

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

**โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่สำหรับประยุกต์ใช้งาน
โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย**

**DUAL-BAND ELECTROMAGNETIC BAND GAP STRUCTURE
FOR WLAN APPLICATIONS**



T117926



ศพ.
๒/๖/๕๕

๒๕๕๔

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

117926

๒๒ ต.ค. ๒๕๕๔

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

**วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

พ.ศ. ๒๕๕๔

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL-2011-EN-M-010-060

**DUAL-BAND ELECTROMAGNETIC BAND GAP STRUCTURE
FOR WLAN APPLICATIONS**



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

2011

KMITL-2011-EN-M-010-060

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2011

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่สำหรับ ประยุกต์ใช้งานโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย
นักศึกษา	นายประพัทธ์ อานมณี
รหัสนักศึกษา	51060908
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2554
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ. ดร. ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่สำหรับประยุกต์ใช้งานโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย โดยโครงสร้างถูกออกแบบเป็นโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปแบบแถวคูณหลัก เพื่อให้เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานร่วมกับสายอากาศไมโครสตริป โดยโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกสร้างบนแผ่นวงจรพิมพ์ขนาด 60×60 ตารางมิลลิเมตร สูง 0.8 มิลลิเมตร ชนิด FR-4 มีค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์เท่ากับ 4.3 ด้านบนจะประกอบไปด้วยแผ่นเซลล์รายคาบลักษณะ 3 แถวคูณ 3 หลัก ด้านล่างจะเป็นระนาบกราวด์ของโครงสร้าง โครงสร้างนี้จะถูกออกแบบให้มีสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ต่ำกว่า -10 dB สองย่านควาถี่ มีความถี่กลางอยู่ที่ 2.4 GHz และ 5.2 GHz เพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับสายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่คู่ในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis title	Dual-Band Electromagnetic Band Gap Structure for WLAN Applications
Student	Mr. Praphat Armanee
Student ID.	51060908
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2011
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Chuwong Phongcharoenpanich

ABSTRACT

This thesis presents the dual-band Electromagnetic Band Gap (EBG) structure for WLAN applications. The Mushroom-like EBG is designed for microstrip antenna applications. The EBG structure is fabricated on FR-4 substrate with the size of $60 \times 60 \text{ mm}^2$, the thickness of 0.8 mm and the dielectric constant of 4.3 ($\epsilon_r = 4.3$). The top layer consists of the periodic unit cell that is arranged with the dimension of three rows and three columns. The bottom layer is ground plane structure. The proposed structure is designed to obtain the transmission coefficient $|S_{21}|$ (dB) along the dual frequency of 2.4 GHz and 5.2 GHz with lower than -10 dB for WLAN applications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์จะสำเร็จขึ้นไม่ได้ถ้าปราศจากการสนับสนุนจาก คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจ และให้การสนับสนุนในเรื่องทุนทรัพย์สำหรับการศึกษาอีกทั้งเข้าใจถึงปัญหาของข้าพเจ้าในการศึกษาเป็นเวลาต่อเนื่องตลอดมา

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านจาก โรงเรียนสิริมงคลศึกษา โรงเรียนวัดราชบพิธ วิทยาลัยสารพัดช่าง นครหลวง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตศาลายา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อบรมสั่งสอน และให้ความรู้แก่ข้าพเจ้าตลอดมา

ขอขอบคุณอาจารย์ ผศ.ดร. ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ช่วยเหลือให้คำแนะนำชี้แนวทางในการแก้ปัญหา ตลอดจนความรู้ความเข้าใจในด้านต่างๆ

ขอขอบคุณพี่ๆ ทุกคนในห้องปฏิบัติการสื่อสารไร้สายที่ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือในการทดสอบ และให้คำปรึกษา รวมถึงเทคนิคต่างๆที่สามารถนำมาใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ โดยเฉพาะ คุณพีทิตติศักดิ์ แพ้ว คุณพีศุภกิต แก้วดวงตา และ คุณพีรรัฐพงษ์ สุวลักษณ์

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตศาลายา ที่คอยเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ส่วนปริญญาตรีต่อเนื่อง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ ร่วมชั้นปีในห้องปฏิบัติการสื่อสารไร้สายทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการทดสอบ และช่วยเหลือข้าพเจ้าในเรื่องที่สามารถช่วยได้ ประโยชน์อันใดที่ได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ประพัทธ์ อานมณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูปภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การศึกษาและขอบเขตงานวิจัย.....	1
1.3 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์.....	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	3
2.1 บทนำ.....	3
2.2 คลื่นพื้นผิว.....	3
2.3 นิยามโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า.....	4
2.3.1 อภิวัตศ.....	4
2.3.2 อภิวัตศแบบช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า.....	6
2.3.3 โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า.....	6
2.3.4 โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบแถวคูณหลัก.....	8
2.3.5 พารามิเตอร์วงจรของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า รูปแบบแถวคูณหลัก.....	10
2.4 แผ่นไมโครสตริป.....	13
2.5 สายนำสัญญาณไมโครสตริปแบบลอยเหนือระนาบกราวนด์.....	15
2.6 สายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่สูง.....	17
2.7 หลักการและทฤษฎีของระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย.....	18
2.7.1 แบบ Ad-Hoc หรือ Peer-to-Peer	18
2.7.2 แบบระบบพื้นฐาน (Infrastructure).....	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
2.8.1 A Dual Band Gap Slotted Patch Electromagnetic Band Gap for Dual Band Microstrip Antenna.....	20
2.8.1.1 ผลกระทบของขนาดความกว้างแผ่นเซลล์.....	22
2.8.1.2 ผลกระทบต่อขนาดระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์.....	23
2.8.2 A Novel Dual-Band Compact Electromagnetic Bandgap (EBG) Structure and Its Application in Multi-Antennas.....	23
2.8.3 Wide-Band Microstrip Patch Antenna with Planar PBG Structure.....	27
2.9 สรุป.....	31
บทที่ 3 การออกแบบและการจำลอง.....	33
3.1 บทนำ.....	33
3.2 พารามิเตอร์ของ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบแถวคูณหลัก.....	33
3.2.1 ผลกระทบต่อความกว้างของแผ่นเซลล์รัยคาบ.....	35
3.2.2 ผลกระทบต่อระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์.....	37
3.2.3 ผลกระทบต่อความหนาของวัสดุฐานรอง.....	39
3.2.4 ผลกระทบต่อค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรอง.....	41
3.2.5 ผลกระทบต่อขนาดของระนาบกราวนด์และจำนวนแผ่นเซลล์รัยคาบ.....	43
3.2.6 ปรับขนาดแผ่นเซลล์รัยคาบเพื่อปรับความถี่.....	44
3.3 โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่.....	46
3.4 สรุป.....	54
บทที่ 4 การสร้างและการทดสอบ.....	55
4.1 บทนำ.....	55
4.2 ขั้นตอนการสร้าง.....	55
4.3 ขั้นตอนการทดสอบ.....	57
4.4 สรุป.....	60

เอกบทที่ 5 การประยุกต์ใช้งานร่วมกับสายอากาศ.....

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.1 บทนำ.....	61
5.2 ขั้นตอนการทดสอบ.....	61
5.3 ผลการทดสอบ.....	66
5.4 สรุป.....	70
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย.....	71
6.1 บทนำ.....	71
6.2 สรุปผลการวิจัย.....	71
6.3 แนวทางการพัฒนา.....	74
บรรณานุกรม.....	75
ประวัติผู้เขียน.....	77



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 พารามิเตอร์ของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า.....	9
2.2 พารามิเตอร์ของสายอากาศไมโครสตริป.....	18
2.3 ผลกระทบของขนาดความกว้างแผ่นเซลล์ต่อค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน.....	22
2.4 ผลกระทบของขนาดระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์ต่อค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน.....	23
2.5 เปรียบเทียบสมรรถนะของสายอากาศ.....	30
3.1 ขนาดพารามิเตอร์เบื้องต้นที่ความถี่ 2.4 GHz.....	33
3.2 ขนาดพารามิเตอร์เมื่อมีการปรับความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบ.....	36
3.3 ขนาดพารามิเตอร์เมื่อมีการปรับระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์รายคาบ.....	38
3.4 ขนาดพารามิเตอร์เมื่อมีการปรับความหนาของวัสดุฐานรอง.....	40
3.5 ขนาดพารามิเตอร์เมื่อมีการปรับค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรอง.....	41
3.6 ขนาดพารามิเตอร์เบื้องต้นที่ความถี่ 5.2 GHz.....	46
3.7 ขนาดพารามิเตอร์การตัดแปลงแผ่นเซลล์รายคาบ.....	48
3.8 ขนาดพารามิเตอร์การตัดแปลงแผ่นเซลล์รายคาบ $W_{5.2}$	49
3.9 ขนาดพารามิเตอร์การตัดแปลงแผ่นเซลล์รายคาบ $W_{2.4}$	51
3.10 ขนาดพารามิเตอร์ของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่.....	53
4.1 ขนาดพารามิเตอร์ของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่.....	56
5.1 พารามิเตอร์ของสายอากาศย่านความถี่คู่.....	62
6.1 ขนาดพารามิเตอร์ของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่.....	72
6.2 ผลการทดสอบของสายอากาศทั้งสองชนิด.....	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การแพร่กระจายคลื่นพื้นผิวของสายอากาศไมโครสตริป.....	3
2.2 อภิวัดดูในหลายรูปแบบ.....	4
2.3 โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปแบบต่างๆ.....	6
2.4 รูปทรงโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า (ก) สายนำสัญญาณหนึ่งมิติ (ข) พื้นผิวระนาบ สองมิติ (ค) โครงสร้างปริมาตรสามมิติ.....	8
2.5 โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบแถวคูณหลัก.....	9
2.6 พารามิเตอร์ของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า.....	9
2.7 ด้านข้างของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบแถวคูณหลัก.....	10
2.8 แบบจำลองค่าความเก็บประจุและค่าความเหนี่ยวนำ.....	10
2.9 วงจร LC เรโซแนนซ์ แบบขนาน.....	11
2.10 แผ่นโลหะขนาดกึ่งไม่จำกัดสองแผ่นที่วางห่างกันเป็นระยะ g	11
2.11 ตัวเก็บประจุในพิกัดเรขาคณิต.....	12
2.12 กระแสใน โซลีนอยด์สำหรับการหาค่าความเหนี่ยวนำ.....	12
2.13 ลักษณะการป้อนของสายนำสัญญาณไมโครสตริป.....	14
2.14 โครงสร้างของสายนำสัญญาณ ไมโครสตริป และเส้นสนามไฟฟ้า.....	15
2.15 สายนำสัญญาณไมโครสตริปแบบลอยเหนือระนาบกราวนด์.....	15
2.16 สายอากาศไมโครสตริป (ก) แพทช์แบบความถี่เดียว (ข) แพทช์แบบสองความถี่.....	17
2.17 การเชื่อมต่อแบบ Ad-Hoc.....	19
2.18 การเชื่อมต่อแบบระบบพื้นฐาน.....	19
2.19 แผ่นเซลล์ช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบแถวคูณหลักแบบพื้นฐาน (MEBG).....	20
2.20 แผ่นเซลล์ช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบแถวคูณหลักเมื่อทำการเพิ่มร่อง (SPEBG).....	21
2.21 โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า (ก) MEBG (ข) SPEBG.....	21
2.22 แผ่นเซลล์รัยคาบแบบร่องรูปแบบขดหอย.....	24
2.23 วงจรสมมูลย์.....	24
2.24 โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าแบบร่องรูปแบบขดหอย.....	25
2.25 จำลองและทดสอบค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน.....	26
2.26 การเชื่อมต่อร่วมของสายอากาศไมโครสตริปสองตัว.....	27
2.27 เปรียบเทียบการเชื่อมต่อร่วมของสายอากาศไมโครสตริป.....	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.28 สายอากาศไมโครสตริป (ก) แพทช์สี่เหลี่ยมแบบปกติ (ข) ปรับปรุงแพทช์สี่เหลี่ยม (ค) ปรับปรุงแพทช์สี่เหลี่ยมใช้งานร่วมกับโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า.....	28
2.29 ผลการทดสอบ (ก) อัตราส่วนคลื่นนิ่งแรงดัน (ข) อัตราส่วนแกน (ค) การสูญเสีย เนื่องมาจากการโพลาไรซ์.....	29
3.1 ช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า (ก) โครงสร้าง (ข) พารามิเตอร์.....	32
3.2 พารามิเตอร์ของสายนำสัญญาณ ไมโครสตริป.....	33
3.3 สายนำสัญญาณไมโครสตริปเมื่อนำมาใช้ร่วมกับโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า.....	35
3.4 ปรับความกว้างแผ่นเซลล์ระบายของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า.....	36
3.5 เปรียบเทียบขนาดของความกว้างของแผ่นเซลล์ระบาย.....	37
3.6 ปรับระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์ระบายของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า.....	38
3.7 เปรียบเทียบระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์.....	39
3.8 ปรับความหนาของวัสดุฐานรอง.....	40
3.9 เปรียบเทียบความหนาของวัสดุฐานรอง.....	40
3.10 ปรับค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์วัสดุฐานรองของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า.....	41
3.11 เปรียบเทียบค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรอง.....	42
3.12 ขนาดของระนาบกราวด์และจำนวนแผ่นเซลล์ระบาย (ก) ขนาดหนึ่งความยาวคลื่นจำนวน แผ่นเซลล์ระบาย 3 แถวคูณ 3 หลัก (ข) ขนาดสองความยาวคลื่นจำนวนแผ่นเซลล์ระบาย 3 แถวคูณ 3 หลัก (ค) ขนาดสองความยาวคลื่นจำนวนแผ่นเซลล์ระบาย 7 แถวคูณ 7 หลัก.....	43
3.13 เปรียบเทียบขนาดของระนาบกราวด์และจำนวนแผ่นเซลล์ระบาย.....	44
3.14 เปรียบเทียบพารามิเตอร์เมื่อต้องการปรับความถี่.....	45
3.15 แผ่นเซลล์ระบายในหนึ่งเซลล์.....	47
3.16 โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าโดยรวม.....	47
3.17 ขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่ แบบเบื่องต้น.....	48
3.18 ปรับความกว้างแผ่นเซลล์ระบาย $W_{s,2}$	49
3.19 ขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่เมื่อ ปรับขนาดความกว้างของแผ่นเซลล์ระบาย $W_{s,2}$	50
3.20 ปรับความกว้างแผ่นเซลล์ระบาย $W_{s,4}$	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.21 ขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่มือ ปรับขนาดความกว้างของแผ่นเซลล์รัยคาบ $W_{2,4}$	52
3.22 ขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่มือ.....	53
4.1 ช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า (ก) โครงสร้าง (ข) เซลล์.....	55
4.2 ช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า (ก) โครงสร้าง (ข) สายนำสัญญาณ.....	57
4.3 โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับการทดสอบ.....	57
4.4 ทดสอบคุณลักษณะ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า.....	58
4.5 การจำลองและการทดสอบค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน $ S_{21} $	59
5.1 โครงสร้างสายอากาศย่านความถี่คู่มือ (ก) ด้านหน้า (ข) พารามิเตอร์ (ค) ด้านหลัง.....	61
5.2 โครงสร้างสายอากาศย่านความถี่คู่มือที่ใช้งานร่วมกับ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า ย่านความถี่คู่มือ.....	63
5.3 แบบจำลอง (ก) สายอากาศย่านความถี่คู่มือ (ข) สายอากาศย่านความถี่คู่มือที่ใช้งานร่วมกับ โครงสร้าง ช่องว่างแถบแม่เหล็ก ไฟฟ้าย่านความถี่คู่มือ.....	63
5.4 การกระจายตัวของกระแสเชิงผิวที่ความถี่ 2.4 GHz บน (ก) สายอากาศย่านความถี่คู่มือ (ข) สายอากาศย่านความถี่คู่มือที่ใช้งานร่วมกับ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า ย่านความถี่คู่มือ.....	64
5.5 การกระจายตัวของกระแสเชิงผิวที่ความถี่ 5.2 GHz บน (ก) สายอากาศย่านความถี่คู่มือ (ข) สายอากาศย่านความถี่คู่มือที่ใช้งานร่วมกับ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็ก ไฟฟ้า ย่านความถี่คู่มือ.....	64
5.6 สายอากาศไมโครสตรีย่านความถี่คู่มือ.....	65
5.7 สายอากาศไมโครสตรีย่านความถี่คู่มือที่ใช้งานร่วมกับ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า ย่านความถี่คู่มือ.....	65
5.8 การสูญเสียย้อนกลับ.....	66
5.9 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 2.4 GHz.....	67
5.10 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 2.4 GHz.....	67
5.11 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 5.2 GHz.....	68
5.12 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 5.2 GHz.....	68
5.13 อัตราขยายของสายอากาศ.....	69

6.1 แบบจำลองช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า (ก) โครงสร้าง (ข) เซลล์.....
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.2 โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่.....	72
6.3 สายอากาศ (ก) ย่านความถี่คู่ (ข) ย่านความถี่คู่ที่ใช้งานร่วมกับ โครงสร้างช่องว่าง แถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่.....	73



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

การพัฒนาสายอากาศสำหรับใช้ในอุปกรณ์ระบบสื่อสารไร้สายได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น เนื่องจากระบบการสื่อสารไร้สายได้เข้ามามีบทบาทต่อชีวิตประจำวันเพิ่มขึ้น สายอากาศจึงเป็นสิ่งที่ช่วยพัฒนาอุปกรณ์การสื่อสารไร้สายยุคใหม่ เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก (Global Positioning System; GPS) และบัตรเครือข่าย (Network Card) สำหรับคอมพิวเตอร์แบบพกพาเพื่อใช้รับสัญญาณโทรศัพท์ดาวเทียม เป็นต้น สิ่งที่ต้องการในการออกแบบสายอากาศคือ สัดส่วนต่ำ (Low Profile) ขนาดกะทัดรัด แบนคิ้วกว้าง และสามารถใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ สิ่งทีกล่าวมาข้างต้นเป็นสิ่งที่น่าสนใจในการคิดค้นออกแบบสายอากาศและเป็นการพัฒนาสายอากาศรูปแบบใหม่ [1]

ในระยะเวลาที่ผ่านมาการออกแบบสายอากาศมีการพัฒนาปรับปรุงหลากหลายรูปแบบ และยังคงได้รับการพัฒนาต่อไปเรื่อยๆ มีเทคโนโลยีแบบใหม่มากมายที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศยุคใหม่ หนึ่งในเทคโนโลยีที่น่าสนใจคือการพัฒนาโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Band Gap; EBG) การประยุกต์ใช้งานของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจในการใช้งานร่วมกับสายอากาศ [1]

โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าและการประยุกต์ใช้งานร่วมกับสายอากาศเป็นสิ่งที่น่าสนใจในแวดวงสายอากาศ ซึ่งมีผลตอบสนองที่น่าสนใจ เช่น การกำจัดคลื่นพื้นผิว (Surface Wave) ลงในระนาบกราวด์ของสายอากาศ การเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศ เป็นต้น ดังนั้นการทำปฏิริยาระหว่างสายอากาศกับโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ [1]

1.2 วัตถุประสงค์การศึกษาและขอบเขตงานวิจัย

วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้เพื่อพัฒนาโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับใช้งานร่วมกับสายอากาศไมโครสตริปในสองย่านความถี่ โดยให้มีความถี่กลางอยู่ที่ 2.4 GHz และที่ 5.2 GHz เป็นคลื่นความถี่ในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area Network; WLAN) มีมาตรฐานรองรับคือ IEEE 802.11a, IEEE 802.11b และ IEEE 802.11g ซึ่งแต่ละมาตรฐานจะบอกถึงความเร็ว และ ความถี่ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารกัน โดยวัตถุประสงค์เพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย โดยถูกออกแบบเพื่อนำมาใช้งานร่วมกับสายอากาศไมโครสตริปแบบสองย่านความถี่ โดยโครงสร้างสามารถสร้างได้ง่ายจากวัสดุพื้นฐาน

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สามารถหาซื้อได้ง่าย โดยวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอ การออกแบบโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าบนแผ่นวงจรพิมพ์ และเทคนิคการตัดแปลงเซลล์ช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้ได้ผลตอบสนองของค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านสองย่านความถี่สำหรับการใช้งานหลากหลายรูปแบบ

1.3 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกัน คือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย วัตถุประสงค์การศึกษาขอบเขตการวิจัย และรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงการเกิดคลื่นพื้นผิว นิยามของ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบแถวคู่หลัก สายนำสัญญาณไมโครสตริปแบบลอยเหนือระนาบกราวด์ สายอากาศย่านความถี่คู่ พื้นฐานของระบบ WLAN และงานวิจัยที่มีมาก่อน

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบและจำลองผลในโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO® การศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ต่างๆใน โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า และการออกแบบโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าให้มีค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านสองย่านความถี่

บทที่ 4 กล่าวถึงการสร้างโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่ และการทดสอบโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่

บทที่ 5 กล่าวถึงการประยุกต์ใช้งาน โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่ ร่วมกับสายอากาศย่านความถี่คู่ และการทดสอบค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศย่านความถี่คู่กับสายอากาศย่านความถี่คู่ที่ใช้งานร่วมกับ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่

บทที่ 6 กล่าวถึงข้อสรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์โดยรวม สรุปผลการทดสอบของสายอากาศย่านความถี่คู่กับสายอากาศย่านความถี่คู่ที่ใช้งานร่วมกับ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่ และแนวทางการพัฒนาต่อของ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

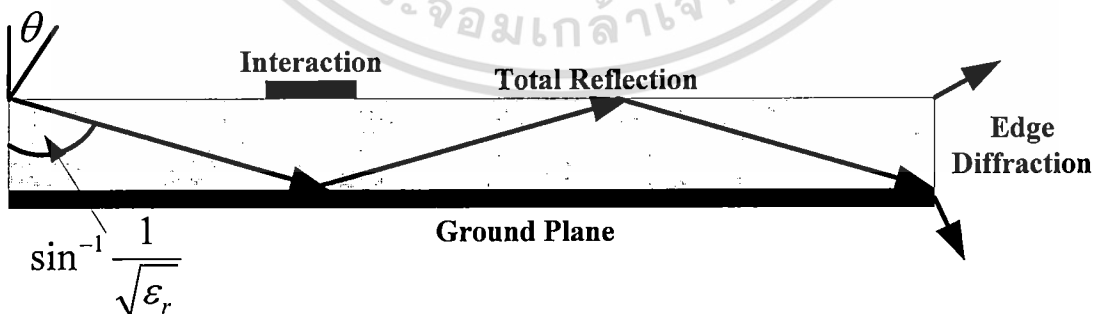
2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการเกิดคลื่นพื้นผิว นิยามของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า อภิวัด อภิวัดแบบช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบ แถวคูล์หลัก การนำสายนำสัญญาณมาใช้ร่วมกับ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า สายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่สูง หลักการและทฤษฎี โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย ตลอดจน งานวิจัยที่มีมาก่อนของการออกแบบ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า และการนำโครงสร้าง ช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าไปใช้งานร่วมกับสายอากาศไมโครสตริป

2.2 คลื่นพื้นผิว

สายอากาศไมโครสตริปเป็นที่นิยมสำหรับระบบการสื่อสารไร้สาย แต่ข้อเสียของ สายอากาศไมโครสตริปคือเมื่อสายอากาศมีการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะมีคลื่นบางส่วน ที่แพร่กระจายไปตามพื้นผิวของวัสดุฐานรอง คลื่นชนิดนี้เรียกว่าคลื่นพื้นผิว ผลกระทบของคลื่น พื้นผิวจะส่งผลให้เกิดค่าคลื่นย่อย และมีค่าสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศในแต่ละความถี่ไป กันคนละทิศทาง คลื่นพื้นผิวจะเริ่มเกิดเมื่อคลื่นทำมุมตกกระทบกับวัสดุฐานรองระหว่าง $\frac{\pi}{2}$ ถึง

$\sin^{-1} \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}}$ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การแพร่กระจายคลื่นพื้นผิวของสายอากาศไมโครสตริป [2]

คลื่นพื้นผิวคือโหมด TE และ TM ของวัสดุฐานรอง เป็นโหมดที่แสดงคุณลักษณะโดยการลดทอนของคลื่นในทิศทางตามขวาง (ทิศตั้งฉากกับระนาบของสายอากาศ) และมีการแพร่กระจายคลื่นออก [2]

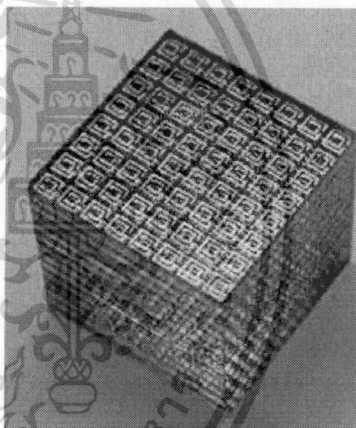
การแพร่กระจายของคลื่นพื้นผิวเป็นปัญหาที่สำคัญในสายอากาศไมโครสตริป คลื่นพื้นผิวทำให้เกิดการลดทอนประสิทธิภาพ อัตราขยาย ความกว้างแบนด์วิดท์จำกัด ระดับโพโลไรซ์ไขว้เพิ่มขึ้น และส่งผลให้การใช้งานในย่านความถี่ของสายอากาศมีข้อจำกัด [2] มีเทคโนโลยีมากมายที่ใช้สำหรับการแก้ปัญหาของคลื่นพื้นผิว วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอ โครงสร้างแบบระบายคาบในการกำจัดคลื่นพื้นผิวของสายอากาศไมโครสตริป

2.3 นิยามโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า

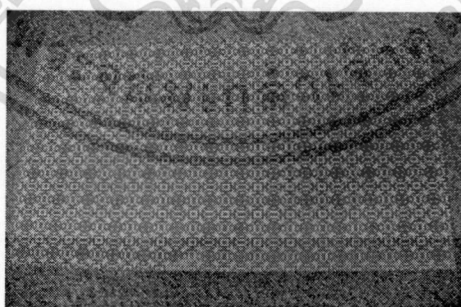
2.3.1 อภิวัตต์



Left-handed metamaterial



Metamaterial cube



EBG metamaterial

รูปที่ 2.2 อภิวัตต์ในหลายรูปแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อภิวัดดู (Metamaterials) คือ วัสดุเสมือนที่ถูกออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ โดยคุณสมบัติเหล่านี้อาจไม่มีอยู่ในวัสดุที่มีอยู่ในธรรมชาติ โดยทั่วไปอภิวัดดูนี้จะถูกกำหนดคุณสมบัติจากโครงสร้างที่ออกแบบ ไม่ได้มีคุณสมบัติตามส่วนประกอบของเนื้อวัสดุ [3] รูปที่ 2.2 แสดงรูปร่างของอภิวัดดูในรูปแบบต่างๆ ซึ่งอภิวัดดูได้มีการศึกษาจากวัสดุหลากหลายรูปแบบ เช่น

- วัสดุแบบ DNG (Double Negative Materials) วัสดุที่ประกอบด้วยค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์และค่าความซาบซึมทางไฟฟ้าที่เป็นลบ
- วัสดุแบบ LH (Left-Handed Materials) วัสดุที่ภายในมีทิศทางสนามไฟฟ้า ทิศทางสนามแม่เหล็กและทิศทางการแพร่กระจายที่มีผลตอบสนองสัมพันธ์ในทิศทางซ้ายมือ
- วัสดุที่มีดัชนีหักเหเป็นลบ (Negative Refractive Index; NRI materials)
- วัสดุแบบ Magneto (Magneto Materials) สำหรับควบคุมค่าความซาบซึมทางไฟฟ้าที่สูง
- พื้นผิวอ่อนและแข็ง (Soft and Hard surfaces) เพื่อทำการหยุดหรือรองรับการแพร่กระจายคลื่น
- พื้นผิวที่มีค่าอิมพีแดนซ์สูง (High Impedance Surfaces) ซึ่งมีอิมพีแดนซ์ของพื้นผิวที่เหมาะสมสำหรับคลื่น TE และ TM
- วัสดุแบบ AMC (Artificial Magnetic Conductors Materials) เพื่อต้องการให้ได้คุณสมบัติตามแบบตัวนำแม่เหล็กสมบูรณ์

วัสดุที่ได้มีการศึกษามีค่าคุณลักษณะทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่น่าสนใจ เช่น วัสดุแบบ DNG จะมีการแสดงผลที่เหมือนกับคุณสมบัติของวัสดุแบบ LH และวัสดุที่มีดัชนีหักเหเป็นลบ วัสดุที่เป็นโลหะแบบลูกฟูกซึ่งสามารถทำเป็นพื้นผิวแบบอ่อนและพื้นผิวแบบแข็งโดยที่พื้นผิวแบบอ่อนใช้สำหรับการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางตามแนวยาวและพื้นผิวแบบแข็งใช้สำหรับการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางตามแนวขวาง เป็นต้น นอกจากนี้ โครงสร้างแบบรอยคาบที่มีสายนำสัญญาณอาจจะแสดงในหนึ่งย่านความถี่ตามคุณสมบัติของวัสดุแบบ LH และในย่านความถี่อื่นตามคุณสมบัติของแถบช่องว่าง จากคุณสมบัติของวัสดุที่กล่าวมาในเบื้องต้น สามารถนำมาประยุกต์ในงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและสายอากาศได้หลากหลายรูปแบบ [1]

