สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมย่านความถี่กว้าง
แพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางบนระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์

WIDEBAND OMNIDIRECTIONAL CIRCULARLY POLARIZED MONOPOLE ANTENNAS ON ARTIFICIAL MAGNETIC CONDUCTOR GROUND PLANE

พิสิษฐ์ จันแปงเงิน
PISIT JANPANGNGERN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2566
KMITL-2023-EN-D-018-074

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WIDEBAND OMNIDIRECTIONAL CIRCULARLY POLARIZED MONOPOLE ANTENNAS ON ARTIFICIAL MAGNETIC CONDUCTOR GROUND PLANE

PISIT JANPANGNGERN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
DOCTOR OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2023
KMITL-2023-EN-D-018-074

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2023
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT’S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมย่านความถี่กว้างแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางบนระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์
นักศึกษา	พิสิษฐ์ จันแปงเงิน
รหัส	60601166
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2566
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ศ.ดร.ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) เพื่อทำให้สายอากาศสามารถมีความยืดหยุ่นในการออกแบบของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง ที่มีข้อเสียในการออกแบบระนาบกราวนด์ด้านล่างที่ต้องมีขนาดคงที่ตลอดเวลาในการนำไปใช้งานหรือติดตั้ง ในสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางที่มีระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยวจะประกอบด้วยองค์ประกอบโมโนโพลพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยงมุม จำนวน 4 องค์ประกอบ เพื่อทำหน้าที่แปลงโพลาไรซ์เชิงเส้นเป็นโพลาไรซ์วงกลม และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว ในสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางที่มีระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ ประกอบด้วยองค์ประกอบของโมโนโพล พาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยงมุม จำนวน 4 องค์ประกอบและระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ โดยสายอากาศที่นำเสนอมีความแตกต่างกับสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางแบบดั้งเดิม รัศมีระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ด้านล่าง (R_g) ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางที่มีระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบ SA- และ DA-AMC สามารถเปลี่ยนแปลงขนาดได้ระหว่าง 18.4 - 188.4 mm และ 29.2 - 119.2 mm ตามลำดับ โดยไม่มีผลต่อความสามารถในการแพร่แพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ และอัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง นอกจากนี้ระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบ SA- และ DA-AMC ยังช่วยปรับปรุงอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ ($|S_{11}| \leq$ -10 dB) และอัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์ (AR ≤ 3 dB) ในขณะที่สามารถลดกระแสรั่วไหลบนสายนำสัญญาณ จากผลการทดสอบอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ ($|S_{11}|$) และอัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์ (AR) ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางที่มีระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบ SA-AMC ด้วยขนาดรัศมีระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์มีขนาดที่เหมาะสมที่ 18.4 mm มีอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์กว้าง 8.08% (5.34 - 5.79 GHz) และอัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์ 4.38% (5.36 - 5.60 GHz) ในขณะที่สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางที่มีระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบ DA-AMC ด้วยขนาดรัศมีระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ที่เหมาะสม คือ 29.2 mm มีอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์กว้าง 14.37% (5.10 - 5.89 GHz) และอัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์ 19.85% (4.90 - 5.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GHz) ความใหม่ของงานวิจัยนี้อยู่ที่การนำโครงสร้างระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบ SA- และ DA-AMC เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นในการออกแบบของระนาบกราวนด์สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางแบบดั้งเดิม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการออกแบบของโครงสร้างตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ (AMC) ทำให้นักพัฒนาสายอากาศสามารถออกแบบสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางได้อย่างยืดหยุ่นในการสร้างสายอากาศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Wideband Omnidirectional Circularly Polarized Monopole Antennas on Artificial Magnetic Conductor Ground Plane
Student	Pisit Janpangngern
Student ID.	60601166
Degree	Doctor of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2023
Thesis Advisor	Prof. Dr. Chuwong Phongcharoenpanich

ABSTRACT

This thesis proposes omnidirectional circularly polarized monopole antennas (OCPA) with single-annular (SA-AMC) and dual-annular artificial magnetic conductor (DA-AMC) ground planes to circumvent the design rigidity of the conventional OCPA whose inherent shortcoming is fixed bottom ground plane size. The OCPA with SA-AMC ground plane consists of a monopole element, four diagonally adjoined parasitic elements to covert linear to circular polarizations, and an SA-AMC ground plane. The OCPA with DA-AMC ground plane consists of a monopole element, four diagonally adjoined parasitic elements, and a DA-AMC ground plane. As opposed to the conventional OCPA, the bottom ground plane radius (R_g) of the OCPA with SA- and DA-AMC ground planes can be varied between 18.4 – 188.4 mm; and 29.2 – 119.2 mm, respectively, without affecting the omnidirectionality and impedance and AR bandwidths of the OCPA. Furthermore, the SA- and DA-AMC ground planes effectively improve the impedance ($|S_{11}| \leq -10$ dB) and AR bandwidths (AR ≤ 3 dB) while reducing the leakage current on the coaxial feeder cable. The measured $|S_{11}|$ and AR bandwidths of the OCPA with SA-AMC ground plane, given the optimal Rg of 18.4 mm, are 8.08% (5.34 – 5.79 GHz) and 4.38% (5.36 – 5.60 GHz), while those of the OCPA with DA-AMC ground plane, given the optimal Rg of 29.2 mm, are 14.37% (5.10 – 5.89 GHz) and 19.85% (4.90 – 5.98 GHz). Essentially, the novelty of this research lies in the use of SA- and DA-AMC structures to circumvent the design rigidity of the conventional OCPA. Specifically, the integration of the AMC structures provides the antenna developer with design flexibility in the fabrication of OCPA.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ประสบความสำเร็จได้ด้วยดีด้วยคำชี้แนะ คำปรึกษา แนวทางการศึกษาและวิจัย จากอาจารย์ปรึกษา ศ.ดร.ชูวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นผู้ให้ความช่วยเหลือ ประสานงาน และช่วยแก้ปัญหาในโจทย์การวิจัย ดูแลในด้านการศึกษาและงานวิจัยทั้งในเวลาและนอกเวลาราชการ แม้กระทั่งงบประมาณบางส่วนที่จำเป็นในการดำรงชีวิตในขณะทำการศึกษาอยู่ ตลอดจนการประสิทธิ์ประสาท วิชา องค์ความรู้อันทรงคุณค่าจากประสบการณ์ต่าง ๆ ทั้งในและนอกห้องเรียน รวมทั้งห้องปฏิบัติการ จนนำมาสู่การพัฒนาศักยภาพเพื่อให้ผลิตงานวิจัยที่มีคุณค่า ตลอดจนการนำความรู้มาพัฒนาต่อยอดงานวิจัยของตนเองเพื่อใช้ในการทำงานวิจัยในระดับปริญญาเอกให้สำเร็จลุล่วงและนำมาสู่ความสำเร็จในชีวิตการศึกษาของข้าพเจ้า ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

นอกจากนี้ต้องขอบคุณแหล่งทุนวิจัยสนับสนุนโครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก (คปก.) รุ่นที่ 20 รหัสทุน PHD/0170/2560 ที่สนับสนุนงบประมาณการวิจัย ตลอดจนค่าตีพิมพ์วารสารงานวิจัยในระดับนานาชาติ และค่าครองชีพในการศึกษาตลอดมา

นอกจากนี้ต้องขอขอบคุณอาจารย์ต่างประเทศ Prof. Dr. TAKESHI FUKUSAKO และ Asst. Prof. Dr. RYUJI KUSE ที่ให้สนับสนุนองค์ความรู้ใหม่ๆ ให้คำแนะนำในงานวิจัย ตลอดถึงกระบวนการช่วยแก้ไขอธิบายงานวิจัยให้ข้าพเจ้าได้เข้าใจเทคนิคเชิงลึก และพัฒนาองค์ความรู้ได้เพิ่มมากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณสมาชิกในห้องปฏิบัติการสายอากาศและแม่เหล็กไฟฟ้าประยุกต์ (Antenna and Electromagnetic Applications Research Laboratory : AERIAL) ทุกท่าน ทั้งพี่ ๆ และน้อง ๆ ที่คอยช่วยเหลือ สนับสนุนและเสนอความคิดต่าง ๆ อีกทั้งช่วยอภิปรายงานวิจัยของข้าพเจ้าในส่วนที่บกพร่อง ให้ทำการปรุงปรุงให้มีความน่าสนใจเพิ่มมากยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่ชายที่เคารพ น้องสาว น้องชาย และว่าที่ภรรยาของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกเรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ซึ่งคุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์นี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

พิสิษฐ์ จันแปงเงิน

พระจอมเกล้าเจ้าคุณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ III
กิตติกรรมประกาศ IV
สารบัญ V
สารบัญตาราง VIII
สารบัญรูปภาพ IX
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการศึกษา 3
1.3 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ 4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6
2.1 สายอากาศไมโครสตริป 6
2.1.1 ทฤษฎีแบบจำลองโพรง (Cavity Model) 9
2.1.2 สายอากาศแถวลำดับและโครงข่ายการป้อนสัญญาณ (Antenna Arrays and Feed Networks) 13
2.2 การโพลาไรซ์ (Polarization) 16
2.2.1 โพลาไรซ์เชิงเส้น (Linear Polarization) 17
2.2.2 โพลาไรซ์วงกลม (Circular Polarization) 18
2.2.3 โพลาไรซ์วงรี (Elliptical Polarization) 18
2.3 คลื่นพื้นผิว (Surface Waves) 21
2.4 พื้นผิวอิมพีแดนซ์สูง (High-impedance Surfaces) 22
2.5 อภิวัสดุ (Metamaterial) 23
2.6 โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Band Gap) 26
2.7 พื้นผิวเลือกความถี่ (Frequency Selective Surface) 28
2.8 ตัวนำแม่เหล็กเทียม (Artificial Magnetic Conductor) 29
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีมาก่อน 29
2.9.1 งานวิจัยสายอากาศโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางที่มีมาก่อน 30
2.10 สรุป 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การออกแบบและการจำลองสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง 52
3.1 บทนำ 52
3.2 การออกแบบสายอากาศโมโนโพล 52
3.2.1 การศึกษาผลกระทบและปัญหาของสายอากาศโมโนโพล 54
3.3 วิวัฒนาการของโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) 57
3.3.1 การพัฒนาของสายอากาศ 57
3.3.2 สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) 61
3.4 การศึกษาพารามิเตอร์ 63
3.4.1 พาราซิติกสี่เหลี่ยม w_1 และ w_2 (ความกว้าง × ยาว) 63
3.4.2 รัศมีโพรบโมโนโพล R_{p} 64
3.4.3 ความสูงของโพรบโมโนโพล L_{p} 65
3.4.4 รัศมีพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยง R_{pb} 67
3.4.5 ความสูงจากระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ถึงกึ่งกลางพาราซิติก h_{pb} 68
3.4.6 ความกว้างวงขอบพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยง S_{pb} 69
3.4.7 รัศมีกราวนด์บน R_{gt} 70
3.4.8 รัศมีกราวนด์ล่าง R_{g} ของสายอากาศโครงสร้าง A 72
3.5 สรุป 74
บทที่ 4 การออกแบบและการจำลองสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ 76
4.1 บทนำ 76
4.2 การออกแบบระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ 77
4.2.1 ระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) 77
4.2.2 ระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) 80
4.2.3 สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ..82
4.2.4 สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) 89
4.3 การศึกษาพารามิเตอร์ 97
4.3.1 พาราซิติกสี่เหลี่ยม w_1 และ w_2 (กว้าง × ยาว) 97
4.3.2 รัศมีโพรบโมโนโพล R_{p} 98
4.3.3 ความสูงของโพรบโมโนโพล L_{p} 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.4 รัศมีพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยง R_{pb} 101
4.3.5 ความสูงจากระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ถึงกึ่งกลางพาราซิติก h_{pb} 102
4.3.6 ความกว้างวงขอบพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยง S_{pb} 104
4.3.7 รัศมีกราวนด์บน R_{gt} 105
4.3.8 รัศมีกราวนด์ล่าง R_g ของสายอากาศโครงสร้าง B 106
4.3.9 รัศมีกราวนด์ล่าง R_g ของสายอากาศโครงสร้าง C 109
4.4 สรุป 111
บทที่ 5 ผลการจำลองและทดสอบสายอากาศ 113
5.1 บทนำ 113
5.2 สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และแบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) 113
5.3 ขั้นตอนและผลการทดสอบสายอากาศ 116
5.3.1 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน $|S_{11}|$ ของสายอากาศต้นแบบ 116
5.3.2 การทดสอบอัตราส่วนแกนของสายอากาศ 121
5.3.3 การทดสอบอัตราขยายและประสิทธิภาพของสายอากาศ 128
5.3.4 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ 130
5.4 การเปรียบเทียบสมรรถณะของสายอากาศ 137
5.5 การประยุกต์ใช้งาน 140
5.6 สรุป 141
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 143
6.1 สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ 144
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางพัฒนา 146
เอกสารอ้างอิง 148
ประวัติผู้เขียน 152

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ค่าทางไฟฟ้าของอภิวัสดุ 24
ตารางที่ 2.2 สมรรถนะของสายอากาศโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง ของงานวิจัยที่มีมาก่อน 50
ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์และขนาดที่เหมาะสมของสายอากาศโมโนโพล 54
ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์และขนาดที่เหมาะสมของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลม แพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง 62
ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์และขนาดของระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบ รูปวงแหวนเดี่ยว 78
ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์และขนาดของระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบ รูปวงแหวนคู่ 80
ตารางที่ 4.3 พารามิเตอร์และขนาดของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลม แพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็ก ประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) 84
ตารางที่ 4.4 พารามิเตอร์และขนาดของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่น รอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) 90
ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบสมรรถนะของสายอากาศโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่น รอบทิศทางแบบทั่วไปกับงานวิจัยที่มีมาก่อน 138
ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบสมรรถนะของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจาย คลื่นรอบทิศทางของแต่ละโครงสร้างที่นำเสนอ 140

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริป 6
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตแพตช์กระจายสัญญาณของสายอากาศไมโครสตริป 7
รูปที่ 2.3 วิธีการนำสัญญาณของสายอากาศไมโครสตริป 7
รูปที่ 2.4 วงจรสมมูลย์การกระตุ้นของสายอากาศไมโครสตริปในแบบต่างๆ 9
รูปที่ 2.5 กระจายตัวของประจุไฟฟ้าบนแพตช์กระจายสัญญาณ 9
รูปที่ 2.6 โครงสร้างของแพตช์กระจายสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า 10
รูปที่ 2.7 โหมดของสนามไฟฟ้าภายในโพรง 13
รูปที่ 2.8 โครงข่ายการป้อนสัญญาณที่หมุนวนตามลำดับ
(Sequentially-rotated Feed Network) 14
รูปที่ 2.9 หม้อแปลงเศษหนึ่งส่วนสี่ของความยาวคลื่น 15
รูปที่ 2.10 โครงข่ายการป้อนสัญญาณที่หมุนวนตามลำดับ 16
รูปที่ 2.11 คลื่นระนาบของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก 17
รูปที่ 2.12 การโพลาไรซ์วงรีในทิศทางการแพร่กระจายคลื่น +z 20
รูปที่ 2.13 คลื่นพื้นผิวบนวัสดุประเภทโลหะ 21
รูปที่ 2.14 คลื่นพื้นผิวของโลหะและคลื่นพื้นผิวอิมพีแดนซ์สูง 22
รูปที่ 2.15 โครงสร้างพื้นผิวอิมพีแดนซ์สูงบนวัสดุฐานรอง 23
รูปที่ 2.16 วงจรสมมูลของพื้นผิวอิมพีแดนซ์สูง 23
รูปที่ 2.17 ตัวอย่างโครงสร้างอภิวัสดุ 24
รูปที่ 2.18 แผนผังประเภทของอภิวัสดุ 25
รูปที่ 2.19 ตัวอย่างโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า 26
รูปที่ 2.20 ประเภทของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า 27
รูปที่ 2.21 ตัวกรองความถี่ 28
รูปที่ 2.22 โครงสร้างตัวสะท้อน 29
รูปที่ 2.23 โครงสร้างสายอากาศแพตช์โพลาไรซ์วงกลมย่านความถี่กว้าง
และสัณฐานต่ำแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง [1] 31
รูปที่ 2.24 สมรรถนะของสายอากาศแพตช์โพลาไรซ์วงกลมย่านความถี่กว้าง
และสัณฐานต่ำแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางจากเอกสารอ้างอิงที่ [1] 31
รูปที่ 2.25 โครงสร้างสายอากาศไดอิเล็กตริกเรโซเนเตอร์โพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่น
รอบทิศทางโดยประยุกต์ใช้งานร่วมกับโหลดด้านบนแบบอัลฟอร์ดลูป
สำหรับการออกแบบความหลากหลายของแบบรูปการณ์แพร่กระจายคลื่น
จากเอกสารอ้างอิงที่ [3] 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.26 สมรรถนะของสายอากาศโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางที่มีขนาดกะทัดรัดโดยใช้สายอากาศไดโพลแบบโค้งงอร่วมกับบาลันจากเอกสารอ้างอิงที่ [11]...37
รูปที่ 2.27 สมรรถนะของสายอากาศโพลาไรซ์วงกลมร่วมกับระบบควบคุมทิศทางที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นคล้ายไดโพลจากเอกสารอ้างอิงที่ [12] 39
รูปที่ 2.28 สมรรถนะของสายอากาศไดอิเล็กทริกเรโซเนเตอร์ทรงสี่เหลี่ยมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางที่มีการโพลาไรซ์เชิงเส้นและวงกลมจากเอกสารอ้างอิงที่ [13] 41
รูปที่ 2.29 สมรรถนะสายอากาศไดอิเล็กตริกเรโซเนเตอร์แพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางร่วมกับระนาบป้อนสัญญาณสำหรับการออกแบบที่แตกต่างกันของโพลาไรซ์วงกลมจากเอกสารอ้างอิงที่ [14] 45
รูปที่ 2.30 สมรรถนะของสายอากาศแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางโพลาไรซ์วงกลมร่วมกับแกนไดโพลและพาราซิติกที่เชื่อมติดกันในแนวทแยงจากเอกสารอ้างอิงที่ [23] 48
รูปที่ 3.1 โครงสร้างและพารามิเตอร์สายอากาศโมโนโพล 53
รูปที่ 3.2 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์เมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ R_{p} ของรัศมีโพรบโมโนโพล 55
รูปที่ 3.3 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์เมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ L_{p} ของความสูงโพรบโมโนโพล ...55
รูปที่ 3.4 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์เมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ R_{g} ของรัศมีระนาบกราวนด์ 56
รูปที่ 3.5 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ R_{g} ของรัศมีระนาบกราวนด์ 57
รูปที่ 3.6 วิวัฒนาการของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) 58
รูปที่ 3.7 ผลการจำลองคุณลักษณะของ Antenna I II และ III 59
รูปที่ 3.8 โครงสร้างและพารามิเตอร์สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) 61
รูปที่ 3.9 ผลการจำลองปรับขนาดพารามิเตอร์ w_1 และ w_2 ของพาราซิติกสี่เหลี่ยม 64
รูปที่ 3.10 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ R_{p} ของรัศมีโพรบโมโนโพล 65
รูปที่ 3.11 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ L_{p} ของความสูงโพรบโมโนโพล 66
รูปที่ 3.12 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ R_{pb} ของพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยง 67
รูปที่ 3.13 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ h_{pb} ของตำแหน่งความสูงพาราซิติกสี่เหลี่ยมา 69
รูปที่ 3.14 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ s_{pb} ของความกว้างวงขอบพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยง 70
รูปที่ 3.15 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ R_{gt} ของรัศมีระนาบกราวนด์บน 71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.16 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ R_g ของรัศมีระนาบกราวนด์ล่างโครงสร้าง A........72
รูปที่ 3.17 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ R_g ของรัศมีระนาบกราวนด์ล่างโครงสร้าง A........74
รูปที่ 4.1 โครงสร้างระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC).....78
รูปที่ 4.2 การจำลองโมเดลเฟสการสะท้อนของระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC)........79
รูปที่ 4.3 ผลการจำลองเฟสการสะท้อนของระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC)........79
รูปที่ 4.4 โครงสร้างระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC)..........80
รูปที่ 4.5 การจำลองโมเดลเฟสการสะท้อนของระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC)บ........81
รูปที่ 4.6 ผลการจำลองเฟสการสะท้อนของระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC)........82
รูปที่ 4.7 โครงสร้างสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ที่นำเสนอ........83
รูปที่ 4.8 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC)........85
รูปที่ 4.9 ผลการจำลองอัตราส่วนแกนของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC)........86
รูปที่ 4.10 ผลการจำลองอัตราขยายของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC)........86
รูปที่ 4.11 ผลการจำลองประสิทธิภาพของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC)ฉ........87
รูปที่ 4.12 ผลการจำลองแบบรูปการณ์แพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ที่ความถี่ 5.5 GHz........87
รูปที่ 4.13 กระแสเชิงพื้นผิวสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ที่ความถี่ 5.5 GHz........88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.14 โครงสร้างสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ที่นำเสนอ 89
รูปที่ 4.15 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) 91
รูปที่ 4.16 ผลการจำลองอัตราส่วนแกนของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) 92
รูปที่ 4.17 ผลการจำลองอัตราขยายของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) 93
รูปที่ 4.18 ผลการจำลองประสิทธิภาพของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC)) 93
รูปที่ 4.19 ผลการจำลองแบบรูปการณ์แพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ที่ความถี่ 5.5 GHz 94
รูปที่ 4.20 กระแสเชิงพื้นผิวของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ที่ความถี่ 5.5 GHz 95
รูปที่ 4.21 กระแสเชิงพื้นผิวสายอากาศโครงสร้าง A B และ C 96
รูปที่ 4.22 ผลการจำลองปรับขนาดพารามิเตอร์ w_1 และ w_2 ของพาราซิติกสี่เหลี่ยม 98
รูปที่ 4.23 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ R_{p} ของรัศมีโพรบโมโนโพล 99
รูปที่ 4.24 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ L_{p} ของความสูงโพรบโมโนโพล 100
รูปที่ 4.25 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ R_{pb} ของพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยง 102
รูปที่ 4.26 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ h_{pb} ของตำแหน่งความสูงพาราซิติกสี่เหลี่ยม 103
รูปที่ 4.27 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ s_{pb} ของความกว้างวงขอบพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยง 104
รูปที่ 4.28 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ R_{gt} ของรัศมีระนาบกราวนด์บน 105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.29 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์เมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ R_g ของรัศมีระนาบกราวนด์ล่างโครงสร้าง B 106
รูปที่ 4.30 ผลการจำลองอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ R_g ของรัศมีระนาบกราวนด์ล่างโครงสร้าง B 107
รูปที่ 4.31 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ R_g ของรัศมีระนาบกราวนด์ล่างโครงสร้าง B 108
รูปที่ 4.32 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ R_g ของรัศมีระนาบกราวนด์ล่างโครงสร้าง C 109
รูปที่ 4.33 ผลการจำลองอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ R_g ของรัศมีระนาบกราวนด์ล่างโครงสร้าง C 110
รูปที่ 4.34 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ R_g ของรัศมีระนาบกราวนด์ล่างโครงสร้าง C 111
รูปที่ 5.1 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ที่นำเสนอ 114
รูปที่ 5.2 สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ต้นแบบ 115
รูปที่ 5.3 สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ต้นแบบ 115
รูปที่ 5.4 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน $|S_{11}|$ ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) 117
รูปที่ 5.5 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน $|S_{11}|$ ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) 117
รูปที่ 5.6 การเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบ $|S_{11}|$ ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) 118
รูปที่ 5.7 การเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบ $|S_{11}|$ ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) 118
รูปที่ 5.8 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน $|S_{11}|$ ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 119.2 mm และ 188.4 mm) 119

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.9 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน $|S_{11}|$ ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 119.2 mm) 119

รูปที่ 5.10 การเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบ $|S_{11}|$ ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 119.2 mm และ 188.4 mm) 120

รูปที่ 5.11 การเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบ $|S_{11}|$ ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 119.2 mm) 121

รูปที่ 5.12 การทดสอบอัตราส่วนแกนของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ต้นแบบ 122

รูปที่ 5.13 การทดสอบอัตราส่วนแกนของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ต้นแบบ 123

รูปที่ 5.14 การเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบอัตราส่วนแกนของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ต้นแบบ 124

รูปที่ 5.15 การเปรียบเทียบผลการจำลองและผลการทดสอบของอัตราส่วนแกนของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ต้นแบบ 125

รูปที่ 5.16 การทดสอบอัตราส่วนแกนของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 119.2 mm และ 188.4 mm) 126

รูปที่ 5.17 การทดสอบอัตราส่วนแกนของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 119.2 mm) 126

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.18 การเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบอัตราส่วนแกนของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ต้นแบบ ที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 119.2 mm และ 188.4 mm) .. 127

รูปที่ 5.19 การเปรียบเทียบผลการจำลองและผลการทดสอบของอัตราส่วนแกนของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ต้นแบบที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 119.2 mm) 128

รูปที่ 5.20 การเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบอตราขยายของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ต้นแบบ 129

รูปที่ 5.21 รูปที่ 5.21 การเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบอัตราขยายของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ต้นแบบ.... 130

รูปที่ 5.22 การทดสอบแบบรูปการณ์แพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ต้นแบบ.... 131

รูปที่ 5.23 การทดสอบแบบรูปการณ์แพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ต้นแบบ 131

รูปที่ 5.24 ผลการจำลองและผลการทดสอบแบบรูปการณ์แพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ต้นแบบ ที่ความถี่ 5.5 GHz 132

รูปที่ 5.25 ผลการจำลองและผลการทดสอบแบบรูปการณ์แพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ต้นแบบที่ความถี่ 5.5 GHz.... 133

รูปที่ 5.26 การทดสอบแบบรูปการณ์แพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ต้นแบบที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 119.2 mm และ 188.4 mm) 134

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.27 การทดสอบแบบรูปการณ์แพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ต้นแบบที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 119.2 mm) 134

รูปที่ 5.28 ผลการจำลองและผลการทดสอบแบบรูปการณ์แพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ต้นแบบที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (Rg = 119.2 mm และ 188.4 mm) ที่ความถี่ 5.5 GHz 135

รูปที่ 5.29 ผลการจำลองและผลการทดสอบแบบรูปการณ์แพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ต้นแบบที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 119.2 mm) ที่ความถี่ 5.5 GHz 137

รูปที่ 5.30 ระบบการสื่อสารเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย 140

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (Omnidirectional Circularly Polarized Antennas: OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) เพื่อทำให้สายอากาศสามารถมีความยืดหยุ่นในการออกแบบระนาบกราวนด์ด้านล่างของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง ที่มีข้อเสียในการออกแบบระนาบกราวนด์ด้านล่างที่ต้องมีขนาดคงที่ตลอดเวลาในการนำไปใช้งานหรือติดตั้ง ทั้งนี้การนำระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้ยังช่วยเพิ่มความกว้างช่วงความถี่ของอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ และอัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์

ความใหม่ในการออกแบบสายอากาศที่นำเสนอนี้คือการนำโครงสร้างระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบ SA-AMC และ DA-AMC มาประยุกต์ใช้และออกแบบร่วมกับสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นในการออกแบบของระนาบกราวนด์สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางแบบดั้งเดิม เพิ่มความกว้างช่วงความถี่ของอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ และอัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการออกแบบของโครงสร้างตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ (AMC) ทำให้นักพัฒนาสายอากาศสามารถออกแบบสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางได้อย่างยืดหยุ่นในการสร้างสายอากาศในอนาคตได้ โดยจะดำเนินการนำเสนอต่อไป

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

สายอากาศแบบโพลาไรซ์วงกลม (CP) นั้นแตกต่างจากสายอากาศแบบโพลาไรซ์เชิงเส้น (LP) ซึ่งสายอากาศโพลาไรซ์แบบวงกลม (CP) นั้นจะมีคุณสมบัติที่ทนต่อการจางหายของสัญญาณแบบหลากหลายเส้นทางและลดการสูญเสียของโพลาไรซ์ เนื่องจากการสูญเสียของโพลาไรซ์ที่ไม่ตรงกันน้อยกว่าโพลาไรซ์เชิงเส้น ด้วยเหตุนี้ สายอากาศโพลาไรซ์แบบวงกลมจึงถูกใช้งานอย่างแพร่หลายในอุปกรณ์สื่อสารไร้สาย ด้วยการกำเนิดของอุปกรณ์สื่อสารไร้สายขั้นสูงในปัจจุบันและในอนาคตสายอากาศโพลาไรซ์แบบวงกลมที่มีการแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง จึงมีความจำเป็นในการใช้งานมากขึ้นในอนาคตสำหรับการใช้งานในอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง (IoT) ระบบขนส่ง (Intelligent Transport Systems : ITS) การสื่อสารระหว่างรถยนต์กับรถยนต์ (Vehicle to Vehicle : V2V) รวมถึงเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area Network : WLAN) เครือข่ายเซ็นเซอร์ดาวเทียมเคลื่อนที่ และเทคโนโลยีสื่อสาร 5G การศึกษาและงานวิจัยจำนวนมากมุ่งเน้นไปที่สายอากาศโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) [1] – [23]

สายอากาศโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางโดยทั่วไปจะประกอบด้วยองค์ประกอบการแพร่กระจายคลื่นในแนวนอนที่วางอยู่บนระนาบกราวนด์และองค์ประกอบแนวตั้งตามเอกสารอ้างอิง [1], [4] – [12], [14] – [20] และความแตกต่างของเฟสระหว่างกระแสไฟฟ้าขององค์ประกอบแนวนอน (เช่น องค์ประกอบแนวนอน) และองค์ประกอบแนวตั้งจะต้องเป็น 90° เพื่อสร้างโพลาไรซ์วงกลม การศึกษาของงานวิจัยในก่อนหน้านี้แสดงให้เห็นว่าขนาดหรือรัศมีของระนาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราวนด์มีผลอย่างมากต่อองค์ประกอบแนวนอนของโพลาไรซ์วงกลมตามเอกสารอ้างอิง [1], [4] – [12], [14] – [20] โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเอกสารอ้างอิงที่ [2], [3], [13], [21] – [23] นั้นมีการนำเสนอสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางที่มีองค์ประกอบคล้ายพาราซิติกโพ-ลาไรเซอร์ทำหน้าที่เพื่อแปลงโพลาไรซ์เชิงเส้น (LP) เป็นโพลาไรซ์วงกลม (CP) อย่างไรก็ตาม การศึกษาวิจัยที่มีอยู่นั้นได้ให้ความสำคัญเพียงเล็กน้อยต่อผลกระทบของขนาดหรือรัศมีของระนาบกราวนด์ที่แปรผันต่อค่าอิมพีแดนซ์และแบนด์วิดท์ของอัตราส่วนแกน แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นและกระแสไฟรั่วไหลของสายอากาศ

ดังนั้นขนาดระนาบกราวนด์จะมีบทบาทสำคัญในการออกแบบและประสิทธิภาพของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางในเอกสารอ้างอิงที่ [1], [3], [15] ขนาดระนาบกราวนด์ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางที่มีขนาดใหญ่มากเกินไปจะส่งผลให้เกิดโพลโพลาไรซ์แบบไม่เป็นวงกลมหรือการแพร่กระจายคลื่นโพลโพลาไรซ์วงกลมแบบไม่รอบตัว (ลำคลื่นเกิดการยกขึ้น) ในขณะเดียวกัน หากขนาดระนาบกราวนด์มีขนาดที่เล็กเกินไป จำเป็นต้องใช้บาลันภายนอกเพื่อลดกระแสไฟรั่วบนสายโคแอกเชียล แต่สายอากาศสามารถแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางได้ ดังเอกสารอ้างอิงที่ [11] [14] [15]

อย่างไรก็ตาม เท่าที่ผู้เขียนได้สืบค้นข้อมูลทำให้ทราบได้ว่ามีความพยายามศึกษาอย่างจำกัดและมีข้อมูลน้อยมากในการแก้ไขข้อบกพร่องของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางแบบทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเอกสารสารอ้างอิงที่ [16] สายอากาศแพตช์วงกลมโพลาไรซ์วงกลมสัณฐานต่ำที่มีโหมดโมโนโพลาร์สองโหมดที่เชื่อมต่อกับระนาบกราวด์ที่ปรับเปลี่ยนโดยจุดเชื่อมต่อกับระนาบกราวด์ สามารถแพร่กระจายคลื่นโพลาไรซ์วงกลมรอบทิศทางได้ แต่ล้มเหลวในการลดค่ากระแสไฟรั่วบนสายโคแอกเชียล ในเอกสารสารอ้างอิงที่ [17] สายอากาศแพตช์ที่มีช่องว่าง และ จุดเชื่อมต่อระนาบกราวด์แพร่กระจายคลื่นโพลาไรซ์วงกลมรอบทิศทางแต่มีอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์ที่แคบ

ในงานวิจัยนี้มีการใช้โครงสร้างตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ (AMC) สองโครงสร้างเพื่อหลีกเลี่ยงข้อจำกัดในการออกแบบของขนาดระนาบกราวนด์ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางแบบทั่วไป ในขณะที่ปรับปรุงอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์และยังสามารถลดกระแสไฟรั่วบนโครงสร้างสายอากาศและสายนำสัญญาณได้ โครงสร้างตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ที่นำเสนอประกอบด้วยโครงสร้างตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และโครงสร้างตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบวงแหวนคู่ (DA-AMC) ซึ่งใช้เป็นระนาบกราวนด์ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง สำหรับตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) มีวงแหวนจำนวนหนึ่งวงรอบที่มีหน่วยเซลล์รูปพัดเรียงเป็นวงกลมจำนวน 8 หน่วยเซลล์โดยไม่มีการเชื่อมต่อหน่วยเซลล์กับระนาบกราวนด์ ในส่วนระนาบกราวด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ DA-AMC มีวงแหวนสองวงรอบ (วงแหวนด้านในและด้านนอก) วงแหวนด้านในและด้านนอกของระนาบกราวด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่มีหน่วยเซลล์รูปพัดเรียงเป็นวงกลม จำนวน 8 และ 15 หน่วยเซลล์ โดยไม่มีการเชื่อมต่อหน่วยเซลล์กับระนาบกราวนด์ สำหรับเทคโนโลยีโครงสร้างตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ (AMC) ถูกนำมาใช้ในการพัฒนาสายอากาศเพื่อปรับปรุงอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์ให้กว้างมากยิ่งขึ้น การออกแบบมีขนาดสัณฐานต่ำ และการปรับปรุงการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ ดังเอกสารอ้างอิง [24] – [31] ซึ่งสายอากาศที่นำเสนอจะมีความแตกต่างจากในเอกสารอ้างอิงที่ [31] โดยโครงสร้างตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม่เหล็กประดิษฐ์ (AMC) รูปวงแหวนที่คล้ายกันต้องมีจุดเชื่อมต่อหน่วยเซลล์กับระนาบกราวนด์ในบริเวณจุดกึ่งกลางหน่วยเซลล์ ระนาบภาคกราวด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบวงแหวนเดี่ยว SA-AMC และระนาบภาคกราวด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบวงแหวนคู่ DA-AMC ที่นำเสนอจะไม่มีการเชื่อมต่อหน่วยเซลล์กับระนาบกราวนด์

โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานวิจัยที่นำเสนอนี้ สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) สำหรับย่านความถี่ 5.5 GHz ระนาบกราวด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว SA-AMC และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ DA-AMC สามารถปรับปรุงอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ ($|S_{11}| \leq -10$ dB) และและอัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์ (AR ≤ 3 dB) ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง ในขณะที่สามารถลดกระแสไฟรั่วไหลบนระนาบกราวด์ด้านล่างและสายป้อนสัญญาณโคแอกเชียล กระแสไฟรั่วที่ลดลงอาจเกิดจากพื้นผิวตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ที่มีค่าอิมพีแดนซ์สูงบนโครงสร้างระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว SA-AMC และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ DA-AMC ซึ่งแตกต่างจากสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางแบบทั่วไปที่ประสบปัญหาด้านการออกแบบที่เข้มงวด (เช่น ขนาดระนาบกราวนด์ต้องคงที่ R_g = 39.2 mm) การนำเทคนิคระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว SA-AMC หรือระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ DA-AMC เข้ากับสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางช่วยให้นักพัฒนาสายอากาศมีความยืดหยุ่นในการออกแบบ (เช่น ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ AMC ที่ปรับได้ขนาดระนาบกราวนด์ในช่วง 18.4 – 188.4 mm สำหรับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว SA-AMC และ 29.2 – 119.2 mm สำหรับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ DA-AMC)

ยิ่งไปกว่านั้น ในงานวิจัยนี้สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางที่มีระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว SA-AMC และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ DA-AMC ได้ทำการทดลองติดตั้งกับฐานแผ่นตัวนำที่เป็นโลหะอะลูมิเนียมที่มีรัศมีต่างกันที่ 119.2 และ 188.4 mm เพื่อตรวจสอบผลกระทบของฐานการติดตั้งที่มีผลต่อคุณลักษณะของสายอากาศ เช่น แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่สามารถแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางหรือไม่ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง โดยคำนึงถึงขนาดของฐานการติดตั้งบริเวณด้านล่างสายอากาศ ซึ่งรัศมีระนาบกราวนด์มีขนาด (R_g) ที่ 18.4 mm และ 29.2 mm สำหรับโครงสร้างระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว SA-AMC และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ DA-AMC ตามลำดับ

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการวิเคราะห์ ออกแบบ ประยุกต์ใช้ระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์รูปพัดที่มีระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ร่วมกับสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง ที่ประกอบไปด้วยสายอากาศโมโนโพล และพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยงมุม จำนวน 4 องค์ประกอบ วางรอบสายอากาศโมโนโพล และทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างชิ้นงานต้นแบบ และทดสอบเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการจำลองและการทดสอบ รวมไปถึงผลกระทบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยสายอากาศที่ทำการศึกษานั้นจะเป็นสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ซึ่งออกแบบเพื่อให้สายอากาศสามารถมีความยืดหยุ่นในการออกแบบระนาบกราวนด์ของสายอากาศโมโนโพล และเพิ่มแถบความกว้างความถี่ของอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ ($|S_{11}| \leq -10$ dB) และอัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์ (AR $\leq$ 3 dB) รวมทั้งลดกระแสรั่วไหลบนสายนำสัญญาณของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางและครอบคลุมย่านความถี่ WLAN (5.5 GHz)

1.3 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็นส่วน ๆ โดยแบ่งเนื้อหาได้ทั้งหมด 6 บท ดังต่อไปนี้ บทที่ 1 กล่าวถึงภาพรวมของสายอากาศ วิธีในการออกแบบสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) และความแปลกใหม่ในการออกแบบสายอากาศเพื่อให้เป็นไปตามตามวัตถุประสงค์และขอบเขตการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศที่ใช้ในการศึกษาและการออกแบบซึ่งในที่นี้คือสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) แบบต่างๆ ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการประยุกต์ใช้กับการออกแบบสายอากาศเพื่อให้มีประสิทธิภาพตามที่ต้องการ จากนั้นได้กล่าวถึงการเปรียบเทียบงานวิจัยของสายอากาศที่เกี่ยวข้องที่มีมาก่อน

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบและการจำลองสายอากาศโมโนโพลและสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ที่มีองค์ประกอบสายอากาศโมโนโพลร่วมกับพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยงมุม จำนวน 4 องค์ประกอบ วางรอบสายอากาศโมโนโพล โดยเริ่มต้นจากการออกแบบ ศึกษาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตลอดจนจำลองโครงสร้างและการออกแบบเพื่อนำไปสู่โครงสร้างสายอากาศที่นำเสนอ ซึ่งในที่นี้คือโครงสร้างสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ก่อนนำไปร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์

บทที่ 4 กล่าวถึงการออกแบบและการจำลองสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) โดยเริ่มจากศึกษาและออกแบบระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ตามด้วยระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) และสุดท้ายศึกษาการออกแบบสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ตามลำดับ เพื่อให้ได้สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางแถบความถี่กว้างและทำให้สายอากาศสามารถมีความยืดหยุ่นในการออกแบบขนาดรัศมีของระนาบกราวนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 กล่าวถึงการทดสอบสายอากาศและเปรียบเทียบผลลัพธ์ในบทก่อนหน้านี้เพื่อเป็นการยืนยันประสิทธิภาพต่าง ๆ ของสายอากาศ และสามารถพิสูจน์ได้ว่านำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง

บทที่ 6 กล่าวถึงข้อสรุปผลการวิจัยโดยภาพรวมของวิทยานิพนธ์ตลอดจนข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาสายอากาศเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในด้านต่าง ๆ ต่อไปในงานวิจัยอนาคต

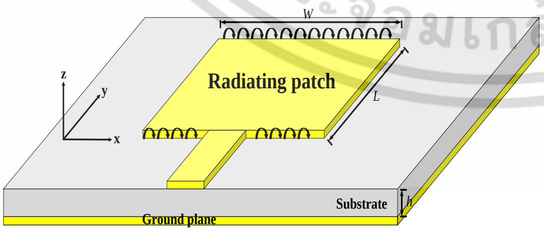
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

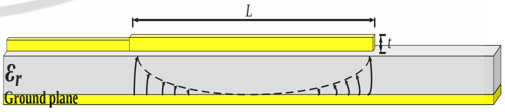
ในบทนี้เกี่ยวกับหลักการและทฤษฎีพื้นฐานของสายอากาศไมโครสตริป วิธีการนำสัญญาณในรูปแบบต่าง ๆ สายอากาศแถวลำดับและโครงข่ายการป้อนสัญญาณที่หมุนวนตามลำดับ การโพลาไรซ์ของสายอากาศ การวิเคราะห์คลื่นพื้นผิว พื้นผิวอิมพีแดนซ์สูง อภิวัสดุ รวมไปถึงโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า โครงสร้างพื้นผิวเลือกความถี่ โครงสร้างตัวนำแม่เหล็กเทียม และศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีมาก่อน

2.1 สายอากาศไมโครสตริป

สายอากาศไมโครสตริปมีโครงสร้างพื้นฐานที่ประกอบไปด้วยแพตช์ที่ทำหน้าที่กระจายสัญญาณและสายนำสัญญาณซึ่งทำหน้าที่ป้อนสัญญาณขาเข้าที่วางตัวอยู่บนวัสดุฐานรองที่มีค่าไดอิเล็กตริก นอกจากนี้อีกด้านคือพื้นหลังที่เรียกว่าระนาบกราวนด์ซึ่งทำหน้าที่สะท้อนสัญญาณแสดงได้ดังรูปที่ 2.1(ก) โดยทั่วไปแล้วแพตช์กระจายสัญญาณมักจะทำมาจากวัสดุที่นำไฟฟ้าได้ดี เช่น ทองแดง ทองคำ เป็นต้น ซึ่งมีความหนาน้อยกว่าความยาวคลื่นมาก ๆ และวางตัวอยู่บนวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริกที่มีความหนาน้อยกว่าความยาวคลื่น ($h \ll \lambda_0$) โดยทั่วไปจะอยู่ที่ประมาณ ($0.003\lambda_0 \leq h \leq 0.05\lambda_0$) ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อกระตุ้นให้เกิดสนามไฟฟ้าภายใต้แพตช์กระจายสัญญาณและระนาบกราวนด์แสดงได้ดังรูปที่ 2.1(ข) ส่วนใหญ่นั้นนิยมใช้วัสดุฐานรองที่มีค่าไดอิเล็กตริกอยู่ที่ประมาณ ($2.2 \leq \varepsilon_r \leq 12$) ซึ่งความหนานั้นจะมีความสัมพันธ์กับความกว้างแถบความถี่ (Bandwidth) และขนาดของสายอากาศ หลักการทำงานของสายอากาศไมโครสตริปนั้นจะกระจายสัญญาณออกมาที่บริเวณระหว่างขอบของแพตช์กระจายสัญญาณและระนาบกราวนด์ โดยการกระจายสัญญาณนั้นจะสัมพันธ์กับความถี่ ความหนาของวัสดุฐานรอง และค่าไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ นอกจากนี้สายอากาศแพตช์แบบไมโครสตริปมักถูกนำมาใช้กับวงจรไมโครเวฟด้านอื่น ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยต้องอาศัยการออกแบบสายอากาศและการออกแบบวงจรที่ดี



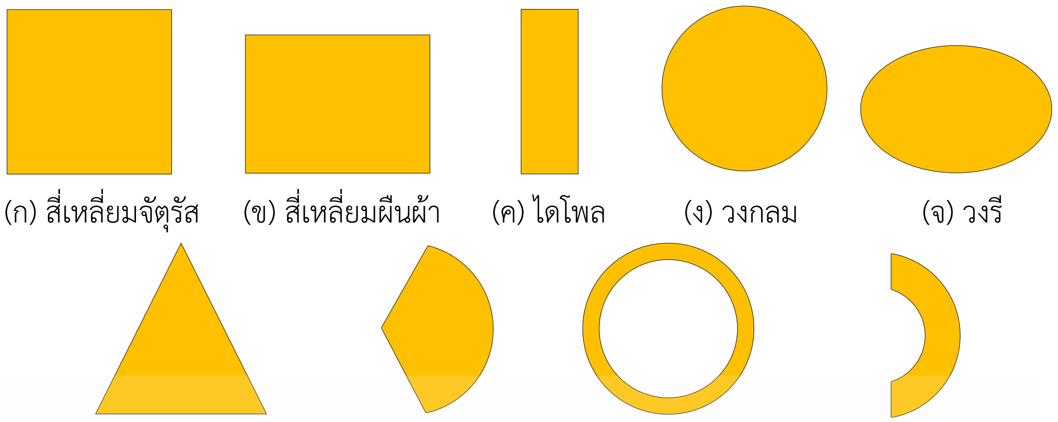
(ก) มุมมองโดยรวม



(ข) มุมมองด้านข้าง

รูปที่ 2.1 โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริป [34]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

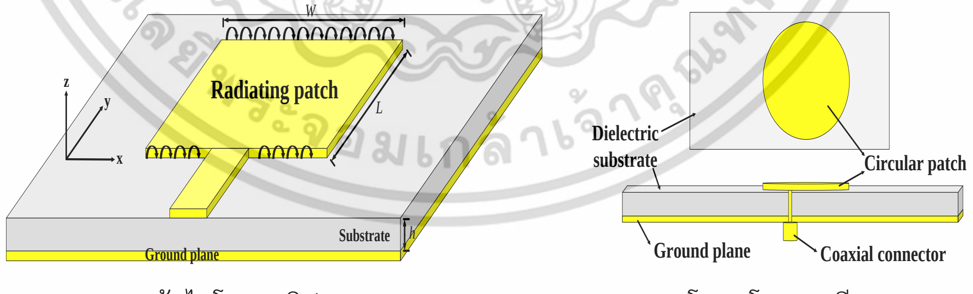


(ก) สี่เหลี่ยมจัตุรัส (ข) สี่เหลี่ยมผืนผ้า (ค) ไดโพล (ง) วงกลม (จ) วงรี

(ฉ) สามเหลี่ยม (ช) เซกเตอร์ของวงกลม (ซ) วงแหวน (ฌ) เซกเตอร์ของวงแหวน

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตแพตช์กระจายสัญญาณของสายอากาศไมโครสตริป [34]

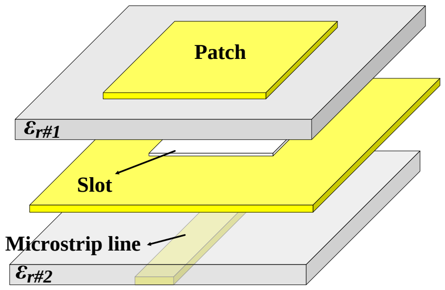
โดยทั่วไปสายอากาศไมโครสตริปนั้นจะสัมพันธ์กับสายอากาศแพตช์ที่ประกอบไปด้วยแพตช์กระจายสัญญาณและสายนำสัญญาณที่วางบนวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริก ซึ่งแพตช์กระจายสัญญาณนำเสนอได้หลากหลายรูปแบบ ได้แก่ รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า รูปไดโพล รูปวงกลม รูปวงรี รูปสามเหลี่ยม รูปเซกเตอร์ของวงกลม รูปวงแหวน รูปเซกเตอร์ของวงแหวน และอีกมากมายแสดงได้ดังรูปที่ 2.2 ส่วนใหญ่รูปร่างแพตช์กระจายสัญญาณที่ได้รับความนิยมนั้นคือรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า รูปไดโพล และรูปวงกลม เนื่องมาจากง่ายต่อการวิเคราะห์ออกแบบและการสร้างชิ้นงาน แต่มักจะพบปัญหาโดยเฉพาะอย่างยิ่งการแพร่กระจายคลื่นโพลาไรซ์แบบไขว้ต่ำ (Cross-polarization) ส่วนสายอากาศแพตช์รูปไดโพลนั้นจะให้ความกว้างแถบความถี่สูงแต่ใช้พื้นที่ในการออกแบบน้อย ดังนั้นจึงนิยมทำเป็นสายอากาศแถวลำดับ (Antenna Array) การโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นและวงกลมนั้นสามารถกระทำได้โดยใช้สายอากาศไมโครสตริปเชิงเดี่ยวหรือสายอากาศไมโครสตริปแถวลำดับ สำหรับวิธีการนำสัญญาณนั้นแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การป้อนแบบเดี่ยว (Single feed) หรือ การป้อนแบบหลากหลาย (Multiple feed)



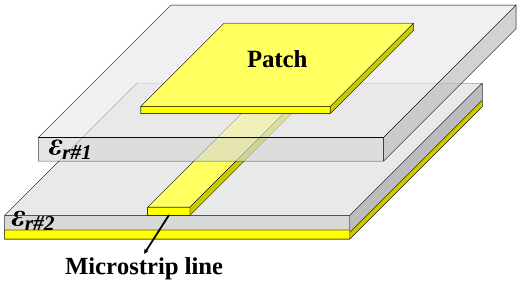
(ก) เส้นไมโครสตริป (ข) โพรบโคแอกเชียล

รูปที่ 2.3 วิธีการนำสัญญาณของสายอากาศไมโครสตริป [34]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) เชื่อมต่อร่วมช่องเปิด



(ง) เชื่อมต่อร่วมแบบควบคู่

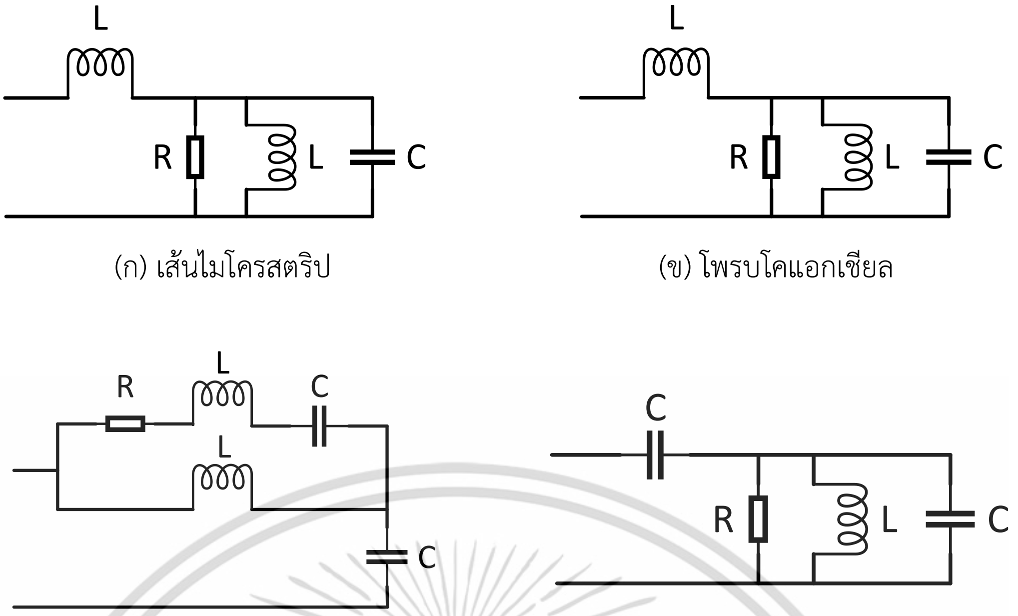
รูปที่ 2.3 วิธีการนำสัญญาณของสายอากาศไมโครสตริป [34] (ต่อ)

รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างวิธีการนำสัญญาณของสายอากาศไมโคสตริปในรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่ เส้นไมโครสตริป (Microstrip line) โพรบโคแอกเซียล (Coaxial probe) เชื่อมต่อร่วมช่องเปิด (Aperture coupling) และเชื่อมต่อร่วมแบบควบคู่ (Proximity coupling) ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยวงจรสมมูลดังแสดงในรูปที่ 2.4 สำหรับเส้นไมโครสตริปคือ แถบนำไฟฟ้าที่มีความกว้างน้อยมาก ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับแพตช์กระจายสัญญาณซึ่งเป็นที่นิยมเนื่องมาจากการออกแบบการแมตชิ่งอิมพีแดนซ์และสร้างชิ้นงานได้ง่าย อย่างไรก็ตามเมื่อความหนาของวัสดุฐานรองเพิ่มขึ้นคลื่นพื้นผิวเพิ่มขึ้น และการแพร่กระจายสัญญาณเพิ่มขึ้นแต่ในทางกลับกันจะทำให้มีข้อจำกัดความกว้างแถบความถี่ประมาณ 2 – 5% เท่านั้น

สำหรับโพรบโคแอกเซียลมักจะประกอบไปด้วย ตัวนำด้านใน (Inner conductor) ที่เชื่อมต่อกับแพตช์กระจายสัญญาณแต่ ตัวนำด้านนอก (Outer conductor) นั้นจะเชื่อมต่อกับระนาบกราวนด์ซึ่งเป็นที่นิยมเนื่องมาจากง่ายต่อการสร้างชิ้นงานและการแมตชิ่งอิมพีแดนซ์ อย่างไรก็ตามกลับพบว่ามีความกว้างแถบความถี่ที่แคบ (Narrow bandwidth) และยากต่อการออกแบบเมื่อวัสดุฐานรองมีความหนาตั้งแต่ $0.02\lambda_0$ ขึ้นไป โดยทั้งเส้นไมโครสตริปและโพรบโคแอกเซียลมีความไม่สมมาตรโดยธรรมชาติทำให้เกิดโหมดความถี่สูงซึ่งจะก่อให้เกิดการแพร่กระจายคลื่นโพลาไรซ์แบบไขว้สูง ดังนั้นเพื่อที่จะแก้ปัญญาเหล่านี้จึงได้มีการออกแบบการนำสัญญาณแบบไม่ติดต่อ ได้แก่ เชื่อมต่อร่วมช่องเปิด และเชื่อมต่อร่วมแบบควบคู่ แสดงดังรูปที่ 2.3(ค) – 2.3(ง) ตามลำดับ

