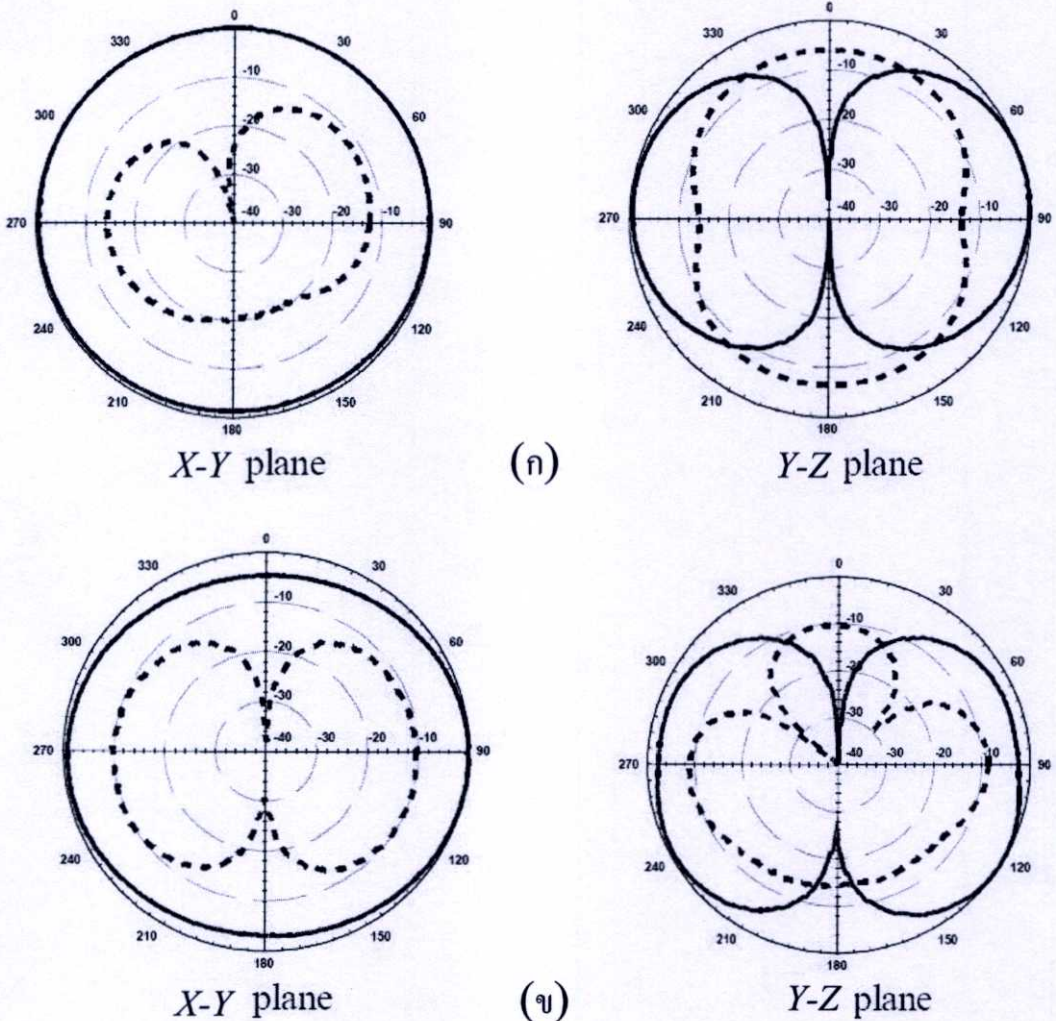


รูปที่ 2.22 อัตราขยายของสายอากาศจากการทดสอบของสายอากาศกับการไม่มีช่องเป็นทางยาวในระนาบ $y-z$ [15]

2.7.3.2 ผลการทดลอง และ ข้อเสนอแนะ

รูปที่ 2.21 แสดงผลจากการทดสอบ และการจำลอง ของค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ แบนด์วิดท์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศย่านบรอดแบนด์ที่ไม่มีช่องทางยาว สามารถใช้งานได้จากความถี่ 1.96 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 2.17 กิกะเฮิรตซ์ ความถี่ 3.26 กิกะเฮิรตซ์ ถึง กิกะเฮิรตซ์ และ ความถี่ 5.03 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 6.24 กิกะเฮิรตซ์ สายอากาศที่ได้นำเสนอกับคุณสมบัติการตัดออกสองย่านความถี่ตามมาตรฐานการประยุกต์ใช้ในระบบ WiMAX ในรูปที่ 2.22 แสดงอัตราขยายสูงสุดจากการทดสอบจากความถี่ 2.2 กิกะเฮิรตซ์ ถึงความถี่ 6 กิกะเฮิรตซ์ สำหรับสายอากาศย่านความถี่บรอดแบนด์ และ สายอากาศสามย่านความถี่ ในการทดสอบอัตราขยายของ

สายอากาศบรอดแบนด์ได้อัตราขยาย 0.14 dBi ถึง 2.97 dBi ในย่านความถี่ WiMAX และ อัตราขยายจากการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ได้ต่ำกว่า 3 dBi ในรูปที่ 2.23 แสดงผลจากการทดสอบ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศสามย่านความถี่ ที่ความถี่ 2.5 กิกะเฮิรตซ์ และ ความถี่ 5.5 กิกะเฮิรตซ์ ทั้งในระนาบ $y-z$ และ ระนาบ $x-y$ ตามลำดับ ให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบ รอบตัวแม้กระทั่งความถี่ที่สูงกว่าในระนาบ $x-y$ เป็นลักษณะคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นที่ดี



รูปที่ 2.23 ผลจากการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่สนามระยะไกล ของ สายอากาศสาม ย่านความถี่ในระนาบ $x-y$ และ $y-z$ ที่ (ก) ความถี่ 2.5 กิกะเฮิรตซ์ (ข) ความถี่ 5.5 กิกะ เฮิรตซ์ [15]

2.7.3.3 สรุป

ในการออกแบบผลงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบสำหรับสายอากาศรูปตัว T สามย่าน ความถี่บรอดแบนด์สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้กับระบบ WiMAX ขนาดของสายอากาศ คือ 28×26.4 ตารางมิลลิเมตร พารามิเตอร์ในส่วนที่ใช้ในการตัดความถี่ออก ผ่านการ แพร่กระจายคลื่นนั้นได้มาจากการศึกษา และ วิเคราะห์ นอกจากนี้ได้ใช้การใส่ช่องทางยาวรูปตัว

แอลกลับหัวแคบๆบน โมโนโพลรูปตัวที ซึ่งให้ผลลัพธ์คือสามารถตัดสองย่านความถี่ออกไปได้ สายอากาศที่นำเสนอนี้มีขนาดกะทัดรัด และ ให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ดีเหมาะสำหรับการนำไปใช้งานในระบบ WiMAX

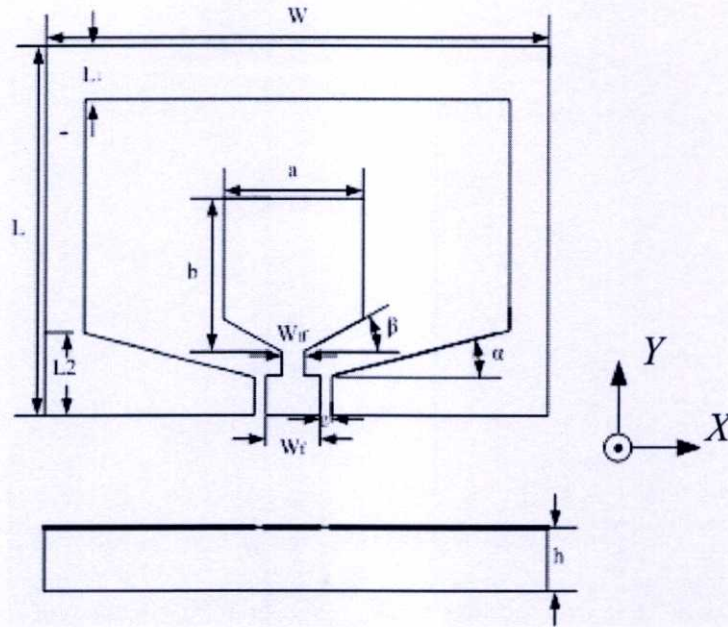
2.7.4 สายอากาศแบบช่องแบบกะทัดรัดกับการป้อนด้วยท่อนำคลื่นระนาบร่วม สำหรับ การประยุกต์ใช้กับมาตรฐาน IEEE 802.16-2004

สายอากาศแบบช่องบนแผ่นวงจรพิมพ์ป้อนด้วยสายนำสัญญาณ โมโครสตริปที่ได้ นำเสนอนี้ นำเสนอโดย D. B. Lin [16] และ คณะ ในผลงานวิจัยฉบับนี้นำเสนอสายอากาศแบบช่อง ย่านความถี่กว้างกับท่อนำคลื่นระนาบสำหรับการประยุกต์ใช้กับมาตรฐาน IEEE 802.16-2004 คือ สิ่งที่ได้นำเสนอในผลงานวิจัยฉบับนี้ โดยเริ่มต้นด้วยระนาบกราวด์ เส้นที่ใช้ป้อนสัญญาณแบบ แคบ และ ตัวนำที่ทำมุมเป็นมุมเอียง ไปถึงค่าที่เหมาะสมของแบนด์วิดธ์อิมพีแดนซ์ในช่วงระยะ ความถี่จาก 2.15 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 5.83 กิกะเฮิรตซ์ ($S_{11} < -10\text{dB}$) สายอากาศที่ได้นำเสนอนี้กับ ย่านความถี่บรอดแบนด์ และมีขนาดที่เล็กสามารถนำไปใช้ได้กับผลิตภัณฑ์ของ WLAN หรือการ ประยุกต์ใช้ในระบบ WiMAX

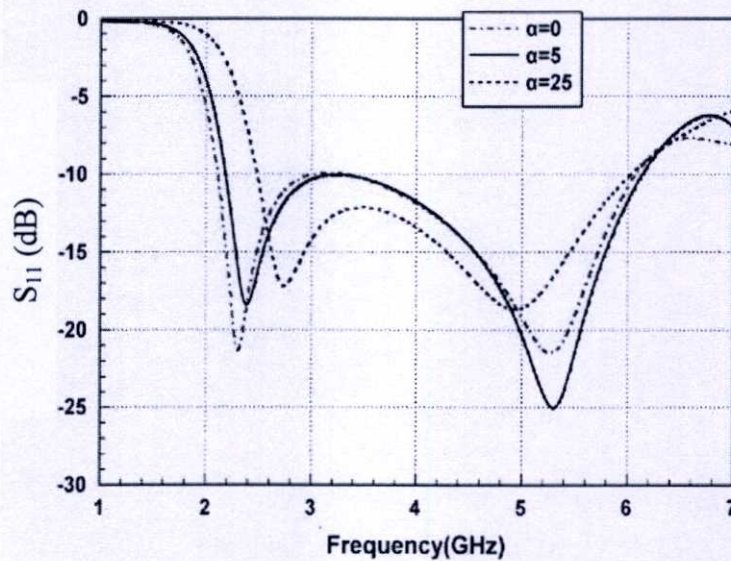
ในปี 1969 โครงสร้างของท่อนำคลื่นระนาบร่วมได้ถูกนำเสนอครั้งแรกโดย C. P. Wen มีการถูกนำไปประยุกต์อย่างกว้างใน วงจรรวมไมโครเวฟ (MICs) และ วงจรรวมไมโครเวฟโมโน ลิธิค (MMICs) ในช่วงที่ผ่านมามันถูกนำไปประยุกต์ใช้กับสายอากาศระนาบบนแผ่นวงจรพิมพ์ เหมาะสมด้วยข้อดีที่มากมาย เช่น ให้ค่าการสูญเสียของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นต่ำ สามารถ ควบคุมประสิทธิภาพคุณสมบัติของอิมพีแดนซ์ และ ง่ายต่อการผสมผสานกับอุปกรณ์ที่ เคลื่อนไหวได้ เนื่องจากคุณสมบัติของสายอากาศย่านความถี่กว้าง บางตัวถูกออกแบบด้วยการ ป้อนด้วยท่อนำคลื่นระนาบร่วมกับช่องกว้างแบบสี่เหลี่ยม ช่องวงกลม ช่องลักษณะแบบหุกระต่าย และ ช่องแบบผสม เกี่ยวเนื่องไปถึงแบนด์วิดธ์อิมพีแดนซ์โดยแบบช่องที่แตกต่างกันนี้สามารถ ครอบคลุมแบนด์วิดธ์อิมพีแดนซ์ได้ถึง 34 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ ยิ่งไปกว่านั้นสายอากาศแบบย่าน ความถี่บรอดแบนด์บางอันที่เกิดขึ้นใหม่สามารถให้แบนด์วิดธ์อิมพีแดนซ์ถึง 81.5 เปอร์เซ็นต์ และ 94 เปอร์เซ็นต์

2.7.4.1 โครงสร้างของสายอากาศและผลการวิเคราะห์

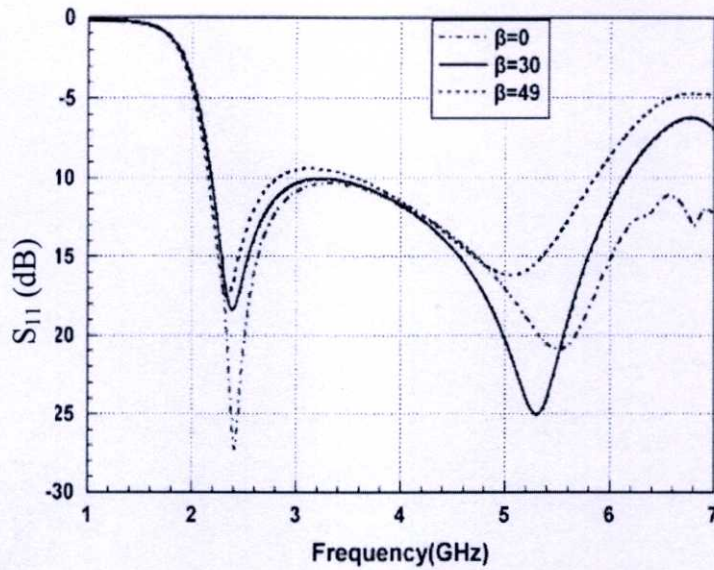
โครงสร้างของสายอากาศที่ได้นำเสนอขึ้นนี้แสดงอยู่ในรูปที่ 2.24 ดังจะเห็นได้ว่า สายอากาศป้อนด้วยท่อนำคลื่นระนาบร่วมที่มีอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม ด้วยความกว้าง 2.5 มิลลิเมตร W_f และ ความกว้างของระยะช่องคือ 0.3 มิลลิเมตร (g) โครงสร้างของสายอากาศถูกสร้างให้มี ความสมมาตรกันบนวัสดุฐานรอง FR4 ด้วยความหนา 1.6 มิลลิเมตร และมีค่าสภาพยอมไฟฟ้า สัมพัทธ์ ($\epsilon_r = 4.4$) บนขนาด 20×20 ตารางมิลลิเมตร ประกอบกับพารามิเตอร์ $L1 = 2$ มิลลิเมตร $L2 = 3$ มิลลิเมตร มีมุม $\alpha = 5^\circ$ $\beta = 30^\circ$ และ $W_f = 1$ มิลลิเมตร มีความลาดเอียง ของตัวนำด้านนอกคือ α และ มุมลาดเอียงภายในของตัวนำคือ β และ สายนำสัญญาณที่ใช้ป้อน ในช่องแคบคือ W_f



รูปที่ 2.24 โครงสร้างของสายอากาศที่นำเสนอ ($W = 25$ มิลลิเมตร $L = 20$ มิลลิเมตร $L_1 = 2$ มิลลิเมตร $L_2 = 4$ มิลลิเมตร $a = 8$ มิลลิเมตร $W_f = 1$ มิลลิเมตร $W_r = 2.5$ มิลลิเมตร $g = 0.3$ มิลลิเมตร $\alpha = 5^\circ$ และ $\beta = 30^\circ$) [16]

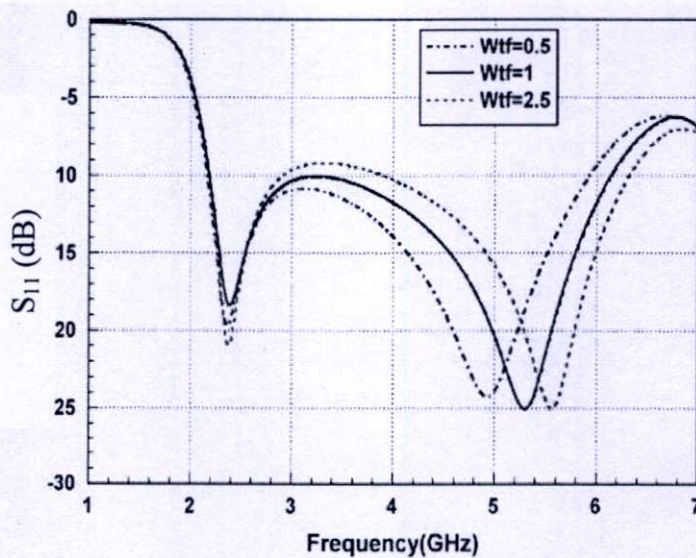


รูปที่ 2.25 ผลจากการจำลองค่าการสูญเสียย้อนกลับที่มุม α [16]

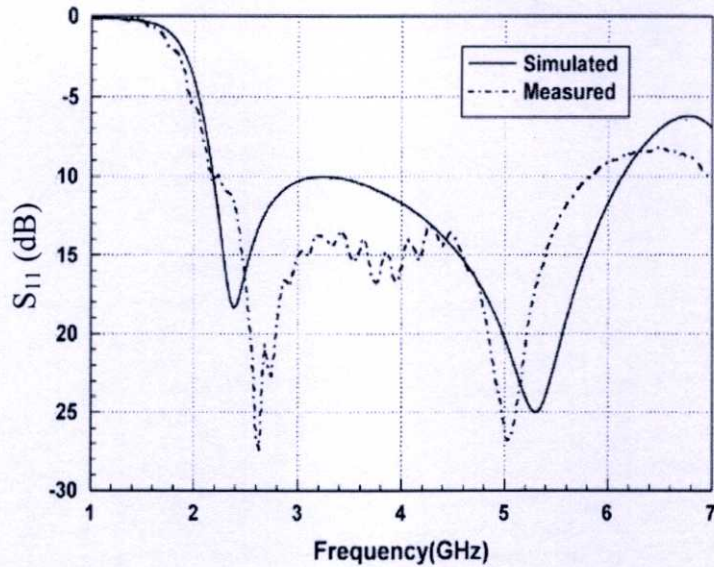


รูปที่ 2.26 ผลจากการจำลองการสูญเสียย้อนกลับที่มุม β [16]

ในรูปที่ 2.25 แสดงถึงแนวโน้มการเปลี่ยนของพารามิเตอร์ α ในขณะที่เพิ่มมุม α ขึ้น ขอบความถี่ของ f_H จะได้มากขึ้นแต่ขอบความถี่ของ f_L จะต่ำลง จากรูปที่ 2.56 แสดงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ β ขณะที่ β เพิ่มขึ้นขอบความถี่ f_H จะลดลงในขณะที่ขอบความถี่ของ f_L จะเลื่อนเพียงเล็กน้อย จากรูปที่ 2.27 แสดงแนวโน้มของการเปลี่ยนพารามิเตอร์ W_f ขณะที่ W_f ลดลงในขอบความถี่ f_L เกือบจะเหมือนเดิม แต่ในขอบความถี่ f_H มีการเพิ่มขอบเขตที่มากขึ้นที่ละน้อยคือได้แบนด์วิดท์ที่มากขึ้น ในการเพิ่มขึ้นที่สูงกว่าของความถี่เรโซแนนซ์นั้นพอเพียงต่อความถี่เรโซแนนซ์ที่กำหนดไว้

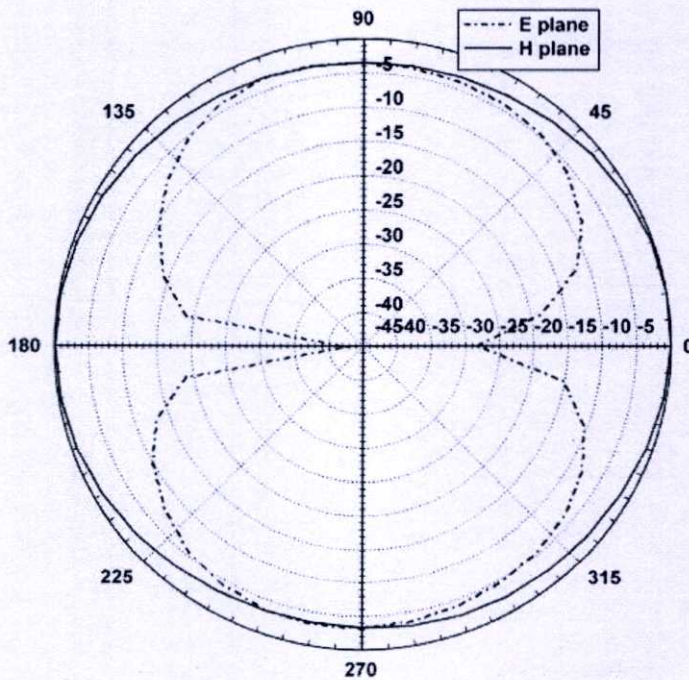


รูปที่ 2.27 ผลจากการจำลองการสูญเสียย้อนกลับที่ W_f [16]

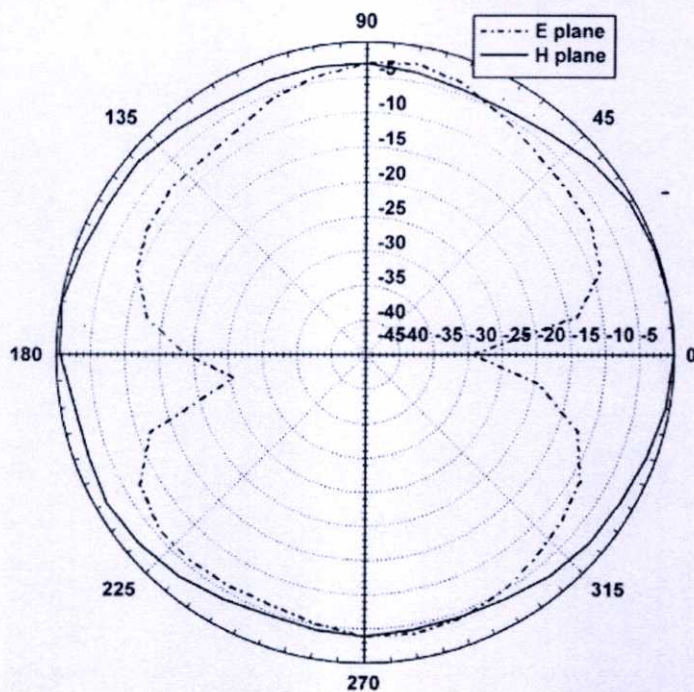


รูปที่ 2.28 ผลจากการจำลอง และ การทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับ [16]

สิ่งเพิ่มเติมคือการเพิ่มความกว้างของตัวนำส่วนด้านบนด้านนอกสามารถปรับอิมพีแดนซ์ให้เกิดการแมตช์ของความถี่ที่ได้มากกว่า ในรูปที่ 2.28 แสดงถึงผลจากการทดสอบ และการจำลองของค่าแบนด์วิดท์อิมพีแดนซ์บ่งบอกได้ว่ามีความสอดคล้องกันดี โดยแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจากการจำลองที่ความถี่ 2.39 กิกะเฮิรตซ์ และ 5.29 กิกะเฮิรตซ์ ในระนาบสนามไฟฟ้า และ ระนาบสนามแม่เหล็ก แสดงไว้ในรูปที่ 2.29



(ก)



(ก)

รูปที่ 2.29 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจากการจำลองของสายอากาศที่นำเสนอที่ความถี่ (ก) 2.39 กิกะเฮิรตซ์ (ข) 5.29 กิกะเฮิรตซ์ [16]

2.7.4.2 สรุป

ในผลงานวิจัยฉบับนี้เป็นสายอากาศที่จัดได้ว่ามีขนาดเล็ก และ ได้ทำการปรับแมตซ์ซิมพีแดนซ์ โดยได้ทำการปรับระนาบกราวนด์ ช่องแคบของสายนำสัญญาณ และความลาดเอียงของตัวนำด้านใน โดยการใช้เทคนิคที่นอกเหนือจากที่กล่าว เพื่อให้แบนด์วิดธ์อิมพีแดนซ์เหมาะสมต่อการใช้งาน ขนาดทั้งหมดของสายอากาศที่ได้นำเสนอนี้คือ $25 \times 20 \times 16$ ลูกบาศก์มิลลิเมตร ให้แบนด์วิดธ์ 92 เปอร์เซ็นต์ และมีขนาดที่เล็กเหมาะสมกับการนำไปใช้งานสำหรับผลิตภัณฑ์การประยุกต์ใช้งานของระบบ WLAN และ WiMAX

2.8 บทสรุป

เนื่องจากมาตรฐานความถี่ที่ถูกนำมาใช้งานในเทคโนโลยี WLAN และ WiMAX มีอยู่ด้วยกันหลายความถี่จะเห็นได้ว่าได้มีการใช้งานอยู่ 3 ช่วงความถี่แรกคือ 2.3 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 2.7 กิกะเฮิรตซ์ ช่วงความถี่ที่สองคือ 3.3 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 3.7 กิกะเฮิรตซ์ และ ช่วงความถี่สุดท้ายคือ 5.2 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 5.85 กิกะเฮิรตซ์ ระยะห่างจากช่วงความถี่แรกถึงย่านความถี่ที่สอง คือ 600 เมกะเฮิรตซ์ ระยะห่างจากช่วงความถี่ที่สองถึงย่านความถี่สุดท้ายคือ 500 เมกะเฮิรตซ์ซึ่งระยะห่างของแต่ละความถี่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ถ้ามองโดยภาพรวมแล้วจะเห็นได้ว่าจะถูกใช้งานตั้งแต่ช่วงความถี่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 5.85 กิกะเฮิรตซ์ มีแถบความถี่ 3.55 กิกะเฮิรตซ์ ถ้าเทียบกับแถบความถี่

ที่ใช้ในช่วงความถี่ 2.3 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 2.4 กิกะเฮิร์ตซ์ ของ เทคโนโลยี WiMAX มีแถบ 100 เมกะเฮิร์ตซ์ จะมีความกว้างของแถบความถี่มากกว่า 35.5 เท่า โดยช่วงความถี่ดังกล่าวถูกนำมาใช้ในการออกแบบสายอากาศในลำดับต่อไป

- สายอากาศป้อนด้วยสายนำสัญญาณไมโครสตริปมีอยู่หลายประเภทขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งานและแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น เบื้องต้นจะใช้หลักการในการออกแบบคล้ายคลึงกัน โดยเริ่มจากการคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ที่แมตซ์ในสายนำสัญญาณไมโคร สตริป โดยที่สายอากาศแผ่นวงกลมใช้วิธีจำลองค่าที่ดีในการคำนวณหารัศมีเบื้องต้นเพื่อออกแบบสายอากาศที่ต้องการโดยสาเหตุที่ทำการออกแบบแผ่นการแพร่กระจายคลื่นแบบวงกลมเนื่องจากสามารถปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ได้ง่าย และมีผลงานวิจัยที่ได้ทำการออกแบบเป็นสายอากาศโมโนโพลบนแผ่นวงจรพิมพ์แผ่นวงกลมย่านความถี่กว้างยิ่งยวด [19] โดยใช้แผ่นการแพร่กระจายเป็นลักษณะวงกลมจึงเป็นแนวความคิดในการออกแบบโครงสร้างของสายอากาศที่มีแผ่นการแพร่กระจายคลื่นแบบวงกลม โดยจะคำนวณจากความถี่ที่ปฏิบัติการที่ความถี่กลางคือ 4 กิกะเฮิร์ตซ์ซึ่งปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับการใช้งานในระบบที่ ค่ายทฤษฎีจากบทนี้จะถูกนำไปใช้ในการวิเคราะห์ในการสร้างสายอากาศในบทที่ 3

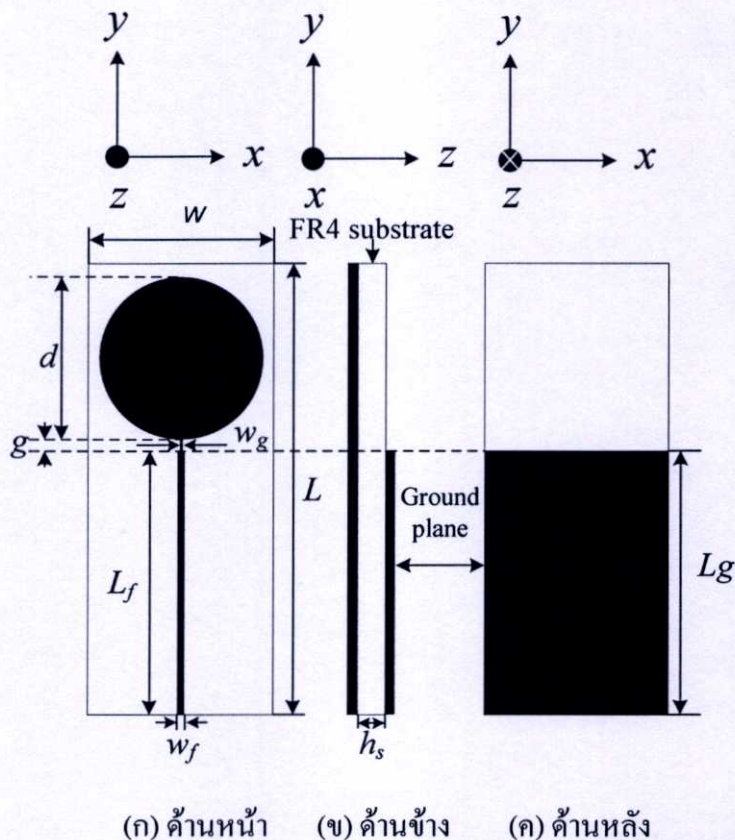
บทที่ 3

การวิเคราะห์ และการสร้างสายอากาศ

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีในการคำนวณสำหรับสายอากาศไมโครสตริปจากบทที่ 2 จากนั้นทำการจำลองผลเพื่อศึกษาถึงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของสายอากาศจากโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO® เพื่อปรับปรุงสมรรถนะของสายอากาศที่จะสร้างขึ้น ซึ่งนำไปสู่การสร้างสายอากาศย่านกว้างบนแผ่นวงจรพิมพ์สำหรับการประยุกต์ใช้งานกับเทคโนโลยี WLAN และ WiMAX

3.2 โครงสร้างของสายอากาศ



รูปที่ 3.1 โครงสร้างสายอากาศย่านกว้างบนแผ่นวงจรพิมพ์สำหรับการประยุกต์ใช้งานกับเทคโนโลยี WLAN และ WiMAX

จากรูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างของสายอากาศย่านความถี่กว้างบนแผ่นวงจรพิมพ์สำหรับการประยุกต์ใช้งานกับเทคโนโลยี WLAN และ WiMAX สร้างจากวัสดุฐานรองชนิด FR4 เนื้อ

สารเป็นอีพ็อกซี่ เป็นวัสดุซึ่งสามารถหาซื้อได้ทั่วไปในตลาดอิเล็กทรอนิกส์ และมีราคาถูก มีค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์หรือ $\epsilon_r = 4.3$ โดยกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ของสายอากาศที่ใช้ในการสร้าง

สัญลักษณ์	พารามิเตอร์
d	เส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นวงกลม
g	ระยะห่างระหว่างสายนำสัญญาณสูงสุดกับแผ่นวงกลม
h_s	ความสูงของวัสดุฐานรอง
L	ความสูงของแผ่นวงจรมิพ
L_f	ความสูงของสายนำสัญญาณ
L_g	ความสูงของระนาบกราวด์
W	ความกว้างของระนาบกราวด์
w_f	ความกว้างของสายนำสัญญาณ
w_g	ความกว้างของเส้นระยะห่างระหว่างเส้นสายนำสัญญาณสูงสุดกับแผ่นวงกลม

3.3 การปรับอิมพีแดนซ์และค่าการสูญเสียย้อนกลับ

3.3.1 สายอากาศเบื้องต้น

ในขั้นต้นของการออกแบบมุ่งเน้นเพื่อให้ได้สายอากาศย่านกว้างซึ่งครอบคลุมการใช้งานกับเทคโนโลยี WLAN และ WiMAX ทั้งหมด ขอบเขตของความถี่ที่ใช้งานตั้งแต่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 5.85 กิกะเฮิรตซ์ จากแผ่นการแพร่กระจายคลื่นแบบวงกลมซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ได้ง่ายกว่าแบบแผ่นสี่เหลี่ยมเพราะไม่ต้องคำนึงถึงด้านกว้าง และยาว เพียงใช้การปรับเปลี่ยนความกว้างของรัศมีวงกลมทำให้ลดจำนวนพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์

เนื่องจากสายอากาศที่จะทำการสร้างขึ้นนี้ป้อนด้วยสายนำสัญญาณ จึงทำการคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะที่ 50 โอห์มเป็นค่าเริ่มต้น โดยหาได้จากทฤษฎีอิมพีแดนซ์คุณลักษณะซึ่งมีความยาวเป็นอนันต์ จากสมการที่ (2.1) ถึง (2.6) ในบทที่ 2 โดยไม่คิดความหนาของตัวนำ (t) จึงได้สมการดังต่อไปนี้

$$W = w + \frac{t}{\pi} \left[\ln \left(\frac{2h}{t} \right) + 1 \right]$$

$$H = h - 2t$$

เมื่อไม่คิดความหนาของตัวนำ (t) ได้

$$W = w$$

และ

$$H = h = h_s$$

ถ้าต้องการอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ $Z_o = 50$ โอห์ม เมื่อ ความสูงของวัสดุฐานรอง $H = h_s$ คือ 0.75 มิลลิเมตร มีค่าสภาพความยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์เป็นของวัสดุฐานรอง $\epsilon_r = 4.3$ จากนั้นทำการแทนค่าลงในสมการที่ (2.1) ถึง (2.4) แล้วทำการเปลี่ยนแปลงค่าความกว้างของสายนำสัญญาณไมโครสตริปโดย $W = w_f$ ได้ค่าที่เหมาะสมซึ่งทำให้อิมพีแดนซ์คุณลักษณะ $Z_o = 50$ โอห์ม คือ 1.5 มิลลิเมตร ดังแสดงให้เห็นได้ดังนี้

เมื่อ $H = h_s$ และ $W = w_f$ ดังนั้นจึงได้ $\frac{w_f}{h_s} = \frac{1.5}{0.75} \geq 1$ ดังนั้นจึงเข้าเงื่อนไขของสมการที่ (2.3) ถึง (2.4) คำนวณได้ดังนี้

$$\text{เมื่อ } \frac{W}{H} \geq 1$$

$$Z_o = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \left\{ \frac{W}{H} + 1.393 + 0.667 \ln \left(\frac{W}{H} + 1.444 \right) \right\}^{-1} \quad \text{โอห์ม}$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2\sqrt{1 + 12\frac{W}{H}}}$$

คำนวณหา ϵ_{eff} โดยการแทนค่า $\epsilon_r = 4.3$ เมื่อ $H = h_s = 0.75$ มิลลิเมตร $W = w_f = 1.5$ มิลลิเมตร ลงในสมการที่ (2.4)

$$\epsilon_{eff} = \frac{4.3 + 1}{2} + \frac{4.3 - 1}{2\sqrt{1 + 12\frac{0.75}{1.5}}} = 3.2736$$

แทนค่า ϵ_{eff} ลงไปในสมการที่ 2.3 จะได้

$$Z_o = \frac{120\pi}{\sqrt{3.2736}} \left\{ \frac{1.5}{0.75} + 1.393 + 0.667 \ln \left(\frac{1.5}{0.75} + 1.444 \right) \right\}^{-1} = 49.4093 \quad \text{โอห์ม}$$

ซึ่งประมาณได้ใกล้เคียง 50 โอห์ม

จากนั้นทำการหาค่ารัศมีของของแผ่นวงกลม (r) โดยใช้ทฤษฎีการจำลองควาวิดีเป็นตัวกำหนดค่าเริ่มต้นของรัศมีจาก สมการที่ (2.7) ถึง (2.30) เริ่มต้นโดยใช้ในสมการที่ 2.29

เมื่อ

$$a = \frac{F}{\left\{1 + \left(\frac{2h}{\pi \epsilon_r F}\right) \left[\ln\left(\frac{\pi F}{2h}\right) + 1.7726 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}} \quad \text{เซนติเมตร}$$

และ

$$F = \frac{8.791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}}$$

เมื่อ f_r คือความถี่เรโซแนนซ์ ในที่นี้ใช้ความถี่ 4 กิกะเฮิรตซ์ เป็นความถี่เรโซแนนซ์เบื้องต้น เนื่องจากเป็นความถี่กลางของสายอากาศที่จะทำการออกแบบเมื่อ $\epsilon_r = 4.3$ จากนั้นแทนค่าลงไป ในสมการที่ 2.30 จะได้

$$F = \frac{8.791 \times 10^9}{4 \times 10^9 \sqrt{4.3}} = 1.0598$$

จากนั้นนำ F ที่ได้แทนลงในสมการที่ 2.29 ได้

$$a = \frac{1.0598}{\left\{1 + \left(\frac{2(0.75)}{\pi(4.3)(1.0598)}\right) \left[\ln\left(\frac{1.0598}{2(0.75)}\right) + 1.7726 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}} = 0.94 \quad \text{เซนติเมตร}$$

เมื่อ $a = r$ และ r คือรัศมีของแผ่นวงกลมแต่จากค่ารัศมีที่คำนวณมาได้นั้นยังคงไม่ใช่รัศมีที่แท้จริงเนื่องจากเป็นค่ารัศมีที่ยังไม่คิดค่าชดเชยดังนั้นในการหาค่ารัศมีที่คิดค่าชดเชยแล้วหรือรัศมีประสิทธิผลนั้นคำนวณได้จากสมการที่ 2.27

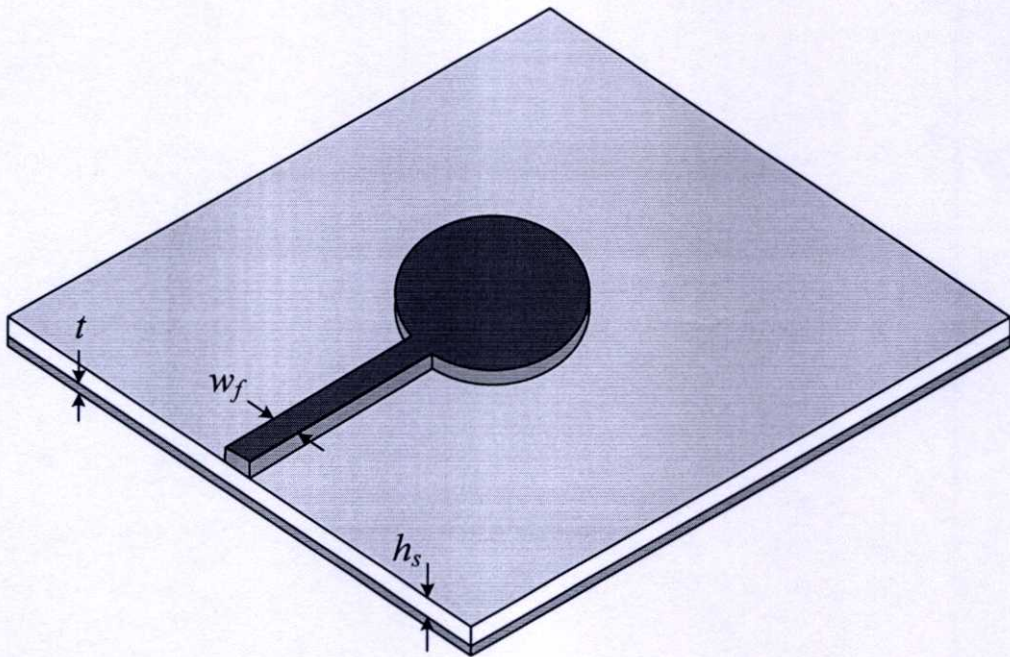
ดังนั้นเมื่อได้ค่า a ในสมการที่ (2.29) แล้วจึงนำค่ากลับมาแทนลงในสมการที่ (2.27) อีกครั้งดังสมการ

$$a_e = a \left\{ 1 + \frac{2h}{\pi a \epsilon_r} \left[\ln\left(\frac{2a}{2h}\right) + 1.7726 \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad \text{เซนติเมตร}$$

เมื่อ $a = r = 0.94$ เซนติเมตร ดังนั้นนำค่า a แทนลงในสมการที่ 2.27 ได้

$$a_e = 0.94 \left\{ 1 + \frac{2(0.75)}{\pi(0.94)(4.3)} \left[\ln \left(\frac{2(0.94)}{2(0.75)} \right) + 1.7726 \right] \right\}^{\frac{1}{2}} = 1.04 \quad \text{เซนติเมตร}$$

เมื่อได้ค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ และความกว้างของรัศมีแผ่นวงกลมจากการคำนวณโดยวิธีการจำลองควาวิตี้แล้วจึงนำค่าดังกล่าวไปทำการวิเคราะห์ในโปรแกรมจำลอง CST MICROWAVE STUDIO® เพื่อทำการวิเคราะห์ถึงผลกระทบและความสอดคล้องจากการคำนวณ