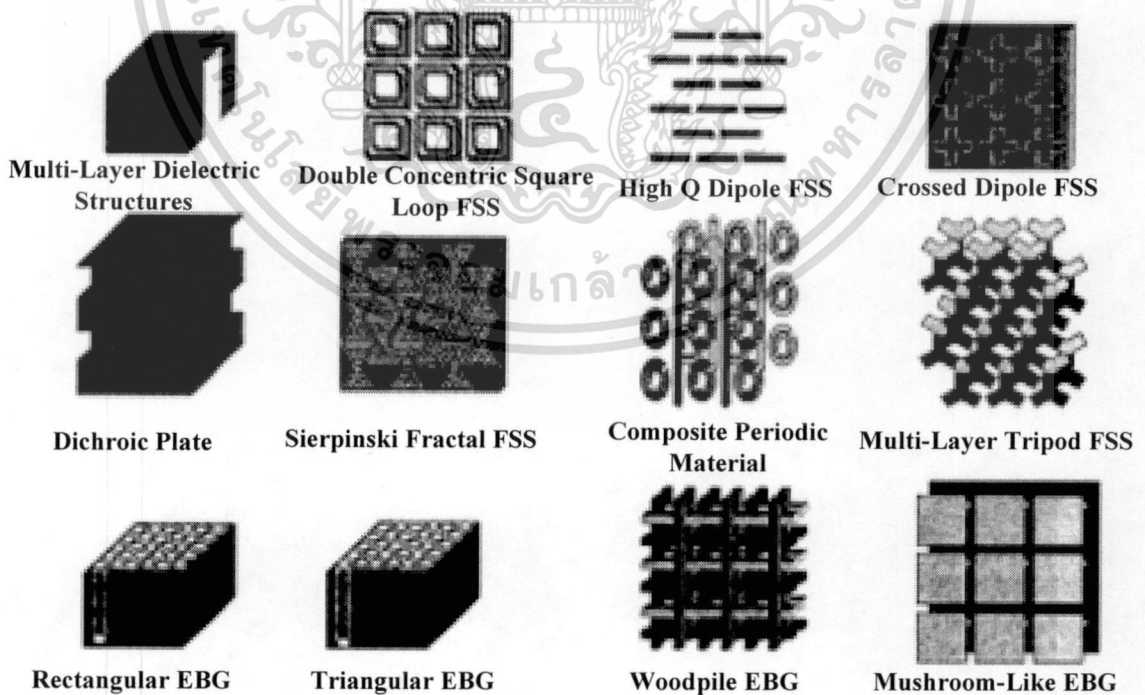
2.3.2 อภิวัดคูปแบบช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า

อภิวัดคูปแบบช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า (EBG Metamaterials) เป็นอภิวัดคูปที่มีการสร้างแบบรายคาบ โครงสร้างที่เป็นฉนวน มีการสูญเสียต่ำ และมีคุณภาพสูง ช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าจะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของโพตอนซึ่งมีลักษณะเหมือนกับวัสดุเซมิคอนดักเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของอิเล็กตรอน [4]

อภิวัดคูปแบบช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าถูกออกแบบให้มีการกีดขวางการแพร่กระจายคลื่นในย่านความถี่ที่ออกแบบโดยจุดเด่นของอภิวัดคูปชนิดนี้คือสามารถควบคุมการแพร่กระจายของคลื่นตามเนื้อวัสดุ และสามารถควบคุมทิศทางการแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และสามารถออกแบบให้มีแถบช่องว่างแม่เหล็กไฟฟ้าในความถี่ที่ต้องการได้ [3]

อภิวัดคูปแบบช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นวิธีการใหม่ที่น่าเอาความแตกต่างทางคุณสมบัติของไดอิเล็กตริกมาใช้เป็นประโยชน์เพื่อทำการปรับปรุงสมรรถนะให้ดีขึ้น โดยโครงสร้างที่มีความหลากหลายของช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าจัดเป็นคุณสมบัติพิเศษของอภิวัดคูปชนิดนี้

2.3.3 โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า



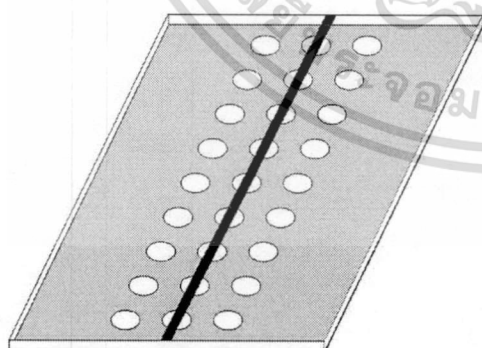
รูปที่ 2.3 โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปแบบต่างๆ [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

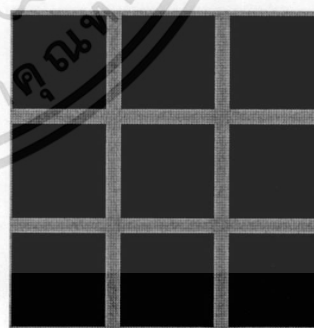
โครงสร้างแบบรายคาบเป็นโครงสร้างที่มีค่าคุณลักษณะที่น่าสนใจมากมาย เมื่อโครงสร้างลักษณะนี้ทำปฏิกิริยากับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะส่งผลกระทบต่อสนองที่น่าสนใจในหลากหลายรูปแบบ ซึ่งจะแสดงในรูปของค่าคุณลักษณะเช่น ย่านความถี่แถบผ่าน (Pass-Band) ย่านความถี่แถบหยุด (Stop-Band) และแถบช่องว่าง (Band-Gap) จากคุณลักษณะนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายอย่างเช่น การออกแบบตัวกรองความถี่ ผลึกแสง (Photonic Crystals) และ แถบช่องว่างแสง (Photonic Band Gap; PBG) เป็นต้น ได้มีการนิยามคำศัพท์สำหรับเรียกชื่อโครงสร้างแบบรายคาบที่มีค่าคุณลักษณะเช่นนี้ คือ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า (EBG Structure) [5]

โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าจะเป็นโครงสร้างที่มีการเรียงตัวแบบรายคาบของวัสดุไดอิเล็กตริกและตัวนำที่เป็นโลหะ โดยทั่วไปโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถจัดแบ่งได้ 3 กลุ่ม โดยอาศัยการแบ่งตามรูปร่าง รูปร่างของแต่ละโครงสร้าง ดังนี้ 1) โครงสร้างปริมาตรสามมิติ 2) พื้นผิวระนาบสองมิติ และ 3) สายนำสัญญาณหนึ่งมิติ

รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างของรูปร่างโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าในกลุ่มต่างๆ รูปที่ 2.4 (ก) แสดงสายนำสัญญาณหนึ่งมิติโดยยกตัวอย่างรูปร่างแบบสายนำสัญญาณกับรูที่เรียงตัวแบบรายคาบ (EBG Transmission Line) รูปที่ 2.4 (ข) แสดงพื้นผิวระนาบสองมิติโดยยกตัวอย่างรูปร่างโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าแบบแกลวคุณหลัก (Mushroom-Like EBG) รูปที่ 2.4 (ค) แสดงโครงสร้างปริมาตรสามมิติโดยยกตัวอย่าง โครงสร้างแบบโครงถัก (Woodpile EBG) แต่ละรูปร่างก็จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน [1]



(ก)

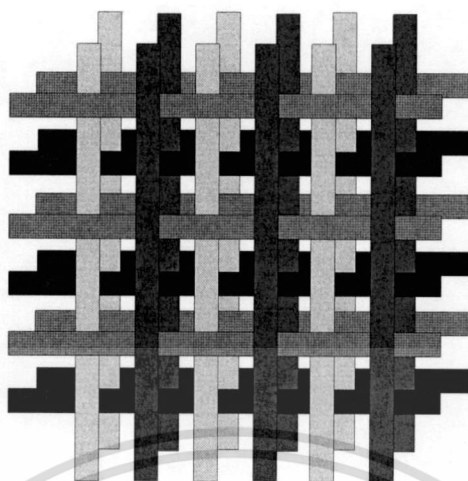


ด้านบน

ด้านข้าง

(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



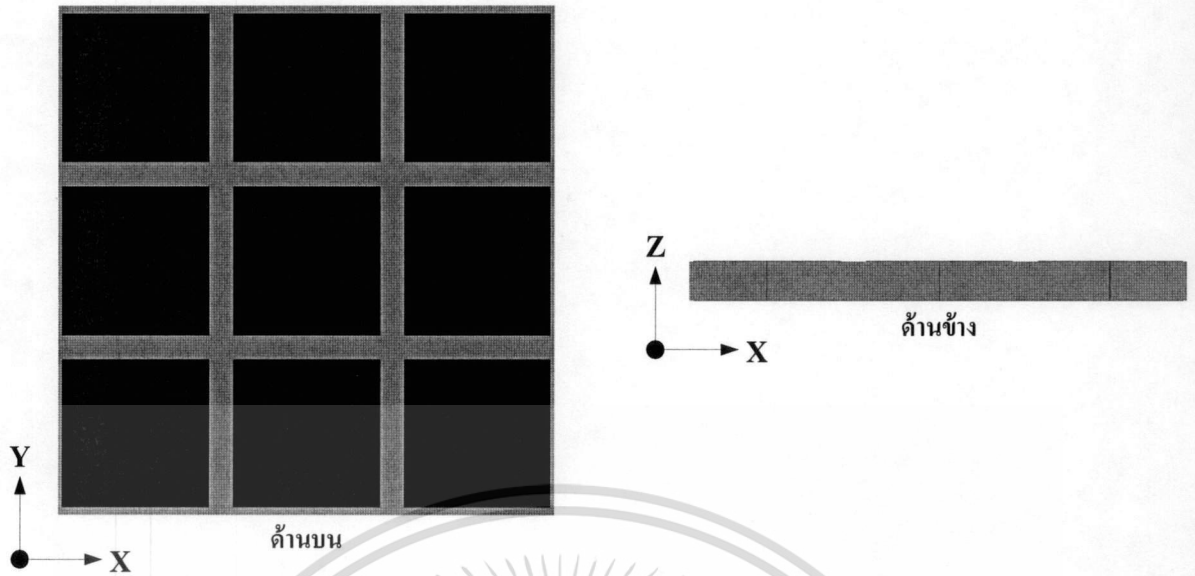
(ค)

รูปที่ 2.4 รูปทรงโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า (ก) สายนำสัญญาณหนึ่งมิติ (ข) พื้นผิวระนาบสองมิติ (ค) โครงสร้างปริมาตรสามมิติ [1]

โดยในวิทยานิพนธ์นี้จะเน้นที่โครงสร้างแบบพื้นผิวระนาบสองมิติ เนื่องจากเป็นโครงสร้างที่เหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานกับสายอากาศไมโครสตริป โดยโครงสร้างแบบพื้นผิวระนาบสองมิติที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้คือ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบแถวคูณหลัก

2.3.4 โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบแถวคูณหลัก

โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบแถวคูณหลัก (Mushroom-Like EBG) เป็นโครงสร้างที่สร้างบนแผ่นวงจรพิมพ์ โดยด้านหนึ่งจะถูกสร้างเป็นเซลล์ของช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า แต่ละเซลล์ของโครงสร้างนี้จะถูกเชื่อมกับทองแดงอีกด้านหนึ่งของแผ่นวงจรพิมพ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบแถวคู่หลัก [1]

จากรูปที่ 2.5 โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าจะประกอบไปด้วยส่วนหลักสี่ส่วน คือ ระบายกราวด์ชนิดโลหะ วัสดุฐานรองรับชนิดไดอิเล็กทริก แผ่นโลหะระบายคาบที่อยู่บนวัสดุฐานรองรับ และช่องว่างที่เชื่อมระหว่างแผ่นโลหะระบายคาบกับระบายกราวด์



รูปที่ 2.6 พารามิเตอร์ของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า [1]

รูปที่ 2.6 แสดงพารามิเตอร์ที่เกิดจากโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบแถวคู่หลักโดยค่าพารามิเตอร์ต่างๆแสดงในตารางที่ 2.1

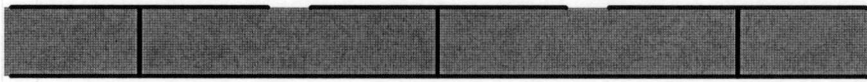
ตารางที่ 2.1 พารามิเตอร์ของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า

สัญลักษณ์	พารามิเตอร์
W	ความกว้างของแผ่นเซลด์ระบายคาบ
g	ระยะห่างระหว่างแผ่นเซลด์ระบายคาบ
h	ความสูงของวัสดุฐานรองรับ
ϵ_r	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก ห้หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 2.1 เป็นการกำหนดพารามิเตอร์ของ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า โดย กำหนดให้ W คือความกว้างของแผ่นเซลล์รัยคาบ g คือระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์รัยคาบ h คือความสูงของวัสดุฐานรอง และ ϵ_r คือค่าคงที่ไดอิเล็กตริก

2.3.5 พารามิเตอร์วงจรของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบแถวคูณหลัก



รูปที่ 2.7 ด้านข้างของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบแถวคูณหลัก [6]

รูปที่ 2.7 แสดงด้านข้างของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบแถวคูณหลัก ตัวโครงสร้างจะทำปฏิกิริยาต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กระแสจะเกิดการเหนี่ยวนำในแผ่นโลหะ ด้านบน แรงดันเกิดจากช่องว่างระหว่างพื้นผิวที่ขนานกันทำให้เกิดการรวมตัวของประจุที่ด้านปลายของแผ่นโลหะด้านบนซึ่งจะเปรียบได้กับค่าความเก็บประจุ ประจุที่อยู่บนแผ่น โลหะด้านบน จะไหลผ่านแท่งโลหะ ไปยังแผ่นโลหะด้านล่างเป็นกระแสในสนามแม่เหล็ก เปรียบได้กับค่าความเหนี่ยวนำ แบบจำลองค่าความเก็บประจุและค่าความเหนี่ยวนำจะแสดงในรูปที่ 2.8

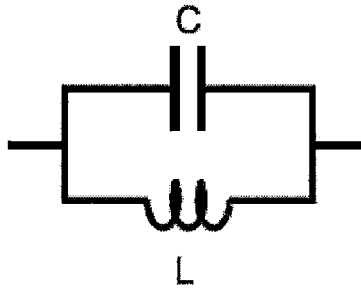


รูปที่ 2.8 แบบจำลองค่าความเก็บประจุและค่าความเหนี่ยวนำ [6]

พฤติกรรมของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบแถวคูณหลักสามารถเขียนเป็นวงจร LC เรโซแนนซ์แบบขนานได้ดังแสดงในรูปที่ 2.9 โดยจากรูปที่ 2.8 ค่า C เกิดจากช่องว่างระหว่างแผ่นเซลล์รัยคาบ ค่า L เกิดจากกระแสที่ไหลตามแผ่นเซลล์รัยคาบ ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจร LC เรโซแนนซ์แบบขนานสามารถแสดงดังสมการที่ 2.1 และความถี่เรโซแนนซ์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.2

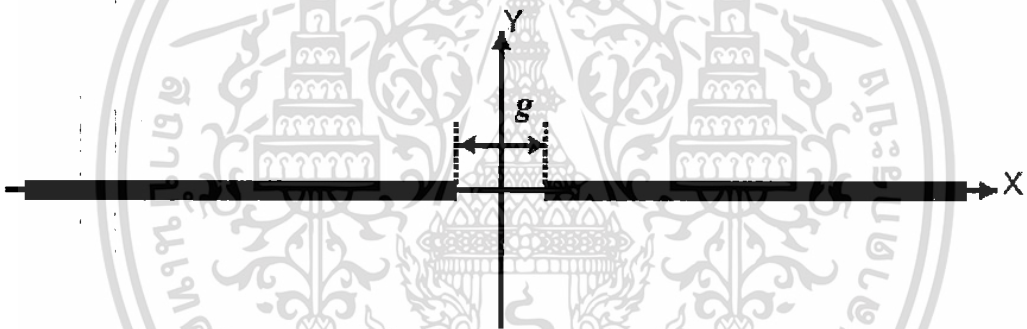
$$Z = \frac{j\omega L}{1 - \omega^2 LC} \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ (2.2) การคำนวณค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 วงจร LC เรโซแนนซ์ แบบขนาน [6]

จากรูปที่ 2.9 ค่าของตัวเก็บประจุจะเกิดจากค่าความเก็บประจุระหว่างแผ่นโลหะรายคาบที่วางอยู่ใกล้กัน ซึ่งค่าความเก็บประจุได้มาจากการส่งคงรูป (Conformal Mapping) เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับหาการกระจายสนามไฟฟ้าสถิตย์ในระนาบสองมิติ มีที่มาเริ่มจากแผ่นโลหะขนาดกึ่งไม่จำกัด (Semi-Infinite Plate) สองแผ่นที่วางห่างกันเป็นระยะ g ดังแสดงในรูปที่ 2.10

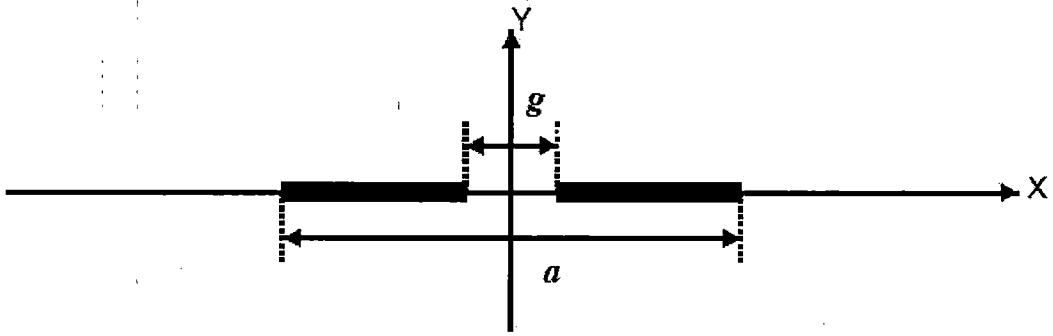


รูปที่ 2.10 แผ่นโลหะขนาดกึ่งไม่จำกัดสองแผ่นที่วางห่างกันเป็นระยะ g [6]

จากทฤษฎีของการส่งคงรูป ฟังก์ชันของฟังก์ชันไฟฟ้าในพิกัดเรขาคณิตสามารถเขียนได้ตามสมการที่ 2.3

$$\psi = \text{Im} \left[\frac{\epsilon V}{\pi} \cos^{-1} \left(\frac{x + jy}{g/2} \right) \right] \quad (2.3)$$

โดยปกติค่าความเก็บประจุจะมีขนาดที่ไม่จำกัดและสนามที่บริเวณระยะห่างจากช่องว่างของแผ่นโลหะมีการลดลงแบบลอการิทึม (Logarithmically) โดยด้านปลายของแผ่นโลหะจะอยู่ที่จุด $\frac{\alpha}{2}$ ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ตัวเก็บประจุในฟิวด์เรขาคณิต [6]

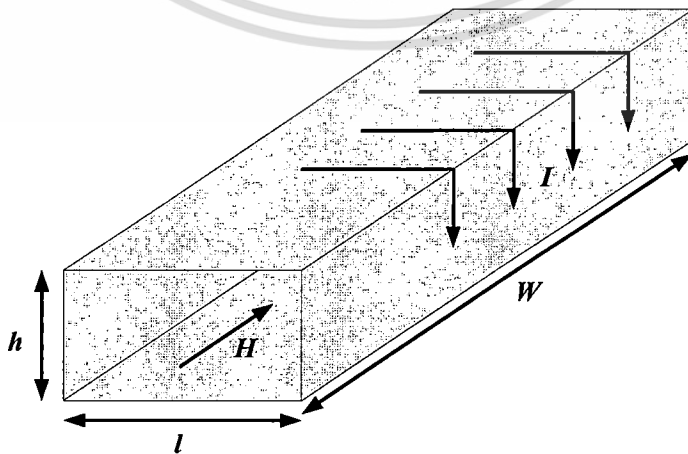
ถ้า $a \gg g$ จะสามารถประมาณค่าความเก็บประจุอยู่ในรูปของ ψ ได้ [6] ที่จุดปลายของแผ่นโลหะ ฟลักซ์บนแผ่นโลหะจะหาได้จากสมการที่ 2.4

$$\psi \approx \text{Im} \left[\frac{2\varepsilon V}{\pi} \cos^{-1} \left(\frac{a}{g} \right) \right] = \frac{2\varepsilon V}{\pi} \cosh^{-1} \left(\frac{a}{g} \right) \quad (2.4)$$

โดยกำหนดให้ความกว้างของแผ่นโลหะคือ W มีค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ของโครงสร้างคือ ε_r ฟลักซ์บนแผ่นโลหะคือค่าความเก็บประจุและแรงดันที่อยู่ทั่วแผ่นโลหะ โดยค่าความเก็บประจุที่อยู่ระหว่างแผ่นโลหะสองแผ่นสามารถหาได้จากสมการที่ 2.5

$$C = \frac{W \varepsilon_0 (1 + \varepsilon_r)}{\pi} \cosh^{-1} \left(\frac{W + g}{g} \right) \quad (2.5)$$

จากรูปที่ 2.8 ค่าของตัวเหนี่ยวนำเกิดจากลูปของกระแสที่ไหลผ่านแท่งโลหะและแผ่นโลหะ จากหลักการกระแสในโซลินอยด์ที่แสดงในรูปที่ 2.12 สนามแม่เหล็กสามารถคำนวณได้จากกฎของแอมแปร์ (Ampere's Law) ตัวเหนี่ยวนำสมมูลได้จากการคำนวณจากพลังงานสะสมในสนามแม่เหล็กและกระแสที่ไหลอยู่ภายนอก



รูปที่ 2.12 กระแสในโซลินอยด์สำหรับการหาค่าความเหนี่ยวนำ [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.12 แสดงกระแสในโซลีนอยด์ที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ $h \times l$ มีความยาวเท่ากับ W จะมีกระแสไหลอยู่ภายนอกคือ I และมีสนามแม่เหล็กที่ผ่าน โซลีนอยด์คือ H ซึ่งกระแสที่ไหลอยู่รอบ โซลีนอยด์จะมีลักษณะที่เหมือนกับกระแสที่ไหลผ่านแท่งโลหะไปยังแผ่นโลหะของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบแถวคูณหลัก สนามแม่เหล็กที่ผ่านโซลีนอยด์สามารถหาได้จากกระแสที่ไหลผ่านอยู่ภายนอกดังแสดงในสมการที่ 2.6

$$H = \frac{I}{W} \quad (2.6)$$

โดยพลังงานสะสมในตัวเหนี่ยวนำจะเท่ากับพลังงานสะสมในสนามแม่เหล็กดังแสดงในสมการที่ 2.7

$$I^2 L = \int_{vol} (\mu H \cdot H) dv \quad (2.7)$$

จะได้ค่าความเหนี่ยวนำในโซลีนอยด์ดังแสดงในสมการที่ 2.8

$$L = \mu h \frac{l}{W} \quad (2.8)$$

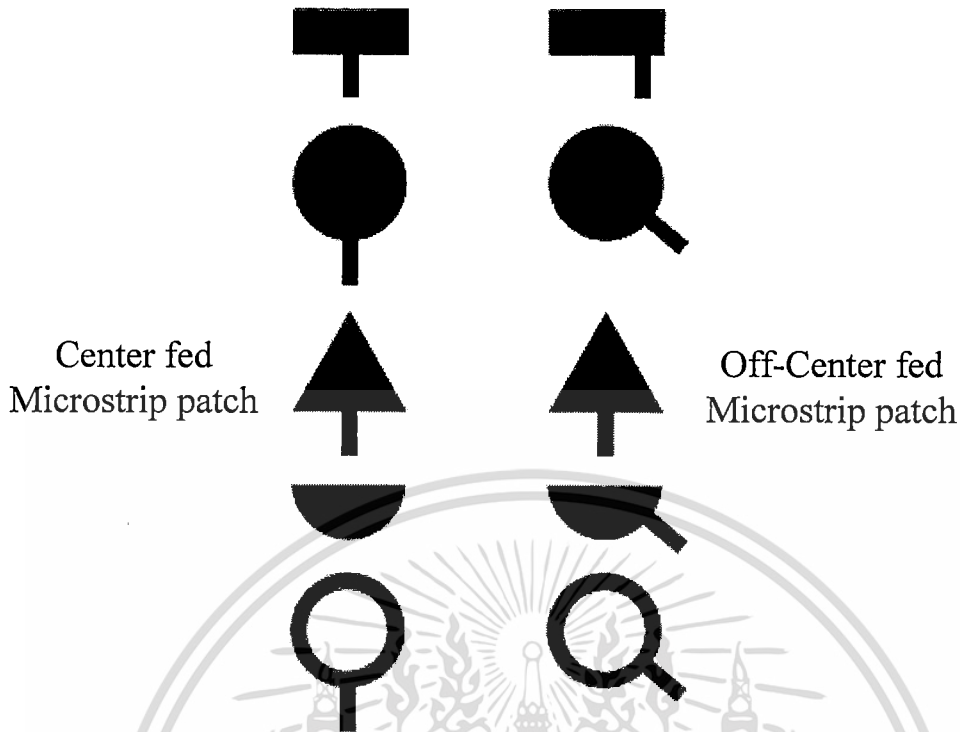
สำหรับค่าความเหนี่ยวนำแบบแผ่น (Sheet Inductance) ตัวประกอบ $\frac{l}{W}$ จะมีขนาดเท่ากัน [6] ดังนั้นค่าความเหนี่ยวนำจะสัมพันธ์กับความหนาของโครงสร้างและค่าความซาบซึมทางไฟฟ้าดังแสดงในสมการที่ 2.9

$$L = \mu h \quad (2.9)$$

เมื่อนำสมการที่ (2.5) และ (2.9) ไปแทนลงในสมการที่ (2.1) และ (2.2) อิมพีแดนซ์พื้นผิวและความถี่เรโซแนนซ์สามารถที่จะคำนวณออกมาได้ แบบจำลองวงจร LC ง่ายต่อการอธิบายหลักการของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบแถวคูณหลัก

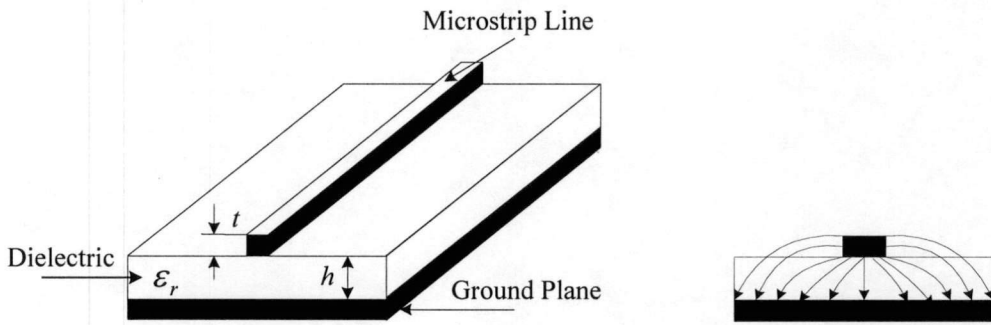
2.4 แผ่นไมโครสตริป

โครงสร้างของแผ่นไมโครสตริป (Microstrip Patch) นั้นมีอยู่หลายแบบซึ่งแบ่งตามลักษณะของแผ่นไมโครสตริป และลักษณะการป้อนของสัญญาณ ไมโครสตริปแบบแผ่น (Patch) และระนาบกราวด์แบบช่องเปิดมีหลายลักษณะ เช่น แผ่นวงกลม (Circular) แผ่นวงรี (Ellipse) แผ่นสี่เหลี่ยม (Rectangle) แผ่นห้าเหลี่ยมด้านเท่า (Equilateral Triangle) และแผ่นวงแหวน (Ring) เป็นต้น ส่วนการป้อนสัญญาณของไมโครสตริปแบ่งได้เป็นสองแบบ คือการป้อนสัญญาณแบบตรงกลาง (Center Feed) และการป้อนสัญญาณแบบเยื้องจากตรงกลาง (Off-Center-Feed) [7] และ [8] ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.13 ทรัพยากรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 ลักษณะการป้อนของสายนำสัญญาณไมโครสตริป [7]

ส่วนโครงสร้างของไมโครสตริปจะประกอบด้วยตัวนำอยู่สองด้าน ด้านหนึ่งเรียกว่า แผ่นระนาบกราวด์ (Ground Plane) และด้านที่สองใช้สำหรับการสร้างตัวป้อนสัญญาณ ลายวงจรถือหรือสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นวงจรพิมพ์ โดยมีวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริก (Dielectric Substrate) อยู่ตรงกลาง ตัวนำส่วนใหญ่จะเป็นทองแดงซึ่งความหนาของทองแดง (t) ประมาณ 17.78 ไมโครเมตร ถึง 35.56 ไมโครเมตร ส่วนความหนาของวัสดุฐานรอง (h) มีหลายขนาดแต่ที่นิยมนำมาออกแบบคือ 0.8 มิลลิเมตร 1.6 มิลลิเมตร เป็นต้น ส่วนคุณสมบัติทางไฟฟ้าวัสดุฐานรองแสดงด้วยสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ (Relative Permittivity) หรือ ϵ_r และค่าของ Loss Tangent หรือ $\tan \delta$ ดังแสดงในรูปที่ 2.14



