SUT7-709-60-12-36

รายงานการวิจัย

การพัฒนาสายอากาศแบ่งส่วนที่มีสัญญาณแทรกสอดระหว่างลำคลื่นต่ำ

ได้รับทุนอุดหนุนการทำวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

SUT7-709-60-12-36

รายงานการวิจัย

การก่อรูปลำคลื่นแบบตั้งฉากโดยอาศัยทิศทางการมาถึงของสัญญาณ

ผู้วิจัย
หัวหน้าโครงการ
รองศาสตราจารย์ ดร. มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกุล
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2560
ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

พฤษภาคม 2563

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัยสำหรับโครงการวิจัยนี้

ผู้วิจัย

พฤษภาคม 2563

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการสื่อสารแบบไร้สายและโทรศัพท์เคลื่อนที่มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วเนื่องจากความต้องการในการรับและส่งข้อมูลความเร็วสูงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สำหรับการสื่อสารแบบไร้สายและโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นมีการใช้งานกันทั่วๆไป เช่น ระบบเซลลูลาร์ การสื่อสารผ่านดาวเทียมและเครือข่ายไร้สาย เครือข่ายไร้สายเป็นระบบที่เชื่อมโยงอุปกรณ์ตั้งแต่สองเครื่องขึ้นไป โดยใช้การสื่อสารแบบไร้สายภายในพื้นที่เดียวกันทั้งแบบส่วนตัวและแบบสาธารณะ อย่างเช่นบ้าน สำนักงาน และมหาวิทยาลัย เครือข่ายไร้สายได้มีการกำหนดมาตรฐานเพื่อให้อุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในเครือข่ายไร้สายมีการผลิตและพัฒนาไปในทางเดียวกันคือ มาตรฐานเครือข่ายไร้สาย IEEE 802.11 ซึ่งคลื่นความถี่ที่ใช้ในการกระจายสัญญาณนั้นจะใช้ย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์และ 5 กิกะเฮิรตซ์ เครือข่ายไร้สายนั้นมีข้อดีหลายอย่างเช่นสามารถรองรับอุปกรณ์จำนวนมาก ง่ายในการติดตั้งเครือข่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการวางสายเคเบิล เครือข่ายไร้สายสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้อย่างเหมาะสมประมาณ 100 เมตรและสามารถส่งข้อมูลความเร็วได้ประมาณ 54 ถึง 300 เมกะบิตต่อวินาที อย่างไรก็ตามเครือข่ายไร้สายก็มีข้อจำกัดในบางสภาพแวดล้อมที่มีสิ่งกีดขวางมากมาย ปัญหาที่เกิดจากการส่งข้อมูลไม่สำเร็จซึ่งจะทำให้ระบบมีค่าวิสัยสามารถต่ำ

จากการสำรวจปริทรรศน์วรรณกรรมที่ผ่านมาพบว่ายังไม่มีงานวิจัยใดที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานสำหรับโนดแบบ 4 เซกเตอร์นี้ได้เนื่องจากมีค่าความกว้างลำครึ่งกำลังไม่ใช่ 90 องศาและมีอัตราส่วนหน้าต่อหลังที่ต่ำ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบสายอากาศสำหรับโนดแบบ 4 เซกเตอร์ โดยสายอากาศจะถูกออกแบบให้ทำงานในย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ มีค่าความกว้างลำครึ่งกำลังเท่ากับ 90 องศาและมีอัตราส่วนหน้าต่อหลังที่สูง โดยจำลองแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ HFSS และทดสอบสายอากาศโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย ซึ่งงานวิจัยนี้มุ่งหวังว่าจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบเครือข่ายไร้สายและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Abstract

In the current decades, wireless and mobile communication has been developed at a rapid pace because the demand for high-speed data transmission increases continuously. For wireless and mobile communication, there are many standards such as cellular network, satellite communication, and Wireless Local Area Networks (WLAN). The popular communication network is the WLAN which is a wireless computer network that links two or more devices using wireless communication within both private and public areas such as home, office, and university. The WLAN has lots of standards based on IEEE 802.11 which is operated in the frequency range from 2.4 to 2.5 GHz. The WLAN has many advantages such as, it can support a large number of devices, it is easy to set up a network, especially when compared to laying cables for wired networks, it can provide an appropriate range of coverage which is about 100 meters and it can provide a high-speed data transmission about 54 – 300. However, the coverage area and data rate of WLAN are limited in some environment which has lots of obstacles.

From the recent literatures, those proposed antennas cannot be applied for 4-sector node as their beamwidths are not 90-degree and their front-to-back ratio is too low. Therefore, this research proposes the 4-sector antenna that designed antenna operates at 2.4 GHz which has 90 degrees beamwidth and high front-to-back ratio using computer simulation. The fabricated antenna is measured to compare with the simulation results. The aim of this research is that the antenna achieves the improved performance and can be applied for WLAN.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ข
สารบัญ ..... ค
สารบัญตาราง ..... ฉ
สารบัญรูป ..... ช

บทที่

1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.3 สมมุติฐานของการวิจัย 2
1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น 2
1.5 ขอบเขตการวิจัย 3
1.6 วิธีดำเนินการวิจัย 3
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
1.8 ส่วนประกอบของงานวิจัย 4
2 ทฤษฎีและปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 5
2.1 กล่าวนำ 5
2.2 ประวัติและความเป็นมาของเครือข่ายไร้สาย 5
2.3 ระบบการแบ่งเซกเตอร์ 10
2.4 สายอากาศแพทช์ไมโครสตริป 11
2.5 ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศ 15
2.5.1 สัมประสิทธิ์การสะท้อน 15

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5.2 พารามิเตอร์เอส....17
2.5.3 แบนด์วิดท์....17
2.5.4 แบบรูปการแผ่พลังงาน....18
2.5.5 พูคลื่นของแบบรูปการแผ่พลังงาน....20
2.5.6 ความกว้างลำคลื่นของแบบรูป....21
2.5.7 อัตราขยายของสายอากาศ....22
2.6 สรุป....24
3 การออกแบบสายอากาศ....25
3.1 กล่าวนำ....25
3.2 ศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบและจำลองสายอากาศไมโครสตริปแพทช์วงกลม โดยการปรับรูปของสายอากาศโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป HFSS....25
3.2.1 การจำลองสายอากาศต้นแบบโดยการปรับรูปของระนาบกราวด์....28
3.2.2 การจำลองสายอากาศต้นแบบโดยการปรับรูปครึ่งวงกลม....30
3.2.3 การจำลองสายอากาศต้นแบบโดยการปรับรูป 1 ใน 4 ของรูปวงกลม....31
3.2.4 การจำลองสายอากาศต้นแบบโดยการเปลี่ยนแปลงขนาดความกว้างของครึ่งวงกลม 33
3.2.5 การจำลองสายอากาศต้นแบบโดยการเพิ่มโลหะที่ส่วนหลังของสายอากาศ....35
3.2.6 การจำลองสายอากาศต้นแบบโดยการเปลี่ยนแปลงขนาดของโลหะที่ส่วนหลังของสายอากาศ....37
3.2.7 การจำลองสายอากาศต้นแบบโดยการเปลี่ยนแปลงขนาดของโลหะที่ส่วนหลังด้านนอกของสายอากาศ....40
3.2.8 การจำลองสายอากาศต้นแบบโดยการเปลี่ยนแปลงขนาดของโลหะที่ส่วนหลังด้านในของสายอากาศ....42
3.3 การศึกษาความเป็นไปได้ของสายอากาศเซกเตอร์ 4 ต้น โดยการจำลองผลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป HFSS....47
3.3.1 การจำลองสายอากาศต้นเซกเตอร์ด้วยการปรับระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์....47

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4 สรุป 52
4 การทดสอบสายอากาศและวิเคราะห์ผล 53
4.1 กล่าวนำ 53
4.2 การสร้างสายอากาศต้นแบบ 53
4.2.1 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศต้นแบบ 54
4.2.2 ผลการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศต้นแบบ 55
4.2.3 ผลการวัดทดสอบอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบ 57
4.3 วิธีการสร้างสายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์ 57
4.3.1 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์ 58
4.3.2 ผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์เอส 59
4.3.3 ผลการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์ 59
4.3.4 ผลการวัดทดสอบอัตราขยายของสายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์ 62
4.4 เปรียบเทียบผลจากการวัดทดสอบและการจำลอง 62
4.5 สรุป 63
5 สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ 64
5.1 สรุปเนื้อหางานวิจัย 64
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา 65
รายการอ้างอิง 66
ภาคผนวก
บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ 69

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 ปัญหาโนดที่มองไม่เห็น....10
2.2 การแบ่งเซกเตอร์ของโนดจำนวน N เซกเตอร์....10
2.3 สายอากาศไมโครสตริปแบบแพทช์สี่เหลี่ยม....11
2.4 โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริปแบบวงกลม....13
2.5 โครงสร้างของสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริป....14
2.6 แบบรูปการแผ่พลังงานแบบรอบทิศทางในระนาบเดี่ยว....19
2.7 แบบรูปการณ์แผ่พลังงานหลักในระนาบสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่เกิดจากสายอากาศปากแตรทรงพีระมิด....20
2.8 แบบรูปการแผ่พลังงานสามมิติแบบเชิงขั้ว....21
2.9 แบบรูปการแผ่พลังงานสองมิติ....22
3.1 แบบจำลองสายอากาศไมโครสตริปแพทช์วงกลม....26
3.2 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศไมโครสตริปแพทช์วงกลม....27
3.3 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปแพทช์วงกลม....27
3.4 แบบจำลองสายอากาศโดยการปรับรูปของระนาบกราวด์....28
3.5 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศไมโครสตริปโดยการปรับรูปของระนาบกราวด์....29
3.6 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปโดยการปรับรูปของระนาบกราวด์....29
3.7 แบบจำลองสายอากาศโดยการปรับรูปครึ่งวงกลม....30
3.8 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศไมโครสตริปโดยการปรับรูปครึ่งวงกลม....31
3.9 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปโดยการปรับรูปครึ่งวงกลม....31
3.10 แบบจำลองสายอากาศโดยการปรับรูป 1 ใน 4 วงกลม....32
3.11 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศไมโครสตริปโดยการปรับรูป 1ใน 4 วงกลม....32
3.12 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปโดยการปรับรูป 1 ใน 4วงกลม....33
3.13 แบบจำลองสายอากาศโดยการปรับขนาดความกว้างของครึ่งวงกลม....34

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.14 กราฟแสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับความถี่เรโซแนนซ์เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความกว้างของครึ่งวงกลม....34
3.15 แบบรูปการณ์แผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความกว้างของ ครึ่งวงกลม....35
3.16 แบบจำลองสายอากาศโดยการเพิ่มโลหะที่ส่วนหลังของสายอากาศ....36
3.17 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศไมโครสตริปโดยการเพิ่มโลหะที่ส่วนหลังของสายอากาศ....36
3.18 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศการเพิ่มโลหะที่ส่วนหลังของสายอากาศ....37
3.19 แบบจำลองสายอากาศโดยการเพิ่มโลหะที่ส่วนหลังของสายอากาศ....38
3.20 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศไมโครสตริปโดยการเปลี่ยนแปลงขนาดของโลหะที่ส่วนหลังของสายอากาศ....38
3.21 กราฟแสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับค่าความกว้างลำครึ่งกำลังเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงขนาดของเนื้อโลหะ....39
3.22 กราฟแสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับค่าอัตราส่วนหน้าต่อหลังเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงขนาดของเนื้อโลหะ....39
3.23 แบบจำลองสายอากาศโดยการเปลี่ยนแปลงขนาดของโลหะที่ส่วนด้านนอกของสายอากาศ....40
3.24 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศไมโครสตริปโดยการเปลี่ยนแปลงขนาดของโลหะที่ส่วนหลังด้านนอกของสายอากาศ....41
3.25 กราฟแสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับค่าความกว้างลำครึ่งกำลังเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงขนาดของโลหะที่ส่วนด้านนอกของสายอากาศ....41
3.26 กราฟแสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับค่าอัตราส่วนหน้าต่อหลังเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงขนาดของโลหะที่ส่วนด้านนอกของสายอากาศ....42
3.27 แบบจำลองสายอากาศโดยการเปลี่ยนแปลงขนาดของโลหะที่ส่วนด้านในของสายอากาศ....43

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.28 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศไมโครสตริปโดยการเปลี่ยนแปลงขนาดของโลหะที่ส่วนหลังด้านในของสายอากาศ....43
3.29 กราฟแสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับค่าความกว้างลำครึ่งกำลังเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงขนาดของโลหะที่ส่วนด้านในของสายอากาศ....44
3.30 กราฟแสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับค่าอัตราส่วนหน้าต่อหลังเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงขนาดของโลหะที่ส่วนด้านในของสายอากาศ....44
3.31 แบบจำลองสายอากาศเซกเตอร์ต้นแบบ....45
3.32 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศเซกเตอร์ต้นแบบหนึ่งต้น....46
3.33 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเซกเตอร์ต้นแบบ แบบ 3 มิติ....46
3.34 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเซกเตอร์ต้นแบบ แบบ 2 มิติ....47
3.35 โครงสร้างสายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์....48
3.36 ผลกระทบเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์....48
3.37 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์....49
3.38 แบบจำลองสายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์....50
3.39 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์....51
3.40 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์ทั้ง 4 ทิศทาง....51
4.1 สายอากาศต้นแบบ....53
4.2 กราฟเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การสะท้อนระหว่างผลการจำลองและผลการวัดทดสอบของสายอากาศต้นแบบ....55
4.3 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศต้นแบบ....56
4.4 สายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์....58
4.5 กราฟเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การสะท้อนระหว่างผลการจำลองและผลการวัดทดสอบของสายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์....60
4.6 กราฟเปรียบเทียบพารามิเตอร์เอสระหว่างผลการจำลองและผลการวัดทดสอบของสายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์....60

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.7 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์.....61

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศไมโครสตริปแพทช์วงกลม 26
3.2 พารามิเตอร์ของสายอากาศเซกเตอร์ต้นแบบ 45
3.3 พารามิเตอร์ของสายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์ 50
4.1 พารามิเตอร์ของสายอากาศต้นแบบ 54
4.2 พารามิเตอร์ของสายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์ 58
4.3 เปรียบเทียบผลจากการวัดทดสอบและการจำลอง 62

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการสื่อสารแบบไร้สายและโทรศัพท์เคลื่อนที่มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วเนื่องจากความต้องการในการรับและส่งข้อมูลความเร็วสูงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สำหรับการสื่อสารแบบไร้สายและโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นมีการใช้งานกันทั่วๆไป เช่น ระบบเซลลูลาร์ การสื่อสารผ่านดาวเทียมและ เครือข่ายไร้สาย เครือข่ายไร้สายเป็นระบบที่เชื่อมโยงอุปกรณ์ตั้งแต่สองเครื่องขึ้นไป โดยใช้การสื่อสารแบบไร้สายภายในพื้นที่เดียวกันทั้งแบบส่วนตัวและแบบสาธารณะ อย่างเช่นบ้าน สำนักงาน และ มหาวิทยาลัย เครือข่ายไร้สายได้มีการกำหนดมาตรฐานเพื่อให้อุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในเครือข่ายไร้สายมีการผลิตและพัฒนาไปในทางเดียวกันคือ มาตรฐานเครือข่ายไร้สาย IEEE 802.11 ซึ่งคลื่นความถี่ที่ใช้ในการกระจายสัญญาณนั้นจะใช้ย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์และ 5 กิกะเฮิรตซ์ เครือข่ายไร้สายนั้นมีข้อดีหลายอย่างเช่นสามารถรองรับอุปกรณ์จำนวนมาก ง่ายในการติดตั้งเครือข่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการวางสายเคเบิล เครือข่ายไร้สายสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้อย่างเหมาะสมประมาณ 100 เมตรและสามารถส่งข้อมูลความเร็วได้ประมาณ 54 ถึง 300 เมกะบิตต่อวินาที อย่างไรก็ตามเครือข่ายไร้สายก็มีข้อจำกัดในบางสภาพแวดล้อมที่มีสิ่งกีดขวางมากมายและปัญหาที่สำคัญอีกประการคือ “โนดที่มองไม่เห็น” ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อโนด A และโนด B สามารถสื่อสารกันได้ และในขณะเดียวกัน โนด C และโนด B สามารถสื่อสารกันได้ แต่โนด A และโนด C ไม่สามารถสื่อสารกันได้ เนื่องจากโนดทั้งสองไม่ได้อยู่ในรัศมีซึ่งกันและกัน ปัญหาที่เกิดจากการส่งข้อมูลไม่สำเร็จซึ่งจะทำให้ระบบมีค่าวิสัยสามารถต่ำ จากปัญหาดังกล่าวจึงได้นำเสนอแนวคิดสายอากาศสำหรับโนดแบบ 4 เซกเตอร์เพื่อให้สามารถสื่อสารข้ามกันได้ระหว่าง 4 โนด

จากการศึกษาปริทัศน์วรรณกรรม (Korakis, et al., 2008) ได้นำเสนอการใช้สายอากาศ 4 ต้น หรือสายอากาศ 8 ต้นนั้นสามารถจัดการปัญหาโนดที่มองไม่เห็นและยังช่วยเพิ่มอัตราขยายในแต่ละทิศทางและเพิ่มพื้นที่ที่ครอบคลุมอีก(Kaswiati and Suryana, 2012; Haraz and Sebak, 2011; Patron, et

al., 2014; Wnuk and Nowosielski, 2016; Chan-arpas, et al., 2014; Mahlaoui, et al., 2015; Yassin, et al., 2014; Lai, et al., 2008; Choi, et al., 2010) จากปริทัศน์วรรณกรรมที่ได้นำเสนอได้เลือกใช้สายอากาศไมโครสตริปซึ่งเหมาะสำหรับการใช้งานภายในอาคาร มีน้ำหนักเบาและต้นทุนต่ำ แต่ไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานสำหรับโนดแบบ 4 เซกเตอร์นี้ได้เนื่องจากมีค่าความกว้างลำคลื่นกำลังไม่ใช่ 90 องศาและมีค่าอัตราส่วนหน้าต่อหลังที่ต่ำ

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบสายอากาศสำหรับโนดแบบ 4 เซกเตอร์ โดยสายอากาศจะถูกออกแบบให้ทำงานในย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ มีค่าความกว้างลำคลื่นกำลังเท่ากับ 90 องศาและมีอัตราส่วนหน้าต่อหลังที่สูง โดยจำลองแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ HFSS และทดสอบสายอากาศโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย ซึ่งงานวิจัยนี้มุ่งหวังว่าจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบเครือข่ายไร้สายและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

สร้างสายอากาศสำหรับโนดแบบ 4 เซกเตอร์ โดยใช้สายอากาศไมโครสตริปสำหรับเครือข่ายไร้สาย

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

สายอากาศสำหรับโนดแบบ 4 เซกเตอร์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบเครือข่ายไร้สายโดยจะมีความจุของช่องสัญญาณเพิ่มขึ้น สัญญาณแทรกสอดลดลงและสภาพเจาะจงทิศทางเพิ่มขึ้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.4.1 สร้างสายอากาศสำหรับโนดแบบ 4 เซกเตอร์ผ่านแบบจำลอง

1.4.2 ใช้โปรแกรม Ansoft HFSS ในการจำลองแบบ

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 ออกแบบสายอากาศให้มีความกว้างลำครึ่งกำลังเท่ากับ 90 องศาโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปคอมพิวเตอร์

1.5.2 นำสายอากาศมารวมกันทั้ง 4 องค์ประกอบเพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ทั้ง 360 องศาโดยใช้แบบจำลองในคอมพิวเตอร์

1.5.3 สร้างสายอากาศที่ได้จากการออกแบบและนำไปทดสอบโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเพื่อเปรียบเทียบผลกับแบบจำลองในคอมพิวเตอร์

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

1.6.1 สำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

1.6.2 จำลองสายอากาศ 1 ต้นโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ให้เหมาะสมสำหรับการทำงานในรูปแบบเซกเตอร์

1.6.3 สร้างสายอากาศ 1 ต้นและวัดแบบรูปการแผ่พลังงานและสัมประสิทธิ์การสะท้อน

1.6.4 จำลองผลสายอากาศ 4 ต้นโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อการทำงานสำหรับ 4 เซกเตอร์โดยสมบูรณ์

1.6.5 สร้างสายอากาศ 4 ต้นจากนั้นนำไปวัดทดสอบโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 ได้สายอากาศต้นแบบสำหรับโนดแบบ 4 เซกเตอร์ สำหรับการประยุกต์ใช้ในเครือข่ายไร้สาย

1.7.2 สามารถลดปัญหาการชนกันของสัญญาณได้ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของเครือข่ายไร้สาย

1.8 ส่วนประกอบของงานวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้ประกอบด้วย 5 บท

บทที่ 1 เป็นบทนำ กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัย สมมติฐานของการวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตการวิจัย วิธีดำเนินการวิจัย และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

บทที่ 2 กล่าวถึงประวัติและความเป็นมาของเครือข่ายไร้สาย ระบบการแบ่งเซกเตอร์ สายอากาศไมโครสตริป และค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศ

บทที่ 3 กล่าวถึงการศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบและจำลองสายอากาศไมโครสตริปแพทช์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปคอมพิวเตอร์ การศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของสายอากาศ และการศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบและจำลองสายอากาศเซกเตอร์ 4 ต้น ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปคอมพิวเตอร์

บทที่ 4 กล่าวถึงการสร้างสายอากาศต้นแบบและสายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์ ตามพารามิเตอร์ต่างๆที่ถูกออกแบบไว้และทำการวัดทดสอบคุณลักษณะต่างๆเพื่อยืนยันความถูกต้อง

บทที่ 5 กล่าวถึงการสรุปผลของงานวิจัย ปัญหาและข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาในอนาคต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ทฤษฎีและปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยฉบับนี้ซึ่งประกอบด้วย ส่วนแรกจะเป็นการกล่าวนำเข้าสู่เนื้อหา ส่วนที่สองจะกล่าวถึงประวัติและความเป็นมาของเครือข่าย ส่วนที่สามจะกล่าวถึงระบบการแบ่งเซกเตอร์ ส่วนที่สี่จะกล่าวถึงสายอากาศไมโครสตริปและการออกแบบสายอากาศไมโครสตริป ส่วนที่ห้าจะกล่าวถึงค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศ และส่วนสุดท้ายจะเป็นการสรุปเนื้อหาทั้งหมดในบทนี้ โดยฐานข้อมูลที่ใช้ในการค้นงานวิจัยนี้เป็นฐานข้อมูลที่มีชื่อเสียงและได้รับการยอมรับกันอย่างกว้างขวาง เช่น ฐานข้อมูลจาก The Institute of Electrical and Electronics Engineers หรือ IEEE นอกจากนี้ยังได้ทำการสืบค้นงานวิจัยจากแหล่งอื่น ๆ เช่น จากห้องสมุดของมหาวิทยาลัยต่าง ๆ ผลการสืบค้นที่ได้จะใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัยต่อไป

2.2 ประวัติและความเป็นมาของเครือข่ายไร้สาย

เครือข่ายท้องถิ่น (Local Area Network: LAN) ถูกพัฒนาครั้งแรกในปลายปี ค.ศ.1970 ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อกันระหว่างผู้ใช้ข้อมูลเชื่อมผ่านทางลวดหรือสายเคเบิลในท้องถิ่นแคบๆหรือพื้นที่ที่มากที่สุดในขอบเขตไม่กี่กิโลเมตร ส่วนการจะติดตั้งเส้นใยแก้วนำแสงได้นั้นก็ต่อเมื่อเส้นใยเริ่มใช้งานในเชิงพาณิชย์ในราคาและค่าใช่จ่ายที่ต่ำมากพอ IEEE จึงตระหนักถึงความจำเป็นในการพัฒนานี้ ในต้นปี ค.ศ. 1980 ได้มีการจัดตั้งคณะกรรมการพัฒนามาตรฐาน IEEE 802 นี้มีการทำงานเพื่อพัฒนามาตรฐานอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้มาตรฐานในตระกูลนี้ถูกแบ่งออกเป็นข้อกำหนดย่อยๆ เพื่อใช้อธิบายรายละเอียดที่แตกต่างกัน เช่น IEEE 802.3 หรืออีเทอร์เน็ต (Ethernet) ซึ่งได้รับความนิยมใช้งานมากที่สุดในอาคารสำนักงาน ธุรกิจและวิทยาเขตทั่วโลก มาตรฐานนี้ครอบคลุมถึงการเข้าถึงตัวกลาง หรือ MAC ของชั้นเชื่อมโยงข้อมูล รวมทั้งชั้นกายภาพ ด้านล่างด้วย

สำหรับ IEEE 802.11 เป็นข้อกำหนดย่อยในตระกูล IEEE 802 เช่นกัน โดยจะกล่าวถึงการสื่อสารไร้สายที่ครอบคลุมทั้งชั้นกายภาพและ MAC ซึ่งเป็นข้อกำหนดสำคัญในการพัฒนาระบบที่

เรียกว่า เครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย โดยที่ในข้อกำหนดย่อยนี้ยังมีการแบ่งออกเป็นรุ่นๆ ตามการพัฒนาของเทคโนโลยีเช่น IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g และ IEEE 802.11n เป็นต้น ซึ่งในแต่ละรุ่นนี้จะมีความแตกต่างกันในเรื่องข้อกำหนดทางกายภาพ อาทิเช่น ความถี่ ความกว้างแถบความถี่ วิธีการเข้ารหัส การกล้ำสัญญาณ เป็นต้น