รูปที่ 3.2 โครงสร้างของสายอากาศเริ่มต้น

จากรูปเป็น โครงสร้างของสายอากาศเริ่มต้นที่นำไปใช้ในการวิเคราะห์ความสอดคล้องทางทฤษฎีจากการคำนวณเพื่อคู่ค่าการสูญเสียย้อนกลับ ด้วยโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO® ที่ความถี่เรโซแนนซ์ 4 กิกะเฮิร์ตซ์ เมื่อกำหนดให้รัศมีของแผ่นวงกลม $r = 10.4$ มิลลิเมตร จากคำนวณด้วยทฤษฎีการจำลองควาวิตี้ที่ได้ทำการคำนวณมา และคำนวณความกว้างของสายนำสัญญาณไมโครสตริปจากการคำนวณด้วยทฤษฎีค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะโดย $w_f = 1.5$ มิลลิเมตร และความสูงของสายนำสัญญาณหลักใช้ทฤษฎีของสายนำสัญญาณมาเป็นตัวกำหนด เมื่อปริมาณกระแสสูงสุดจุดแรกของแต่ละช่วงความยาวคลื่นจะเกิดขึ้นที่ระยะ $\frac{\lambda}{4}$ ประกอบกับเมื่อความถี่ต่ำข้อมให้ความยาวคลื่นที่ยาวโดยแปรผกผันกับความถี่ ดังนั้น จึงใช้ขอบเขตของความถี่ที่ต่ำที่สุดเป็นตัวกำหนดความสูงของสายนำสัญญาณที่ความถี่ 2 กิกะเฮิร์ตซ์

เมื่อ

$$\lambda_o = \frac{c}{f_o} \quad \text{เซนติเมตร} \quad (3.1)$$

ดังนั้นที่ความถี่ 2 กิกะเฮิรตซ์ ได้ค่า $\lambda_{2GHz} = 15$ เซนติเมตร และ $\frac{\lambda_{2GHz}}{4} = 3.75$ เซนติเมตร คือระยะที่ถูกกำหนดขึ้นต้นของความสูงของระนาบกราวด์และสายนำสัญญาณ

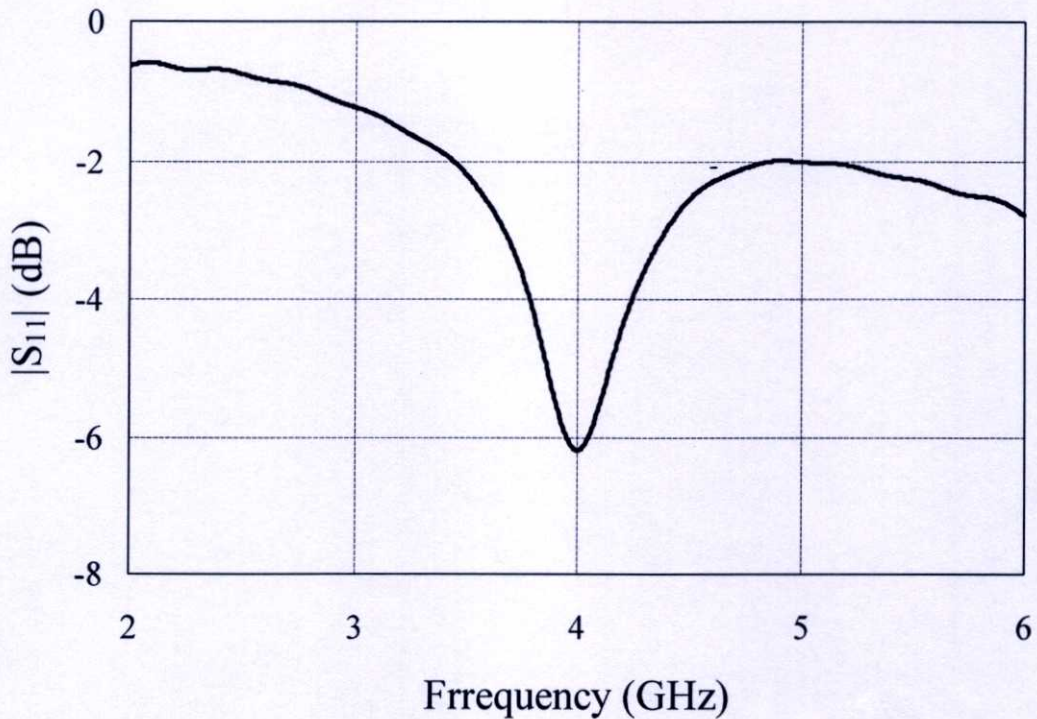
ในเรื่องของความกว้างของระนาบกราวด์เบื้องต้นทางอุดมคตินั้นจะต้องมีขนาดเป็นอนันต์ ในกรณีใช้กับสายอากาศโมโนโพลซึ่งมีแผ่นระนาบกราวด์แต่ในทางปฏิบัตินั้นไม่มีอยู่จริงแต่มีเงื่อนไขอยู่ว่าที่รัศมีที่ระยะความยาวคลื่น 5λ ก็เพียงพอกับเงื่อนไขในทางอุดมคติ หรือขนาดน้อยที่สุดที่ใกล้เคียงกับทางอุดมคติคือ $\frac{\lambda}{2}$ จึงถูกมาประยุกต์ใช้ในเบื้องต้นกับตัวสายอากาศที่ได้ทำการออกแบบ โดยกำหนดความกว้างของระนาบกราวด์โดยใช้ความถี่สูงสุดที่จะทำการออกแบบ คือ 6 กิกะเฮิรตซ์ เป็นเงื่อนไขเริ่มต้น ดังนั้นจึงคำนวณความกว้างของระนาบกราวด์ได้ดังสมการที่ 3.1

$$2\left(\frac{\lambda_{6GHz}}{2}\right) = 5 \quad \text{เซนติเมตร}$$

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ของสายอากาศเริ่มต้น

พารามิเตอร์	ขนาด (มิลลิเมตร)
d	20.8
h_s	0.75
L	75
L_f	37.5
L_g	75
W	50
w_f	1.5

โดยตารางที่ 3.2 ถึงพารามิเตอร์ของสายอากาศเริ่มต้นเพื่อดูความสอดคล้องของทฤษฎีการจำลองควาวิดี และ อิมพีแดนซ์คุณลักษณะ

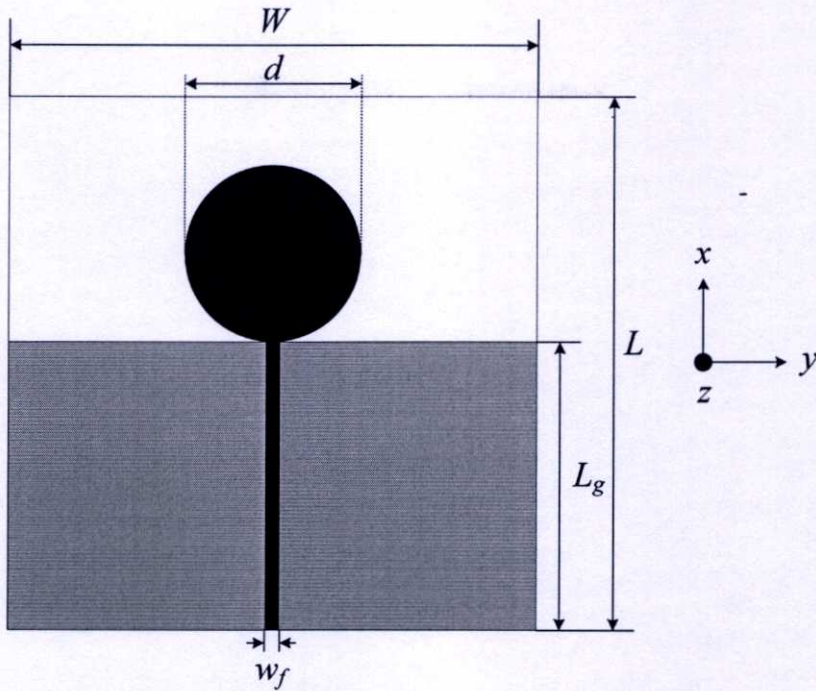


รูปที่ 3.3 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศเริ่มต้น

จากรูปที่ 3.3 แสดงค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศเริ่มต้นจะเห็นได้ว่ามีความถี่เรโซแนนซ์เกิดขึ้นที่ความถี่ 4 กิกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งเป็นความสอดคล้องที่เกิดขึ้นจากการนำทฤษฎีอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ และ ทฤษฎีในการคำนวณการจำลองควาวิตี้ที่คำนวณไว้ที่ความถี่ 4 กิกะเฮิร์ตซ์ มาใช้ในการออกแบบเบื้องต้น

3.3.2 สายอากาศเมื่อทำการปรับความสูงของระนาบกราวด์

จากนั้นทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์เพื่อปรับเปลี่ยนให้ค่าที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้งานซึ่งจากการวิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพของสายอากาศเริ่มต้น ในรูปที่ 3.2 จะเห็นได้ว่ามีแผ่นของระนาบกราวด์ปกคลุมอยู่ในแนวด้านหลังของแผ่นวงกลมแพร่กระจายคลื่น สนามที่พุ่งออกไปจะออกไปได้ในทิศทางเดียวคือด้านหน้าจะให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียว แต่ในการประยุกต์ใช้งานมีความต้องการให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นออกได้รอบตัว ดังนั้นจึงลดความสูงของระนาบกราวด์มาเท่ากับความสูงของสายนำสัญญาณเพื่อให้เกิดการแพร่กระจายคลื่นได้รอบตัว และเพื่อปรับอิมพีแดนซ์ของสายอากาศให้เกิดการแมตช์ในย่านที่กว้างขึ้น โดยโครงสร้างของสายอากาศเมื่อลดความสูงของระนาบกราวด์แสดงไว้ในรูปที่ 3.4

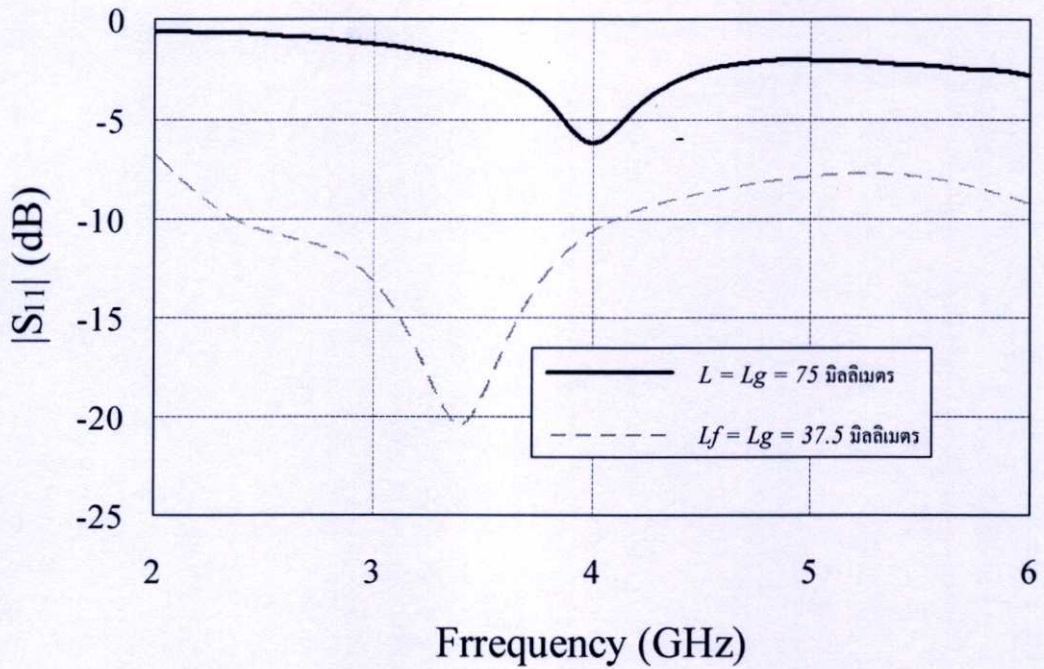


รูปที่ 3.4 โครงสร้างของสายอากาศเริ่มต้นเมื่อ $L_g = L_f = 37.5$ มิลลิเมตร

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์ของสายอากาศเมื่อทำการปรับระนาบกราวนด์

พารามิเตอร์	ขนาด (มิลลิเมตร)
d	20.8
g	0
L	75
L_f	37.5
L_g	37.5
W	50
w_f	1.5
h_s	0.75

จากรูปที่ 3.5 คือค่าการสูญเสียย้อนกลับจากการปรับความสูงของระนาบกราวนด์เท่ากับ ความสูงของสายนำสัญญาณเมื่อ $L_g = L_f = 37.5$ มิลลิเมตร และความกว้างของระนาบกราวนด์ $W = 2\left(\frac{\lambda_{6GHz}}{2}\right) = 50$ มิลลิเมตร จากการเปรียบเทียบกันจะเห็นได้ว่าค่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อ $L_g = L_f$ นั้นเริ่มมีค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ให้ค่าต่ำกว่า -10 dB เป็นย่านที่กว้างขึ้นคือตั้งแต่ 2.38 ถึง 4.218 กิกะเฮิร์ตซ์ ได้แถบความถี่ 1.838 กิกะเฮิร์ตซ์ และมีทิศทางของความถี่เรโซแนนซ์สูงสุด เลื่อนเข้าหาความถี่ 2 กิกะเฮิร์ตซ์

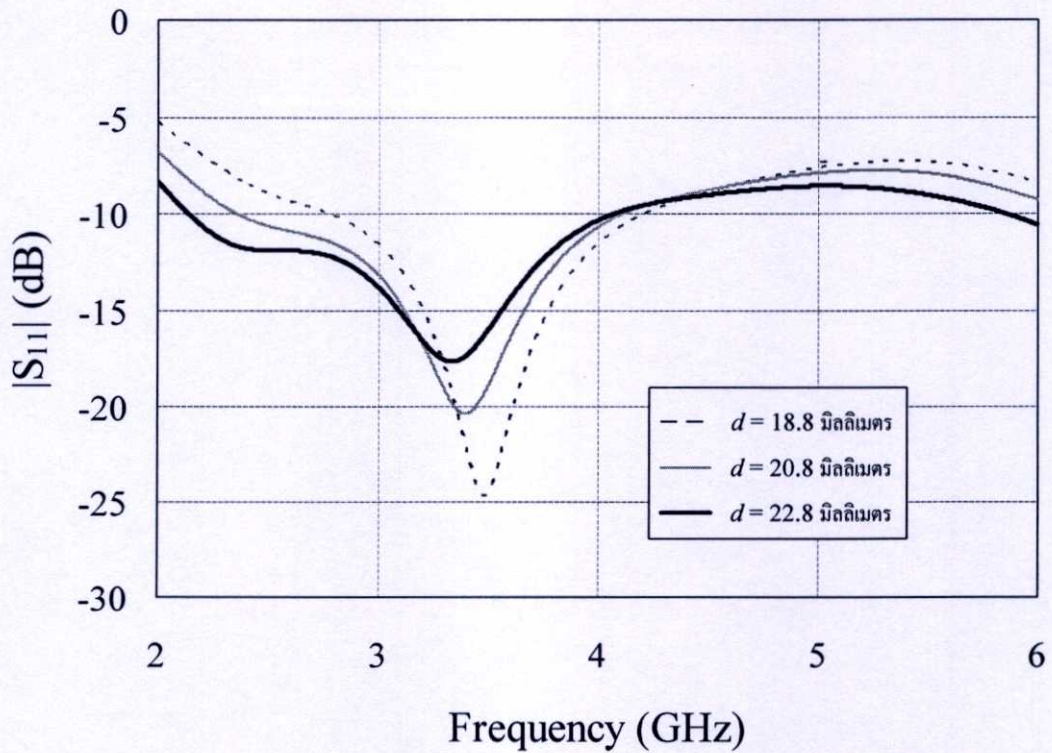


รูปที่ 3.5 ค่าการสูญเสียย้อนกลับเปรียบเทียบระหว่าง $L_g = L = 75$ มิลลิเมตร กับ

$L_g = L_f = 37.5$ มิลลิเมตรและความกว้างของระนาบกราวด์เท่ากับ 50 มิลลิเมตร

3.3.3 สายอากาศเมื่อทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ d

จากแนวโน้มของอิมพีแดนซ์ที่เกิดการแมตช์นั้นมีแนวโน้มไปในทางความถี่ 2 กิกะเฮิรตซ์ ดังนั้นจึงเริ่มทำการวิเคราะห์ต่อเพื่อปรับอิมพีแดนซ์ในด้านความถี่ต่ำให้เกิดการแมตช์ของอิมพีแดนซ์เสียก่อน โดยมีขอบเขตของการปรับที่ยังคงให้ที่ความถี่กลาง หรือ ความถี่ 4 กิกะเฮิรตซ์ ยังคงแมตช์อยู่โดยการคำนวณการจำลองควิตีมันั้นพบว่าเมื่อความถี่ที่ใช้งานมีความถี่ที่ต่ำลงขนาดของรัศมีแผ่นวงกลมจะแปรผกผันกับความถี่ คือ รัศมีจะมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นจึงตั้งสมมติฐานว่าถ้าต้องการความถี่ที่ใช้งานที่มีการแมตช์ในด้านความถี่ที่ต่ำลงต้องทำการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ d ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เช่นนั้นจึงใช้สมมติฐานนี้ไปใช้ในการวิเคราะห์ในโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO® ดูผลกระทบว่ามีความสอดคล้องจริงหรือไม่ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ค่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อ $L_g = L_f = 37.5$ มิลลิเมตร $W = 50$ มิลลิเมตร และทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ d

ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์ของสายอากาศเมื่อทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ d

พารามิเตอร์	ขนาด (มิลลิเมตร)
d	22.8
g	0
L	75
L_f	37.5
L_g	37.5
W	50
w_f	1.5
h_s	0.75

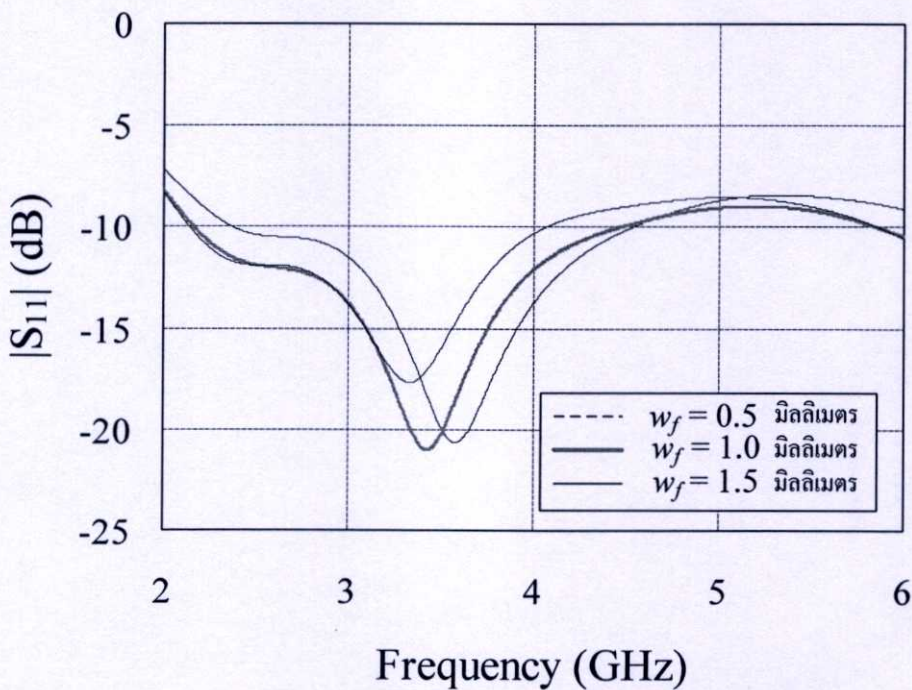
จากรูปที่ 3.6 แสดงค่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ d เพื่อดูความสอดคล้องจากข้อสมมติฐานพบว่าจากการตั้งสมมติฐานเบื้องต้นเป็นเหตุผลที่สอดคล้องและเกิดขึ้นจริงโดยที่ขนาดของพารามิเตอร์จากสายอากาศเบื้องต้นมี $d = 28$ มิลลิเมตร เมื่อทำการปรับขนาดของ d ให้มีขนาดเล็กลง 2 มิลลิเมตร จะทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ที่เกิดการแมตช์นั้นมี

แนวโน้มนำไปทางความถี่ 6 กิกะเฮิรตซ์ ในขณะที่เมื่อเพิ่มขนาดของ d ให้มีขนาดเพิ่มขึ้น 2 มิลลิเมตร ค่าอิมพีแดนซ์ที่เกิดการแมตช์จะมีแนวโน้มนำไปทางความถี่ 2 กิกะเฮิรตซ์ และยังคงเกิดการแมตช์ที่ความถี่กลาง หรือ ที่ความ 4 กิกะเฮิรตซ์ อยู่ จึงได้ค่าที่เหมาะสมอยู่ที่ $d = 20.8$ มิลลิเมตรซึ่งพารามิเตอร์ที่ได้มีการปรับเปลี่ยนให้มีความเหมาะสมแสดงไว้ในตารางที่ 3.4

3.3.4 สายอากาศเมื่อทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ w_f

จากรูปที่ 3.6 จะเห็นได้ว่าแบนด์วิดธ์ของความถี่จะกว้างขึ้นแต่ยังคงไม่ครอบคลุมทั้งหมดในช่วงความ 2 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 6 กิกะเฮิรตซ์ ดังนั้นจึงทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์อื่นที่ส่งผลต่อการแมตช์ของอิมพีแดนซ์โดยพารามิเตอร์อีกตัวที่ส่งผลต่อการแมตช์ของอิมพีแดนซ์ w_f

จากการปรับพารามิเตอร์ w_f พบว่าเมื่อทำการปรับเปลี่ยนขนาดของพารามิเตอร์ w_f นั้นมีผลกระทบต่อแบนด์วิดธ์คือเมื่อปรับขนาดของ w_f ให้มีขนาดลดน้อยลงค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ได้ต่ำกว่า -10 dB ในช่วงความถี่สูงหรือในทางความถี่ 6 กิกะเฮิรตซ์ จะเกิดการแมตช์มากขึ้นหรือได้ค่าการสูญเสียย้อนกลับเป็นแบนด์วิดธ์ที่กว้างแต่ในขณะเดียวกันหากลดขนาด w_f มากจนเกินไปจะทำให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับในแนวความถี่ต่ำหรือทางความถี่ 2 กิกะเฮิรตซ์ เลื่อนระยะมาในทางความถี่กลางหรือความถี่ 4 กิกะเฮิรตซ์ ทำให้ได้แบนด์วิดธ์ที่แคบลง สังเกตได้จากรูปที่ 3.7



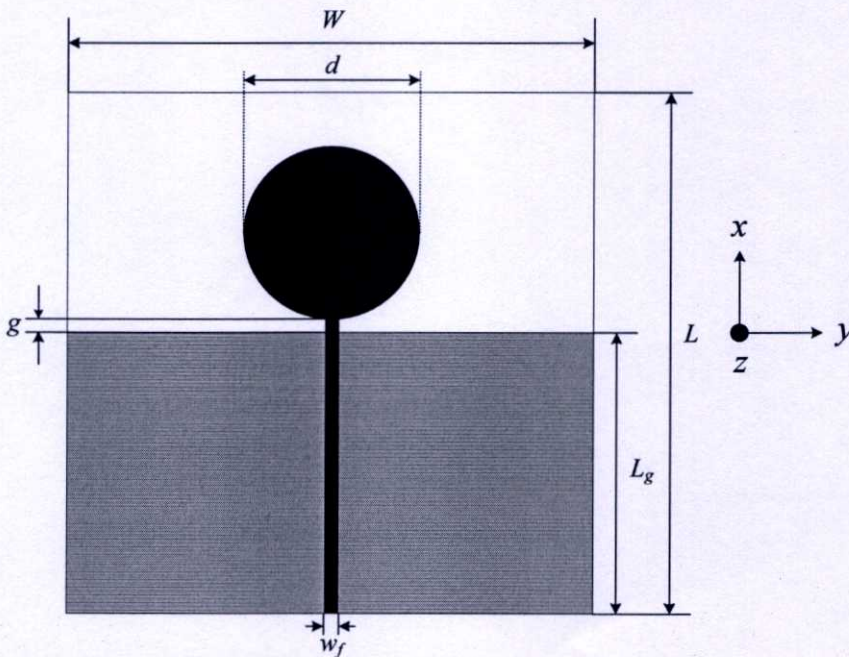
รูปที่ 3.7 ค่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อ $L_g = L_f = 37.5$ มิลลิเมตร $W = 50$ มิลลิเมตร และ $d = 22.8$ มิลลิเมตรเมื่อทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ w_f

โดยขนาดของพารามิเตอร์ w_f ที่เหมาะสมซึ่งทำให้ได้แบนด์วิดท์เพิ่มมากขึ้นจากเดิมและไม่ก่อให้เกิดความเสียหายในกรณีที่เกิดการแมตซ์จากเดิม จากการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ r นั้นคือ $w_f = 1$ มิลลิเมตร โดยพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้ทำการปรับเปลี่ยนเพื่อเพิ่มขนาดของแบนด์วิดท์มาถึงใน ณ ขณะนี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.5

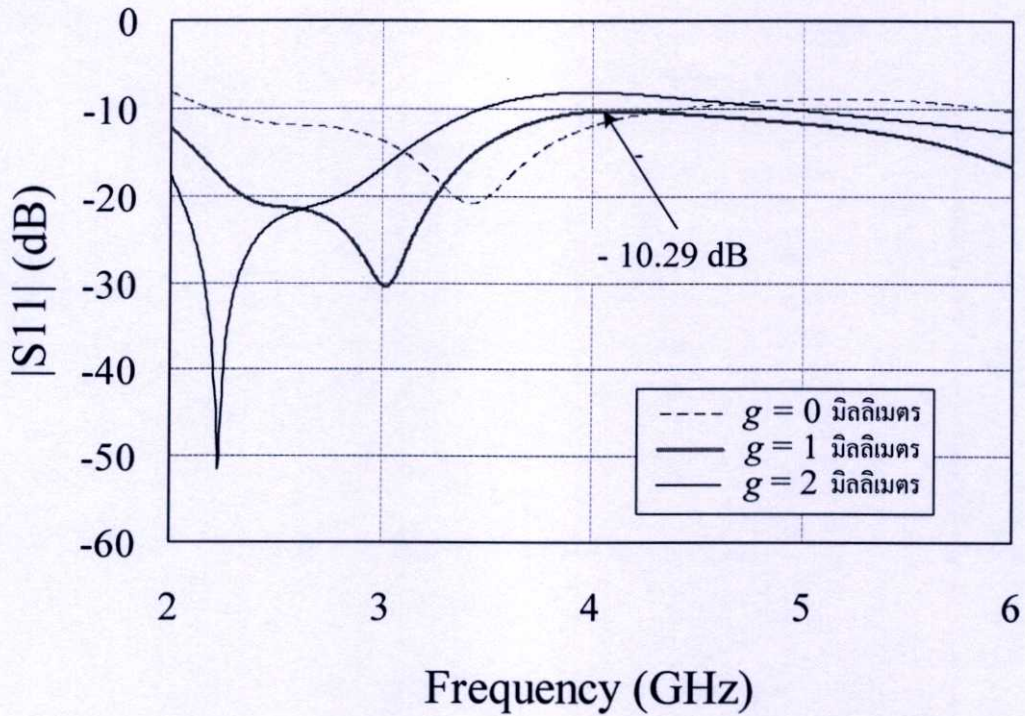
ตารางที่ 3.5 พารามิเตอร์ของสายอากาศเมื่อทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ w_f

พารามิเตอร์	ขนาด (มิลลิเมตร)
d	22.8
g	0
L	75
L_f	37.5
L_g	37.5
W	50
w_f	1
h_s	0.75

3.3.5 สายอากาศเมื่อทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ g



รูปที่ 3.8 โครงสร้างของสายอากาศเมื่อปรับระดับความสูงของพารามิเตอร์ g



รูปที่ 3.9 ค่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อ $L_g = L_f = 37.5$ เซนติเมตร $W = 50$ มิลลิเมตร $d = 22.8$ มิลลิเมตร และ $w_f = 1$ มิลลิเมตรเมื่อทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ g

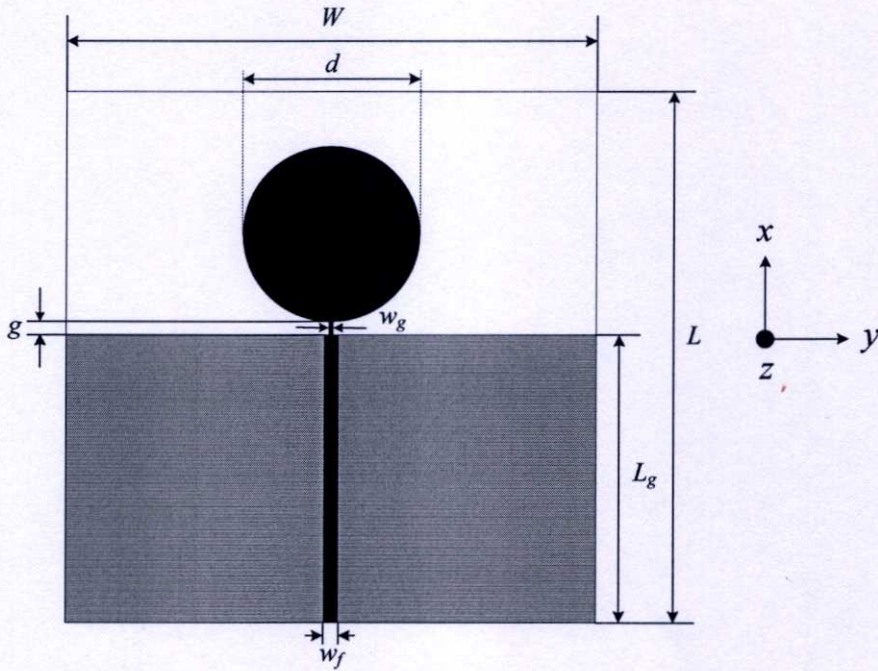
จากรูปที่ 3.7 นั้นจะเห็นได้ว่าแบนด์วิดท์ของสายอากาศจากการจำลองผลนั้นมีแนวโน้มจะครอบคลุมการใช้งานในช่วงความถี่ 2 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 6 กิกะเฮิรตซ์ แล้ว ดังนั้นพารามิเตอร์ตัวต่อไปที่จะทำการพิจารณาคือ g ดังจะแสดงค่าการสูญเสียย้อนกลับจากการปรับเปลี่ยนความสูงของพารามิเตอร์ g ไว้ดังรูปที่ 3.9

ตารางที่ 3.6 พารามิเตอร์ของสายอากาศเมื่อทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ g

พารามิเตอร์	ขนาด (มิลลิเมตร)
d	22.8
g	1
L	75
L_f	37.5
L_g	37.5
W	50
$w_f = w_g$	1
h_s	0.75

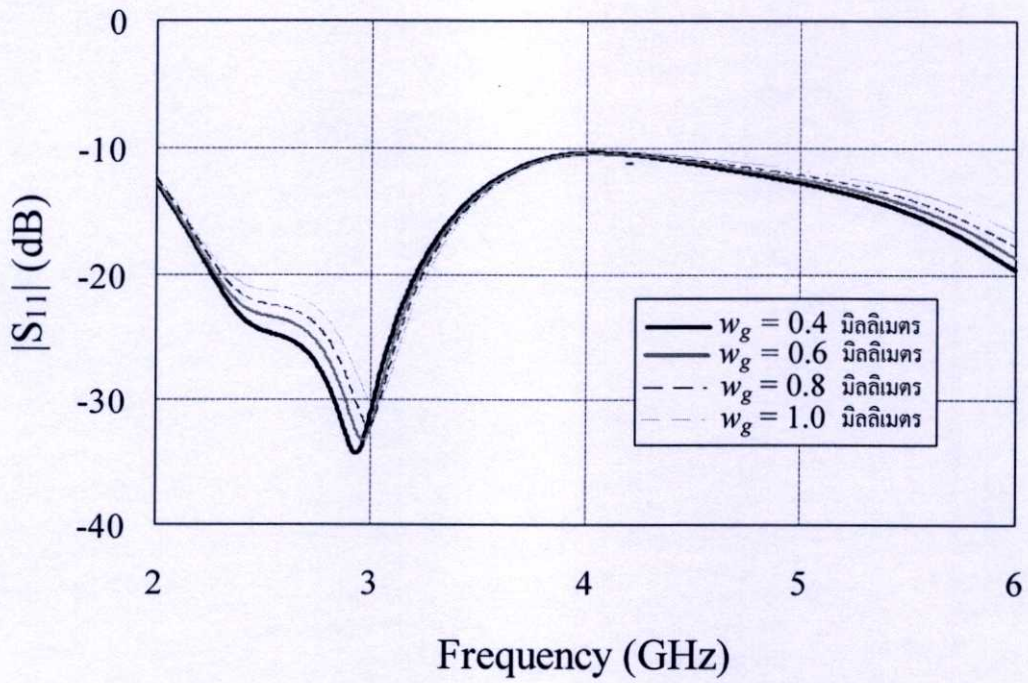
จากการปรับความสูงของ g นั้นได้ค่าการสูญเสียย้อนกลับครอบคลุมตลอดย่านความถี่ 2 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 6 กิกะเฮิรตซ์ โดยพารามิเตอร์ g ที่เหมาะสม คือ $g = 1$ มิลลิเมตร โดยให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่น้อยกว่า -10 dB ที่สุดอยู่ที่ -10.29 dB ที่ความถี่ 4.1 กิกะเฮิรตซ์

3.3.5 สายอากาศเมื่อทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ w_g

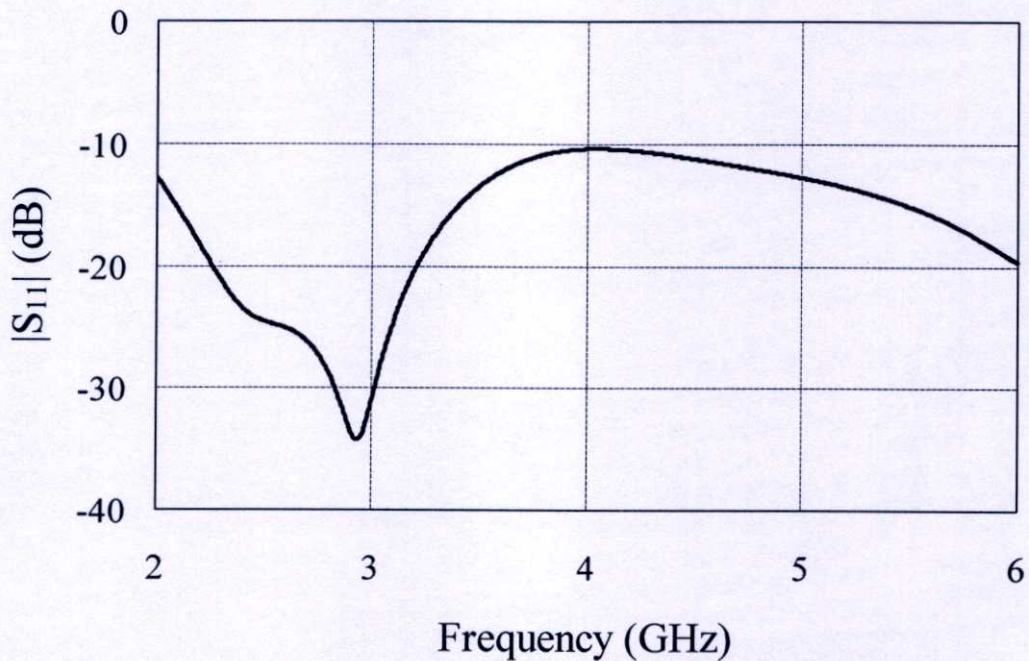


รูปที่ 3.10 โครงสร้างของสายอากาศเมื่อปรับระดับความสูงของพารามิเตอร์ w_g

จากรูปที่ 3.11 จะสังเกตได้ว่าเมื่อทำการลดค่าพารามิเตอร์ w_f จะทำให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่น้อยกว่า -10 dB นั้นมีทิศทางต่ำลงจากเดิม หรือกล่าวได้ว่าให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ดีกว่าเดิมเมื่อเทียบกับที่ยังไม่ได้ทำการปรับพารามิเตอร์ w_f และ ไม่ทำให้ความกว้างของแบนด์วิดท์ที่จะนำไปใช้กับสายอากาศลดลงกว่าเดิม ดังจะสังเกตได้จากรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ค่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อ $L_g = L_f = 37.5$ มิลลิเมตร $W = 50$ มิลลิเมตร $d = 22.8$ มิลลิเมตร และ $w_f = 1$ มิลลิเมตรเมื่อทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ w_g



รูปที่ 3.12 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศหมายเลขที่ 1

ดังนั้นในขั้นตอนต่อไปจะพิจารณาถึงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศจากการจำลองด้วยโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO® โดยพารามิเตอร์ของสายอากาศที่ถูก

กำหนดนั้นเกิดจากการคำนวณค่าเริ่มต้นจากทฤษฎี และการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ ซึ่งพารามิเตอร์ที่ให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับครอบคลุมการใช้งานตั้งแต่ความถี่ 2 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 6 กิกะเฮิร์ตซ์ และเพื่อความสะดวกในการศึกษาต่อถึงผลกระทบได้ทำการกำหนดชื่อของสายอากาศไว้ให้เป็นสายอากาศหมายเลขที่ 1 ขนาด และพารามิเตอร์ของสายอากาศหมายเลขที่ 1 แสดงไว้ในตารางที่ 3.7

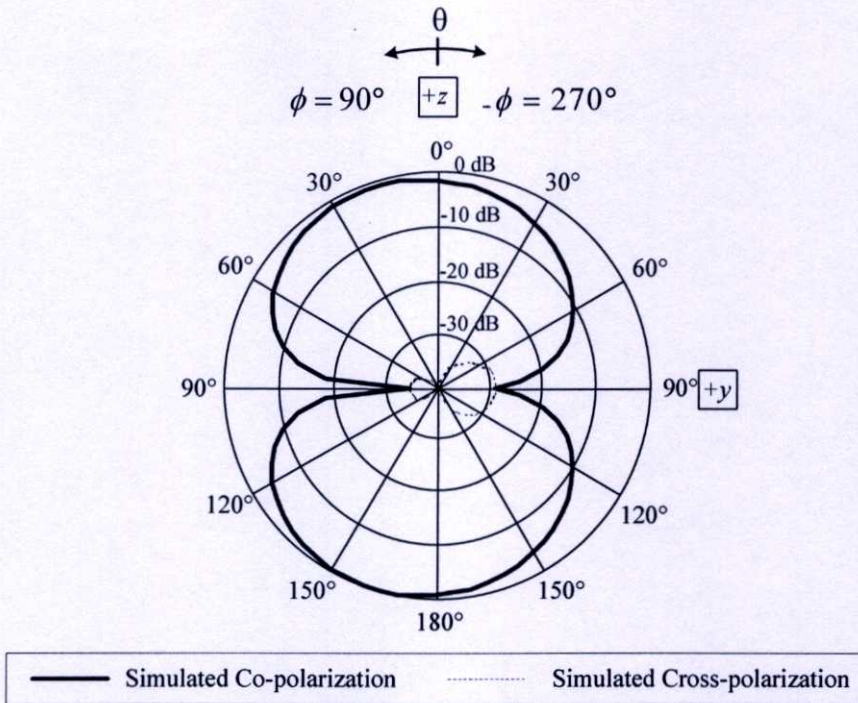
ตารางที่ 3.7 พารามิเตอร์ของสายอากาศหมายเลขที่ 1

พารามิเตอร์	ขนาด (มิลลิเมตร)
d	22.8
g	1
L	75
L_f	37.5
L_g	37.5
W	50
w_f	1
w_g	0.4
h_s	0.75

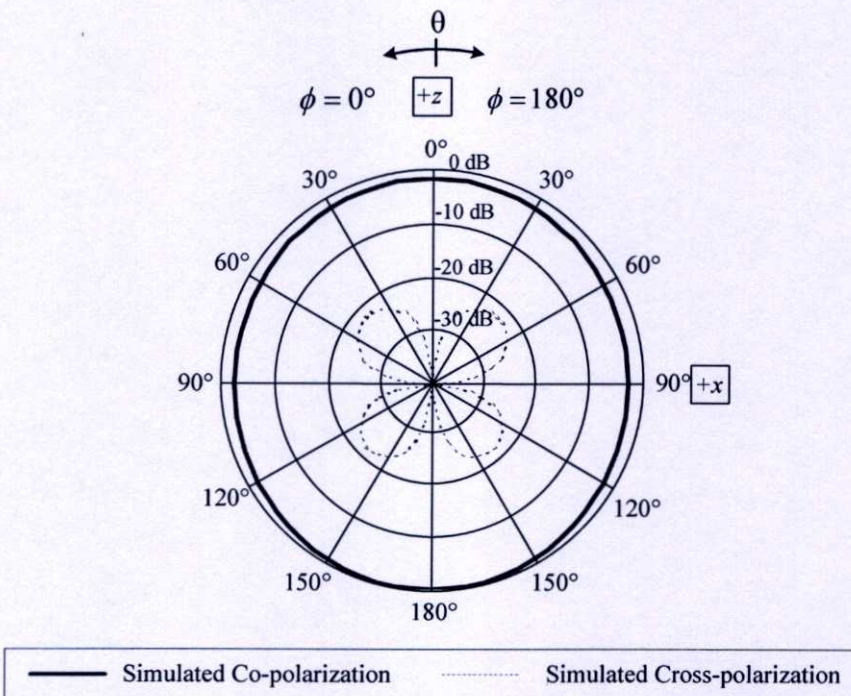
3.4 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

ในหัวข้อนี้จะแสดงถึงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศหมายเลขที่ 1 ที่ได้รับการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่างๆ มาจากในหัวข้อที่ 3.3 ที่ให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับต่ำกว่า -10 dB และครอบคลุมตลอดย่านความถี่ 2 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 6 กิกะเฮิร์ตซ์ โดยจะทำการวิเคราะห์ และปรับปรุงแบบโครงสร้างเพิ่มเติมเพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน

3.4.1 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศหมายเลขที่ 1

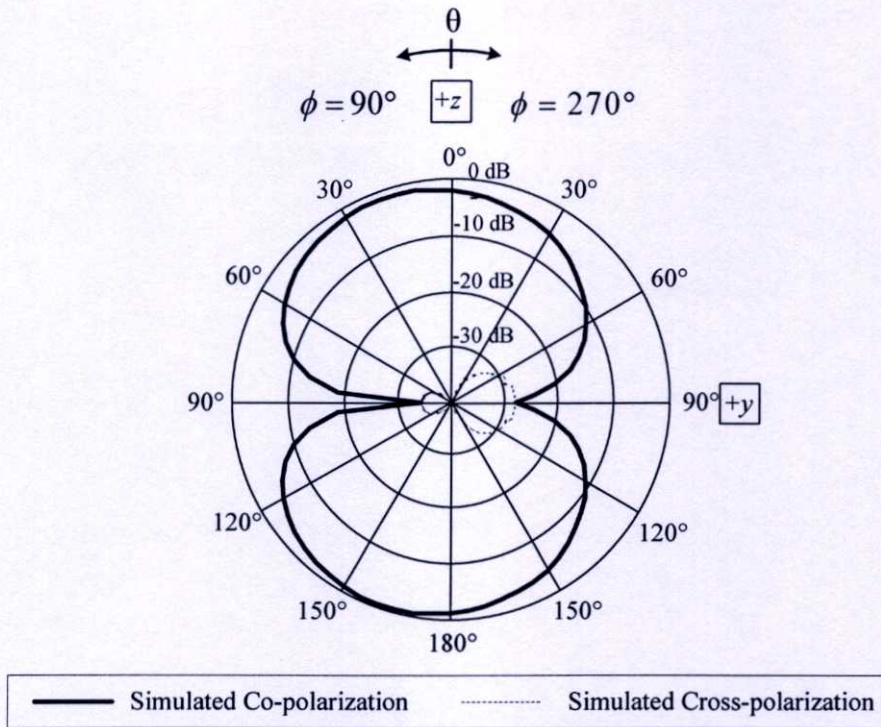


(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า

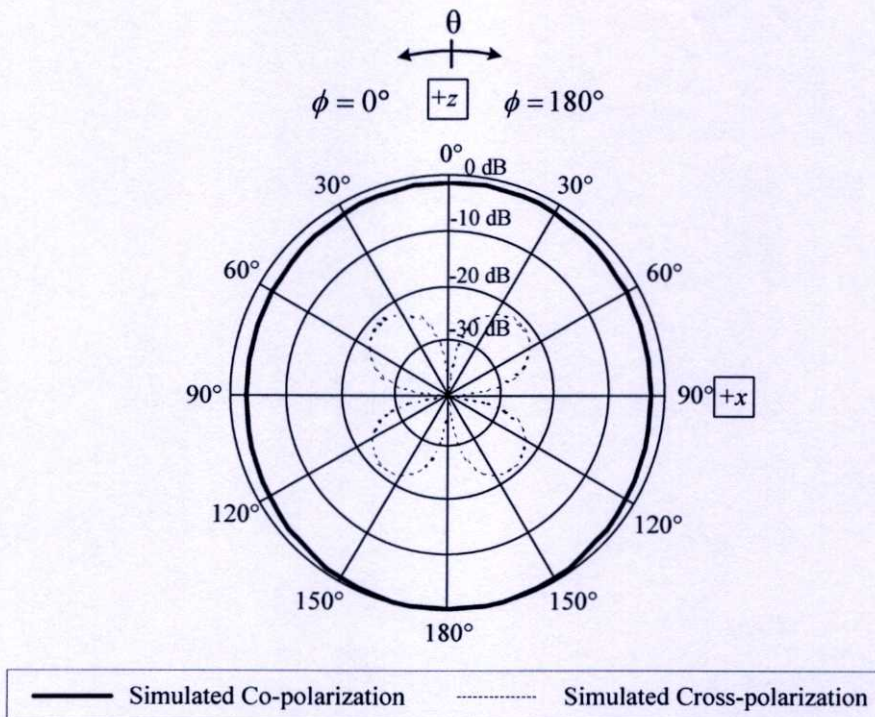


(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 3.13 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศหมายเลขที่ 1 ที่ความถี่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์

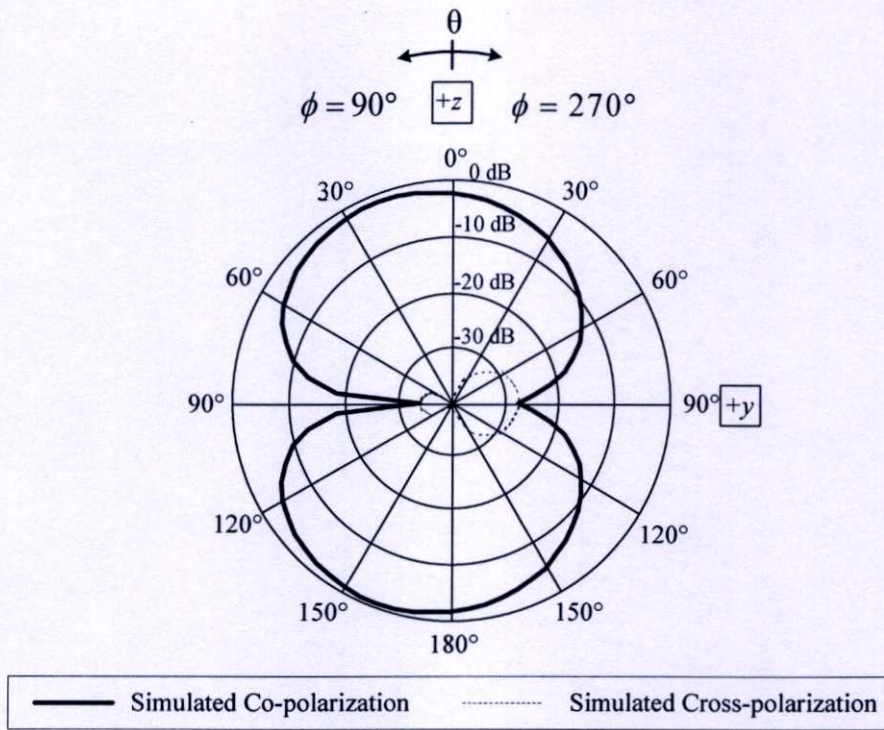


(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า

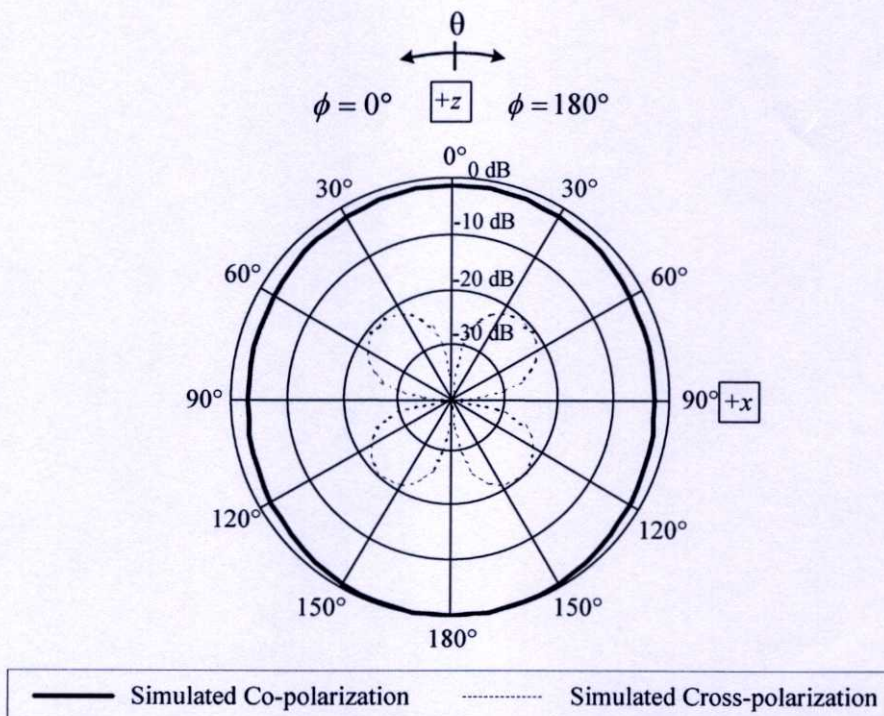


(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 3.14 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศหมายเลขที่ 1 ที่ความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์

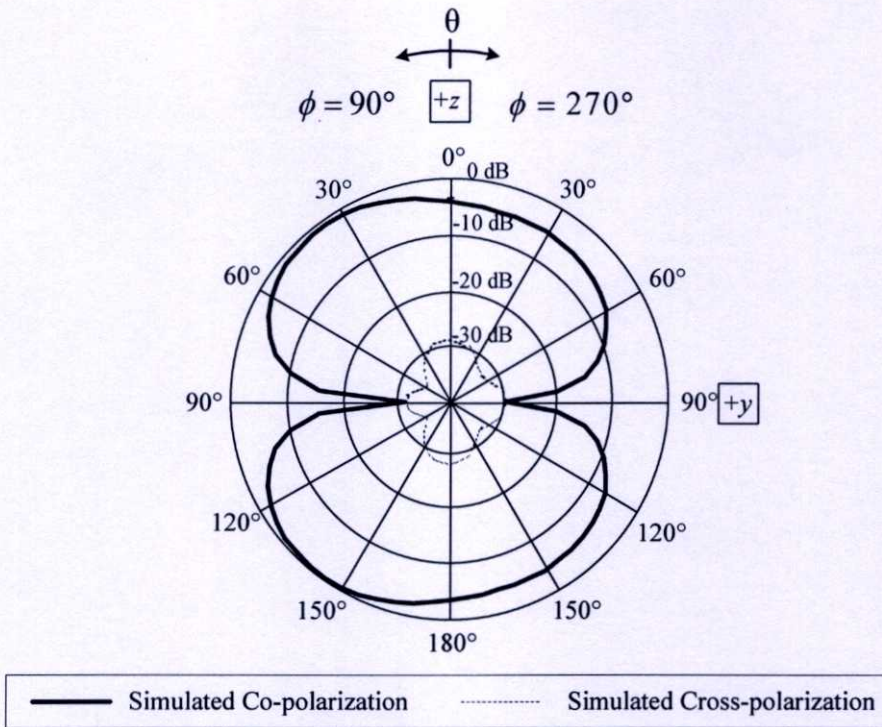


(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า

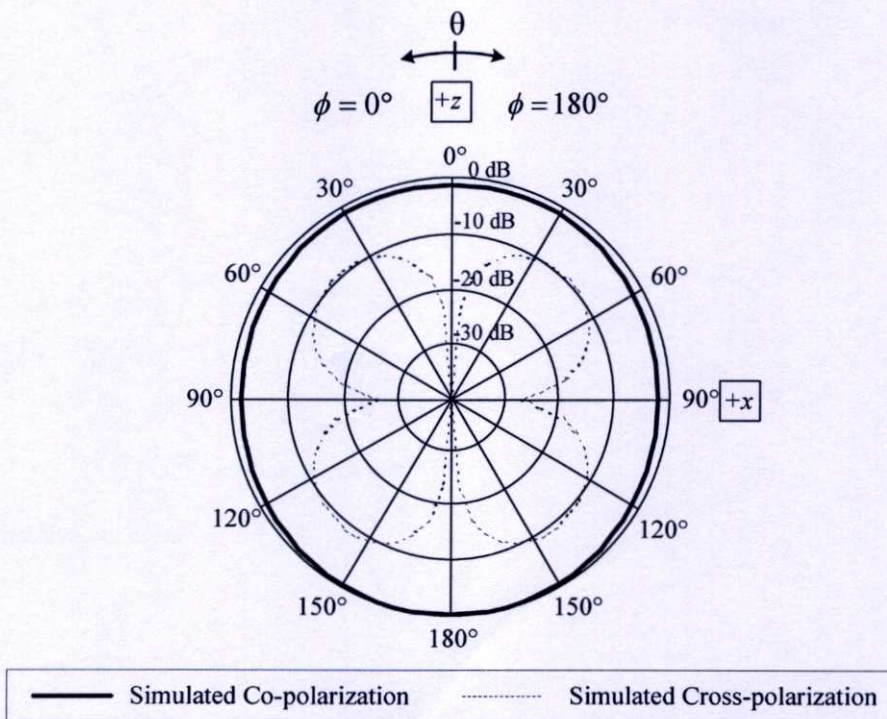


(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 3.15 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศหมายเลขที่ 1 ที่ความถี่ 2.5 กิกะเฮิรตซ์

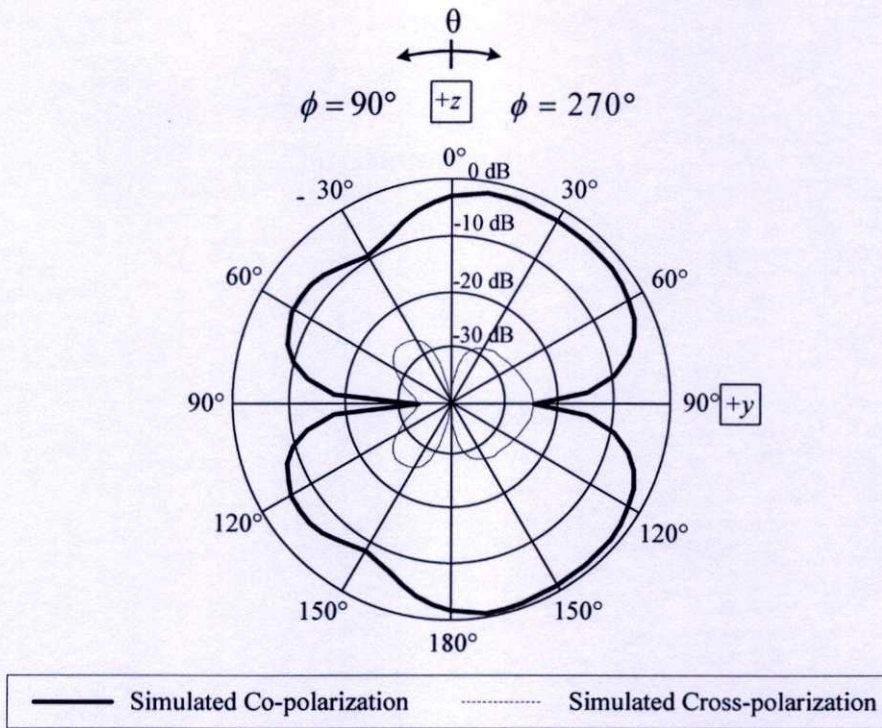


(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า

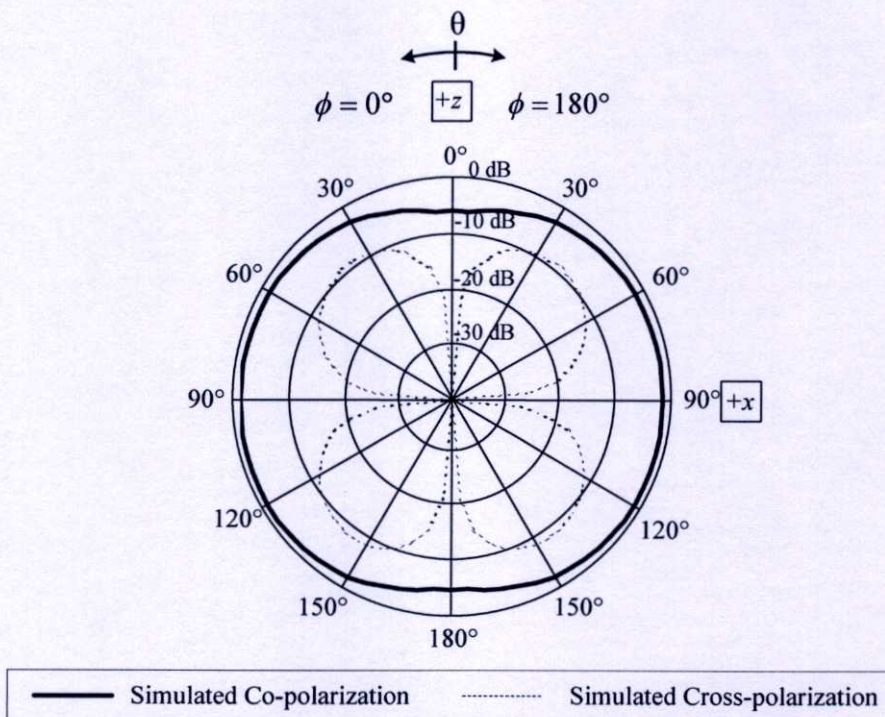


(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 3.16 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศหมายเลขที่ 1 ที่ความถี่ 3.5 กิกะเฮิรตซ์

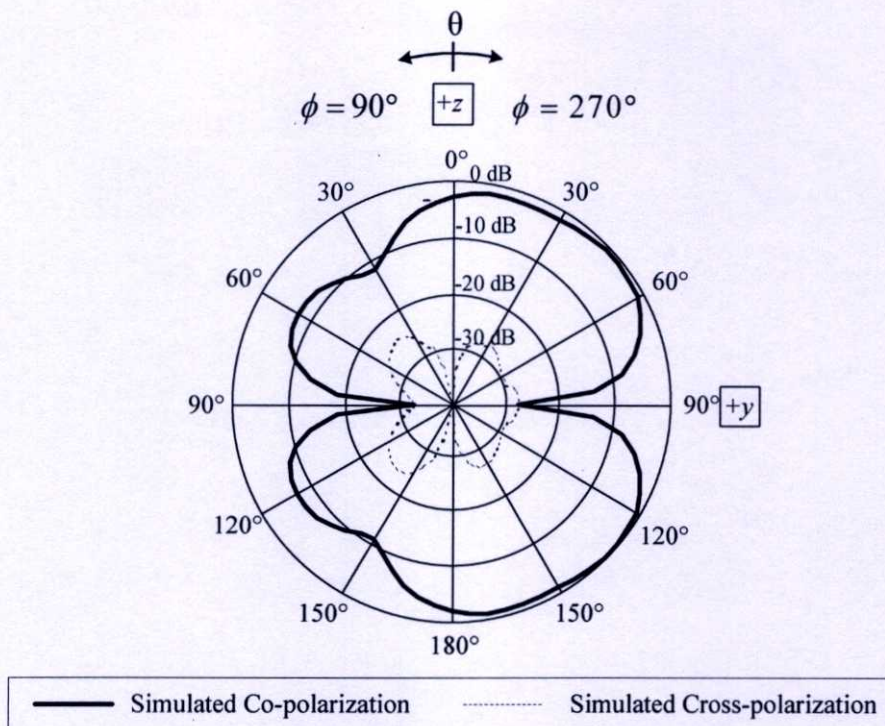


(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า

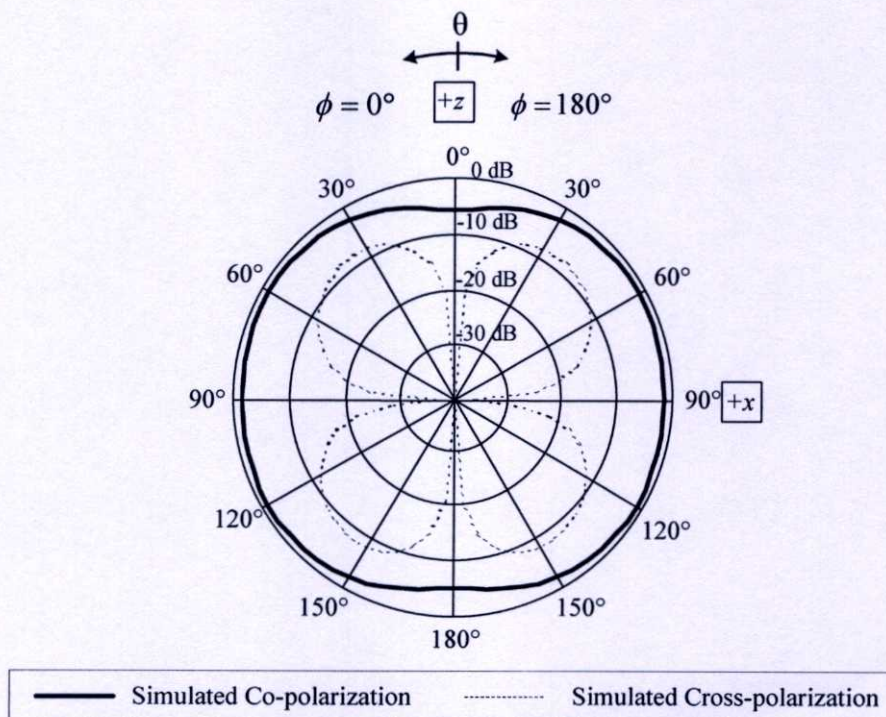


(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 3.17 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศหมายเลขที่ 1 ที่ความถี่ 5.2 กิกะเฮิรตซ์

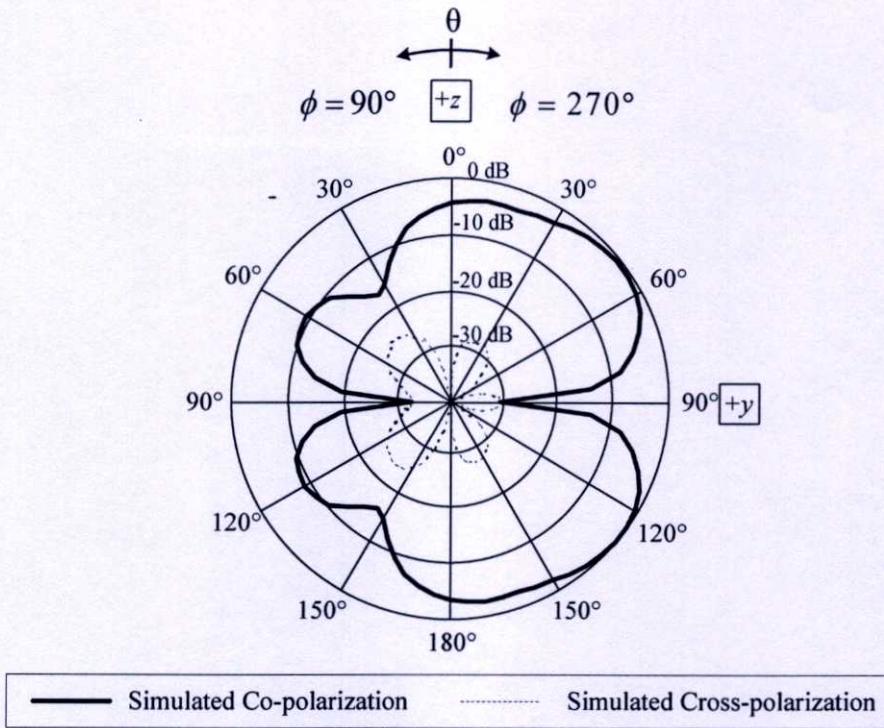


(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า

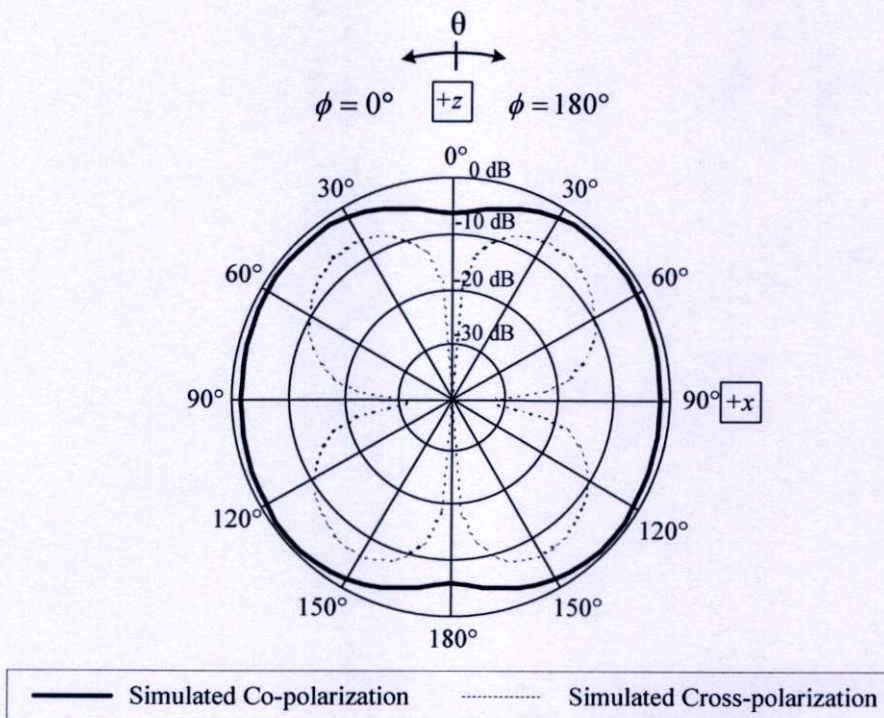


(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 3.18 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศหมายเลขที่ 1 ที่ความถี่ 5.5 กิกะเฮิรตซ์



(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า



(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 3.19 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศหมายเลขที่ 1 ที่ความถี่ 5.85 กิกะเฮิรตซ์

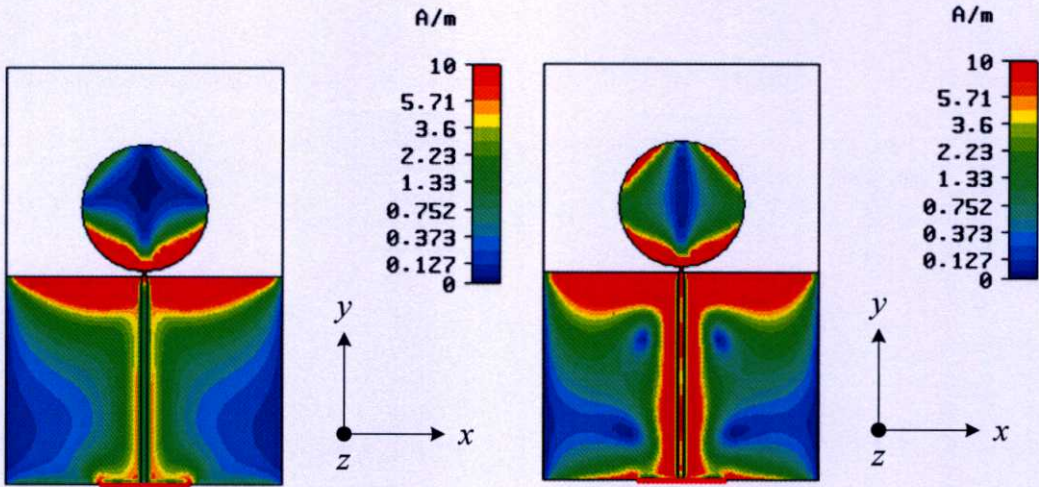
จากรูปที่ 3.13 ถึง 3.19 แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศหมายเลขที่ 1 ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้า และระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ 2.5 กิกะเฮิรตซ์ 3.5 กิกะเฮิรตซ์ 5.2 กิกะเฮิรตซ์ และความถี่ 5.85 กิกะเฮิรตซ์ จากสายอากาศหมายเลขที่ 1 จะเห็นได้ว่าลักษณะการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้ามีมุมที่ให้ลำคลื่นสูงสุดเกิดขึ้นแตกต่างกันในแต่ละความถี่ดังจะสรุปไว้ในตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 ค่ามุมที่มีการแพร่กระจายสูงสุดและความกว้างของลำคลื่น

ความถี่ (กิกะเฮิรตซ์)	ระนาบสนามไฟฟ้า		ระนาบสนามแม่เหล็ก	
	ค่ามุมที่มีการ แพร่กระจาย (องศา)	ความกว้างลำ คลื่น (องศา)	ค่ามุมที่มีการ แพร่กระจาย (องศา)	ความกว้างลำ คลื่น (องศา)
2.3	165	82	180	180
2.4	160	80	180	180
2.5	160	78	180	180
3.5	140	64	180	180
5.2	15	78	115	149
5.5	50	76	55	149
5.85	50	63	50	147

จากรูปที่ 3.12 แม้จะให้การสูญเสียย้อนกลับที่ครอบคลุมตลอดการใช้งานแต่เมื่อพิจารณาในแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในรูปที่ 3.13 ถึง 3.19 พบว่าเกิดค่าโพลาริไซซ์ไขว้ในแนวระนาบสนามแม่เหล็กสูงแปรผันตามความถี่โดยเมื่อความถี่ยิ่งสูงขึ้นค่าของโพลาริไซซ์ไขว้ขึ้นก็จะยิ่งสูงขึ้นตาม โดยค่าของโพลาริไซซ์ไขว้ที่ยอมรับได้และไม่ส่งผลให้เกิดการกวนกันของระบบรับส่งคือต้องต่ำกว่า -20 dB เมื่อพิจารณาจะเห็นได้ว่าตั้งแต่ความถี่ 3.5 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 5.85 กิกะเฮิรตซ์ เป็นต้นมาค่าระดับของโพลาริไซซ์ไขว้จะมีค่าสูงกว่า -20 dB ซึ่งไม่เป็นผลดีต่อการติดต่อสื่อสาร ดังนั้นจึงต้องทำการปรับปรุงสมรรถนะของสายอากาศต่อไปเพื่อลดระดับของโพลาริไซซ์ไขว้

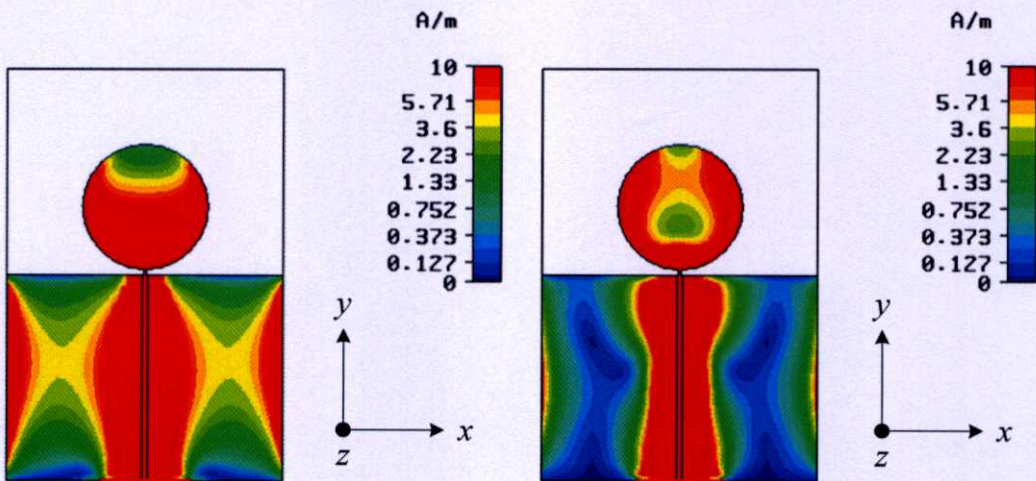
โดยสิ่งที่จะพิจารณาของระดับค่าโพลาริไซซ์ไขว้ได้ดีก็คือการพิจารณาจากปริมาณกระแสเชิงผิวในเบื้องต้นจะเห็นได้จากรูปที่ 3.13 ถึง 3.15 ที่ความถี่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 2.5 กิกะเฮิรตซ์ ค่าระดับโพลาริไซซ์ไขว้จะต่ำกว่า -20 dB ดังนั้นจะพิจารณาองค์ประกอบของกระแสเชิงผิวที่ความถี่ที่ใช้งานที่ต่ำสุดเทียบกับความถี่ที่ใช้งานสูงสุดเปรียบเทียบกันดังจะแสดงรูปขององค์ประกอบกระแสเชิงผิวที่ความถี่ทั้งสองไว้ในรูปที่ 3.20 ถึง 3.21



(ก) ความถี่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์

(ข) ความถี่ 5.85 กิกะเฮิรตซ์

รูปที่ 3.20 การกระจายตัวของกระแสเชิงผิวบนสายอากาศ (ก) องค์ประกอบของกระแสเชิงผิวในทิศทางแนวแกน x ที่ความถี่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์ (ข) องค์ประกอบของกระแสเชิงผิวในทิศทางแนวแกน x ที่ความถี่ 5.85 กิกะเฮิรตซ์



(ก) ความถี่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์

(ข) ความถี่ 5.85 กิกะเฮิรตซ์

รูปที่ 3.21 การกระจายตัวของกระแสเชิงผิวบนสายอากาศ (ก) องค์ประกอบของกระแสเชิงผิวในทิศทางแนวแกน y ที่ความถี่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์ (ข) องค์ประกอบของกระแสเชิงผิวในทิศทางแนวแกน y ที่ความถี่ 5.85 กิกะเฮิรตซ์

เมื่อพิจารณาจากองค์ประกอบของกระแสเชิงผิวในทิศทางแนวแกน y จากรูปที่ 3.21 ในรูป 3.21 (ก) องค์ประกอบของกระแสเชิงผิวในทิศทางแนวแกน y ที่ความถี่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์ เปรียบเทียบกับ ในรูป 3.21 (ข) องค์ประกอบของกระแสเชิงผิวในทิศทางแนวแกน y ที่ความถี่ 5.85 กิกะเฮิรตซ์ พบว่าการกระจายตัวของกระแสที่เชิงผิวของสายอากาศในองค์ประกอบใน

แนวแกน y ที่ความถี่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์ นั้นมีความหนาแน่นของกระแสมากกว่าที่ความถี่ 5.85 กิกะเฮิรตซ์

ในขณะที่ เมื่อพิจารณาจากองค์ประกอบของกระแสเชิงผิวในทิศทางแนวแกน x จากรูปที่ 3.20 ในรูป 3.20 (ก) องค์ประกอบของกระแสเชิงผิวในทิศทางแนวแกน x ที่ความถี่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์ เปรียบเทียบกับ ในรูป 3.20 (ข) องค์ประกอบของกระแสเชิงผิวในทิศทางแนวแกน x ที่ความถี่ 5.85 กิกะเฮิรตซ์ พบว่าการกระจายของกระแสที่พื้นผิวของสายอากาศที่ความถี่ 5.85 กิกะเฮิรตซ์ เกิดขึ้นเข้มที่บริเวณแกนสายนำสัญญาณมากกว่าที่ความถี่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อระดับโพลาไรซ์ไขว้ที่มีค่ามากในระนาบสนามแม่เหล็ก

จากการพิจารณากระแสเมื่อองค์ประกอบทางไฟฟ้าในแนวแกน y และ การกระจายของกระแสในแนวแกน x ส่งผลต่อการเกิดระดับโพลาไรซ์ไขว้ดังนั้นจึงพิจารณาปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่อ การกระจายของกระแสในองค์ประกอบของกระแสพื้นผิวในทิศทางแนวแกน x และไม่ทำให้โครงสร้างที่ได้จากการคำนวณซึ่งทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์เสียไปนั่นคือพารามิเตอร์ W โดยตั้งสมมติฐานว่าถ้าลดปริมาณความกว้างของพารามิเตอร์ W ให้มีขนาดที่น้อยลงการกระจายของกระแสเชิงผิวในแนวแกน x ที่บริเวณแกนสายนำสัญญาณจะลดลงตามอีกทั้งปริมาณของกระแสเชิงผิวในแนวแกน y จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นดังนั้นจึงได้ทำการจำลองด้วยโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO® โดยการลดความกว้างของพารามิเตอร์ W และศึกษาถึงผลกระทบพร้อมทั้งพิจารณาถึงกระแสแสดงไว้ในหัวข้อย่อถัดไป

3.4.2 เทคนิคการลดระดับโพลาไรซ์ไขว้

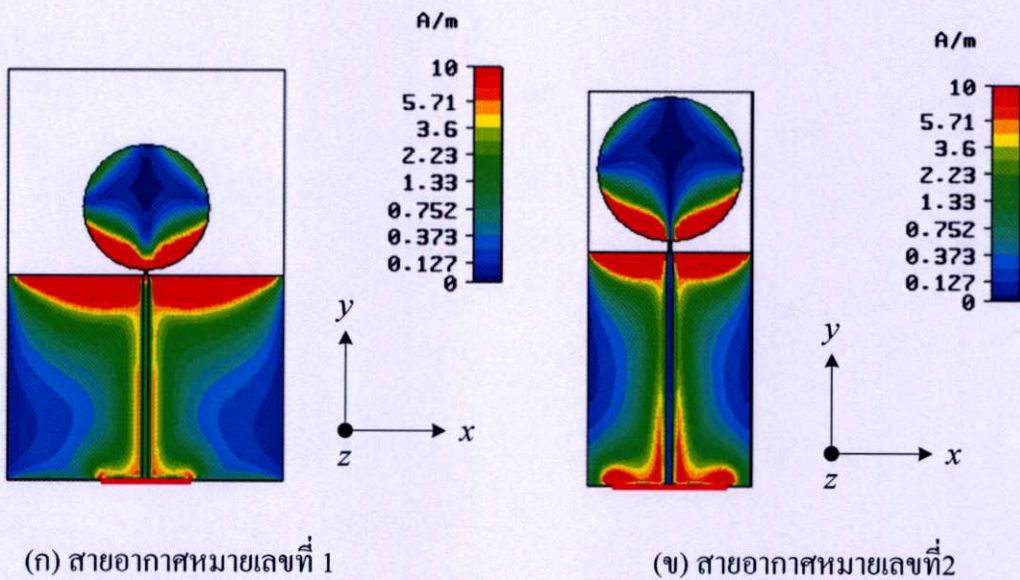
จากในหัวข้อที่ผ่านมาได้พิจารณาถึงกระแสว่าส่งผลกระทบต่อระดับโพลาไรซ์ไขว้ในขั้นตอนต่อไปจะทำการลดความกว้างของพารามิเตอร์ W ซึ่งส่งผลกระทบต่อ การกระจายของกระแสนบนพื้นผิวเป็นบริเวณที่แคบลง และทำให้ความหนาแน่นของกระแสในแนวแกน y เพิ่มมากขึ้น

ดังนั้นจึงทำการปรับพารามิเตอร์ W ลงตามสัดส่วนโดยเบื้องต้นตามโครงสร้างของสายอากาศหมายเลขที่ 1 พารามิเตอร์ $W = 2\left(\frac{\lambda_{6GHz}}{2}\right) = 50$ มิลลิเมตร

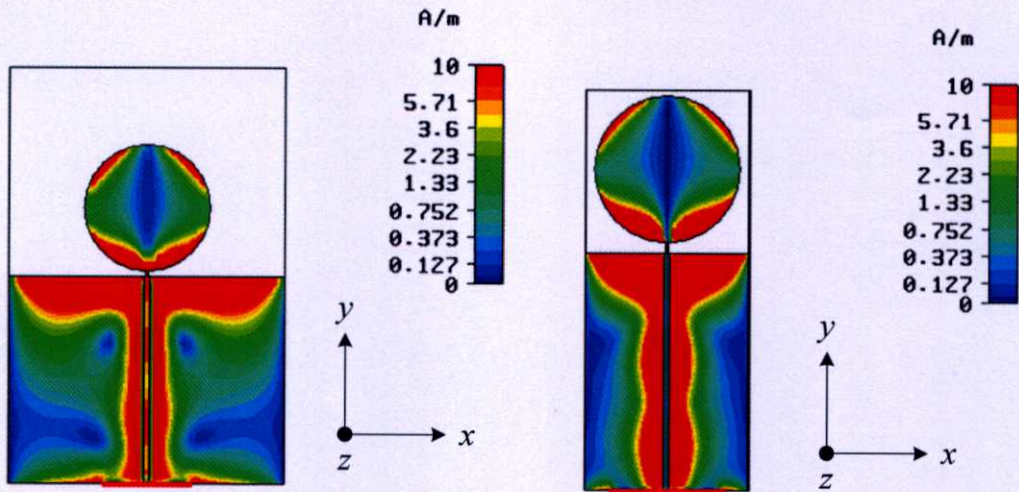
ในที่นี้กำหนดให้ $W = \left(\frac{\lambda_{6GHz}}{4}\right) = 25$ มิลลิเมตร และทำการศึกษาถึงผลกระทบของการสูญเสียย้อนกลับว่ายังคงให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ต่ำกว่า -10 dB และยังคงครอบคลุมการใช้งานย่านความถี่ อยู่หรือไม่ เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ผลต่อไปจะขอเรียกสายอากาศที่ได้ลดขนาดของพารามิเตอร์ W ว่า สายอากาศหมายเลขที่ 2 โดยพารามิเตอร์ของสายอากาศหมายเลขที่ 2 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 พารามิเตอร์ของสายอากาศหมายเลขที่ 2

พารามิเตอร์	ขนาด (มิลลิเมตร)
d	22.8
g	1
L	75
L_f	37.5
L_g	37.5
W	25
w_f	1
w_g	0.4
h_s	0.75



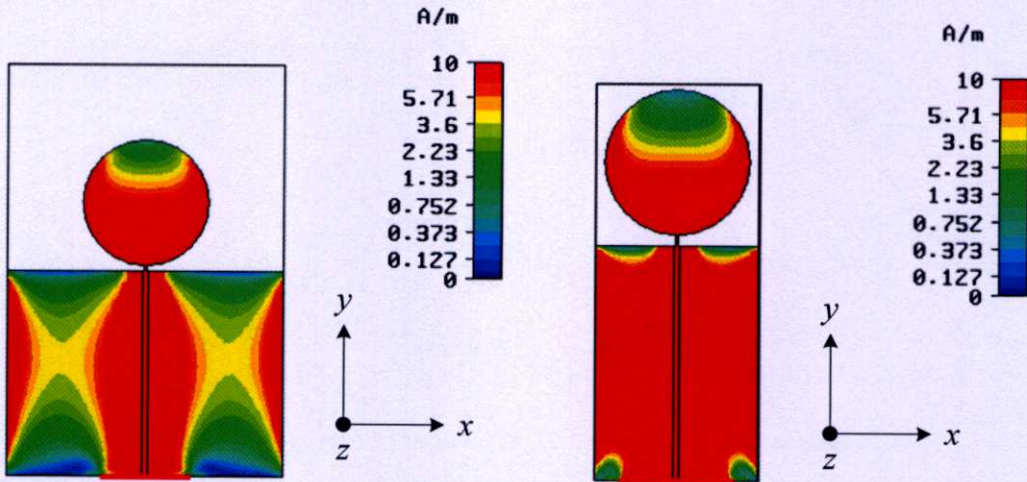
รูปที่ 3.22 การกระจายตัวของกระแสเชิงผิวบนสายอากาศ (ก) องค์ประกอบของกระแสเชิงผิวในทิศทางแนวแกน x ที่ความถี่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์ ของสายอากาศหมายเลขที่ 1 (ข) องค์ประกอบของกระแสเชิงผิวในทิศทางแนวแกน x ที่ความถี่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์ ของสายอากาศหมายเลขที่ 2