สำหรับการนำสัญญาณแบบเชื่อมต่อร่วมแบบควบคู่มีความยากในการสร้างชิ้นงาน อีกทั้งยังมีความกว้างแถบความถี่ที่ต่ำ อย่างไรก็ตามกลับมีการแพร่กระจายคลื่นโพลาไรซ์แบบไขว้ต่ำ โดยปกติการเชื่อมต่อร่วมแบบควบคู่ประกอบไปด้วยวัสดุฐานรองจำนวน 2 ชั้น (ชั้นบน และชั้นล่าง) ซึ่งแยกออกจากกันด้วยระนาบกราวนด์ ส่วนด้านล่างของวัสดุฐานรองชั้นล่างนั้นมีเส้นไมโครสตริปที่ทำหน้าที่ส่งพลังงานควบคู่ไปยังแพตช์กระจายสัญญาณผ่านระนาบกราวนด์ที่มีช่องเปิดระหว่างวัสดุฐานรองทั้ง 2 ชั้น ซึ่งในการออกแบบจะขึ้นอยู่กันการจัดวางของเส้นไมโครสตริปและแพตช์กระจายสัญญาณที่เป็นอิสระต่อกัน อีกทั้งฐานรองวัสดุชั้นล่างนิยมใช้วัสดุที่มีค่าไดอิเล็กตริกสูง และใช้วัสดุที่มีค่าไดอิเล็กตริกต่ำสำหรับฐานรองวัสดุชั้นบน สำหรับการออกแบบในลักษณะนี้จะมีพารามิเตอร์ที่หลายค่าได้แก่ ค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุฐานรอง ความกว้างของเส้นไมโครสตริป ขนาดของระนาบกราวนด์ช่องเปิดและตำแหน่ง ซึ่งการแมตชิ่งอิมพีแดนซ์นั้นสามารถกระทำได้โดยการควบคุมความกว้างของเส้นไมโครสตริปและความยาวของช่องเปิด เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) เส้นไมโครสตริป (ข) โพรบโคแอกเชียล

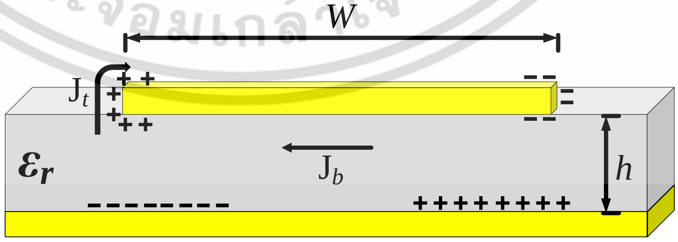
(ค) เชื่อมต่อร่วมช่องเปิด (ง) การกระตุ้นแบบเชื่อมต่อ

รูปที่ 2.4 วงจรสมมูลการกระตุ้นของสายอากาศไมโครสตริปแบบต่าง ๆ [34]

2.1.1 ทฤษฎีแบบจำลองโพรง (Cavity Model)

สายอากาศไมโครสตริปนั้นมักมีวัสดุฐานรองที่มีค่าไดอิเล็กตริกที่เป็นลักษณะโพรง (Cavity) ทำให้เกิดเรโซแนนซ์ความถี่สูง โดยสนามไฟฟ้าภายในวัสดุฐานรอง (ระหว่างแพตช์กระจายสัญญาณและระนาบกราวนด์) สามารถอธิบายได้โดยอาศัยตัวนำไฟฟ้าบริเวณขอบของโพรง (ขอบบนและล่าง) และผนังแม่เหล็กไฟฟ้าบริเวณขอบของแพตช์กระจายสัญญาณ ซึ่งนำไปสู่การประมาณเพื่อคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ขาเข้า (Input impedance) และสามารถวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีท่อนำคลื่น (Waveguides) และทฤษฎีแบบจำลองโพรง

ทฤษฎีแบบจำลองโพรงสามารถอธิบายได้โดยการใช้สนามไฟฟ้าพื้นฐานที่เกิดภายในโพรงและด้านข้าง เมื่อแพตช์กระจายสัญญาณถูกกระตุ้นทำให้เกิดการกระจายตัวของประจุไฟฟ้าทั้งบริเวณด้านบนและด้านล่างพื้นผิวของแพตช์กระจายสัญญาณตลอดจนพื้นผิวของระนาบกราวนด์ดังรูปที่ 2.5



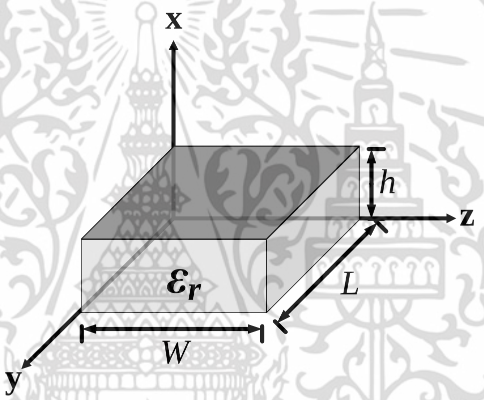
รูปที่ 2.5 การกระจายตัวของประจุไฟฟ้าบนแพตช์กระจายสัญญาณ [34]

การกระจายตัวของประจุไฟฟ้าสามารถควบคุมได้โดยอาศัยกลไกของการดูดและการผลัก โดยกลไกของการดูดนั้นเกิดขึ้นระหว่างประจุที่ตรงกันข้ามกันระหว่างด้านล่างพื้นผิวของแพตช์กระจายสัญญาณและระนาบกราวนด์ซึ่งความเข้มของประจุไฟฟ้ามีแนวโน้มเกิดขึ้นบริเวณด้านล่างพื้นผิวของแพตช์กระจายสัญญาณ และกลไกของการผลักนั้นเกิดขึ้นเมื่อประจุไฟฟ้าบริเวณด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นผิวของแพตช์กระจายสัญญาณเคลื่อนที่ไปยังด้านบนพื้นผิวของแพตช์กระจายสัญญาณ โดยการเคลื่อนที่ดังกล่าวนั้นก่อให้เกิดความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า J_b และ J_t บริเวณด้านล่างและด้านบนพื้นผิวของแพตช์กระจายสัญญาณตามลำดับ

เนื่องจากไมโครสตริปส่วนใหญ่มักมีอัตราส่วนระหว่างความหนาและความกว้างที่น้อยมาก ส่งผลให้เกิดกลไกของการผลักเป็นส่วนใหญ่และความเข้มข้นของประจุไฟฟ้า การไหลของกระแสไฟฟ้าโดยส่วนใหญ่เกิดที่บริเวณภายใต้ของแพตช์กระจายสัญญาณ และเกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่บริเวณขอบไปยังด้านบนของแพตช์กระจายสัญญาณ อย่างไรก็ตามการไหลของกระแสไฟฟ้านั้นลดลงเมื่ออัตราส่วนระหว่างความหนาและความกว้างของไมโครสตริปนั้นลดลง เนื่องด้วยข้อจำกัดนี้ทำให้การไหลของกระแสไฟฟ้าไปยังด้านบนนั้นเป็นศูนย์ เป็นเหตุให้แม่เหล็กไฟฟ้านั้นเป็นศูนย์ด้วยที่บริเวณขอบของแพตช์กระจายสัญญาณ ดังนั้นผนังทั้ง 4 ด้านของไมโครสตริปนั้นเปรียบเสมือนพื้นผิวตัวนำแม่เหล็กสมบูรณ์ (Perfect Magnetic Conducting Surfaces) และตัวนำไฟฟ้าสมบูรณ์ (Perfect Electric Conducting) บริเวณด้านบนและด้านล่างของแพตช์กระจายสัญญาณ



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของแพตช์กระจายสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า [34]

การวิเคราะห์โหมดของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (TM mode) ภายในโพรงสามารถอธิบายได้โดยศักย์เวกเตอร์แสดงได้ดังรูปที่ 2.6 ปริมาตรภายใต้แพตช์กระจายสัญญาณสามารถนำเสนอได้ด้วยโพรงรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีค่าไดอิเล็กตริก (ε_r) และกำหนดให้วัสดุฐานรองที่ขนาดเท่ากับแพตช์กระจายสัญญาณ โดยศักย์เวกเตอร์ (A_x) สามารถคำนวณหาค่าได้โดยสมการที่ 2.1

$$\nabla^2 A_x + k^2 A_x = 0 \tag{2.1}$$

ซึ่งผลเฉลยสามารถเขียนได้ด้วยการคำนวณหาตัวแปรแยกดังสมการที่ 2.2

$$\begin{aligned} A_x = &\left[A_1 \cos(k_x x) + B_1 \sin(k_x x)\right]\left[A_2 \cos(k_y y) + B_2 \sin(k_y y)\right] \\ &\left[A_3 \cos(k_z z) + B_3 \sin(k_z z)\right] \end{aligned} \tag{2.2}$$

โดยที่

k_x คือ เลขคลื่นในสุญญากาศในทิศทางแกน x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

k_y คือ เลขคลื่นในสุญญากาศในทิศทางแกน y

k_z คือ เลขคลื่นในสุญญากาศในทิศทางแกน z

สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กภายในโพรงซึ่งสัมพันธ์กับศักย์เวกเตอร์ (A_x) ได้จากสมการที่ 2.3

$$E_x = -j\frac{1}{\omega\mu\varepsilon}\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2}+k^2\right)A_x \quad , \quad H_x = 0$$
$$E_y = -j\frac{1}{\omega\mu\varepsilon}\frac{\partial^2 A_x}{\partial x \partial y} \quad , \quad H_y = \frac{1}{\mu}\frac{\partial A_x}{\partial z} \tag{2.3}$$
$$E_z = -j\frac{1}{\omega\mu\varepsilon}\frac{\partial^2 A_x}{\partial x \partial z} \quad , \quad H_z = -\frac{1}{\mu}\frac{\partial A_x}{\partial y}$$

ดังนั้นผลเฉลยสุดท้ายของศักย์เวกเตอร์ (A_x) ภายในโพรงแสดงได้ดังสมการที่ 2.4

$$A_x = A_{mnp}\cos(k_x x')\cos(k_y y')\cos(k_z z') \tag{2.4}$$

โดยที่

A_{mnp} คือ ขนาดของค่าสัมประสิทธิ์แต่ละโหมด *mnp*

เลขคลื่น k_x, k_y, k_z สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.5

$$\left.\begin{aligned} k_x &= \left(\frac{m\pi}{h}\right),\ m = 0,1,2,\ldots \\ k_y &= \left(\frac{n\pi}{L}\right),\ n = 0,1,2,\ldots \\ k_z &= \left(\frac{p\pi}{W}\right),\ p = 0,1,2,\ldots \end{aligned}\right\} m = n = p \neq 0 \tag{2.5}$$

โดยที่

mnp คือ จำนวนเลขของสนามไฟฟ้าครึ่งวงกลมที่แปรผันในทิศทาง x, y, z ตามลำดับ

เนื่องจากเลขคลื่น k_x, k_y, k_z อยู่ภายใต้ข้อจำกัดดังสมการที่ 2.6

$$k_x^2 + k_y^2 + k_z^2 = \left(\frac{m\pi}{h}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 + \left(\frac{p\pi}{W}\right)^2 = k_r^2 = \omega_x^2\mu\varepsilon \tag{2.6}$$

ความถี่เรโซแนนซ์ภายในโพรงสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(f_r)_{mnp} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\varepsilon}}\sqrt{\left(\frac{m\pi}{h}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 + \left(\frac{p\pi}{W}\right)^2} \tag{2.7}$$

ผลเฉลยสุดท้ายของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กภายในโพรงสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.8

$$\begin{aligned}
E_x &= -j\frac{(k^2 - k_x^2)}{\omega\mu\varepsilon}A_{mnp}\cos(k_x x')\cos(k_y y')\cos(k_z z') \\
E_y &= -j\frac{k_x k_y}{\omega\mu\varepsilon}A_{mnp}\sin(k_x x')\sin(k_y y')\sin(k_z z') \\
E_z &= -j\frac{k_x k_z}{\omega\mu\varepsilon}A_{mnp}\sin(k_x x')\cos(k_y y')\sin(k_z z') \\
H_x &= 0 \\
H_y &= -\frac{k_z}{\mu}A_{mnp}\cos(k_x x')\cos(k_y y')\sin(k_z z') \\
H_z &= \frac{k_y}{\mu}A_{mnp}\cos(k_x x')\sin(k_y y')\cos(k_z z')
\end{aligned} \tag{2.8}$$

เพื่อคำนวณหาโหมดหลัก (Dominant mode) ที่สอดคล้องกับความถี่เรโซแนนซ์ต่ำสุดสำหรับสายอากาศไมโครสตริปภายใต้ข้อจำกัด $h << L$ และ $h << W$ และถ้าหาก $L > W > h$ แสดงดังได้รูปที่ 2.7(ก) และสามารถคำนวณโหมดต่ำสุด TM_{10} ได้จากสมการที่ 2.9

$$(f_r)_{010} = \frac{1}{2L\sqrt{\mu\varepsilon}} = \frac{v_0}{2L\sqrt{\varepsilon_r}} \tag{2.9}$$

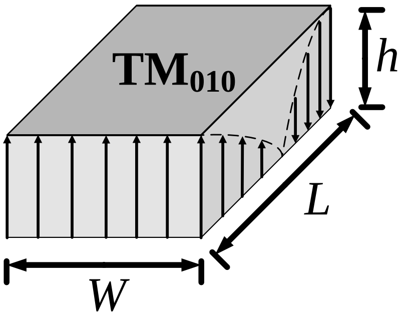
โดยที่

v_0 คือ ความเร็วแสงในสุญญากาศ

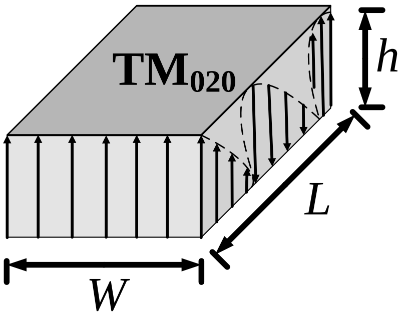
ถ้าหาก $L > L/2 > W > h$ แสดงได้ดังรูปที่ 2.7(ข) และสามารถคำนวณหาโหมดที่สอง TM_{20} ได้จากสมการที่ 2.10

$$(f_r)_{020} = \frac{1}{L\sqrt{\mu\varepsilon}} = \frac{v_0}{L\sqrt{\varepsilon_r}} \tag{2.10}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) TM_{10}



(ข) TM_{20}

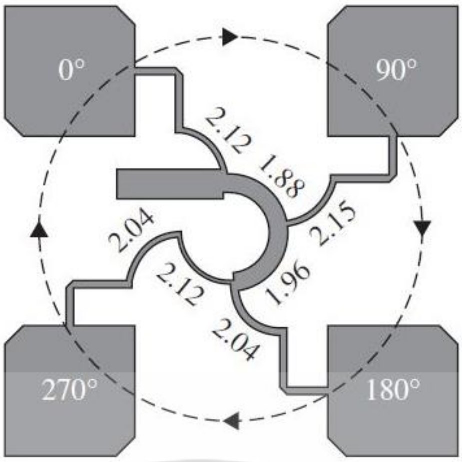
รูปที่ 2.7 โหมดของสนามไฟฟ้าภายในโพรง [34]

การใช้แบบจำลองโพรงในการวิเคราะห์ความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศไมโครสตริปที่สอดคล้องกับ TM_{10} และ TM_{20} นั้นมีความสำคัญในการอธิบายการเกิดเรโซแนนซ์ของแถบความถี่กว้างสำหรับการออกแบบสายอากาศที่จะนำเสนอต่อไป

2.1.2 สายอากาศแถวลำดับและโครงข่ายการป้อนสัญญาณ (Antenna Arrays and Feed Networks)

ในรายละเอียดข้างต้นนั้นกล่าวถึงสายอากาศไมโครสตริปแบบเดี่ยวซึ่งได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก แม้กระนั้นได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในรูปแบบของสายอากาศแถวลำดับ (Antenna Array) อีกด้วย เนื่องมาจากสายอากาศไมโครสตริปแบบเดี่ยวนั้นมีอัตราขยาย (Gain) และความกว้างแถบความถี่ต่ำดังนั้นสายอากาศแถวลำดับจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการรับหรือส่งสัญญาณ (High gain) สำหรับการสื่อสารระยะไกลแต่มักประสบปัญหากับขนาดของสายอากาศที่ใหญ่ขึ้น สายอากาศลำดับแถวไม่เพียงแต่สามารถเพิ่มอัตราขยายได้แต่ยังนำมาประยุกต์ใช้ในการขยายความกว้างแถบความถี่ของการโพลาไรซ์แบบวงกลมได้อีกด้วยโดยอาศัยโครงข่ายการป้อนสัญญาณที่ถูกออกแบบมาเพื่อการแบ่งกำลังงานเท่ากันแต่มีเฟสต่างกัน 90° สำหรับแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับซึ่งโดยส่วนใหญ่มีจำนวน 4 องค์ประกอบสำหรับโพลาไรซ์แบบวงกลมแถบความถี่กว้าง ดังนั้นโครงข่ายการป้อนสัญญาณที่หมุนวนตามลำดับ (Sequentially-rotated Feed Network) จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในสายอากาศแถวลำดับจำนวน 2 × 2 องค์ประกอบ แสดงได้ดังรูปที่ 2.8 โดยโครงข่ายการป้อนสัญญาณที่หมุนวนตามลำดับนั้นประกอบไปด้วยพอร์ตขาเข้าจำนวน 1 พอร์ตและพอร์ตขาออกจำนวน 4 พอร์ต (0° 90° 180° 270°)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 โครงข่ายการป้อนสัญญาณที่หมุนวนตามลำดับ (Sequentially-rotated Feed Network) [35]

จากรูปที่ 2.9 โครงข่ายการป้อนสัญญาณที่หมุนวนตามลำดับใช้หลักการของทฤษฎีสายนำสัญญาณ (Transmission Line Theory) โดยอาศัยการแมตชิ่งอิมพีแดนซ์แบบหม้อแปลงเศษหนึ่งส่วนสี่ของความยาวคลื่น (Quarter-wavelength Transformer) กล่าวคือ การทำแมตชิ่งอิมพีแดนซ์ในแต่ละส่วนของโครงข่ายการป้อนสัญญาณหมุนวนตามลำดับที่สัมพันธ์กับสายอากาศแถวลำดับจำนวน 4 องค์ประกอบ โดยใช้ความยาวเป็น $\lambda/4$ ซึ่งเปรียบเสมือนหม้อแปลงที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ (Characteristic Impedance, Z_0) อิมพีแดนซ์ขาเข้า (Input Impedance, Z_{in}) และอิมพีแดนซ์ของโหลด (Load Impedance, Z_L) ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้จากสมการที่ 2.11 – 2.14

$$Z_{in} = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tanh(\beta l)}{Z_0 + jZ_L \tanh(\beta l)} \tag{2.11}$$

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda}, l = \frac{\lambda}{4}, \beta l = \frac{\pi}{2} \tag{2.12}$$

$$Z_{in} = \lim_{\beta l \to \pi/2} Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tanh(\beta l)}{Z_0 + jZ_L \tanh(\beta l)} = Z_0 \frac{jZ_0}{jZ_L} = \frac{Z_0^2}{Z_L} \tag{2.13}$$

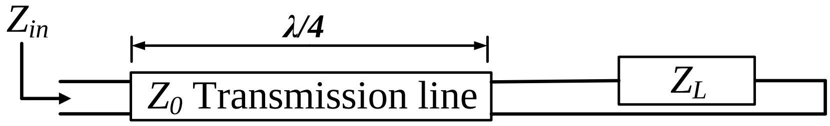
$$\frac{Z_{in}}{Z_0} = \frac{Z_0}{Z_L} \tag{2.14}$$

โดยที่

β คือ เลขคลื่นเชิงมุม

l คือ ความยาวของสายนำสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 หม้อแปลงเศษหนึ่งส่วนสี่ของความยาวคลื่น 34]

จากรูปที่ 2.10(ก) – 2.10(ข) แสดงโครงข่ายการป้อนสัญญาณที่หมุนวนตามลำดับแบบการป้อนเดี่ยว (Single Feed) และวงจรสมมูล ตามลำดับ การวิเคราะห์การแบ่งกำลังงานและอิมพีแดนซ์ของโครงข่ายการป้อนสัญญาณที่หมุนวนตามลำดับนั้นสามารถกระทำได้โดยอาศัยวงจรสมมูลดังรูปที่ 2.10(ข) โดยกำหนดให้ อิมพีแดนซ์คุณลักษณะมีค่าเท่ากับ 50 Ω และอิมพีแดนซ์ของแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับมีค่าเท่ากับ 70 Ω ซึ่งสามารถคำนวณการแบ่งกำลังงานได้จากสมการที่ 2.15 – 2.17

$$Z_{in} = Z_0,\ P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = \frac{1}{4}P_0 \tag{2.15}$$

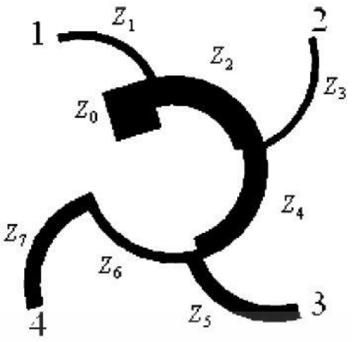
$$Z_{in} = Z_0,\ P_{in}''' = P_4 = \frac{1}{4}P_0 \tag{2.16}$$

$$P_{in}'' = P_3 + P_{in}''' = \frac{1}{2}P_0\ ,\ P_{in}{}' = P_2 + P_{in}'' = \frac{3}{4}P_0 \tag{2.17}$$

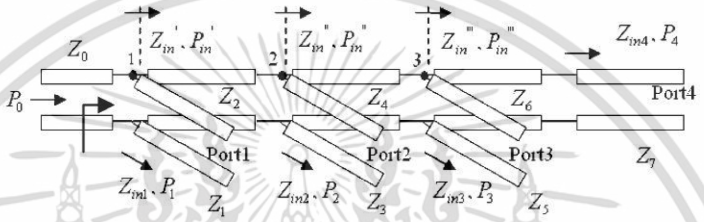
การคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ของโครงข่ายการป้อนสัญญาณที่หมุนวนตามลำดับโดยใช้หลักการแมตชิ่งอิมพีแดนซ์แบบหม้อแปลงเศษหนึ่งส่วนสี่ของความยาวคลื่นนั้นสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 2.18

$$\begin{aligned}
&Z_{in4} = \frac{Z_7^2}{Z_f},\ Z_{in}''' = \frac{Z_6^2}{Z_{in4}},\ Z_{in3} = \frac{Z_5^2}{Z_f} \\
&Z_{in3} = Z_{in}''' \\
&Z_{in}'' = \frac{Z_4^2}{Z_{in3} // Z_{in}'''} = \frac{Z_4^2}{1/2\, Z_{in3}},\ Z_{in}'' = \frac{1}{2}Z_{in2} \\
&Z_{in2} = \frac{Z_3^2}{Z_f} \\
&Z_{in}' = \frac{Z_2^2}{Z_{in2} // Z_{in}''} = \frac{Z_2^2}{1/3\, Z_{in2}} \\
&Z_{in1} = 3Z_{in}',\ Z_0 = Z_{in1} // Z_{in}{}' = \frac{1}{4}Z_{in1} \\
&Z_{in1} = \frac{Z_1^2}{Z_f}
\end{aligned} \tag{2.18}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) โครงสร้าง



(ข) วงจรสมมูล

รูปที่ 2.10 โครงข่ายการป้อนสัญญาณที่หมุนวนตามลำดับ 35]

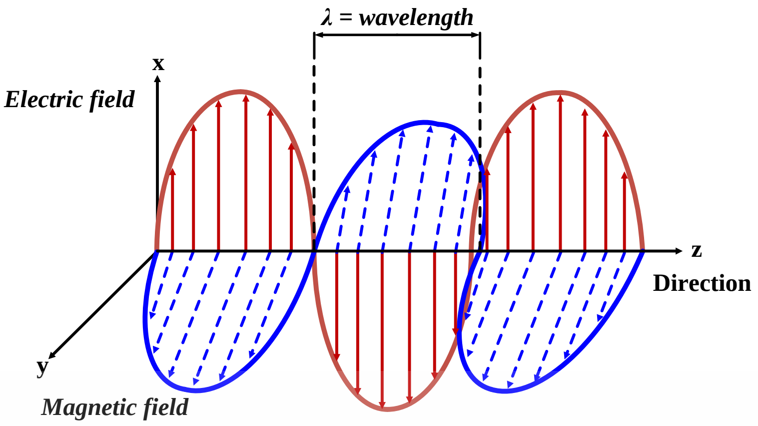
2.2 การโพลาไรซ์ (Polarization)

การโพลาไรซ์ของสายอากาศสามารถอธิบายได้โดยการศึกษาทิศทางของสนามไฟฟ้า ($\bar{E}$) ที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเวลาเปลี่ยนซึ่งกระทำโดยวิธีการสังเกต สนามไฟฟ้าจากมุมมองด้านหลังของคลื่นที่แพร่กระจายออกไป โดยทั่วไปการโพลาไรซ์ของคลื่นตามแกนระนาบหรือเรียกว่าคลื่นระนาบจะประกอบไปด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่มีทิศทางไม่แน่นอนซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.11 และสามารถอธิบายได้จากสมการที่ 2.19

$$\left.\begin{aligned}\bar{E} &= \left(M_x\hat{a}_x + M_y\hat{a}_y\right)k^2e^{-jkz}\\ \bar{H} &= \left(-M_x\vec{i}_y + M_x\vec{i}_y\right)\left(\omega\varepsilon - j\sigma\right)ke^{-kz}\end{aligned}\right\} \tag{2.19}$$

พบว่าถ้าหากทิศทางเฟสของสนามไฟฟ้า ($\bar{E}$) และสนามแม่เหล็ก ($\bar{H}$) มี M_x และ M_y ไม่เท่ากันเมื่อเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา การอธิบายของโพลาไรซ์นี้สามารถอธิบายได้โดยสังเกตขนาดแอมพลิจูดสูงสุดของสนามไฟฟ้าในระนาบตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่หลักซึ่งสามารถจำแนกได้ 2 ประเภท คือ การโพลาไรซ์ที่ขนานกับพื้นโลกเรียก การโพลาไรซ์นั้นว่าการโพลาไรซ์แนวนอน (Horizontal Polarization) และการโพลาไรซ์ที่ตั้งฉากกับพื้นโลกเรียกว่า การโพลาไรซ์แบบแนวตั้ง (Vertical Polarization)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 คลื่นระนาบของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก [36]

รูปแบบของการโพลาไรซ์สามารถสังเกตได้จากคุณสมบัติของสนามไฟฟ้าที่แพร่กระจายออกไป โดยอธิบายได้จากขนาดและทิศทางของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่แปรผันตามเวลาซึ่งสามารถแบ่งการโพลาไรซ์ออกได้เป็น 3 ชนิด คือ การโพลาไรซ์เชิงเส้น (Linear Polarization) การโพลาไรซ์วงกลม (Circular Polarization) และการโพลาไรซ์วงรี (Elliptical Polarization)

การพิจารณาทิศทางการหมุนของสนามไฟฟ้าสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ทิศทาง คือ การหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา (Clockwise) เรียกว่า การโพลาไรซ์หมุนขวา (Right-hand Polarization) และการหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (Counter Clockwise) เรียกว่า การโพลาไรซ์หมุนซ้าย (Left-hand Polarization) โดยระนาบคลื่นในทิศทาง $-z$ ของสนามไฟฟ้า ณ ช่วงเวลาใด ๆ สามารถแสดงได้จากสมการที่ 2.20

$$\bar{E}(z;t) = \hat{a}_x E_x(z;t) + \hat{a}_y E_y(z;t) \qquad (2.20)$$

โดยสนามไฟฟ้า ณ ขณะเวลานั้นซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าสนามไฟฟ้าเชิงซ้อนดังสมการที่ 2.21 – 2.22

$$E_x(z;t) = E_{xo}\cos(\omega t + kz + \phi_x) \qquad (2.21)$$

$$E_y(z;t) = E_{yo}\cos(\omega t + kz + \phi_y) \qquad (2.22)$$

เมื่อ E_{xo} และ E_{yo} คือ ค่าขนาดแอมพลิจูดสูงสุดของสนามไฟฟ้าในทิศทางแกน x และ y ตามลำดับ

2.2.1 โพลาไรซ์เชิงเส้น (Linear Polarization)

การโพลาไรซ์เชิงเส้นสามารถพิจารณาได้จากทิศทางของสนามไฟฟ้า ($\bar{E}$) ซึ่งมีค่าคงที่ขณะที่คลื่นกำลังแพร่กระจาย โดยการโพลาไรซ์เชิงเส้นมีความต่างเฟสระหว่างสนามไฟฟ้าในแนวตั้งและแนวนอนซึ่งสามารถแสดงดังสมการที่ 2.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = n\pi,\ n = 0,1,2,3... \qquad (2.23)$$

การโพลาไรซ์เชิงเส้นสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ชนิด คือ การโพลาไรซ์เชิงเส้นแนวตั้ง (Vertical Polarization) กล่าวคือ สนามไฟฟ้า ($\bar{E}$) มีทิศทางตั้งฉากกับพื้นโลกในขณะที่คลื่นกำลังเคลื่อนที่ การโพลาไรซ์เชิงเส้นแนวนอน (Horizontal Polarization) คือ สนามไฟฟ้า ($\bar{E}$) มีทิศทางขนานกับพื้นโลกในขณะที่คลื่นกำลังเคลื่อนที่ และการโพลาไรซ์เชิงเส้นแนวเอียง (Slant Polarization) คือ สนามไฟฟ้า ($\bar{E}$) มีทิศทางเอียงหรือเฉียงกับพื้นโลกในขณะที่คลื่นกำลังเคลื่อนที่

2.2.2 โพลาไรซ์วงกลม (Circular Polarization)

การโพลาไรซ์วงกลมสามารถพิจารณาได้จากทิศทางของสนามไฟฟ้า ($\bar{E}$) ที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาโดยมีแอมพลิจูดของสนามไฟฟ้าหมุนเป็นลักษณะวงกลมเมื่อแปรผันตามเวลา ซึ่งเงื่อนไขการเกิดโพลาไรซ์วงกลมนั้นประกอบไปด้วยดังนี้ องค์ประกอบของสนามไฟฟ้าเชิงเส้น ($\bar{E}$) ทั้ง 2 องค์ประกอบต้องมีขนาดเท่ากันและมีความต่างเฟสเป็นจำนวนเท่าของ $\pm\frac{\pi}{2}$ ในทิศทางการแพร่กระจายคลื่น โดยหากคลื่นเคลื่อนที่ในทิศทาง +z จะสามารถคำนวณหาความต่างเฟสของสนามไฟฟ้า ($\bar{E}$) ระหว่างแนวตั้งและแนวนอนได้ดังสมการที่ 2.24 – 2.26

$$E_{xo} = E_{yo} \qquad (2.24)$$

ซึ่งสัมพันธ์กับ

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = +\frac{(1+4n)\pi}{2};\ n = 0,1,2,3...\ \text{CW} \qquad (2.25)$$

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = -\frac{(1+4n)\pi}{2};\ n = 0,1,2,3...\ \text{CCW} \qquad (2.26)$$

โดย

CW (Clockwise)	คือ สนามไฟฟ้าในทิศทางการหมุนตามเข็มนาฬิกา
CCW (Counter Clockwise)	คือ สนามไฟฟ้าในทิศทางการหมุนทวนเข็มนาฬิกา

2.2.3 โพลาไรซ์วงรี (Elliptical Polarization)

การโพลาไรซ์วงรีสามารถพิจารณาได้จากทิศทางของสนามไฟฟ้า ($\bar{E}$) ที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาโดยมีแอมพลิจูดของสนามไฟฟ้าหมุนเป็นลักษณะวงกลมเมื่อแปรผันตามเวลาโดยมีเงื่อนไขการเกิดโพลาไรซ์วงรีซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กรณี คือ องค์ประกอบของสนามไฟฟ้า ($\bar{E}$) เชิงเส้นทั้ง 2 องค์ประกอบมีขนาดไม่เท่ากันและมีความต่างเฟสเป็นจำนวนเท่าของ $\pm\pi$ ดังสมการที่ 2.27 – 2.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_{xo} \neq E_{yo} \tag{2.27}$$

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = +\left(\frac{1}{2} + 2n\right)\pi;\ n = 0,1,2,3...\ \text{CW} \tag{2.28}$$

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = -\left(\frac{1}{2} + 2n\right)\pi;\ n = 0,1,2,3...\ \text{CCW} \tag{2.29}$$

จากรูปที่ 2.12 การโพลาไรซ์วงรีนั้นสังเกตได้จากเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าที่แปรผันตามเวลาไปในตำแหน่งต่าง ๆ ในทิศทางมุมเอียง (Tilted Ellipse) โดยสามารถพิจารณาได้จากแกนหลัก (Major Axis) และแกนรอง (Minor Axis) เรียกว่าอัตราส่วนแกน (Axial Ratio : AR) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.30 – 2.32

$$\text{AR} = \frac{\text{Major Axis}}{\text{Minor Axis}} = \frac{OA}{OB} = \frac{|E|_{max}}{|E|_{min}} \tag{2.30}$$

$$OA = \left[\frac{1}{2}\left\{E_{xo}^2 + E_{yo}^2 + \sqrt{E_{xo}^4 + E_{yo}^4 + 2E_{xo}^2 E_{yo}^2 \cos(2\Delta\phi)}\right\}\right]^{\frac{1}{2}} \tag{2.31}$$

$$OB = \left[\frac{1}{2}\left\{E_{xo}^2 + E_{yo}^2 - \sqrt{E_{xo}^4 + E_{yo}^4 + 2E_{xo}^2 E_{yo}^2 \cos(2\Delta\phi)}\right\}\right]^{\frac{1}{2}} \tag{2.32}$$

โดย

OA คือ แกนหลัก

OB คือ แกนรอง

เมื่อมุม τ คือ มุมเอียงของวงรีโดยเทียบกับแกน y ซึ่งคำนวณได้ดังสมการที่ 2.33

$$\tau = \frac{\pi}{2} - \frac{1}{2}\tan^{-1}\left[\frac{2E_x E_y}{E_x^2 + E_y^2}\cos(\Delta\phi)\right] \tag{2.33}$$

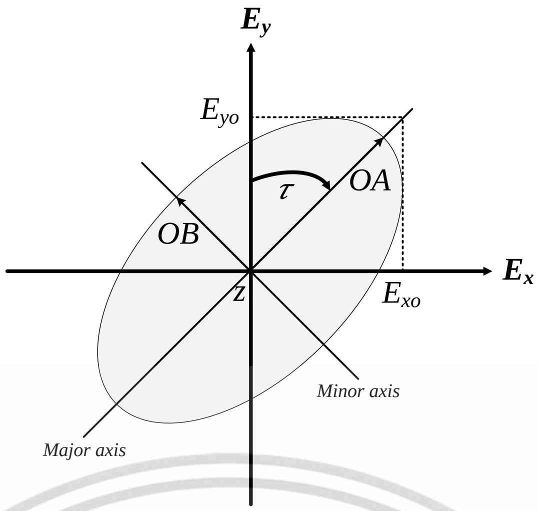
โดย

วงรีในแกนหลัก คือ $\tau = \frac{n\pi}{2};\ n - 0,1,2,3...$

วงรีในแกนรอง คือ $E_x(E_y)$ หรือ $E_y(E_x)$

อัตราส่วนแกน คือ $\frac{E_x}{E_y}$ หรือ $\frac{E_y}{E_x}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 การโพลาไรซ์วงรีในทิศทางการแพร่กระจายคลื่น $+z$ [36]

ดังที่กล่าวมาในบทความข้างต้น การโพลาไรซ์นั้นสามารถจำแนกออกเป็น 3 กรณีจากการพิจารณาค่าอัตราส่วนแกน (Axial Ratio, AR) ซึ่งแสดงได้ดังสมการที่ 2.34 – 2.36

กรณีที่ 1 การโพลาไรซ์เชิงเส้นมีค่า $|E|_{\max}$ และ $|E|_{\min} = 0$

$$\mathrm{AR} = \frac{|E|_{\max}}{0} = \infty \tag{2.34}$$

กรณีที่ 2 การโพลาไรซ์วงกลมมีค่า $|E|_{\max} = |E|_{\min}$

$$\mathrm{AR} = \frac{|E|_{\max}}{|E|_{\min}} = 1 \tag{2.35}$$

กรณีที่ 3 การโพลาไรซ์วงรีมีค่า $|E|_{\max} > |E|_{\min}$

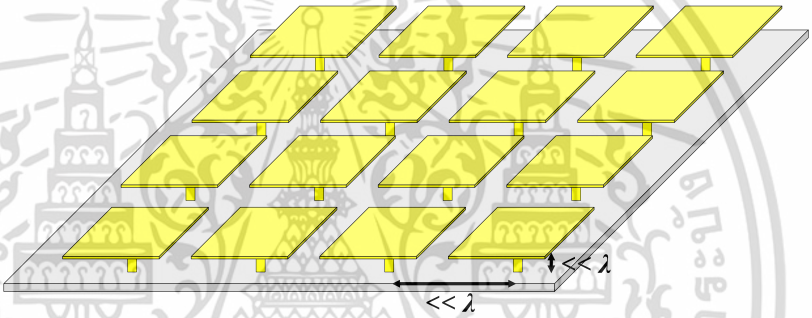
$$1 < \mathrm{AR} < \infty \tag{2.36}$$

นอกจากนี้สายอากาศที่มีคุณสมบัติโพลาไรซ์วงกลมนั้นมีข้อดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบสายอากาศที่มีคุณสมบัติโพลาไรซ์ประเภทอื่น ๆ ได้แก่ สายอากาศโพลาไรซ์วงกลมนั้นสามารถส่งและรับสัญญาณได้ดีในทุกระนาบทำให้ความเข้มของสัญญาณนั้นไม่สูญหาย สามารถทะลุผ่านสิ่งกีดขวางและแพร่กระจายสัญญาณแบบโค้งงอรอบสิ่งกีดขวางได้ดี และมีความทนทานต่อการเสื่อมสภาพของสัญญาณมากกว่าสายอากาศที่มีโพลาไรซ์ประเภทอื่น ๆ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 คลื่นพื้นผิว (Surface Waves)

การอธิบายคลื่นพื้นผิวของแม่เหล็กไฟฟ้าในเชิงวิศวกรรมนั้นคือ การเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติทางสนามไฟฟ้าและแม่เหล็กซึ่งเคลื่อนที่บนพื้นผิววัสดุประเภทโลหะซึ่งนิยมนำมาประยุกต์ใช้เพื่อปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของพื้นผิวโลหะเพื่อใช้งานในแอปพลิเคชันที่หลากหลาย ได้แก่ พื้นผิวเลือกความถี่ (Frequency Selective Surface : FSS) ถูกออกแบบมาเพื่อทำหน้าที่ในการอนุญาตให้ สะท้อนหรือกรองเฉพาะความถี่ที่ต้องการได้ ตัวนำแม่เหล็กเทียม (Artificial Magnetic Conductor : AMC) ถูกออกแบบมาเพื่อควบคุมการแพร่กระจายหรือควบคุมเฟสในการสะท้อนกลับของคลื่นพื้นผิวรวมถึงควบคุมการโพลาไรซ์ได้ และโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Band Gap : EBG) ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการเปลี่ยนแปลงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นได้ นอกจากนี้ยังถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมค่าทางไฟฟ้าของแม่เหล็กไฟฟ้าบนพื้นผิวโลหะได้โดยอาศัยการปรับหรือเปลี่ยนค่าของพื้นผิวอิมพีแดนซ์เพื่อให้ทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อนหรือดูดซับสัญญาณของสายอากาศได้แสดงได้ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 คลื่นพื้นผิวบนวัสดุประเภทโลหะ [37]

การเปลี่ยนแปลงค่าของพื้นผิวอิมพีแดนซ์และคุณสมบัติของคลื่นพื้นผิวนั้นสามารถกระทำได้โดยจำแนกออกได้หลากหลายประเภทโดยการเริ่มจากการกำหนดให้พื้นผิวโลหะมีความต้านทาน Z_s และคลื่นพื้นผิวที่กำลังสลายตัวเมื่อมีค่าคงที่การสลายเท่ากับ α ดังรูปที่ 2.13 โดยสามารถใช้สมการของแมกซ์เวลล์ (Maxwell's Equations) เพื่ออธิบายคลื่น TM โหมดบนพื้นผิวที่เปรียบเสมือนเป็นพื้นผิวเหนี่ยวนำ (Inductive Surface) อีกทั้งยังสามารถใช้เพื่อกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของพื้นผิวและคุณสมบัติของคลื่นพื้นผิวซึ่งสามารถอธิบายได้ดังสมการที่ 2.37

$$Z_s = \frac{j\alpha}{\omega\varepsilon} \tag{2.37}$$

สำหรับคลื่น TE โหมดบนพื้นผิวที่เปรียบเสมือนเป็นพื้นผิวเก็บประจุ (Capacitive Surface) ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังสมการที่ 2.38

$$Z_s = \frac{-j\omega\mu}{\alpha} \tag{2.38}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

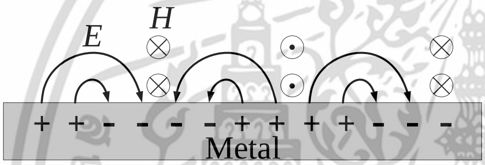
ε คือ ค่าสภาพยอมไฟฟ้าของพื้นผิว

μ คือ ค่าซาบซึมแม่เหล็กของพื้นผิว

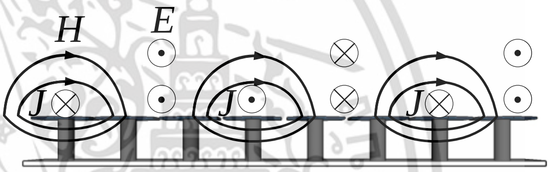
ω คือ ความถี่เชิงมุมของคลื่น

โดยคลื่น TM โหมดนั้นต้องอาศัยอิมพีแดนซ์ที่มีค่าเชิงบวก หรือพื้นผิวแบบเหนี่ยวนำ ซึ่งในทางกลับกันนั้นคลื่น TE โหมดต้องอาศัยอิมพีแดนซ์ที่มีค่าเชิงลบ หรือพื้นผิวแบบตัวเก็บประจุ

ส่วนใหญ่พื้นผิวโลหะนั้นมีคุณสมบัติเชิงความเหนี่ยวนำเล็กน้อยตามธรรมชาติ ดังนั้นโดยปกติแล้วพื้นผิวโลหะสามารถรองรับคลื่น TM โหมดได้ในช่วงความถี่แสงเรียกว่าพื้นผิวพลาสม่า (Surface Plasmons) ในขณะเดียวกันในช่วงความถี่ไมโครเวฟกลับส่งผลกระทบต่อพื้นผิวโลหะที่มีกระแสพื้นผิวเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จากรูปที่ 2.14(ก) แสดงถึงคลื่นพื้นผิว TM โหมดบนโลหะบริสุทธิ์ซึ่งไม่รองรับคลื่นพื้นผิว TE โหมด แต่สำหรับโลหะที่ทำการเคลือบด้วยสารที่มีค่าไดอิเล็กตริกนั้นสามารถรองรับคลื่น TE โหมดที่สัมพันธ์กับความถี่ตัด (Cutoff Frequency) ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าคงที่และความหนาของไดอิเล็กตริก



(ก) โครงสร้างโลหะบริสุทธิ์



(ข) โครงสร้าง EBG

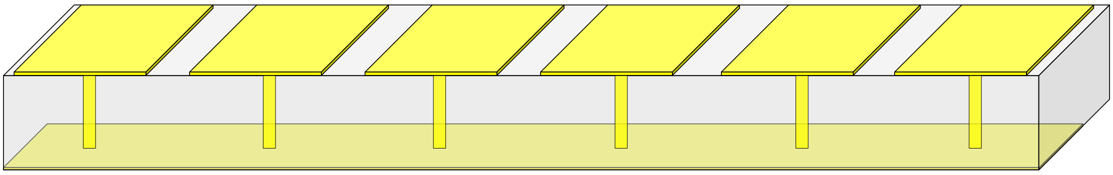
รูปที่ 2.14 คลื่นพื้นผิวของโลหะและคลื่นพื้นผิวอิมพีแดนซ์สูง [37]

จากรูปที่ 2.14(ข) แสดงโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า (EBG) ที่มีรูปร่างและการจัดเรียงคล้ายเห็ด (Mushroom-like Structures) สามารถรองรับคลื่นพื้นผิว TE โหมดได้ โดยพื้นผิวโลหะนั้นจะต้องมีคุณสมบัติเป็นพื้นผิวแบบตัวเก็บประจุและความต้านทานของพื้นผิวซึ่งมีลักษณะเสมือนวงจรเรโซแนนซ์ LC ที่ต่อขนานกัน อีกทั้งยังสามารถรองรับคลื่น TM ซึ่งมีคุณสมบัติทางพื้นผิวแบบเหนี่ยวนำ ณ ความถี่ต่ำ และรองรับคลื่น TE ซึ่งมีคุณสมบัติทางพื้นผิวเป็นแบบตัวเก็บประจุ ณ ความถี่สูง

2.4 พื้นผิวอิมพีแดนซ์สูง (High-impedance Surfaces)

จากรูปที่ 2.15 แสดงถึงโครงสร้างพื้นผิวอิมพีแดนซ์สูง (High-impedance surface : HIS) ที่สร้างบนวัสดุฐานรองที่มีค่าไดอิเล็กตริกซึ่งประกอบไปด้วยแผ่นโลหะบางขนาดเล็กมาก ๆ เมื่อเทียบกับความคลื่นที่ใช้ $(<<\lambda)$ เทียบเท่า 2 มิติที่จัดเรียงกันเป็นรายคาบ นอกจากนี้ยังมีแท่งโลหะเชื่อมต่อระหว่างแผ่นโลหะที่จัดเรียงรายคาบและระนาบกราวนด์โลหะซึ่งมีลักษณะคล้ายเห็ดเพื่อก่อให้เกิดการเหนี่ยวนำไฟฟ้าซึ่งถูกเรียกว่า Lumped Element

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



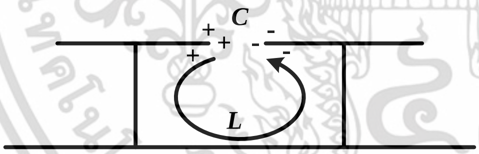
รูปที่ 2.15 โครงสร้างพื้นผิวอิมพีแดนซ์สูงบนวัสดุฐานรอง [37]

จากรูปที่ 2.16 แสดงการจำลองวงจรสมมูลของพื้นผิวอิมพีแดนซ์สูงซึ่งโครงสร้างพื้นผิวอิมพีแดนซ์สูงนั้นก่อให้เกิดสนามไฟฟ้าระหว่างช่องว่างของแผ่นโลหะจัดเรียงรายคาบในแต่ละแผ่น ทำให้สามารถอธิบายได้โดยใช้การจำลองวงจรเรโซแนนซ์ LC เมื่อกำหนดให้ช่องว่างของแผ่นโลหะที่จัดเรียงรายคาบนั้นเป็นตัวเก็บประจุ C โดยจะเกิดการเหนี่ยวนำกระแสผ่านระหว่างแท่งโลหะและระนาบกราวนด์ซึ่งสามารถกำหนดให้เป็นตัวเหนี่ยวนำ L โดยสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.39

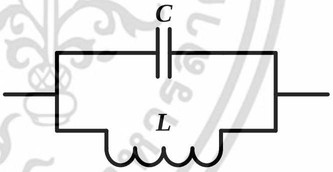
$$Z_s = \frac{j\omega L}{1-\omega^2 LC} \tag{2.39}$$

เมื่อความถี่เรโซแนนซ์สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.40

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \tag{2.40}$$



(ก) ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำของพื้นผิวอิมพีแดนซ์สูง



(ข) วงจรเรโซแนนซ์ LC แบบขนาน

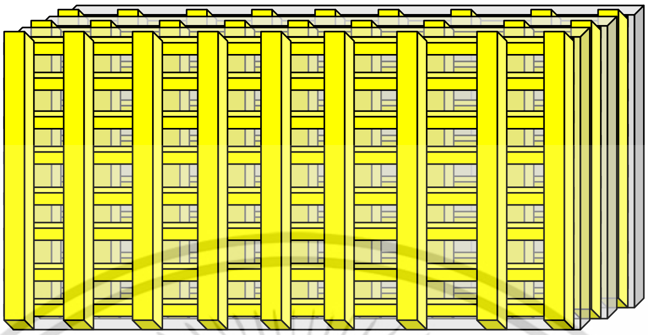
รูปที่ 2.16 วงจรสมมูลของพื้นผิวอิมพีแดนซ์สูง [37]

2.5 อภิวัสดุ (Metamaterial)

วัสดุที่ประดิษฐ์ขึ้นโดยใช้ทฤษฎีทางด้านวิศวกรรม (Engineering Materials) ประกอบไปด้วย วัสดุทั่วไป (Ordinary Material) วัสดุที่ประกอบขึ้น (Composite Material) วัสดุคริสตัลโฟโตนิก (Photonic Crystals) และอภิวัสดุ (Metamaterial) ซึ่งเป็นวัสดุที่จะกล่าวถึงในหัวข้อนี้ อภิวัสดุนั้นมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ไม่ปรากฏอยู่ตามธรรมชาติโดยทั่วไป ซึ่งคุณสมบัติของอภิวัสดุเหล่านั้นส่วนใหญ่จะเกิดมาจากโครงสร้างของอภิวัสดุรวมไปถึงการจัดเรียงรายคาบของวัสดุประเภทโลหะขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นมาก ๆ ดังรูปที่ 2.17 ซึ่งคุณสมบัติทางไฟฟ้าของอภิวัสดุนั้นเกิดในระดับมาโครในรูปแบบของค่าสภาพยอมไฟฟ้าประสิทธิผล (Effective Permittivity : ε_{eff}) และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความซึมซาบแม่เหล็กประสิทธิผล (Effective Permeability : μ_{eff}) โดยส่วนใหญ่แล้วอภิวัสดุจะถูกจัดวางเรียงรายคาบบนวัสดุตัวกลางที่มีค่าไดอิเล็กตริกซึ่งจะมีขนาด รูปร่าง ตำแหน่งการจัดเรียงรายคาบ และองค์ประกอบอื่น ๆ ทำให้เกิดผลกระทบต่อแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติไม่ปรากฏอยู่ตามธรรมชาติโดยทั่วไปและมีความแตกต่างกันไปตามการประยุกต์ใช้งาน



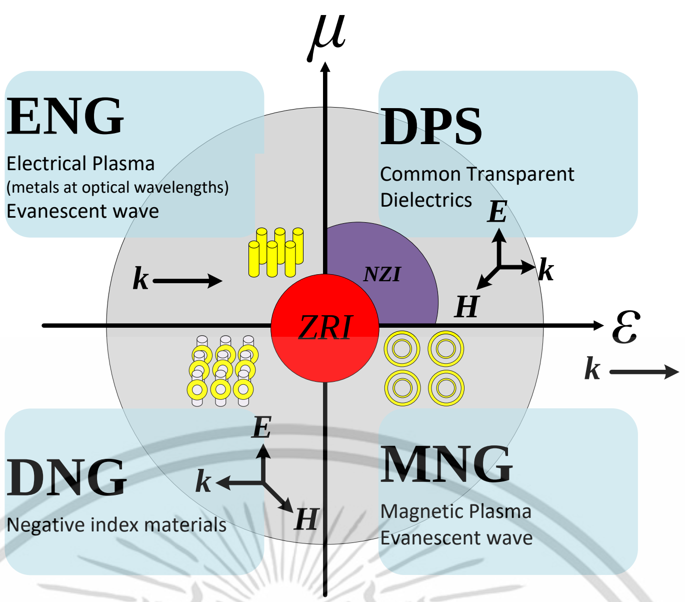
รูปที่ 2.17 ตัวอย่างโครงสร้างอภิวัสดุ [37]

จากตารางที่ 2.1 และรูปที่ 2.18 แสดงค่าทางไฟฟ้าและประเภทของอภิวัสดุตามลำดับเมื่อจำแนกตามค่าสภาพยอมไฟฟ้าและค่าความซึมซาบแม่เหล็กประสิทธิผล พบว่าด้านขวามือของตัวกลาง (Right-handed medium) จะมีค่าสภาพยอมไฟฟ้า ($\varepsilon > 0$) และค่าความซึมซาบแม่เหล็ก ($\mu > 0$) เป็นบวกทั้งคู่เรียกวัสดุชนิดนี้ว่า Double Positive Medium (DPS) ส่งผลให้วัสดุมีดัชนีหักเห (Refractive Index: *n*) เป็นบวกจาก $n = \pm\sqrt{\varepsilon\mu}$ ซึ่งสามารถพบได้โดยทั่วไปในธรรมชาติ และด้านซ้ายมือของตัวกลาง (Left-handed medium) ค่าสภาพยอมไฟฟ้า ($\varepsilon < 0$) และค่าความซึมซาบแม่เหล็ก ($\mu < 0$) เป็นลบทั้งคู่ส่งผลให้วัสดุมีดัชนีหักเห (Refractive Index : *n*) เป็นลบจาก $n = \pm\sqrt{\varepsilon\mu}$ เรียกวัสดุชนิดนี้ว่า Double Negative Medium (DNG) ซึ่งเป็นวัสดุที่ไม่สามารถพบได้โดยทั่วไปตามธรรมชาติ

ตารางที่ 2.1 ค่าทางไฟฟ้าของอภิวัสดุ

ค่าสภาพยอมไฟฟ้า (ε)	**ค่าความซึมซาบแม่เหล็ก** (μ)	**รายละเอียด**
$\varepsilon = -\varepsilon_0$	$\mu = -\mu_0$	มีคุณสมบัติตรงกันข้ามกับอากาศในด้านซ้ายมือของตัวกลางจะได้เลนส์ที่สมบูรณ์
$\varepsilon = 0$	$\mu = 0$	เป็นคุณสมบัติที่ไม่มีอยู่จริงทำให้เกิดปรากฏการณ์ Perfect Tunneling Effect
$\varepsilon > -\varepsilon_0$	$\mu = \mu_0$	เป็นคุณสมบัติที่ไม่ปรากฎตามธรรมชาติ
$\varepsilon = \mu$		มีคุณสมบัติอิมพีแดนซ์แมตชิ่งทั้งด้านซ้ายมือและขวามือทำให้ไม่เกิดการสะท้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 แผนผังประเภทของอภิวัสดุ [37]