2.2.1 มาตรฐาน IEEE 802.3

มาตรฐาน IEEE 802.3 หรืออีเทอร์เน็ตถือว่าเป็นข้อกำหนดที่สำคัญสำหรับเครือข่ายท้องถิ่นเพราะใช้กันในวงกว้าง แต่เมื่อนำวิธิการเข้าถึงของมาตรฐานไร้สาย IEEE 802.11 มาเปรียบเทียบกับ IEEE 802.3 พบว่ามีความแตกต่างกันมากในเรื่องของสื่อกลางในการติดต่อ สำ0หรับอีเทอร์เน็ตนั้นจะใช้โปรโตคอลเข้าถึงที่เกิดจากการสุ่มและต่อยอดจากโปรโตคอลประเภทอะโลฮา ซึ่งเป็นโปรโตคอลที่กระจายสิทธิการใช้งานให้กับผู้ใช้งานทุกคน ถือว่ามีการเชื่อมต่อและการสื่อสารถึงกับผ่านทางลิงค์กายภาพเดียวกัน โปรโตคอลนี้มีสมมติฐานว่าผู้ใช้อยู่ใกล้พอที่จะรับรู้ว่าเมื่อใดที่เกิดการชนกันขึ้นของข้อมูล เนื่องจากความสามารถในการรับรู้การชนกันของข้อมูลนี้ จึงได้มีการพัฒนาโปรโตคอลที่สามารถตรวจสอบสถานะการชนกันของข้อมูลก่อนการส่งข้อมูลออกไป หรือเรียกว่า CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection) ซึ่งกลไกการทำงานพื้นฐานดังนี้ สถานีข้อมูลที่ต้องการจะส่งข้อความจะต้องฟังเครือข่ายและส่งข้อมูลได้เฉพาะกรณีที่ไม่มีการตรวจพบการส่งข้อมูลใดๆในเครือข่าย

2.2.2 ข้อกำหนดในมาตรฐาน IEEE 802.11

เมื่อพิจารณามาตรฐานอีเทอร์เน็ตให้เป็นไร้สายตามข้อกำหนดของ IEEE 802.11 หรือเรียกว่าเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย จะพบว่ายังคงมีบางลักษณะของมาตรฐานอีเทอร์เน็ต IEEE 802.3 ที่กล่าวข้างต้น แต่มีความแตกต่างที่สำคัญเนื่องจากสื่อเป็นไร้สาย ทำให้ต้องมีการออกแบบมาเพื่อรองรับการทำงานมากขึ้น สื่อกลางไร้สายนี้น่าเชื่อถือน้อยกว่าสื่อมีสายเพราะคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงตามเวลาและไม่สมดุล ตัวกลางควบคุมอย่างง่ายดายไม่มีขอบเขตที่ชัดเจน ขาดการเชื่อมต่อกับทุกสถานีอย่างสมบูรณ์และสถานีผู้ใช้อาจไม่ได้ยิน นอกจากนี้สถานีอาจจะเคลื่อนที่นำสู่รูปแบบไดนามิกความแตกต่างเหล่านี้ในลักษณะตัวกลางและสถานีผู้ใช้ระหว่างเครือข่ายมีสายและเครือข่ายไร้สาย นำไปสู่ความต้องการเฉพาะของ IEEE 802.11 สำหรับกลยุทธ์การเข้าถึงแบบสุ่มซึ่งแตกต่างกว่า IEEE 802.3

วิธีการเข้าถึงแบบ IEEE 802.11 นี้จะไปกำหนดที่ชั้นย่อยของ MAC และอ้างถึง DCF (Distributed Coordination Function) ด้วยการใช้กลยุทธ์การเข้าถึงโดย เฉพาะเรียกว่าการเข้าถึงหลายทางเพื่อให้บริการล่วงรู้โดยหลีกเลี่ยงการปะทะกัน ซึ่งใช้ CSMA/CA (Carrier Sense Multiple

Access/Collision Avoidance) แทนที่ CSMA/CD ในอีเทอร์เน็ต สำหรับแนวคิดของ DCF หมายความว่าทุกสถานีสามารถติดต่อสื่อสารกันในพื้นที่ที่กำหนดและใช้กลยุทธ์เข้าถึงเดียวกัน โปรโตคอลการเข้าถึง CSMA/CA ยังปรากฏเป็นส่วนหนึ่งในชั้นย่อยของ MAC (IEEE 802.11) มาตรฐานย่อย IEEE 802.11 จะใช้กลไกเข้าถึงเดียวกัน ซึ่งต่างกันเพียงกลไกชั้นกายภาพที่กำหนดเพื่อใช้อัตราการส่งข้อมูลไม่เท่ากันดังนี้

1. IEEE 802.11a ทำงานบนย่านความถี่ 5 GHz (ISM band ไม่ต้องขอใบอนุญาต) ด้วยเทคโนโลยี OFDM โดยที่สามารถให้อัตราการส่งถ่ายข้อมูล 54 Mbps และเนื่องด้วยการที่มาตรฐานนี้ ใช้การเชื่อมต่อที่ความถี่สูงๆ ทำให้มาตรฐานนี้ มีระยะการรับส่งที่ค่อนข้างใกล้คือประมาณ 35 เมตร ในโครงสร้างปิด (เช่น ในตึก ในอาคาร) และ 120 เมตรในที่โล่งแจ้งและด้วยความที่ส่งข้อมูลด้วยความถี่สูงนี้ ทำให้การส่งข้อมูลนั้นไม่สามารถทะลุทะลวงโครงสร้างของตึกได้มากนัก อุปกรณ์ไร้สายที่รองรับเทคโนโลยี IEEE 802.11a นี้ไม่สามารถเข้ากันได้กับอุปกรณ์ที่รอบรับมาตรฐาน IEEE 802.11b และ IEEE 802.11g

2. IEEE 802.11b ทำงานบนย่านความถี่ 2.4 GHz (ISM band ไม่ต้องขอใบอนุญาต) ด้วยเทคโนโลยี DSSS (Direct-Sequence Spread Spectrum) โดยที่สามารถให้อัตราการส่งถ่ายข้อมูล 11 Mbps เนื่องจากการใช้คลื่นความถี่ที่ต่ำกว่าอุปกรณ์ที่รอบรับมาตรฐาน IEEE 802.11a ทำให้อุปกรณ์ที่ใช้มาตรฐานนี้จะมีความสามารถในการส่งคลื่นสัญญาณไปได้ไกลกว่าคือประมาณ 38 เมตร ในโครงสร้างปิดและ 140 เมตรในที่โล่งแจ้ง รวมถึงสัญญาณสามารถทะลุทะลวงโครงสร้างตึกได้มากกว่าอุปกรณ์ที่รอบรับกับมาตรฐาน IEEE 802.11a ด้วย

3. IEEE 802.11g ทำงานบนย่านความถี่ 2.4 GHz เหมือนกับ อุปกรณ์ที่รอบรับมาตรฐานIEEE 802.11b แต่ว่าสามารถให้อัตราการส่งถ่ายข้อมูลได้สูงถึง 54 Mbps เหมือนกับอุปกรณ์มาตรฐาน IEEE 802.11a เพราะใช้เทคโนโลยี OFDM

4. IEEE 802.11n ทำงานบนย่านความถี่ 2.4 และ 5 GHz โดยที่สามารถให้อัตราการส่งถ่ายข้อมูลสูงสุดถึง 300 Mbps เพราะใช้ OFDM ที่เสริมด้วยเทคโนโลยี MIMO ทำให้มีความสามารถในการส่งคลื่นสัญญาณ ได้ระยะประมาณ 70 เมตรในโครงสร้างปิดและ 250 เมตรในที่โล่งแจ้ง

2.2.3 การเชื่อมต่ออุปกรณ์

มาตรฐาน IEEE802.11 ได้กำหนดการเชื่อมต่ออุปกรณ์สำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายไว้ 2 แบบด้วยกันคือ การเชื่อมต่อแบบโครงสร้างพื้นฐาน (infrastructure) และการเชื่อมต่อแบบเฉพาะกิจ (Ad Hoc)

1. การเชื่อมต่อแบบโครงสร้างพื้นฐาน เป็นการเชื่อมต่อที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย การเชื่อมต่อทำได้โดยต้องใช้ Access Point (AP) เป็นตัวกลางในการแพร่สัญญาณให้กับผู้ใช้งานทั้งหมด ส่วนการติดต่อระหว่าง AP ไปยังเครือข่ายท้องถิ่นหลักสามารถใช้ข้อกำหนดตาม IEEE802.3 ได้ปกติ เสมือนว่า AP เป็นเครื่องผู้ใช้งานอีกเครื่องหนึ่ง

2. การเชื่อมต่อแบบเฉพาะกิจ เป็นการเชื่อมต่อระหว่างผู้ใช้งานโดยตรงไม่ผ่าน AP โดยปกติจะเหมาะสำหรับการเชื่อมต่อแบบชั่วคราว ผู้ใช้งานสามารถเชื่อมต่อหากันได้โดยตรงที่ไหนก็ได้ที่มีสัญญาณของผู้ใช้งานไปถึง จะเห็นว่าการเชื่อมต่อแบบเฉพาะกิจนั้นทำได้ง่ายโดยไม่ต้องใช้ AP แต่ถ้ายิ่งเชื่อมต่อผู้ใช้มากประสิทธิภาพของการรับส่งข้อมูลของการเชื่อมต่อแบบเฉพาะกิจ ก็จะยิ่งต่ำกว่าการเชื่อมต่อแบบโครงสร้างพื้นฐานซึ่งใช้ AP เป็นอุปกรณ์แพร่สัญญาณและเป็นตัวกลางในการสลับข้อมูลไปยังเครือข่ายภายนอกได้มากกว่า

2.2.4 การรับส่งข้อมูลของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

แตกต่างจากระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่มีการกำหนดวิธิการร่วมใช้ช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการรายบุคคลจึงไม่มีผู้ใช้งานหลายคนส่งข้อมูลซ้อนกันในช่องสัญญาณที่กำหนด สำหรับ IEEE 802.11 นั้นช่องสัญญาณความถี่เดียวกันจะถูกใช้งานได้จากผู้ใช้งานทุกคน โดยแต่ละคนมีสิทธิส่งข้อมูลออกมาเมื่อใดก็ได้เพราะอิงกับระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบเดิมทำให้ต้องมีวิธีการป้องกันการชนกันของผู้ใช้งาน ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 นั้นกำหนดให้ใช้การร่วมใช้ช่องสัญญาณเป็นแบบ CSMA/CA ซึ่งเป็นเทคนิคที่หลีกเลี่ยงการชนกันของข้อมูล

สถานีจะเลือกวิธีสุ่มการสุ่มเวลาหรือความน่าจะเป็นอย่างใดอย่างหนึ่งในการส่งเฟรมข้อมูล เมื่อสื่อว่างแล้ว สถานีที่ต้องการจำส่งเฟรมข้อมูลจะรอเวลาอยู่ช่วงเวลาหนึ่งที่เรียกว่า IFG (InterFrame Gap) จากนั้นจะทำการสุ่มเวลาที่จะต้องส่งเฟรมข้อมูล เมื่อถึงกำหนดเวลาที่สุ่มแล้วจึงทำการส่งเฟรมข้อมูลออกไป และทำการกำหนดเวลาในการรอการตอบรับกลับมา ถ้ามีการตอบรับภายในเวลาที่กำหนด แสดงว่าสามารถส่งเฟรมข้อมูลไปได้เรียบร้อย แต่ถ้าไม่มีการตอบรับภายในเวลาที่กำหนดแล้วแสดงว่าการส่งเฟรมข้อมูลครั้งนี้ล้มเหลว สถานีจะต้องทำการเพิ่มค่าแบ็กออฟ แล้วตรวจสอบว่าเกินจากที่กำหนดไว้หรือไม่ ถ้าเกินก็จะเลิกส่งเฟรมข้อมูลนั้น แต่ถ้าไม่เกินรอเวลาตามที่ได้กำหนดไว้ แล้วจึงเริ่มกระบวนการส่งใหม่อีกครั้ง เทคนิค CSMA/CA จะนิยมใช้กับระบบเครือข่ายไร้สายแบบโครงสร้างพื้นฐาน

2.2.5 ข้อกำหนดแถบความถี่ของช่องสัญญาณ

สำหรับมาตรฐาน IEEE 802.11 ได้แบ่งแถบความถี่ออกเป็นช่องสัญญาณ คล้ายกับระบบทีวีที่แบ่งแถบความถี่ออกเป็นแถบเล็กๆ ต่อกันและกำหนดตัวเลขเรียกแทนแถบความถี่เล็กๆนั้น

ว่าช่อง สำหรับความถี่ของมาตรฐาน IEEE 802.11 นั้นกำหนดไว้ที่แถบความถี่ ISM ทั้ง 2 ช่วงความถี่ที่ 2.4 GHz และ 5.8 GHz แต่ในทางพาณิชย์นั้นนิยมใช้ความถี่ 2.4 GHz มากกว่าซึ่งตรงกับมาตรฐาน IEEE 802.11 b/g/n ดังนั้นในส่วนนี้ให้ให้ความสำคัญกับย่านความถี่ 2.4 GHz ซึ่งในแต่ละช่องนั้นผู้ใช้งานทุกคนสามารถร่วมใช้ช่องร่วมกันได้ ทำให้เกิดปัญหาในการชนกันของข้อมูล

ในย่านนี้จะเริ่มต้นแถบความถี่ในช่วง 2.4000-2.4835 GHz และถูกแบ่งออกเป็น 13 ช่องสัญญาณ แต่ละช่องสัญญาณห่างกัน 5 MHz โดยช่องสัญญาณที่ 1 มีความถี่กลางที่ 2.412 GHz และช่องสัญญาณที่ 13 มีความถี่กลางที่ 2.472 GHz ซึ่งบนมาตรฐาน IEEE 802.11b ใช้เทคโนโลยี DSSS บนความกว้างแถบความถี่ 22 MHz ดังนั้นจึงมีเพียงแค่ 3 ช่องสัญญาณเท่านั้นที่จะไม่ซ้อนทับกัน โดยปกติในเชิงพาณิชย์จะนิยมใช้ช่องสัญญาณที่1 6 และ 11 และจะติดตั้งสลับกันไปมาเพื่อไม่ให้กวนกัน แต่ในปัจจุบันบนมาตรฐานของ IEEE 802.11g จะมีช่องสัญญาณที่ไม่ซ้อนทับกันมากขึ้นเป็น 4 ช่อง สัญญาณได้แก่ช่องสัญญาณที่ 1 5 9 และ 13 ทั้งนี้เป็นเพราะมาตรฐาน IEEE 802.11g ใช้เทคโนโลยี OFDM ที่ต้องการความกว้างแถบความถี่เพียง 20 MHz เท่านั้น

2.2.6 ปัญหาที่พบในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

ในปัจจุบันปริมาณการใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายเติบโตเป็นอย่างมาก ด้วยการใช้อุปกรณ์มือถือเช่นสมาร์ทโฟนและคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายเป็นหนึ่งในเครือข่ายไร้สายที่ได้รับความนิยมมากที่สุด อันเนื่องมากจากความสะดวกในการให้บริการและในการติดตั้งมีราคาที่ไม่ค่อยสูง อย่างไรก็ตามในฐานะผู้ให้บริการหรือผู้ใช้ส่วนบุคคลที่ทำการติดตั้งจุดเชื่อมต่อโดยไม่พิจารณาชุดบริการพื้นฐาน (Basic service sets, BSSs) ที่อยู่บริเวณใกล้เคียง ซึ่งในการติดตั้งชุดบริการพื้นฐานเป็นจำนวนมากจะส่งผลปัญหาตามมา โดยจะเกิดการทับซ้อนกันของช่องสัญญาณ ในสภาพแวดล้อมดังกล่าวส่งผลให้เกิดปัญหา โนดที่มองไม่เห็น (Hidden node) ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้บ่อย ถึงแม้ว่าในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายจะมีกลไกหลีกเลี่ยงการชน (CSMA/CA) ก็มีโอกาสที่จะล้มเหลวซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงอีกด้วย (Kim, M., & Choi, C. H., 2013) จากรูปที่ 2.1 แสดงเหตุการณ์การชนกันของระบบ โนดที่มองไม่เห็นจะเกิดขึ้นเมื่อ T_1 ทำให้ส่งข้อมูลมายัง R แต่ในช่วงเวลาเดียวกัน T_2 ก็ทำการส่งมายัง R ด้วย เนื่องจาก T_1 และ T_2 ไม่สามารถส่งสัญญาณ carrier sense หากันได้เนื่องจากอยู่นอกรัศมีซึ่งกันและกัน

2.3 ระบบการแบ่งเซกเตอร์

เมื่อความต้องการของผู้ใช้งานในระบบสูงขึ้นเรื่อยๆ จำนวนความถี่ที่ให้บริการมีจำนวนไม่เพียงพอที่จะรองรับผู้ใช้งานที่ต้องการ ดังนั้นจึงได้ใช้เทคนิคการแบ่งเซกเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยที่สายอากาศแบบรอบทิศทางจะถูกแทนที่ด้วยสายอากาศแบบมีทิศทาง โดยทั่วไปจะแบ่งเป็น 3

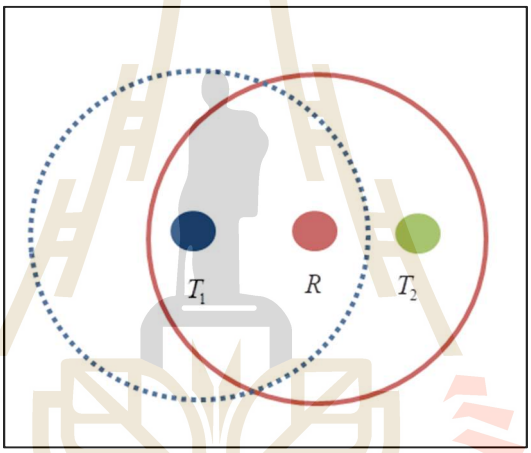
ส่วนโดยที่แต่ละส่วนจะครอบคลุม 120 องศา ในการแบ่งเซกเตอร์นั้นจะส่งผลให้สัญญาณแทรกสอดร่วมลดลงทำให้อัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดเพิ่มขึ้นอย่างมาก ซึ่งส่งผลให้มีความจุช่องสัญญาณเพิ่มขึ้นอีกด้วย โดยความจุช่องสัญญาณสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.1)

$$C = B\log_2(1 + \frac{S}{N}) \tag{2.1}$$

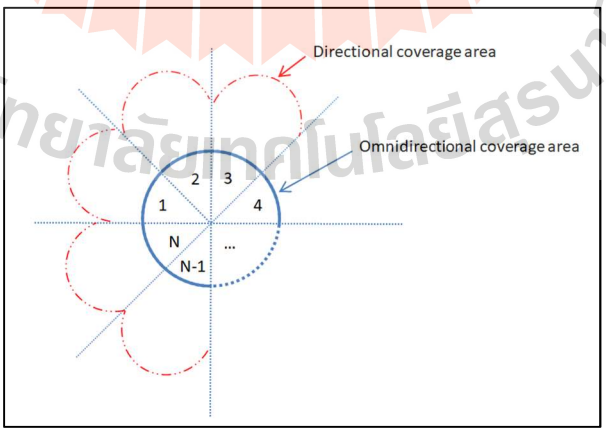
โดยที่ C คือ ความจุช่องสัญญาณ

B คือ แบนด์วิธ (Hz)

S/N คือ อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน



รูปที่ 2.1 ปัญหาโนดที่มองไม่เห็น

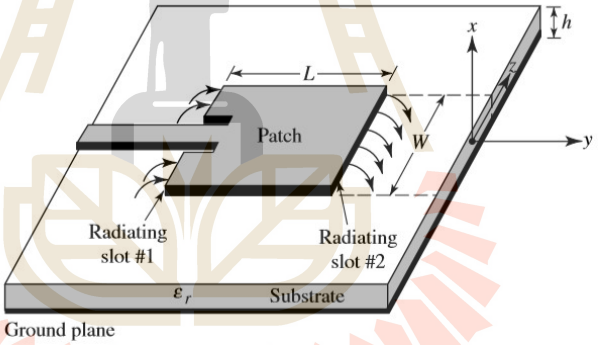


รูปที่ 2.2 การแบ่งเซกเตอร์ของโนดจำนวน N เซกเตอร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.4 สายอากาศแพทช์ไมโครสตริป

โดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปได้สามส่วน ซึ่งประกอบด้วยส่วนบนจะเป็นแผ่นตัวนำ (patch) ที่ใช้สำหรับการแพร่กระจายคลื่น ส่วนที่สองเป็นวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริก (substrate) ที่คั่นกลางระหว่างระนาบกราวด์ (ground plane) และแผ่นตัวนำ และส่วนที่สามคือระนาบกราวด์ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 สำหรับแผ่นตัวนำได้ถูกพัฒนาออกมาในลักษณะที่แตกต่างกันออกไป ตามวัตถุประสงค์ของการใช้งานเช่น แผ่นรูปสี่เหลี่ยม รูปวงกลม หรือรูปแบบเชิงเรขาคณิตอื่นๆ ซึ่งสายอากาศไมโครสตริปมีความสะดวกในการสร้างลงในแผ่นวงจรพิมพ์ โดยที่แผ่นตัวนำจะถูกวางไว้ที่ด้านหนึ่งของแผ่นวงจรพิมพ์ และอีกด้านหนึ่งจะทำหน้าที่เป็นแผ่นระนาบกราวด์โดยสัญญาณความถี่วิทยุจะถูกป้อนเข้าที่สายป้อนสัญญาณที่เป็นสตริปโลหะแคบๆ (microstrip line feed) และสำหรับสายอากาศไมโครสตริปแบบวงกลม แผ่นตัวนำรูปวงกลมที่ป้อนด้วยโพรบแกนร่วม (coaxial probe feed) โดยตัวนำด้านในของแกนร่วมถูกติดอยู่กับแพทช์ที่แผ่คลื่นออกไป ขณะที่ตัวนำด้านนอกถูกเชื่อมต่อกับกราวด์



รูปที่ 2.3 สายอากาศไมโครสตริปแบบแพทช์สี่เหลี่ยม
(ภาพจาก Balanis: Antenna Theory)

ในปัจจุบันสายอากาศแพทช์ไมโครสตริปได้ถูกประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลายได้แก่ (Kaswiati and Suryana, 2012) ได้ออกแบบสายอากาศสำหรับจุดเชื่อมต่อ Wi-Fi โดยออกแบบเป็นรูปทรงสามเหลี่ยมคล้ายๆหูกระต่าย (bow-tie) ซึ่งมีแบนด์วิธที่กว้าง อัตราขยายสูงและขนาดไม่ใหญ่มากนัก (Haraz and Sebak, 2011) และ (Yassin, et al., 2014) ได้ออกแบบสายอากาศแพทช์ไมโครสตริปเป็นรูปทรงตัวยู (U-shaped) โดยที่ออกแบบให้หนึ่งด้านของแพทช์เป็นรูปตัวยู (Chan-arpas, et al., 2014) ได้ออกแบบสายอากาศแพทช์ไมโครสตริปเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีการตัดมุมของสายอากาศทั้งสี่ด้านและป้อนด้วยโพรบแกนร่วม และ (Mahlaoui, et al., 2015)ได้ออกแบบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สายอากาศแพทช์ไมโครสตริปที่มีการเซาะร่องเป็นรูปสามเหลี่ยมหลายๆอันและทำการเปลี่ยนแปลงความกว้างของเส้นการป้อนซึ่งส่งผลถึงค่าสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ

สำหรับสายอากาศไมโครสตริปนั้น ความแม่นยำของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรองถือว่ามีความสำคัญมาก เนื่องจากเป็นพารามิเตอร์สำคัญที่มีผลต่อการเดินทางของคลื่นความถี่เรโซแนนซ์และคุณลักษณะการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ สายอากาศแพทช์ไมโครสตริปมีคุณลักษณะในเรื่องของความง่ายในการสร้าง มีน้ำหนักเบา แข็งแรงทนทาน ติดตั้งร่วมกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้สะดวกและมีราคาถูก แต่ข้อด้อยอาจจะไม่ตรงกับความต้องการของผู้ใช้งานก็อาจจะมีบ้างเช่น มีค่าของสภาพเจาะจงทิศทาง (directivity)ไม่สูงมาก ค่าของการโพลาไรซ์ไขว้ (cross polarization) และค่าประสิทธิภาพของสายอากาศ (antenna efficiency) ค่อนข้างต่ำ ซึ่งเป็นผลจากการสูญเสียของค่าตัวนำและของไดอิเล็กตริกของวัสดุที่นำมาสร้างสายอากาศมีค่าสูง ดังนั้นการนำมาใช้งานเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงขึ้นจึงมักออกแบบให้อยู่ในรูปของสายอากาศที่เป็นแถวลำดับ (array)

สำหรับการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศไมโครสตริปนั้น ตัวป้อนสัญญาณที่นำมาต่อกับสายอากาศควรจะมีค่าอิมพีแดนซ์ของสายเท่ากับค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศด้วย โดยสายนำสัญญาณที่จะต่อเข้ากับเครื่องมือวัดและทดสอบสายอากาศนั้นส่วนใหญ่มีอิมพีแดนซ์ 50โอห์ม ซึ่งในการออกแบบสายอากาศแพทช์ไมโครสตริปนั้นมีพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับในการออกแบบได้แก่ ความถี่เรโซแนนซ์ (f_r) ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรอง (dielectric constant, ε_r) และความสูงของไดอิเล็กตริกหรือวัสดุฐานรอง (h) สายอากาศไมโครสตริปสามารถทำการป้อนสัญญาณได้หลายวิธี แต่ที่นิยมใช้มากที่สุดมี 4 วิธีคือ การป้อนสัญญาณด้วยเส้นไมโครสตริป การป้อนสัญญาณด้วยโพรบแกนร่วม การป้อนสัญญาณด้วยการเชื่อมต่อโดยใช้ช่องเปิด (aperture coupling feed) และการป้อนสัญญาณด้วยการเชื่อมต่อใกล้ (proximity-coupling feed)

2.4.1 การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแบบวงกลม

การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแบบวงกลม (Constantine, A. B., 2005) เพื่อใช้งานสำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายให้ครอบคลุมความถี่ย่าน 2.4 GHz โดยการสร้างจากแผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR-4 ที่มีค่าไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์เท่ากับ 4.3 และความสูงของไดอิเล็กตริกเท่ากับ 0.08 เซนติเมตร ในการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแบบวงกลมจะเริ่มคำนวณหารัศมีของวงกลม (a) จากสมการที่ 2.2 และสมการที่ 2.3 โดยสายอากาศไมโครสตริปแบบวงกลมแสดงดังรูปที่ 2.4

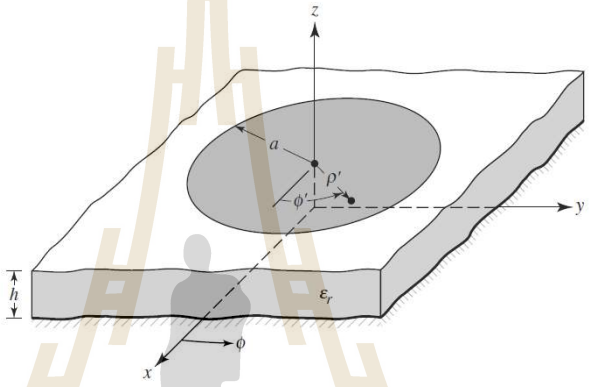
$$a = \frac{F}{\left\{1+\frac{2h}{\pi\varepsilon_r F}\left[\ln\left(\frac{\pi F}{2h}\right)+1.7726\right]\right\}^{1/2}} \qquad (2.2)$$

$$F = \frac{8.791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\varepsilon_r}} \tag{2.3}$$

โดยที่ h คือ ความสูงของไดอิเล็กตริก (เซนติเมตร)

f_r คือ ความถี่เรโซแนนซ์ที่ต้องการออกแบบ

ε_r คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรอง

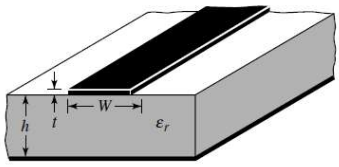


รูปที่ 2.4 โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริปแบบวงกลม

(ภาพจาก Balanis: Antenna Theory)

2.4.2 ทฤษฎีสายส่งสัญญาณไมโครสตริป

สายส่งสัญญาณไมโครสตริปประกอบด้วย ตัวนำไฟฟ้าแบบแผ่น และระนาบกราวด์ โดยมีไดอิเล็คตริกอยู่ตรงกลางดังรูปที่ 2.5 โดยค่าไดอิเล็คตริกนี้จะอยู่ตรงกลางระหว่าง ตัวนำไฟฟ้าแบบแผ่นและระนาบกราวด์ในการออกแบบสายส่งสัญญาณไมโครสตริปนี้จะมีพารามิเตอร์ที่สำคัญคือ ความกว้างของตัวนำไฟฟ้าแบบแผ่น (W) ความสูงของไดอิเล็กตริก ความหนาของตัวนำไฟฟ้าแบบแผ่น (t) และค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรอง เป็นต้น



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริป

(ภาพจาก Balanis : Antenna Theory)

การคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายส่งสัญญาณไมโครสตริปมีดังนี้

เมื่อ $\frac{W_0}{h} \leq 1$

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\varepsilon_{reff}}} In\left[\frac{8h}{W_0} + \frac{W_0}{4h}\right] \quad (2.4)$$

และที่ $$\varepsilon_{reff} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2}\left[\left(1 + 12\frac{h}{W}\right)^{-1/2} + 0.04\left(1 - \frac{W}{h}\right)^2\right] \quad (2.5)$$

และเมื่อ $\frac{W_0}{h} \geq 1$

$$Z_0 = \frac{120\pi}{\sqrt{\varepsilon_{reff}}\left[\frac{W_0}{h} + 1.393 + 0.667In\left(\frac{W_0}{h} + 1.444\right)\right]} \quad (2.6)$$

และที่ $$\varepsilon_{reff} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2}\left[1 + 12\frac{h}{W}\right]^{-1/2} \quad (2.7)$$

2.5 ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศ

2.5.1 สัมประสิทธิ์การสะท้อน (Return loss)

การสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ (return loss) เป็นการแสดงถึงค่า การสูญเสียเมื่อป้อนพลังงานให้กับสายอากาศและยังสามารถแสดงถึงช่วงแบนด์วิดท์ของสายอากาศที่สามารถทำงานได้ โดยมีค่าเท่ากับหรือต่ำกว่า -10 dB รวมทั้งแสดงถึงคุณลักษณะของอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (standing wave ratio, SWR) โดยค่า SWR และค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (voltage reflection coefficient)

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_i} \quad (2.8)$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เมื่อ Γ คือ สัมประสิทธิ์แรงดันสะท้อนกลับ

V_r คือ แรงดันสะท้อนกลับ

V_i คือ แรงดันตกกระทบ

จากสมการที่ (2.8) ถ้าสัมประสิทธิ์แรงดันสะท้อนกลับมีค่าเป็นบวกแสดงว่าแรงดันสะท้อนกลับมีเฟสตรงกัน (in phase) แต่ถ้าเครื่องหมายเป็นลบแสดงว่าแรงดันสะท้อนกลับมีเฟสตรงกันข้าม (out of phase) การหาค่าเปอร์เซ็นต์ของคลื่นแรงดันสะท้อนกลับหาได้ดังนี้

$$\textit{ค่าเปอร์เซ็นต์ของแรงดันสะท้อนกลับ} = \Gamma \times 100 \tag{2.9}$$

กำลังงานหาได้จากแรงดันยกกำลังสองหารด้วยอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ Z_c

$$P = \frac{V^2}{Z_c} \tag{2.10}$$

ฉะนั้นสัมประสิทธิ์กำลังงานสะท้อนกลับ (Power reflection coefficient) มีค่าเท่ากับกำลังสองของค่าสัมประสิทธิ์แรงดันสะท้อนกลับ

$$\Gamma^2 = \frac{P_r}{P_i} \tag{2.11}$$

เมื่อ Γ คือ สัมประสิทธิ์แรงดันสะท้อนกลับ

P_r คือ กำลังงานสะท้อนกลับ

P_i คือ กำลังงานตกกระทบ

นอกจากนี้สัมประสิทธิ์แรงดันสะท้อนกลับยังสามารถหาได้จากอัตราส่วนของผลต่างและผลรวมระหว่างโหลดกับอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายนำสัญญาณ

$$\Gamma = \frac{Z_l - Z_c}{Z_l - Z_c} \tag{2.12}$$

โดยที่ Z_c และ Z_l เป็นอิมพีแดนซ์ของสายส่งและอิมพีแดนซ์ของโหลด เนื่องจากอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายส่งเท่ากับ 50 โอห์ม อิมพีแดนซ์โหลด ก็คือสายอากาศที่ทำการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ออกแบบ ถ้าสามารถออกแบบให้เท่ากับ 50 โอห์มก็จะไม่เกิดการสะท้อนกลับ แต่ถ้าไม่เท่ากับ 50 โอห์ม ก็จะเกิดการสะท้อนกลับจากโหลดไปยังแหล่งกำเนิด ทำให้เกิดคลื่นนิ่ง (SWR) ในสายส่ง โดยการวัดค่า SWR เป็นอัตราส่วนระหว่างของแอมพลิจูดสูงสุดของคลื่นนิ่งกับแอมพลิจูดต่ำสุดของคลื่นนิ่ง โดยค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ของอัตราส่วนคลื่นนิ่ง คือ มีค่าน้อยกว่าหรือ เท่ากับ 2.0 สามารถคำนวณได้จากสมการ (2.13)

$$SWR = \frac{V_{max}}{V_{min}=\frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|}} \tag{2.13}$$

ถัดไปเป็นการแสดงสมการสูญเสียย้อนเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศโดยมีความสัมพันธ์เหมือนกับค่าของอัตราส่วนคลื่นนิ่งโดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.14)

$$Return\ loss = 10\,log|S_{11}|^2 = -20\,log(|\Gamma|) \tag{2.14}$$

เนื่องจากการแมตช์อิมพีแดนซ์ของสาย อากาศที่ดี ค่าของการสูญเสียย้อนกลับต้องน้อยกว่า 10 dB เมื่อคำนวณย้อนกลับแล้วค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนต้องน้อยกว่า 0.3162 ส่งผลให้ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง น้อยกว่า 2 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ตั้งแต่แรก

2.5.2 พารามิเตอร์เอส

เนื่องจากการกำหนดแรงดันและกระแสที่เกิดขึ้นในสาย (line) ย่านความถี่ไมโครเวฟที่ไม่ใช่โหมด TEM เพื่อนำมาคำนวณหาคุณสมบัติต่างๆ ของอุปกรณ์ในทางปฏิบัตินั้นจะกระทำได้ยาก จึงจำเป็นต้องทำการวัดขนาด (magnitude) และเฟสของคลื่นที่เดินทางไปในทิศทางที่กำหนดให้โดยตรง (หรือขนาดและเฟสของคลื่นนิ่ง (standing wave)ก็ได้) จึงมีการกำหนดให้พิจารณาช่วงความถี่ไมโครเวฟในรูปของคลื่นพุ่งกระทบ (incident wave) คลื่นสะท้อนกลับ (reflected wave) และคลื่นส่งผ่าน (transmitted wave) ที่เดินทางในรูปเมตริกซ์การกระจัดกระจาย (scattering matrix) ผ่านเข้าออกอุปกรณ์หรือโครงข่ายที่มีจำนวน N ซึ่งมีจำนวนของพารามิเตอร์เอสตั้งแต่ S_{11} จนถึง S_{NN} เช่น ถ้าเป็นอุปกรณ์ที่มี 2 พอร์ตก็จะมีพารามิเตอร์เอสจำนวน 4 ตัวได้แก่ S_{11}, S_{12}, S_{21} และ S_{22} ซึ่งพารามิเตอร์เอสของเครื่องมือวิเคราะห์โครงข่าย (network analyzer) ที่มีลักษณะช่องสัญญาณ 2 พอร์ต โดยปกติสามารถใช้วัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนและสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน การลดทอนของสัญญาณที่ผ่านจุดต่อ (insertion loss) การสูญเสียย้อนกลับและมุม (phase) เป็นต้น

ในการสร้างสายอากาศโนดแบบเซกเตอร์จำเป็นต้องจัดวางสายอากาศหลายๆต้นไว้ใกล้กัน ดังนั้นจะเกิดการรบกวนกันของสัญญาณซึ่งกันและกันระหว่างสายอากาศแต่ละต้น ในการพิจารณาพารามิเตอร์เอส หมายถึงการวัดค่าสัญญาณที่ส่งจากพอร์ตหนึ่งและทำการรับสัญญาณอีกพอร์ตหนึ่ง เช่น S_{21} หมายถึงการรับสัญญาณที่พอร์ต 2 โดยที่พอร์ต 1 เป็นตัวส่งสัญญาณ ซึ่งค่าพารามิเตอร์เอสควรจะมีค่าน้อยๆเพื่อที่ไม่เกิดการรบกวนกันของสายอากาศข้างเคียง จนทำให้ประสิทธิภาพของสายอากาศและประสิทธิภาพของระบบต่ำลง

2.5.3 แบนด์วิดท์

แบนด์วิดท์ความถี่ของสายอากาศ (bandwidth) หมายถึง ความสามารถของสายอากาศที่ทำงานได้ตลอดย่านความถี่ โดยจากคุณสมบัติบางตัวของสายอากาศและให้เป็นไปตามมาตรฐานกำหนดแบนด์วิดท์ซึ่งจะพิจารณาจากช่วงของความถี่ที่ต่ำกว่าและสูงกว่าความถี่กลาง (center frequency) ซึ่งสายอากาศที่สามารถทำงานได้ตลอดย่านนี้ แบ่งเป็น สายอากาศแถบกว้าง และ สายอากาศแถบแคบดังนี้

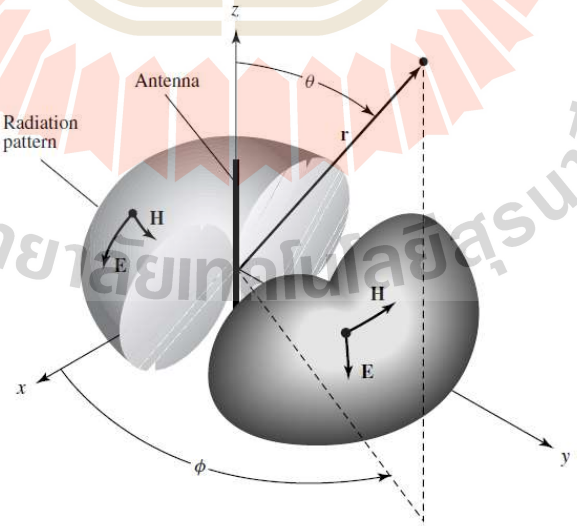
กรณีที่เป็นสายอากาศแถบกว้าง (broadband antennas) แบนด์วิดท์มักจะแสดงในรูปของอัตราส่วนระหว่างความถี่สูงสุดกับความถี่ต่ำสุดที่สายอากาศสามารถทำงานได้ เช่น ถ้าสายอากาศชนิดนี้มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 10:1 แสดงว่าความถี่สูงสุดมีค่ามากกว่าความถี่ต่ำสุดอยู่ 10 เท่า

กรณีของสายอากาศแถบแคบ (narrowband antennas) แบนด์วิดท์มักจะแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์ของผลต่างความถี่ (ความถี่สูงสุด-ลบความถี่ต่ำสุด) โดยเมื่อเทียบกับความถี่กลางของแบนด์วิดท์ เช่น ถ้าสายอากาศชนิดนี้มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าผลต่างของความถี่ที่สายอากาศสามารถทำงานได้มีค่าเป็น 5 เปอร์เซ็นต์ของความถี่กลางของแบนด์วิดท์ โดยคุณสมบัติของสายอากาศแต่ละตัวที่ไม่เหมือนกัน จึงเป็นการยากที่จะพิจารณาค่าของแบนด์วิดท์สองวิธีที่นิยมที่สุดในการพิจารณาค่าของแบนด์วิดท์คือ pattern bandwidth และ impedance bandwidth

ค่าสูญเสียย้อนกลับ ยิ่งติดลบมากยิ่งดี ซึ่งแสดงว่ามีการสะท้อนกลับ (reflection) ที่น้อยค่าประมาณ -10 dB เป็นค่าที่บ่งบอกช่วงความถี่ที่สายอากาศสามารถทำงานได้ โดยสายอากาศไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก พิจารณาจาก (ความถี่สูงสุด-ลบความถี่ต่ำสุด) ที่ค่า SWR ค่าที่ยอมรับได้ค่ามาตรฐาน ในการทดลอง SWR < 2 ส่วน ทางปฏิบัติที่ยอมรับได้ SWR < 1.5 ค่า SWR = 1.5 อาจมีแบนด์วิดท์น้อยกว่า SWR = 2 แต่และเป็นเหตุผลที่ว่าเครื่องส่งและเครื่องมืออื่นจะปลอดภัยต่อการเสียหายมากกว่า

2.5.4 แบบรูปการแผ่พลังงาน

แบบรูปการแผ่พลังงาน (radiation pattern) หรือแบบรูปของสายอากาศ (antenna pattern) คือการบอกคุณสมบัติในการแผ่พลังงานของสายอากาศในรูปของกราฟิกหรือในรูปของฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของพิกัดตำแหน่ง (space coordinates) ในการพิจารณาแบบรูปการแผ่พลังงานจะต้องกระทำในบริเวณสนามไกลและแสดงในรูปฟังก์ชันของพิกัดทิศทาง (directional coordinates) แบบรูปการแผ่พลังงานนี้สามารถวัดและพล็อตได้จากความเข้มสนาม (field intensity) ในรูปของ $\left|\vec{E}(\theta,\phi)\right|$ หรือ $\left|\vec{H}(\theta,\phi)\right|$ โดยกำหนดให้รัศมีของพื้นที่วงกลมในการวัดมีขนาดคงที่ เรียกแบบรูปในลักษณะนี้ว่า แบบรูปสนามเชิงแอมพลิจูด (amplitude field pattern) หรือถ้าทำการวัดและพล็อตจากกำลังในรูปของ $\left|\vec{E}(\theta,\phi)\right|^2$ หรือ $\eta\left|\vec{H}(\theta,\phi)\right|^2$ ที่รับเข้ามาหรือส่งออกไปโดยสายอากาศ จะเรียกแบบรูปในลักษณะนี้ว่า แบบรูปกำลัง (power pattern) อย่างไรก็ตามไม่ว่าจะเป็นการแสดงแบบรูปการแผ่พลังงานในลักษณะใดมักจะทำการนอร์แมลไลซ์ค่าที่วัดได้ทั้งหมดในทุกทิศทางด้วยค่าสูงสุดที่วัดได้เสมอและหากคำนวณและพล็อตแบบรูปทั้งสองลักษณะในหน่วย dB ก็จะได้ผลลัพธ์ของแบบรูปการแผ่พลังงานออกมาเหมือนกันไม่ว่าจะเป็นแบบรูปที่อยู่ในลักษณะสองมิติหรือสามมิติก็ตาม จากรูปที่ 2.6 จะเป็นรูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศแบบรอบทิศทางในระนาบเดี่ยว โดยแบบรูปของการแผ่พลังงานจะมีสองระนาบคือ ระนาบมุมทิศ (Azimuth Plane) ที่กำหนดให้คงที่มุม ϕ ไว้ที่ 90 องศา แล้วเปลี่ยนค่ามุม θ ตั้งแต่ 0-180 องศา อีกระนาบหนึ่งคือ ระนาบมุมยก (Elevation Plane) ซึ่งกำหนดให้คงที่มุม θ ไว้ที่ 90 องศา แล้วเปลี่ยนค่ามุม ϕ ตั้งแต่ 0-360 องศา



รูปที่ 2.6 แบบรูปการแผ่พลังงานแบบรอบทิศทางในระนาบเดี่ยว

(ภาพจาก Balanis: Antenna Theory)

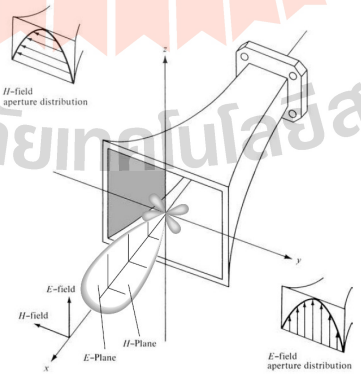
แบบรูปการณ์แผ่พลังงานของสายอากาศสามารถแบ่งออกเป็นดังนี้

1. แบบรูปไอโซโทรปิก (isotropic pattern) จะเป็นแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่มีการแผ่พลังงานออกไปในทุกทิศทางเท่ากันทั้งหมดเสมือนมีลักษณะเป็นรูปทรงกลม ซึ่งในความเป็นจริงนั้นไม่มีสายอากาศใดเลยที่มีแบบรูปในลักษณะเช่นนี้ทั้งในทฤษฎีและปฏิบัติ จึงถือว่าเป็นแบบรูปที่มีลักษณะที่เป็นอุดมคติมากกว่า บางครั้งเรียกว่า ตัวแผ่พลังงานแบบไอโซโทรปิก (isotropic radiator) อย่างไรก็ตามมักจะถูกนำมาใช้ในการกำหนดพารามิเตอร์ตัวอื่นๆของสายอากาศ

2. แบบรูปการแผ่พลังงานหลัก (principal pattern) คือแบบรูปการแผ่พลังงานแบบสองมิติของสายอากาศที่มีการโพลาไรซ์แบบเส้นตรง (linear polarization) โดยวัดกำลังของคลื่นจากระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane: เป็นระนาบที่ขนานกับเวกเตอร์สนามไฟฟ้า) และระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane: เป็นระนาบที่ขนานกับเวกเตอร์สนามแม่เหล็ก) ในทิศทางที่มีการแผ่พลังงานสูงสุดดังแสดงในรูป 2.6 ซึ่งเป็นตัวอย่างของสายอากาศแบบมีทิศทางชนิดปากแตรทรงพีระมิด (Pyramidal horn antenna)

3. แบบรูปการแผ่พลังงานแบบมีทิศทาง (directional pattern) คือแบบรูปการแผ่พลังงานหรือรับกำลังเข้ามาในทิศทางใดทิศทางหนึ่งอย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าทิศทางอื่น โดยคำศัพท์นี้มักจะใช้กับสายอากาศที่มีสภาพเจาะจงทิศทาง (directivity) มากกว่าของสายอากาศไดโพลครึ่งคลื่น (half-wavelength dipole)

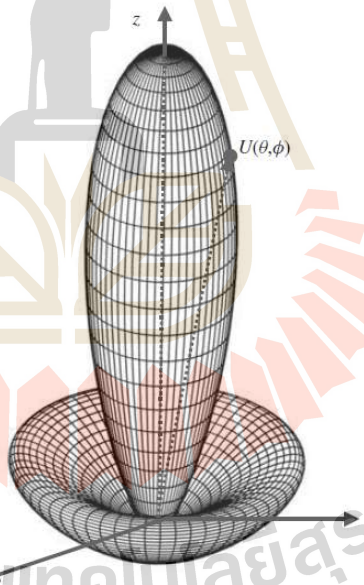
4. แบบรูปการแผ่พลังงานรอบทิศทางในระนาบเดี่ยว (omnidirectional pattern) คือแบบรูปการแผ่พลังงานที่แผ่พลังงานออกไปรอบตัวในระนาบใดระนาบหนึ่ง ส่วนระนาบอื่นที่ตั้งฉากกันจะมีการแผ่พลังงานแบบมีทิศทาง ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็นคุณสมบัติของสายอากาศชนิดที่ทำจากเส้นลวดเดี่ยว



รูปที่ 2.7 แบบรูปการแผ่พลังงานหลักในระนาบสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่เกิดจากสายอากาศปากแตรทรงพีระมิด (ภาพจาก Balanis: Antenna Theory)

2.5.5 พูคลื่นของแบบรูปการแผ่พลังงาน

พูคลื่นของแบบรูปการแผ่พลังงาน (radiation pattern lobe) คือส่วนต่างของของแบบรูปการแผ่พลังงานที่บ่งบอกถึงบริเวณที่มีความเข้มการแผ่พลังงานแตกต่างกันอย่างไร พูของแบบรูปนี้จะแบ่งย่อยออกเป็นพูคลื่นใหญ่ (major/main lobe) พูคลื่นเล็ก (minor lobe) พูข้าง (side lobe) และพูหลัง (back lobe) ในรูปที่ 2.7 เป็นแบบรูปเชิงขั้ว (polar pattern) สามมิติที่สมมาตรและประกอบด้วยพูคลื่นใหญ่ ซึ่งเป็นพูของแบบรูปการแผ่พลังงานสุดสุด (อยู่ที่มุม $\theta = 0$) สายอากาศบางชนิดอาจจะมีพูใหญ่มากกว่าหนึ่งพูก็ได้ ส่วนพูคลื่นเล็กนั้นเป็นพูคลื่นของแบบรูปในทิศทางใดๆ ที่นอกเหนือจากทิศทางหลักโดยอยู่ข้างของพูคลื่นใหญ่และอยู่บนครึ่งวงกลมเดียวกัน สำหรับพูหลังนั้นจะเป็นพูคลื่นเล็กของแบบรูปที่มีทิศทางการแผ่พลังงานตรงข้ามกับพูใหญ่หรืออยู่ที่ประมาณ 180 องศา เมื่อเทียบกับพูคลื่นใหญ่ บ่อยครั้งที่พูคลื่นเล็กจะใช้แสดงถึงการแผ่พลังงานของคลื่นในทิศทางที่เราไม่ต้องการและต้องลดระดับลงให้ได้ สำหรับพูข้างนั้นจะมีระดับสูงกว่าพูคลื่นเล็กพูอื่นๆและมักจะแสดงค่าเป็นอัตราส่วนของความหนาแน่นกำลังเทียบกับความหนาแน่นกำลังของพูใหญ่ที่เรียกว่าอัตราส่วนพูข้าง (side lobe ratio) หรือระดับพูข้าง (side lobe level)



รูปที่ 2.8 แบบรูปการแผ่พลังงานสามมิติแบบเชิงขั้ว

(ภาพจาก Balanis : Antenna Theory)