(ก) สายอากาศหมายเลขที่ 1

(ข) สายอากาศหมายเลขที่ 2

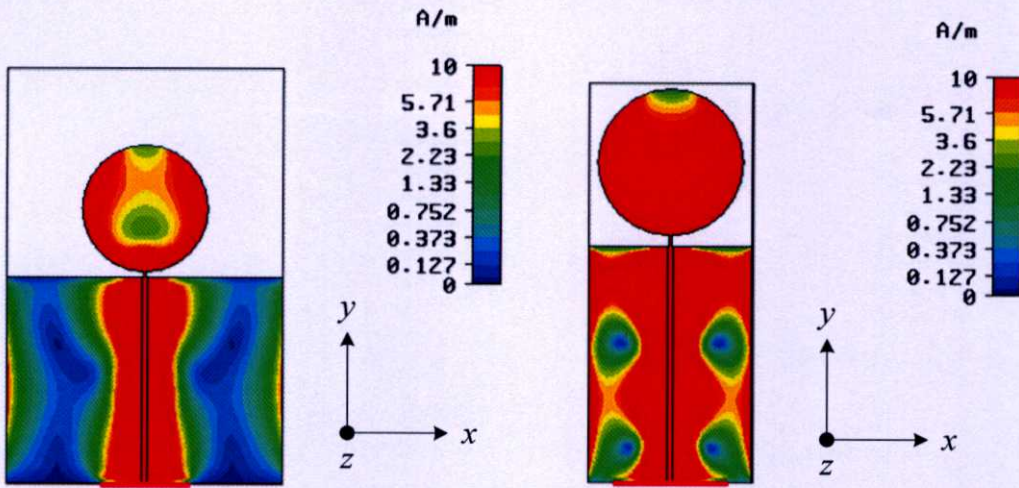
รูปที่ 3.23 การกระจายตัวของกระแสเชิงผิวบนสายอากาศ (ก) องค์ประกอบของกระแสเชิงผิวในทิศทางแนวแกน x ที่ความถี่ 5.85 กิกะเฮิรตซ์ ของสายอากาศหมายเลขที่ 1 (ข) องค์ประกอบของกระแสเชิงผิวในทิศทางแนวแกน x ที่ความถี่ 5.85 กิกะเฮิรตซ์ ของสายอากาศหมายเลขที่ 2



(ก) สายอากาศหมายเลขที่ 1

(ข) สายอากาศหมายเลขที่ 2

รูปที่ 3.24 การกระจายตัวของกระแสเชิงผิวบนสายอากาศ (ก) องค์ประกอบของกระแสเชิงผิวในทิศทางแนวแกน y ที่ความถี่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์ ของสายอากาศหมายเลขที่ 1 (ข) องค์ประกอบของกระแสเชิงผิวในทิศทางแนวแกน y ที่ความถี่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์ ของสายอากาศหมายเลขที่ 2



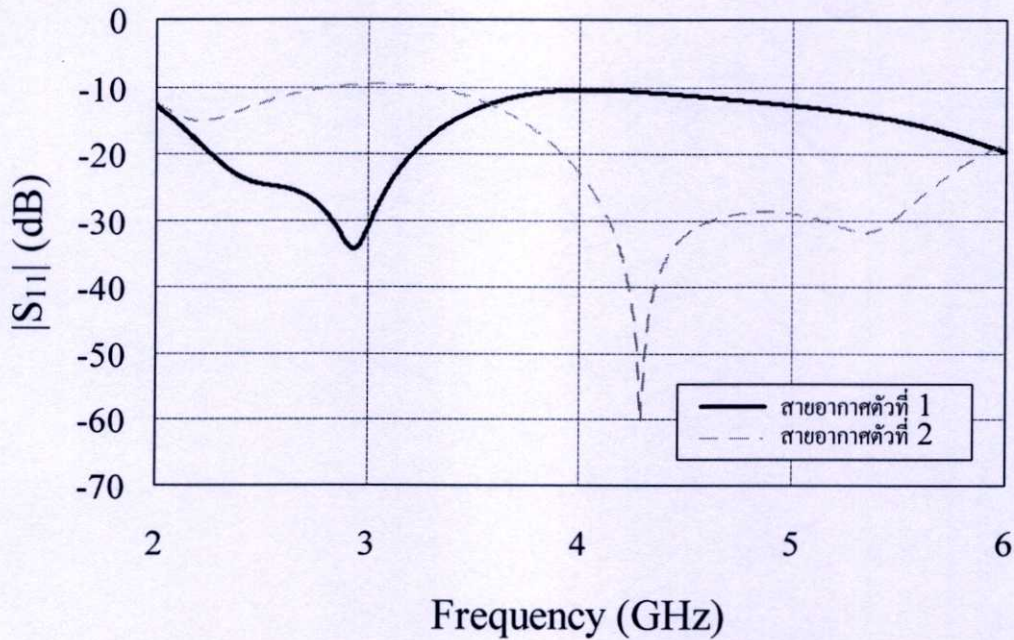
(ก) สายอากาศหมายเลขที่ 1

(ข) สายอากาศหมายเลขที่ 2

รูปที่ 3.25 การกระจายตัวของกระแสเชิงผิวบนสายอากาศ (ก) องค์ประกอบของกระแสเชิงผิวในทิศทางแนวแกน y ที่ความถี่ 5.85 กิกะเฮิรตซ์ ของสายอากาศหมายเลขที่ 1 (ข) องค์ประกอบของกระแสเชิงผิวในทิศทางแนวแกน y ที่ความถี่ 5.85 กิกะเฮิรตซ์ ของสายอากาศหมายเลขที่ 2

จากรูปที่ 3.22 ถึง 3.25 เป็นการเปรียบเทียบองค์ประกอบของกระแสเชิงผิวในทิศทางแนวแกน x และ y ของสายอากาศหมายเลขที่ 1 และ สายอากาศหมายเลขที่ 2 ที่ความถี่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์ และ 5.85 กิกะเฮิรตซ์ จะสังเกตได้ว่าการกระจายตัวของกระแสมีบริเวณที่แคบลงตามสัดส่วนของขนาดของ W ในขณะที่ องค์ประกอบของกระแสในแนวแกน y มีค่าเพิ่มมากขึ้น สังเกตได้จากรูปที่ 3.24 ถึง 3.25 ส่งผลให้การกระจายตัวของสนามแม่เหล็กในแนวโพลาริซชันหลักมีมากขึ้นขณะที่การกระจายตัวในแนวโพลาริซชันไขว้หรือในในองค์ประกอบกระแสแนวแกน x ในแกนสายนำสัญญาณลดลง

จึงสรุปได้ว่าในการลดขนาดความกว้างของระนาบกราวด์นั้นส่งผลโดยตรงต่อค่าระดับโพลาริซชันไขว้เนื่องจากการออกแบบสายอากาศในวิทยานิพนธ์นี้ได้ออกแบบเพื่อใช้งานกับการส่งสัญญาณชนิดโพลาริซชันเชิงแบบแนวตั้ง หรือแนวแกน y ปริมาณกระแสเชิงผิวในแนวแกน y ส่งผลโดยตรงต่อการแพร่ของสนามแม่เหล็ก เมื่อปริมาณกระแสเชิงผิวในแนวแกน y มีปริมาณหนาแน่นมากจะทำให้เกิดการแพร่กระจายของสนามแม่เหล็กได้ดี ในขณะเดียวกันถ้าหากปริมาณของกระแสในแนวแกน y ถูกแบ่งไปในองค์ประกอบของกระแสในแนวแกน x มากเกินไปจะส่งผลให้เกิดระดับโพลาริซชันที่มากขึ้นซึ่งไม่ส่งผลดีต่อระบบในการสื่อสาร



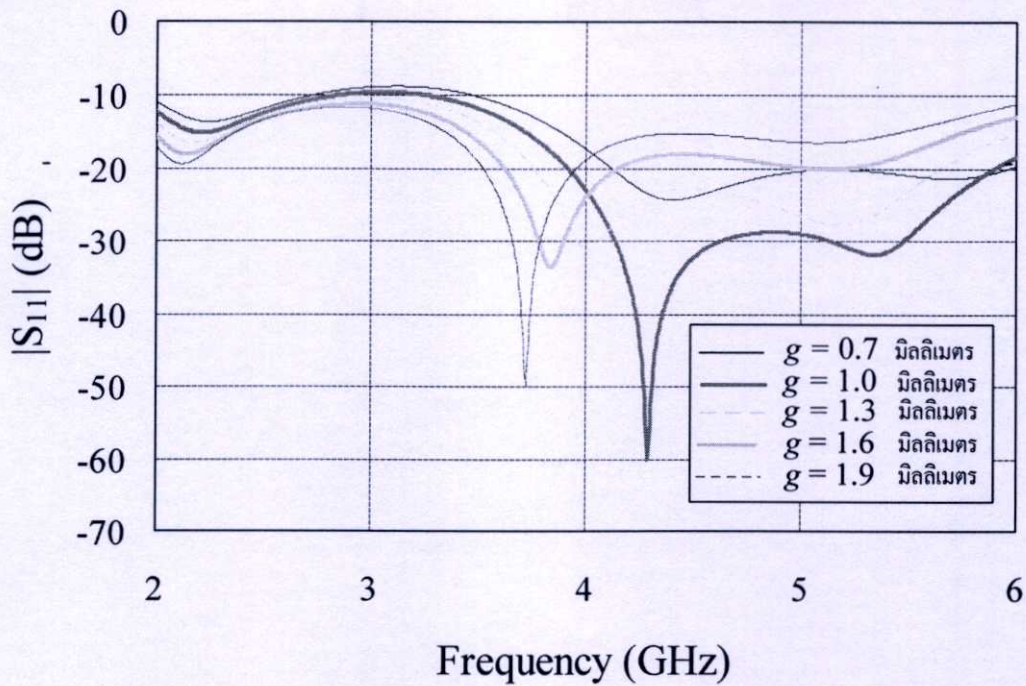
รูปที่ 3.26 ค่าการสูญเสียย้อนกลับเปรียบเทียบระหว่างสายอากาศหมายเลขที่ 1 และสายอากาศหมายเลขที่ 2

จากเบื้องต้นได้ศึกษาถึงเทคนิคการลดระดับค่าโพลาไรซ์ไขว้ว่าเมื่อทำการลดขนาดของ W จะทำให้มีค่าระดับโพลาไรซ์ไขว้ที่ต่ำลงแต่ในขณะเดียวกันในการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่างๆ นั้นย่อมส่งผลกระทบต่อค่าการสูญเสียย้อนกลับจึงทำการศึกษาว่าค่าการสูญเสียย้อนกลับที่มีค่าต่ำกว่า -10 dB ยังครอบคลุมถึงการใช้งานในระบบที่จำเป็นหรือไม่ ดังจะแสดงในรูปที่ 3.26 ว่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อทำการลดระดับ W

3.4.3 การปรับปรุงสมรรถนะเพื่อนำไปสู่การสร้าง

จากรูปที่ 3.26 พบว่าเมื่อปรับความกว้างของพารามิเตอร์ $W = 25$ มิลลิเมตร ส่งผลให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับไม่ครอบคลุมตลอดการใช้งานในระบบ โดยที่ ความถี่ 2.8 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 3.3 กิกะเฮิรตซ์ ค่าการสูญเสียย้อนกลับมีค่ามากกว่า -10 dB ทำให้ไม่ครอบคลุมถึงการนำไปประยุกต์ใช้งาน แต่มีค่าใกล้เคียงโดยค่าการสูญเสียย้อนกลับที่มากที่สุดอยู่ที่ -9.54 dB ที่ความถี่ 3.088 กิกะเฮิรตซ์

ดังนั้นจึงทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์แล้วทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO® โดยย้อนกลับไปดูถึงการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ที่ทำให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับมีความเปลี่ยนแปลงมากเพื่อลดขั้นตอนในการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ให้คงเดิมมากที่สุดนั่นก็คือพารามิเตอร์ g



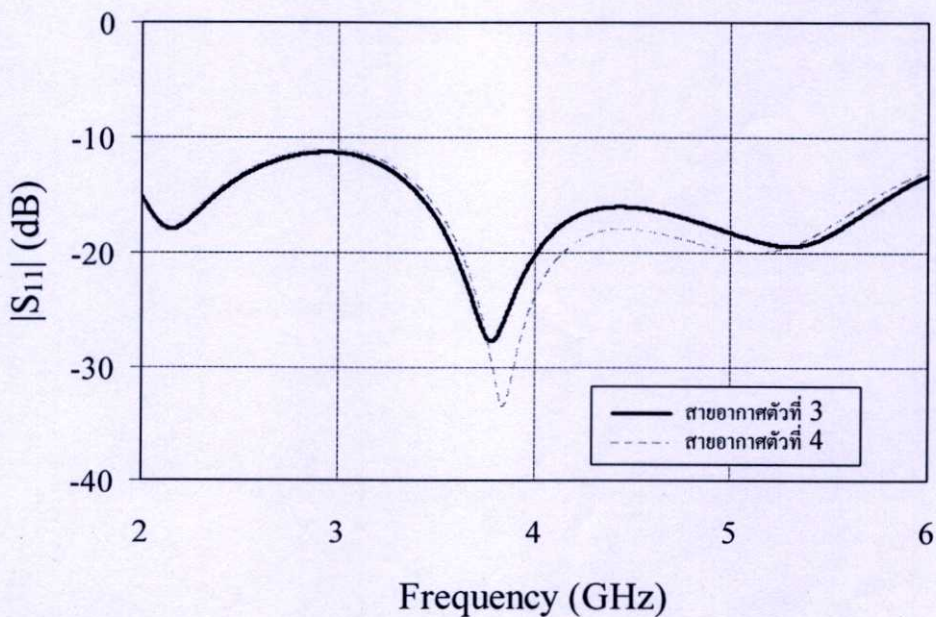
รูปที่ 3.27 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศหมายเลขที่ 2 เมื่อทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ g เพื่อทำการปรับปรุงสมรรถนะนำสู่การสร้าง

โดยจากรูปที่ 3.27 เห็นได้ว่าขนาดของพารามิเตอร์ g ที่ให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับครอบคลุมตลอดการใช้งานนั้นมีอยู่สองที่ คือ เมื่อ $g = 1.6$ มิลลิเมตร และ $g = 1.9$ มิลลิเมตร ที่ขนาดของพารามิเตอร์ $g = 1.6$ มิลลิเมตร นั้นจะให้ขนาดแบนด์วิดท์ที่กว้างกว่าที่ขนาด $g = 1.9$ มิลลิเมตร และมีแนวโน้มของค่าการสูญเสียย้อนกลับเฉลี่ยต่ำกว่า -10 dB และน้อยกว่า $g = 1.9$ (โดยการมองภาพรวม) ดังนั้นจึงใช้พารามิเตอร์ ที่ $g = 1.6$ มิลลิเมตร เป็นพารามิเตอร์ที่จะถูกใช้งานในการสร้างต่อไป (ในต่อจะเรียกว่าสายอากาศหมายเลขที่ 3) โดยช่วงที่ให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับต่ำกว่า -10 dB น้อยที่สุดนั้นอยู่ที่ความถี่ 2.92 กิกะเฮิรตซ์ ให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับ -11.53 dB และได้แสดงถึงค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศหมายเลขที่ 3 ไว้ดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 พารามิเตอร์ของสายอากาศหมายเลขที่ 3

พารามิเตอร์	ขนาด (มิลลิเมตร)
d	22.8
g	1.6
L	75
L_f	37.5
L_g	37.5
W	25
w_f	1
w_g	0.4
h_s	0.75

ในขั้นตอนนี้ต่อไปจะทำการลดขนาดของวัสดุฐานรองในส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องเพื่อลดขนาดให้มีขนาดที่เล็กลง โดยในที่นี้จะทำการลดความสูงของแผ่นวงจรพิมพ์ให้มีขนาดใกล้เคียงกับตำแหน่งเส้นผ่านศูนย์กลางวงนอกสุดในแนวแกน y ของแผ่นวงกลมการแพร่กระจายคลื่นให้มากที่สุด แล้วดูผลกระทบที่มีต่อค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศหมายเลขที่ 3 และสายอากาศหมายเลขที่ 3 เมื่อมีการปรับระยะความสูงของวัสดุฐานรอง (ในลำดับต่อไปจะเรียกว่าสายอากาศหมายเลขที่ 4)



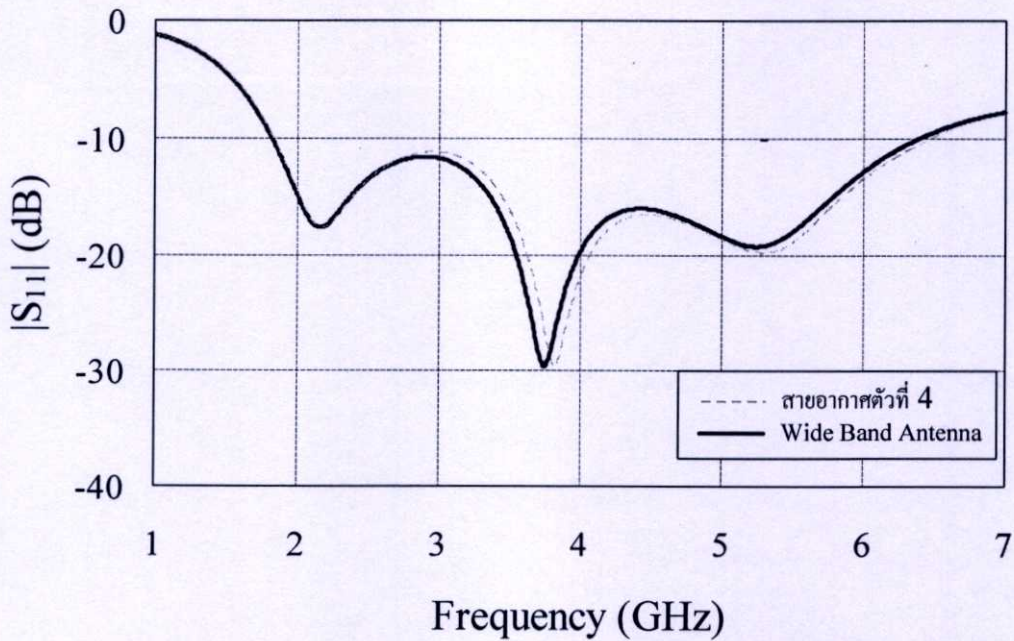
รูปที่ 3.28 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศหมายเลขที่ 3 เปรียบเทียบกับสายอากาศหมายเลขที่ 4

ตารางที่ 3.11 พารามิเตอร์ของสายอากาศหมายเลขที่ 4

พารามิเตอร์	ขนาด (มิลลิเมตร)
d	22.8
g	1
L	63
L_f	37.5
L_g	37.5
W	25
w_f	1
w_g	0.4
h_s	0.75

จากรูปที่ 3.28 เป็นการเปรียบเทียบค่าการสูญเสียย้อนกลับระหว่างสายอากาศหมายเลขที่ 3 และ 4 จะเห็นว่าได้ว่าค่าการสูญเสียย้อนกลับมีแนวโน้มเปลี่ยนไปในช่วงความถี่ 3.8 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 5.2 กิกะเฮิรตซ์ แต่ยังคงครอบคลุมถึงการใช้งานของระบบอยู่และได้สายอากาศที่มีขนาดเล็กลงจะเห็นได้ว่าเกิดค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศหมายเลขที่ 4 ที่ต่ำที่สุดอยู่ที่ช่วงความถี่ 3.8 กิกะเฮิรตซ์ ประมาณ -28 dB แต่ในช่วงความถี่ที่สูงกว่า 3.8 กิกะเฮิรตซ์ เป็นต้นไป มีแนวโน้มค่าการสูญเสียย้อนกลับต่ำกว่าในด้านช่วงความถี่ 3.8 กิกะเฮิรตซ์ โดยแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศหมายเลขที่ 4 ไว้ในตารางที่ 3.11

ในลำดับต่อไปจะทำการวิเคราะห์ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศหมายเลขที่ 4 ในขอบเขตของความถี่ที่กว้างยิ่งขึ้น และทำการปรับความกว้างของพารามิเตอร์ W เพิ่มขึ้นอีก 1 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางแผ่นวงกลมขึ้นอีก 0.2 มิลลิเมตร เพื่อปรับปรุงสมรรถนะสู่การนำไปสร้างในลำดับต่อไป ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.29

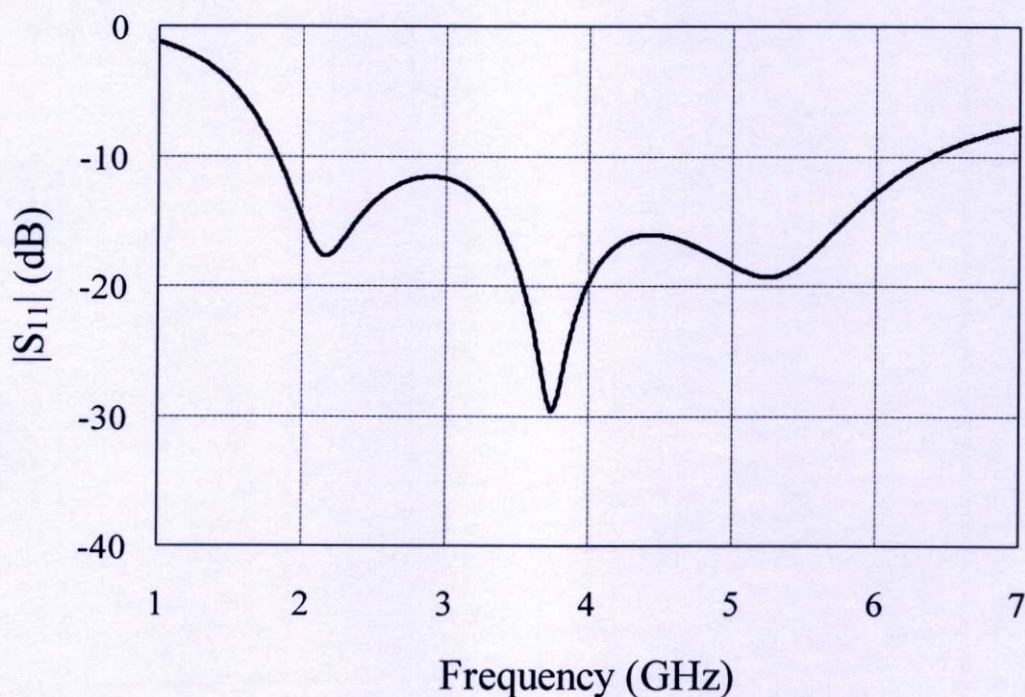


รูปที่ 3.29 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศหมายเลขที่ 4 กับ สายอากาศย่านความถี่กว้าง

จากรูปที่ 3.29 แสดงให้เห็นถึงค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศหมายเลขที่ 4 และสายอากาศหมายเลขที่ 4 หลังจากการปรับพารามิเตอร์ W เพิ่มขึ้นอีก 1 มิลลิเมตรและปรับเส้นผ่านศูนย์กลางแผ่นวงกลมขึ้นอีก 0.2 มิลลิเมตร (ในลำดับต่อไปจะถูกรเรียกว่าสายอากาศย่านความถี่กว้างสำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบ WLAN และ WiMAX) ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าการสูญเสียย้อนกลับในด้านความถี่ต่ำของสายอากาศย่านความถี่กว้างจะมีค่าการสูญเสียย้อนกลับต่ำกว่า -10 dB มากขึ้น และให้แบนด์วิดท์ไม่ต่างจากเดิมมากนักเพื่อปรับให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับมีประสิทธิภาพในการใช้งานช่วงความถี่ต่ำที่ดีขึ้นโดยไม่กระทบกระเทือนต่อค่าการสูญเสียย้อนกลับในด้านความถี่สูง และยังคงครอบคลุมถึงการใช้งานในระบบ WLAN และ WiMAX

3.4.4 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศย่านความถี่กว้างสำหรับการ ประยุกต์ใช้งานในระบบ WLAN และ WiMAX

ในหัวข้อนี้จะแสดงถึงแบบรูปของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศย่านความถี่กว้างสำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบ WLAN และ WiMAX ซึ่งได้ทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่างๆให้เหมาะสมต่อการใช้งานแล้วโดยพารามิเตอร์ของสายอากาศจะแสดงไว้ในตารางที่ 3.12 พร้อมทั้งการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศไว้ในรูปที่ 3.30



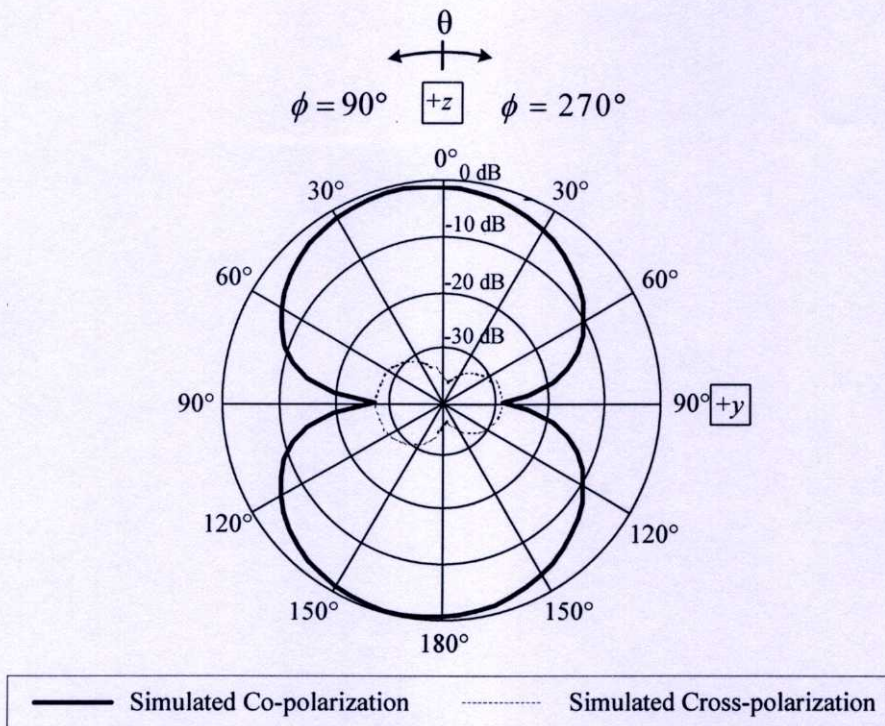
รูปที่ 3.30 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศย่านความถี่กว้างสำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบ WLAN และ WiMAX

จากรูปที่ 3.30 เห็นได้ว่าค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ต่ำกว่า -10 dB นั้นครอบคลุมตั้งแต่ความถี่ 1.81 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 6.32 กิกะเฮิรตซ์ ให้อัตราส่วนของแบนด์วิดธ์ 3.49:1

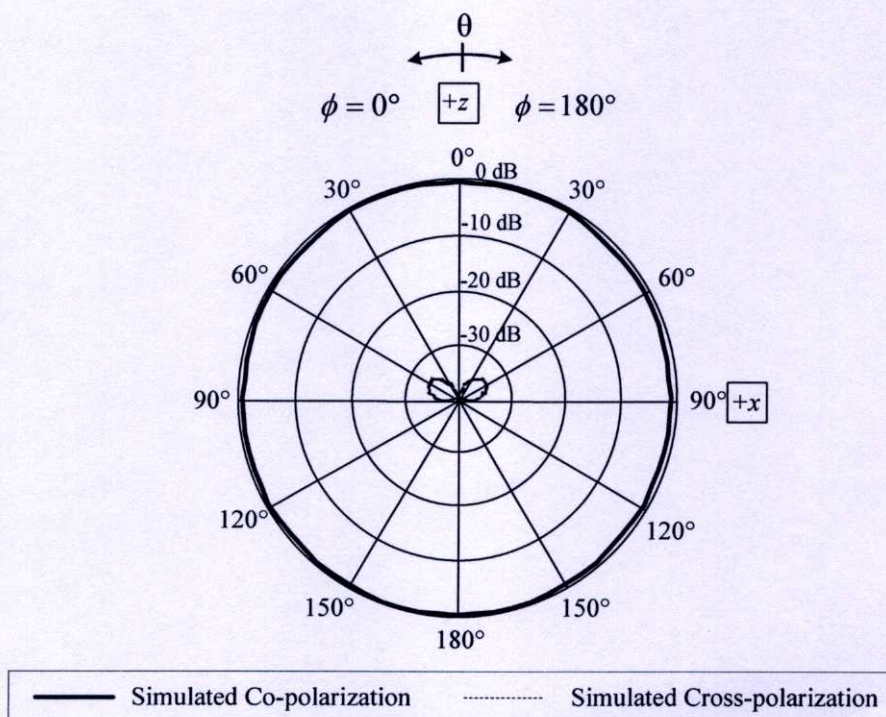
ตารางที่ 3.12 พารามิเตอร์ของสายอากาศย่านความถี่กว้างสำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบ WLAN และ WiMAX

พารามิเตอร์	ขนาด (มิลลิเมตร)
d	23
g	1.6
L	63
L_f	37.5
L_g	37.5
W	26
w_f	1
w_g	0.4
h_s	0.75

ในลำดับต่อไปจะแสดงถึงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศย่านความถี่กว้างสำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบ WLAN และ WiMAX ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้า และ ระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ที่ใช้งานต่างๆ ได้แก่ ความถี่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ 2.5 กิกะเฮิรตซ์ 3.5 กิกะเฮิรตซ์ 5.2 กิกะเฮิรตซ์ 5.5 กิกะเฮิรตซ์ และ 5.85 กิกะเฮิรตซ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.31 ถึง รูปที่ 3.37

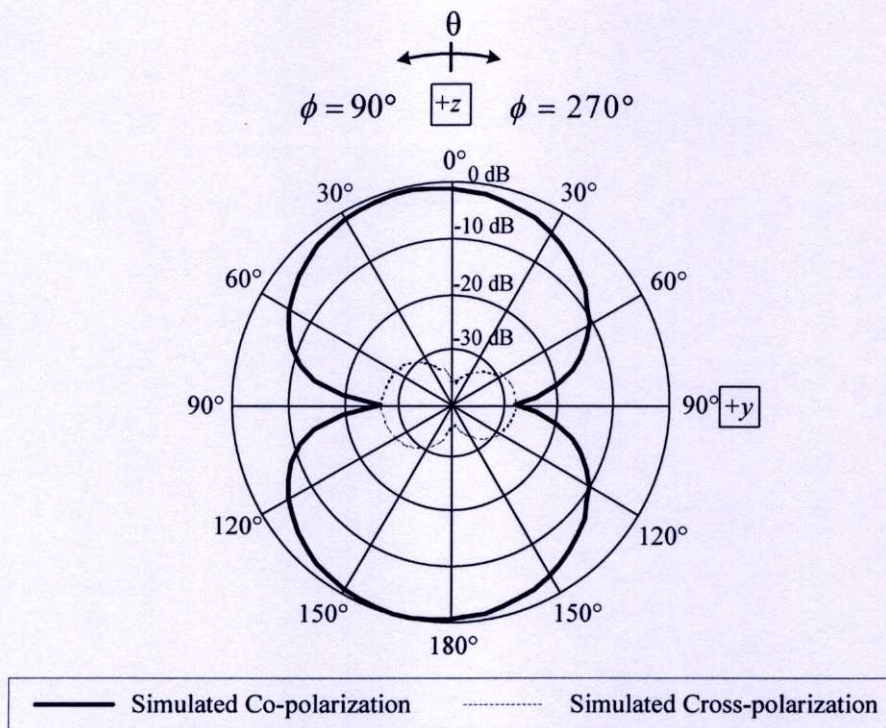


(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า

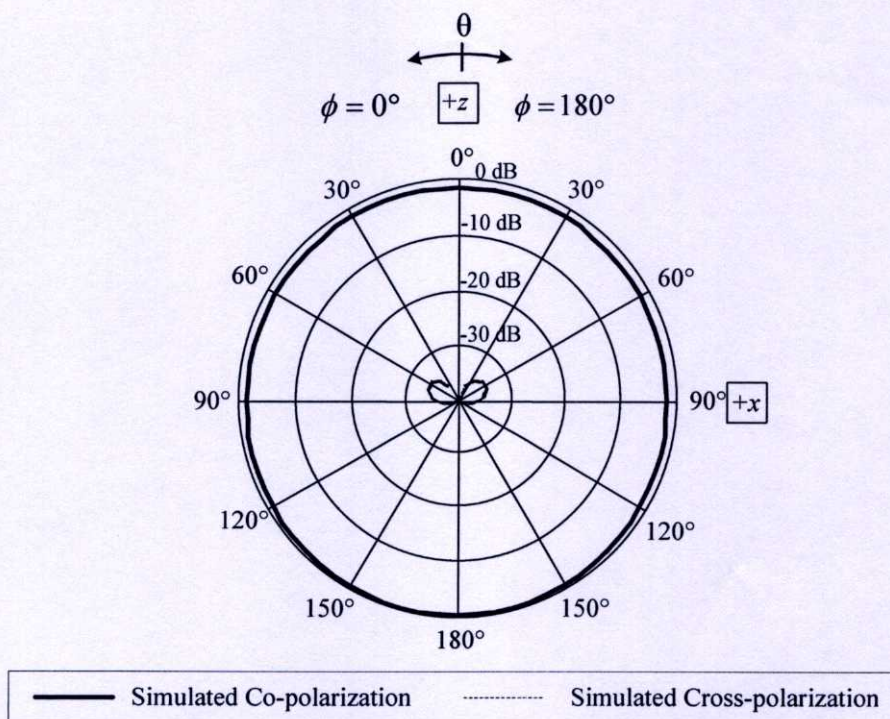


(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 3.31 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศย่านความถี่กว้างที่ความถี่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์

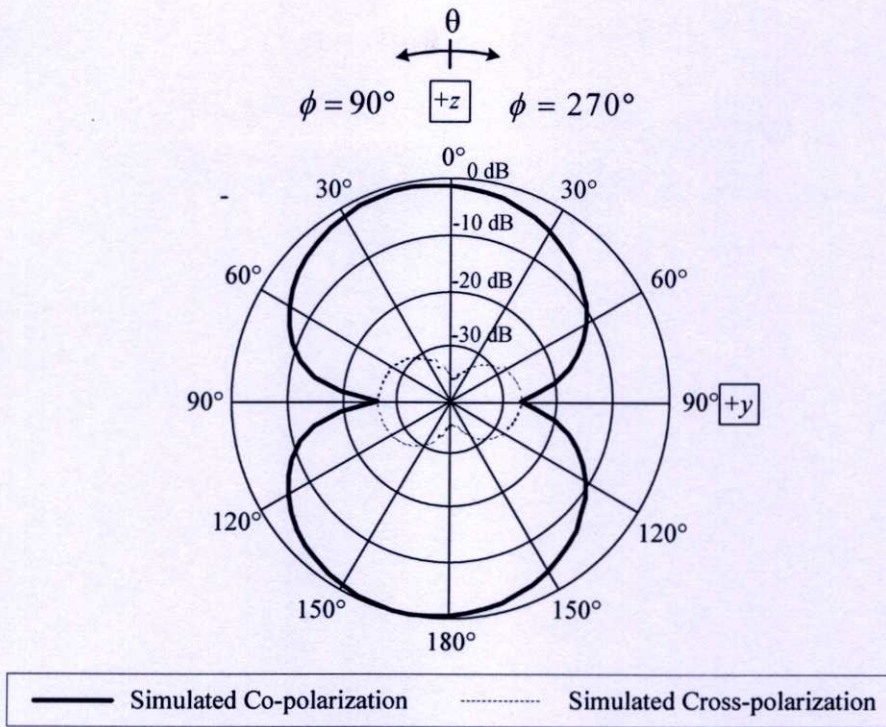


(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า

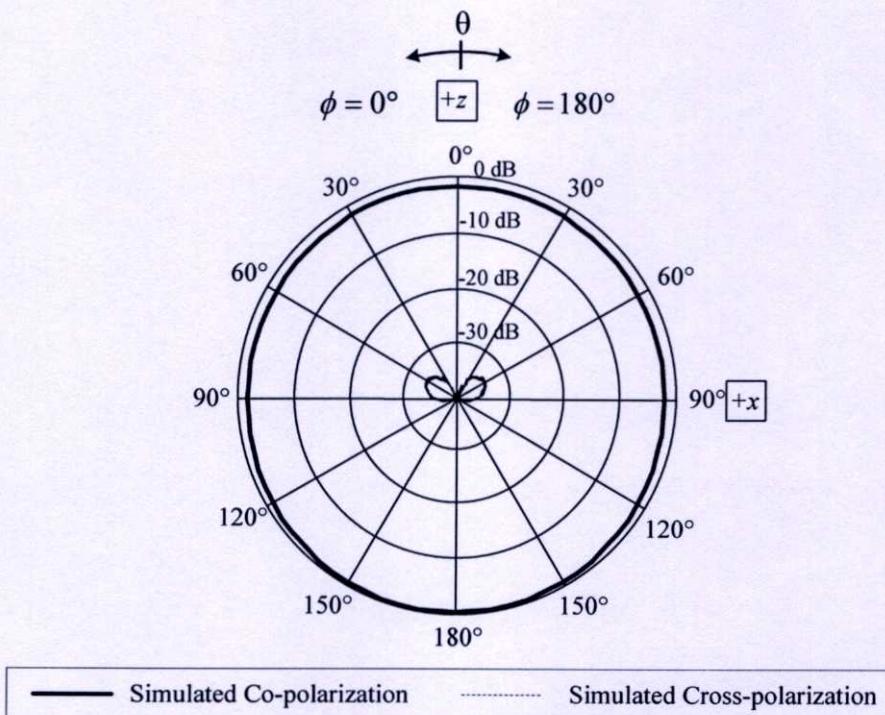


(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 3.32 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศย่านความถี่กว้างที่ความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์

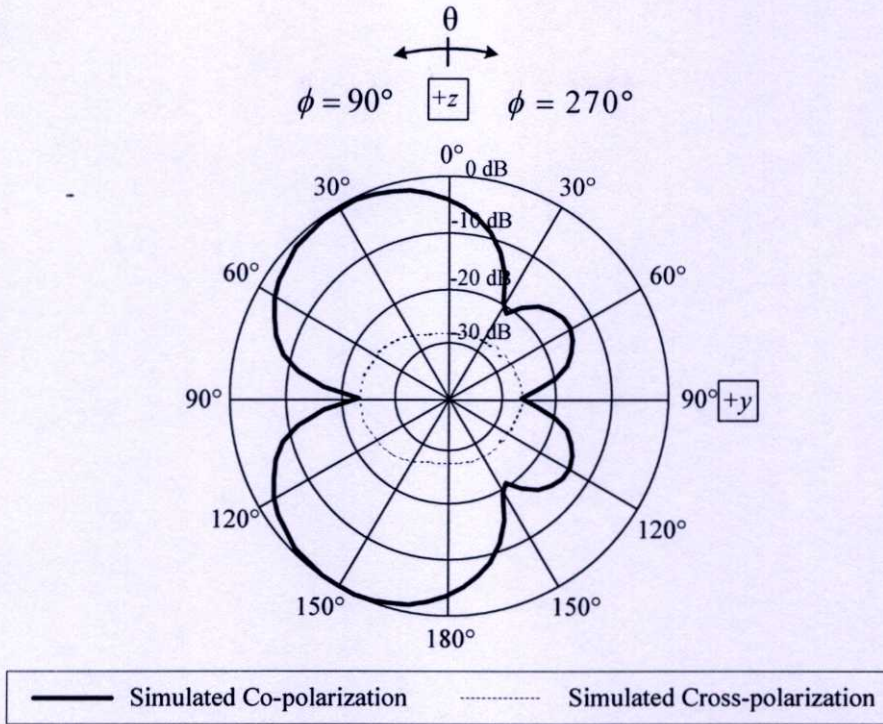


(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า

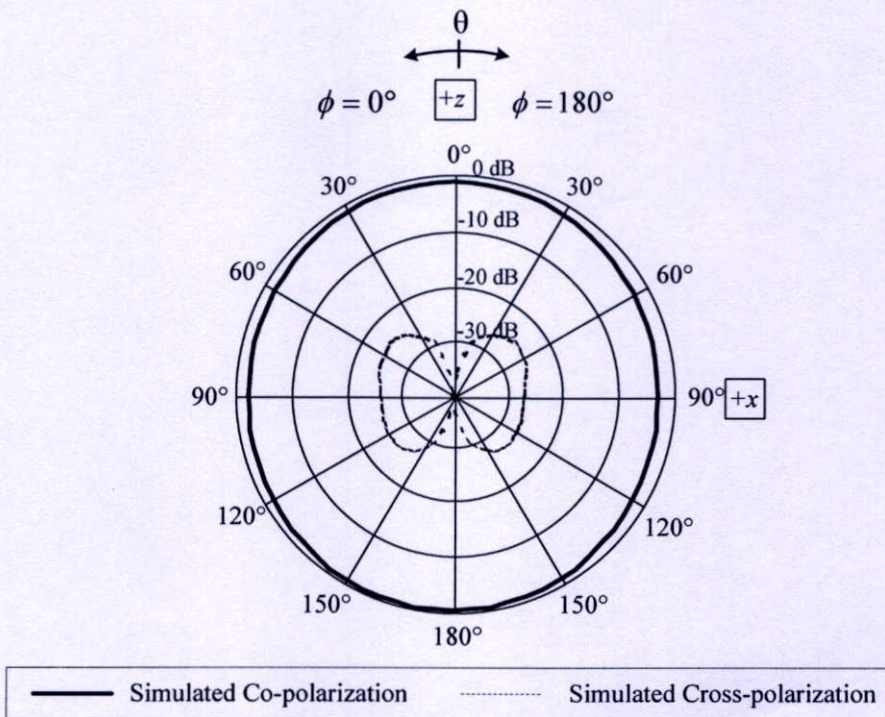


(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 3.33 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศย่านความถี่กว้างที่ความถี่ 2.5 กิกะเฮิรตซ์