นอกจากนี้ประเภทของอภิวัสดุที่มีค่าสภาพยอมไฟฟ้า (ε) หรือ ค่าความซึมซาบแม่เหล็ก (μ) ค่าใดค่าหนึ่งที่เป็นลบซึ่งไม่ปรากฏทั่วไปตามธรรมชาตินั้นเรียกวัสดุชนิดนี้ว่า Single Negative Medium (SNG) สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

- **Negative Permittivity Medium** กล่าวคือมีค่าสภาพยอมไฟฟ้า (ε) เป็นลบแต่มีค่าความซึมซาบแม่เหล็ก (μ) เป็นบวก ดังนั้นเพื่อศึกษาวัสดุดังกล่าวจึงจำเป็นต้องกระตุ้นคลื่นพื้นผิวพลาสม่า (Surface Plasmons) ที่มีพื้นผิวของวัสดุที่หยาบ ไดอิเล็กตริกเชื่อมต่อสำหรับสุญญากาศที่มีรูปทรงเป็นครึ่งทรงโลกหรือปริซึม และโครงสร้างแถบโลหะ เป็นต้น
- **Negative Permeability Medium** กล่าวคือมีค่าความซึมซาบแม่เหล็ก (μ) เป็นลบแต่มีค่าสภาพยอมไฟฟ้า (ε) เป็นบวก ส่วนใหญ่มักจะพบได้ในการจัดเรียงรายคาบที่มีผลต่อการตอบสนองทางแม่เหล็กในย่านความถี่ไมโครเวฟหรือย่านความถี่สูงด้วยวัสดุที่มีค่าความซึมซาบแม่เหล็กประเภท แท่งนาโนคู่ (Coupled Nanorods) แผ่นนาโน (Nanoplates) แถบโลหะแถวลำดับ (Metallic Strips Array) และเรโซเนเตอร์แบบวงแหวนแยก (Split-Ring Resonator : SRR) เป็นต้น

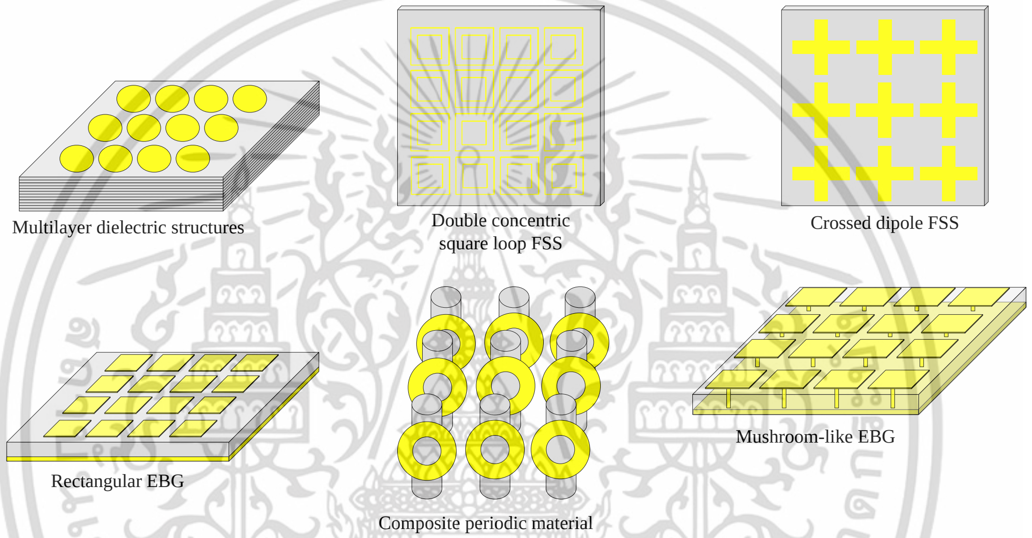
อีกหนึ่งคุณสมบัติที่น่าสนใจของอภิวัสดุคือ วัสดุที่มีค่าดัชนีหักเหเป็นศูนย์ ($n=0$) เรียกวัสดุชนิดนี้ว่า Zero Refractive Index (ZRI) และวัสดุที่มีดัชนีหักเหมีค่าใกล้เคียงศูนย์ ($n \to 0$) เรียกวัสดุชนิดนี้ว่า Near Zero Refractive Index (NZI) โดยเมื่อค่า $n=0$ หรือ $n \to 0$ จาก $n = \pm\sqrt{\varepsilon\mu}$ สามารถพิจารณาออกได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

- **Epsilon Near Zero (ENZ)** เมื่อ $\varepsilon = 0$ หรือ $\varepsilon \to 0$ และ $\mu \geq 1$
- **Mu Near Zero (MNZ)** เมื่อ $\mu = 0$ หรือ $\mu \to 0$ และ $\varepsilon \geq 1$
- **Double Zero Index (DZI)** เมื่อ $\varepsilon = \mu = 0$
- **Mu-Epsilon Near Zero (MENZ)** เมื่อ $\varepsilon \to 0$ และ $\mu \to 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Band Gap)

เมื่อกล่าวถึงความสัมพันธ์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับโครงสร้างรายคาบ (Periodic Structures) นั้น มักจะนิยมใช้งานในด้านของแถบหยุดความถี่ (Frequency Stop Bands) แถบความถี่ผ่าน (Pass Bands) และช่องว่างแถบ (Band Gaps) เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Band Gap : EBG) ได้รับความนิยมในการประยุกต์ใช้งานที่หลากหลายดังรูปที่ 2.19 สามารถเรียกได้ว่าเป็นโครงสร้างเทียมรายคาบ (Artificial Periodic Structures) ซึ่งสามารถทำหน้าที่ในการป้องกันหรือช่วยให้การแพร่กระจายคลื่นของแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่เฉพาะได้ในหลายทิศทาง

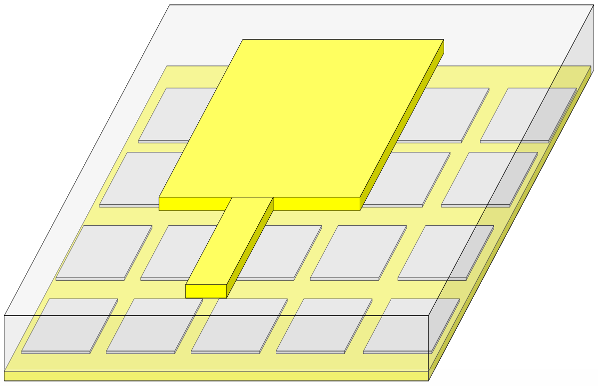


รูปที่ 2.19 ตัวอย่างโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า [38]

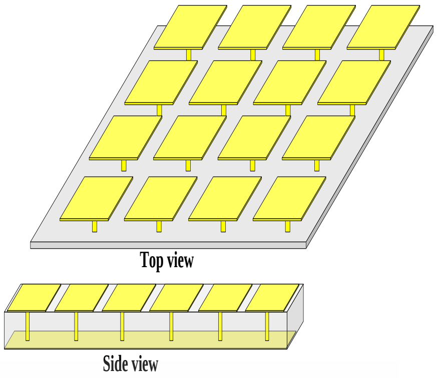
จากรูปที่ 2.19 โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า (EBG Structures) มักจะประกอบไปด้วยการจัดเรียงรายคาบของวัสดุตัวนำประเภทโลหะซึ่งสร้างบนวัสดุฐานรองที่มีค่าไดอิเล็กตริก โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทซึ่งถูกกำหนดโดยค่าทางเรขาคณิต ดังนี้

- Three-dimensional volumetric structures โครงสร้างปริมาตรสามมิติ
- Two-dimensional planar surfaces โครงสร้างพื้นผิวระนาบสองมิติ
- One-dimensional transmission lines โครงสร้างสายนำสัญญาณหนึ่งมิติ

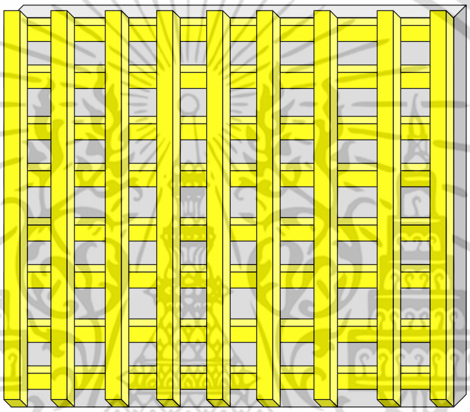
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) โครงสร้างสายนำสัญญาณหนึ่งมิติ



(ข) โครงสร้างพื้นผิวระนาบสองมิติ



(ค) โครงสร้างปริมาตรสามมิติ

รูปที่ 2.20 ประเภทของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า [38]

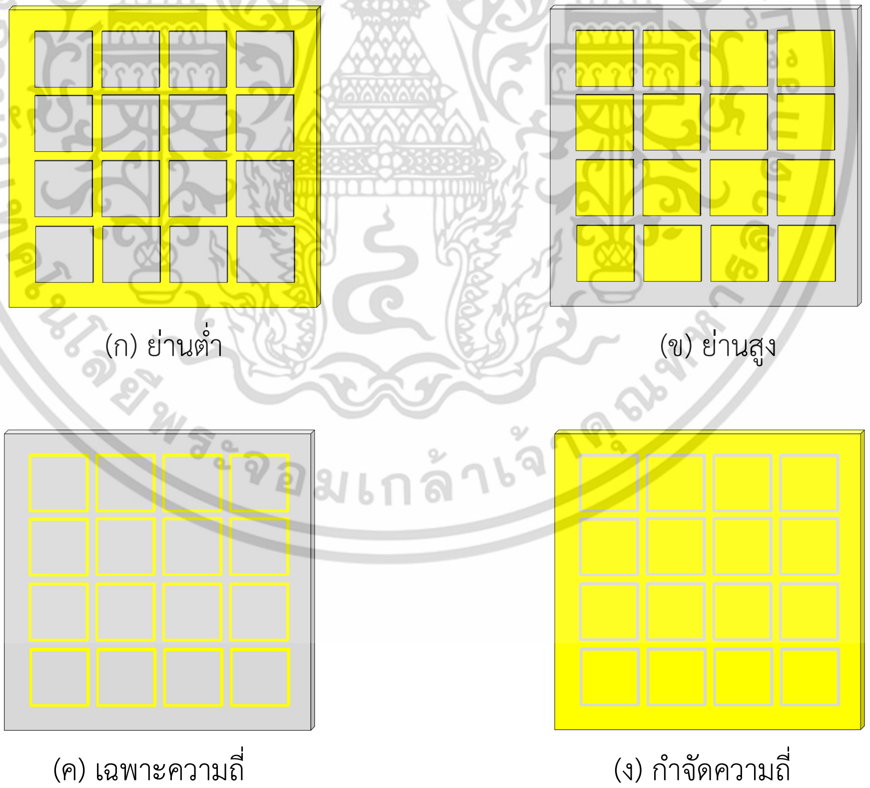
จากรูปที่ 2.20 แสดงตัวอย่างโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าในแต่ละประเภทโดยในรูปที่ 2.20(ก) แสดงโครงสร้างสายนำสัญญาณหนึ่งมิติ (EBG Transmission Line Structures) ซึ่งมีโครงสร้างแบบเส้นไมโครสตริปสร้างบนวัสดุฐานรองที่มีค่าไดอิเล็กตริก ในรูปที่ 2.20(ข) แสดงโครงสร้างพื้นผิวระนาบสองมิติที่มีการจัดเรียงรายคาบซึ่งมีโครงสร้างคล้ายเห็ด (Mushroom-Like EBG Structures) และรูปที่ 2.20(ค) แสดงโครงสร้างปริมาตรสามมิติโดยมีโครงสร้างคล้ายกับท่อนไม้รูปแบบชั้นวางซ้อน (Woodpile EBG Structures) ซึ่งในข้อความที่กล่าวมาข้างต้นนั้นโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าในแต่ละประเภทจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งานแต่โดยส่วนใหญ่แล้วการประยุกต์ใช้งานทางด้านวิศวกรรมสายอากาศมักนิยมใช้โครงสร้างพื้นผิวระนาบสองมิติ (2-D EBG structures) เนื่องจากมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ใช้ต้นทุนต่ำ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 พื้นผิวเลือกความถี่ (Frequency Selective Surface)

โดยปกติแล้วโครงสร้างของพื้นผิวเลือกความถี่ (Frequency Selective Surface : FSS) มีการจัดเรียงในลักษณะรายคาบซึ่งประดิษฐ์มาจากวัสดุประเภทโลหะที่มีความหนาน้อยกว่าความยาวคลื่นมาก ๆ เทียบเท่า 2 มิติที่สร้างบนวัสดุฐานรองที่มีค่าไดอิเล็กตริก ซึ่งรูปร่างและโครงสร้างของพื้นผิวเลือกความถี่นั้นโดยส่วนใหญ่แล้วจะขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งานที่สามารถออกแบบให้พื้นผิวเลือกความถี่มีคุณสมบัติที่ตอบสนองในเชิงความถี่ที่แตกต่างกันและทำให้เกิดความสามารถในการเปลี่ยนแปลงการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ ได้แก่ ตัวกรองความถี่ (Filter) วัสดุดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Microwave Absorber) ตัวสะท้อน (Reflector) รวมไปถึงวัสดุเทียมประเภทตัวนำแม่เหล็กเทียม (Artificial Magnetic Conductor) และช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Band Gap)

นอกจากนี้คุณสมบัติพื้นฐานของพื้นผิวเลือกความถี่ (FSS) นั้นสามารถออกแบบให้มีคุณสมบัติในการสะท้อนและการส่งผ่านความถี่เฉพาะได้โดยอาศัยคลื่นที่เข้ามาตกกระทบบนโครงสร้างของพื้นผิวเลือกความถี่ทำให้เกิดความถี่เรโซแนนซ์ อีกทั้งสามารถนำคุณสมบัติดังกล่าวมาประยุกต์ใช้งานในด้านของตัวกรองความถี่ย่านต่ำ (Low Pass Filter : LPF) ตัวกรองความถี่ย่านสูง (High Pass Filter : HPF) ตัวกรองเฉพาะย่านความถี่ (Band Pass Filter : BPF) และตัวกรองกำจัดความถี่ (Notch Filter) ดังรูปที่ 2.21 ตามลำดับ



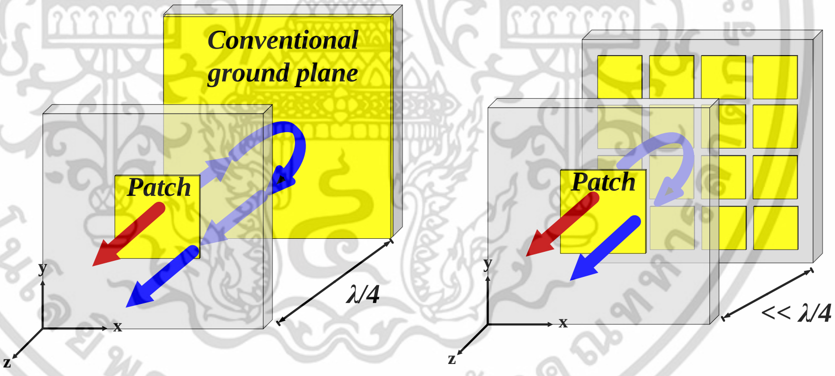
รูปที่ 2.21 ตัวกรองความถี่ [39]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ตัวนำแม่เหล็กเทียม (Artificial Magnetic Conductor)

โครงสร้างตัวนำแม่เหล็กเทียม (Artificial Magnetic Conductor : AMC) นั้นจัดได้ว่าเป็นวัสดุประเภทอภิวัสดุอีกประเภทหนึ่งที่ได้รับความนิยมในการประยุกต์ใช้งานทางด้านวิศวกรรมสายอากาศซึ่งมีโครงสร้างการจัดเรียงรายคาบของวัสดุประเภทโลหะที่สร้างบนวัสดุฐานรองที่มีค่าไดอิเล็กตริกและมีโครงสร้างใกล้เคียงกับโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า (EBG Structures) แต่จะแตกต่างกันตรงที่โครงสร้างตัวนำแม่เหล็กเทียม (AMC Structure) นั้นจะไม่มีแท่งโลหะเชื่อมต่อระหว่างแผ่นโลหะและระนาบกราวนด์ ซึ่งวัสดุฐานรองนั้นจะถูกเจาะรูเพื่อใส่แท่งโลหะ (Via Holes) ทำให้โครงสร้างตัวนำแม่เหล็กเทียมนั้นมีข้อดีทางด้านการออกแบบและสร้างชิ้นงานได้ง่าย ใช้ต้นทุนต่ำ เป็นต้น อีกทั้งมักนิยมนำไปใช้ในการเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศทำหน้าที่เปรียบเสมือนตัวสะท้อนซึ่งโดยส่วนใหญ่จะทำมาจากแผ่นโลหะตัวนำไฟฟ้าสมบูรณ์ (Perfect Electric Conductor : PEC) เพื่อสะท้อนมุมเท่ากับ 0°

จากรูปที่ 2.22(ก) โครงสร้างตัวสะท้อนที่ทำมาจากแผ่นโลหะตัวนำไฟฟ้าสมบูรณ์ (PEC) นั้นโดยทั่วไปแล้วจะถูกนำไปวางไว้ด้านหลังของสายอากาศซึ่งจะต้องมีระยะห่างระหว่างแพตช์กระจายสัญญาณและระนาบกราวนด์อย่างน้อย $\lambda/4$ ของความยาวคลื่นทำให้ขนาดของสายอากาศโดยรวมนั้นมีขนาดที่ใหญ่ขึ้น แต่ในทางกลับกันหากนำโครงสร้างตัวนำแม่เหล็กเทียม (AMC) มาประยุกต์ใช้จะทำให้ระยะห่างระหว่างแพตช์กระจายสัญญาณและระนาบกราวนด์นั้นลดลงน้อยกว่า $<<\lambda/4$ ของความยาวคลื่น ส่งผลให้ขนาดของสายอากาศโดยรวมนั้นลดลงดังรูปที่ 2.22(ข)



(ก) แผ่นโลหะตัวนำไฟฟ้าสมบูรณ์ (ข) ตัวนำแม่เหล็กเทียม

รูปที่ 2.22 โครงสร้างตัวสะท้อน [39]

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีมาก่อนหน้า

เนื่องด้วยการออกแบบสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) เพื่อทำให้สายอากาศสามารถมีความยืดหยุ่นในการออกแบบของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง ที่มีข้อเสียในการออกแบบระนาบกราวนด์ด้านล่างที่ต้องมีขนาดคงที่ตลอดเวลาในการนำไปใช้งานหรือติดตั้ง ทั้งนี้การนำระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ยังช่วยเพิ่มความกว้างช่วงความถี่ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ และอัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องอาศัยพื้นผิวอภิวัสดุ (Metasurface) ในการนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับสายอากาศดังกล่าวซึ่งเป็นความท้าทายและมีความแปลกใหม่สำหรับวิทยานิพนธ์เล่มนี้เป็นอย่างมาก อีกทั้งการนำพื้นผิวอภิวัสดุมาประยุกต์ใช้งานกับสายอากาศประเภทต่าง ๆ ก็ได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลาย

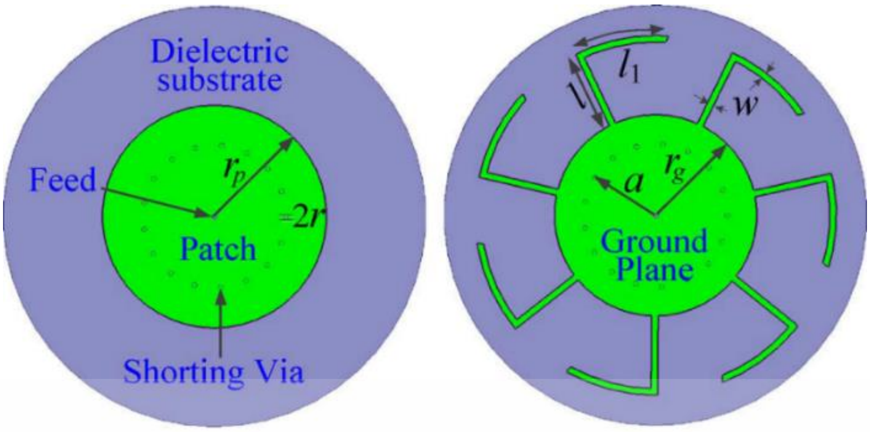
2.9.1 งานวิจัยสายอากาศโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางที่มีมาก่อน

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ที่มีมาก่อนหน้านั้นจะได้นำเสนอสายอากาศที่เป็นโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางเพื่อออกแบบสายอากาศให้สามารถแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางโพลาไรซ์วงกลมได้ เช่น ในเอกสารอ้างอิงที่ [1] ในส่วนเทคนิคไดอิเล็กทริกเรโซเนเตอร์แสดงในเอกสารอ้างอิงที่ [3], [13], [14] เทคนิคการใช้ไดโพลแบบโค้งงอในเอกสารอ้างอิงที่ [11] การใช้เทคนิคป้อนสัญญาณที่ต่างเฟสกัน 90° ในเอกสารอ้างอิงที่ [12] และการใช้เทคนิคพาราซิติกเพื่อแปลงโพลาไรซ์เชิงเส้นเป็นโพลาไรซ์วงกลม ในเอกสารอ้างอิงที่ [23] โดยโครงสร้างและคุณลักษณะของงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นมีดังต่อไปนี้

2.9.1.1 สายอากาศแพตช์โพลาไรซ์วงกลมย่านความถี่กว้างและสัณฐานต่ำแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง

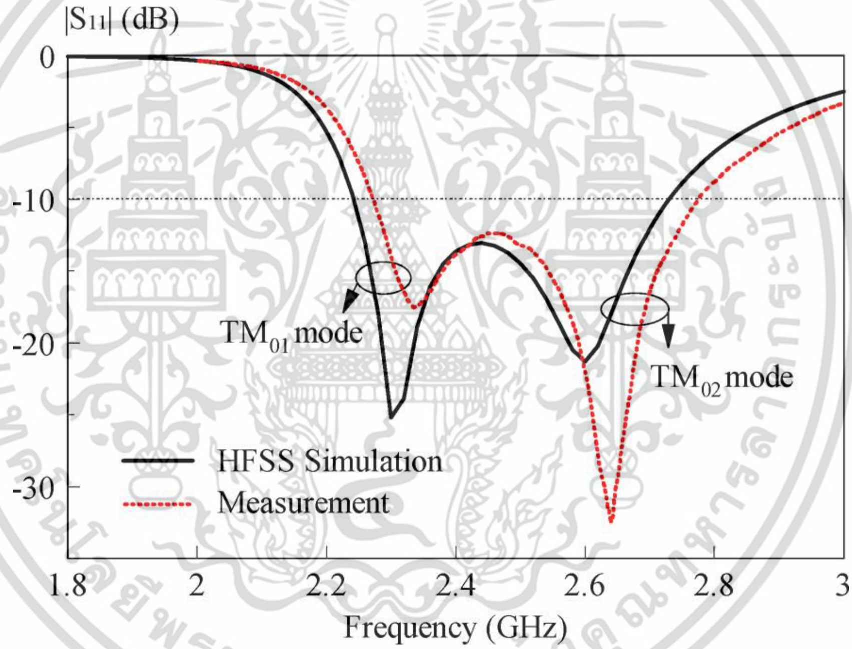
งานวิจัยแรกเป็นสายอากาศแพตช์โพลาไรซ์วงกลมย่านความถี่กว้างและสัณฐานต่ำแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางเป็นงานวิจัยในเอกสารอ้างอิงที่ [1] เป็นผลงานของ Y. M. Pan S. Y. Zheng และ B. J. Hu ที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 2014 จากรูปที่ 2.23(ก) - (ข) แสดงโครงสร้างของสายอากาศมีขนาดมิติ 1.362 λ_L × 1.362 λ_L × 0.023 λ_L เมื่อ λ_L คือความยาวคลื่นซึ่งสอดคล้องกับความถี่ต่ำสุด (2.27 GHz) ที่ใช้งานของสายอากาศ ซึ่งมีวัสดุฐานรองชนิด FR-4 จำนวน 1 ชั้น ทองแดง 2 หน้า หนา H = 3.0 mm โครงสร้างสายอากาศชั้นบนประกอบไปด้วยแพตช์กระจายสัญญาณรูปวงจักรจำนวน 7 องค์ประกอบที่มีการเจาะเส้นลวดเชื่อมต่อจำนวน N = 16 จุด โดยเชื่อมต่อแพตช์กระจายสัญญาณด้านบนกับระนาบกราวนด์ (Ground Plane) ชั้นล่างที่มีการป้อนสัญญาณแบบคอนเนคเตอร์ SMA จากรูปที่ 2.24(ก) – 2.23(ง) แสดงผลการทดสอบของค่า $|S_{11}|$ ($|S_{11}| \leq$ -10) เท่ากับ 19.84% (2.27 – 2.77 GHz) อัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์ (ARBW ≤ 3) เท่ากับ 19.27% (2.25 – 2.73 GHz อัตราขยายสูงสุดในแนวด้านหน้าสายอากาศ (3-dB boresight gain) เท่ากับ 2.32 dBic ที่ความถี่ 2.64 GHz และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ y-z และระนาบ x-z ที่ความถี่ 2.44 GHz ดังรูปที่ 2.24(ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)

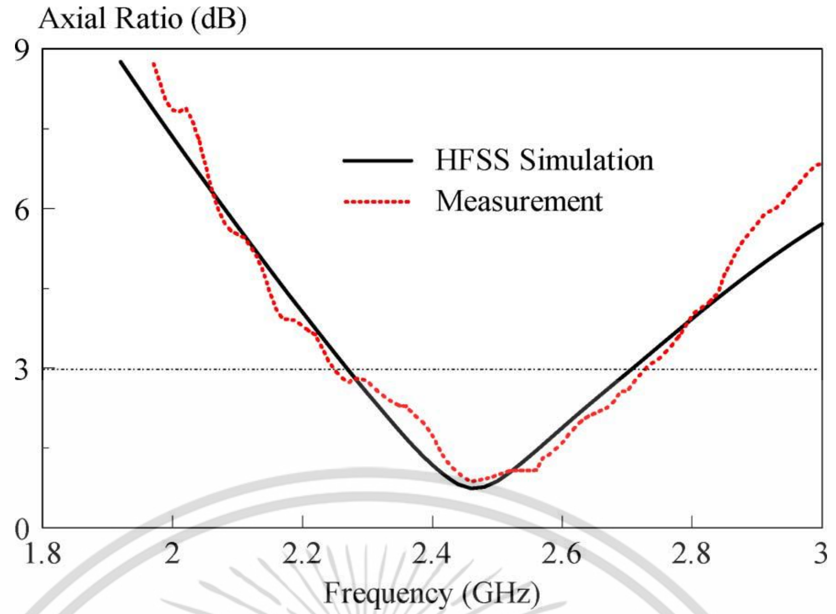
รูปที่ 2.23 โครงสร้างสายอากาศแพตช์โพลาไรซ์วงกลมย่านความถี่กว้างและสัณฐานต่ำแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง: (ก) มุมมองด้านหน้า (ข) มุมมองด้านล่าง [1]



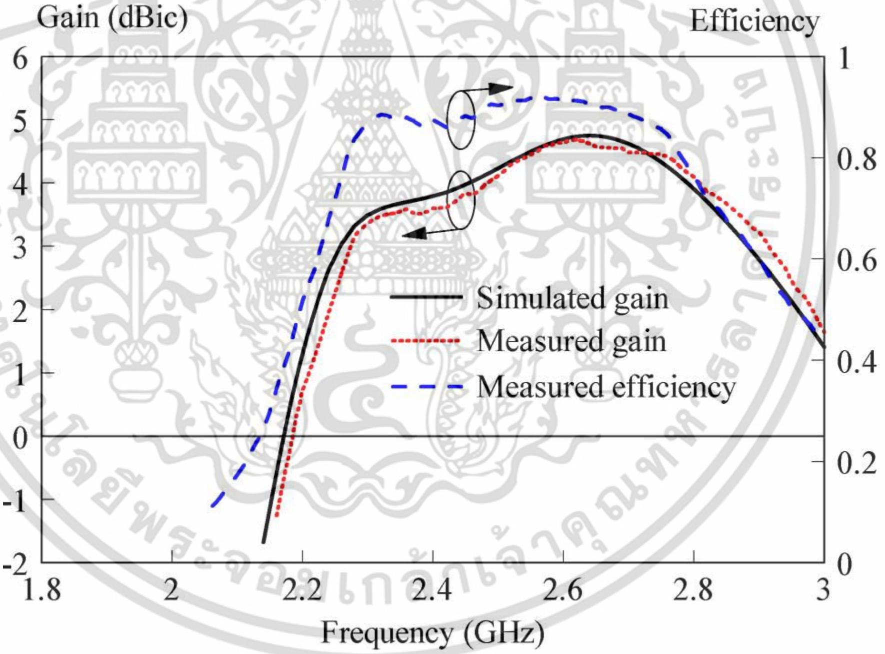
(ก) ผลการจำลองและผลการทดสอบค่า $|S_{11}|$

รูปที่ 2.24 สมรรถนะของสายอากาศแพตช์โพลาไรซ์วงกลมย่านความถี่กว้างและสัณฐานต่ำแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางเอกสารอ้างอิงที่ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



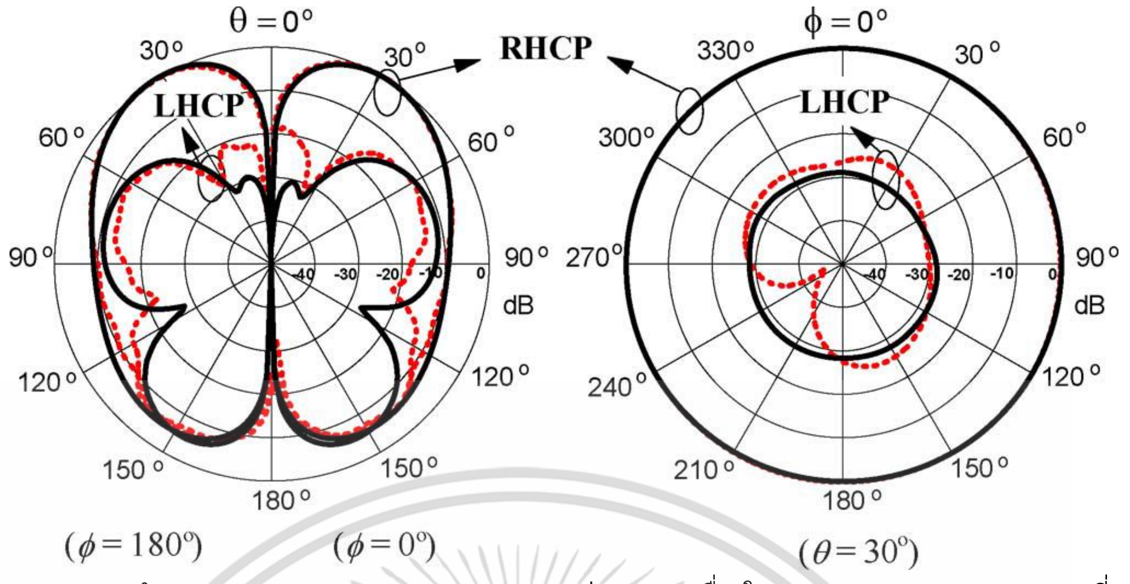
(ข) ผลการจำลองและผลการทดสอบค่าอัตราส่วนแกน



(ค) ผลการจำลองและผลการทดสอบอัตราขยายและประสิทธิภาพสายอากาศ

รูปที่ 2.24 สมรรถนะของสายอากาศแพตช์โพลาไรซ์วงกลมย่านความถี่กว้างและสัณฐานต่ำแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางเอกสารอ้างอิงที่ [1] (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



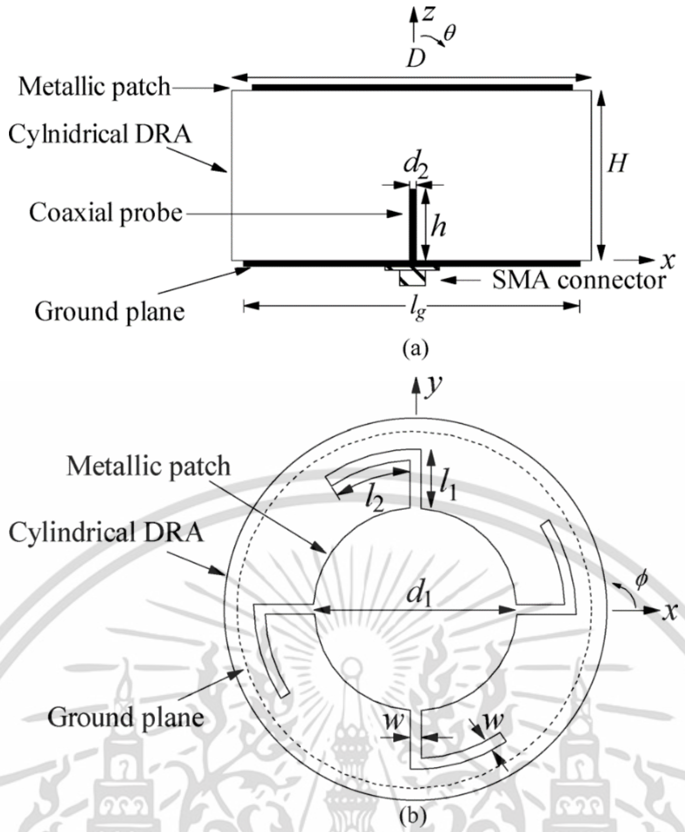
(ง) ผลการจำลองและผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ในระนาบ y-z และระนาบ x-z ที่ความถี่ 2.44 GHz

รูปที่ 2.24 สมรรถนะของสายอากาศแพตช์โพลาไรซ์วงกลมย่านความถี่กว้างและสัณฐานต่ำแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางเอกสารอ้างอิงที่ [1] (ต่อ)

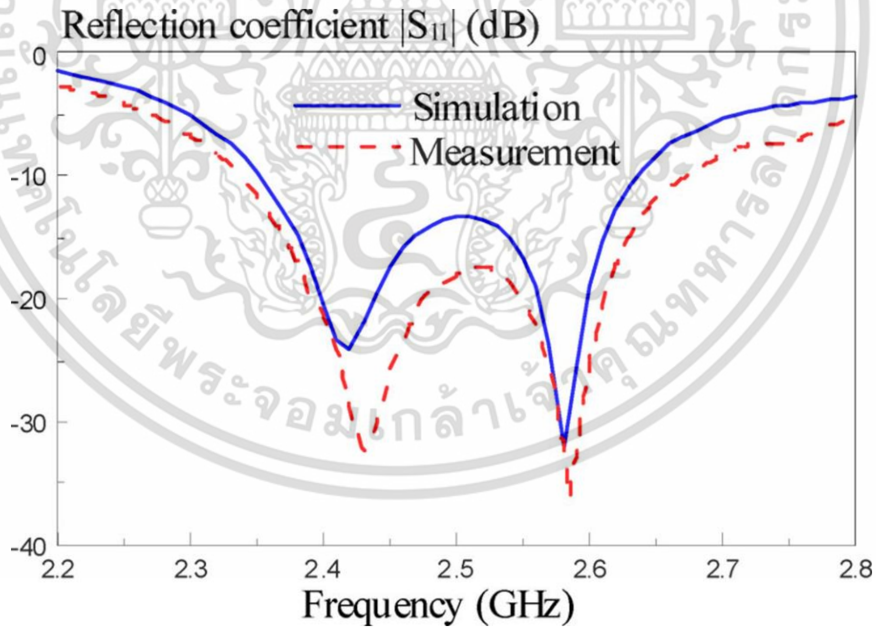
2.9.1.2 สายอากาศไดอิเล็กตริกเรโซเนเตอร์โพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางร่วมกับ โหลดด้านบนแบบอัลฟอร์ดลูปสำหรับการออกแบบความหลากหลายของแบบรูปการณ์ แพร่กระจายคลื่น

งานวิจัยที่สองเป็นสายอากาศไดอิเล็กตริกเรโซเนเตอร์โพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง โดยประยุกต์ใช้งานร่วมกับโหลดด้านบนแบบอัลฟอร์ดลูปสำหรับการออกแบบความหลากหลายของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจากเอกสารอ้างอิงที่ [3] เป็นผลงานของ W. W. Li และ K. W. Leung ที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 2013 จากรูปที่ 2.25(ก) โครงสร้างของสายอากาศมีขนาดมิติ 49 mm × 49 mm × 22 mm ซึ่งมีแผ่นอลูมิเนียมเป็นระนาบกราวนด์ ที่มีโพรบโมโนโพลอยู่กึ่งกลางของสายอากาศ เช่นเดียวกับจุดป้อนสัญญาณที่เชื่อมต่อด้วยคอนเนคเตอร์ SMA และมีไดอิเล็กตริกเรโซเนเตอร์รูปทรงกระบอกวางบนระนาบกราวนด์แผ่นอลูมิเนียมล้อมรอบโพรบโมโนโพลเอาไว้กึ่งกลางของไดอิเล็กตริกเรโซเนเตอร์ จากรูปที่ 2.25(ข) – (จ) แสดงผลการทดสอบแบนด์วิดท์ของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเท่ากับ 13.2% (2.34– 2.67 GHz) อัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์เท่ากับ 10.5% (2.26– 2.51 GHz) อัตราขยายสูงสุดเท่ากับ 1.8 dBic ที่ความถี่ 2.4 GHz และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว ในระนาบ x-z และระนาบ y-z ที่ความถี่ 2.4 GHz มีค่า XPL ระหว่าง RHCP กับ LHCP มากกว่า 15 dB ดังรูปที่ 2.24(จ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



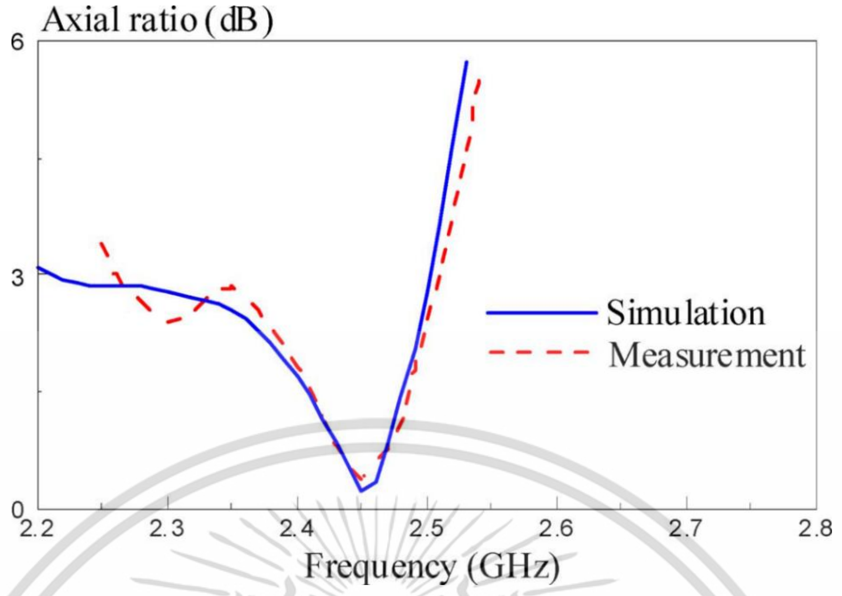
(ก) โครงสร้างสายอากาศ



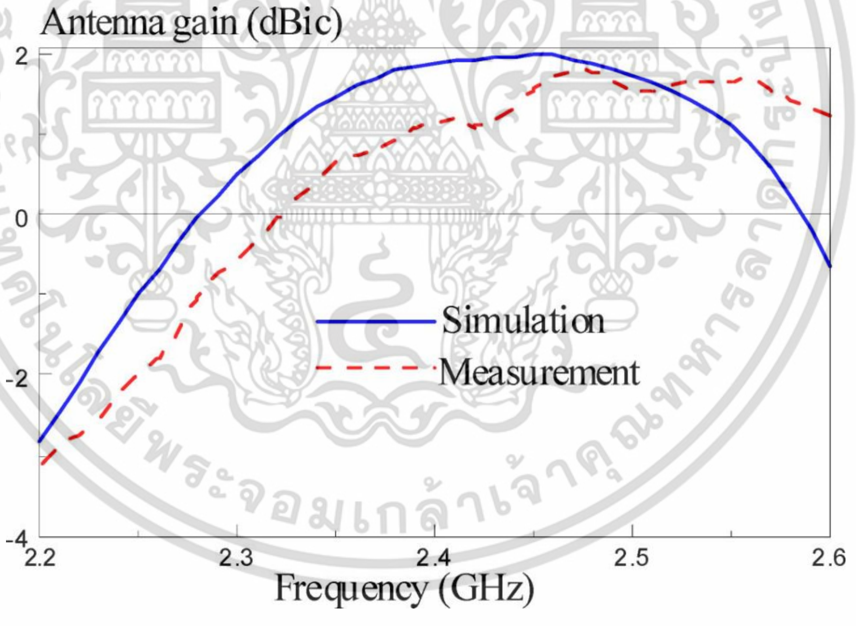
(ข) ผลการจำลองและผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ ($|S_{11}|$)

รูปที่ 2.25 โครงสร้างสายอากาศไดอิเล็กตริกเรโซเนเตอร์โพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางโดยประยุกต์ใช้งานร่วมกับโหลดด้านบนแบบอัลฟอร์ดลูปสำหรับการออกแบบความหลากหลายของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจากเอกสารอ้างอิงที่ [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



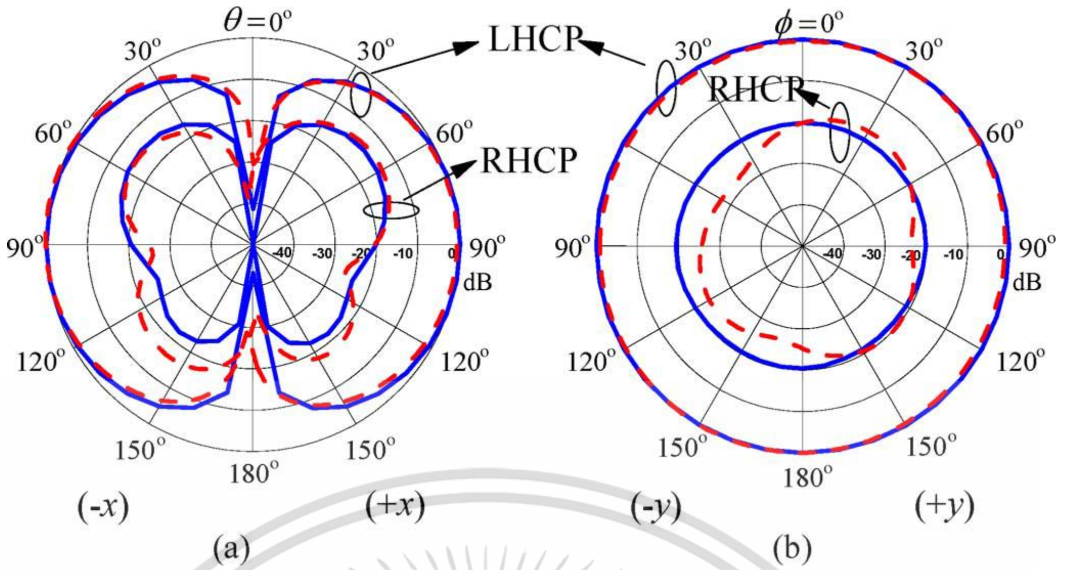
(ค) ผลการทดสอบอัตราส่วนแกน



(ง) ผลการทดสอบอัตราขยาย

รูปที่ 2.25 โครงสร้างสายอากาศไดอิเล็กตริกเรโซเนเตอร์โพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางโดยประยุกต์ใช้งานร่วมกับโหลดด้านบนแบบอัลฟอร์ดลูปสำหรับการออกแบบความหลากหลายของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจากเอกสารอ้างอิงที่ [3] (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



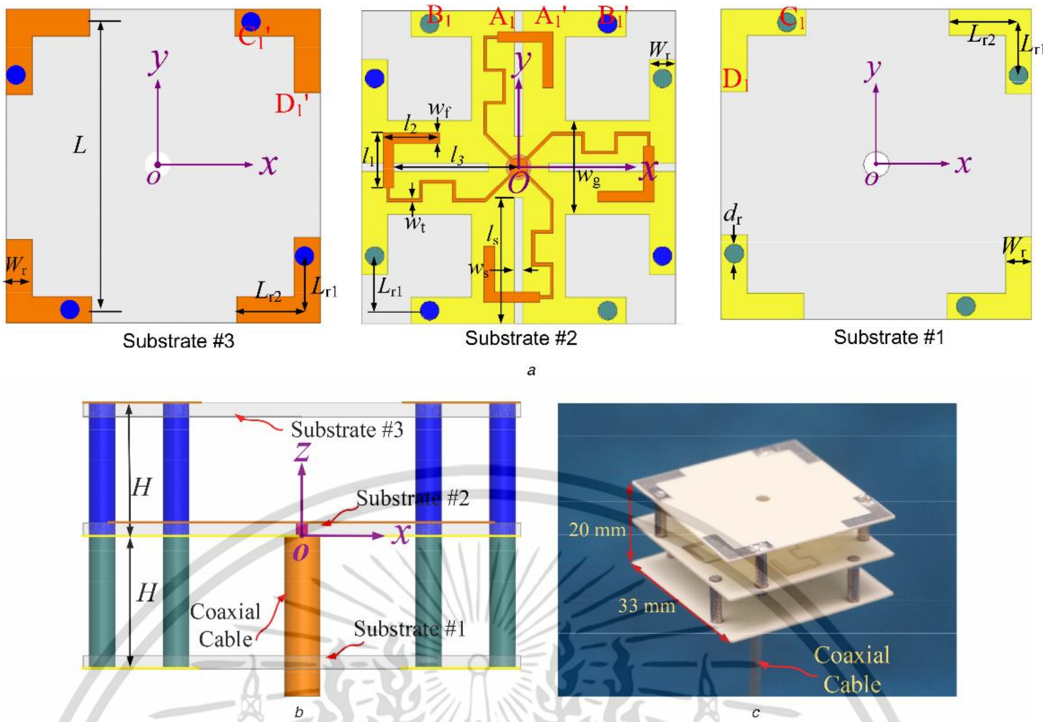
(จ) ผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ในระนาบ x-z และระนาบ x-y ที่ความถี่ 2.4 GHz

รูปที่ 2.25 โครงสร้างสายอากาศไดอิเล็กตริกเรโซเนเตอร์โพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางโดยประยุกต์ใช้งานร่วมกับโหลดด้านบนแบบอัลฟอร์ดลูปสำหรับการออกแบบความหลากหลายของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจากเอกสารอ้างอิงที่ [3] (ต่อ)

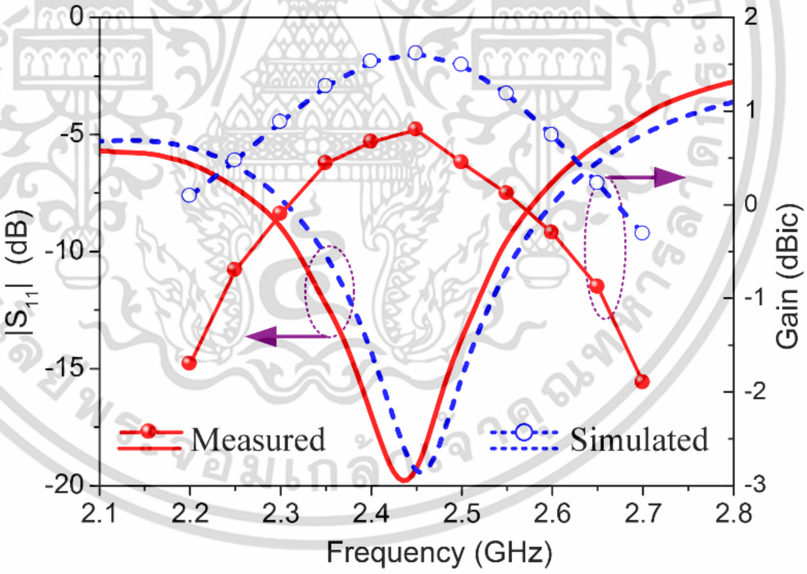
2.9.1.3 สายอากาศโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางที่มีขนาดกะทัดรัดโดยใช้สายอากาศไดโพลแบบโค้งงอร่วมกับบาลัน

งานวิจัยที่สามเป็นสายอากาศโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางที่มีขนาดกะทัดรัดโดยใช้สายอากาศไดโพลแบบโค้งงอร่วมกับบาลันจากเอกสารอ้างอิงที่ [11] เป็นผลงานของ Y. Yu J. Xiong และ H. Li ที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 2017 จากรูปที่ 2.26(ก) โครงสร้างของสายอากาศมีขนาดมิติ 0.255 λ_L × 0.255 λ_L × 0.155 λ_L ที่ความถี่ 2.32 GHz ซึ่งมีวัสดุฐานรองจำนวน 3 ชั้นวางซ้อนห่างกัน โดยวัสดุฐานรองชั้นบนสุด (วัสดุฐานรอง 3) จะประกอบไปด้วยแขนไดโพลแบบโค้งงอรูปตัวแอล จำนวน 4 องค์ประกอบ วางในตำแหน่งมุมทั้ง 4 ของโครงสร้างสายอากาศ ซึ่งบริเวณปลายจะเชื่อมกับแท่งตัวนำ (สีน้ำเงิน) ส่วนวัสดุฐานรองชั้นที่ 2 จะเป็นแผ่นซับสเตรทแบบสองหน้า ชั้นบนจะเป็นเส้นสตริปป้อนแบบแบ่งกำลังงานจำนวน 4 เส้น ทำหน้าที่เป็นบาลันและป้อนสัญญาณให้กับโพรบตัวแอลทั้ง 4 ตัว เพื่อเป็นตัวแพร่กระจายคลื่น โดยชั้นล่างจะเป็นระนาบกราวนด์ที่ทำการเซาะร่องให้ได้โครงสร้างสายอากาศไดโพล ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำและแพร่กระจายคลื่นอีกทอดหนึ่ง ในส่วนของวัสดุฐานรองชั้นที่ 1 จะคล้ายกับวัสดุฐานรองชั้นบนสุด จะมีส่วนแตกต่างกันก็คือจุดที่เชื่อมต่อกับแท่งตัวนำ (สีเขียว) ที่เชื่อมต่อบริเวณปลายแขนไดโพลแบบโค้งงอรูปตัวแอลคนละด้านกัน มีการป้อนสัญญาณโดยใช้สายนำสัญญาณโคแอกซียลป้อนบริเวณจุดกึ่งกลางของโครงสร้างสายอากาศ จากรูปที่ 2.26(ข) – 2.25(ง) แสดงผลการทดสอบแบนด์วิดท์ของ $|S_{11}|$ กว้างเท่ากับ 9% (220 MHz) แบนด์วิดท์ของอัตราส่วนแกนเท่ากับ 290 MHz (2.32 – 2.61 GHz) อัตราขยายสูงสุดเท่ากับ 1.2 dBic ที่ความถี่ 2.45 GHz และมีแบบรูปการณ์แพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว ในระนาบ x-y และระนาบ x-z ที่ความถี่ 2.45 GHz มีค่า XPL ประมาณ -19 dB ดังรูปที่ 2.25(ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



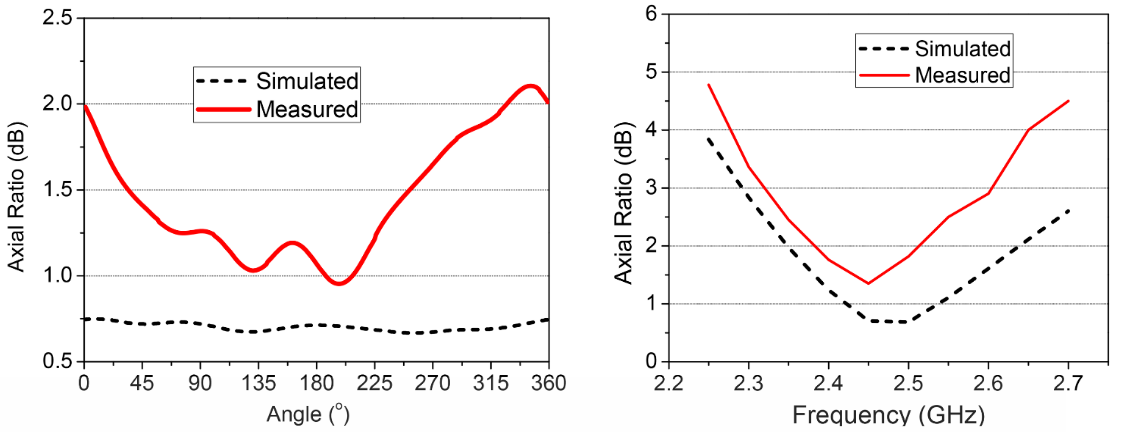
(ก) สายอากาศโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางที่มีขนาดกะทัดรัด
โดยใช้สายอากาศไดโพลแบบโค้งงอร่วมกับบาลัน



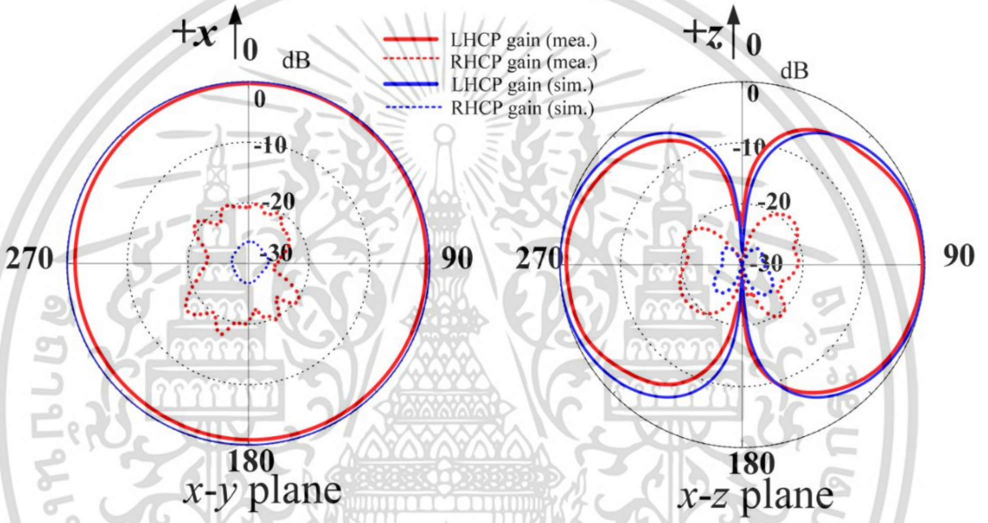
(ข) ผลการจำลองและทดสอบ $|S_{11}|$ และอัตราขยาย

รูปที่ 2.26 สมรรถนะของสายอากาศโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางที่มีขนาดกะทัดรัด
โดยใช้สายอากาศไดโพลแบบโค้งงอร่วมกับบาลันจากเอกสารอ้างอิงที่ [11] (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) ผลการจำลองและทดสอบอัตราส่วนแกนต่อมุมมองศาและความถี่