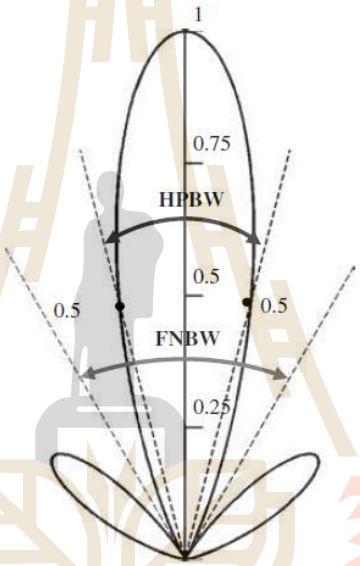
2.5.6 ความกว้างลำคลื่นของแบบรูป

ความกว้างลำครึ่งกำลัง (half-power beamwidth) คือ ในระนาบหนึ่งๆ ของแบบรูปที่ประกอบด้วยทิศทางที่มีลำคลื่นสูงสุดและมีมุมที่อยู่ระหว่างสองทิศทางซึ่งความเข้มการแผ่

พลังงานมีค่ากำลังลดลงครึ่งหนึ่งเมื่อเทียบกับค่าสูงสุด ซึ่งค่านี้มักใช้อธิบายถึงความกว้างของลำคลื่นที่มีค่าความเข้มพลังงานลดลง 3 dB (3-dB beamwidth)

ความกว้างลำแรกกำลังเป็นศูนย์ (first-null beamwidth) คือในระนาบหนึ่งๆ ของแบบรูปที่ประกอบด้วยทิศทางที่มีลำคลื่นสูงสุดและมีมุมที่อยู่ระหว่างสองทิศทางซึ่งความเข้มการแผ่พลังงานมีค่ากำลังเท่ากับศูนย์ตำแหน่งแรกเมื่อเทียบกับค่าสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 2.7

สำหรับค่า HPBW นั้นถือว่าเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญมากอีกตัวหนึ่ง เนื่องจากใช้อธิบายความสามารถในการแยกแยะเป้าหมายได้ เช่น หากค่า HPBW นี้มีค่ายิ่งต่ำมากเท่าใดแสดงว่าลำคลื่นจะมีความกว้างลำคลื่นแคบลงมากไปด้วย



รูปที่ 2.9 แบบรูปการแผ่พลังงานสองมิติ
(ภาพจาก Balanis : Antenna Theory)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.5.7 อัตราขยายของสายอากาศ

อัตราขยายของสายอากาศ (antenna gain) คืออัตราส่วนของค่าความเข้มการแผ่พลังงาน U ในทิศทางที่กำหนดให้กับค่าความเข้มการแผ่พลังงานที่สายอากาศได้รับ ถ้ากำลังที่ป้อนให้กับสายอากาศถูกแผ่ออกไปในลักษณะของไอโซโทรปิก จะสามารถนำมาเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$G(\theta,\phi) = 4\pi \frac{U(\theta,\phi)}{P_{in}} \tag{2.15}$$

โดยอัตราขยายที่ได้นี้จะไม่มีหน่วยและจะมีค่าเดียวกันกับสภาพเจาะจงทิศทางหากไม่คิดค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นภายในตัวของสายอากาศ ถ้ากำหนดให้ $P_{in}=\Pi$ ก็จะแสดงว่า $G(\theta,\phi)=D(\theta,\phi)$ ดังนั้นการคำนวณอัตราขยายของสายอากาศจึงต้องคิดรวมค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบสายอากาศด้วยโดยจะคำนวณจากกำลังที่ป้อนให้แก่ขั้วด้านเข้า (P_{in}) ซึ่งเป็นปริมาณที่สามารถวัดได้ แตกต่างจากการคำนวณสภาพเจาะจงทิศทางที่คำนวณจากกำลังคลื่นที่แผ่ (radiation power : Π) ออกไป ในทางปฏิบัตินั้น การที่สายอากาศจะมีอัตราขยายมากเพียงพอตามที่ต้องการหรือไม่ จะมีปัจจัยหลายประการเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งเป็นผลให้การส่งผ่านพลังงานจากเครื่องส่งไปยังสายอากาศหรือจากสายอากาศมายังเครื่องรับลดต่ำลงได้ เช่น การสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการไม่แมตช์กันระหว่างสายส่งและสายอากาศ การสูญเสียที่เกิดขึ้นในสายส่ง และการสูญเสียภายในตัวสายอากาศซึ่งเกิดจากส่วนประกอบของสายอากาศเอง เช่น การสูญเสียจากไดอิเล็กตริกและตัวนำที่ประกอบเป็นโครงสร้างสายอากาศ ซึ่งโดยปกติแล้วกำลังที่ถูกแผ่ออกมาจากสายอากาศมักจะมีค่าน้อยกว่ากำลังที่ป้อนให้กับระบบสายอากาศเสมอ ยกเว้นในสายอากาศนั้นมีวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับเพิ่มการขยายสัญญาณติดตั้งเพิ่มเติมเข้าไปด้วย

อัตราขยายเป็นตัวบ่งบอกประสิทธิภาพของสายอากาศนั้นๆ การวัดอัตราขยายของสายอากาศเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นกับการวัดสภาพเจาะจงทิศทางตลอดจนประสิทธิภาพการแผ่พลังงานของสายอากาศ โดยวิธีการวัดอัตราขยายจริงของสายอากาศส่วนใหญ่จะใช้หลักการของฟริส (Friis formula) ซึ่งเป็นการคำนวณหาอัตราขยายจากการส่งกำลังงานของสายอากาศสองต้นผ่านตัวกลางที่เป็นอากาศ โดยสมการส่งผ่านของฟริสที่นำมาใช้แสดงดังสมการที่ 2.16

$$\frac{P_r}{P_t}=G_tG_rL_{fs} \tag{2.16}$$

โดยทั่วไปแล้วสายอากาศที่ใช้งานความถี่เดียวกันสองต้น ต้องรู้อัตราขยายของสายอากาศต้นหนึ่งก่อนและทำการส่งกำลังผ่านอากาศ หรืออาจใช้สายอากาศชนิดเดียวกันเพื่อได้มีอัตราขยายขนาดเท่ากัน โดยในการส่งกำลังงานผ่านในอากาศจะเกิดการลดทอนในอากาศที่เรียกว่า free space loss (L_{fs}) โดยที่ $L_{fs}=\left(\frac{\lambda}{4\pi D}\right)^2$ ดังนั้นจะได้สมการที่ 2.17

$$\frac{P_r}{P_t}=G_tG_r\left(\frac{\lambda}{4\pi D}\right)^2 \tag{2.17}$$

กรณีที่สายอากาศทั้งสองต้นมีลักษณะเหมือนกันจะได้ดังสมการที่ 2.18

$$G_{dB} = \frac{1}{2}\left[20\log_{10}\left(\frac{4\pi D}{\lambda}\right) + 10\log_{10}\left(\frac{P_r}{P_t}\right)\right] \quad (2.18)$$

กรณีที่รู้อัตราขยายของสายอากาศหนึ่งต้นจะได้ดังสมการที่ 2.19

$$G_r = P_r - P_t - G_t + 20\,log\left(\frac{4\pi D}{\lambda}\right) \quad (2.19)$$

โดยที่ P_t คือ กำลังที่ป้อนให้กับสายอากาศภาคส่ง (วัตต์)

P_r คือ กำลังที่รับได้ของสายอากาศภาครับ (วัตต์)

G_{dB} คือ อัตราขยายรวมของสายอากาศภาคส่งและสายอากาศภาครับ (กรณีที่สายอากาศทั้งสองต้นมีลักษณะเหมือนกัน)

G_t คือ อัตราขยายของสายอากาศภาคส่ง

G_r คือ อัตราขยายของสายอากาศภาครับ

D คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศภาคส่งและสายอากาศภาครับ

2.6 สรุป

การออกแบบสายอากาศสำหรับโนดแบบ 4 เซกเตอร์เพื่อการประยุกต์ใช้สำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายจึงต้องทำการศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายโดยจะกล่าวถึงประวัติและความเป็นมา ข้อกำหนดมาตรฐานที่ใช้ในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ความถี่ที่ใช้งานในระบบและได้อธิบายปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายโดยปัญหาที่สำคัญก็คือ โนดที่มองไม่เห็น ซึ่งนำไปสู่การชนกันของข้อมูลจนทำให้ข้อมูลที่ได้รับเกิดความผิดพลาดหรือได้ไม่ครบถ้วน และยังได้อธิบายระบบสายอากาศแบบเซกเตอร์โดยใช้สายอากาศแบบเจาะจงทิศทางในการทำงาน ในส่วนสุดท้ายได้ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานของสายอากาศที่สำคัญที่จะนำมาใช้ในงานโดยพารามิเตอร์ที่สำคัญคือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน พารามิเตอร์เอส แบนด์วิดท์ แบบรูปการแผ่พลังงาน และอัตราขยาย

บทที่ 3
การออกแบบสายอากาศ

3.1 กล่าวนำ

บทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์และออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแพทช์ โดยออกแบบที่ความถี่ปฏิบัติการ 2.4-2.484 GHz สำหรับการประยุกต์ใช้งานกับระบบเครือข่ายไร้สายซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการออกแบบเพื่อให้ได้สายอากาศที่มีค่าความกว้างลำครึ่งกำลังเท่ากับ 90 องศาและมีอัตราส่วนหน้าต่อหลังที่สูงโดยได้ทำการจำลองระบบสายอากาศด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ HFSS เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของระบบสายอากาศ ซึ่งงานวิจัยนี้มุ่งหวังว่าจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบเครือข่ายไร้สาย

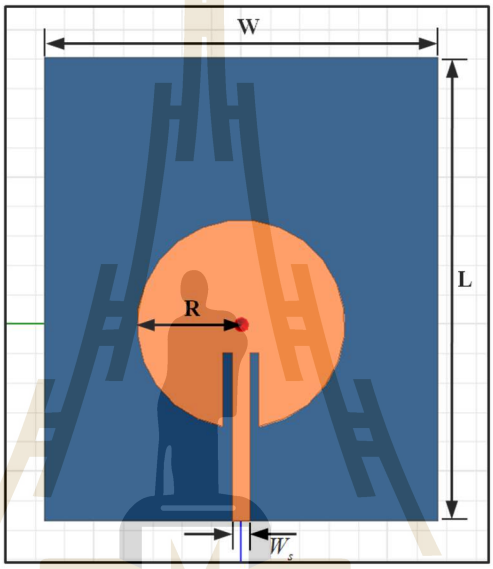
3.2 ศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบและจำลองสายอากาศไมโครสตริปแพทช์วงกลมโดยการปรับรูปของสายอากาศโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป HFSS

งานวิจัยนี้ทำการจำลองผลของสายอากาศไมโครสตริปแพทช์ได้ทำการออกแบบโดยกำหนดให้ความกว้างแถบครอบคลุมความถี่ปฏิบัติการที่ 2.4-2.484 GHz และเลือกใช้วัสดุแผ่นวงจรพิมพ์แบบ FR-4 ซึ่งมีค่าคงตัวไดอิเล็กตริก ε_r = 4.4 ความหนาวัสดุฐานรองเท่ากับ 1.6 มิลลิเมตร จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศโดยใช้สมการ (2-1) และ (2-2) ต่อไปทำการคำนวณค่าความกว้างของสายนำสัญญาณโดยใช้สมการ (2-3), (2-4), (2-5) และ (2-6) จากการคำนวณจะได้สายอากาศไมโครสตริปแพทช์วงกลมดังแสดงในตารางที่ 3.1 และหลังจากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป HFSS ดังแสดงในรูปที่ 3.1

จากการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป HFSS พบว่าสายอากาศไมโครสตริปแพทช์วงกลมมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเท่ากับ -42.26 เดซิเบล ที่ความถี่ 2.44 GHz และมีความกว้างแถบความถี่ครอบคลุมตั้งแต่ 2.42 GHz – 2.477 GHz ดังแสดงในรูปที่ 3.2 และแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศดังแสดงในรูปที่ 3.3

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศไมโครสตริปแพทช์วงกลม

พารามิเตอร์	ขนาด (ซม.)	พารามิเตอร์	ขนาด (ซม.)
W	6.7	R	0.16
L	7.8	W_s	0.30



รูปที่ 3.1 แบบจำลองสายอากาศไมโครสตริปแพทช์วงกลม

ซึ่งพารามิเตอร์ของสายอากาศดังกล่าวมีความหมายดังต่อไปนี้

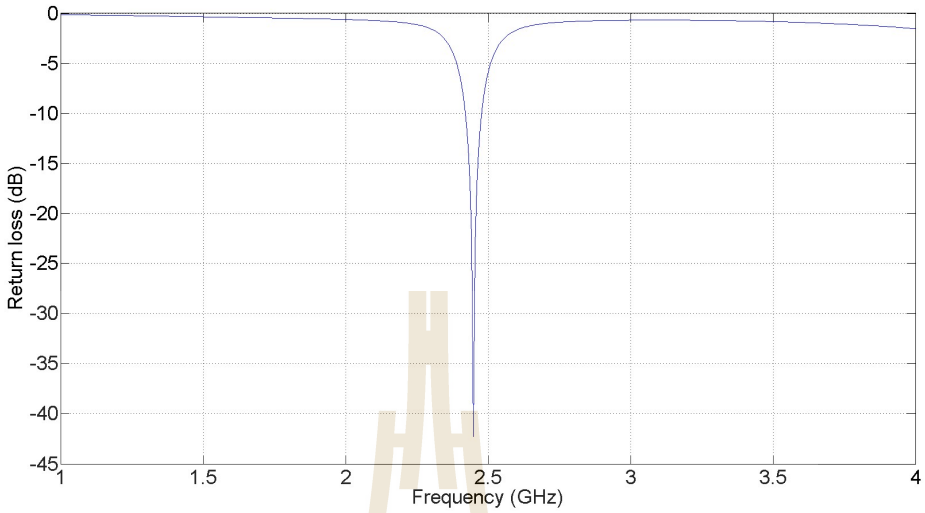
W คือ ความกว้างของสายอากาศ

L คือ ความยาวของสายอากาศ

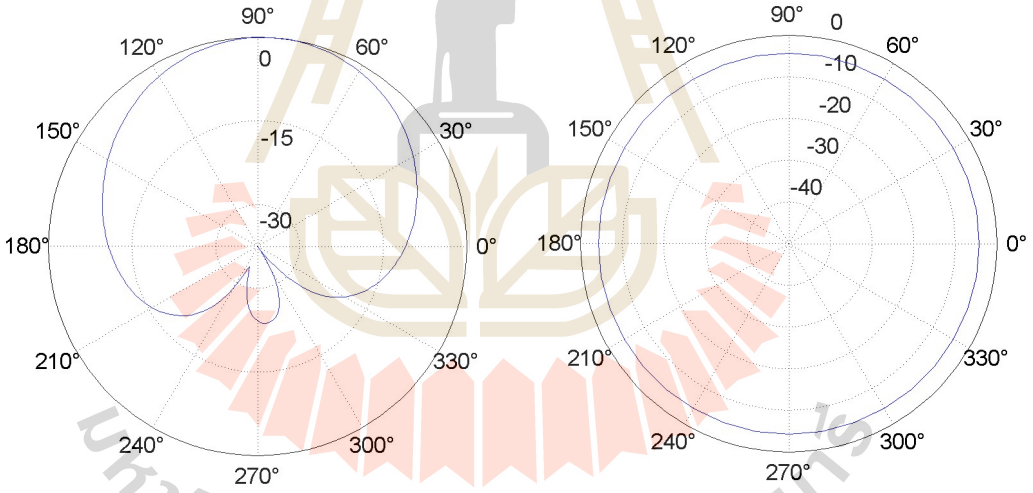
R คือ รัศมีของสายอากาศไมโครสตริปแพทช์วงกลม

W_s คือ ความกว้างของสายนำสัญญาณ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.2 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศไมโครสตริปแพทช์วงกลม



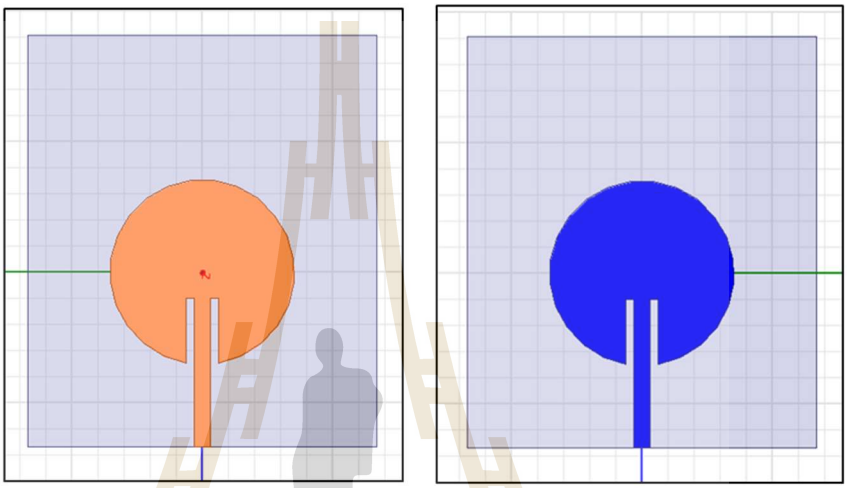
(ก) ระนาบมุมเงย (ข) ระนาบมุมกวาด

รูปที่ 3.3 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปแพทช์วงกลม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.2.1 การจำลองสายอากาศต้นแบบโดยการปรับรูปของระนาบกราวด์

จากสายอากาศไมโครสตริปแพทช์วงกลมข้างต้นมีแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไม่แผ่ไปยังทิศทางตามที่ต้องการ จึงได้ทำการปรับรูปสายอากาศซึ่งจากเดิมสายอากาศที่มีระนาบกราวด์เต็มแผ่นวัสดุ FR4 ถูกปรับรูปให้มีลักษณะด้านบนและด้านล่างมีรูปร่างเหมือนกันโดยกำหนดให้พารามิเตอร์อื่นๆคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 3.4

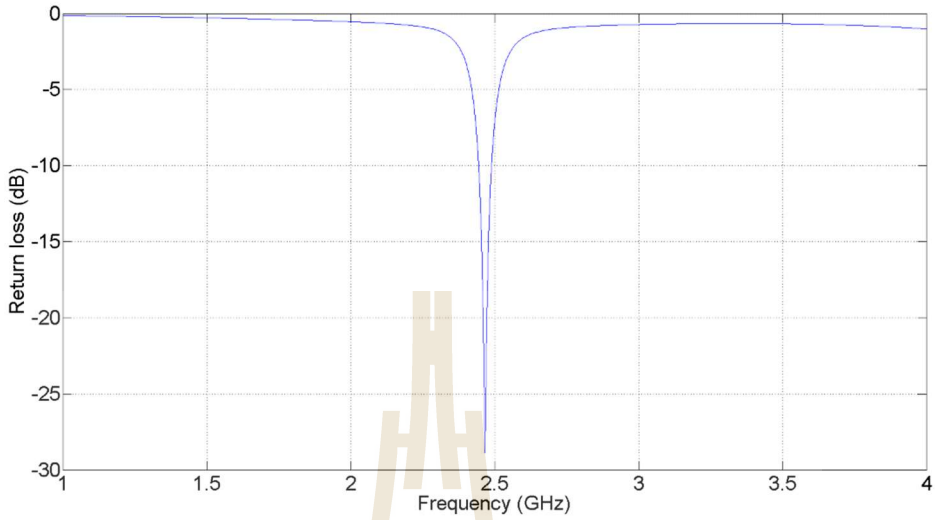


(ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง

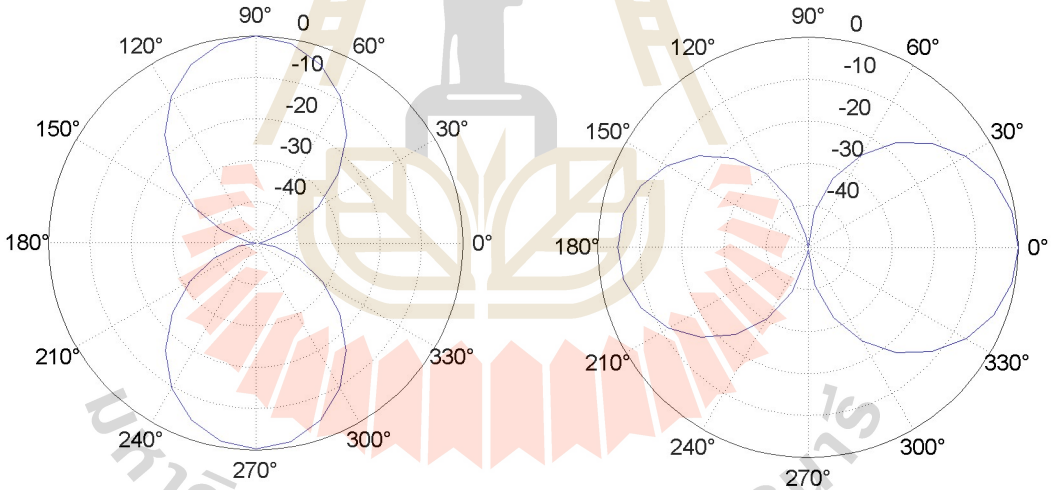
รูปที่ 3.4 แบบจำลองสายอากาศโดยการปรับรูปของระนาบกราวด์

ในการปรับรูปของสายอากาศไมโครสตริปโดยการปรับรูปของระนาบกราวด์ จากผลการจำลองผล พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเท่ากับ -28.87 เดซิเบล ที่ความถี่ 2.46 GHz และค่าความกว้างแถบความถี่ครอบคลุมตั้งแต่ 2.44 GHz – 2.48 GHz ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ซึ่งไม่ครอบคลุมย่านความถี่และมีแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปทั้งในระนาบมุมเงยและระนาบมุมกวาดดังแสดงในรูปที่ 3.6

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.5 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศไมโครสตริปโดยการปรับรูปของระนาบกราวด์



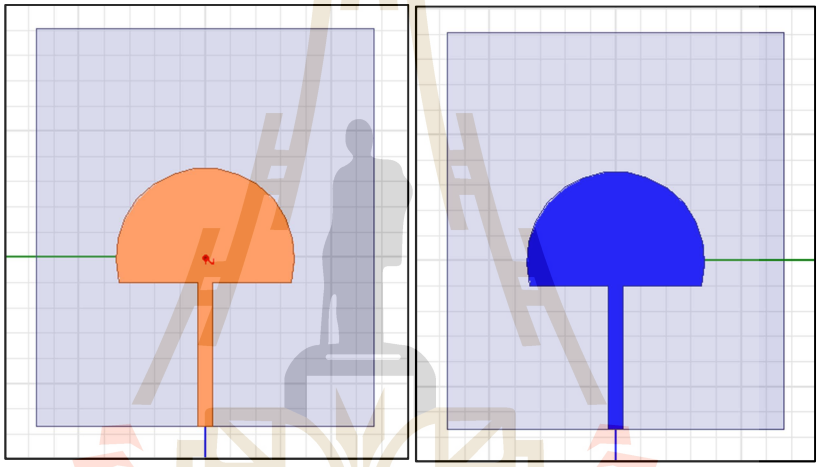
(ข) ระนาบมุมเงย (ข) ระนาบมุมกวาด

รูปที่ 3.6 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปโดยการปรับรูปของระนาบกราวด์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

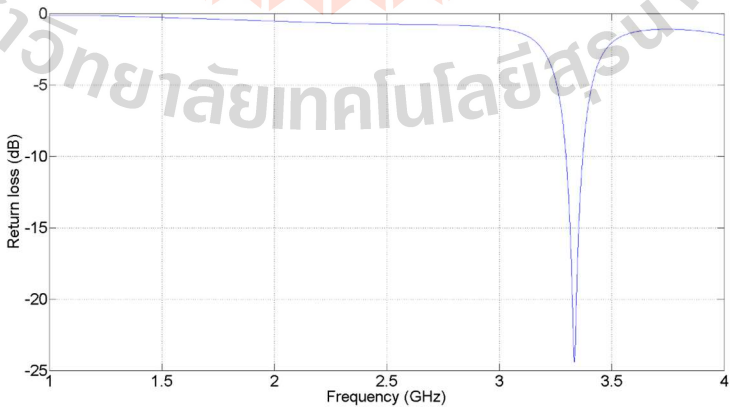
3.2.2 การจำลองสายอากาศต้นแบบโดยการปรับรูปครึ่งวงกลม

ทำการเปลี่ยนแปลงปรับรูปสายอากาศไมโครสตริปแพทช์วงกลมโดยการปรับรูปให้เหลือครึ่งวงกลมทั้งในส่วนของด้านบนและด้านล่างโดยกำหนดให้พารามิเตอร์อื่นๆคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 3.7 จากการจำลองผลพบว่าเมื่อทำการลดในส่วนของเนื้อโลหะให้เหลือครึ่งวงกลมจะมีผลกระทบกับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน โดยจากเดิมความถี่เรโซแนนซ์อยู่ที่ 2.46 GHz เมื่อทำการลดเนื้อโลหะให้เหลือครึ่งวงกลม จะมีความถี่เรโซแนนซ์ที่สูงขึ้นโดยจะอยู่ที่ 3.33 GHz และมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเท่ากับ -24.09 เดซิเบล ซึ่งความกว้างแถบความถี่จะครอบคลุมตั้งแต่ 3.29 GHz ถึง 3.37 GHz ดังแสดงในรูปที่ 3.8 และสำหรับแบบรูปการแผ่พลังงานทั้งในระนาบมุมเงยและระนาบมุมกวาดได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.9(ก) และ (ข) ตามลำดับ