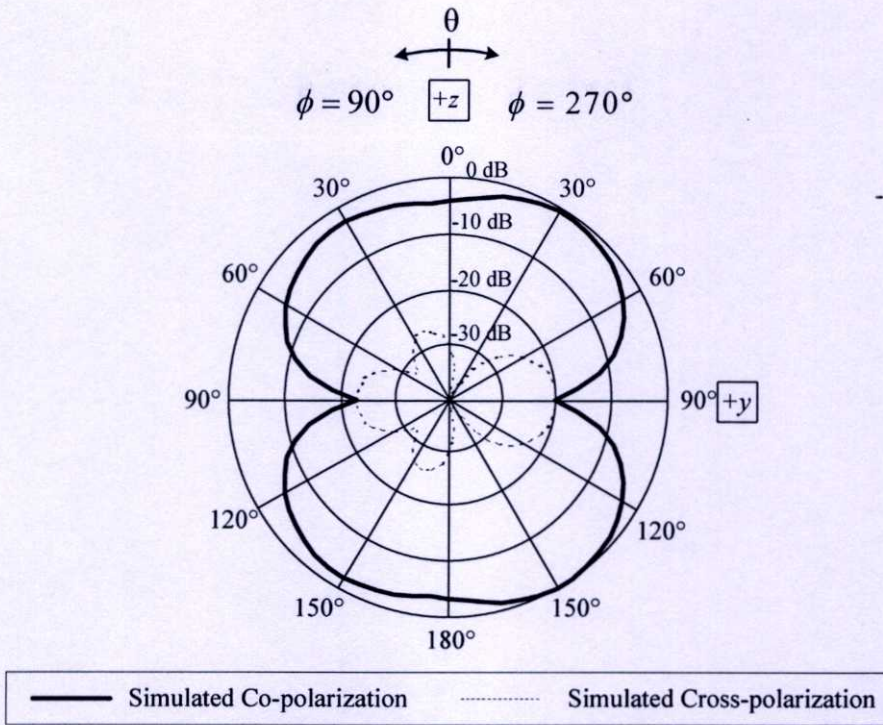


(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า

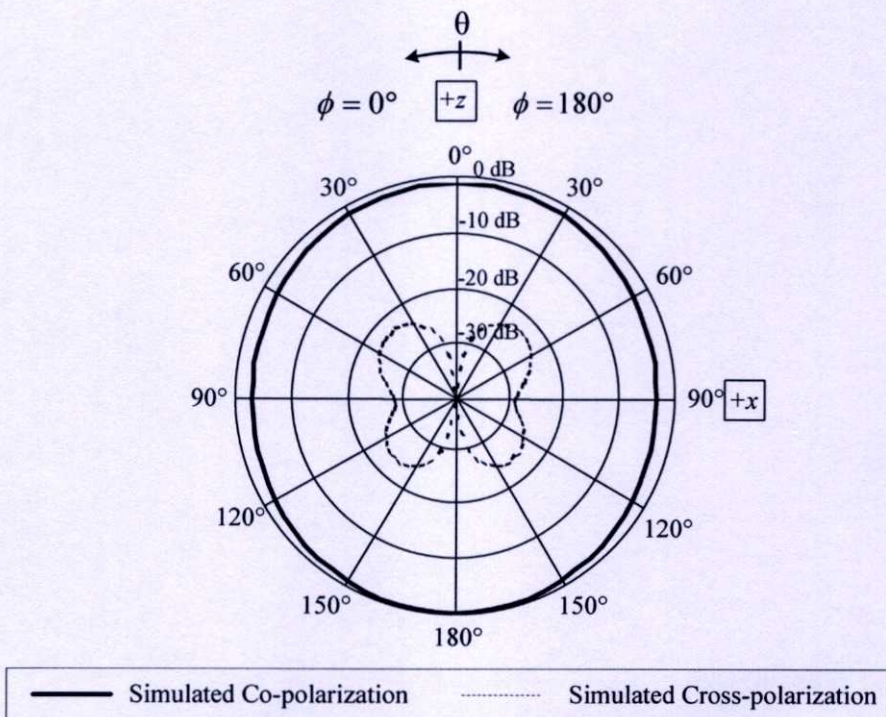


(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 3.34 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศย่านความถี่กว้างที่ความถี่ 3.5 กิกะเฮิรตซ์

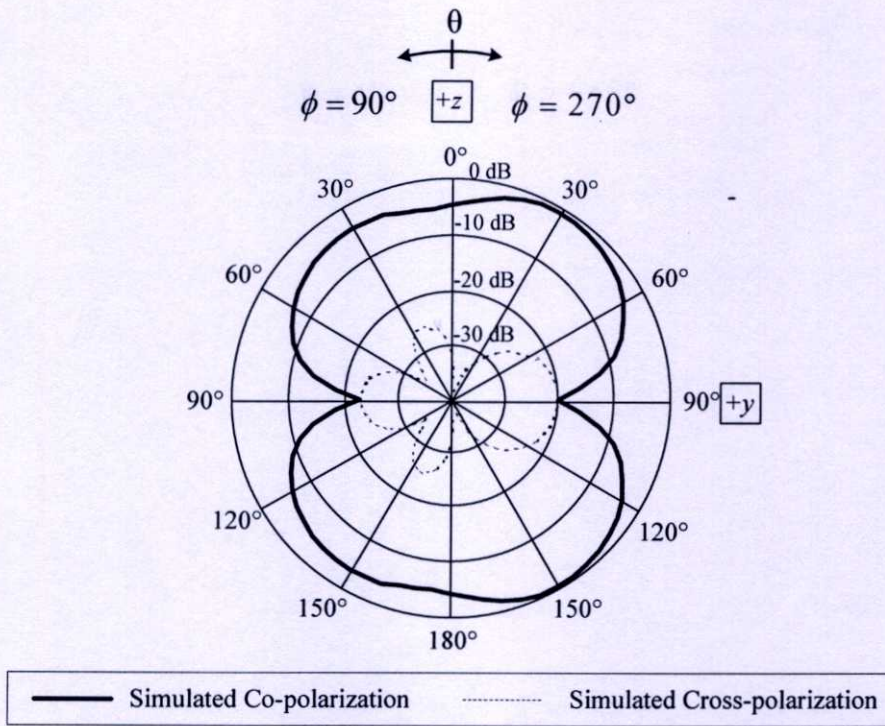


(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า

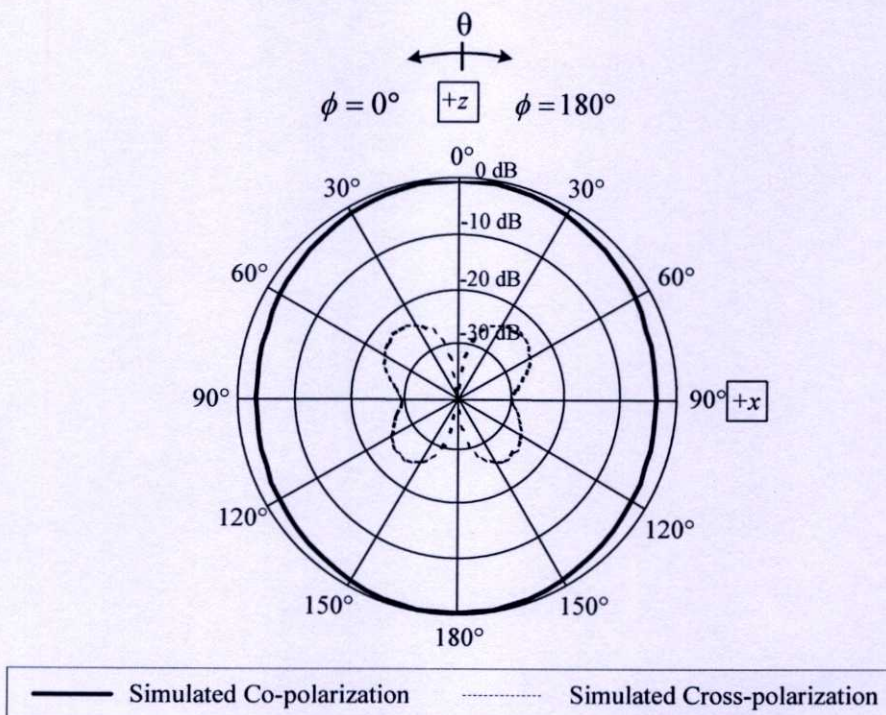


(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 3.35 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศย่านความถี่กว้างที่ความถี่ 5.2 กิกะเฮิรตซ์

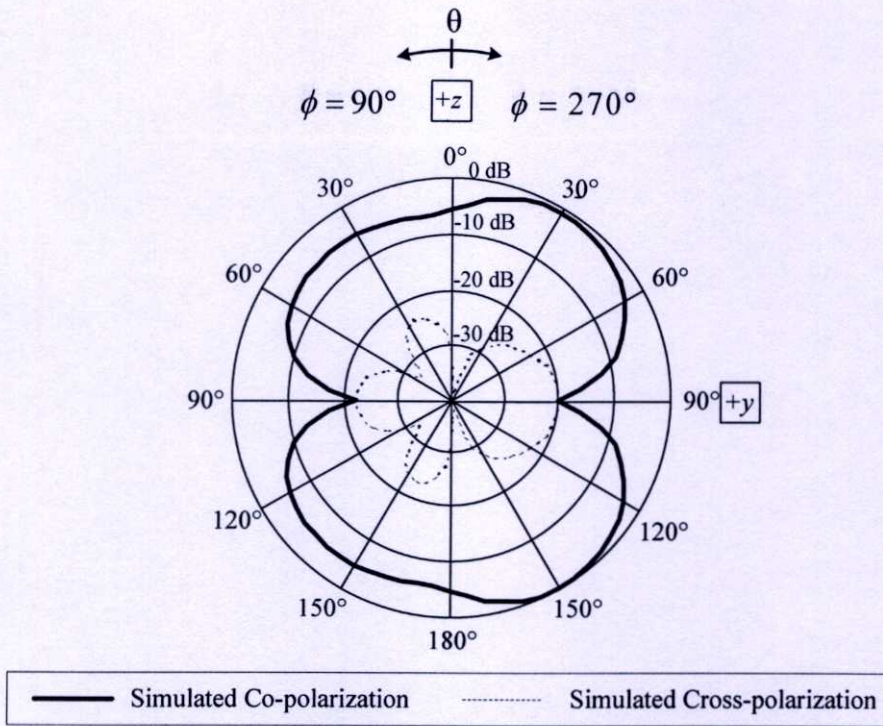


(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า

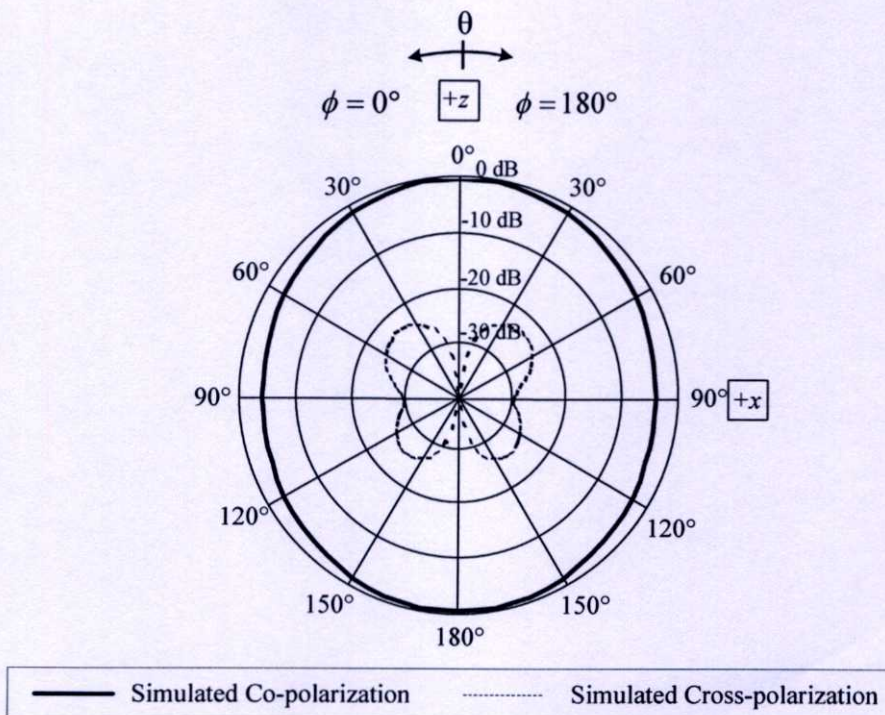


(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 3.36 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศย่านความถี่กว้างที่ความถี่ 5.5 กิกะเฮิรตซ์



(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า



(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

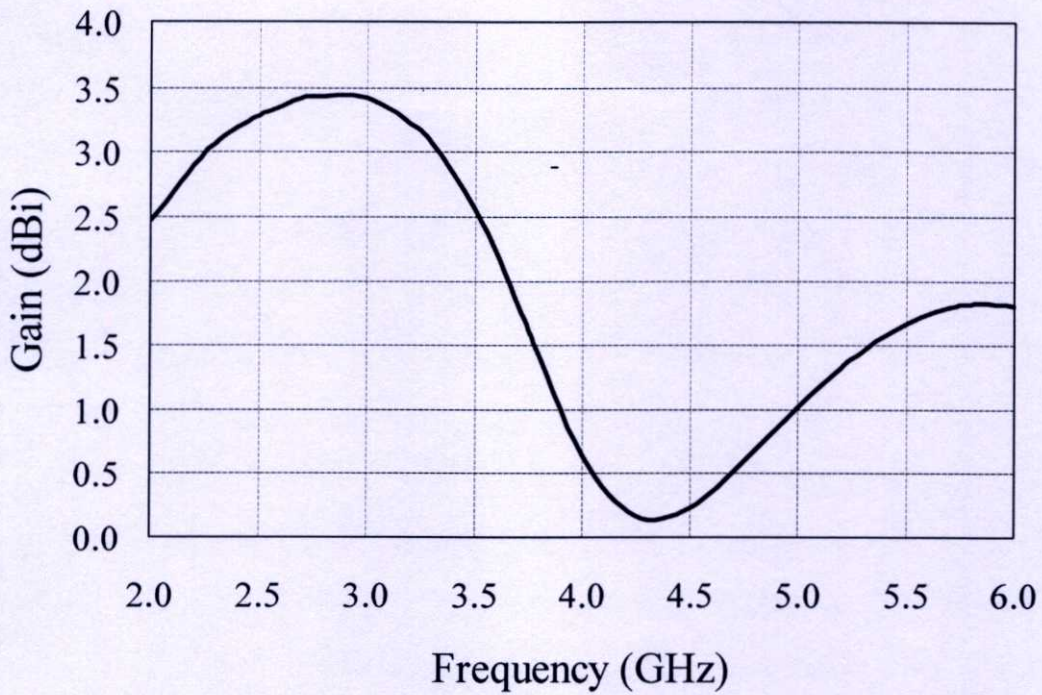
รูปที่ 3.37 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศย่านความถี่กว้างที่ความถี่ 5.85 กิกะเฮิรตซ์

โดยจากการพิจารณาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นนั้นลักษณะของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นลักษณะรอบตัว และมีปริมาณของระดับโพลาริไซซ์ไคว์ที่ต่ำกว่า -20 dB ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้า และ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ ทุกๆความถี่ใช้งานในระบบ WLAN และ WiMAX ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีต่อการสื่อสาร โดยมีมุมลำคลื่นสูงสุดต่างกันดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.13

ตารางที่ 3.13 ค่ามุมที่มีการแพร่กระจายสูงสุด และความกว้างของลำคลื่นของสายอากาศย่านความถี่กว้างสำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบ WLAN และ WiMAX

ความถี่ (กิกะเฮิรตซ์)	ระนาบสนามไฟฟ้า		ระนาบสนามแม่เหล็ก	
	ค่ามุมที่มีการ แพร่กระจาย สูงสุด (องศา)	ความกว้างลำ คลื่น (องศา)	ค่ามุมที่มีการ แพร่กระจาย สูงสุด (องศา)	ความกว้างลำ คลื่น (องศา)
2.3	170	78	180	180
2.4	170	77	180	180
2.5	170	75	180	180
3.5	150	57	180	180
5.2	35	54	115	180
5.5	35	52	0	156
5.85	35	50	0	121

ค่าอัตราการขยายสูงสุดที่มุม $\theta = 0$ องศา และ $\phi = 0$ องศา ที่เกิดขึ้นของแต่ละความถี่จากการจำลองด้วยโปรแกรมแสดงไว้รูปที่ 3.38 มีค่าอัตราการขยายสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 3 dBi ที่ความถี่ 3 กิกะเฮิรตซ์ ต่ำสุดที่ 0.2 dBi ที่ความถี่ 4.3 กิกะเฮิรตซ์



รูปที่ 3.38 ค่าอัตราขยายสูงสุดที่มุม $\theta = 0$ องศา และ $\phi = 0$ องศา ของสายอากาศย่านความถี่กว้าง สำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบ WLAN และ WiMAX จากการจำลองในทิศทางตามแนวแกน

3.5 สรุปการวิเคราะห์ และ การสร้างสายอากาศ

จากการวิเคราะห์ และ สร้างสายอากาศ นั้นมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ดังนี้

- เริ่มต้นด้วยการคำนวณค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายนำสัญญาณ ได้ขนาด 1.5 มิลลิเมตร สำหรับการใช้งานกับวัสดุฐานรองชนิด FR4 ที่มีค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ $\epsilon_r = 4.3$
- กำหนดหาขนาดของแผ่นวงกลมแพร่กระจายคลื่นจากวิธีการคำนวณการจำลองควาวิตี ที่ความถี่กลาง คือ 4 กิกะเฮิรตซ์ เพื่อพิสูจน์ความสอดคล้องในทางทฤษฎี และถูกใช้เป็นขนาดของพารามิเตอร์เริ่มต้นได้ที่ 20.8 มิลลิเมตร
- กำหนดความสูงของสายนำสัญญาณไว้ที่ 37.5 มิลลิเมตร คิดที่ระยะความยาวคลื่น $\frac{\lambda_{2GHz}}{4}$ โดยใช้หลักการของสายส่งเป็นตัวกำหนดเมื่อปริมาณกระแสสูงสุด ณ จุดแรกจะเกิดที่ระยะ $\frac{\lambda}{4}$ ของความยาวคลื่น
- กำหนดความกว้างของระนาบกราวด์ ที่ $2\left(\frac{\lambda_{6GHz}}{2}\right) = 50$ มิลลิเมตร ซึ่งเป็นเงื่อนไขต่ำสุดที่ให้ระยะเสมือนระยะกราวด์เป็นอนันต์ และให้ความสูงของระนาบกราวด์เท่ากับ $\frac{\lambda_{2GHz}}{2}$ เท่ากับความยาวของแผ่นวงจรมิพพ์ โดยเบื้องต้นกำหนดไว้

- ให้เป็นสายอากาศหมายเลขที่ 1 พารามิเตอร์ของสายอากาศเบื้องต้น และขนาดแสดงไว้ในตารางที่ 3.2
- ปรับเปลี่ยนความสูงของระนาบกราวด์เท่ากับความสูงของสายนำสัญญาณเพื่อให้เกิดการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวโดยกำหนดไว้ที่ 37.5 มิลลิเมตร พารามิเตอร์ของสายอากาศเมื่อทำการปรับระนาบกราวด์ แสดงไว้ในตารางที่ 3.3
 - ปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ d เพื่อให้เกิดความแมตซ์ในด้านความถี่ต่ำเสียก่อนโดยทำการจากเพิ่มขนาดด้วยสมมติฐานจากการวิเคราะห์พบว่าในการคิดขนาดของแผ่นวงกลมที่ก่อให้เกิดความถี่เรโซแนนซ์ที่ความถี่ต่ำลงไปนั้นขนาดของแผ่นวงกลมแพร่กระจายคลื่นจะขนาดใหญ่ขึ้นแปรผกผันกับความถี่ดังนั้นถ้าต้องการให้ช่วงความถี่ต่ำเกิดความแมตซ์มากขึ้นควรที่จะเพิ่มขนาดของแผ่นวงกลมด้วย ซึ่งจากสมมติฐานดังกล่าวนั้นเกิดขึ้นจริงโดยได้ขนาดของแผ่นวงกลมที่เหมาะสมเบื้องต้นเป็น 22.8 มิลลิเมตร พารามิเตอร์ของสายอากาศเมื่อทำการปรับเปลี่ยน d แสดงไว้ในตารางที่ 3.4
 - ปรับเปลี่ยนความกว้างของพารามิเตอร์ w_f เนื่องจากพารามิเตอร์ w_f เกี่ยวข้องกับค่าอิมพีแดนซ์มากที่สุดจึงทำการปรับเปลี่ยนเพื่อให้สายอากาศมีแบนด์วิดธ์ในการทำงานที่กว้างขึ้น โดยได้ค่าของพารามิเตอร์ w_f คือ 1 มิลลิเมตร พารามิเตอร์ของสายอากาศเมื่อทำการปรับเปลี่ยน w_f แสดงไว้ในตารางที่ 3.5
 - ปรับเปลี่ยนความสูงของพารามิเตอร์ g เพื่อให้ได้แบนด์วิดธ์ที่กว้างขึ้นและครอบคลุมตลอดการใช้งานย่านความถี่ WLAN และ WiMAX ได้ขนาดของพารามิเตอร์ g ที่เหมาะสมเบื้องต้น คือ 1 มิลลิเมตร และครอบคลุมตลอดการใช้งานย่านความถี่ WLAN และ WiMAX พารามิเตอร์ของสายอากาศเมื่อทำการปรับเปลี่ยน g แสดงไว้ในตารางที่ 3.6
 - ปรับปรุงระดับค่าการสูญเสียย้อนกลับให้ลดต่ำลงมากขึ้นด้วยการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ w_g ได้ขนาดที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ 0.4 มิลลิเมตร จึงได้มาเป็นสายอากาศหมายเลขที่ 1 พารามิเตอร์ของสายอากาศหมายเลขที่ 1 แสดงไว้ในตารางที่ 3.7
 - วิเคราะห์ถึงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นพบว่าระดับค่าโพลาไรซ์ไขว้มีค่ามากกว่า -20 dB ที่ความถี่ตั้งแต่ 3.5 กิกะเฮิรตซ์ เป็นต้น ไปจนถึงความถี่ 5.85 กิกะเฮิรตซ์
 - ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบขององค์ประกอบของกระแสที่ความถี่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งให้ระดับค่าโพลาไรซ์ไขว้ต่ำกว่า -20 dB เปรียบเทียบกับความถี่ 5.85 กิกะเฮิรตซ์ ทั้งในองค์ประกอบของกระแสในแนวแกน x และ y ทำให้เห็นว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดระดับค่าโพลาไรซ์ไขว้สูงขึ้นนั้นเกิดจากการกระจายตัวของกระแสในองค์ประกอบของกระแสในแนวแกน y ถูกแบ่งไปให้ไปในแนวแกน x มาก ในขณะที่องค์ประกอบของกระแสแนวแกน x มีกระแสที่พื้นผิวเป็นบริเวณที่กว้างซึ่งผลการกระจายตัว

ของกระแสจะส่งผลโดยตรงต่อองค์ประกอบทางไฟฟ้าของสนามแม่เหล็กทำให้เกิดระดับโพลาริซัซชันสูง

- ใช้เทคนิคการลดขนาดระนาบกราวนด์เพื่อลดระดับค่าโพลาริซัซชัน โดยทำการลดขนาดของระนาบกราวนด์ลงเพื่อลดระดับกระแสเชิงผิวในองค์ประกอบของแนวแกน x และเพิ่มความหนาหนาแน่นของกระแสเชิงผิวในทางแนวแกน y โดยลดขนาดเป็นสัดส่วนที่ $2\left(\frac{\lambda_{6GHz}}{4}\right) = 25$ มิลลิเมตร พบว่าเมื่อทำการปรับเปลี่ยนขนาดของระนาบกราวนด์ให้ลดลงส่งผลให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับไม่ครอบคลุมตลอดการใช้งาน โดยจากการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์กำหนดให้เป็นสายอากาศหมายเลขที่ 2 พารามิเตอร์ของสายอากาศหมายเลขที่ 2 แสดงไว้ในตารางที่ 3.9
- ปรับปรุงสมรรถนะของสายอากาศเพื่อให้ได้ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ครอบคลุมตลอดการใช้งาน โดยสนใจถึงพารามิเตอร์ g เพราะจากการวิเคราะห์ พารามิเตอร์ g ส่งผลต่อการแมตซ์ของอิมพีแดนซ์มากที่สุดและเพื่อเป็นการลดขั้นตอนและไม่ทำให้พารามิเตอร์ต่างๆทำการปรับเปลี่ยนไม่เปลี่ยนแปลงไปมากโดยถูกกำหนดไว้ให้เป็นสายอากาศหมายเลขที่ 3 จากผลของการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ g ทำให้ได้ค่าการสูญเสียย้อนกลับครอบคลุมตลอดการใช้งานของระบบ โดยถูกเรียกให้เป็นสายอากาศหมายเลขที่ 3 พารามิเตอร์ของสายอากาศหมายเลขที่ 3 แสดงไว้ในตารางที่ 3.10
- ลดขนาดความสูงของวัสดุฐานรองที่ไม่เกี่ยวข้องออกโดยกำหนดให้ขนาดของวัสดุฐานมีความสูงใกล้เคียงกับวงนอกของเส้นผ่านศูนย์กลางวงนอกของแผ่นวงกลมมากที่สุด ถูกเรียกให้เป็นสายอากาศหมายเลขที่ 4 พารามิเตอร์ของสายอากาศหมายเลขที่ 4 แสดงไว้ในตารางที่ 3.11
- ปรับสมรรถนะของสายอากาศเพื่อนำไปสู่การใช้งาน โดยหลังจากการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ให้เหมาะสมแล้วถูกเรียกว่าสายอากาศย่านความถี่กว้างสำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบ WLAN และ WiMAX โดยพารามิเตอร์ทั้งหมดแสดงไว้ในตารางที่ 3.12
- แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่มีความถี่ 2.3 กิกะเฮิร์ตซ์ 2.4 กิกะเฮิร์ตซ์ 2.5 กิกะเฮิร์ตซ์ 3.5 กิกะเฮิร์ตซ์ 5.2 กิกะเฮิร์ตซ์ 5.5 กิกะเฮิร์ตซ์ และ ความถี่ 5.85 กิกะเฮิร์ตซ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.31 ถึง รูปที่ 3.37 โดยมุมที่ให้ค่าคลื่นสูงสุดแสดงไว้ในตารางที่ 3.13 พบว่าให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นโดยรวมเป็นลักษณะรอบตัว และ ให้ระดับโพลาริซัซชันต่ำกว่า -20 dB ทุกความถี่ที่ใช้งานในระบบทั้งระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ให้แบนด์วิดธ์ในการใช้งาน คิดเป็นอัตราส่วน 3.49:1 และ อัตราการขยายสูงสุดที่มุม $\theta = 0$ องศา

และ $\phi = 0$ องศา ประมาณ 3 dBi ที่ความถี่ 3 กิกะเฮิรตซ์ ต่ำสุดที่ 0.2 dBi ที่ความถี่ 4.3 กิกะเฮิรตซ์

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะทำการแสดงผลจากการทดสอบของสายอากาศย่านความถี่กว้างสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้กับระบบ WLAN และ WiMAX ซึ่งประกอบค่าการสูญเสียย้อนกลับ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า และ ระนาบสนามแม่เหล็ก ที่ความถี่ 2.3 กิกะเฮิร์ตซ์ 2.4 กิกะเฮิร์ตซ์ 2.5 กิกะเฮิร์ตซ์ 3.5 กิกะเฮิร์ตซ์ 5.2 กิกะเฮิร์ตซ์ 5.5 กิกะเฮิร์ตซ์ และ 5.85 กิกะเฮิร์ตซ์ รวมทั้งอัตราขยายสูงสุดที่มุม $\theta = 0$ องศา และ $\phi = 0$ องศา

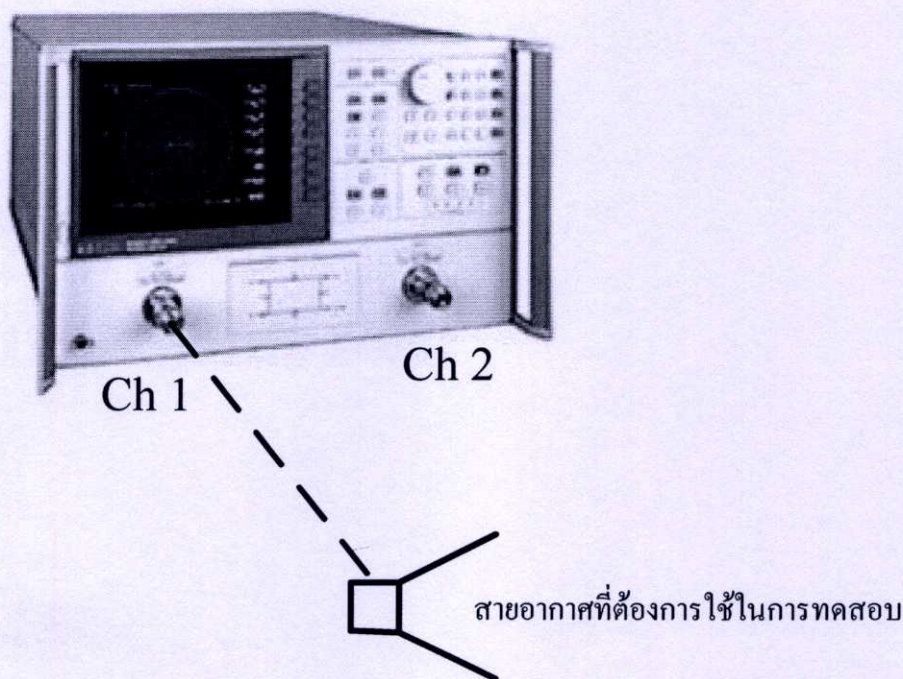
4.2 ขั้นตอนการทดสอบ

จากบทที่ 3 ที่ผ่านมาได้ทำการวิเคราะห์จากการคำนวณทางทฤษฎีอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ และทฤษฎีการจำลองควาวิดี รวมทั้งปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่างๆ อีกทั้งใช้เทคนิคในการลดค่าระดับโพลาไรซ์ไขว้จากการจำลองด้วยโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO® เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ ในลำดับต่อไปจะเป็นการสร้างสายอากาศเพื่อการทดสอบจากแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ $\epsilon_r = 4.3$ ซึ่งเป็นวัสดุที่หาได้ง่าย

สายอากาศที่สร้างขึ้นจากแผ่นวงจรพิมพ์ในขั้นตอนเตรียมแผ่นวงจรพิมพ์ตามคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่มี $\epsilon_r = 4.3$ หลังจากนั้นทำการเขียนแบบลงในโปรแกรม VISIO เพื่อใช้ในขั้นตอนกัดแผ่นวงจรพิมพ์ โดยกำหนดการเขียนแบบให้มีขนาดจริง และ กำหนดสีของส่วนที่จะใช้ให้เป็นเนื้อทองแดงให้เป็นสีขาว ในส่วนที่จะทำการกัดออกกำหนดให้เป็นสีดำ และ ทำการพิมพ์แบบลงในแผ่นกระดาษไข เพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนการส่องสว่างของแสงที่จะนำไปใช้กับแผ่นครายฟิล์มเพื่อทำการลอกลายของแบบลงไปในแผ่นวงจรพิมพ์ หลังจากนั้นนำแผ่นวงจรพิมพ์ที่ทำการลอกลายด้วยแผ่นครายฟิล์ม เพื่อกัดส่วนที่ไม่ต้องการออกด้วยน้ำยากัดลายพิมพ์ หลังจากนั้นทำการบัดกรี คอนเนคเตอร์ชนิด SMA เข้าไปที่จุดป้อนสัญญาณด้านล่าง เพื่อใช้ในขั้นตอนการทดสอบคุณลักษณะต่างๆต่อไป

สำหรับขั้นตอนการทดสอบประกอบด้วย การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานทางไฟฟ้า เช่น การทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับของกำลังงาน หรือระดับการสะท้อนของกำลังงานซึ่งอยู่ในรูปพารามิเตอร์การสะท้อน แสดงผ่านทางค่าการสูญเสียย้อนกลับ S_{11} ในหน่วยของเดซิเบล การทดสอบอิมพีแดนซ์ด้านเข้า (Input impedance) การทดสอบค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (SWR) ในการทดสอบสามารถที่จะแสดงพารามิเตอร์ใดพารามิเตอร์หนึ่งก็ได้ เนื่องจากทุกพารามิเตอร์มีความสัมพันธ์กันตามสมการดังที่จะแสดงต่อไป

เมื่อค่า S_{11} อยู่ในหน่วย dB และ Z_m คือ อิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศ และ Z_o คือ ค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายนำสัญญาณที่นำมาต่อที่หัวของสายอากาศ สำหรับการทดสอบ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะแสดงค่าพารามิเตอร์การสะท้อนผ่านทางค่าการสูญเสียย้อนกลับ S_{11} ในหน่วยเดซิเบลเพียงค่าเดียว โดยทำการทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer HP 8720C) โดยแสดงไว้ในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับ S_{11}

$$VSWR = \frac{1 + |S_{11}|}{1 - |S_{11}|} \quad (4.1)$$

$$S_{11} = \frac{Z_m - Z_o}{Z_m + Z_o} \quad (4.2)$$

ในการทดสอบอัตราขยายของสายอากาศ จะทำการทดสอบอัตราขยายสมบูรณ์ของสายอากาศโดยใช้สายอากาศคู่เหมือนในการทดสอบเพื่อหาอัตราขยายที่แท้จริงจากนั้นทำการคำนวณหาอัตราขยายสมบูรณ์ได้จากสมการของฟรีส ในหน่วยเดซิเบล [12] ดังสมการดังต่อไปนี้

$$(G_{or})_{dB} + (G_{or})_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{Pr}{Pt} \right) \quad (4.3)$$

เมื่อ R คือระยะสนามระยะไกล

$$R \geq \frac{2(D^2)}{\lambda} \quad (4.4)$$

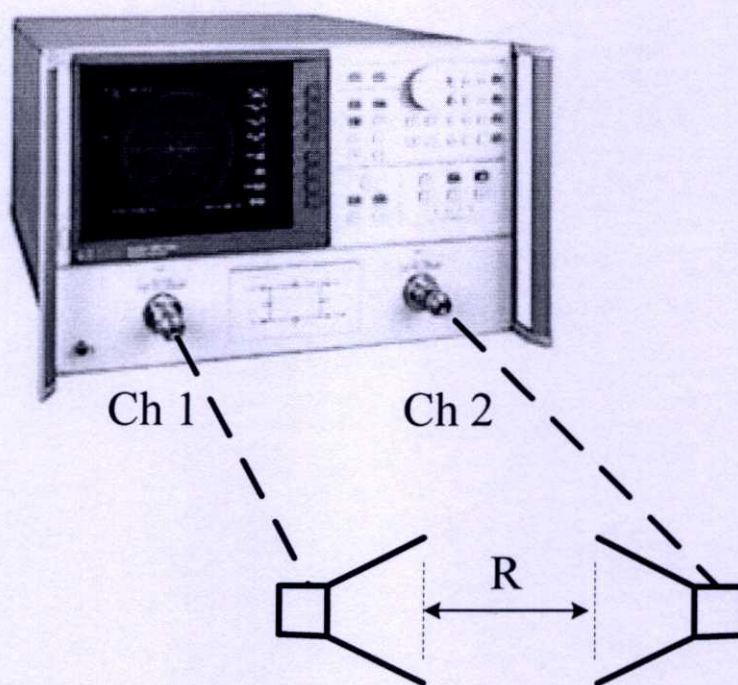
และ D คือขนาดที่ยาวที่สุดของสายอากาศแต่ถ้ากรณีนี้พิจารณาการทดสอบสายอากาศส่งและรับ
พร้อมกัน

$$D = D_T + D_R \quad (4.5)$$

โดยที่ D_T คือขนาดที่ยาวที่สุดของสายอากาศส่ง

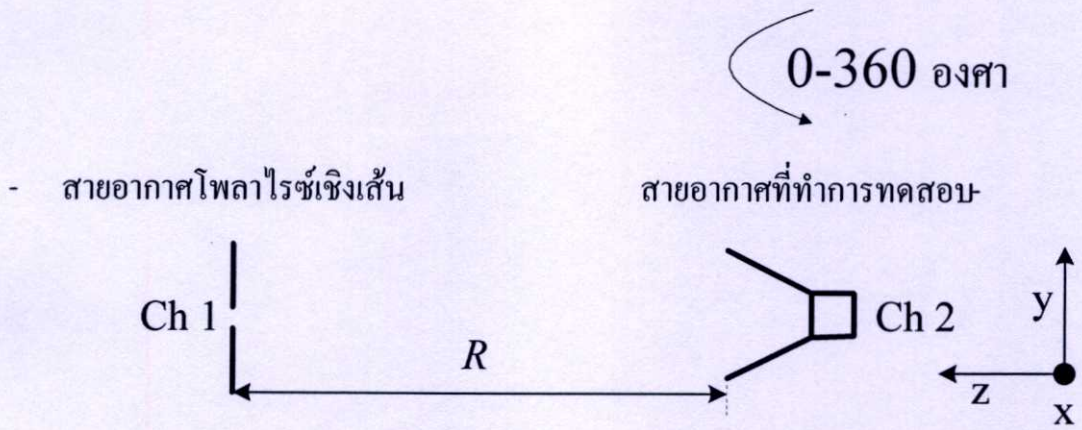
D_R คือขนาดที่ยาวที่สุดของสายอากาศรับ

ทำการทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายผ่านทางพารามิเตอร์การส่งผ่าน S_{21} โดยที่พารามิเตอร์ S_{21} ก็คือพารามิเตอร์ในรูปของฟังก์ชันคลื่นคืออัตราส่วนของสัมประสิทธิ์ของคลื่นที่ส่งผ่านเครือข่ายไปยังโหลดต่อสัมประสิทธิ์ของคลื่นที่ส่งเข้าไปในเครือข่าย พิจารณาได้ว่าเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังทางด้านรับที่ช่อง 2 (P_r) ต่อกำลังส่งที่ช่องที่ 1 (P_t) ภายใต้เงื่อนไขแมตซ์โพลาไรซ์และมีระยะห่างระหว่างสายอากาศที่มีระยะมากกว่า หรือเท่ากับขอบเขตของสนามระยะไกล

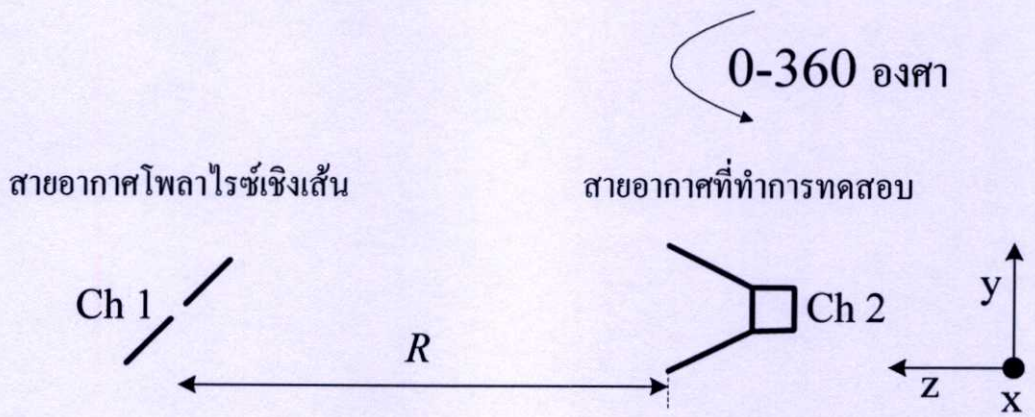


รูปที่ 4.2 การทดสอบค่าอัตราขยายของสายอากาศ

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศนั้นเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของสายอากาศ และ ถูกจำกัดความไว้ว่าเป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ หรือรูปภาพที่ใช้เป็นตัวแทนคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นซึ่งเป็นฟังก์ชันของโคออร์ดิเนตเชิงตำแหน่ง (Space Coordinates) ส่วนใหญ่แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจะพิจารณาที่สนามระยะไกล ที่ฟังก์ชันทิศทางรอบตัวของสายอากาศ ในการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นมักนิยมทดสอบใน 3 ระนาบหลัก คือ ระนาบ xy ระนาบ xz และระนาบ yz ในรูปแบบพิกัดเชิงขั้วเมื่อ ระยะ R คือระยะห่างระหว่างสายอากาศที่มีระยะมากกว่า หรือ เท่ากับ ระยะสนามไกล ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณาถึงการทดสอบเพียง 2 ระนาบ คือ xz (ระนาบสนามแม่เหล็ก) และ yz (ระนาบสนามไฟฟ้า)

