

สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเหนือระนาบสะท้อน

A VERTICAL CYLINDRICAL PATCH ANTENNA ABOVE THE REFLECTOR

กิตติศักดิ์ แพบัว

KITTISAK PHAEBUA

วิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์หนึ่งของการศึกษาค้นคว้าหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2551

KMITL-2008-EN-M-010-029

สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเหนือระนาบสะท้อน

A VERTICAL CYLINDRICAL PATCH ANTENNA ABOVE THE REFLECTOR



กิตติศักดิ์ แพบัว

KITTISAK PHAEBUA

อพ.
๗๖๗๕๘
๒๕๕๑

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 82733
วัน,เดือน,ปี... 22 ก.ค. 2551

b. 11951655
i.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2551

KMITL-2008-EN-M-010-029

A VERTICAL CYLINDRICAL PATCH ANTENNA ABOVE THE REFLECTOR

KITTISAK PHAEBUA

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2008

KMITL-2008-EN-M-010-029

COPYRIGHT 2008

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเหนือระนาบสะท้อน
นักศึกษา	นายกิตติศักดิ์ แพบัว
รหัสนักศึกษา	49060935
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2551
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเหนือระนาบสะท้อน ซึ่งให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียวสำหรับใช้งานในระบบการสื่อสารไร้สายสมัยใหม่ สายอากาศมีโครงสร้างพื้นฐานมาจากสายอากาศแผ่นวงกลมแนวตั้งโดยนำเทคนิคการลดความสูงของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งบางส่วนมาประยุกต์ใช้เพื่อปรับทิศทางของกระแสพื้นผิวบริเวณที่จุดป้อนและขอบของตัวแพร่กระจายคลื่น ทำให้ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบสนามไฟฟ้ามีความสมมาตรกับระนาบสนามแม่เหล็ก เทคนิคการเชื่อมต่อดัวยสตริปไข่วัวที่ฐานของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งสามารถปรับทิศทางของกระแสพื้นผิวให้ไหลในทิศทางตามยาวของแผ่นสตริป ทำให้โพลาริเซชันไขว้ของสายอากาศมีระดับลดต่ำลงซึ่งมีค่าเท่ากับ -30 dB รูปทรงของระนาบสะท้อนที่เหมาะสมสามารถเพิ่มอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลังและอัตราการขยายของสายอากาศได้ ซึ่งระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยมและทรงกระบอกทำให้ได้อัตราการขยายของสายอากาศเท่ากับ 9 dBi และ 9.7 dBi ตามลำดับ ซึ่งเทคนิคในการปรับปรุงสมรรถนะที่นำเสนอสามารถปรับปรุงคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นให้ดีขึ้นจากสายอากาศแบบดั้งเดิม สำหรับการวิเคราะห์สายอากาศทำโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์สายอากาศ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดของสายอากาศ ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ในวิทยานิพนธ์นี้จะเป็นประโยชน์สำหรับการออกแบบและสร้างสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเหนือระนาบสะท้อน

Thesis Title	A Vertical Cylindrical Patch Antenna Above The Reflector
Student	Mr. Kittisak Phaebua
Student ID.	49060935
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2008
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Chuwong Phongcharoenpanich

ABSTRACT

This thesis presents a vertical cylindrical patch antenna above the reflector. The antenna radiates the unidirectional pattern for the applications of modern wireless communication. The antenna is developed from the circular cylindrical patch with the partial side reduction to adjust the surface current directions at the feed and edge of the radiator. The symmetrical beamwidth in E-plane and H-plane is desired. The cross strip is connected at the bottom of the vertical patch to control the current along strip. The cross polarization can be reduced to -30 dB. The suitable shape of reflector is used to increase the front-to-back ratio and gain of the antenna. The rectangular and cylindrical reflectors obtain the gain of 9 dBi and 9.7 dBi, respectively. These improvement techniques can provide better performance compared with the conventional structure. The simulation is performed to find the suitable antenna parameters. The results of the analysis are very useful for the design and implement the vertical patch antenna above the reflector.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และเป็นผู้ช่วยเหลือ ดูแลให้คำแนะนำในด้านการศึกษา ในด้านงานวิจัย และข้อคิดในการดำเนินชีวิต ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สมพล โกศลวิตร และศาสตราจารย์ ดร. โมไนย ไกรฤกษ์ ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และคำแนะนำที่มีประโยชน์ในการวิจัย ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ทั้งสามท่าน และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ คุณนันทน์ภัส คำสะอาด ที่คอยให้กำลังใจในการทำงานวิจัยและให้คำปรึกษาในทุกๆ เรื่อง

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ สมาชิกห้องปฏิบัติการสื่อสารไร้สายทุกท่านสำหรับคำแนะนำและข้อคิดดีๆ ระหว่างการอภิปรายตลอดช่วงเวลาที่ผ่าน มาโดยเฉพาะ คุณรัฐพงษ์ สุวลักษณ์ ที่คอยช่วยเหลือในการทดสอบนอกสถานที่อันแสนยากลำบาก

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกๆเรื่อง จนทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี รวมทั้งน้องชายของข้าพเจ้าที่ทำให้ข้าพเจ้าไม่เหงาในวัยเด็ก และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ปู่ ตา และ ยาย ที่ดูแลสั่งสอนข้าพเจ้ามาโดยตลอดในวัยเยาว์ ถึงแม้ว่าท่านไม่ได้ได้เห็นความสำเร็จของข้าพเจ้าในวันนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

กิตติศักดิ์ แพบัว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การศึกษาและขอบเขตงานวิจัย.....	3
1.3 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 ทฤษฎีพื้นฐานของระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN).....	5
2.2.1 ข้อดีของเครือข่ายไร้สาย.....	5
2.2.1.1 คุณสมบัติทางด้านไฟฟ้า.....	5
2.2.1.2 ความคล่องตัว.....	6
2.2.1.3 ขยายระบบได้ง่าย.....	6
2.2.1.4 คุ่มค่าต่อการลงทุน.....	6
2.2.2 มาตรฐานของเครือข่ายไร้สาย.....	6
2.2.2.1 มาตรฐาน IEEE 802.11b.....	7
2.2.2.2 มาตรฐาน IEEE 802.11a.....	7
2.2.2.3 มาตรฐาน IEEE802.11g.....	7
2.2.2.4 มาตรฐาน Bluetooth.....	8
2.3 หลักการของสายอากาศ.....	8
2.3.1 พารามิเตอร์พื้นฐานของสายอากาศ.....	8
2.3.1.1 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern).....	8

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.1.2 ระยะของสนามที่แพร่กระจายจากสายอากาศ.....	9
2.3.1.3 ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น	10
2.3.1.4 ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity).....	10
2.3.1.5 ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (Half Power Beamwidth)	10
2.3.1.6 อัตราการขยาย (Gain).....	10
2.3.1.7 ประสิทธิภาพของสายอากาศ (Efficiency).....	11
2.3.2 งานวิจัยที่มีมาก่อน.....	11
2.3.2.1 สายอากาศแผ่นวงกลมแนวตั้งเหนือระนาบสะท้อน (Circular vertical patch antenna above reflector)	12
2.3.2.2 สายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมป้อนด้วยโพรบที่มีระดับสนามไฟฟ้าไขว้ต่ำ ด้วยการเชื่อมต่อสตริปไลน์ที่ฐาน.....	15
2.3.2.3 สายอากาศแผ่นวงกลมแนวตั้งสำหรับใช้งานสองย่านความถี่	19
2.4 บทสรุป.....	22
บทที่ 3 การวิเคราะห์สายอากาศ	23
3.1 บทนำ	23
3.2 สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเหนือแผ่นสะท้อน	24
3.2.1 สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ที่ฐานเหนือแผ่นสะท้อนวงกลม	25
3.2.1.1 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศ	26
3.2.1.2 การกระจายกระแสบนพื้นผิวของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเหนือระนาบสะท้อนแผ่นวงกลม.....	30
3.2.1.3 เทคนิคการเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ที่ฐานและการลดความสูงบางส่วนของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้ง	32
3.2.2 สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนสี่เหลี่ยม	40

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไขว้ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อน ทรงสี่เหลี่ยม	45
3.4 สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไขว้ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อน ทรงกระบอก.....	53
3.5 บทสรุป.....	63
บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบ	65
4.1 บทนำ	65
4.2 การสร้างและขั้นตอนการทดสอบ	65
4.3 ผลการทดสอบ.....	70
4.3.1 สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไขว้ที่ฐานเหนือแผ่น ระนาบสะท้อนวงกลม.....	70
4.3.2 สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไขว้ที่ฐานเหนือแผ่น ระนาบสะท้อนสี่เหลี่ยม.....	74
4.3.3 สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไขว้ที่ฐานเหนือตัว สะท้อนทรงสี่เหลี่ยม	78
4.3.4 สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไขว้ที่ฐานเหนือตัว สะท้อนทรงกระบอก.....	83
4.4 บทสรุป.....	87
บทที่ 5 การประเมินสมรรถนะและการประยุกต์ใช้งาน	89
5.1 บทนำ	89
5.2 การทดสอบสมรรถนะในการใช้งานจริง	90
5.3 บทสรุป.....	91
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	93
6.1 บทนำ	93
6.2 สรุปผลการวิจัย.....	93

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา.....	97
บรรณานุกรม	99
ประวัติผู้เขียน.....	101

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 มาตรฐานของระบบโครงข่ายไร้สาย.....	6
2.2 พารามิเตอร์ของสายอากาศแผ่นวงกลมแนวตั้ง.....	12
2.3 พารามิเตอร์ของสายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยม.....	17
2.4 ขนาดของสายอากาศแผ่นวงกลมแนวตั้งสำหรับใช้งานสองย่านความถี่.....	20
3.1 ขนาดสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเหนือระนาบสะท้อนวงกลม.....	38
3.2 ขนาดของตัวแพร่กระจายคลื่นแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ที่ฐาน.....	40
3.3 ขนาดของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ที่ฐานเหนือแผ่นสะท้อนสี่เหลี่ยม.....	43
3.4 ขนาดของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยม.....	48
3.5 ขนาดของตัวแพร่กระจายคลื่นแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ที่ฐาน.....	54
3.6 ขนาดของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนทรงกระบอก.....	58
3.7 สรุปผลการจำลองสายอากาศ.....	63
3.8 สรุปขนาดโดยรวมของสายอากาศ.....	64
4.1 ขนาดของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ที่ฐานเหนือแผ่นระนาบสะท้อนวงกลม.....	70
4.2 ขนาดของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ที่ฐานเหนือแผ่นระนาบสะท้อนสี่เหลี่ยม.....	75
4.3 ขนาดของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ที่ฐานเหนือตัวสะท้อนทรงกระบอก.....	74
4.4 สรุปผลการทดสอบสายอากาศ.....	87
6.1 ผลการทดสอบสมรรถนะของสายอากาศ.....	96

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 โหมมการสื่อสารในเครือข่ายท้องถิ่นไร้แบบกระจายสัญญาณ	1
1.2 โหมมการสื่อสารในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายแบบจุดต่อจุด	2
2.1 สายอากาศแผ่นวงกลมแนวตั้งเหนือระนาบสะท้อน	12
2.2 ผลการทดสอบและการจำลอง.....	13
2.3 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	14
2.4 สายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมป้อนด้วยโพรบที่มีระดับสนามไฟฟ้าไขว้ต่ำด้วยการเชื่อมต่อสตริป ไขว้ที่ฐาน	15
2.5 สายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมป้อนด้วยโพรบ	15
2.6 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (ก) สายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมป้อนด้วยโพรบ (ข) สายอากาศวงแหวน สี่เหลี่ยมป้อนด้วยโพรบที่มีระดับสนามไฟฟ้าไขว้ต่ำด้วยการเชื่อมต่อสตริปไขว้ที่ฐาน.....	16
2.7 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ (ก) และ (ข) สายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมป้อน ด้วยโพรบ (ค) และ (ง) สายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมป้อนด้วยโพรบที่มีระดับสนามไฟฟ้าไขว้ต่ำ ด้วยการเชื่อมต่อสตริปไขว้ที่ฐาน	18
2.8 โครงสร้างสายอากาศแผ่นวงกลมแนวตั้งสำหรับใช้งานสองย่านความถี่	19
2.9 ผลการทดสอบและผลการจำลองค่า SWR และอัตราขยายของสายอากาศ	20
2.10 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 4.25 GHz และ 7 GHz	21
3.1 โครงสร้างของสายอากาศสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไขว้ที่ฐาน เหนือระนาบสะท้อน (ก) ระนาบสะท้อนแผ่นวงกลม (ข) ระนาบสะท้อนแผ่นสี่เหลี่ยม (ค) ระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยม (ง) ระนาบสะท้อนทรงกระบอก	23
3.2 สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไขว้ที่ฐานเหนือแผ่นระนาบสะท้อน วงกลม	25
3.3 สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเหนือระนาบกราวนค้อนันต์.....	26
3.4 ความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศ.....	27
3.5 สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเหนือแผ่นสะท้อนวงกลม.....	28

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.6 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ	29
3.7 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ	29
3.8 กระแสบนพื้นผิวของสายอากาศ	30
3.9 องค์ประกอบของสนามไฟฟ้า	31
3.10 สตรีปไข่	32
3.11 ผลกระทบของสตรีปไข่ต่อค่าความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศ	33
3.12 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ t	34
3.13 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเมื่อเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ t	34
3.14 ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่เปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์ t	35
3.15 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่เปลี่ยนไปตามค่าพารามิเตอร์ t	35
3.16 การเปลี่ยนแปลงขนาดแผ่นสะท้อนวงกลม (r_g) (ก) อัตราการขยายของสายอากาศ (ข) อัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลัง	36
3.17 ระดับสนามไฟฟ้าไข่ ที่เปลี่ยนไปตามค่าพารามิเตอร์ s	37
3.18 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ	38
3.19 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (ก) ระนาบสนามไฟฟ้า (ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก	39
3.20 สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตรีปไข่ที่ฐานเหนือแผ่นระนาบสะท้อน สี่เหลี่ยม	40
3.21 อัตราขยายของสายอากาศที่เปลี่ยนไปตามขนาดแผ่นสะท้อนสี่เหลี่ยม	41
3.22 อัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลังของสายอากาศที่เปลี่ยนไปตามขนาดแผ่นสะท้อน สี่เหลี่ยม	41
3.23 ระดับของสนามไฟฟ้าไข่ของสายอากาศที่ทำการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ s	42
3.24 ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าพารามิเตอร์ s	42
3.25 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ	43
3.26 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ (ก) ระนาบสนามไฟฟ้า (ข) ระนาบ สนามแม่เหล็ก	44
3.27 โค้งสร้างของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตรีปไข่ที่ฐานเหนือตัว สะท้อนทรงสี่เหลี่ยม	45
3.28 อัตราขยายของสายอากาศที่เปลี่ยนแปลงตามขนาดของตัวสะท้อนทรงสี่เหลี่ยม	46

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.29 อัตราส่วนค่าคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลังของสายอากาศที่เปลี่ยนแปลงตามขนาดของตัวสะท้อนทรงสี่เหลี่ยม	47
3.30 ระดับของโพลาริไซซ์ในระนาบสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์ s	48
3.31 แสดงค่าการสูญเสียย้อนกลับจากการจำลองแบบของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเหนือตัวสะท้อนทรงกระบอก	49
3.32 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ (ก) ระนาบสนามไฟฟ้า (ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก	50
3.33 การกระจายตัวของกระแสบนพื้นผิวบนสายอากาศ (ก) องค์ประกอบของกระแสบนพื้นผิวในแนวแกน x (ข) องค์ประกอบของกระแสบนพื้นผิวในแนวแกน y (ค) แผ่นสตริปไซวี่	50
3.34 รูปแบบสนามไฟฟ้าในระนาบ xy บริเวณขอบของโดเมนการคำนวณ (ก) องค์ประกอบของสนามไฟฟ้าในแนวแกน x (ข) องค์ประกอบของสนามไฟฟ้าในแนวแกน y (ค) ค่าสนามไฟฟ้าสัมบูรณ์	52
3.35 โครงสร้างของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไซวี่ที่ฐานเหนือตัวสะท้อนทรงกระบอก.....	53
3.36 อัตราการขยายของสายอากาศที่เปลี่ยนไปตามขนาดของตัวสะท้อนทรงกระบอก.....	54
3.37 อัตราส่วนค่าคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลังที่เปลี่ยนไปตามขนาดของตัวสะท้อนทรงกระบอก ...	55
3.38 ค่าความสูญเสียย้อนกลับเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของสัดับ s	56
3.39 ระนาบสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามขนาดของสัดับ s	56
3.40 ระนาบสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามขนาดของสัดับ s	57
3.41 ระดับของสนามไฟฟ้าไซวี่ที่เปลี่ยนไปตามขนาดสัดับ s	57
3.42 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ.....	59
3.43 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (ก) ระนาบสนามแม่เหล็ก (ข) ระนาบสนามไฟฟ้า.....	60
3.44 การกระจายของกระแสบนพื้นผิวและ โครงสร้างของแผ่นสตริปไซวี่.....	61
3.45 ลักษณะการกระจายของสนามไฟฟ้า.....	62
4.1 โครงสร้างของสายอากาศสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไซวี่ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อน (ก) ระนาบสะท้อนแผ่นวงกลม (ข) ระนาบสะท้อนแผ่นสี่เหลี่ยม (ค) ระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยม (ง) ระนาบสะท้อนทรงกระบอก	66
4.2 การทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับ S_{11}	66

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 การทดสอบอัตราขยายของสายอากาศด้วยวิธีสายอากาศคู่เหมือน	67
4.4 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ xz (E-plane pattern)	68
4.5 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ yz (H-plane pattern).....	69
4.6 โครงสร้างของสายอากาศ	70
4.7 โครงสร้างสายอากาศต้นแบบที่ทำการทดสอบ	70
4.8 ผลการจำลองแบบและผลการทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับ	71
4.9 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น เส้นทึบหนา คือ โพลาริซั่มร่วมจากการจำลองแบบ เส้นประบาง โพลาริซั่มไขว้จากการจำลองแบบ เส้นทึบบางคือ โพลาริซั่มร่วมจากการทดสอบ เส้นประบาง คือ โพลาริซั่มไขว้จากการทดสอบ.....	73
4.10 โครงสร้างของสายอากาศ	74
4.11 โครงสร้างต้นแบบของสายอากาศที่ทำการทดสอบ	74
4.12 ผลการจำลองแบบและผลการทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับ	76
4.13 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น เส้นทึบหนา คือ สนามไฟฟ้าร่วมจากการจำลองแบบ เส้นประ หนา คือ สนามไฟฟ้าไขว้จากการจำลองแบบ เส้นทึบบางคือ ค่าสนามไฟฟ้าร่วมจากการทดสอบ เส้นประบางคือ สนามไฟฟ้าไขว้จากการทดสอบ	77
4.14 โครงสร้างของสายอากาศ	79
4.15 โครงสร้างต้นแบบของสายอากาศที่ทำการทดสอบ	79
4.16 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ.....	80
4.17 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น เส้นทึบหนา คือ สนามไฟฟ้าร่วมจากการจำลองแบบ เส้นประ หนา คือ สนามไฟฟ้าไขว้จากการจำลองแบบ เส้นทึบบางคือ ค่าสนามไฟฟ้าร่วมจากการทดสอบ เส้นประบางคือ สนามไฟฟ้าไขว้จากการทดสอบ	81
4.18 โครงสร้างของสายอากาศ	83
4.19 โครงสร้างต้นแบบของสายอากาศที่ทำการทดสอบ	83
4.20 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ.....	84
4.21 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น เส้นทึบหนา คือ สนามไฟฟ้าร่วมจากการจำลองแบบ เส้นประ หนา คือ สนามไฟฟ้าไขว้จากการจำลองแบบ เส้นทึบบางคือ ค่าสนามไฟฟ้าร่วมจากการทดสอบ เส้นประบางคือ สนามไฟฟ้าไขว้จากการทดสอบ	85
5.1 สภาพแวดล้อมในการทดสอบ	90

สารบัญรูป(ต่อ)

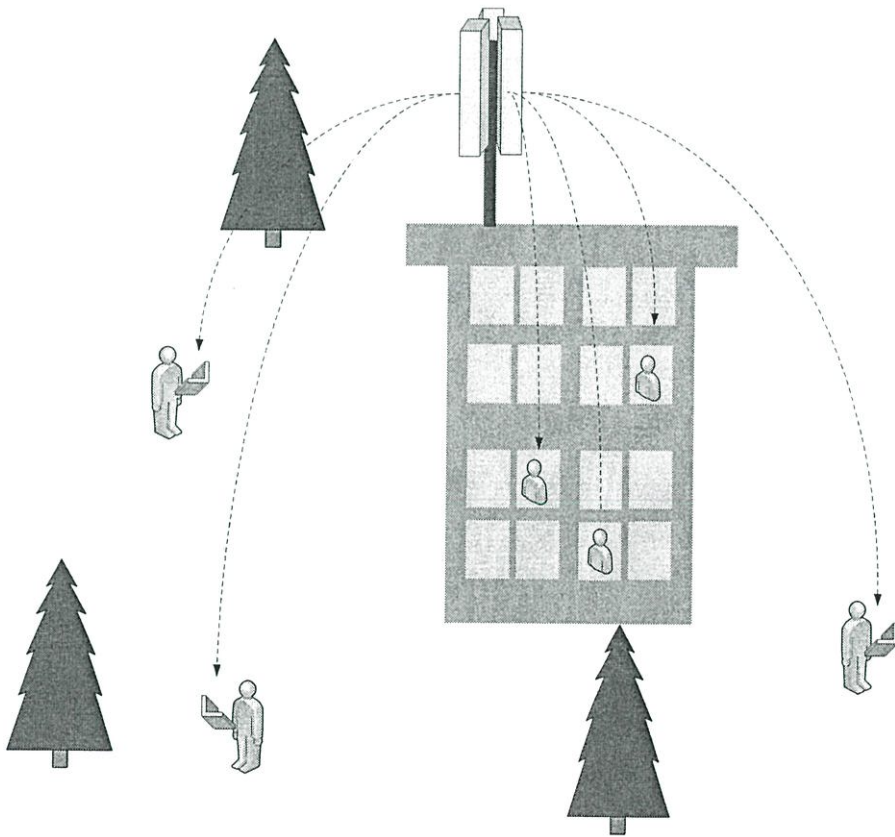
รูปที่	หน้า
5.2 ผลการทดสอบค่าอัตราสารส่งผ่านข้อมูล	91
6.1 โครงสร้างของสายอากาศสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์พื้นฐาน เหนือระนาบสะท้อน (ก) ระนาบสะท้อนแผ่นวงกลม (ข) ระนาบสะท้อนแผ่นสี่เหลี่ยม (ค) ระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยม (ง) ระนาบสะท้อนทรงกระบอก	93
6.2 (ก) สายอากาศแผ่นวงกลมแนวตั้งแบบดั้งเดิม (ข) สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับ ด้วยสตริปไลน์พื้นฐานเหนือระนาบสะท้อนทรงกระบอก	95
6.3 องค์ประกอบของสนามไฟฟ้าในทิศทางตามแกน x	95
6.4 องค์ประกอบของสนามไฟฟ้าในทิศทางตามแกน y	95

บทที่ 1

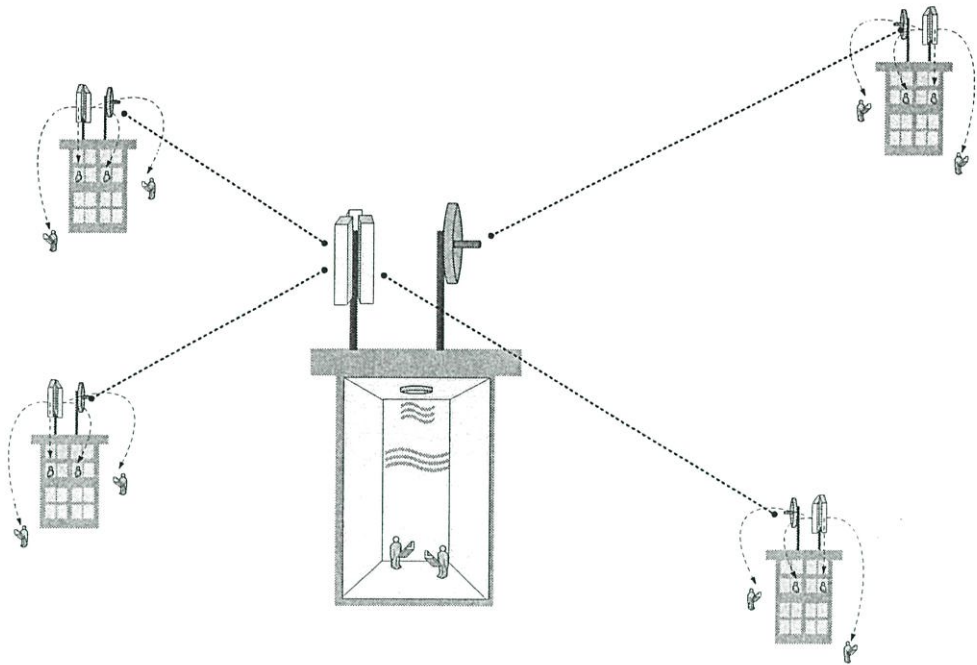
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบการสื่อสารไร้สายสมัยใหม่นั้นมีบทบาทมากในปัจจุบัน โดยเฉพาะระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area Network: WLAN) ที่นับวันจะได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องจากระบบนี้มีต้นทุนของระบบที่ต่ำกว่าระบบที่ใช้สายนำสัญญาณในการเชื่อมต่อ และมีความสะดวกกว่าเพราะสามารถเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบในบริเวณใดก็ได้ในเขตที่มีระดับสัญญาณที่เพียงพอ ตามมาตรฐานที่รองรับระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายคือมาตรฐาน IEEE802.11 (WLAN) [1-2] ที่ความถี่ 2.45 GHz และ 5.8 GHz โดยความถี่ในย่านนี้เป็นความถี่สาธารณะที่กำหนดให้ใช้ในเชิงอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ (Industrial Scientific and Medical: ISM band)



รูปที่ 1.1 โหมดการสื่อสารในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายแบบกระจายสัญญาณ



รูปที่ 1.2 โหมดการสื่อสารในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายแบบจุดต่อจุด

โหมดของการสื่อสารของระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายประกอบไปด้วยโหมดกระจายสัญญาณแบบจุด (Access point mode) ที่ให้บริการต่ออุปกรณ์ลูกข่ายต่างๆเช่นคอมพิวเตอร์โดยมีพื้นที่ให้บริการรอบทิศทางเป็นบริเวณไม่กว้างมากนักดังแสดงในรูปที่ 1.1 สายอากาศในโหมดนี้มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง ตัวอย่างสายอากาศที่ใช้งานในโหมดนี้เช่น สายอากาศไดโพลหรือสายอากาศโมโนโพล ที่ให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง (Omnidirectional pattern) หรือสายอากาศที่ให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นรูปกรวย (Conical pattern) เป็นต้น สำหรับในพื้นที่ให้บริการมีลักษณะพื้นที่แคบแต่มีระยะทางยาว การใช้งานสายอากาศในโหมดของการทวนสัญญาณ (Repeater mode) และการเชื่อมต่อระหว่างระบบโครงข่ายแบบจุดต่อจุด (Point-to-point mode) ดังแสดงในรูปที่ 1.2 สายอากาศที่เหมาะสมจะต้องมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบชี้ทิศทางเดียว (Unidirectional pattern) ที่มีอัตราการขยายของสายอากาศที่สูงเพื่อรองรับการสื่อสารในกรณีที่มีระยะการเชื่อมต่อมีระยะทางไกล สายอากาศหลายชนิดที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบชี้ทิศทางเดียวมีอัตราการขยายที่สูง ได้ถูกนำมาใช้เพื่อรองรับการใช้งานในด้านต่างๆ เช่นสายอากาศยาคิ (Yagi-Uda antenna) ที่ให้อัตราการขยายของสายอากาศที่สูง แต่มีขนาดใหญ่เพราะมีจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศมากตามอัตราการขยายที่สูงขึ้น จึงไม่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้งานในบางการใช้งานที่ต้องการ ความสวยงามไม่เป็นที่สังเกตเห็นได้ง่าย สายอากาศที่มีรูปแบบแบนและราบจะมีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในการใช้งานมากกว่าจึงได้รับความนิยมมากขึ้น ตัวอย่างเช่นสายอากาศระกูดแผ่นบาง (Patch antenna) ที่

มีลักษณะแบนราบไปกับสภาพการติดตั้งใช้งานและสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้ง [3] ซึ่งสายอากาศทั้งสองชนิดนี้เป็นสายอากาศที่แพร่กระจายคลื่นทิศทางเดียวให้อัตราการขยายสูง โครงสร้างไม่ซับซ้อน สร้างได้ง่าย แต่มีข้อเสียคือมีอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังที่ต่ำ และมีระดับของโพลาริไซซ์ไจว์ที่สูง ซึ่งในบางการประยุกต์ใช้งานเกิดสัญญาณรบกวนได้ง่ายจากระบบที่ใช้ความถี่เดียวกันเมื่อระดับของอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังของสายอากาศมีค่าต่ำ และไม่สามารถใช้ในระบบโพลาริไซซ์ไจว์ได้ดีเนื่องจากสายอากาศมีระดับโพลาริไซซ์ไจว์ที่สูง

1.2 วัตถุประสงค์การศึกษาและขอบเขตงานวิจัย

วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้เพื่อพัฒนาสายอากาศแบบใหม่ที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นทิศทางเดียวสำหรับสถานีฐานของระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย สำหรับการประยุกต์ใช้งานในการสื่อสารแบบจุดต่อจุด ในรูปแบบของสถานีฐานกระจายสัญญาณ และสถานีทวนสัญญาณที่ต้องการอัตราการขยายของสายอากาศที่สูง คุณลักษณะของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ดี เช่น อัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังที่สูง ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังที่ต่ำและแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นมีความสมมาตรกันในระนาบสนามไฟฟ้าและในระนาบสนามแม่เหล็ก โดยโครงสร้างของสายอากาศที่นำเสนอมีขนาดที่เหมาะสมสำหรับนำไปประยุกต์ใช้งานในสภาพแวดล้อมต่างๆ ในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย

ในการศึกษาและวิจัยจะทำการวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปรต่างๆของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเหนือระนาบสะท้อน ที่มีผลต่อค่าความถี่เรโซแนนซ์ ค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้า ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง ค่าอัตราการขยายของสายอากาศ และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ ตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์ประกอบไปด้วยความสูงของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้ง รัศมีของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้ง ระยะห่างของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งกับระนาบสะท้อน ขนาดและรูปร่างที่เหมาะสมของระนาบสะท้อน รวมถึงการนำเอาเทคนิคในการปรับปรุงสมรรถนะของสายอากาศที่เหมาะสมมาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงสมรรถนะของสายอากาศที่นำเสนอเช่นการเชื่อมต่อด้วยสตริปพื้นฐานและการลดเนื้อที่บางส่วนของของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเพื่อทำการปรับปรุงสมรรถนะของสายอากาศ ในการวิเคราะห์สายอากาศจะใช้โปรแกรมคำนวณปัญหาทางด้านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปแบบของสามมิติในการศึกษา

ผลการวิเคราะห์จากวิทยานิพนธ์นี้จะเป็นประโยชน์ในการออกแบบ และสร้างสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเหนือระนาบสะท้อนเพื่อรองรับความต้องการใช้งานสายอากาศสำหรับระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) ที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียว

1.3 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกัน คือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย วัตถุประสงค์การศึกษาและขอบเขตงานวิจัย และเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 ในบทนี้จะกล่าวถึงพื้นฐานของระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) หลักการพื้นฐานของสายอากาศ รวมถึงงานวิจัยที่มีมาก่อนที่เกี่ยวข้องซึ่งจะเป็นการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานและเทคนิคการปรับปรุงสายอากาศแบบต่างๆ และนำมาประยุกต์ใช้ในการงานวิจัยต่อไป

บทที่ 3 ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์และผลการวิเคราะห์ของสายอากาศเริ่มจากลำดับขั้นการวิเคราะห์ประกอบด้วยสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเหนือระนาบสะท้อน จากนั้นเป็นการอธิบายถึงการนำเทคนิคในการปรับปรุงสมรรถนะของสายอากาศมาใช้ในการปรับปรุงสายอากาศซึ่งในบทนี้ประกอบไปด้วยสายอากาศ 3 แบบด้วยกันคือ 1. สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อด้วยสตริปไข่วัวที่ฐานเหนือระนาบสะท้อน 2. สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อด้วยสตริปไข่วัวที่ฐานเหนือตัวสะท้อนทรงสี่เหลี่ยม 3. แบบสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อด้วยสตริปไข่วัวที่ฐานเหนือตัวสะท้อนทรงกระบอก

บทที่ 4 ในบทนี้กล่าวถึงผลการทดสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของสายอากาศประกอบด้วยค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ และค่าอัตราขยายของสายอากาศ

บทที่ 5 กล่าวถึงการประเมินสมรรถนะและการประยุกต์ใช้งานประกอบด้วผลการทดสอบการใช้งานจริงในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย เช่น ระดับสัญญาณเทียบกับระยะการสื่อสาร ค่าวิสัยสามารถเทียบกับระยะการสื่อสาร

บทที่ 6 กล่าวถึงการสรุปเนื้อหาโดยรวมพร้อมทั้งสรุปผลกระทบในการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศ การสร้างและผลการทดสอบสายอากาศทั้งหมด สรุปข้อดีและข้อเสียของสายอากาศ ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาสายอากาศ

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 บทนำ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย ทฤษฎีพื้นฐานของสายอากาศและงานวิจัยสายอากาศที่มีมาก่อน ซึ่งเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงมาตรฐานต่างๆที่กำหนดขึ้นมาใช้ในย่านความถี่ 2.4-5.8 GHz กล่าวถึงงานวิจัยสายอากาศที่เกี่ยวข้อง จากนั้นจะทำการสรุปข้อดีข้อเสียของงานวิจัยสายอากาศที่มีมาก่อน และนำเสนอเทคนิคในการปรับปรุงคุณสมบัติของสายอากาศจากโครงสร้างของสายอากาศแบบดั้งเดิม ซึ่งเนื้อหาทั้งหมดนี้จำเป็นสำหรับการศึกษาและออกแบบสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไวฟ์ที่ฐาน

2.2 ทฤษฎีพื้นฐานของระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN)

การสื่อสารไร้สายนั้นได้ก่อกำเนิดขึ้นมาตั้งแต่ราวปลายคริสต์ศตวรรษที่ 18 โดยในอดีตเทคโนโลยีของระบบไร้สายส่วนใหญ่จะใช้ในทางการทหารซึ่งมีต้นทุนที่สูงเมื่อนำมาใช้โดยทั่วไป แต่ในทุกวันนี้เทคโนโลยีซิลิกอนที่ได้พัฒนาอย่างก้าวหน้า ด้วยการผลิตชิปขนาดเล็ก พลังงานต่ำ ประสิทธิภาพสูง ทำให้ต้นทุนการผลิตนั้นลดต่ำลงเรื่อยๆ จึงมีการพัฒนามาตรฐานต่างๆของระบบไร้สายเพื่อนำเสนอแก่ผู้บริโภคเป็นลำดับมา

2.2.1 ข้อดีของระบบโครงข่ายไร้สาย

การสื่อสารที่มีการบีบอัดข้อมูลในระบบดิจิทัลในปัจจุบันสามารถทำให้อัตราการส่งข้อมูลเพิ่มมากขึ้นกว่าการสื่อสารในแบบดั้งเดิม อย่างไรก็ตามในปัจจุบันความต้องการในการสื่อสารข้อมูลมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นอย่างมาก ระบบการสื่อสารข้อมูลในย่านความถี่สูงจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญเนื่องจากข้อจำกัดของช่วงความถี่ซึ่งเป็นทรัพยากรสำคัญและความต้องการอัตราการส่งข้อมูลที่สูงขึ้น ข้อดีของระบบไร้สายจึงมีอยู่หลายข้อด้วยกันดังแสดงต่อไปนี้

2.2.1.1 คุณสมบัติทางด้านไฟฟ้า

เนื่องจากความต้องการในการส่งข้อมูลที่เพิ่มมากขึ้นของระบบการสื่อสารในปัจจุบัน ดังนั้นการใช้งานในย่านความถี่ที่สูงขึ้นจึงสามารถตอบสนองความต้องการนี้ได้ อย่างไรก็ตามการใช้งานสายนำสัญญาณแบบเก่าที่เป็นตัวนำมีการการลดทอนที่สูงขึ้นตามค่าความถี่ที่สูงขึ้นทำให้การสื่อสารในระยะทางไกลจึงเป็นไปได้ยาก สำหรับการสื่อสารด้วยการแพร่กระจายคลื่นผ่านตัวกลางที่เป็นอากาศมีค่าการลดทอนของสัญญาณที่ระยะทางไกลต่ำกว่า ดังนั้นการสื่อสารแบบไร้สายจึงมีความเหมาะสมเป็นอย่างยิ่งสำหรับระบบการสื่อสารในปัจจุบัน

2.2.1.2 ความคล่องตัว

ปัจจุบันอุปกรณ์คอมพิวเตอร์มีแนวโน้มที่จะพัฒนาให้มีขนาดเล็ก ประสิทธิภาพสูง สามารถพกติดตัวได้สะดวก พร้อมทั้งการทำงานที่เปลี่ยนแปลงไปตลอด ผู้ใช้ไม่จำเป็นที่จะต้องนั่งอยู่กับที่ เช่น ภายในห้องประชุมก็ใช้คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา ซึ่งไม่สะดวกในการเชื่อมต่อเข้ากับระบบไร้สาย และการปรับแต่งก็ทำได้ลำบาก สำหรับระบบไร้สายนั้น สามารถเชื่อมต่อที่ตำแหน่งใดก็ได้ภายในจุดเชื่อมต่อ (Access Point)

2.2.1.3 ขยายระบบได้ง่าย

ระบบการสื่อสารแบบไร้สายไม่จำเป็นต้องเดินสายสัญญาณ จึงไม่ต้องเจาะผนังหรือเปลี่ยนแปลงสถานที่ ถ้าต้องการเพิ่มขยายระบบก็เพียงติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมเท่านั้น หรือกรณีที่ต้องการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายระหว่างอาคาร ก็ทำได้ง่ายกว่าโดยการเชื่อมต่อแบบจุดต่อจุด (Point-to-point Communication) ด้วยการส่งสัญญาณผ่านสายอากาศ จึงช่วยให้ปรับขนาดองค์กรได้อย่างเหมาะสมกับความต้องการได้

2.2.1.4 คุ่มค่าต่อการลงทุน

ราคาอุปกรณ์ของระบบไร้สายมีแนวโน้มที่ลดลงเรื่อยๆ ทั้งอุปกรณ์ของแต่ละผู้ผลิตก็สามารถใช้งานร่วมกันได้ทั้งนี้ก็เพราะว่า ระบบไร้สายนั้นจะมีมาตรฐานกลางที่ใช้ในการอ้างอิงที่ ถูกกำหนดขึ้นโดย IEEE นอกจากนั้นแล้วการบริหารจัดการระบบก็ทำได้สะดวกกว่าระบบไร้สายด้วย

2.2.2 มาตรฐานของระบบโครงข่ายไร้สาย

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานของระบบโครงข่ายไร้สาย

มาตรฐาน	ความเร็วในการส่งข้อมูล	ระยะการสื่อสาร (เมตร)	ความถี่ใช้งาน	การเข้าถึงจุดเชื่อมต่อ	กำลังงานที่ใช้	การทนต่อสัญญาณรบกวน	มูลค่าในการลงทุน
IEEE802.11a	22Mbps	100	5GHz	ไม่ดี	สูง	ไม่ดี	สูง
IEEE802.11b	5Mbps	150	2.4GHz	ดีมาก	กลาง	ต่ำ	ต่ำ
IEEE802.11g	22Mbps	150	5GHz	ดีมาก	กลาง	สูง	กลาง
Dual band	22Mbps	150	2.4GHz/5GHz	ดีมาก	กลาง	สูง	สูง
Bluetooth	500kbps	30	5GHz	ไม่ดี	ต่ำ	ต่ำ	กลาง

2.2.2.1 มาตรฐาน IEEE 802.11b

IEEE 802.11b เป็นมาตรฐานที่นิยมใช้กันมากที่สุดในปัจจุบันนี้และมีอุปกรณ์ที่รองรับอย่างมากมาย ระบบไร้สายประเภทนี้ใช้การส่งคลื่นวิทยุในย่านความถี่ 2.4 GHz และสามารถส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงสุดที่ 11 Mbps ภายในรัศมี 300 เมตร ด้วยความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ช่วงกว้างความถี่ที่ได้รับและระยะทางที่เชื่อมโยงได้ไกลจึงทำให้เป็นมาตรฐานที่นิยมใช้งานภายในองค์กรโดยทั่วไป ทั้งยังรองรับการใช้งานได้หลากหลาย ไม่ว่าจะทำงานภายในบ้าน โดยไม่ต้องเข้าสำนักงานหรือในชีวิตการทำงาน แต่ข้อเสียของมาตรฐานนี้ก็คือ ใช้ย่านความถี่ในระยะของย่านความถี่ที่โทรศัพท์ใช้และ อุปกรณ์ Bluetooth จึงทำให้ส่งผลต่อความปลอดภัย ในการใช้ข้อมูล เนื่องจากข้อมูลจะมีโอเวอร์เฮดที่สูง ถ้าพื้นที่ใช้งานมีสิ่งกีดขวาง และสัญญาณไฟฟ้าที่รบกวน ก็จะทำให้คุณภาพของสัญญาณลดต่ำลง จึงทำให้ความสามารถในการนำพาข้อมูลจริงๆ นั้นจะอยู่ที่ประมาณ 5 Mbps