(ง) ผลการจำลองและทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ในระนาบ x-y และระนาบ x-z ที่ความถี่ 2.45 GHz

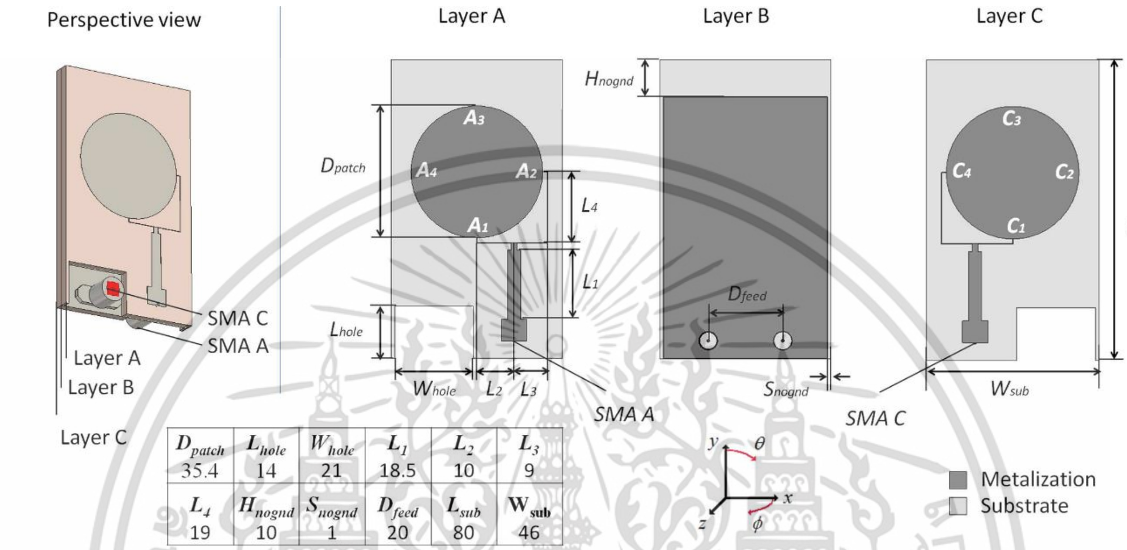
รูปที่ 2.26 สมรรถนะของสายอากาศโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางที่มีขนาดกะทัดรัด โดยใช้สายอากาศไดโพลแบบโค้งงอร่วมกับบาลันจากเอกสารอ้างอิงที่ [11] (ต่อ)

2.9.1.4 สายอากาศโพลาไรซ์วงกลมร่วมกับระบบควบคุมทิศทางที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นคล้ายไดโพล

งานวิจัยที่สี่เป็นสายอากาศโพลาไรซ์วงกลมร่วมกับระบบควบคุมทิศทางที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นคล้ายไดโพลจากเอกสารอ้างอิงที่ [12] เป็นผลงานของ A Narbudowicz และ X Baoc และคณะ ที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 2014 จากรูปที่ 2.27(ก) แสดงโครงสร้างของสายอากาศมีขนาดมิติ $0.640\lambda_L \times 0.368\lambda_L \times 0.048\lambda_L$ ที่ความถี่ 2.40 GHz ซึ่งมีวัสดุฐานรองจำนวน 2 ชั้นซ้อนติดกัน โดยวัสดุฐานรองชั้นบน (ชั้น A) ประกอบไปด้วยสายอากาศไมโครสตริปแพตช์แผ่นวงกลมที่มีการป้อนสัญญาณโดยใช้ตัวแบ่งกำลังงานที่ทำหน้าที่ป้อนเฟสที่ต่างกัน 90° ซึ่งใช้คอนเนคเตอร์ SMA ในการป้อนสัญญาณ ส่วนชั้น B จะเป็นแผ่นระนาบกราวนด์ และชั้น C จะเป็นสายอากาศองค์ประกอบและวัสดุฐานรองชั้นล่างประกอบไปด้วยไมโครสตริปแพตช์แผ่นวงกลมคล้าย

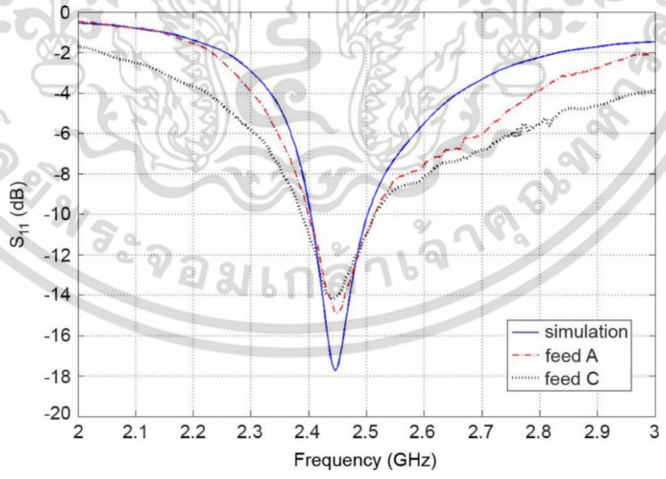
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับสายอากาศชั้น A แตกต่างกันที่จุดป้อนสัญญาณจะถูกป้อนคนละฝั่งกัน จากรูปที่ 2.27(ข) – 2.27(ง) แสดงผลการจำลองและทดสอบแบนด์วิดท์ของ $|S_{11}|$ เท่ากับ 4.48% (2.4 – 2.51 GHz) แบนด์วิดท์ของอัตราส่วนแกนเท่ากับ 1.2% (2.464 – 2.494 GHz) อัตราขยายสูงสุดเท่ากับ 2 dBic ที่ความถี่ 2.47 GHz และมีแบบรูปการณ์แพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง ในระนาบ x-z และระนาบ y-z ที่ความถี่ 5.3 GHz ดังรูปที่ 2.27(ง)



D_{patch}	L_{hole}	W_{hole}	L_1	L_2	L_3
35.4	14	21	18.5	10	9
L_4	H_{nognd}	S_{nognd}	D_{feed}	L_{sub}	W_{sub}
19	10	1	20	80	46

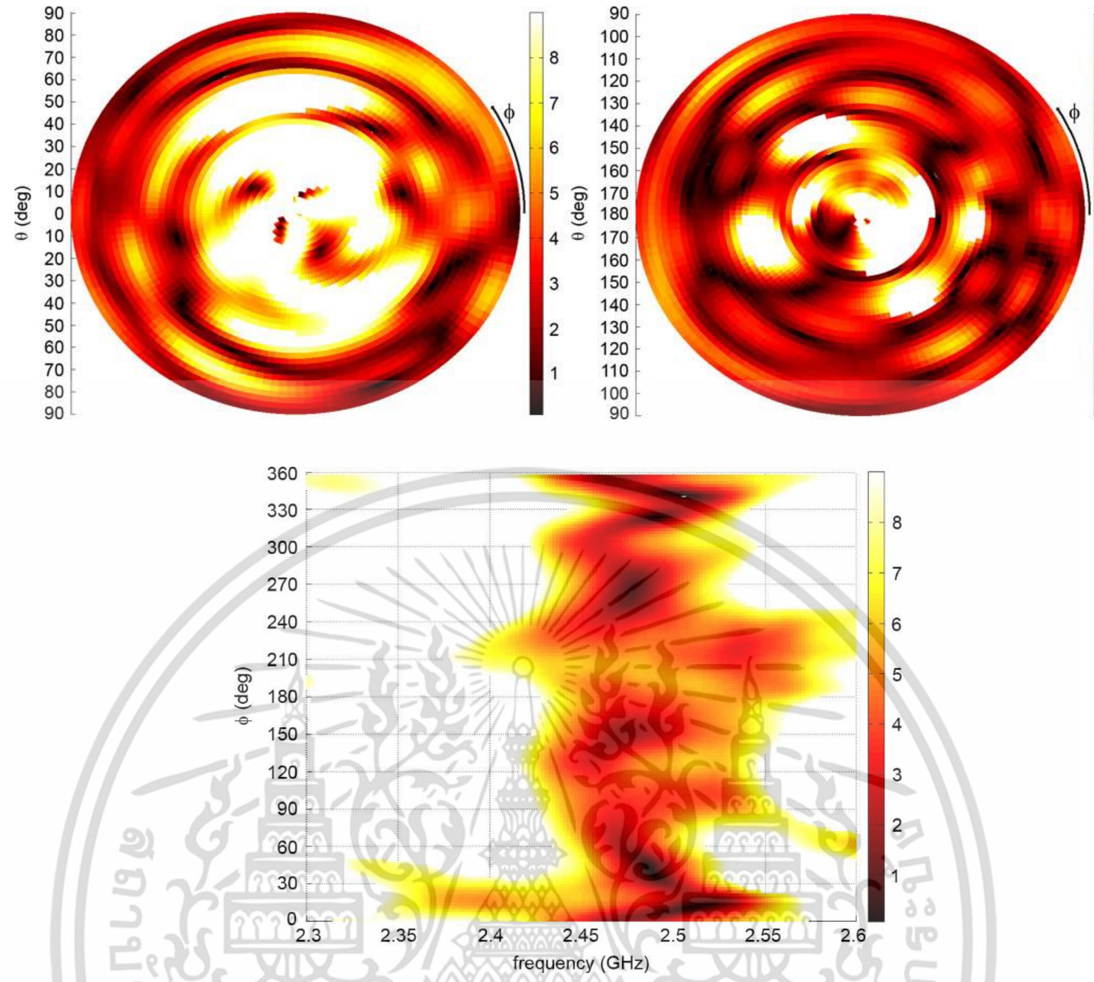
(ก) สายอากาศโพลาไรซ์วงกลมร่วมกับระบบควบคุมทิศทาง
ที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นคล้ายไดโพล



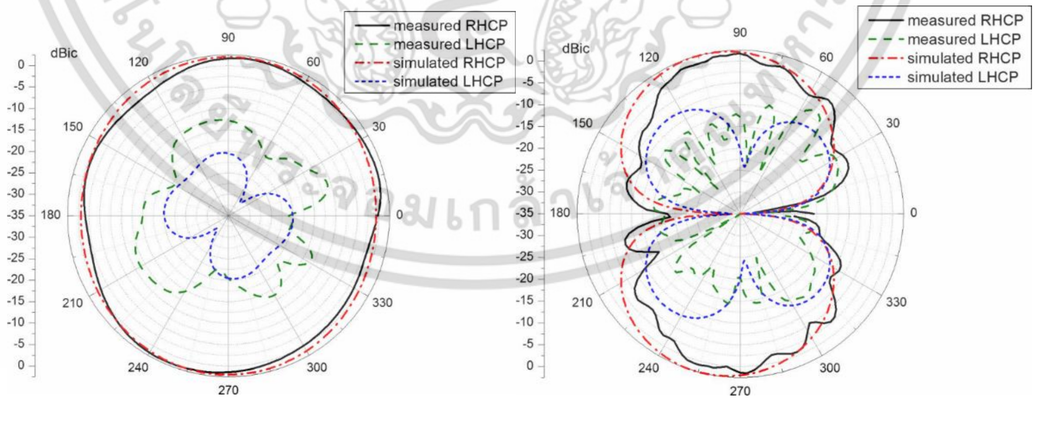
(ข) ผลการจำลองและการทดสอบ $|S_{11}|$

รูปที่ 2.27 สมรรถนะของสายอากาศโพลาไรซ์วงกลมร่วมกับระบบควบคุมทิศทางที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นคล้ายไดโพลจากเอกสารอ้างอิงที่ [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) ผลการทดสอบอัตราส่วนแกนในฟังก์ชั่นของมุมและความถี่



(ง) ผลการจำลองและทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ในระนาบ x-z และระนาบ y-z ที่ความถี่ 2.47 GHz สำหรับการทดสอบและที่ความถี่ 2.46 GHz สำหรับการจำลอง

รูปที่ 2.27 สมรรถนะของสายอากาศโพลาไรซ์วงกลมร่วมกับระบบควบคุมทิศทางที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นคล้ายไดโพลจากเอกสารอ้างอิงที่ [12] (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

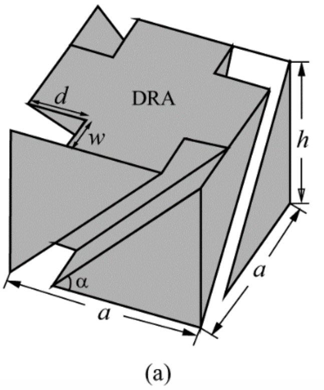
2.9.1.5 สายอากาศไดอิเล็กทริกเรโซเนเตอร์ทรงสี่เหลี่ยมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางที่มีการโพลาไรซ์เชิงเส้นและวงกลม

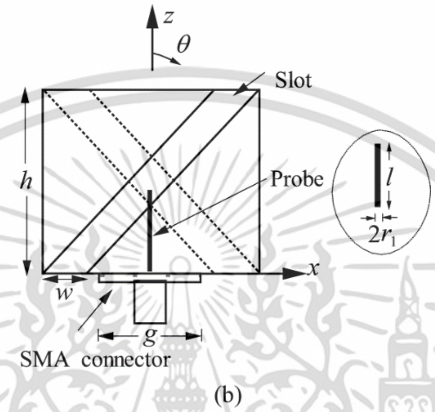
งานวิจัยที่ห้าสายอากาศไดอิเล็กทริกเรโซเนเตอร์ทรงสี่เหลี่ยมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางที่มีการโพลาไรซ์เชิงเส้นและวงกลมจากเอกสารอ้างอิงที่ [13] เป็นผลงานของ Y. M. Pan K. W. Leung และ K. Lu ที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 2012 จากรูปที่ 2.28(ก) โครงสร้างของสายอากาศมีขนาดมิติ $0.299\lambda_L \times 0.299\lambda_L \times 0.253\lambda_L$ ที่ความถี่ 2.30 GHz ซึ่งสายอากาศประกอบด้วยสายอากาศโมโนโพล ทำหน้าที่แพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวโพลาไรซ์เชิงเส้นแนวตั้ง ร่วมกับไดอิเล็กทริกเรโซเนเตอร์ทรงสี่เหลี่ยมที่มีการเซาะร่องทั้ง 4 ด้านไดอิเล็กทริกเรโซเนเตอร์ทรงสี่เหลี่ยม เพื่อทำหน้าที่แปลงโพลาไรซ์เชิงเส้นแนวตั้งเป็นโพลาไรซ์วงกลม จากรูปที่ 2.28(ข) – 2.28(จ) แสดงผลการทดสอบแบนด์วิดท์ของ $|S_{11}|$ เท่ากับ 24.42% (5 – 6.5 GHz) แบนด์วิดท์ของอัตราส่วนแกนเท่ากับ 7.3% (2.39 – 2.57 GHz) อัตราขยายสูงสุดเท่ากับ 1.6 dBic ที่ความถี่ 2.6 GHz และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง แสดงดังในระนาบ x-z และระนาบ y-z ที่ความถี่ 2.46 GHz ดังรูปที่ 2.28(จ)

(ก) สายอากาศไดอิเล็กทริกเรโซเนเตอร์ทรงสี่เหลี่ยมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางที่มีการโพลาไรซ์เชิงเส้นและวงกลมต้นแบบ

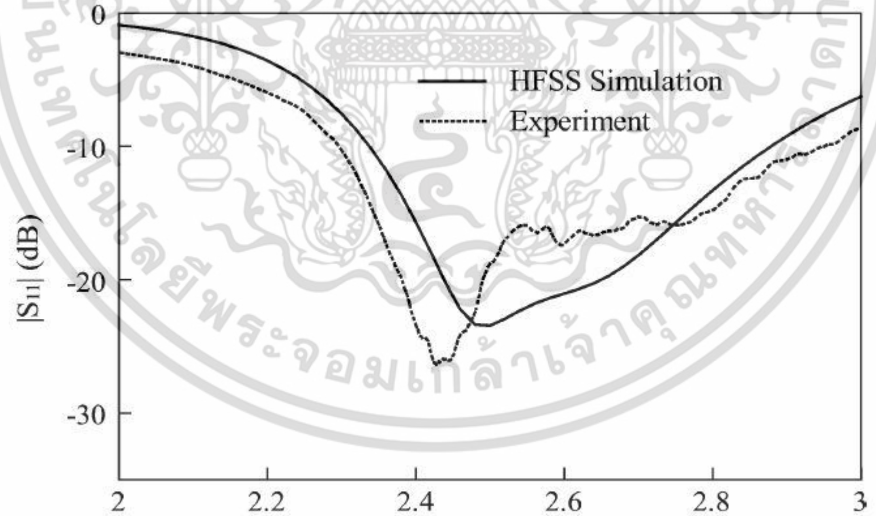
รูปที่ 2.28 สมรรถนะของสายอากาศไดอิเล็กทริกเรโซเนเตอร์ทรงสี่เหลี่ยมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางที่มีการโพลาไรซ์เชิงเส้นและวงกลมจากเอกสารอ้างอิงที่ [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





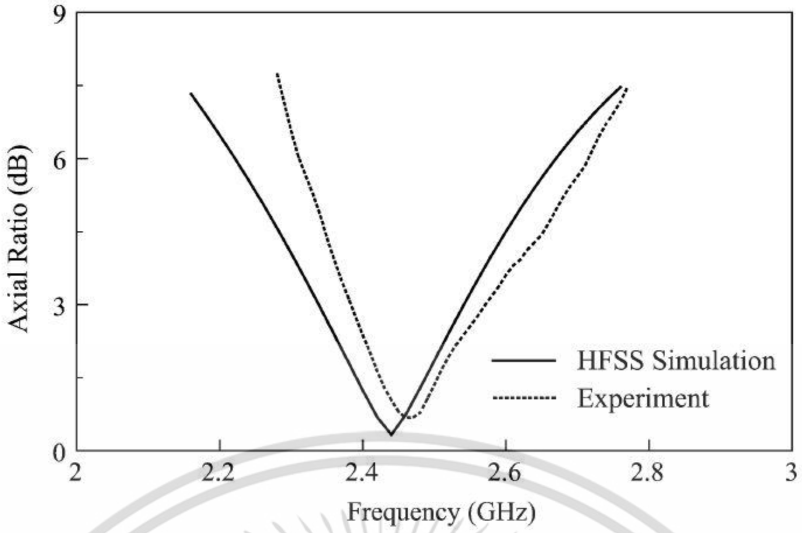
(ก) โครงสร้างสายอากาศไดอิเล็กทริกเรโซเนเตอร์ทรงสี่เหลี่ยมแพร่กระจายคลื่น
รอบทิศทางที่มีการโพลาไรซ์เชิงเส้นและวงกลม



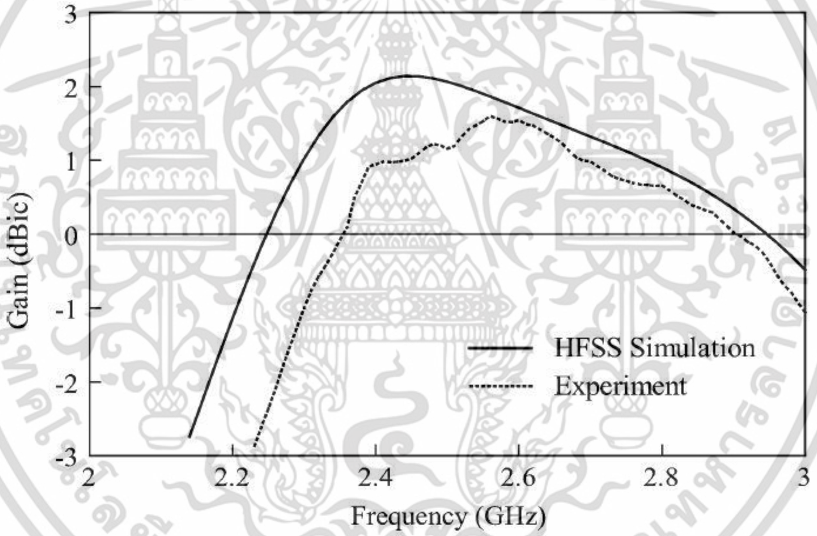
(ข) ผลการจำลองและทดสอบ $|S_{11}|$

รูปที่ 2.28 สมรรถนะของสายอากาศไดอิเล็กทริกเรโซเนเตอร์ทรงสี่เหลี่ยมแพร่กระจายคลื่น
รอบทิศทางที่มีการโพลาไรซ์เชิงเส้นและวงกลมจากเอกสารอ้างอิงที่ [13] (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



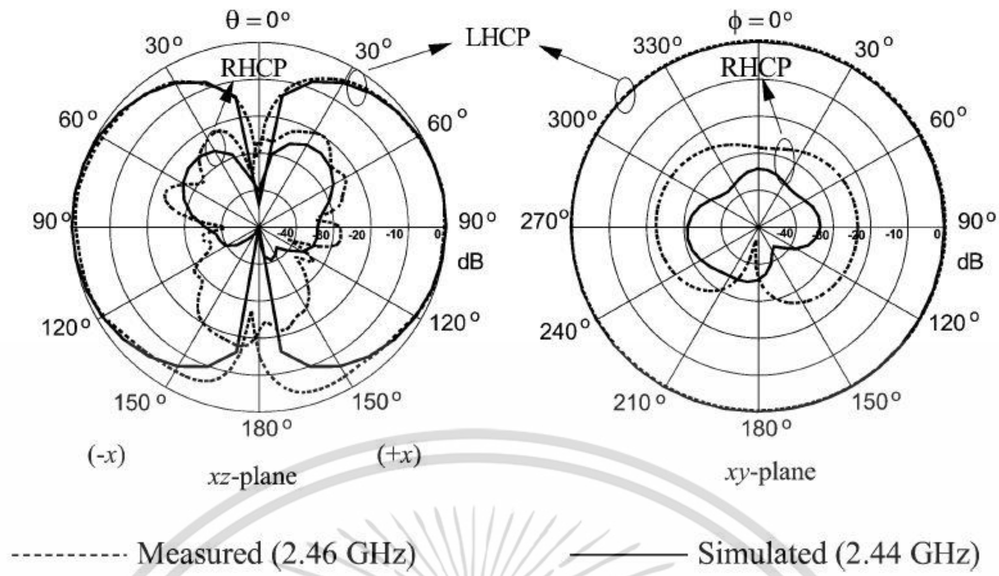
(ค) ผลการจำลองและทดสอบอัตราส่วนแกน



(ง) ผลจำลองและการทดสอบอัตราขยาย

รูปที่ 2.28 สมรรถนะของสายอากาศไดอิเล็กทริกเรโซเนเตอร์ทรงสี่เหลี่ยมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางที่มีการโพลาไรซ์เชิงเส้นและวงกลมจากเอกสารอ้างอิงที่ [13] (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



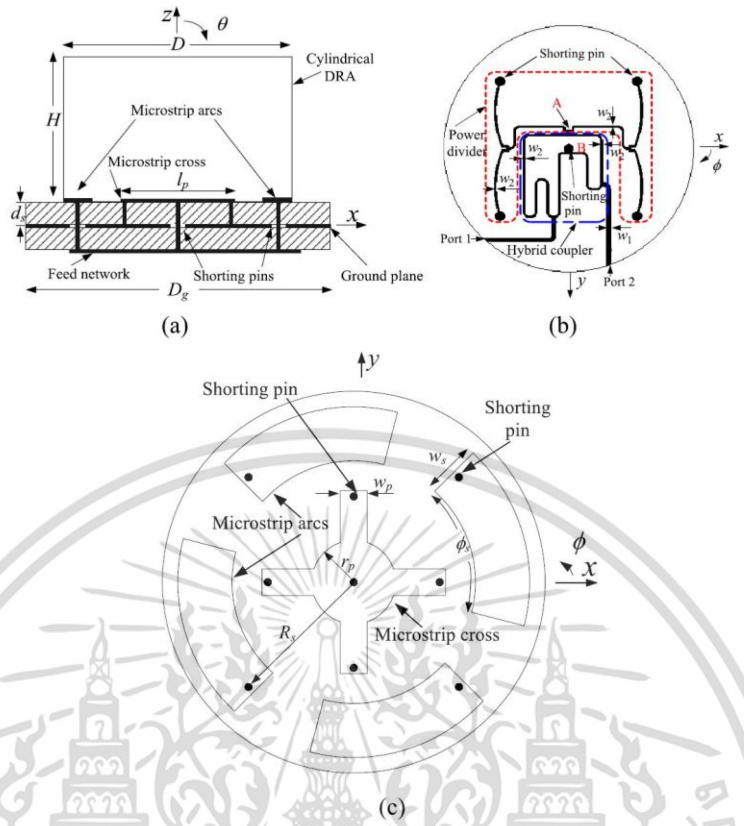
(จ) ผลการจำลองและทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ในระนาบ x-z และระนาบ y-z ที่ความถี่ 2.46 GHz สำหรับผลทดสอบ และที่ความถี่ 2.44 GHz สำหรับผลจำลอง

รูปที่ 2.28 สมรรถนะของสายอากาศไดอิเล็กทริกเรโซเนเตอร์ทรงสี่เหลี่ยมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางที่มีการโพลาไรซ์เชิงเส้นและวงกลมจากเอกสารอ้างอิงที่ [13] (ต่อ)

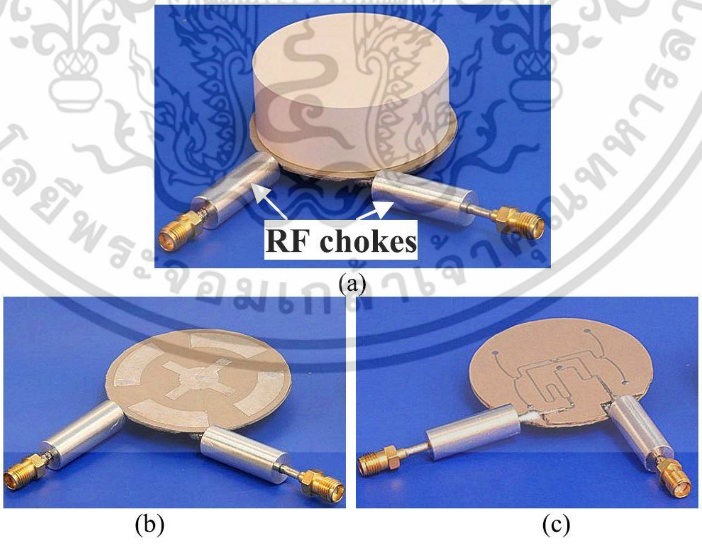
2.9.1.6 สายอากาศไดอิเล็กตริกเรโซเนเตอร์แพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางร่วมกับระนาบป้อนสัญญาณสำหรับการออกแบบที่แตกต่างกันของโพลาไรซ์วงกลม

งานวิจัยที่หกเป็นสายอากาศไดอิเล็กตริกเรโซเนเตอร์แพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางร่วมกับระนาบป้อนสัญญาณสำหรับการออกแบบที่แตกต่างกันของโพลาไรซ์วงกลมจากเอกสารอ้างอิงที่ [14] เป็นผลงานของ W. Li K. W. Leung และ N. Yang ที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 2018 จากรูปที่ 2.29(ก) โครงสร้างของสายอากาศมีขนาดมิติ $0.418\lambda_L \times 0.418\lambda_L \times 0.158\lambda_L$ ที่ความถี่ 2.37 GHz ซึ่งมีวัสดุฐานรองจำนวน 2 ชั้นซ้อนติดกัน โดยวัสดุฐานรองชั้นล่างจะประกอบไปด้วยโครงข่ายป้อนสัญญาณจำนวน 2 พอร์ต 4 เอาต์พุต ที่เชื่อมต่อไปยังวัสดุฐานรองชั้นบน ระหว่างซับสเตรทชั้นบนและล่างจะมีระนาบกราวนด์เป็นตัวคั่น สำหรับวัสดุฐานรองชั้นบนจะประกอบไปด้วยไมโครสตริปแพตช์ที่มีรูปทรงไขว้บริเวณกึ่งกลาง และมีไมโครสตริปแพตช์ที่เรียกว่าแขน จำนวน 4 องค์ประกอบ โดยไดอิเล็กตริกเรโซเนเตอร์ทรงกระบอกจะวางอยู่บนวัสดุฐานรอง จากรูปที่ 2.29(ข) – 2.29(ฉ) แสดงผลการทดสอบแบนด์วิดท์ของ $|S_{11}|$ เท่ากับ 10.4% (2.37 – 2.63 GHz) แบนด์วิดท์ของอัตราส่วนแกนเท่ากับ 8.91.4% (2.36 – 2.58 GHz) อัตราขยายสูงสุดเท่ากับ 1.56 dBic ที่ความถี่ 2.46 GHz และมีแบบรูปการณ์แพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว แสดงดังในระนาบ x-z และระนาบ y-z ที่ความถี่ 2.44 GHz ดังรูปที่ 2.29(จ) – (ฉ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



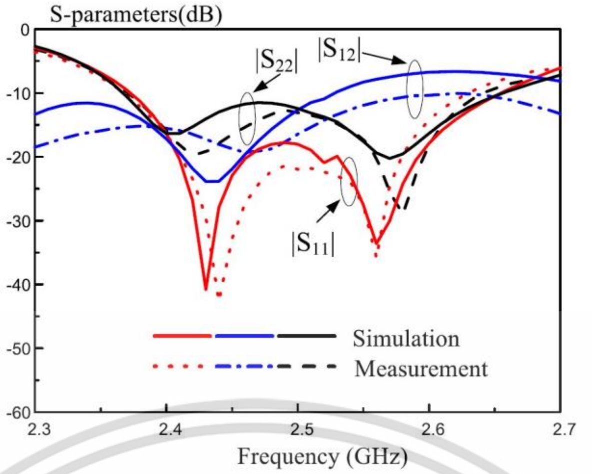
(ก) โครงสร้างสายอากาศไดอิเล็กตริกเรโซเนเตอร์แพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางร่วมกับระนาบป้อนสัญญาณสำหรับการออกแบบที่แตกต่างกันของโพลาไรซ์วงกลม



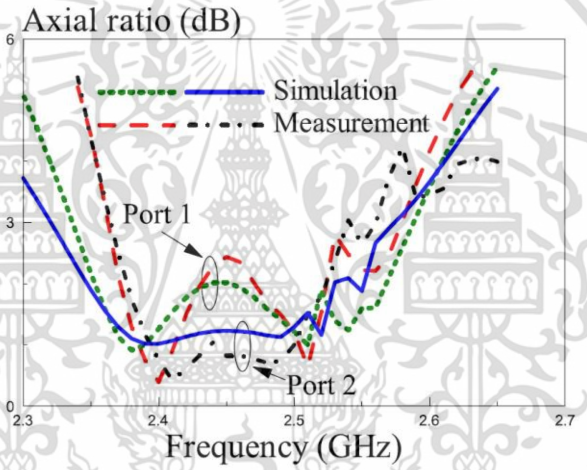
(ข) สายอากาศไดอิเล็กตริกเรโซเนเตอร์แพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางร่วมกับระนาบป้อนสัญญาณสำหรับการออกแบบที่แตกต่างกันของโพลาไรซ์วงกลมต้นแบบ

รูปที่ 2.29 สมรรถนะสายอากาศไดอิเล็กตริกเรโซเนเตอร์แพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางร่วมกับระนาบป้อนสัญญาณสำหรับการออกแบบที่แตกต่างกันของโพลาไรซ์วงกลมจากเอกสารอ้างอิงที่ [14]

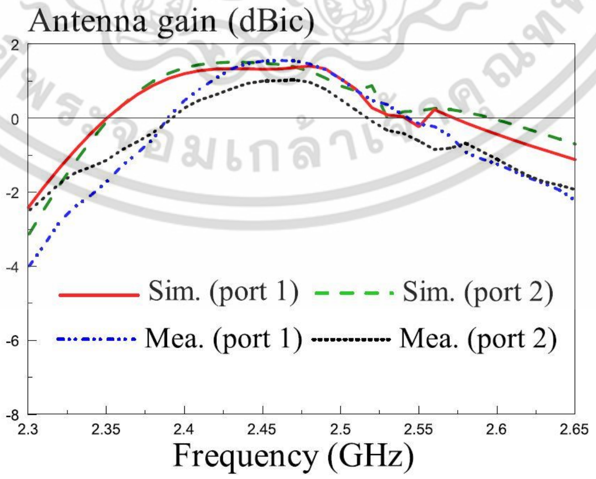
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ผลการทดสอบ $|S_{11}|$



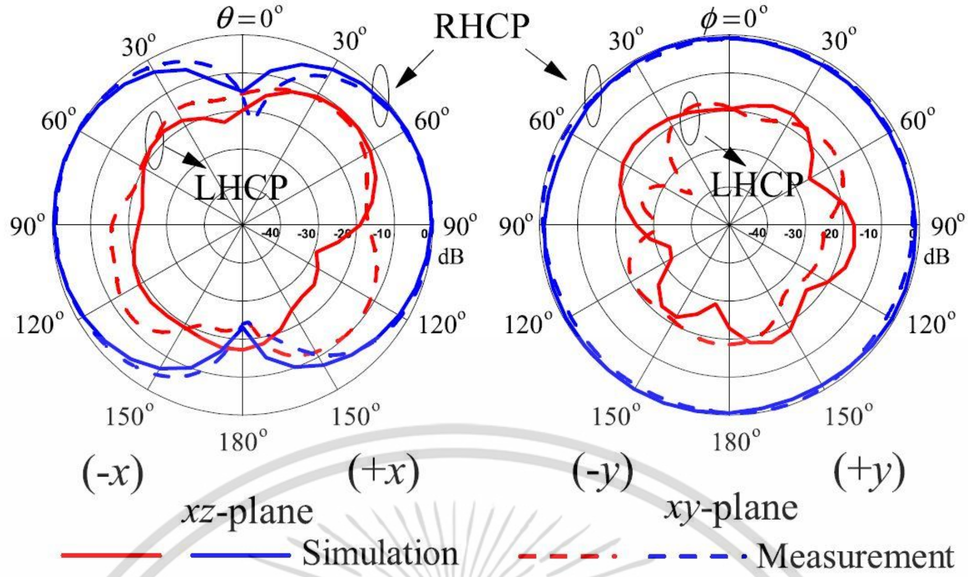
(ค) ผลการทดสอบอัตราส่วนแกน



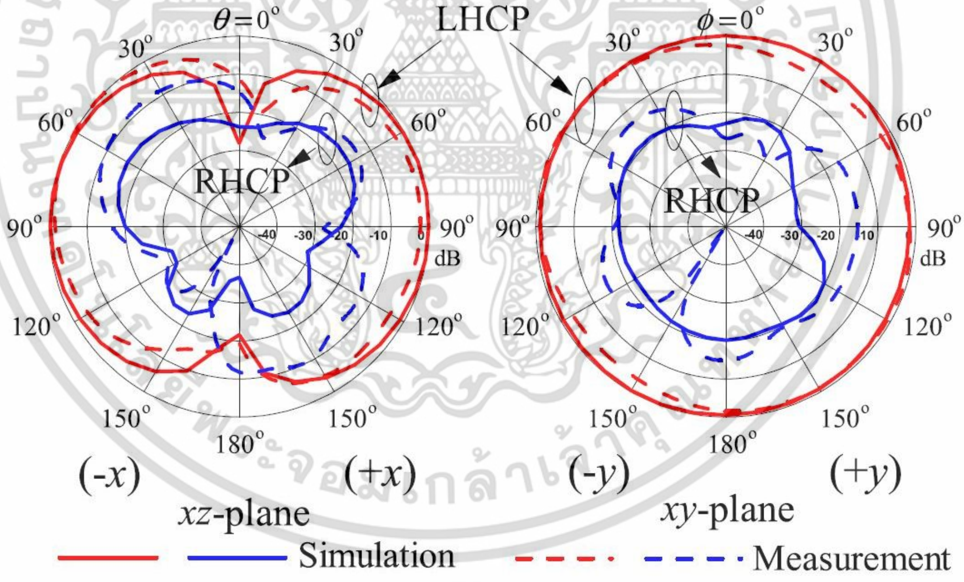
(ง) ผลการทดสอบอัตราขยาย

รูปที่ 2.29 สมรรถนะสายอากาศไดอิเล็กตริกเรโซเนเตอร์แพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางร่วมกับระนาบป้อนสัญญาณสำหรับการออกแบบที่แตกต่างกันของโพลาไรซ์วงกลมจากเอกสารอ้างอิงที่ [14] (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ) ผลการจำลองและการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ในระนาบ x-z และระนาบ x-y
ที่ความถี่ 2.44 GHz จุดป้อนสัญญาณ 1



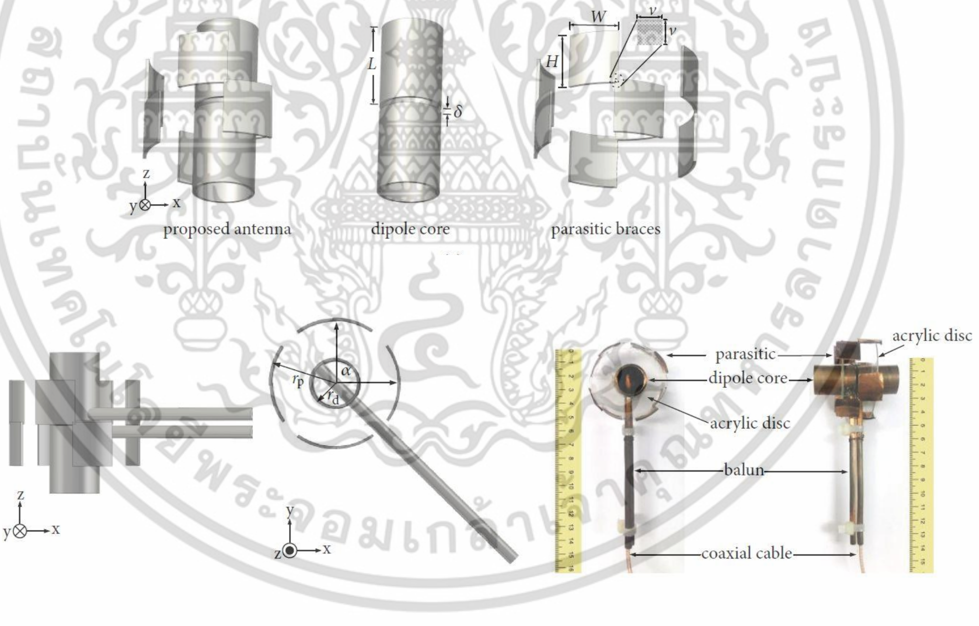
(ฉ) ผลการจำลองและทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ในระนาบ x-z และระนาบ x-y
ที่ความถี่ 2.44 GHz จุดป้อนสัญญาณ 2

รูปที่ 2.29 สายอากาศไดอิเล็กตริกเรโซเนเตอร์แพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางร่วมกับระนาบป้อนสัญญาณสำหรับการออกแบบที่แตกต่างกันของโพลาไรซ์วงกลมจากเอกสารอ้างอิงที่ [14] (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.1.7 สายอากาศแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางโพลาไรซ์วงกลมร่วมกับแกนไดโพล และพาราซิติกที่เชื่อมติดกันในแนวทแยงสำหรับประยุกต์ใช้งานย่านความถี่ ISM

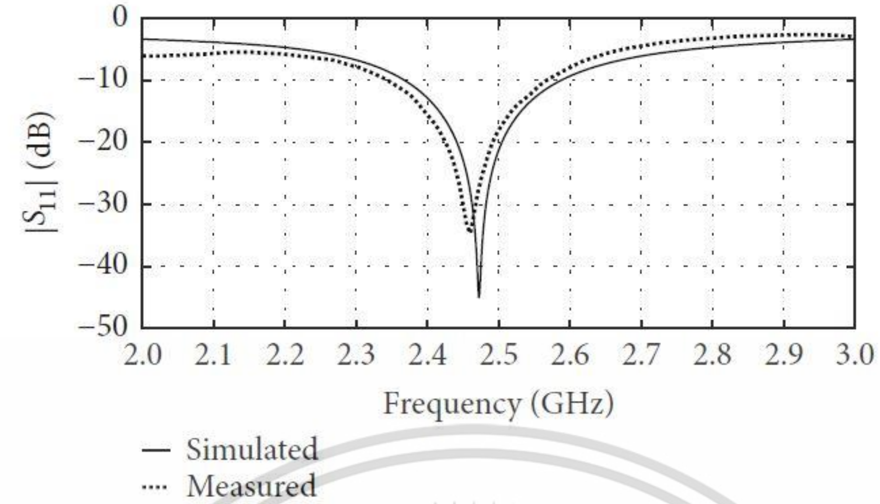
งานวิจัยที่เจ็ดเป็นสายอากาศแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางโพลาไรซ์วงกลมร่วมกับแกนไดโพล และพาราซิติกที่เชื่อมติดกันในแนวทแยงสำหรับประยุกต์ใช้งานย่านความถี่ ISM จากเอกสารอ้างอิงที่ [23] เป็นผลงานของ P. Dangkham S. Dentri C. Phongcharoenpanich และ P. Akkaraekthalin ที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 2019 จากรูปที่ 2.30(ก) โครงสร้างของสายอากาศมีขนาดมิติ $0.407\lambda_L \times 0.407\lambda_L \times 0.438\lambda_L$ ที่ความถี่ 2.35 GHz ซึ่งสายอากาศประกอบด้วยสายอากาศไดโพลกลวง พาราซิติกสี่เหลี่ยมที่มีจุดเชื่อมต่อในแนวทแยง จำนวน 4 องค์ประกอบ วางรอบสายอากาศไดโพลทำหน้าที่แปลงโพลาไรซ์เชิงเส้นแนวตั้งเป็นโพลาไรซ์วงกลม โดยมีบาลันเป็นตัวแมตชิ่ง ลดกระแสรั่วไหล และมีหน้าที่แปลงกระแสที่ไม่บาลานซ์จากสายนำสัญญาณเป็นบาลานซ์เพื่อป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศไดโพล ซึ่งสายอากาศมีจุดป้อนสัญญาณเดียว จากรูปที่ 2.30(ข) – 2.30(ง) แสดงผลการทดสอบแบนด์วิดท์ของ $|S_{11}|$ เท่ากับ 8.94% (2.35 – 2.57 GHz) แบนด์วิดท์ของอัตราส่วนแกนเท่ากับ 8.0% (2.4 – 2.6 GHz) อัตราขยายสูงสุดเท่ากับ 2.07 dBic ที่ความถี่ 2.45 GHz และมีแบบรูปการณ์แพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว ดังแสดงในระนาบ x-z และระนาบ y-z ที่ความถี่ 2.45 GHz ดังรูปที่ 2.30(ง)



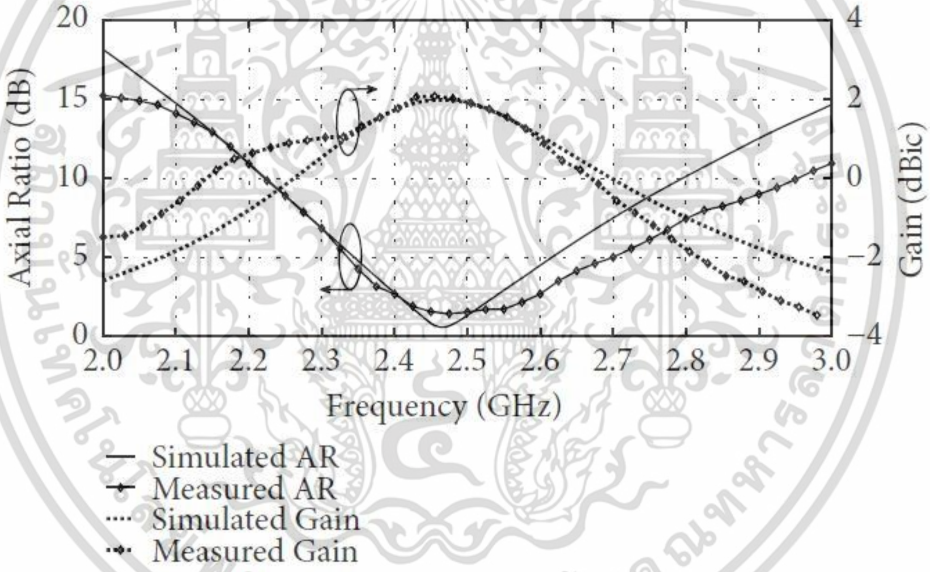
(ก) โครงสร้างสายอากาศแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางโพลาไรซ์วงกลมร่วมกับแกนไดโพล และพาราซิติกที่เชื่อมติดกันในแนวทแยง

รูปที่ 2.30 สมรรถนะของสายอากาศแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางโพลาไรซ์วงกลมร่วมกับแกนไดโพล และพาราซิติกที่เชื่อมติดกันในแนวทแยงจากเอกสารอ้างอิงที่ [23]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



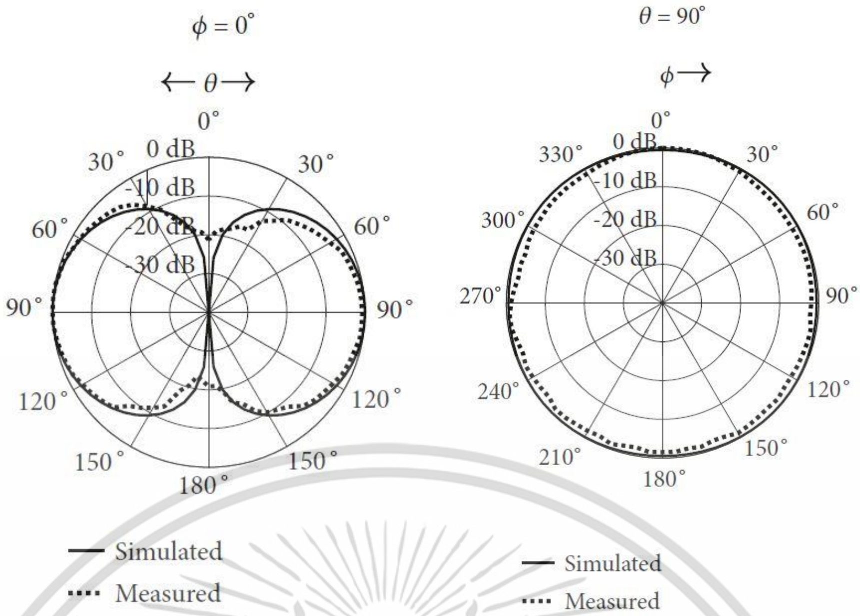
(ข) ผลการทดสอบ $|S_{11}|$



(ค) ผลการทดสอบอัตราส่วนแกนและอัตราขยาย

รูปที่ 2.30 สมรรถนะของสายอากาศแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางโพลาไรซ์วงกลมร่วมกับแกนไดโพลและพาราซิติกที่เชื่อมติดกันในแนวทแยงจากเอกสารอ้างอิงที่ [23] (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ง) ผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ในระนาบ x-z และระนาบ y-z ที่ความถี่ 5 GHz

รูปที่ 2.30 สมรรถนะของสายอากาศแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางโพลาไรซ์วงกลมร่วมกับแกนไดโพลและพาราซิติกที่เชื่อมติดกันในแนวทแยงจากเอกสารอ้างอิงที่ [23] (ต่อ)

ตารางที่ 2.2 สรุปสมรรถนะของสายอากาศโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางจากงานวิจัยที่มีมาก่อนหน้า ซึ่งแสดงผลในรูปแบบของอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ อัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์ อัตราขยายสูงสุด และขนาดของสายอากาศเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น ดังที่ได้กล่าวมาในบทความข้างต้นแล้วจึงสามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 2.2 สมรรถนะของสายอากาศโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางของงานวิจัยที่มีมาก่อน

งานวิจัยก่อนหน้า	อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์	อัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์	อัตราขยายสูงสุด (dBic)	ขนาดของสายอากาศต่อความยาวคลื่น
[1]	19.84% 2.27-2.77GHz	17.67% 2.27-2.71 GHz	3.75	0.682 λ_L × 0.979 λ_L × 0.050 λ_L ที่ 3.32 GHz
[3]	13.17% 2.34-2.67 GHz	10.50% 2.26-2.51 GHz	1.12	1.816 λ_L × 1.816 λ_L × 0.380 λ_L ที่ 8.25 GHz
[11]	9.00% 2.32-2.54 GHz	11.76% 2.32-2.61 GHz	1.20	1.190 λ_L × 1.190 λ_L × 0.053 λ_L ที่ 4.60 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[12]	4.48% 2.40-2.51 GHz	1.21% 2.46-2.48 GHz	1.90	0.710 λ_L × 0.710 λ_L × 0.060 λ_L ที่ 4.45 GHz
[13]	24.42% 2.30-2.94 GHz	7.25% 2.39-2.57 GHz	0.91	0.790 λ_L × 0.790 λ_L × 0.067 λ_L ที่ 5.00 GHz
[14]	10.40% 2.37-2.63 GHz	8.90% 2.36-2.58 GHz	1.56	0.683 λ_L × 0.683 λ_L × 0.058 λ_L ที่ 5.00 GHz
[23]	9.37% 2.34-2.57 GHz	8.00% 2.40-2.60GHz	2.07	0.860 λ_L × 0.890 λ_L × 0.038 λ_L ที่ 5.11 GHz

2.10 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องของสายอากาศไมโครสตริป สายอากาศโมโนโพล วิธีการป้อนสัญญาณของสายอากาศแถวลำดับและโครงข่ายการป้อนสัญญาณที่หมุนวนตามลำดับ การโพลาไรซ์ของสายอากาศ ทฤษฎีของอภิวัสดุ (Metamaterial) ที่เกี่ยวข้องกับคลื่นพื้นผิว (Surface waves) พื้นผิวอิมพีแดนซ์สูง (High-impedance surfaces) โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Band Gap) โครงสร้างพื้นผิวเลือกความถี่ (Frequency selective surface) โครงสร้างตัวนำแม่เหล็กเทียม (Artificial Magnetic Conductor) และศึกษาเปรียบเทียบงานวิจัยที่มีมาก่อน

จากข้อความข้างต้นนั้น ได้กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีพื้นฐานต่าง ๆ ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบสายอากาศสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) อีกทั้งเพื่อที่จะนำไปสู่การออกแบบสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) เพื่อทำให้สายอากาศสามารถมีความยืดหยุ่นในการออกแบบของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางที่มีข้อเสียในการออกแบบระนาบกราวนด์ด้านล่างที่ต้องมีขนาดคงที่ตลอดเวลาในการนำไปใช้งานหรือติดตั้ง ทั้งนี้การนำระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ยังช่วยเพิ่มความกว้างช่วงความถี่ของอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ และอัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์ และประสิทธิภาพของสายอากาศโดยรวมอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบและการจำลอง
สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลม
แพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง

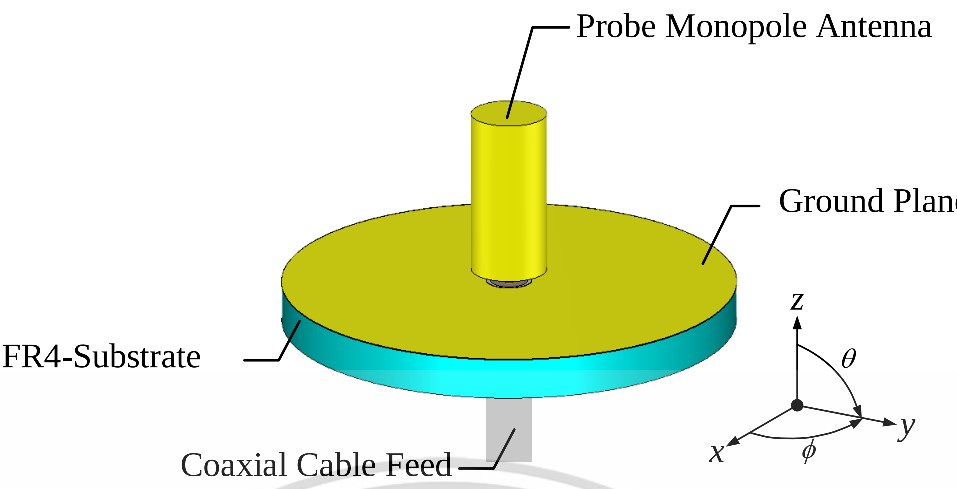
3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการออกแบบสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ส่วน ได้แก่ สายอากาศโมโนโพลและพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยงจำนวน 4 องค์ประกอบ โดยสายอากาศโมโนโพลนั้นจะประกอบไปด้วยโพรบโมโนโพลและระนาบกราวนด์เต็มรูปวงกลม ในส่วนของพาราซิติกลูปสี่เหลี่ยมเชื่อมต่อกันในแนวทแยงจำนวน 4 องค์ประกอบนั้นได้ถูกนำมาจัดเรียงและโค้งตามรัศมีวงกลมรอบโครงสร้างสายอากาศโมโนโพล เพื่อทำหน้าที่แปลงโพลาไรซ์เชิงเส้นเป็นโพลาไรซ์วงกลม โดยใช้ทฤษฎีที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ในการออกแบบสายอากาศสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางนั้นจะใช้โปรแกรม CST Microwave Studio Suite ในการหาค่าที่เหมาะสมของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง โดยจะทำการศึกษาถึงผลกระทบต่อค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศดังกล่าว

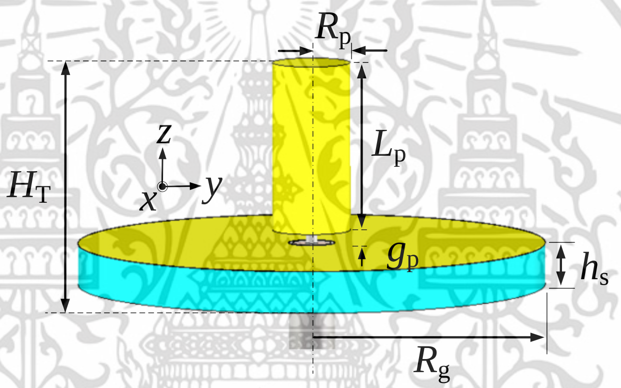
3.2 การออกแบบสายอากาศโมโนโพล

การออกแบบสายอากาศโมโนโพลในวิทยานิพนธ์นี้นั้นมีองค์ประกอบหลักอยู่ 3 ส่วน ได้แก่ โพรบ ระนาบกราวนด์ และวัสดุฐานรอง ซึ่งสายอากาศถูกออกแบบขึ้นบนวัสดุฐานรอง (Substrate) ชนิด FR-4 รุ่น Chukoh CGP-500A ที่มีค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ (Relative permittivity : ε_r) เท่ากับ 2.6 มีค่าการสูญเสียแทนเจนต์ (Tangent loss : $\tan\delta$) เท่ากับ 0.0025 จำนวน 1 ชั้น ความหนาของวัสดุฐานรอง (h_s) เท่ากับ 3.2 mm ด้านบนถูกเคลือบด้วยทองแดงหนา 18 μm ที่เป็นส่วนของระนาบกราวนด์ เจาะรูบริเวณกึ่งกลางระนาบกราวนด์วงกลม เพื่อเป็นจุดป้อนสัญญาณให้กับโพรบ ซึ่งโพรบจะเป็นแท่งทองแดงจะถูกวางไว้บริเวณกึ่งกลางสายอากาศ การป้อนสัญญาณจะใช้สายนำสัญญาณโคแอกเชียลในการจำลองผล ขนาดโดยรวมของสายอากาศโมโนโพลเท่ากับ 36.0 mm × 36.0 mm × 20.4 mm ($R_g \times R_g \times H_T$) โดยโครงสร้างสายอากาศโมโนโพลนั้นแสดงได้ดังรูปที่ 3.1 ในส่วน ตารางที่ 3.1 จะเป็นการกำหนดพารามิเตอร์และขนาดที่เหมาะสมของสายอากาศโมโนโพล