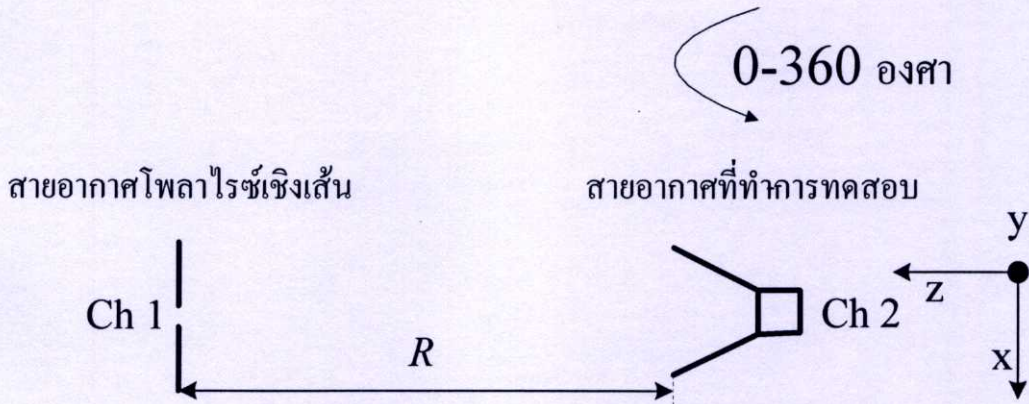


(ก) สายอากาศส่งที่มีการโพลาริซเซชันเชิงเส้นแนวตั้ง

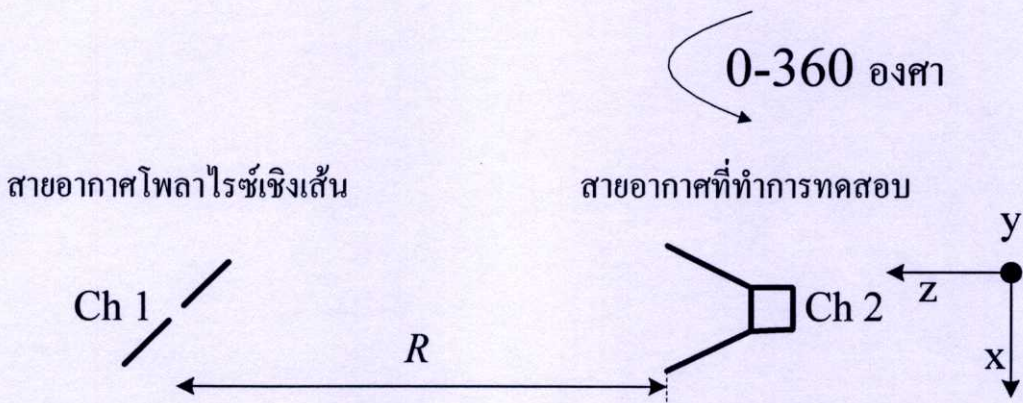


(ข) สายอากาศส่งที่มีการโพลาริซเซชันเชิงเส้นแนวนอน

รูปที่ 4.3 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก



(ก) สายอากาศส่งที่มีการโพลาริซแบบเชิงเส้นแนวตั้ง



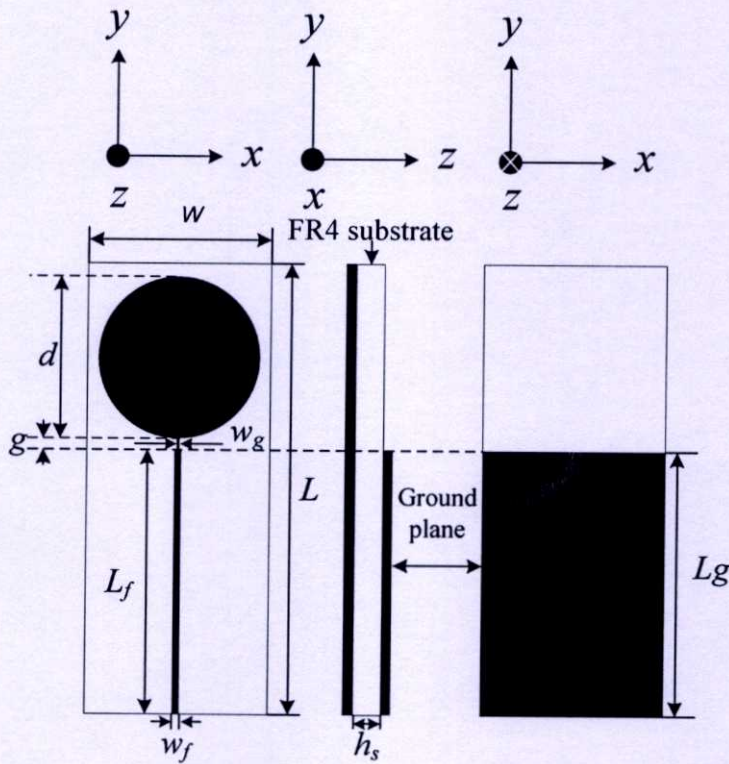
(ข) สายอากาศส่งที่มีการโพลาริซแบบเชิงเส้นแนวนอน

รูปที่ 4.4 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า

การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นทำได้โดยการส่งสัญญาณด้วยสายอากาศที่มีโพลาริซเชิงเส้นวางห่างจากสายอากาศที่ต้องการทดสอบด้วยระยะ R จากนั้นทำการหมุนสายอากาศที่ต้องการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นและบันทึกค่าระดับสัญญาณผ่านพารามิเตอร์ S_{21} ที่มุมต่างๆ จนครบ 360 องศา จากรูปที่ 4.3 (ก) และรูปที่ 4.3 (ข) แสดงการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า และจากรูปที่ 4.4 (ก) และรูปที่ 4.4 (ข) แสดงการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก โดยทำการทดสอบองค์ประกอบของโพลาริซร่วมและองค์ประกอบโพลาริซไขว้ด้วยสายอากาศที่มีโพลาริซเป็นแบบเชิงเส้นในแนวตั้ง และสายอากาศส่งที่มีโพลาริซที่เป็นเชิงเส้นในแนวนอน หลังจากนั้นนำค่าที่ได้ไปพล็อตลงในกราฟแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

4.3 ผลการทดสอบ

โดยพารามิเตอร์ของสายอากาศที่จะทำการสร้างขึ้นพร้อมขนาดแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 พร้อมทั้งโครงสร้างของสายอากาศถูกแสดงไว้ในรูปที่ 4.1

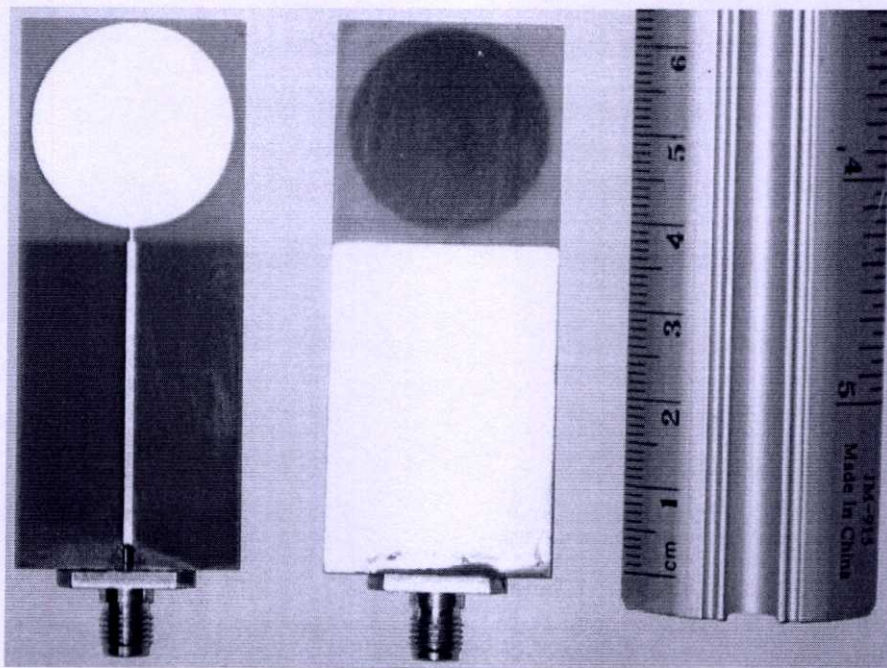


(ก) ด้านหน้า (ข) ด้านข้าง (ค) ด้านหลัง

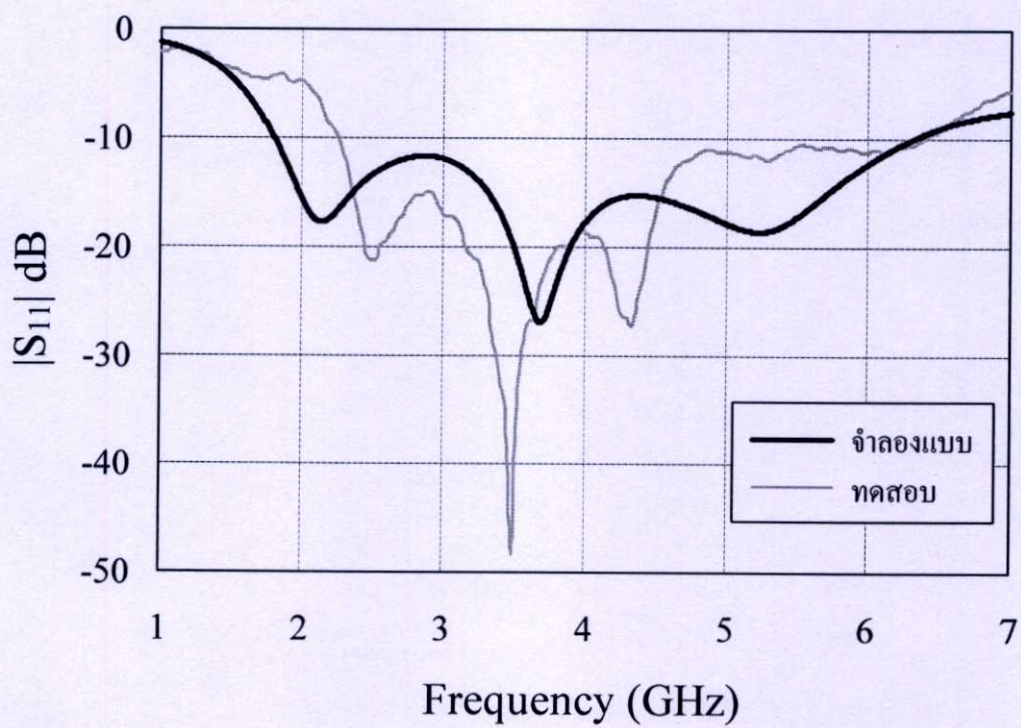
รูปที่ 4.5 โครงสร้างสายอากาศ

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศ

พารามิเตอร์	ขนาด (มิลลิเมตร)
d	23
g	1.6
h_s	0.75
L	63
L_f	37.5
L_g	37.5
W	26
w_f	1
w_g	0.4



รูปที่ 4.6 รูปถ่ายสายอากาศที่สร้างขึ้น



รูปที่ 4.7 ผลการจำลอง และผลการทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับ

จากรูปที่ 4.7 แสดงค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศย่านความถี่กว้างสำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบ WLAN และ WiMAX จากการจำลองพบว่าให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่มีค่าต่ำกว่า -10 dB เริ่มต้นที่ความถี่ 1.81 กิกะเฮิรตซ์ ครอบคลุมไปถึงความถี่ 6.32 กิกะเฮิรตซ์ ให้แบนด์วิธ 4.51 กิกะเฮิรตซ์ คิดอัตราส่วนได้ 3.49:1 ในขณะที่การทดสอบจริงนั้นให้ ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่มีค่าต่ำกว่า -10 dB เริ่มต้นที่ความถี่ 2.29 กิกะเฮิรตซ์ ครอบคลุมไปถึงความถี่ 6.37 กิกะเฮิรตซ์ ให้แบนด์วิธ 4.08 กิกะเฮิรตซ์ คิดเป็นเป็นอัตราส่วนได้ 2.78:1 จะสังเกตได้ว่าจากการทดสอบจริงนั้นที่ขอบความถี่ต่ำมีความผิดพลาดจากการจำลองคือมีลักษณะการเลื่อนเข้าหาในด้านความถี่สูง 580 เมกะเฮิรตซ์ในด้านความถี่สูงความผิดพลาดเลื่อนออกไป 50 เมกะเฮิรตซ์ ดังสรุปคุณสมบัติของค่าการสูญเสียย้อนกลับจากการจำลองและการทดสอบไว้ในตารางที่ 4.2 และ 4.3

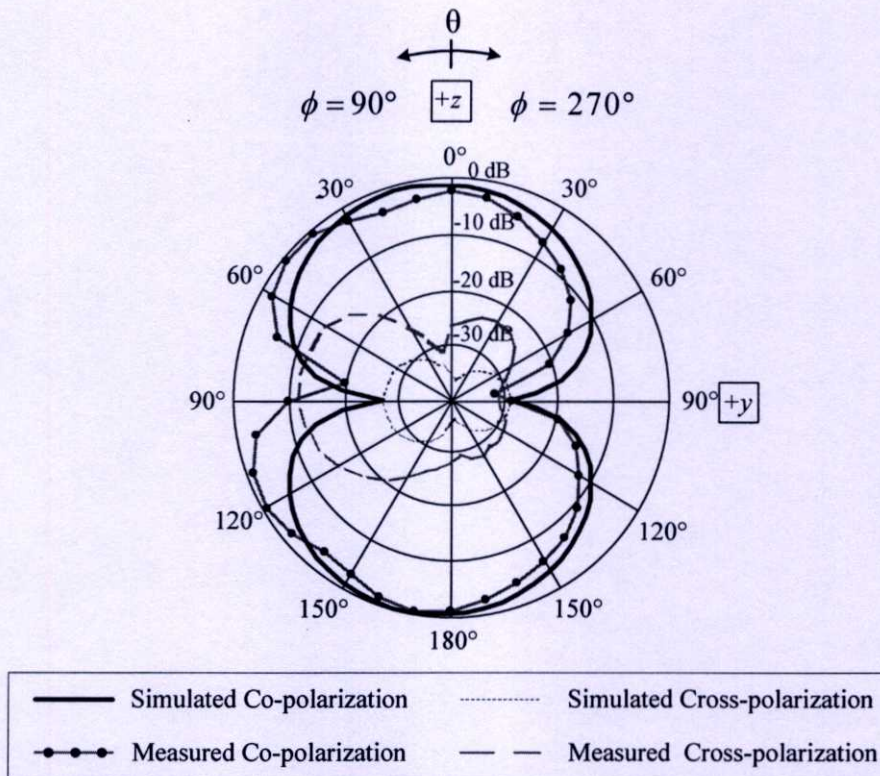
ตารางที่ 4.2 ค่าความผิดพลาดของค่าการสูญเสียย้อนกลับเปรียบเทียบการจำลองและการทดสอบ

เปอร์เซ็นต์ ผิดพลาดจาก การจำลอง	ความถี่เริ่มต้นที่สามารถใช้งานได้		ความถี่ที่สิ้นสุดที่สามารถใช้งานได้	
	ผลจากการจำลอง	ผลจากการ ทดสอบ	ผลจากการจำลอง	ผลจากการ ทดสอบ
	1.81 กิกะเฮิรตซ์	2.29 กิกะเฮิรตซ์	6.32 กิกะเฮิรตซ์	6.37 กิกะเฮิรตซ์
	26.5		0.79	

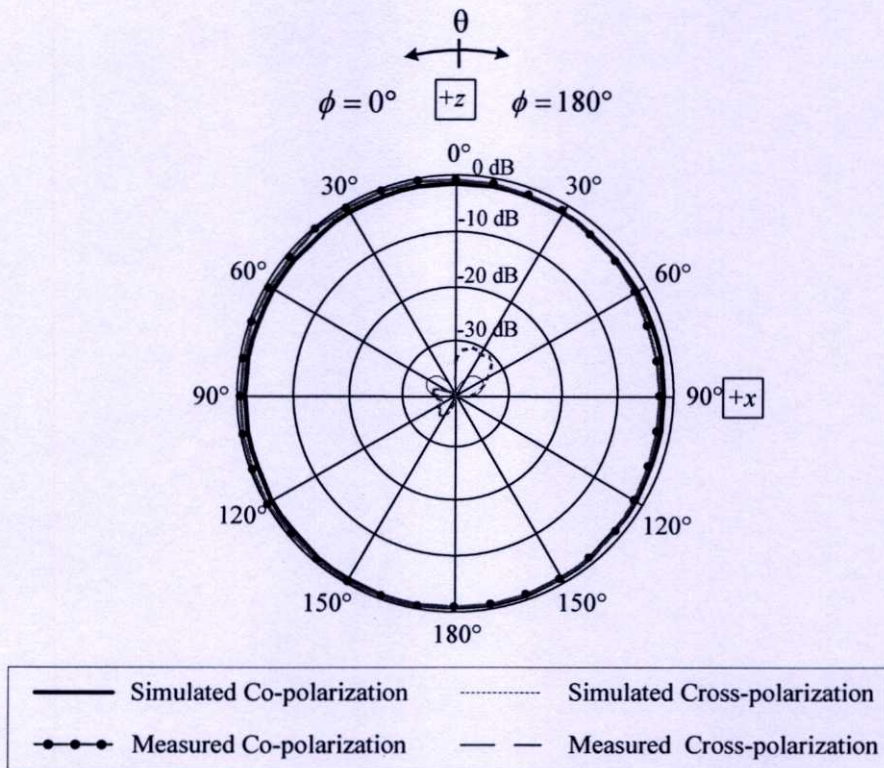
ตารางที่ 4.3 อัตราส่วนแบนด์วิธของสายอากาศ

อัตราส่วน แบนด์วิธ	ผลจากการจำลอง		ผลจากการทดสอบ	
	ความถี่เริ่มต้นที่ใช้ งานได้	ความถี่สิ้นสุดที่ใช้ งานได้	ความถี่เริ่มต้นที่ ใช้งานได้	ความถี่สิ้นสุดที่ ใช้งานได้
	1.81 กิกะเฮิรตซ์	6.32 กิกะเฮิรตซ์	2.29 กิกะเฮิรตซ์	6.37 กิกะเฮิรตซ์
	3.49:1		2.78:1	

จากตารางที่ 4.2 และ 4.3 แสดงให้เห็นถึงข้อมูลที่ได้จากการจำลองและการสร้างเปรียบเทียบกันซึ่งจะเห็นได้ว่าเกิดความผิดพลาดในการออกแบบย่านความถี่ต่ำมากคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ 26.5 เปอร์เซ็นต์ แต่อย่างไรก็ตามยังครอบคลุมถึงการประยุกต์ใช้งานกับระบบได้ โดยความถี่เริ่มต้นของระบบนั้นคือ 2.3 กิกะเฮิรตซ์ และขอบเขตความต้องการในด้านความถี่ของระบบอยู่ที่ 5.85 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งยังถือว่านำไปใช้ได้และครอบคลุมทั้งหมดของระบบอยู่ในลำดับต่อไปจะแสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจากการจำลองเปรียบเทียบกับ การทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.8 ถึง 4.14

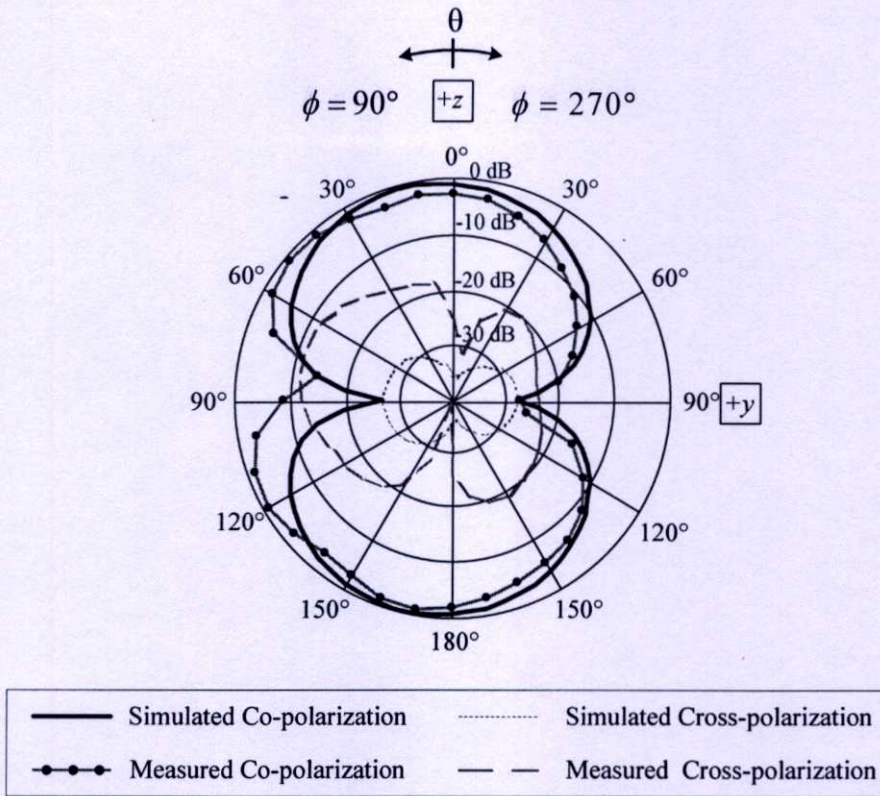


(ก) ระบายสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์

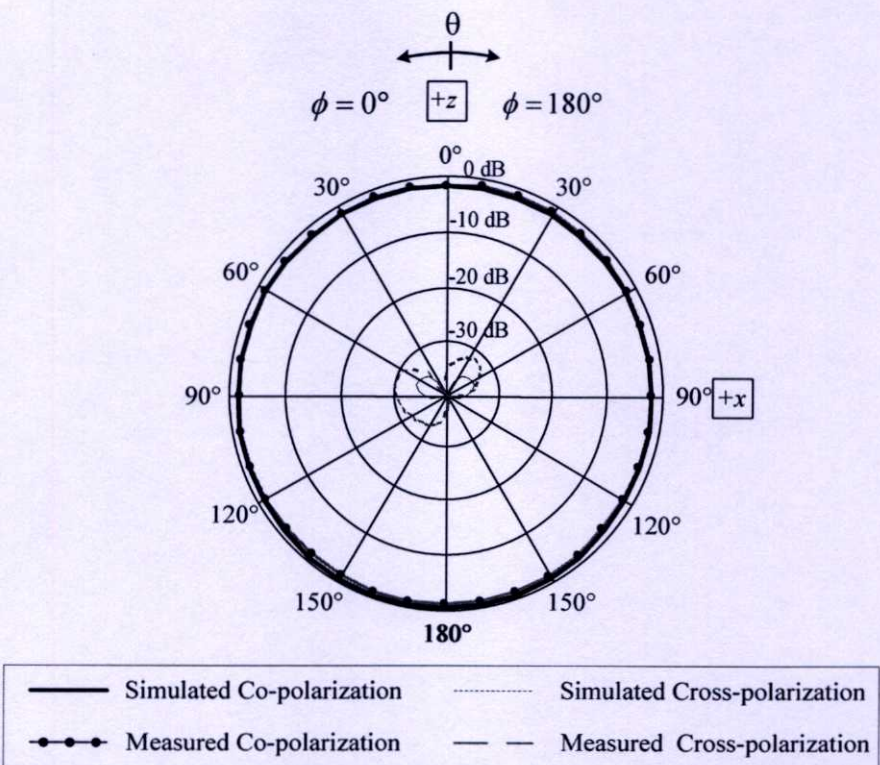


(ข) ระบายสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์

รูปที่ 4.8 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ทำการทดสอบ และจำลองที่ความถี่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์

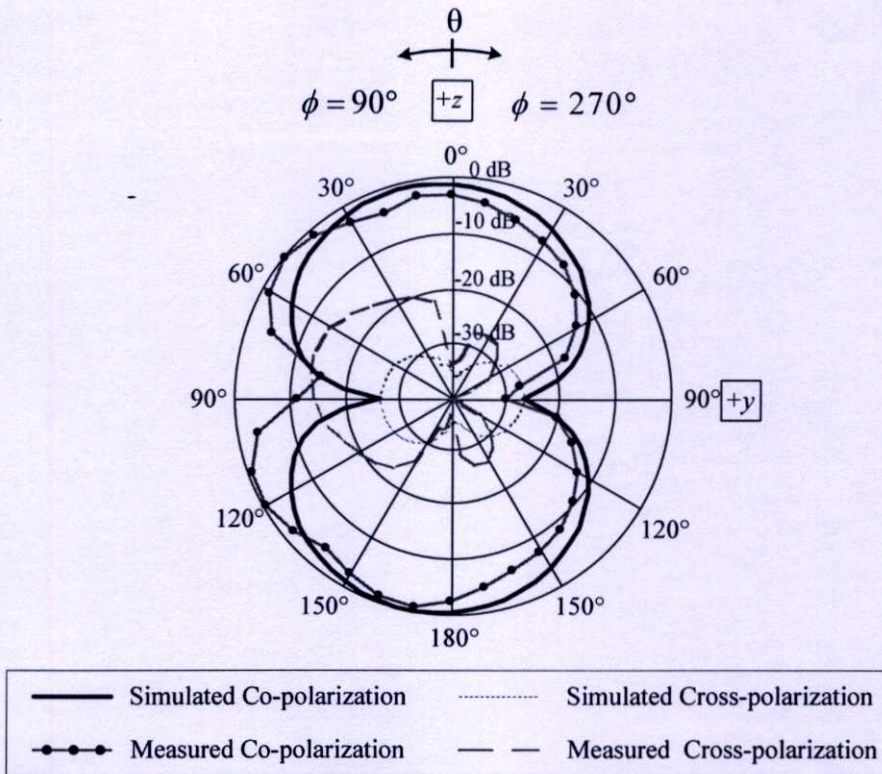


(ก) ระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์

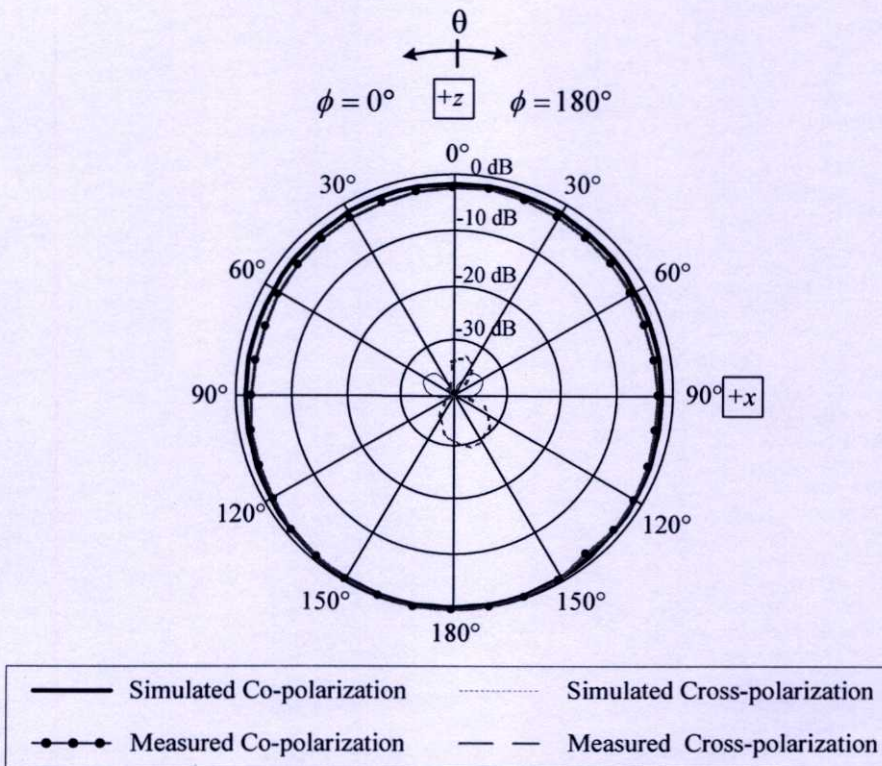


(ข) ระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์

รูปที่ 4.9 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ทำการทดสอบ และจำลองที่ความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์

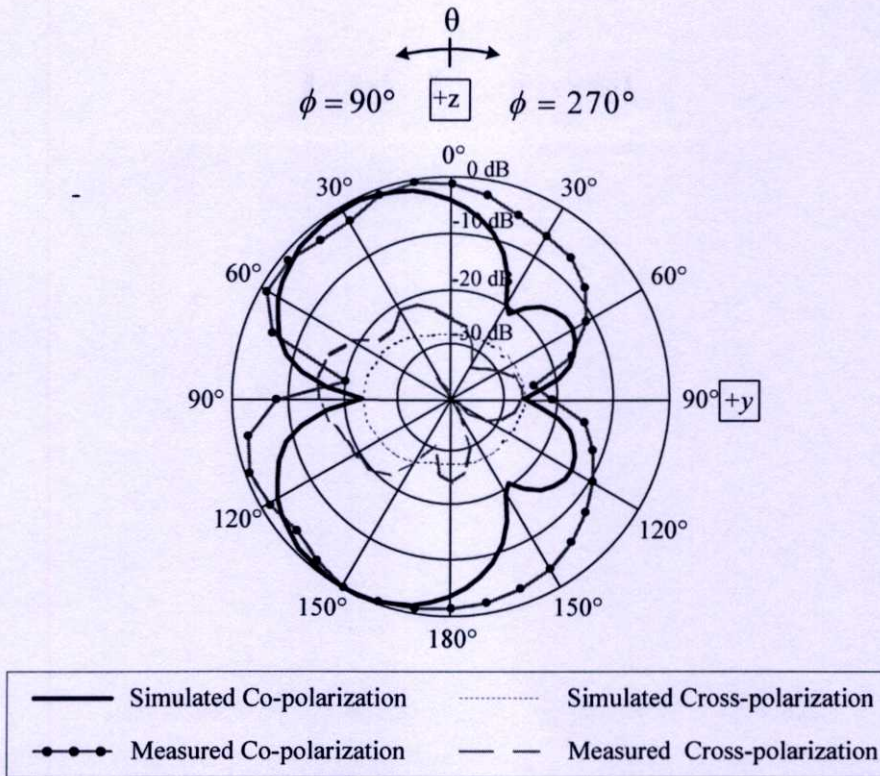


(ก) ระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 2.5 กิกะเฮิรตซ์

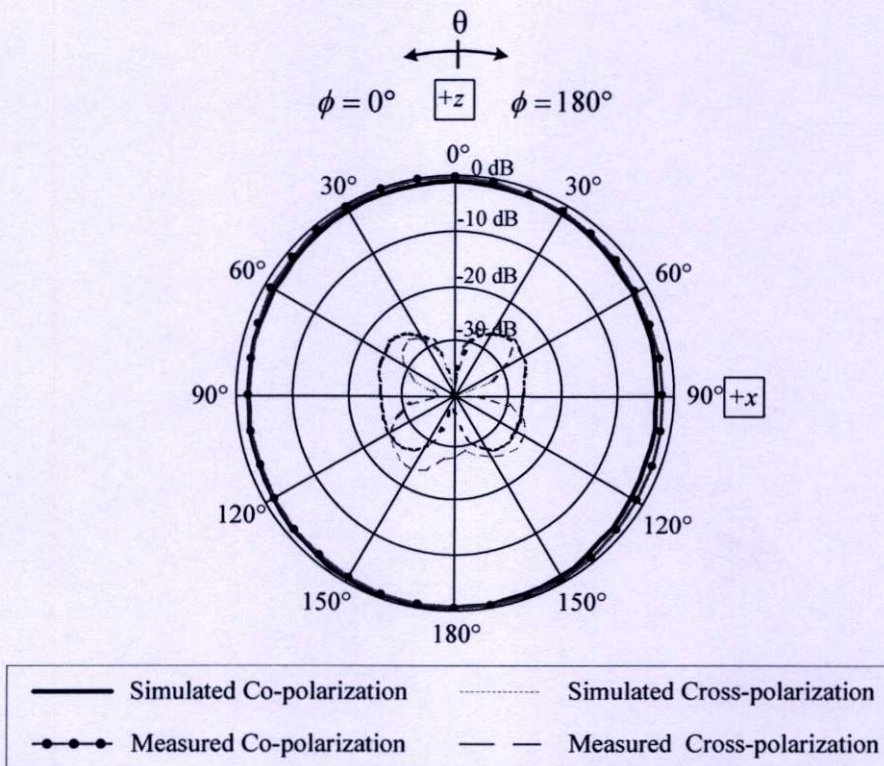


(ข) ระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 2.5 กิกะเฮิรตซ์

รูปที่ 4.10 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ทำการทดสอบ และจำลองที่ความถี่ 2.5 กิกะเฮิรตซ์

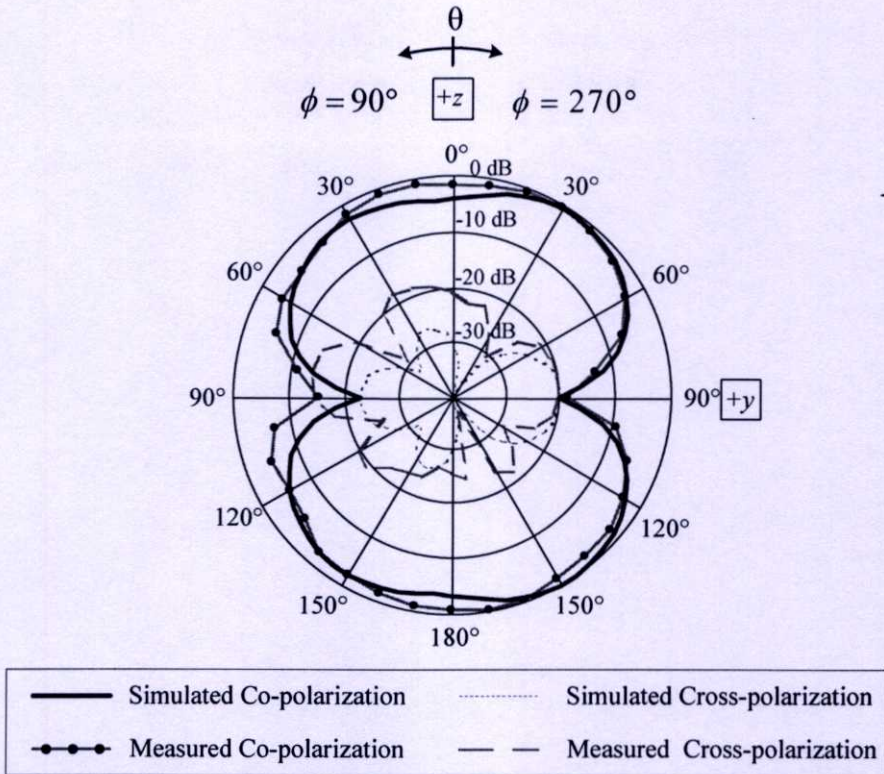


(ก) ระบายสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 3.5 กิกะเฮิรตซ์

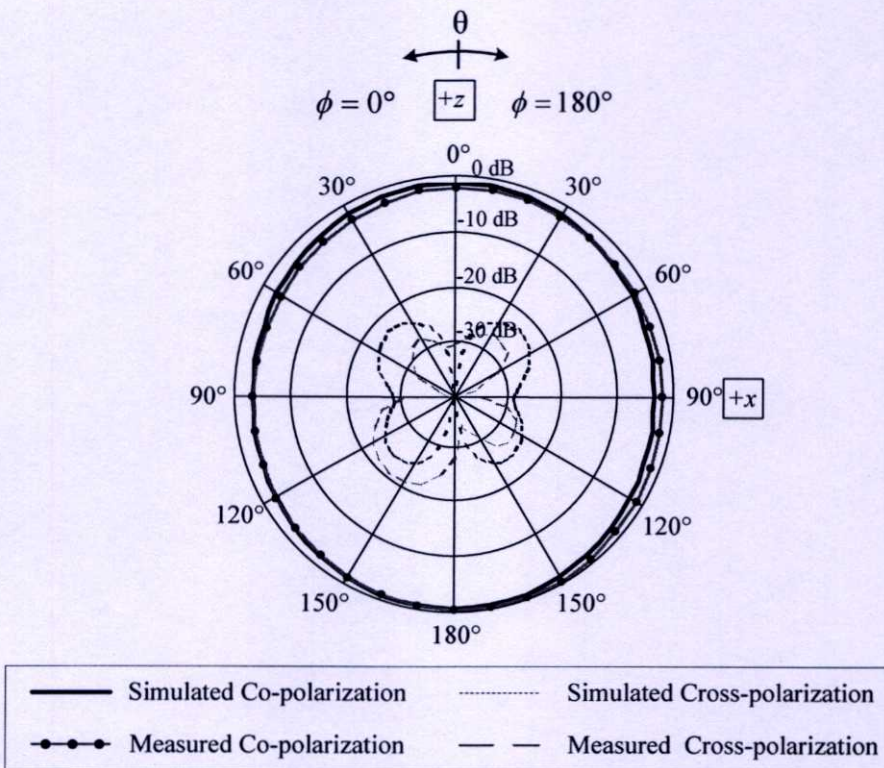


(ข) ระบายสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 3. กิกะเฮิรตซ์

รูปที่ 4.11 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ทำการทดสอบ และจำลองที่ความถี่ 3.5 กิกะเฮิรตซ์

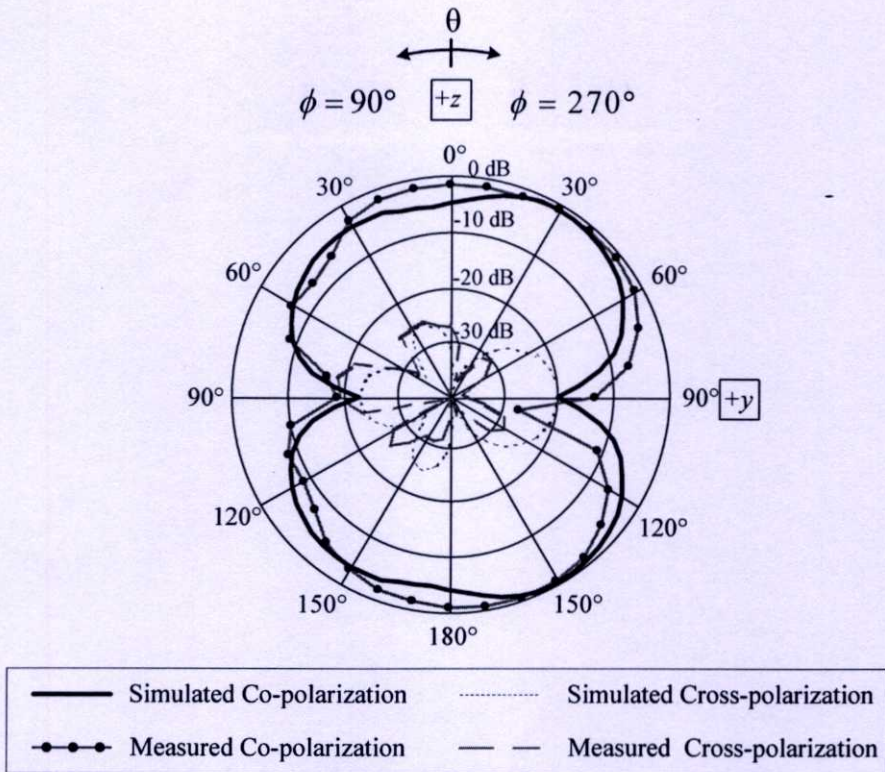


(ก) ระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 5.2 กิกะเฮิรตซ์

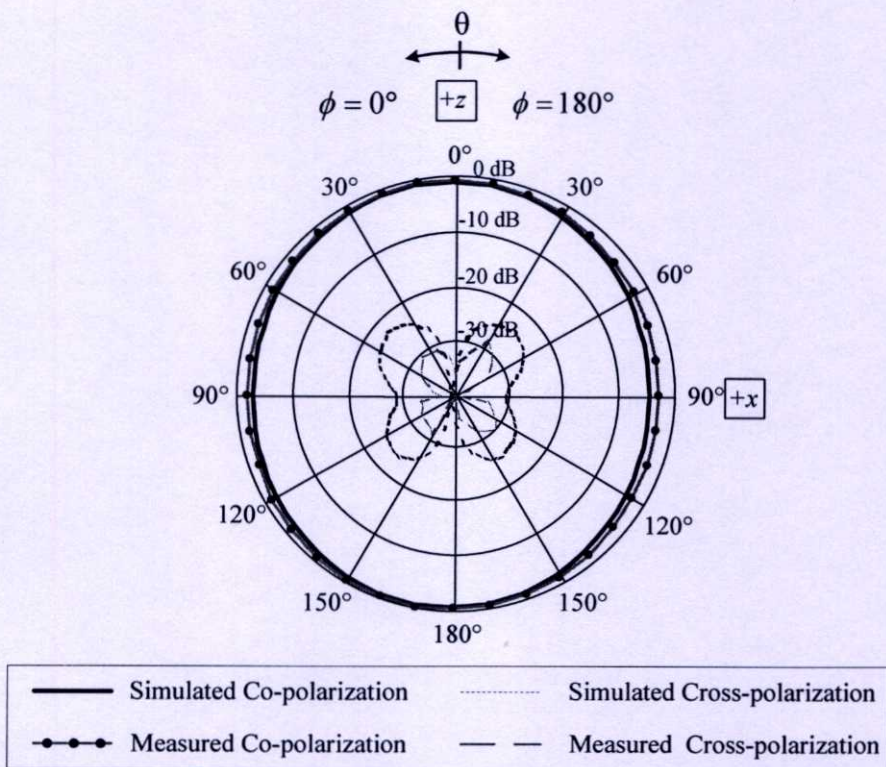


(ข) ระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 5.2 กิกะเฮิรตซ์

รูปที่ 4.12 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ทำการทดสอบ และจำลองที่ความถี่ 5.2 กิกะเฮิรตซ์