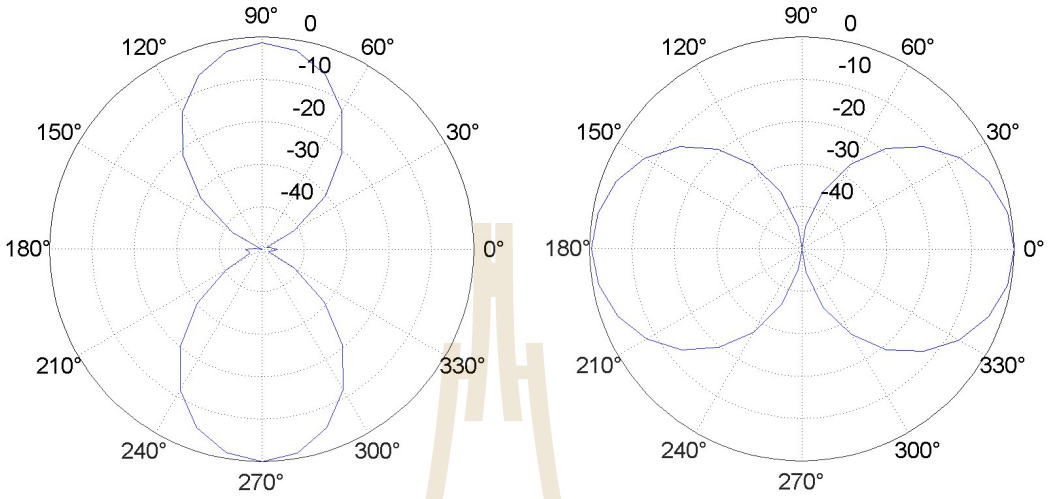
(ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง

รูปที่ 3.7 แบบจำลองสายอากาศโดยการปรับรูปครึ่งวงกลม



รูปที่ 3.8 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศไมโครสตริปโดยการปรับรูปครึ่งวงกลม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

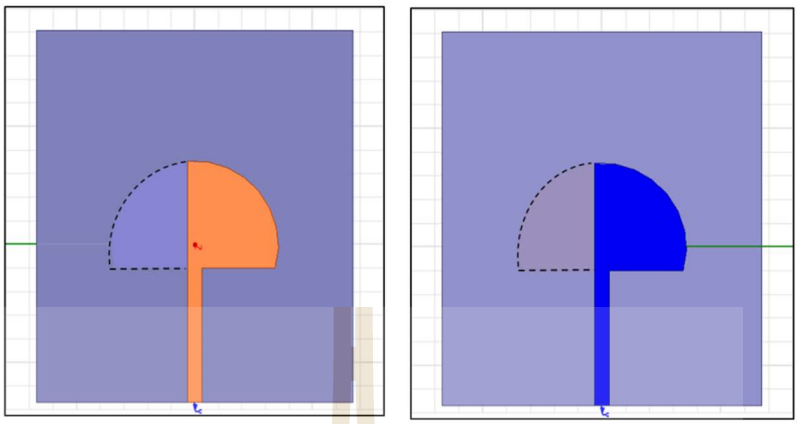


(ก) ระนาบมุมเงย (ข) ระนาบมุมกวาด

รูปที่ 3.9 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปโดยการปรับรูปครึ่งวงกลม

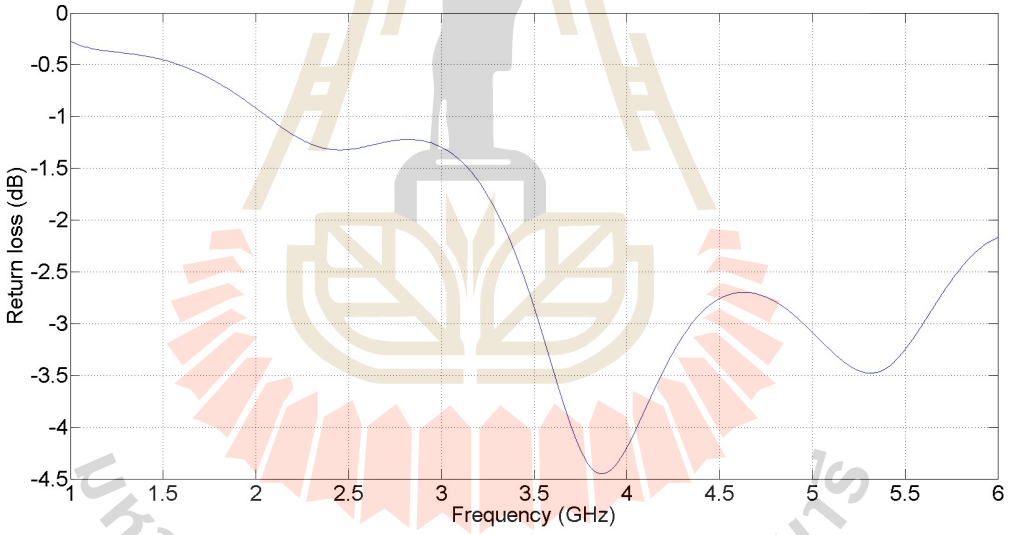
3.2.3 การจำลองสายอากาศต้นแบบโดยการปรับรูป 1 ใน 4 ของรูปวงกลม

ทำการเปลี่ยนแปลงปรับรูปสายอากาศไมโครสตริปแพทช์วงกลมโดยการปรับรูปให้เหลือ 1 ใน 4 ของรูปวงกลมทั้งในส่วนของด้านบนและด้านล่างโดยกำหนดให้พารามิเตอร์อื่นๆคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 3.10 จากการจำลองผลพบว่าเมื่อทำการลดในส่วนของเนื้อโลหะให้เหลือ 1 ใน 4 ของวงกลมจะส่งผลกระทบกับค่าความถี่เรโซแนนซ์และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน โดยจะเกิดการเรโซแนนซ์ที่ความถี่ 3.87 GHz และ 5.3 GHz แต่จะมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ไม่ดีเนื่องจากการแมทช์อิมพีแดนซ์ดังแสดงในรูปที่ 3.11 และในส่วนของแบบรูปการแผ่พลังงานพบว่าในระนาบมุมกวาดมีการแผ่พลังงานไปในทิศทางเดียวมากขึ้น โดยแบบรูปการแผ่พลังงานทั้งในระนาบมุมเงยและมุมกวาดได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.12(ก) และ (ข) ตามลำดับ



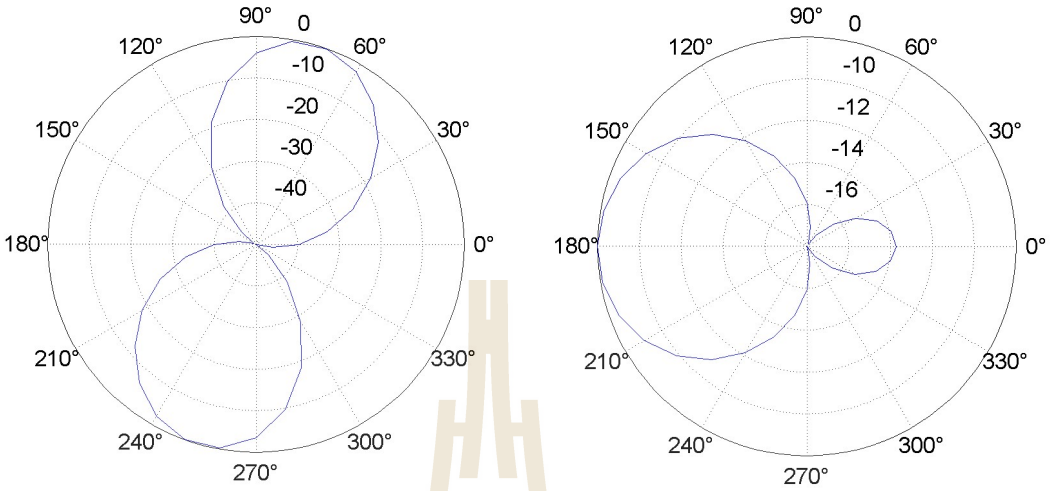
(ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง

รูปที่ 3.10 แบบจำลองสายอากาศโดยการปรับรูป 1 ใน 4 วงกลม



รูปที่ 3.11 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศไมโครสตริปโดยการปรับรูป 1ใน 4 วงกลม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



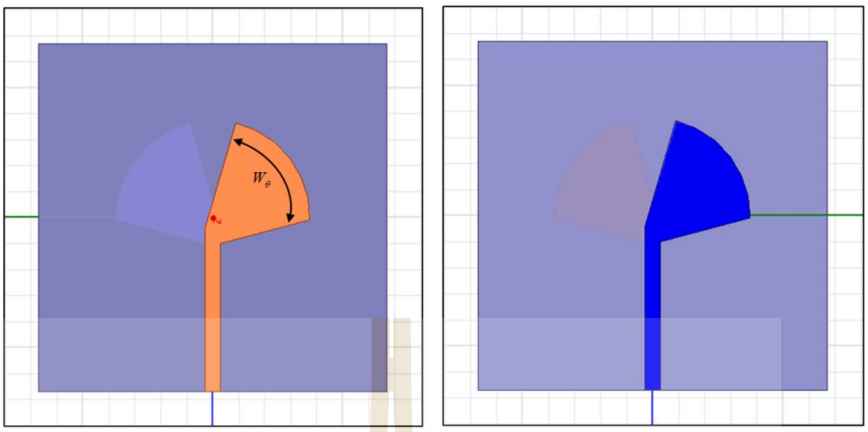
(ก) ระนาบมุมเงย (ข) ระนาบมุมกวาด

รูปที่ 3.12 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปโดยการปรับรูป 1 ใน 4วงกลม

3.2.4 การจำลองสายอากาศต้นแบบโดยการเปลี่ยนแปลงขนาดความกว้างของครึ่งวงกลม (W_θ)

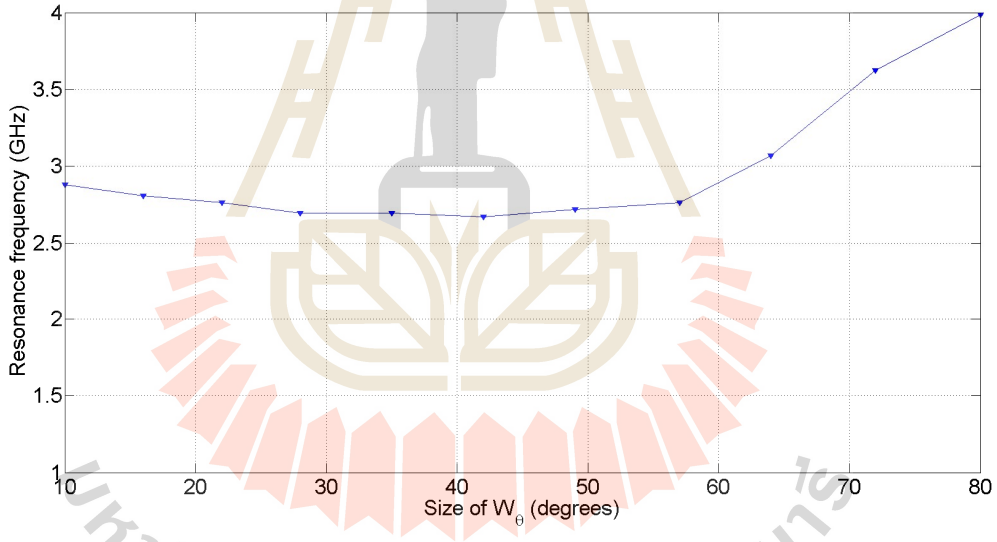
ทำการเปลี่ยนแปลงขนาดความกว้างของครึ่งวงกลมทั้งในส่วนของด้านบนและด้านล่างโดยกำหนดให้พารามิเตอร์อื่นๆคงที่ โดยให้ W_θ มีค่าตั้งแต่ 90 องศาและทำการเปลี่ยนแปลงโดยการลดความกว้างของครึ่งวงกลมทีละ 10 องศา ดังแสดงในรูปที่ 3.13 จากการจำลองผลพบว่าเมื่อความกว้างของครึ่งวงกลมเปลี่ยนแปลงจะมีผลกระทบต่อความถี่เรโซแนนซ์ ของสายอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 3.14 แต่ในส่วนของแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ได้นั้นยังมีขนาดพูหลังที่สูง และยังพบว่าในการเปลี่ยนแปลงขนาดความกว้างของครึ่งวงกลมนั้นส่งผลต่อแบบรูปการแผ่พลังงานทั้งในแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบมุมเงยและระนาบมุมกวาด ดังแสดงในรูปที่ 3.15(ก) และ (ข) ตามลำดับ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

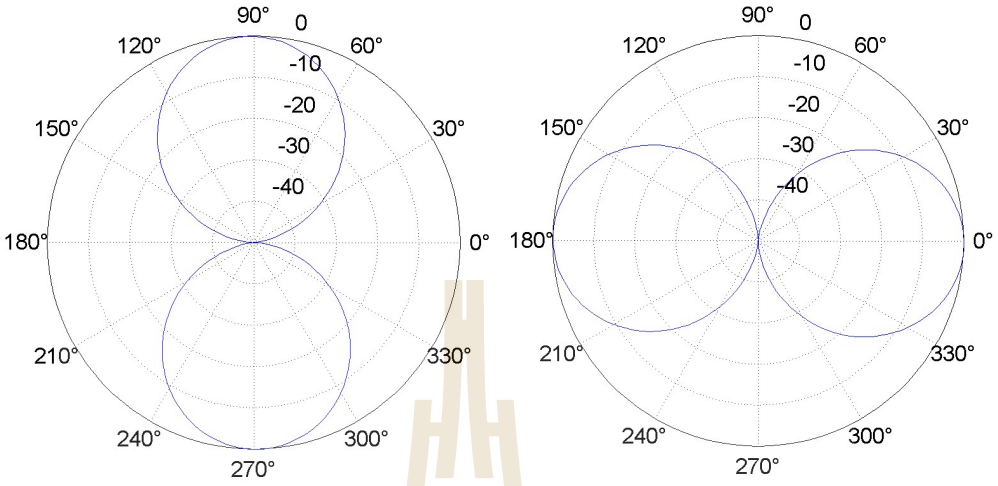


(ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง

รูปที่ 3.13 แบบจำลองสายอากาศโดยการปรับขนาดความกว้างของครึ่งวงกลม W_θ



รูปที่ 3.14 กราฟแสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับความถี่เรโซแนนซ์ เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความกว้างของครึ่งวงกลม W_θ

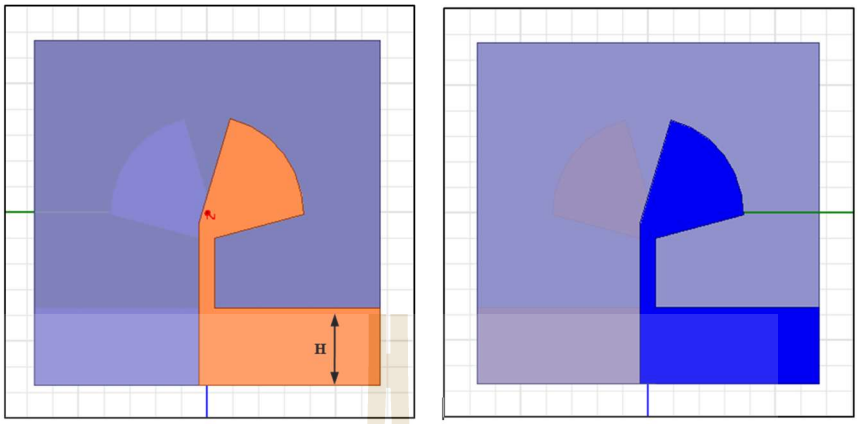


(ก) ระนาบมุมเงย (ข) ระนาบมุมกวาด

รูปที่ 3.15 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความกว้างของครึ่งวงกลม W_θ

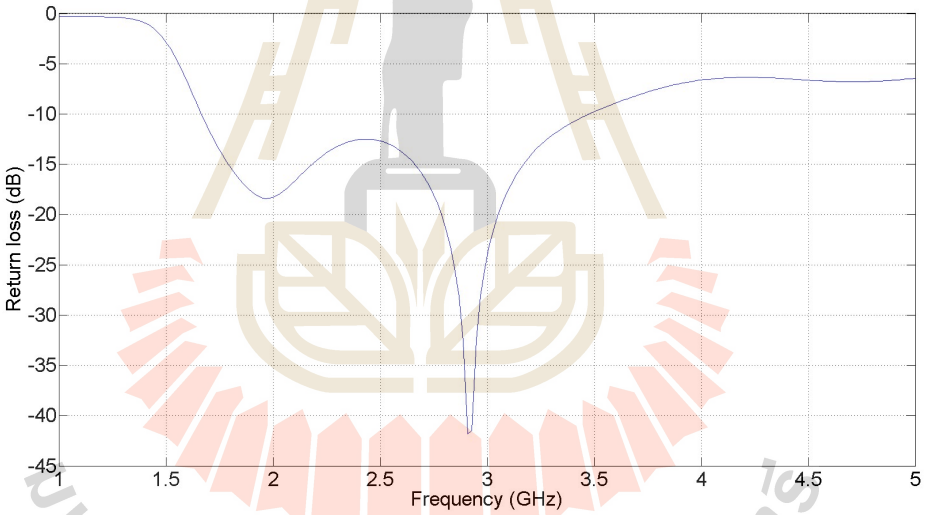
3.2.5 การจำลองสายอากาศต้นแบบโดยการเพิ่มโลหะที่ส่วนหลังของสายอากาศ (H)

จากการจำลองสายอากาศต้นแบบโดยการปรับขนาดความกว้างของครึ่งวงกลมส่งผลกระทบต่อความถี่เรโซแนนซ์และส่งผลต่อแบบรูปการแผ่พลังงานอีกทั้งยังมีขนาดพูหลังที่สูง ในการจำลองนี้จึงได้ทำการเพิ่มเนื้อโลหะสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ส่วนหลังของสายอากาศทั้งในส่วนของด้านบนและด้านล่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.16 โดยกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ตัวอื่นๆคงที่ โดยให้ H มีค่า 2.6 ซม. โดยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนมีค่าเท่ากับ -41.81 เดซิเบล ที่ความถี่ 2.9 GHz และความกว้างแถบความถี่ครอบคลุมตั้งแต่ 1.66 GHz – 3.47 GHz ดังแสดงในรูปที่ 3.17 และจากการจำลองผลพบว่าเมื่อทำการเพิ่มเนื้อโลหะ H ที่ส่วนหลังของสายอากาศ จะส่งผลต่อแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบมุมเงยและระนาบมุมกวาดเปลี่ยนแปลงไป ดังแสดงในรูปที่ 3.18(ก) และ (ข) ตามลำดับ ซึ่งในการเพิ่มโลหะที่ส่วนหลังนี้ยังส่งผลให้อัตราส่วนหน้าต่อหลังมีค่าเพิ่มขึ้นอีกด้วย

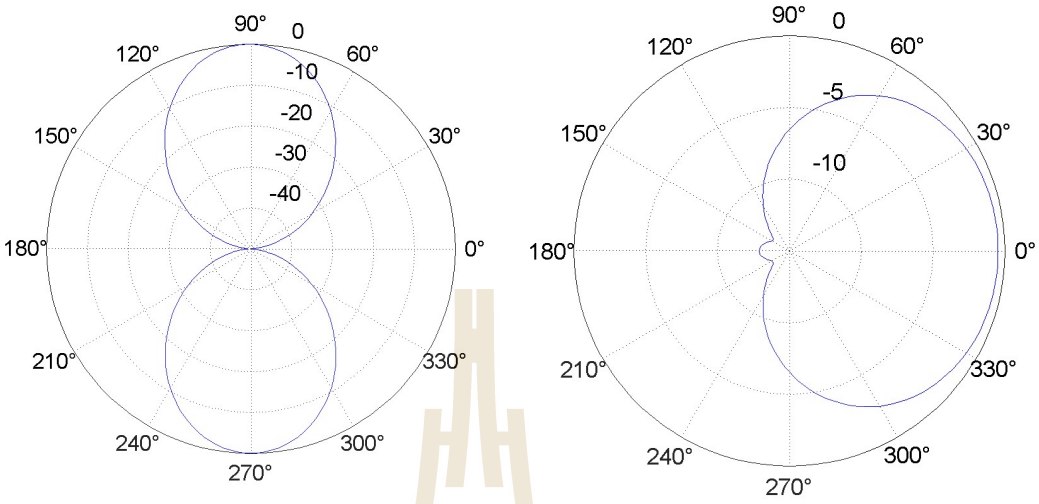


(ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง

รูปที่ 3.16 แบบจำลองสายอากาศโดยการเพิ่มโลหะที่ส่วนหลังของสายอากาศ (H)



รูปที่ 3.17 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศไมโครสตริปโดยการเพิ่มโลหะที่ส่วนหลังของสายอากาศ (H)

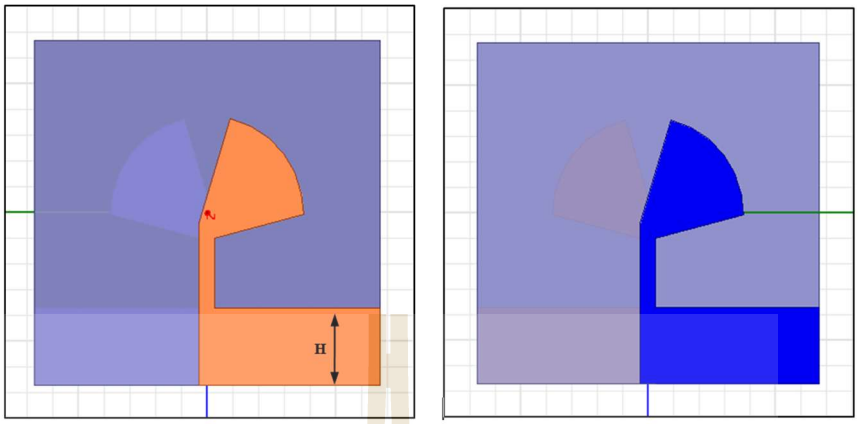


(ก) ระนาบมุมเงย (ข) ระนาบมุมกวาด

รูปที่ 3.18 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศการเพิ่มโลหะที่ส่วนหลังของสายอากาศ (H)

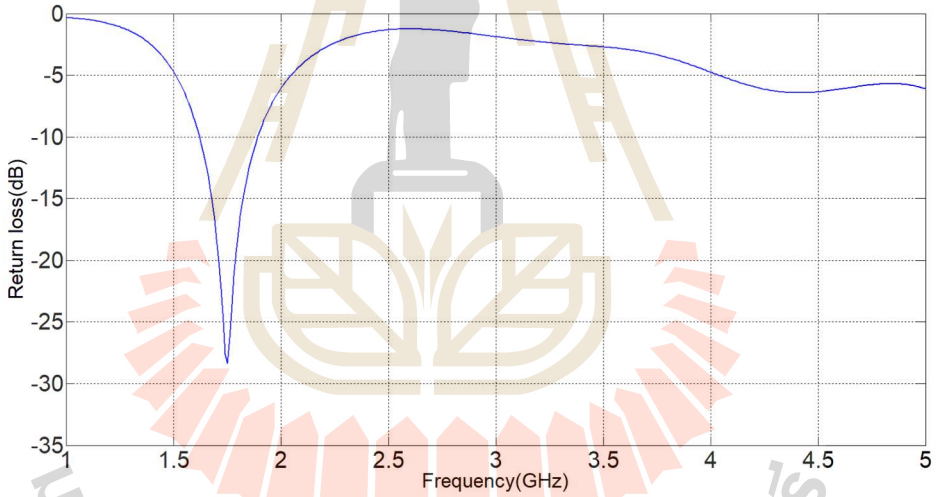
3.2.6 การจำลองสายอากาศต้นแบบโดยการเปลี่ยนแปลงขนาดของโลหะที่ส่วนหลังของสายอากาศ (H)

จากการเพิ่มเนื้อโลหะในส่วนด้านหลังของสายอากาศส่งผลกระทบต่อค่าอัตราส่วนหน้าต่อหลังแต่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าความกว้างลำครึ่งกำลังได้ตามที่ตั้งไว้ จึงได้ทำการเปลี่ยนแปลงขนาดของโลหะที่ส่วนหลังของสายอากาศ H ทั้งในส่วนของด้านบนและล่างโดยกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ตัวอื่นๆคงที่ โดยให้ H มีค่าตั้งแต่ 0.2 ซม. และทำการเพิ่มขนาดของ H ไปจนถึง 2.6 ซม. ดังแสดงในรูปที่ 3.19 โดยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนมีค่าเท่ากับ -28.36 เดซิเบล ที่ความถี่ 1.75 GHz และความกว้างแถบความถี่ครอบคลุมตั้งแต่ 1.62 GHz – 1.89 GHz ดังแสดงในรูปที่ 3.20 จากการจำลองผลพบว่า เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงขนาดของเนื้อโลหะ H จะทำให้ค่าความกว้างลำครึ่งกำลังเปลี่ยนแปลงไปและยังส่งผลต่ออัตราส่วนหน้าต่อหลังด้วย ดังแสดงในรูปที่ 3.21 และรูปที่ 3.22 ตามลำดับ