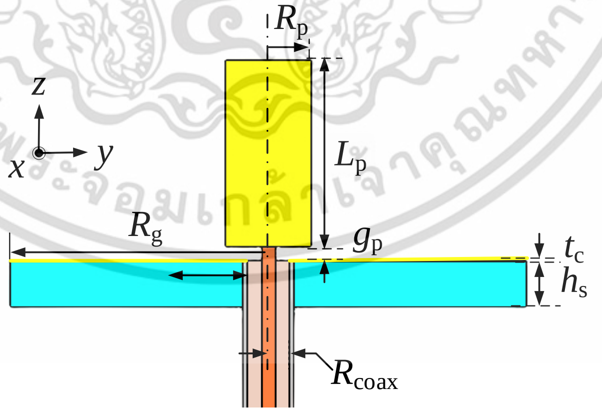
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) องค์ประกอบสายอากาศโมโนโพล



(ข) พารามิเตอร์สายอากาศโมโนโพล



(ข) ภาพตัดขวางสายอากาศโมโนโพล

รูปที่ 3.1 โครงสร้างและพารามิเตอร์สายอากาศโมโนโพล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์และขนาดที่เหมาะสมของสายอากาศโมโนโพล

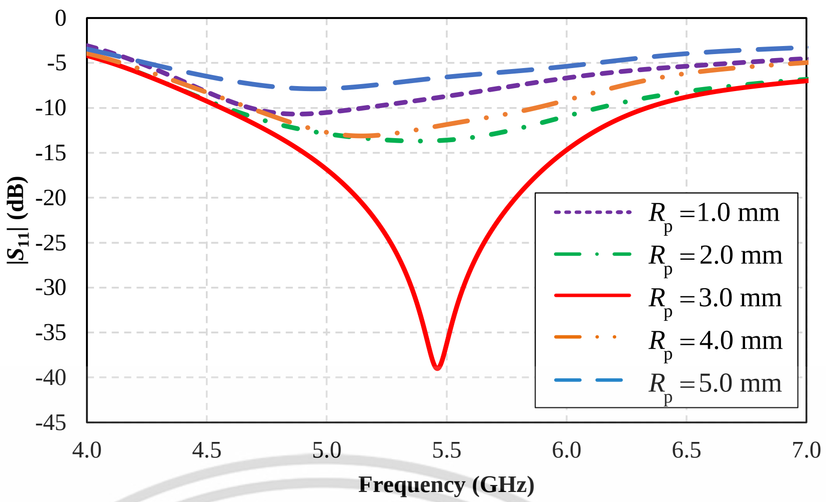
พารามิเตอร์	**ขนาด (mm)**	**ขนาดทางไฟฟ้า (m)**	**หมายเหตุ**
L_p	16.20	0.297 λ_c	ความสูงโพรบ
R_p	3.90	0.071 λ_c	รัศมีโพรบ
g_p	1.00	0.018 λ_c	ช่องว่างโพรบกับระนาบกราวนด์
R_g	18.00	0.330 λ_c	รัศมีกราวนด์
h_s	3.20	0.058 λ_c	ความสูงวัสดุฐานรอง
t_c	0.018	0.0003 λ_c	ความสูงทองแดงวัสดุฐานรอง
R_{coax}	1.80	0.0003 λ_c	รัศมีสายนำสัญญาณโคแอกเชียล
H_T	20.40	0.374 λ_c	ความสูงรวม

3.2.1 การศึกษาผลกระทบและปัญหาของสายอากาศโมโนโพล

ในส่วนนี้จะทำการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงและผลกระทบที่ส่งผลเสียของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศโมโนโพลที่มีการโพลาไรซ์เชิงเส้นแนวตั้ง โดยพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษานั้นได้แก่ รัศมีโพรบของโมโนโพล R_p ความสูงของโพรบ L_p และรัศมีกราวนด์ล่าง R_g ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการออกแบบของสายอากาศที่นำเสนอนี้ จึงจะถูกวิเคราะห์อย่างละเอียดเพิ่มเติมจากพารามิเตอร์อื่น ๆ

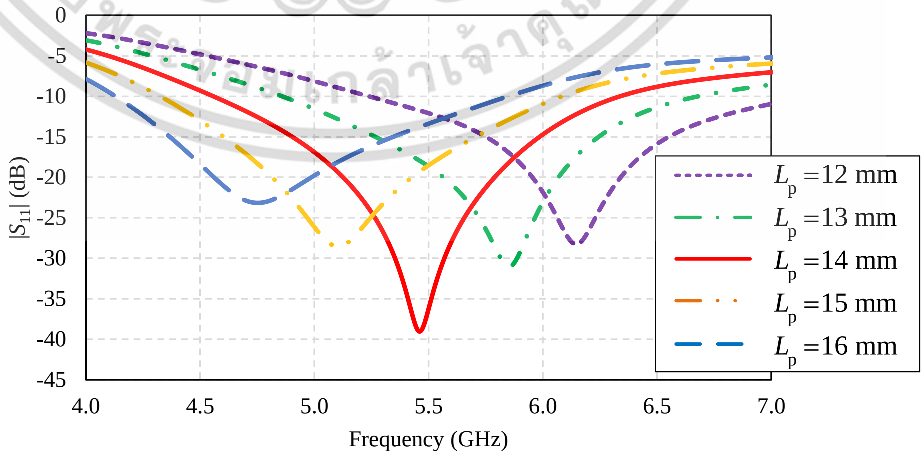
รูปที่ 3.2 แสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศโมโนโพล โดยพารามิเตอร์ที่ทำการปรับคือรัศมีโพรบโมโนโพล R_p โดยทำการปรับขนาด R_p ระหว่าง 1.0 mm ถึง 5.0 mm พบว่า เมื่อ R_p = 1.0 mm และ 5.0 mm อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ ($|S_{11}| \le$ -10 dB) ไม่สามารถครอบคลุมย่านความถี่กลาง 5.5 GHz ในขณะที่ R_p = 2.0 mm 3.0 mm และ 5.0 mm สามารถครอบคลุมย่านความถี่ 5.0 GHz ได้ แต่เมื่อพิจารณา $|S_{11}|$ ต่ำสุดคือ R_p = 3.0 mm จึงสรุปได้ว่า เมื่อทำการขยายขนาดรัศมีโพรบโมโนโพล R_p ให้มีขนาดใหญ่มากขึ้นจะทำให้ $|S_{11}|$ มีอิมพีแดนซ์แมตช์ชิ่งเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งการนำไปใช้งานจริงนั้นองค์ประกอบส่วนนี้จะไม่สัมผัสกับฐานวางสายอากาศโดยตรงอยู่แล้ว แต่ก็มีข้อระวังคือห้ามวางส่วนโพรบใกล้วัสดุโลหะต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์เมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ R_p
ของรัศมีโพรบโมโนโพล

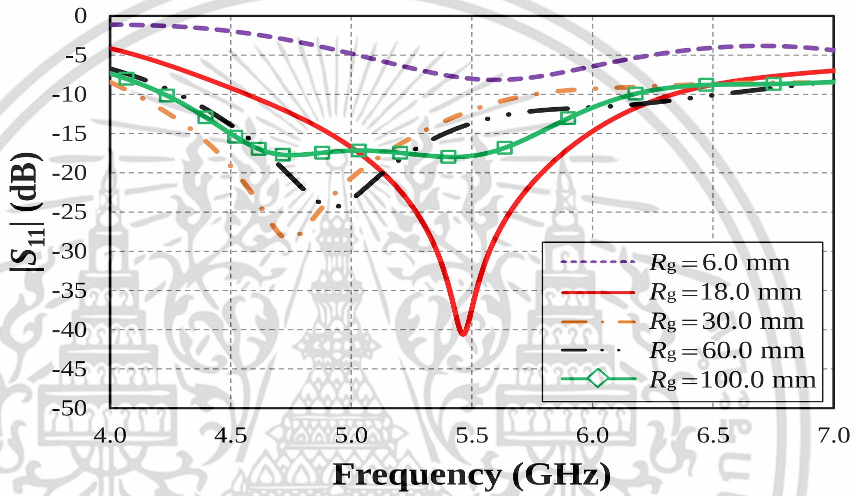
รูปที่ 3.3 แสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศโมโนโพล โดยพารามิเตอร์ที่ทำการปรับคือความสูงโพรบโมโนโพล L_p โดยทำการปรับขนาดความสูง L_p ระหว่าง 12 mm ถึง 16 mm พบว่าเมื่อ L_p = 12 mm อิมพีแดนซ์แมตช์ชิ่งต่ำสุด ($|S_{11}|$ = -28 dB) อยู่ที่ย่านความถี่ 6.2 GHz ในขณะที่ทำการเพิ่มขนาดความสูงขึ้นเป็น L_p = 13 mm ถึง 15 mm พบว่าอิมพีแดนซ์แมตช์ชิ่งต่ำสุดของการปรับขนาดแต่ละค่าจะเลื่อนความถี่ลงไปยังย่านความถี่ต่ำที่ 5.8 GHz 5.49 GHz 5.15 GHz และ 4.75 GHz ตามขนาดของความสูงโพรบที่สัมพันธ์กับความยาวทางไฟฟ้าของย่านความถี่เรโซแนนซ์ จึงสรุปได้ว่าเมื่อทำการเพิ่มความสูงโพรบโมโนโพล L_p ให้มีขนาดความสูงเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ $|S_{11}|$ มีอิมพีแดนซ์แมตช์ชิ่งเปลี่ยนแปลงไปในย่านความถี่ต่ำ ในส่วนการนำไปใช้งานจริงนั้นองค์ประกอบส่วนนี้จะไม่สัมผัสกับฐานวางสายอากาศโดยตรงอยู่แล้ว แต่ก็มีข้อระวังคือห้ามวางส่วนโพรบใกล้วัสดุโลหะต่าง ๆ



รูปที่ 3.3 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์เมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ L_p
ของความสูงโพรบโมโนโพล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

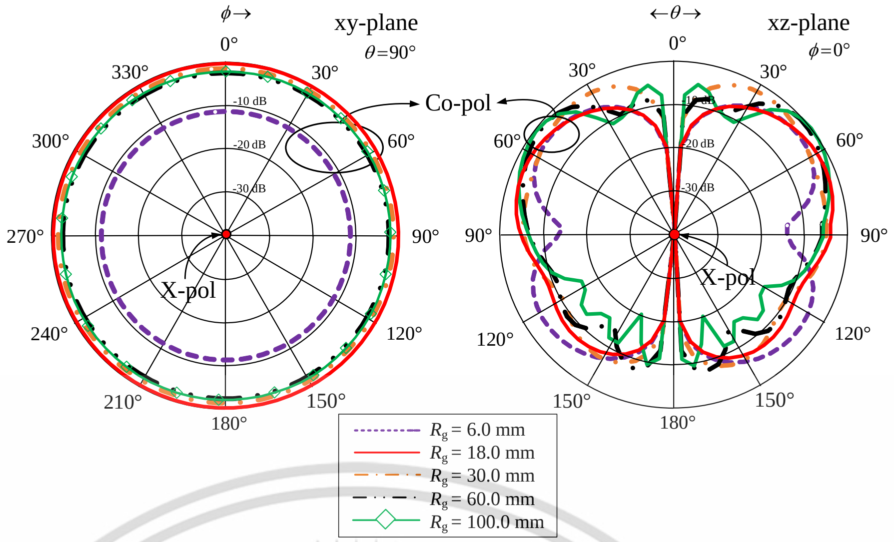
จากรูปที่ 3.4 แสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศโมโนโพลที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 6.0 mm ถึง 100 mm) โดยผลการจำลองของ $|S_{11}| \le -10$ dB มีช่วงความถี่ที่เปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 4.1 GHz – 6.7 GHz ในส่วนของผลกระทบที่เกิดขึ้นของการเปลี่ยนขนาดรัศมีระนาบกราวนด์จากผลการจำลองพบว่ามีความเปลี่ยนแปลงของค่า $|S_{11}|$ แบนด์วิดท์และอิมพีแดนซ์แมตซ์ซิ่งสูงมาก จึงสรุปได้ว่าสายอากาศโมโนโพลที่ไม่มีระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ไม่สามารถทนต่อผลกระทบของการเปลี่ยนขนาดระนาบกราวนด์ล่าง และเป็นข้อสุงเกตุสำคัญอีกข้อหนึ่งคือ หากขนาดระนาบกราวนด์มีขนาดที่เล็กมากเกินไปจะส่งผลให้อิมพีแดนซ์แมตซ์ซิ่งสูญเสียไป $|S_{11}| > -10$ dB



รูปที่ 3.4 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์เมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ R_g ของรัศมีระนาบกราวนด์

จากรูปที่ 3.5 แสดงผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 6 mm ถึง 100 mm) ที่ความถี่ 5.5 GHz จากผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าสายอากาศโมโนโพลจะแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางได้แสดงดังระนาบ xy-plane แต่เมื่อพิจารณา xz-plane จะมีลำคลื่นหลักยกขึ้นในมุมระหว่าง $\theta = 60^\circ$ ถึง 45° ที่ R_g = 18 mm ถึง 100 mm ซึ่งสายอากาศที่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดระนาบกราวนด์ควรจะจะมีลำคลื่นยกขึ้นเล็กน้อยเท่านั้น (ครอบคลุมการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว $\theta = 90^\circ$) สำหรับค่า XPL ของสายอากาศโมโนโพลนั้นต่ำกว่า -40 dB ทั้งระนาบ xy-plane และ xz-plane ซึ่งถือว่าเป็นค่าปกติของสายอากาศโพลาไรซ์เชิงเส้นที่มีโพลาไรซ์ไขว้ต่ำ จากผลการจำลองที่ความถี่กลาง 5.5 GHz ที่ R_g ขนาดต่าง ๆ สรุปได้ว่าสายอากาศโมโนโพล นั้นได้รับผลกระทบต่อการขยายระนาบกราวนด์ที่มาก โดยมีความเปลี่ยนแปลงทั้ง $|S_{11}|$ และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้บนฐานวางตัวนำทางไฟฟ้า หรือวัสดุอื่น ๆ ได้ โดยจะมีผลกระทบรุนแรงต่อคุณลักษณะของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ R_g ของรัศมีระนาบกราวนด์

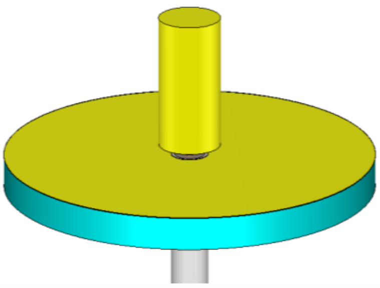
3.3 วิวัฒนาการของโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA)

การพัฒนาสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) นั้น สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่ การพัฒนาของสายอากาศไดโพล สายอากาศไดโพลแบบกราวนด์สองชั้น และคุณลักษณะของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) หรือโครงสร้าง A โดยเนื้อหาในส่วนถัดไปจะแสดงถึงขั้นตอนการพัฒนาและปรับปรุงสายอากาศเพื่อให้ครอบคลุมย่านความถี่เครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (อิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกน) และรวมไปถึงการการวิเคราะห์การเกิดความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) สำหรับการศึกษาความสามารถในการแปลงโพลาไรซ์วงกลมของพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อในแนวทแยงก็ถูกศึกษาด้วยเช่นกัน

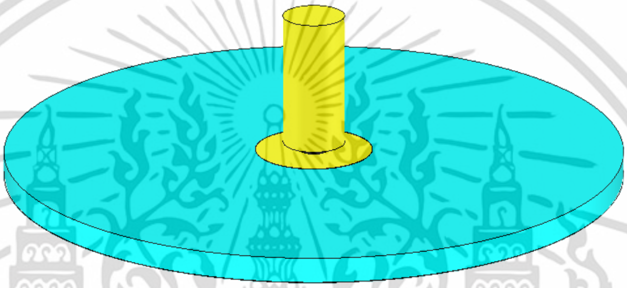
3.3.1 การพัฒนาของสายอากาศ

จากรูปที่ 3.6 แสดงขั้นตอนการพัฒนาของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ที่มีการโพลาไรซ์วงกลมย่านความถี่กว้างประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นแรก (Antenna I) ขั้นที่สอง (Antenna II) และขั้นที่สาม (Antenna III) จากรูปที่ 3.6(ก) แสดงโครงสร้าง Antenna I เป็นการออกแบบสายอากาศไดโพลที่ประกอบไปด้วย โพรบ ระนาวกราวนด์และวัสดุฐานรอง ซึ่งถูกศึกษาในหัวข้อก่อนหน้านี้แล้วนั้น สำหรับรูปที่ 3.6(ข) แสดงโครงสร้าง Antenna II ประกอบด้วยโพรบ ระนาวกราวนด์บน ระนาวกราวนด์ล่าง และวัสดุฐานรอง ซึ่งการใช้เทคนิคระนาบกราวนด์สองชั้นเป็นการลดผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงขนาดระนาบกราวนด์ล่าง ในกรณีนำไปติดตั้งบนฐานรองตัวนำ และวัสดุอื่น ๆ ในรูปที่ 3.6(ค) แสดงโครงสร้าง Antenna III โดยจะถูกรวมเข้ากับพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อในแนวทแยงจำนวน 4 องค์ประกอบ เพื่อเป็นการแปลงโพลาไรซ์เชิงเส้นเป็นโพลาไรซ์วงกลมทำให้สายอากาศโมโนโพลเดิมที่มีโพลาไรซ์เชิงเส้นแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางเปลี่ยนแปลงเป็นสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA)

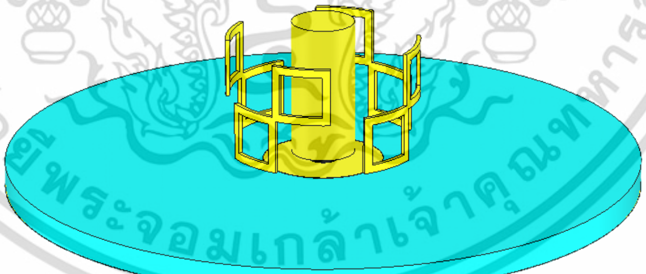
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) Antenna I



(ข) Antenna II



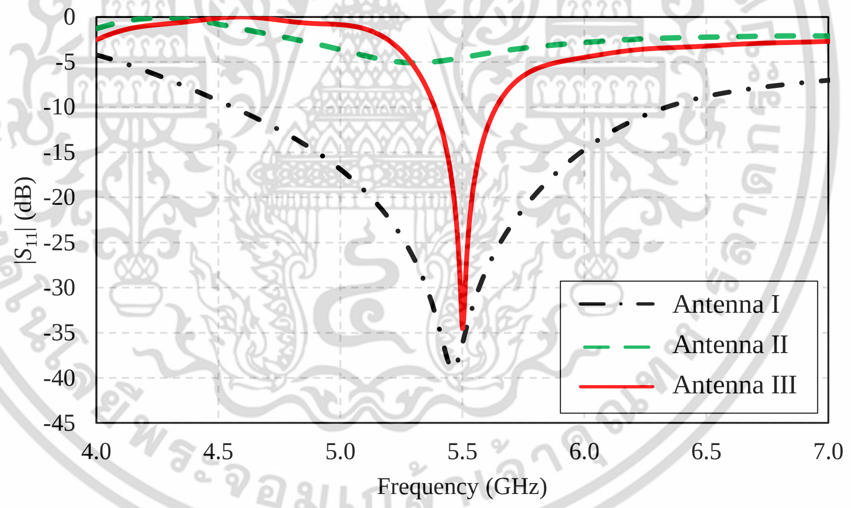
(ค) Antenna III

รูปที่ 3.6 วิวัฒนาการของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA)

จากรูปที่ 3.7(ก)- (ค) แสดงผลการจำลองของค่าอิมพีแดนซ์โดยพิจารณาจาก $|S_{11}| \leq -10$ dB ค่าอัตราส่วนแกนโดยพิจารณาจาก AR ≤ 3 dB และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของโครงสร้าง Antenna I Antenna II และ Antenna III ตามลำดับ จากรูปที่ 3.3(ก) Antenna I มีช่วงความถี่เรโซแนนซ์ต่ำสุดอยู่ที่ความถี่ 5.49 GHz ค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ ($|S_{11}| \leq -10$ dB) ครอบคลุมช่วงความถี่ 4.51 – 5.15 GHz ซึ่งครอบคลุมแถบความถี่ประยุกต์ใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายได้ และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

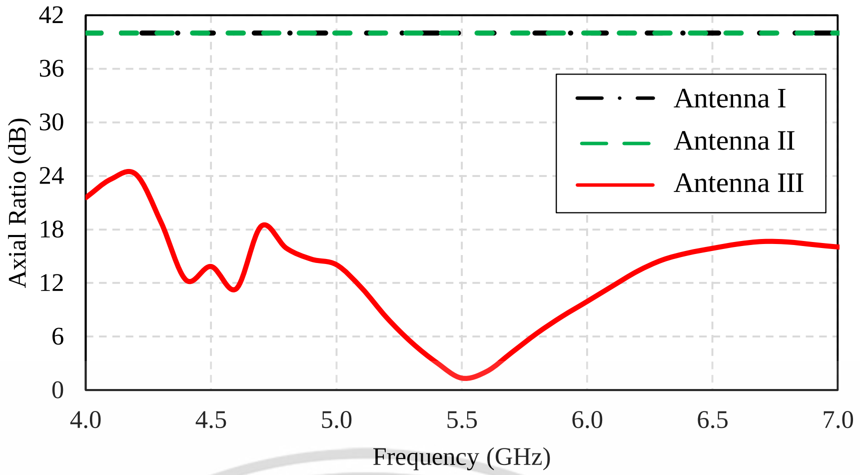
Antenna II ความถี่เรโซแนนซ์ต่ำสุดอยู่ที่ความถี่ 5.25 GHz ค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ไม่สามารถครอบคลุมช่วงความถี่ใช้งานได้ เนื่องจากระนาบกราวนด์บนมีขนาดเล็กจึงส่งผลให้ค่าอิมพีแดนซ์แมตช์ชิ่งสูญเสียไป ในส่วนของค่าอิมพีแดนซ์ของ Antenna III เรโซแนนซ์ต่ำสุดอยู่ที่ความถี่ 5.50 GHz ค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ ($|S_{11}|$ ≤ −10 dB) ครอบคลุมช่วงความถี่ 5.39 – 5.63 GHz ซึ่งยังไม่สามารถครอบคลุมครอบคลุมแถบความถี่ประยุกต์ใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายได้ทั้งหมด แต่เมื่อทำการพิจารณาจากรูปที่ 3.3(ข) โครงสร้าง Antenna I ค่าอัตราส่วนแกนมีค่ามากกว่า 3 dB (AR > 3 dB) อย่างมาก (AR = 40 dB) ซึ่งถือว่าเป็นการโพลาไรซ์เชิงเส้นตามทฤษฎีเบื้องต้นของสายอากาศโมโนโพล ในส่วนของ Antenna II มีค่าอัตราส่วนแกนมีค่ามากกว่า 3 dB (AR > 3 dB) เช่นเดียวกับ) โครงสร้าง Antenna I เนื่องจากยังเป็นการโพลาไรซ์เชิงเส้นอยู่ และสุดท้ายโครงสร้าง Antenna III ที่ทำการเพิ่มพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อในแนวทแยงเข้าไปดังแสดงในรูปที่ 3.6(ค) ค่าอัตราส่วนแกนมีค่า AR ≤ 3 dB ครอบคลุมช่วงความถี่ย่าน 5.40 – 5.63 GHz สามารถแพร่กระจายคลื่นโพลาไรซ์วงกลมได้ จากผลการจำลอง $|S_{11}|$ และอัตราส่วนแกนพบว่าโครงสร้าง Antenna I และ II มีค่าอัตราส่วนแกนเกินกว่า 3 dB (ประมาณ 40 dB) ทำให้ Antenna I และ II มีคุณสมบัติเป็นโพลาไรซ์เชิงเส้น แต่โครงสร้าง Antenna III สามารถแพร่กระจายคลื่นโพลาไรซ์วงกลมได้ แม้ว่าจะไม่ครอบคลุมช่วงความถี่ใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายได้ทั้งหมด ซึ่งโครงสร้าง Antenna III จะถูกนำไปพัฒนาต่อไป



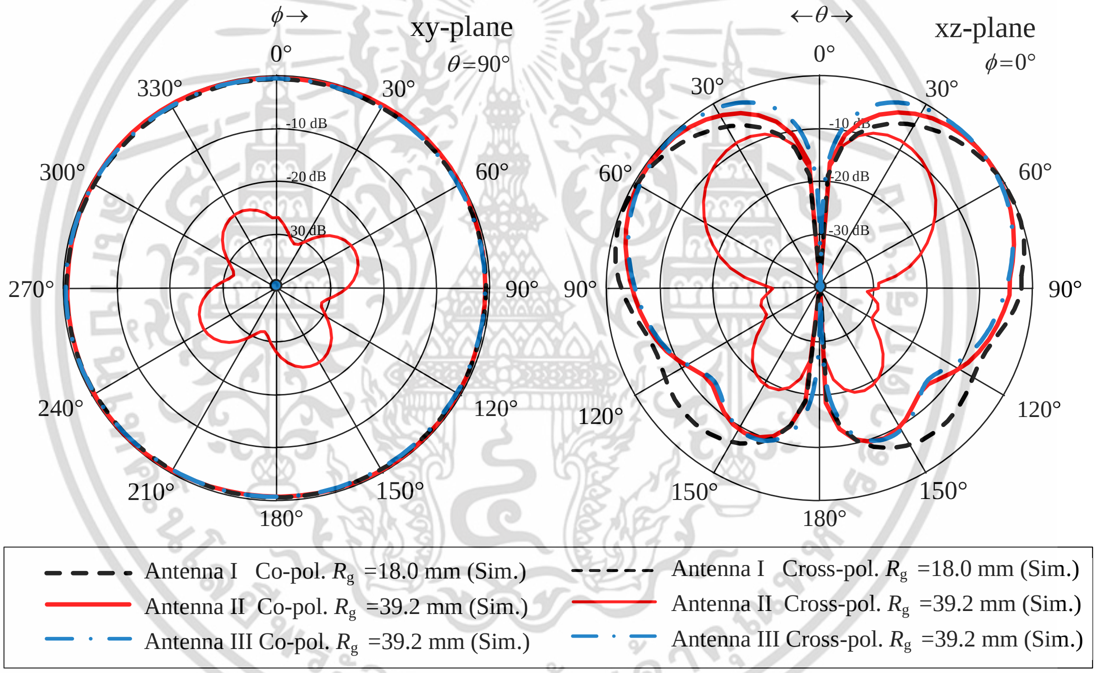
(ก) อิมพีแดนซ์

รูปที่ 3.7 ผลการจำลองคุณลักษณะของ Antenna I II และ III

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) อัตราส่วนแกน



(ค) แบบรูปการณ์แพร่กระจายคลื่น

รูปที่ 3.7 ผลการจำลองคุณลักษณะของ Antenna I II และ III (ต่อ)

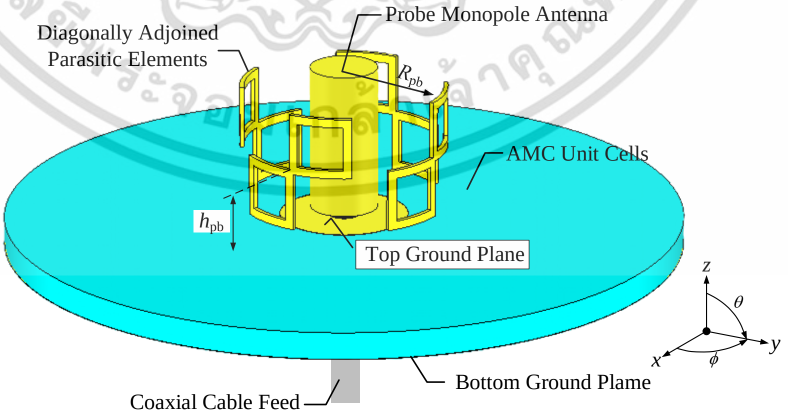
จากรูปที่ 3.7(ค) แสดงผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของโครงสร้าง Antenna I II และ III ที่ทำการเปรียบเทียบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศทั้ง 3 โครงสร้างที่ถูกพัฒนามาตามลำดับ โดยโครงสร้าง Antenna I มีขนาดรัศมีระนาบกราวนด์ R_g = 18.0 mm แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 5.5 GHz จากผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าสายอากาศ Antenna I สามารถแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางได้ ซึ่งสังเกตได้จากระนาบ xy-plane แต่เมื่อทำการพิจารณาในส่วนระนาบ xz-plane จะเห็นว่าสายอากาศแพร่กระจายคลื่นได้ดีในมุม $\theta = 60^{\circ}$ นั่นหมายความว่าลำคลื่นหลักมีมุมยกขึ้นจากทิศทางรอบตัวเป็นมุม 30° แม้ว่าขนาดระนาบกราวนด์จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีขนาดรัศมีเล็กเพียง 18.0 mm ก็ตาม และเมื่อทำการพิจารณา Antenna II จะเห็นว่าขนาดระนาบกราวนด์จะเพิ่มขึ้นเป็น R_g = 39.2 mm ส่งผลให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศจะมีลำคลื่นหลักยกขึ้นเพิ่มจากเดิมไปที่มุม $\theta = 50^\circ$ ซึ่งไม่สามารถครอบคลุมการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวได้ เนื่องจากมีความกว้างครึ่งกำลัง (HPBW) ไม่ครอบคลุมมุม $\theta = 90^\circ$ ในส่วนโครงสร้าง Antenna III ที่มีขนาดรัศมี R_g = 39.2 mm พบว่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศจะมีลำคลื่นหลักยกขึ้นเพิ่มจากเดิมไปที่มุม $\theta = 45^\circ$ ซึ่งไม่สามารถครอบคลุมการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวได้เช่นกัน ในส่วนซค่า XPL ทั้ง Antenna I II และ III มีค่าต่ำกว่า -20 dB ในทิศทางรอบตัว $\theta = 90^\circ$ ทั้งระนาบ xy-plane และ xz-plane จากผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของโครงสร้าง Antenna I II และ III สรุปได้ว่าสายอากาศ Antenna I และ II มีการโพลาไรซ์เชิงเส้น ส่วน Antenna III มีการโพลาไรซ์วงกลม โดยทั้งสามโครงสร้างนั้นสามารถแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวได้ แต่ในทางกลับกันพบว่าได้รับผลกระทบต่อระนาบกราวนด์ที่สูง ไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้บนฐานวางตัวนำทางไฟฟ้า หรือวัสดุอื่น ๆ ได้ โดยมีผลกระทบรุนแรงต่อคุณลักษณะของสายอากาศ จำเป็นต้องมีการศึกษาเทคนิคใหม่เพิ่มเติมต่อไปในบทที่ 4

3.3.2 สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA)

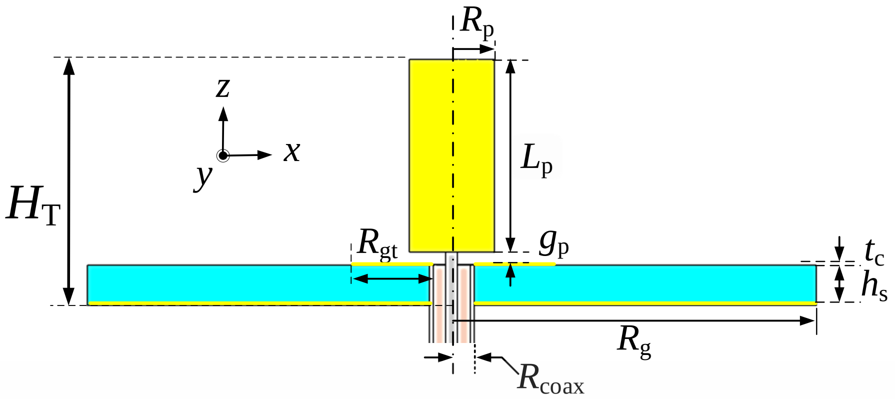
จากรูปที่ 3.8(ก)-(ค) แสดงโครงสร้างสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) หรือโครงสร้าง A โดยสายอากาศโครงสร้าง A นั้นจะใช้ระนาบกราวนด์ที่เป็นทองแดงปกติ ประกอบด้วยระนาบกราวนด์บนและล่างนำมาออกแบบร่วมกับสายอากาศโมโนโพลที่ได้ถูกออกแบบไว้ก่อนหน้านี้แล้วนั้น ซึ่งองค์ประกอบที่สำคัญที่ถูกเพิ่มเข้าไปคือ พาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อในแนวทแยงจำนวน 4 องค์ประกอบ โดยถูกจำลองขึ้นบนวัสดุฐานรองชนิด FR-4 รุ่น Chukoh CGP-500A จำนวน 1 ชั้น 2 หน้า (ชั้นบนและชั้นล่าง) โดยไม่มีช่องว่างอากาศระหว่างวัสดุฐานรอง ความหนาของวัสดุฐานรองคือ (h_S) ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ε_r) และค่าการสูญเสียแทนเจนต์ ($\tan\delta$) เท่ากับ 4.3 และ 0.0025 ตามลำดับ โดยขนาดของสายอากาศเท่ากับ 78.4 mm × 78.4 mm × 20.4 mm ($R_g \times R_g \times H_t$) พารามิเตอร์และขนาดของสายอากาศแสดงในตารางที่ 3.2



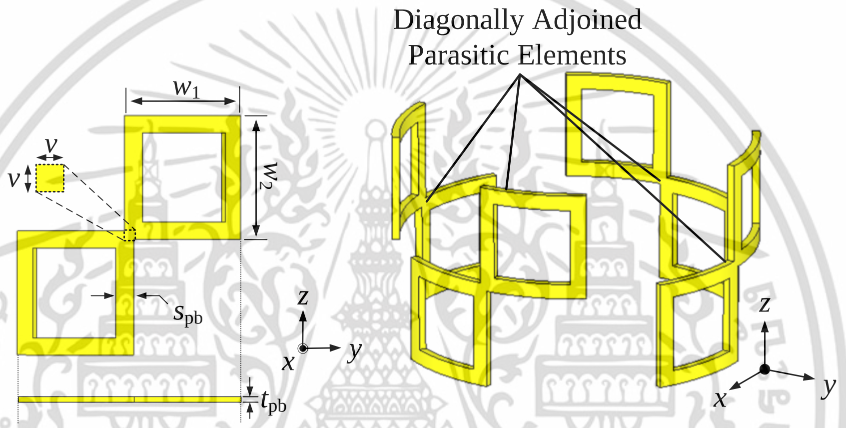
(ก) องค์ประกอบสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA)

รูปที่ 3.8 โครงสร้างและพารามิเตอร์สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ภาพตัดขวางสายอากาศโมโนโพล



(ค) มุมมองด้านหน้าและการวางพาราซิติกสี่เหลี่ยม

รูปที่ 3.8 โครงสร้างและพารามิเตอร์สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) (ต่อ)

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์และขนาดที่เหมาะสมของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง

พารามิเตอร์	ขนาด (mm)	ขนาดทางไฟฟ้า (m)	หมายเหตุ
L_p	16.20	0.297 λ_c	ความสูงโพรบโมโนโพล
R_p	3.90	0.071 λ_c	รัศมีโพรบโมโนโพล
g_p	1.00	0.018 λ_c	ช่องว่างโพรบโมโนโพลกับระนาบกราวนด์ AMC
w_1	7.20	0.132 λ_c	ความกว้างพาราซิติก
w_2	7.20	0.132 λ_c	ความยาวพาราซิติก
s_{pb}	1.00	0.018 λ_c	ความกว้างวงขอบพาราซิติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์	ขนาด (mm)	ขนาดทางไฟฟ้า (m)	หมายเหตุ
v	0.50	0.0092 λ_c	ขนาดกว้าง × ยาว ของ จุดเชื่อมต่อพาราซิติก
R_{pb}	11.50	0.211 λ_c	รัศมีพาราซิติก
h_{pb}	11.50	0.211 λ_c	ความสูงจากกึ่งกลางพาราซิติก ถึงระนาบกราวนด์ AMC
t_{pb}	0.50	0.0092 λ_c	ความหนาพาราซิติก
R_{gt}	7.40	0.135 λ_c	รัศมีกราวนด์บน
R_g	18.40	0.337 λ_c	รัศมีกราวนด์ล่าง
h_s	3.20	0.058 λ_c	ความสูงวัสดุฐานรอง
t_c	0.018	0.0003 λ_c	ความหนาทองแดง วัสดุฐานรอง
R_{coax}	1.80	0.0003 λ_c	รัศมีสายนำสัญญาณโคแอกเชียล
H_T	20.40	0.374 λ_c	ความสูงรวม

3.4 การศึกษาพารามิเตอร์

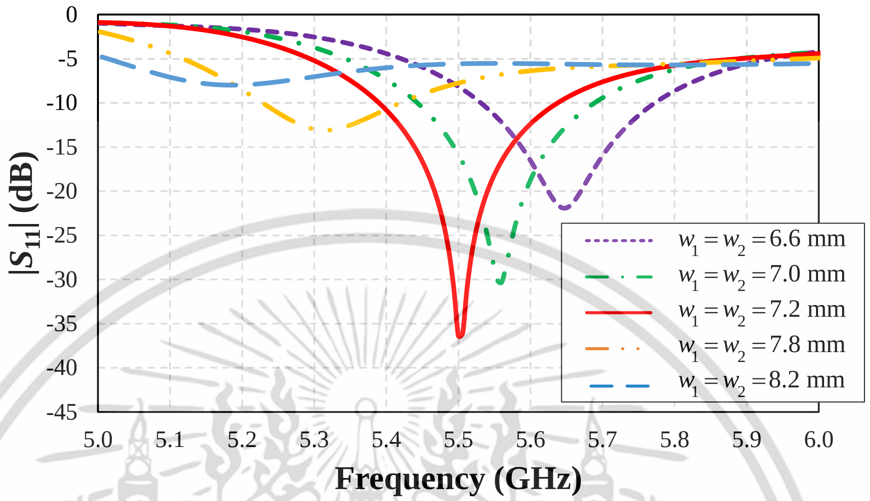
ในส่วนนี้จะทำการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ซึ่งมีผลต่อค่าอิมพีแดนซ์และค่าอัตราส่วนแกนของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง โดยพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษานั้นได้แก่ ความกว้าง×ยาว ของพาราซิติกสี่เหลี่ยม w_1 *และ* w_2 รัศมีโพรบของโมโนโพล R_p ความสูงของโพรบ L_p รัศมีพาราซิติก R_{pb} ความสูงจากกึ่งกลางพาราซิติกถึงระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ h_{pb} ความกว้างวงขอบพาราซิติก s_{pb} รัศมีกราวนด์บน R_{gt} และรัศมีกราวนด์ล่าง R_g ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการออกแบบของสายอากาศที่นำเสนอนี้ จึงจะถูกวิเคราะห์อย่างละเอียดเพิ่มเติมจากพารามิเตอร์อื่น ๆ ซึ่งจะถูกอธิบายในช่วงท้ายในบทนี้

3.4.1 พาราซิติกสี่เหลี่ยม w_1 และ w_2 (ความกว้าง × ยาว)

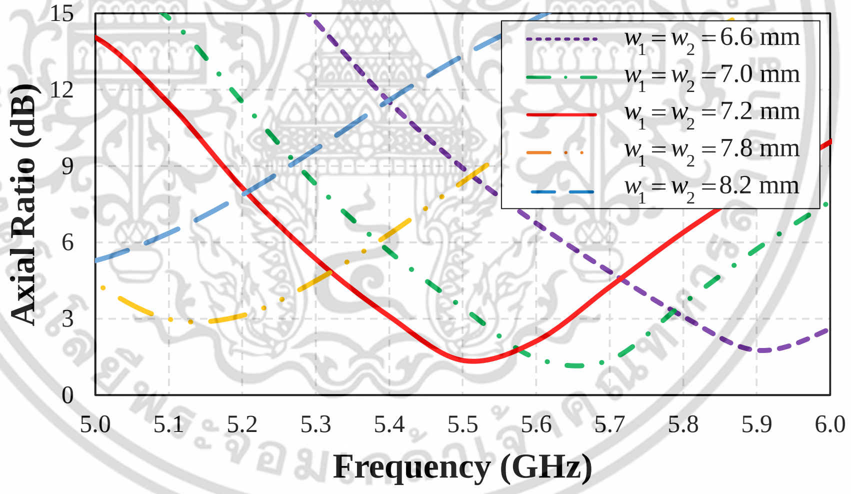
รูปที่ 3.9(ก)-(ข) แสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ และอัตราส่วนแกน (AR) ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ที่มีขนาดพารามิเตอร์ w_1 *และ* w_2 เท่ากัน พารามิเตอร์ที่ทำการปรับคือความ กว้าง × ยาว ของพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยง โดยทำการปรับขนาด w_1 และ w_2 ระหว่าง 6.6 ถึง 8.2 mm พบว่า เมื่อ w_1 *และ* w_2 = 6.6 อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ ($|S_{11}| \leq$ -10 dB) คือ 5.53 – 5.77 GHz ครอบคลุมช่วงย่านความถี่สูง แต่ไม่ครอบคลุมย่านความถี่ต่ำ เช่นเดียวกับผลการจำลองค่าอัตราส่วนแกนมีค่าน้อยกว่า 3dB (AR ≤ 3 dB) เมื่อ w_1 *และ* w_2 = 6.6 7.0 และ 7.2 mm แต่จะมีค่าอัตราส่วนแกนมากกว่า 3 dB เมื่อ w_1 *และ* w_2 = 7.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 8.2 mm ตามลำดับ เมื่อทำการพิจารณาทั้ง $|S_{11}|$ และอัตราส่วนแกนจึงสรุปได้ว่า การขยายขนาดความกว้างวงขอบพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยงให้มีขนาดใหญ่มากขึ้นจะทำให้ $|S_{11}|$ และอัตราส่วนแกนเลื่อนความถี่ไปยังขอบด้านความถี่ต่ำ ซึ่งค่าที่เหมาะสมคือ w_1 *และ* w_2 = 7.2 mm เนื่องจากอิมพีแดนซ์แมตช์ชิ่งต่ำสุดที่ความถี่กลาง 5.5 GHz



(ก) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน



(ข) ค่าอัตราส่วนแกน

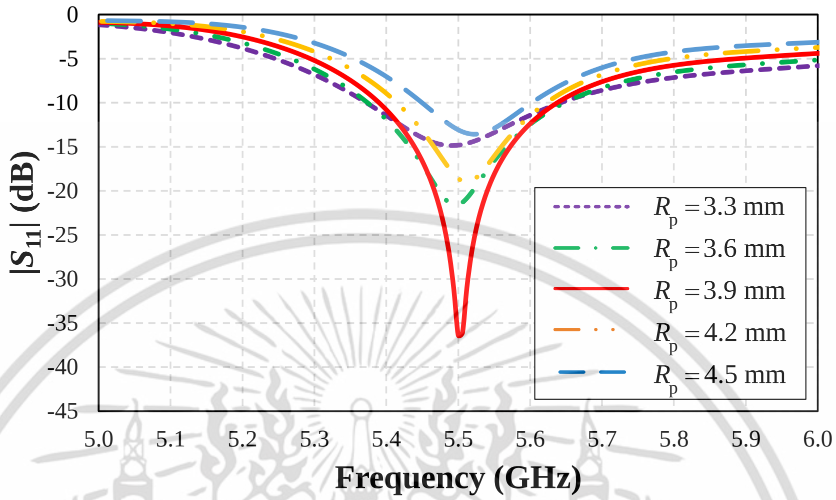
รูปที่ 3.9 ผลการจำลองปรับขนาดพารามิเตอร์ w_1 และ w_2 ของพาราซิติกสี่เหลี่ยม

3.4.2 รัศมีโพรบโมโนโพล R_p

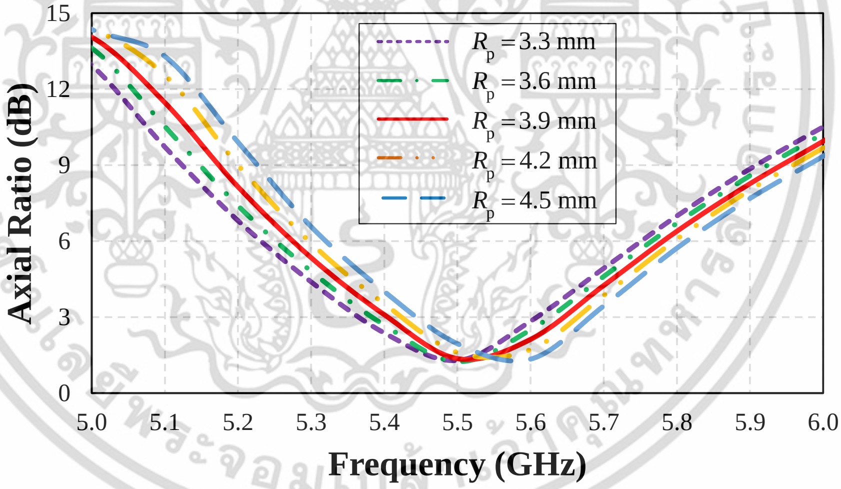
รูปที่ 3.10(ก)-(ข) แสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ และอัตราส่วนแกน (AR) ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) พารามิเตอร์ที่ทำการปรับคือรัศมีโพรบโมโนโพล R_p โดยทำการปรับขนาด R_p ระหว่าง 3.3 ถึง 4.5 mm จากผล การจำลอง $|S_{11}|$ พบว่า เมื่อ R_p = 3.3 ถึง 4.5 mm อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ ($|S_{11}| \leq$ -10 dB) สามารถครอบคลุมย่านความถี่กลาง 5.5 GHz แต่อิมพีแดนซ์แมตช์ชิ่งค่อนข้างเปลี่ยนแปลง เมื่อเปรียบเทียบกับอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่ผลการจำลองค่าอัตราส่วนแกนนั้นยังคงมีค่าต่ำกว่า 3dB (AR ≤ 3 dB) สำหรับย่านความถี่ใช้กลาง เมื่อทำการปรับ R_p = 3.0 ถึง 4.2 mm จึงสรุปได้ว่า เมื่อทำการขยายขนาดรัศมีโพรบโมโนโพล R_p ให้มีขนาดใหญ่มากขึ้นจะทำให้อิมพีแดนซ์แมตช์ชิ่งเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งค่าที่เหมาะสมคือ R_p = 3.9 mm เนื่องจากค่าอิมพีแดนซ์แมตช์ชิ่งและอัตราส่วนแกนนั้นมีค่าต่ำสุด



(ก) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน



(ข) ค่าอัตราส่วนแกน

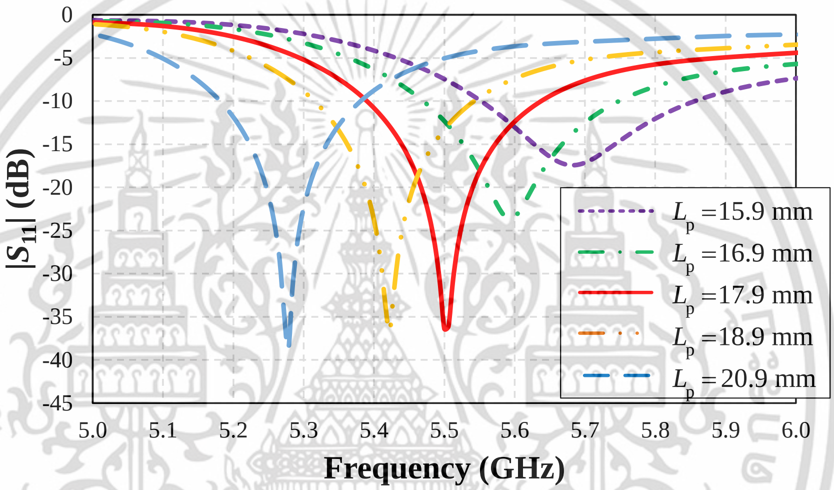
รูปที่ 3.10 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ R_p ของรัศมีโพรบโมโนโพล

3.4.3 ความสูงของโพรบโมโนโพล L_p

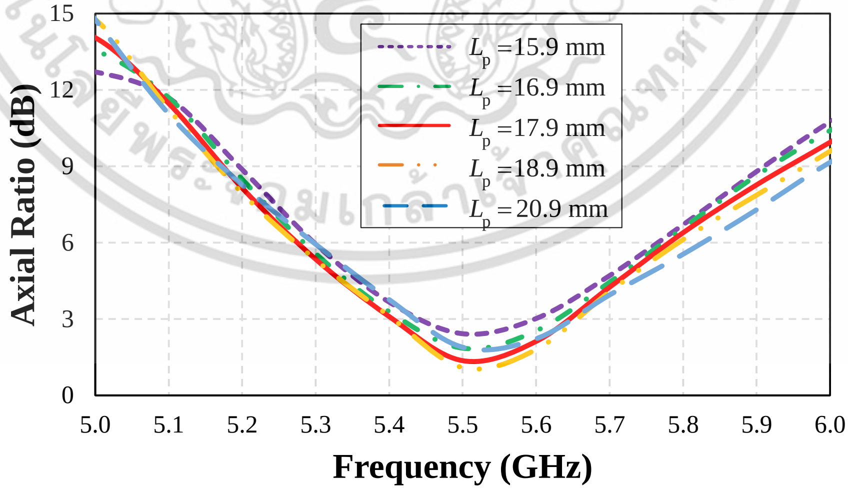
รูปที่ 3.11(ก)-(ข) แสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ และอัตราส่วนแกน (AR) ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) พารามิเตอร์ที่ทำการปรับคือความสูงของโพรบโมโนโพล L_p โดยทำการปรับขนาด L_p ระหว่าง 15.9 mm ถึง 20.9 mm พบว่า เมื่อ L_p = 15.9 mm อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ ($|S_{11}|$ ≤ -10 dB) สามารถครอบคลุมย่านความถี่สูง 5.8 GHz ได้ แต่อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ไม่ครอบคลุมย่านความถี่ต่ำ (5.15 GHz) และเมื่อทำการปรับ L_p = 16.9 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลงวันเวลาหรือการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึง 20.9 mm พบว่าความถี่เรโซแนนซ์เลื่อนไปทางความถี่ต่ำตามความยาวทางไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของความสูงโพรบ ซึ่งค่า L_p ที่เหมาะสมคือ 17.9 mm ในขณะที่ผลการจำลองค่าอัตราส่วนแกนนั้นยังคงมีค่าต่ำกว่า 3dB (AR ≤ 3 dB) ในช่วงย่านความถี่กลาง แม้ว่าจะทำการปรับ R_p = 15.9 ถึง 20.9 mm แล้วก็ตาม กลับส่งผลกระทบต่อค่าอัตราส่วนแกนน้อยมาก จากผลจำลองจึงสรุปได้ว่า $|S_{11}|$ และอัตราส่วนแกน เมื่อทำการเพิ่มความสูงของโพรบโมโนโพล L_p ให้มีความสูงเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ $|S_{11}|$ มีอิมพีแดนซ์แมตช์ซิ่งเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางย่านความถี่ต่ำ โดยเป็นไปตามทฤษฎีของสายอากาศโมโนโพลที่ความยาวโพรบเพิ่มขึ้น ค่าความยาวทางไฟฟ้าก็จะเพิ่มตาม ทำให้เกิดการตอบสนองต่ออิมพีแดนซ์แมตช์ซิ่งในย่านความถี่ต่ำ ในกรณีนี้รัศมีของโพรบโมโนโพล และรัศมีระนาบกราวนด์ต้องคงที่ สำหรับค่า L_p ที่เหมาะสมคือ L_p = 17.9 mm เนื่องจาก $|S_{11}|$ และอัตราส่วนแกน (AR) มีค่าต่ำสุดในช่วงความถี่กลาง 5.5 GHz ในส่วนค่าอัตราส่วนแกนนั้นความสูงโพรบโมโนโพล L_p มีผลกรทบที่ค่อนข้างน้อย



(ก) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน



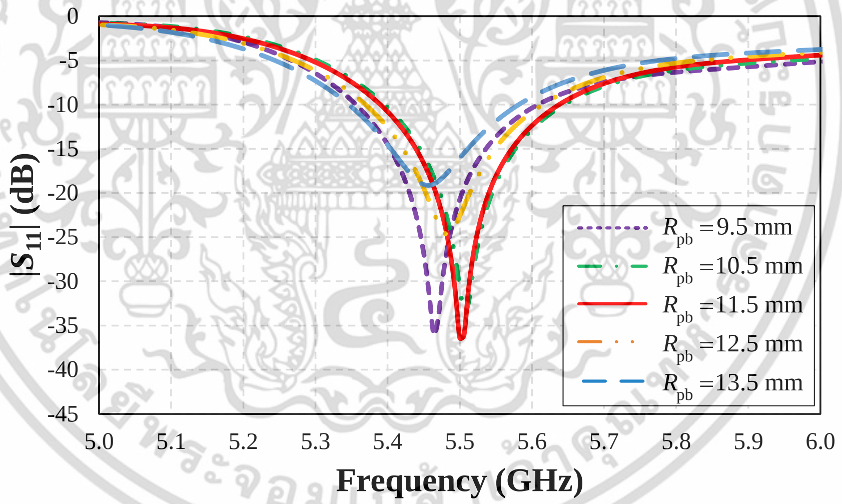
(ข) ค่าอัตราส่วนแกน

รูปที่ 3.11 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ L_p ของความสูงโพรบโมโนโพล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 รัศมีพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยง R_{pb}