2.2.2.2 มาตรฐาน IEEE 802.11a

IEEE 802.11a มีชื่อดีกว่า IEEE 802.11b อยู่ 2 ประการ คือ ใช้ย่านความถี่เฉพาะต่างหาก ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่สูง อยู่ในระหว่าง 5.15 GHz ถึง 5.35 GHz และให้แบนด์วิดท์ที่สูงกว่า โดยในทางทฤษฎีมีค่าสูงสุด 54 Mbps แต่ในการใช้งานจริงแล้วจะอยู่ที่ประมาณ 22 Mbps มาตรฐานนี้จึงเหมาะที่จะนำมาใช้ในการจัดส่งข้อมูลเสียงและภาพกราฟฟิก แต่ข้อเสียหลักๆ ก็คือ มีรัศมีทำการอยู่แค่ 75 ฟุต ดังนั้นถ้าต้องการระยะทางที่ไกล ขึ้นจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการ ติดตั้งอุปกรณ์กระจายสัญญาณ (Access point) เพิ่มขึ้นมาก นอกจากนี้แล้วอุปกรณ์ที่รองรับมาตรฐานนี้ในปัจจุบันก็ยังมีราคาแพง เมื่อเทียบกับมาตรฐาน IEEE 802.11b เนื่องจากว่าทั้งสองมาตรฐานนี้ใช้ย่านความถี่ต่างกัน จึงทำให้อุปกรณ์ของทั้งสองประเภทนั้นไม่สามารถที่จะใช้งานร่วมกันได้ แต่อย่างไรก็ตามก็มีผู้ผลิตออกผลิตภัณฑ์แบบ Dual band ที่ใช้ได้ทั้งสองย่านความถี่ จึงเหมาะกับองค์กรที่มีการใช้งานทั้งสองมาตรฐานแล้วต้องการให้อุปกรณ์ใช้งานร่วมกันได้ แต่เมื่อเปรียบเทียบในแง่ของประสิทธิภาพของระบบแล้วจะไม่มากเท่ากับการใช้มาตรฐานใดมาตรฐานหนึ่ง โดยเฉพาะ นอกจากนั้นก็ยังมีความแพงเพิ่มขึ้นไปอีก

2.2.2.3 มาตรฐาน IEEE 802.11g

IEEE 802.11g เป็นมาตรฐานที่จะเข้ามาทดแทนมาตรฐาน IEEE 802.11b เนื่องจากมีค่า Throughput อยู่ที่ 22 Mbps ทั้งยังสามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ที่ใช้มาตรฐาน IEEE 802.11b จึงทำให้ไม่จำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนแปลง โครงสร้างพื้นฐานของระบบไร้สายที่ใช้กันอยู่เดิมอย่าง IEEE 802.11b ก็เพียงแต่อัปเดตเฟิร์มแวร์เท่านั้นหรือใช้งานกับ Access Point เลยก็ทำได้เช่นเดียวกัน โดย IEEE 802.11g ใช้เทคนิคการเข้ารหัสข้อมูลได้ทั้งแบบ CKK ตามมาตรฐาน IEEE 802.11b หรือจะใช้ OFDM ตามมาตรฐาน IEEE 802.11g

2.2.2.4 มาตรฐาน Bluetooth

Bluetooth เป็นมาตรฐานที่แตกต่างจากข้อกำหนดของมาตรฐานชุด IEEE 802.11 โดยเป้าหมายในการพัฒนาก็เพื่อความยืดหยุ่น ในการใช้งานและใช้ กับระบบโครงข่ายขนาดเล็กๆ ที่เรียกว่า PAN (Personal Area Network) ซึ่งขนาดของ Throughput เท่ากับ 500Kbps และมีรัศมีการส่งสัญญาณที่ 10 เมตร อุปกรณ์ที่รองรับมาตรฐานนี้จึงเชื่อมโยงการทำงานทั้งบริเวณสนามบิน ตามร้านต่างๆ เพื่อที่จะเข้าถึงอินเทอร์เน็ตด้วยอุปกรณ์พกพา จำพวกคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก คอมพิวเตอร์แบบพกพา อุปกรณ์ที่รองรับเทคโนโลยีในปัจจุบันนิยมนำมาใช้กับโทรศัพท์มือถือและอุปกรณ์พกพาต่างๆ นอกจากนั้นก็ยังสามารถขยายไปถึงอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นโทรศัพท์มือถือ เครื่องเสียง เครื่องเล่นวิทยุ ซึ่งเข้ามาแทนที่เทคโนโลยีอินฟราเรดเดิม

2.3 หลักการของสายอากาศ

2.3.1 พารามิเตอร์พื้นฐานของสายอากาศ

2.3.1.1 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern)

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นถูกจำกัดความเป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์หรือรูปภาพที่ใช้เป็นตัวแทนคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นซึ่งเป็นฟังก์ชันของ โคออร์ดิเนตตำแหน่ง (Space Coordinate) ส่วนใหญ่แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจะพิจารณาสนามที่ขอบเขตสนามระยะไกล (Far Field) ที่เป็นฟังก์ชันของทิศทาง คุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นจะประกอบไปด้วย ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กกำลังงาน (Power flux density) ความเข้มการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Intensity) ความแรงของสนาม (Field Strength) ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity) เฟส (Phase) หรือการโพลาไรซ์ (Polarization) ซึ่งคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นทั้งหมดนี้จะพิจารณาในสองหรือในสามมิติของพลังงานคลื่นที่แพร่กระจายออกที่เป็นฟังก์ชันของจุดสังเกตตลอดระยะทางหรือพื้นผิวที่มีรัศมีคงที่

พิกัด โคออร์ดิเนต (Coordinate) ค่าสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าที่รับได้ที่รัศมีคงที่ เรียกว่าแบบรูปค่าสูงสุดของสนาม หรืออาจกล่าวได้ว่า กราฟที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนาแน่นพลังงานตลอดรัศมีที่คงที่ บ่อยครั้งที่แบบรูปของสนามหรือแบบรูปกำลังงานจะถูกนอร์แมลไรซ์ด้วยค่าสูงสุดและสามารถเขียนกราฟในรูปแบบของลอการิทึมของค่าสนาม

สนามในสเกลเชิงเส้นความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังมีค่าเท่ากับ 0.707 ของค่าสนามสูงสุดแบบรูปสนามกำลังในสเกลเชิงเส้นค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังมีค่าเท่ากับ 0.5 ของค่าสนามกำลังสูงสุด และแบบรูปสนามกำลังในสเกลลอการิทึม ค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังมีค่าเท่ากับ -3dB ของค่าสนามกำลังสูงสุดในสเกลของลอการิทึม ทั้งหมดนี้เรียกว่า ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (Half-power beam width: HPBW)

ลำคลื่นของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Lobe) คือ ส่วนที่เป็นส่วนหนึ่งของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดเป็นบริเวณ โดยแวดล้อมด้วยส่วนที่มีความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นที่เท่ากัน ซึ่งแบ่งเป็นลำคลื่นแบบต่างๆ ได้ดังนี้

ลำคลื่นหลัก (Major Lobe หรือ Main Lobe) เป็นลำคลื่นของการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งอยู่ในทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นที่แรงที่สุด สายอากาศบางชนิดอาจมีลำคลื่นหลักมากกว่าหนึ่งลำคลื่น เช่น สายอากาศแยกลำคลื่น (Split Beam Antenna)

ลำคลื่นย่อย (Minor Lobe) ได้แก่ ลำคลื่นอื่นๆ นอกเหนือจากลำคลื่นหลัก

ลำคลื่นย่อยด้านข้าง (Side Lobe) เป็นลำคลื่นย่อยที่อยู่ติดกับลำคลื่นหลัก และอยู่บนทิศทางบนครึ่งทรงกลมซีกเดียวกับลำคลื่นหลัก

ลำคลื่นย่อยด้านหลัง (Back Lobe) เป็นลำคลื่นย่อยอยู่ในครึ่งทรงกลมตรงข้าม กับลำคลื่นหลัก ปกติแล้วลำคลื่นย่อยจะเกิดจากการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่ไม่ต้องการ ดังนั้นสำหรับสายอากาศที่ดีต้องกำจัดลำคลื่นเหล่านี้ให้เหลือน้อยที่สุด ระดับของลำคลื่นย่อยมักแสดงเป็นอัตราความหนาแน่นของพลังงานในลำคลื่นย่อยที่พิจารณากับความหนาแน่นของพลังงานในลำคลื่นหลัก ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปนั้นมักจะให้ระดับของลำคลื่นย่อยน้อยกว่า -20dB

2.3.1.2 ระยะเวลาของสนามที่แพร่กระจายจากสายอากาศ

โดยทั่วไปมักจะแบ่งบริเวณที่ล้อมรอบสายอากาศเป็น 3 ส่วน คือ สนามรีแอคทีฟเฟิลด์ (Reactive-Near Field) สนามแผ่กระจายระยะใกล้ (Radiating-Near Field) และสนามระยะไกล (Far Field)

บริเวณสนามรีแอคทีฟเฟิลด์เป็นบริเวณสนามที่ล้อมรอบและอยู่ใกล้สายอากาศมากที่สุด และมีสนามรีแอคทีฟเฟิลด์เป็นส่วนใหญ่ บริเวณนี้จะมีระยะทาง $R < 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$ จากผิวของสายอากาศ เมื่อ λ เป็นความยาวคลื่น และ D เป็นมิติที่ยาวที่สุดของสายอากาศ

บริเวณสนามที่แผ่กระจายคลื่นในระยะใกล้ เป็นบริเวณสนามของสายอากาศที่อยู่ระหว่างบริเวณของสนามรีแอคทีฟเฟิลด์กับบริเวณสนามระยะไกล โดยมีการกระจายสนามอยู่เป็นส่วนใหญ่ และการกระจายของสนามตามมุมต่างๆ นั้น แปรผันตามระยะจากสายอากาศ เมื่อสายอากาศมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นสนามในบริเวณนี้อาจไม่เกิดขึ้นในบริเวณนี้จะมีระยะทาง $0.62\sqrt{D^3/\lambda} \leq R \leq 2D^2/\lambda$

บริเวณสนามระยะไกล เป็นบริเวณสนามของสายอากาศ ซึ่งการแผ่กระจายของสนามของสายอากาศตามมุมต่างๆ ไม่ขึ้นกับระยะทางสายอากาศ ถ้าสายอากาศมีมิติใหญ่เท่ากับ D บริเวณสนามระยะไกลจะเกิดขึ้นที่ระยะทาง R มากกว่า $2D^2/\lambda$ จากสายอากาศ

ในบริเวณนี้สนามมีลักษณะเป็นสนามตัดขวาง (Transverse Field) และการแผ่กระจายของสนามตามมุมต่างๆ และไม่ขึ้นกับระยะทาง ขอบในบริเวณดังกล่าวมีค่า R เท่ากับ $2D^2/\lambda$ และขอบนอกเป็นอนันต์

2.3.1.3 ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น

กำลังที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศ ต่อหน่วยมุมตัน U ($W/$ หน่วยมุมตัน) เกี่ยวกับสนามระยะไกลความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น สามารถหาได้จากผลคูณของความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่นและผลจากกำลังสองของระยะทาง ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นสามารถเขียนแสดงความสัมพันธ์ กับสนามไฟฟ้าของสายอากาศระยะไกลได้คือ

ดังนั้นรูปแบบของกำลังงานใช้เพื่อแสดงถึงความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นได้เช่นกัน กำลังงานทั้งหมดหาได้โดยอินทิเกรตความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นตลอดมุมตันทั้งหมดซึ่งจะ

2.3.1.4 ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity)

อัตราการขยายทิศทางในทิศทางที่กำหนด คือ อัตราส่วนของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางนั้นต่อความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศซึ่งใช้สำหรับอ้างอิง ซึ่งปกติสายอากาศสำหรับอ้างอิงนี้จะใช้แหล่งกำเนิดจุดไอโซทรอปิก (Isotropic Point Source)

ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง คือค่าของอัตราการขยายทิศทางในทิศทางที่มีค่ามากที่สุดหรือ คือค่าสภาพเจาะจงทิศทางของแหล่งกำเนิดที่ไม่เป็นไอโซทรอปิก คือ อัตราส่วนของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นที่มากที่สุดต่อความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นของแหล่งกำเนิดจุดไอโซทรอปิกเขียนสมการได้ว่า

อัตราการขยายทิศทาง และค่าสภาพเจาะจงทิศทางของแหล่งกำเนิดจุดไอโซทรอปิกที่มีค่าเป็นหนึ่ง เพราะว่ามี การแพร่กระจายกำลังงาน ออกไปทุกทิศทางด้วยค่าคงที่เท่ากันคือ U, U_{\max} และ U_0 ต่างมีค่าเท่ากัน แต่แหล่งกำเนิด(สายอากาศ)แบบอื่นๆ นั้นย่อมมีค่าสภาพเจาะจงทิศทางมีมากกว่าหนึ่งเสมอ

สายอากาศที่มีลำคลื่นหลักแคบๆเพียงลำคลื่นเดียวและมีลำคลื่นย่อยที่มีขนาดเล็กจนไม่สามารถตัดทิ้งได้มุมตันของลำคลื่นจะมีค่าประมาณเท่ากับผลคูณของ $HPBW$ ในระนาบซึ่งตั้งฉากกัน

2.3.1.5 ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (Half-power beamwidth)

ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง เป็นมุมที่วัดระหว่างจุดที่ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในลำคลื่นหลักลดลงเป็นครึ่งหนึ่ง

2.3.1.6 อัตราการขยาย (Gain)

เป็นความสัมพันธ์ที่ได้มาจากค่าสภาพเจาะจงทิศทาง โดยรวมประสิทธิภาพของสายอากาศเข้ามาด้วยในขณะที่ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง อธิบายคุณสมบัติในการชี้ทิศทางของสายอากาศเท่านั้น

อัตราการขยายเชิงกำลัง (Power Gain) ของสายอากาศ ในทิศทางที่กำหนดให้ มีค่าเท่ากับ 4π คูณอัตราส่วนของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น ในทิศทางนั้นต่อกำลังงานสุทธิ

ที่สายอากาศรับจากขั้วต่อของเครื่องส่งเมื่อไม่ได้กำหนดทิศทางไว้โดยเฉพาะ โดยทั่วไปแล้วจะคิดอัตราขยายเชิงกำลังในทิศทางที่มีการแพร่กระจายคลื่นแรงที่สุดดังนั้น

อัตราขยาย = $4\pi \times (\text{ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น}) / (\text{กำลังงานทั้งหมดที่ป้อนให้สายอากาศ})$ โดยทั่วไปแล้วจะพูดถึงอัตราขยายสัมพัทธ์ ซึ่งเป็นอัตราส่วนของอัตราขยายเชิงกำลังของสายอากาศ ซึ่งใช้เปรียบเทียบในทิศทางนั้น เมื่อกำลังงานที่ป้อนเข้าสายอากาศนั้นต้องเท่ากัน สายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบจะเป็นแหล่งกำเนิดจุดไอโซทรอปิกที่ไม่มีการสูญเสีย

2.3.1.7 ประสิทธิภาพของสายอากาศ (Efficiency)

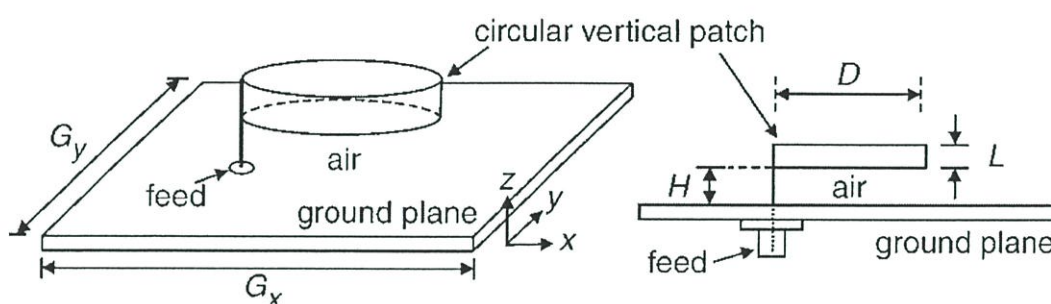
ประสิทธิภาพของสายอากาศ จะใช้เมื่อคำนึงถึงการสูญเสียต่างๆ ที่ขั้วและภายในโครงสร้างของสายอากาศด้วย โดยทั่วไปแล้วประสิทธิภาพทั้งหมดจะประกอบด้วย e_r = ประสิทธิภาพทั้งหมด (ไม่มีหน่วย) e_r = ประสิทธิภาพการสะท้อนของคลื่น (ไม่มีหน่วย) e_c = ประสิทธิภาพความนำ (ไม่มีหน่วย) e_d = ประสิทธิภาพไดอิเล็กตริก (ไม่มีหน่วย) Γ = ประสิทธิภาพการสะท้อนกลับของสัคย์ไฟฟ้าที่ขั้วของสายอากาศ Z_{in} = อิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศ Z_0 = อิมพีแดนซ์คุณลักษณะ (Characteristic Impedance) ปกติ e_c และ e_d คำนวณหาได้ลำบากมากมักจะได้รับการทดลองเมื่อ $e_{cd} = e_c e_d$ ประสิทธิภาพในการแพร่กระจายของคลื่น

2.3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

สายอากาศที่ได้รับความนิยมและถูกนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวางในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายได้แก่ สายอากาศตระกูลแผ่นบาง (Patch antenna) ซึ่งมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นคงที่ตลอดย่านความถี่ มีขนาดที่เล็กและมีอัตราขยายต่ำและมีอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังที่ต่ำ ระดับของโพลาไรซ์ไขว้สูง ซึ่งในบางการประยุกต์ใช้งานต้องการอัตราขยายของสายอากาศที่สูงและระดับของลำคลื่นด้านหลังที่สูงเพื่อป้องกันการรบกวนจากแหล่งกำเนิดที่มีการแพร่กระจายคลื่นจากที่อื่นที่ใช้งานความถี่เดียวกัน อีกทั้งในบางการประยุกต์ใช้งานที่ใช้เทคนิคของโพลาไรซ์ไดเวอร์ซิตีด้วยสายอากาศที่มีโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นจึงจำเป็นต้องใช้สายอากาศที่มีระดับของโพลาไรซ์ไขว้ต่ำ ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงสายอากาศตระกูลแผ่นบางจึงมีข้อเสียอยู่หลายด้านด้วยกัน เมื่อพิจารณาสายอากาศแผ่นวงกลมแนวตั้งเหนือระนาบกราวด์ซึ่งเป็นสายอากาศที่แพร่กระจายคลื่นทิศทางเดียวและให้อัตราการขยายที่สูง โครงสร้างไม่ซับซ้อน สร้างได้ง่าย อย่างไรก็ตามสมรรถนะของสายอากาศแผ่นวงกลมแนวตั้งยังสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้จากสายอากาศในแบบดั้งเดิม สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีมาก่อนดังแสดงในหัวข้อต่อไปนี้

2.3.2.1 สายอากาศแผ่นวงกลมแนวตั้งเหนือระนาบสะท้อน (Circular vertical patch antenna above reflector)

สายอากาศแผ่นวงกลมแนวตั้งเหนือระนาบสะท้อน [2] ถูกนำเสนอครั้งแรกโดย Chi Lun Mak และคณะ สายอากาศชนิดนี้มีข้อดีเหนือกว่าสายอากาศแผ่นระนาบที่นิยมใช้ในการประยุกต์ในงานแบบดั้งเดิม โดยสายอากาศมีโครงสร้างที่ง่าย ให้ช่วงกว้างความถี่กว้างกว่า และการสูญเสียต่ำ เนื่องจากไม่ใช้วัสดุไดอิเล็กตริกในการออกแบบจึงทำให้มีค่าการสูญเสียที่ต่ำกว่า และให้อัตราการขยายสูงกว่าสายอากาศแผ่นระนาบทั่วไป

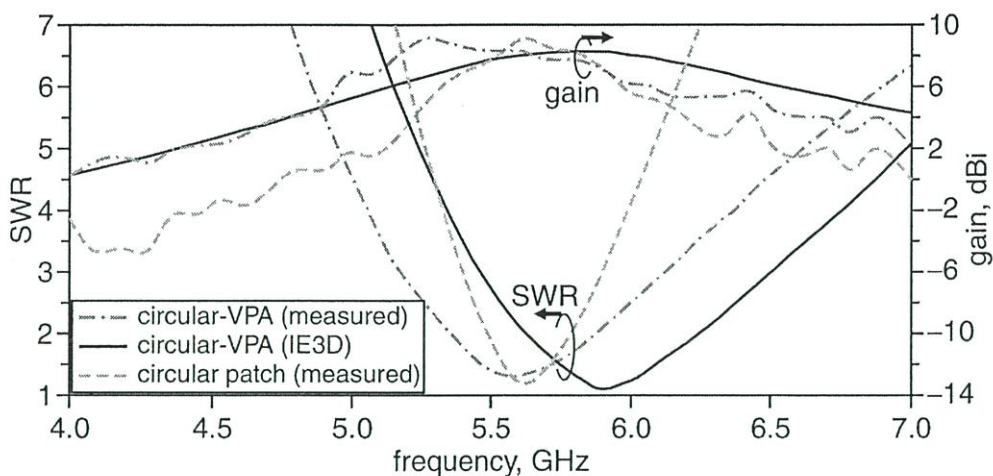


รูปที่ 2.1 สายอากาศแผ่นวงกลมแนวตั้งเหนือระนาบสะท้อน

รูปที่ 2.1 โครงสร้างของสายอากาศประกอบขึ้นจากการโค้งงอของแผ่นระนาบแนวตั้งบางที่ทำจากทองแดงหรือแผ่นฟลอยด์โค้งเป็นวงกลมด้วยเส้นผ่านศูนย์กลาง D และความสูงของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้ง L ตัวแพร่กระจายคลื่นวางตัวอยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของระนาบสะท้อนที่มีความหนาเท่ากับ 2 มิลลิเมตรและมีขนาดความกว้างและความยาวเท่ากับ G_x และ G_y ตามลำดับ ตัวแพร่กระจายคลื่นวางตัวอยู่ในอากาศเหนือระนาบสะท้อนด้วยความสูง H สายอากาศถูกป้อนด้วยลวดทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร สายอากาศออกแบบให้ทำงานที่ความถี่ 5.6 GHz พารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศดังแสดงในตารางที่ 2.2

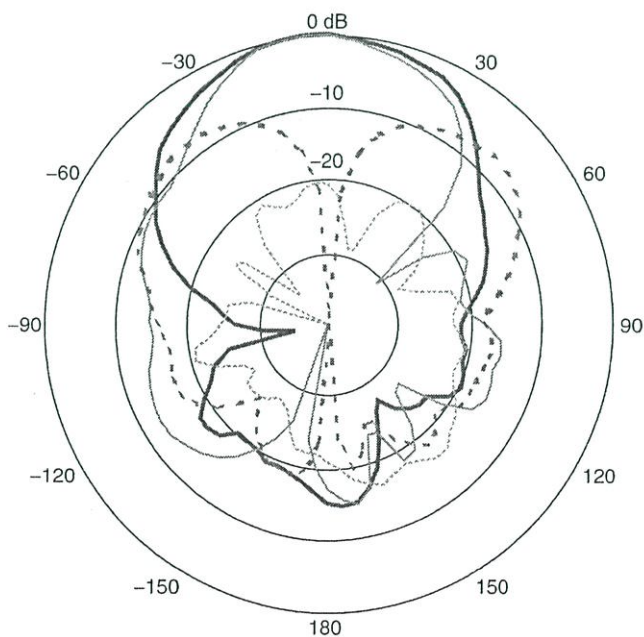
ตารางที่ 2.2 พารามิเตอร์ของสายอากาศแผ่นวงกลมแนวตั้ง

พารามิเตอร์	ขนาด (มิลลิเมตร)
D	20 ($0.373 \lambda_0$)
H	5 ($0.093 \lambda_0$)
L	3 ($0.056 \lambda_0$)
G_x	55 (λ_0)
G_y	55 (λ_0)

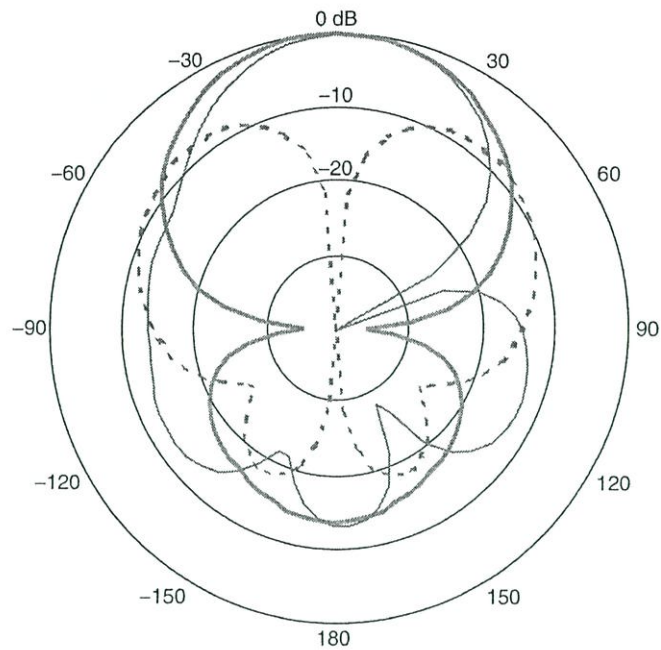


รูปที่ 2.2 ผลการทดสอบและการจำลอง

จากรูปที่ 2.2 แสดงผลการทดสอบและผลการจำลองค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (SWR) ของสายอากาศแผ่นวงกลมแนวตั้งเหนือระนาบสะท้อน สายอากาศถูกจำลองด้วยโปรแกรมคำนวณสายอากาศ IE3D โดยทำการเปรียบเทียบกับสายอากาศแผ่นระนาบตั้งเดิมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 26.5 มิลลิเมตร ($0.4946 \lambda_0$) ที่มีความหนาของวัสดุฐานรองเท่ากับ 2 มิลลิเมตร ($0.0373 \lambda_0$) จากผลการทดสอบพบว่าค่าช่วงกว้างความถี่ของสายอากาศแผ่นวงกลมแนวตั้งเหนือระนาบสะท้อนมีค่า 10.7 (SWR < 2) เเปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าสายอากาศแบบดั้งเดิมประมาณ 5 เเปอร์เซ็นต์ ค่าอัตราการขยายของสายอากาศจากการทดสอบและจากการจำลองพบว่ามีค่าประมาณ 8 dBi ผลการทดสอบและผลการจำลองที่ได้สอดคล้องกันเป็นอย่างดี



(ก) ผลการทดสอบ

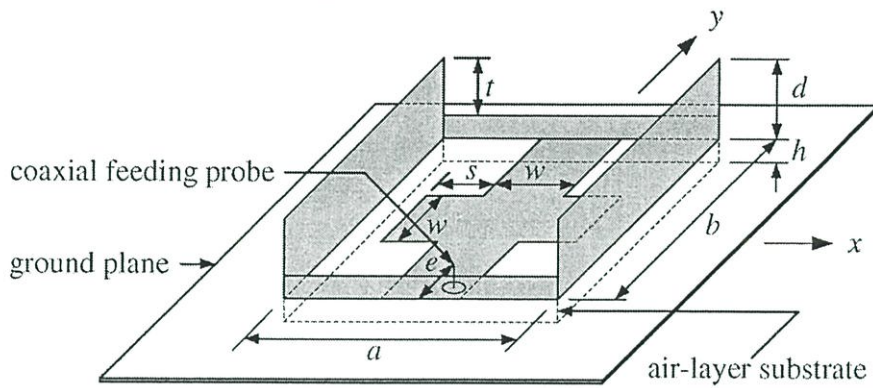


(ข) ผลการจำลอง

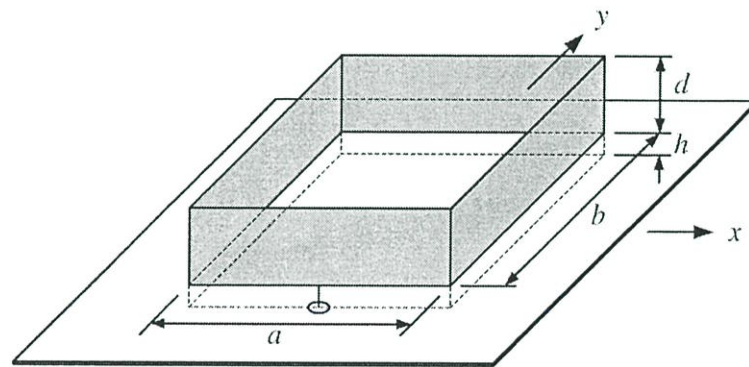
รูปที่ 2.3 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแผ่นวงกลมแนวตั้งเหนือระนาบสะท้อนแสดงในรูปที่ 2.3 เส้นทึบหนาคือโพลาริซร่วมในระนาบสนามแม่เหล็ก เส้นประหนาคือโพลาริซไขว้ในระนาบสนามแม่เหล็ก เส้นทึบบางคือโพลาริซร่วมในระนาบสนามไฟฟ้า เส้นประบางคือโพลาริซไขว้ในระนาบสนามไฟฟ้า แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของโพลาริซร่วมในระนาบสนามไฟฟ้าและในระนาบสนามแม่เหล็กมีความสมมาตรกัน โดยที่มีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังจากการจำลองในระนาบสนามแม่เหล็กและในระนาบสนามไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 50 องศา และ 60 องศาตามลำดับ และจากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 47 องศา และ 60 องศา ตามลำดับ อย่างไรก็ตามสายอากาศชนิดนี้มีระดับของโพลาริซไขว้มีค่าต่ำที่ตำแหน่งมุม 0 องศาแต่ที่มุมอื่นๆระดับของโพลาริซไขว้ยังคงมีค่าสูง และมีค่าอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังต่ำ

2.3.2.2 สายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมป้อนด้วยโพรบที่มีระดับโพลาริเซชันไขว้ต่ำด้วยการเชื่อมต่อสตริปไมซ์ที่ฐาน

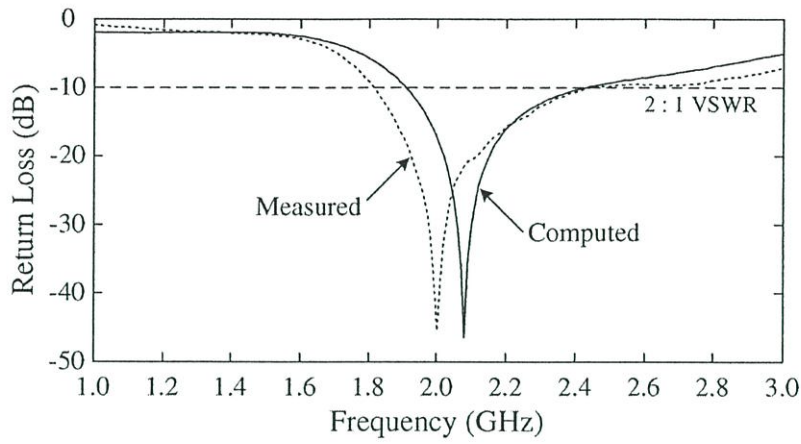


รูปที่ 2.4 สายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมป้อนด้วยโพรบที่มีระดับโพลาริเซชันไขว้ต่ำด้วยการเชื่อมต่อสตริปไมซ์ที่ฐาน

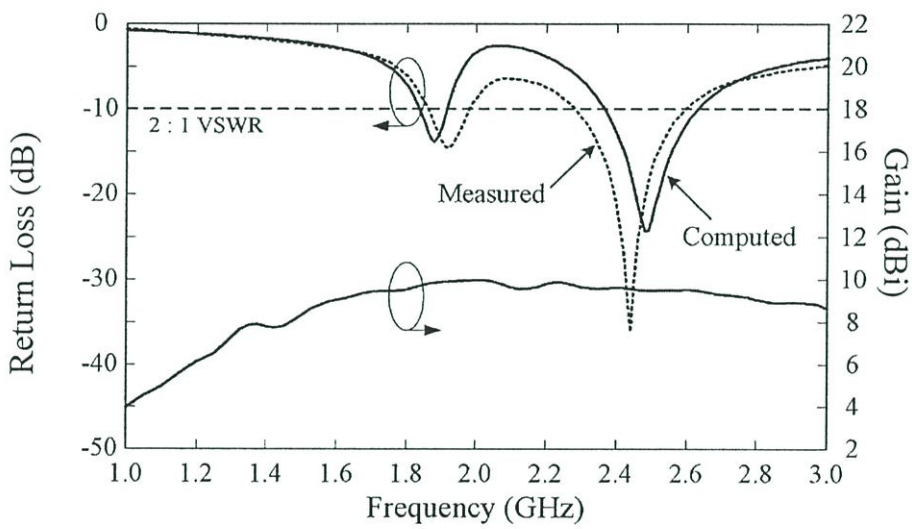


รูปที่ 2.5 สายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมป้อนด้วยโพรบ

สายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมป้อนด้วยโพรบที่มีระดับโพลาริเซชันไขว้ต่ำด้วยการเชื่อมต่อสตริปไมซ์ที่ฐาน [3] มีวิวัฒนาการมาจากสายอากาศตระกูลแผ่นระนาบแนวตั้งที่มีลักษณะเป็นวงแหวนสี่เหลี่ยมและได้นำเทคนิคการลดโพลาริเซชันไขว้โดยใช้สตริปไมซ์ดังแสดงในรูปที่ 2.4 วิวัฒนาการของสายอากาศเริ่มต้นจากสายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมป้อนด้วยโพรบดังแสดงในรูปที่ 2.5 สายอากาศประกอบด้วยส่วนของตัวแพร่กระจายคลื่นวงแหวนสี่เหลี่ยมวางตัวอยู่เหนือระนาบสะท้อนกับด้วยอากาศป้อนด้วยโพรบที่บริเวณขอบของตัวแพร่กระจายคลื่นวงแหวนสี่เหลี่ยม



(ก)



(ข)

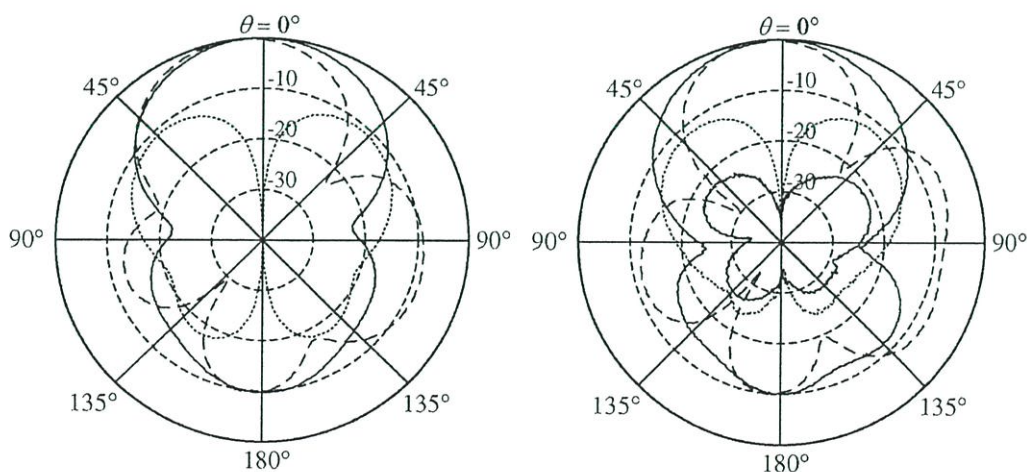
รูปที่ 2.6 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (ก) สายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมป้อนด้วยโพรบ (ข) สายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมป้อนด้วยโพรบที่มีระดับโพลาริเซชันต่ำด้วยการเชื่อมต่อสตริปไลน์พื้นฐาน

จากรูปที่ 2.6 (ก) และรูปที่ 2.6 (ข) แสดงผลการจำลองและผลการทดสอบของสายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมป้อนด้วยโพรบและสายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมป้อนด้วยโพรบที่มีระดับโพลาริเซชันต่ำด้วยการเชื่อมต่อสตริปไลน์พื้นฐานตามลำดับ ที่ขนาดของวงแหวนสี่เหลี่ยมที่มีขนาดเท่ากันพบว่าสายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมป้อนด้วยโพรบมีค่าความถี่เรโซแนนซ์ที่ต่ำกว่าสายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมป้อนด้วยโพรบที่มีการเพิ่มส่วนของสตริปไลน์พื้นฐาน จากรูปที่ 2.6 (ข) แสดงอัตราการขยายของสายอากาศพบว่าค่าอัตราการขยายของสายอากาศที่ความถี่ 2.45 GHz มีค่าประมาณ 9.5 dBi ขนาดของสายอากาศทั้งสองแสดงดังในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 พารามิเตอร์ของสายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยม

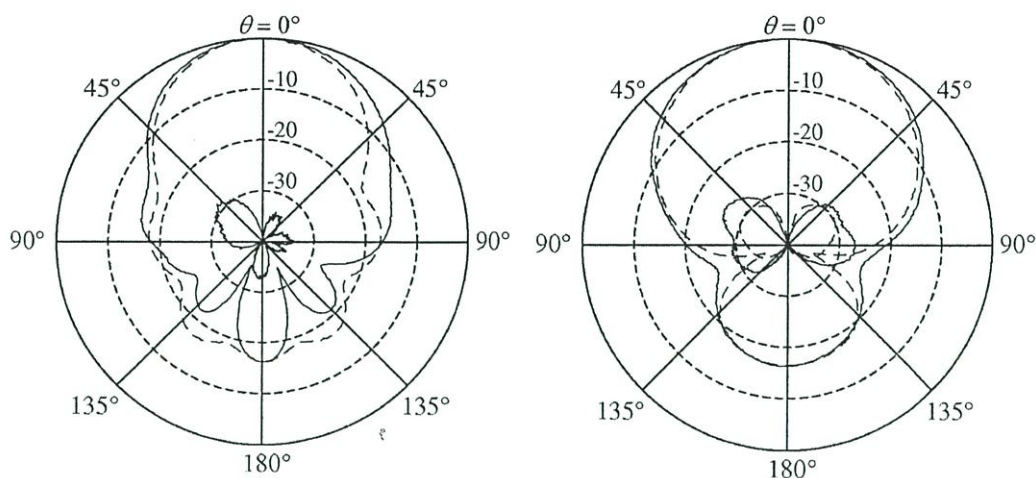
พารามิเตอร์	สายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมป้อนด้วยโพรบ (มิลลิเมตร)	สายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมป้อนด้วยโพรบที่มีระดับโพลาริเซชันไว้ต่ำด้วยการเชื่อมต่อสตริปไฟว์ที่ฐาน (มิลลิเมตร)
a	45.36 ($0.32 \lambda_0$)	45.36 ($0.37 \lambda_0$)
b	45.36 ($0.093 \lambda_0$)	45.36 ($0.37 \lambda_0$)
d	34 ($0.056 \lambda_0$)	24 ($0.20 \lambda_0$)
h	3 ($0.02 \lambda_0$)	3 ($0.024 \lambda_0$)
w	-	9.72 ($0.079 \lambda_0$)
s	-	11.34 ($0.092 \lambda_0$)
G_x	129.6 ($0.9 \lambda_0$)	129.6 ($0.9 \lambda_0$)
G_y	129.6 ($0.9 \lambda_0$)	129.6 ($0.9 \lambda_0$)

รูปที่ 2.6 เปรียบเทียบค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศทั้งสอง (ก) สายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมป้อนด้วยโพรบโดยมีขนาดตามตารางที่ 2.3 และ(ข) สายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมป้อนด้วยโพรบที่มีระดับโพลาริเซชันไว้ต่ำด้วยการเชื่อมต่อสตริปไฟว์ที่ฐาน จากตารางขนาดของสายอากาศทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน พบว่าเมื่อทำการเพิ่มส่วนของสตริปไฟว์ในสายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมนั้นทำให้ค่าความถี่เรโซแนนซ์มีค่าเพิ่มสูงขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.6 (ข)



(ก) ผลการจำลอง

(ข) ผลการทดสอบ



(ก) ผลการจำลอง

(ข) ผลการทดสอบ

รูปที่ 2.7 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ (ก) และ (ข) สายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยม ป้อนด้วยโพรบ (ค) และ (ง) สายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมป้อนด้วยโพรบที่มีระดับ โพลาริซัซไจว์ต่ำด้วยการเชื่อมต่อสตริปไฟว์พื้นฐาน

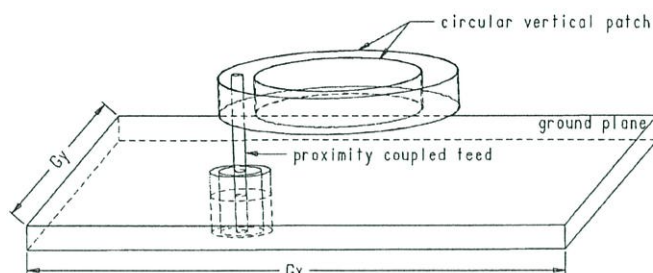
รูปที่ 2.7 แสดงการเปรียบเทียบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจากการจำลองและการ ทดสอบของสายอากาศทั้งสอง เส้นทึบหนาแสดง โพลาริซัซไจว์ร่วมในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane co-polarization) เส้นประแสดง โพลาริซัซไจว์ร่วมในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane co-polarization) เส้น จุดแสดง โพลาริซัซไจว์ในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane cross-polarization) เส้นทึบบางแสดง โพลาริซัซไจว์ในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane cross-polarization)

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมป้อนด้วยโพรบดังแสดงใน รูปที่ 2.7 (ก)และรูปที่ 2.7 (ข) จากการจำลองสายอากาศค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของ โพลาริซัซไจว์ร่วมในระนาบสนามแม่เหล็กและระนาบสนามไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 45 องศา และ 65 องศา ตามลำดับ ค่าอัตราส่วนของโพลาริซัซไจว์ร่วมต่อโพลาริซัซไจว์ในระนาบสนามแม่เหล็กเท่ากับ 11 dB อัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังเท่ากับ 10 dB ค่าสภาพเจาะจงทิศทางเท่ากับ 8 dBi และจากผลการทดสอบสายอากาศในรูปที่ 2.5 (ข) พบว่าค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังมีค่าเท่ากับ 42 องศาในระนาบสนามไฟฟ้า และ ค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบสนามแม่เหล็กมีค่า เท่ากับ 60 องศา

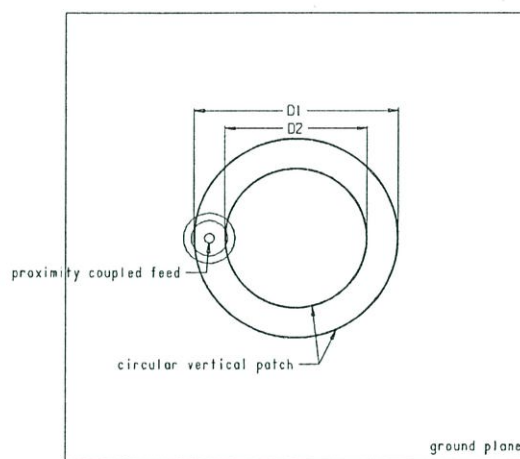
แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมป้อนด้วยโพรบที่มีระดับ โพลาริซัซไจว์ต่ำด้วยการเชื่อมต่อสตริปไฟว์พื้นฐานดังแสดงในรูปที่ 2.7 (ค) และ รูปที่ 2.7 (ง) ผลจาก การจำลองค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของโพลาริซัซไจว์ร่วมในระนาบสนามแม่เหล็กและระนาบ สนามไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 50 องศา และ 62 องศาตามลำดับ ค่าของ โพลาริซัซไจว์มีค่าดีกว่า 26 dB อัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังดีกว่า 16 dB จากผลการทดสอบสายอากาศในรูปที่