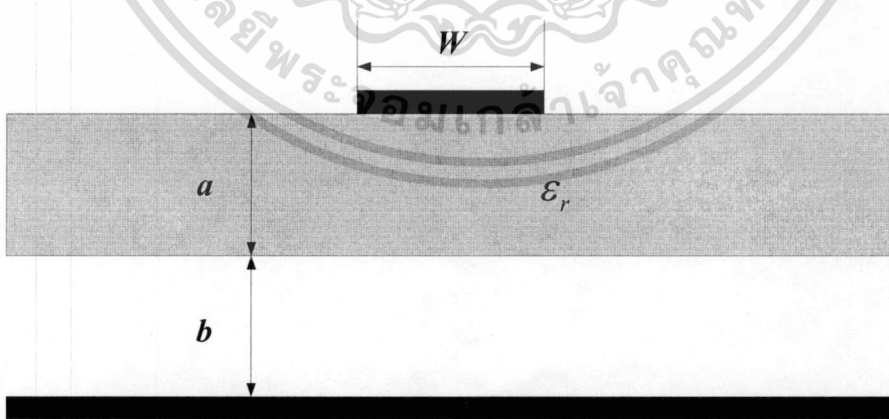
(ก) สายนำสัญญาณไมโครสตริป

(ข) เส้นสนามไฟฟ้า

รูปที่ 2.14 โครงสร้างของสายนำสัญญาณไมโครสตริป และเส้นสนามไฟฟ้า [7]

2.5 สายนำสัญญาณไมโครสตริปแบบลอยเหนือระนาบกราวด์

การจำลองและทดสอบค่าคุณลักษณะของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ามีอยู่หลายวิธี โดยวิทยานิพนธ์นี้จะใช้เทคนิคของสายนำสัญญาณไมโครสตริปแบบลอยเหนือระนาบกราวด์ (Suspended Microstrip) มาใช้ร่วมกับโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อทำการจำลองและทดสอบค่า S พารามิเตอร์ โดยสายนำสัญญาณไมโครสตริปจะถูกวางประกบอยู่ด้านบนของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อทำการเปรียบเทียบรูปแบบพื้นฐานของกระบวนการทางไมโครสตริปแบบระนาบร่วมกับกระบวนการทางโมโนโพล [9]



รูปที่ 2.15 สายนำสัญญาณไมโครสตริปแบบลอยเหนือระนาบกราวด์ [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.15 แสดงไมโครสตริปแบบลอยเหนือระนาบกราวนด์ เป็นหลักการพื้นฐานของสายนำสัญญาณที่ใช้ในย่านไมโครเวฟและมิลลิเมตรเวฟ [10] ในการคำนวณค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายนำสัญญาณ ไมโครสตริปที่นำมาใช้งานร่วมกับโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$Z_0 = 60 \ln \left(\frac{f(u)}{u} + \sqrt{1 + \frac{4}{u^2}} \right) \quad (2.10)$$

เมื่อ

$$f(u) = 6 + (2\pi - 6) e^{-\left(\frac{30.666}{u}\right)^{0.7528}} \quad (2.11)$$

$$u = \frac{W}{a+b} \quad (2.12)$$

ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผล ϵ_{eff} สามารถหาได้จากสมการ

$$\epsilon_{eff} = \frac{1}{\left(1 + \frac{a}{b} \left(h_1 - h_{11} \ln \frac{W}{b}\right) \left(\frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} - 1\right)\right)^2} \quad (2.13)$$

เมื่อ

$$h_1 = \left(0.8621 - 0.1251 \ln \frac{a}{b}\right)^4 \quad (2.14)$$

$$h_{11} = \left(0.4986 - 0.1397 \ln \frac{a}{b}\right)^4 \quad (2.15)$$

ค่าอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณสามารถหาได้จากสมการ

$$Z = \frac{Z_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2.16)$$

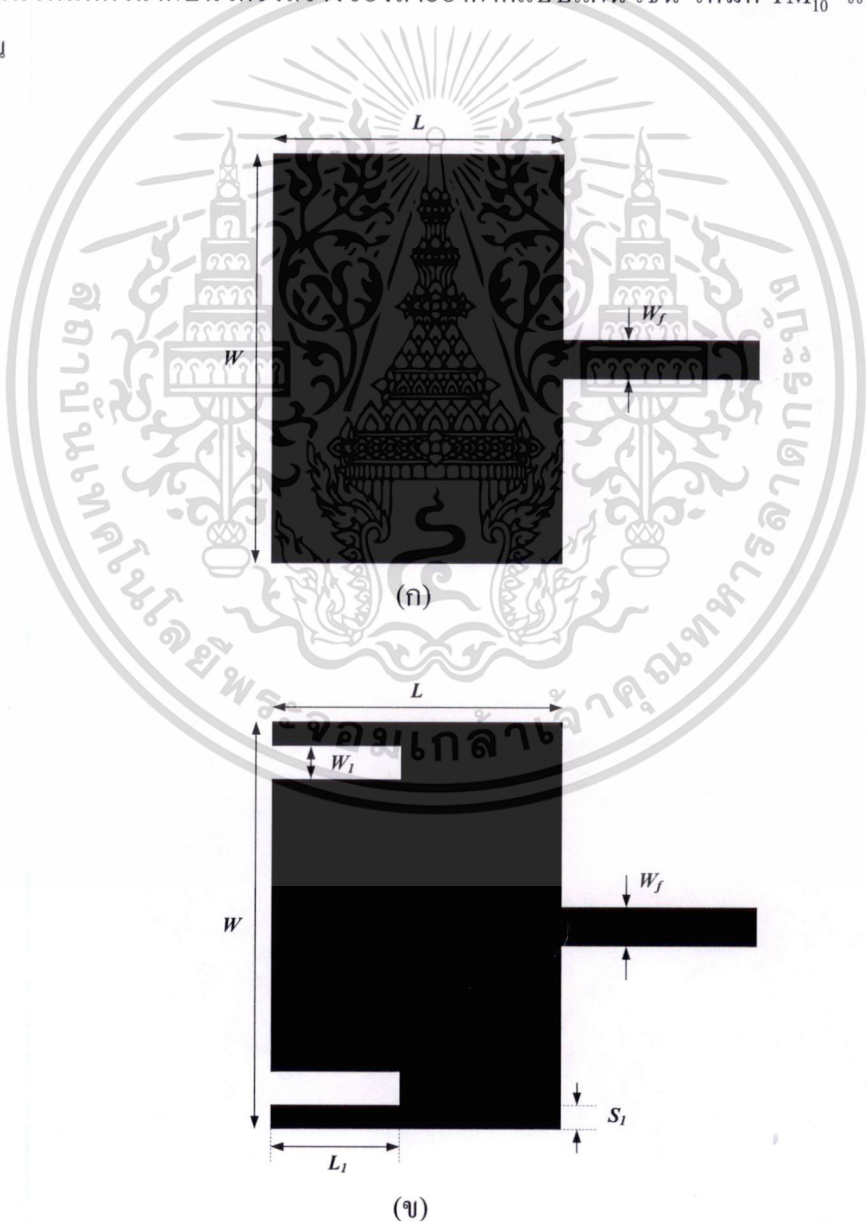
เมื่อ W คือความกว้างของสายนำสัญญาณ a คือความสูงของวัสดุฐานรอง b คือระยะห่างระหว่างวัสดุฐานรองกับระนาบกราวนด์ ค่าที่ได้จากสมการเบื้องต้นจะมีค่าผิดพลาดที่ $\pm 1\%$ เมื่อ $1 < \frac{W}{b} \leq 8, 0.2 \leq \frac{a}{b} \leq 1$, และ $\epsilon_r \leq 6$ ถ้าค่า $\epsilon_r \approx 10$ สมการนี้จะมีค่าผิดพลาด $\pm 2\%$ [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 สายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่คู่

สายอากาศย่านความถี่คู่คือสายอากาศที่สามารถทำงานได้สองความถี่ในสายอากาศตัวเดียว สายอากาศย่านความถี่คู่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบสื่อสารไร้สาย ระบบสื่อสารเคลื่อนที่ เป็นต้น ซึ่งเป็นระบบที่ต้องการการรับส่งแบบสองความถี่หรือมากกว่า ข้อดีของสายอากาศย่านความถี่คู่เมื่อเทียบกับสายอากาศความถี่กว้าง คือสามารถกำหนดเฉพาะความถี่ที่ต้องการนำไปใช้งานได้โดยตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ที่ต้องการนำไปใช้งาน ทำให้ประหยัดพลังงานมากกว่าการใช้สายอากาศความถี่กว้าง [11]

เทคนิคการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่คู่เบื้องต้น คือการกำหนดให้มีการทำงานในโหมดตั้งฉากบนโครงสร้างของสายอากาศแบบแผ่น เช่น โหมด TM_{10} และ TM_{01} [12] เป็นต้น



เอกสารรูปที่ 2.16 สายอากาศไมโครสตริป (ก) แพทช์แบบความถี่เดี่ยว (ข) แพทช์แบบสองความถี่ [12] งานการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.16 แสดงการเปรียบเทียบรูปร่างเบื้องต้นของสายอากาศไมโครสตริปแบบความถี่เดียวและแบบสองความถี่ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศในรูปที่ 2.16 แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 พารามิเตอร์ของสายอากาศไมโครสตริป

สัญลักษณ์	แพทช์แบบความถี่เดียว	แพทช์แบบสองความถี่
L	ความยาวของแพทช์	ความยาวของแพทช์
W	ความกว้างของแพทช์	ความกว้างของแพทช์
W_f	ความกว้างเส้นไมโครสตริป	ความกว้างเส้นไมโครสตริป
W_1	-	ความกว้างของร่อง
L_1	-	ความยาวของร่อง
S_1	-	ความกว้างของขอบที่ไม่มีการแพร่กระจายคลื่น

โครงสร้างสายอากาศในรูปที่ 2.16 (ข) ประกอบด้วยแพทช์สี่เหลี่ยมที่มีร่องสองร่องอยู่บนแผ่นเดียวกัน ผลกระทบของร่องที่อยู่บนแพทช์สี่เหลี่ยมสามารถทำให้เกิดการแมตซ์อิมพีแดนซ์ของโหมด TM สองโหมด [12] ทำให้มีความถี่เรโซแนนซ์เกิดขึ้นสองความถี่

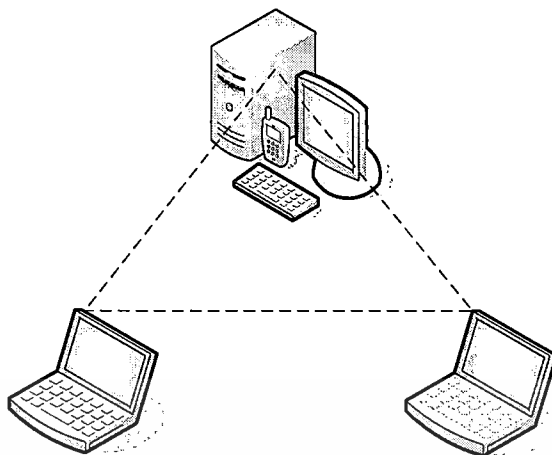
2.7 หลักการและทฤษฎีของระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย

โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย หรือ WLAN คือระบบที่เชื่อมต่อโคมพิวเตอร์เข้าด้วยกันเป็นเครือข่ายภายในพื้นที่แบบไร้สาย โดยใช้คลื่นความถี่วิทยุในการเชื่อมต่อหรือสื่อสารกัน การเชื่อมต่อแบบไร้สายมีทั้งแบบเชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วยกัน และเชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านอุปกรณ์กระจายสัญญาณ การส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายแบบไร้สายนั้นมีอยู่ 2 เทคโนโลยี [13] คือ เทคโนโลยีแบบใช้คลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency) และเทคโนโลยีแบบใช้สัญญาณอินฟราเรด (Infrared)

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

2.7.1 แบบ Ad-Hoc หรือ Peer-to-Peer

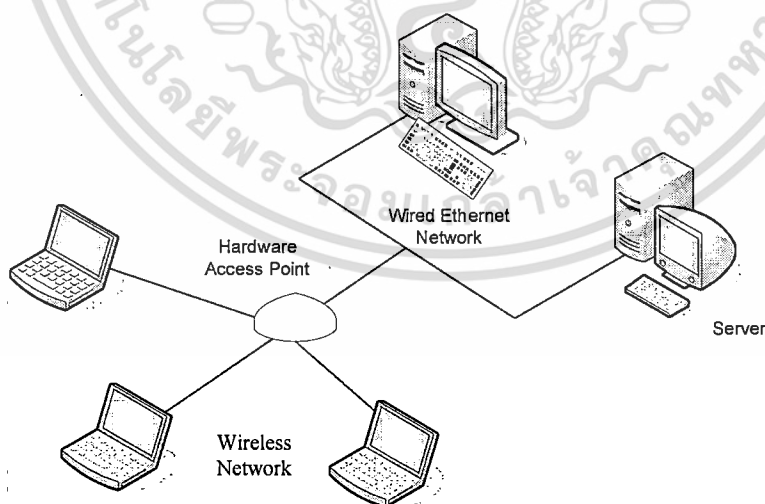
มาตรฐาน WLAN ในแบบ Ad-Hoc หรือ Peer-to-Peer เป็นเครือข่ายที่ไม่มีสถานีแม่ข่าย และไม่มีการเชื่อมต่อกับเครือข่ายอื่นในบริเวณ WLAN ในแบบ Ad-Hoc จะถูกเรียกว่า Independent Basic Service Set (IBSS) ซึ่งสถานีผู้ใช้หนึ่งสามารถติดต่อสื่อสารข้อมูลกับสถานีผู้ใช้อื่นๆในเขต IBSS เดียวกันได้โดยตรงโดยไม่ต้องผ่านสถานีแม่ข่ายแต่สถานีผู้ใช้จะไม่สามารถรับส่งข้อมูลกับเครือข่ายอื่นไ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



รูปที่ 2.17 การเชื่อมต่อแบบ Ad-Hoc

2.7.2 แบบระบบพื้นฐาน (Infrastructure)

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



รูปที่ 2.18 การเชื่อมต่อแบบระบบพื้นฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในวิทยานิพนธ์นี้ที่ได้นำเสนอจะเป็นงานวิจัยที่เกี่ยวกับการออกแบบโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้ค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน $|S_{21}|$ ที่ต่ำกว่า -10 dB สองย่านความถี่ และงานวิจัยที่นำเอาโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้งานร่วมกับสายอากาศ

2.8.1 A Dual Band Gap Slotted Patch Electromagnetic Band Gap for Dual Band Microstrip Antenna

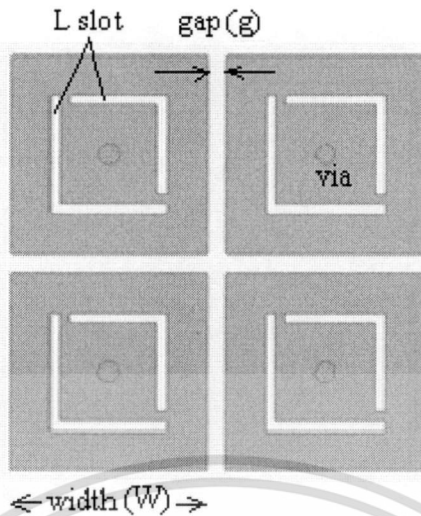
งานวิจัยนี้ถูกนำเสนอโดย O. Ayop, M. K. A. Rahim และ T. Masri [14] โดยได้ทำการศึกษาค่าพารามิเตอร์ของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบแถวคูณหลักแบบพื้นฐาน (Mushroom EBG; MEBG) แสดงในรูปที่ 2.19 ซึ่งได้ค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน $|S_{21}|$ ที่ต่ำกว่า -10 dB เพียงหนึ่งย่านความถี่



รูปที่ 2.19 แผ่นเซลล์ช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบแถวคูณหลักแบบพื้นฐาน (MEBG) [14]

งานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงจากรูปแบบพื้นฐานโดยทำการเพิ่มร่อง (Slot) รูปตัว L สองร่องลงบนแผ่นเซลล์ช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า (Slotted Patch EBG; SPEBG) ขนาดของร่องกว้าง 0.5 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.20

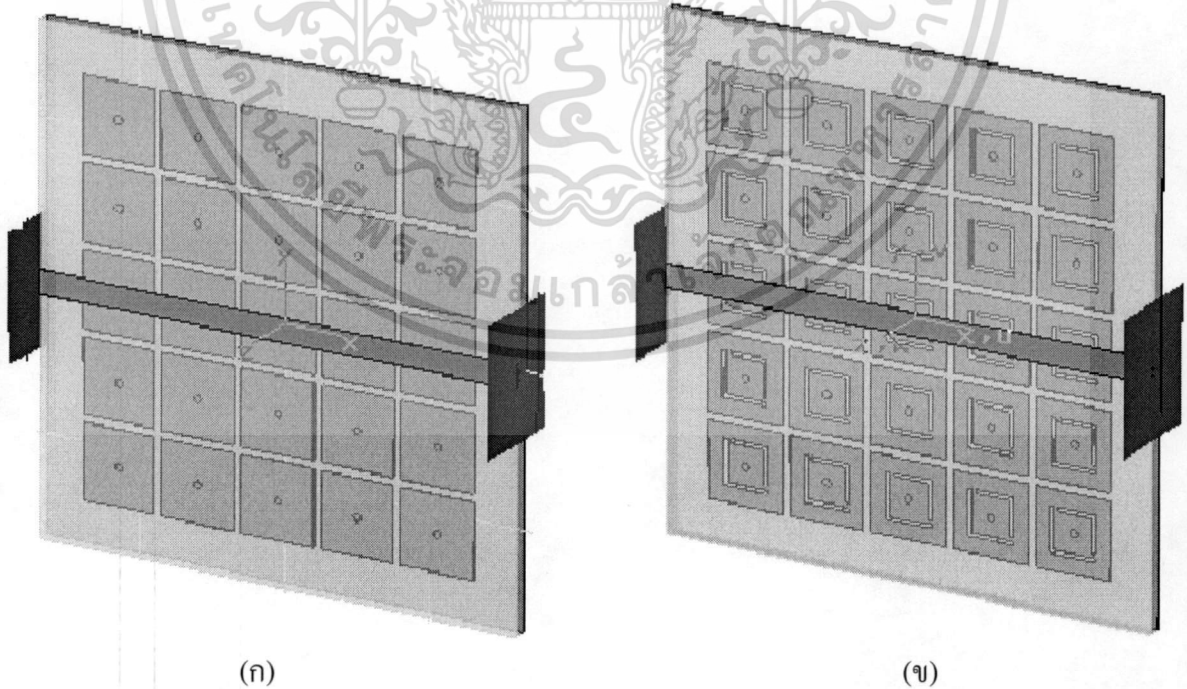
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 แผ่นเซลล์ช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบแถวคูณหลักเมื่อทำการเพิ่มร่อง (SPEBG)

[14]

งานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบ MEBG และ SPEBG ขนาด 5 แถว \times 5 หลัก โดยใช้สายนำสัญญาณไมโครสตริปขนาด 50 โอห์ม เพื่อทำการหาค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านดังแสดงในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า (ก) MEBG (ข) SPEBG [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.21 แสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าที่สร้างจากวัสดุชนิดเดียวกันทำการจำลองผลโดยศึกษาถึงผลกระทบของพารามิเตอร์ต่างๆต่อค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน

2.8.1.1 ผลกระทบของขนาดความกว้างแผ่นเซลล์

ทำการศึกษาถึงผลกระทบของขนาดความกว้างแผ่นเซลล์โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งสองโครงสร้าง โดยทำการปรับขนาดความกว้างของแผ่นเซลล์ตั้งแต่ 7 มิลลิเมตร ถึง 12 มิลลิเมตร โดยผลการจำลองค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ผลกระทบของขนาดความกว้างแผ่นเซลล์ต่อค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน

ความกว้างแผ่น (mm)	ย่านความถี่แรก (GHz)		ย่านความถี่สอง (GHz)	
	MEBG	SPEBG	MEBG	SPEBG
7	2.78-3.85	2.57-3.20	-	6.23-8.88
8	2.42-3.56	2.32-2.89	-	6.08-7.77
9	2.26-3.09	2.12-2.63	-	5.82-7.51
10	2.08-2.77	1.96-2.44	-	5.61-9.05
11	1.91-2.53	1.75-2.22	-	6.72-8.38
12	1.80-2.34	1.66-2.00	-	6.54-7.90

จากตารางที่ 2.3 จะพบว่า SPEBG สามารถให้ค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน $|S_{21}|$ ที่ต่ำกว่า -10 dB สองย่านความถี่ ผลกระทบต่อขนาดของแผ่นเซลล์จะส่งผลให้ความถี่นั้นเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยภาพรวมเมื่อขนาดของแผ่นเซลล์มีขนาดกว้างขึ้นจะทำให้ความถี่ลดลง

2.8.1.2 ผลกระทบต่อขนาดระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์

ทำการปรับขนาดระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์ ตั้งแต่ขนาด 1 มิลลิเมตรถึง 5 มิลลิเมตร โดยผลการจำลองค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ผลกระทบของขนาดระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์ต่อค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน

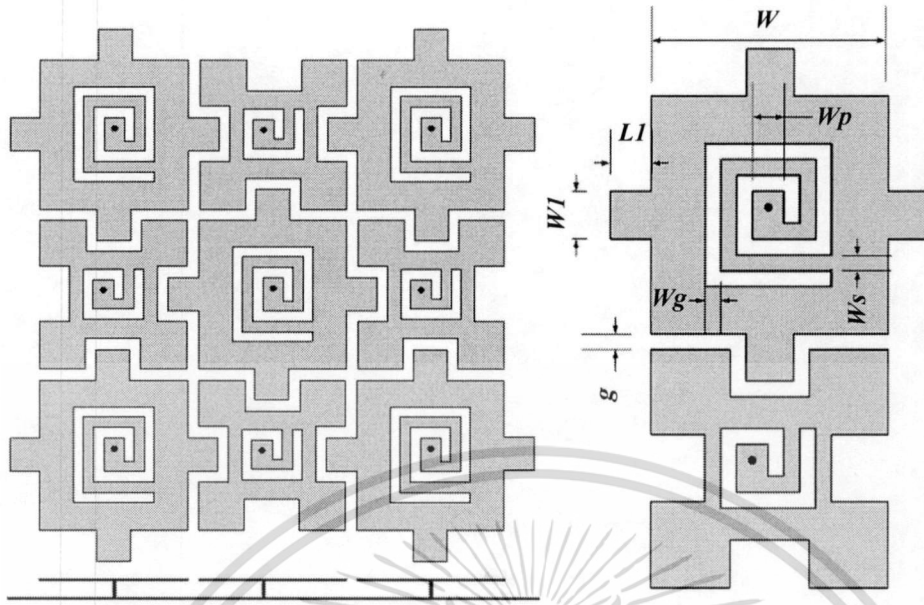
ระยะห่างระหว่างแผ่น เซลล์ (mm)	ย่านความถี่แรก (GHz)		ย่านความถี่สอง (GHz)	
	MEBG	SPEBG	MEBG	SPEBG
1	2.08-2.77	1.96-2.44	-	5.61-9.05
2	2.16-3.22	1.97-2.96	-	6.80-8.00
3	2.14-2.36	2.07-2.99	-	6.80-7.94
4	2.12-3.22	2.06-2.95	-	6.74-7.84
5	2.08-3.18	2.04-2.95	-	6.67-7.78

จากตารางที่ 2.4 จะพบว่าผลกระทบของขนาดระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์ไม่ได้ส่งผลต่อความถี่มากนัก แต่จะส่งผลต่อขนาดแบนด์วิดธ์ของแถบช่องว่างความถี่ เมื่อขนาดระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์เพิ่มขึ้น แบนด์วิดธ์ของแถบช่องว่างความถี่ก็จะเพิ่มขึ้นตาม

จากการศึกษาพารามิเตอร์ของงานวิจัยนี้จะพบว่าเมื่อทำการเพิ่มร่องลงบนแผ่นเซลล์ของช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าแบบพื้นฐาน (SPEBG) จะส่งผลให้มีค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน $|S_{21}|$ ที่ต่ำกว่า -10 dB สองย่านความถี่ซึ่งเหมาะสำหรับการนำไปใช้งานร่วมกับสายอากาศไมโครสตรีย่านความถี่คู่

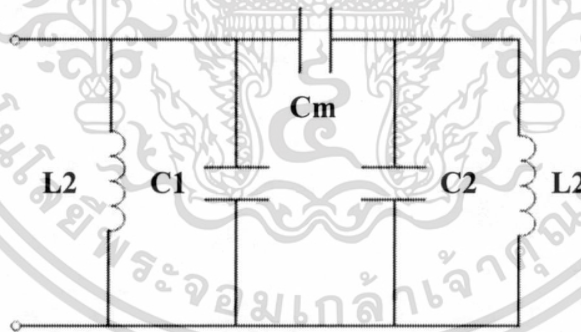
2.8.2 A Novel Dual-Band Compact Electromagnetic Bandgap (EBG) Structure and Its Application in Multi-Antennas

งานวิจัยนี้ถูกนำเสนอโดย Y. Yao, X. Wang และ Z. Feng [16] งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าที่ออกแบบให้แผ่นเซลล์รายคาบมีความแตกต่างกันสองแบบโดยแผ่นเซลล์ทั้งสองแบบมีร่องรูปแบบขดหอยดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 แผ่นเซลล์รัยคาบแบบร่องรูปแบบขดหอย [15]

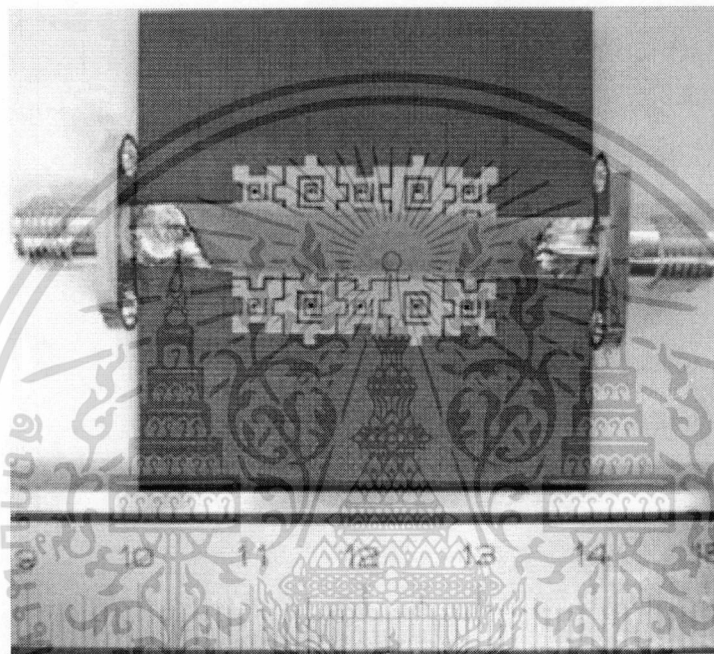
รูปที่ 2.22 แสดงแผ่นเซลล์รัยคาบแบบร่องรูปแบบขดหอย โดยแผ่นเซลล์จะถูกเชื่อมต่อกับระนาบกราวด์ด้านล่างของ โครงสร้างด้วยแท่งโลหะ ในรูปที่ 2.23 แสดงวงจรสมมูลของ โครงสร้างที่มีความถี่กลางสองความถี่คือ $f_1 = 1/2\pi\sqrt{L_1C_1}$ และ $f_2 = 1/2\pi\sqrt{L_2C_2}$



รูปที่ 2.23 วงจรสมมูล [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

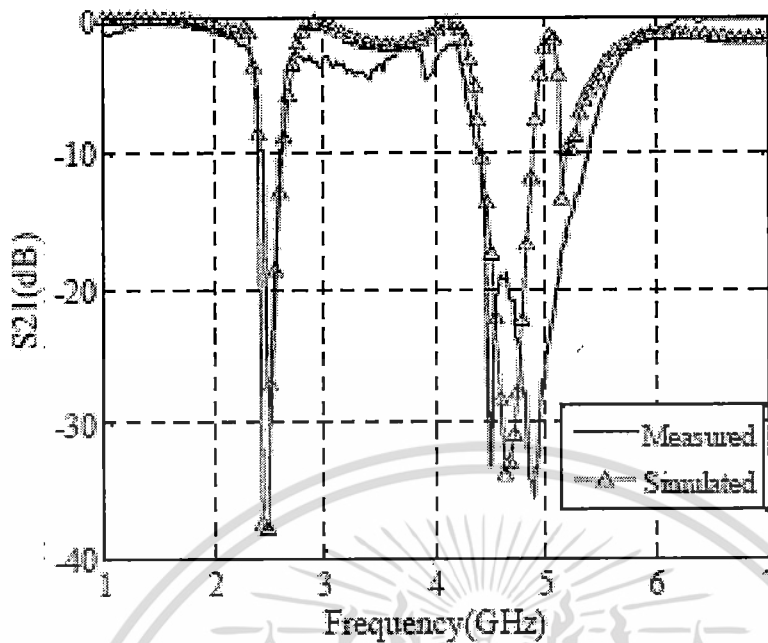
รูปที่ 2.23 แสดงวงจรสมมูลย์โดยค่า L เกิดจากกระแสที่ไหลไปตามทางรูปขดหอยผ่านแท่งโลหะลงสู่ระนาบกราวด์ ค่า C เกิดจากผลกระทบของระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์รัยคาบแบบรูปขดหอยทำให้เกิดค่าความเหนี่ยวนำในวงจรสมมูลย์ LC ร่องรูปขดหอยทำให้เกิดค่าความเก็บประจุ (C_m) ของโครงข่ายสมมูลย์ LC โดยที่แขนรูปขดหอยของแผ่นเซลล์รัยคาบทั้งสองแบบมีความยาวที่แตกต่างกันทำให้เกิดค่าความเหนี่ยวนำที่แตกต่างกันคือ L_1 และ L_2 ขนาดของระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์สองแผ่นที่แตกต่างกันทำให้เกิดค่าความเก็บประจุที่แตกต่างกันคือ C_1 และ C_2 ดังนั้นจึงทำให้เกิดความถี่กลางสองความถี่คือ f_1 และ f_2