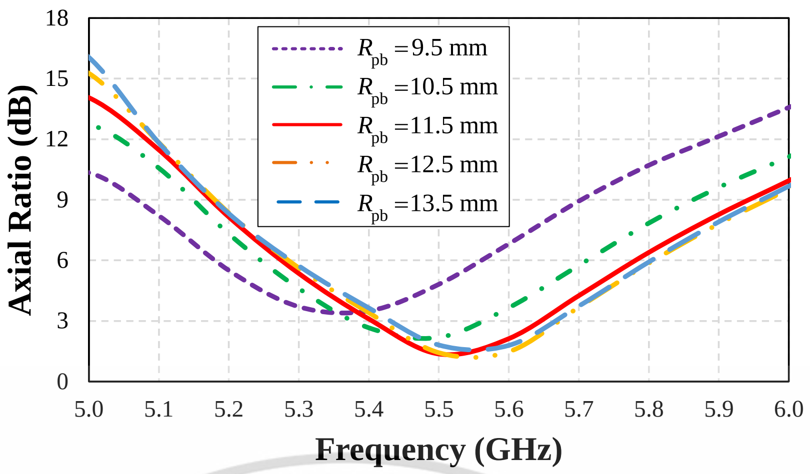
รูปที่ 3.12(ก)-(ข) แสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ และอัตราส่วนแกน (AR) ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) พารามิเตอร์ที่ทำการปรับคือรัศมีพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยง R_{pb} โดยทำการปรับขนาด R_{pb} ระหว่าง 9.5 ถึง 13.5 mm พบว่า เมื่อ R_{pb} = 9.5 ถึง 13.5 mm อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ ($|S_{11}| \leq$ -10 dB) สามารถครอบคลุมช่วงย่านความถี่กลางได้ (5.5 GHz) และจะเห็นได้ว่าค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์มีผลการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย โดยเลื่อนจากความถี่กลาง 5.5 GHz ไปยังความถี่ 5.45 GHz ซึ่งค่าอิมพีแดนซ์แมตช์ชิ่งยังมีค่าที่ต่ำกว่า -10 dB อีกด้วย แต่ในขณะเดียวกันเมื่อมาทำการพิจารณาผลการจำลองค่าอัตราส่วนแกนนั้น ที่ R_{pb} = 9.5 mm ค่าอัตราส่วนแกนมีค่ามากกว่า 3dB (AR > 3 dB) ตลอดช่วงย่านความถี่ใช้งาน (5.15 - 5.875 GHz) จากนั้นทำการปรับ R_p = 10.5 ถึง 13.5 mm ตามลำดับ พิจารณาอัตราส่วนแกนจึงสรุปได้ว่า เมื่อทำการเพิ่มรัศมีพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยง R_{pb} ให้มีรัศมีเพิ่มมากขึ้นจะทำให้อัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์มีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ค่าอัตราส่วนแกนลดต่ำลง AR ≤ 3 dB แต่ความถี่ก็จะเลื่อนไปยังความถี่สูง (5.5 GHz ไปยัง 5.6 GHz) สำหรับค่า R_{pb} ที่เหมาะสมคือ R_{pb} = 11.5 mm เนื่องจากครอบคลุมย่านความถี่กลางที่ออกแบบ (5.5 GHz) ในส่วนค่าอัตราส่วนแกนนั้นขนาดรัศมีพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยง R_{pb} มีผลกระทบที่ค่อนข้างมากกว่า $|S_{11}|$ โดยเฉพาะหากระยะรัศมี R_{pb} < 10.5 mm



(ก) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน

รูปที่ 3.12 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ R_{pb} ของพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



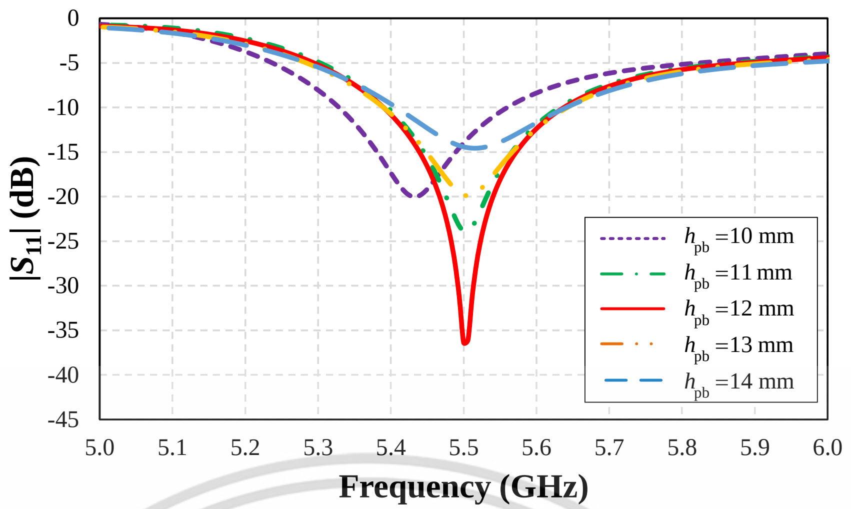
(ข) ค่าอัตราส่วนแกน

รูปที่ 3.12 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ R_{pb} ของพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยง (ต่อ)

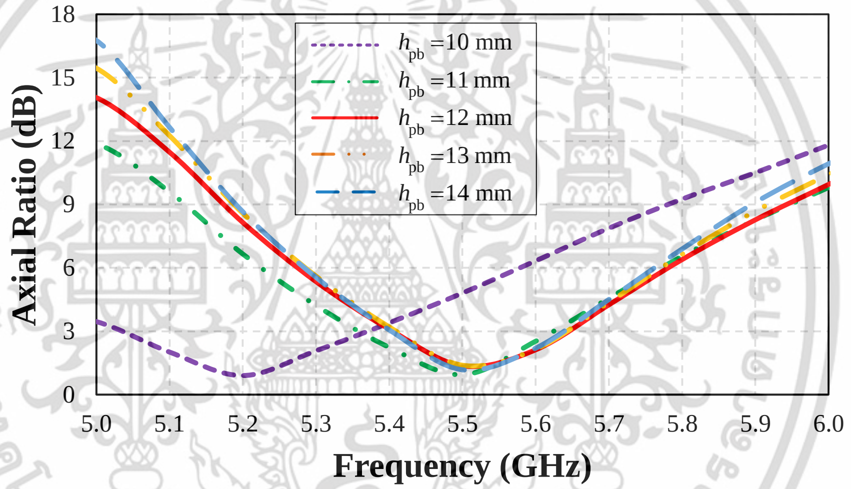
3.4.5 ความสูงจากระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ถึงกึ่งกลางพาราซิติก h_{pb}

รูปที่ 3.13(ก)-(ข) แสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ และอัตราส่วนแกน (AR) ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) พารามิเตอร์ที่ทำการปรับคือความสูงจากระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ถึงกึ่งกลางพาราซิติก h_{pb} โดยทำการปรับตำแหน่งความสูงของพาราซิติก h_{pb} ระหว่าง 10 ถึง 14 mm พบว่า เมื่อ h_{pb} = 10.5 mm อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ ($|S_{11}| \leq$ -10 dB) สามารถครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานได้ในช่วงความถี่ต่ำ และช่วงความถี่กลาง (5.15 GHz และ 5.5 GHz) แต่ไม่สามารถครอบคลุมย่านความถี่สูงได้ และเมื่อทำการปรับ h_{pb} = 11 mm ถึง 14 mm พบว่ามีความกว้างอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ค่อนข้างคงที่ และอิมพีแดนซ์แมตช์ซิ่งยังมีค่าที่ต่ำกว่า -10 dB แต่มีแนวโน้มที่อิมพีแดนซ์แมตช์ชิ่งจะสูญเสียไป เมื่อ h_{pb} > 12 mm และเมื่อทำการพิจารณาผลการจำลองค่าอัตราส่วนแกนนั้น ที่ h_{pb} = 10 mm พบว่าค่าอัตราส่วนแกนมีการเลื่อนไปทางความถี่ต่ำที่ 5.42 GHz แต่ยังครอบคลุมย่านความถี่กลางที่ออกแบบอยู่ และเมื่อทำการปรับความสูงพาราซิติกมาที่ h_{pb} = 11.0 mm ถึง 14mm ค่าอัตราส่วนแกนมีค่าที่ต่ำกว่า 3 dB ในช่วงย่านความถี่กลาง 5.5 GHz และมีผลการเปลี่ยนแปลงที่ค่อนข้างน้อย จากการพิจารณาค่าอัตราส่วนแกนจึงสรุปได้ว่า เมื่อทำการเพิ่มความสูงของพาราซิติก h_{pb} ระหว่าง 11.0 ถึง 14 mm จะทำให้อัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์มีค่า AR ≤ 3 dB และการเกิดโพลาไรซ์วงกลมในย่านความถี่กลาง โดยเฉพาะหาก h_{pb} = 12.0 mm ซึ่งเป็นค่า h_{pb} ที่เหมาะสม เนื่องจากครอบคลุมย่านความถี่กลาง 5.5 GHz ที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน



(ข) ค่าอัตราส่วนแกน

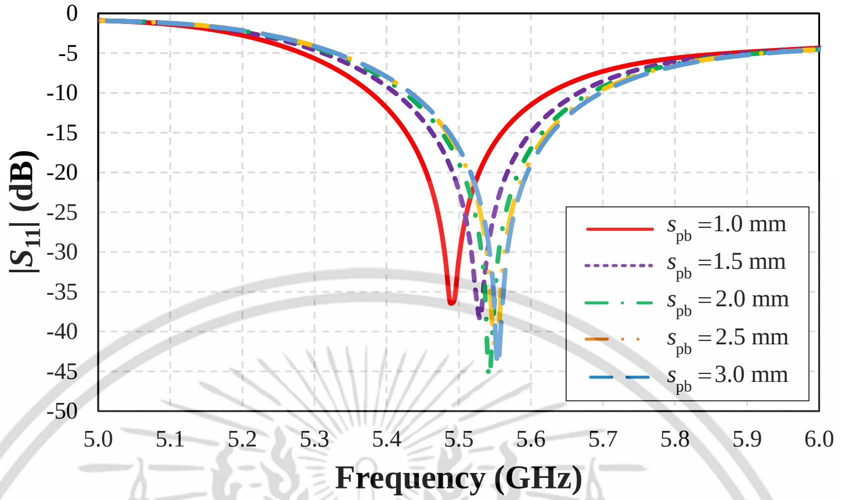
รูปที่ 3.13 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ h_{pb} ของตำแหน่งความสูงพาราซิติกสี่เหลี่ยม

3.4.6 ความกว้างวงขอบพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยง S_{pb}

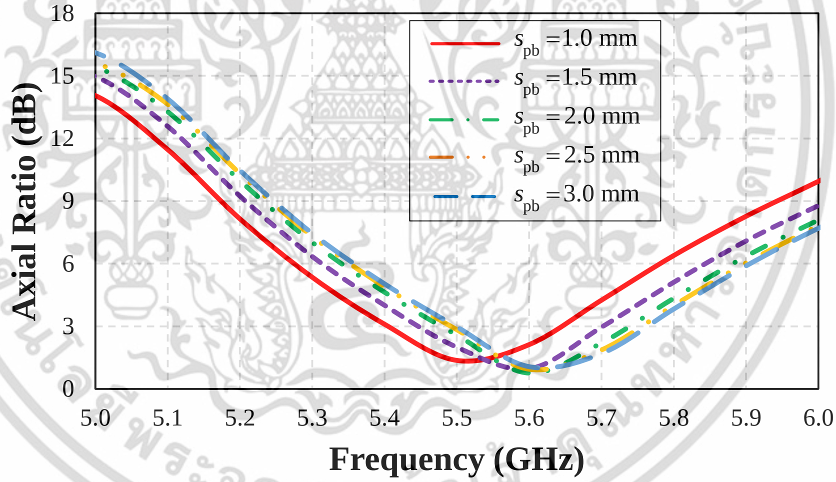
รูปที่ 3.14(ก)-(ข) แสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ และอัตราส่วนแกน (AR) ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) พารามิเตอร์ที่ทำการปรับคือความกว้างวงขอบพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยง s_{pb} โดยทำการปรับขนาด s_{pb} ระหว่าง 1.0 mm ถึง 3.0 mm พบว่า เมื่อ R_{pb} = 1.0 ถึง 3.0 mm มีอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ ($|S_{11}|$ ≤ -10 dB) สามารถครอบคลุมย่านความถี่กลางที่ 5.5 GHz ได้ เพียงแต่ว่าหากทำการเพิ่มขนาดความกว้างขอบพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยง s_{pb} ความถี่เรโซแนนซ์จะเลื่อนขึ้นไปทางความถี่สูงเล็กน้อย และพบว่าการปรับขนาด s_{pb} ส่งผลต่อค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์น้อยมาก เช่นเดียวกันกับผลการจำลองค่าอัตราส่วนแกนพบว่าค่าความกว้างวงขอบพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยง s_{pb} เมื่อมีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

s_{pb} = 1.0 mm ถึง 3.0 mm ค่าอัตราส่วนแกนยังคงมีค่าต่ำกว่า 3dB (AR ≤ 3 dB) ครอบคลุมช่วงความถี่กลาง 5.5 GHz แม้ว่าความถี่เรโซแนนซ์จะเลื่อนขึ้นไปทางความถี่สูงเล็กน้อยแต่ค่าตามแนวโน้มของค่า $|S_{11}|$ และค่า s_{pb} ที่เหมาะสมคือ R_{pb} = 1.0 mm



(ก) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน



(ข) ค่าอัตราส่วนแกน

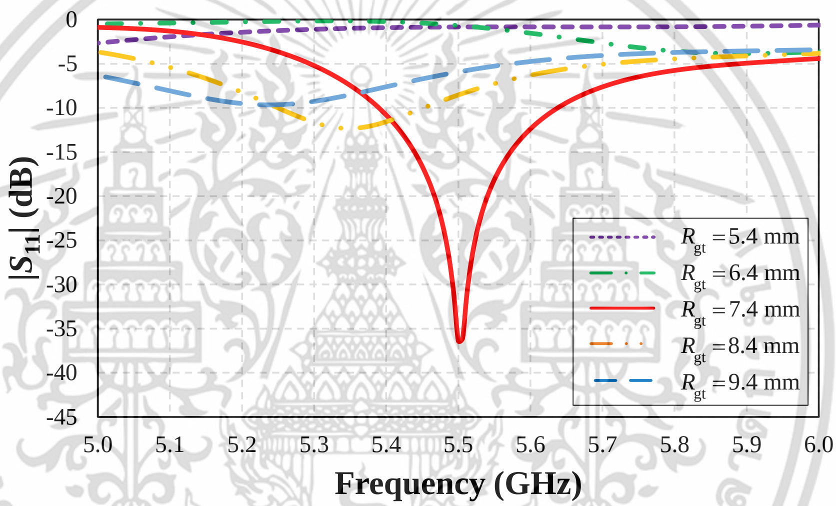
รูปที่ 3.14 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ s_{pb} ของความกว้างวงขอบพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยง

3.4.7 รัศมีกราวน์บน R_{gt}

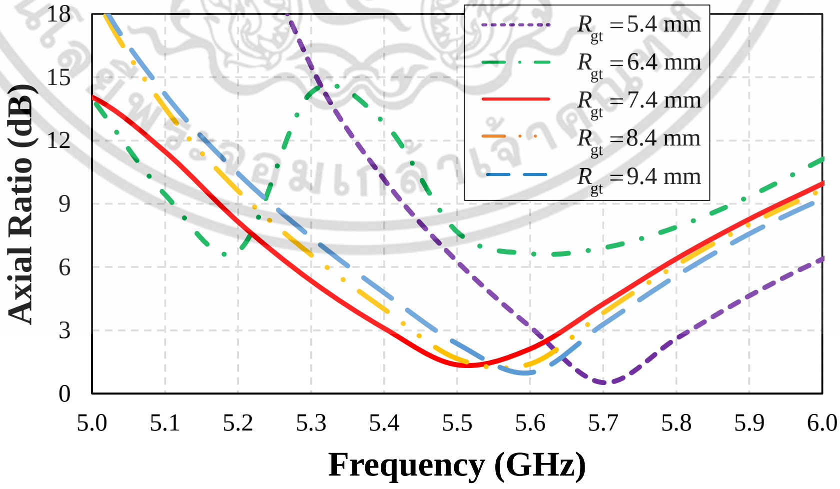
รูปที่ 3.15(ก)-(ข) แสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ และอัตราส่วนแกน (AR) ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) โดยพารามิเตอร์ที่ทำการปรับคือรัศมีกราวน์บน R_{gt} โดยทำการปรับขนาดรัศมีกราวน์บน R_{gt} ระหว่าง 5.4 mm ถึง 9.4 mm พบว่าเมื่อ R_{gt} = 5.4 mm 6.4 mm และ 9.4 mm อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ ($|S_{11}|$ ≤ -10 dB) ไม่สามารถครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานได้ทั้งหมด และเมื่อทำการปรับ R_{gt} = 7.4 mm พบว่ามีความกว้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ครอบคลุมความถี่กลาง 5.5 GHz ในขณะที่ R_{gt} = 8.4 mm ถึงแม้จะมีค่า ($|S_{11}|$ ≤ -10 dB แต่ว่าความถี่เรโซแนนซ์เลื่อนไปยังความถี่ต่ำที่ 5.31 GHz ดังนั้นเมื่อพิจารณาค่าผลการจำลอง $|S_{11}|$ พบว่าขนาดที่เหมาะสมคือ R_{gt} = 7.4 mm สามารถครอบคลุมย่านความถี่กลางของงานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย WLAN (5.5 GHz) และเมื่อทำการพิจารณาผลการจำลองค่าอัตราส่วนแกนนั้น ที่ R_{gt} = 7.4 mm อัตราส่วนแกน (AR ≤ 3 dB) ครอบคลุมตลอดช่วงย่านความถี่กลาง 5.5 GHz สำหรับค่าอัตราส่วนแกนที่ R_{gt} = 5.4 mm พบว่าอัตราส่วนแกนต่ำสุดเลื่อนไปทางความถี่ด้านสูงที่ 5.7 GHz ในส่วน R_{gt} = 6.4 8.4 และ 9.4 mm แม้จะมีค่าอัตราส่วนแกนมีค่าต่ำกว่า 3 dB แต่มีแนวโน้มที่อัตราส่วนแกนต่ำสุดจะเลื่อนไปยังช่วงย่านความถี่สูง จากผลการจำลอง $|S_{11}|$ และอัตราส่วนแกน (AR) สรุปได้ว่ารัศมีกราวนด์บน R_{gt} มีผลกระทบต่อคุณลักษณะต่อสายอากาศอย่างมาก แต่เนื่องจากมีการออกแบบให้มีระนาบกราวนด์สองชั้นแยกออกจากกันจึงสามารถลดผลกระทบเมื่อนำสายอากาศไปติดตั้งบนฐานตัวนำ หรือวัสดุอื่น ๆ ได้



(ก) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน



(ข) ค่าอัตราส่วนแกน

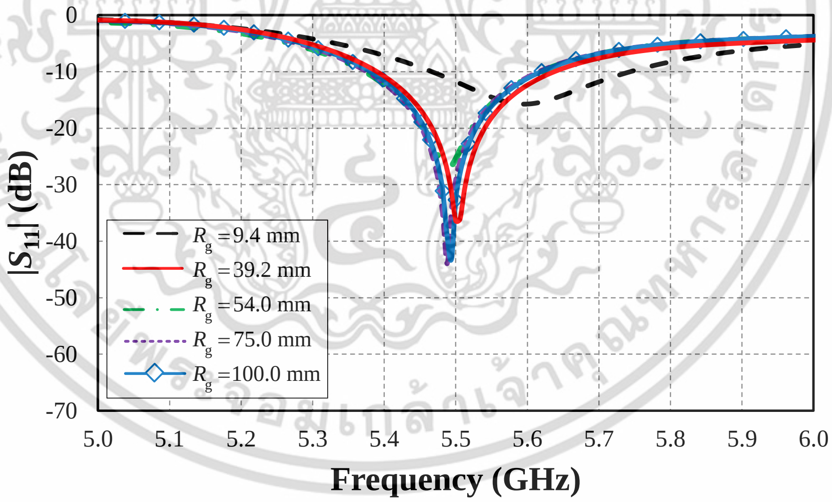
รูปที่ 3.15 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ R_{gt} ของรัศมีระนาบกราวนด์บน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.8 รัศมีกราวนด์ล่าง R_g ของสายอากาศโครงสร้าง A

จากรูปที่ 3.16 (ก) – (ข) แสดงผลการจำลองของค่าอิมพีแดนซ์ ($|S_{11}| \leq -10$ dB) และค่าอัตราส่วนแกน (AR ≤ 3 dB) ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ล่าง (R_g = 9.4 mm ถึง 100.0 mm) เมื่อทำการพิจารณาค่า $|S_{11}|$ พบว่ารัศมีระนาบกราวนด์ล่างที่ขนาด R_g = 9.4 mm จะทำให้ความถี่เรโซแนนซ์เลื่อนไปทางความถี่สูงและสูญเสียอิมพีแดนซ์แมตช์ซิ่งไปบางส่วน แต่เมื่อทำการเพิ่มขนาดรัศมีที่ R_g = 39.2 mm ถึง 100.0 mm ค่า $|S_{11}|$ มีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมาก นั่นหมายความว่าการมีระนาบกราวนด์บนและระนาบกราวนด์ล่างที่แยกออกจากกันช่วยลดผลกระทบของอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ

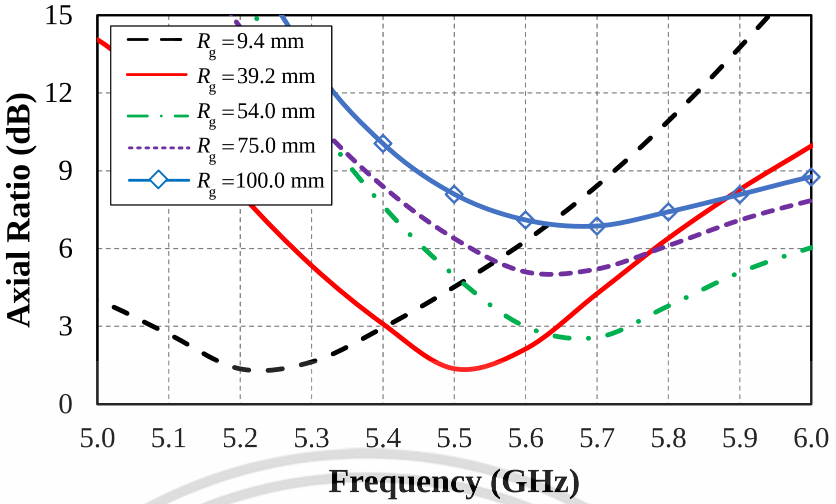
ในทางกลับกันค่าอัตราส่วนแกน (AR ≤ 3 dB) เมื่อ R_g = 9.4 mm พบว่าอัตราส่วนแกนต่ำสุดเลื่อนไปทางช่วงความถี่ต่ำ เละเมื่อทำการเพิ่มขนาดรัศมีระนาบกราวนด์ล่างที่ขนาด R_g = 39.2 mm ค่าอัตราส่วนแกนมีค่าต่ำกว่า 3 dB สามารถครอบคลุมย่านความถี่กลาง 5.5 GHz ได้ แต่เมื่อทำการขยายระนาบกราวนด์เป็น R_g = 54.0 mm ค่าอัตราส่วนแกนจะเลื่อนไปทางความถี่สูงและเริ่มที่จะมีแนวโน้มค่าอัตราส่วนแกนเพิ่มสูงมากขึ้นจากเดิมจนกว่ารัศมีระนาบกราวนด์ล่างจะมีขนาดใหญ่กว่า 54 mm ส่งผลให้ค่าอัตราส่วนแกนมีค่ามกกว่า 3 dB จึงสรุปได้ว่าการเพิ่มรัศมีระนาบกราวนด์ล่าง R_g ของสายอากาศโครงสร้าง ส่งผลกระทบต่อค่าอัตราส่วนแกนอย่างมากและจะสูญเสียการเกิดโพลาไรซ์วงกลมไป เมื่อ R_g > 54.0 mm



(ก) อิมพีแดนซ์

รูปที่ 3.16 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ R_g ของรัศมีระนาบกราวนด์ล่างโครงสร้าง A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

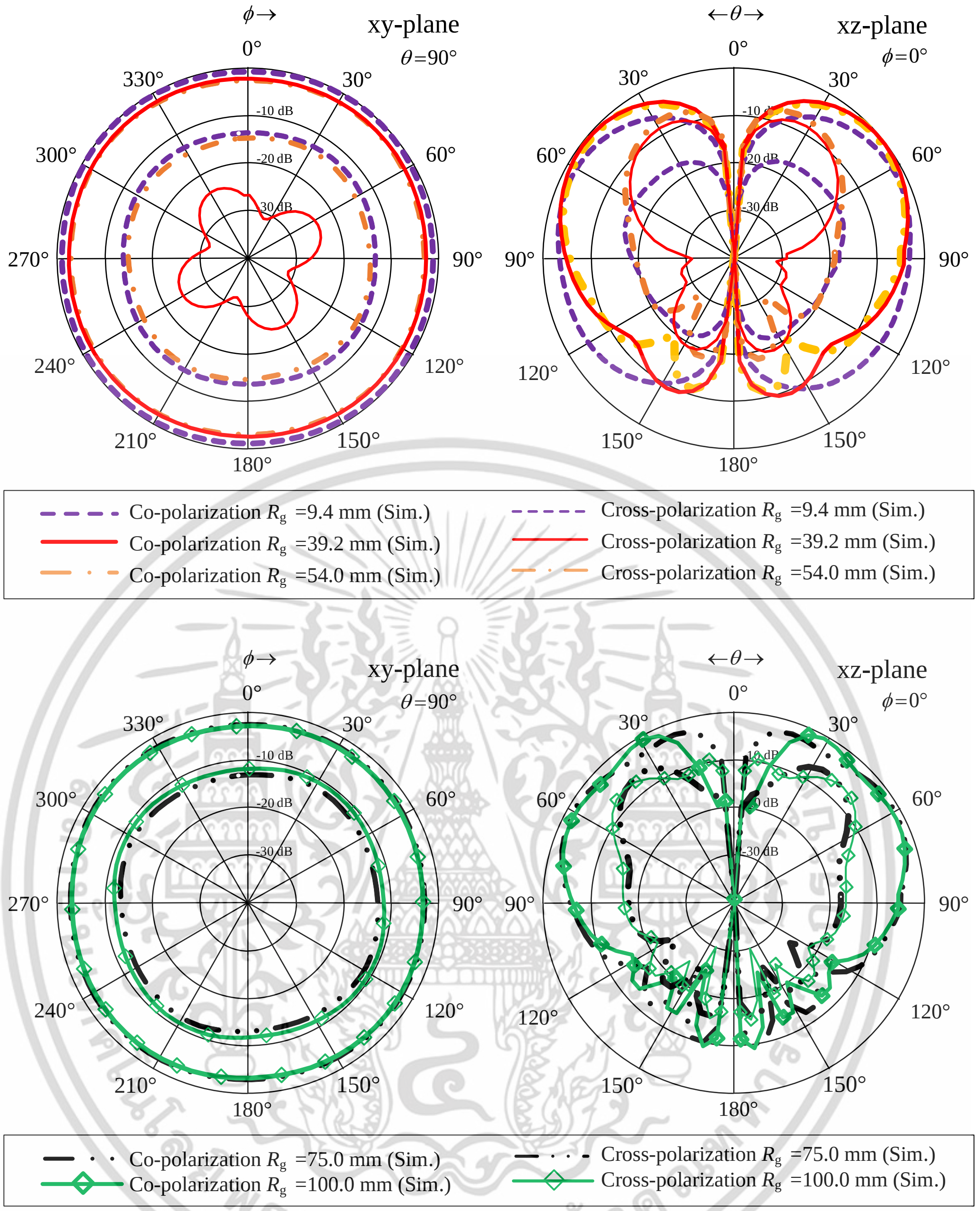


(ข) อัตราส่วนแกน

รูปที่ 3.16 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ R_g ของรัศมีระนาบกราวนด์ล่างโครงสร้าง A (ต่อ)

จากรูปที่ 3.17 แสดงผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA ที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 9.4 mm ถึง 100.0 mm) ที่ความถี่ 5.5 GHz จากผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าสายอากาศโครงสร้าง A ที่นำเสนอสามารถแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางได้ดีที่ R_g = 9.4 mm (ค่าอิมพีแดนซ์และค่าอัตราส่วนแกนไม่ดี) ซึ่งสังเกตได้จากระนาบ xy-plane ในส่วนระนาบ xz-plane จะเห็นว่าสายอากาศแพร่กระจายคลื่นได้ดีในมุม $\theta = 90^{\circ}$ และเมื่อทำการขยายระนาบกราวนด์เพิ่มขึ้นเป็น R_g = 39.2 mm 54.0 mm 75.0 mm และ 100.0 mm สายอากาศจะมีลำคลื่นยกขึ้นอย่างมากไปที่มุม $\theta = 50^{\circ}$, $45^{\circ}, 30^{\circ}, 20^{\circ}$ ตามลำดับ (ไม่สามารถครอบคลุมการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว) ซึ่งค่า XPL ต่ำกว่า -10 dB ในทิศทางลำคลื่นหลัก ทั้งระนาบ xy-plane และ xz-plane จากผลการจำลองที่ความถี่กลาง 5.5 GHz ที่ R_g ขนาดต่าง ๆ สรุปได้ว่าสายอากาศที่นำเสนอโครงสร้าง A นั้นได้รับผลกระทบต่อการขยายระนาบกราวนด์ที่สูง ไม่มีความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้บนฐานวางตัวนำทางไฟฟ้า หรือวัสดุอื่น ๆ ได้ โดยมีผลกระทบรุนแรงต่อคุณลักษณะของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ R_g ของรัศมีระนาบกราวนด์ล่างโครงสร้าง A

3.5 สรุป

ในบทนี้ได้ทำการจำลอง ออกแบบ และศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศโมโนโพลและสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) หรือโครงสร้าง A ที่นำเสนอ โดยการศึกษาขนาดและส่วนประกอบต่างๆ ที่ส่งผลต่อคุณลักษณะของสายอากาศโมโนโพล เพื่อเป็นแนวทางในการทำการปรับปรุงโครงสร้างให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ออกแบบสายอากาศ จากผลการศึกษาองค์ประกอบสายอากาศโมโนโพลพบว่าสามารถแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง มีอิมพีแดนซ์แมตช์ชิ่งและอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ที่ดี แต่ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบระนาบกราวนด์มีผลกระทบรุนแรงต่อคุณลักษณะของสายอากาศอย่างมาก ไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้บนฐานวางตัวนำทางไฟฟ้า หรือวัสดุอื่น ๆ ได้ รวมไปถึงการพิจารณาความสามารถในการเกิดโพลาไรซ์วงกลมภายใต้เงื่อนไขของสนามไฟฟ้าที่มีแอมพลิจูดเท่ากันและมีความต่างเฟสที่ตั้งฉากกัน $\pm 90^{\circ}$ จึงเกิดการพัฒนาสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ขึ้น โดยสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางถูกจำลองบนโปรแกรม CST Microwave Studio Suit ส่วนกระบวนการพัฒนาสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (Antenna III) นั้นสามารถกระทำได้โดย 3 ขั้นตอน (Antenna I Antenna II และ Antenna III) ซึ่งผลการจำลองของ Antenna III มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ 5.39 – 5.63 GHz และค่าอัตราส่วนแกนเท่ากับ 5.40 – 5.63 GHz ดังนั้นสายอากาศดังกล่าวครอบคลุมแถบความถี่บางช่วงของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (5.15 – 5.875 GHz) ทั้งหมดและมีคุณสมบัติเป็นสายอากาศโพลาไรซ์วงกลมหมุนซ้าย (LHCP) โดยสามารถพิจารณาได้จากการหมุนของกระแสเชิงพื้นผิวในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ($+z$) บนสายอากาศดังกล่าว นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาพารามิเตอร์ที่สำคัญที่มีผลกระทบต่อสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง ได้แก่ ความกว้าง×ยาว ของพาราซิติกสี่เหลี่ยม w_1 *และ* w_2 รัศมีโพรบของโมโนโพล R_{p} ความสูงของโพรบ L_{p} รัศมีพาราซิติก R_{pb} ความสูงจากกึ่งกลางพาราซิติกถึงระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ h_{pb} ความกว้างวงขอบพาราซิติก s_{pb} รัศมีกราวนด์บน R_{gt} และรัศมีกราวนด์ล่าง R_{g} ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการออกแบบของสายอากาศที่นำเสนอนี้ เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) และในบทต่อไปจะได้ทำการออกแบบสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) สำหรับการสื่อสารเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) ย่านความถี่ 5.5 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การออกแบบและการจำลองสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยวและระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการออกแบบสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) สำหรับการสื่อสารเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) ย่านความถี่ 5.5 GHz โดยสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) สายอากาศนั้นจะประกอบไปด้วยสายอากาศโมโนโพล และพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยงมุม จำนวน 4 องค์ประกอบ วางรอบสายอากาศโมโนโพล และมีระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยวที่มีจำนวนหน่วยเซลล์ 8 หน่วย ซึ่งในการออกแบบสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) นั้นได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ในส่วนสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) นั้น สายอากาศจะประกอบไปด้วยสายอากาศโมโนโพล และพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยงมุม จำนวน 4 องค์ประกอบ วางรอบสายอากาศโมโนโพล และมีระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ที่มีจำนวนหน่วยเซลล์วงใน 8 หน่วย และวงนอก 15 หน่วย เพื่อปรับปรุงความกว้างอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ (Impedance Bandwidth : IBW) ความกว้างอัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์ (Axial Ratio Bandwidth : ARBW) และอัตราขยายแบนด์วิดท์ (Boresight Gain Bandwidth) ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) โดยจะใช้โปรแกรม CST Microwave Studio Suite ในการหาค่าที่เหมาะสมของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) รวมไปถึงการศึกษาคุณลักษณะของเฟสการสะท้อนแบนด์วิดท์ของพื้นผิวอภิวัสดุ (Metasurface) ประเภทระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ (Artificial Magnetic Conductor : AMC) และค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การออกแบบระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์

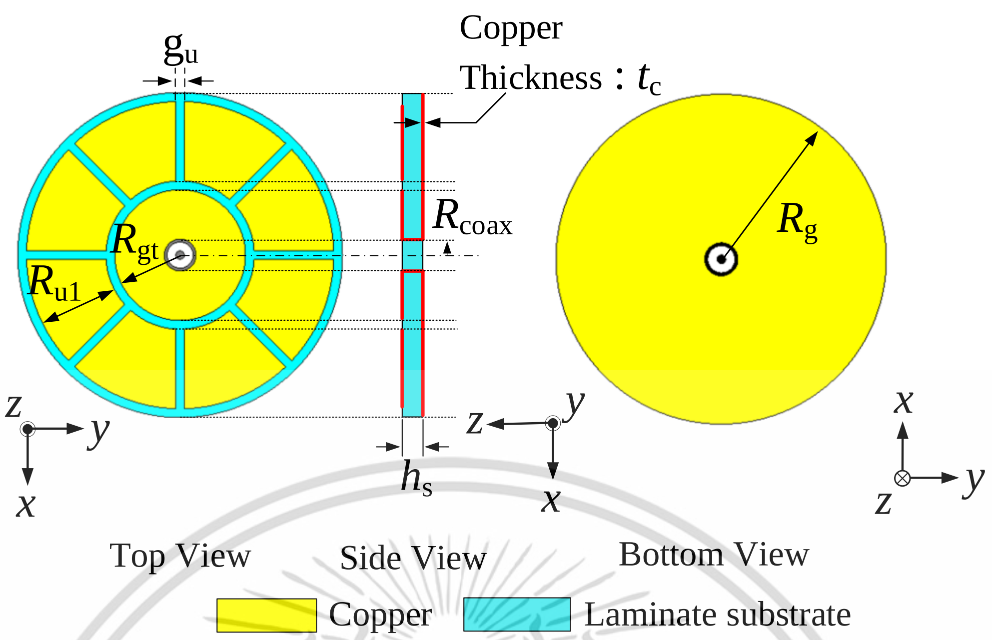
การออกแบบสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

1. การออกแบบสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ดังที่กล่าวมาในบทที่ 3 ที่ผ่านมา
2. การออกแบบระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) อิมพีแดนซ์ เฟสการสะท้อนและจากวงจรสมมูล ซึ่งจะกล่าวในบทที่ 4 นี้
3.การออกแบบสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) โดยจะถูกอธิบายในบทที่ 5

4.2.1 ระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC)

จากรูปที่ 4.1 แสดงโครงสร้างระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ที่มีองค์ประกอบหน่วยเซลล์จำนวน 8 หน่วย มีขนาดหน่วยเซลล์เป็น (R_{u1}) และมีระยะห่างระหว่างหน่วยเซลล์เป็น (g_u) มีระนาบกราวนด์บนที่มีขนาดรัศมี (R_{gt}) ทำการเจาะรูบริเวณกึ่งกลางของระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์เท่ากับขนาดรัศมี (R_{coax}) ของสายนำสัญญาณโคแอกเชียลเพื่อเป็นจุดป้อนสัญญาณของโพรบโมโนโพล ระนาบกราวนด์ล่างคือ R_g ที่เป็นส่วนสำคัญต่อการติดตั้งสายอากาศ ซึ่งจะทำการศึกษาโดยละเอียดเป็นลำดับถัดไป ระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยวถูกสร้างขึ้นบนวัสดุฐานรองชนิด FR-4 รุ่น Chukoh CGP-500A จำนวน 1 ชั้น 2 หน้า (ชั้นบนและชั้นล่าง) โดยไม่มีช่องว่างอากาศระหว่างวัสดุฐานรอง ความหนาของวัสดุฐานรองคือ (h_s) ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ε_r) และค่าการสูญเสียแทนเจนต์ ($tan\delta$) เท่ากับ 4.3 และ 0.0025 ตามลำดับ และตารางแสดงพารามิเตอร์และขนาดของระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) แสดงดังตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 โครงสร้างระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC)

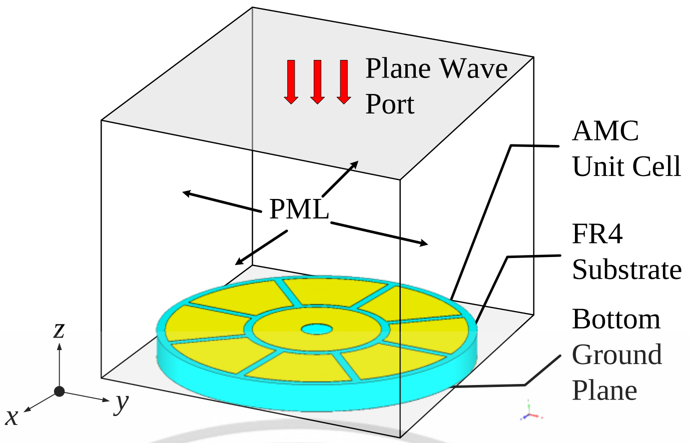
ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์และขนาดของระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว

พารามิเตอร์	ขนาด (mm)	ขนาดทางไฟฟ้า (m)	หมายเหตุ
R_{u1}	9.00	0.165 λ_c	รัศมีหน่วยเซลล์
R_{gt}	7.40	0.135 λ_c	รัศมีกราวนด์บน
g_u	1.00	0.018 λ_c	ช่องว่างหน่วยเซลล์
R_g	18.40	0.337 λ_c	รัศมีกราวนด์ล่าง
h_s	3.20	0.058 λ_c	ความสูงวัสดุฐานรอง
t_c	0.018	0.0003 λ_c	ความสูงทองแดงวัสดุฐานรอง
R_{coax}	1.80	0.0003 λ_c	รัศมีสายนำสัญญาณโคแอกเชียล

*หมายเหตุ λ_c คือ ความยาวคลื่นในสภาวะอากาศว่างที่ความถี่กลาง 5.5 GHz

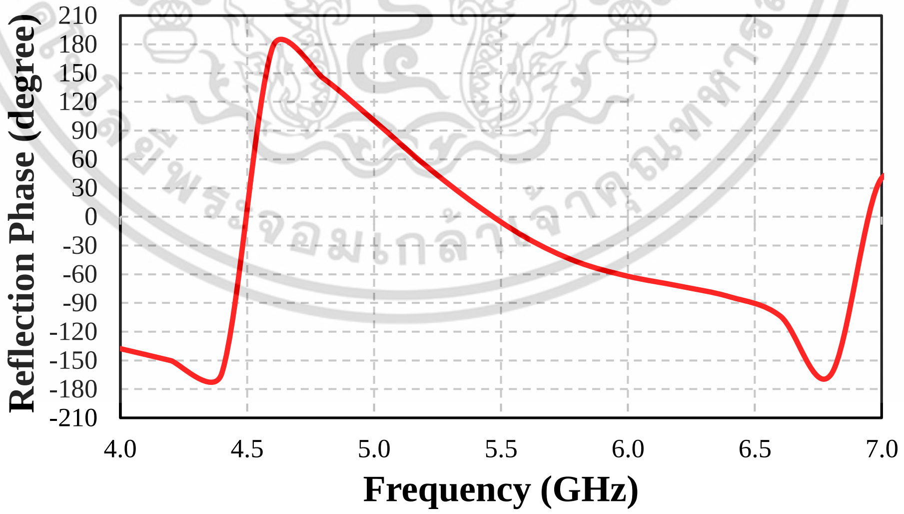
ในรูปที่ 4.2 แสดงรูปแบบการจำลองโมเดลของแบบจำลองระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ (เช่น โครงสร้าง B) เพื่อจำลองผลเฟสการสะท้อน โดยการจำลองผลดำเนินการโดยใช้โปรแกรม CST Microwave Studio ที่มีการจำลองสนามไฟฟ้าตกกระทบในแนวตั้งฉาก โดยที่โครงสร้างระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ทั้งหมดถูกปิดล้อมในขอบเขตการดูดซับแมตช์ซิ่งอย่างสมบูรณ์ (Perfectly Matched Layer : PML) ผลการจำลองเฟสการสะท้อนที่ 0° ควรมีเฟสการสะท้อนได้ใกล้กับความถี่เป้าหมายที่ 5.5 GHz หรือครอบคลุมย่านความถี่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 การจำลองโมเดลเฟสการสะท้อนของระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC)

ในรูปที่ 4.3 แสดงผลการจำลองเฟสการสะท้อน จะเห็นได้ว่าที่ความถี่เป้าหมาย (5.5 GHz) เฟสการสะท้อนของระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ต่อไปนี้กำหนดเป็นโครงสร้าง B มีค่าเท่ากับศูนย์ โดยมีแบนด์วิดท์ของเฟสการสะท้อน (ความกว้างแถบความถี่ของ AMC) อยู่ระหว่าง –90° (ขอบบนของย่านความถี่สูงสุด) และ +90° (ขอบล่างของย่านความถี่ต่ำสุด) ครอบคลุมความถี่ 5.1 – 6.5 GHz คิดเป็น 24.13% ครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN)

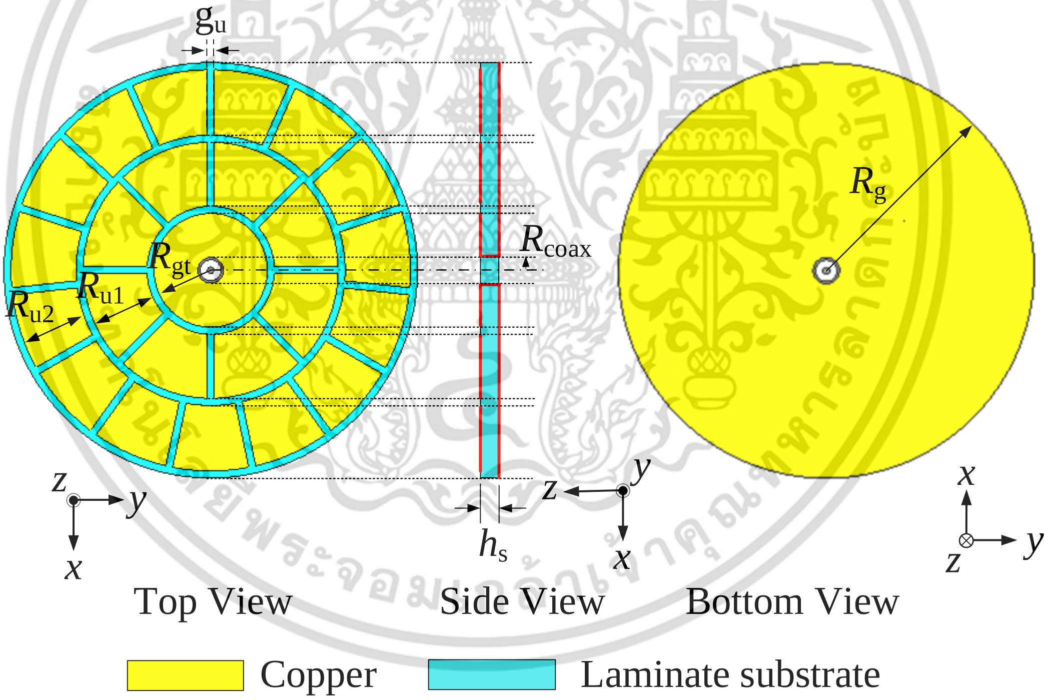


รูปที่ 4.3 ผลการจำลองเฟสการสะท้อนของระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC)

จากรูปที่ 4 แสดงโครงสร้างระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ที่มีองค์ประกอบหน่วยเซลล์วงในจำนวน 8 หน่วย และหน่วยเซลล์วงนอกจำนวน 15 หน่วย มีขนาดหน่วยเซลล์วงในเป็น (R_{u1}) และขนาดหน่วยเซลล์วงนอกเป็น (R_{u2}) ซึ่งมีระยะห่างระหว่างหน่วยเซลล์เป็น (g_u) มีระนาบกราวนด์บนที่มีขนาดรัศมี (R_{gt}) ทำการเจาะรูบริเวณกึ่งกลางของระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์เท่ากับขนาดรัศมี (R_{coax}) ของสายนำสัญญาณโคแอกเชียลเพื่อเป็นจุดป้อนสัญญาณของโพรบโมโนโพล ระนาบกราวนด์ล่างคือ R_g ที่เป็นส่วนสำคัญต่อการติดตั้งสายอากาศ ซึ่งจะทำการศึกษาโดยละเอียดเป็นลำดับถัดไปเช่นเดียวกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว ระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ถูกสร้างขึ้นบนวัสดุฐานรองชนิด FR-4 รุ่น Chukoh CGP-500A จำนวน 1 ชั้น 2 หน้า (ชั้นบนและชั้นล่าง) โดยไม่มีช่องว่างอากาศระหว่างวัสดุฐานรอง ความหนาของวัสดุฐานรองคือ (h_s) ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ε_r) และค่าการสูญเสียแทนเจนต์ ($\tan\delta$) เท่ากับ 4.3 และ 0.0025 ตามลำดับ และตารางแสดงพารามิเตอร์และขนาดของระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) แสดงดังตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.4 โครงสร้างระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC)

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์และขนาดของระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่

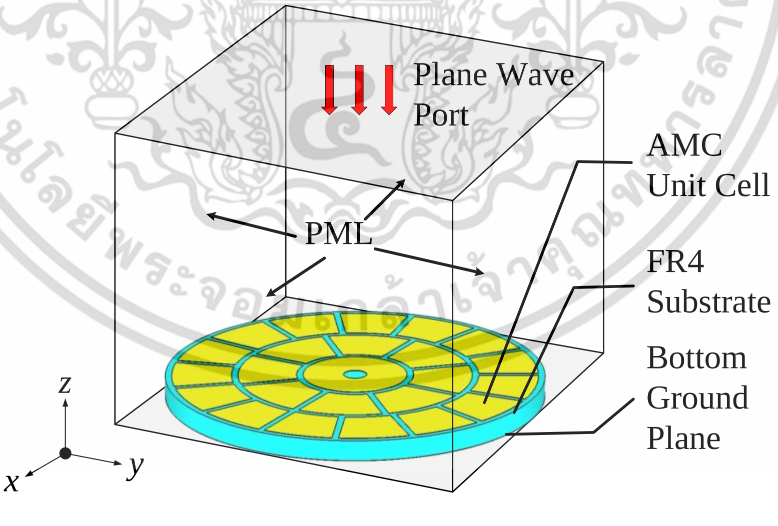
พารามิเตอร์	ขนาด (mm)	ขนาดทางไฟฟ้า (m)	หมายเหตุ
R_{u1}	9.00	0.165 λ_c	รัศมีหน่วยเซลล์วงใน
R_{u2}	9.20	0.168 λ_c	รัศมีหน่วยเซลล์วงนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์	ขนาด (mm)	ขนาดทางไฟฟ้า (m)	หมายเหตุ
R_{gt}	7.40	0.135 λ_c	รัศมีกราวนด์บน
g_u	1.00	0.018 λ_c	ช่องว่างหน่วยเซลล์
R_g	18.40	0.337 λ_c	รัศมีกราวนด์ล่าง
h_s	3.20	0.058 λ_c	ความสูงวัสดุฐานรอง
t_c	0.018	0.0003 λ_c	ความสูงทองแดง วัสดุฐานรอง
R_{coax}	1.80	0.0003 λ_c	รัศมีสายนำสัญญาณโคแอกเชียล

*หมายเหตุ λ_c คือ ความยาวคลื่นในสภาวะอากาศว่างที่ความถี่กลาง 5.5 GHz

ในรูปที่ 4.5 แสดงรูปแบบการจำลองโมเดลของแบบจำลองระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ (เช่น โครงสร้าง C) เพื่อจำลองผลเฟสการสะท้อน โดยการจำลองผลดำเนินการโดยใช้โปรแกรม CST Microwave Studio ที่มีการจำลองสนามไฟฟ้าตกกระทบในแนวตั้งฉาก โดยที่โครงสร้างระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ทั้งหมดถูกปิดล้อมในขอบเขตการดูดซับแมตช์ชิ่งอย่างสมบูรณ์ (Perfectly Matched Layer : PML) ผลการจำลองเฟสการสะท้อนที่ 0° ทำได้ใกล้กับความถี่เป้าหมายที่ 5.5 GHz

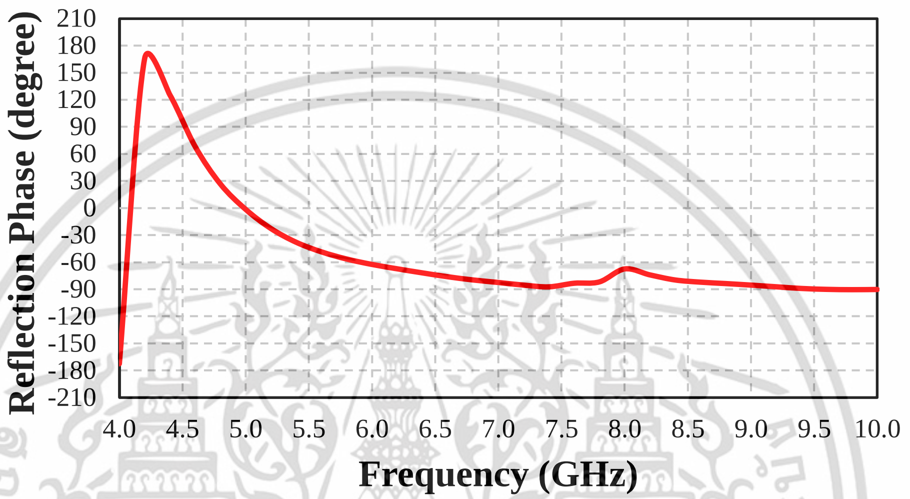


รูปที่ 4.5 การจำลองโมเดลเฟสการสะท้อนของระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC)

ในรูปที่ 4.6 แสดงผลการจำลองเฟสการสะท้อน จะเห็นได้ว่าที่ความถี่ 5.0 GHz เฟสการสะท้อนของระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ต่อไปนี้กำหนดเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้าง C มีค่าเท่ากับศูนย์ โดยมีแบนด์วิดท์ของเฟสการสะท้อน (ความกว้างแถบความถี่ของ AMC) อยู่ระหว่าง –90° (ขอบบนของย่านความถี่สูงสุด) และ +90° (ขอบล่างของย่านความถี่ต่ำสุด) ครอบคลุมความถี่ 4.5 – 9.6 GHz คิดเป็น 48.21% ครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) จะช่วยเพิ่มแบนด์วิดท์ของเฟสการสะท้อนจากที่แบนด์วิดท์ของเฟสการสะท้อนโครงสร้าง B ได้ 24.13% เป็น 48.21% (โครงสร้าง C) และเมื่อคำนวณเปอร์เซ็นแบนด์วิดท์ของเฟสการสะท้อนจะกว้างขึ้นกว่าเดิมคิดเป็น 72.34%

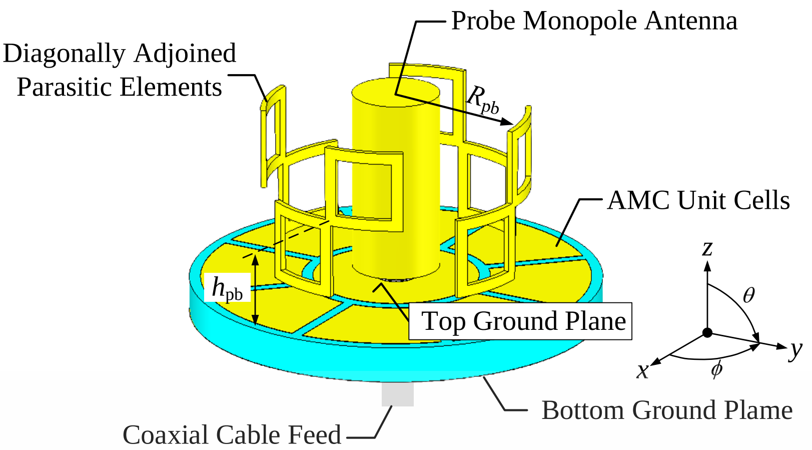


รูปที่ 4.6 ผลการจำลองเฟสการสะท้อนของระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC)

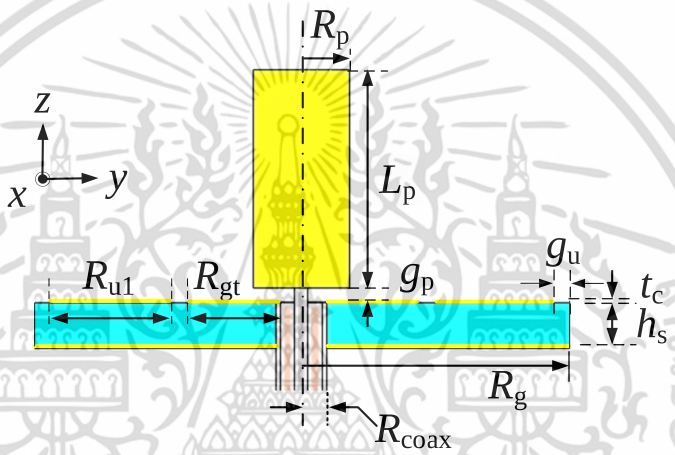
4.2.3 สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC)