2.5 (ก) พบว่าค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังมีค่าเท่ากับ 55 องศาในระนาบสนามไฟฟ้า และ ค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบสนามแม่เหล็กมีค่าเท่ากับ 65 องศา ค่าอัตราขยายจากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 9.5 dBi

2.3.2.3 สายอากาศแผ่นวงกลมแนวตั้งสำหรับใช้งานสองย่านความถี่ (A vertical patch antenna for dual-band operation)



(ก) มุมมองเสมือนจริง



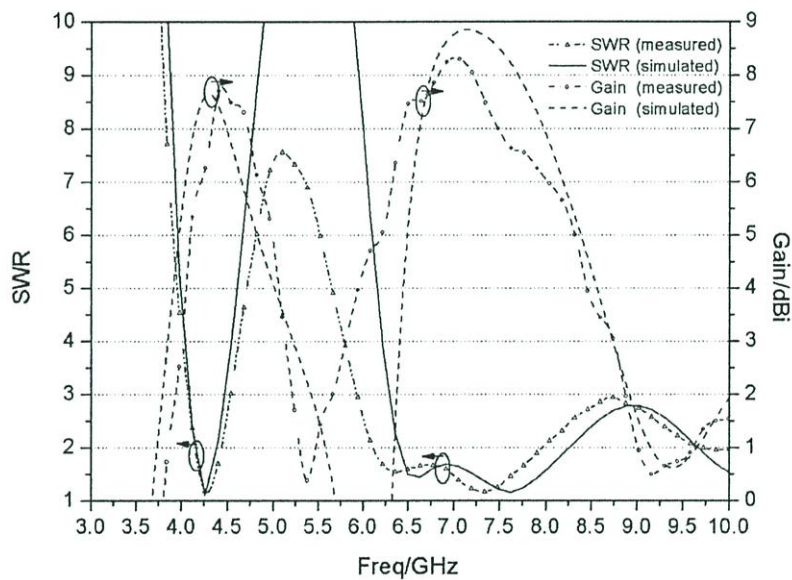
(ข) มุมมองด้านบน

รูปที่ 2.8 โครงสร้างของสายอากาศแผ่นวงกลมแนวตั้งสำหรับใช้งานสองย่านความถี่

โครงสร้างของสายอากาศแผ่นวงกลมแนวตั้ง [4] สำหรับใช้งานสองย่านความถี่ดังแสดงในรูปที่ 2.8 โครงสร้างของสายอากาศประกอบด้วยตัวแพร่กระจายคลื่นที่เป็นแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งสองชิ้นที่มีขนาดต่างกันเพื่อทำให้เกิดการเรโซแนนซ์ในสองความถี่ ตัวแพร่กระจายคลื่นที่เป็นแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งสองชิ้นวางตัวบนระนาบสะท้อนถูกกั้นด้วยอากาศ สายอากาศป้อนพลังงานด้วยการป้อนแบบการเชื่อมต่อร่วมด้วยโพรบ ขนาดของสายอากาศแสดงดังในตารางที่ 2.3

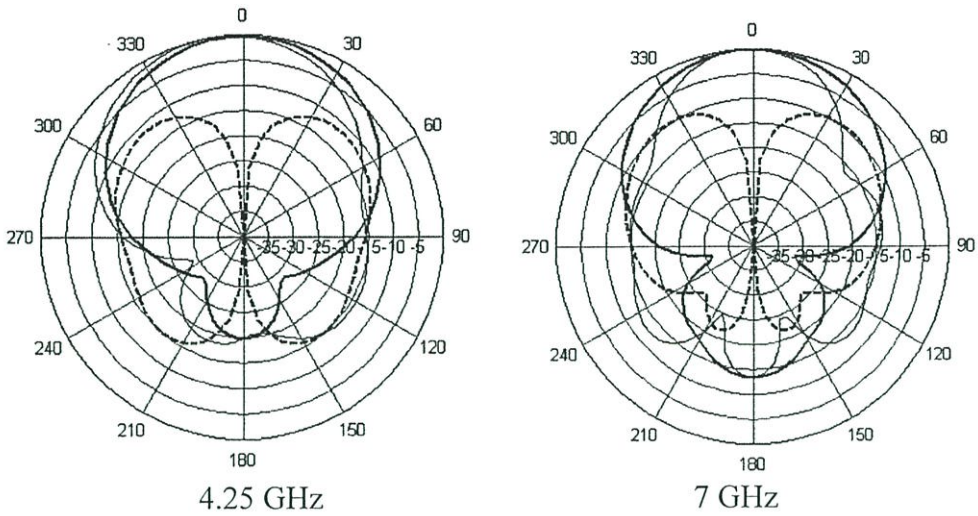
ตารางที่ 2.4 ขนาดของสายอากาศแผ่นวงกลมแนวตั้งสำหรับใช้งานสองย่านความถี่

พารามิเตอร์	ขนาด (มิลลิเมตร)
$D1$ (เส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งที่ 1)	20
$D2$ (เส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งที่ 2)	14
$L1$ (ความสูงของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งที่ 1)	3
$L2$ (ความสูงของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งที่ 2)	3
$H1$ (ช่องว่างของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งที่ 1 กับระนาบกราวด์)	5
$H2$ (ช่องว่างของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งที่ 2 กับระนาบกราวด์)	5
Gx (ความกว้างระนาบกราวด์ในด้านแกน x)	55
Gy (ความกว้างระนาบกราวด์ในด้านแกน y)	55

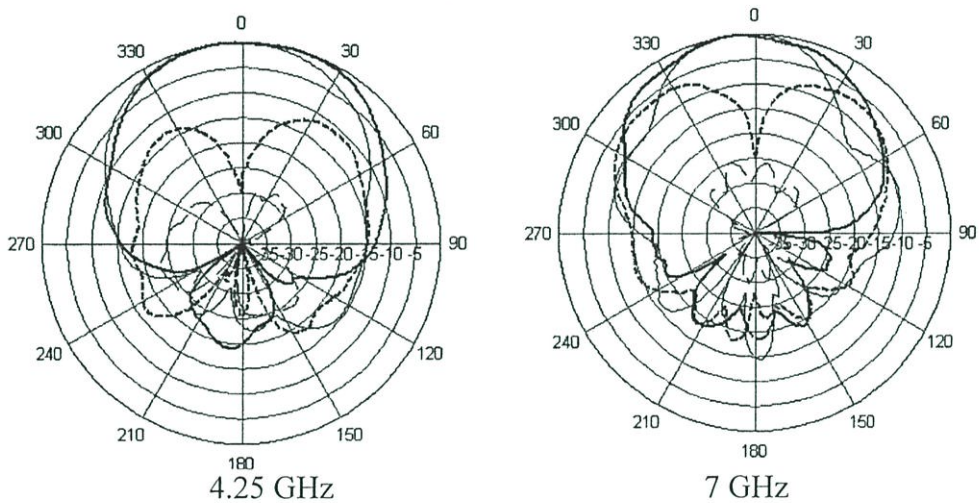


รูปที่ 2.9 ผลการทดสอบและผลการจำลองค่า SWR และอัตราการขยายของสายอากาศ

รูปที่ 2.9 แสดงผลการทดสอบและผลการจำลองสายอากาศแผ่นวงกลมแนวตั้งที่ใช้งานสองย่านความถี่ สายอากาศทำงานที่ความถี่กลางเท่ากับ 4.25 GHz และทำงานที่ความถี่กลางเท่ากับ 7 GHz จากผลการทดสอบพบว่าค่าช่วงกว้างความถี่ ที่ความถี่กลาง 4.25 GHz มีค่าเท่ากับ 7 เปอร์เซนต์ และที่ความถี่กลางเท่ากับ 7 GHz มีค่าความกว้างแบนวิดท์เท่ากับ 26 เปอร์เซนต์ มีค่าอัตราการขยายเท่ากับ 7 dBi จากการจำลองและจากการทดสอบให้ผลสอดคล้องกันเป็นอย่างดี



(ข) ผลการจำลอง



(ก) ผลการทดสอบ

รูปที่ 2.10 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 4.25 GHz และ 7 GHz

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแผ่นวงกลมแนวตั้งสำหรับใช้งานสองย่านความถี่ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 (ก) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจากการจำลอง (ข) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจากการทดสอบ เส้นทึบหนาแสดงค่าโพลาไรซ์ร่วมในระนาบสนามแม่เหล็ก เส้นประหนาแสดงค่าโพลาไรซ์ไขว้ในระนาบสนามแม่เหล็ก เส้นทึบบางแสดงโพลาไรซ์ร่วมในระนาบสนามไฟฟ้า และเส้นประบางแสดงโพลาไรซ์ไขว้ในระนาบสนามไฟฟ้า จากผลการจำลองพบว่าค่าอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังมีค่ามากกว่า 15 dB และจากการทดสอบมีค่ามากกว่า 20 dB ทั้งสองย่านความถี่ของสายอากาศ ระดับของโพลาไรซ์ไขว้จากการจำลองและผลการทดสอบมีค่าไม่เกิน 10 dB ในระนาบสนามไฟฟ้าและในระนาบสนามแม่เหล็ก

2.4 บทสรุป

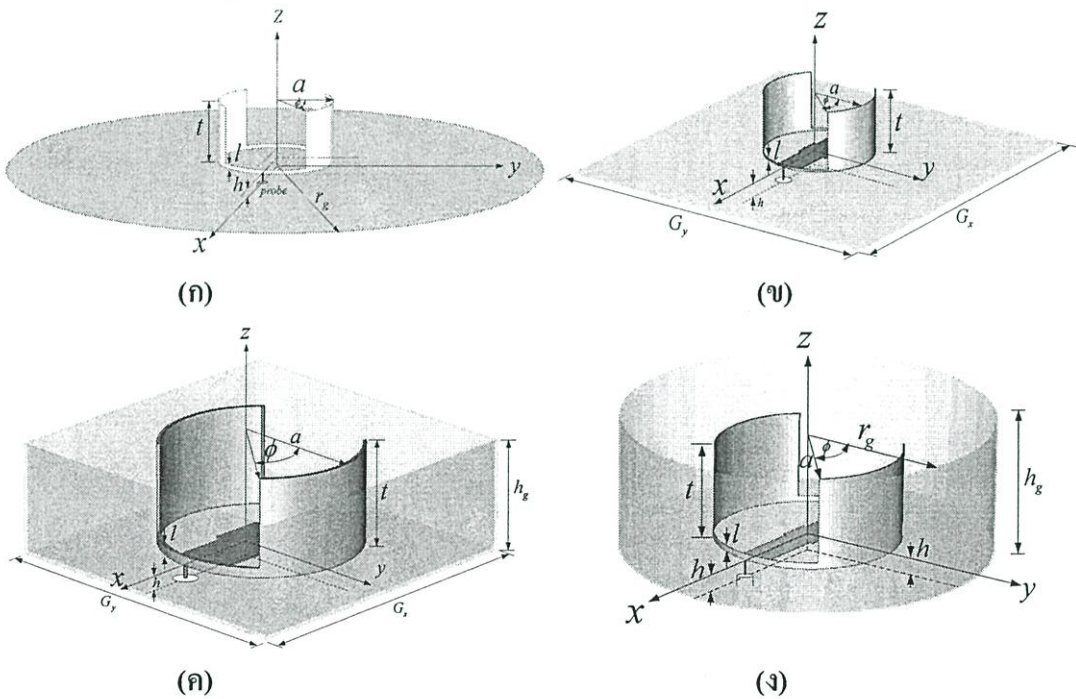
สายอากาศแผ่นวงกลมแนวตั้งเหนือระนาบสะท้อน สายอากาศชนิดนี้มีข้อดีเหนือกว่าสายอากาศแผ่นระนาบแบบไมโครสตริปที่นิยมใช้ในการประยุกต์ในงานแบบดั้งเดิม แต่เมื่อพิจารณาถึงคุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศชนิดนี้แล้วพบว่ายังมีข้อด้อยนั่นก็คือ ค่าอัตราส่วนลาค์สันด้านหน้าต่อลาค์สันด้านหลังที่ต่ำ และค่าระดับของโพลาไรซ์ไขว้ที่มีค่าสูงทำให้สายอากาศชนิดนี้ไม่เหมาะในการนำไปใช้งานด้วยเทคนิคไดเวอร์ซิตีแบบโพลาไรซ์ (Polarization diversity) สายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมป้อนด้วยโพรบที่มีระดับโพลาไรซ์ไขว้ต่ำด้วยการเชื่อมต่อสตริปไขว้ที่ฐาน สายอากาศนี้ใช้เทคนิคการเชื่อมต่อด้วยแผ่นสตริปไขว้ที่ฐานของแผ่นวงแหวนสี่เหลี่ยม สามารถช่วยลดระดับของโพลาไรซ์ไขว้ลงได้ แต่ข้อด้อยของสายอากาศชนิดนี้คือค่าอัตราส่วนลาค์สันด้านหน้าต่อลาค์สันด้านหลังต่ำ และขนาดของระนาบสะท้อนที่มีขนาดใหญ่ จากเทคนิคการเชื่อมต่อด้วยแผ่นสตริปไขว้ที่ฐานของแผ่นวงแหวนสี่เหลี่ยมที่สามารถลดระดับของโพลาไรซ์ไขว้ได้นั้นจึงเป็นเทคนิคที่ดีสำหรับการนำไปใช้ในการปรับปรุงสายอากาศ สำหรับสายอากาศแผ่นวงกลมแนวตั้งสำหรับใช้งานสองย่านความถี่นั้นเทคนิคที่ใช้คือการใช้ตัวแพร่กระจายคลื่นสองชั้นที่มีค่าความถี่เรโซแนนซ์ต่างกัน จากคุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่นพบว่า มีระดับของค่าโพลาไรซ์ไขว้สูงและอัตราส่วนลาค์สันด้านหน้าต่อลาค์สันด้านหลังที่ต่ำ ในการวิเคราะห์สายอากาศนั้นจะใช้โปรแกรมคำนวณปัญหาทางด้านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โปรแกรมคำนวณทางด้านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้สามารถทำการจำลองโครงสร้างของสายอากาศในรูปแบบสามมิติเสมือนจริง โดยใช้พื้นฐานการคำนวณด้วยเทคนิควิธีไฟไนต์อินเทกรัล (FIT) ซึ่งป็นวิธีการคำนวณเชิงเลขที่สามารถใช้คำนวณปัญหาทางด้านแม่เหล็กไฟฟ้าได้อย่างกว้างขวาง จากการคำนวณปัญหาในสนามสถิตจนถึงการคำนวณปัญหาที่ความถี่สูง ทั้งในโดเมนเวลาและในโดเมนความถี่

บทที่ 3

การวิเคราะห์สายอากาศ

3.1 บทนำ

สายอากาศที่มีการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางเดียวที่ใช้งานสำหรับสถานีฐานในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายตามที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 1 และบทที่ 2 นั้นต้องการอัตราการขยายของสายอากาศที่สูงเพื่อเพิ่มระยะทางในการสื่อสาร ในโหมดการสื่อสารแบบกระจายสัญญาณและในโหมดการสื่อสารแบบจุดต่อจุด ดังเช่นการติดตั้งสายอากาศบนอาคารเพื่อเชื่อมต่อกับเครือข่ายที่อยู่ในอาคารอื่นๆ สายอากาศประเภทนี้จะต้องมีขนาดใหญ่เพื่อเพิ่มอัตราการขยายของสายอากาศ ตัวอย่างของสายอากาศที่ใช้งานเช่น สายอากาศแบบยาจิกูดา (Yagi-Uda) สำหรับสายอากาศชนิดอื่นๆ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะเป็นสายอากาศที่มีระนาบสะท้อนคลื่น (Reflector) ขนาดของระนาบสะท้อนจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการขยายของสายอากาศที่เพิ่มมากขึ้น สำหรับในการใช้งานสายอากาศบนอาคารนั้นจึงไม่มีปัญหามากนักเนื่องจากมีพื้นที่ในการติดตั้งมาก แต่เมื่อนำสายอากาศมาใช้งานภายในอาคารหรือตามท้องถนน ขนาดของสายอากาศที่ใหญ่จึงเป็นที่สังเกตได้ง่าย และยากในการติดตั้ง ดังนั้นการลดขนาดของสายอากาศจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการออกแบบสายอากาศ โดยให้อัตราการขยายของสายอากาศที่มีค่าสูงเพียงพอต่อการใช้งานในระบบ ในขณะที่ขนาดโดยรวมของสายอากาศไม่ใหญ่จนเกินไป



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไวร์ที่ฐานเหนือ

ระนาบสะท้อน (ก) ระนาบสะท้อนวงกลม (ข) ระนาบสะท้อนสี่เหลี่ยม (ค) ระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยม (ง) ระนาบสะท้อนทรงกระบอก

สำหรับเทคนิคการลดขนาดของสายอากาศที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียวโดยที่ส่งผลต่อค่าอัตราขยายของสายอากาศน้อยนั้นสามารถทำได้โดยการออกแบบร่วมกับระนาบสะท้อนที่มีรูปทรงต่างๆเช่น ระนาบสะท้อนแบบพาราโบลา (Parabolic) ทั้งนี้ระนาบสะท้อนที่มีโครงสร้างในรูปแบบอื่นๆก็สามารถนำมาใช้งานได้ตัวอย่างเช่น ระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยม และระนาบสะท้อนทรงกระบอก ซึ่งให้รูปทรงที่กระทัดรัด และให้อัตราการขยายที่เพียงพอต่อการใช้งานภายในอาคารและนอกอาคารที่มีระยะทางไม่สูงมาก

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศซึ่งประกอบไปด้วย

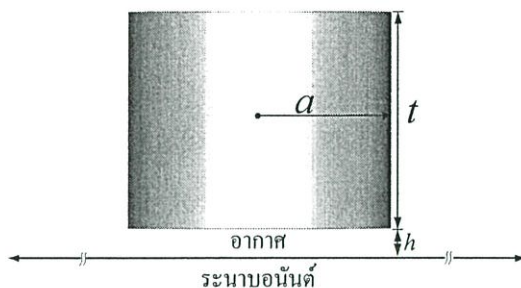
1. สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ไว้ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนวงกลม ดังแสดงในรูปที่ 3.1 (ก)
2. สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ไว้ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนสี่เหลี่ยมดังแสดงในรูปที่ 3.1 (ข)
3. สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ไว้ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยมดังแสดงในรูปที่ 3.1 (ค)
4. สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ไว้ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนทรงกระบอกดังแสดงในรูปที่ 3.1 (ง)

การวิเคราะห์คุณลักษณะต่างๆของสายอากาศทำโดยการจำลองด้วยโปรแกรมคำนวณปัญหาทางด้านแม่เหล็กไฟฟ้า CST MICROWAVE STUDIO[®] โดยวิเคราะห์ถึงอิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่ส่งผลต่อค่าความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศ ค่าช่วงกว้างความถี่ของสายอากาศแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ เพื่อให้ได้สายอากาศที่มีคุณลักษณะเหมาะสมกับความถี่ต้องการในระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

3.2 สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเหนือระนาบสะท้อน

ในการวิเคราะห์สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ไว้ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนนั้น จะทำการวิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์ต่างๆโดยเริ่มต้นการวิเคราะห์จากโครงสร้างอย่างง่าย ประกอบด้วยตัวแพร่กระจายคลื่นทรงกระบอกวางตัวอยู่บนระนาบกราวด์อนันต์ดังแสดงในรูปที่ 3.3 เพื่อวิเคราะห์ถึงผลกระทบของพารามิเตอร์ a ซึ่งก็คือรัศมีของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้ง พารามิเตอร์ r คือความสูงของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้ง และพารามิเตอร์ h คือระยะห่างระหว่างตัวแพร่กระจายคลื่นกับระนาบกราวด์อนันต์ จากนั้นทำการปรับปรุงประสิทธิภาพของสายอากาศด้วยเทคนิคการลดความสูงของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งบางส่วนและเทคนิคการต่อเชื่อมแผ่นสตริปไลน์ไว้ที่ฐานของตัวแพร่กระจายคลื่นทรงกระบอก เพื่อปรับปรุงทิศทางการไหลของกระแสบนพื้นผิวของสายอากาศซึ่งส่งผลต่อแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ ผลกระทบจากพารามิเตอร์ต่างๆ และผลการปรับปรุงสายอากาศจะแสดงรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

3.2.1.1 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศ



รูปที่ 3.3 สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเหนือระนาบกราวด์อนันต์

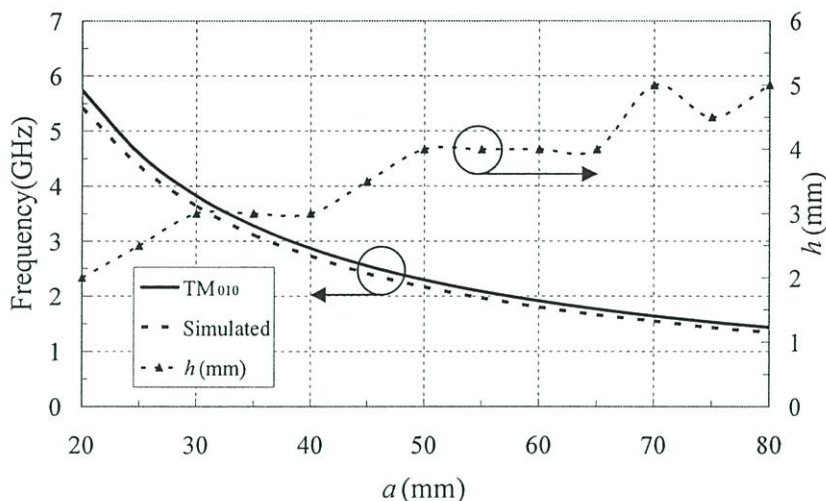
โครงสร้างพื้นฐานในการพัฒนาของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับ สตรีปไลน์พื้นฐานดังแสดงในรูปที่ 3.3 สายอากาศประกอบด้วยส่วนของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้ง วางตัวอยู่บนระนาบอนันต์ พารามิเตอร์ a คือรัศมีของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้ง พารามิเตอร์ t คือ ความสูงของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้ง ทำการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศที่บริเวณขอบของแผ่น ทรงกระบอกแนวตั้งทำการวิเคราะห์สายอากาศด้วยโปรแกรมออกแบบสายอากาศบนระนาบอนันต์ โดยการเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีของสายอากาศ a และระยะห่างของแผ่นวงกลมแนวตั้งกับระนาบ อนันต์ h และที่ความสูงของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้ง t ได้กำหนดคงที่ โดยทำการวิเคราะห์ เทียบเคียงกับตัวเรโซเนเตอร์ทรงกระบอกในโหมด TM_{010} ดังแสดงในสมการที่ 3.1 [8]

$$(f_r)_{010}^{TMZ} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{2.4049}{a}\right)^2} \quad (3.1)$$

เมื่อ

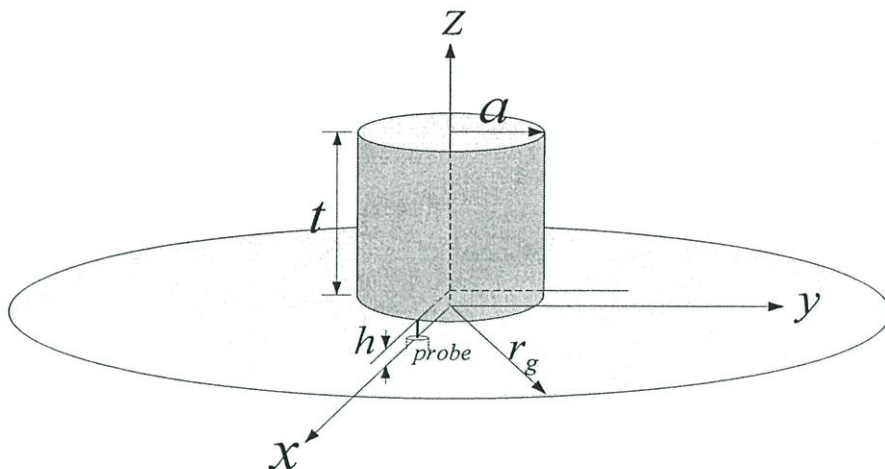
$$\frac{t}{a} < 2.03 \text{ โดมิแนนซ์โหมด } TM_{010}$$

สำหรับเงื่อนไขการคำนวณค่าความถี่เรโซแนนซ์ของตัวเรโซเนเตอร์ทรงกระบอกในโหมด TM_{010} ได้กำหนดความสูงของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้ง t ให้มีขนาดเท่ากับ 2 เท่าของ a สำหรับผล การจำลองการเปลี่ยนแปลงค่ารัศมี a ของสายอากาศที่มีต่อค่าความถี่เรโซแนนซ์ดังแสดงในรูปที่ 3.4



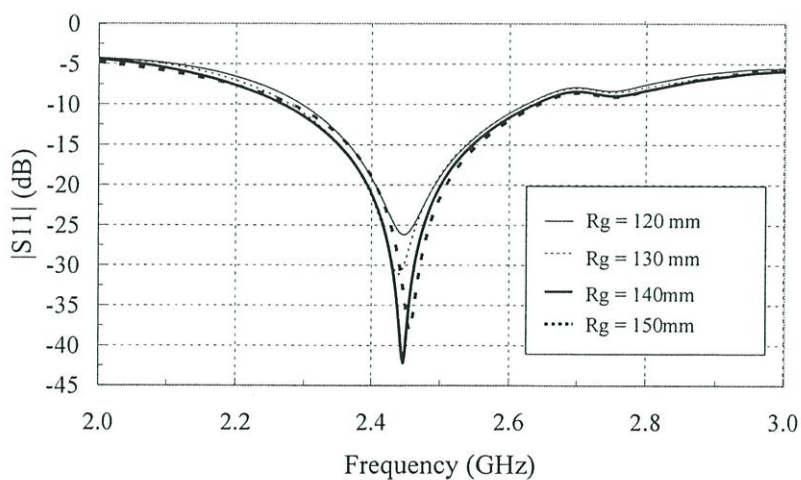
รูปที่ 3.4 ความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศ

จากรูปที่ 3.4 เส้นทึบคือค่าความถี่เรโซแนนซ์ของตัวเรโซเนเตอร์ทรงกระบอกที่เปลี่ยนแปลงตามขนาดรัศมี a ของตัวเรโซเนเตอร์ คำนวณตามสมการที่ 3.1 เส้นประคือค่าความถี่เรโซแนนซ์ของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งที่เปลี่ยนแปลงตามขนาดรัศมี a ของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งจากการจำลอง โดยพิจารณาจากจุดที่มีขนาดของค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) ต่ำที่สุดและต่ำกว่า -10 dB และเส้นประสามเหลี่ยมแสดงค่าที่เหมาะสมของความสูง h ที่ทำให้ระดับของขนาดค่าการสูญเสียต่ำที่สุดโดยค่าความสูง h นี้ มีผลต่อค่าความถี่เรโซแนนซ์น้อยมาก จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าความถี่เรโซแนนซ์ของตัวเรโซเนเตอร์ทรงกระบอกที่คำนวณตามสมการที่ 3.1 และค่าความถี่เรโซแนนซ์จากการจำลองด้วยโปรแกรมของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งดังแสดงในรูปที่ 3.4 พบว่ามีรูปแบบที่สอดคล้องกันโดยค่าความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย โดยพารามิเตอร์หลักที่มีผลต่อค่าความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศคือรัศมี a ค่าพารามิเตอร์ h มีผลต่อระดับของค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ โดยมีแนวโน้มความสูง h ที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อสายอากาศทำงานที่ความถี่ต่ำลงหรือมีขนาดรัศมี a ที่เพิ่มมากขึ้น และพารามิเตอร์ t กำหนดให้มีขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับสองเท่าของรัศมี a ตามเงื่อนไขของตัวเรโซเนเตอร์ทรงกระบอก (ในกรณีนี้กำหนด $t = 2a$)



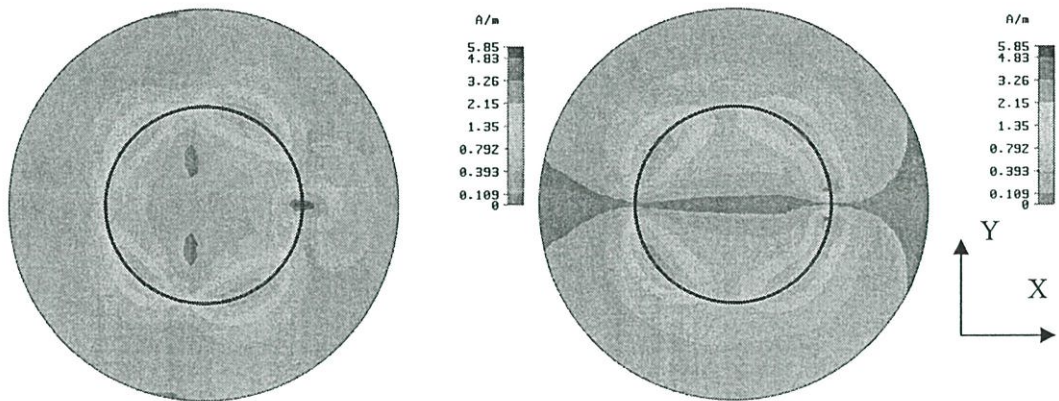
รูปที่ 3.5 สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเหนือระนาบสะท้อนวงกลม

ลำดับต่อมาทำการวิเคราะห์สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งบน โครงสร้างของระนาบสะท้อนวงกลมที่มีขนาดจำกัด โดยมีขนาดรัศมีเท่ากับ r_g ซึ่งโครงสร้างของสายอากาศที่ทำการวิเคราะห์แสดงในรูปที่ 3.5 ค่าพารามิเตอร์ที่ประกอบด้วยรัศมี a ความสูงของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้ง t และระยะห่างจากแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งกับแผ่นระนาบสะท้อน h เมื่อพิจารณา ค่าความถี่เรโซแนนซ์ที่ความถี่ 2.45 GHz ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ซึ่งพารามิเตอร์ a มีค่าเท่ากับ 44 มิลลิเมตร ค่าพารามิเตอร์ t มีค่าเท่ากับสองเท่าของรัศมี a ซึ่งมีค่าเท่ากับ 88 มิลลิเมตร ค่าความสูงจากแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งจากแผ่นระนาบสะท้อน h มีค่าเท่ากับ 3.5 มิลลิเมตร ซึ่งค่าพารามิเตอร์ h นี้คำนึงถึงค่าการสะท้อนที่น้อยที่สุดของสายอากาศโดยพิจารณาจากค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) ผลของจำลองค่าการสูญเสียย้อนกลับแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ

3.2.1.2 การกระจายกระแสบนพื้นผิวของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเหนือระนาบ สะท้อนแผ่นวงกลม

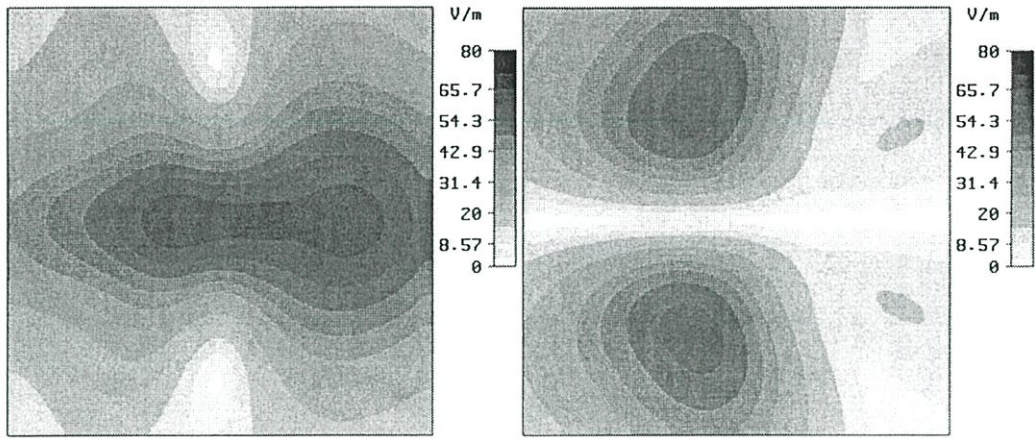


(ก) กระแสบนพื้นผิวในแนวแกน x

(ข) กระแสบนพื้นผิวในแนวแกน y

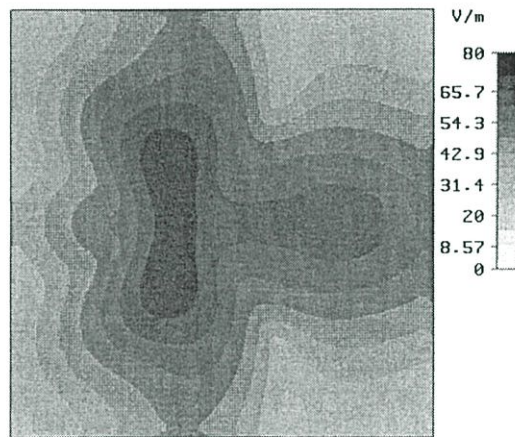
รูปที่ 3.8 กระแสบนพื้นผิวของสายอากาศ

จากรูปที่ 3.8 แสดงการกระจายของกระแสบนพื้นผิวที่ความถี่ 2.45 GHz กระแสบนพื้นผิวมีการกระจายตัวอย่างหนาแน่นในทั้งสององค์ประกอบ สังเกตจากรูปที่ 3.8 (ก) องค์ประกอบของกระแสบนพื้นผิวในทิศทาง x และรูปที่ 3.8 (ข) องค์ประกอบของกระแสบนพื้นผิวในทิศทาง y เนื่องจากโครงสร้างของสายอากาศมีลักษณะกลมและที่จุดป้อนมีการป้อนที่ไม่สมมาตรจึงทำให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นไม่สามารถกันในระยะสนามไฟฟ้ากับในระยะสนามแม่เหล็ก และระดับของโพลาไรซ์ไอซ์ไว์ที่สูงในระยะสนามแม่เหล็กนั้นเกิดจากกระแสบนพื้นผิวที่กระจายตัวบนสายอากาศในหลากหลายทิศทาง ซึ่งลักษณะการกระจายตัวของกระแสบนพื้นผิวบนสายอากาศจะส่งผลต่อองค์ประกอบของสนามไฟฟ้าที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศ และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ขององค์ประกอบสนามไฟฟ้าทั้งสองที่เวลาต่างๆ ก็จะเห็นถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศนั้นก็คือโพลาไรซ์ของสายอากาศ ซึ่งสำหรับสายอากาศที่นำเสนอนี้มีโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น แต่ในการแสดงการไหลของกระแสแสดงในรูปที่ 3.8 (ก) รูปที่ 3.8 (ข) และลักษณะของสนามไฟฟ้าที่แสดงในรูปที่ 3.9 (ก) รูปที่ 3.9 (ข) และรูปที่ 3.9 (ค) จะทำการแสดงองค์ประกอบที่ไม่ได้เปลี่ยนแปลงตามเวลาเพื่อเนื้อหาที่กระชับ



(ก) องค์ประกอบสนามไฟฟ้าในแนวแกน x

(ข) องค์ประกอบสนามไฟฟ้าในแนวแกน y



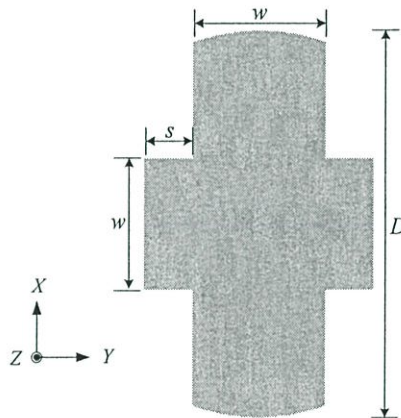
(ค) ค่าสมบูรณ์ของสนามไฟฟ้า

รูปที่ 3.9 องค์ประกอบของสนามไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.9 แสดงการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าในองค์ประกอบต่างๆ ที่ระนาบ xy ที่ค่าระยะ z เท่ากับระยะสูงสุดของโดเมนที่ทำการคำนวณ พบว่าการกระจายตัวของสนามไฟฟ้ามีค่ามากในบริเวณจุดป้อนสัญญาณ รูปที่ 3.9 (ก) แสดงองค์ประกอบสนามไฟฟ้าในแนวแกน x ที่องค์ประกอบของสนามไฟฟ้านี้มีลักษณะการกระจายตัวตามยาวไปตามแนวแกน x จากบริเวณจุดป้อนสัญญาณไปยังด้านตรงข้ามของจุดป้อนสัญญาณ รูปที่ 3.9 (ข) แสดงองค์ประกอบสนามไฟฟ้าในแนวแกน y สนามไฟฟ้าในองค์ประกอบนี้มีลักษณะการกระจายตัวในระดับความเข้มที่ใกล้เคียงกับองค์ประกอบของสนามไฟฟ้าในแนวแกน x และเมื่อพิจารณาในรูปที่ 3.9 (ค) ค่าสมบูรณ์ของสนามไฟฟ้า พบว่ามีรูปแบบการกระจายตัวที่ไม่สมมาตรในแนวแกน x และในแนวแกน y ส่งผลต่อแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าและในระนาบสนามแม่เหล็กไม่สมมาตรกันจากองค์ประกอบของสนามไฟฟ้าที่แรงในหลากหลายทิศทางส่งผลต่อระดับของโพลาริไซซ์ไอซ์วี่ที่มีค่ามากในระนาบสนามแม่เหล็ก

จากแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า (ระนาบ xz) ที่แสดงในรูปที่ 3.7 ค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบสนามไฟฟ้ามีค่ามากกว่าในระนาบสนามแม่เหล็กและมีค่าสูงสุดของลำคลื่นในมุม 45 องศา ซึ่งในระนาบสนามแม่เหล็กมีค่าสูงสุดของลำคลื่นในมุม 0 องศา ความไม่สมมาตรของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นนี้เนื่องมาจากการกระจายของสนามไฟฟ้าในระนาบตั้งฉากแสดงในรูปที่ 3.9 (ค) นั้นมีรูปแบบที่ไม่สมมาตรกันในระนาบ yz และในระนาบ xz และเมื่อพิจารณาถึงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่มุมระหว่าง 0 องศาถึง 180 องศาเทียบกับมุม 180 องศา ถึงมุม 360 องศา พบว่าไม่สมมาตรกัน เมื่อพิจารณาในแนวแกน y ซึ่งกำหนดให้เป็นแกนสมมาตรพบว่าการกระจายของสนามไฟฟ้าไม่สมมาตรกัน สำหรับในระนาบสนามแม่เหล็กนั้นเมื่อพิจารณาถึงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่มุมระหว่าง 0 องศาถึง 180 องศาเทียบกับมุม 180 องศา ถึงมุม 360 องศา พบว่ามีรูปแบบที่สมมาตรกันเนื่องมาจากการกระจายของสนามไฟฟ้าในระนาบนี้มีลักษณะสมมาตรกันอ้างอิงตามแนวแกน x ซึ่งกำหนดให้เป็นแกนสมมาตร

3.2.1.3 เทคนิคการเชื่อมต่อด้วยสตรีปไข่พื้นฐานและการลดความสูงบางส่วนของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้ง



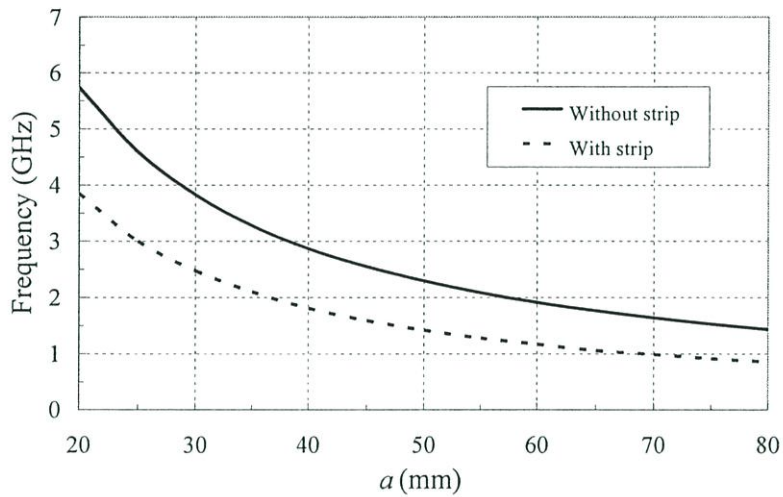
รูปที่ 3.10 สตรีปไข่

$$Z_o = \frac{377}{\sqrt{\epsilon_r} \left(\left(\frac{w}{h} \right) + 2 \right)} \quad (3.2)$$

จากจุดด้อยของสายอากาศ ที่มีระดับโพลาริเซชันไข่ในระนาบสนามแม่เหล็กที่มีค่ามาก และปัญหาของการชี้ทิศทางของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้านั้น จึงเป็นปัญหาที่ต้องทำการศึกษาและวิเคราะห์ต่อไปเพื่อหาเทคนิคในการปรับปรุงคุณสมบัติของสายอากาศ

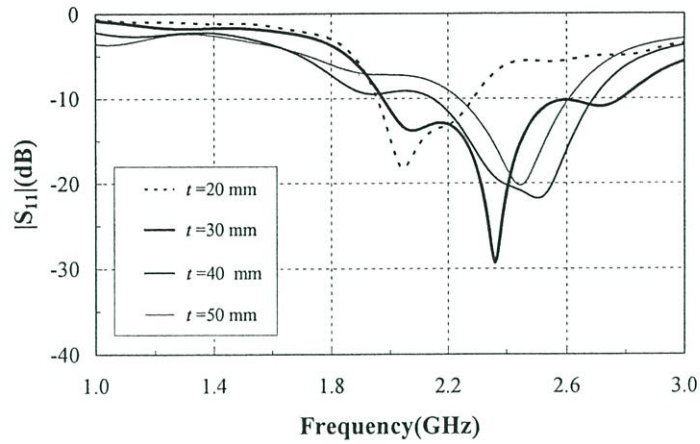
เทคนิคหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนแปลงทิศทางของกระแสบนพื้นผิวบนตัวสายอากาศ และเทคนิคนั้นต้องมีความเหมาะสมกับ โครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศนั้นด้วย ก็คือการเชื่อมต่อ

ด้วยสตริปไฟว์พื้นฐานของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้ง จากรูปที่ 3.10 แสดงโครงสร้างของแผ่นสตริปไฟว์ประกอบด้วยพารามิเตอร์ ความกว้างของแผ่นสตริปไฟว์ w ความยาวลำดับ s โดยกำหนดพารามิเตอร์ s เท่ากับ 0 มิลลิเมตรในการเริ่มต้นการวิเคราะห์ ขนาดของพารามิเตอร์ w อ้างอิงตามการคำนวณค่าอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ 50 โอห์ม [7] ดังแสดงในสมการที่ 3.2 โดยที่ความสูงแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งที่วางอยู่เหนือระนาบสะท้อนวงกลม h ซึ่งผลกระทบของการเชื่อมต่อด้วยแผ่นสตริปไฟว์พื้นฐานของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งนั้นจะแสดงในรูปที่ 3.11