รูปที่ 2.24 โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าแบบร่องรูปแบบขดหอย [15]

รูปที่ 2.24 แสดงโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าแบบร่องรูปแบบขดหอยพร้อมกับสายนำสัญญาณไมโครสตริป โดยสร้างบนวัสดุฐานรองสูง 1 มิลลิเมตร ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์เท่ากับ 2.65 มีขนาดพารามิเตอร์ ความกว้างของแผ่นสี่เหลี่ยม (W) เท่ากับ 4.4 มิลลิเมตร ความกว้างของแผ่นสตริป (W_p) เท่ากับ 0.6 มิลลิเมตร ความกว้างของแผ่นรูปขดหอย (W_s) เท่ากับ 0.3 มิลลิเมตร ความกว้างร่องรูปขดหอย (W_g) เท่ากับ 0.3 มิลลิเมตร ความกว้างของแผ่นสตริป (W_l) เท่ากับ 1 มิลลิเมตร ความยาวของแผ่นสตริป (L_l) เท่ากับ 0.9 มิลลิเมตร และ ระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์ (g) เท่ากับ 0.3 มิลลิเมตร

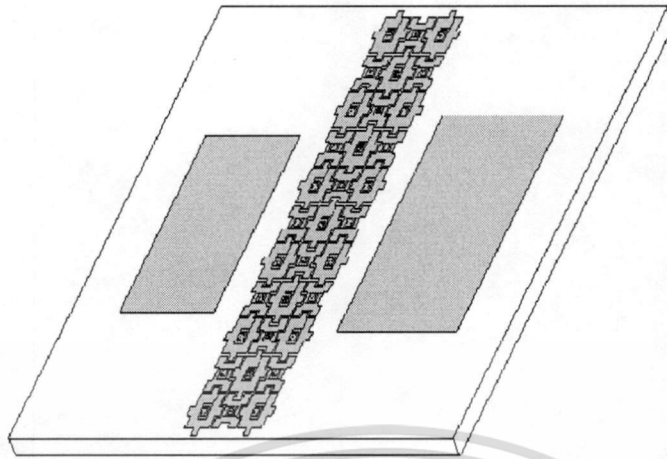
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



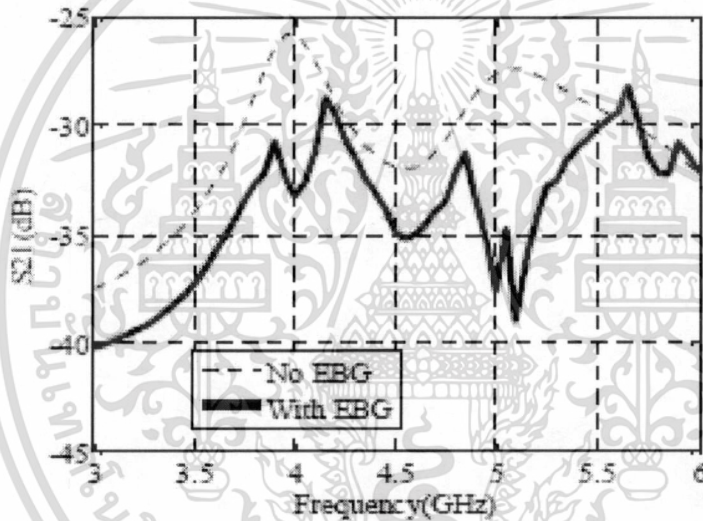
รูปที่ 2.25 จำลองและทดสอบค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน [15]

รูปที่ 2.25 แสดงผลการจำลองและทดสอบค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าแบบร่องรูปแบบขดหอย โดยมีความถี่กลางอยู่ที่ 2.46 GHz และ 4.66 GHz

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการนำโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าแบบร่องรูปแบบขดหอย มาทำการลดคลื่นพื้นผิวเมื่อมีการเชื่อมต่อร่วมกันของสายอากาศไมโครสตริปสองตัวแสดงในรูป ที่ 2.26 โดยผลจากการจำลองแสดงในรูปที่ 2.27 สายอากาศที่ไม่มีโครงสร้างช่องว่างแถบ แม่เหล็กไฟฟ้าจะมีการเชื่อมต่อร่วมประมาณ -25.75 dB ที่ 4 GHz และ -27.58 dB ที่ 5 GHz เมื่อมี โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ามาใช้ร่วม จะสามารถลดการเชื่อมต่อร่วมของสายอากาศได้ 7.51 dB ในความถี่แรก และ 10.1 dB ในความถี่ที่สอง



รูปที่ 2.26 การเชื่อมต่อร่วมของสายอากาศไมโครสตริปสองตัว [16]



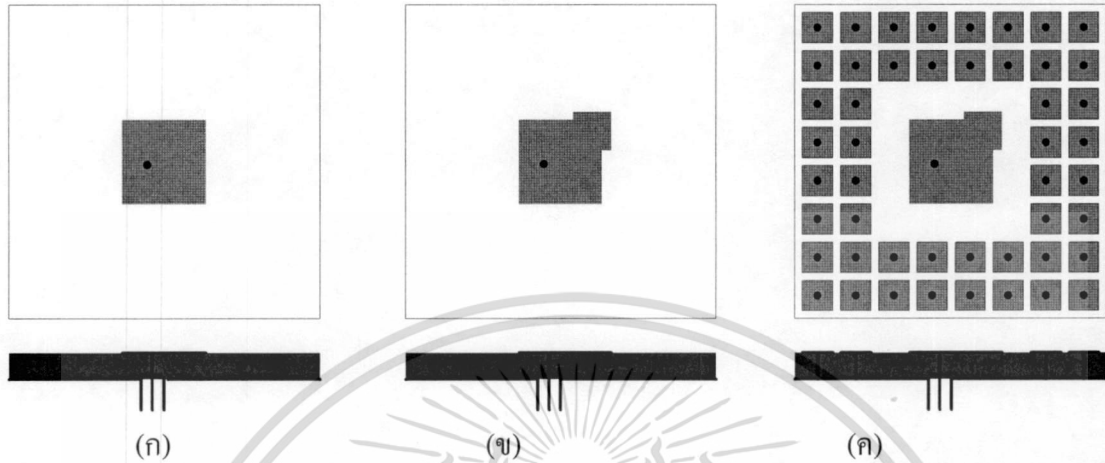
รูปที่ 2.27 เปรียบเทียบการเชื่อมต่อร่วมของสายอากาศไมโครสตริป [15]

จากงานวิจัยโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถทำให้มีค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ต่ำกว่า -10 dB สองย่านความถี่โดยการเพิ่มร่องรูปขดหอยบนแผ่นเซลล์รัยคาบ และโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถลดคลื่นพื้นผิวที่เกิดจากการเชื่อมต่อร่วมของสายอากาศไมโครสตริปได้

2.8.3 Wide-Band Microstrip Patch Antenna with Planar PBG Structure

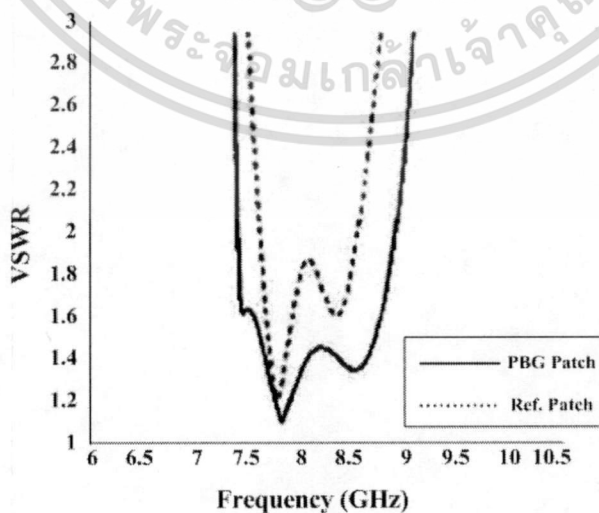
งานวิจัยนี้ถูกนำเสนอโดย M. Kahniao และ M. A. Stuchly [17] เป็นการนำโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้งานร่วมกับสายอากาศ งานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบสายอากาศไมโครสตริปสามชนิด ชนิดแรกเป็นสายอากาศไมโครสตริปแพทช์สี่เหลี่ยมแบบปกติ ชนิดที่สองเป็นสายอากาศไมโครสตริปที่มีการปรับปรุงแพทช์สี่เหลี่ยม และชนิดที่สามเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศไมโครสตริปที่มีการปรับปรุงแพทช์สี่เหลี่ยมใช้งานร่วมกับ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.28

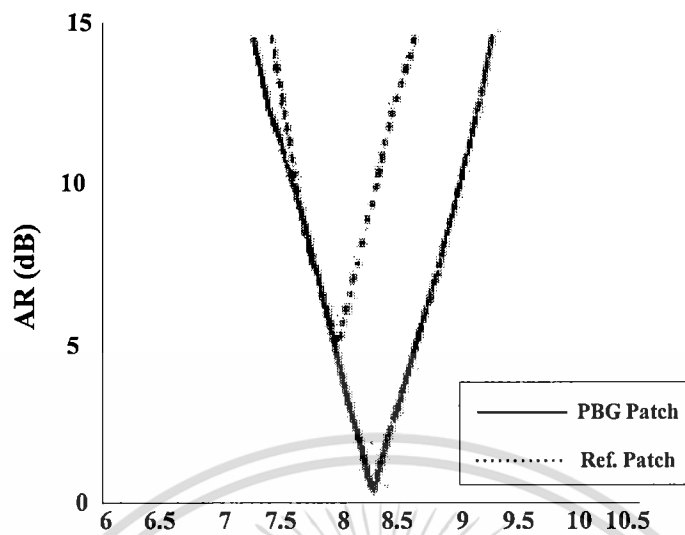


รูปที่ 2.28 สายอากาศไมโครสตริป (ก) แพทช์สี่เหลี่ยมแบบปกติ (ข) ปรับปรุงแพทช์สี่เหลี่ยม (ค) ปรับปรุงแพทช์สี่เหลี่ยมใช้งานร่วมกับ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า [16]

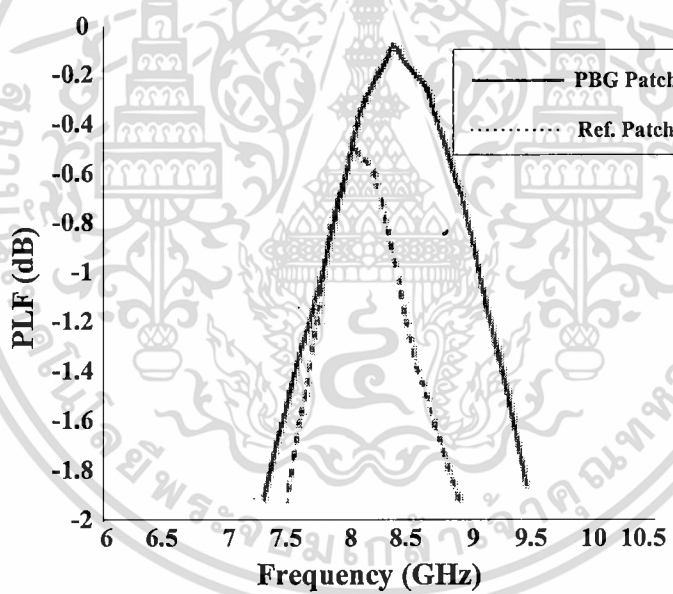
จากรูปที่ 2.28 สายอากาศไมโครสตริปถูกสร้างบนแผ่นวงจรพิมพ์ขนาด 26.25×26.25 ตารางมิลลิเมตร สูง 1.575 มิลลิเมตร มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก 4.7 ขนาดแพทช์สี่เหลี่ยม 7.5×7.5 ตารางมิลลิเมตร โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าถูกออกแบบให้มีแถบช่องว่างอยู่ระหว่าง 7.2 GHz ถึง 9.2 GHz แผ่นเซลล์มีขนาด 3.25×3.25 ตารางมิลลิเมตร ช่องว่างระหว่างแผ่นเซลล์ 0.25 มิลลิเมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)



(ค)

รูปที่ 2.29 ผลการทดสอบ (ก) อัตราส่วนคลื่นนิ่งแรงดัน (ข) อัตราส่วนแกน (ค) การสูญเสีย
เนื่องมาจากการโพลาไรซ์ [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.29 แสดงผลการทดสอบอัตราส่วนคลื่นนิ่งแรงดัน อัตราส่วนแกน และการสูญเสียเนื่องมาจากการโพลาไรซ์ ของสายอากาศไมโครสตริปแพทช์สี่เหลี่ยมแบบปกติและสายอากาศไมโครสตริปที่มีการปรับปรุงแพทช์สี่เหลี่ยมใช้งานร่วมกับ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า พบว่าช่วงความถี่ระหว่าง 7.2 GHz ถึง 9.2 GHz สายอากาศไมโครสตริปที่มีการปรับปรุงแพทช์สี่เหลี่ยมใช้งานร่วมกับ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ามีอัตราส่วนคลื่นนิ่งแรงดันที่ต่ำกว่าสายอากาศไมโครสตริปแพทช์สี่เหลี่ยมแบบปกติ สายอากาศไมโครสตริปที่มีการปรับปรุงแพทช์สี่เหลี่ยมใช้งานร่วมกับ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ามีการโพลาไรซ์แบบวงกลม และมีความสูญเสียเนื่องมาจากการโพลาไรซ์ที่ต่ำกว่าสายอากาศไมโครสตริปแพทช์สี่เหลี่ยมแบบปกติ

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบสมรรถนะของสายอากาศ

สายอากาศไมโคร- สตริป	แบนด์วิดท์			อัตราส่วนระหว่าง คลื่นด้านหน้าต่อ ด้านหลัง (dB)
	VSWR < 2	AR < 6	PLF < 1	
แพทช์สี่เหลี่ยมแบบ ปกติ	4% (7.7-8 GHz)	-	-	14
ปรับปรุงแพทช์ สี่เหลี่ยม	13% (7.6-8.6 GHz)	1.5% (7.98-8.11 GHz)	7.7% (7.7-8.32 GHz)	14
ปรับปรุงแพทช์ สี่เหลี่ยมใช้งาน ร่วมกับ โครงสร้าง ช่องว่างแถบ แม่เหล็กไฟฟ้า	20.5% (7.4-9.1 GHz)	9.6% (7.9-8.7 GHz)	14.5% (7.7-8.9 GHz)	18

จากตารางที่ 2.5 จะพบว่าสายอากาศไมโครสตริปที่มีการปรับปรุงแพทช์สี่เหลี่ยมใช้งานร่วมกับ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ามีแบนด์วิดท์และอัตราส่วนระหว่างคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลัง (Front to back ratio) ที่มากกว่าสายอากาศไมโครสตริปที่มีการปรับปรุงแพทช์สี่เหลี่ยมและสายอากาศไมโครสตริปแพทช์สี่เหลี่ยมแบบปกติ

2.9 สรุป

ในบทนี้กล่าวถึงอิทธิพลของแบบช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีจุดเด่นที่น่าสนใจต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคือสามารถศึกษาการแพร่กระจายคลื่นที่แพร่ไปตามพื้นผิวของวัสดุฐานรองโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบแถบคุณหลักเป็น โครงสร้างที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานร่วมกับสายอากาศไมโครสตริป งานวิจัยที่มีมาก่อนนำเสนอการดัดแปลงเซลล์ช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้ได้ค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านสองย่านความถี่ การนำโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ามาศึกษาการแพร่กระจายของคลื่นพื้นผิวที่เกิดจากการเชื่อมต่อร่วมของสายอากาศไมโครสตริปสองตัวและการนำโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าไปใช้งานร่วมกับสายอากาศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

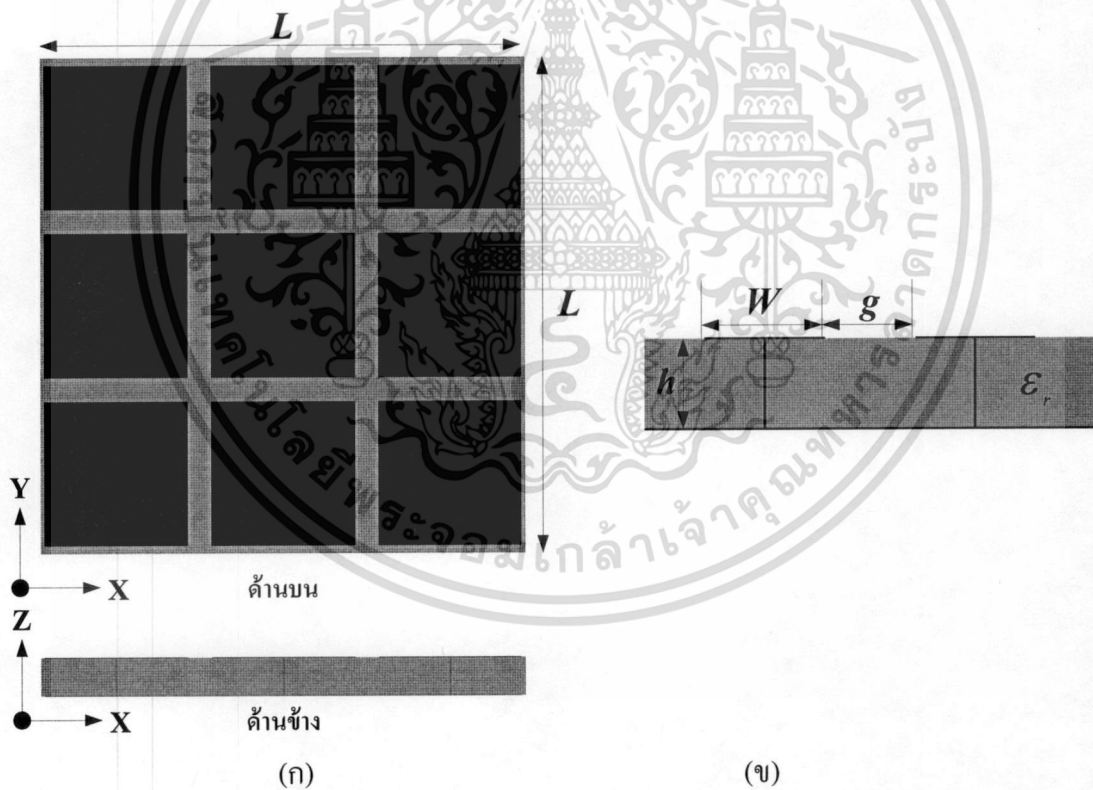
บทที่ 3

การออกแบบและการจำลอง

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบแถวคูณหลักแบบพื้นฐาน และทำการจำลองในโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO® ทำการศึกษาถึงผลกระทบต่อค่าพารามิเตอร์ต่างๆของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า และทำการตัดแปลงแผ่นเซลล์รัยคาบของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้ได้ค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน $|S_{21}|$ ที่ต่ำกว่า -10 dB สองย่านความถี่

3.2 พารามิเตอร์ของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบแถวคูณหลัก



รูปที่ 3.1 ช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า (ก) โครงสร้าง (ข) พารามิเตอร์

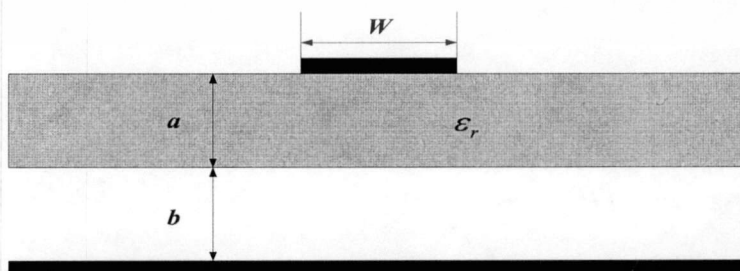
ค่าคุณลักษณะของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถหาได้จากขนาดทางกายภาพ สำหรับโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบแถวคุณหลักแสดงในรูปที่ 3.1 จะมีพารามิเตอร์หลักอยู่สี่ส่วนที่มีผลต่อค่าคุณลักษณะของโครงสร้าง คือ ความกว้างแผ่นเซลล์รัยคาบ (W) ระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์ (g) ความหนาของวัสดุฐานรอง (h) และค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ (ϵ_r)

ในส่วนแรกจะทำการออกแบบโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบแถวคุณหลักแบบพื้นฐานที่มีค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ความถี่ 2.4 GHz โดยได้ทำการออกแบบบนวัสดุฐานรองชนิด FR-4 ที่มีค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์เท่ากับ 4.3 มีการกำหนดขนาดของระนาบกราวด์ของโครงสร้างที่หนึ่งความยาวคลื่นของความถี่ 2.4 GHz คือ $L = \lambda_d = 60$ มิลลิเมตร โดยค่าขนาดของพารามิเตอร์เบื้องต้นได้ระบุไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ขนาดพารามิเตอร์เบื้องต้นที่ความถี่ 2.4 GHz

สัญลักษณ์	พารามิเตอร์	ขนาด
L	ขนาดของระนาบกราวด์	60 ($1 \lambda_d$) มิลลิเมตร
W	ความกว้างของแผ่นเซลล์รัยคาบ	15 ($0.25 \lambda_d$) มิลลิเมตร
g	ระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์	1.5 ($0.025 \lambda_d$) มิลลิเมตร
h	ความสูงของวัสดุฐานรอง	0.8 มิลลิเมตร
ϵ_r	ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์	4.3

การจำลองค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าจะใช้เทคนิคของสายนำสัญญาณไมโครสตริปขนาด 50 โอห์ม โดยสายนำสัญญาณจะถูกออกแบบบนวัสดุฐานรองชนิด FR-4 สูง 0.8 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.2 พารามิเตอร์ของสายนำสัญญาณไมโครสตริป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าต้องการอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ $Z = 50$ โอห์ม เมื่อ a คือความสูงของแผ่นสายนำสัญญาณ b คือความสูงของแผ่นโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า จากนั้นทำการแทนค่าลงในสมการที่ (2.10) ถึง (2.16) แล้วทำการเปลี่ยนแปลงค่าความกว้างของสายนำสัญญาณไมโครสตริปให้ได้ค่าที่เหมาะสมซึ่งทำให้อิมพีแดนซ์คุณลักษณะ $Z = 50$ โอห์ม คือ 5.3 มิลลิเมตร ดังแสดงให้เห็นได้ดังนี้

$$Z = \frac{Z_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (3.1)$$

$$Z_0 = 60 \ln \left(\frac{f(u)}{u} + \sqrt{1 + \frac{4}{u^2}} \right) \quad (3.2)$$

คำนวณหา $f(u)$ และ u โดยการแทนค่า เมื่อ $a = b = 0.8$ มิลลิเมตร $W = 5.3$ มิลลิเมตร ลงในสมการที่ (2.11) และ (2.12)

$$u = \frac{5.3}{1.6} = 3.3125$$

$$f(u) = 6 + (2\pi - 6) e^{-\left(\frac{30.666}{3.3125}\right)^{0.7528}} = 6$$

นำสมการที่ (2.11) และ (2.12) แทนลงในสมการ (3.2)

$$Z_0 = 60 \ln \left(\frac{6}{3.3125} + \sqrt{1 + \frac{4}{3.3125^2}} \right) = 65.5$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{1}{\left(1 + \frac{a}{b} \left(h_1 - h_1 \ln \frac{W}{b} \right) \left(\frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} - 1 \right) \right)^2} \quad (3.3)$$

โดยที่

$$h_1 = \left(0.8621 - 0.1251 \ln \frac{0.8}{0.8} \right)^4 = 0.55237$$

$$h_1 = \left(0.4986 - 0.1397 \ln \frac{0.8}{0.8} \right)^4 = 0.0618$$

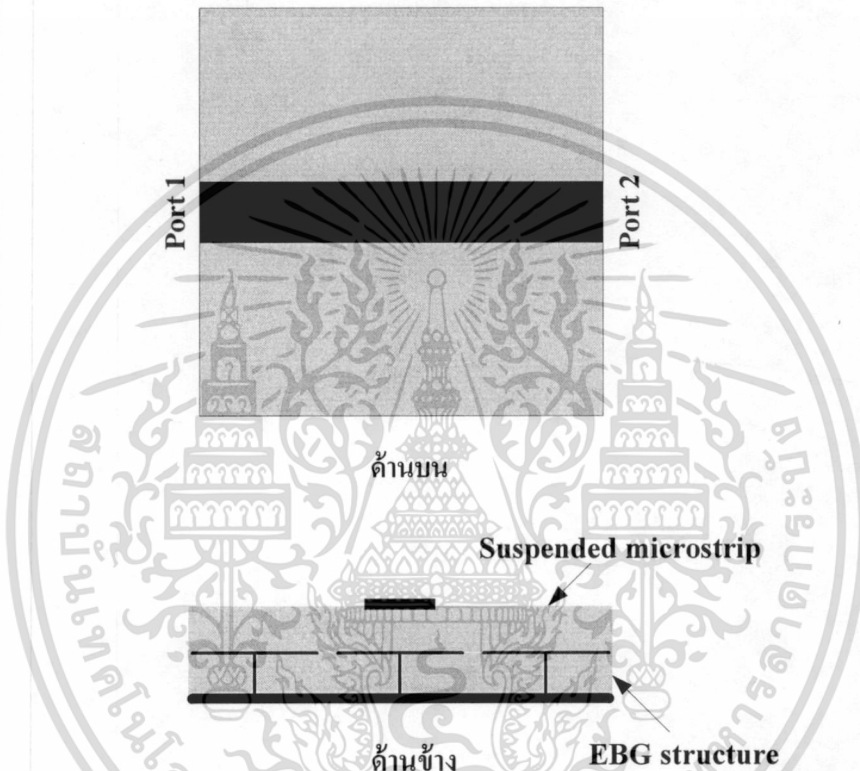
$$\epsilon_{eff} = \frac{1}{\left(1 + \frac{0.8}{0.8} \left(0.55237 - 0.0618 \ln \frac{5.3}{0.8} \right) \left(\frac{1}{\sqrt{4.3}} - 1 \right) \right)^2} = 1.66$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าที่ได้จากสมการที่ (3.2) และ (3.3) มาแทนในสมการที่ (3.1) จะได้

$$Z = \frac{65.5}{\sqrt{1.66}} = 50.83 \text{ โอห์ม}$$

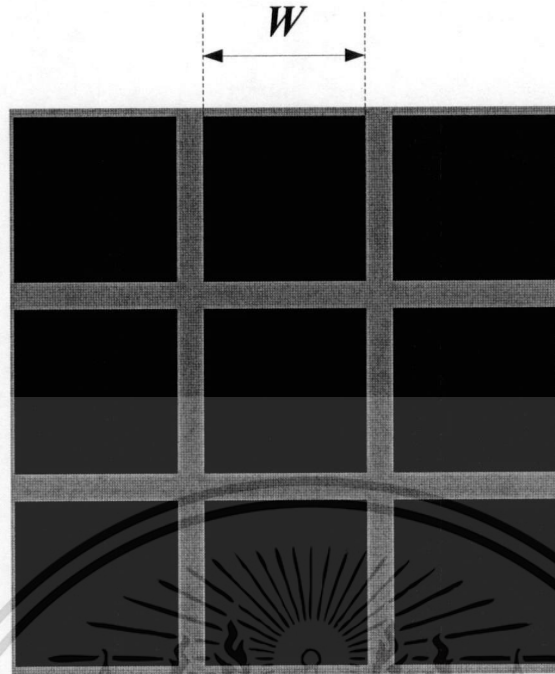
ซึ่งประมาณได้ใกล้เคียง 50 โอห์ม จากนั้นนำขนาดของสายนำสัญญาณไมโครสตริปไปทำการออกแบบและนำมาใช้ร่วมกับโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.3 เพื่อทำการจำลองผล



รูปที่ 3.3 สายนำสัญญาณไมโครสตริปเมื่อนำมาใช้ร่วมกับโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า

3.2.1 ผลกระทบต่อความกว้างของแผ่นเซลล์รัยคาบ

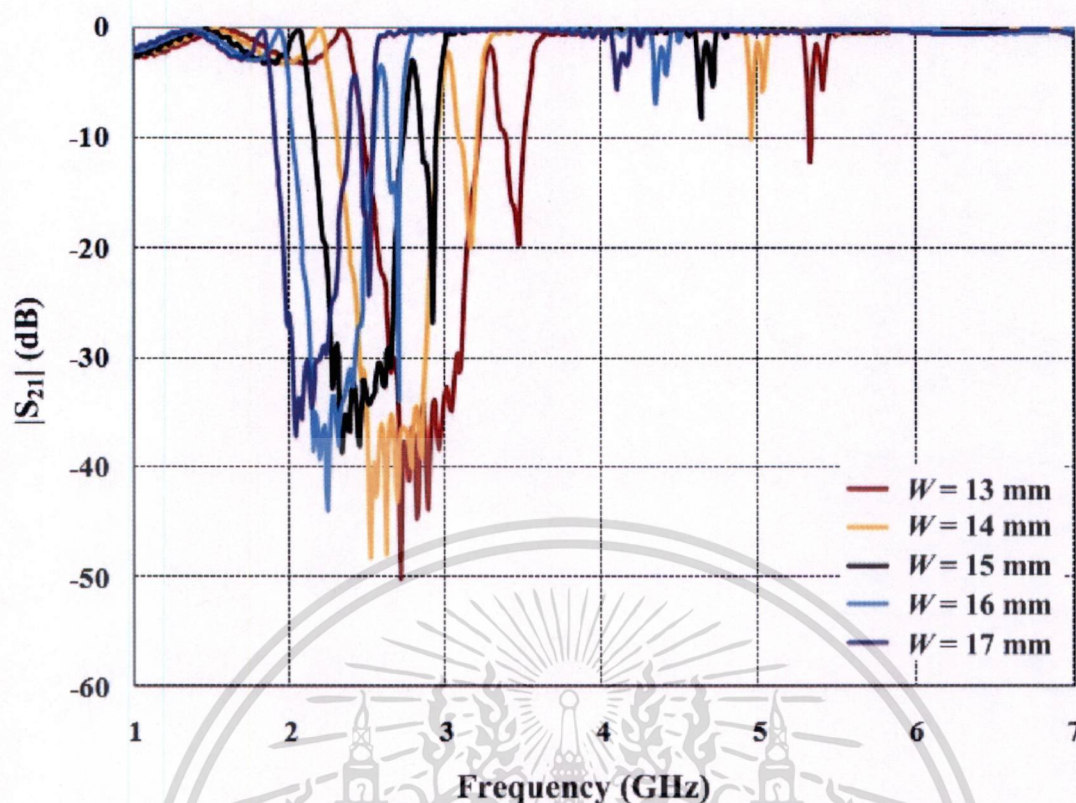
ความกว้างของแผ่นเซลล์มีบทบาทที่สำคัญต่อความถี่ จะทำการปรับความกว้างของแผ่นเซลล์ตั้งแต่ 13 มิลลิเมตรถึง 17 มิลลิเมตรโดยให้พารามิเตอร์อื่นๆ คือ ระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์ ความสูงของวัสดุฐานรอง ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์จะแสดงในตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.4 ปรับความกว้างแผ่นเซลล์รายคาบของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า