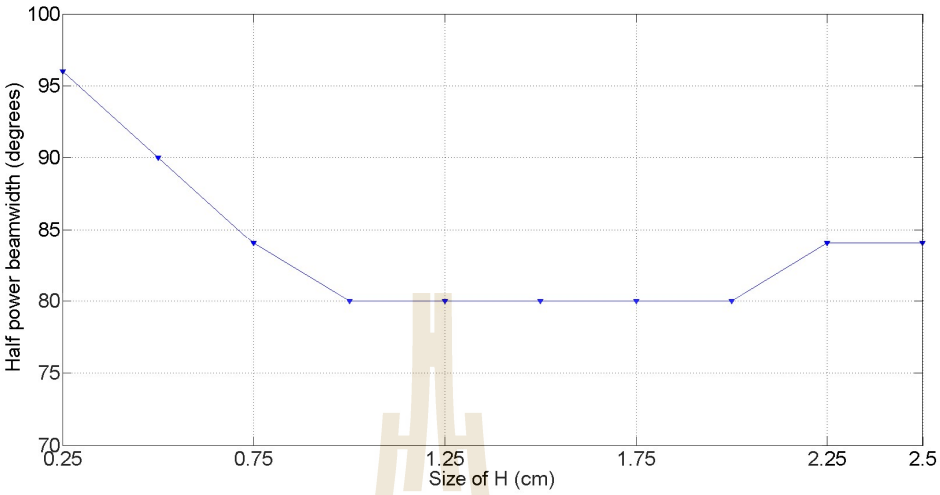


(ข) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง

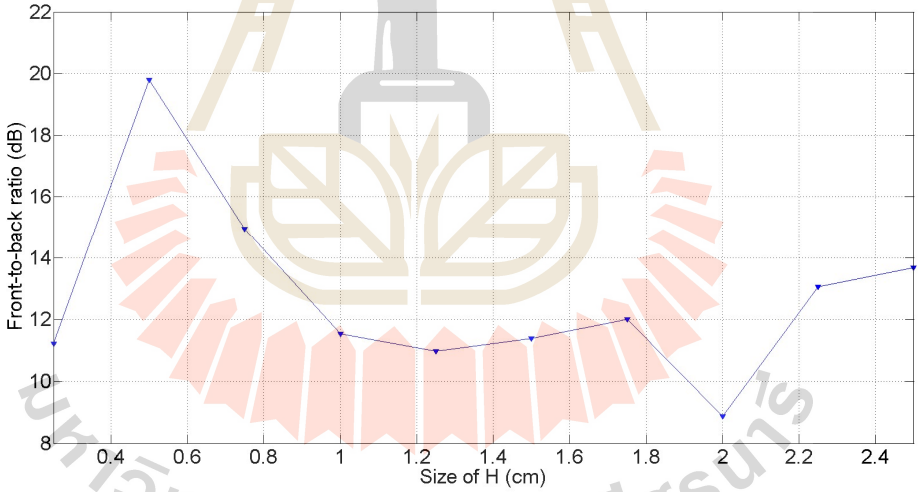
รูปที่ 3.19 แบบจำลองสายอากาศโดยการเพิ่มโลหะที่ส่วนหลังของสายอากาศ



รูปที่ 3.20 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศไมโครสตริปโดยการเปลี่ยนแปลงขนาดของโลหะที่ส่วนหลังของสายอากาศ



รูปที่ 3.21 กราฟแสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับค่าความกว้างลำคริ่งกำลังเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงขนาดของเนื้อโลหะ

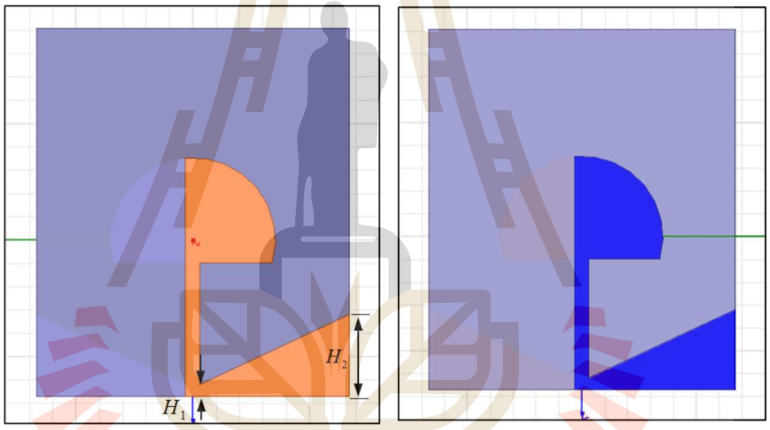


รูปที่ 3.22 กราฟแสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับค่าอัตราส่วนหน้าต่อหลังเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงขนาดของเนื้อโลหะ H

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.2.7 การจำลองสายอากาศต้นแบบโดยการเปลี่ยนแปลงขนาดของโลหะที่ส่วนหลังด้านนอกของสายอากาศ (H_2) โดยที่ H_1 คงที่

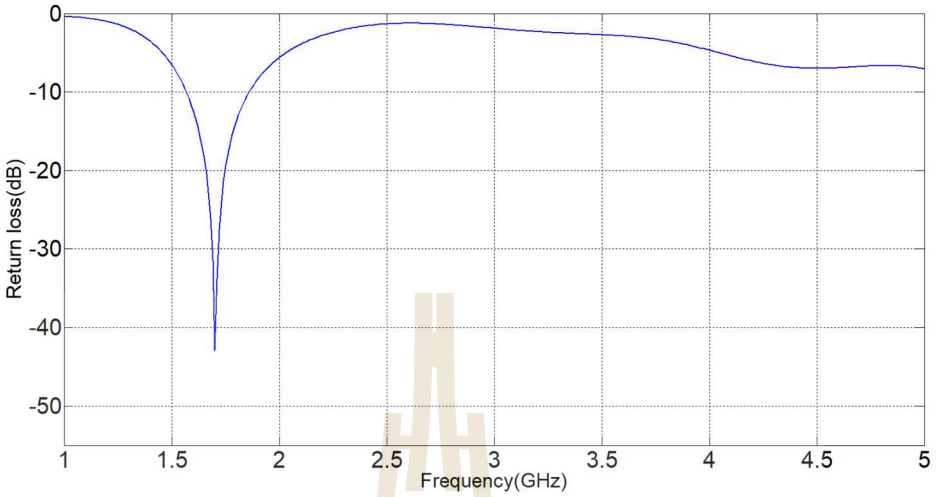
จากการเพิ่มเนื้อโลหะในส่วนด้านหลังของสายอากาศส่งผลกระทบต่อค่าอัตราส่วนหน้าต่อหลังแต่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าความกว้างลำครึ่งกำลังได้ตามที่ตั้งไว้ จึงได้ทำทำการเปลี่ยนแปลงขนาดของโลหะที่ส่วนด้านนอกของสายอากาศ H_2 โดยที่ H_1 คงที่ ทั้งในส่วนของด้านบนและล่างโดยกำหนดให้พารามิเตอร์ตัวอื่นๆคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 3.23 โดยกำหนดให้ H_1 มีค่า 0.25 ซม. และทำการเปลี่ยนแปลงค่า H_2 ตั้งแต่ 0.25 ซม. เพิ่มขึ้นทีละ 0.25 ซม. ไปจนถึง 2.5 ซม. โดยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนมีค่าเท่ากับ -42.97 เดซิเบล ที่ความถี่ 1.70 GHz และความกว้างแถบความถี่ครอบคลุมตั้งแต่ 1.57 GHz – 1.86 GHz ดังแสดงในรูปที่ 3.24จากการจำลองผลพบว่าเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงขนาด H_2 เมื่อขนาด H_2 มีขนาดเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความกว้างลำครึ่งกำลังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และส่งผลต่ออัตราส่วนหน้าต่อหลัง ดังแสดงในรูปที่ 3.25 และรูปที่ 3.26 ตามลำดับ



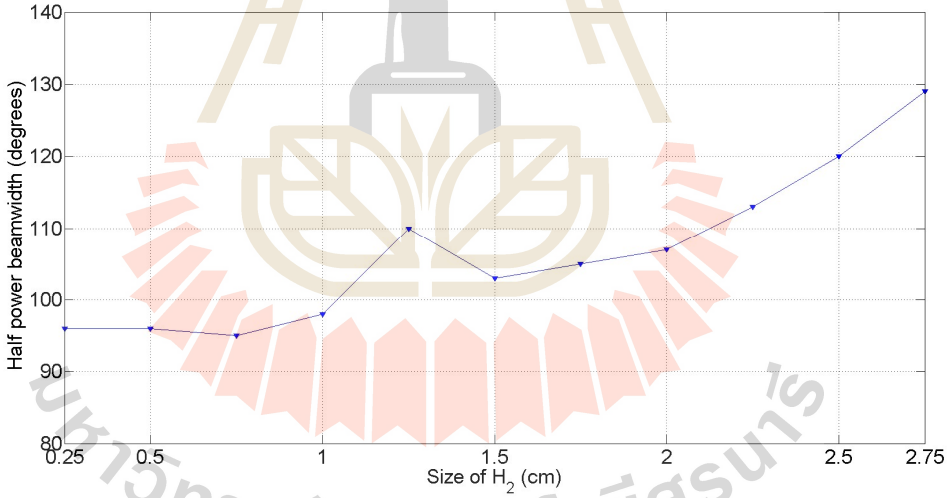
(ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง

รูปที่ 3.23 แบบจำลองสายอากาศโดยการเปลี่ยนแปลงขนาดของโลหะที่ส่วนด้านนอกของสายอากาศ H_2 โดยที่ H_1 คงที่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

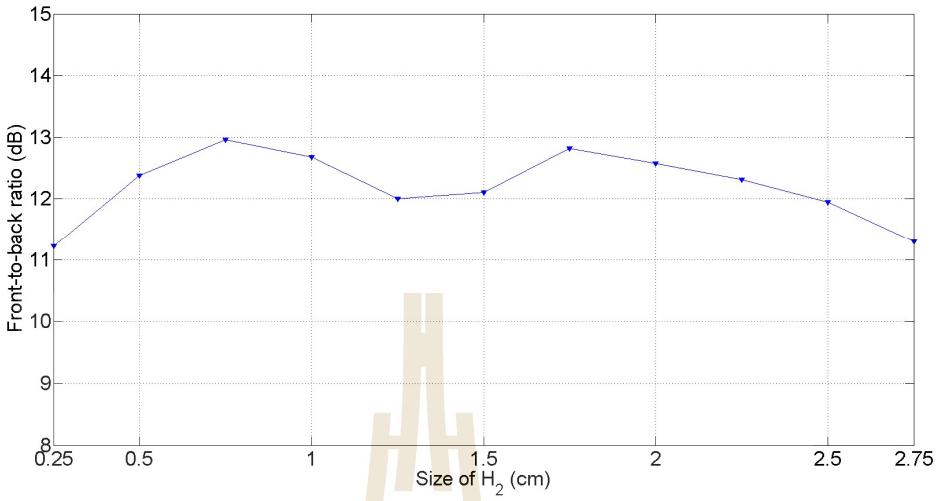


รูปที่ 3.24 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศไมโครสตริปโดยการเปลี่ยนแปลงขนาดของโลหะที่ส่วนหลังด้านนอกของสายอากาศ



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

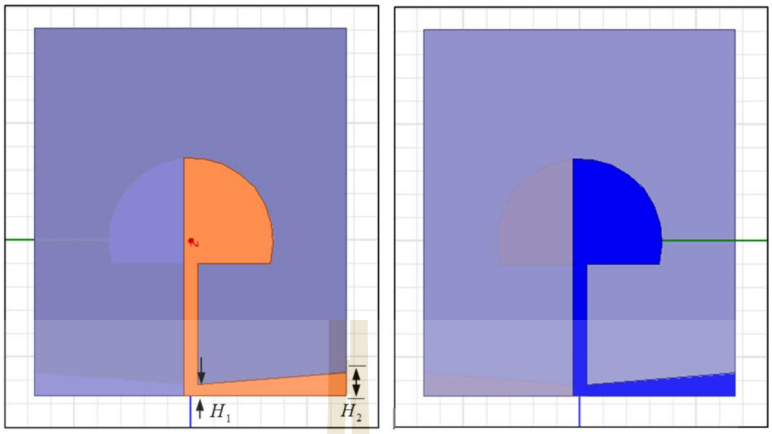
รูปที่ 3.25 กราฟแสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับค่าความกว้างลำคลื่นกำลังเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงขนาดของโลหะที่ส่วนด้านนอกของสายอากาศ H_2 โดยที่ H_1 คงที่



รูปที่ 3.26 กราฟแสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับค่าอัตราส่วนหน้าต่อหลังเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงขนาดของโลหะที่ส่วนด้านนอกของสายอากาศ H_2 โดยที่ H_1 คงที่

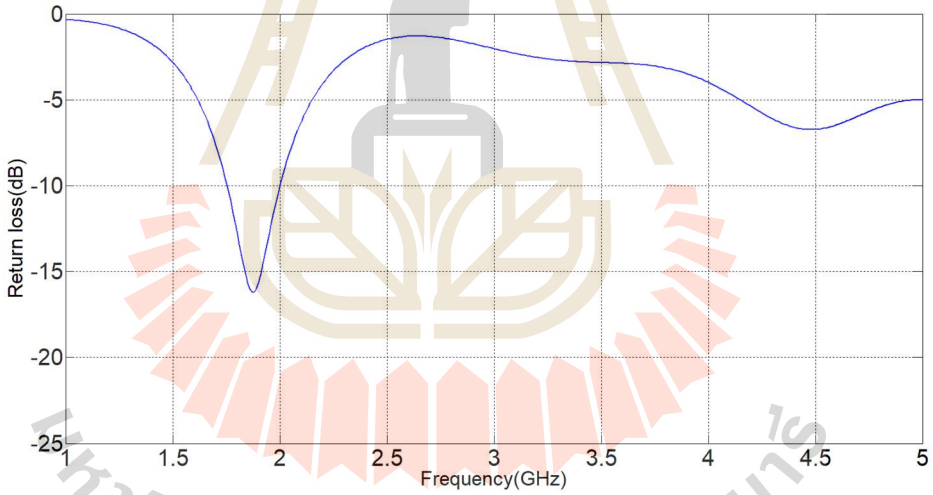
3.2.8 การจำลองสายอากาศต้นแบบโดยการเปลี่ยนแปลงขนาดของโลหะที่ส่วนหลังด้านในของสายอากาศ (H_1) ขณะที่ H_2 คงที่

จากการเพิ่มเนื้อโลหะในส่วนด้านหลังของสายอากาศส่งผลกระทบต่อค่าอัตราส่วนหน้าต่อหลังแต่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าความกว้างลำครึ่งกำลังได้ตามที่ตั้งไว้ จึงได้ทำทำการเปลี่ยนแปลงขนาดของโลหะที่ส่วนด้านในของสายอากาศ H_1 โดยที่ H_2 คงที่ ทั้งในส่วนของด้านบนและล่างของสายอากาศโดยกำหนดให้พารามิเตอร์ตัวอื่นๆคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 3.27 โดยกำหนดให้ H_2 มีค่า 0.25 ซม. และทำการเปลี่ยนแปลงค่า H_1 ตั้งแต่ 0.5 ซม. เพิ่มขึ้นทีละ 0.25 ซม. ไปจนถึง 2.5 ซม. โดยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนมีค่าเท่ากับ -16.19 เดซิเบล ที่ความถี่ 1.87 GHz และความกว้างแถบความถี่ครอบคลุมตั้งแต่ 1.75 GHz – 2.00 GHz ดังแสดงในรูปที่ 3.28 จากการจำลองผลพบว่าเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงขนาด H_1 เมื่อขนาด H_1 มีขนาดเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความกว้างลำครึ่งกำลังมีแนวโน้มลดลง และส่งผลต่ออัตราส่วนหน้าต่อหลัง ดังแสดงในรูปที่ 3.29 และรูปที่ 3.30 ตามลำดับ



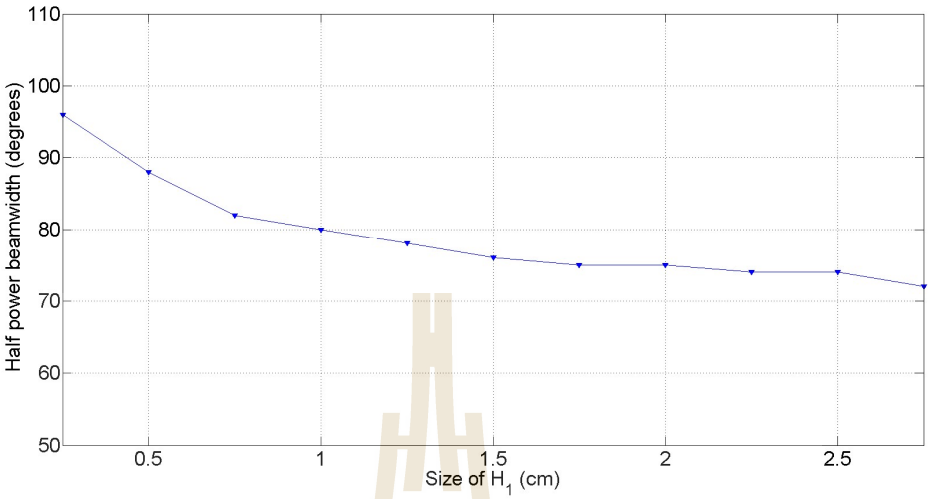
(ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง

รูปที่ 3.27 แบบจำลองสายอากาศโดยการเปลี่ยนแปลงขนาดของโลหะที่ส่วนด้านในของสายอากาศ H_1 โดยที่ H_2 คงที่

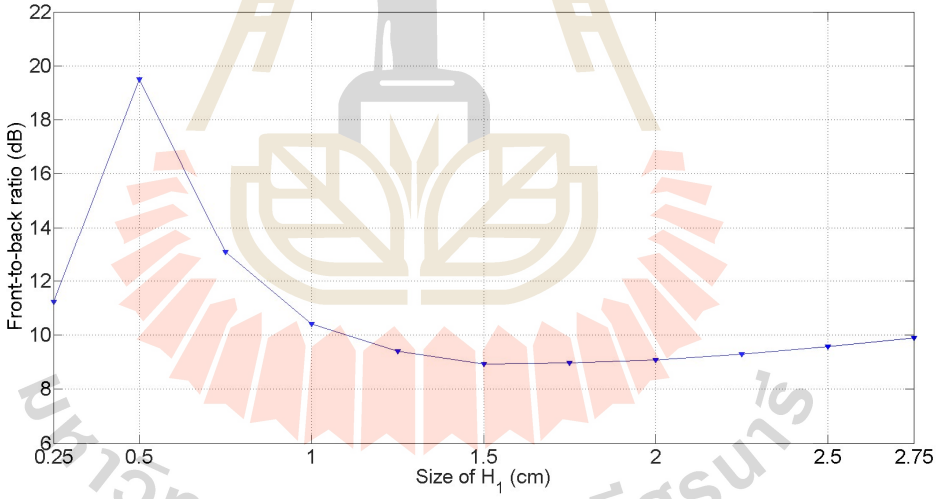


รูปที่ 3.28 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศไมโครสตริปโดยการเปลี่ยนแปลงขนาดของโลหะที่ส่วนหลังด้านในของสายอากาศ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.29 กราฟแสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับค่าความกว้างลำครึ่งกำลังเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงขนาดของโลหะที่ส่วนด้านในของสายอากาศ H_1 โดยที่ H_2 คงที่



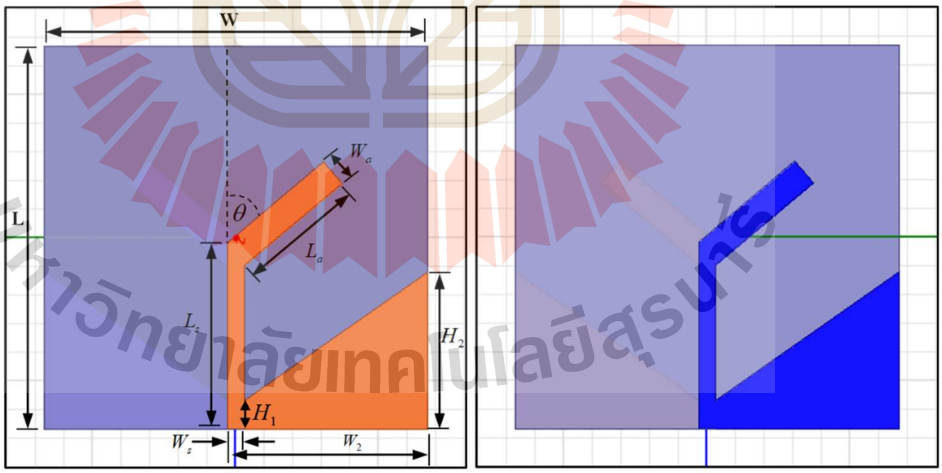
รูปที่ 3.30 กราฟแสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับค่าอัตราส่วนหน้าต่อหลังเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงขนาดของโลหะที่ส่วนด้านในของสายอากาศ H_1 โดยที่ H_2 คงที่

จากการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการปรับขนาดของส่วนต่างๆของสายอากาศเพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับพารามิเตอร์ พบว่าเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ W_a และ L_a จะส่งผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน และเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ H_1 และ H_2 จะส่งผลกระทบต่อค่าความกว้างลำครึ่งกำลังและอัตราส่วนหน้าต่อหลัง จากนั้นได้ทำการปรับ

สายอากาศเซกเตอร์ต้นแบบ 1 ต้นจนได้พารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยแบบจำลองสายอากาศเซกเตอร์ต้นแบบ แสดงในรูปที่ 3.31 และพารามิเตอร์ของสายอากาศต้นแบบได้แสดงในตารางที่ 3.2 โดยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนมีค่าเท่ากับ -40 เดซิเบล ที่ความถี่ 2.42 GHz แสดงในรูปที่ 3.32 ซึ่งมีความกว้างแถบความถี่ครอบคลุมตั้งแต่ 2.08 GHz – 2.73 GHz สำหรับแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบมุมกวาดมีความกว้างลำครึ่งกำลังเท่ากับ 90 องศา มีค่าอัตราขยายเท่ากับ 4.8 เดซิเบลที่ความถี่ 2.45 GHz และมีค่าอัตราส่วนหน้าต่อหลังเท่ากับ 21.58 เดซิเบล โดยแบบรูปการแผ่พลังงานแบบ 3 มิติได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.33 และ แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบมุมเงยและระนาบมุมกวาดแบบ 2 มิติได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.34 (ก) และ (ข) ตามลำดับ

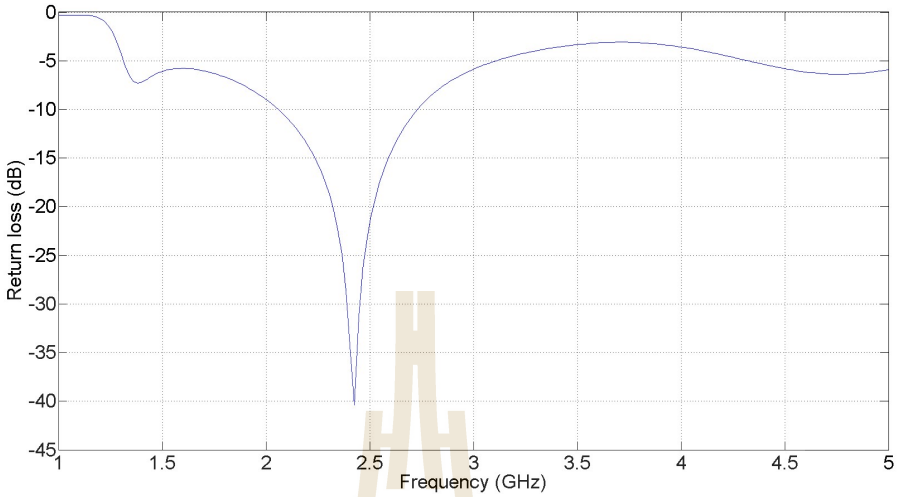
ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ของสายอากาศเซกเตอร์ต้นแบบ

พารามิเตอร์	ขนาด(ซม.)	พารามิเตอร์	ขนาด(ซม.)
W	6.7	W_a	0.5
L	6.7	L_a	2.17
W_s	0.3	H_1	0.5
L_s	3.25	H_2	2.85
θ	43°	W_2	3.5