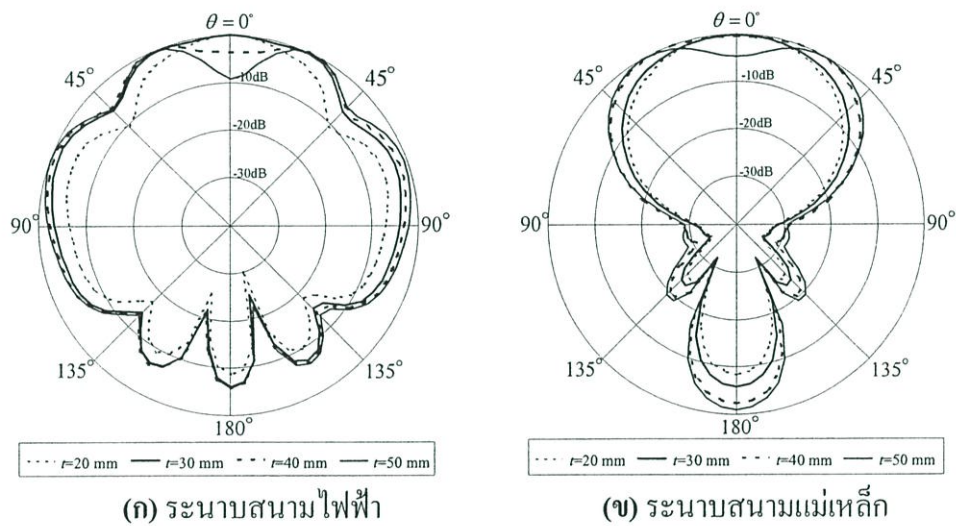


รูปที่ 3.11 ผลกระทบของสตริปไฟว์ต่อค่าความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศ

จากรูปที่ 3.11 แสดงผลกระทบของสตริปไฟว์ต่อค่าความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศ ความถี่เรโซแนนซ์จากการจำลองของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งในรูปแบบดั้งเดิมที่ไม่มีสตริปไฟว์ที่เปลี่ยนแปลงตามขนาดรัศมี a คือเส้นทึบ และค่าความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งที่เปลี่ยนแปลงตามขนาดรัศมี a โดยมีการเชื่อมต่อด้วยสตริปไฟว์พื้นฐานคือเส้นประ จากรูปพบว่าสตริปไฟว์ทำให้ค่าความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งลดลง โดยขนาดของรัศมี a ของสายอากาศที่เชื่อมต่อด้วยสตริปไฟว์พื้นฐานที่ความถี่ 2.45 GHz มีขนาดเท่ากับ 30 มิลลิเมตร ซึ่งค่าของรัศมีเท่ากับ 30 มิลลิเมตรนี้ในสายอากาศแบบดั้งเดิมจะทำงานที่ความถี่เรโซแนนซ์เท่ากับ 3.8 GHz



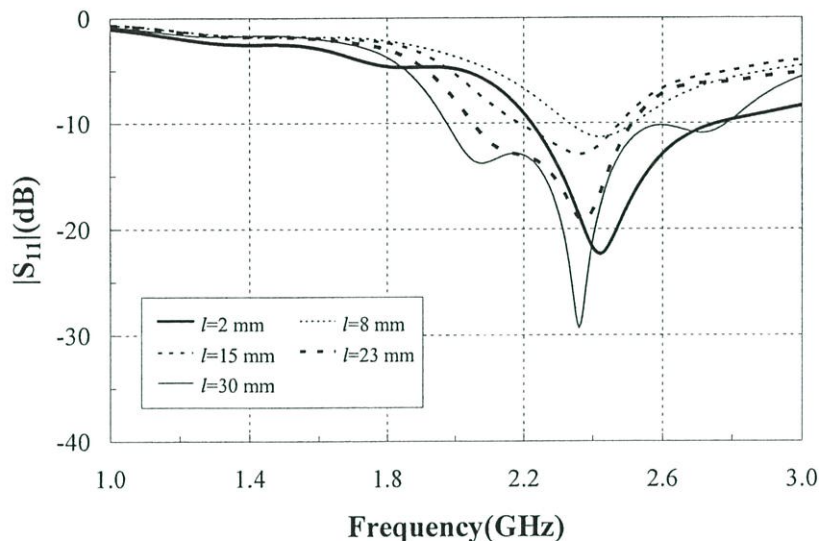
รูปที่ 3.12 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ t



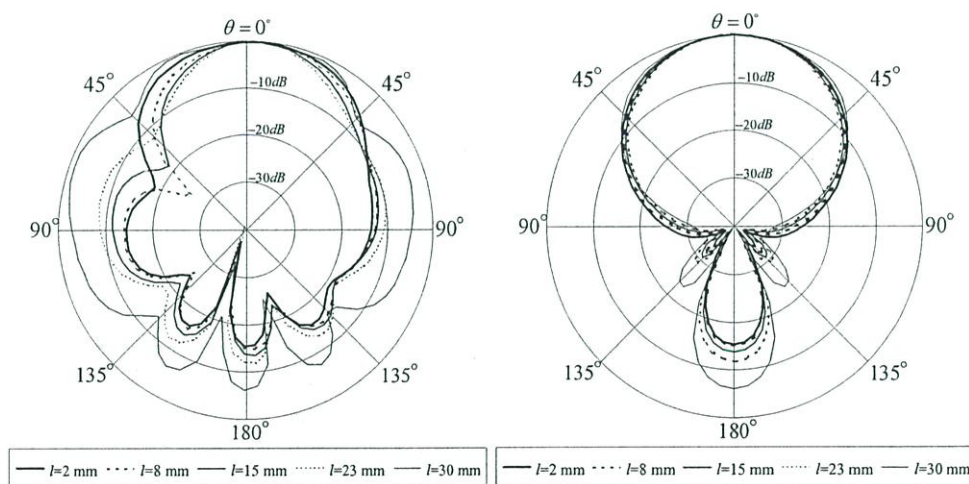
รูปที่ 3.13 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ความถี่ 2.45 GHz โดยเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ t

ผลกระทบของพารามิเตอร์ t ดังแสดงในรูปที่ 3.12 และในรูปที่ 3.13 แสดงค่าการสูญเสียย้อนกลับและแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ t มีผลต่อค่าช่วงกว้างความถี่ของสายอากาศและค่าความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศ โดยเมื่อค่าพารามิเตอร์ t มีขนาดเท่ากับ 20 มิลลิเมตร ค่าความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศมีค่าประมาณ 2.03 GHz ซึ่งไม่ใช่ค่าความถี่เรโซแนนซ์ที่ต้องการ เมื่อพิจารณาถึงค่าพารามิเตอร์ t ที่เหมาะสมที่ทำให้สายอากาศมีช่วงกว้างความถี่ที่ครอบคลุมค่าความถี่ 2.45 GHz พบว่าค่าพารามิเตอร์ t ที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 30 มิลลิเมตร 40 มิลลิเมตร และ 50 มิลลิเมตร จนพารามิเตอร์ t มีขนาดถึงสองเท่าของรัศมี a แต่เมื่อพิจารณาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ได้แสดงในรูปที่ 3.13 พบว่า

พารามิเตอร์ Γ มีผลต่อลักษณะการชี้ทิศทางของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ค่าพารามิเตอร์ Γ ที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 30 มิลลิเมตรซึ่งทำให้ได้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า และในระนาบสนามแม่เหล็กที่ลักษณะชี้ทิศทางในมุม 0 องศา



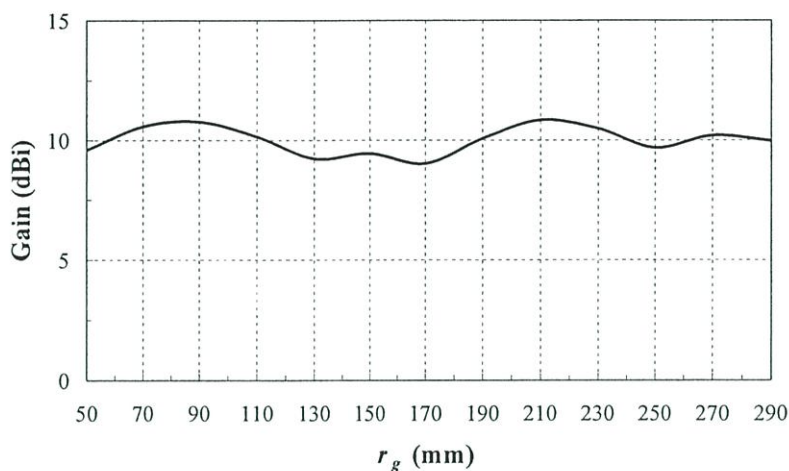
รูปที่ 3.14 ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่เปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์ l



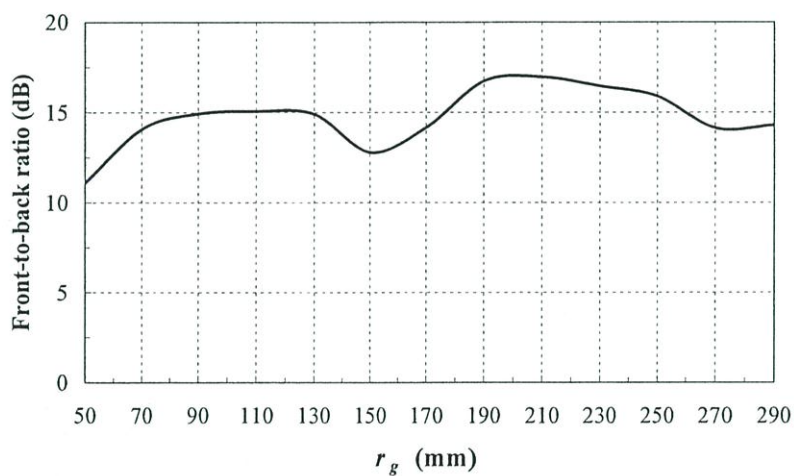
รูปที่ 3.15 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นความถี่ 2.45 GHz ที่เปลี่ยนไปตามค่าพารามิเตอร์ l

ผลกระทบของพารามิเตอร์ l ดังแสดงในรูปที่ 3.14 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ และในรูปที่ 3.15 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ l มีผลต่อค่าช่วงกว้างความถี่ของสายอากาศและค่าความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศโดยกำหนดให้พารามิเตอร์ ϕ มีค่าเท่ากับ 45 องศา เพื่อให้สายอากาศมีโครงสร้างที่สมมาตรกัน ค่าพารามิเตอร์ l มีขนาดเท่ากับ 2 มิลลิเมตรซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่ทำให้สายอากาศมีช่วงกว้างความถี่ที่ครอบคลุมค่าความถี่ 2.45

GHz พร้อมทั้งให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าที่สมมาตรกับรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กดังแสดงในรูปที่ 3.15 พารามิเตอร์ Γ มีผลต่อค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศ



(ก) อัตราการขยายของสายอากาศ

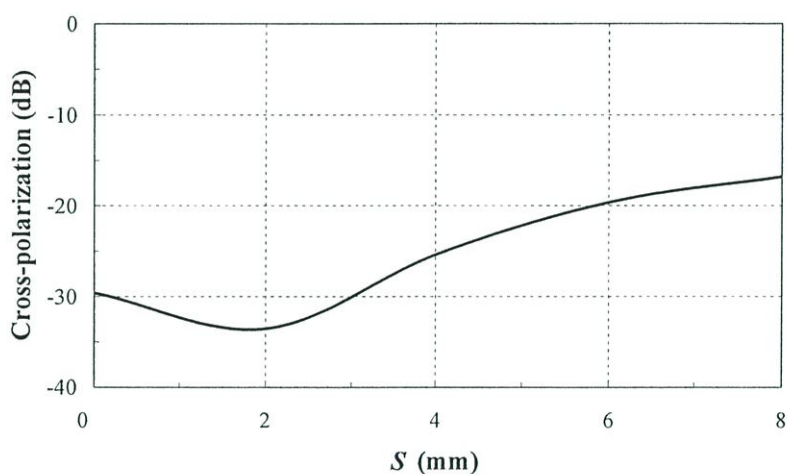


(ข) อัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลัง

รูปที่ 3.16 การเปลี่ยนแปลงขนาดระนาบสะท้อนวงกลม (r_g) (ก) อัตราการขยายของสายอากาศ (ข) อัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลัง

รูปที่ 3.16 (ก) และรูปที่ 3.16 (ข) แสดงค่าอัตราการขยายของสายอากาศและค่าอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังที่เปลี่ยนไปตามขนาดของระนาบสะท้อนวงกลมตามลำดับ รูปที่ 3.16 (ก) แสดงค่าอัตราการขยายของสายอากาศเมื่อระนาบสะท้อนวงกลมมีขนาดต่างกัน จากรูป

นี้พบว่าเมื่อขนาดของระนาบสะท้อนวงกลมมีค่าเพิ่มมากขึ้นค่าอัตราการขยายของสายอากาศมีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่มากนัก โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการขยายของสายอากาศอยู่ในช่วง 9 dBi ถึง 10.7 dBi เมื่อขนาดรัศมีของระนาบสะท้อนวงกลมอยู่ในช่วง 70 มิลลิเมตรถึง 110 มิลลิเมตรและช่วง 190 มิลลิเมตรถึง 230 มิลลิเมตรเป็นช่วงที่ได้อัตราการขยายที่สูงที่สุด รูปที่ 3.16 (จ) แสดงอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังของสายอากาศ ขนาดรัศมีของระนาบสะท้อนวงกลม r_g ที่เหมาะสมมีขนาดเท่ากับ 90 มิลลิเมตร ซึ่งทำให้ได้ค่าอัตราการขยายจากการจำลองประมาณ 10.7 dBi และได้ค่าอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังจากการจำลองมีค่าประมาณ 15 dB

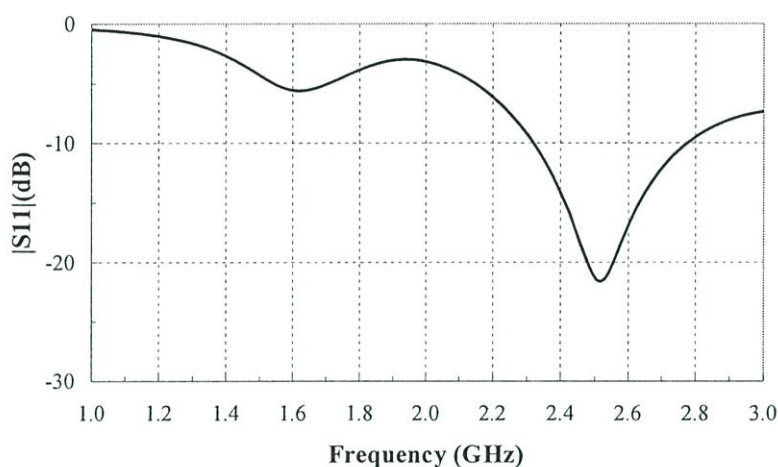


รูปที่ 3.17 ระดับโพลาไรซ์ไขว้ ที่เปลี่ยนไปตามค่าพารามิเตอร์ s

ในการพิจารณาถึงค่าของโพลาไรซ์ไขว้ที่ต่ำที่สุดของสายอากาศโดยการปรับสลับ s แสดงในรูปที่ 3.17 ซึ่งสลับ s นี้ทำหน้าที่หลักคือการปรับการไหลของกระแสบนพื้นผิวในตัวของสตริปไขว้หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นการปรับแมตซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์ของสายอากาศทำให้กระแสพื้นผิวที่ไหลบนแผ่นสตริปมีค่ามากที่สุด สำหรับในรูปที่ 3.17 แสดงระดับของโพลาไรซ์ไขว้ในระนาบสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์ s ซึ่งค่าของพารามิเตอร์ s ที่ดีที่สุดมีค่าเท่ากับ 2 มิลลิเมตร โดยสามารถทำให้ระดับของโพลาไรซ์ไขว้ลดต่ำลงถึง -33 dB จากการจำลองแบบค่าโพลาไรซ์ไขว้ที่ลดต่ำลงนี้เนื่องมาจากการกระจายของกระแสบนพื้นผิวของสายอากาศแรงมากที่สุด ในทิศ x ซึ่งเป็นทิศทางตามแนวยาวของแผ่นสตริป จึงทำให้เกิดองค์ประกอบของสนามไฟฟ้าในทิศ x มากกว่าองค์ประกอบของสนามไฟฟ้าในทิศทาง y

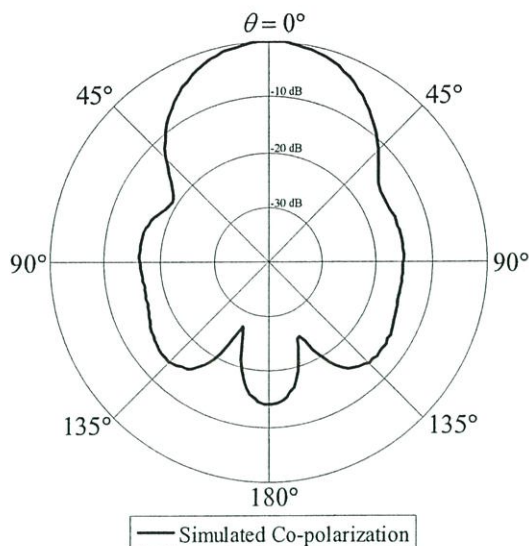
ตารางที่ 3.1 ขนาดสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเหนือระนาบสะท้อนวงกลม

พารามิเตอร์	ขนาด(มิลลิเมตร)
a	30
t	30
l	2
h	3
w	16.62
s	2
r_g	90

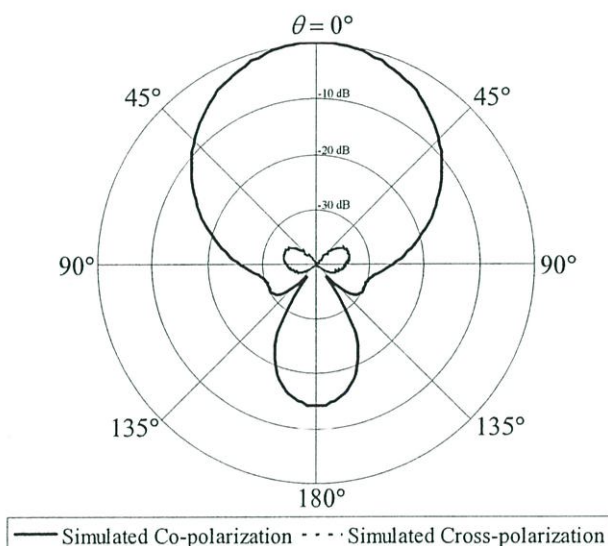


รูปที่ 3.18 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ

รูปที่ 3.18 แสดงค่าการสูญเสียย้อนกลับจากการจำลองแบบของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเหนือระนาบสะท้อนวงกลม ขนาดของสายอากาศแสดงในตารางที่ 3.1 จากผลการจำลองแบบพบว่าอัตราการสูญเสียย้อนกลับที่ความถี่ 2.45 GHz มีค่าประมาณ -22 dB ช่วงกว้างความถี่ที่ใช้งานจากการจำลองแบบของสายอากาศในกรณีที่ค่าการสูญเสียย้อนกลับมีค่าต่ำกว่า 10 dB มีค่าเท่ากับ 18.37 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ขอบของค่าความถี่ต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 2.32 GHz และที่ขอบค่าความถี่สูงสุดอยู่ที่ 2.77 GHz ครอบคลุมช่วงความถี่ที่ใช้งานในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย



(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า



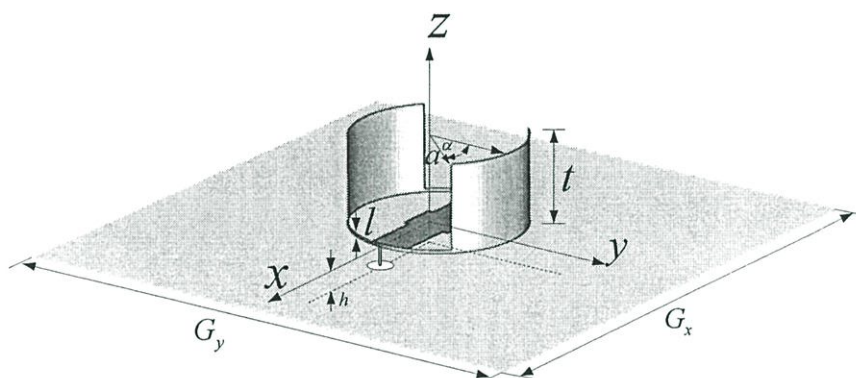
(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 3.19 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (ก) ระนาบสนามไฟฟ้า (ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 3.19 (ก) แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับแผ่นสกริปไบวี่ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนวงกลม ลักษณะของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่นำเสนอเป็นแบบทิศทางเดียว ลำคลื่นหลักชี้ไปในทิศทาง +Z อัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังในระนาบสนามไฟฟ้าและในระนาบสนามแม่เหล็กจากการจำลองแบบมีค่าประมาณ 15 dB ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบนี้เท่ากับ 43.5 องศา จากรูปที่ 3.19 (ข) แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก

จากการจำลองแบบพบว่ามีค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังเท่ากับ 52.4 องศา อัตราการขยายของสายอากาศสูงสุดจากการจำลองแบบที่ความถี่ 2.45 GHz ประมาณ 10.7 dBi แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่นำเสนอมีคุณลักษณะที่ดีตลอดช่วงความถี่ แต่อัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังยังมีระดับต่ำอยู่ ซึ่งอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังนี้สามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้

3.2.2 สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อด้วยสตริปไลน์พื้นฐานเหนือระนาบสะท้อนสี่เหลี่ยม



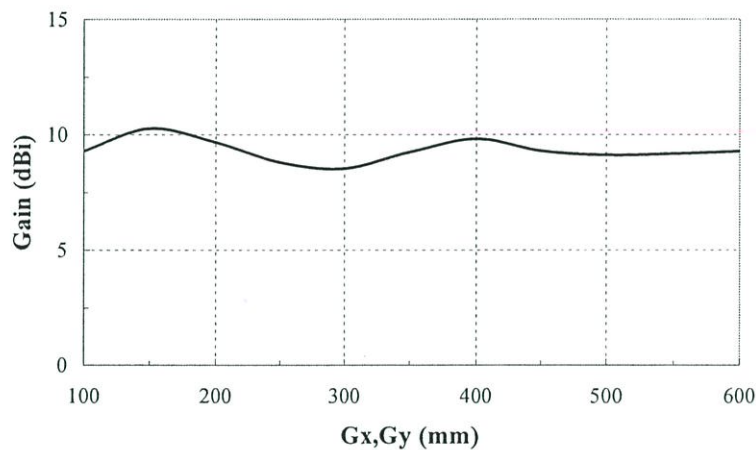
รูปที่ 3.20 สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อด้วยสตริปไลน์พื้นฐานเหนือแผ่นระนาบสะท้อนสี่เหลี่ยม

รูปที่ 3.20 แสดงโครงสร้างของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อด้วยสตริปไลน์พื้นฐานเหนือระนาบสะท้อนสี่เหลี่ยม ขนาดของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งที่ใช้ในการพิจารณาร่วมกับโครงสร้างของระนาบสะท้อนสี่เหลี่ยมดังแสดงในตารางที่ 3.2 ระนาบสะท้อนคลื่นสี่เหลี่ยมมีขนาดในแนวนอน G_x และ G_y โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาความแตกต่างระหว่างระนาบสะท้อนวงกลมกับระนาบสะท้อนสี่เหลี่ยม

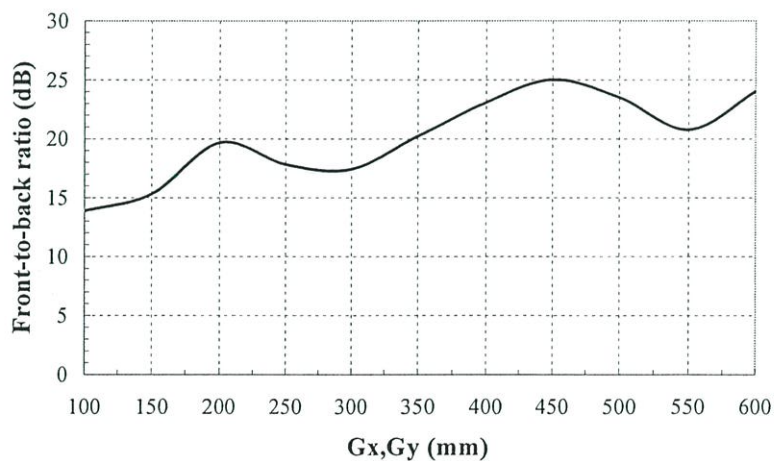
ตารางที่ 3.2 ขนาดของตัวแพร่กระจายคลื่นยแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อด้วยสตริปไลน์พื้นฐาน

พารามิเตอร์	ขนาด(มิลลิเมตร)
a	30
t	30
l	2
h	3
w	16.62

พารามิเตอร์ของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์พื้นฐานดังแสดงในตารางที่ 3.2 ประกอบด้วยรัศมีของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้ง a ที่มีขนาดเท่ากับ 30 มิลลิเมตร ความสูงของแผ่นทรงกระบอก t ที่มีขนาดเท่ากับ 30 มิลลิเมตร ความสูงของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งที่ถูกลดขนาด l มีขนาดเท่ากับ 2 มิลลิเมตร ความยาวสลับ s กำหนดให้มีขนาดในตอนเริ่มต้นเท่ากับ 0 มิลลิเมตร ความกว้างของแผ่นสตริปไลน์ w มีขนาดเท่ากับ 16.62 มิลลิเมตร ตามการคำนวณค่าอิมพีแดนซ์ 50 โอห์มของสายนำสัญญาณไมโครสตริปที่สัมพันธ์กับความสูงแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งที่วางอยู่เหนือระนาบสะท้อนสี่เหลี่ยม h ที่มีขนาดเท่ากับ 3 มิลลิเมตร และมุมของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งบางส่วนที่ถูกลดขนาด ϕ มีค่าเท่ากับ 45 องศาเมื่ออ้างอิงจากแกน y

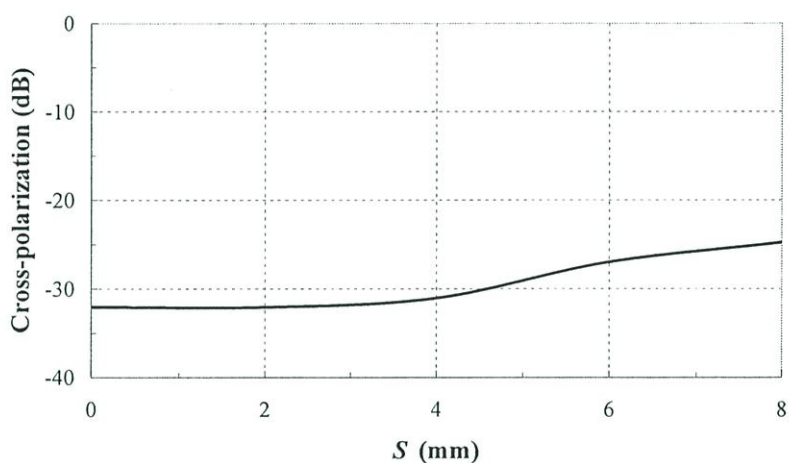


รูปที่ 3.21 อัตราขยายของสายอากาศที่เปลี่ยนไปตามขนาดระนาบสะท้อนสี่เหลี่ยม

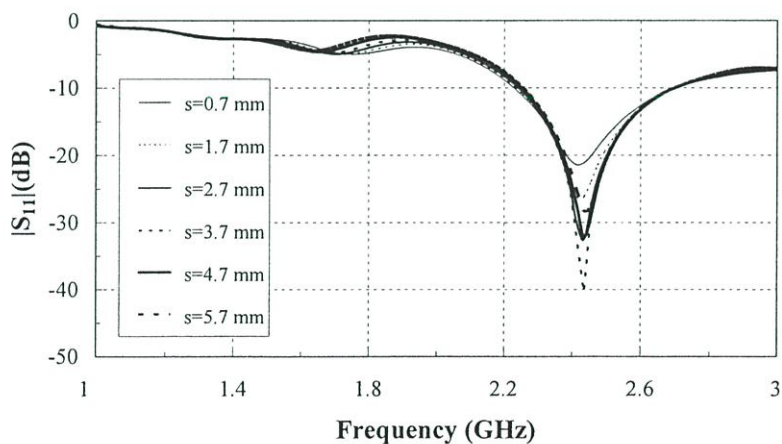


รูปที่ 3.22 อัตราส่วนค่าคลื่นด้านหน้าต่อค่าคลื่นด้านหลังของสายอากาศที่เปลี่ยนไปตามขนาดระนาบสะท้อนสี่เหลี่ยม

รูปที่ 3.21 และรูปที่ 3.22 แสดงค่าอัตราขยายของสายอากาศและค่าอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังที่เปลี่ยนไปตามขนาดของระนาบสะท้อนสี่เหลี่ยมตามลำดับ รูปที่ 3.21 แสดงค่าอัตราขยายของสายอากาศเมื่อระนาบสะท้อนสี่เหลี่ยมมีขนาดต่างกัน พบว่าเมื่อขนาดของระนาบสะท้อนทรงกระบอกมีค่าเพิ่มมากขึ้น ค่าอัตราขยายของสายอากาศมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงไม่มาก โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราขยายของสายอากาศอยู่ในช่วง 8.5 dBi ถึง 10.3 dBi เมื่อขนาดของระนาบสะท้อนอยู่ในช่วง 100 มิลลิเมตรถึง 400 มิลลิเมตร ขนาดของระนาบสะท้อนสี่เหลี่ยม G_x และ G_y ที่เหมาะสมมีขนาดเท่ากับ 186 มิลลิเมตร ซึ่งทำให้ได้ค่าอัตราขยายของสายอากาศจากการจำลองแบบประมาณ 10 dBi และได้ค่าอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังจากการจำลองมีค่าประมาณ 17 dB



รูปที่ 3.23 ระดับของโพลาไรซ์ไขว้ของสายอากาศที่ทำการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ s



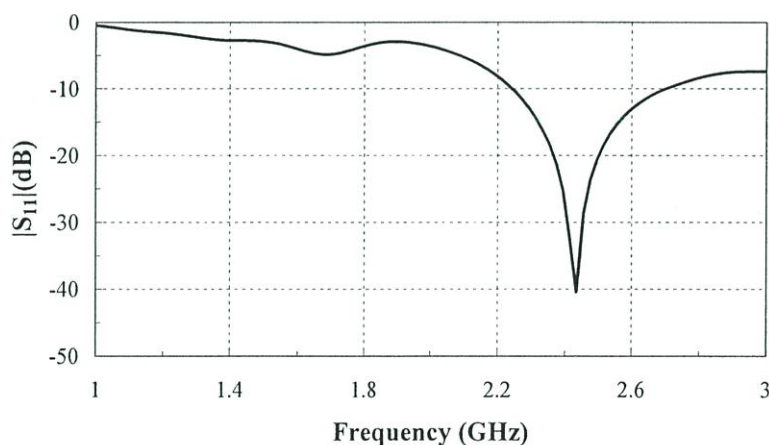
รูปที่ 3.24 ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าพารามิเตอร์ s

ในการปรับหาค่าโพลาไรซ์ไขว้ที่ต่ำที่สุดของสายอากาศสามารถทำได้โดยการปรับสลับ s ซึ่งสลับ s ทำหน้าที่ในการปรับการไหลของกระแสบนพื้นผิวในตัวของสตริปไขว้ สำหรับในรูปที่

3.23 แสดงระดับของโพลาริไซซ์ไจว์ในระนาบสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์ s ซึ่งค่าของพารามิเตอร์ s ที่ดีที่สุดมีค่าเท่ากับ 2 มิลลิเมตร โดยสามารถทำให้ระดับของโพลาริไซซ์ไจว์ลดต่ำลงถึง -32 dB แต่เมื่อพิจารณาถึงค่าการสูญเสียย้อนกลับพบว่าค่าพารามิเตอร์ s ที่ดีที่สุดคือ 3.7 มิลลิเมตรซึ่งทำให้ได้ระดับของโพลาริไซซ์ไจว์ประมาณ -31 dB จึงเลือกค่าพารามิเตอร์ s เท่ากับ 3.7 ในการนำไปสร้างสายอากาศต่อไป จากการจำลองแบบค่าโพลาริไซซ์ไจว์ที่ลดต่ำลงนี้เนื่องมาจากการกระจายของกระแสบนพื้นผิวของสายอากาศแรงมากที่สุด ในทิศ x ซึ่งเป็นทิศทางตามยาวของแผ่นสตริปไจว์ จึงทำให้เกิดองค์ประกอบของสนามไฟฟ้าในทิศ x แรงที่สุด

ตารางที่ 3.3 ขนาดของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไจว์ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนสี่เหลี่ยม

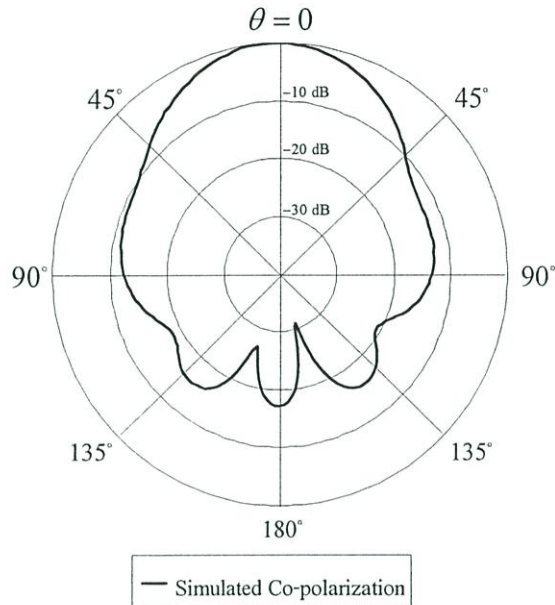
พารามิเตอร์	ขนาด (มิลลิเมตร)
a	30
t	30
l	2
h	3
w	16.62
s	3.7
G_x, G_y	180



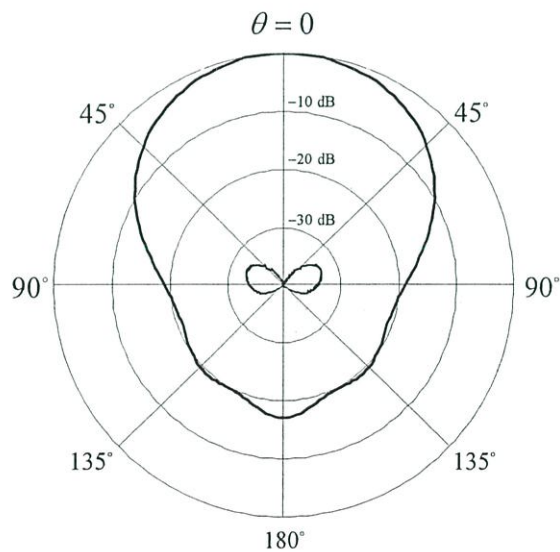
รูปที่ 3.25 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ

รูปที่ 3.25 แสดงค่าการสูญเสียย้อนกลับจากการจำลองแบบของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเหนือระนาบสะท้อนสี่เหลี่ยม ขนาดของสายอากาศแสดงในตารางที่ 3.3 จาก

ผลการจำลองแบบพบว่า ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ความถี่ 2.4 GHz มีค่าประมาณ -40 dB ช่วงกว้างความถี่ที่ใช้งานจากการจำลองแบบของสายอากาศในกรณีที่ค่าการสูญเสียย้อนกลับมีค่าต่ำกว่า 10 dB มีค่าเท่ากับ 20.83 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ขอบของค่าความถี่ต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 2.22 GHz และที่ขอบค่าความถี่สูงสุดอยู่ที่ 2.7 GHz ครอบคลุมช่วงความถี่ที่ใช้งานในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย



(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า



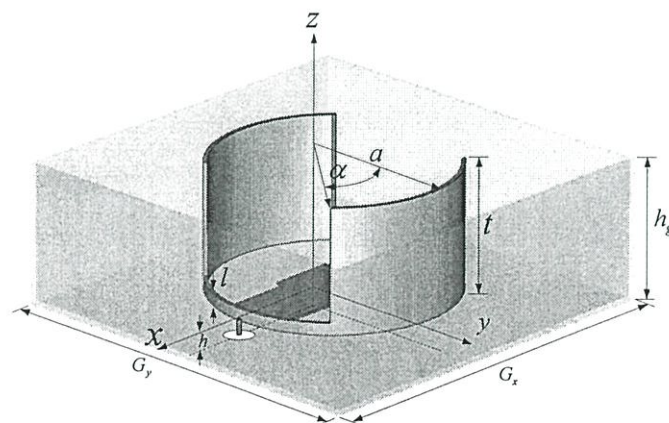
(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 3.26 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ (ก) ระนาบสนามไฟฟ้า (ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 3.26 (ก) แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับแผ่นสตริปโซวี่ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนสี่เหลี่ยม ลักษณะของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่นำเสนอเป็นแบบทิศทางเดียว ลำคลื่นหลักชี้ไปในทิศทาง +Z อัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังในระนาบสนามไฟฟ้าและในระนาบสนามแม่เหล็กจากการจำลองแบบมีค่ามากกว่า 17 dB จากรูปที่ 3.26 (ก) แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าจากการจำลองแบบพบว่ามีค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังเท่ากับ 50 องศา จากรูปที่ 3.26 (ข) แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กจากการจำลองแบบพบว่ามีค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังเท่ากับ 68 องศา อัตราการขยายของสายอากาศสูงสุดจากการจำลองแบบที่ความถี่ 2.45 GHz ประมาณ 10 dBi อัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังยังคงมีค่าต่ำเช่นเดียวกับสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปโซวี่ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนวงกลม

3.3 สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปโซวี่ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนสี่เหลี่ยม

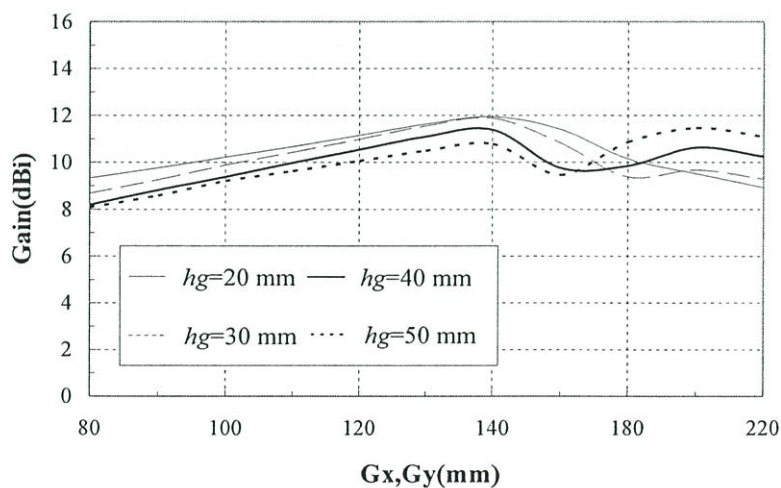
ในหัวข้อนี้จะทำการวิเคราะห์ตัวแพร่กระจายคลื่นแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งร่วมกับระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยม เทคนิคการลดขนาดของสายอากาศที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียวโดยที่ส่งผลต่ออัตราการขยายของสายอากาศน้อยด้วยระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยมนี้สามารถทำให้สายอากาศมีรูปทรงที่กะทัดรัด และให้อัตราการขยายที่เพียงพอต่อการใช้งานภายในอาคารและนอกอาคารที่มีระยะทางไม่สูงมาก อีกทั้งยังสามารถปรับปรุงอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังของสายอากาศแบบดั้งเดิมและสายอากาศที่นำเสนอในรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 ตามหัวข้อที่ 3.2.1 และหัวข้อที่ 3.2.2 ให้มีค่าอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังที่สูงขึ้นได้



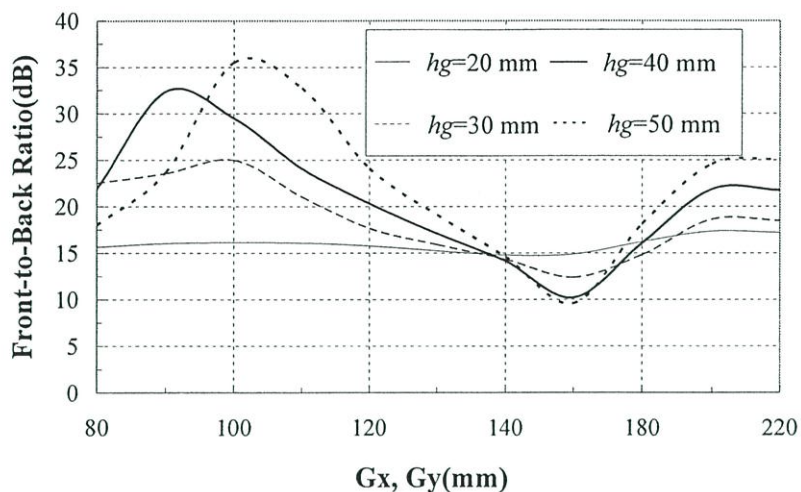
รูปที่ 3.27 โครงสร้างของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปโซวี่ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนสี่เหลี่ยม

รูปที่ 3.27 แสดงโครงสร้างของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยม ขนาดของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งที่ใช้ในการพิจารณา ร่วมกับโครงสร้างของระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยมดังแสดงในตารางที่ 3.4 สายอากาศที่นำเสนอนี้ พัฒนามาจากสายอากาศแผ่นทรงกลมแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ที่ฐานจากนั้นทำการออกแบบ ร่วมกับระนาบสะท้อนคลื่นทรงสี่เหลี่ยม โดยมีขนาดในแนวอน G_x คือความยาวในแกน x และ G_y คือความยาวในแกน y โดยมีขนาดในแนวตั้งคือ h_g จุดมุ่งหมายเพื่อลดขนาดของระนาบสะท้อนใน สายอากาศแบบดั้งเดิม ระนาบสะท้อนที่นำเสนอนี้สามารถลดขนาดของสายอากาศแผ่น ทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ที่ฐาน โดยพิจารณาที่อัตราการขยายเดียวกันกับ สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนแผ่นวงกลม และสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนแผ่น สี่เหลี่ยม