ตารางที่ 3.2 ขนาดพารามิเตอร์เมื่อมีการปรับความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบ

สัญลักษณ์	พารามิเตอร์	ขนาด
L	ขนาดของระนาบกราวด์	60 มิลลิเมตร
W	ความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบ	13-17 มิลลิเมตร
g	ระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์	1.5 มิลลิเมตร
h	ความสูงของวัสดุฐานรอง	0.8 มิลลิเมตร
ϵ_r	ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์	4.3

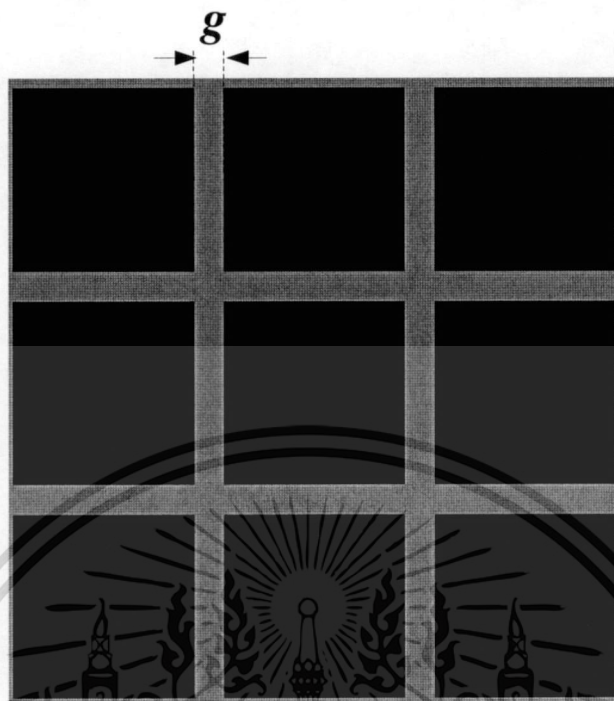


รูปที่ 3.5 เปรียบเทียบขนาดของความกว้างของแผ่นเซลล์ร่ายคาบ

รูปที่ 3.5 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของความกว้างของแผ่นเซลล์ร่ายคาบ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดความกว้างแผ่นเซลล์ร่ายคาบ จากรูปจะพบว่าเมื่อขนาดความกว้างของแผ่นเซลล์ร่ายคาบเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความถี่ลดลง ซึ่งจะสอดคล้องกับสมการที่ (2.5) จากสมการจะพบว่าค่าของตัวเก็บประจุจะแปรผันตามกับขนาดความกว้างของแผ่นเซลล์ เมื่อความกว้างเพิ่มขึ้นค่าของตัวเก็บประจุก็จะเพิ่มขึ้นตามจึงส่งผลให้ความถี่ตามสมการที่ (2.2) ลดลง

3.2.2 ผลกระทบต่อระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์

ขั้นตอนนี้จะทำการปรับระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์ตั้งแต่ 0.5 มิลลิเมตรถึง 2.5 มิลลิเมตร โดยให้พารามิเตอร์อื่นๆ คือ ความกว้างของแผ่นเซลล์ร่ายคาบ ความสูงของวัสดุฐานรอง ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์จะแสดงในตารางที่ 3.3

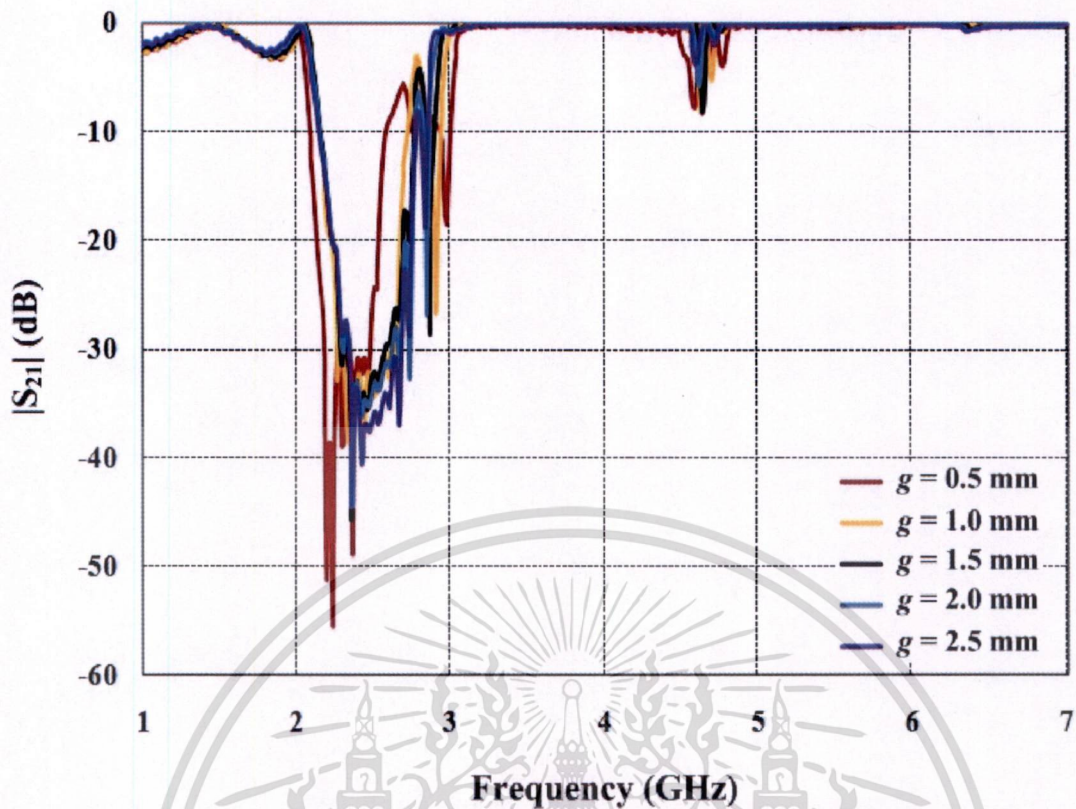


รูปที่ 3.6 ปรับระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์รายคาบของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า

ตารางที่ 3.3 ขนาดพารามิเตอร์เมื่อมีการปรับระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์รายคาบ

สัญลักษณ์	พารามิเตอร์	ขนาด
L	ขนาดของระนาบกราวนด์	60 มิลลิเมตร
W	ความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบ	15 มิลลิเมตร
g	ระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์	0.5-2.5 มิลลิเมตร
h	ความสูงของวัสดุฐานรอง	0.8 มิลลิเมตร
ϵ_r	ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์	4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 เปรียบเทียบระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์

รูปที่ 3.7 แสดงการเปรียบเทียบระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์ จากรูปจะพบว่าเมื่อระยะห่างมีการเปลี่ยนแปลงจะไม่ส่งผลกระทบต่อความถี่มากนัก ซึ่งจะสอดคล้องกับสมการที่ (2.5) เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์เพิ่มมากขึ้นก็จะไม่ส่งผลต่อค่าตัวเก็บประจุมากนัก

3.2.3 ผลกระทบต่อความหนาของวัสดุฐานรอง

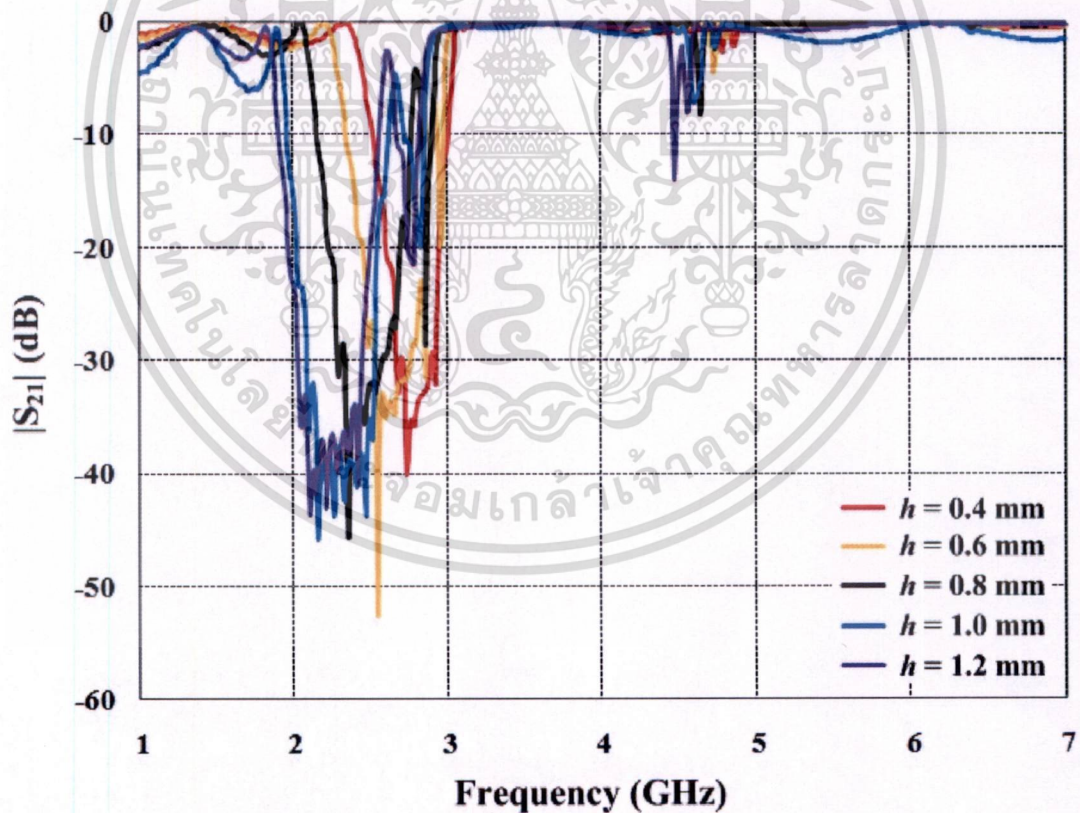
ขั้นตอนนี้ทำการปรับความหนาของวัสดุฐานรองตั้งแต่ 0.4 มิลลิเมตร ถึง 1.2 มิลลิเมตร โดยให้พารามิเตอร์อื่นๆ คือ ความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบ ระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์ ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์จะแสดงในตารางที่ 3.4



รูปที่ 3.8 ปรับความหนาของวัสดุฐานรอง

ตารางที่ 3.4 ขนาดพารามิเตอร์เมื่อมีการปรับความหนาของวัสดุฐานรอง

สัญลักษณ์	พารามิเตอร์	ขนาด
L	ขนาดของระนาบกราวนด์	60 มิลลิเมตร
W	ความกว้างของแผ่นเซลล์ร่ายคาบ	15 มิลลิเมตร
g	ระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์	1.5 มิลลิเมตร
h	ความสูงของวัสดุฐานรอง	0.4-1.2 มิลลิเมตร
ϵ_r	ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์	4.3



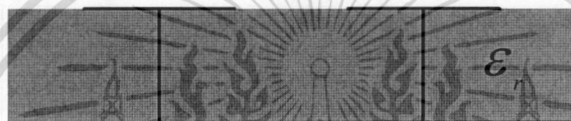
รูปที่ 3.9 เปรียบเทียบความหนาของวัสดุฐานรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.9 แสดงการเปรียบเทียบความหนาของวัสดุฉนวนรอง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความหนาของวัสดุฉนวนรอง จากรูปจะพบว่าเมื่อความหนาของวัสดุฉนวนรองเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความถี่ลดลง ซึ่งจะสอดคล้องกับสมการที่ (2.9) จากสมการจะพบว่าค่าความเหนี่ยวนำจะแปรผันตามค่าความหนาของวัสดุฉนวนรอง เมื่อความหนาของวัสดุฉนวนรองเพิ่มขึ้นค่าความเหนี่ยวนำก็จะเพิ่มขึ้นตามจะส่งผลให้ความถี่ตามสมการที่ (2.2) ลดลง

3.2.4 ผลกระทบต่อค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ของวัสดุฉนวนรอง

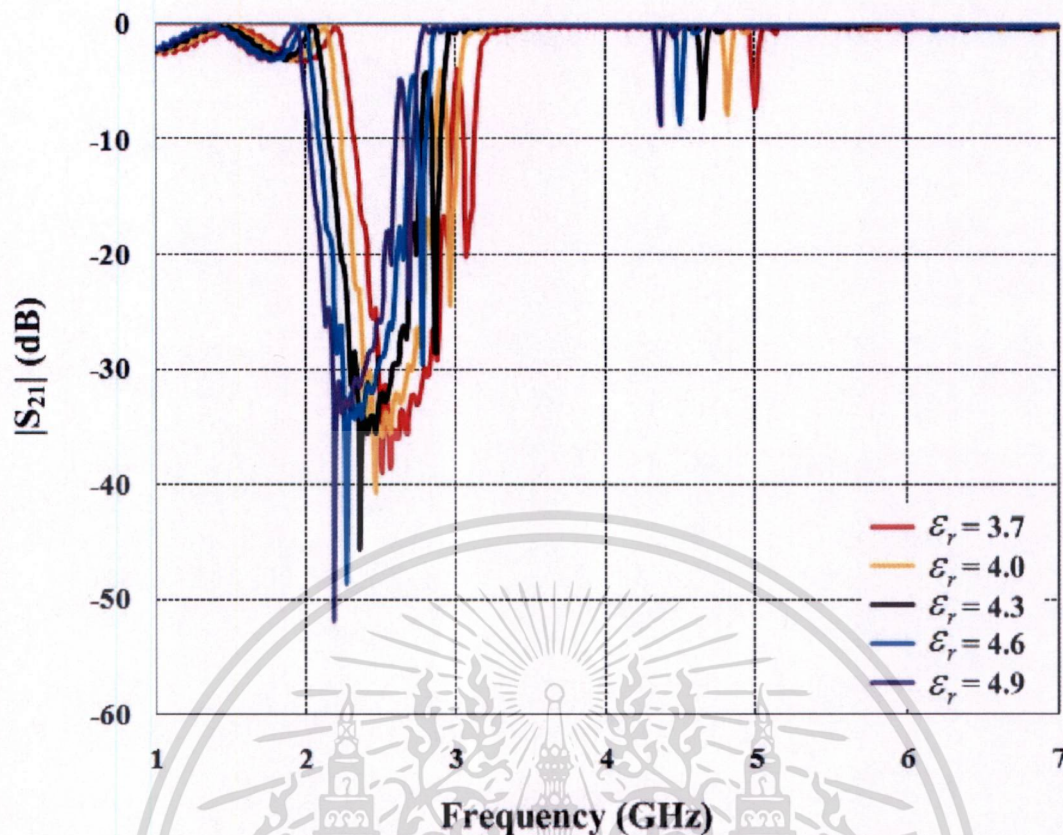
ขั้นตอนนี้ทำการปรับค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ของวัสดุฉนวนรองตั้งแต่ 3.7 ถึง 4.9 โดยให้พารามิเตอร์อื่นๆ คือ ความกว้างของแผ่นเซลล์รัยคาบ ระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์ ความหนาของวัสดุฉนวนรองจะแสดงในตารางที่ 3.5



รูปที่ 3.10 ปรับค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์วัสดุฉนวนรองของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า

ตารางที่ 3.5 ขนาดพารามิเตอร์เมื่อมีการปรับค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ของวัสดุฉนวนรอง

สัญลักษณ์	พารามิเตอร์	ขนาด
L	ขนาดของระนาบกราวด์	60 มิลลิเมตร
W	ความกว้างของแผ่นเซลล์รัยคาบ	15 มิลลิเมตร
g	ระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์	1.5 มิลลิเมตร
h	ความสูงของวัสดุฉนวนรอง	0.8 มิลลิเมตร
ϵ_r	ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์	3.7-4.9

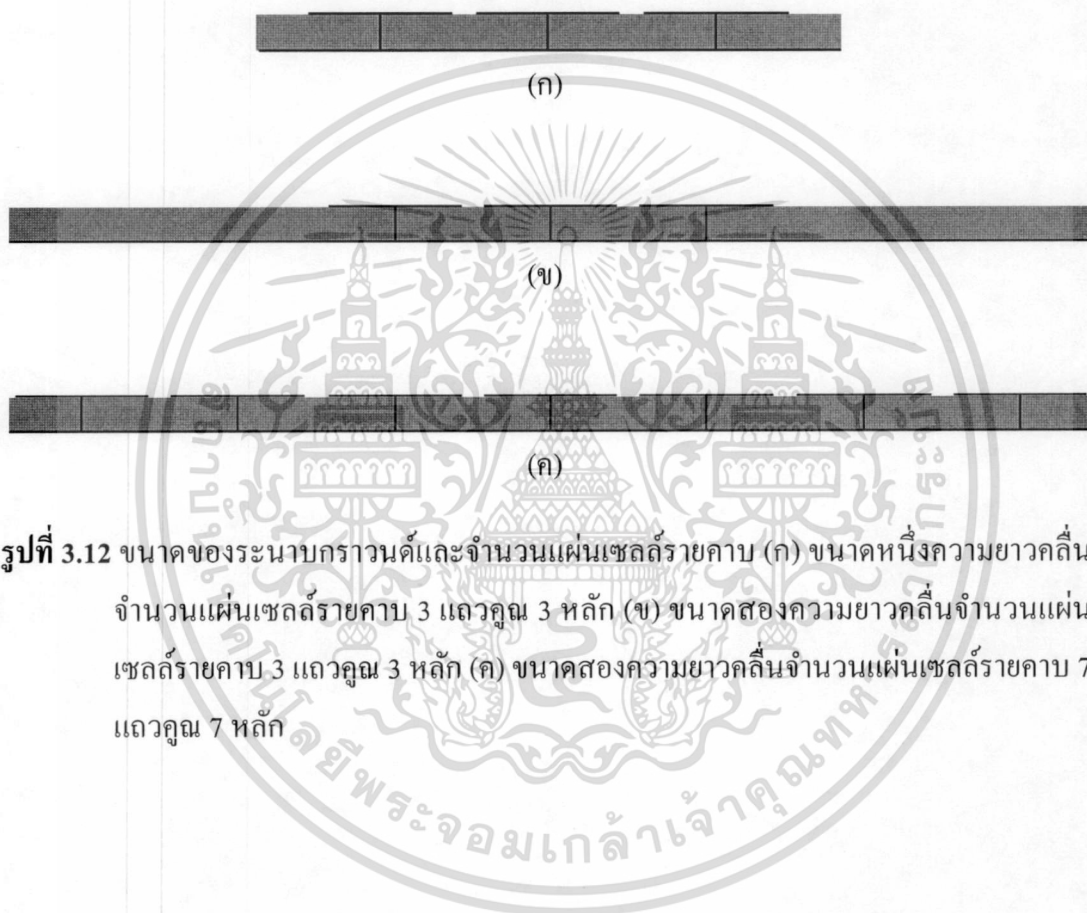


รูปที่ 3.11 เปรียบเทียบค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรอง

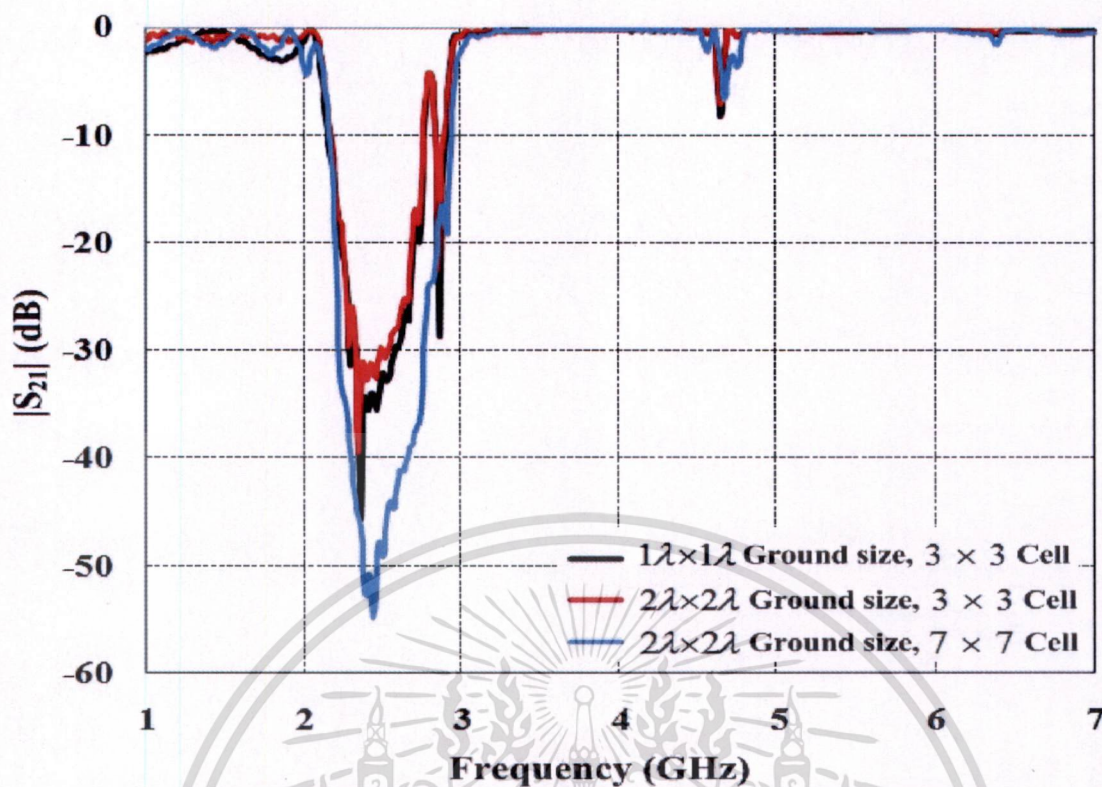
รูปที่ 3.11 แสดงการเปรียบเทียบค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรอง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรอง จากรูปจะพบว่าเมื่อค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรองมีค่ามากขึ้นจะส่งผลให้ความถี่ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับสมการที่ (2.5) จากสมการพบว่าค่าความถี่แปรผกผันตามค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรอง เมื่อค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรองเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความถี่เพิ่มขึ้นตามส่งผลให้ความถี่ตามสมการที่ (2.2) ลดลง

3.2.5 ผลกระทบต่อขนาดของระนาบกราวนด์และจำนวนแผ่นเซลล์รายคาบ

ขั้นตอนนี้จะทำการขยายขนาดระนาบกราวนด์จากปกติคือขนาดหนึ่งความยาวคลื่นเป็นสองความยาวคลื่น โดยแบ่งเป็นสองกรณี กรณีแรกขนาดระนาบกราวนด์สองความยาวคลื่น จำนวนแผ่นเซลล์รายคาบมีจำนวนเท่ากับขนาดของระนาบกราวนด์หนึ่งความยาวคลื่น และกรณีที่สองขนาดระนาบกราวนด์สองความยาวคลื่นจำนวนแผ่นเซลล์รายคาบมีจำนวนตามขนาดของระนาบกราวนด์ดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ขนาดของระนาบกราวนด์และจำนวนแผ่นเซลล์รายคาบ (ก) ขนาดหนึ่งความยาวคลื่น จำนวนแผ่นเซลล์รายคาบ 3 แถวคูณ 3 หลักร (ข) ขนาดสองความยาวคลื่นจำนวนแผ่นเซลล์รายคาบ 3 แถวคูณ 3 หลักร (ค) ขนาดสองความยาวคลื่นจำนวนแผ่นเซลล์รายคาบ 7 แถวคูณ 7 หลักร

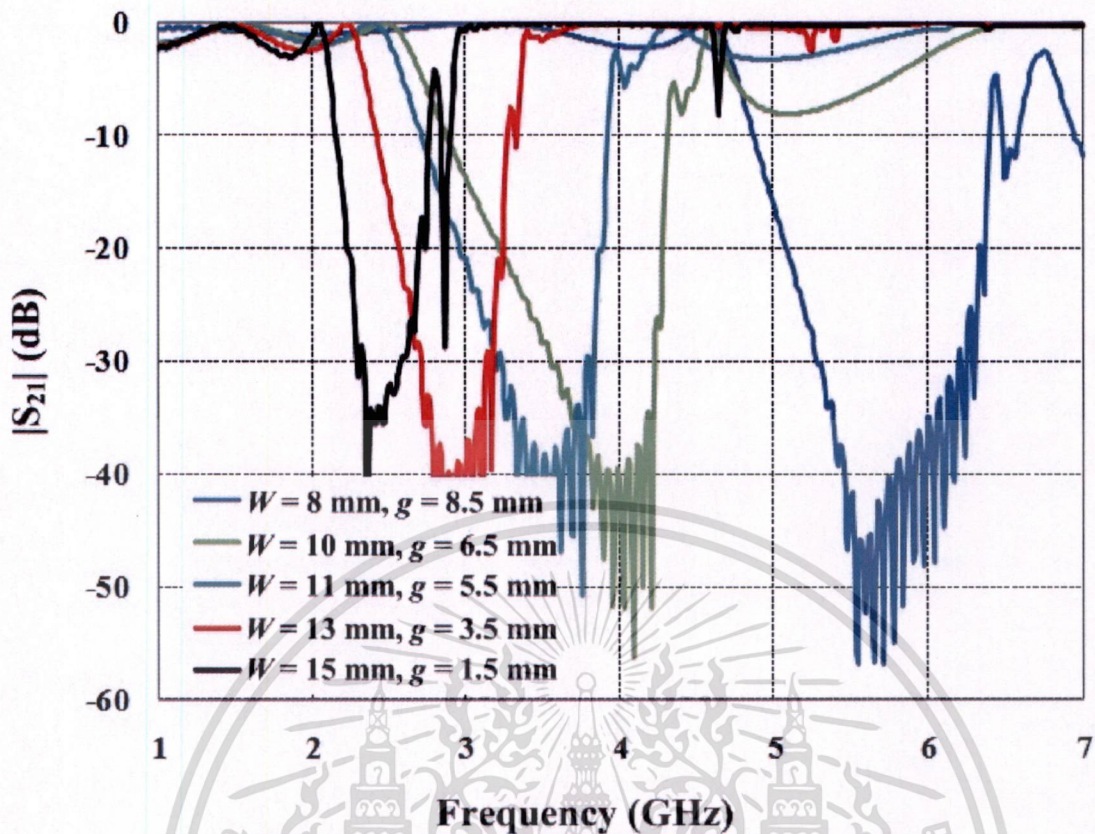


รูปที่ 3.13 เปรียบเทียบขนาดของระนาบกราวด์และจำนวนแผ่นเซลล์รัยคาบ

รูปที่ 3.13 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของระนาบกราวด์และจำนวนแผ่นเซลล์รัยคาบ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของระนาบกราวด์และจำนวนแผ่นเซลล์รัยคาบ โดยจากรูปจะพบว่าเมื่อขนาดของระนาบกราวด์เพิ่มขึ้นจากหนึ่งความยาวคลื่น 60×60 ตารางมิลลิเมตรเป็นขนาดสองความยาวคลื่น 120×120 ตารางมิลลิเมตรจะไม่ส่งผลต่อความถี่ แต่เมื่อมีการเพิ่มจำนวนแผ่นเซลล์รัยคาบจาก 3 แถวคูณ 3 หลัก เป็น 7 แถวคูณ 7 หลักในขนาดของระนาบกราวด์ 120×120 ตารางมิลลิเมตรส่งผลให้ค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านลดลง

3.2.6 ปรับขนาดแผ่นเซลล์รัยคาบเพื่อปรับความถี่

จากการศึกษาค่าพารามิเตอร์ในหัวข้อข้างต้นพบว่าหนึ่งในพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อความถี่คือค่าขนาดความกว้างแผ่นเซลล์รัยคาบและง่ายต่อการปรับเปลี่ยนขนาด ในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการปรับขนาดเพื่อให้ได้ค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ต่ำกว่า -10 dB ที่ความถี่ 5.2 GHz โดยเริ่มต้นจากค่าพารามิเตอร์ในตารางที่ 3.1 ที่ให้ค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ต่ำกว่า -10 dB ที่ความถี่ 2.4 GHz และทำการปรับเปลี่ยนขนาดความกว้างแผ่นเซลล์รัยคาบ โดยให้ตำแหน่งของแผ่นเซลล์รัยคาบอยู่ที่เดิม โดยระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์จะขึ้นอยู่กับขนาดของแผ่นเซลล์รัยคาบที่ทำการปรับ