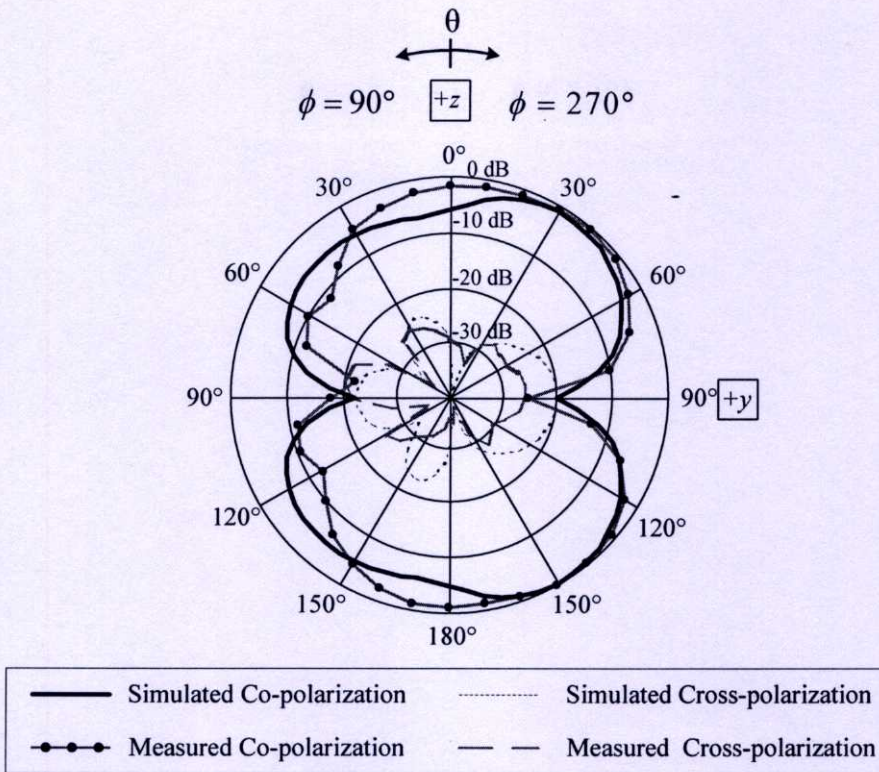


(ก) ระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 5.5 กิกะเฮิรตซ์

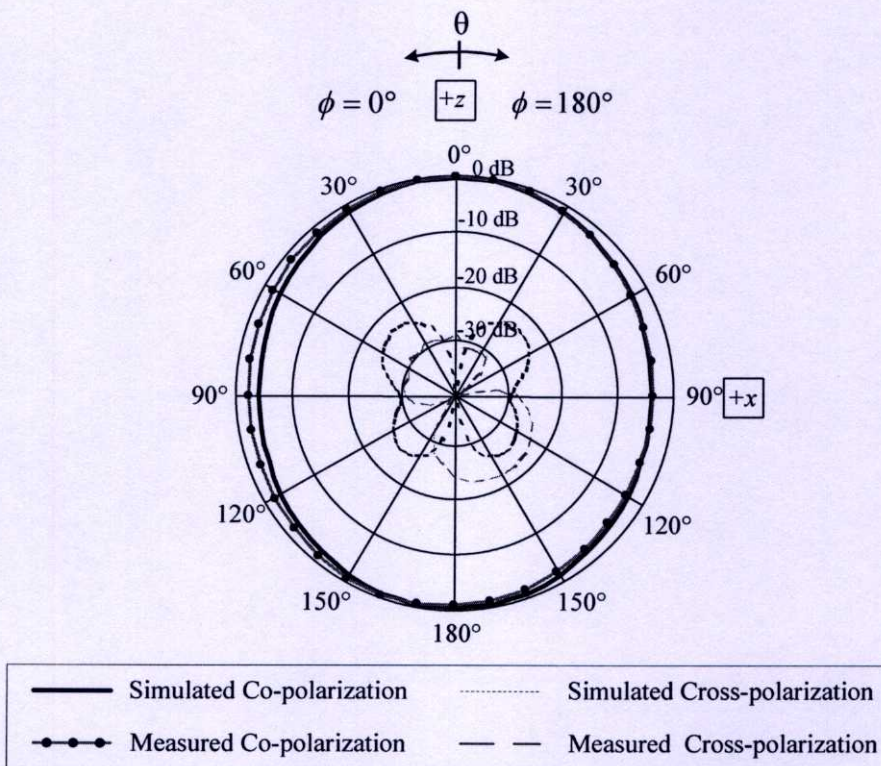


(ข) ระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 5.5 กิกะเฮิรตซ์

รูปที่ 4.13 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ทำการทดสอบ และจำลองที่ความถี่ 5.5 กิกะเฮิรตซ์



(ก) ระบายสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 5.85 กิกะเฮิรตซ์



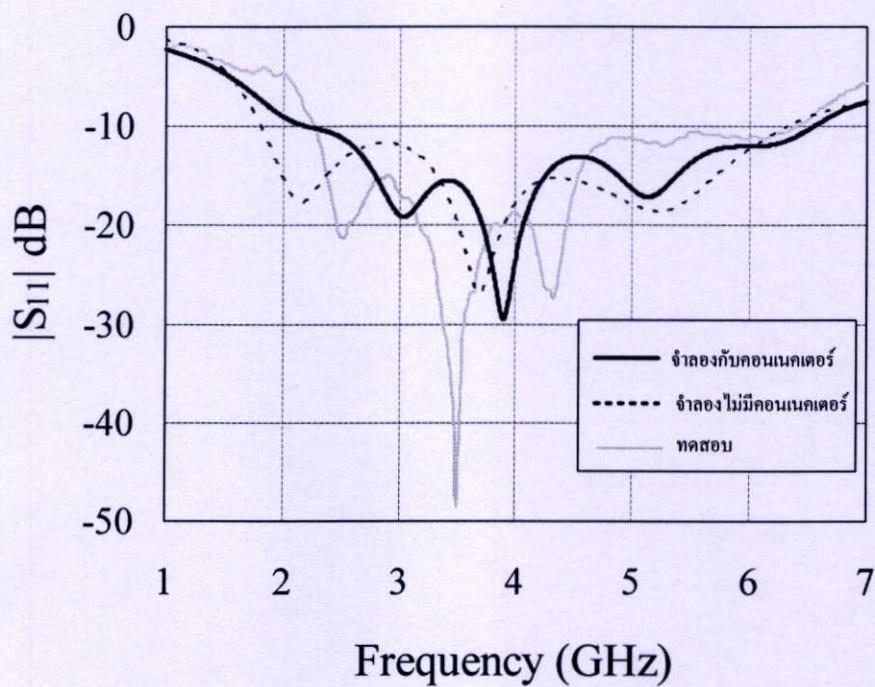
(ค) ระบายสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 5.85 กิกะเฮิรตซ์

รูปที่ 4.14 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ทำการทดสอบ และจำลองที่ความถี่ 5.85 กิกะเฮิรตซ์

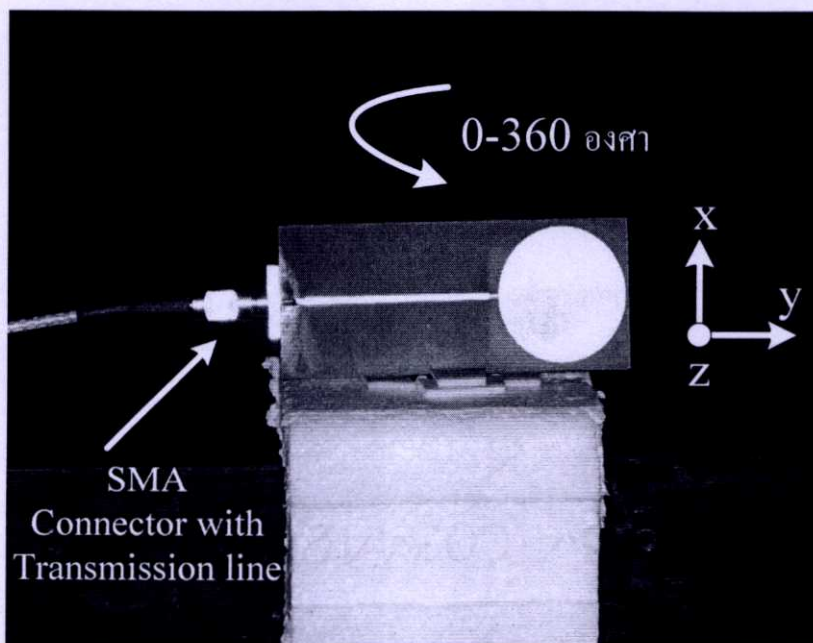
จากรูปที่ 4.8 ถึง 4.14 แสดงถึงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจากการจำลอง และจากการทดสอบจะสังเกตได้ว่าให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว ระดับโพลาริซัฟิเคชันในระนาบสนามแม่เหล็กดำทั้งในการจำลอง และการทดสอบนั้นให้ระดับโพลาริซัฟิเคชันที่ต่ำกว่า -20 dB ซึ่งสอดคล้องกับในการจำลอง แต่ในระนาบสนามไฟฟ้าเกิดระดับโพลาริซัฟิเคชันจากการทดสอบมากกว่า -20 dB ซึ่งมากกว่าในการจำลองอีกทั้งแบบรูปในการแพร่กระจายคลื่นมีลักษณะที่ค่อนข้างจะเปลี่ยนแปลงไปดังผลที่จะสังเกตได้ และในรูปที่ 4.8 (ก) ถึง 4.14 (ก) จะสังเกตได้ว่าค่าระดับโพลาริซัฟิเคชันที่เกิดขึ้นมานี้จะเกิดที่ในทิศทาง $\phi = 90$ องศาเสมอ จึงทำการวิเคราะห์ถึงสาเหตุที่เกิดขึ้นถึงการเปลี่ยนแปลงของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในแนวระนาบสนามไฟฟ้าและระดับโพลาริซัฟิเคชันที่เกิดขึ้นมา สันนิษฐานได้ว่า

1. เกิดจากความผิดพลาดของความถี่เริ่มต้นที่สามารถใช้งานได้ในการสร้างมีความถี่ที่เลื่อนเข้ามาหาในความถี่ที่สูงขึ้นกว่าเดิมอันเนื่องมาจากการจำลองผลนั้นไม่ได้ทำการจำลองพร้อมคอนเนคเตอร์เข้าไปด้วยดังแสดงค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ได้ทำการจำลองพร้อมกับคอนเนคเตอร์ไว้ในรูปที่ 4.15 สังเกตได้ว่าขอบเขตของความถี่ที่ใช้งานได้ทั้งความถี่เริ่มต้นและความถี่สิ้นสุดที่ใช้งานได้มีค่าใกล้เคียงกันเมื่อทำการจำลองพร้อมกับคอนเนคเตอร์เข้าไปด้วย
2. เกิดจากขั้นตอนการทดสอบเนื่องในการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นนั้นมีการเชื่อมต่อด้วย คอนเนคเตอร์ชนิด SMA เข้าไปพร้อมกับสายนำสัญญาณ และในการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้านั้นลักษณะการวางตัวของสายอากาศถูกหมุนไปพร้อมกับสายนำสัญญาณซึ่งส่งผลโดยตรงต่อสนามในแนวระนาบสนามไฟฟ้า ทำให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นมีความคลาดเคลื่อนไปเพื่อให้มองเห็นภาพในขั้นตอนการทดสอบได้แสดงการวางตัวของสายอากาศในการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าพร้อมทั้งเปรียบเทียบการวางตัวของสายอากาศในการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก ประกอบไว้ในรูปที่ 4.15 และ 4.16 โดยจะเห็นได้ว่าลักษณะการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้านั้นเมื่อทำการหมุนเพื่อทดสอบระดับสัญญาณ เพื่อไปทำการพล็อตตามการหมุนในทิศทางตามรูปเมื่อหมุนไปเป็นมุมที่ 90 องศา จะทำให้ทิศทางของสายอากาศ และคอนเนคเตอร์พร้อมด้วยสายนำสัญญาณมีทิศทางพุ่งเข้าหาสายอากาศตัวส่งอาจทำให้ระดับสัญญาณในการทดสอบ ณ จุดนี้มีความผิดพลาดเกิดขึ้นได้ อีกทั้งองค์ประกอบทางไฟฟ้าอื่นที่ไม่ใช่ตัวสายอากาศ ณ จุดนี้อาจส่งผลต่อการกระจายตัวของกระแสทำให้มีการกระจายตัวของกระแสมาดั่งนั้นระดับโพลาริซัฟิเคชันจึงเกิดขึ้นได้สูงกว่าในทิศทางตรงกันข้าม ในขณะที่การวางตัวของสายอากาศในการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กนั้นแม้จะทำการหมุนจนครบ 360 องศา

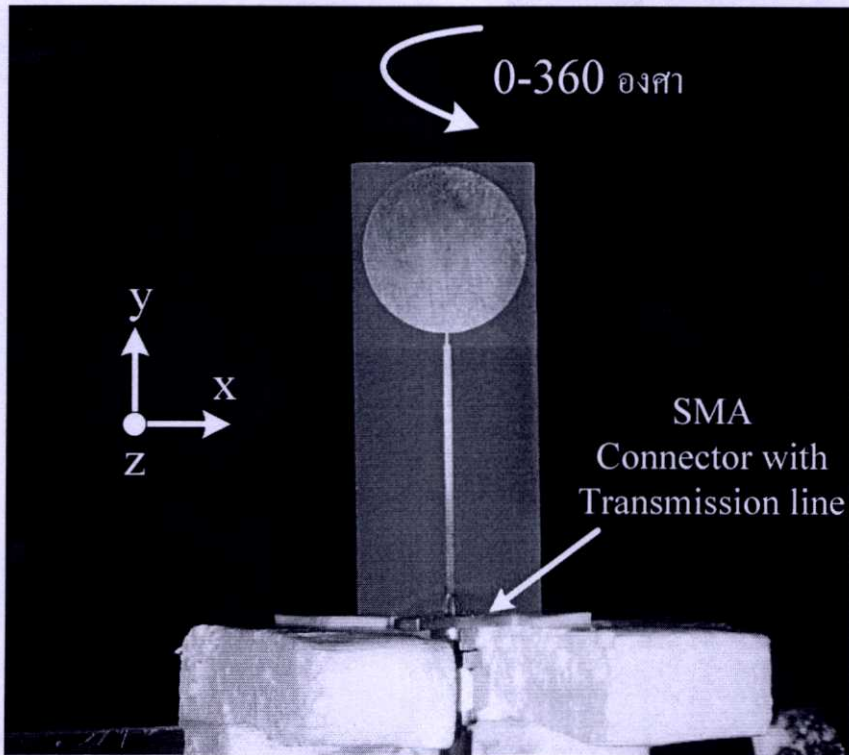
จะเห็นว่าไม่มีองค์ประกอบของคอนเนคเตอร์ และสายนำสัญญาณซึ่งส่งผลต่อองค์ประกอบทางไฟฟ้ามากระทบทำการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กค่อนข้างจะแม่นยำกว่า



รูปที่ 4.15 ผลการจำลองพร้อมคอนเนคเตอร์กับไม่มีคอนเนคเตอร์ และผลการทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับ



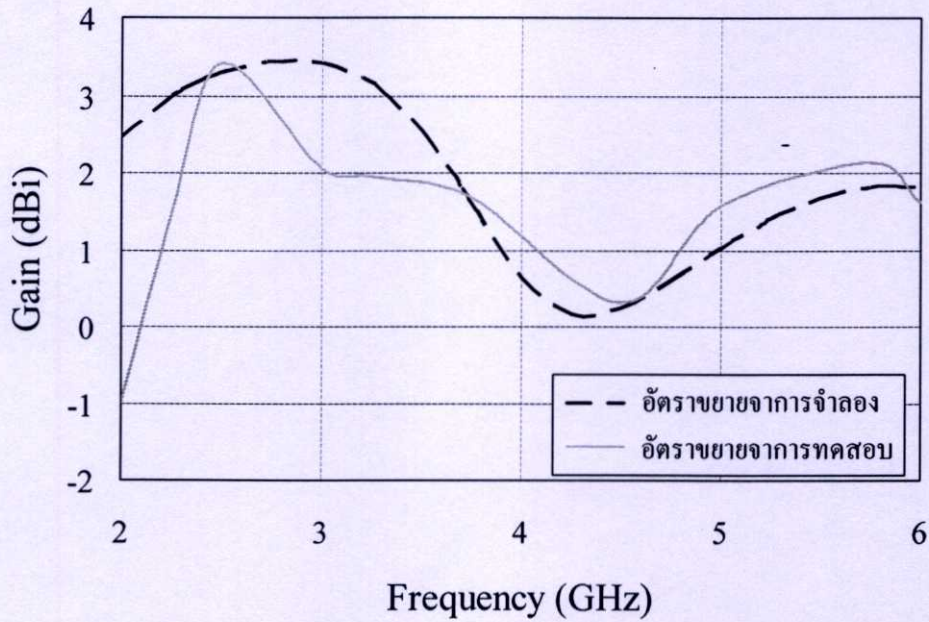
รูปที่ 4.16 ลักษณะการวางตัวของสายอากาศในการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า



รูปที่ 4.17 ลักษณะการวางตัวของสายอากาศในการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก

ตารางที่ 4.4 ค่ามุมที่มีการแพร่กระจายคลื่นสูงสุด และความกว้างลำคลื่น

ความถี่ (กิกะ เฮิรตซ์)	ระนาบสนามไฟฟ้า				ระนาบสนามแม่เหล็ก			
	ค่ามุมที่มีการ แพร่กระจายคลื่น สูงสุด (องศา)		ความกว้างลำ คลื่น (องศา)		ค่ามุมที่มีการ แพร่กระจายคลื่น สูงสุด (องศา)		ความกว้างลำ คลื่น (องศา)	
	จำลอง	ทดสอบ	จำลอง	ทดสอบ	จำลอง	ทดสอบ	จำลอง	ทดสอบ
2.3	170	50	78	80	180	20	180	180
2.4	170	50	77	45	180	20	180	180
2.5	170	50	75	40	180	170	180	180
3.5	150	10	57	80	180	10	180	180
5.2	35	30	54	100	115	170	180	180
5.5	35	50	52	110	0	0	156	180
5.85	35	40	50	85	0	0	121	180



รูปที่ 4.18 ค่าอัตราขยายจากการจำลอง และการทดสอบ

จากตารางที่ 4.4 แสดงถึงค่ามุมลำคลื่นสูงสุด และความกว้างสูงสุดทั้งในระนาบสนามแม่เหล็ก และ สนามไฟฟ้า จะเห็นได้ว่าให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กในการทดสอบมีความกว้างของลำคลื่นสูงสุดอยู่ที่ 180 องศาตลอดซึ่งให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบตัว ในขณะที่จากรูปที่ 4.17 คืออัตราขยายสูงสุดเมื่อทำการทดสอบที่มุม $\theta = 0$ องศา และ $\phi = 0$ องศา เนื่องจากในการนำสายอากาศไปประยุกต์ใช้งานนั้น ใช้การส่งแบบโพลาไรซ์เชิงเส้นทางแนวตั้งดังนั้นในการทดสอบจึงพิจารณาอัตราขยายที่จุดนี้

4.4 บทสรุป

ในบทนี้จะกล่าวถึง โครงสร้างของสายอากาศที่ได้ทำการสร้างขึ้นเพื่อทำการทดสอบ ขั้นตอนการทดสอบและสร้างสายอากาศรวมถึงผล ค่าการสูญเสียย้อนกลับ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นทั้งในระนาบสนามไฟฟ้า และ ในระนาบสนามแม่เหล็ก และ อัตราขยายสูงสุด มุม $\theta = 0$ องศา และ $\phi = 0$ องศา ที่ได้จากการสร้างขึ้นและทำการทดสอบมาเปรียบเทียบกับระหว่างผลจากการจำลองที่ได้ทำการวิเคราะห์การสร้างจากบทที่ 3 เปรียบเทียบกับผลในทางปฏิบัติ รวม พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างพร้อมทั้งสรุปคุณสมบัติต่างๆที่ได้ทำการทดสอบเปรียบกับผลของการจำลอง ได้แก่ อัตราส่วนแบนด์วิดธ์ เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าการสูญเสียย้อนกลับที่เกิดจากการสร้างเปรียบเทียบกับผลการจำลอง ความถี่เริ่มต้นที่สามารถใช้งานได้ ความถี่สุดท้ายที่สามารถนำไปใช้งานได้ ความกว้างสูงสุดของลำคลื่นมุมที่มีการแพร่กระจายสูงสุด โดยผลทั้งหมดนั้นได้สรุปไว้เป็นตารางที่ 4.1 ถึง 4.4 แสดงไว้ประกอบต่อท้ายจากรูปของผลการทดสอบ รวมถึงข้อสันนิษฐานที่เกิดขึ้นจากการคลาดเคลื่อนของผลที่ได้รับจากการจำลอง

การประเมินสมรรถนะ และการประยุกต์ใช้งาน

5.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการประเมินสมรรถนะ และการนำสายอากาศที่ได้ออกแบบ และสร้างมาทำการทดสอบการใช้งานจริงกับโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย หรือ WLAN ตามมาตรฐาน IEEE 802.11g ทำงานที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ เนื่องจากมีการใช้ในระบบแพร่หลาย ในขณะที่มีอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมในการทดสอบอย่างแพร่หลายกว่าระบบ WiMAX ซึ่งยังไม่มีอุปกรณ์รองรับต่อระบบมากนักในประเทศ หรือยังอยู่ในวงที่จำกัด ซึ่งตามมาตรฐาน IEEE 802.11g แล้วอัตราส่งผ่านข้อมูลสูงสุดมีค่าประมาณ 22 Mbps สำหรับการใช้งานจริงนั้นประสิทธิภาพของระบบ WLAN จะขึ้นอยู่กับจำนวนลูกข่ายในโครงข่ายเป็นสำคัญเนื่องจาก WLAN มีการใช้ความถี่ร่วมกันถ้าจำนวนเครื่องในโครงข่ายมีมากประสิทธิภาพของโครงข่ายจะลดลง และ นอกจากจำนวนเครื่องในโครงข่ายแล้วระยะในการสื่อสารมีผลต่อประสิทธิภาพของโครงข่ายเช่นกันซึ่งระยะการส่งสัญญาณโดยทั่วไป อุปกรณ์ส่งสัญญาณใน WLAN มีระยะการส่งไกลที่สุด 150 เมตร หรืออาจจะมากกว่านั้นอยู่ในสภาพแวดล้อมในที่โล่ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม ที่นั้นๆด้วย ซึ่งสามารถเกิดการรบกวนจากคลื่นวิทยุ หรือ เกิดจากการลดทอนของสภาพแวดล้อม เช่น ต้นไม้ และ อาคาร ซึ่งมีผลต่อระดับสัญญาณที่รับได้ ทำให้ได้ระยะการส่งสัญญาณที่อาจจะสั้นลงได้ โดยทั่วไปแล้ว ในช่วงระยะ 5 เมตร ถึง 10 เมตร ยังคงสามารถใช้งานได้อย่างปกติ โดยสาเหตุที่อัตราการส่งผ่านข้อมูลไม่ได้เป็นไปตามมาตรฐาน อันเนื่องมาจากการรับ และ การส่งสัญญาณของระบบ WLAN นั้นใช้ความถี่เดียวกัน ซึ่งอุปกรณ์ทุกตัวมีสถานีกระจายสัญญาณ หรือ อุปกรณ์อื่นๆ ก็จะรับส่งข้อมูลที่มีความถี่เดียวกัน และ จะต้องผลัดกันรับ และ ส่งข้อมูลไม่สามารถส่งข้อมูลพร้อมกันได้ ไม่เช่นนั้นจะเกิดข้อมูลที่ชนกันในอากาศ [17]

พารามิเตอร์ที่ใช้อธิบายคุณภาพของระบบ WLAN นั้นประกอบด้วย 4 พารามิเตอร์ด้วยกันคือ

1. ระยะเวลาในการส่งข้อมูล (Latency)
2. อัตราการส่งข้อมูล (Throughput)
3. การใช้ประโยชน์ (Utilization)
4. ประสิทธิภาพ (Efficiency)

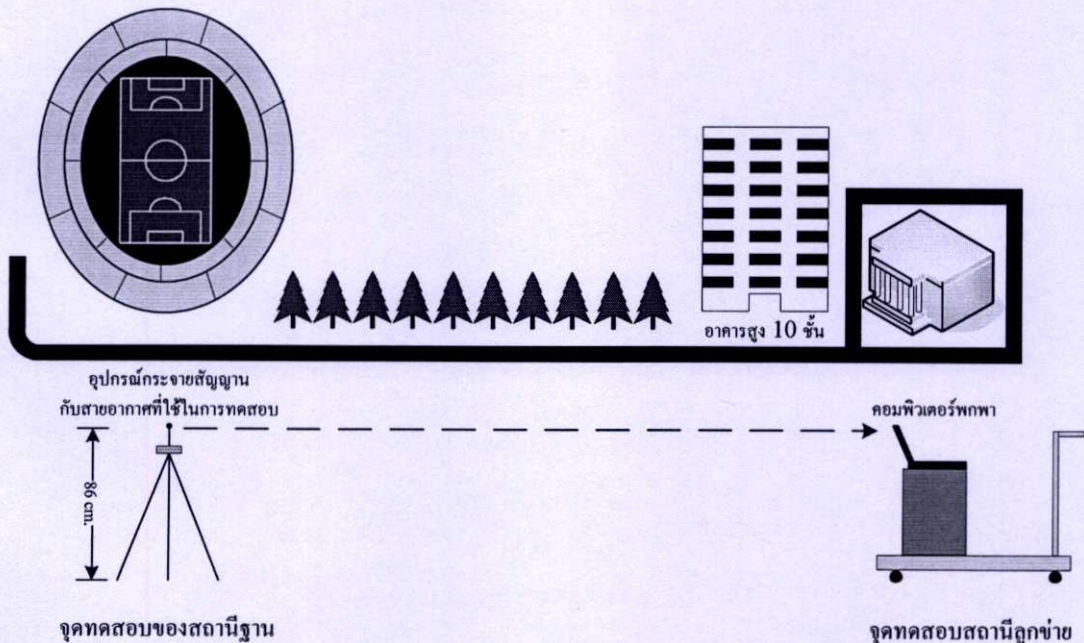
สำหรับระบบที่มีประสิทธิภาพสูงนั้นควรจะต้องมีระยะเวลาในการส่งผ่านข้อมูลที่น้อยที่สุด ในขณะที่ อัตราการส่งข้อมูล การใช้ประโยชน์ และ ประสิทธิภาพ ควรให้ค่ามากที่สุด ในด้านการคำนวณนั้นอาจสามารถคำนวณการส่งข้อมูลได้ด้วยอัตราความเร็วที่สูงแต่ในทางการ

ใช้งานจริงอาจจะไม่เป็นเช่นนั้น ด้วยหลายๆองค์ประกอบ อาจจะเปลี่ยนแปลงตามเวลา การจัดเรียงข้อมูล และ สภาพแวดล้อม สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่คำนึงถึงเป็นอันดับแรกคือ ค่าพารามิเตอร์ระยะเวลาในการส่งผ่านข้อมูล และ อัตราการส่งผ่านข้อมูล ซึ่งค่าพารามิเตอร์ระยะเวลาในการส่งผ่านข้อมูลคือ ระยะเวลาในการรอคอยระหว่าง การส่งคำขอ และ รอรับการตอบสนอง (Request และ Response) โดยมีหน่วยเป็นเวลา เป็นวินาทีสำหรับค่าพารามิเตอร์อัตราการส่งผ่านข้อมูล คือ จำนวนของข้อมูลที่ถูกทำการคำนวณต่อหนึ่งหน่วยเวลา เช่น bps (Bit Per Second) MIPS (Million Instructions Per Second) ซึ่งเรียกโดยรวมว่าแบนด์วิดท์ จะสังเกตเห็นได้ว่า ระยะเวลาในการส่งผ่านข้อมูล คือ ส่วนกลับของอัตราการส่งผ่านข้อมูล ในทางปฏิบัติจะทำการทดสอบประสิทธิภาพของโครงข่ายผ่านพารามิเตอร์อัตราการส่งผ่านข้อมูล เป็นหลัก [16]

สำหรับการขยายระยะทางในการสื่อสารของระบบ WLAN นั้นสามารถทำให้โดยการใส่สายอากาศที่มีอัตราการขยายสูงเพื่อเพิ่มระดับความแรงของสัญญาณให้สูงขึ้น ทำให้ค่าอัตราการส่งผ่านข้อมูล เพิ่มมากขึ้น

ในบทนี้จึงได้ทำการทดสอบอัตราการส่งผ่านข้อมูลร่วมกับสายอากาศที่ได้นำเสนอเพื่อประเมินถึงสมรรถนะการใช้งานเพียงแค่ระบบ WLAN เท่านั้น

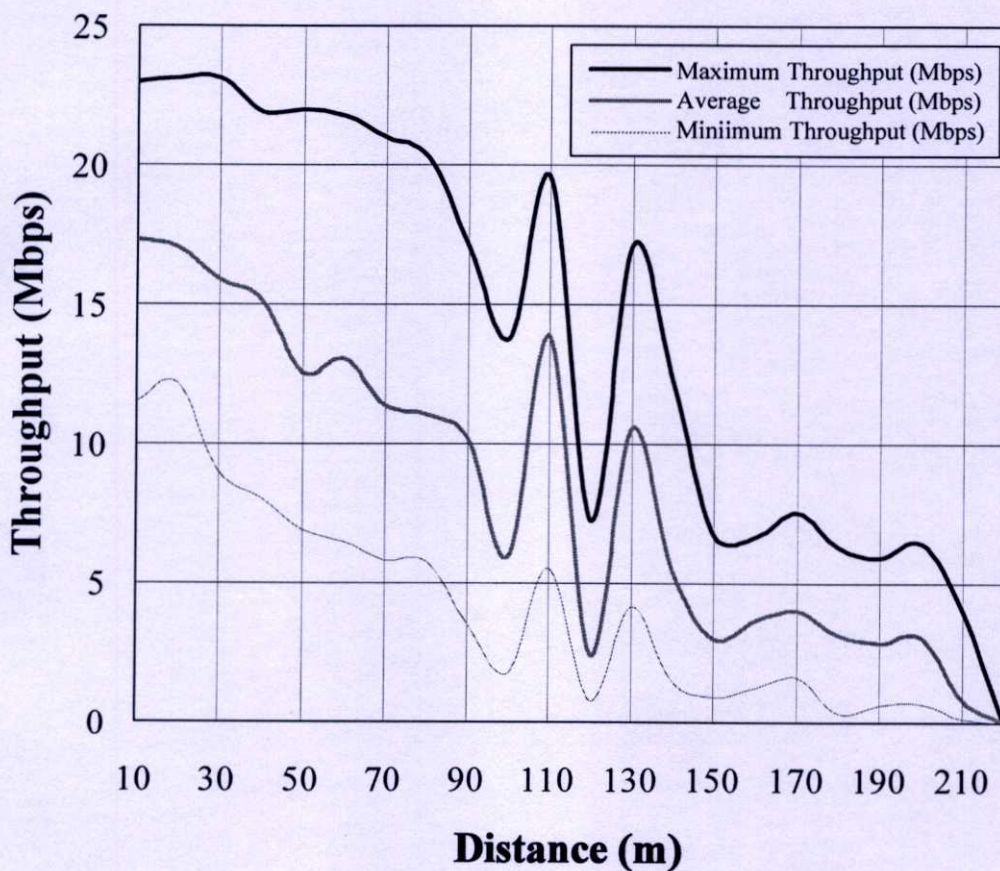
5.2 การทดสอบสมรรถนะในการ ใช้งานจริง



รูปที่ 5.1 สภาพแวดล้อมในการทดสอบ

ในการทดสอบการใช้งานจริงนั้นจะสายอากาศที่ได้นำเสนอ และ สร้างขึ้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มาทำการทดสอบ ร่วมกับอุปกรณ์กระจายสัญญาณ (Access point) ยี่ห้อ D-Link รุ่น DWL-

2100AP ให้กำลังส่ง 15dBm (32mW) \pm 2dB [18] ในระบบ WLAN ตามมาตรฐาน IEEE 802.11g ในย่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ และใช้คอมพิวเตอร์แบบพกพาในการทดสอบอัตราการส่งผ่านข้อมูล ที่เปลี่ยนไปตามระยะทางโดยทำการวางสายอากาศตัวส่งสูงจากพื้น 86 เซนติเมตรเพื่อวัดอัตราการส่งข้อมูล และระยะทาง สูงสุดที่สามารถรับได้ในแนวระดับสายตาของสายอากาศแต่ยังไม่ได้พิจารณาถึงการวัดในลักษณะการวางตัวของสายอากาศที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการกระจายสัญญาณซึ่งจะต้องมีการวางตัวของสายอากาศสูงขึ้นไปโดยสามารถพิจารณาคูณสมบัติต่างๆของตัวกระจายสัญญาณได้จาก เอกสารข้อมูลของผลิตภัณฑ์ [18] โดยสายอากาศรับเป็นสายอากาศที่อยู่ในตัวของคอมพิวเตอร์แบบพกพาซึ่งวางไว้สูงจากพื้นเท่ากับสายอากาศตัวส่งโดยใช้โปรแกรมทดสอบข้อมูลเพื่อวัดอัตราการส่ง โดยแสดงสภาพแวดล้อมในการทดสอบไว้ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.2 ผลการทดสอบค่าอัตราการส่งผ่านข้อมูล (Throughput)

จากรูปที่ 5.2 แสดงผลการทดสอบค่าอัตราส่งผ่านข้อมูล โดยทำการทดสอบค่าอัตราการส่งผ่านข้อมูลทุกๆระยะ 10 เมตร แล้วเก็บผลจากการทดสอบในแต่ละระยะเป็นจำนวน 5 ครั้ง จากนั้นนำมาทำการเฉลี่ยค่าแล้วจึงนำค่าเฉลี่ยของอัตราการส่งผ่านข้อมูลในระยะนั้นๆมาทำการพล็อตลงในกราฟ จากการทดสอบให้อัตราการส่งผ่านสูงสุด 23 Mbps ที่ระยะ 10 เมตร (ระยะเริ่มต้น) ซึ่งเป็นจุดที่ให้ระดับสัญญาณแรง และอัตราการส่งผ่านข้อมูลต่ำสุดที่ระยะเริ่มต้นคือ 11.5

Mbps .ให้อัตราการส่งผ่านข้อมูลเฉลี่ยที่ระยะเริ่มต้น 17.3 Mbps สามารถทดสอบผลค่าอัตราการส่งผ่านข้อมูลระยะทางสูงสุดนับจากจุดที่ทำการกระจายสัญญาณได้ที่ระยะ 220 เมตร ในช่วงระยะประมาณ 100 เมตร ถึง 140 เมตร อัตราการส่งผ่านข้อมูลมีอัตราการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงค่อนข้างสูง อาจจะเนื่องด้วยสาเหตุของผลกระทบจากกราวนด์รีเฟลคชั่นซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางของระยะสูงสุดที่สามารถรับสัญญาณได้หรืออาจจะเกิดขึ้นจากสภาพแวดล้อมซึ่งทำให้เกิดอัตราการเปลี่ยนแปลง โดยความเร็วของอัตราการส่งผ่านข้อมูลนั้นขึ้นอยู่กับระยะทางยังมีระยะทางมากขึ้นอัตราการส่งผ่านก็จะลดลงตาม

5.3 ข้อสรุป

ในบทความนี้กล่าวถึงการประเมินสมรรถนะ และการนำสายอากาศมาใช้งานจริงเพียงแค่ว่าในระบบ WLAN ที่ย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งเป็นความถี่ที่ใช้งานภายในประเทศสำหรับระบบ WLAN ยังไม่รวมถึงการประเมินสมรรถนะการใช้งานในระบบ WiMAX ซึ่งยังคิดในข้อจำกัดในเรื่องของอุปกรณ์การใช้งาน

จากการทดสอบประเมินสมรรถนะการใช้งานกับระบบ WLAN ที่ย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิร์ตซ์ ให้ระยะทางสูงสุดที่สามารถรับสัญญาณได้นับจากจุดที่ทำการกระจายสัญญาณคือ 220 เมตร เนื่องจากสายอากาศย่านความถี่กว้างที่ได้ทำการออกแบบขึ้นให้แบบรูปการแพร่แบบรูปตัว เพราะฉะนั้นจึงประเมินสมรรถนะการใช้งานได้ว่าสายอากาศย่านความถี่กว้างที่ได้ทำการออกแบบขึ้นมามีการทดสอบสำหรับการใช้งานในระบบ WLAN ย่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์ คือสามารถใช้งานได้เป็นบริเวณครอบคลุมพื้นที่โดยรอบประมาณ 440 เมตร ประมาณ 152,053 ตารางเมตร หรือ 38,013 ตารางวา หรือ ประมาณ 95 ไร่

โดยจากการทดสอบนั้นสังเกตได้ว่าให้ระยะการรับส่งสัญญาณค่อนข้างเป็นบริเวณที่กว้าง ดังนั้นในการทดสอบเพื่อความแม่นยำ และไม่มีผลในการกระทบกระเทือนของระดับสัญญาณในการทดสอบนั้นจำเป็นต้องหาพื้นที่ ที่เป็นบริเวณกว้างมากๆ เพื่อลดผลกระทบในการทดสอบ

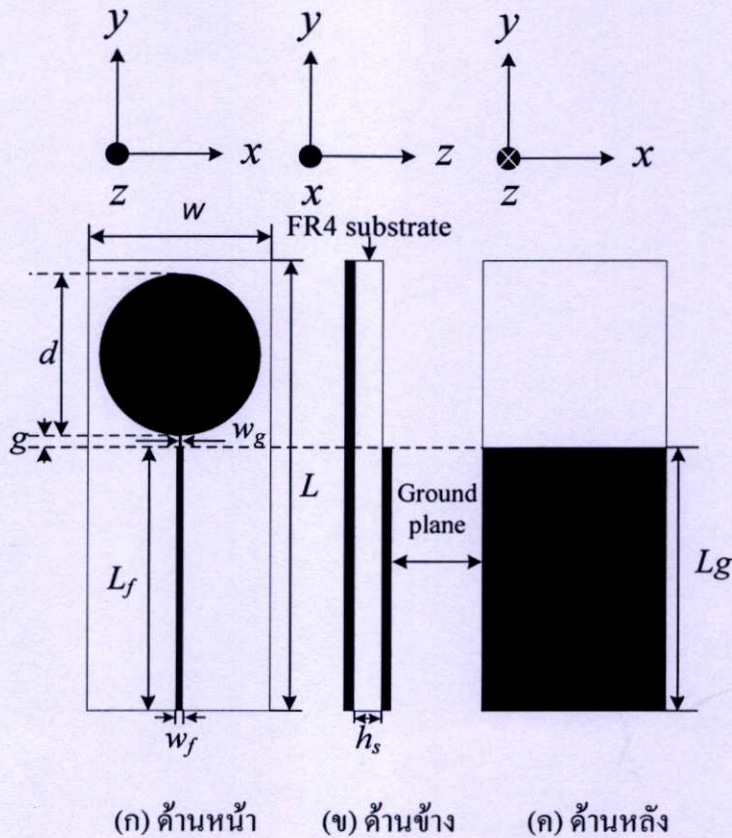
บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย และ ข้อเสนอแนะ

6.1 บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึงการสรุปผลจากการวิจัย และข้อเสนอแนะในการสร้าง และการทดสอบสายอากาศ โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการสร้างสายอากาศย่านความถี่กว้างสำหรับการนำมาประยุกต์ใช้งานในระบบ WLAN และ WiMAX เริ่มต้นด้วยการวิเคราะห์จากการคำนวณในทางทฤษฎี โดยใช้ทฤษฎีการคำนวณอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ และทฤษฎีการคำนวณการจำลองควาดีเป็นจุดเริ่มต้นในการกำหนดเงื่อนไขในการคำนวณจากนั้นทำการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อให้ได้แมตซ์อิมพีแดนซ์ที่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานในระบบ ดังกล่าวด้วยการจำลองโดยโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO®

6.2 สรุปผลการวิจัย



รูปที่ 6.1 โครงสร้างสายอากาศที่ใช้ในการทดสอบ

ในรูปที่ 6.1 แสดงโครงสร้างของสายอากาศย่านความถี่กว้างสำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบ WLAN และ WiMAX เป็นโครงสร้างเดียวกันกับสายอากาศที่ทำการสร้างขึ้นเพื่อทำการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ โดยโครงสร้างเกิดจากการวิเคราะห์ด้วยการคำนวณอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ คำนวณจากแบบจำลองควิวิตี และการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์จากบทที่ 3 โดยขนาดและพารามิเตอร์ของสายอากาศที่ได้ทำการสร้างขึ้นเพื่อทำการทดสอบนั้นแสดงในตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 พารามิเตอร์ของสายอากาศที่ใช้ในการทดสอบ

พารามิเตอร์	ขนาด (มิลลิเมตร)
d	23
g	1.6
h_s	0.75
L	63
L_f	37.5
L_g	37.5
W	26
w_f	1
w_g	0.4

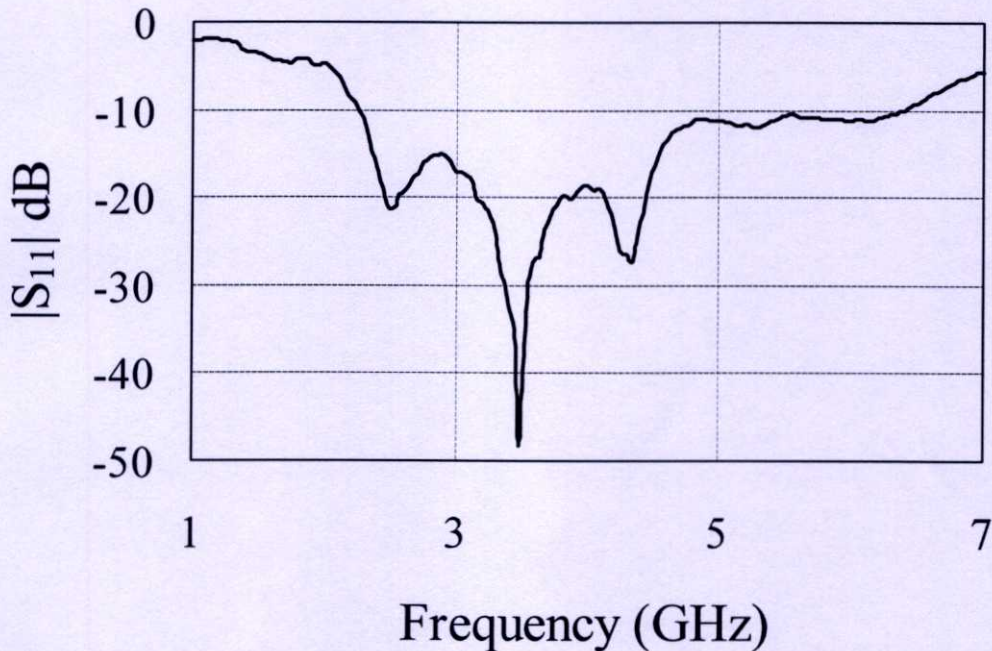
จากการทดสอบให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ต่ำกว่า -10 dB ครอบคลุมความถี่ 2.29 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 6.37 กิกะเฮิร์ตซ์ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 6.2 เปรอ์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการออกแบบ โดยการจำลองเปรียบเทียบกับทดสอบรวมถึงอัตราส่วนของแบนด์วิดท์แสดงไว้ในตารางที่ 6.2 ถึง 6.3 ดังแสดงต่อไป