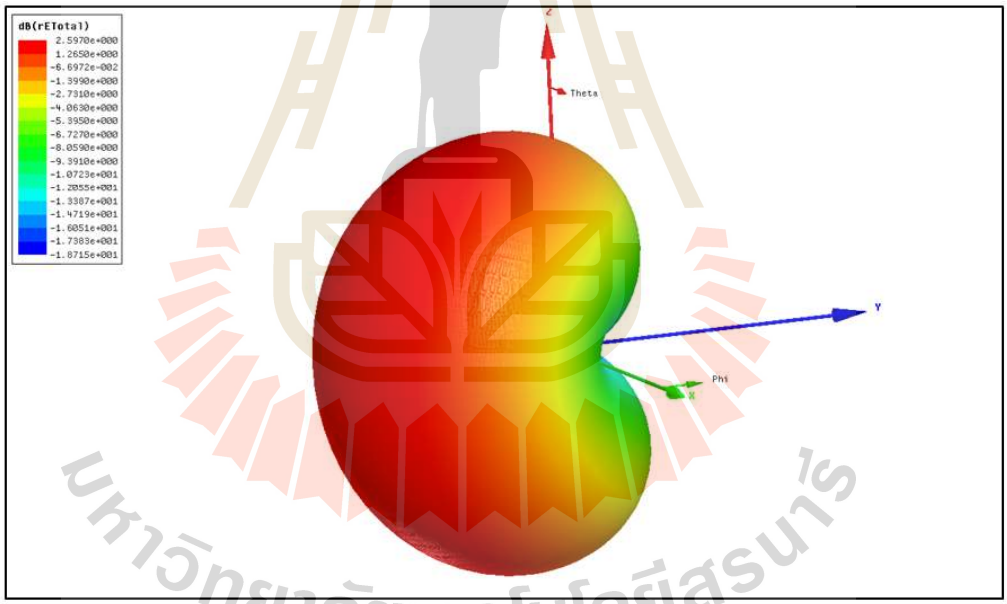


(ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง

รูปที่ 3.31 แบบจำลองสายอากาศเซกเตอร์ต้นแบบ

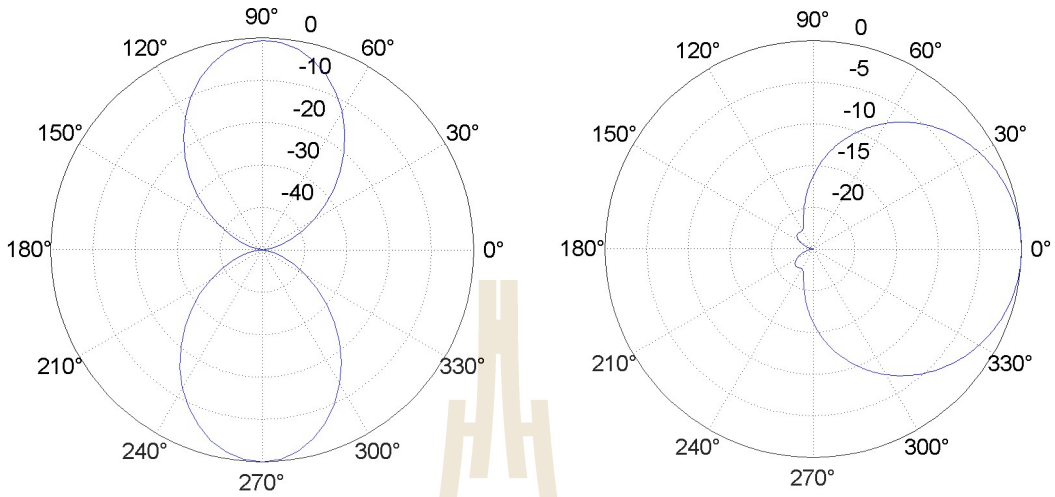


รูปที่ 3.32 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศเซกเตอร์ต้นแบบหนึ่งต้น



รูปที่ 3.33 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเซกเตอร์ต้นแบบ แบบ 3 มิติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



(ก) ระนาบมุมเงย (ข) ระนาบมุมกวาด

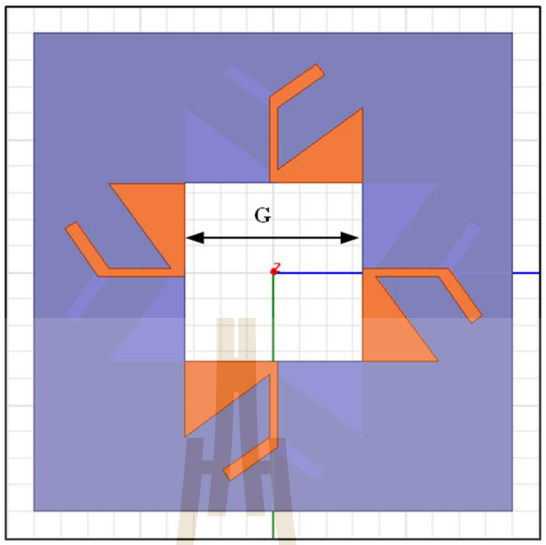
รูปที่ 3.34 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเซกเตอร์ต้นแบบ แบบ 2 มิติ

3.3 การศึกษาความเป็นไปได้ของสายอากาศเซกเตอร์ 4 ต้น โดยการจำลองผลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป HFSS

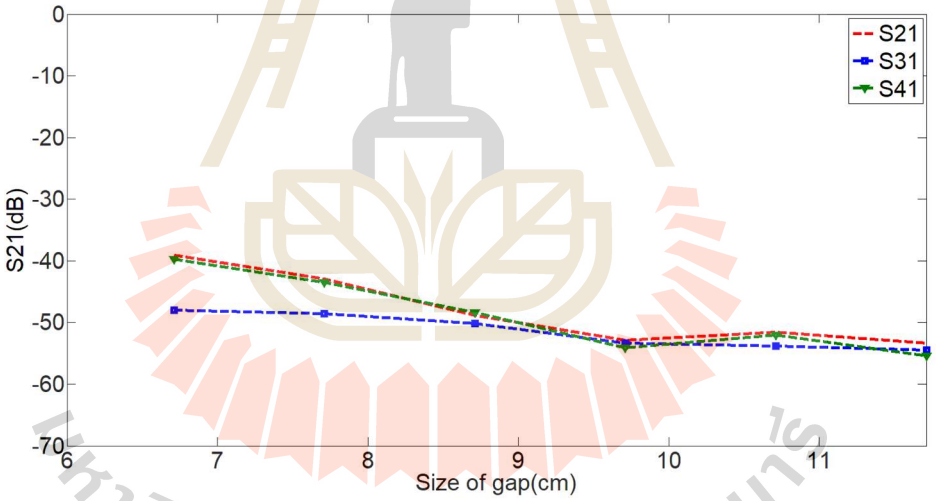
จากข้างต้นได้สายอากาศเซกเตอร์ต้นแบบ 1 ต้นแล้ว ในขั้นตอนต่อไปจะทำการนำสายอากาศมาใช้เป็นเซกเตอร์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการจำลองผลเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด โดยจะจัดวางให้สายอากาศทั้ง 4 ต้นมีทิศทางการแผ่พลังงานไปแต่ละทิศทาง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.35 ซึ่งการจัดวางอากาศทั้ง 4 ต้นในลักษณะนี้จะทำให้ครอบคลุมพื้นที่ใช้งานได้ 360 องศา เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานสำหรับเครือข่ายไร้สาย

3.3.1 การจำลองสายอากาศต้นเซกเตอร์ด้วยการปรับระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์ (G)

ทำการเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์ โดยกำหนดระยะเริ่มต้นคือระยะที่สายอากาศสามารถวางตำแหน่งใกล้กันมากที่สุดก่อนและทำการเพิ่มระยะห่างทีละ 1 ซม. และทำการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้น โดยการจำลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ซึ่งจะทำการวัดสัญญาณที่รับได้ของสายอากาศต้นข้างเคียงโดยจะสังเกตุที่ค่าการพารามิเตอร์เอสของสายอากาศแต่ละต้น โดยจะพบว่าเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงระยะห่างไปที่ 9.7 ซม. ขึ้นไป ค่าพารามิเตอร์เอสของสายอากาศมีค่าที่เหมาะสมเพราะว่าสามารถรับสัญญาณจากสายอากาศข้างเคียงได้น้อยมาก ดังแสดงในรูปที่ 3.36



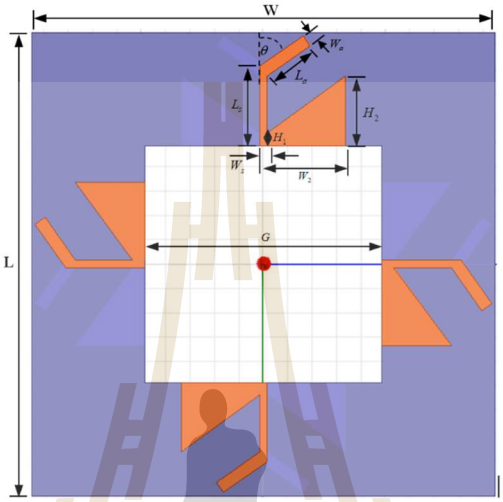
รูปที่ 3.35 โครงสร้างสายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์



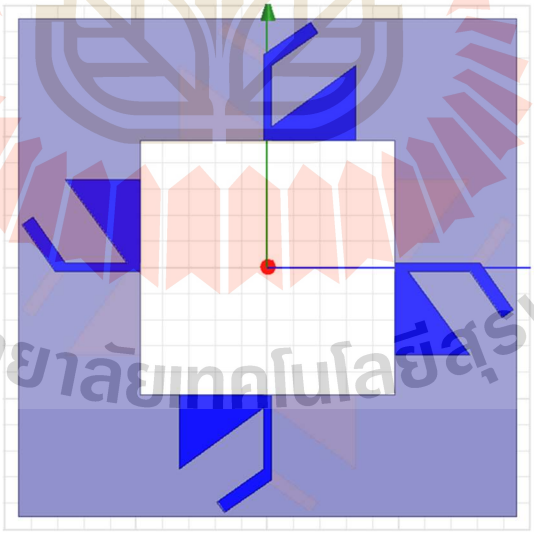
รูปที่ 3.36 ผลกระทบเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์ (G)

จากการที่นำสายอากาศมาจัดวางแบบ 4 เซกเตอร์และทำการเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนและค่าความกว้างลำคลื่นกำลังเปลี่ยนแปลงไป จึงต้องทำการหาค่าที่เหมาะสมอีกครั้ง โดยจากการปรับพารามิเตอร์ต่างๆจนได้ค่าที่เหมาะสม จะได้สายอากาศโนดสำหรับ 4 เซกเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 3.37 และพารามิเตอร์ของสายอากาศโนดสำหรับ 4 เซกเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 3.3 โดยจากการจำลองผลสายอากาศทั้ง 4 ต้นมีความกว้างแถบความถี่ครอบคลุมตั้งแต่ 2.05 GHz – 2.74 GHz ซึ่งครอบคลุมทั้งย่านความถี่ 2.4 GHz ดังแสดงในรูป

ที่ 3.38 สำหรับแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแต่ละต้นสามารถครอบคลุม 90 องศาและมีอัตราขยายเท่ากับ 4.67 เดซิเบล โดยแบบรูปการแผ่พลังงานระนาบมุมเงยและระนาบมุมกวาด แสดงในรูปที่ 3.39(ก) และ (ข) ตามลำดับ การจัดวางสายอากาศในลักษณะนี้จะทำให้ครอบคลุมพื้นที่ใช้งานได้ครบทั้ง 360 องศาดังแสดงในรูปที่ 3.40



(ก) ด้านหน้า



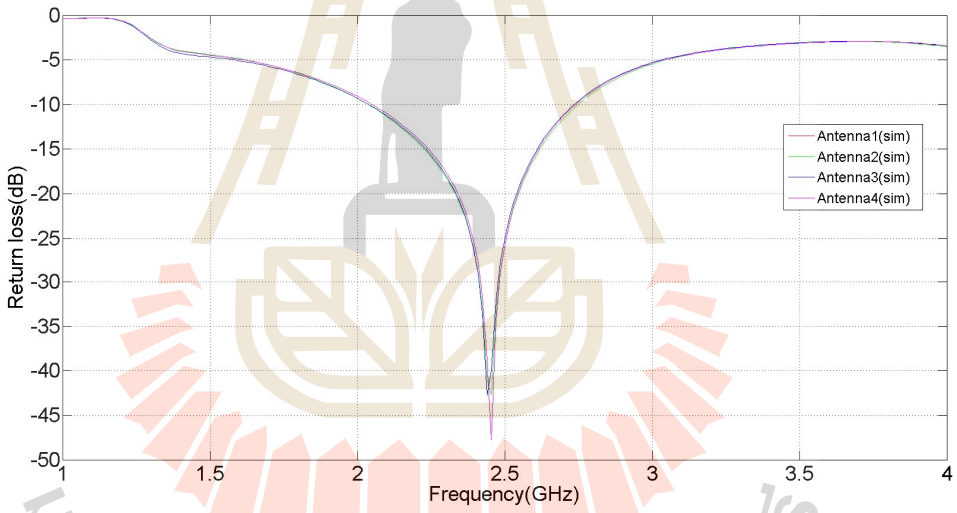
(ข) ด้านหลัง

รูปที่ 3.37 แบบจำลองสายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

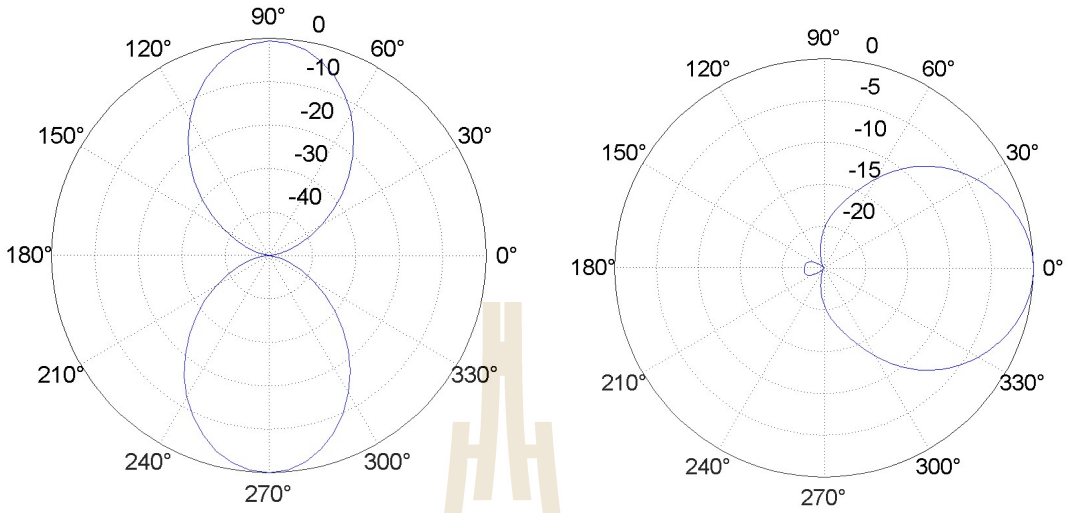
ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์ของสายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์

พารามิเตอร์	ขนาด (ซม.)	พารามิเตอร์	ขนาด (ซม.)
W	19.6	L_s	0.16
L	19.6	L_a	0.30
W_s	0.34	H_1	2.84
W_a	0.5	H_2	0.5
W_2	3.5	θ	55°
G	9.71		



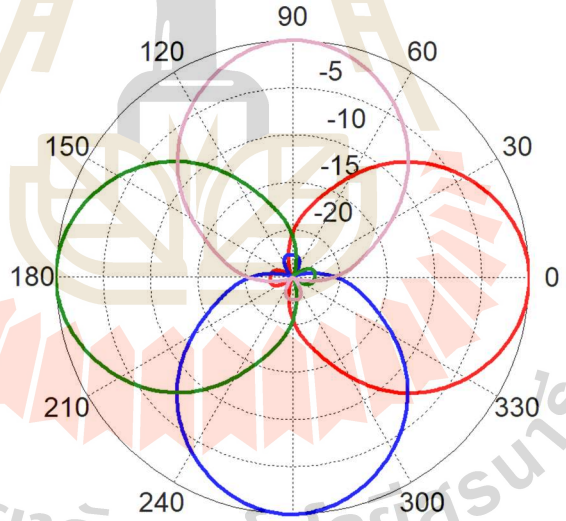
รูปที่ 3.38 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



(ก) ระนาบมุมเงย (ข) ระนาบมุมกวาด

รูปที่ 3.39 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์



รูปที่ 3.40 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์ทั้ง 4 ทิศทาง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.4 สรุป

สำหรับบทนี้ได้กล่าวถึงขั้นตอนการออกแบบและวิเคราะห์สายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์ ซึ่งในขั้นแรกได้ทำการสร้างสายอากาศไมโครสตริปแพทช์วงกลมที่มีความกว้างแถบความถี่ครอบคลุมย่าน 2.4 GHz สำหรับการประยุกต์ใช้ในเครือข่ายไร้สายและศึกษาผลกระทบที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนขนาดของโครงสร้างสายอากาศ ได้ทำการปรับรูปสายอากาศเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสม ทำการเพิ่มเนื้อโลหะและปรับขนาดของเนื้อโลหะที่ส่วนหลังของสายอากาศเพื่อควบคุมให้เป็นสายอากาศแบบมีทิศทาง ได้ทำการนำสายอากาศต้นแบบ 1 ต้นที่สามารถครอบคลุมพื้นที่ 90 องศานำมาจัดวาง 4 อิลิเมนต์แบบเซกเตอร์เพื่อให้ได้ครอบคลุมทั้ง 360 องศาและในขั้นตอนสุดท้ายได้ปรับพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศให้เหมาะสม โดยได้ทำการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป HFSS ก่อน เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของระบบสายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์ สำหรับนำไปสร้างสายอากาศต้นแบบต่อไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
การทดสอบสายอากาศและวิเคราะห์ผล

4.1 กล่าวนำ

จากทฤษฎีและหลักการทั้งหมดที่กล่าวไว้แล้วในบทที่ผ่านมา ในบทนี้ได้ทำการสร้างสายอากาศต้นแบบที่ได้ทำการออกแบบตามคุณลักษณะของสายอากาศโนดแบบเซกเตอร์ จากนั้นทำการทดสอบคุณลักษณะต่างๆ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศทั้งในระนาบมุมเงยและมุมกวาด และอัตราขยาย โดยทำการวัดทดสอบคุณลักษณะจากเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลจากการวิเคราะห์และผลจากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป HFSS พร้อมอภิปรายผล

4.2 การสร้างสายอากาศต้นแบบ

จากการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป HFSS ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 จนได้ขนาดและรูปแบบของสายอากาศต้นแบบตามที่ต้องการแล้ว โดยสายอากาศจะถูกสร้างโดยวัสดุที่เป็น FR4 ($\mathcal{E}_r$ = 4.4) จากนั้นต่อเข้ากับขั้วต่อชนิด SMA 50 โอห์ม ดังแสดงในรูปที่ 4.1 โดยสายอากาศมีขนาดตามพารามิเตอร์ที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

(ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง

รูปที่ 4.1 สายอากาศต้นแบบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

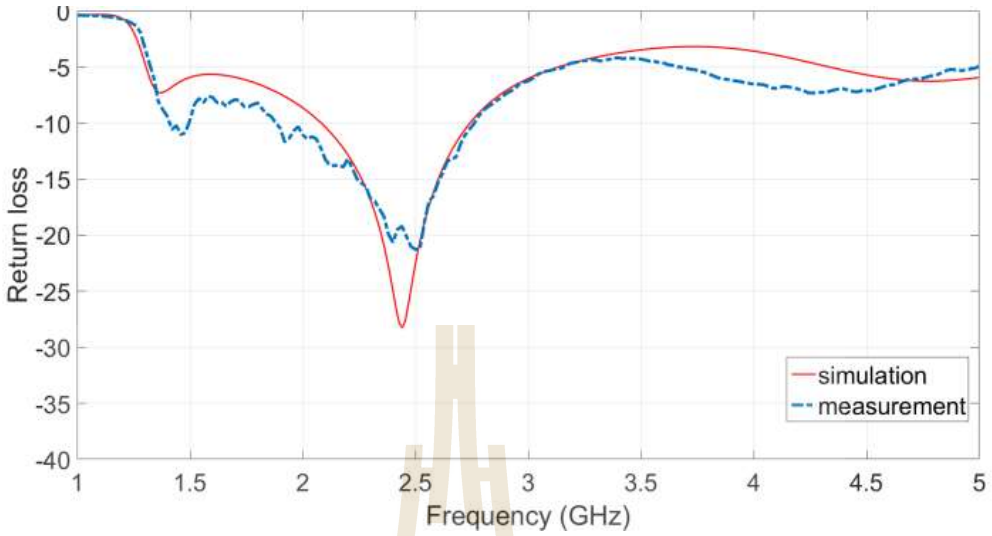
ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ของสายอากาศต้นแบบ

พารามิเตอร์	ขนาด (มม.)
ความกว้างของสายอากาศ (W)	67
ความยาวของสายอากาศ (L)	67
ความกว้างของสตับ (W_s)	3
ความยาวของสตับ (L_s)	32.5
องศาของเส้นไมโครสตริป (θ)	43°
ความกว้างของเส้นไมโครสตริป (W_a)	5
ความยาวของเส้นไมโครสตริป (L_a)	21.7
ความยาวของส่วนสะท้อนด้านใน (H_1)	5
ความยาวของส่วนสะท้อนด้านนอก (H_2)	28.5
ความกว้างของส่วนสะท้อน (W_2)	35

4.2.1 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศต้นแบบ

สำหรับพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในการพิจารณาการแมทช์อิมพีแดนซ์ด้านเข้าคือค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน ซึ่งเป็นการสะท้อนกลับของกำลังไฟฟ้าด้านเข้าของสายอากาศซึ่งขนาดของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนอาจจะมีค่าได้ตั้งแต่ 0 เดซิเบล ถึง ลบอนันต์ ถ้ามีค่าเท่ากับ 0 เดซิเบล แสดงว่าไม่แมทช์อย่างสมบูรณ์ แต่ถ้ามีค่าลบอนันต์ แสดงว่ามีการแมทช์ที่สมบูรณ์ดีที่สุด ในการใช้งานด้านวิศวกรรมสายอากาศ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ยอมรับได้ถ้ามีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับ -10 เดซิเบล หรือค่า SWR เท่ากับ 2 หรือต่ำกว่า จึงจะยอมรับได้ว่าสายอากาศนั้นมีการแมทช์ที่ดี จากรูปที่ 4.2 แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างผลการวัดทดสอบและจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป HFSS ของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศต้นแบบ จะสังเกตได้ว่าที่ความถี่ปฏิบัติการ 2.45 GHz สายอากาศต้นแบบมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเท่ากับ -24.01 เดซิเบล และ -28.26 เดซิเบล ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่ากราฟทั้งสองมีความสอดคล้องกัน

สำหรับความกว้างแถบความถี่หรือแบนด์วิท คือ ความกว้างของแถบความถี่ที่สายอากาศสามารถทำงานได้สามารถอ่านจากกราฟค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนมีค่าน้อยกว่า -10 เดซิเบล ซึ่งจากรูปที่ 4.2 สามารถอ่านค่าความกว้างแถบความถี่ของสายอากาศตั้งแต่ 1.8 GHz – 2.86 GHz ซึ่งครอบคลุมย่านความถี่ 2.4 GHz ได้

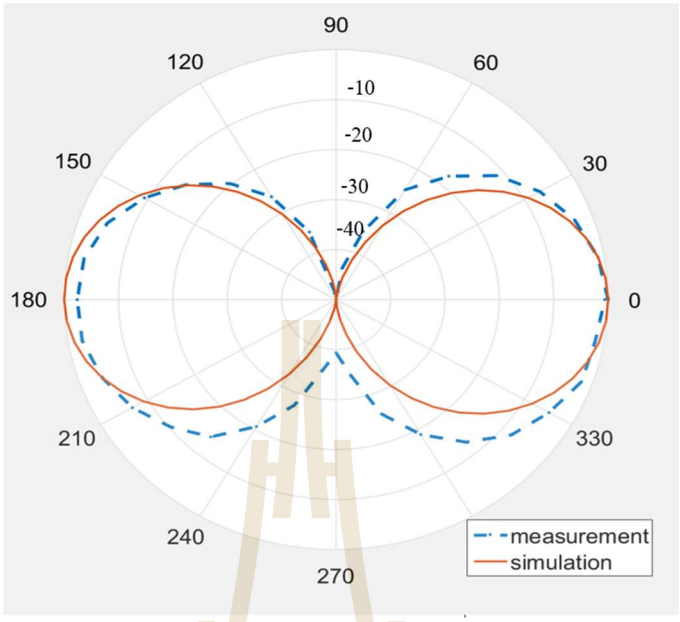


รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การสะท้อนระหว่างผลการจำลอง
และผลการวัดทดสอบของสายอากาศต้นแบบ

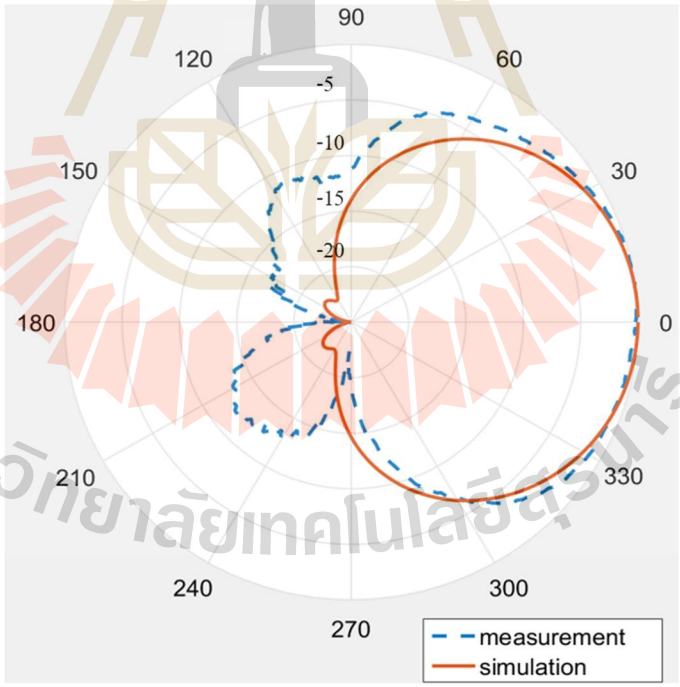
4.2.2 ผลการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศต้นแบบ

งานวิจัยนี้ได้ทำการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานในห้องไม่สะท้อน (anechoic chamber) สำหรับระยะ R ในการติดตั้งสายอากาศวัดทดสอบและสายอากาศอ้างอิงจะเท่ากับสนามระยะไกล คือ $R \geq 2D^2/\lambda$ โดยที่ D คือขนาดของสายอากาศที่ยาวที่สุด ดังนั้นจึงติดตั้งที่ระยะ $R \geq 0.05$เมตร ซึ่งงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ระยะ R = 1 เมตร โดยใช้สายอากาศต้นแบบ ซึ่งมีความถี่ปฏิบัติการอยู่ที่ 2.45 GHz เป็นสายอากาศอ้างอิงโดยทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาคส่งและภาครับซึ่งจะมีการหมุนรอบแนวแกนหมุนในแต่ละระนาบเพื่อรับคลื่นจากสายอากาศภาคส่งตั้งแต่มุม 0 องศา จนถึงมุม 360 องศา ทำให้ได้แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศทั้งหมดในระนาบของสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 4.3 จากผลการวัดทดสอบพบว่ามีความสอดคล้องกับผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