รูปที่ 3.14 เปรียบเทียบพารามิเตอร์เมื่อต้องการปรับความถี่

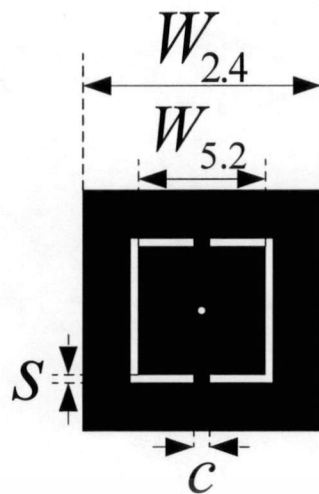
รูปที่ 3.14 แสดงการเปรียบเทียบพารามิเตอร์เมื่อต้องการปรับความถี่ เมื่อมีการปรับขนาดแผ่นเซลล์รายคาบเพื่อต้องการให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ต่ำกว่า -10 dB ที่ความถี่ 5.2 GHz จากรูปจะพบว่าเมื่อทำการปรับขนาดความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบเป็น 8 มิลลิเมตร จะส่งผลให้มีย่านความถี่ที่ครอบคลุม 5.2 GHz โดยเมื่อขนาดความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบมีขนาด 8 มิลลิเมตรจะมีระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์ 8.5 มิลลิเมตร โดยสรุปค่าพารามิเตอร์ต่างๆของความถี่ 5.2 GHz ไว้ตามตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ขนาดพารามิเตอร์เบื้องต้นที่ความถี่ 5.2 GHz

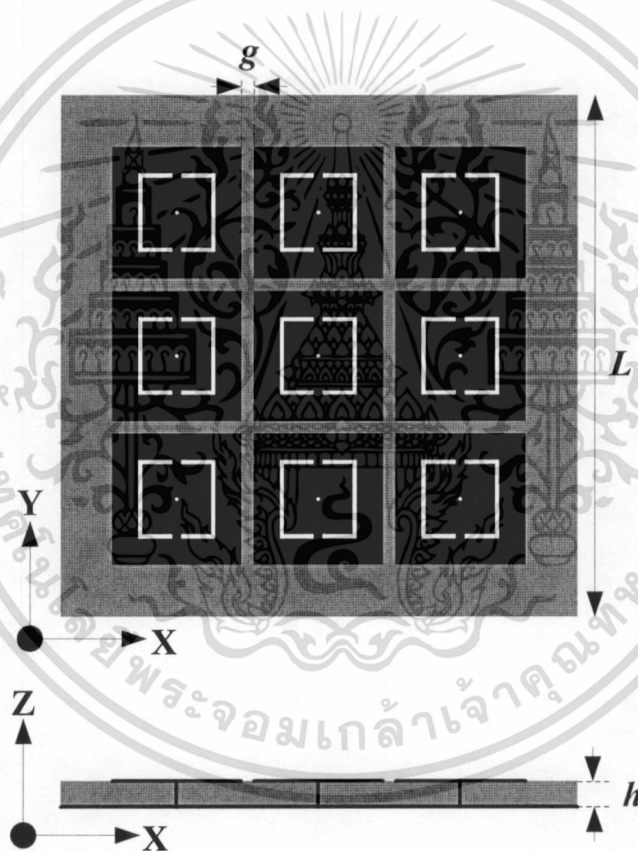
สัญลักษณ์	พารามิเตอร์	ขนาด
L	ขนาดของระนาบกราวด์	60 มิลลิเมตร
W	ความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบ	8 มิลลิเมตร
g	ระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์	8.5 มิลลิเมตร
h	ความสูงของวัสดุฐานรอง	0.8 มิลลิเมตร
ϵ_r	ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์	4.3

3.3 โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่

ในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการดัดแปลงเซลล์ของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าให้มีค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ต่ำกว่า -10 dB สองย่านความถี่ โดยจากการศึกษาพารามิเตอร์ในหัวข้อข้างต้นเพื่อต้องการให้มีค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ต่ำกว่า -10 dB สองความถี่คือที่ความถี่ 2.4 GHz และที่ความถี่ 5.2 GHz แต่ทั้งสองความถี่เกิดจากโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าสองชิ้นงาน ในหัวข้อนี้จะทำการออกแบบโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าในหนึ่งชิ้นงานแต่ให้ได้ค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ต่ำกว่า -10 dB ทั้งสองความถี่ โดยอาศัยขนาดพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาของแต่ละความถี่จากหัวข้อข้างต้น โดยใช้เทคนิคการเพิ่มร่อง (Slot) ลงบนแผ่นเซลล์รายคาบเพื่อให้โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถตอบสนองได้สองย่านความถี่



รูปที่ 3.15 แผ่นเซลล์รัยคาบในหนึ่งเซลล์



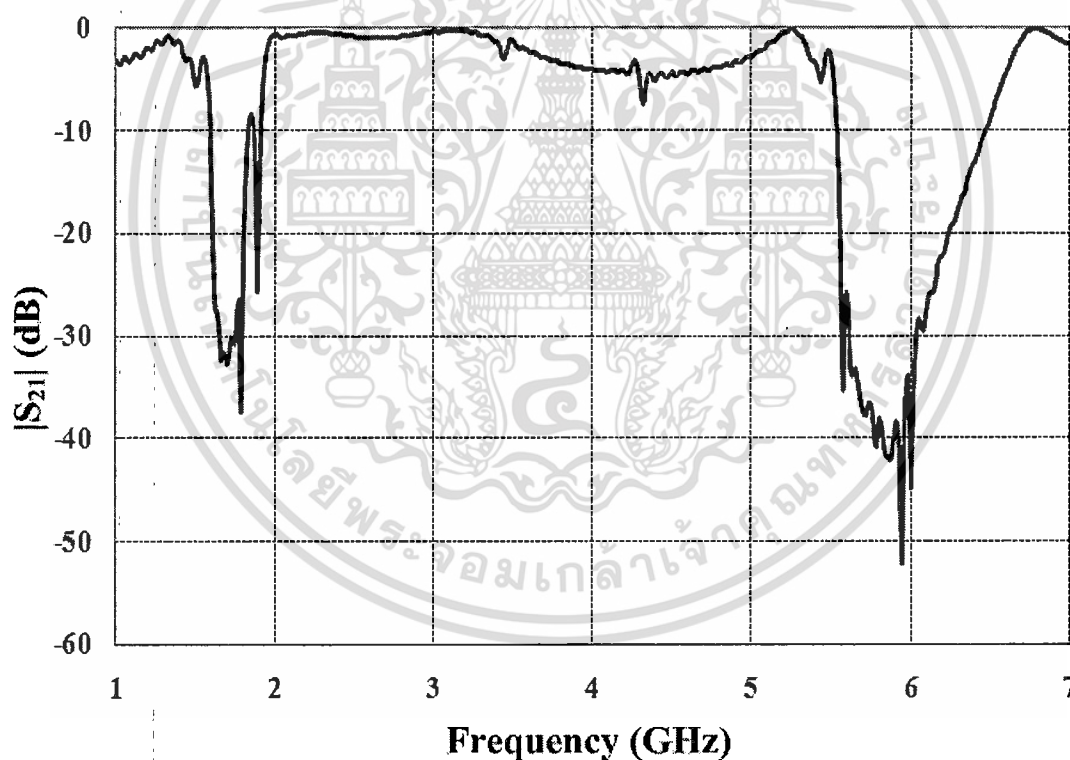
รูปที่ 3.16 โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าโดยรวม

รูปที่ 3.15 แสดงการตัดแปลงแผ่นเซลล์รัยคาบในหนึ่งเซลล์โดยขนาดของพารามิเตอร์ต่างๆของแผ่นเซลล์จะถูกระบุในตารางที่ 3.7 รูปที่ 3.16 แสดงโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าโดยรวมซึ่งเป็นโครงสร้างเริ่มต้นสำหรับการออกแบบเพื่อต้องการให้สามารถตอบสนองที่ความถี่ 2.4 GHz และ 5.2 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.7 ขนาดพารามิเตอร์การตัดแปลงแผ่นเซลล์รัยคาบ

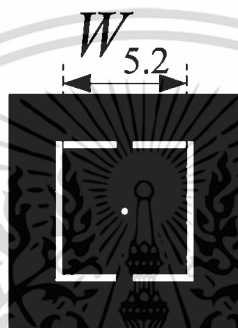
สัญลักษณ์	พารามิเตอร์	ขนาด
L	ขนาดของระนาบกราวนด์	60 มิลลิเมตร
$W_{2.4}$	ความกว้างของแผ่นเซลล์รัยคาบที่ตอบสนอง 2.4 GHz	15 มิลลิเมตร
$W_{5.2}$	ความกว้างของแผ่นเซลล์รัยคาบที่ตอบสนอง 5.2 GHz	8 มิลลิเมตร
S	ร่องบนแผ่นเซลล์	1 มิลลิเมตร
C	แผ่นเชื่อมระหว่างแผ่นเซลล์	1 มิลลิเมตร
g	ระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์	1.5 มิลลิเมตร
h	ความสูงของวัสดุฐานรอง	0.8 มิลลิเมตร
ϵ_r	ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์	4.3



รูปที่ 3.17 ขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่แบบเบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

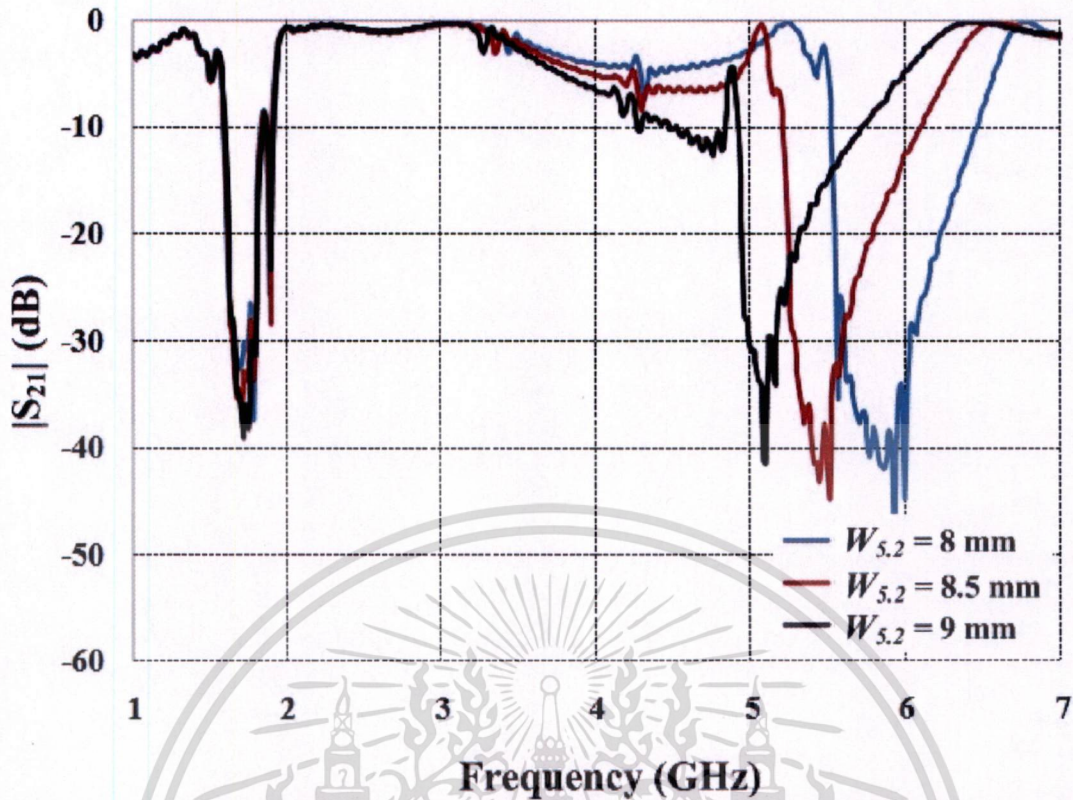
รูปที่ 3.17 แสดงค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่แบบเบื้องต้น จากรูปจะพบว่ามีค่าที่ต่ำกว่า -10 dB อยู่สองย่านความถี่ ย่านความถี่แรกอยู่ระหว่าง 1.6-1.8 GHz และย่านความถี่ที่สองอยู่ระหว่าง 5.6-6.5 GHz จะเห็นว่าย่านความถี่ทั้งสองย่านที่ต่ำกว่า -10 dB ไม่ตรงตามย่านความถี่ที่ต้องการ โดยการแก้ไขเบื้องต้นจะทำการแก้ไขโดยการปรับขนาดความกว้างของแผ่นเซลล์ในแต่ละย่านความถี่ โดยยังคงขนาดร่องบนแผ่นเซลล์ให้มีขนาดเท่าเดิม ในขั้นตอนแรกจะทำการปรับขนาดความกว้างของแผ่นเซลล์รายการ $W_{5.2}$ แสดงในรูปที่ 3.18 โดยขนาดของพารามิเตอร์ต่างๆแสดงในตารางที่ 3.8



รูปที่ 3.18 ปรับความกว้างแผ่นเซลล์รายการ $W_{5.2}$

ตารางที่ 3.8 ขนาดพารามิเตอร์การตัดแปลงแผ่นเซลล์รายการ $W_{5.2}$

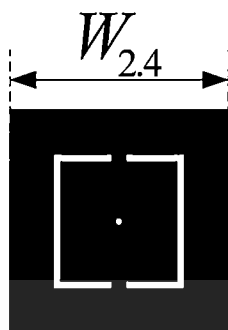
สัญลักษณ์	พารามิเตอร์	ขนาด
L	ขนาดของระนาบกราวนด์	60 มิลลิเมตร
$W_{2.4}$	ความกว้างของแผ่นเซลล์รายการที่ตอบสนอง 2.4 GHz	15 มิลลิเมตร
$W_{5.2}$	ความกว้างของแผ่นเซลล์รายการที่ตอบสนอง 5.2 GHz	8-9 มิลลิเมตร
S	ร่องบนแผ่นเซลล์	1 มิลลิเมตร
C	แผ่นเชื่อมระหว่างแผ่นเซลล์	1 มิลลิเมตร
g	ระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์	1.5 มิลลิเมตร
h	ความสูงของวัสดุฐานรอง	0.8 มิลลิเมตร
ϵ_r	ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์	4.3



รูปที่ 3.19 ขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่ เมื่อปรับขนาดความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบ $W_{5.2}$

รูปที่ 3.19 แสดงค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่เมื่อปรับขนาดความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบ $W_{5.2}$ เมื่อขนาดของ $W_{5.2}$ เท่ากับ 8 มิลลิเมตรจะมีค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ต่ำกว่า -10 dB อยู่ในช่วง 5.65-6.47 GHz เมื่อขนาดของ $W_{5.2}$ เท่ากับ 8.5 มิลลิเมตรจะมีค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ต่ำกว่า -10 dB อยู่ในช่วง 5.15-6.1 GHz และเมื่อขนาดของ $W_{5.2}$ เท่ากับ 9 มิลลิเมตรจะมีค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ต่ำกว่า -10 dB อยู่ในช่วง 4.9-5.7 GHz โดยเมื่อขนาดของ $W_{5.2}$ เท่ากับ 9 มิลลิเมตรจะครอบคลุมความถี่ที่ต้องการคือ 5.2 GHz

ในขั้นตอนต่อไปจะทำการปรับขนาดความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบ $W_{2.4}$ แสดงในรูปที่ 3.20 โดยขนาดของพารามิเตอร์ต่างๆแสดงในตารางที่ 3.9

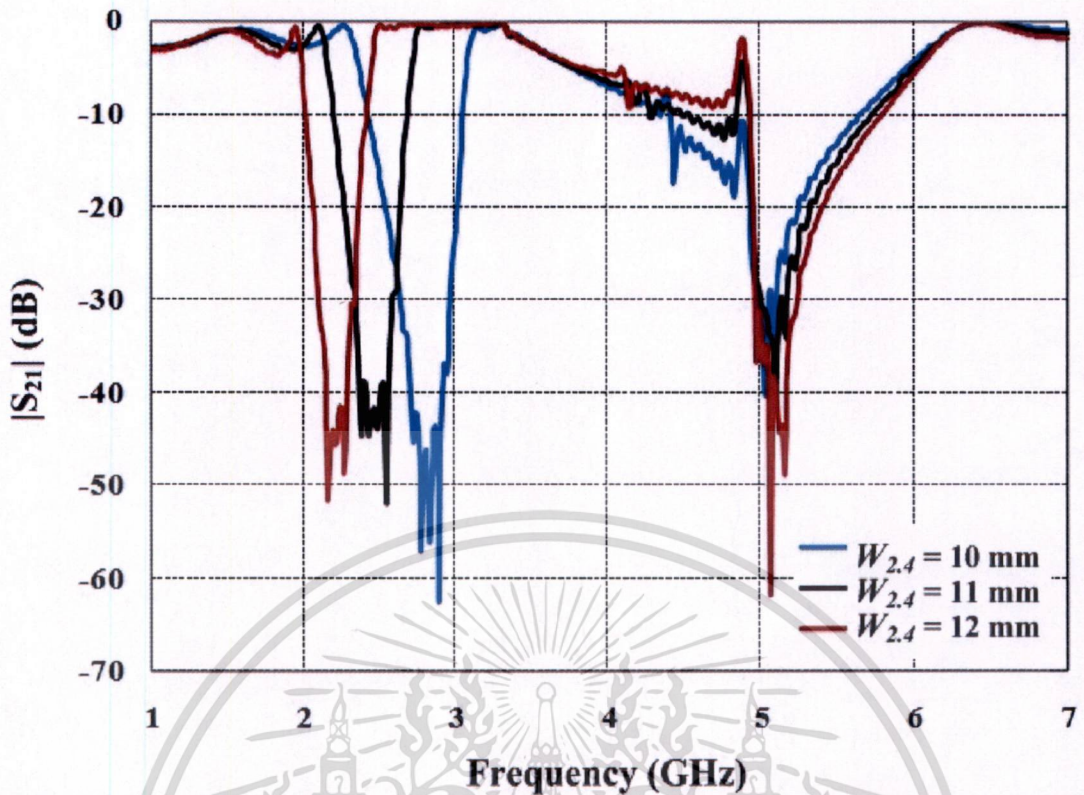


รูปที่ 3.20 ปรับความกว้างแผ่นเซลล์รายคาบ $W_{2.4}$

ตารางที่ 3.9 ขนาดพารามิเตอร์การตัดแปลงแผ่นเซลล์รายคาบ $W_{2.4}$

สัญลักษณ์	พารามิเตอร์	ขนาด
L	ขนาดของระนาบกราวนด์	60 มิลลิเมตร
$W_{2.4}$	ความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบที่ตอบสนอง 2.4 GHz	10-12 มิลลิเมตร
$W_{5.2}$	ความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบที่ตอบสนอง 5.2 GHz	9 มิลลิเมตร
S	ร่องบนแผ่นเซลล์	1 มิลลิเมตร
C	แผ่นเชื่อมระหว่างแผ่นเซลล์	1 มิลลิเมตร
g	ระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์	6.5-4.5 มิลลิเมตร
h	ความสูงของวัสดุฐานรอง	0.8 มิลลิเมตร
ϵ_r	ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์	4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



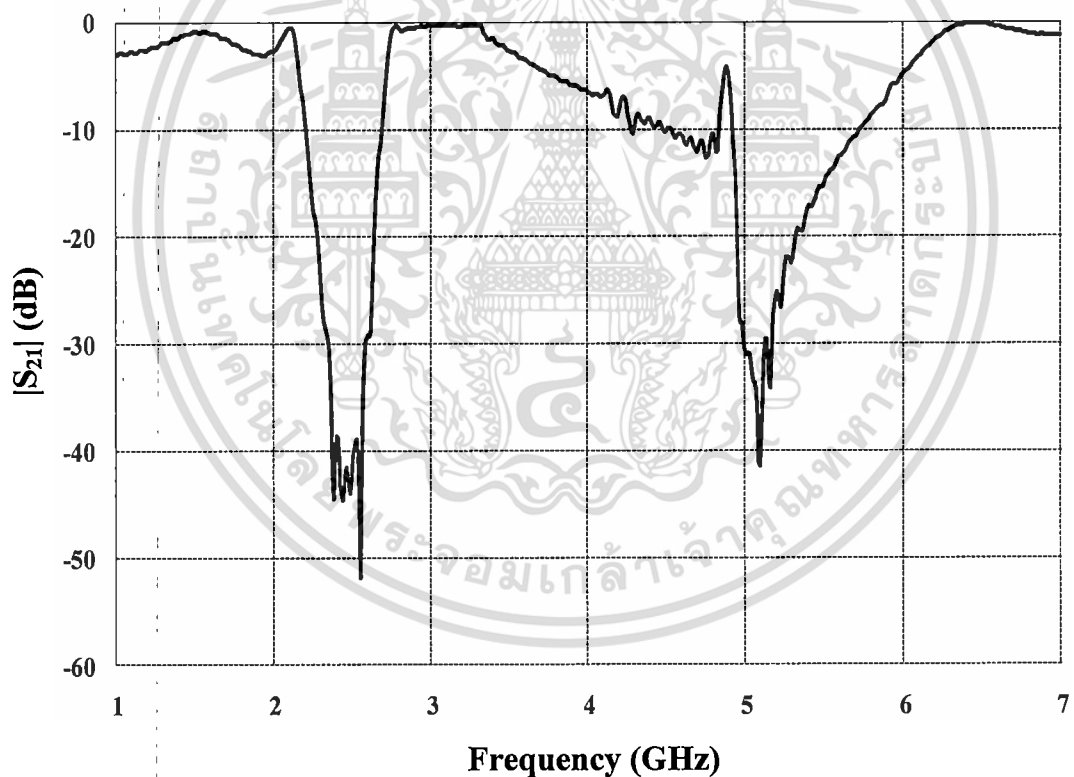
รูปที่ 3.21 ขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่ เมื่อปรับขนาดความกว้างของแผ่นเซลด์รายคาบ $W_{2.4}$

รูปที่ 3.21 แสดงค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่เมื่อปรับขนาดความกว้างของแผ่นเซลด์รายคาบ $W_{2.4}$ เมื่อขนาดของ $W_{2.4}$ เท่ากับ 10 มิลลิเมตรจะมีค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ต่ำกว่า -10 dB อยู่ในช่วง 2.43-3.04 GHz เมื่อขนาดของ $W_{2.4}$ เท่ากับ 11 มิลลิเมตรจะมีค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ต่ำกว่า -10 dB อยู่ในช่วง 2.2-2.6 GHz และเมื่อขนาดของ $W_{2.4}$ เท่ากับ 12 มิลลิเมตรจะมีค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ต่ำกว่า -10 dB อยู่ในช่วง 2.01-2.41 GHz เมื่อขนาดของ $W_{2.4}$ เท่ากับ 11 มิลลิเมตรจะครอบคลุมความถี่ที่ต้องการคือ 2.4 GHz

เมื่อได้ขนาดของ $W_{2.4}$ และ $W_{5.2}$ ตามที่ต้องการ จึงนำขนาดที่ทำการปรับปรุงและขนาดของพารามิเตอร์อื่นๆ มาแสดงไว้ในตารางที่ 3.10 เพื่อที่จะทำการนำขนาดของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ทำการออกแบบไว้ในข้างต้นไปทำการสร้างจริงเพื่อทำการทดสอบในบทต่อไป

ตารางที่ 3.10 ขนาดพารามิเตอร์ของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่

สัญลักษณ์	พารามิเตอร์	ขนาด
L	ขนาดของระนาบกราวด์	60 มิลลิเมตร
$W_{2.4}$	ความกว้างของแผ่นเซลล์รัยคาบที่ตอบสนอง 2.4 GHz	11 มิลลิเมตร
$W_{5.7}$	ความกว้างของแผ่นเซลล์รัยคาบที่ตอบสนอง 5.7 GHz	9 มิลลิเมตร
S	ร่องบนแผ่นเซลล์	1 มิลลิเมตร
C	แผ่นเชื่อมระหว่างแผ่นเซลล์	1 มิลลิเมตร
g	ระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์	5.5 มิลลิเมตร
h	ความสูงของวัสดุฐานรอง	0.8 มิลลิเมตร
ϵ_r	ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์	4.3



รูปที่ 3.22 ขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.22 แสดงค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่ จากรูปจะพบว่ามีค่าความถี่ที่ต่ำกว่า -10 dB อยู่สองย่านความถี่ ย่านความถี่แรกอยู่ระหว่าง $2.2-2.6$ GHz และย่านความถี่ที่สองอยู่ระหว่าง $4.9-5.7$ GHz ซึ่งทั้งสองย่านจะครอบคลุมความถี่ที่ต้องการใช้ในระบบ WLAN

3.4 สรุป

ในบทนี้กล่าวถึงการออกแบบโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบแถวคูณหลัก โดยวิธีการจำลองในโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO[®] โดยทำการศึกษาถึงผลกระทบของค่าพารามิเตอร์ต่างๆต่อค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อให้ได้ขนาดที่เหมาะสมสำหรับการนำไปออกแบบโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่ และนำขนาดของค่าพารามิเตอร์ที่ได้ทำการออกแบบมาสร้างชิ้นงานจริง



บทที่ 4

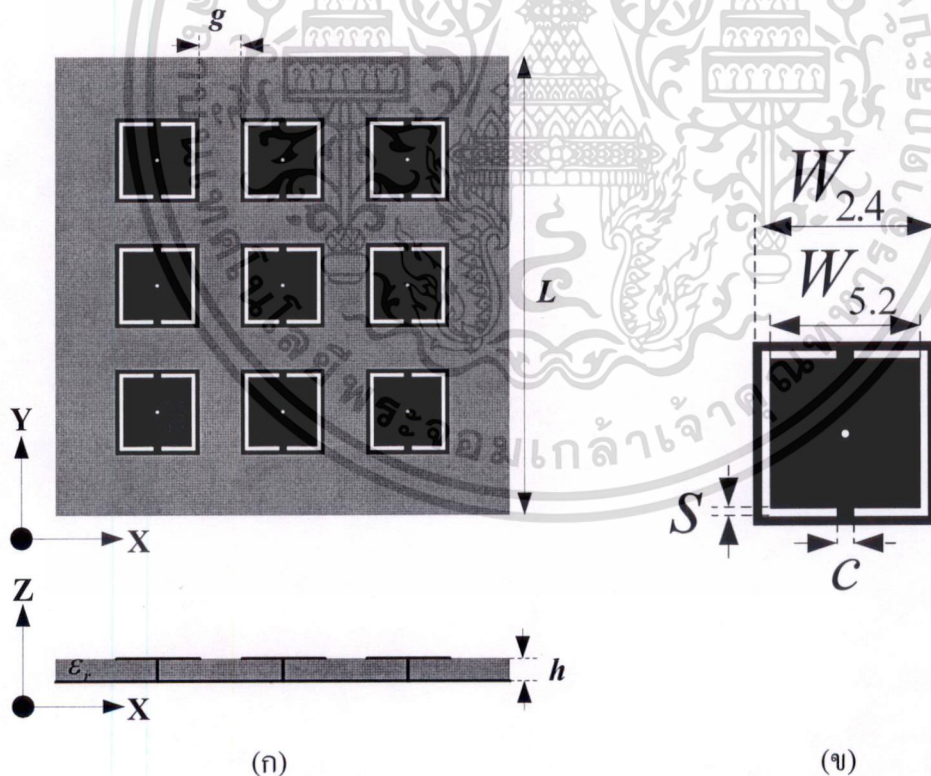
การสร้างและการทดสอบ

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะทำการแสดงขั้นตอนการสร้างและทำการแสดงผลจากการทดสอบของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ต่ำกว่า -10 dB สองย่านความถี่ และทำการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบและผลที่ได้จากการจำลอง

4.2 ขั้นตอนการสร้าง

จากบทที่ 3 ที่ผ่านมามาทำให้ได้ขนาดของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ต่ำกว่า -10 dB สองย่านความถี่ โดยรูปร่างและขนาดของพารามิเตอร์ต่างๆที่จะทำการสร้างขึ้นจะถูกแสดงไว้ในรูปที่ 4.1 และตารางที่ 4.1 ตามลำดับ



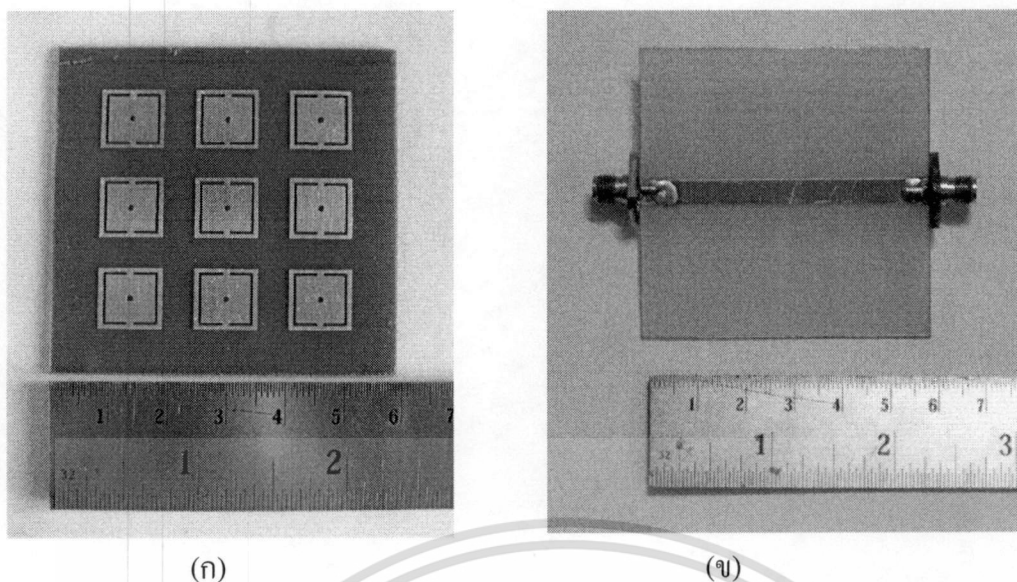
รูปที่ 4.1 ช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า (ก) โครงสร้าง (ข) เซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ขนาดพารามิเตอร์ของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่