พารามิเตอร์ของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ที่ฐานเหนือระนาบ สะท้อนประกอบด้วยรัศมีของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้ง a ที่มีขนาดเท่ากับ 30.5 มิลลิเมตร ความสูง ของแผ่นทรงกระบอก t ที่มีขนาดเท่ากับ 30 มิลลิเมตร ความสูงด้านของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งที่ ถูกลดขนาด l มีขนาดเท่ากับ 2 มิลลิเมตร ความยาวสตริป s มีขนาดในตอนเริ่มต้นกำหนดให้มีขนาด เท่ากับ 0 มิลลิเมตร ความกว้างของแผ่นสตริปไลน์ w มีขนาดเท่ากับ 16.62 มิลลิเมตรตามการ คำนวณค่าอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ 50 โอห์ม ที่ความสูงแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งที่วางอยู่ เหนือระนาบสะท้อนทรงกระบอก h มีขนาดเท่ากับ 3 มิลลิเมตร และมุมของแผ่นทรงกระบอก แนวตั้งบางส่วนที่ถูกลดขนาด ϕ มีค่าเท่ากับ 45 องศาเมื่ออ้างอิงจากแกน y เพื่อให้โครงสร้างของ ตัวแพร่กระจายคลื่นแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งมีความสมมาตรกันในแนวแกนสมมาตร x และใน แนวแกนสมมาตร y



รูปที่ 3.28 อัตราขยายของสายอากาศที่เปลี่ยนแปลงตามขนาดของระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยม



รูปที่ 3.29 อัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังของสายอากาศที่เปลี่ยนแปลงตามขนาดของระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยม

รูปที่ 3.28 และรูปที่ 3.29 แสดงค่าอัตราขยายของสายอากาศและค่าอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังที่เปลี่ยนไปตามขนาดของระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยมตามลำดับ รูปที่ 3.28 แสดงค่าอัตราขยายของสายอากาศเมื่อระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยมมีขนาดต่างกันจากรูปนี้ พบว่าเมื่อขนาดรัศมีของระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยมมีค่าเพิ่มมากขึ้นค่าอัตราขยายของสายอากาศมีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้นแต่ในช่วงขนาดของระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยมมีค่าเท่ากับ 170 มิลลิเมตรค่าอัตราขยายของสายอากาศมีค่าลดลงในบางขนาดของความสูงของระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยมซึ่งสาเหตุส่วนหนึ่งของการลดลงของอัตราขยายของสายอากาศนั้นเนื่องมาจากในช่วงของระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยมมีค่าเท่ากับ 170 มิลลิเมตรนั้นมีอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังที่ต่ำในบางความสูงของระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยมกระบอกดังแสดงในรูปที่ 3.29 และเกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในช่วงรัศมีของระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยม

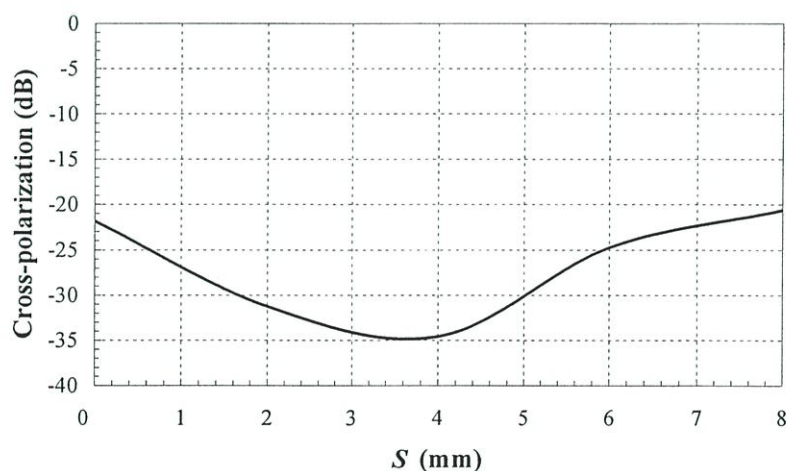
สำหรับในการเลือกขนาดของระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยมที่จะนำมาทำการสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบนั้นจะทำการเลือกบนพื้นฐานของขนาดโดยรวมของสายอากาศมีขนาดที่ไม่ใหญ่เกินไปเพื่อให้ได้สายอากาศที่มีรูปทรงที่กระทัดรัด แต่มีอัตราขยายที่สูงและมีอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังที่ดี ดังนั้นเมื่อทำการพิจารณาในรูปที่ 3.28 และรูปที่ 3.29 พบว่าที่ขนาดของระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยม G_x และ G_y มีขนาดเท่ากับ 100 มิลลิเมตร ความสูงของระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยม h_g มีขนาดเท่ากับ 30 มิลลิเมตรเป็นขนาดที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่าอัตราขยายจากการจำลองประมาณ 10 dBi และได้ค่าอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังจากการจำลองมีค่าเท่ากับ 25 dB ทั้งนี้ ในการใช้งานที่ต้องการสายอากาศที่มีอัตราขยาย

สูงชันสามารถเลือกขนาดพารามิเตอร์ของระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยมได้ในรูปที่ 3.28 และรูปที่ 3.29

ตารางที่ 3.4 ขนาดของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไว์ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยม

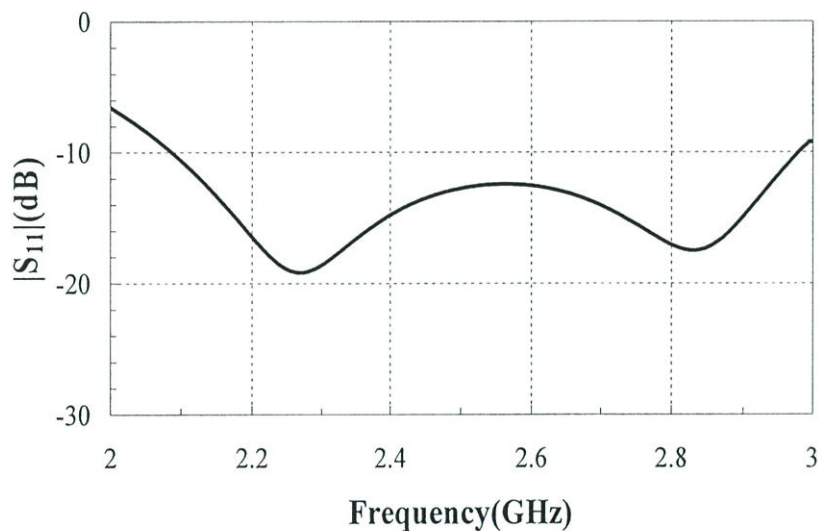
พารามิเตอร์	ขนาด(มิลลิเมตร)
a	30.5
t	30
l	2
w	16.62
s	3.67
h	3.00
G_x	100.00
G_y	100.00
h_z	30.00

สรุปค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับแผ่นสตริปไว์ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยมในตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์ a เท่ากับ 30.5 มิลลิเมตร พารามิเตอร์ t เท่ากับ 30 มิลลิเมตร พารามิเตอร์ l เท่ากับ 2 มิลลิเมตร พารามิเตอร์ w เท่ากับ 16.62 มิลลิเมตร พารามิเตอร์ h เท่ากับ 3 มิลลิเมตร พารามิเตอร์ G_x และ G_y เท่ากับ 100 มิลลิเมตร และ พารามิเตอร์ h_z เท่ากับ 30 มิลลิเมตร



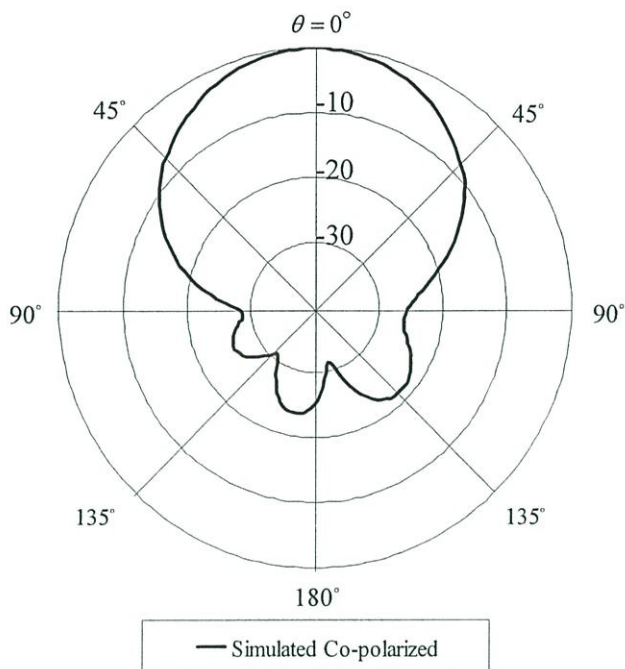
รูปที่ 3.30 ระดับของโพลาไรซ์ไขว้ในระนาบสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์ s

จากตารางที่ 3.4 แสดงขนาดของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งที่ทำการออกแบบร่วมกับระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยม จากนั้นจึงได้มีการพิจารณาถึงค่าของโพลาริเซชันที่ต่ำที่สุด โดยการปรับสลับ s ซึ่งสลับ s นี้ทำหน้าที่หลักคือการปรับการไหลของกระแสบนพื้นผิวในตัวของสตริปโซว จากรูปที่ 3.30 ระดับของโพลาริเซชันโซวในระนาบสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์ s ซึ่งค่าของพารามิเตอร์ s ที่ดีที่สุดมีค่าเท่ากับ 3.7 มิลลิเมตร โดยสามารถทำให้ระดับของโพลาริเซชันโซวลดลงถึง -35 dB จากการจำลองแบบ ค่าโพลาริเซชันโซวที่ลดลงนี้เนื่องมาจากการกระจายของกระแสบนพื้นผิวของสายอากาศแรงมากที่สุด ในทิศ x จึงทำให้เกิดองค์ประกอบของสนามไฟฟ้าในทิศ x แรงที่สุด และทำให้องค์ประกอบของสนามไฟฟ้าในทิศ y น้อยลง

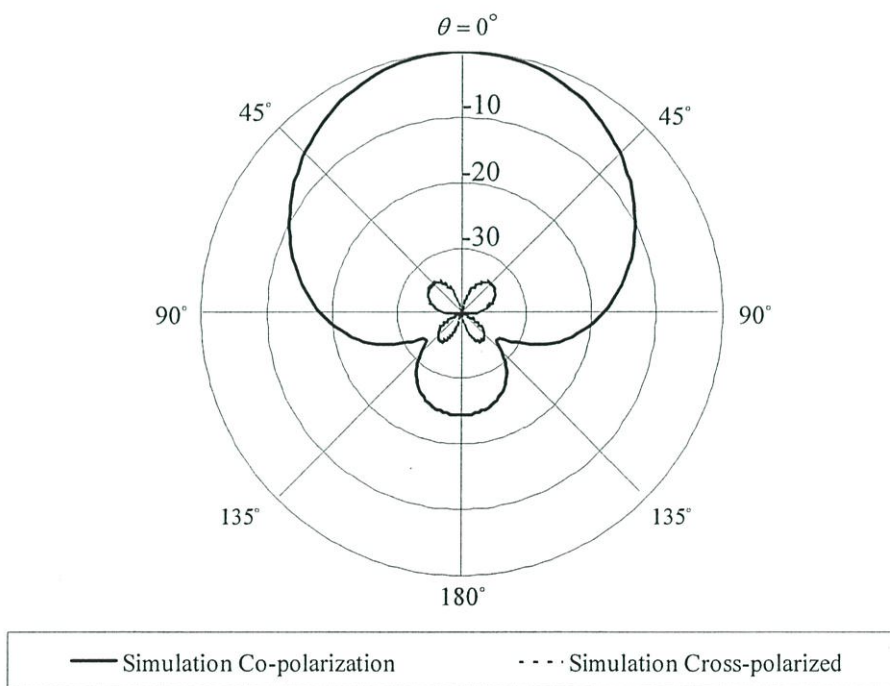


รูปที่ 3.31 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ

รูปที่ 3.31 แสดงค่าการสูญเสียย้อนกลับจากการจำลองแบบของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเหนือระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยม โดยโครงสร้างของสายอากาศแสดงในรูปที่ 3.27 ขนาดของสายอากาศแสดงในตารางที่ 3.4 ช่วงกว้างความถี่ของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 32 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งขอบความถี่ต่ำมีค่าเท่ากับ 2.1GHz และขอบความถี่สูงสุดมีค่าเท่ากับ 2.9 GHz ครอบคลุมช่วงความถี่ที่ใช้งานในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย ค่าการสูญเสียย้อนกลับต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 29 dB



(ก)

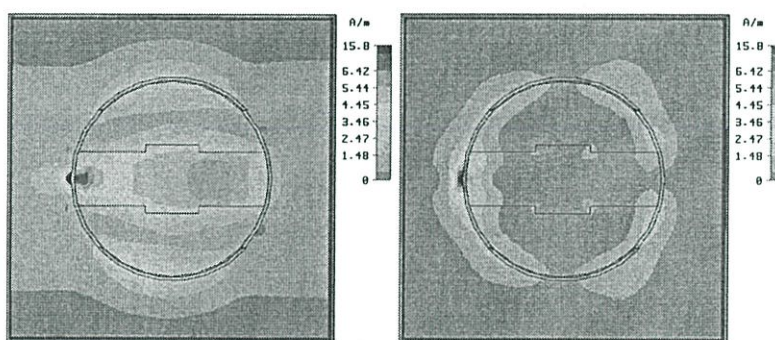


(ข)

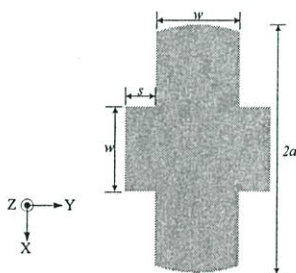
รูปที่ 3.32 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ (ก) ระบายสนามไฟฟ้า (ข) ระบายสนามแม่เหล็ก

ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในรูปที่ 3.32 (ก) และรูปที่ 3.32 (ข) ซึ่งเป็นแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระบายสนามไฟฟ้าและแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นระบาย

สนามแม่เหล็กของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปโซวี่พื้นฐานเหนือระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยมตามลำดับ พบว่าค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังขององค์ประกอบของโพลาไรซ์ร่วมในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane co-polarization) จากการจำลองมีค่าความกว้างเท่ากับ 58.8 องศา โดยที่องค์ประกอบของโพลาไรซ์โซวี่ในระนาบนี้มีค่าน้อยมากซึ่งต่ำกว่า 40 dB จึงไม่สามารถแสดงไว้ในแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นได้ และค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังขององค์ประกอบของโพลาไรซ์ร่วมในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane co-polarization) จากการจำลองมีค่าความกว้างเท่ากับ 65 องศา โดยที่องค์ประกอบของโพลาไรซ์โซวี่ในระนาบนี้มีค่าน้อยมากประมาณ -35 dB ค่าอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังจากการจำลองในระนาบสนามไฟฟ้าและในระนาบสนามแม่เหล็กมีค่ามากกว่า 25 dB จากการเปรียบเทียบค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบสนามแม่เหล็กและในระนาบสนามไฟฟ้าพบว่ามีความสมมาตรกันโดยมีค่าความแตกต่างของค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบสนามแม่เหล็กและในระนาบสนามไฟฟ้าประมาณ 6.2 องศา ซึ่งความกว้างครึ่งกำลังที่มีลักษณะแคบและสมมาตรนี้ ส่งผลดีต่อการแพร่กระจายกำลังงานคลื่นและการรับพลังงานคลื่น โดยไม่เป็นการไปรบกวนระบบการสื่อสารของระบบอื่นๆ และอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังที่มีค่ามาก ส่งผลดีต่อระบบการสื่อสาร โดยการลดระดับสัญญาณรบกวนที่เข้ามาทางด้านหลังของสายอากาศ



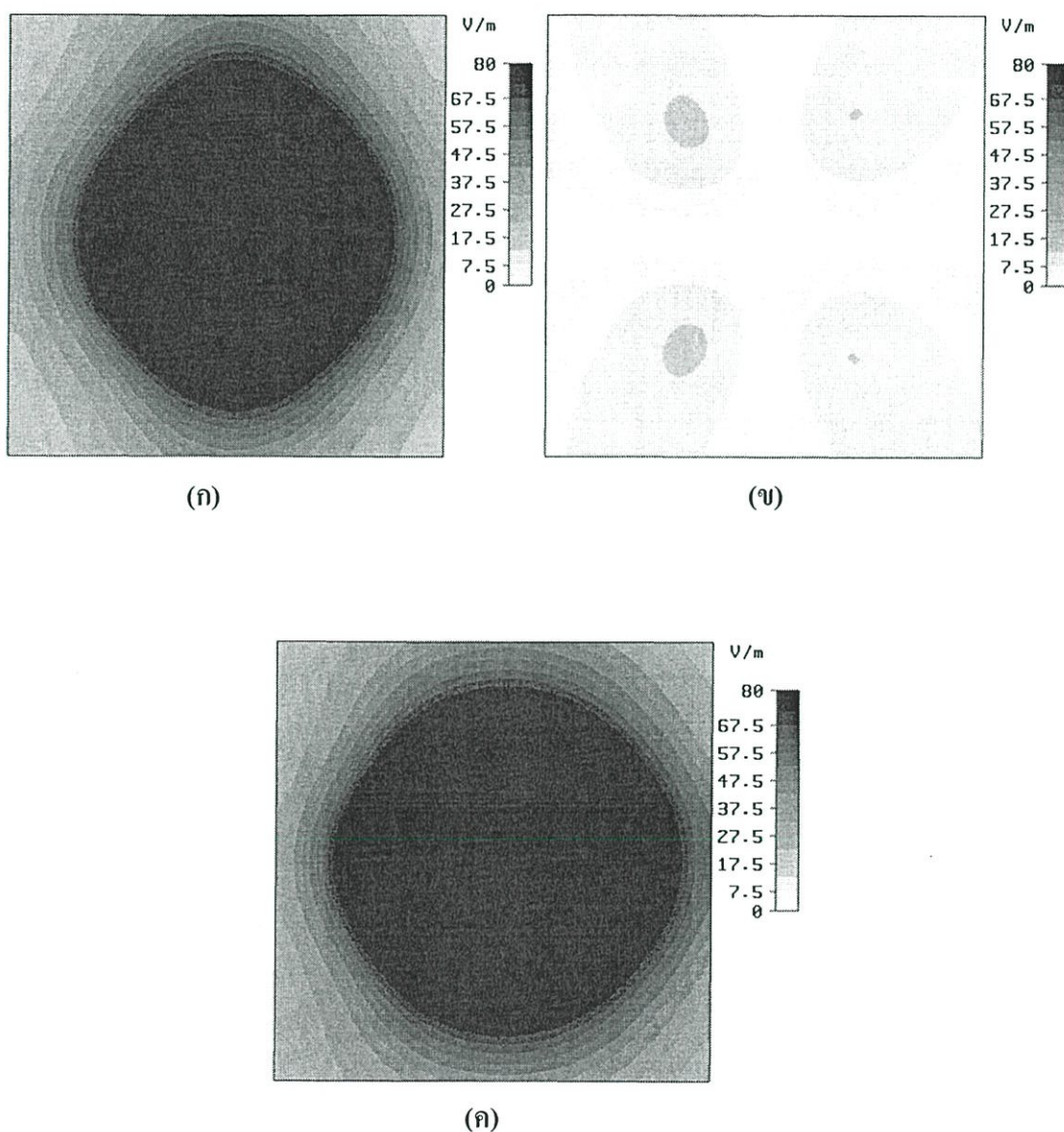
(ก) องค์ประกอบของกระแสพื้นผิวในทิศทาง x (ข) องค์ประกอบของกระแสพื้นผิวในทิศทาง y



(ค) แผ่นสตริปโซวี่

รูปที่ 3.33 การกระจายตัวของกระแสนบนพื้นผิวบนสายอากาศ (ก) องค์ประกอบของกระแสนบนพื้นผิวในแนวแกน x (ข) องค์ประกอบของกระแสนบนพื้นผิวในแนวแกน y (ค) แผ่นสตริปโซวี่

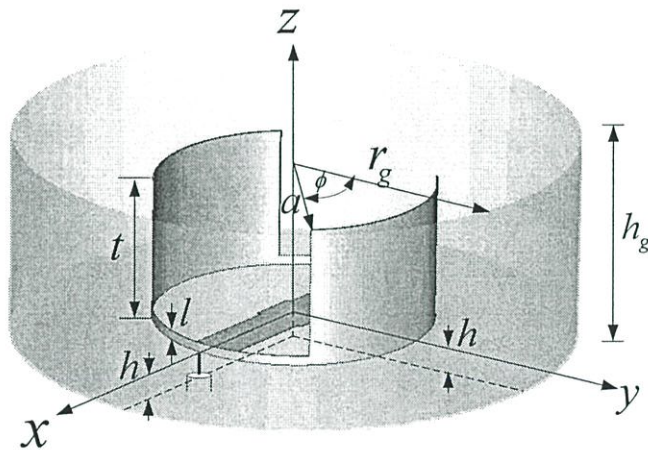
การเชื่อมต่อด้วยสตริปโซวที่ฐานของตัวแพร่กระจายคลื่นแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งสามารถปรับปรุงลักษณะการกระจายตัวของกระแสนบนพื้นผิวของสายอากาศดังแสดงในรูปที่ 3.33 รูปที่ 3.33 (ก) คือองค์ประกอบของกระแสนบนพื้นผิวในแนวแกน x พบว่าองค์ประกอบของกระแสนบนพื้นผิวในทิศทางนี้มีลักษณะการกระจายตัวที่แรงกว่ารูปที่ 3.33 (ข) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของกระแสนบนพื้นผิวในแนวแกน y พฤติกรรมของการกระจายตัวของกระแสนบนพื้นผิวบนสายอากาศนี้จะส่งผลโดยตรงต่อองค์ประกอบของสนามไฟฟ้าที่แพร่กระจายออกสู่สนามระยะไกล



รูปที่ 3.34 รูปแบบสนามไฟฟ้าในระนาบ xy บริเวณขอบของโดเมนการคำนวณ (ก) องค์ประกอบของสนามไฟฟ้าในแนวแกน x (ข) องค์ประกอบของสนามไฟฟ้าในแนวแกน y (ค) ค่าสนามไฟฟ้าสัมบูรณ์

รูปที่ 3.34 การกระจายตัวของสนามไฟฟ้าบริเวณด้านหน้าของสายอากาศ จากรูปที่ 3.34 (ก) องค์ประกอบสนามไฟฟ้าในแนวแกน x ซึ่งสนามไฟฟ้าในองค์ประกอบของนี้มีลักษณะการกระจายตัวอย่างหนาแน่นและมีค่าความแรงมากกว่า สนามไฟฟ้าที่แสดงในรูปที่ 3.34 (ข) ซึ่งเป็นองค์ประกอบสนามไฟฟ้าในแนวแกน y และรูปที่ 3.34 (ค) แสดงค่าสัมบูรณ์ของสนามไฟฟ้า พบว่ามีการกระจายตัวในลักษณะที่สมมาตรกันทั้งในระนาบแกน x และในระนาบแกน y ดังนั้นจึงทำให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าและแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กมีความสมมาตร ดังแสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในรูปที่ 3.32 (ก) และรูปที่ 3.32 (ข) ตามลำดับ

3.4 สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อด้วยสตริปไลน์ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนทรงกระบอก



รูปที่ 3.35 โครงสร้างของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อด้วยสตริปไลน์ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนทรงกระบอก

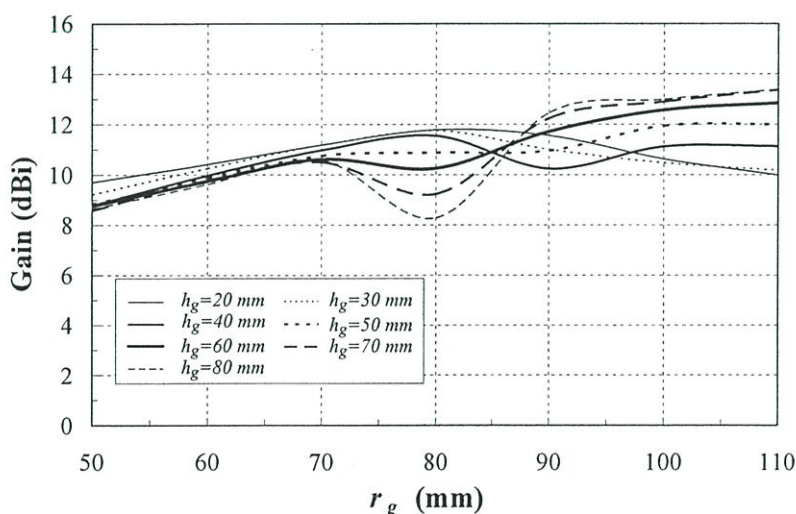
รูปที่ 3.35 แสดงโครงสร้างของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อด้วยสตริปไลน์ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนทรงกระบอกขนาดของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งที่ใช้ในการพิจารณาร่วมกับโครงสร้างของระนาบสะท้อนทรงกระบอกดังแสดงในตารางที่ 3.5 สายอากาศที่นำเสนอนี้พัฒนามาจากสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อด้วยสตริปไลน์ที่ฐาน จากนั้นทำการออกแบบร่วมกับระนาบสะท้อนคลื่นทรงกระบอกโดยมีขนาดในแนวอนคือรัศมี r_g และมีขนาดในแนวตั้งคือ h_g โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อลดขนาดของระนาบสะท้อนในสายอากาศแบบดั้งเดิม ระนาบสะท้อนทรงกระบอกที่ประกอบด้วยความสูง h_g นั้นสามารถลดขนาดของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อด้วยสตริปไลน์ที่ฐานโดยพิจารณาที่อัตราขยายเดียวกันกับสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อด้วยสตริปไลน์ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนแผ่นวงกลม

และสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปโซวี่พื้นฐานเหนือระนาบสะท้อนแผ่นสี่เหลี่ยม

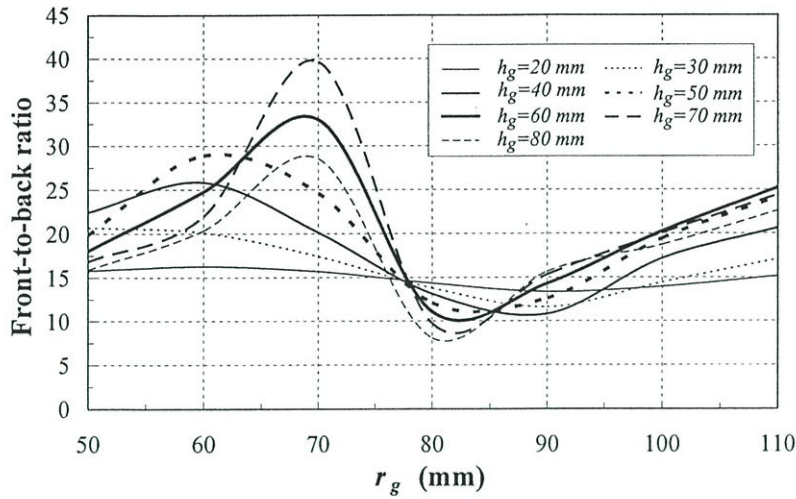
ตารางที่ 3.5 ขนาดของตัวแพร่กระจายคลื่นแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปโซวี่พื้นฐานเหนือระนาบสะท้อนทรงกระบอก

พารามิเตอร์	ขนาด (มิลลิเมตร)
a	30.0
t	30.0
l	2.0
w	18.0
h	3.5
ϕ	45 Degree

พารามิเตอร์ของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปโซวี่พื้นฐานเหนือระนาบสะท้อนประกอบด้วยรัศมีของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้ง a ที่มีขนาดเท่ากับ 30 มิลลิเมตร ความสูงของแผ่นทรงกระบอก t ที่มีขนาดเท่ากับ 30 มิลลิเมตร ความสูงด้านของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งที่ถูกลดขนาด l มีขนาดเท่ากับ 2 มิลลิเมตร ความยาวสตริปโซวี่ w มีขนาดในตอนเริ่มต้นกำหนดให้มีขนาดเท่ากับ 0 มิลลิเมตร ความกว้างของแผ่นสตริปโซวี่ w มีขนาดเท่ากับ 18 มิลลิเมตร ความสูงแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งที่วางอยู่เหนือระนาบสะท้อนทรงกระบอก h มีขนาดเท่ากับ 3.5 มิลลิเมตร และมุมของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งบางส่วนที่ถูกลดขนาด ϕ มีค่าเท่ากับ 45 องศาเมื่ออ้างอิงจากแกน y



รูปที่ 3.36 อัตราการขยายของสายอากาศที่เปลี่ยนไปตามขนาดของระนาบสะท้อนทรงกระบอก

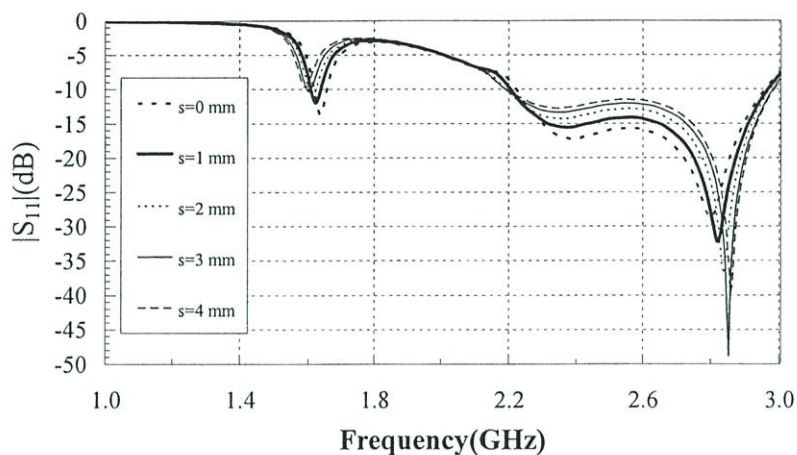


รูปที่ 3.37 อัตราส่วนค่าคลื่นด้านหน้าต่อค่าคลื่นด้านหลังที่เปลี่ยนไปตามขนาดของระนาบสะท้อนทรงกระบอก

รูปที่ 3.36 และรูปที่ 3.37 แสดงค่าอัตราการขยายของสายอากาศและค่าอัตราส่วนค่าคลื่นด้านหน้าต่อค่าคลื่นด้านหลังที่เปลี่ยนไปตามขนาดของระนาบสะท้อนทรงกระบอกตามลำดับ รูปที่ 3.36 แสดงค่าอัตราการขยายของสายอากาศเมื่อระนาบสะท้อนทรงกระบอกมีขนาดต่างกันจากรูปนี้พบว่าเมื่อขนาดรัศมีของระนาบสะท้อนทรงกระบอกมีค่าเพิ่มมากขึ้นค่าอัตราการขยายของสายอากาศมีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้นแต่ในช่วงรัศมีของระนาบสะท้อนทรงกระบอกมีค่าเท่ากับ 75 มิลลิเมตรถึงค่า 85 มิลลิเมตรค่าอัตราการขยายของสายอากาศมีค่าลดต่ำลงในบางขนาดของความสูงของระนาบสะท้อนทรงกระบอกซึ่งสาเหตุของการลดลงของอัตราการขยายของสายอากาศนั้นเนื่องมาจากในช่วงของรัศมีของระนาบสะท้อนทรงกระบอกมีค่าเท่ากับ 75 มิลลิเมตรถึงค่า 85 มิลลิเมตรนั้นมีอัตราส่วนค่าคลื่นด้านหน้าต่อค่าคลื่นด้านหลังที่ต่ำในบางความสูงของระนาบสะท้อนทรงกระบอกดังแสดงในรูปที่ 3.37 และเกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในช่วงรัศมีของระนาบสะท้อนทรงกระบอกมีค่าเท่ากับ 75 มิลลิเมตรถึงค่า 85 มิลลิเมตร

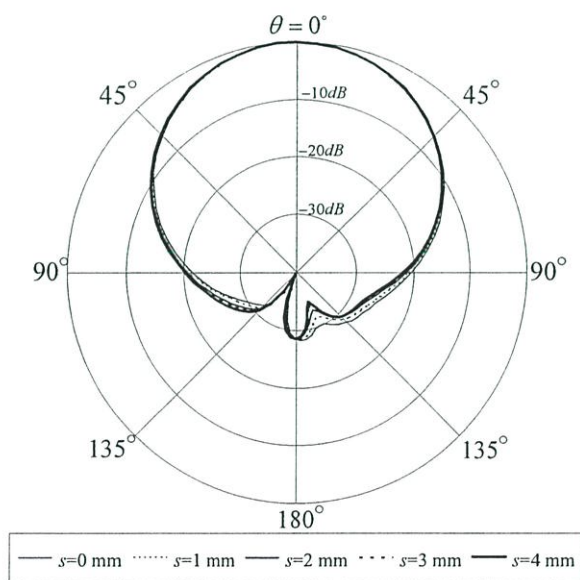
สำหรับการเลือกขนาดของระนาบสะท้อนทรงกระบอกที่จะนำมาทำการสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบนั้นจะทำการเลือกบนพื้นฐานของขนาดโดยรวมของสายอากาศมีขนาดที่ไม่ใหญ่เกินไปเพื่อให้สายอากาศที่ออกแบบมีขนาดที่กระทัดรัด แต่มีอัตราการขยายที่สูงและมีอัตราส่วนค่าคลื่นด้านหน้าต่อค่าคลื่นด้านหลังที่ดี ดังนั้นเมื่อพิจารณาในรูปที่ 3.36 และรูปที่ 3.37 พบว่าที่ขนาดของรัศมีของระนาบสะท้อนทรงกระบอก r_g มีขนาดเท่ากับ 60 มิลลิเมตร ความสูงของระนาบสะท้อนทรงกระบอกมีขนาดเท่ากับ 50 มิลลิเมตรเป็นขนาดที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่าอัตราการขยายจากการจำลองประมาณ 10 dBi และได้ค่าอัตราส่วนค่าคลื่นด้านหน้าต่อค่าคลื่นด้านหลังจากการ

จำลองมีค่าเท่ากับ 28 dB ทั้งนี้ ในการประยุกต์ใช้งานที่ต้องการสายอากาศที่มีอัตราการขยายสูงขึ้นไป สามารถเลือกขนาดพารามิเตอร์ของระนาบสะท้อนทรงกระบอกได้ตามรูปที่ 3.36 และรูปที่ 3.37

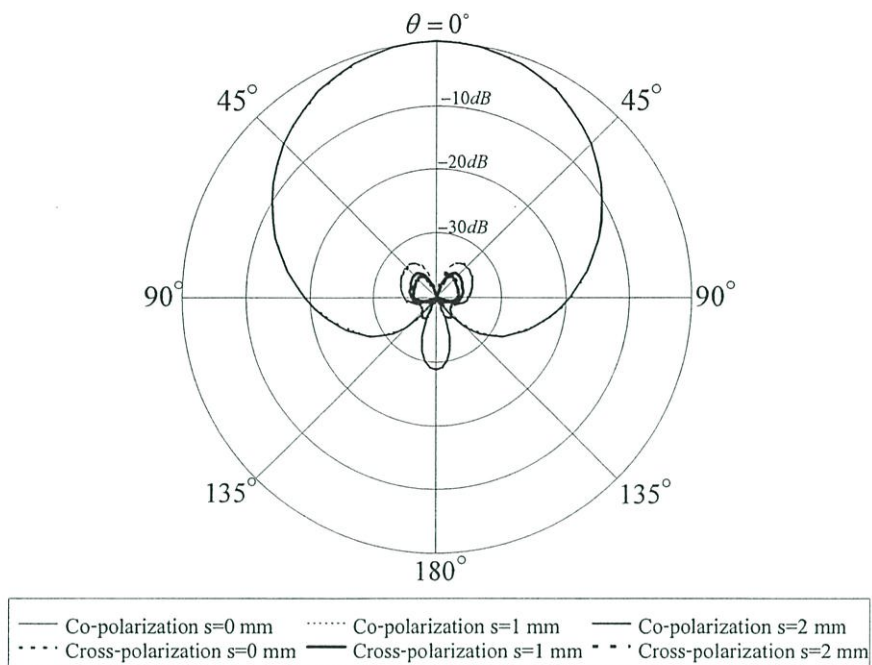


รูปที่ 3.38 ค่าความสูญเสียย้อนกลับเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของสตัป s

สำหรับผลกระทบในการปรับขนาดของสตัป s ที่มีต่อค่าความสูญเสียย้อนกลับดังแสดงในรูปที่ 3.38 จากรูปพบว่าขนาดของสตัป s มีผลต่อระดับของค่าความสูญเสียย้อนกลับ แต่มีผลต่อค่าช่วงกว้างความถี่น้อย



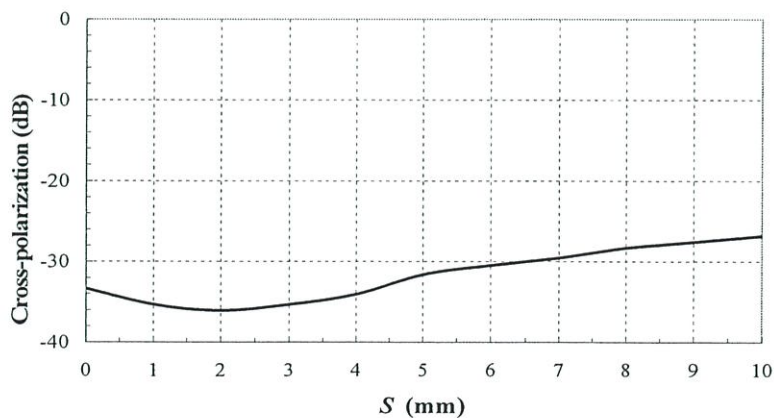
รูปที่ 3.39 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามขนาดของสตัป s



รูปที่ 3.40 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามขนาดของสตับ

s

จากรูปที่ 3.39 และรูปที่ 3.40 แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่เปลี่ยนไปตามขนาดของสตับ s จากรูปที่ 3.39 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า พบว่าการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ s ไม่มีผลต่อแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในองค์ประกอบของโพลาริซั่มร่วมและในองค์ประกอบของโพลาริซั่มไขว้ซึ่งระดับของโพลาริซั่มไขว้ในระนาบนี้มีระดับที่ต่ำกว่า 40 dB จึงไม่ได้แสดงในระนาบนี้ สำหรับรูปที่ 3.40 แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก พบว่าการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ s ไม่มีผลต่อแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในองค์ประกอบของโพลาริซั่มร่วมแต่ส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงของระดับโพลาริซั่มไขว้



รูปที่ 3.41 ระดับของโพลาริซั่มไขว้ที่เปลี่ยนไปตามขนาดสตับ s

จากรูปที่ 3.41 แสดงผลกระทบในการเปลี่ยนแปลงขนาดของสตัด s ที่มีต่อระดับของโพลาไรซ์ไขว้ พบว่าที่ขนาดของสตัดเท่ากับ 2 มิลลิเมตรทำให้ค่าของโพลาไรซ์ไขว้มีค่าต่ำสุด เนื่องจากการปรับขนาดของสตัด s ส่งผลต่อการกระจายตัวของกระแสบนพื้นผิวซึ่งส่งผลโดยตรงต่อองค์ประกอบของสนามไฟฟ้าที่ขอบเขตสนามระยะใกล้

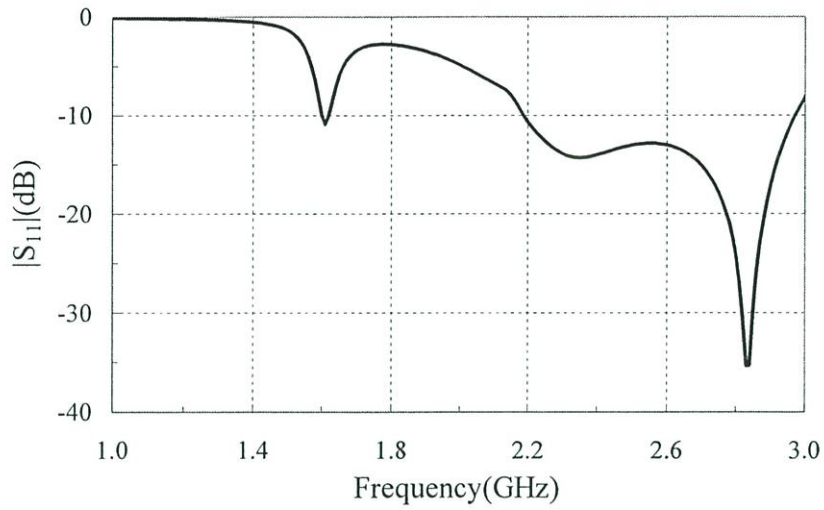
ตารางที่ 3.6 ขนาดของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไข่ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนทรงกระบอก

Parameters	Dimension(mm)
a	30.0
t	30.0
l	2.0
s	2.0
w	18.0
h	3.5
r_g	60.0
ϕ	45 Degree
h_g	50.0

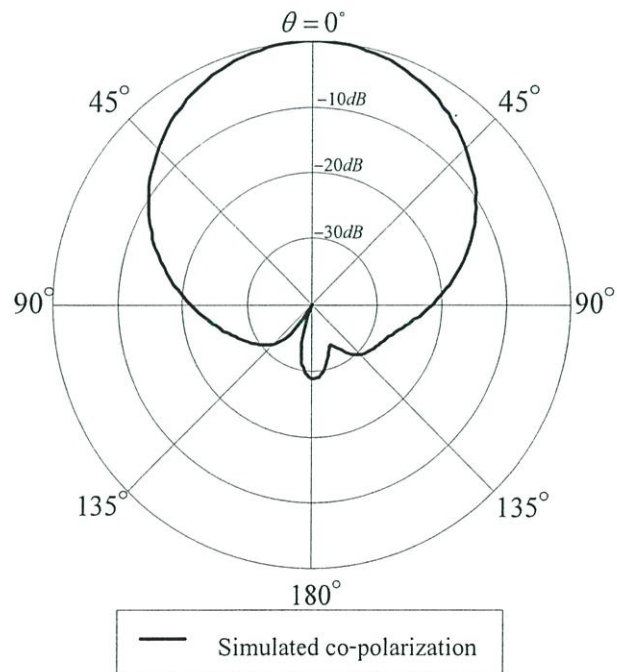
พารามิเตอร์ของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไข่ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนทรงกระบอกดังแสดงในตารางที่ 3.6 ประกอบด้วยรัศมีของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้ง a ที่มีขนาดเท่ากับ 30 มิลลิเมตร ความสูงของแผ่นทรงกระบอก t ที่มีขนาดเท่ากับ 30 มิลลิเมตร ความสูงด้านของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งที่ถูกลดขนาด l มีขนาดเท่ากับ 2 มิลลิเมตร ความยาวสตัด s มีขนาดเท่ากับ 2 มิลลิเมตร ความกว้างของแผ่นสตริปไข่ w มีขนาดเท่ากับ 18 มิลลิเมตร ความสูงแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งที่วางอยู่เหนือระนาบสะท้อนทรงกระบอก h มีขนาดเท่ากับ 3.5 มิลลิเมตร รัศมีของระนาบสะท้อนทรงกระบอก r_g มีขนาดเท่ากับ 60 มิลลิเมตร ความสูงของระนาบสะท้อนทรงกระบอกมีขนาดเท่ากับ 50 มิลลิเมตร และมุมของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งบางส่วนที่ถูกลดขนาด ϕ มีค่าเท่ากับ 45 องศาเมื่ออ้างอิงจากแกน y