(ก) ระนาบมุมเงย



(ข) ระนาบมุมกวาด

รูปที่ 4.3 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศต้นแบบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.2.3 ผลการวัดทดสอบอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบ

สำหรับการวัดอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบ ซึ่งจะใช้สายอากาศสองต้นที่มีลักษณะเหมือนกัน (two-antenna method) สำหรับการวัดทดสอบ โดยที่ใช้ทำหน้าที่เป็นภาคส่งและอีกต้นทำหน้าที่เป็นภาครับ จากนั้นใช้สมการส่งผ่านของฟริส (Friis transmission equation) เป็นพื้นฐานในการคำนวณหาค่าอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบสมการที่ 4.1 โดยสมการที่นำมาใช้คือสมการที่ 4.2 เมื่อสายอากาศทั้งสองต้นมีคุณลักษณะเหมือนกัน

$$G_r + G_t = P_r - P_t + 20\,log\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right) \tag{4.1}$$

$$G_r = G_t = \frac{1}{2}\left[P_r - P_t + 20\,log\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)\right] \tag{4.2}$$

โดยที่ P_t คือ กำลังที่ป้อนให้กับสายอากาศภาคส่ง

P_r คือ กำลังที่รับได้จากสายอากาศภาคส่ง

G_{dB} คือ อัตราขยายรวมของสายอากาศภาคส่งและสายอากาศภาครับ

G_t คือ อัตราขยายของสายอากาศภาคส่ง

G_r คือ อัตราขยายของสายอากาศภาครับ

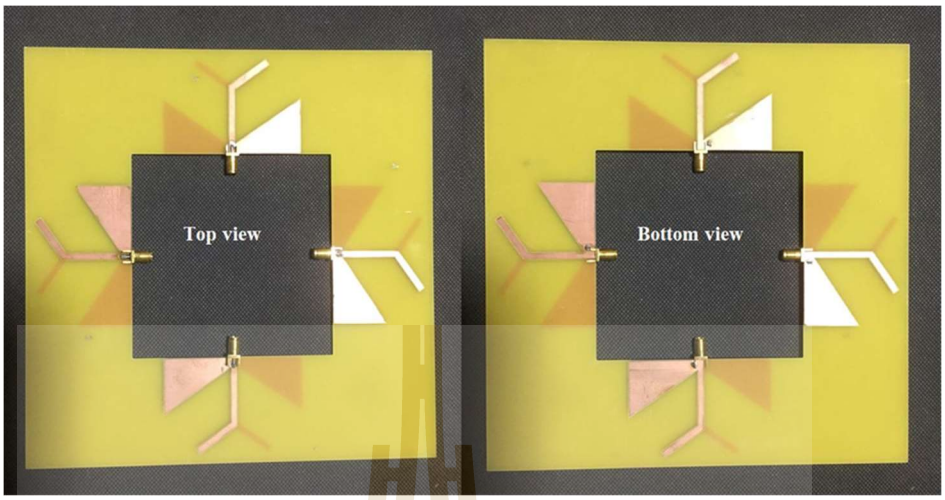
R คือ ระยะห่างของสายอากาศภาคส่งและสายอากาศภาครับ

จากสมการที่ 4.2 เมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ความถี่ปฏิบัติการ 2.45 GHz โดยกำหนดระยะ R เท่ากับ 1 เมตร กำลังภาคส่งที่ส่งออกหรือ P_t เท่ากับ -10 เดซิเบล จะได้อัตราขยายของสายอากาศต้นแบบเท่ากับ 4.50 เดซิเบล

4.3 วิธีการสร้างสายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์

จากผลการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป จนได้ขนาดและรูปแบบของสายอากาศโนดแบบเซกเตอร์ตามที่ต้องการแล้ว จากนั้นได้นำสายอากาศมาทำการจัดวางแบบ 4 อิลิเมนต์ซึ่งได้ทำการจำลองจนได้ระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์ที่เหมาะสมเท่ากับ 9.71 ซม. โดยสายอากาศแต่ละต้นต่อเข้ากับขั้วต่อชนิด SMA 50 โอห์ม ทั้ง 4 พอร์ต ดังแสดงในรูปที่ 4.3 โดยสายอากาศมีขนาดตามพารามิเตอร์ที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.4 สายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ของสายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์

พารามิเตอร์	ขนาด (มม.)
ความกว้างของสายอากาศ (W)	196
ความยาวของสายอากาศ (L)	196
ความกว้างของสตับ (W_s)	3
ความยาวของสตับ (L_s)	32.5
องศาของเส้นไมโครสตริป (θ)	55°
ความกว้างของเส้นไมโครสตริป (W_a)	3
ความยาวของเส้นไมโครสตริป (L_a)	20.7
ความยาวของส่วนสะท้อนด้านใน (H_1)	5
ความยาวของส่วนสะท้อนด้านนอก (H_2)	26.4
ความกว้างของส่วนสะท้อน (W_2)	35

4.3.1 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์

จากรูปที่ 4.4 แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างผลการวัดทดสอบและจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป HFSS ของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์ จะสังเกตได้ว่าที่ความถี่ปฏิบัติการ 2.45 GHz สายอากาศต้นแบบมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเท่ากับ -33.76 เดซิเบล และ -39.96 เดซิเบล ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่ากราฟทั้งสองมีความสอดคล้องกัน

สำหรับความกว้างแถบความถี่หรือแบนด์วิท คือ ความกว้างของแถบความถี่ที่สายอากาศสามารถทำงานได้สามารถอ่านจากกราฟค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนมีค่าน้อยกว่า -10 เดซิเบล ซึ่งจากรูปที่ 4.4 สามารถอ่านค่าความกว้างแถบความถี่ของสายอากาศตั้งแต่ 2.12 GHz – 2.68 GHz โดยผลการวัดทดสอบเกิดการแกว่งไปมา ซึ่งอย่างไรก็ตามครอบคลุมย่านความถี่ 2.4 GHz ได้

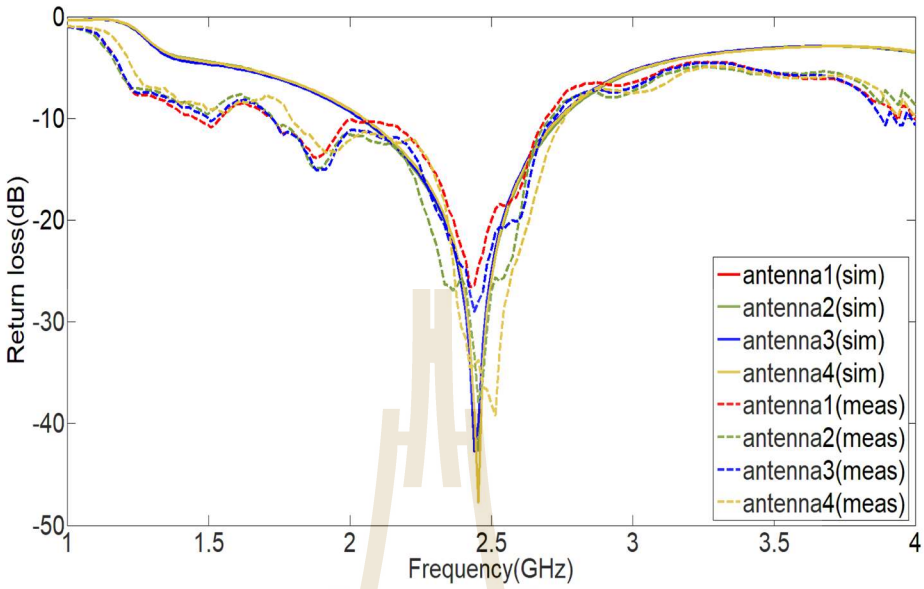
4.3.2 ผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์เอส

ในการพิจารณาค่าพารามิเตอร์เอส ซึ่งเป็นการวัดสัญญาณรบกวนระหว่างสายอากาศแต่ละต้น การพิจารณาพารามิเตอร์เอส หมายถึงการวัดค่าสัญญาณที่ส่งจากพอร์ตหนึ่งและทำการรับสัญญาณอีกพอร์ตหนึ่ง เช่น S_{21} หมายถึงการรับสัญญาณที่พอร์ต 2 โดยที่พอร์ต 1 เป็นตัวส่งสัญญาณ ซึ่งจากรูปที่ 4.5 แสดงกราฟเปรียบเทียบผลระหว่างผลการวัดทดสอบและผลการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปโดยมีค่าพารามิเตอร์เฉลี่ยต่ำกว่า -42 เดซิเบล และ -46 เดซิเบลตามลำดับ

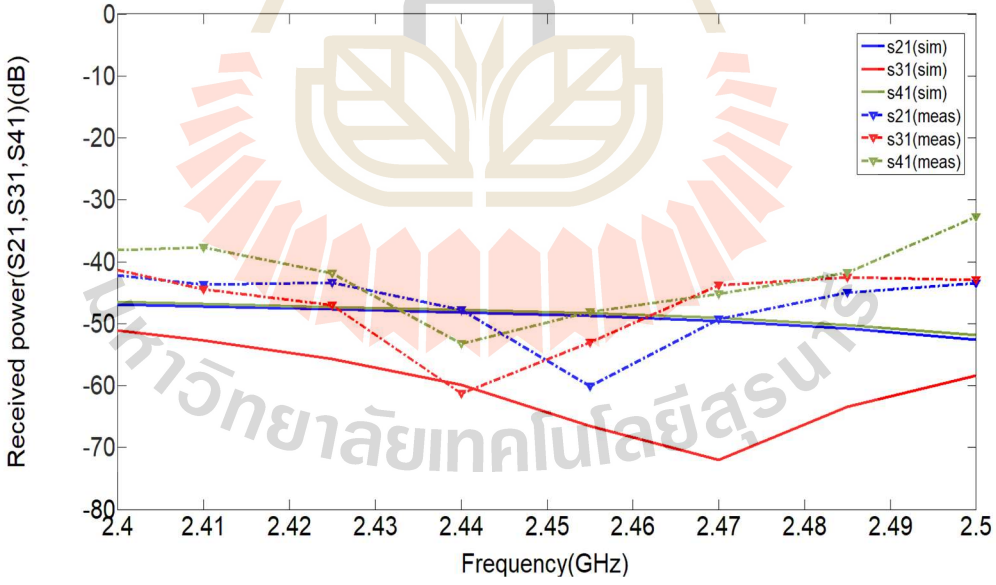
4.3.3 ผลการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์

งานวิจัยนี้ได้ทำการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานในห้องไม่สะท้อนสำหรับระยะ R ในการติดตั้งสายอากาศวัดทดสอบและสายอากาศอ้างอิงจะเท่ากับสนามระยะไกล คือ $R \geq 2D^2/\lambda$ โดยที่ D คือขนาดของสายอากาศที่ยาวที่สุด ดังนั้นจึงติดตั้งที่ระยะ $R \geq 1.25$เมตร ซึ่งงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ระยะ R = 2 เมตร โดยใช้สายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์ ซึ่งมีความถี่ปฏิบัติการอยู่ที่ 2.45 GHz เป็นสายอากาศอ้างอิงโดยทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาคส่งและภาครับซึ่งจะมีการหมุนรอบแนวแกนหมุนในแต่ละระนาบเพื่อรับคลื่นจากสายอากาศภาคส่งตั้งแต่มุม 0 องศา จนถึงมุม 360 องศา ทำให้ได้แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศทั้งหมดในระนาบของสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 4.6 จากผลการวัดทดสอบพบว่ามีความสอดคล้องกับผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

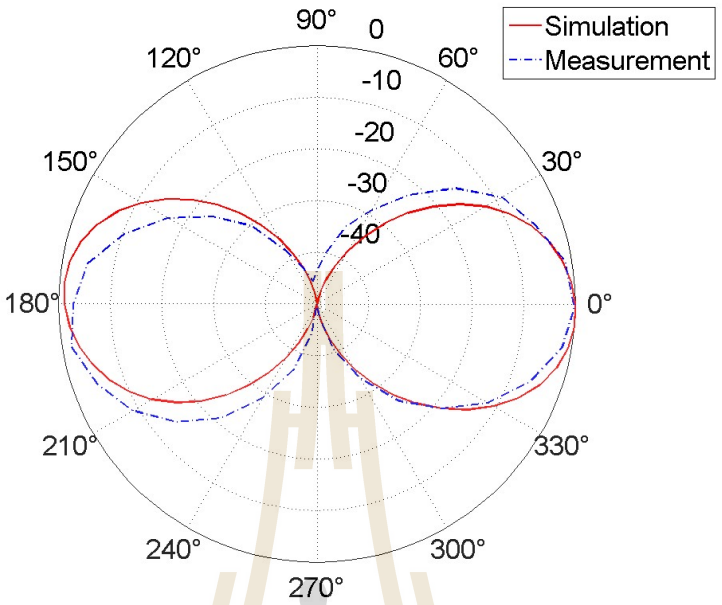
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



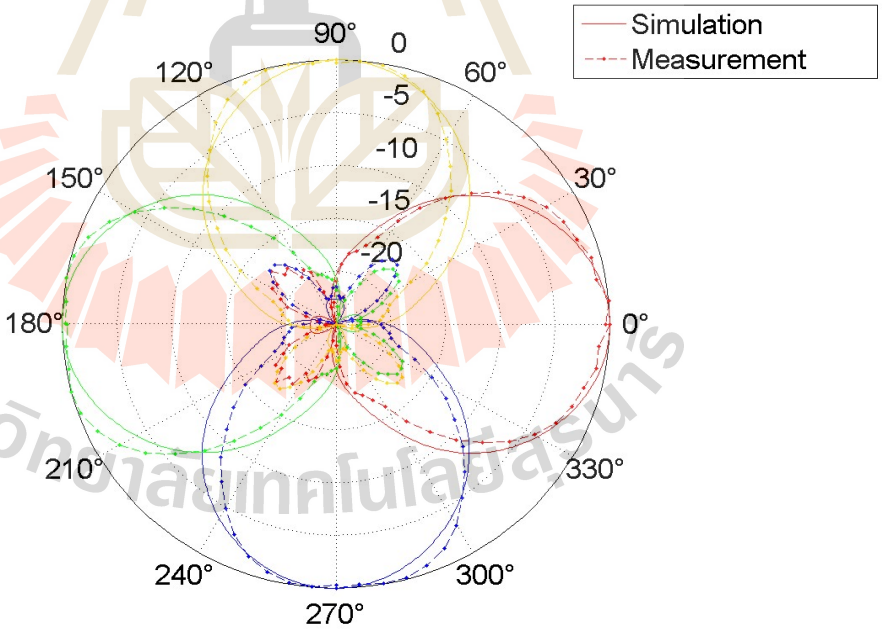
รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การสะท้อนระหว่างผลการจำลองและผลการวัดทดสอบของสายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์



รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบพารามิเตอร์เอสระหว่างผลการจำลองและผลการวัดทดสอบของสายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์



(ก) ระนาบมุมเงย



(ข) ระนาบมุมกวาด

รูปที่ 4.7 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.3.4 ผลการวัดทดสอบอัตราขยายของสายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์

จากสมการที่ 4.2 เมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ความถี่ปฏิบัติการ 2.45 GHz โดยกำหนดระยะ R เท่ากับ 2 เมตร กำลังภาคส่งที่ส่งออกหรือ P_t เท่ากับ -10 เดซิเบล จะได้อัตราขยายของสายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์เท่ากับ 4.45 เดซิเบล

4.4 เปรียบเทียบผลจากการวัดทดสอบและการจำลอง

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดทดสอบและการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปจะเห็นได้ว่าค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกันและสอดคล้องกัน จากตารางจะเห็นได้ว่าผลจากการวัดค่าความกว้างลำคลื่นกำลังมีค่าคลาดเคลื่อนซึ่งอาจมีผลมาจากความแม่นยำในการสร้างสายอากาศ

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดทดสอบและการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

พารามิเตอร์	สายอากาศต้นแบบ		สายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์	
	ผลจาก HFSS	ผลจากวัดทดทดสอบ	ผลจาก HFSS	ผลจากวัดทดทดสอบ
ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (dB)	-28.26	-24.01	-39.96	-33.76
ความกว้างลำคลื่นกำลัง	90°	90°	90°	83°
อัตราขยาย (dB)	4.6	4.5	4.67	4.45
อัตราส่วนหน้าต่อหลัง (dB)	21.58	20.22	18.69	17.2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.5 สรุป

ในบทนี้แสดงการสร้างและการวัดทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศต้นแบบ และสายอากาศโนดแบบ 4 เซกเตอร์ เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดทดสอบและการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป HFSS ว่ามีความสอดคล้องกันมากน้อยเพียงใด ซึ่งคุณลักษณะของสายอากาศที่ได้จากการวัดทดสอบได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศทั้งในระนาบมุมเงยและในระนาบมุมกวาด อัตราขยาย รวมไปถึงการพิจารณาค่าความกว้างลำครึ่งกำลังและค่าอัตราส่วนหน้าต่อหลัง ซึ่งผลที่ได้มีค่าสอดคล้องกัน ซึ่งสำหรับผลบางส่วนที่แตกต่างกันอาจจะมีสาเหตุมาจากความแม่นนำในการสร้างสายอากาศ ตลอดจนผลที่เกิดจากจากวัดทดสอบในสภาพจริง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปเนื้อหางานวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์ ออกแบบและสร้างสายอากาศต้นแบบของสายอากาศเซกเตอร์ ที่มีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบมีทิศทางเดียว โดยใช้วิธีการจำลองสายอากาศด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป HFSS เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของสายอากาศที่มีการปรับรูปเพื่อให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานในระบบเครือข่ายไร้สายท้องถิ่น ซึ่งทำงานในย่านความถี่ 2.4 GHz โดยเริ่มศึกษาความเป็นไปได้ของสายอากาศไมโครสตริปแพทช์แบบวงกลม ที่ป้อนด้วยสายนำสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วมเพียงตัวเดียวก่อน ต่อมาได้ทำการปรับรูปของสายอากาศโดยการปรับขนาดของเนื้อโลหะและเพิ่มในส่วนของเนื้อโลหะที่ด้านหลังของสายอากาศ เพื่อให้ได้สายอากาศที่ครอบคลุมย่านความถี่ 2.4 GHz มีค่าความกว้างลำครึ่งกำลังเท่ากับ 90 องศา และมีพูหลังขนาดเล็ก ซึ่งเหมาะสำหรับการนำไปจัดวางอิลิเมนต์แบบ 4 เซกเตอร์ จากนั้นทำการจำลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปโดยการนำสายอากาศต้นแบบที่ได้มาจัดวางอิลิเมนต์ในระยะห่างที่เหมาะสมโดยทำการจัดวางแบบ 4 เซกเตอร์และปรับพารามิเตอร์ของสายอากาศเพื่อให้ได้คุณลักษณะของสายอากาศตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ซึ่งจากการจำลองผลพบว่าสายอากาศสามารถครอบคลุมได้ทั้ง 360 องศา สุดท้ายได้สร้างสายอากาศตามค่าพารามิเตอร์ที่ถูกออกแบบไว้เพื่อยืนยันความถูกต้องของการออกแบบโดยการนำไปวัดทดสอบคุณลักษณะโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายในห้องปฏิบัติการ ซึ่งผลที่ได้จากการวัดมีความสอดคล้องกับผลที่ได้จากการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป แต่ผลจากการวัดทดสอบอาจจะให้ค่าคลาดเคลื่อนเล็กน้อย ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากความสูญเสียในระบบสายอากาศ เช่น ความสูญเสียในสายส่ง ความผิดพลาดจากการจัดวางสายอากาศภาคส่งและสายอากาศภาครับ ความแม่นยำในสร้างลายแผ่นวงจรพิมพ์ เป็นต้น

5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

จากบทสรุปของงานวิจัยนี้ พบว่าในการออกแบบสายอากาศสามารถปรับไปใช้งานตามความถี่ที่ต้องการได้ด้วยการปรับพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศ อีกทั้งในการปรับเนื้อโลหะส่วนด้านหลังของสายอากาศยังส่งผลถึงค่าความกว้างลำคลื่นกำลังและค่าอัตราส่วนหน้าต่อหลังอีกด้วย จากคุณสมบัติข้างต้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานอื่นๆ ที่มีความเหมาะสม ซึ่งสามารถพัฒนาต่อไปได้อีกขึ้นอยู่กับความสนใจและการประยุกต์ใช้งานในอนาคต

ในลำดับสุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังว่าแนวความคิด วิธีการศึกษาวิเคราะห์และออกแบบ รวมถึงการวิเคราะห์และผลการทดลองจากงานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์เป็นแนวทางที่ดีให้แก่ผู้ที่สนใจศึกษาและค้นคว้าในเรื่องของการประยุกต์ใช้งานสายอากาศที่ป้อนด้วยสายนำสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วมสำหรับเครือข่ายไร้สายท้องถิ่น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

Kanthorn Keeratipianlerd, Peerapong Uthansakul, Pongnarin Sriploy and Monthippa Uthansakul. “**Sector Antenna Design for WLAN Applications.**” International Conference on Future Computer and Communication (ICFCC 2017), Nagoya, Japan, 21-23 April 2017.

Kanthorn Keeratipianlerd, Peerapong Uthansakul, Pongnarin Sriploy and Monthippa Uthansakul. “**Sector Antenna Design for WLAN Applications.**” Suranaree Journal of Science and Technology (SJST).

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายการอ้างอิง

รังสรรค์ วงศ์สรรค์. **Antenna Engineering วิศวกรรมสายอากาศ,** พิมพ์ครั้งที่ 3 ฉบับปรับปรุง สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 546 หน้า

Au, E. (2016). **The latest progress on ieee 802.11 mc and ieee 802.11 ai [standards]**. IEEE Vehicular Technology Magazine, 11(3), 19-21.

Blaunstein, N., and Christodoulou, C. (2006). **Indoor radio propagation. In: Radio propagation and adaptive antennas for wireless communication links: terrestrial, atmospheric and ionospheric**. Wiley, J., and Sons, p. 302-334.

Chan-arpas, P., Dentri, S., and Phongcharoenpanich, C. (2014). **Dual-band dual-pattern truncated-corners microstrip antenna for GPS and WiFi applications**. Proceedings of the 20th Asia-Pacific Conference on Communication (APCC2014); October 1-3, 2014; Pattaya, Thailand, p. 438-441.

Choi, J. I., Jain, M., Srinivasan, K., Levis, P., and Katti, S. (2010). **Achieving single channel, full duplex wireless communication**. Proceedings of the sixteenthannual international conference on Mobile computing and networking; September 20-24, 2010; NY, USA, p. 1-12.

Constantine, A. B. (2005). **Antenna theory: analysis and design**. MICROSTRIP ANTENNAS, third edition, John wiley & sons. 1136p.

GOLDSMITH, Andrea. **Wireless communications**. Cambridge university press, 2005. 644p.

Haraz, O. M., and Sebak, A. R. (2011). **Quadband planar PCB antenna for WLAN and mobile WiMAX applications**. Proceedings of IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APSURSI); July 3-8, 2011; Spokane, WA, USA, p. 416-418.

Kaswiati, W. S., and Suryana, J. (2012). **Design and realization of planar bow-tiedipole array antenna with dual-polarization at 2.4 GHz frequency for Wi-Fi access point application**. Proceedings of 7th International Conference on

Telecommunication Systems, Services, and Applications (TSSA); October 30-31, 2012; Bali, Indonesia, p. 218-222.

Kim, M., and Choi, C. H. (2013). **Hidden-node detection in ieee 802.11n wireless lans**. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 62(6), 2724-2734.

Korakis, T., Jakllari, G., and Tassiulas, L. (2008). **CDR-MAC: A protocol for full exploitation of directional antennas in ad hoc wireless networks**. IEEE Transactions on Mobile Computing, 7(2), 145-155.

Lai, M. I., Wu, T. Y., Hsieh, J. C., Wang, C. H., and Jeng, S. K. (2008). **Compact switched-beam antenna employing a four-element slot antenna array for digital home applications**. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 56(9), 2929-2936.

Mahlaoui, Z., Latif, A., Hussaini, A. S., Elfergani, I. T. E., Ali, A., Mirza, F., and Abd-Alhameed, R. A. (2015). **Design of a Sierpinski patch antenna around 2.4 GHz/5GHz for WiFi (IEEE 802.11 n) applications**. Proceedings of Internet Technologies and Applications (ITA); September 8-11, 2015; Wrexham, UK, p. 472-474.

Patron, D., Daryoush, A. S., and Dandekar, K. R. (2014). **Optical control of reconfigurable antennas and application to a novel pattern-reconfigurable planar design**. Journal of lightwave technology, 32(20), 3394-3402.

Wnuk, M., and Nowosielski, L. (2016). **Multisystem antenna for applications in WiFi networks**. Proceedings of 10th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP); April 10-15, 2016; Davos, Switzerland, p. 1-3.

Yassin, A. A., Saeed, R. A., and Mokhtar, R. A. (2014). **Dual-Band Microstrip Patch Antenna Design Using C-Slot for WiFi and WiMax Applications**. Proceedings of International Conference on Computer and Communication Engineering; September 23- 25, 2014; Kuala Lumpur, Malaysia, p. 228-231.