สัญลักษณ์	ขนาด
L	60 มิลลิเมตร
$W_{2,4}$	11 มิลลิเมตร
$W_{5,2}$	9 มิลลิเมตร
S	0.5 มิลลิเมตร
C	1 มิลลิเมตร
g	5.5 มิลลิเมตร
h	0.8 มิลลิเมตร
ϵ_r	4.3

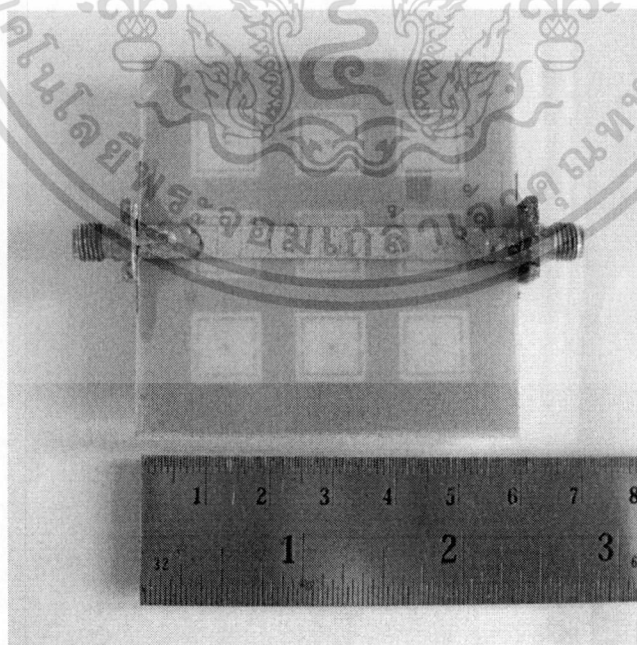
จึงนำขนาดที่ได้ในตารางที่ 4.1 ไปทำการออกแบบในโปรแกรม VISIO เพื่อใช้ในขั้นตอนการสร้างแผ่นวงจรพิมพ์ โดยใช้แผ่นวงจรพิมพ์สองแผ่นขนาด 60×60 ตารางมิลลิเมตร สูง 0.8 มิลลิเมตร ชนิด epoxy ซึ่งเป็นแผ่นวงจรพิมพ์ที่ทำได้ง่าย แผ่นวงจรพิมพ์มีค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ $\epsilon_r = 4.3$ โดยแผ่นแรกทำการสร้างเป็นแผ่นโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า และแผ่นที่สองทำการสร้างเป็นแผ่นสายนำสัญญาณขนาด 50 โอห์ม แผ่นสายนำสัญญาณจะถูกบัดกรีเข้ากับหัวคอนเนคเตอร์ชนิด SMA ทั้งสองด้านเพื่อทำการทดสอบค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า (ก) โครงสร้าง (ข) สายนำสัญญาณ

4.3 ขั้นตอนการทดสอบ

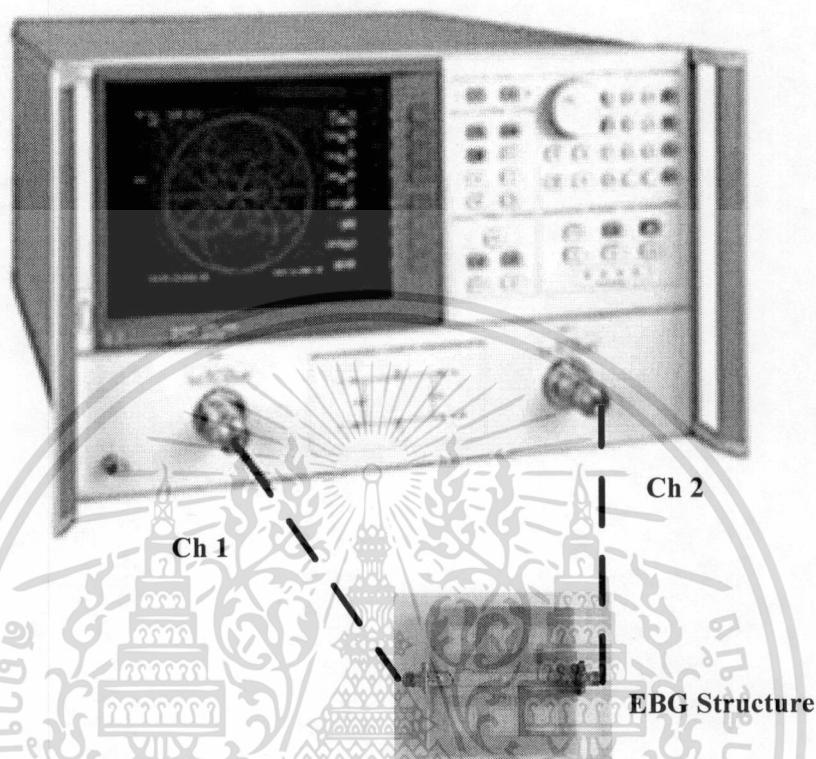
สำหรับขั้นตอนการทดสอบจะทำการหาค่าคุณลักษณะของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าโดยทำการนำเอาแผ่นสายนำสัญญาณมาวางประกบไว้ด้านบนของแผ่นโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าตามรูปที่ 4.3 เพื่อทำการทดสอบหาค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (S₂₁)



รูปที่ 4.3 โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับการทดสอบ

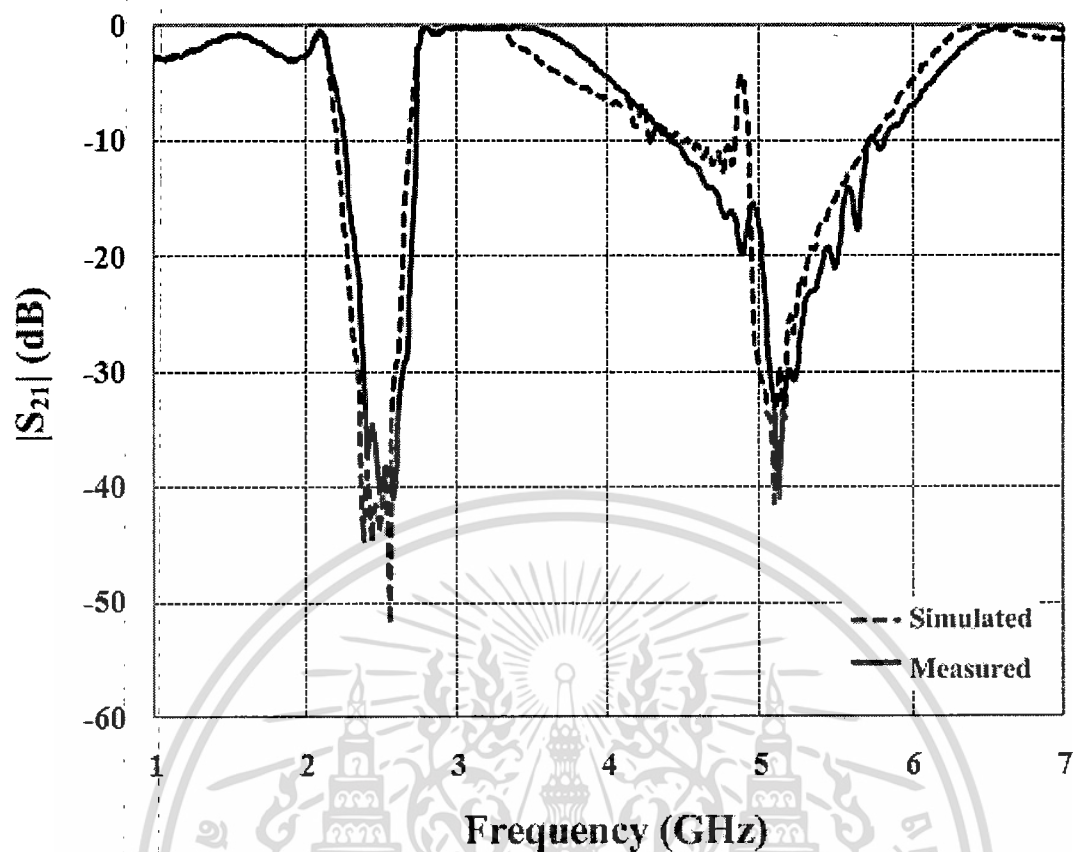
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 แสดงโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับการทดสอบ โดยจะทำการทดสอบกับเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer HP 8720C) ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ทดสอบคุณลักษณะ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า

รูปที่ 4.4 แสดงการทดสอบหาคุณลักษณะของ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย โดยขั้วต่อ SMA ของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายในช่องที่ 1 และช่องที่ 2 ดังรูป เพื่อวิเคราะห์หาค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (S_{21}) ในหน่วยเดซิเบล (dB)



รูปที่ 4.5 การจำลองและการทดสอบค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน $|S_{21}|$

รูปที่ 4.5 แสดงผลการจำลองและการทดสอบค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน $|S_{21}|$ ของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่ โดยจากการจำลองค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน $|S_{21}|$ ที่ต่ำกว่า -10 dB อยู่ระหว่าง 2.2-2.6 GHz และ 4.9-5.7 GHz จากการทดสอบค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน $|S_{21}|$ ที่ต่ำกว่า -10 dB อยู่ระหว่าง 2.26-2.72 GHz และ 4.4-5.8 GHz โดยจากรูปที่ 4.5 จะพบว่าความถี่จากการทดสอบจะแตกต่างจากการจำลองเนื่องจากในขั้นตอนการสร้างจะเกิดปัญหาบนแผ่นสายนำสัญญาณและแผ่นช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าวางประกบกันไม่สนิทจึงทำให้มีช่องว่างของอากาศแทรกอยู่ระหว่างแผ่นทั้งสอง ทำให้โครงสร้างนี้มีค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ของอากาศเข้ามามีผลกระทบต่อค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรองทำให้ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์รวมลดลง จึงส่งผลให้ความถี่แตกต่างกัน

4.4 สรุป

ในบทนี้กล่าวถึงการสร้างโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คูบนแผ่นวงจรพิมพ์ชนิด Epoxy และทำการทดสอบกับเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย โดยได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างผลจากการจำลองและผลจากการทดสอบ เพื่อวิเคราะห์ถึงความแตกต่างและผลกระทบต่อปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านในโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่ จากผลการทดสอบโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่เหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานในระบบ WLAN



บทที่ 5

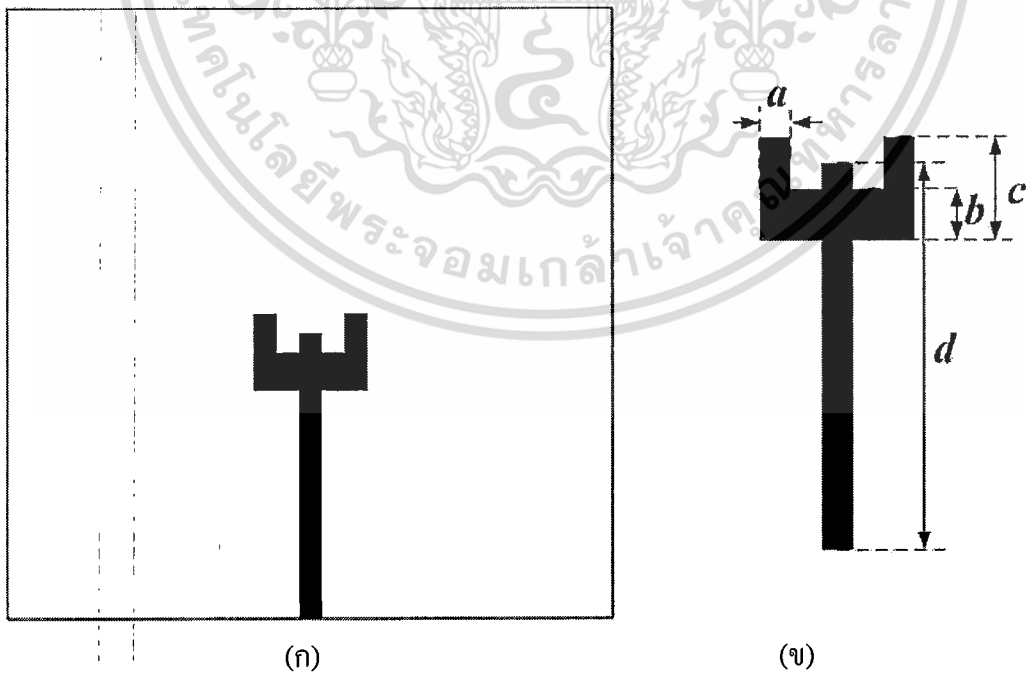
การประยุกต์ใช้งานร่วมกับสายอากาศ

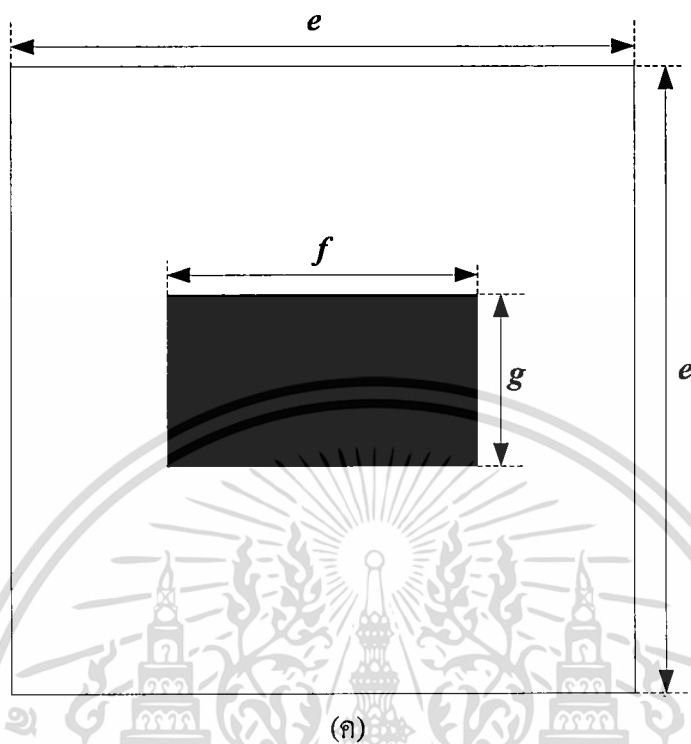
5.1 บทนำ

ในบทนี้จะทำการสร้างและทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศย่านความถี่คู่กับสายอากาศย่านความถี่คู่ที่ใช้งานร่วมกับ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่ เช่น ค่าการสูญเสียย้อนกลับ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น และอัตราขยาย เพื่อทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของสายอากาศทั้งสองชนิด

5.2 ขั้นตอนการทดสอบ

จากบทที่ผ่านมาได้ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า ย่านความถี่คู่ ที่มีค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ต่ำกว่า -10 dB อยู่ในช่วงระหว่าง 2.2-2.6 GHz และ 4.9-5.7 GHz เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานร่วมกับสายอากาศในระบบ โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย รูปที่ 5.1 แสดง โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริปลี่ยนความถี่คู่ โดยที่ขนาดพารามิเตอร์ของสายอากาศแสดงในตารางที่ 5.1

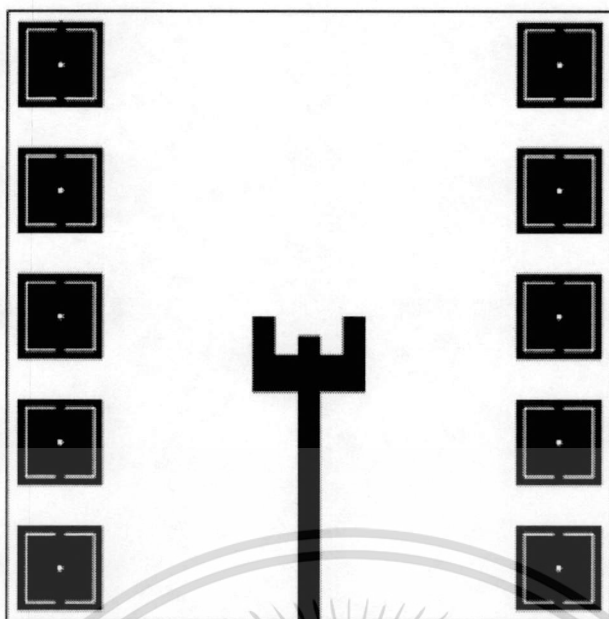




รูปที่ 5.1 โครงสร้างสายอากาศย่านความถี่สูง (ก) ด้านหน้า (ข) พารามิเตอร์ (ค) ด้านหลัง

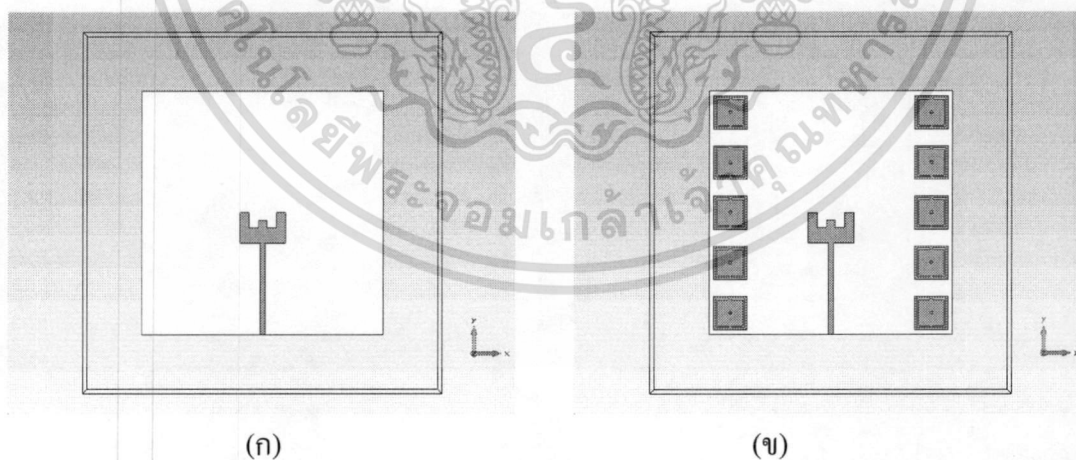
ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์ของสายอากาศย่านความถี่สูง

สัญลักษณ์	ขนาด (มิลลิเมตร)
<i>a</i>	3
<i>b</i>	5
<i>c</i>	10
<i>d</i>	37.5
<i>e</i>	75
<i>f</i>	40
<i>g</i>	22



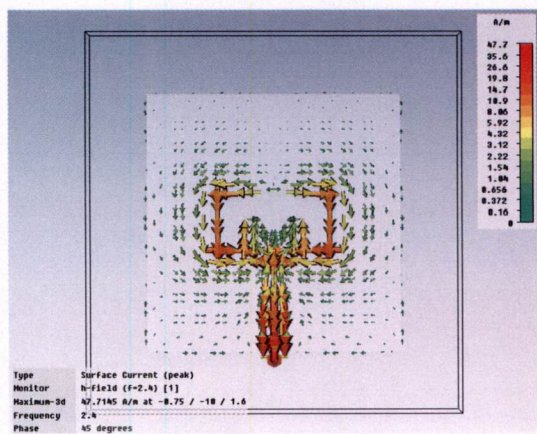
รูปที่ 5.2 โครงสร้างสายอากาศย่านความถี่คู่ที่ใช้งานร่วมกับ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า ย่านความถี่คู่

รูปที่ 5.2 แสดงโครงสร้างสายอากาศย่านความถี่คู่ที่ใช้งานร่วมกับ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า ย่านความถี่คู่ โดยโครงสร้างนี้จะประกอบด้วยสายอากาศย่านความถี่คู่ที่มีขนาดตาม ตารางที่ 5.1 และ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า ย่านความถี่คู่ที่วางห่างจากสายอากาศ 33 มิลลิเมตร โดยทำการจำลองผลในโปรแกรม CST เพื่อดูการกระจายตัวของกระแสเชิงผิวและ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศทั้งสองชนิด

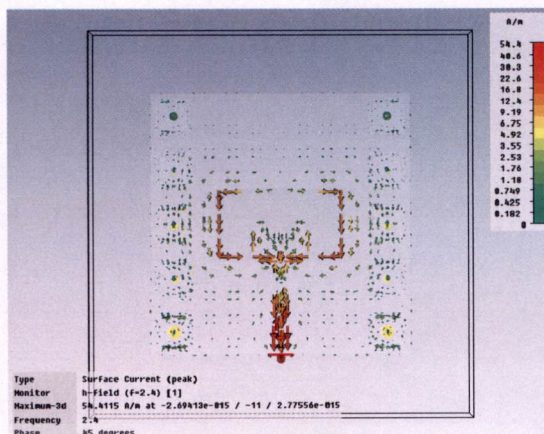


รูปที่ 5.3 แบบจำลอง (ก) สายอากาศย่านความถี่คู่ (ข) สายอากาศย่านความถี่คู่ที่ใช้งานร่วมกับ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า ย่านความถี่คู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

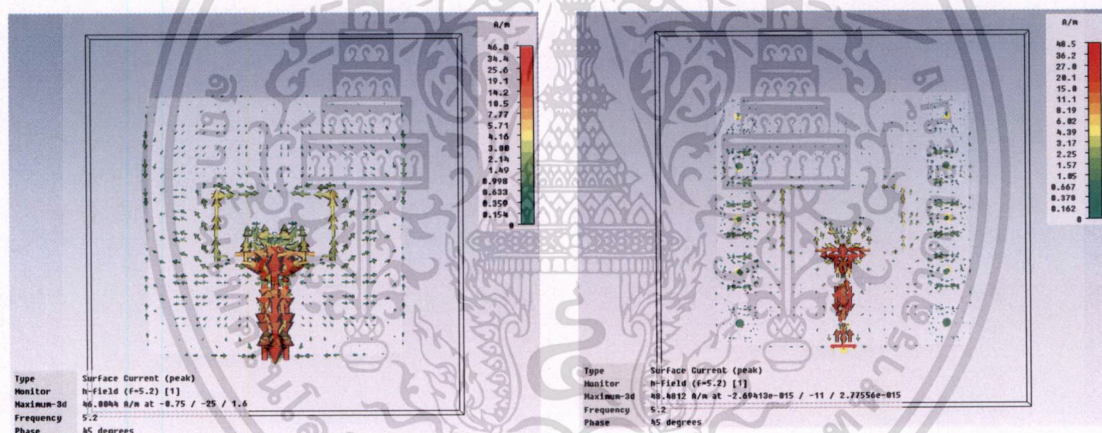


(ก)



(ข)

รูปที่ 5.4 การกระจายตัวของกระแสเชิงผิวที่ความถี่ 2.4 GHz บน (ก) สายอากาศย่านความถี่คู่ (ข) สายอากาศย่านความถี่คู่ที่ใช้งานร่วมกับ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่



(ก)

(ข)

รูปที่ 5.5 การกระจายตัวของกระแสเชิงผิวที่ความถี่ 5.2 GHz บน (ก) สายอากาศย่านความถี่คู่ (ข) สายอากาศย่านความถี่คู่ที่ใช้งานร่วมกับ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่

รูปที่ 5.3 แสดงแบบจำลองของสายอากาศทั้งสองชนิดใน โปรแกรม CST รูปที่ 5.4 และ

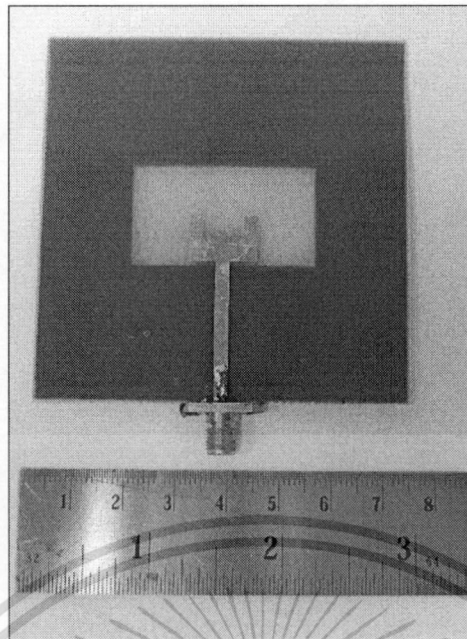
รูปที่ 5.5 แสดงการกระจายตัวของกระแสเชิงผิวบนสายอากาศทั้งสองชนิดที่ความถี่ 2.4 GHz และ

5.2 GHz ตามลำดับ จากรูปที่ 5.4 (ก) และ รูปที่ 5.5 (ก) จะพบว่ากระแสเชิงผิวของสายอากาศจะมี

การกระจายไปทั่วบริเวณของสายอากาศ จากรูปที่ 5.4 (ข) และ รูปที่ 5.5 (ข) จะพบว่ากระแสเชิง

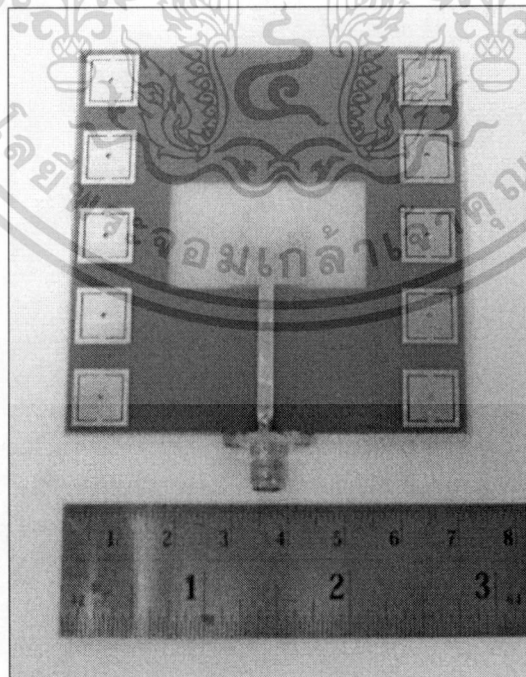
ผิวจะไม่กระจายไปทั่วบริเวณของสายอากาศเพราะ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เหนียวินากระแสเชิงผิวลดระนาบกราวนคจึงทำให้มีการแพร่กระจายคลื่นพื้นผิวลดลง ไม่วากรณใดๆ หงสน อักทงหามมเหตดแปลงเนื้อหา และตองอององถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 สายอากาศไมโครสตรึปย่านความถี่

รูปที่ 5.6 แสดงสายอากาศไมโครสตรึปย่านความถี่ที่สร้างขึ้นตามขนาดในตารางที่ 5.1 โดยในขั้นตอนการทดสอบจะทำการสร้างสายอากาศไมโครสตรึปย่านความถี่ที่ใช้งานร่วมกับโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่ แสดงในรูปที่ 5.7 ขึ้นมาอีกหนึ่งชิ้นงานเพื่อทำการทดสอบเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศกับสายอากาศไมโครสตรึปย่านความถี่

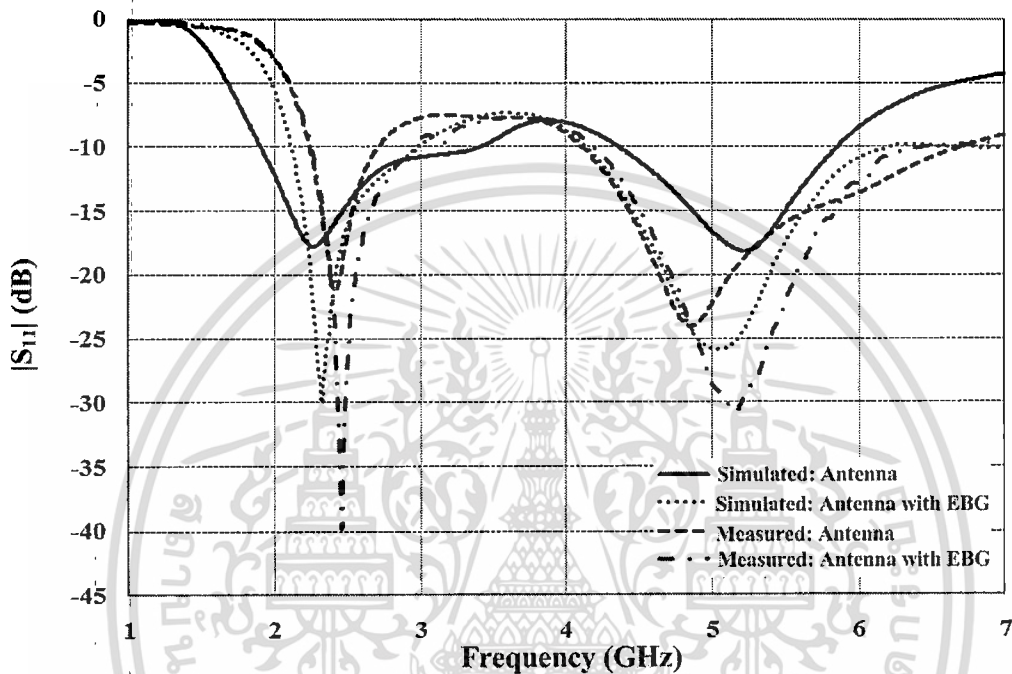


รูปที่ 5.7 สายอากาศไมโครสตรึปย่านความถี่ที่ใช้งานร่วมกับโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