ผลการจำลองค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไข่ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนทรงกระบอก ที่มีขนาดตามตารางที่ 3.6 ช่วงกว้างความถี่จากการจำลองมีค่าเท่ากับ 29.78 เปอร์เซนต์ โดยมีขอบเขตความถี่ต่ำมีค่าเท่ากับ 2.2 GHz และขอบเขตความถี่สูงสุดเท่ากับ 2.97 GHz ซึ่งครอบคลุมย่านความถี่ตั้งแต่ 2.420 GHz ถึง 2.484 GHz ตาม

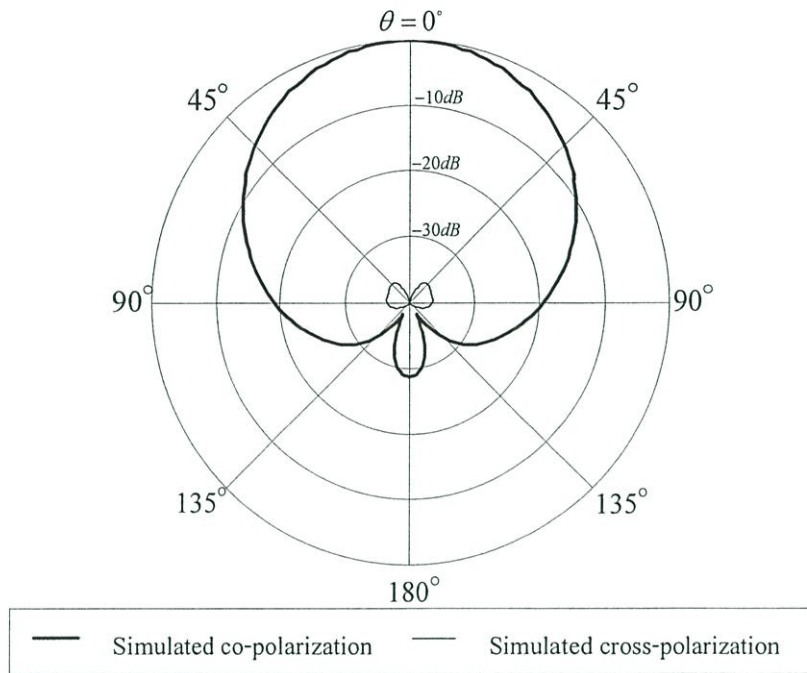
มาตรฐาน IEEE 802.11 ซึ่งค่าช่วงกว้างความถี่ที่กว้างนี้เนื่องมาจากระนาบสะท้อนทรงกระบอกที่มีค่าการเรโซแนนท์ในช่วงความถี่ต่ำทำให้ช่วงกว้างความถี่เพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 3.42 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ



(ก) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า

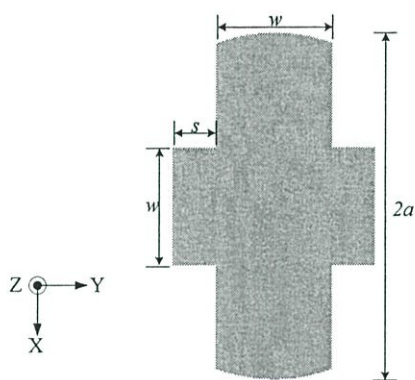
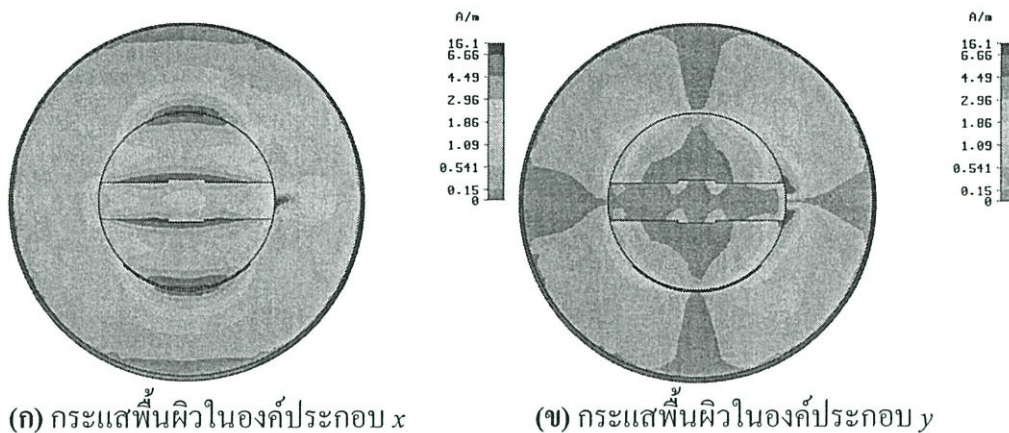


(ข) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 3.43 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (ก) ระนาบสนามไฟฟ้า (ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในรูปที่ 3.43 (ก) และ รูปที่ 3.43 (ข) ของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์พื้นฐานเหนือระนาบสะท้อนทรงกระบอกที่มีขนาดตามตารางที่ 3.6 พบว่าค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังขององค์ประกอบของโพลาริซั่วมในระนาบสนามไฟฟ้าจากการจำลอง มีค่าความกว้างเท่ากับ 60 องศา โดยที่องค์ประกอบของโพลาริซั้วในระนาบนี้มีค่าน้อยมากซึ่งต่ำกว่า -40 dB จึงไม่สามารถแสดงไว้ในแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นได้ และค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังขององค์ประกอบของโพลาริซั่วมในระนาบสนามแม่เหล็กจากการจำลองมีค่าความกว้างเท่ากับ 61.5 องศา โดยที่องค์ประกอบของโพลาริซั้วในระนาบนี้มีค่าน้อยมากประมาณ -36 dB ค่าอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังจากการจำลองในระนาบสนามไฟฟ้าและในระนาบสนามแม่เหล็กมีค่ามากกว่า 28 dB จากการเปรียบเทียบค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบสนามแม่เหล็กและในระนาบสนามไฟฟ้า พบว่ามีความสมมาตรกันเป็นอย่างดีโดยมีค่าความแตกต่างของค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบสนามแม่เหล็กและในระนาบสนามไฟฟ้าประมาณ 1.5 องศา ซึ่งความกว้างครึ่งกำลังที่มีลักษณะแคบและสมมาตรนี้ส่งผลดีต่อการแพร่กระจายกำลังงานคลื่นและการรับพลังงานคลื่น โดย

ไม่เป็นการไปรบกวนระบบการสื่อสารของระบบอื่นๆ อัตราการขยายของสายอากาศจากการจำลองแบบมีค่าเท่ากับ 11 dBi

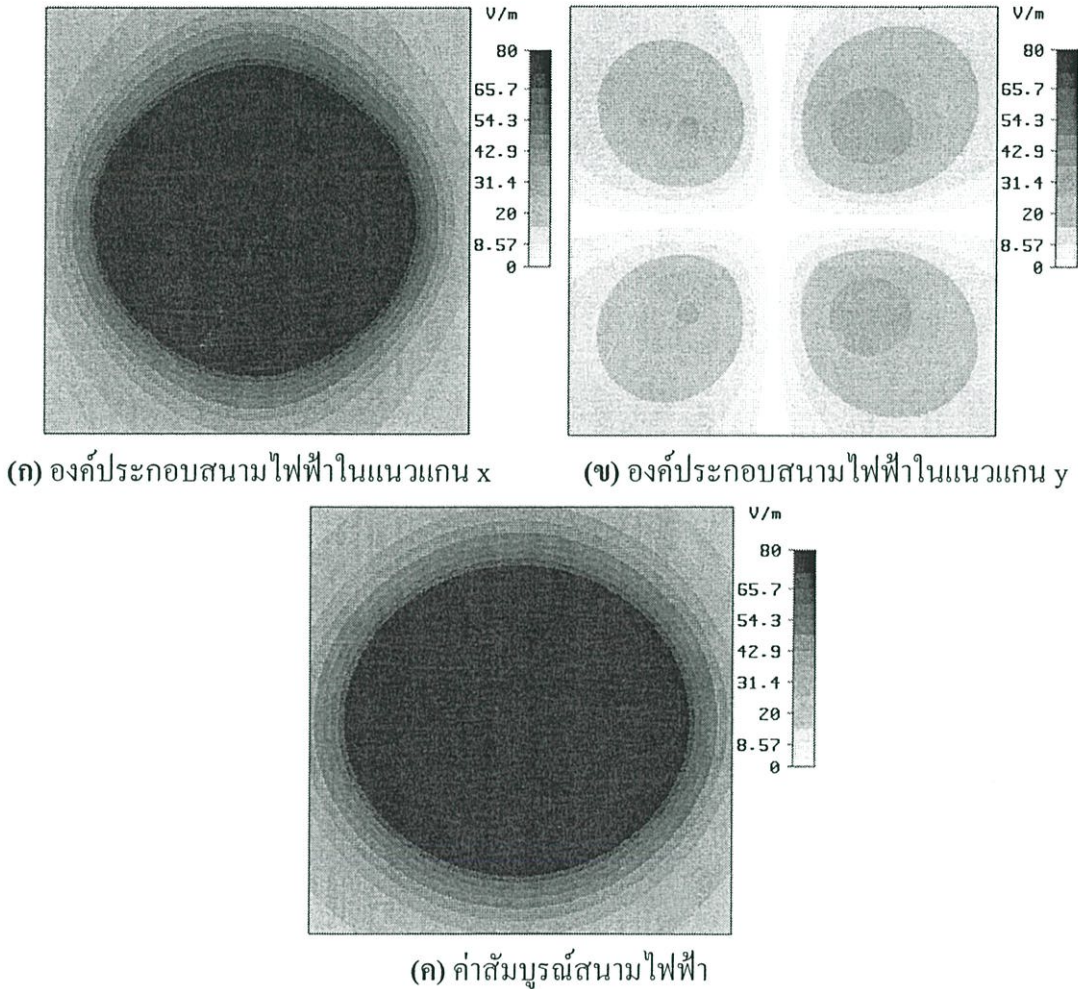


(ค) การวางตัวของแผ่นสตริปไข่

รูปที่ 3.44 การกระจายของกระแสบนพื้นผิวและโครงสร้างของแผ่นสตริปไข่

จากข้อสังเกตขององค์ประกอบของกระแสนพื้นผิวที่ไหลบนสายอากาศจะก่อให้เกิดรูปแบบของสนามไฟฟ้าที่มีองค์ประกอบต่างๆตามลักษณะการกระจายของกระแสนพื้นผิวดังเช่นสายอากาศไดโพลที่วางตามแนวแกน z ดังนั้นจึงมีองค์ประกอบของกระแสนพื้นผิวที่ไหลเฉพาะในแนวแกน z เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นโพลาไรซ์ของสายอากาศไดโพลที่วางตามแนวแกน z จึงมีลักษณะเป็นเชิงเส้นวางตัวตามแนวแกน z หรือตามแนวของการไหลของกระแสนพื้นผิว จากรูปที่ 3.44 แสดงการกระจายของกระแสนพื้นผิวและโครงสร้างของแผ่นสตริปไข่ (ก) แสดงองค์ประกอบของกระแสนพื้นผิวในแนวแกน x ซึ่งการกระจายของกระแสนพื้นผิวในองค์ประกอบนี้มีลักษณะที่แรงกว่าการกระจายตัวของกระแสนพื้นผิวในองค์ประกอบตามแนวแกน y มาก จึงทำให้สามารถอธิบายได้ว่าสายอากาศมีโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นตามแนวแกน x

โดยที่มีองค์ประกอบของสนามไฟฟ้าไขว้มีค่าน้อยมากเมื่อพิจารณาถึงการกระจายของกระแสบนพื้นผิวในองค์ประกอบ y ที่มีค่าต่ำกว่าประกอบกับพิจารณาถึงองค์ประกอบของสนามไฟฟ้าที่ระนาบตั้งเกตุ



รูปที่ 3.45 ลักษณะการกระจายของสนามไฟฟ้า

จากข้อสังเกตด้านบนที่ว่าความแรงในแต่ละองค์ประกอบของกระแสบนพื้นผิวที่ไหลบนสายอากาศจะก่อให้เกิดรูปแบบของสนามไฟฟ้าที่มีองค์ประกอบต่างๆตามลักษณะการกระจายของกระแสบนพื้นผิวนั้นสามารถยืนยันได้จากการจำลองลักษณะการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าบริเวณด้านหน้าของสายอากาศ จากรูปที่ 3.45 ลักษณะการกระจายของสนามไฟฟ้า (ก) องค์ประกอบสนามไฟฟ้าในแนวแกน x ซึ่งสนามไฟฟ้าในองค์ประกอบของนี้มีลักษณะการกระจายตัวอย่างหนาแน่นและมีค่าความแรงมากกว่าสนามไฟฟ้าที่แสดงในรูปที่ 3.45 (ข) ซึ่งเป็นองค์ประกอบสนามไฟฟ้าในแนวแกน y และรูปที่ 3.45 (ค) แสดงค่าสัมบูรณ์ของสนามไฟฟ้า พบว่ามีการกระจายตัวในลักษณะที่สมมาตรกันดังนั้นจึงทำให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าและ

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กมีความสมมาตรกันดังแสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในรูปที่ 3.43 (ก) และรูปที่ 3.43 (ข) ตามลำดับ

3.5 บทสรุป

ในบทนี้กล่าวถึงผลการจำลองหาค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศที่ทำให้ได้คุณสมบัติทางไฟฟ้าของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อด้วยสตริปไวร์ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนที่ดี และศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ต่างๆ สายอากาศที่ทำการวิเคราะห์มีรูปแบบต่างกันทั้งหมด 4 โครงสร้างซึ่งประกอบไปด้วย 1. สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อด้วยสตริปไวร์ที่ฐานเหนือแผ่นระนาบสะท้อนวงกลม 2. สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อด้วยสตริปไวร์ที่ฐานเหนือแผ่นระนาบสะท้อนสี่เหลี่ยม 3. สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อด้วยสตริปไวร์ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยม 4. สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อด้วยสตริปไวร์ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนทรงกระบอก

ในการศึกษาพารามิเตอร์ของสายอากาศทำโดยพิจารณาค่าพารามิเตอร์การสะท้อน $|S_{11}|$ ในหน่วยของเดซิเบล อัตราขยายของสายอากาศและแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น พบว่าพารามิเตอร์ α รัศมีของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเป็นพารามิเตอร์ที่ควบคุมค่าความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศ พารามิเตอร์ r และพารามิเตอร์ l มีผลต่อแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ ทำให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นมีความสมมาตรระหว่างระนาบสนามไฟฟ้าและในระนาบสนามแม่เหล็ก พารามิเตอร์ h มีผลต่อค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ ผลการจำลองแบบสายอากาศแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.7 สรุปผลการจำลองสายอากาศ

สายอากาศ	ช่วงกว้างความถี่ (เปอร์เซ็นต์)	ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (ระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก) (องศา)	อัตราการขยายสัมบูรณ์ (dBi)	อัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลัง (dB)	โพลาริเซชันไขว้ (dB)
สายอากาศหมายเลข 1	18.37	43.5/52.4	10.7	15	33
สายอากาศหมายเลข 2	20.83	50/68	9.5	15	31
สายอากาศหมายเลข 3	32	58.8/65	10.7	25	35
สายอากาศหมายเลข 4	29.78	60/61.5	11	28	36

ตารางที่ 3.8 สรุปลักษณะโดยรวมของสายอากาศ

สายอากาศ	ขนาดของสายอากาศ (มิลลิเมตร)	
	ขนาดในแนวนอน	ขนาดในแนวตั้ง
สายอากาศหมายเลข 1	186	33
สายอากาศหมายเลข 2	180	33
สายอากาศหมายเลข 3	100	33.5
สายอากาศหมายเลข 4	120	50

จากตารางที่ 3.7 สรุปผลการจำลองสายอากาศ ค่าช่วงกว้างความถี่ของสายอากาศของสายอากาศหมายเลข 3 คือสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยมและสายอากาศหมายเลข 4 คือสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนทรงกระบอกนั้นให้ค่าช่วงกว้างความถี่ที่มากกว่าประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากระนาบสะท้อนที่มีลักษณะเป็นตัวเรโซเนเตอร์ทั้งทรงสี่เหลี่ยมและทรงกระบอก เรโซแนนซ์ที่ความถี่ใกล้เคียงกับตัวแพร่กระจายคลื่นทำให้เกิดการรบกวนการเรโซแนนซ์ของตัวแพร่กระจายคลื่นเดิม จากผลการจำลองแบบของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศทั้ง 4 แบบพบว่าระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยมและระนาบสะท้อนทรงกระบอกที่มีความสูงสามารถลดขนาดโดยรวมของสายอากาศได้โดยพิจารณาที่ค่าอัตราขยายของสายอากาศที่ใกล้เคียงกันดังแสดงขนาดโดยรวมของสายอากาศในตารางที่ 3.8 และยังสามารถลดการแพร่กระจายคลื่นออกทางด้านหลังของสายอากาศได้อีกด้วย ส่งผลต่อค่าอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังที่สูงมากกว่า สายอากาศรูปแบบที่ 1 และสายอากาศรูปแบบที่ 2 อยู่ประมาณ 10 dB

ผลการจำลองค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนที่มีรูปแบบต่างกันทั้งหมด 4 โครงสร้างนั้นสามารถครอบคลุมความต้องการใช้งานย่านความถี่ในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายเป็นอย่างดี รวมทั้งเทคนิคการเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ที่ฐานของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งสามารถปรับทิศทางการไหลของกระแสบนพื้นผิวของสายอากาศให้มีการแพร่กระจายไปในทิศทางเดียวกันส่งผลต่อระดับโพลาไรซ์ไขว้ของสายอากาศที่ลดลงอย่างมาก ซึ่งเป็นผลดีเมื่อนำสายอากาศไปใช้งานแบบโพลาไรซ์ไดเวอร์ซิตี

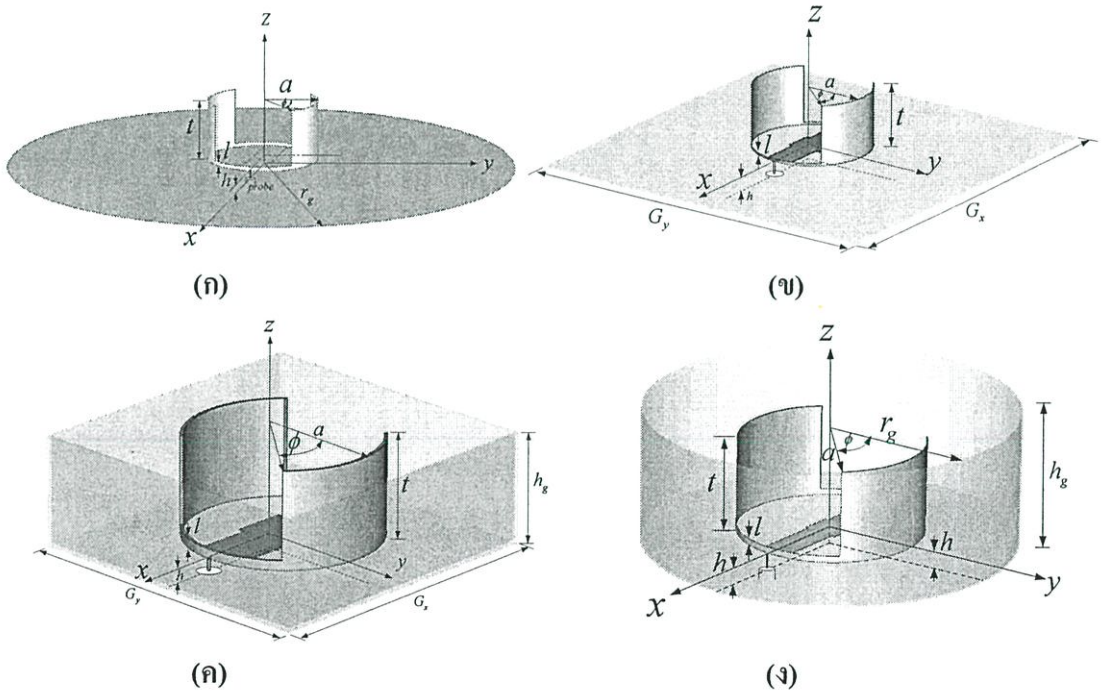
บทที่ 4

การทดสอบและผลการทดสอบ

4.1 บทนำ

จากการวิเคราะห์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดของสายอากาศทั้ง 4 แบบด้วยกันซึ่งประกอบไปด้วย 1. สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ไว้ที่ฐานเหนือแผ่นระนาบสะท้อนวงกลม 2. สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ไว้ที่ฐานเหนือแผ่นระนาบสะท้อนสี่เหลี่ยม 3. สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ไว้ที่ฐานเหนือตัวสะท้อนทรงสี่เหลี่ยม 4. สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ไว้ที่ฐานเหนือตัวสะท้อนทรงกระบอก เพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องในการจำลองแบบ จึงทำการสร้างสายอากาศทั้ง 4 แบบและทดสอบสายอากาศทั้ง 4 แบบ การทดสอบและผลการทดสอบจะแสดงในบทนี้

4.2 การสร้างและขั้นตอนการทดสอบ



รูปที่ 4.1 โครงสร้างของสายอากาศสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อน (ก) ระนาบสะท้อนแผ่นวงกลม (ข) ระนาบสะท้อนแผ่นสี่เหลี่ยม (ค) ระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยม (ง) ระนาบสะท้อนทรงกระบอก

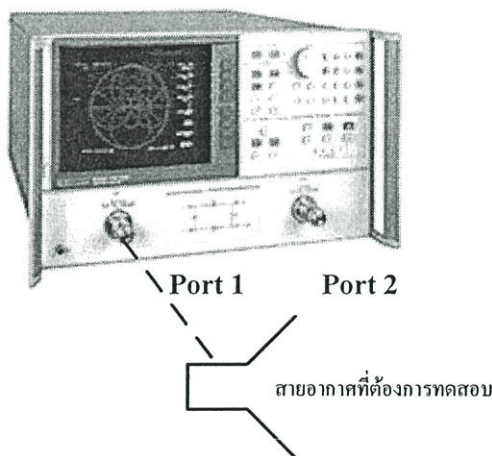
สายอากาศต้นแบบถูกสร้างขึ้นด้วยแผ่นทองเหลืองความหนาประมาณ 0.2 มิลลิเมตร โดยการนำแผ่นทองเหลืองมาตัดเป็นรูปทรงของแผ่นทองเหลืองที่มีความสูงต่างระดับกัน จากนั้นทำการต่อเชื่อมด้วยตะกั่ว ทำการเจาะรูที่ตัวสะท้อนสำหรับป้อนพลังงานให้กับสายอากาศ ณ บริเวณจุดป้อนสายอากาศที่ขอบของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้ง แผ่นทรงกระบอกแนวตั้งที่ g เป็นส่วนในการแพร่กระจายคลื่นถูกแยกตัวออกจากตัวสะท้อนด้วยอากาศซึ่งในที่นี้ใช้โฟมในการรองรับแผ่นทรงกระบอกแนวตั้ง โดยค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของโฟมนั้นมีค่าใกล้เคียงกับอากาศ

สำหรับขั้นตอนการทดสอบประกอบไปด้วยการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานทางไฟฟ้าเช่น การทดสอบระดับการสะท้อนของกำลังงานซึ่งอยู่ในรูปของพารามิเตอร์การสะท้อน แสดงผ่านทางค่าการสูญเสียย้อนกลับ S_{11} ในหน่วยของเดซิเบล การทดสอบอิมพีแดนซ์ด้านเข้า (Input impedance) การทดสอบอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (SWR) ในการทดสอบสามารถที่จะแสดงพารามิเตอร์ใดพารามิเตอร์หนึ่งก็ได้ เนื่องจากทุกพารามิเตอร์มีความสัมพันธ์กันตามสมการด้านล่างนี้

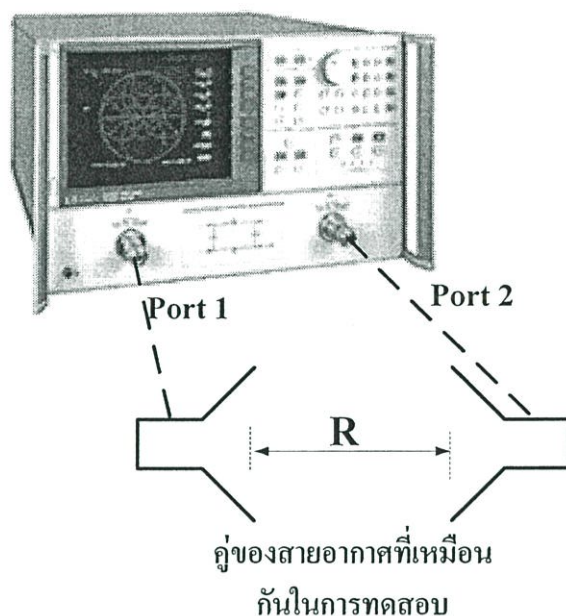
$$VSWR = \frac{1 + |S_{11}|}{1 - |S_{11}|} \quad (4.1)$$

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

เมื่อค่า S_{11} ไม่อยู่ในหน่วย dB และ Z_{in} คืออิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศและ Z_o คืออิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณที่นำมาต่อที่หัวของสายอากาศ ในการทดสอบตลอดวิทยานิพนธ์นี้จะแสดงเฉพาะค่าพารามิเตอร์การสะท้อนผ่านทางค่าการสูญเสียย้อนกลับ S_{11} ในหน่วยของเดซิเบลเพียงค่าเดียว โดยทำการทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer HP 8720C) ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับ S_{11}



รูปที่ 4.3 การทดสอบอัตราขยายของสายอากาศด้วยวิธีสายอากาศคู่เหมือน

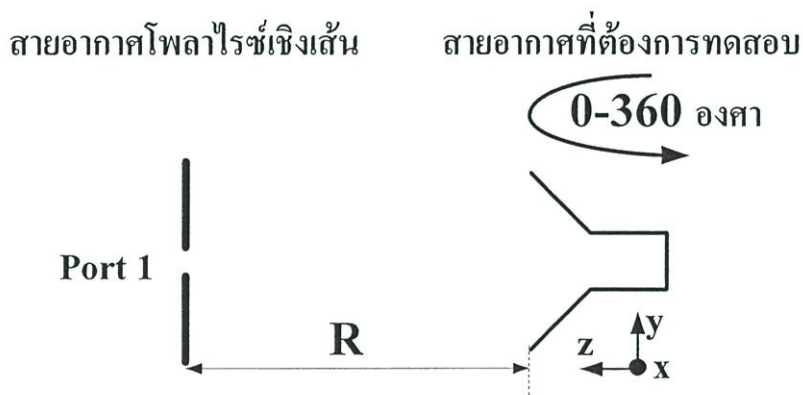
ในการทดสอบอัตราขยาย (Antenna Gain) ในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการทดสอบอัตราขยายสัมบูรณ์ของสายอากาศด้วยวิธีการใช้สายอากาศคู่เหมือน (Two-antenna method) จากนั้นทำการคำนวณหาอัตราขยายสัมบูรณ์ได้จากสมการของฟรีส (Friis Formula) ในรูปของเดซิเบลตามสมการด้านล่างนี้

$$(G_{0t})_{dB} + (G_{0r})_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_t} \right) \quad (4.3)$$

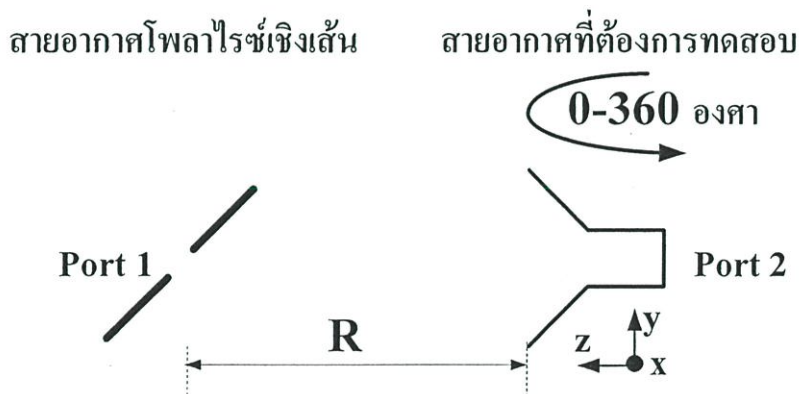
ทำการทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer HP 8720C) ผ่านทางพารามิเตอร์การส่งผ่าน S_{21} ซึ่งพารามิเตอร์การส่งผ่าน S_{21} ก็คือพารามิเตอร์ในรูปของฟังก์ชันคลื่น ซึ่งก็คืออัตราส่วนของสัมประสิทธิ์ของคลื่นที่ส่งผ่านเครือข่ายไปยังโหลดต่อสัมประสิทธิ์ของคลื่นที่ส่งเข้าไปในเครือข่าย หรืออาจพิจารณาว่าเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังทางด้วนรับที่ขั้ว 2 (P_r) ต่อกำลังทางด้วนส่งที่ขั้วที่ 1 (P_t) ภายใต้เงื่อนไขแมตซ์โพลาไรซ์และมีระยะห่างระหว่างสายอากาศที่มีระยะมากกว่าหรือเท่ากับขอบเขตสนามระยะไกล

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศนั้นเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของสายอากาศและถูกจำกัดความไว้ว่าเป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์หรือรูปภาพที่ใช้เป็นตัวแทนคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นซึ่งเป็นฟังก์ชันของสเปซโคออดิเนต (Space Coordinate) ส่วนใหญ่แบบรูปการ

แพร์กระจายคลื่นจะพิจารณาสนามที่ขอบเขตสนามระยะไกล (Far Field) ที่เป็นฟังก์ชันของทิศทางรอบตัวของสายอากาศ การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นมักนิยมทดสอบใน 3 ระนาบหลักคือ ระนาบ xy ระนาบ xz และระนาบ yz ในรูปแบบของพิคตเชิงขั้ว เมื่อ R คือระยะห่างระหว่างสายอากาศที่มีระยะมากกว่าหรือเท่ากับขอบเขตสนามระยะไกล ในวิทยานิพนธ์นี้ทำการทดสอบใน 2 ระนาบคือระนาบ xz และระนาบ yz เนื่องจากสายอากาศที่นำเสนอมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียวจึงไม่มีความจำเป็นที่ต้องทดสอบในระนาบ xy

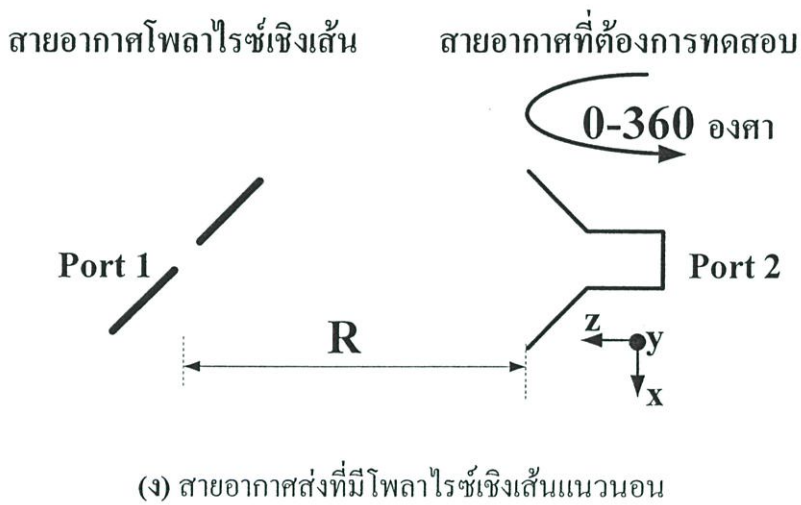
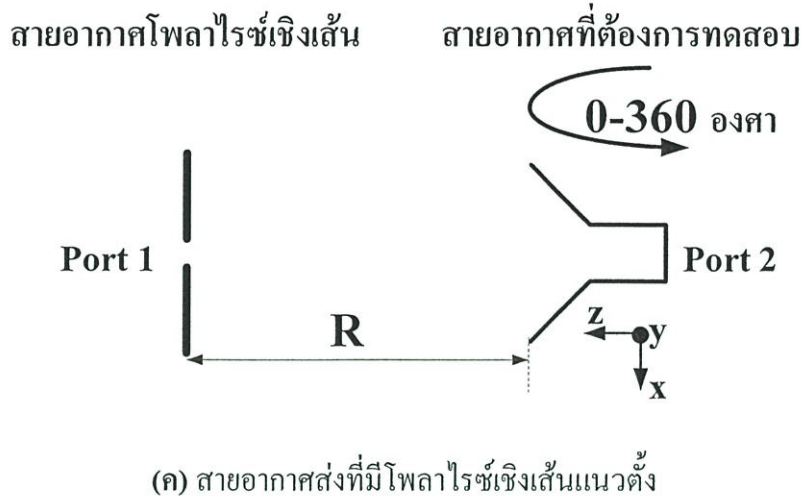


(ก) สายอากาศส่งที่มีโพลาไรซ์เชิงเส้นแนวตั้ง



(ข) สายอากาศส่งที่มีโพลาไรซ์เชิงเส้นแนวนอน

รูปที่ 4.4 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ xz (E-plane pattern)



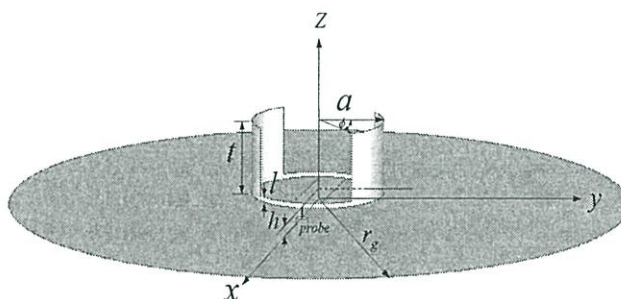
รูปที่ 4.5 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ yz (H-plane pattern)

การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นทำได้โดยการส่งสัญญาณด้วยสายอากาศที่มีโพลาไรซ์เชิงเส้นวางห่างจากสายอากาศที่ต้องการทดสอบด้วยระยะ R จากนั้นทำการหมุนสายอากาศที่ต้องการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นและเก็บค่าระดับสัญญาณผ่านพารามิเตอร์ S_{21} ที่มุมต่างๆ จนครบ 360 องศา จากรูปที่ 4.5 (ก) และรูปที่ 4.5 (ง) แสดงการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ xz (E-plane pattern) โดยทำการทดสอบองค์ประกอบของโพลาไรซ์ไขว้และองค์ประกอบของโพลาไรซ์ร่วมด้วยการส่งสัญญาณด้วยสายอากาศที่มีโพลาไรซ์ที่เป็นเชิงเส้นในแนวตั้งและสายอากาศส่งที่มีโพลาไรซ์ที่เป็นเชิงเส้นในแนวนอนตามลำดับ ถ้าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในกรณีใดกรณีหนึ่งระหว่างการส่งสัญญาณด้วยสายอากาศที่มีโพลาไรซ์ที่เป็นเชิงเส้นในแนวตั้งและสายอากาศส่งที่มีโพลาไรซ์ที่เป็นเชิงเส้นในแนวนอน มีค่ามากกว่ากันมากๆ ก็แสดงว่าสายอากาศมีโพลาไรซ์เชิงเส้นในแนวของสายอากาศส่งนั้น จากรูปที่ 4.5 (ค) และ

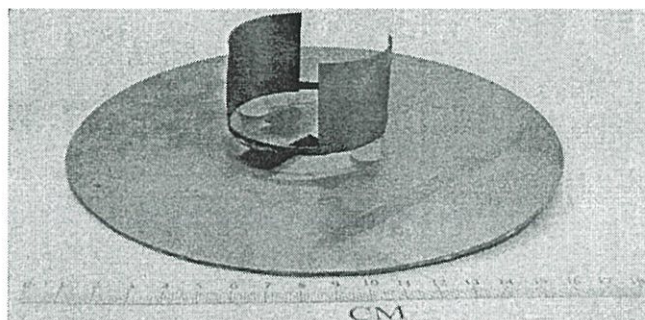
รูปที่ 4.5 (ข) แสดงการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ yz (H-plane pattern) ขั้นตอนการทดสอบและพิจารณาทำเช่นเดียวกับกรณีของการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ xz (E-plane pattern)

4.3 ผลการทดสอบ

4.3.1 สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปโซวที่ฐานเหนือแผ่นระนาบสะท้อนวงกลม



รูปที่ 4.6 โครงสร้างของสายอากาศ



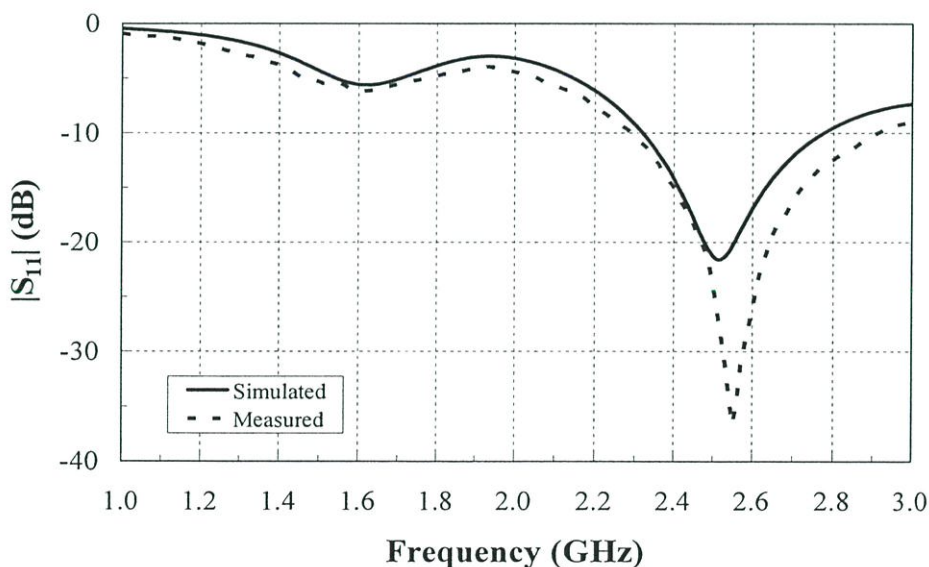
รูปที่ 4.7 โครงสร้างสายอากาศต้นแบบที่ทำการทดสอบ

ตารางที่ 4.1 ขนาดของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปโซวที่ฐานเหนือแผ่นระนาบสะท้อนวงกลม

พารามิเตอร์	ขนาด (มิลลิเมตร)
a	30
t	30
l	2
h	3
w	16.62
s	2
r_g	90

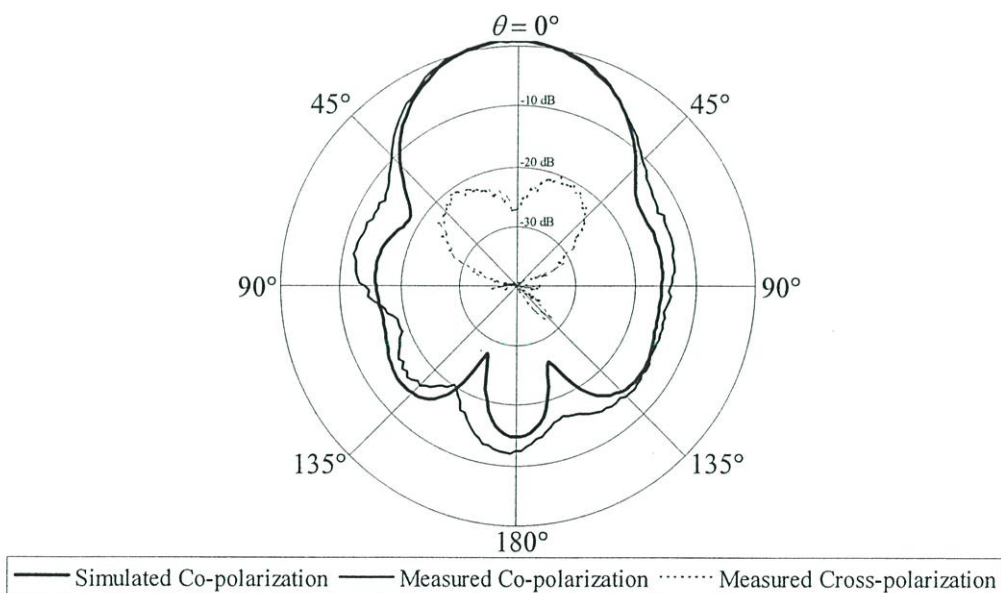
จากรูปที่ 4.6 แสดงโครงสร้างของสายอากาศที่ทำการจำลองแบบ ขนาดของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 ประกอบด้วยรัศมีของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้ง a ที่มีขนาดเท่ากับ 30 มิลลิเมตร ความสูงของแผ่นทรงกระบอก t ที่มีขนาดเท่ากับ 30 มิลลิเมตร ความสูงของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งด้านที่ถูกลดขนาดลง l มีขนาดเท่ากับ 2 มิลลิเมตร ความยาวสลับ s เท่ากับ 2 มิลลิเมตร ความกว้างของแผ่นสตริปไข่ w มีขนาดเท่ากับ 16.62 มิลลิเมตรตามการคำนวณค่าอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ 50 โอห์ม ความสูงแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งที่วางอยู่เหนือตัวสะท้อนทรงกระบอก h มีขนาดเท่ากับ 3 มิลลิเมตร และมุมของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งบางส่วนที่ถูกลดขนาด ϕ มีค่าเท่ากับ 45 องศาเมื่ออ้างอิงจากแกน y เพื่อให้โครงสร้างของตัวแพร่กระจายคลื่นแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งมีความสมมาตรกันในแนวแกนสมมาตร x และในแนวแกนสมมาตร y สายอากาศวางตัวอยู่เหนือระนาบสะท้อนวงกลมรัศมี r_g มีค่าเท่ากับ 90 มิลลิเมตร