ตารางที่ 6.2 ค่าความผิดพลาดของค่าการสูญเสียย้อนกลับเปรียบเทียบการจำลองและการทดสอบ

เปอร์เซ็นต์ ผิดพลาดจาก การจำลอง	ความถี่เริ่มต้นที่สามารถใช้งานได้		ความถี่ที่สิ้นสุดที่สามารถใช้งานได้	
	ผลจากการจำลอง	ผลจากการ ทดสอบ	ผลจากการจำลอง	ผลจากการ ทดสอบ
	1.81 กิกะเฮิร์ตซ์	2.29 กิกะเฮิร์ตซ์	6.32 กิกะเฮิร์ตซ์	6.37 กิกะเฮิร์ตซ์
	26.5		0.79	

ตารางที่ 6.3 อัตราส่วนแบนด์วิดธ์ของสายอากาศ

อัตราส่วน แบนด์วิดธ์	ผลจากการจำลอง		ผลจากการทดสอบ	
	ความถี่เริ่มต้นที่ใช้ งานได้	ความถี่สิ้นสุดที่ ใช้งานได้	ความถี่เริ่มต้นที่ ใช้งานได้	ความถี่สิ้นสุดที่ ใช้งานได้
	1.81 กิกะเฮิรตซ์	6.32 กิกะเฮิรตซ์	2.29 กิกะเฮิรตซ์	6.37 กิกะเฮิรตซ์
	3.49:1		2.78:1	



รูปที่ 6.2 ผลการทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับ

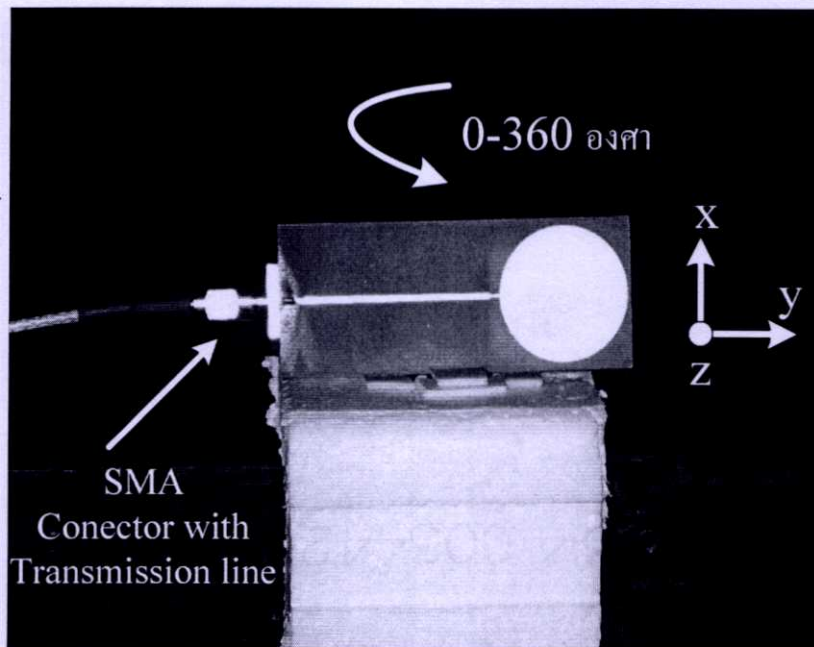
ในเรื่องของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ในส่วนที่ได้ทำการสร้างเพื่อทดสอบ และจากการจำลองได้สรุปคุณสมบัติของค่ามุมลำคลื่นสูงสุดและ ความกว้างของลำคลื่นไว้ในตารางที่ 6.4 โดยแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ทำการทดสอบนั้นให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวมีระดับโพลาริซัฟที่ต่ำกว่า -20 dB ในระนาบสนามแม่เหล็กตลอดความถี่ที่ใช้งานในระบบซึ่งเกิดจากการใช้เทคนิคการลดค่าระดับโพลาริซัฟไว้โดยใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบของกระแสเชิงผิวในแนวแกน x และแนวแกน y จากโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO® เพื่อดูผลกระทบที่ส่งผลให้เกิดระดับโพลาริซัฟไว้ที่มากขึ้นจากบทที่ 3 โดยจากการวิเคราะห์องค์ประกอบของกระแสเชิงผิวพบว่าถ้าองค์ประกอบของกระแสเชิงผิวในแนวแกน x มีการกระจายตัวเป็นบริเวณที่กว้างจะส่งผลให้องค์ประกอบของ

กระแสในแนวแกน y ลดต่ำลง เช่นนั้นแล้วเทคนิคที่ใช้ในการลดค่าระดับโพลาริไซซ์ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ก็คือใช้การปรับลดขนาดของ พารามิเตอร์ w_x หรือระนาบกราวด์นั่นเอง สายอากาศที่ทำการสร้างในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้คุณสมบัติการโพลาริไซซ์แบบเชิงเส้น ระดับโพลาริไซซ์ไขว้ในระนาบสนามไฟฟ้าที่บางความถี่ให้ระดับโพลาริไซซ์ไขว้ที่มากกว่า -20 dB ซึ่งแตกต่างจากการจำลอง สันนิษฐานได้ว่า

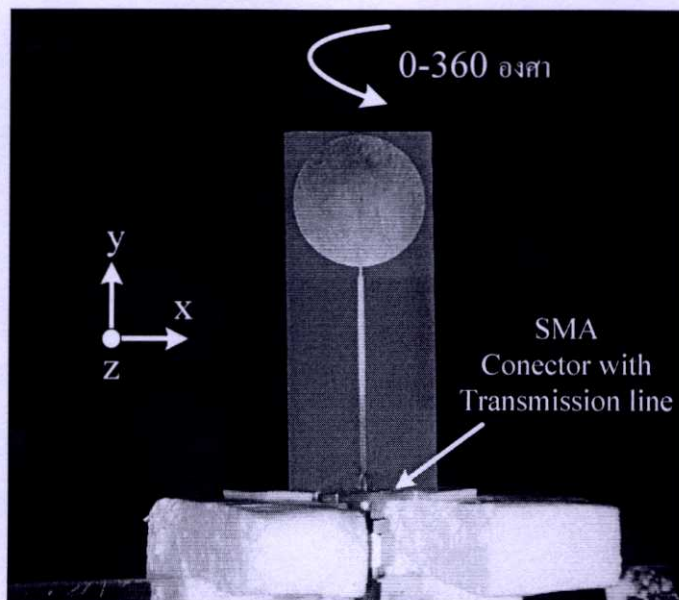
ตารางที่ 6.4 ค่ามูมที่มีการแพร่กระจายสูงสุด และความกว้างลำคลื่น

ความถี่ (กิกะ เฮิรตซ์)	ระนาบสนามไฟฟ้า				ระนาบสนามแม่เหล็ก			
	ค่ามูมที่มีการ แพร่กระจาย สูงสุด (องศา)		ความกว้างลำ คลื่น (องศา)		ค่ามูมที่มีการ แพร่กระจาย สูงสุด(องศา)		ความกว้างลำ คลื่น (องศา)	
	จำลอง	ทดสอบ	จำลอง	ทดสอบ	จำลอง	ทดสอบ	จำลอง	ทดสอบ
2.3	170	50	78	80	180	20	180	180
2.4	170	50	77	45	180	20	180	180
2.5	170	50	75	40	180	170	180	180
3.5	150	10	57	80	180	10	180	180
5.2	35	30	54	100	115	170	180	180
5.5	35	50	52	110	0	0	156	180
5.85	35	40	50	85	0	0	121	180

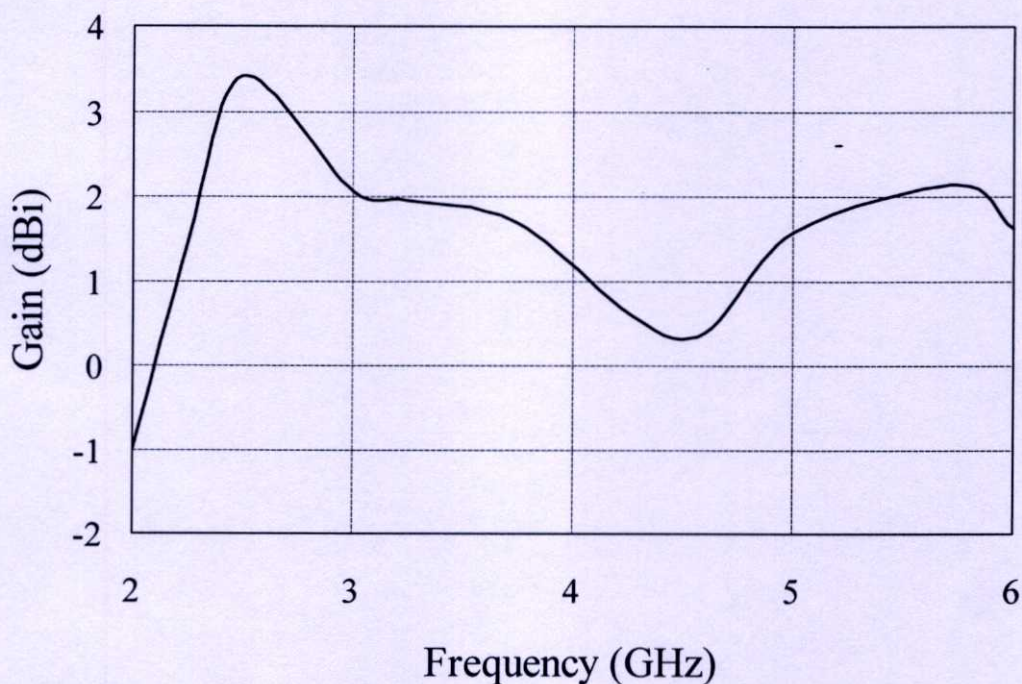
เกิดจากขั้นตอนการทดสอบผลเนื่องในการทดสอบผลแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นนั้นมีการเชื่อมต่อด้วย คอนเนคเตอร์ชนิด SMA เข้าไปพร้อมกับสายนำสัญญาณ และในการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้านี้เน้นลักษณะการวางตัวของสายอากาศถูกหมุนไปพร้อมกับสายนำสัญญาณซึ่งส่งผลโดยตรงต่อองค์ประกอบของกระแส และสนามในแนวระนาบสนามไฟฟ้า ทำให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นมีความคลาดเคลื่อน และเกิดระดับโพลาริไซซ์ไขว้ที่สูงตามขึ้นดังได้แสดงการวางตัวของสายอากาศในการทดสอบทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าพร้อมทั้งเปรียบเทียบการวางตัวของสายอากาศในการทดสอบทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก ประกอบไว้ในรูปที่ 6.2 และ 6.3



รูปที่ 6.3 ลักษณะการวางตัวของสายอากาศในการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า



รูปที่ 6.4 ลักษณะการวางตัวของสายอากาศในการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 6.5 ค่าอัตราขยายสูงสุดที่มุม $\theta = 0$ องศา และ $\phi = 0$ องศา

ให้อัตราการขยายสูงสุดที่มุม $\theta = 0$ องศา และ $\phi = 0$ องศา ในช่วงความถี่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 5.85 กิกะเฮิรตซ์ ค่าสุดอยู่ที่ 0.3 dBi ที่ความถี่ 4.5 กิกะเฮิรตซ์ สูงสุดอยู่ที่ 3.5 dBi ที่ความถี่ 2.5 กิกะเฮิรตซ์ โดยในช่วงความถี่ที่ให้อัตราขยายค่าอยู่ในช่วงความถี่ 4 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 5 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งไม่มีผลต่อการใช้งานในระบบ WLAN และ WiMAX มากเนื่องจากไม่ใช่ช่วงความถี่ที่ใช้งานในระบบทั้งสอง

ในเรื่องการประเมินสมรรถนะการใช้งานได้ทำการทดสอบการใช้งานจริงร่วมกับอุปกรณ์กระจายสัญญาณ (Access point) ในระบบ WLAN ตามมาตรฐาน IEEE 802.11g ในย่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ และใช้คอมพิวเตอร์แบบพกพาในการทดสอบอัตราการส่งผ่านข้อมูลที่เปลี่ยนไปตามระยะทางโดยสายอากาศรับเป็นสายอากาศที่อยู่ในตัวของคอมพิวเตอร์แบบพกซึ่งตามมาตรฐาน IEEE 802.11g แล้วอัตราส่งผ่านข้อมูลสูงสุดมีค่าประมาณ 22 Mbps อุปกรณ์ส่งสัญญาณใน WLAN มีระยะการส่งสูงสุด 150 เมตร หรืออาจจะมากกว่านั้นอยู่ในสภาพแวดล้อมในที่โล่งสามารถทดสอบการรับส่งข้อมูลสูงสุดได้ที่ระยะ 220 เมตร นับจากจุดปล่อยสัญญาณโดยสายอากาศให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบตัวดังนั้นจึงครอบคลุมพื้นที่การใช้งานโดยรอบได้ทั้งหมดเป็นระยะ 440 เมตร 152,053 ตารางเมตร หรือ 38,013 ตารางวา หรือประมาณ 95 ไร่

6.3 ข้อดีข้อเสีย และแนวทางการพัฒนา

1. ให้แบนด์วิดท์ที่กว้างครอบคลุมตลอดการใช้งานของระบบ WLAN และ WiMAX ในทุกๆความถี่ที่มีการใช้งานในระบบ ให้อัตราส่วนของแบนด์วิดท์ 2.78 เท่า
2. ให้ระดับโพลาไรซ์ไขว้ที่ต่ำกว่า -20 dB ทำให้ในการรับส่งสัญญาณนั้นมีความเสถียรภาพค่อนข้างสูงเนื่องจากไม่เกิดการรบกวนกัน
3. ให้ระยะในการรับส่งข้อมูลสูงมากกว่ามาตรฐานที่กำหนด โดยตามมาตรฐานกำหนดไว้ที่ระยะ 150 เมตร
4. ให้อัตราขยายค่อนข้างต่ำในบางช่วงความถี่ หรืออัตราการขยายไม่เป็นลักษณะเชิงเส้นเนื่องจากค่ามอดุลเลชันสูงสุดของลำคลื่น ไม่ได้เกิดที่ตำแหน่งเดียวกันในทุกๆความถี่ดังสังเกตได้จากตารางที่ 6.4
5. เนื่องจากสายอากาศโครงสร้างแบบไมโครสตริปปกติแล้วให้อัตราขยายที่ไม่สูงมาก หากต้องการนำไปใช้งานในการสื่อสารที่ต้องการอัตราการขยายสูงควรใช้ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศเป็นรูปแบบอื่นๆ
6. ยังมีคณมิติที่ยังเล็กไม่มากหากต้องนำไปใช้กับอุปกรณ์ที่เป็นอุปกรณ์ในลักษณะพกพา
7. แนวทางการพัฒนาต่อคือสร้างสายอากาศที่มีขนาดเล็กและสามารถครอบคลุมการใช้งานของทั้งสองระบบได้เพื่อนำไปใช้งานกับอุปกรณ์สื่อสารแบบพกพา เช่น พีดีเอ หรือ แลปท็อป
8. ปรับปรุงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นให้ทุกๆความถี่ที่ใช้งานมีค่ามอดุลเลชันสูงสุดอยู่ในมุมที่มีระดับใกล้เคียงกันเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งานได้ในทุกๆความถี่
9. ในการทดสอบค่าอัตราการส่งผ่านข้อมูล (Throughput) นั้นควรทดสอบในพื้นที่ที่มีสภาพแวดล้อมที่ไม่มีสิ่งใดมาขัดขวาง หรือ โหล่งมากที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อไม่ให้กระทบต่อการประเมินสมรรถนะการใช้งาน

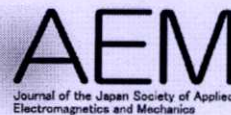
บรรณานุกรม

- [1] WiMAX Technology, [online]. Available: <http://www.siamwimax.com/wimax-technology/>
- [2] รายงานการศึกษาแนวทางการจัดสรรคลื่นความถี่สำหรับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย WiMAX ในประเทศไทย
- [3] C. Y. Pan, T. S. Horng, W.S. Chen and C.-H. Huang, "Dual wideband printed monopole antenna for WLAN/WiMAX applications," *IEEE Antennas and Wireless Propag. Lett.*, vol. 6, pp. 149-151, 2007.
- [4] Teerapan Pratumvinit, "3.5 GHz RF Transmitter for Base Station," Master Thesis, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, 2008.
- [5] I. J. Bahl and P. Bhartia, "*Microstrip Antenna*", Artech House, 1980.
- [6] Y. L. Kuo and K. L. Wong, "Printed Double-T Monopole Antenna for 2.4/5.2 GHz Dual-Band WLAN Operations," *IEEE Transaction on Antennas and Propagation.*, vol. 51, no. 9, pp. 2187-2192, Sep. 2003.
- [7] C. K. Aanandan "A CPW-fed Triple Band Monopole Antenna for WiMAX/WLAN Applications" *Proceedings of the 38th European Microwave Conference*, pp. 897-900, Oct 2008.
- [8] Wireless LAN หรือ Wi-Fi, [online]. Available: <http://www.kmitl.ac.th/~s9011090/stories/tech/wireless/wireless2.html>
- [9] มาตรฐาน IEEE 802.11 WLAN: ความรู้เบื้องต้น ช่องโหว่และการรักษาความปลอดภัย (ตอนที่ 1) [online]. Available: http://www.thaicert.nectec.or.th/paper/wireless/IEEE80211_1.php
- [10] Yuktithath Chawanonphithak, "Circular Microstrip Antenna Fed by Microstrip Line Above Wide-Slot Ground Plane," Master Thesis, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, 2007.
- [11] R. Garg, p. Bhartia, I. Bahl and A. Ittipiboon, "*Microstrip Antenna Design Handbook*", Imprint Boston : Artech House, 2001.
- [12] Constantine A. Balanis, "*Antenna Theory: Analysis and Design*", John Wiley & Son, Inc., 2005.
- [13] J. Y. Jan and J. W. Su, "Bandwidth enhancement of a printed wide-slot antenna with a rotated slot", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 53, no. 6, pp. 2111-2114, June 2005.

- [14] J. Y. Jan, L. C. Wang and H. M. Chen “Microstrip-line-fed printed slot antenna for the WiMAX operation” *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, July 2008.
- [15] K. C. Yang, W. S. Chen and Y. H. Yu “Design of a WiMAX T-type monopole antenna with asymmetrical ground plane” *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, July 2008.
- [16] D. B. Lin, I. T. Tang, Y. J. Wei and H. P. Lin “A compact slot antenna with CPW-fed for IEEE 802.16-2004 applications” *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, pp. 4753-4756, June 2007.
- [17] Kittisak Phaebua, “A Vertical Cylindrical Patch Antenna Above the Reflector,” Master Thesis, King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang, 2008.
- [18] เอกสารข้อมูลผลิตภัณฑ์อุปกรณ์กระจายสัญญาณ D-Link รุ่น DWL-2100AP [online]. Available:ftp://ftp10.dlink.com/pdfs/products/DWL-2100AP/DWL2100AP_ds.pdf
- [19] J. Liang, C.C. Chiau, X. Chen and C.G. Parini “Printed circular disc monopole antenna for ultra-wideband applications” *IEEE ELECTRONICS LETTERS*, vol. 40, no. 20, pp. 1246–1247, Sep 2004.

ภาคผนวก

The Japan Society of Applied Electromagnetics and Mechanics
Yokendo, 5-30-15 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033, Japan
FAX: +81-3-3812-2615, E-mail: secretariat@jsaem.gr.jp



Dr. C. Phongcharoenpanich
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok 10520
Thailand

25 March 2009

Ref: APSAEM08-092

Dear Dr. C. Phongcharoenpanich,

I would like to inform you that the following paper presented at the Asia-Pacific Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics (APSAEM08) will be published in Journal of the Japan Society of Applied Electromagnetics and Mechanics (JSAEM) Vol.17 Supplement in September 2009.

"Radiation Characteristics of a Dual-Band Flat Antenna for WIFI and WIMAX Applications"
by T. Pumpoung and C. Phongcharoenpanich

JSAEM will not publish your paper without the PRE-PAYMENT of the publication fee. If the payment will not completed by 1 June 2009, we do not publish your manuscript.

Best regards

A handwritten signature in black ink that reads 'Tatsuo Sawada'. The signature is written in a cursive, flowing style.

Prof. Tatsuo Sawada, Ph.D.
Editor-in-Chief
Journal of the Japan Society of Applied
Electromagnetics and Mechanics

Radiation Characteristics of a Dual-Band Flat Antenna for WIFI and WIMAX Applications

T. Pumpoung and C. Phongcharoenpanich

Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520 Thailand

This paper presents a dual-band antenna to cover all frequencies of WIFI technology with the center frequency at 2.442 GHz/2.552 GHz and 5.775 GHz as well as WIMAX technology with the center frequency at 2.550 GHz/3.545 GHz and 5.550 GHz. The proposed antenna uses the strip line with impedance of 50Ω and two conductor layers separated by dielectric between them. The FR4 substrate with rectangular flat structure of size $22 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ is designed. The upper layer consists of strip line with 50Ω impedance and printed circular monopole antenna. The lower layer contains ground plane with rectangular conductor. The return loss is better than -10 dB , and the cross polarization is lower than -20 dB . The radiation pattern is omnidirectional beam. The antenna parameters are varied to determine the suitable dimension for the specified applications.

Key Words: Dual-band antennas, monopole antennas, printed antennas, WIFI, WIMAX, WLAN.

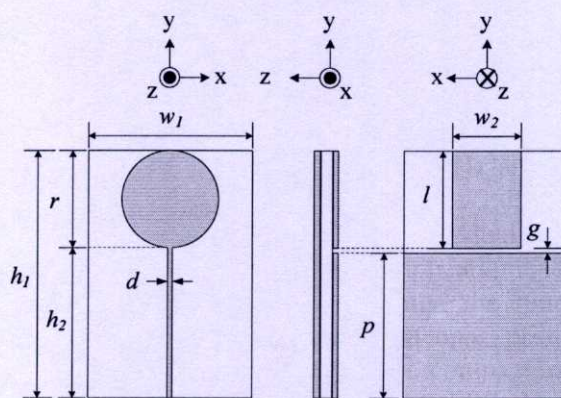
1. Introduction

Nowadays, wireless system technologies are very popular because they are easy to use without wire line. These services can be used in anywhere and at anytime. The antenna is one important part of these communications. The multi-band or broadband antennas have been used for these applications. This is due to their low cost and easily fabrication. The design for WIFI (Wireless Fidelity) systems have covered frequency band of 2.4 GHz, 5.2 GHz and 5.8 GHz (2.400 GHz-2.484 GHz, 5.150 GHz-5.350 GHz and 5.725 GHz-5.825 GHz). For WIMAX (Worldwide Interoperability Microwave Access) systems, it is desired to cover the frequency band of 2.5 GHz, 3.5 GHz and 5.5 GHz (2.500 GHz-2.690 GHz, 3.400 GHz-3.690 GHz and 5.250 GHz-5.850 GHz) [1]. The dual-band antenna for WIFI and WIMAX applications is presented in this paper. Conventionally, the fundamental antennas such as monopole antennas, printed monopole antennas [2-8] and CPW-fed compact meandered patch antenna are used for WLAN [9]. The printed monopole antenna was proposed for using in WIFI and WIMAX systems [1]. This paper develops dual-band antenna for WIFI and WIMAX applications. It is aimed to reduce the cross polarization to lower than -20 dB for practical applications.

2. Antenna Descriptions

Correspondence: C.Phongcharoenpanich, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.
Email: kpchuwon@kmitl.ac.th

Fig. 1 shows the structure and parameters of the antenna with dual-band operation for WIFI and WIMAX applications. The upper layer consists of printed strip line with impedance of 50Ω and circular monopole antenna. The lower layer consists of ground plane with rectangular conductor. In this paper, the material of FR4 substrate with ϵ_r of 4.4 is used. The design is applied from the fundamental principle of the printed monopole antennas.



(a) Front view (b) Side view (c) Rear view

Fig. 1 The structure and parameters of the dual-band antenna for WIFI and WIMAX applications.

This paper is intended to reduce the cross polarization level for actual applications. From the previous works [1, 5, 7-8] the antennas can operate in dual-band for WLAN and WIMAX. However, the cross polarization is relatively high and necessary to improve. It is typically higher than -20 dB . To reduce the cross polarization lower than -20 dB while maintaining other good performance, the antenna structure is consequently analyzed.

3. Parametric Studies

3.1 Return loss for various w_2

Fig. 2 shows return loss when $l = 18$ mm, $r = 17$ mm and $w_1 = 30$ mm. The parameter w_2 is varied to find its effect to the antenna performance. From the result of the return loss in Fig. 2, the suitable w_2 that can cover WIFI and WIMAX systems is 17 mm.

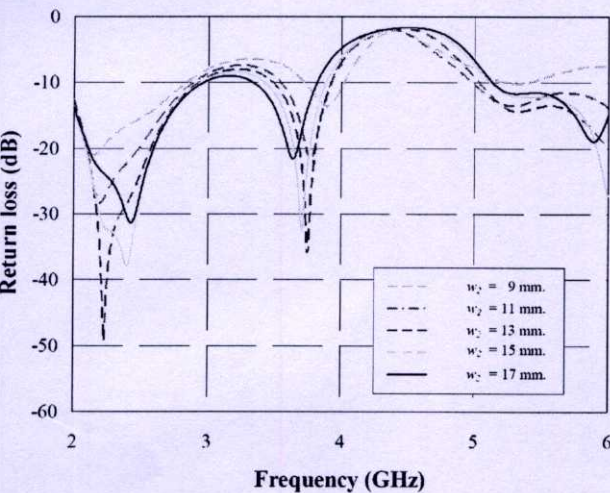


Fig. 2 Simulated return loss for various w_2 .

3.2 Return loss for various l

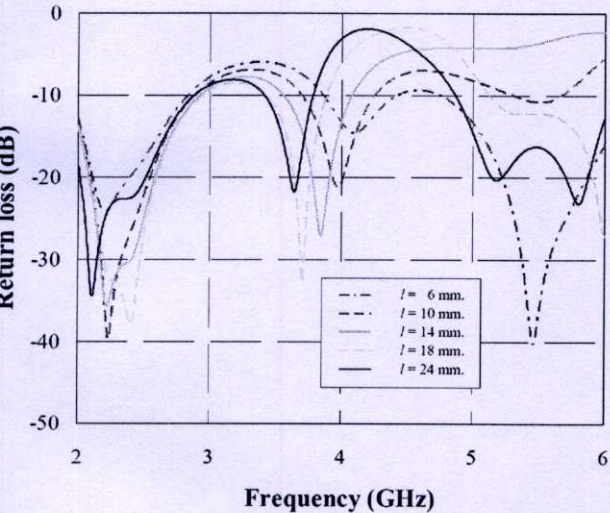


Fig. 3 Simulated return loss for various l .

In this section, the antenna characteristics for various l will be studied. Fig. 3 shows the return loss for various l when other parameters are fixed as follows: $r = 17$ mm, $w_1 = 30$ mm and $w_2 = 15$ mm. The return loss of lower than -10 dB is used for the criteria to cover all WIFI and WIMAX systems. The parameters l are varied from $l = 6$ mm to $l = 24$ mm.

It is found that $l = 18$ mm is suitable parameter because it can cover WIFI and WIMAX systems.

However, $l = 24$ mm can cover almost WIFI and WIMAX systems.

3.3 Return loss for various r

Fig.4 shows the return loss of the antenna for various r when $l = 18$ mm, $w_1 = 22$ mm and $w_2 = 15$ mm. It can be seen that the value of r covered the return loss along the frequency of dual-band operation are $r = 17$ mm and $r = 19$ mm. However, when $r = 19$ mm, it can cover wider frequency band than $r = 17$ mm. Therefore, $r = 19$ mm is used as the designed parameters. The next step is to study the influence of parameter w_1 .

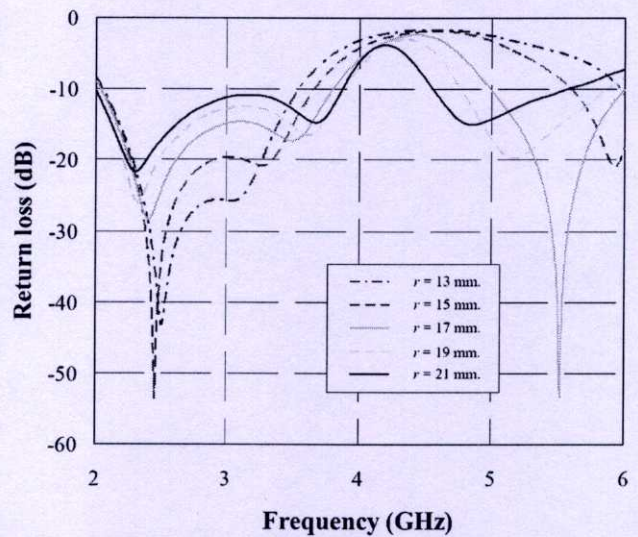


Fig. 4 Simulated return loss for various r .

3.3 Return loss for various w_1

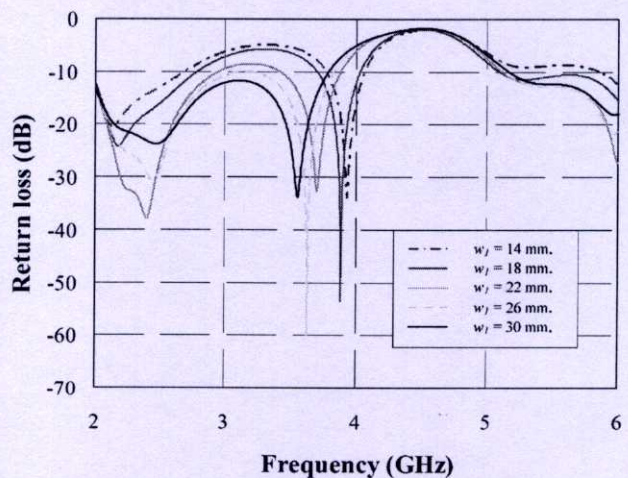


Fig. 5 Simulated return loss for various w_1 .

3.5 Radiation pattern

The next property that is necessary to consider is the radiation pattern. The simulated radiation

patterns for various frequencies are shown. The antenna parameters are fixed as follows: $l = 18$ mm, $r = 17$ mm and $w_2 = 15$ mm. For w_1 there are two values to be varied viz., $w_1 = 22$ mm and $w_1 = 26$ mm, respectively. The radiation patterns are shown in Fig.6 and Fig.7, respectively. Fig. 6(a) and Fig. 6(b) show the pattern in E-plane whereas Fig.6(b) and Fig.7(b) show the pattern in H-plane counterpart. It should be pointed that there is no cross-polarization in E-plane pattern. The cross polarization is only appeared in H-plane.

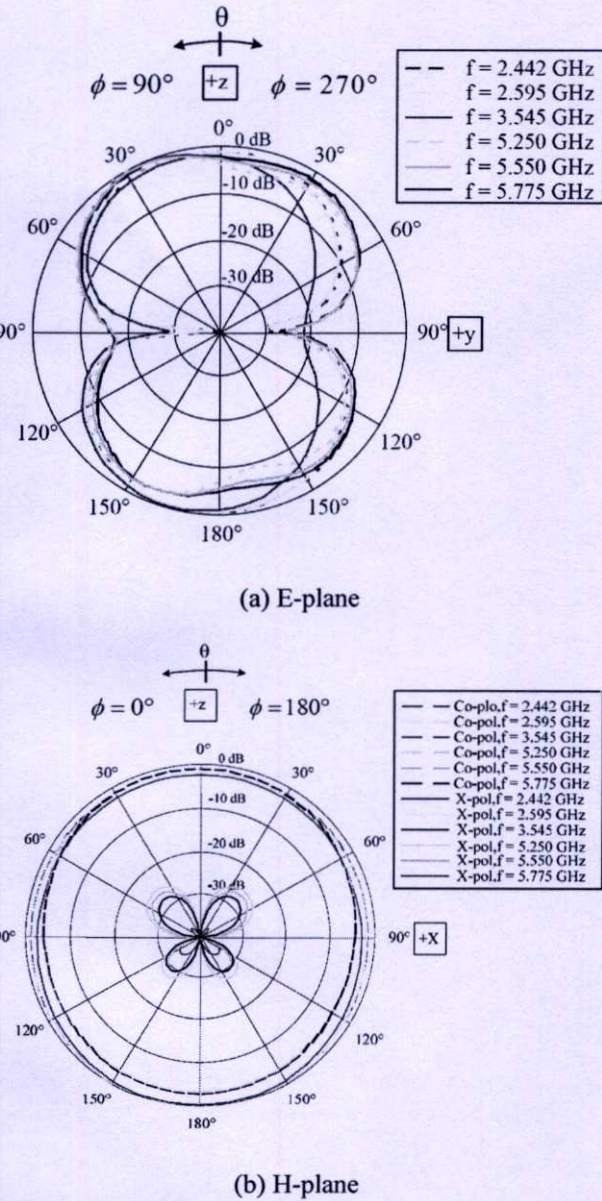


Fig. 6 Radiation pattern for $l = 18$ mm, $r = 17$ mm $w_1 = 22$ mm and $w_2 = 15$ mm.

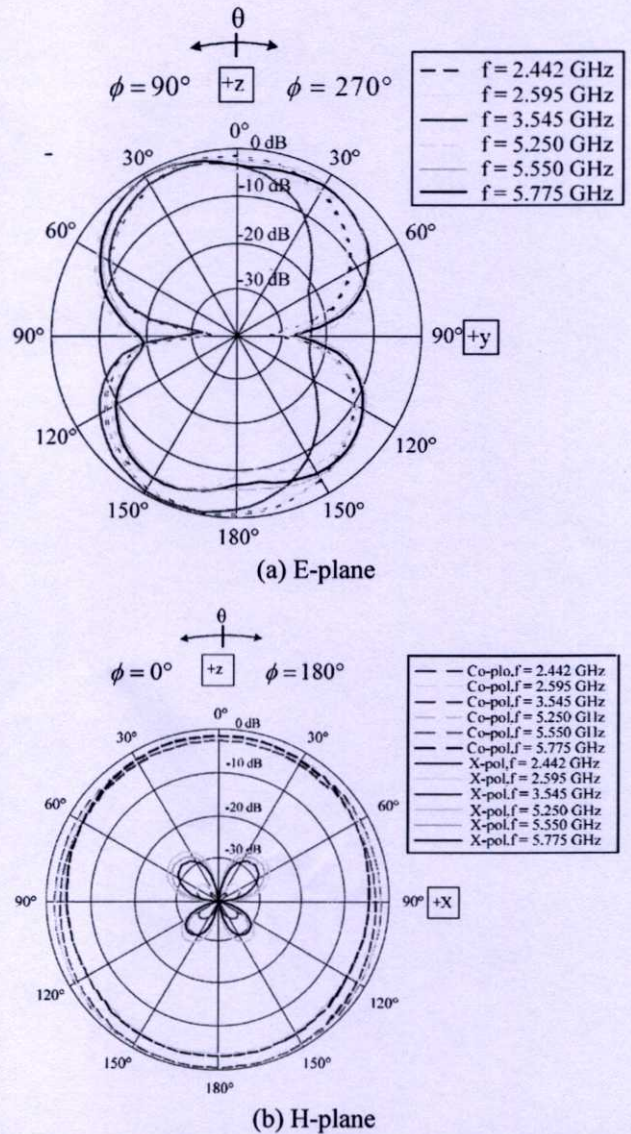


Fig. 7 Radiation pattern for $l = 18$ mm, $r = 17$ mm $w_1 = 26$ mm and $w_2 = 15$ mm.

From the results of the radiation pattern in E-plane and H-plane for both cases of w_1 , it can be observed that the pattern is omnidirectional beam. The elevation pattern is figure-of-eight shape where as the azimuth pattern has no specific directions. When comparing the pattern for different frequencies, it is found that the pattern is almost identical for all frequencies. However, it can be pointed that the H-plane pattern in Fig.6 at 2.442 GHz and 2.595 GHz has no cross polarization that is different from the case in the Fig. 7. The cross polarization is appeared for all frequencies with any w_1 .

Ultimately, the antenna parameters can be summarized as tabulated in Table I.

Table I. Design parameters

Antenna parameters (mm)			
r	l	w_1	w_2
18	17	22	15

Fig.7 shows the simulated gain of the antenna for various frequencies of 2-6 GHz. For the antenna gain, it is apparent that the gain is increased when the frequency is between 2 GHz at 3.7 GHz. When the frequency is between 3.7 GHz and 4.256 GHz, the gain is reduced to minimum value. The variation of the gain will be increased again when the frequency higher than 4.256 GHz. The gain will be highest again when the frequency is 5.256 GHz.

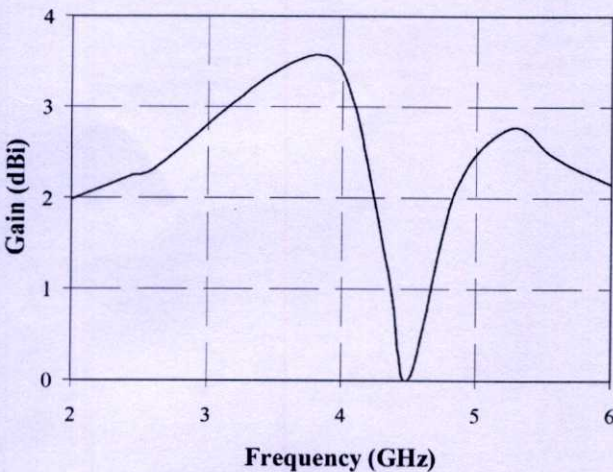


Fig. 8 The antenna gain when $l = 18$ mm, $r = 17$ mm, $w_1 = 22$ mm and $w_2 = 15$ mm.

4. Conclusion

This paper presents the development of dual-band antenna for WIFI and WIMAX applications. The main objective of this paper is to reduce the cross polarization to lower than -20 dB for actual applications. From the parametric study, the obtained designed parameters are as follows: $l = 18$ mm, $r = 17$ mm, $w_1 = 22$ mm and $w_2 = 15$ mm. The radiation pattern is investigated. It is explicitly found that the pattern is omnidirectional beam. The optimum cross polarization in H-plane is -25 dB at the frequency of 5.250 GHz. The gain is also simulated. The results confirm that the gain of the antenna is efficient for WLAN and WIMAX systems. Finally, it can confirm that this antenna is very useful for modern wireless communications.

Acknowledgement

This work was supported by the Thailand Research Fund (TRF) under the grant number RSA5080009.

References

- [1] C.-Y. Pan, T.-S. Horng, W.S. Chen and C.-H Huang, "Dual wideband printed monopole antenna for WLAN/WiMAX applications," *IEEE Antennas and Wireless Propag. Lett.*, vol. 6, pp. 149-151, 2007.
- [2] Y.-C. Lin and K.-J. Hung, "Design of dual-band slot antenna with double T-match stubs," *Electron. Lett.*, vol. 42, no. 8, Apr. 2006..
- [3] Y.-D. Lin and P.-L. Chi, "Tapered bent folded monopole for dual-band wireless local area network (WLAN) systems," *IEEE Antennas and Wireless Propag. Lett.*, vol. 4, pp. 355-357, 2005.
- [4] T. H. Kim and D. C. Park, "CPW-fed compact monopole antenna for dual-band WLAN applications," *Electron. Lett.*, vol. 41, no. 6, pp. 292-293, Mar. 2005.
- [5] M. N. Suma, R. K. Raj, M. Joseph, P. C. Bybi, and P. Mohanan, "A compact dual band planar branched monopole antenna for DCS/2.4 GHz WLAN applications," *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 16, no. 5, pp. 275-277, May. 2006.
- [6] C.-Y. Pan, C.-H Huang, and T.-S. Horng, "A novel printed monopole antenna with a square conductor-backed parasitic plane for dual-band WLAN applications," in *Proc. IEEE Antennas Propag. Soc. Int. Symp. Dig.*, vol. 1, pp. 261-264., 2004.
- [7] C.-Y. Huang and P.-Y. Chiu, "Dual-band monopole antenna with shorted parasitic element," *Electron. Lett.*, vol. 41, no. 21, pp. 1154-1155, Oct. 2005.
- [8] Y.-L. Kuo and K.-L. Wong, "Printed double-T monopole antenna for 2.4/5.2 GHz dual-band WLAN operations," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 51, no. 9, pp. 2187-2192, Sep. 2003.
- [9] W. C. Liu and W. R. Chen, "CPW-fed compact meandered patch antenna for dual-band operation," *Electron. Lett.*, vol. 40, no. 18, pp. 1094-1095, Sep. 2004.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล	นายรัชชัย พุ่มพวง
วัน เดือน ปีเกิด	5 ธันวาคม 2525
ที่อยู่	14/3 หมู่ 1 ถนนรังสิต-องครักษ์ ตำบลบึงนาราง อำเภอรัญบุรี จังหวัดปทุมธานี
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2550 สำเร็จการศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] K. Pumpoung and C. Phongcharoenpanich, "Dual-Band Antenna for WIFI and WIMAX Applications," *Proceedings of Asia-Pacific Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics*, Bangkok, Thailand, pp.90, July. 2008.
- [2] T. Pumpoung and C. Phongcharoenpanich, "Radiation Characteristics of a Dual-Band Flat Antenna for WIFI and WiMAX Applications," *Journal of the Japan Society of Applied Electromagnetics and Mechanics*, in press.