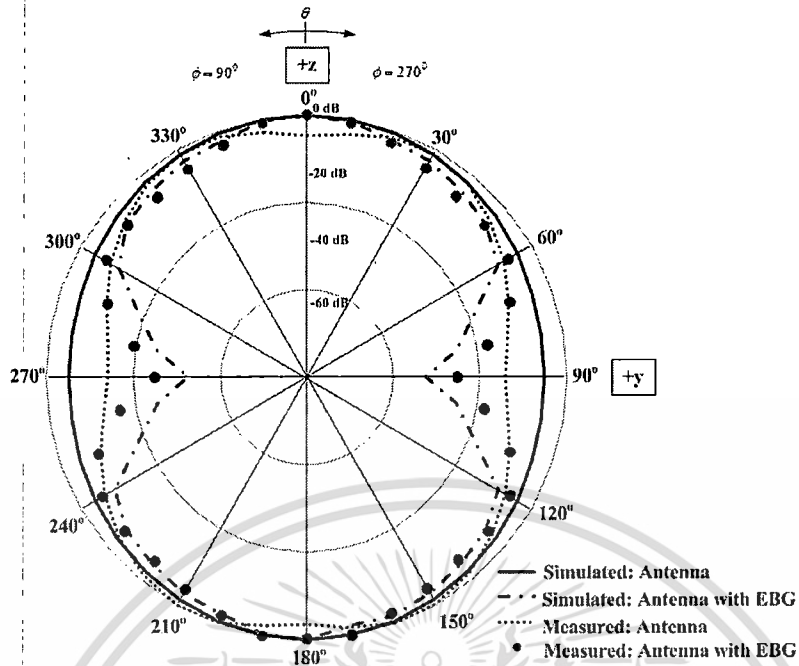
5.3 ผลการทดสอบ

ในขั้นตอนนี้จะทำการทดสอบสายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่คู่กับสายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่คู่ที่ใช้งานร่วมกับโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่ โดยทำการทดสอบเพื่อสังเกตความแตกต่างของ ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern) และอัตราขยาย (Gain)

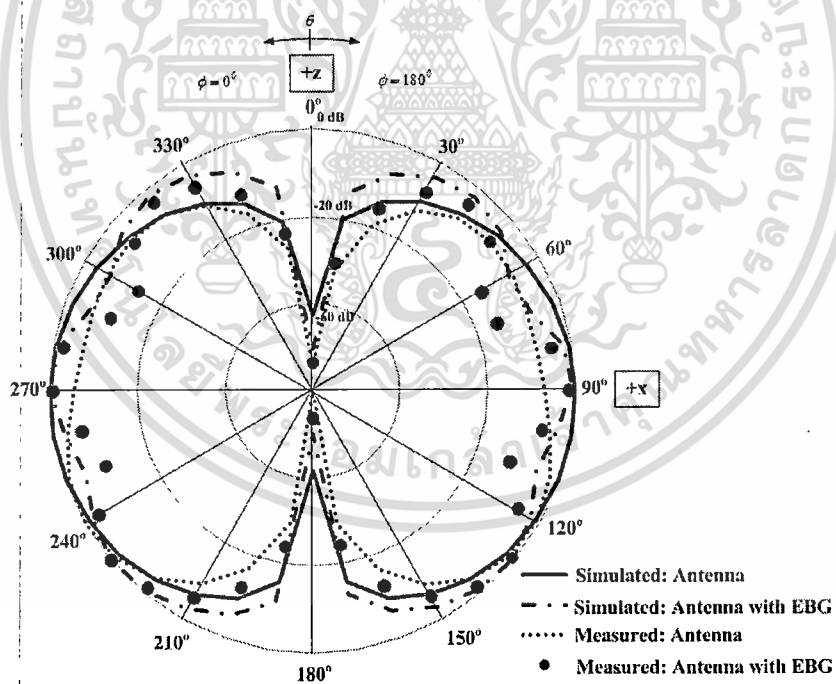


รูปที่ 5.8 การสูญเสียย้อนกลับ

รูปที่ 5.8 แสดงค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ โดยจากการจำลองสายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่คู่มีค่าการสูญเสียย้อนกลับที่มีค่าต่ำกว่า -10 dB ระหว่าง 1.91-3.4 GHz และ 4.37-5.84 GHz และสายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่คู่ที่ใช้งานร่วมกับโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่มีค่าการสูญเสียย้อนกลับที่มีค่าต่ำกว่า -10 dB ระหว่าง 2.14-2.61 GHz และ 4.11-6.2 GHz จากการทดสอบสายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่คู่มีค่าการสูญเสียย้อนกลับที่มีค่าต่ำกว่า -10 dB ระหว่าง 2.24-2.7 GHz และ 4.12-6.68 GHz และสายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่คู่ที่ใช้งานร่วมกับโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่มีค่าการสูญเสียย้อนกลับที่มีค่าต่ำกว่า -10 dB ระหว่าง 2.25-2.96 GHz และ 4.2-6.43 GHz โดยที่ความถี่ 2.4 GHz จากการทดสอบสายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่คู่มีค่าการสูญเสียย้อนกลับเท่ากับ -20.36 dB สายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่คู่ที่ใช้งานร่วมกับโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่มีค่าการสูญเสียย้อนกลับเท่ากับ -21.98 dB และที่ความถี่ 5.2 GHz สายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่คู่มีค่าการสูญเสียย้อนกลับเท่ากับ -18.92 dB สายอากาศย่านความถี่คู่ที่ใช้งานร่วมกับโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่มีค่าการสูญเสียย้อนกลับเท่ากับ -30.12 dB

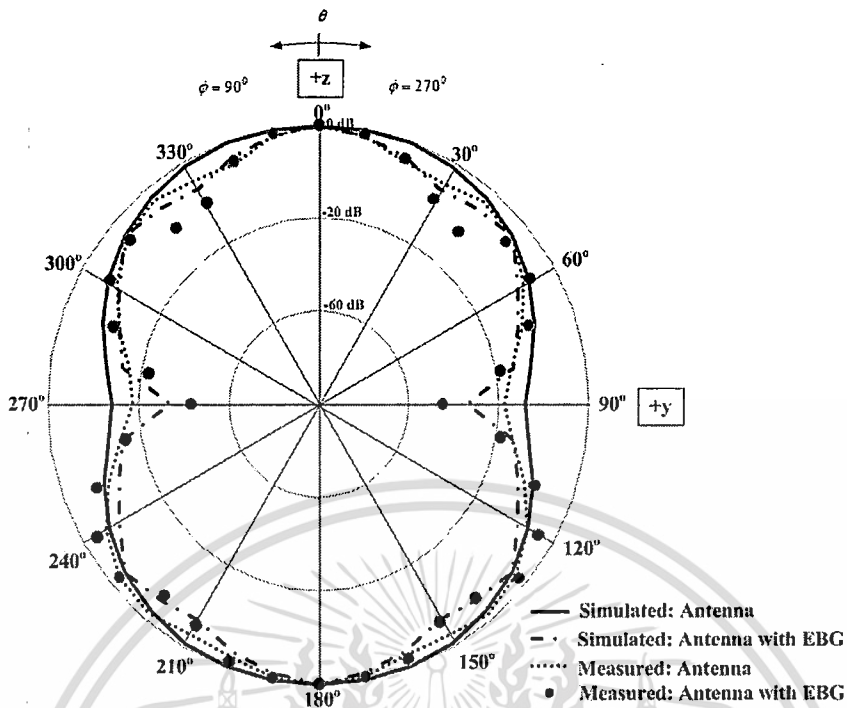


รูปที่ 5.9 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 2.4 GHz

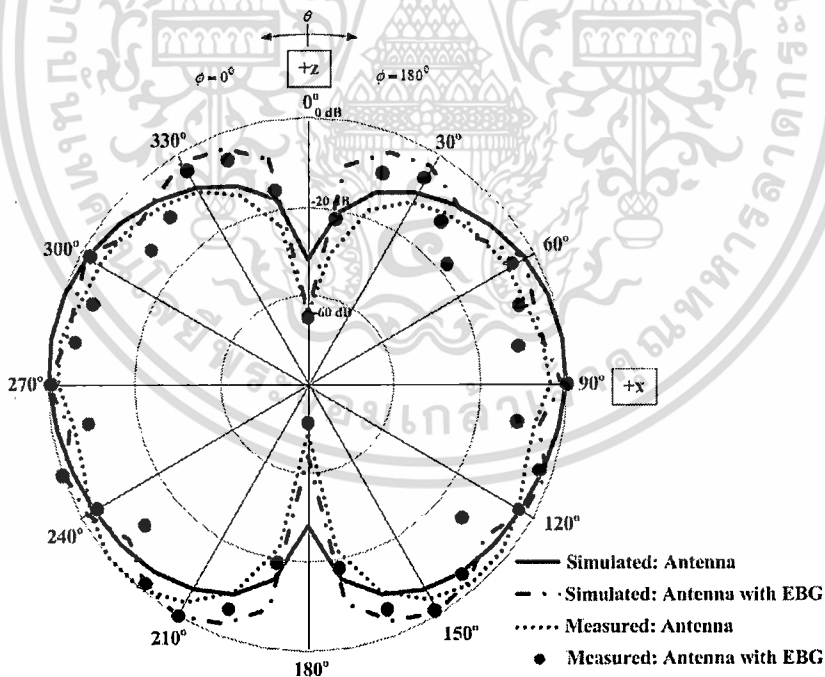


รูปที่ 5.10 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 2.4 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 5.2 GHz



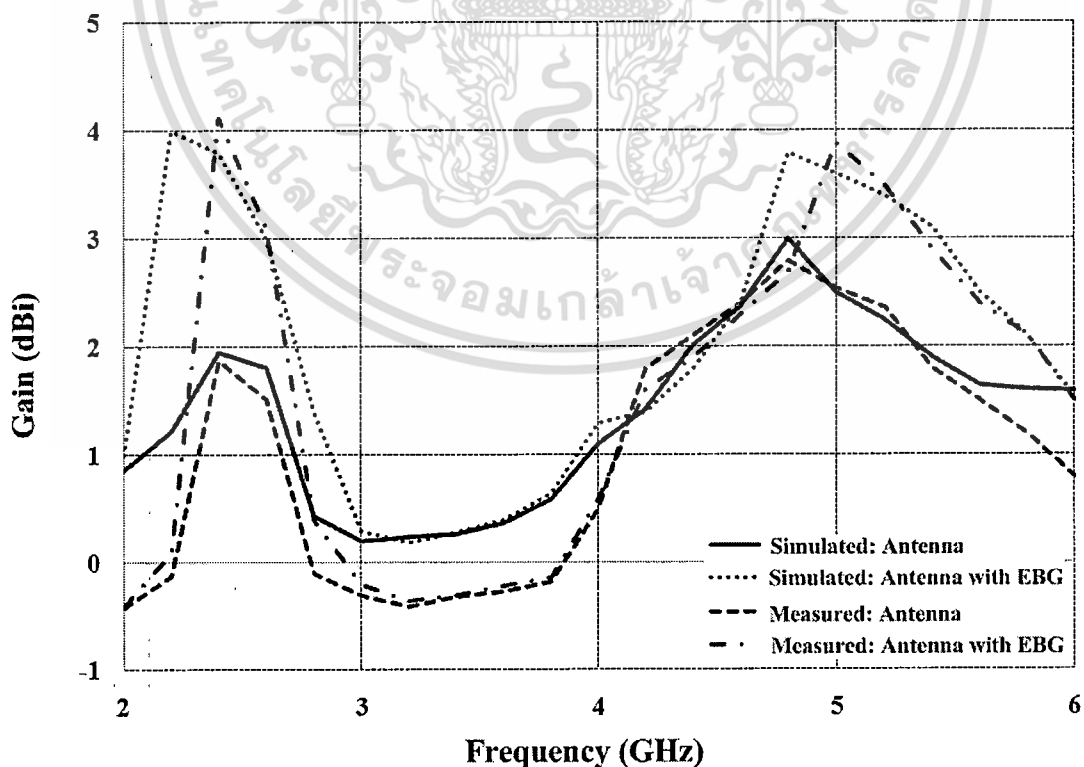
รูปที่ 5.12 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 5.2 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.9 ถึง 5.12 แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจากการจำลองและการทดสอบของสายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่คู่กับสายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่คู่ที่ใช้งานร่วมกับ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่ โดยการทดสอบจะตั้งสายอากาศให้ห่างกัน 40 เซนติเมตร ที่ความถี่ 2.4 GHz ในระนาบสนามไฟฟ้า ทิศทาง 0 องศา สายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่คู่สามารถรับพลังงานได้ -28.35 dBm และสายอากาศย่านความถี่คู่ที่ใช้งานร่วมกับ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่สามารถรับพลังงานได้ -23.86 dBm ที่ความถี่ 5.2 GHz ในระนาบสนามไฟฟ้าที่ทิศทาง 0 องศา สายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่คู่สามารถรับพลังงานได้ -34.03 dBm และสายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่คู่ที่ใช้งานร่วมกับ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่สามารถรับพลังงานได้ -31.77 dBm จากแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสายอากาศมีการแพร่กระจายคลื่นแบบสองทิศทาง

อัตราขยายของสายอากาศ จะทำการทดสอบอัตราขยายสมบูรณ์ของสายอากาศโดยใช้สายอากาศคู่เหมือนในการทดสอบเพื่อหาอัตราขยายที่แท้จริงจากนั้นทำการคำนวณหาอัตราขยายสมบูรณ์ได้จากสมการของฟรีส ดังสมการต่อไปนี้

$$G_R (\text{dBi}) = \frac{P_r (\text{dBm}) - P_t (\text{dBm}) + L_f (\text{dB}) + L_S (\text{dB}) + L_{fr} (\text{dB})}{2} \quad (5.1)$$



รูปที่ 5.13 อัตราขยายของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.13 แสดงอัตราขยายของสายอากาศโดยจากการทดสอบที่ความถี่ 2.4 GHz สายอากาศย่านความถี่คู่มืออัตราขยายเท่ากับ 1.87 dBi สายอากาศย่านความถี่คู่มือที่ใช้งานร่วมกับ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่มืออัตราขยายเท่ากับ 4.12 dBi และที่ความถี่ 5.2 GHz สายอากาศย่านความถี่คู่มืออัตราขยายเท่ากับ 2.36 dBi สายอากาศย่านความถี่คู่มือที่ใช้งานร่วมกับ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่มืออัตราขยายเท่ากับ 3.49 dBi

5.4 สรุป

ในบทนี้กล่าวถึง การสร้างสายอากาศไมโครสตรีย่านความถี่คู่มือที่นำมาใช้งานร่วมกับ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่มือ โดยทำการทดสอบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่นค่า การสูญเสียเนื่องย้อนกลับ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น และอัตราขยาย เปรียบเทียบกับ สายอากาศไมโครสตรีย่านความถี่คู่มือ จากการเปรียบเทียบจะพบว่าที่ความถี่ 2.4 GHz กับ 5.2 GHz ค่าการสูญเสียย้อนกลับ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น และอัตราขยายของสายอากาศไมโครสตรีย่านความถี่คู่มือที่นำมาใช้งานร่วมกับ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่มือที่ดีกว่า สายอากาศไมโครสตรีย่านความถี่คู่มือ

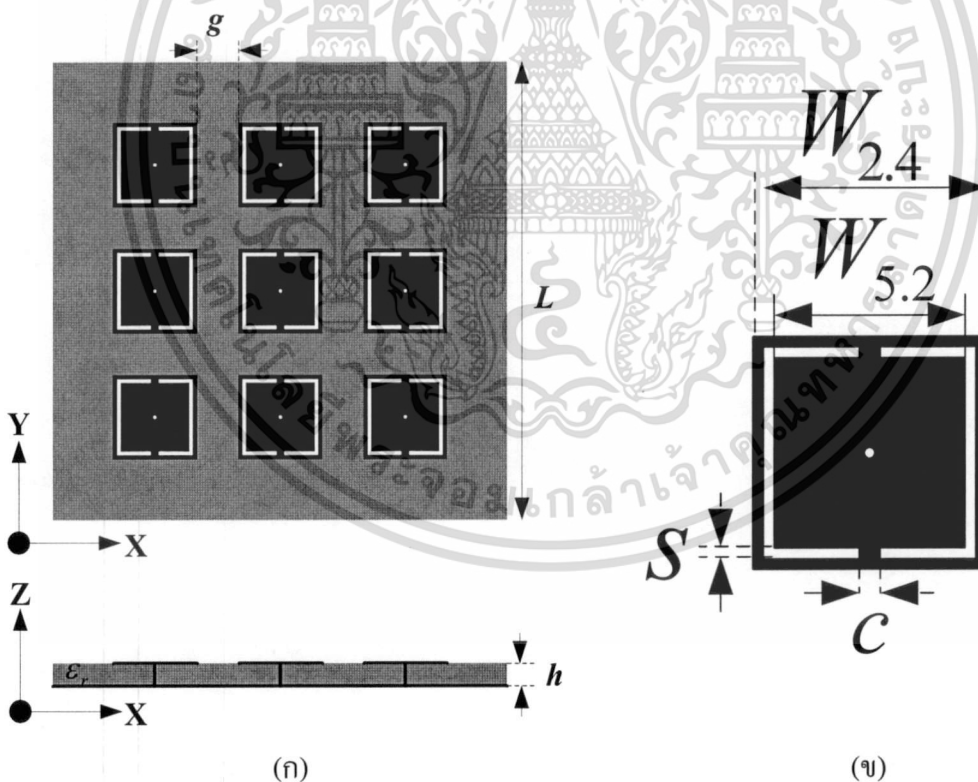
บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย

6.1 บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึงการสรุปผลการวิจัย และแนวทางการพัฒนา โดยวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการสร้างโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่สำหรับประยุกต์ใช้งานร่วมกับสายอากาศไมโครสตริปในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย โดยเริ่มต้นทำการออกแบบและจำลองผลโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่โดยใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO® เพื่อให้ได้ขนาดสำหรับการนำไปสร้างจริง ทำการทดสอบโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่และนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับสายอากาศไมโครสตริป

6.2 สรุปผลการวิจัย



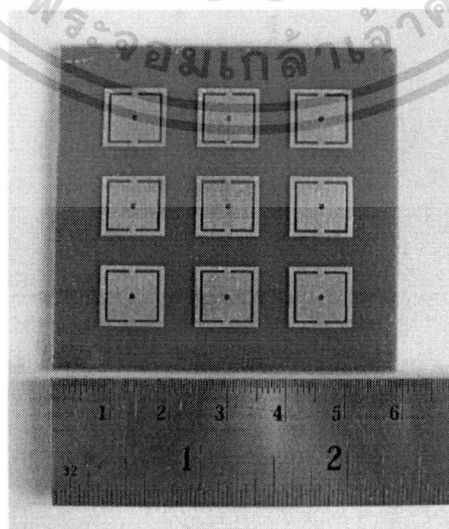
รูปที่ 6.1 แบบจำลองช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า (ก) โครงสร้าง (ข) เซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการออกแบบ วิเคราะห์ศึกษาขนาดพารามิเตอร์ของ โครงสร้าง ช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้ได้โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่ โดย เริ่มต้นจากการออกที่ความถี่ 2.4 GHz ด้วยขนาดระนาบกราวด์หนึ่งความยาวคลื่น ทำการศึกษา ขนาดพารามิเตอร์ 4 ตัวคือ ขนาดความกว้างแผ่นเซลล์รัยคาบ ระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์ ความ สูงของวัสดุฐานรอง และค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ จากการทำการศึกษาค้นคว้าพารามิเตอร์พบว่า ขนาดความกว้างแผ่นเซลล์รัยคาบมีผลต่อความถี่และสามารถปรับได้ง่าย จึงทำการปรับขนาด ความกว้างแผ่นเซลล์รัยคาบเพื่อให้ได้ความถี่ 5.2 GHz และใช้เทคนิคการเพิ่มร่องเพื่อให้ได้ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่ดังแสดงในรูปที่ 6.1 โดยขนาดของพารามิเตอร์ ต่างๆจะทำการแสดงในตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ขนาดพารามิเตอร์ของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่

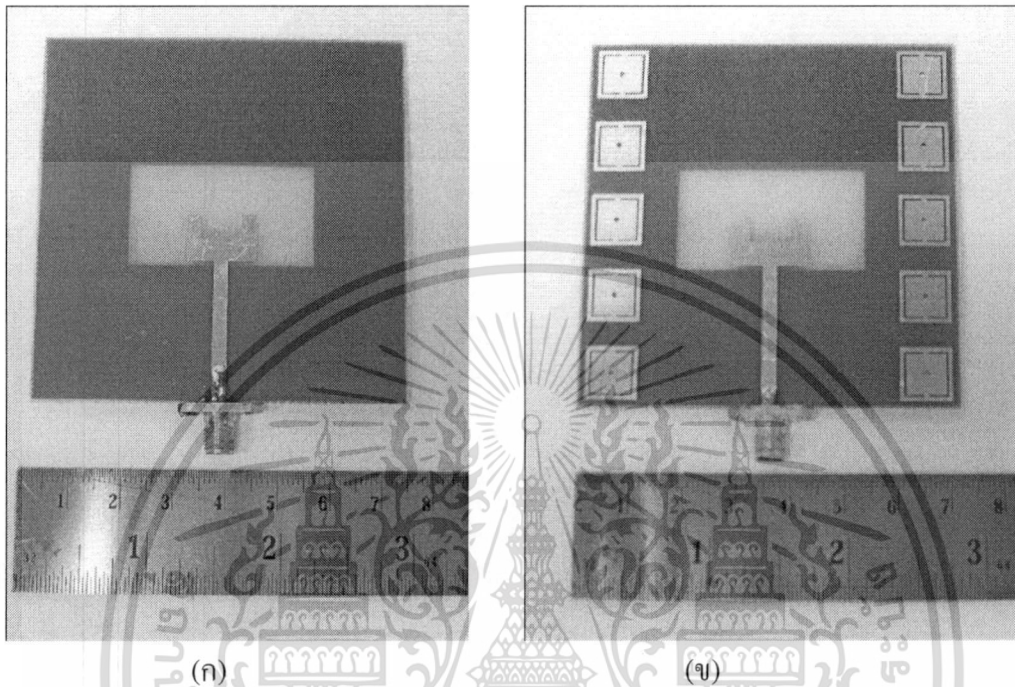
สัญลักษณ์	ขนาด
L	60 มิลลิเมตร
$W_{2.4}$	11 มิลลิเมตร
$W_{5.2}$	9 มิลลิเมตร
S	0.5 มิลลิเมตร
C	1 มิลลิเมตร
g	5.5 มิลลิเมตร
h	0.8 มิลลิเมตร
ϵ_r	4.3



รูปที่ 6.2 โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.2 แสดงโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่ที่ทำการสร้างขึ้นจากขนาดตามตารางที่ 6.1 โดยทำการตัดแปลงแผ่นเซลล์รายคาบจากรูปแบบสี่เหลี่ยมปกติเพื่อให้มีผลตอบสนองสองย่านความถี่ โดยโครงสร้างนี้ทำงานในย่านความถี่ 2.4 GHz และ 5.2 GHz ซึ่งเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานร่วมกับสายอากาศในระบบ WLAN



รูปที่ 6.3 สายอากาศ (ก) ย่านความถี่คู่ (ข) ย่านความถี่คู่ที่ใช้งานร่วมกับ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่

โดยวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้เพื่อพัฒนาโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่สำหรับใช้งานร่วมกับสายอากาศไมโครสตริป โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดคลื่นพื้นผิวของสายอากาศด้านข้างไม่ให้เกิดการแพร่กระจายออก โดยรูปที่ 6.3 แสดงสายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่คู่และสายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่คู่ที่ใช้งานร่วมกับ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่ที่ทำการสร้างขึ้น เพื่อนำไปทดสอบหาค่าการสูญเสียย้อนกลับ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นและอัตราขยายของสายอากาศ โดยแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจะเป็นการแพร่กระจายคลื่นรูปแบบสองทิศทาง สายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่คู่ที่ใช้งานร่วมกับ โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่จะสามารถรับพลังงานได้มากกว่าสายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่คู่ในทิศทาง 0 องศา และผลจากการทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับอัตราขยายของสายอากาศแสดงในตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 ผลการทดสอบของสายอากาศทั้งสองชนิด

	ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (dB)		อัตราขยาย (dBi)	
	2.4 GHz	5.2 GHz	2.4 GHz	5.2 GHz
Antenna	-20.36	-18.92	1.87	2.36
Antenna & EBG	-21.98	-30.12	4.21	3.49

จากผลการทดสอบของสายอากาศพบว่าสายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่คู่ที่ใช้งานร่วมกับโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่จะมีสมรรถนะที่ดีกว่าสายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่คู่ เนื่องจากโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าจะกำจัดคลื่นพื้นผิวของสายอากาศไม่ให้มีการแพร่กระจายออก และสามารถบังคับทิศทางการแพร่กระจายคลื่นให้ออกไปยังทิศทางที่ต้องการ จึงส่งผลให้สายอากาศมีการแพร่กระจายคลื่นออกอากาศมากกว่าสายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่คู่แบบปกติ

6.3 แนวทางการพัฒนา

สำหรับการพัฒนาโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าที่น่าสนใจคือ การทำให้โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ามีค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ต่ำกว่า -10 dB มากกว่าหนึ่งย่านความถี่ เพื่อให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานในแต่ละรูปแบบ เช่น ใช้งานร่วมกับสายอากาศ ออกแบบตัวกรองความถี่ ลดการเชื่อมต่อกัน (Mutual Coupling) ของสายอากาศ เป็นต้น

วิทยานิพนธ์นี้ได้เน้นถึงการออกแบบโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบแถวคูณหลัก โดยอธิบายถึงการออกแบบและผลกระทบของพารามิเตอร์ต่างๆ ต่อค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรวมถึงการดัดแปลงแผ่นเซลล์รายคาบให้ได้ค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านสองย่านความถี่ เป็นแนวทางสำหรับผู้สนใจสามารถนำไปพัฒนาให้ได้ความถี่ตามที่ต้องการของแต่ละระบบเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานได้ต่อไป

บรรณานุกรม

- [1] F. Yang and Y. Rahmat-Samii, "Electromagnetic Band Gap Structures in Antenna Engineering," Cambridge University Press, 2009.
- [2] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl and A. Ittipiboon, "Microstrip Antenna Design Handbook," Imprint Boston : Artech House, 2001.
- [3] N. Engheta and R. Ziolkowski, "Metamaterials: Physics and Engineering Explorations," John Wiley & Sons, 2006.
- [4] S. Zouhdi, A. Sihvola and A. Vinogradov, "Metamaterials and Plasmonics: Fundamentals, Modelling, Applications," New York: Springer-Verlag, 2009.
- [5] Y. Rahmat-Samii, "The marvels of electromagnetic band gap (EBG) structures: novel microwave and optical applications," *Proceedings SBMO/IEEE MTT-S IMOC 2003*, pp. 265-275.
- [6] D. F. Sievenpiper, "High-Impedance Electromagnetic Surfaces," Ph.D. Thesis at University of California, Los Angeles, 1999.
- [7] I. J. Bahl and P. Bhartia, "Microstrip Antenna," Artech House, 1980.
- [8] Y. Chawanonphithak, "Circular Microstrip Antenna Fed by Microstrip Line Above Wide-Slot Ground Plane," Master Thesis, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, 2007.
- [9] M. Y. Fan, R. Hu, Z. H. Feng, X. X. Zhang, and Q. Hao, "Advance in 2D-EBG research," *J. Infrared Millim. Waves*, vol. 22, no. 2, 2003.
- [10] A. Lehtovuori, and L. Costa, "Model for Shielded Suspended Substrate Microstrip Line," Circuit Theory Laboratory Report Series, Helsinki University of Technology, 1998.
- [11] U. Kongmuang, "Dual-Frequency Circularly-Polarized Microstrip Antenna" M.Eng. Thesis at Suranaree University of Technology, Thailand, 2006.
- [12] Y. K. Choukiker, "Analysis of Dual-Band Rectangular Microstrip Antenna Using IE3D/PSO" M.Tech. Thesis at National Institute of Technology Rourkela, 2009.
- [13] Wireless LAN หรือ Wi-Fi, [online]. Available: <http://www.kmitl.ac.th/~s9011090/stories/tech/wireless/wireless2.html>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] O. Ayop, M. K. A. Rahim and T. Ma, "A Dual Band Gap Alotted Patch Electromagnetic Band Gap for Dual Band Microstrip Antenna," *IEEE International RF and Microwave Conference Proceedings 2008*, pp. 322-325
- [15] Y. Yao, X. Wang and Z. Feng, "A Novel Dual-Band Compact Electromagnetic Bandgap (EBG) Structure and Its Application in Multi-Antennas," *Proc. IEEE 2006*, pp. 1943-1946
- [16] M. Kahniao and M. A. Stuchly, "Wide-Band Microstrip Patch Antenna with Planar PBG Structure," *Proc. IEEE APS Dig.*, vol 2, 2001, 486-489



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล นายประพัทธ์ อานมณี
 ที่อยู่ 1771 อรุณอัมรินทร์ 53 อรุณอัมรินทร์ บางยี่ขัน บางพลัด
 กรุงเทพมหานคร 10700
 ประวัติการศึกษา 2550 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] ประพัทธ์ อานมณี และ ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์, “โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าแบบใหม่รูปตัวเอชสำหรับการประยุกต์ใช้งานกับสายอากาศ”, การประชุมทางวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 32, หน้า 789 – 792, 28-30 ต.ค. 2552