รูปที่ 4.7 แสดงรูปโครงสร้างของสายอากาศต้นแบบที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการทดสอบ ยืนยันผลการจำลอง วัสดุที่นำมาสร้างแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งที่ถูกเชื่อมต่อกับแผ่นสตริปไข่ที่ฐานนั้นทำจากทองเหลืองหนา 0.2 มิลลิเมตร วางตัวอยู่สูงจากระนาบสะท้อนด้วยความสูง 3 มิลลิเมตรที่ทำจากแผ่นทองแดง ป้อนสัญญาณด้วยโพรบบริเวณขอบของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้ง เจาะทะลุผ่านแผ่นสะท้อนวงกลมด้วยคอนเนคเตอร์ SMA 50 โอห์ม



รูปที่ 4.8 ผลการจำลองแบบและผลการทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับ

รูปที่ 4.8 แสดงค่าอัตราการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้ง เชื่อมต่อกับแผ่นสตริปโซวี่ที่ฐานเหนือแผ่นสะท้อนวงกลมที่นำเสนอ จากผลการจำลองแบบพบว่า อัตราการสูญเสียย้อนกลับที่ความถี่ 2.5 GHz มีค่าประมาณ -22 dB และจากการทดสอบสายอากาศ ต้นแบบ อัตราการสูญเสียย้อนกลับดีที่สุดที่ความถี่ 2.55 GHz ประมาณ -36 dB ช่วงกว้างความถี่ที่ใช้งานจากการจำลองแบบของสายอากาศต้นแบบในกรณีที่ค่าการสูญเสียย้อนกลับมีค่าต่ำกว่า 10 dB มีค่าเท่ากับ 18.77 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ขอบของค่าความถี่ต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 2.32 GHz และที่ขอบค่าความถี่สูงสุดอยู่ที่ 2.78 GHz ช่วงกว้างความถี่ที่ใช้งานจากการทดสอบสายอากาศต้นแบบในกรณี ที่ค่าการสูญเสียย้อนกลับมีค่าต่ำกว่า 10 dB มีค่าเท่ากับ 25.71 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ขอบของค่าความถี่ต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 2.29 GHz และที่ขอบค่าความถี่สูงสุดอยู่ที่ 2.92 GHz จากผลการทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศต้นแบบพบว่ามีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดีกับผลการจำลอง โดยซึ่งค่าการสูญเสียย้อนกลับจากการทดสอบมีค่าต่ำกว่าการจำลองอาจเกิดจากในการสร้างสายอากาศ ต้นแบบนั้น ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ อาจคลาดเคลื่อนจากการจำลองแบบ ทำให้ผลการทดสอบมีความ คลาดเคลื่อน แต่รูปแบบของค่าการสูญเสียย้อนกลับนั้นมีความสอดคล้องกับการจำลองเป็นอย่างดี ช่วงกว้างความถี่จากการทดสอบมีค่ามากกว่าการจำลองแบบเท่ากับ 6.94 เปอร์เซ็นต์

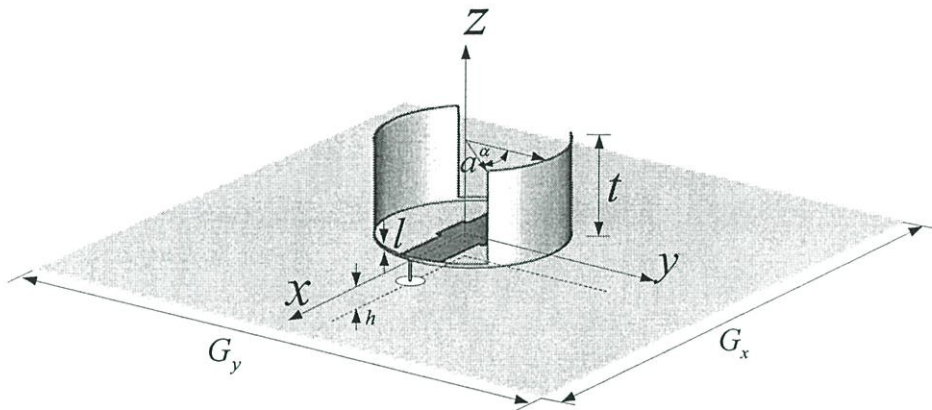


(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า (xz-plane)

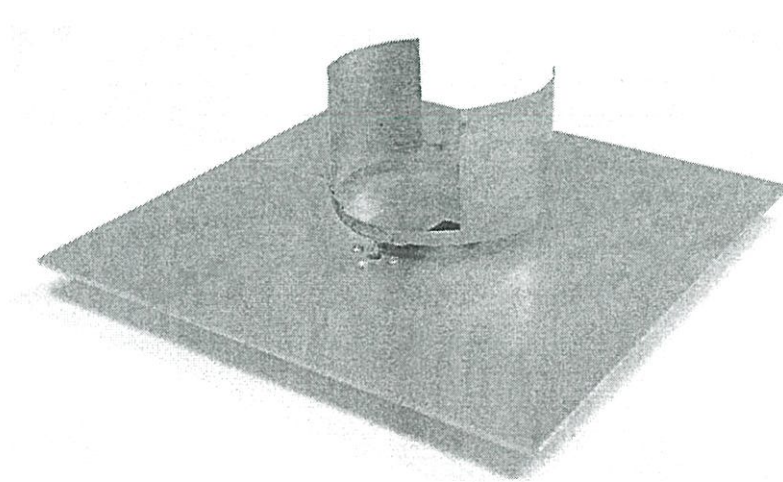
สายอากาศ ถึงแม้ว่าจะใช้เทคนิคการลดความสูงของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งบางส่วนเพื่อปรับการกระจายของกระแสเชิงผิวและสามารถทำให้ค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังลดลงมากแล้วก็ตาม

อัตราขยายของสายอากาศสูงสุดจากการจำลองแบบที่ความถี่ 2.45 GHz มีค่าเท่ากับ 10.7 dBi และอัตราขยายสูงสุดจากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 9 dBi แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่นำเสนอมีคุณลักษณะที่ดีตลอดช่วงความถี่ ผลการทดสอบสายอากาศที่นำเสนอสอดคล้องกับผลการจำลองแบบเป็นอย่างดี

4.3.2 สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ที่ฐานเหนือแผ่นระนาบสะท้อนสี่เหลี่ยม



รูปที่ 4.10 โครงสร้างของสายอากาศ



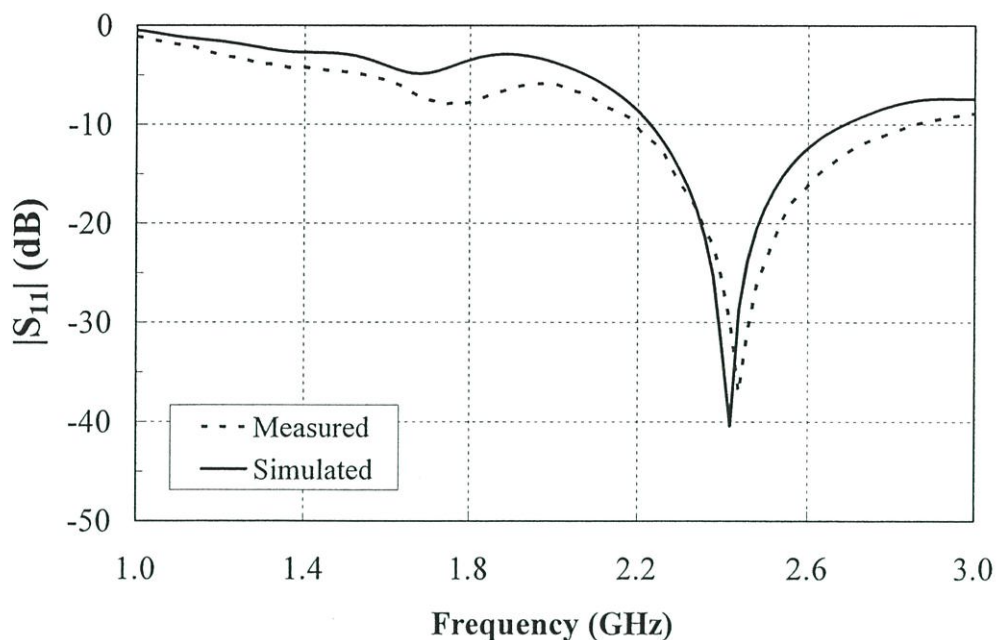
รูปที่ 4.11 โครงสร้างต้นแบบของสายอากาศที่ทำการทดสอบ

ตารางที่ 4.2 ขนาดของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปโซวี่ที่ฐานเหนือแผ่นระนาบสะท้อนสี่เหลี่ยม

พารามิเตอร์	ขนาด (มิลลิเมตร)
a	30.5
t	31
l	3
h	3
w	16.62
s	3.6
$G_x \times G_y$	180×180

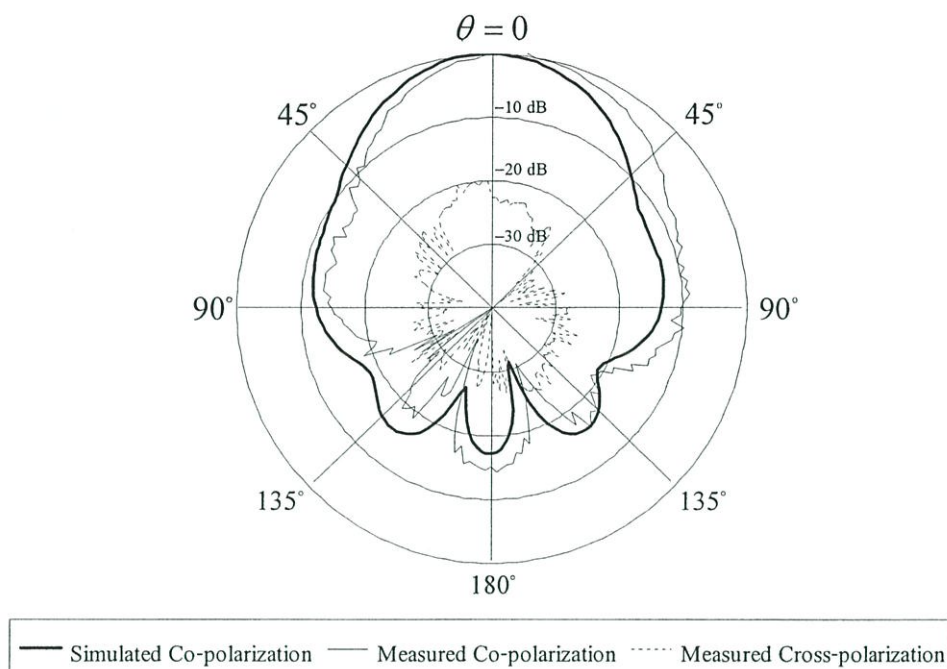
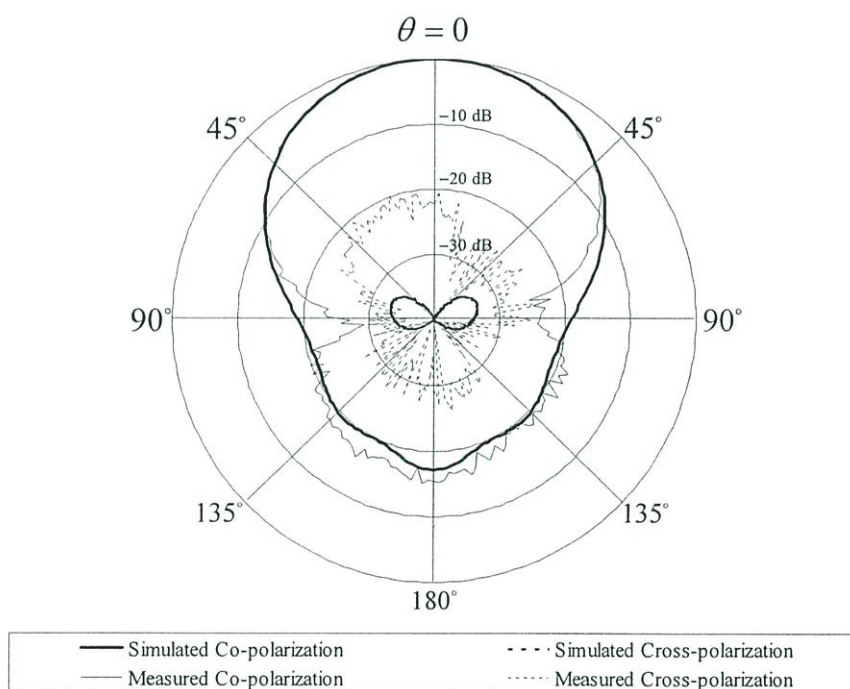
จากรูปที่ 4.10 แสดงโครงสร้างของสายอากาศที่ทำการจำลองแบบ ขนาดของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมแสดงไว้ในตารางที่ 4.2 ประกอบด้วยรัศมีของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้ง a ที่มีขนาดเท่ากับ 30.5 มิลลิเมตร ความสูงของแผ่นทรงกระบอก t ที่มีขนาดเท่ากับ 31 มิลลิเมตร ความสูงของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งด้านที่ถูกลดขนาดลง l มีขนาดเท่ากับ 2 มิลลิเมตร ความยาวสลับ s เท่ากับ 3.6 มิลลิเมตร ความกว้างของแผ่นสตริปโซวี่ w มีขนาดเท่ากับ 16.62 มิลลิเมตรตามการคำนวณค่าอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ 50 โอห์ม ความสูงแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งที่วางอยู่บนเนื้อตัวสะท้อนทรงกระบอก h มีขนาดเท่ากับ 3 มิลลิเมตร และมุมของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งบางส่วนที่ถูกลดขนาด ϕ มีค่าเท่ากับ 45 องศาเมื่ออ้างอิงจากแกน y เพื่อให้โครงสร้างของตัวแพร่กระจายคลื่นแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งมีความสมมาตรกันในแนวแกนสมมาตร x และในแนวแกนสมมาตร y

รูปที่ 4.11 แสดงรูปโครงสร้างของสายอากาศต้นแบบที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการทดสอบยืนยันผลการจำลอง วัสดุที่นำมาสร้างแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งที่ถูกเชื่อมต่อกับแผ่นสตริปโซวี่ที่ฐานนั้นทำจากทองเหลืองหนา 0.2 มิลลิเมตร วางตัวอยู่สูงจากระนาบสะท้อนด้วยความสูง 3 มิลลิเมตรที่ทำจากแผ่นอลูมิเนียม ป้อนสัญญาณด้วยโพรบบริเวณขอบของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเจาะทะลุผ่านแผ่นสะท้อนสี่เหลี่ยมด้วยคอนเนคเตอร์ SMA 50 โอห์ม



รูปที่ 4.12 ผลการจำลองแบบและผลการทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับ

รูปที่ 4.12 แสดงค่าอัตราการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับแผ่นสตริปไลน์ที่ฐานเหนือแผ่นสะท้อนสี่เหลี่ยมที่นำเสนอ จากผลการจำลองแบบพบว่า อัตราการสูญเสียย้อนกลับที่ความถี่ 2.4 GHz มีค่าประมาณ -40 dB และจากการทดสอบสายอากาศต้นแบบ อัตราการสูญเสียย้อนกลับดีที่สุดที่ความถี่ 2.45 GHz ประมาณ -37 dB ช่วงกว้างความถี่ที่ใช้งานจากการจำลองแบบของสายอากาศต้นแบบในกรณีที่ค่าการสูญเสียย้อนกลับมีค่าต่ำกว่า 10 dB มีค่าเท่ากับ 20.83 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ขอบของค่าความถี่ต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 2.22 GHz และที่ขอบค่าความถี่สูงสุดอยู่ที่ 2.7 GHz ช่วงกว้างความถี่ที่ใช้งานจากการทดสอบสายอากาศต้นแบบในกรณีที่ค่าการสูญเสียย้อนกลับมีค่าต่ำกว่า 10 dB มีค่าเท่ากับ 25.39 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ขอบของค่าความถี่ต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 2.20 GHz และที่ขอบค่าความถี่สูงสุดอยู่ที่ 2.84 GHz จากผลการทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศต้นแบบพบว่ามีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดีกับผลการจำลอง ซึ่งค่าช่วงกว้างความถี่จากการทดสอบมีค่ามากกว่าการจำลองแบบเท่ากับ 4.56 เปอร์เซ็นต์

(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า (xz -plane)(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก (yz -plane)

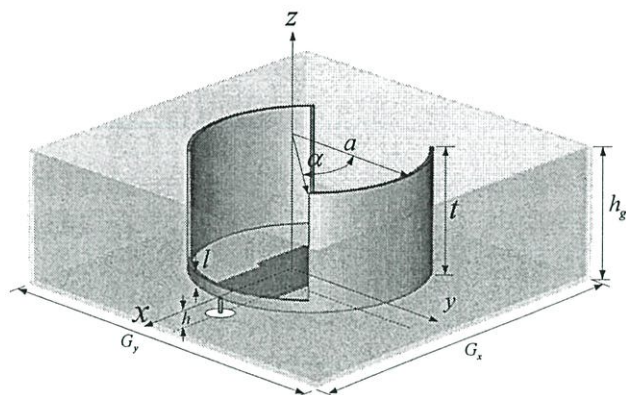
รูปที่ 4.13 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น เส้นทึบหนา คือ โพลาริไรซ์ร่วมจากการจำลองแบบ เส้นประหนา คือ โพลาริไรซ์ไขว้จากการจำลองแบบ เส้นทึบบาง คือ ค่าโพลาริไรซ์ร่วมจากการทดสอบ เส้นประบาง คือ โพลาริไรซ์ไขว้จากการทดสอบ

รูปที่ 4.13 (ก) แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับแผ่นสตริปโซวี่ที่ฐานเหนือแผ่นสะท้อนสี่เหลี่ยม โครงสร้างสายอากาศที่นำเสนอแสดงในตารางที่ 4.1 ลักษณะของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่นำเสนอเป็นแบบทิศทางเดียว ลำคลื่นหลักชี้ไปในทิศทาง $+z$ อัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังในระนาบสนามไฟฟ้าและในระนาบสนามแม่เหล็กจากการจำลองแบบมีค่ามากกว่า 17 dB อัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังจากการทดสอบมีค่ามากกว่า 15 dB จากรูปที่ 4.13 (ก) แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าจากการจำลองแบบและการทดสอบ พบว่ามีค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังเท่ากับ 50 องศา และ 56 องศาตามลำดับ จากรูปที่ 4.13 (ข) แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กจากการจำลองแบบและการทดสอบ พบว่ามีค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังเท่ากับ 68 องศา และ 70 องศาตามลำดับ จากผลการจำลองและผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กเปรียบเทียบกับระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศที่นำเสนอพบที่มีความแตกต่างของค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังเล็กน้อยเนื่องจากจุดป้อนพลังงานของสายอากาศมีตำแหน่งที่ไม่สมมาตรบน โครงสร้างของสายอากาศ ถึงแม้ว่าจะใช้เทคนิคการลดความสูงของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งบางส่วนเพื่อปรับการกระจายของกระแสเชิงผิวและสามารถทำให้ค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังลดลงมากแล้วก็ตาม

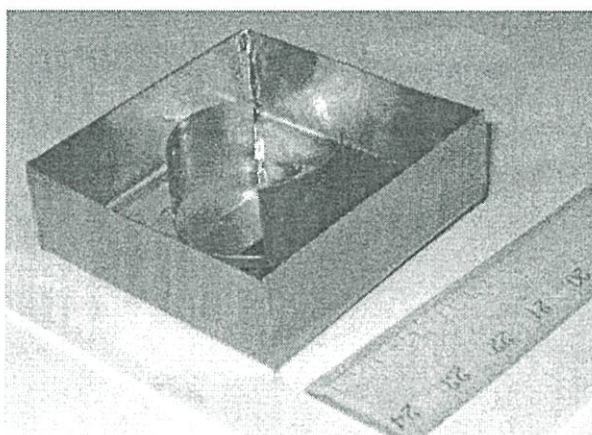
อัตราการขยายของสายอากาศสูงสุดจากการจำลองแบบที่ความถี่ 2.45 GHz ประมาณ 9.5 dBi และอัตราการขยายสูงสุดจากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 8 dBi แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่นำเสนอมีคุณลักษณะที่ดีตลอดช่วงความถี่ ผลการทดสอบสายอากาศที่นำเสนอสอดคล้องกับผลการจำลองแบบเป็นอย่างดี

4.3.3 สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปโซวี่ที่ฐานเหนือตัวสะท้อนทรงสี่เหลี่ยม

จากผลการจำลองและผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กเปรียบเทียบกับระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศที่นำเสนอในหัวข้อที่ 4.3.2 พบว่ามีความแตกต่างของค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง เนื่องจากจุดป้อนพลังงานของสายอากาศมีตำแหน่งที่ไม่สมมาตรบน โครงสร้างของสายอากาศ ถึงแม้ว่าจะใช้เทคนิคการลดความสูงของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งบางส่วนเพื่อปรับการกระจายของกระแสเชิงผิวจะสามารถทำให้ค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังลดลงมากแล้วก็ตาม และจากลักษณะการแพร่กระจายคลื่นด้านหลังของสายอากาศที่มีระดับค่อนข้างสูง ส่งผลทำให้ระบบสื่อสารถูกรบกวนจากสัญญาณรบกวนจากแหล่งการแพร่กระจายคลื่นอื่นๆในช่วงความถี่เดียวกันได้ ดังนั้นระนาบสะท้อนที่มีลักษณะทรงสี่เหลี่ยมจึงถูกวิเคราะห์และสร้างขึ้นเพื่อปรับปรุงอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังของสายอากาศ ดังแสดงผลการทดสอบต่อไปนี้



รูปที่ 4.14 โครงสร้างของสายอากาศ



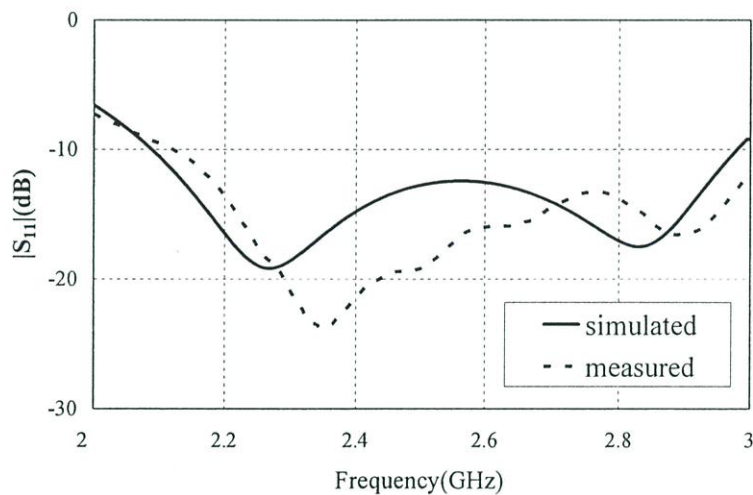
รูปที่ 4.15 โครงสร้างต้นแบบของสายอากาศที่ทำการทดสอบ

ตารางที่ 4.3 ขนาดของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อด้วยสตริปโซวที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยม

พารามิเตอร์	ขนาด(มิลลิเมตร)
a	30.50
t	31.00
l	3.00
s	3.7
w	16.67
h	3.00
G_x	100.00
G_y	100.00
h_z	30.00

จากรูปที่ 4.14 แสดงโครงสร้างของสายอากาศที่ทำการจำลองแบบ ขนาดของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมแสดงไว้ในตารางที่ 4.3 ประกอบด้วยรัศมีของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้ง a ที่มีขนาดเท่ากับ 30.5 มิลลิเมตร ความสูงของแผ่นทรงกระบอก t ที่มีขนาดเท่ากับ 31 มิลลิเมตร ความสูงของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งด้านที่ถูกลดขนาดลง l มีขนาดเท่ากับ 2 มิลลิเมตร ความยาวสลับ s เท่ากับ 3.7 มิลลิเมตร ความกว้างของแผ่นสตริปโซว w มีขนาดเท่ากับ 16.62 มิลลิเมตรตามการคำนวณค่าอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ 50 โอห์ม ที่ความสูงแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งที่วางอยู่เหนือตัวสะท้อนทรงกระบอก h มีขนาดเท่ากับ 3 มิลลิเมตร และมุมของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งบางส่วนที่ถูกลดขนาด ϕ มีค่าเท่ากับ 45 องศาเมื่ออ้างอิงจากแกน y เพื่อให้โครงสร้างของตัวแพร่กระจายคลื่นแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งมีความสมมาตรกันในแนวแกนสมมาตร x และในแนวแกนสมมาตร y

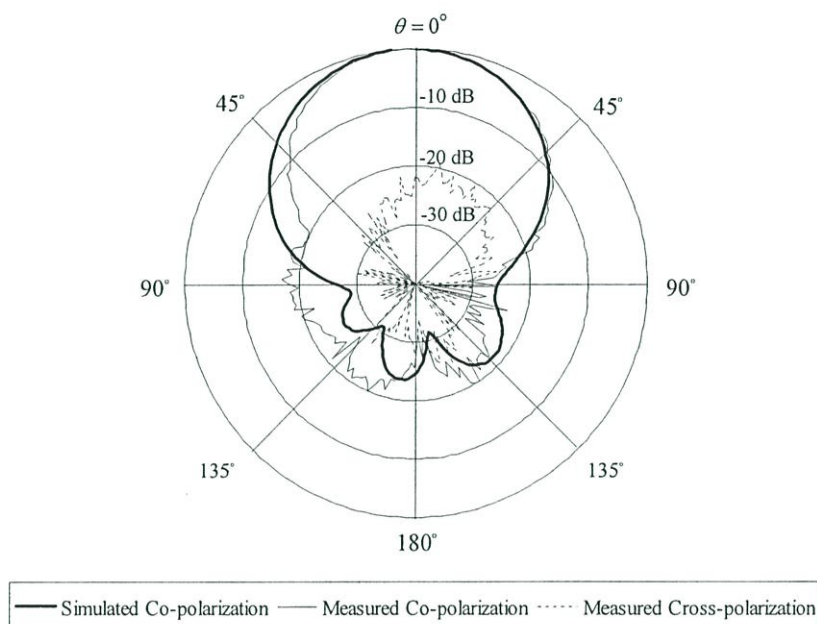
รูปที่ 4.15 แสดงรูปโครงสร้างของสายอากาศต้นแบบที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการทดสอบยืนยันผลการจำลอง วัสดุที่นำมาสร้างแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งที่ถูกเชื่อมต่อกับแผ่นสตริปโซวที่ฐานนั้นทำจากทองเหลืองหนา 0.4 มิลลิเมตร วางตัวอยู่สูงจากระนาบสะท้อนด้วยความสูง 3 มิลลิเมตรที่ทำจากแผ่นอลูมิเนียม ป้อนสัญญาณด้วยโพรบบริเวณขอบของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเจาะทะลุผ่านแผ่นสะท้อนสี่เหลี่ยมด้วยคอนเนคเตอร์ SMA 50 โอห์ม



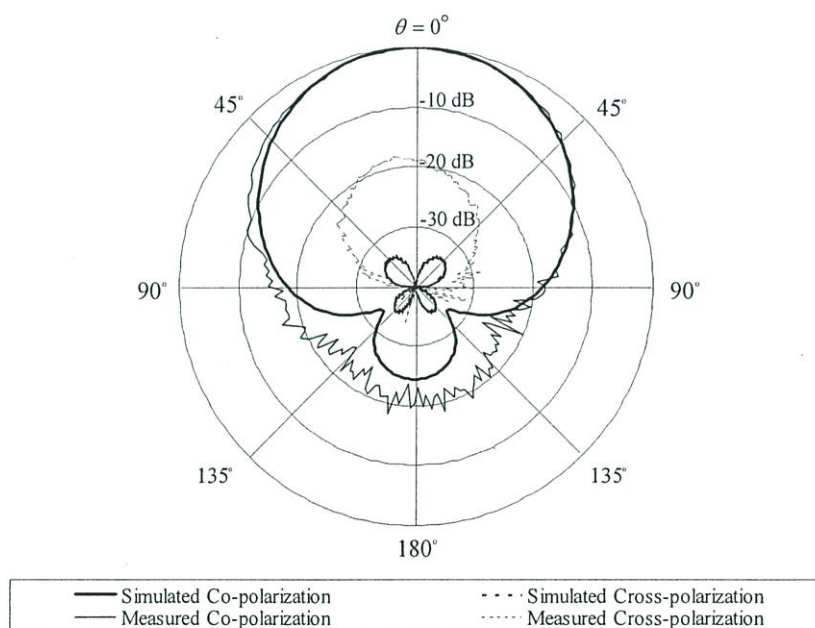
รูปที่ 4.16 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ

รูปที่ 4.16 แสดงค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับแผ่นสตริปโซวที่ฐานเหนือตัวสะท้อนสี่เหลี่ยมที่นำเสนอ จากผลการจำลองแบบพบว่าช่วงกว้างความถี่ที่ใช้งานจากการจำลองแบบของสายอากาศต้นแบบในกรณีที่ค่าการสูญเสียย้อนกลับมีค่าต่ำกว่า 10 dB มีค่าเท่ากับ 32 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งขอบความถี่ต่ำมีค่าเท่ากับ 2.1 GHz และขอบความถี่สูงสุดมีค่าเท่ากับ 2.9 GHz ครอบคลุมช่วงความถี่ที่ใช้งานในระบบโครงข่ายท้องถิ่นได้ สาย ค่าความสูญเสียย้อนกลับต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 29 dB ช่วงกว้างความถี่ที่ใช้งานจากการทดสอบสายอากาศต้นแบบในกรณีที่ค่าการสูญเสียย้อนกลับมีค่าต่ำกว่า 10 dB มีค่าเท่ากับ 37.62 เปอร์เซ็นต์

โดยที่ขอบของค่าความถี่ต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 2.105 GHz และที่ขอบค่าความถี่สูงสุดอยู่ที่ 3 GHz จากผลการทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศต้นแบบพบว่ามีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดีกับผลการจำลอง



(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า (xz -plane)



(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก (yz -plane)

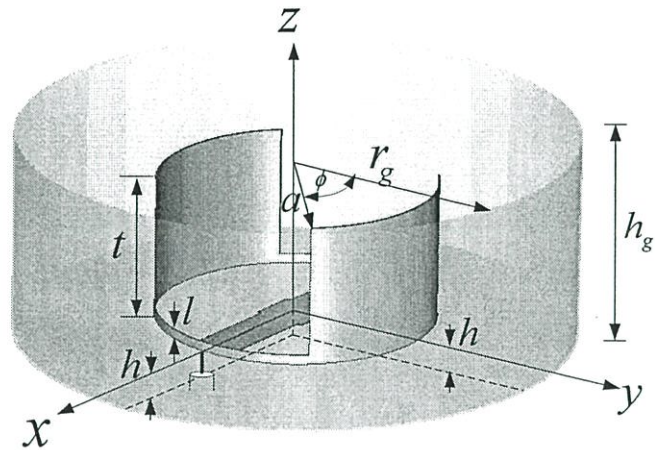
รูปที่ 4.17 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น เส้นทึบหนา คือ โพลาริซั่มร่วมจากการจำลองแบบ เส้นประหนา คือ โพลาริซั่มไขว้จากการจำลองแบบ เส้นทึบบาง คือ ค่าโพลาริซั่มร่วมจากการทดสอบ เส้นประบาง คือ โพลาริซั่มไขว้จากการทดสอบ

ผลการจำลองแบบและผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแสดงในรูปที่ 4.17 (ก) และในรูปที่ 4.17 (ข) ซึ่งเป็นแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าและแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ที่ฐานเหนือตัวสะท้อนทรงสี่เหลี่ยมตามลำดับ ที่มีขนาดตามตารางที่ 4.3 จากแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าที่แสดงในรูปที่ 4.17 (ก) พบว่าค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังขององค์ประกอบของโพลาไรซ์ร่วมในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane co-polarization) จากการจำลองมีค่าความกว้างเท่ากับ 58.8 องศา โดยที่องค์ประกอบของของโพลาไรซ์ไขว้จากการจำลองแบบในระนาบนี้มีค่าน้อยมากซึ่งต่ำกว่า 40 dB จึงไม่สามารถแสดงไว้ในแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นได้ ผลจากการทดสอบพบว่าค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังขององค์ประกอบของโพลาไรซ์ร่วมในระนาบสนามไฟฟ้า ค่าความกว้างเท่ากับ 55 องศา โดยที่องค์ประกอบของของโพลาไรซ์ไขว้จากการทดสอบในระนาบนี้มีค่าน้อยมากซึ่งต่ำกว่า 20 dB

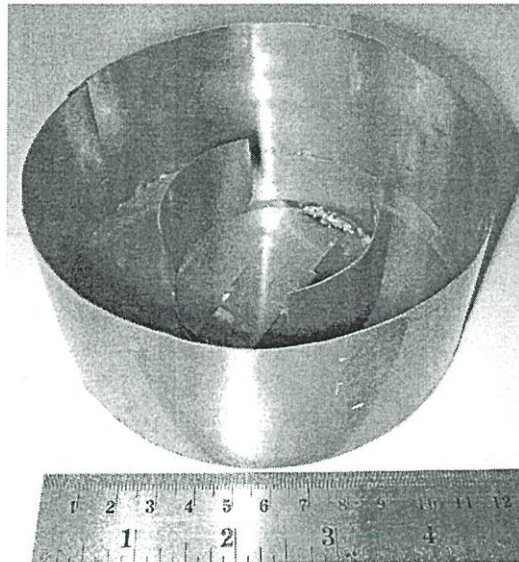
จากแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กที่แสดงในรูปที่ 4.17 (ข) ค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังขององค์ประกอบของโพลาไรซ์ร่วมในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane co-polarization) จากการจำลองมีค่าความกว้างเท่ากับ 65 องศา โดยที่องค์ประกอบของของโพลาไรซ์ไขว้ในระนาบนี้มีค่าน้อยมากประมาณ 35 dB ผลจากการทดสอบพบว่าค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังขององค์ประกอบของโพลาไรซ์ร่วมในระนาบสนามแม่เหล็ก ค่าความกว้างเท่ากับ 67 องศา โดยที่องค์ประกอบของของโพลาไรซ์ไขว้จากการทดสอบในระนาบนี้มีค่าน้อยมากซึ่งต่ำกว่า 18 dB ค่าอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังจากการจำลองในระนาบสนามไฟฟ้าและในระนาบสนามแม่เหล็กมีค่ามากกว่า 25 dB และจากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 20 dB ทำการเปรียบเทียบค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบสนามแม่เหล็กและในระนาบสนามไฟฟ้า พบว่ามีความสมมาตรกันเป็นอย่างดีโดยมีค่าความแตกต่างของค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบสนามแม่เหล็กและในระนาบสนามไฟฟ้าจากการทดสอบประมาณ 12 องศา ซึ่งความกว้างครึ่งกำลังที่มีลักษณะแคบและสมมาตรนี้ส่งผลดีต่อการแพร่กระจายกำลังงานคลื่นและการรับพลังงานคลื่นโดยไม่เป็นการไปรบกวนระบบการสื่อสารของระบบอื่นๆ และอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังที่มีค่ามากส่งผลดีต่อระบบการสื่อสาร โดยการลดระดับสัญญาณรบกวนที่เข้ามาทางด้านหลังของสายอากาศ

4.4 สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ที่ฐานเหนือตัวสะท้อน

ทรงกระบอก



รูปที่ 4.18 โครงสร้างของสายอากาศ

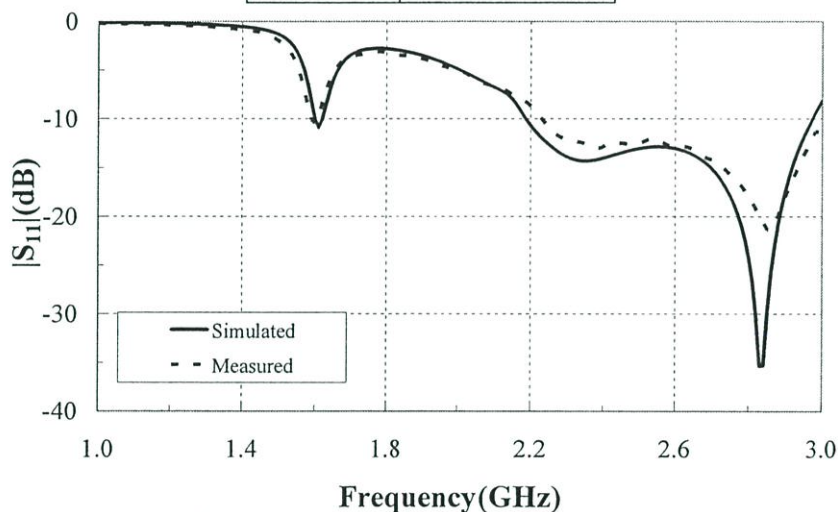


รูปที่ 4.19 โครงสร้างต้นแบบของสายอากาศที่ทำการทดสอบ

พารามิเตอร์ของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ที่ฐานเหนือตัวสะท้อน ประกอบด้วยรัศมีของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้ง a ที่มีขนาดเท่ากับ 30 มิลลิเมตร ความสูงของแผ่นทรงกระบอก t ที่มีขนาดเท่ากับ 30 มิลลิเมตร ความสูงด้านของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งที่ถูกลดขนาด 1 มีขนาดเท่ากับ 2 มิลลิเมตร ความยาวสตริป s มีขนาดเท่ากับ 2 มิลลิเมตร ความกว้างของแผ่นสตริปไลน์ w มีขนาดเท่ากับ 18 มิลลิเมตร ความสูงแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งที่วางอยู่เหนือตัวสะท้อนทรงกระบอก h มีขนาดเท่ากับ 3.5 มิลลิเมตร และมุมของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งบางส่วนที่ถูกลดขนาด ϕ มีค่าเท่ากับ 45 องศาเมื่ออ้างอิงจากแกน y

ตารางที่ 4.3 ขนาดของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ที่ฐานเหนือตัวสะท้อนทรงกระบอก

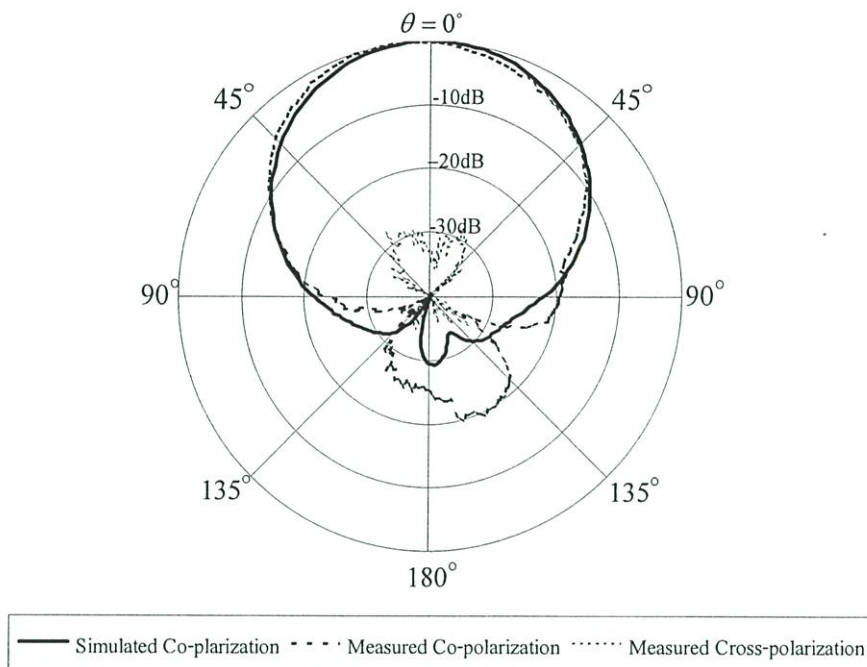
Parameters	Dimension(mm)
a	30.0
t	30.0
l	2.0
s	2.0
w	18.0
h	3.5
r_g	60.0
ϕ	45 Degree
h_g	50.0



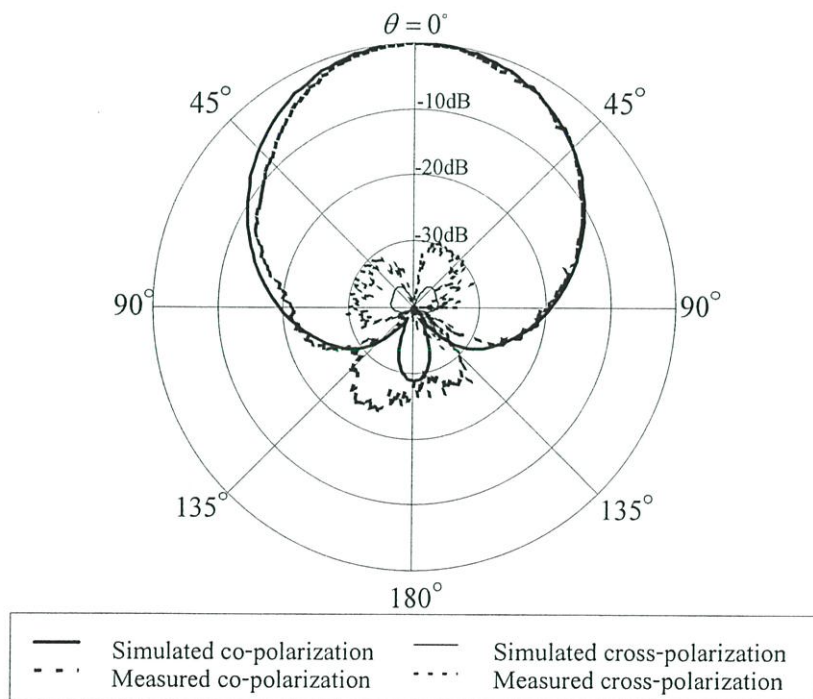
รูปที่ 4.20 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ

รูปที่ 4.20 แสดงค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับแผ่นสตริปไลน์ที่ฐานเหนือตัวสะท้อนทรงกระบอกที่นำเสนอ จากผลการจำลองแบบพบว่าช่วงกว้างความถี่ที่ใช้งานจากการจำลองแบบของสายอากาศต้นแบบในกรณีที่ค่าการสูญเสียย้อนกลับมีค่าต่ำกว่า 10 dB มีค่าเท่ากับ 29.78 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งขอบความถี่ต่ำมีค่าเท่ากับ 2.2 GHz และขอบความถี่สูงสุดมีค่าเท่ากับ 2.97 GHz ครอบคลุมช่วงความถี่ที่ใช้งานในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายตั้งแต่ 2.420GHz ถึง 2.484 GHz ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 ค่าความสูญเสียย้อนกลับต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 35 dB ที่ความถี่ 2.84GHz ช่วงกว้างความถี่ที่ใช้งานจากการทดสอบสายอากาศต้นแบบในกรณีที่ค่าการสูญเสียย้อนกลับมีค่าต่ำกว่า 10 dB มีค่าเท่ากับ 32.60 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ขอบของค่าความถี่ต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 2.23 GHz และที่ขอบค่าความถี่สูงสุดอยู่ที่ 3.10 GHz จากผลการทดสอบ

ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศต้นแบบพบว่ามีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดีกับผลการจำลอง



(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า (xz-plane)



(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก (yz-plane)

รูปที่ 4.21 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น เส้นทึบหนา คือ โพลาริซั่มร่วมจากการจำลองแบบ เส้นประหนา คือ โพลาริซั่มไขว้จากการจำลองแบบ เส้นทึบบาง คือ ค่าโพลาริซั่มร่วมจากการทดสอบ เส้นประบาง คือ โพลาริซั่มไขว้จากการทดสอบ

ผลการจำลองแบบและผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแสดงในรูปที่ 4.21 (ก) และในรูปที่ 4.21 (ข) ซึ่งเป็นแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าและแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ที่ฐานเหนือตัวสะท้อนทรงกระบอกตามลำดับ ที่มีขนาดตามตารางที่ 4.4 จากแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าที่แสดงในรูปที่ 4.21 (ก) พบว่าค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังขององค์ประกอบของโพลาริซั่วมร่วมในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane co-polarization) จากการจำลองมีค่าความกว้างเท่ากับ 60 องศา โดยที่องค์ประกอบของของโพลาริซั่วมร่วมจากการจำลองแบบในระนาบนี้มีค่าน้อยมากซึ่งต่ำกว่า 40 dB จึงไม่สามารถแสดงไว้ในแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นได้ ผลจากการทดสอบพบว่าค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังขององค์ประกอบของโพลาริซั่วมร่วมในระนาบสนามไฟฟ้า ค่าความกว้างเท่ากับ 56 องศา โดยที่องค์ประกอบของของโพลาริซั่วมร่วมจากการทดสอบในระนาบนี้มีค่าน้อยมากซึ่งต่ำกว่า 28 dB

จากแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กที่แสดงในรูปที่ 4.21 (ข) ค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังขององค์ประกอบของโพลาริซั่วมร่วมในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane co-polarization) จากการจำลองมีค่าความกว้างเท่ากับ 61.5 องศา โดยที่องค์ประกอบของของโพลาริซั่วมร่วมในระนาบนี้มีค่าน้อยมากประมาณ 35 dB ผลจากการทดสอบพบว่าค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังขององค์ประกอบของโพลาริซั่วมร่วมในระนาบสนามแม่เหล็ก มีค่าความกว้างเท่ากับ 58 องศา โดยที่องค์ประกอบของของโพลาริซั่วมร่วมจากการทดสอบในระนาบนี้มีค่าน้อยมากซึ่งต่ำกว่า 29 dB ค่าอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังจากการจำลองในระนาบสนามไฟฟ้าและในระนาบสนามแม่เหล็กมีค่ามากกว่า 29 dB และจากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 25 dB ทำการเปรียบเทียบค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบสนามแม่เหล็กและในระนาบสนามไฟฟ้า พบว่ามีความสมมาตรกันเป็นอย่างดีโดยมีค่าความแตกต่างของค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบสนามแม่เหล็กและในระนาบสนามไฟฟ้าจากการทดสอบประมาณ 2 องศา ซึ่งความกว้างครึ่งกำลังที่มีลักษณะแคบและสมมาตรนี้ส่งผลดีต่อการแพร่กระจายกำลังงานคลื่นและการรับพลังงานคลื่นโดยไม่เป็นการไปรบกวนระบบการสื่อสารของระบบอื่นๆ และอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังที่มีค่ามากส่งผลดีต่อระบบการสื่อสาร โดยการลดระดับสัญญาณรบกวนที่เข้ามาทางด้านหลังของสายอากาศ

4.4 บทสรุป

ในบทนี้กล่าวถึงผลการทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อด้วยสตริปโซวี่ที่ฐานเหนือตัวสะท้อนที่มีรูปแบบต่างกันทั้งหมด 4 โครงสร้างซึ่งประกอบไปด้วย

1. สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อด้วยสตริปโซวี่ที่ฐานเหนือแผ่นระนาบสะท้อนวงกลม
2. สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อด้วยสตริปโซวี่ที่ฐานเหนือแผ่นระนาบสะท้อนสี่เหลี่ยม
3. สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อด้วยสตริปโซวี่ที่ฐานเหนือตัวสะท้อนทรงสี่เหลี่ยม
4. สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อด้วยสตริปโซวี่ที่ฐานเหนือตัวสะท้อนทรงกระบอก

โดยทำการทดสอบคุณสมบัติการตอบสนองทางความถี่สายอากาศผ่านทางพารามิเตอร์การสะท้อน $|S_{11}|$ ในหน่วยของเดซิเบล ทำการทดสอบอัตราขยายของสายอากาศและแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นและนำผลการทดสอบที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการจำลอง ผลการทดสอบและผลการจำลองแบบสายอากาศแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.4 สรุปผลการทดสอบสายอากาศ

สายอากาศ	ช่วงกว้างความถี่ (เปอร์เซ็นต์)	ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (ระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก (องศา))	อัตราขยายสัมบูรณ์ (dBi)	อัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลัง (dB)	โพลาไรซ์โซวี่ (dB)
สายอากาศหมายเลข 1	25.71	46/56	9	11	-20
สายอากาศหมายเลข 2	25.39	56/70	8	15	-20
สายอากาศหมายเลข 3	37.62	55/67	9	25	-20
สายอากาศหมายเลข 4	32.60	56/58	9.7	26	-30

ผลการทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสายสตริปโซวี่ที่ฐานเหนือตัวสะท้อนที่มีรูปแบบต่างกันทั้งหมด 4 โครงสร้าง เปรียบเทียบกับผลการจำลองแบบพบว่ามีค่าสอดคล้องกันเป็นอย่างดี

ผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสายสตริปโซวี่ที่ฐานเหนือตัวสะท้อนที่มีรูปแบบต่างกันทั้งหมด 4 โครงสร้าง เปรียบเทียบกับผลการจำลองแบบพบว่ามีค่าสอดคล้องกันเป็นอย่างดี รูปแบบโพลาไรซ์โซวี่ในระนาบสนามแม่เหล็กจากการทดสอบพบว่ามีค่ามากกว่าการจำลองแบบเนื่องจากการสร้างอาจมีข้อผิดพลาดซึ่งทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนของขนาดและรูปทรงได้ สภาวะแวดล้อมในทดสอบอาจเกิดการสะท้อนของคลื่นที่มีองค์ประกอบอื่นเข้ามายังสายอากาศมากกว่าในสภาวะการจำลองแบบมาก และองค์ประกอบในการจัดวางสายอากาศเชิงเส้นมาตรฐานอาจเกิดการคลาดเคลื่อนทำให้ระดับโพลาไรซ์โซวี่มีค่ามากได้เช่นกัน

ผลการทดสอบค่าอัตราขยายของสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสายสตริปโซวี่ที่ฐานเหนือตัวสะท้อนที่มีรูปแบบต่างกันทั้งหมด 4 โครงสร้าง เปรียบเทียบกับผลการจำลองแบบพบว่ามีค่าสอดคล้องกันเป็นอย่างดี โดยค่าอัตราขยายของสายอากาศที่ทำการทดสอบเป็นค่าอัตราขยายสัมบูรณ์ของสายอากาศที่คำนึงถึงค่าการสะท้อนของสายอากาศและรวมผลของค่าการสูญเสียของสายอากาศ ซึ่งอาจมีค่าน้อยกว่าการจำลองแบบ

บทที่ 5

การประเมินสมรรถนะและการประยุกต์ใช้งาน

5.1 บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึงการประเมินสมรรถนะและการนำสายอากาศที่ทำการออกแบบและจัดสร้างขึ้นมาทำการทดสอบใช้งานจริงกับระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area Network Systems) ตามมาตรฐาน IEEE 802.11g ทำงานที่ความถี่ 2.45 GHz ซึ่งตามมาตรฐานแล้วอัตราการส่งผ่านข้อมูลสูงสุดมีค่าประมาณ 22 Mbps สำหรับในการใช้งานจริงนั้นประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายจะขึ้นอยู่กับจำนวนลูกข่ายในเครือข่ายเป็นสำคัญเนื่องจากเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายมีการใช้ความถี่ร่วมกันถ้าจำนวนเครื่องในเครือข่ายมีมากประสิทธิภาพของเครือข่ายจะลดลง และนอกจากจำนวนเครื่องในเครือข่ายแล้วระยะในการสื่อสารก็มีผลต่อประสิทธิภาพของโครงข่ายเช่นกันซึ่งระยะการส่งสัญญาณโดยทั่วไป อุปกรณ์ส่งสัญญาณในระบบโครงข่ายไร้สายมีระยะการส่งสัญญาณ สูงสุดถึง 150 เมตร หรืออาจจะมากกว่าในที่โล่ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในที่นั้นๆด้วย ซึ่งสามารถเกิดการรบกวนจากคลื่นวิทยุ หรือเกิดจากการลดทอนจากสภาพแวดล้อม ซึ่งมีผลต่อระดับสัญญาณที่ได้รับได้ ระยะการส่งสัญญาณก็อาจจะสั้นลงได้ แต่โดยทั่วไปแล้ว ในระยะรัศมี 5 ถึง 10 เมตรระบบโครงข่ายไร้สายทั่วไปจะยังคงใช้งานอยู่ได้ปกติ สาเหตุที่อัตราการส่งผ่านข้อมูลไม่เป็นไปตามมาตรฐาน เนื่องจากในการรับและการส่งสัญญาณของระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายนั้นจะใช้ความถี่เดียวกัน ซึ่งอุปกรณ์ทุกๆตัวไม่ว่าจะเป็นสถานีกระจายสัญญาณหรืออุปกรณ์อื่นๆ ก็จะรับส่งข้อมูลที่ความถี่นี้ และจะต้องผลัดกันรับ-ส่งข้อมูลไม่สามารถส่งข้อมูลพร้อมกันได้ ไม่เช่นนั้นจะเกิดข้อมูลชนกันในอากาศ

พารามิเตอร์ที่ใช้อธิบายคุณภาพของระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายนั้นมีอยู่ 4 พารามิเตอร์ด้วยกันนั้นคือ

1. ระยะเวลาในการส่งผ่านข้อมูล (Latency)
2. อัตราการส่งผ่านข้อมูล (Throughput)
3. การใช้ประโยชน์ (Utilization)
4. ประสิทธิภาพ (Efficiency)

สำหรับระบบที่มีคุณภาพสูงนั้นต้องมีระยะเวลาในการส่งผ่านข้อมูลที่น้อย ส่วนอีก 3 พารามิเตอร์คือ อัตราการส่งผ่านข้อมูล การใช้ประโยชน์ และ ประสิทธิภาพ ควรให้มีความมากที่สุด ในทางการคำนวณแล้วระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายสามารถส่งข้อมูลได้ด้วยอัตราที่สูงแต่ในการติดตั้งจริงไม่สามารถเป็นเช่นนั้นได้ เพราะค่าพารามิเตอร์ต่างๆอาจลดลงหากอีกถ้าค่าพารามิเตอร์อื่นๆมีค่าเพิ่มขึ้น และอาจจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา การจัดเรียงของข้อมูล และอีกหลายๆ เหตุผลจากสิ่งแวดล้อมต่างๆ สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่ถูกคำนึงถึงเป็นอันดับต้นๆก็คือค่าพารามิเตอร์

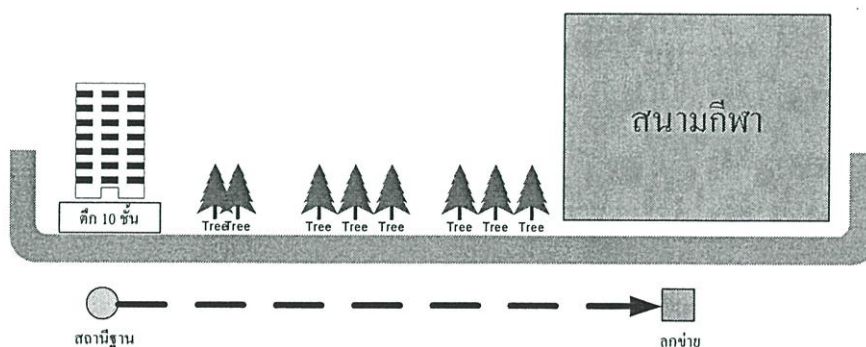
ระยะเวลาในการส่งผ่านข้อมูล และอัตราการส่งผ่านข้อมูล ซึ่งค่าพารามิเตอร์ระยะเวลาในการส่งผ่านข้อมูลคือ ระยะเวลาในการรอคอยระหว่าง การส่งคำขอและรอรับการตอบสนอง (request และ response) โดยมีหน่วยเป็นเวลา เช่น วินาทีสำหรับค่าพารามิเตอร์อัตราการส่งผ่านข้อมูล (Throughput) คือ จำนวนของข้อมูลที่ถูกรับการคำนวณต่อหนึ่งหน่วยเวลา เช่น bps (bit per second) MIPS (million instructions per second) ซึ่งเรียกโดยรวมว่าแบนวิดท์ จะสังเกตเห็นได้ว่า ระยะเวลาในการส่งผ่านข้อมูล คือ ค่ากลับของอัตราการส่งผ่านข้อมูล ในทางการปฏิบัติจะทำการทดสอบประสิทธิภาพของโครงข่ายผ่านพารามิเตอร์อัตราการส่งผ่านข้อมูล เป็นหลัก

สำหรับการขยายระยะทางในการสื่อสารของระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายนั้นสามารถทำได้โดยการใช้สายอากาศที่มีอัตราการขยายสูงเพื่อเพิ่มระดับความแรงของสัญญาณให้สูงขึ้น ทำให้ค่าพารามิเตอร์อัตราการส่งผ่านข้อมูล เพิ่มมากขึ้น

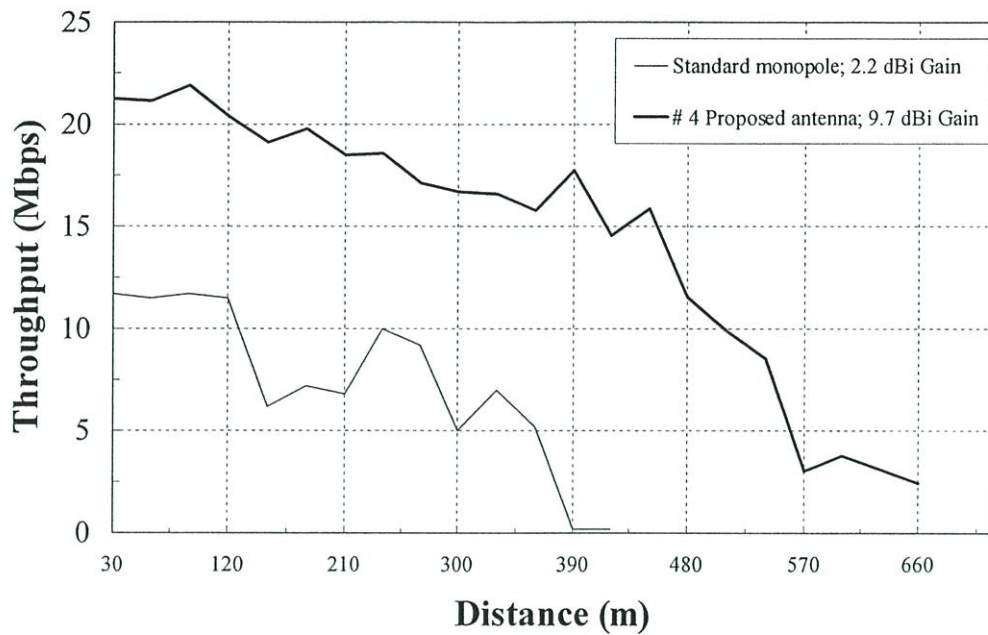
ดังนั้นจึงได้ทำการทดสอบค่าพารามิเตอร์อัตราการส่งผ่านข้อมูล ร่วมกับการใช้สายอากาศที่นำเสนอเพื่อยืนยันสมรรถนะของสายอากาศ

5.2 การทดสอบสมรรถนะในการใช้งานจริง

ในการทดสอบใช้งานจริงจะทำการทดสอบสายอากาศแบบที่ 4 เป็นตัวอย่างในการทดสอบคือสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อด้วยสตริปโซวี่ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนทรงกระบอก ซึ่งเป็นสายอากาศที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ดี ทำการทดสอบโดยการติดตั้งสายอากาศที่นำเสนอเข้ากับตัวกระจายสัญญาณ (Access Point) ในระบบ Wireless LAN ตามมาตรฐาน IEEE 802.11g ในย่านความถี่ 2.45 GHz และใช้คอมพิวเตอร์แบบพกพาในการทดสอบอัตราการส่งผ่านข้อมูลที่เปลี่ยนไปตามระยะทาง โดยสายอากาศรับเป็นสายอากาศที่อยู่ในตัวของคอมพิวเตอร์แบบพกพาดังแสดงในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 สภาพแวดล้อมในการทดสอบ



รูปที่ 5.2 ผลการทดสอบค่าอัตราการส่งผ่านข้อมูล (Throughput)

จากรูปที่ 5.2 ผลการทดสอบค่าอัตราการส่งผ่านข้อมูล ของสายอากาศแผ่นทรงกระบอก แนวตั้งเชื่อมต่อกับสายสกริปโซวี่ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนทรงกระบอกโดยทำการทดสอบด้วยระยะทางรวมทั้งหมด 660 เมตร เพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราการส่งผ่านข้อมูลอย่างชัดเจน โดยทำการทดสอบที่ระยะต่างๆ มีค่าเท่ากับ 30 เมตร จากการทดสอบที่ระยะทาง 30 เมตรเปรียบเทียบระหว่างสายอากาศมาตรฐานแบบไดโพลกับสายอากาศที่นำเสนอพบว่า สายอากาศที่นำเสนอให้ค่าอัตราการส่งผ่านข้อมูลที่สูงกว่าสายอากาศไดโพลมาตรฐาน โดยสายอากาศที่นำเสนอให้ค่าอัตราการส่งผ่านข้อมูลเท่ากับ 21 Mbps สายอากาศไดโพลมาตรฐานให้ค่าอัตราการส่งผ่านข้อมูลเท่ากับ 12 Mbps โดยที่ในระยะทางใกล้ๆ กับตัวกระจายสัญญาณ (Access Point) สายอากาศไดโพลมาตรฐานให้ค่าอัตราการส่งผ่านข้อมูลใกล้เคียงกับสายอากาศที่นำเสนอเนื่องจากในระยะทางสั้นๆ ค่าระดับสัญญาณที่รับได้มีค่ามาก

5.3 บทสรุป

ในบทนี้กล่าวถึงการประเมินสมรรถนะและการนำสายอากาศที่ทำการออกแบบในการใช้งานจริงกับระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area Network Systems) สำหรับในการใช้งานจริงนั้นประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายนอกจากจะขึ้นอยู่กับจำนวนลูกข่ายในเครือข่ายแล้ว ผลการทดสอบยังแสดงให้เห็นระดับของสัญญาณที่รับได้ยังมีผลต่ออัตราการส่งผ่านข้อมูล ด้วยเนื่องจากสายอากาศที่นำเสนอมีค่าอัตราการขยายที่มากกว่าสายอากาศไดโพลมาตรฐาน ซึ่งไดโพลมาตรฐานมีค่าอัตราการขยายเท่ากับ 2.2 dBi และสายอากาศที่นำเสนอมีค่า

อัตราขยายเท่ากับ 9.7 dBi ดังนั้นสายอากาศที่มีอัตราขยายสูงสามารถเพิ่มระยะทางในการสื่อสารของระบบท้องถิ่นไร้สายให้เพิ่มมากขึ้นได้ โดยที่ค่าระดับสัญญาณที่ระยะทางต่างๆ มีค่าสูงพอที่ทำให้อัตราการส่งผ่านข้อมูลเพียงพอต่อความต้องการ จากผลการทดสอบพบว่าที่อัตราการส่งผ่านข้อมูลที่มีค่ามากกว่า 15 Mbps ได้ระยะทางในการสูงสุดถึง 420 เมตร

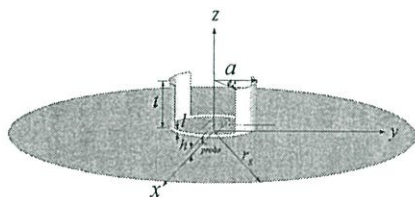
บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

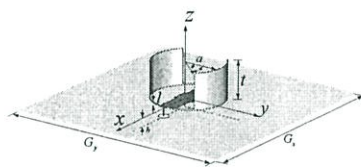
6.1 บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึงการสรุปเนื้อหาโดยรวม ข้อเสนอแนะ การสร้างสายอากาศ และทดสอบสายอากาศ โดยวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการวิเคราะห์และทดสอบสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเหนือระนาบสะท้อน ในการวิจัยเริ่มต้นโดยการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่มีมาก่อน จากนั้นทำการวิเคราะห์สายอากาศโดยการจำลองแบบด้วยโปรแกรม CST (Microwave Studio) นำผลการจำลองที่ได้มาวิเคราะห์ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของสายอากาศเพื่อให้มีสมรรถนะที่ดีที่สุดตามจุดประสงค์ หลังจากนั้นทำการสร้างสายอากาศและทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลการจำลองแบบของสายอากาศ

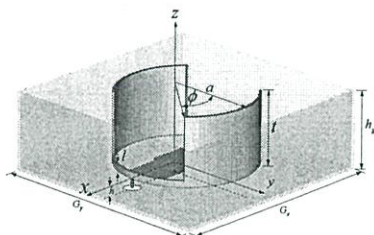
6.2 สรุปผลการวิจัย



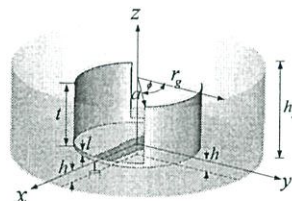
(ก) ระนาบสะท้อนแผ่นวงกลม



(ข) ระนาบสะท้อนแผ่นสี่เหลี่ยม



(ค) ระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยม



(ง) ระนาบสะท้อนทรงกระบอก

รูปที่ 6.1 โครงสร้างของสายอากาศสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อน (ก) ระนาบสะท้อนแผ่นวงกลม (ข) ระนาบสะท้อนแผ่นสี่เหลี่ยม (ค) ระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยม (ง) ระนาบสะท้อนทรงกระบอก

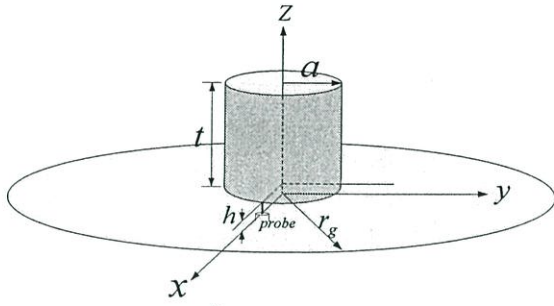
ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการออกแบบ วิเคราะห์ ปรับปรุงและทดสอบสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเหนือระนาบสะท้อนซึ่งประกอบไปด้วย 1. สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนแผ่นวงกลม 2. สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนแผ่นสี่เหลี่ยม 3. สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปไลน์ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยม 4.

สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปโซวี่ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนทรงกระบอก ดังแสดงในรูปที่ 6.1

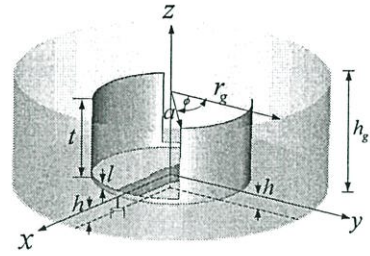
วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้เพื่อพัฒนาสายอากาศแบบใหม่ที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นทิศทางเดียวสำหรับสถานีฐานของระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย ที่ทำงานในย่านความถี่ 2.45 GHz สำหรับการประยุกต์ใช้งานในการสื่อสารแบบจุดต่อจุด ในรูปแบบของสถานีฐานกระจายสัญญาณ และสถานีทวนสัญญาณที่ต้องการสายอากาศที่มีสมรรถนะสูง สายอากาศที่นำเสนอขึ้นนี้ ได้ทำการพัฒนามาจากสายอากาศแผ่นวงกลมแนวตั้ง (Vertical patch antenna) ซึ่งให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางเดียว แต่สายอากาศชนิดนี้มีคุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่นที่ไม่เหมาะสม เช่น อัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังที่ต่ำ ความไม่สมมาตรของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้ากับระนาบสนามแม่เหล็ก ระดับของโพลาริซัซโซวี่ที่สูง และอัตราขยายที่ต่ำ ดังนั้นในการพัฒนาสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเหนือระนาบสะท้อนจึงใช้เทคนิคดังต่อไปนี้ในการปรับปรุงสายอากาศแบบดั้งเดิม

1. ลดความสูงของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งบางส่วน
2. เชื่อมต่อกับสตริปโซวี่ที่ฐานของแผ่นทรงกระบอก
3. รูปทรงของระนาบสะท้อนที่เหมาะสม

สำหรับเทคนิคที่ 1 การลดความสูงของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งบางส่วนนั้นสามารถปรับความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบสนามไฟฟ้าที่กว้างมากกว่าในระนาบสนามแม่เหล็กได้ สาเหตุของความไม่สมมาตรของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นนั้นเนื่องจากสายอากาศมีจุดป้อนที่ไม่สมมาตรทำให้กระแสพื้นผิวแรงบริเวณขอบของตัวแพร่กระจายคลื่นที่จุดป้อน ส่งผลต่อรูปแบบของสนามไฟฟ้าที่ไม่สมมาตร สำหรับเทคนิคที่ 2 การเชื่อมต่อกับสตริปโซวี่ที่ฐานของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งนั้นสามารถลดระดับของโพลาริซัซโซวี่ของสายอากาศลงได้ ระดับโพลาริซัซโซวี่ของสายอากาศที่สูงในสายอากาศแบบดั้งเดิมนั้นเนื่องมาจากองค์ประกอบของกระแสพื้นผิวมีหลายองค์ประกอบทำให้เกิดองค์ประกอบของสนามไฟฟ้าในหลายองค์ประกอบทำให้ระดับโพลาริซัซโซวี่สูงขึ้น การเชื่อมต่อกับสตริปโซวี่ที่ฐานของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งนั้นสามารถปรับทิศทางการกระจายตัวของกระแสพื้นผิวบนสายอากาศให้ไหลในทิศทางตามยาวของแผ่นสตริป (ในทิศทาง y) ได้ ทำให้องค์ประกอบของสนามไฟฟ้ามีมากในทิศทางตามยาวของแผ่นสตริปมากกว่าองค์ประกอบของสนามไฟฟ้าในแนวแกน x โพลาริซัซโซวี่ของสายอากาศจึงมีระดับที่ลดต่ำลง สำหรับเทคนิคที่ 3 การวิเคราะห์รูปทรงของระนาบสะท้อนที่เหมาะสมสามารถเพิ่มอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่ออัตราส่วนลำคลื่นด้านหลังของสายอากาศได้ โดยระนาบสะท้อนที่เหมาะสมประกอบด้วยระนาบสะท้อนทรงสี่เหลี่ยมและระนาบสะท้อนทรงกระบอกดังแสดงเปรียบเทียบองค์ประกอบของสนามไฟฟ้าของสายอากาศแผ่นวงกลมแนวตั้งแบบดั้งเดิมกับสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปโซวี่ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนทรงกระบอกในรูปที่ 6.2

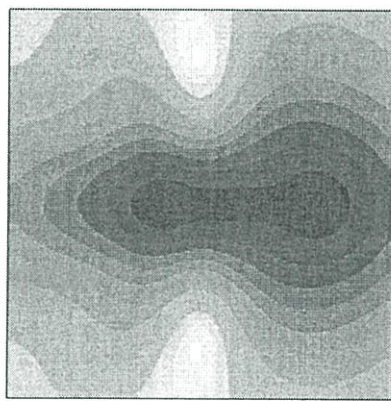


(ก) สายอากาศดั้งเดิม

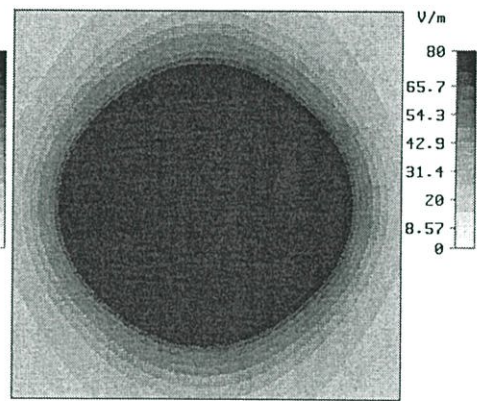


(ข) สายอากาศที่นำเสนอ

รูปที่ 6.2 (ก) สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งแบบดั้งเดิม (ข) สายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปโซวที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนทรงกระบอก

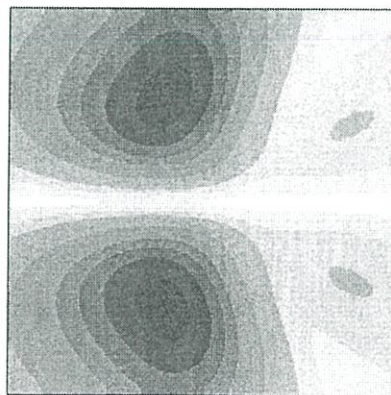


(ก) สายอากาศต้นแบบ

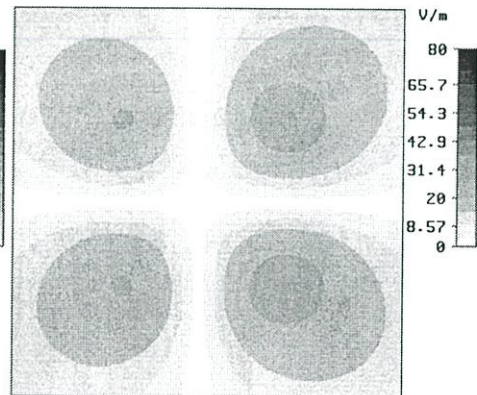


(ข) สายอากาศที่นำเสนอ

รูปที่ 6.3 องค์ประกอบของสนามไฟฟ้าในทิศทางตามแกน x



(ก) สายอากาศต้นแบบ



(ข) สายอากาศที่นำเสนอ

รูปที่ 6.4 องค์ประกอบของสนามไฟฟ้าในทิศทางตามแกน y

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของสนามไฟฟ้าในสายอากาศแผ่นวงกลมแนวตั้งแบบดั้งเดิมในรูปที่ 6.2 (ก) เปรียบเทียบกับสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปโซวี่ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนทรงกระบอกที่นำเสนอในรูปที่ 6.2 (ข) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของสนามไฟฟ้าในทิศทางตามแกน x ที่ระนาบ xy ค่าระยะ z เท่ากับระยะสูงสุดของโดเมนที่ทำการคำนวณ พบว่าการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าในองค์ประกอบนี้ของสายอากาศที่นำเสนอมีความแรงของค่าสนามมากกว่าในสายอากาศแบบดั้งเดิม ซึ่งสนามในองค์ประกอบนี้เป็นองค์ประกอบหลักของสายอากาศเมื่อพิจารณาที่เวลาเปลี่ยนไปพบว่าการเปลี่ยนแปลงทิศทางของสนามไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงในทิศทาง $\pm x$ ซึ่งในที่นี้ไม่ได้แสดงทิศทางของสนามไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของสนามไฟฟ้าในสายอากาศแผ่นวงกลมแนวตั้งแบบดั้งเดิมในรูปที่ 6.3 (ก) เปรียบเทียบกับสายอากาศแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเชื่อมต่อกับสตริปโซวี่ที่ฐานเหนือระนาบสะท้อนทรงกระบอกที่นำเสนอในรูปที่ 6.3 (ข) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของสนามไฟฟ้าในทิศทางตามแกน y พบว่าการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าในองค์ประกอบนี้ของสายอากาศที่นำเสนอมีความแรงน้อยกว่าในสายอากาศแบบดั้งเดิมมาก ซึ่งสนามในองค์ประกอบนี้เป็นองค์ประกอบของที่ทำให้เกิดโพลาริซัซโซวี่ในสายอากาศ ดังนั้นการเชื่อมต่อกับสตริปโซวี่ที่ฐานและการลดความสูงของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งบางส่วนสามารถปรับทิศทางการไหลของกระแสพื้นผิวของสายอากาศแบบดั้งเดิมให้ไหลในทิศทางตามแนวยาวของแผ่นสตริปได้ ผลการทดสอบสมรรถนะของสายอากาศดังแสดงในตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ผลการทดสอบสมรรถนะของสายอากาศ

สายอากาศ	ช่วงกว้างความถี่ (เปอร์เซ็นต์)	ความกว้างลำคลื่นครั้งกำลัง (ระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก) (องศา)	อัตราขยายสัมบูรณ์ (dBi)	อัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลัง (dB)	โพลาริซัซโซวี่ (dB)
สายอากาศหมายเลข 1	25.71	46/56	9	11	-20
สายอากาศหมายเลข 2	25.39	56/70	8	15	-20
สายอากาศหมายเลข 3	37.62	55/67	9	25	-20
สายอากาศหมายเลข 4	32.60	56/58	9.7	26	-30

ในการศึกษาพารามิเตอร์ของสายอากาศทำโดยพิจารณาค่าพารามิเตอร์การสะท้อน $|S_{11}|$ ในหน่วยของเดซิเบล อัตราขยายของสายอากาศและแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น พบว่าพารามิเตอร์ a รัศมีของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งเป็นพารามิเตอร์ที่ควบคุมค่าความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศ พารามิเตอร์ r และพารามิเตอร์ l มีผลต่อแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ ทำให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นมีความสมมาตรระหว่างระนาบสนามไฟฟ้าและในระนาบสนามแม่เหล็ก พารามิเตอร์ h มีผลต่อค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ รวมทั้งเทคนิคการเชื่อมต่อด้วยสตริปโซวี่ที่ฐานของแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งสามารถปรับทิศทางการไหลของกระแสบนพื้นผิวของสายอากาศให้มีการแพร่กระจายไปในทิศทางเดียวกันส่งผลต่อระดับโพลาริเซชันโซวี่ของสายอากาศที่ลดลงอย่างมาก

การนำสายอากาศที่ทำการออกแบบไปใช้งานจริงกับระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area Network Systems) ผลการทดสอบอัตราการส่งผ่านข้อมูล (Throughput) จากสายอากาศที่นำเสนอซึ่งมีค่าอัตราการขยายที่มากกว่าสายอากาศไดโพลมาตรฐานนั้น สามารถเพิ่มระยะทางในการสื่อสารของระบบท้องถิ่นไร้สายให้เพิ่มมากขึ้นได้ จากผลการทดสอบพบว่าที่อัตราการส่งผ่านข้อมูลที่มีค่ามากกว่า 15 Mbps ได้ระยะทางในการสูงสุดถึง 420 เมตร และที่ระยะทางสูงสุดในการทดสอบที่ระยะ 660 เมตร ค่าอัตราการส่งผ่านข้อมูลมีค่าประมาณ 3 Mbps จากการทดสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าและการทำงานจริงของสายอากาศแสดงให้เห็นว่าสายอากาศที่นำเสนอมีคุณลักษณะที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานในระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ทั้งในการใช้งานแบบจุดต่อจุด และจุดกระจายสัญญาณ

6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

1. สำหรับการใช้งานที่ต้องการอัตราการขยายของสายอากาศที่สูงกว่าสายอากาศต้นแบบที่ทำการจัดสร้างทดสอบเพื่อยืนยันผลการจำลองนั้น สามารถเลือกขนาดของระนาบสะท้อนได้ในบทที่ 3 หรืออาจทำการวิเคราะห์โดยเพิ่มระนาบสะท้อนแบบต่างๆเพิ่มเข้ามา ซึ่งจะสามารถเพิ่มอัตราการขยายของสายอากาศได้
2. สายอากาศที่นำเสนอนี้อาจพัฒนาให้เป็นสายอากาศที่ทำงานในสองย่านความถี่ได้โดยการใช้ตัวแพร่กระจายคลื่นหรือแผ่นทรงกระบอกแนวตั้งสองตัวทำงานร่วมกัน โดยที่มีค่าความถี่เรโซแนนซ์ที่ต่างกัน โดยการส่งผ่านพลังงานให้กับตัวแพร่กระจายคลื่นอย่างเหมาะสม
3. สายอากาศที่นำเสนอนี้อาจพัฒนาให้เป็นสายอากาศที่มีโพลาริเซชันแบบวงกลม (Circular-polarization) ได้โดยการใช้เทคนิคเชื่อมต่อด้วยแผ่นสตริปแบบสมมาตรในแนวเฉียง 45 องศาของตัวแพร่กระจายคลื่นซึ่งเป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมในการออกแบบสายอากาศ การใช้เทคนิคเชื่อมต่อด้วยแผ่นสตริปแบบสมมาตรในแนวเฉียง 45 องศาอาจส่งผลต่อทางการ

กระจายตัวของกระแสพื้นผิว ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าในสององค์ประกอบที่เฟสต่างกัน 90 องศา และอาจทำให้เกิด โพลาริซวงกลมขึ้นได้

4. เมื่อต้องการออกแบบสายอากาศในรูปแบบของสายอากาศแถวลำดับอาจทำการเปลี่ยนการป้อนจากการเจาะระนาบสะท้อนและป้อนด้วยคอนเนคเตอร์ มาเป็นการป้อนด้วยวงจรป้อนแบบสายนำสัญญาณไมโครสตริปได้ เพื่อให้วงจรป้อนสายอากาศมีรูปแบบที่เรียบง่าย

วิทยานิพนธ์นี้เน้นการออกแบบสายอากาศและปรับปรุงสายอากาศ โดยอธิบายแต่ละขั้นตอนในการการออกแบบและปรับปรุงคุณสมบัติของสายอากาศอย่างละเอียดพร้อมทฤษฎีที่ใช้สำหรับการออกแบบสายอากาศ หลักการในการวิเคราะห์และได้ทำการทดสอบสายอากาศเพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ที่สนใจสามารถนำไปพัฒนาสายอากาศและปรับปรุงโครงสร้างให้มีรูปแบบที่หลากหลายเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานได้ต่อไป

บรรณานุกรม

- [1] R. Jordan and C. T. Abdallah, "Communication and network: an overview," *IEEE Antenna Propag. Mag.*, vol. 44, no. 1, pp. 185-193, Feb.2002.
- [2] C. L. Mak, K. M. Luk, and K. F. Lee "Geometry of wideband small-size antenna: vertical patch antenna" *Electron. Lett.*, vol. 39,no.25, Dec. 2003.
- [3] D. Srimoon, C. Phongcharoenpanich, and M. Krairiksh "A Probe feed rectangular ring antenna with a cross-strip for low cross-polarization," *IEEE Trans. Antenna Propag.*, vol. 54, no. 5. May2006.
- [4] K. L. Lau, H. Wong, C. L. Mak, K. M. Luk, and K. F. Lee, " A vertical patch antenna for dual-band operation," *IEEE Antenna Propag. Lett.*, vol. 5, pp. 95-97.
- [5] D. Guha, J. Y. siddiqui, "Resonant Frequency of Circular Microstrip Antenna Covered With Dielectric Superstrate," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol.51, no. 7, pp.1649-1652, July 2003.
- [6] D. M. Pozar and D. H. Schaubert, *Microstrip antenna, Analysis and Design of Microstrip Antenna*. New York: IEEE Press, 1995.
- [7] J. D. Kraus and D. A. Fleisch, *Electromagnetics with Applications*, McGraw-Hill, 1999.
- [8] C. A. Balanis. *Antenna Theory: Analysis & Design*, John Wiley & Sons. Inc., 1995.
- [9] J. S. Dahele, K. F. Lee, and D. P. Wong, "Dual frequency stacked annular-ring microstrip antenna," *IEEE Trans. Antennas Propagat.* , vol. AP-35, no. 11, pp. 1281–1285, Nov. 1987.
- [10] J. S. dahele and K. F. Lee, "Characteristics of annular-ring microstrip antenna," *Elec. Lett.*, vol. 18, pp. 1051–1052, 1982.
- [11] N. Damavandi, "Cross polarization characteristics of annular ring microstrip antennas," *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium.* , vol. 3, pp. 1878 - 1881, July. 1997.
- [12] A. K. Sharma, R. Singh, and A Mittal, "Wide band dual circularly polarized aperture coupled microstrip patch antenna with bow tie shaped apertures," *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol. 4, pp. 3749 - 3752, June. 2004.
- [13] M. L. Yazidi, M. Himdi, and J. P. Daniel, "Aperture coupled microstrip antenna for dual frequency operation," *Elec. Lett.*, vol. 29, no. 17, Aug. 1993.

- [14] T. P. Wong, Carmen K. L. Lau, Kwai-Man Luk, and Kai-Fong Lee, "Wideband Fractal Vertical Patch Antenna," *IEEE Antennas and Propagat. Lett.*, vol. 6, pp. 5 - 6, 2007.
- [15] K. F. Lee, K. M. Luk, K. F. Tong, S. M. Shum, T. Huynh, and R. Q. Lee, "Experimental and simulation studies of the coaxially fed U-slot rectangular patch antenna," *Inst. Elect. Eng. Proc.-Microw. Antennas Propag.*, vol. 144, pp. 354–358, Oct. 1997.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายกิตติศักดิ์ แพบัว
วัน เดือน ปีเกิด	19 มกราคม 2526 ที่จังหวัดชัยนาท
ที่อยู่	205 หมู่ 2 ตำบล วัดโคก อำเภอ มโนรมย์ จังหวัด ชัยนาท
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษา พ.ศ.2549 หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน บทความที่ได้ตีพิมพ์	สายอากาศ, ตัวกรองความถี่แบบพาสซีฟย่านไมโครเวฟ

1. K. Phaebua , C. Phongcharoenpanich and S. Kosolvit, “A Microstrip Semi-Circular Patch Resonator Filter,” *Proceedings of the 2007 Joint International Conference on Information Communication Technology (JICT 2007)*, Laos, p.145-148, 4 pages, Dec.2007.
2. K. Phaebua and C. Phongcharoenpanich, “Characteristics of a Circular Vertical Patch Antenna with Cross-Strip above Cylindrical Reflector,” *Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference 2007 (APMC 2007)*, Bangkok, Thailand, p.1629-1632, 4 pages, Dec.2007.
3. K. Phaebua and C. Phongcharoenpanich, “A Vertically Circular Patch Antenna with Cross Strip above Vertically Rectangular Reflector,” *Proceedings of the 2006 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP 2006)*, Singapore, 4 pages, Nov.2006.
4. K. Phaebua and C. Phongcharoenpanich, “A Circular Vertical Patch Antenna with Cross-Strip,” *Proceedings of Electrical Engineering Conference (EECON 2006)*, Thailand, p.785-788, 4 pages, Nov.2006.