จากรูปที่ 4.7 แสดงโครงสร้างสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) หรือโครงสร้าง B โดยสายอากาศโครงสร้าง B นั้นจะใช้ระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) มาออกแบบร่วมกับสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ที่ได้ถูกออกแบบไว้ในบทที่ 3 ถูกสร้างขึ้นบนวัสดุฐานรองชนิด FR-4 รุ่น Chukoh CGP-500A จำนวน 1 ชั้น 2 หน้า (ชั้นบนและชั้นล่าง) โดยไม่มีช่องว่างอากาศระหว่างวัสดุฐานรองความหนาของวัสดุฐานรองคือ (h_s) ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ε_r) และค่าการสูญเสียแทนเจนต์ ($\tan\delta$) เท่ากับ 4.3 และ 0.0025 ตามลำดับ โดยขนาดของสายอากาศเท่ากับ 36.8 mm × 36.8 mm × 21.5 mm ($R_g \times R_g \times H_t$)

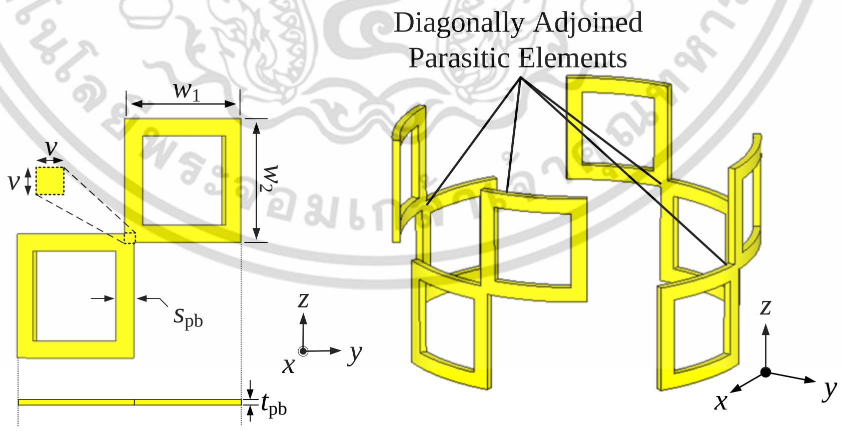
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) โครงสร้างสายอากาศโครงสร้าง B



(ข) มุมมองภาพตัดกลางด้านหน้าสายอากาศ



(ค) มุมมองด้านหน้าและการวางพาราซิติกสี่เหลี่ยม

รูปที่ 4.7 โครงสร้างสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ที่นำเสนอ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ที่นำเสนอนั้นประกอบไปด้วยกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยวที่มีองค์ประกอบหน่วยเซลล์จำนวน 8 หน่วย สายอากาศโมโนโพล และพาราวิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยงจำนวน 4 องค์ประกอบ ซึ่งทำการจัดเรียงให้สอดคล้องกันที่มุม 0° 90° 180° และ 270 ซึ่งในตารางที่ 4.3 ได้แสดงการกำหนดพารามิเตอร์และขนาดที่เหมาะสมของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ที่นำเสนอ

ตารางที่ 4.3 พารามิเตอร์และขนาดของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC)

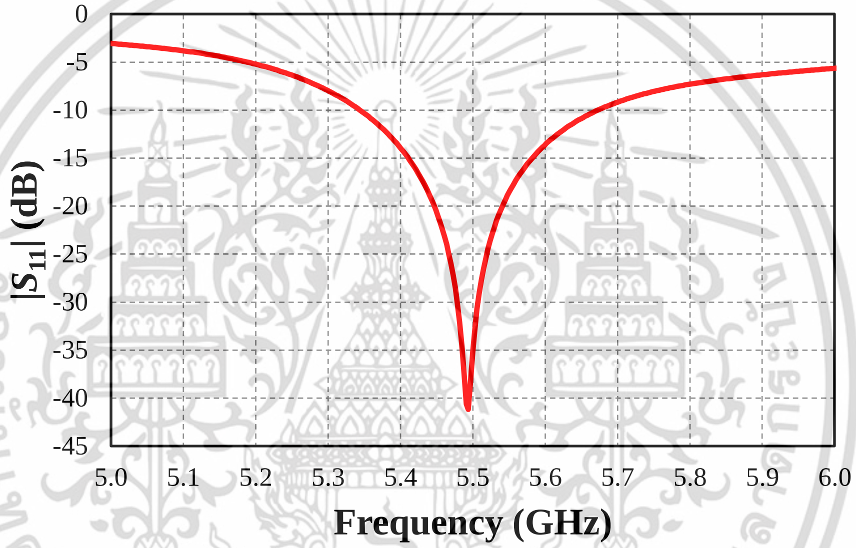
พารามิเตอร์	ขนาด (mm)	ขนาดทางไฟฟ้า (m)	หมายเหตุ
L_p	16.20	0.297 λ_c	ความสูงโพรบโมโนโพล
R_p	3.90	0.071 λ_c	รัศมีโพรบโมโนโพล
g_p	1.00	0.018 λ_c	ช่องว่างโพรบโมโนโพลกับระนาบกราวนด์ AMC
w_1	7.20	0.132 λ_c	ความกว้างพาราซิติก
w_2	7.20	0.132 λ_c	ความยาวพาราซิติก
s_{pb}	1.00	0.018 λ_c	ความกว้างวงขอบพาราซิติก
v	0.50	0.0092 λ_c	ขนาดกว้าง × ยาว ของจุดเชื่อมต่อพาราซิติก
R_{pb}	11.50	0.211 λ_c	รัศมีพาราซิติก
h_{pb}	11.50	0.211 λ_c	ความสูงจากกึ่งกลางพาราซิติกถึงระนาบกราวนด์ AMC
t_{pb}	0.50	0.0092 λ_c	ความหนาพาราซิติก
R_{u1}	9.00	0.165 λ_c	รัศมีหน่วยเซลล์
R_{gt}	7.40	0.135 λ_c	รัศมีกราวนด์บน
g_u	1.00	0.018 λ_c	ช่องว่างหน่วยเซลล์
R_g	18.40	0.337 λ_c	รัศมีกราวนด์ล่าง
h_s	3.20	0.058 λ_c	ความสูงวัสดุฐานรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

t_c	0.018	0.0003 λ_c	ความหนาทองแดง วัสดุฐานรอง
R_{coax}	1.80	0.0003 λ_c	รัศมีสายนำสัญญาณโคแอกเชียล

*หมายเหตุ λ_c คือ ความยาวคลื่นในสภาวะอากาศว่างที่ความถี่กลาง 5.5 GHz

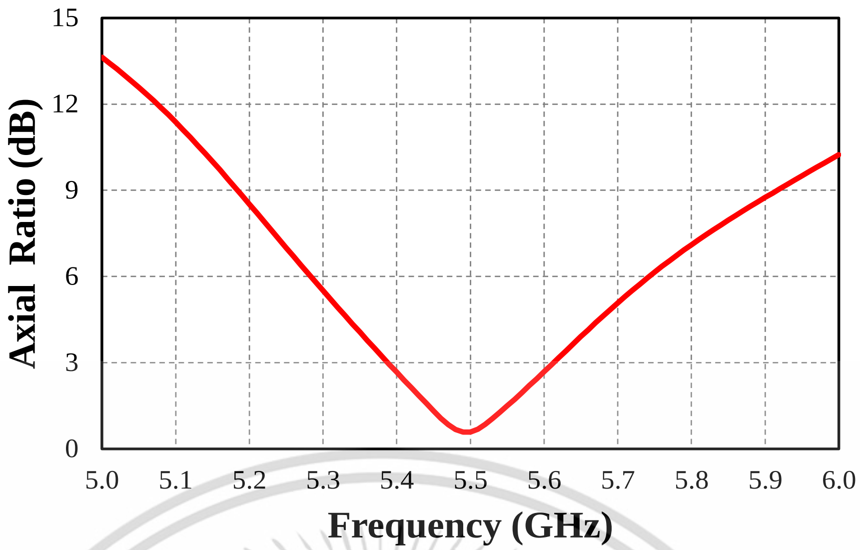
จากรูปที่ 4.8 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) โดยผลการจำลองของ $|S_{11}| \leq -10$ dB มีช่วงความถี่ครอบคลุม 5.34 GHz – 5.69 GHz คิดเป็น 6.34% ของความถี่กลาง 5.5 GHz ค่า $|S_{11}|$ ต่ำสุดของผลการจำลองคือ 5.49 GHz



รูปที่ 4.8 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC)

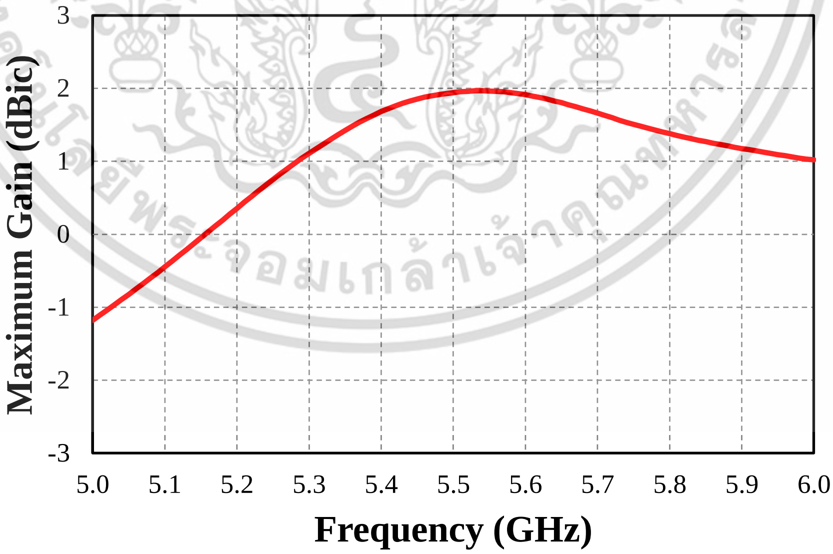
จากรูปที่ 4.9 แสดงผลการจำลองอัตราส่วนแกน (Axial ratio : AR) ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) โดยผลการจำลองของอัตราส่วนแกน (AR ≤ 3 dB) มีช่วงความถี่ครอบคลุม 5.38 GHz – 5.62 GHz คิดเป็น 4.36% ของความถี่กลาง 5.5 GHz ซึ่งพบว่าผลการจำลองมีค่าอัตราส่วนแกนต่ำสุดที่ความถี่ 5.49 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



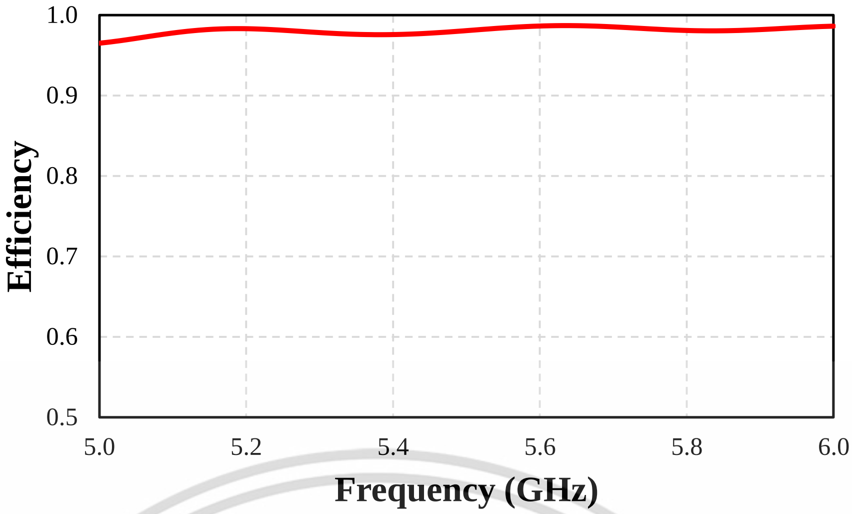
รูปที่ 4.9 ผลการจำลองอัตราส่วนแกนของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC)

จากรูปที่ 4.10 แสดงผลการจำลองอัตราขยายและรูปที่ 4.11 แสดงผลการจำลองประสิทธิภาพของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) โดยผลการทดสอบของอัตราขยายสูงสุดมีค่าเท่ากับ 2.0 dBic ที่ความถี่ 5.52 GHz และประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่นมีค่าสูงว่า 95% ตลอดช่วงความถี่ใช้งาน (5.15 GHz – 5.875 GHz) ของความถี่กลาง 5.5 GHz



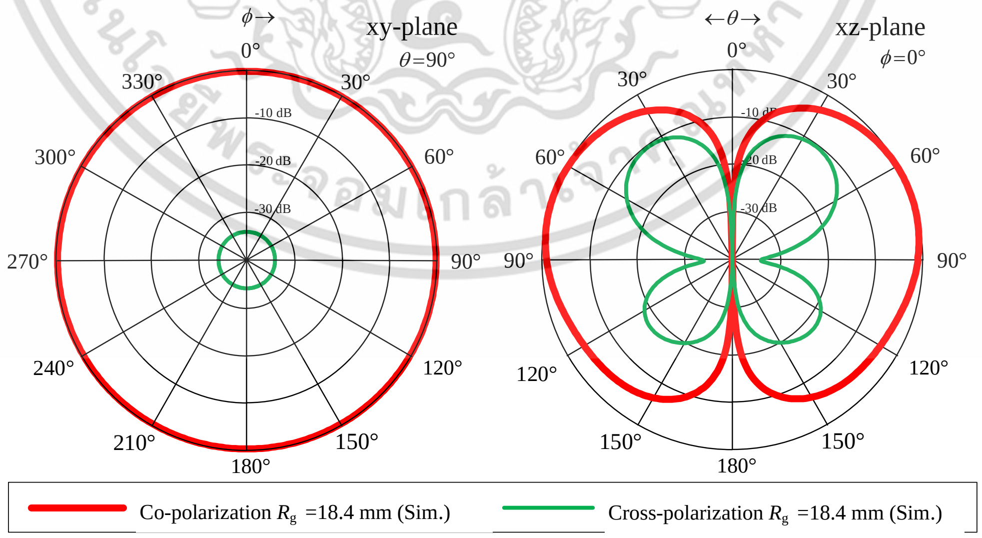
รูปที่ 4.10 ผลการจำลองอัตราขยายของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ผลการจำลองประสิทธิภาพของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC)

จากรูปที่ 4.12 แสดงผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ซึ่งกระทำโดยจำลองโพลาไรซ์ร่วม (Co-polarization) และโพลาไรซ์ไขว้ (Cross-polarization level) จากผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าสายอากาศที่นำเสนอสามารถแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางได้ ซึ่งสังเกตได้จากระนาบ xy-plane ที่เป็นเส้นรูปวงกลม ในส่วนระนาบ xz-plane จะเห็นว่าสายอากาศแพร่กระจายคลื่นได้ดีในมุม $\theta = 90^{\circ}$ (รอบตัว) ซึ่งค่า XPL ต่ำกว่า -35 dB ทั้งระนาบ xy-plane และ xz-plane จากผลการจำลองที่ความถี่กลาง 5.5 GHz นั้นมีผลการจำลองที่ให้ผลที่ดีมากในการนำไปประยุกต์ใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN)

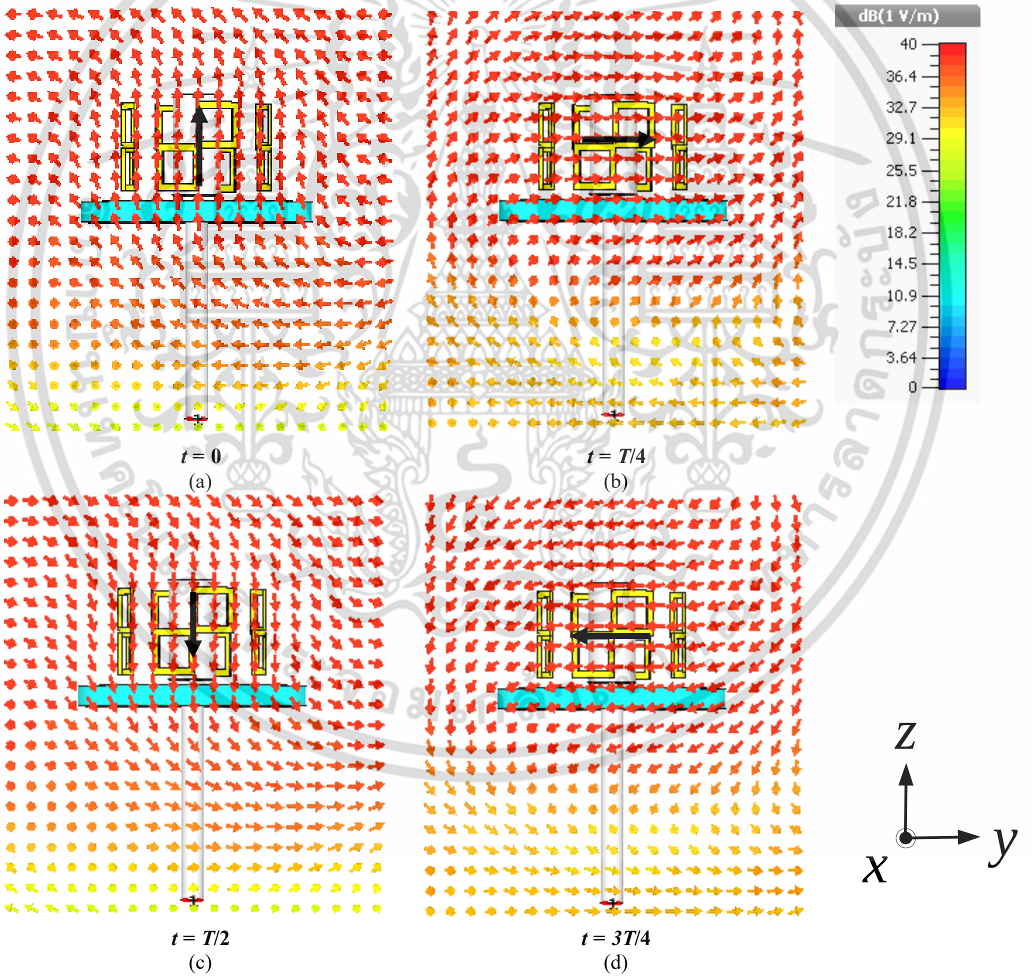


รูปที่ 4.12 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ที่ความถี่ 5.5 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการตรวจสอบผลกระทบของระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ที่แตกต่างกันต่อคุณลักษณะของโพลาไรซ์วงกลม จำเป็นต้องตรวจสอบการกระจายสนามไฟฟ้าในบริเวณใกล้สายอากาศ เพื่อดูปฏิกิริยาของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ระนาบพื้น SA- (โครงสร้าง B) และ DA-AMC (โครงสร้าง C) และเป็นการตรวจสอบว่าสายอากาศสามารถแพร่กระจายคลื่นโพลาไรซ์วงกลม

ในรูปที่ 4.13 แสดงสนามไฟฟ้าที่เวลาต่าง ๆ ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) โดยสังเกตทิศทางการหมุนของสนามไฟฟ้าสามารถศึกษาได้จากแอมพลิจูดสนามไฟฟ้า ทิศทางของสนามไฟฟ้า ทิศทางของกระแสเชิงพื้นผิว จากผลการจำลองกระแสเชิงพื้นผิวที่เวลา t = 0 T/4 T/2 และ 3T/4 ที่ความถี่กลาง 5.5 GHz โดยพบว่าสนามไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปในทิศทาง $+x$ และหมุนทวนเข็มนาฬิกา (Counterclockwise) ทำให้เกิดโพลาไรซ์วงกลมด้านซ้าย (LHCP)

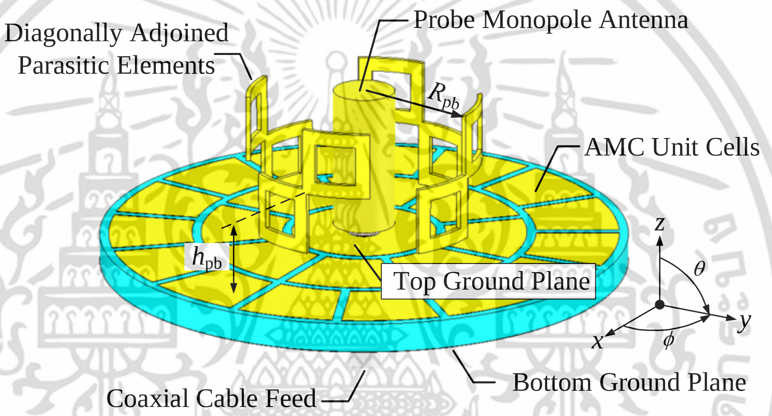


รูปที่ 4.13 กระแสเชิงพื้นผิวสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ที่ความถี่ 5.5 GHz

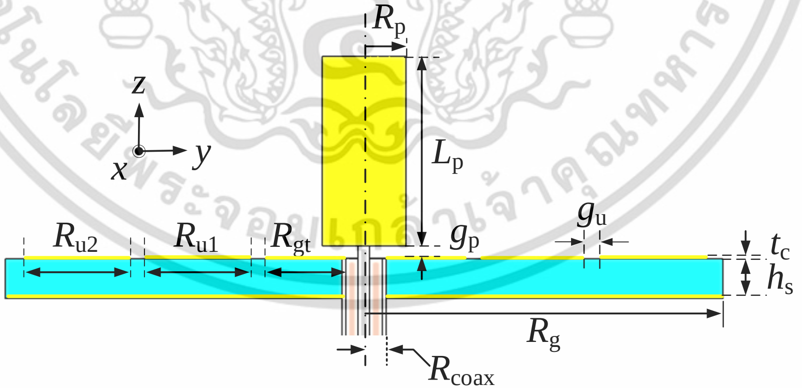
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC)

จากรูปที่ 4.14 แสดงโครงสร้างสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) หรือโครงสร้าง C โดยสายอากาศโครงสร้าง C นั้นจะใช้ระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) มาออกแบบร่วมกับสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ที่ได้ถูกออกแบบไว้ในบทที่ 3 ถูกสร้างขึ้นบนวัสดุฐานรองชนิด FR-4 รุ่น Chukoh CGP-500A จำนวน 1 ชั้น 2 หน้า (ชั้นบนและชั้นล่าง) โดยไม่มีช่องว่างอากาศระหว่างวัสดุฐานรอง ความหนาของวัสดุฐานรองคือ (h_s) ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ε_r) และค่าการสูญเสียแทนเจนต์ ($\tan\delta$) เท่ากับ 4.3 และ 0.0025 ตามลำดับ โดยขนาดของสายอากาศเท่ากับ 58.4 mm × 58.4 mm × 21.5 mm ($R_g \times R_g \times H_t$)



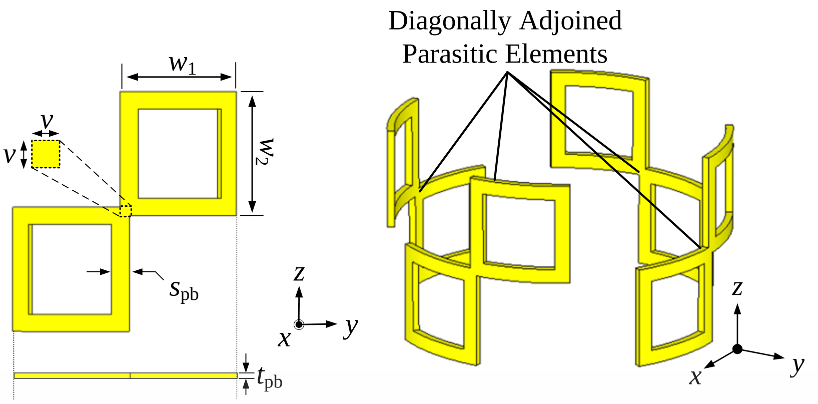
(ก) โครงสร้างสายอากาศที่นำเสนอ



(ข) มุมมองภาพตัดกลางด้านหน้าสายอากาศ

รูปที่ 4.14 โครงสร้างสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ที่นำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) มุมมองด้านหน้าและการวางพาราซิติกสี่เหลี่ยม

รูปที่ 4.14 โครงสร้างสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ที่นำเสนอ (ต่อ)

สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ที่นำเสนอนั้นประกอบไปด้วยกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยวที่มีองค์ประกอบหน่วยเซลล์จำนวน 8 หน่วย สายอากาศโมโนโพล และพาราวิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยงจำนวน 4 องค์ประกอบ ซึ่งทำการจัดเรียงให้สอดคล้องกันที่มุม 0° 90° 180° และ 270 ซึ่งในตารางที่ 4.4 ได้แสดงการกำหนดพารามิเตอร์และขนาดที่เหมาะสมของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ที่นำเสนอ

ตารางที่ 4.4 พารามิเตอร์และขนาดของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC)

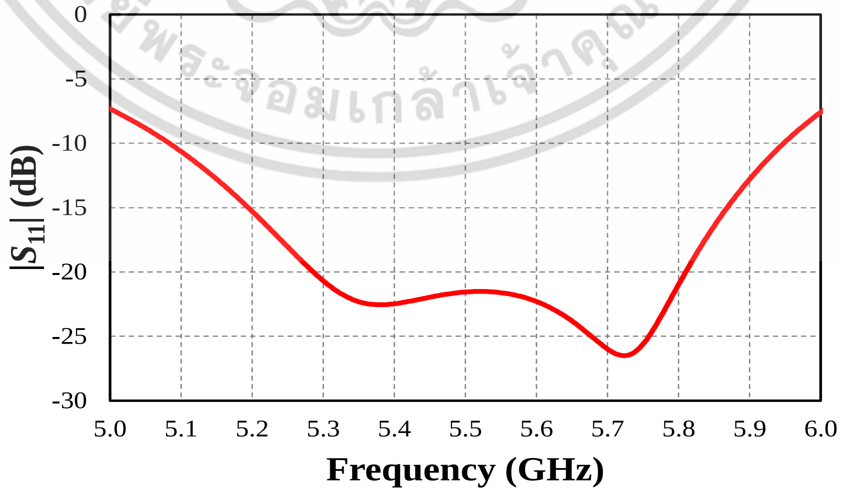
พารามิเตอร์	ขนาด (mm)	ขนาดทางไฟฟ้า (m)	หมายเหตุ
L_p	15.50	0.284 λ_c	ความสูงโพรบโมโนโพล
R_p	3.40	0.062 λ_c	รัศมีโพรบโมโนโพล
g_p	1.00	0.018 λ_c	ช่องว่างโพรบโมโนโพลกับระนาบกราวนด์ AMC
w_1	7.40	0.135 λ_c	ความกว้างพาราซิติก
w_2	7.40	0.135 λ_c	ความยาวพาราซิติก
s_{pb}	1.50	0.027 λ_c	ความกว้างวงขอบพาราซิติก
v	0.50	0.0092 λ_c	ขนาดกว้าง × ยาว ของจุดเชื่อมต่อพาราซิติก
R_{pb}	12.50	0.229 λ_c	รัศมีพาราซิติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์	ขนาด (mm)	ขนาดทางไฟฟ้า (m)	หมายเหตุ
h_{pb}	11.50	0.211 λ_c	ความสูงจากกึ่งกลางพาราซิติกถึงระนาบกราวนด์ AMC
t_{pb}	0.50	0.0092 λ_c	ความหนาพาราซิติก
R_{u1}	9.00	0.165 λ_c	รัศมีหน่วยเซลล์วงใน
R_{u2}	9.20	0.168 λ_c	รัศมีหน่วยเซลล์วงนอก
R_{gt}	8.00	0.146 λ_c	รัศมีกราวนด์บน
g_u	1.00	0.018 λ_c	ช่องว่างหน่วยเซลล์
R_g	29.20	0.535 λ_c	รัศมีกราวนด์ล่าง
h_s	3.20	0.058 λ_c	ความสูงวัสดุฐานรอง
t_c	0.018	0.0003 λ_c	ความหนาทองแดงวัสดุฐานรอง
R_{coax}	1.80	0.0003 λ_c	รัศมีสายนำสัญญาณโคแอกเชียล

*หมายเหตุ λ_c คือ ความยาวคลื่นในสภาวะอากาศว่างที่ความถี่กลาง 5.5 GHz

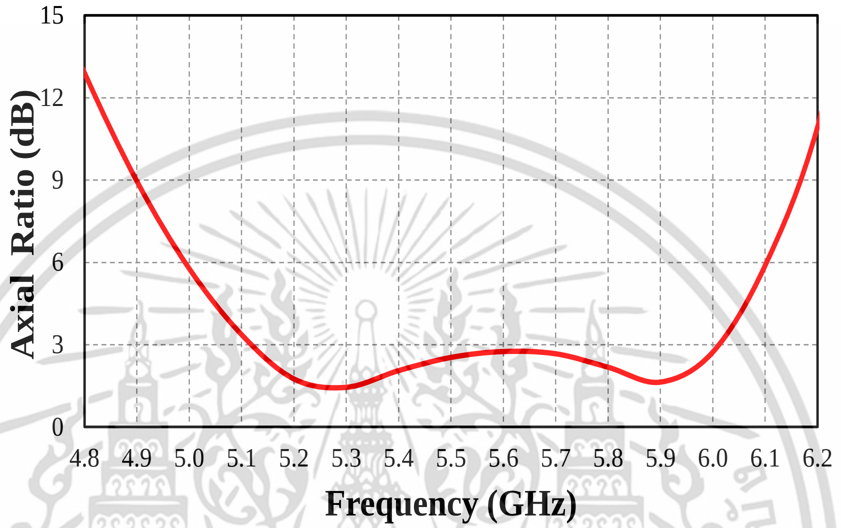
จากรูปที่ 4.15 แสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) โดยผลการจำลองของ $|S_{11}| \leq -10$ dB มีช่วงความถี่ครอบคลุมความถี่ตั้งแต่ 5.08 GHz – 5.95 GHz คิดเป็น 15.77% ของความถี่กลาง 5.5 GHz สามารถครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานในระบบสื่อสารเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN)



รูปที่ 4.15 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

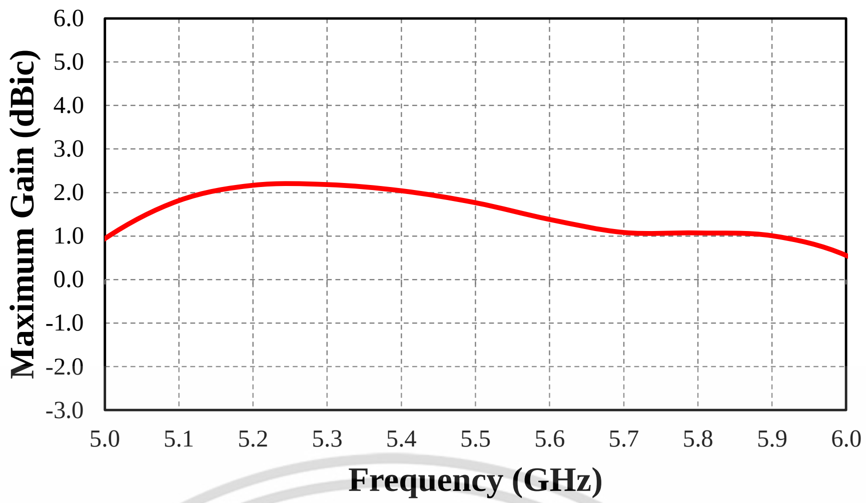
จากรูปที่ 4.16 แสดงผลการจำลองอัตราส่วนแกน (Axial ratio : AR) ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) โดยผลการจำลองของอัตราส่วนแกน (AR ≤ 3 dB) มีช่วงความถี่ครอบคลุม 5.12 GHz – 6.01 GHz คิดเป็น 15.99% ของความถี่กลาง 5.5 GHz และพบว่าผลการจำลองมีค่าอัตราส่วนแกนต่ำสุดที่ความถี่ 5.25 GHz ซึ่งสามารถแพร่กระจายคลื่นโพลาไรซ์วงกลมครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานในระบบสื่อสารเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) ได้



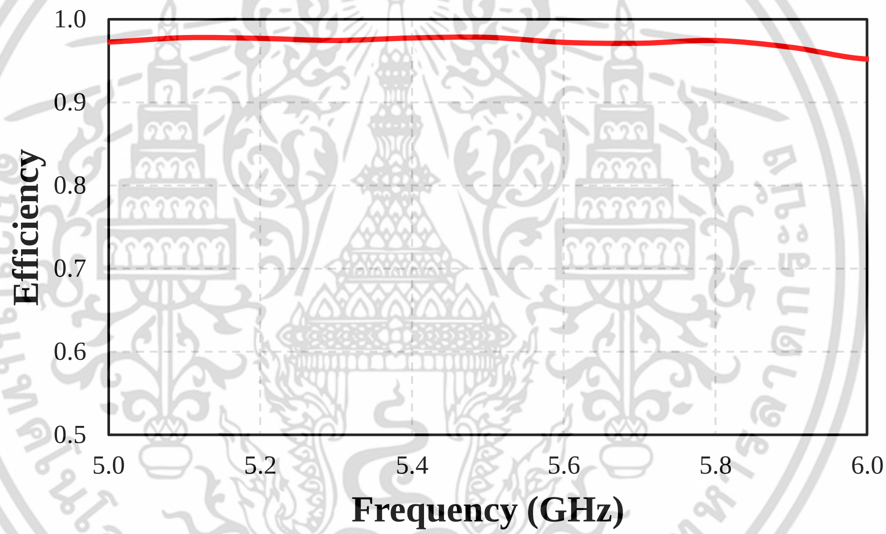
รูปที่ 4.16 ผลการจำลองอัตราส่วนแกนของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC)

จากรูปที่ 4.17 แสดงผลการจำลองอัตราขยายและรูปที่ 4.18 แสดงผลการจำลองประสิทธิภาพของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (DA-AMC) โดยผลการจำลองของอัตราขยายสูงสุดมีค่าเท่ากับ 2.18 dBic ที่ความถี่ 5.25 GHz อัตราขยายแบนด์วิดท์ในทิศทางตั้งฉากมีค่าสูงกว่า 17.0% ที่ช่วงความถี่ 5.0 GHz – 5.92 GHz และประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่นมีค่าสูงว่า 95% ที่ช่วงความถี่ใช้งาน (5.15 GHz – 5.875 GHz) ของความถี่กลาง 5.5 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



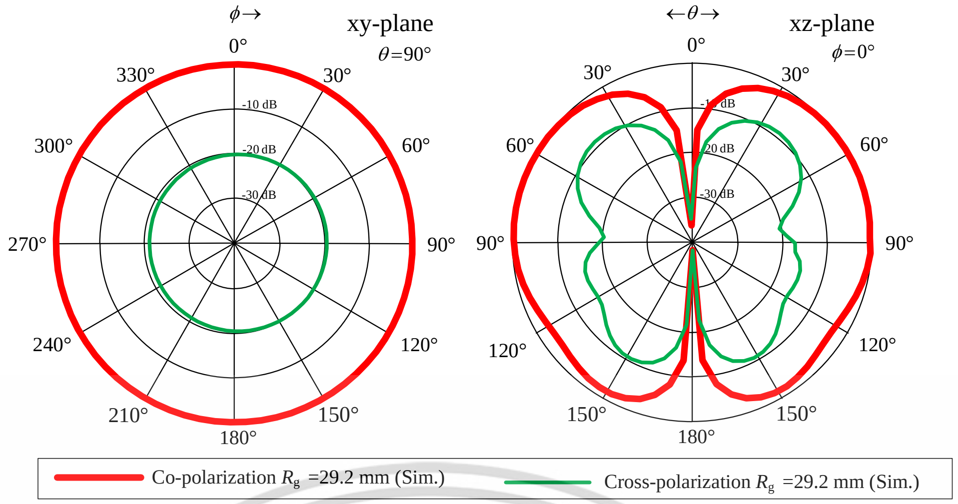
รูปที่ 4.17 ผลการจำลองอัตราขยายของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC)



รูปที่ 4.18 ผลการจำลองประสิทธิภาพของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC)

จากรูปที่ 4.19 แสดงผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ซึ่งกระทำโดยการทดสอบโพลาไรซ์ร่วม (Co-polarization) และโพลาไรซ์ไขว้ (Cross-polarization level) จากผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าสายอากาศที่นำเสนอสามารถแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง ซึ่งสังเกตได้จากระนาบ xy-plane เป็นรูปวงกลม ในส่วนระนาบ xz-plane จะเห็นว่าสายอากาศแพร่กระจายคลื่นได้ดีในมุม $\theta = 90^{\circ}$ (รอบตัว) ซึ่งค่า XPL ต่ำกว่า -20 dB ทั้งระนาบ xy-plane และ xz-plane จากผลการจำลองที่ความถี่กลาง 5.5 GHz นั้นสายอากาศประยุกต์ใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

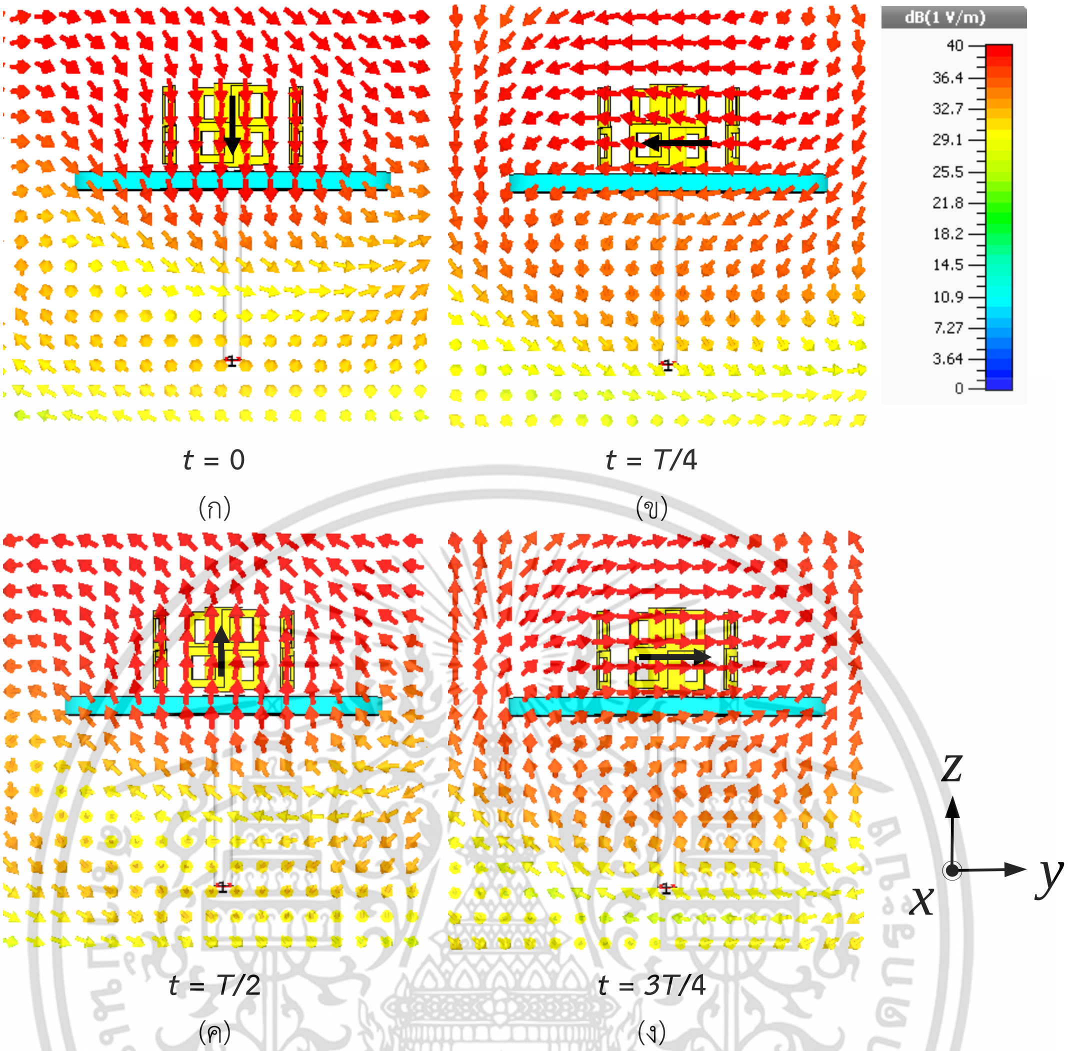


รูปที่ 4.19 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ที่ความถี่ 5.5 GHz

ในรูปที่ 4.20 แสดงสนามไฟฟ้าที่เวลาต่าง ๆ ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) โดยสังเกตทิศทางการหมุนของสนามไฟฟ้าสามารถศึกษาได้จากแอมพลิจูดสนามไฟฟ้า ทิศทางของสนามไฟฟ้า ทิศทางของกระแสเชิงพื้นผิว จากผลการจำลองกระแสเชิงพื้นผิวที่เวลา t = 0 T/4 T/2 และ 3T/4 ที่ความถี่กลาง 5.5 GHz โดยพบว่าสนามไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปในทิศทาง +x และหมุนทวนเข็มนาฬิกา (Counterclockwise) ทำให้เกิดโพลาไรซ์วงกลมด้านซ้าย (LHCP)

ดังแสดงในรูป 4.13 และ 4.20 สนามไฟฟ้ารอบระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ SA- และ DA-AMC เป็นองค์ประกอบแนวตั้งเมื่อ (t = 0 และ t = T/2) และองค์ประกอบแนวแนวนอน เมื่อ (t = T/4 และ t = 3T/4) ส่งผลให้เกิดการหมุนทวนเข็มนาฬิกาเกิดโพลาไรซ์แบบวงกลมหมุนซ้าย (LHCP) โดยพื้นฐานแล้วระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ของ SA- และ DA-AMC ช่วยเพิ่มแบนด์วิดท์ของอัตราส่วนแกน ส่งผลให้มีการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวโพลาไรซ์วงกลมที่แบนด์วิดท์กว้างขึ้น จากการสังเกตุสนามไฟฟ้าของโครงสร้าง B และ C เกิดการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวโพลาไรซ์วงกลมที่กว้างขึ้นอาจเกิดจากสนามไฟฟ้าแนวนอนบนพื้นผิวของระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเฟสการสะท้อนแบนด์วิดท์ของโครงสร้างระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) นั้นกว้างกว่าระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ส่งผลให้แบนด์วิดธ์ของอัตราส่วนแกนกว้างขึ้นและการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวโพลาไรซ์วงกลมที่กว้างขึ้น อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ไม่มีโครงสร้างระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบ SA-AMC หรือ DA-AMC (เช่น โครงสร้าง A) จะมีเพียงสนามไฟฟ้าแนวตั้งบนระนาบกราวนด์ของตัวนำ ทำให้เกิดโพลาไรซ์แบบวงกลมที่มีแบนด์วิดท์แคบ และเกิดการลดทอนประสิทธิภาพของอัตราส่วนแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



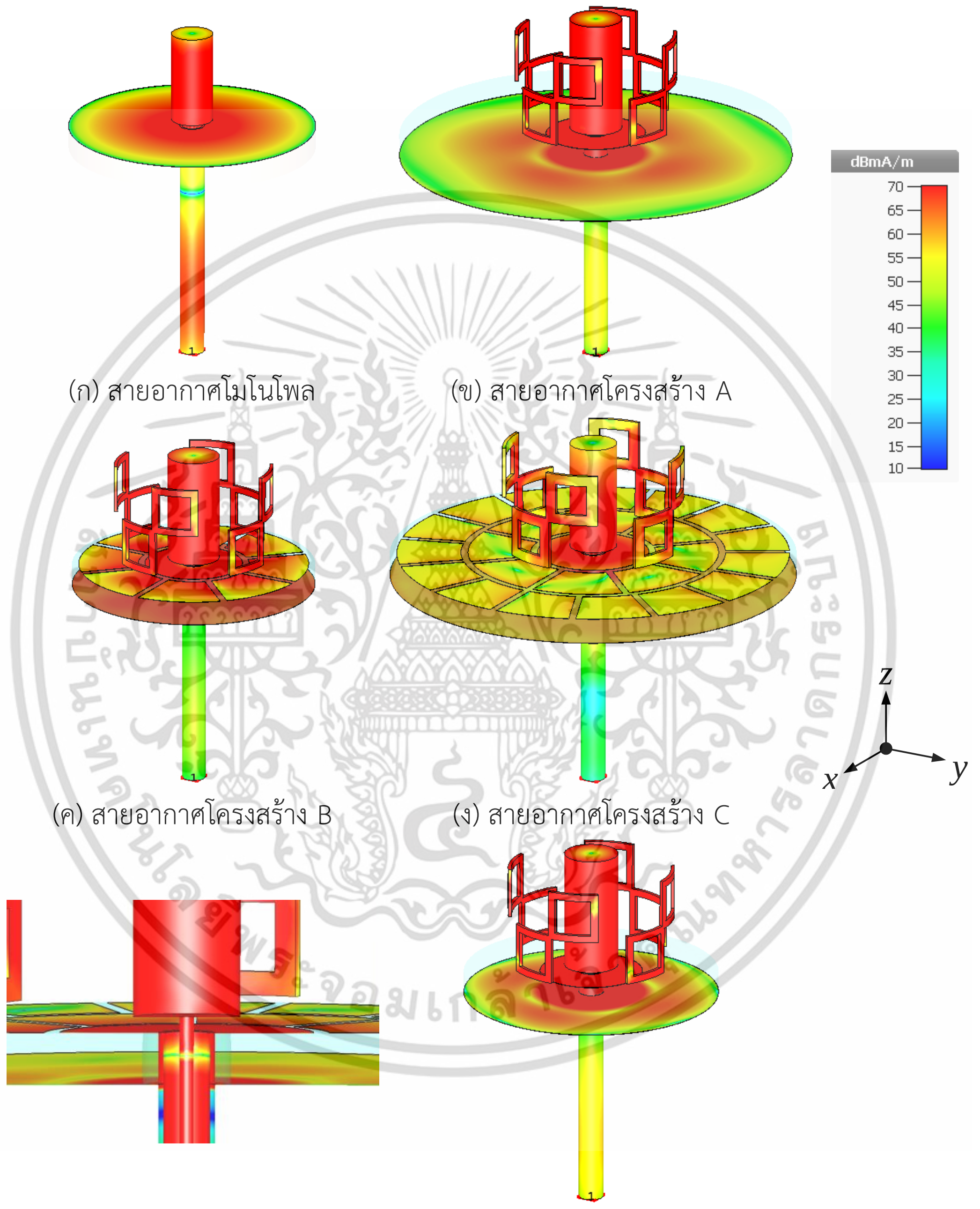
รูปที่ 4.20 กระแสเชิงพื้นผิวของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ที่ความถี่ 5.5 GHz

รูปที่ 4.21(ก)-(ง) แสดงการกระจายกระแสเชิงพื้นผิวที่ความถี่ 5.5 GHz ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) แบบทั่วไป (โครงสร้าง A) เปรียบเทียบกับสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางที่มีระนาบระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบ SA-AMC (โครงสร้าง B) และสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางที่มีระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบ DA- AMC (โครงสร้าง C) ในขณะเดียวกันรูปที่ 4.21(จ) และ (ฉ) แสดงการกระจายกระแสเชิงพื้นผิวระหว่างระนาบกราวนด์บนและล่างของโครงสร้าง C และการกระจายกระแสเชิงพื้นผิวของโครงสร้าง A ที่กำหนด R_g = 18.4 mm (เพื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้าง B ในรูปที่ 4.21(ค))

ในรูปที่ 4.21(ก) เมื่อสังเกตที่สายนำสัญญาณโคแอกเชียลจะเกิดกระแสไฟรั่วที่มีความเข้มสูง (สีแดง) สามารถมองเห็นได้บนสายป้อนโคแอ็กเชียล ระนาบกราวนด์ และโพรบแบบโมโนโพล (กำหนด R_g = 18 mm (0.33 λ_c)) ส่งผลให้อิมพีแดนซ์ไม่แมตชิ่งและไม่สามารถแพร่กระจายคลื่นแบบรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทิศทางได้ดังแสดงในรูปที่ 4.21(ข) (โครงสร้าง A) และเมื่อนำสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางที่มีระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบ DA- AMC กำหนดให้ R_g = 29.2 mm (0.54 λ_c) กระแสไฟรั่วบนสายป้อนโคแอกเชียลจะลดลงอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศโมโนโพลแบบทั่วไป



รูปที่ 4.21 กระแสเชิงพื้นผิวสายอากาศโครงสร้าง A B และ C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

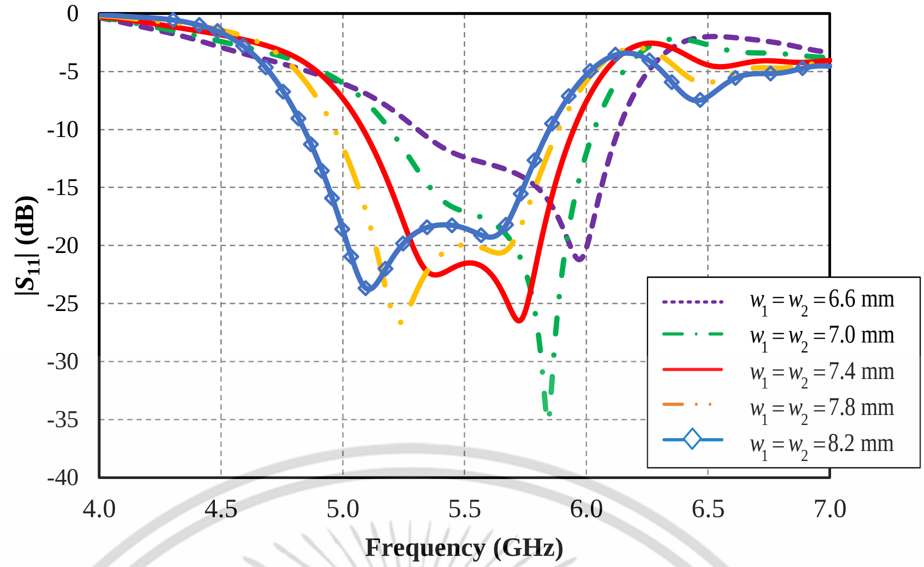
4.3 การศึกษาพารามิเตอร์

ในส่วนนี้จะทำการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) เป็นตัวหลัก เนื่องจากผลกระทบที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) นั้นจะมีผลกระทบคล้ายกัน เพราะมีโครงสร้างที่ถูกพัฒนาด้วยหลักการและเทคนิคเดียวกัน โดยพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษานั้นได้แก่ ความกว้าง×ยาว ของพาราซิติกสี่เหลี่ยม w_1 *และ* w_2 รัศมีโพรบของโมโนโพล R_p ความสูงของโพรบ L_p รัศมีพาราซิติก R_{pb} ความสูงจากกึ่งกลางพาราซิติกถึงระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ h_{pb} ความกว้างวงขอบพาราซิติก s_{pb} รัศมีกราวนด์บน R_{gt} และรัศมีกราวนด์ล่าง R_g ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการออกแบบของสายอากาศที่นำเสนอนี้ จึงจะถูกวิเคราะห์อย่างละเอียดเพิ่มเติมจากพารามิเตอร์อื่น ๆ ซึ่งจะถูกอธิบายในช่วงท้ายในบทนี้

4.3.1 พาราซิติกสี่เหลี่ยม w_1 และ w_2 (กว้าง × ยาว)

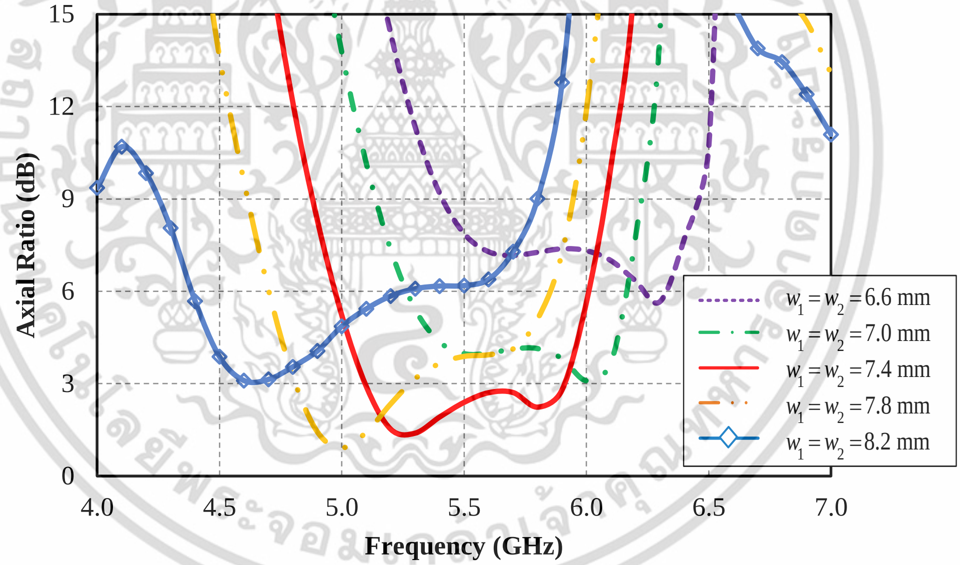
รูปที่ 4.22(ก)-(ข) แสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ และอัตราส่วนแกน (AR) ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ที่มีขนาดพารามิเตอร์ w_1 *และ* w_2 เท่ากัน พารามิเตอร์ที่ทำการปรับคือความ กว้าง × ยาว ของพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยง โดยทำการปรับขนาด w_1 *และ* w_2 ระหว่าง 6.6 ถึง 8.2 mm พบว่า เมื่อ w_1 *และ* w_2 = 6.6 อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ ($|S_{11}| \le$ -10 dB) คือ 5.35 – 6.15 GHz ครอบคลุมย่านความถี่สูง (5.80 GHz) แต่ไม่ครอบคลุมย่านความถี่ต่ำ (5.15 GHz) เช่นเดียวกับผลการจำลองค่าอัตราส่วนแกนนั้นมีค่ามากกว่า 3dB (AR > 3 dB) สำหรับทั้งย่านความถี่ใช้งาน จากนั้นทำการปรับ w_1 *และ* w_2 = 7.0 ถึง 8.2 mm พิจารณาทั้ง $|S_{11}|$ และอัตราส่วนแกนจึงสรุปได้ว่า เมื่อทำการขยายขนาดความกว้างวงขอบพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยงให้มีขนาดใหญ่มากขึ้นจะทำให้ $|S_{11}|$ และอัตราส่วนแกนเลื่อนความถี่ไปยังขอบด้านต่ำ ซึ่งค่าที่เหมาะสมคือ w_1 *และ* w_2 = 7.4 mm เนื่องจากครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานตั้งแต่ 5.15 – 5.875 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน

รูปที่ 4.22 ผลการจำลองปรับขนาดพารามิเตอร์ w_1 และ w_2 ของพาราซิติกสี่เหลี่ยม



(ข) ค่าอัตราส่วนแกน

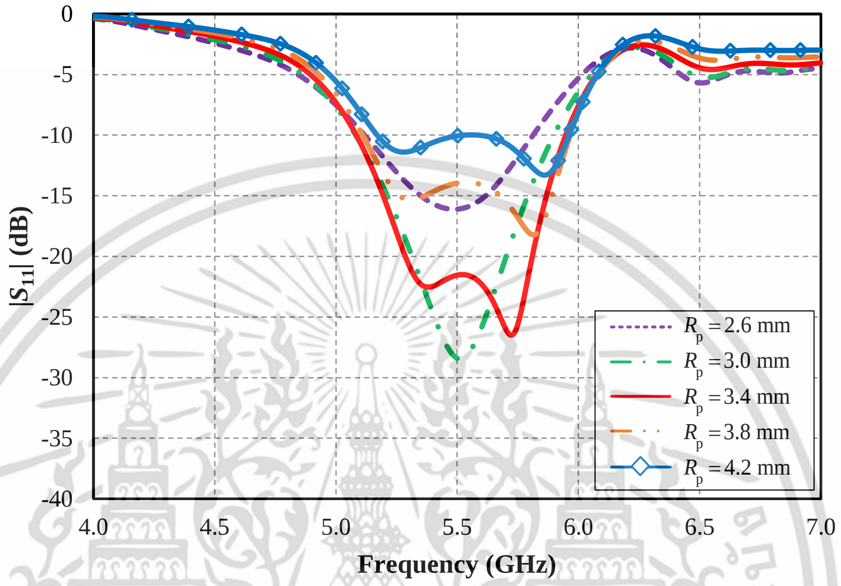
รูปที่ 4.22 ผลการจำลองปรับขนาดพารามิเตอร์ w_1 และ w_2 ของพาราซิติกสี่เหลี่ยม (ต่อ)

4.3.2 รัศมีโพรบโมโนโพล R_p

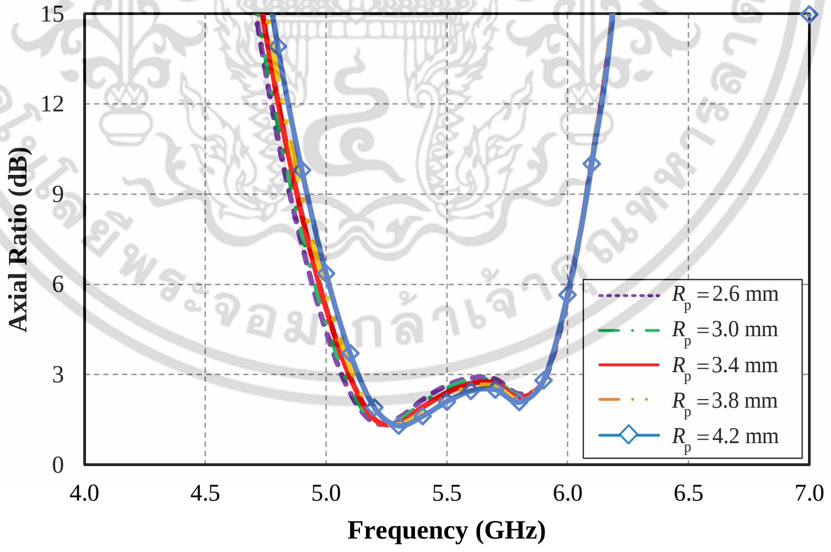
รูปที่ 4.23(ก)-(ข) แสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ และอัตราส่วนแกน (AR) ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) พารามิเตอร์ที่ทำการปรับคือรัศมีโพรบโมโนโพล R_p โดยทำการปรับขนาด R_p ระหว่าง 2.6 ถึง 4.2 mm พบว่า เมื่อ R_p = 2.6 อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ ($|S_{11}| \leq -10$ dB) สามารถครอบคลุมย่านความถี่กลาง 5.5 GHz แต่อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ไม่ครอบคลุมย่านความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่ำ (5.15 GHz) และย่านความถี่สูง (5.875 GHz) ในขณะที่ผลการจำลองค่าอัตราส่วนแกนนั้นยังคงมีค่าต่ำกว่า 3dB (AR ≤ 3 dB) สำหรับทั้งย่านความถี่ใช้งาน จึงสรุปได้ว่า เมื่อทำการขยายขนาดรัศมีโพรบโมโนโพล R_p ให้มีขนาดใหญ่มากขึ้นจะทำให้ $|S_{11}|$ มีอิมพีแดนซ์แมตซ์ซิ่งเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งค่าที่เหมาะสมคือ R_p = 3.4 mm เนื่องจากครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานตั้งแต่ 5.15 – 5.875 GHz ในส่วนค่าอัตราส่วนแกนนั้นขนาดรัศมีโพรบโมโนโพล R_p มีผลกระทบที่ค่อนข้างน้อย



(ก) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน



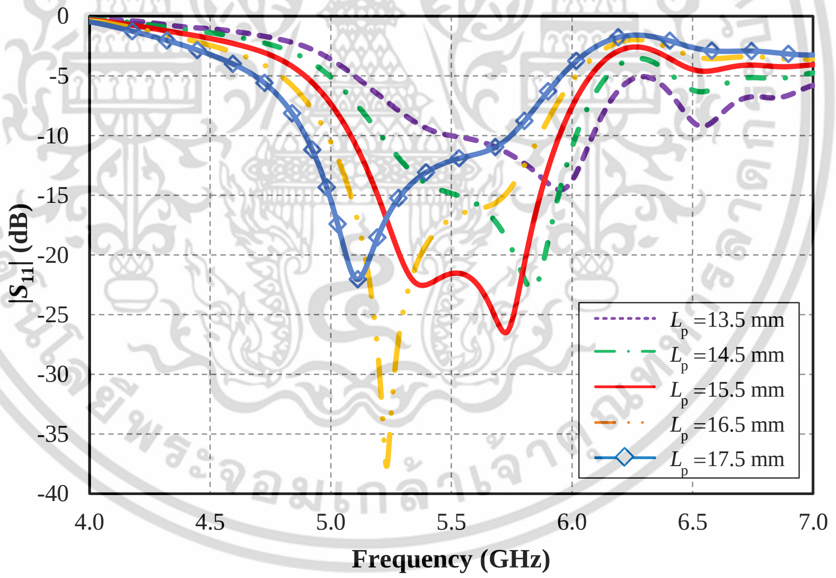
(ข) ค่าอัตราส่วนแกน

รูปที่ 4.23 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ R_p ของรัศมีโพรบโมโนโพล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ความสูงของโพรบโมโนโพล L_p

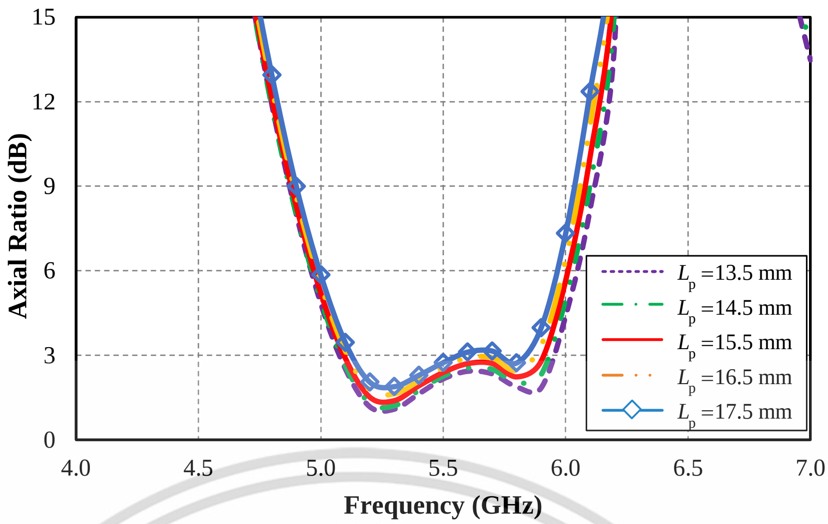
รูปที่ 4.24(ก)-(ข) แสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ และอัตราส่วนแกน (AR) ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) พารามิเตอร์ที่ทำการปรับคือความสูงของโพรบโมโนโพล L_p โดยทำการปรับขนาด L_p ระหว่าง 13.5 ถึง 17.5 mm พบว่า เมื่อ L_p = 13.5 อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ ($|S_{11}|$ ≤ -10 dB) สามารถครอบคลุมย่านความถี่สูง 5.875 GHz ได้ แต่อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ไม่ครอบคลุมย่านความถี่ต่ำ (5.15 GHz) และย่านความถี่กลาง (5.5 GHz) ในขณะที่ผลการจำลองค่าอัตราส่วนแกนนั้นยังคงมีค่าต่ำกว่า 3dB (AR ≤ 3 dB) ตลอดช่วงย่านความถี่ใช้งาน จากนั้นทำการปรับ R_p = 14.5 ถึง 17.5 mm พิจารณา $|S_{11}|$ จึงสรุปได้ว่า เมื่อทำการเพิ่มความสูงของโพรบโมโนโพล L_p ให้มีความสูงเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ $|S_{11}|$ มีอิมพีแดนซ์แมตซ์ซิ่งเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางย่านความถี่ต่ำ โดยเป็นไปตามทฤษฎีของสายอากาศโมโนโพลที่ความยาวโพรบเพิ่มขึ้น ค่าความยาวทางไฟฟ้าก็จะเพิ่มตาม ทำให้เกิดการตอบสนองต่ออิมพีแดนซ์แมตซ์ซิ่งในย่านความถี่ต่ำ ในกรณีนี้รัศมีของโพรบโมโนโพล และรัศมีระนาบกราวนด์ต้องคงที่ สำหรับค่า L_p ที่เหมาะสมคือ L_p = 15.5 mm เนื่องจากครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานตั้งแต่ 5.15 – 5.875 GHz ในส่วนค่าอัตราส่วนแกนนั้นขนาดความสูงโพรบโมโนโพล L_p มีผลกระทบที่ค่อนข้างน้อย แต่ก็ยังส่งผลกระทบขอบด้านความถี่สูงมากกว่าขอบความถี่ต่ำ



(ก) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน

รูปที่ 4.24 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ L_p ของความสูงโพรบโมโนโพล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



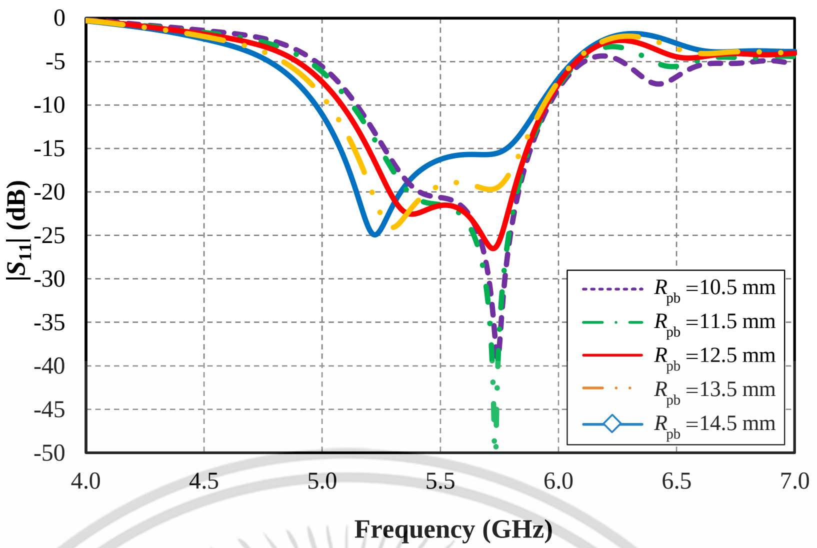
(ข) ค่าอัตราส่วนแกน

รูปที่ 4.24 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ L_p ของความสูงโพรบโมโนโพล (ต่อ)

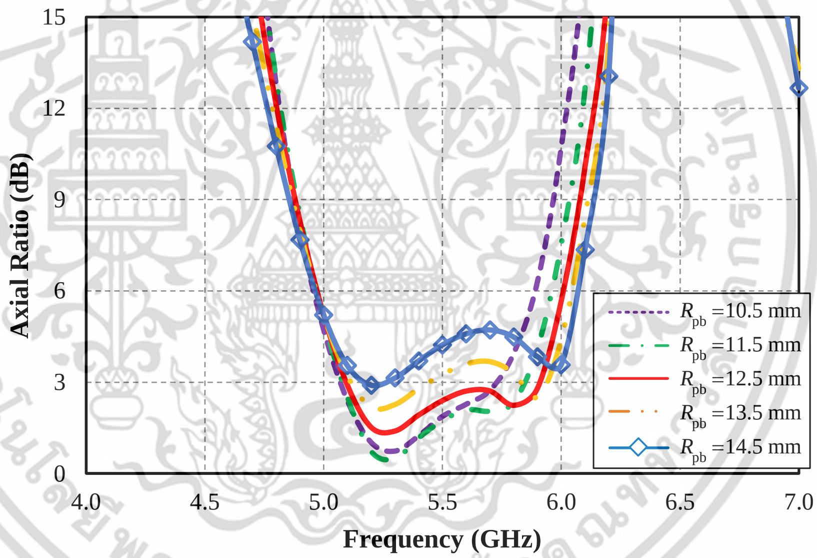
4.3.4 รัศมีพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยง R_{pb}

รูปที่ 4.25(ก)-(ข) แสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ และอัตราส่วนแกน (AR) ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) พารามิเตอร์ที่ทำการปรับคือรัศมีพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยง R_{pb} โดยทำการปรับขนาด R_{pb} ระหว่าง 10.5 ถึง 14.5 mm พบว่า เมื่อ R_{pb} = 10.5 ถึง 14.5 mm อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ ($|S_{11}| \leq$ -10 dB) สามารถครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานได้ตลอดช่วงความถี่ (5.15-5.875 GHz) จากผลการจำลองอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์พบว่ามีความกว้างเพิ่มมากขึ้นเมื่อทำการเพิ่มระยะรัศมีจาก R_{pb} = 10.5 ถึง 14.5 mm และอิมพีแดนซ์แมตซ์ซิ่งยังมีค่าที่ต่ำกว่า -10 dB อีกด้วย แต่ว่าในขณะเดียวกันเมื่อมาทำการพิจารณาผลการจำลองค่าอัตราส่วนแกนนั้น เมื่อ R_{pb} = 10.5 mm ค่าอัตราส่วนแกนยังคงมีค่าต่ำกว่า 3dB (AR ≤ 3 dB) ในช่วงย่านความถี่ต่ำ (5.15 GHz) แต่ในช่วงของขอบด้านความถี่สูงนั้นไม่ครอบคลุม (AR > 3 dB) จากนั้นทำการปรับ R_p = 11.5 ถึง 14.5 mm ตามลำดับ พิจารณาอัตราส่วนแกนจึงสรุปได้ว่า เมื่อทำการเพิ่มรัศมีพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยง R_{pb} ให้มีรัศมีเพิ่มมากขึ้นจะทำให้อัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์มีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ค่าอัตราส่วนแกนเพิ่มมากขึ้น AR > 3 dB และสูญเสียการเกิดโพลาไรซ์วงกลมในย่านความถี่ใช้งานไป โดยเฉพาะหาก R_{pb} มีค่ารัศมีที่มากกว่า 13.5 mm ขึ้นไป สำหรับค่า R_{pb} ที่เหมาะสมคือ R_{pb} = 12.5 mm เนื่องจากครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานตั้งแต่ 5.15 – 5.875 GHz ในส่วนค่าอัตราส่วนแกนนั้นขนาดรัศมีพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยง R_{pb} มีผลกระทบที่ค่อนข้างมากกว่า $|S_{11}|$ แต่ก็ยังส่งผลกระทบขอบความถี่ต่ำอยู่บ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน



(ข) ค่าอัตราส่วนแกน

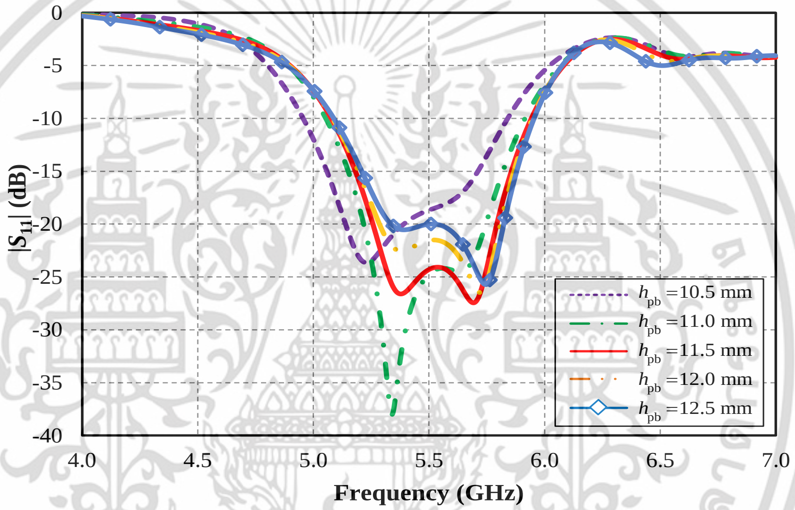
รูปที่ 4.25 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ R_{pb} ของพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยง

4.3.5 ความสูงจากระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ถึงกึ่งกลางพาราซิติก h_{pb}

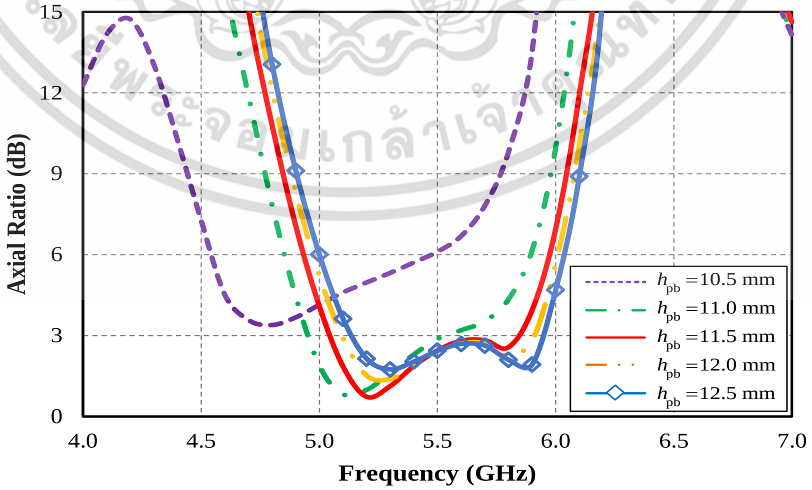
รูปที่ 4.26(ก)-(ข) แสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ และอัตราส่วนแกน (AR) ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) พารามิเตอร์ที่ทำการปรับคือความสูงจากระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ถึงกึ่งกลางพาราซิติก h_{pb} โดยทำการปรับตำแหน่งความสูงของพาราซิติก h_{pb} ระหว่าง 10.5 ถึง 12.5 mm พบว่า เมื่อ h_{pb} = 10.5 mm อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ ($|S_{11}|$ ≤ -10 dB) สามารถครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานได้ในช่วงความถี่ต่ำ และช่วงความถี่กลาง (5.15 GHz และ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งให้ในเวลาหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GHz) แต่ไม่สามารถครอบคลุมย่านความถี่สูงได้ และเมื่อทำการปรับ h_{pb} = 11 mm ถึง 12.5 mm จากผลการจำลองอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์พบว่ามีความกว้างอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ค่อนข้างคงที่ และอิมพีแดนซ์แมตช์ซิ่งยังมีค่าที่ต่ำกว่า -10 dB ครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย WLAN (5.15-5.875 GHz) แต่ว่าในขณะเดียวกันเมื่อทำการพิจารณาผลการจำลองค่าอัตราส่วนแกนนั้น ที่ h_{pb} = 10.5 mm ค่าอัตราส่วนแกนมีค่ามากกว่ามาตรฐาน (AR > 3 dB) ตลอดช่วงย่านความถี่ใช้งาน แต่เมื่อทำการปรับความสูงพาราซิติกมาที่ h_{pb} = 11.0 mm ถึง 12.5 mm ค่าอัตราส่วนแกนมีค่าที่ต่ำกว่า 3 dB แต่ในช่วงของขอบด้านความถี่สูงนั้นไม่ครอบคลุม (AR > 3 dB) จากการพิจารณาค่าอัตราส่วนแกนจึงสรุปได้ว่า เมื่อทำการเพิ่มความสูงของพาราซิติก h_{pb} ระหว่าง 11.0 ถึง 12.5 mm จะทำให้อัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์มีค่า AR ≤ 3 dB และการเกิดโพลาไรซ์วงกลมในย่านความถี่ด้านต่ำโดยเฉพาะหาก h_{pb} = 11.0 mm สำหรับค่า h_{pb} ที่เหมาะสมคือ h_{pb} = 11.5 mm เนื่องจากครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานตั้งแต่ 5.15 – 5.875 GHz



(ก) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน



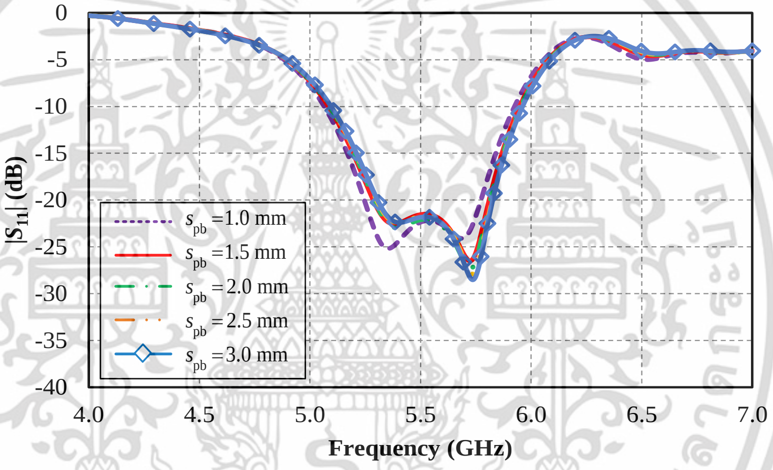
(ข) ค่าอัตราส่วนแกน

รูปที่ 4.26 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ h_{pb} ของตำแหน่งความสูงพาราซิติกสี่เหลี่ยม

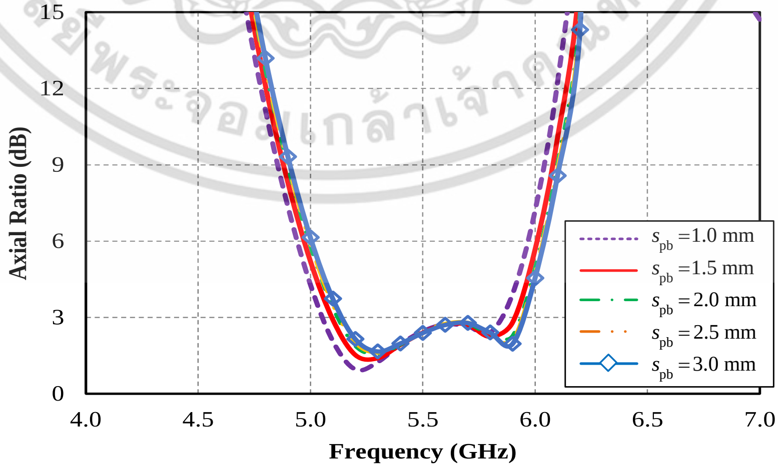
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.6 ความกว้างวงขอบพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยง s_{pb}

รูปที่ 4.27(ก)-(ข) แสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ และอัตราส่วนแกน (AR) ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) พารามิเตอร์ที่ทำการปรับคือความกว้างวงขอบพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยง s_{pb} โดยทำการปรับขนาด s_{pb} ระหว่าง 1.0 mm ถึง 3.0 mm พบว่า เมื่อ R_{pb} = 1.0 ถึง 3.0 mm มีอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ ($|S_{11}| \leq$ -10 dB) สามารถครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานได้ตลอดช่วงความถี่ (5.15-5.875 GHz) และพบว่าการปรับขนาด s_{pb} ส่งผลต่อค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์น้อยมาก เช่นเดียวกันกับผลการจำลองค่าอัตราส่วนแกนพบว่าค่าความกว้างวงขอบพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยง s_{pb} เมื่อมีค่า s_{pb} = 1.0 mm ถึง 3.0 mm ค่าอัตราส่วนแกนยังคงมีค่าต่ำกว่า 3dB (AR ≤ 3 dB) แต่ในช่วงย่านความถี่ต่ำ (5.15 GHz) และในช่วงของขอบด้านความถี่สูงนั้นไม่ครอบคลุม (AR > 3 dB) มีเพียง s_{pb} = 1.5 mm เท่านั้นที่ครอบคลุมย่านความถี่ใช้งาน ดังนั้นค่า s_{pb} ที่เหมาะสมคือ R_{pb} = 1.5 mm



(ก) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน



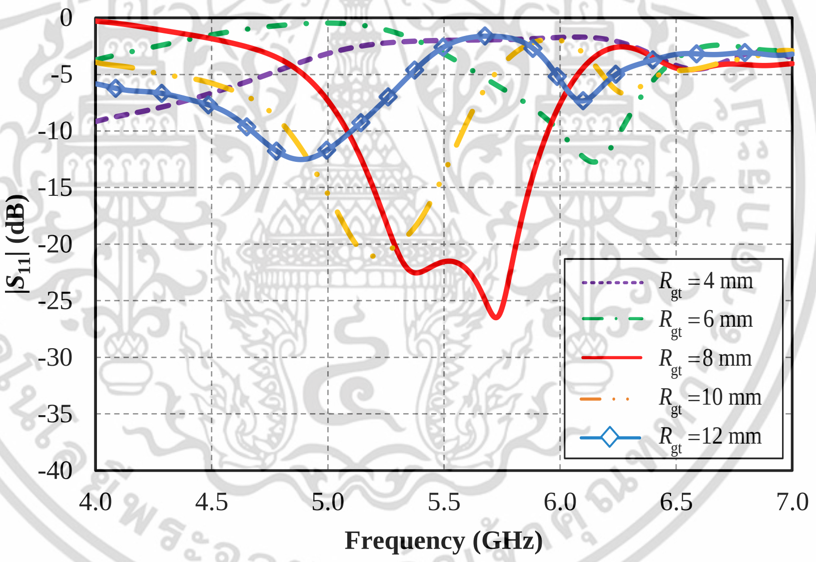
(ข) ค่าอัตราส่วนแกน

รูปที่ 4.27 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ s_{pb} ของความกว้างวงขอบพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.7 รัศมีกราวนด์บน R_{gt}

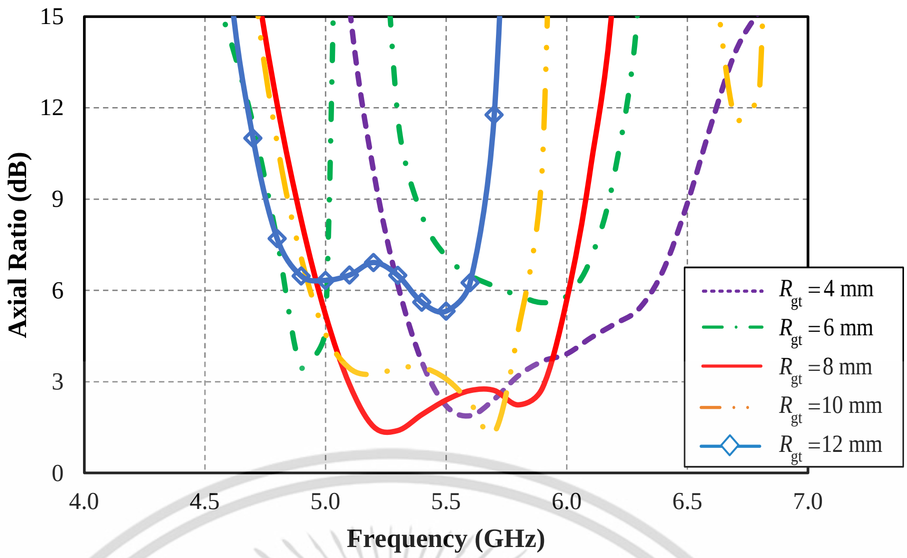
รูปที่ 4.28(ก)-(ข) แสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ และอัตราส่วนแกน (AR) ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) พารามิเตอร์ที่ทำการปรับคือรัศมีกราวนด์บน R_{gt} โดยทำการปรับขนาดรัศมีกราวนด์บน R_{gt} ระหว่าง 4 mm ถึง 12 mm พบว่า เมื่อ R_{gt} = 4 mm อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ ($|S_{11}| \leq$ -10 dB) ไม่สามารถครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานได้ทั้งหมด และเมื่อทำการปรับ R_{gt} = 6 mm พบว่ามีความกว้างอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ค่อนข้างแคบครอบคลุมความถี่ 6.0-6.25 GHz ซึ่งไม่ใช้ช่วงความถี่ใช้งาน เช่นเดียวกันกับ R_{gt} = 10 mm และ 12 mm ดังนั้นเมื่อพิจารณาค่าผลการจำลอง $|S_{11}|$ พบว่าขนาดที่เหมาะสมคือ R_{gt} = 8 mm สามารถครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย WLAN (5.15-5.875 GHz) และเมื่อทำการพิจารณาผลการจำลองค่าอัตราส่วนแกนนั้นที่ R_{gt} = 8 mm อัตราส่วนแกน (AR ≤ 3 dB) ครอบคลุมตลอดช่วงย่านความถี่ใช้งานตั้งแต่ 5.15 – 5.875 GHz ในส่วนอัตราส่วนแกนที่ R_{gt} = 4 6 10 และ 12 mm ไม่สามารถครอบคลุมตลอดช่วงย่านความถี่ใช้งานได้



(ก) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน

รูปที่ 4.28 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ R_{gt} ของรัศมีระนาบกราวนด์บน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

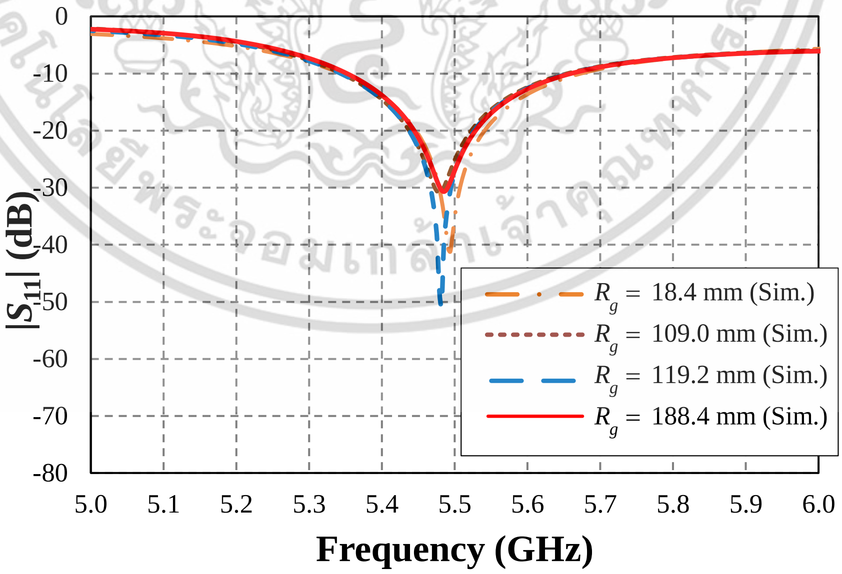


(ข) ค่าอัตราส่วนแกน

รูปที่ 4.28 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ R_{gt} ของรัศมีระนาบกราวนด์บน (ต่อ)

4.3.8 รัศมีกราวนด์ล่าง R_g ของสายอากาศโครงสร้าง B

จากรูปที่ 4.29 แสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) หรือโครงสร้าง B ที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 18.4 mm ถึง 188.4 mm)

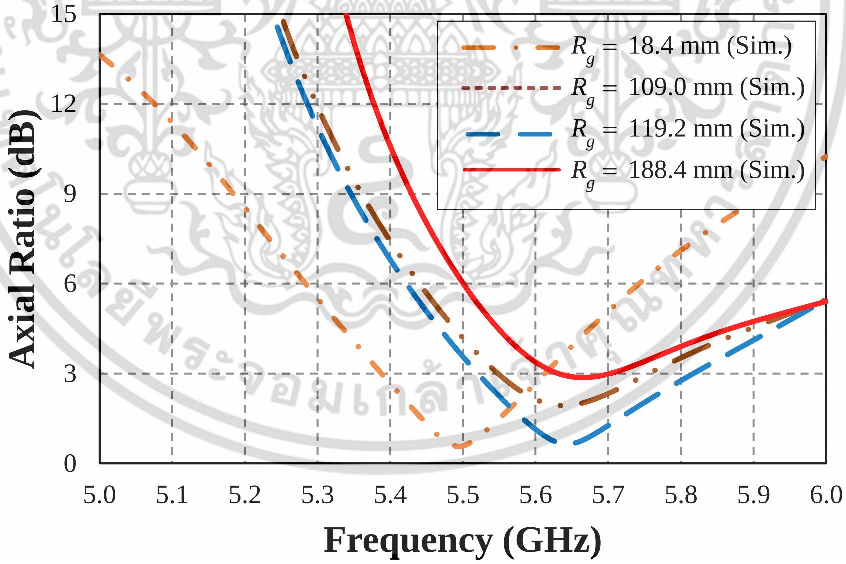


รูปที่ 4.29 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์เมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ R_g ของรัศมีระนาบกราวนด์ล่างโครงสร้าง B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยผลการจำลองของ $|S_{11}|$ ≤ –10 dB มีช่วงความถี่ที่เปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 5.33 GHz – 5.69 GHz ในส่วนของผลกระทบที่เกิดขึ้นของการเปลี่ยนขนาดรัศมีระนาบกราวนด์จากผลการจำลองพบว่ามีความเปลี่ยนแปลงของค่า $|S_{11}|$ แบนด์วิดท์และอิมพีแดนซ์แมตซ์ชิ่งน้อยมาก จึงสรุปได้ว่าสายอากาศโครงสร้าง B ทนต่อผลกระทบของการเปลี่ยนขนาดระนาบกราวนด์ล่าง

จากรูปที่ 4.30 แสดงผลการจำลองอัตราส่วนแกน (Axial ratio : AR) ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 18.4 mm ถึง 188.4 mm) โดยผลการจำลองของอัตราส่วนแกน (AR ≤ 3 dB) ที่ R_g = 18.4 mm มีช่วงความถี่ครอบคลุมอยู่ระหว่าง 5.39 GHz – 5.61 GHz เมื่อพิจารณาที่ R_g = 109.0 mm 119.2 mm และ 188.4 mm มีค่าอัตราส่วนแกนต่ำกว่า AR ≤3 dB ซึ่งพบว่าหากเปรียบเทียบผลการจำลองอัตราส่วนแกนที่ R_g = 18.4 mm ถึง 188.4 mm ค่าอัตราส่วนแกนจะเลื่อนไปช่วงย่านความถี่สูงเล็กน้อย และยังมีค่าอัตราส่วนแกนต่ำกว่าหรือเท่ากับ 3 dB อยู่ แต่ถ้าหากขนาดของระนาบกราวนด์ด้านล่างมีการขยายจนมีขนาดที่ใหญ่เกิน 188.4 mm มีแนวโน้มที่ค่าอัตราส่วนแกนจะมีค่าเพิ่มขึ้นสูงกว่า 3 dB อันเนื่องมาจากผลการขยายขนาดของระนาบกราวนด์ จึงสามารถยืนยันได้ว่าสายอากาศโครงสร้าง B ที่นำเสนอสามารถลดผลกระทบของระนาบกราวนด์ล่างลงได้ และเพิ่มความยืดหยุ่นในการออกแบบสายอากาศ แต่ว่ายังมีข้อจำกัดในเรื่องของขนาดระนาบกราวนด์ล่างต้องมีขนาดไม่เกิน R_g = 188.4 mm ในการนำไปติดตั้งบนฐานที่เป็นตัวทางนำไฟฟ้า ซึ่งผลการจำลองจะถูกยืนยันอีกครั้งจากการเปรียบเทียบผลทดสอบในบทที่ 5

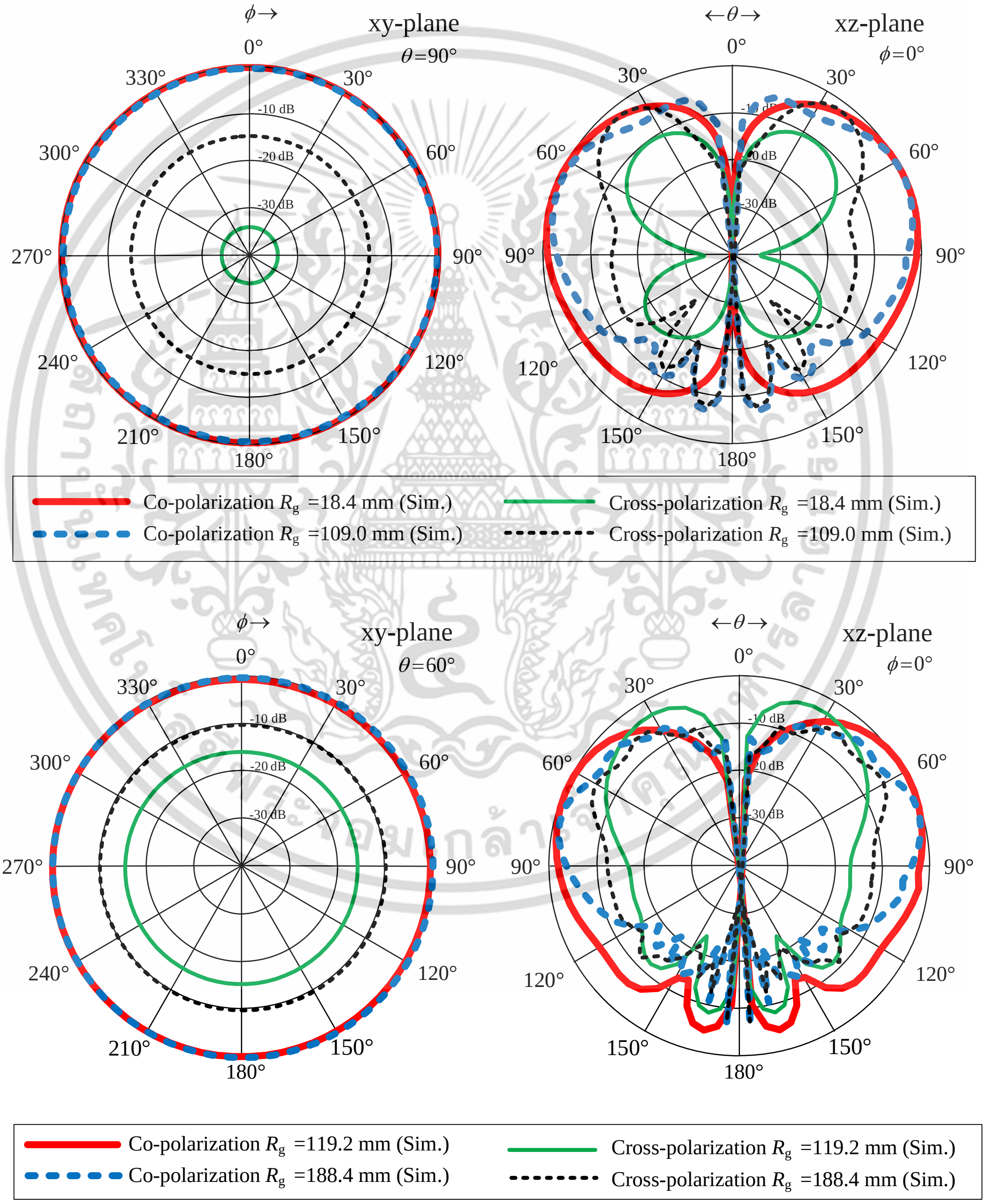


รูปที่ 4.30 ผลการจำลองอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ R_g ของรัศมีระนาบกราวนด์ล่างโครงสร้าง B

จากรูปที่ 4.31 แสดงผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 18.4 mm ถึง 188.4 mm) ที่ความถี่ 5.5 GHz จากผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าสายอากาศที่นำเสนอสามารถแพร่กระจาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นแบบรอบทิศทางได้ ซึ่งสังเกตได้จากระนาบ xy-plane ในส่วนระนาบ xz-plane จะเห็นว่าสายอากาศแพร่กระจายคลื่นได้ดีในมุม $\theta = 90^{\circ}$ ที่ R_g = 18.4 mm และเมื่อทำการขยายระนาบกราวนด์เพิ่มขึ้นเป็น R_g = 109.0 mm 119.2 mm และ 188.4 mm สายอากาศจะมีลำคลื่นยกขึ้นเล็กน้อยไปที่มุม $\theta = 70^{\circ}$ (ครอบคลุมการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว) ซึ่งค่า XPL ต่ำกว่า -10 dB ในทิศทางลำคลื่นหลัก ทั้งระนาบ xy-plane และ xz-plane จากผลการจำลองที่ความถี่กลาง 5.5 GHz ที่ R_g ขนาดต่าง ๆ สรุปได้ว่าสายอากาศที่นำเสนอโครงสร้าง B นั้นได้รับผลกระทบต่อการขยายระนาบกราวนด์ที่น้อย สามารถนำไปประยุกต์ใช้บนฐานวางตัวนำทางไฟฟ้า หรือวัสดุอื่น ๆ ได้ โดยไม่มีผลกระทบรุนแรงต่อคุณลักษณะของสายอากาศ

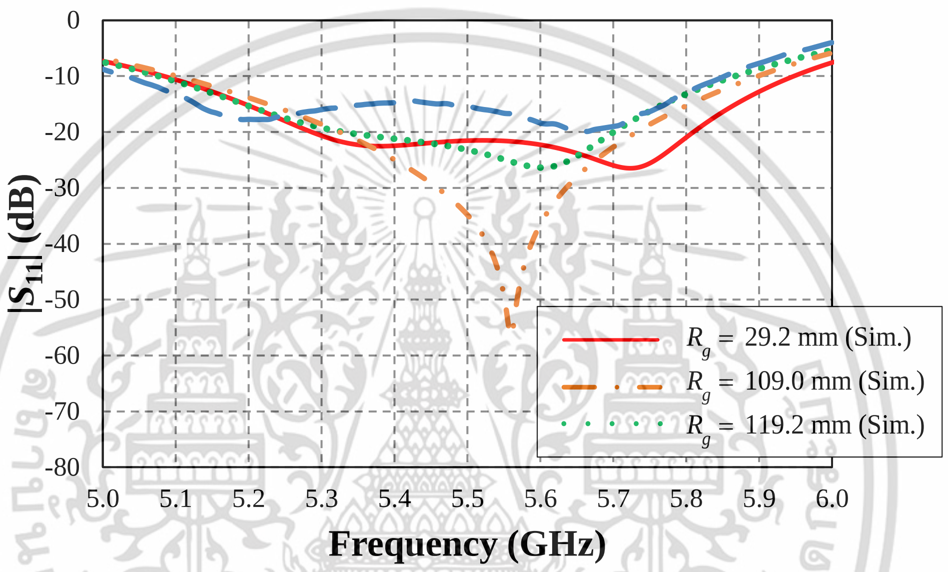


รูปที่ 4.31 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ R_g ของรัศมีระนาบกราวนด์ล่างโครงสร้าง B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.9 รัศมีกราวนด์ล่าง R_g ของสายอากาศโครงสร้าง C

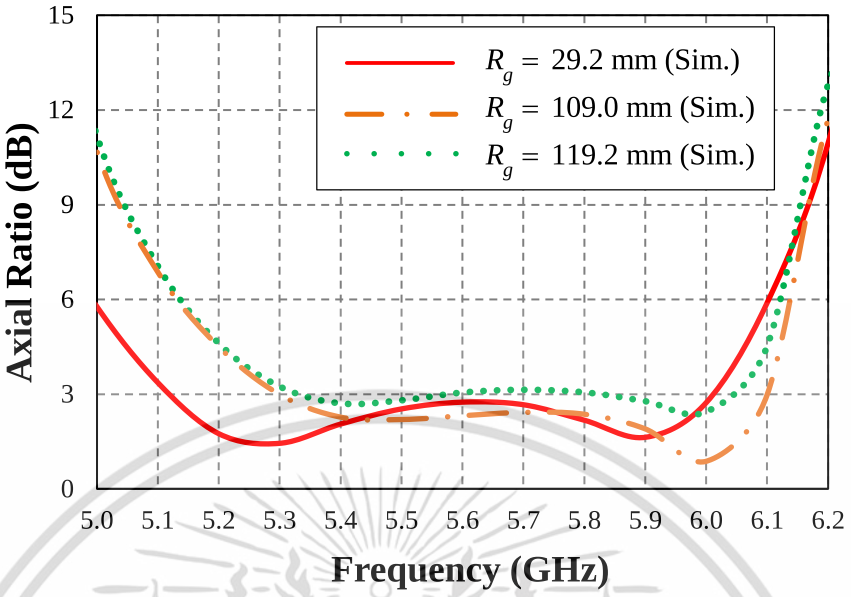
จากรูปที่ 4.32 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบ $|S_{11}|$ ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ตั้งแต่ R_g = 29.2 mm ถึง 119.2 mm โดยผลการจำลองของ $|S_{11}| \leq -10$ dB มีช่วงความถี่ที่เปลี่ยนแปลงอยู่ที่ 5.06 GHz – 5.95 พบว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นของการเปลี่ยนขนาดรัศมีระนาบกราวนด์ของผลการจำลองพบว่ามีความเปลี่ยนแปลงของค่า $|S_{11}|$ แบนด์วิดท์น้อย จึงสรุปได้ว่าสายอากาศโครงสร้าง C ทนต่อผลกระทบของการเปลี่ยนขนาดระนาบกราวนด์ได้ดี



รูปที่ 4.32 ผลการจำลองอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ R_g ของรัศมีระนาบกราวนด์ล่างโครงสร้าง C

จากรูปที่ 4.33 แสดงผลการจำลองอัตราส่วนแกน (Axial ratio : AR) ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g =29.2 mm 109.2 และ 119.2 mm) โดยผลการจำลองของอัตราส่วนแกน (AR ≤ 3 dB) ที่ R_g = 29.2 mm ถึง 119.2 mm พบว่ามีช่วงความถี่ครอบคลุมอยู่ระหว่าง 5.10 GHz – 6.10 GHz ซึ่งพบว่าค่าอัตราส่วนแกนจะเลื่อนไปช่วงย่านความถี่สูงเล็กน้อยเมื่อขยายรัศมีระนาบกราวนด์ และยังมีค่าอัตราส่วนแกนต่ำกว่าหรือประมาณ 3 dB อยู่ แต่ถ้าหากทำการเพิ่มขนาดของระนาบกราวนด์ด้านล่างมีการขยายจนมีขนาดที่ใหญ่เกิน R_g > 119.2 mm มีแนวโน้มที่ค่าอัตราส่วนแกนจะมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่า 3 dB อันเนื่องมาจากผลการขยายขนาดของระนาบกราวนด์ จึงสามารถยืนยันได้ว่าสายอากาศโครงสร้าง C ที่นำเสนอสามารถลดผลกระทบของระนาบกราวนด์ล่างลงได้ เพิ่มความยืดหยุ่นในการออกแบบสายอากาศ แต่ว่ายังมีข้อจำกัดในเรื่องของขนาดระนาบกราวนด์ล่างต้องมีขนาดไม่เกิน R_g = 119.2 mm ในการนำไปติดตั้งบนฐานที่เป็นตัวทางนำไฟฟ้า และเมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศโครงสร้าง A และ B พบว่ามีอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ และอัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์ที่กว้างเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

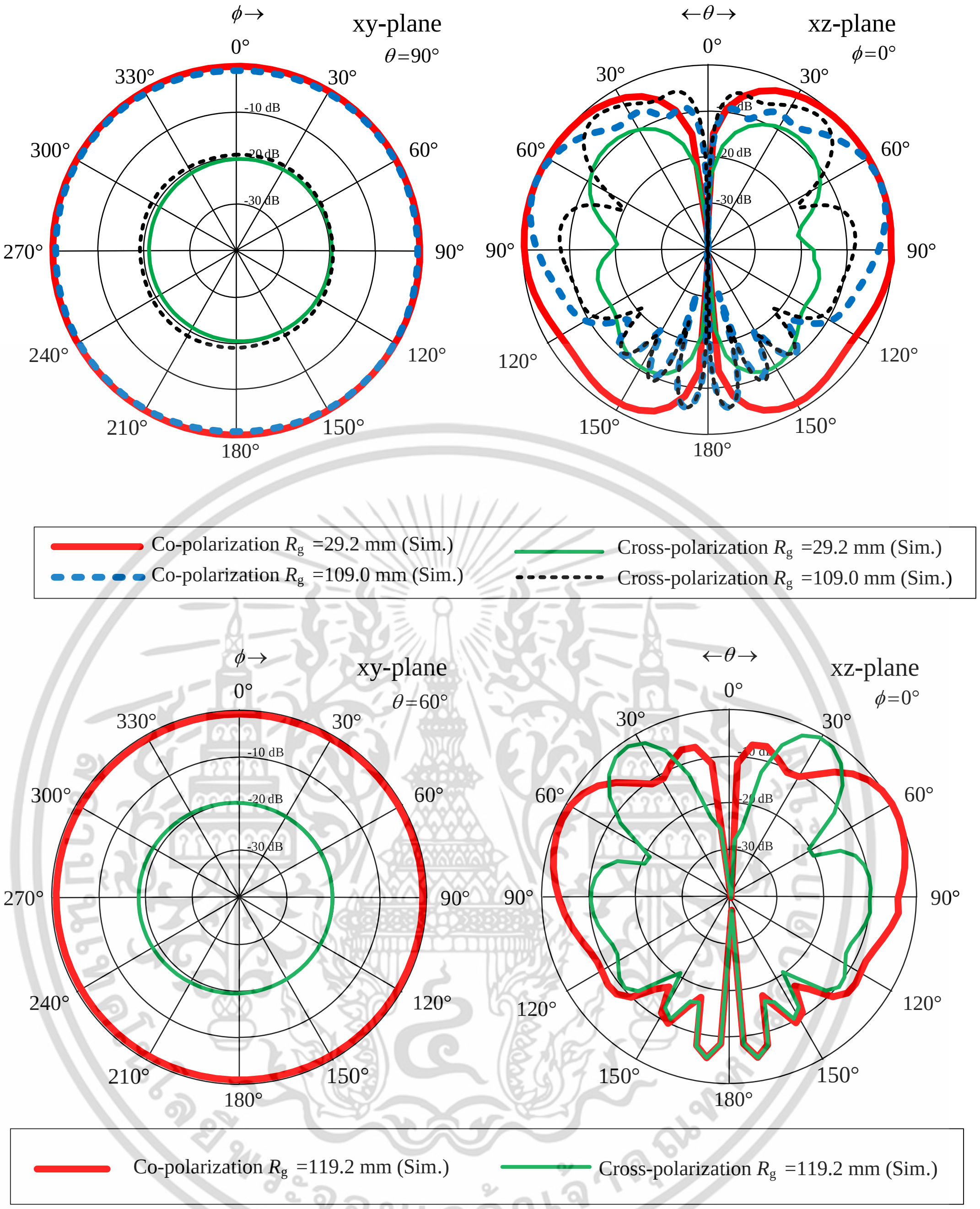
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33 ผลการจำลองอัตราส่วนแกนเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ R_g ของรัศมีระนาบกราวนด์ล่างโครงสร้าง C

จากรูปที่ 4.34 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 29.2 mm 109.0 mm และ 119.2 mm) ที่ความถี่ 5.5 GHz จากผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าสายอากาศที่นำเสนอสามารถแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง ซึ่งสังเกตได้จากระนาบ xy-plane ที่มีการแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางเป็นวงกลม ในส่วนระนาบ xz-plane จะเห็นว่าสายอากาศแพร่กระจายคลื่นได้ดีในมุม $\theta = 80^{\circ}$ ที่ R_g = 29.2 mm และเมื่อทำการขยายระนาบกราวนด์เพิ่มขึ้นเป็น R_g = 109.0 mm และ 119.2 mm ตามลำดับ สายอากาศจะมีลำคลื่นยกขึ้นเล็กน้อยไปที่มุม $\theta = 70^{\circ}$ และ $\theta = 65^{\circ}$ (ครอบคลุมการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว) ซึ่งค่าโพลาไรซ์ไขว้ (XPL) มีค่าต่ำกว่า -10 dB ในทิศทางลำคลื่นหลัก ทั้งระนาบ xy-plane และ xz-plane จากผลการจำลองที่ความถี่กลาง 5.5 GHz นั้น ที่ R_g ขนาดต่าง ๆ สรุปได้ว่าสายอากาศโครงสร้าง C ที่นำเสนอสามารถลดผลกระทบของระนาบกราวนด์ล่างลงได้ เพิ่มความยืดหยุ่นในการออกแบบสายอากาศในการนำไปติดตั้งบนฐานที่เป็นตัวทางนำไฟฟ้า และเมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศโครงสร้าง B พบว่ามีแบบรูปการณ์แพร่กระจายคลื่นที่แพร่กระจายแบบรอบทิศทางเช่นเดียวกัน ต่างจากสายอากาศโครงสร้าง A ที่มีผลกระทบของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นต่อขนาดระนาบกราวนด์ที่สูงกว่าสายอากาศที่นำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเมื่อปรับขนาดพารามิเตอร์ R_g ของรัศมีระนาบกราวนด์ล่างโครงสร้าง C

4.4 สรุป

ในบทนี้ได้ทำการจำลอง ออกแบบ และศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) สำหรับการสื่อสารเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) ย่านความถี่ 5.5 GHz โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการออกแบบระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ซึ่งโครงสร้างกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ที่นำเสนอสามารถนำมาใช้ร่วมกับสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ที่มีพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันแนวทแยงจำนวน 4 องค์ประกอบในการแปลงโพลาไรซ์เชิงเส้นเป็นโพลาไรซ์วงกลม และจากการศึกษาพบว่าสายอากาศที่นำเสนอสามารถขยายแบนด์วิดท์ของค่าอิมพีแดนซ์และค่าอัตราส่วนแกน รวมไปถึงปรับปรุงอัตราขยายของสายอากาศที่นำเสนอทั้งสองโครงสร้าง นอกจากนี้ยังทำการศึกษาคุณลักษณะของสายอากาศ เช่น $|S_{11}|$ อัตราส่วนแกน อัตราขยาย แบบรูปการณ์แพร่กระจายคลื่น สนามไฟฟ้า กระไฟฟ้าเชิงพื้นผิว และผลกระทบเนื่องจากการขยายระนาบกราวนด์ อีกทั้งศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงขนาดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของค่าความยาวทางไฟฟ้า และในบทถัดไป (บทที่ 5) จะทำการสร้าง ทดสอบและวิเคราะห์ถึงคุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศเพื่อนำผลทดสอบมาเปรียบเทียบกับผลจากการจำลอง เพื่อเป็นการยืนยันว่าผลการจำลองและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการศึกษาของวิทยานิพนธ์นี้มีความถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
ผลการจำลองและทดสอบสายอากาศ

5.1 บทนำ

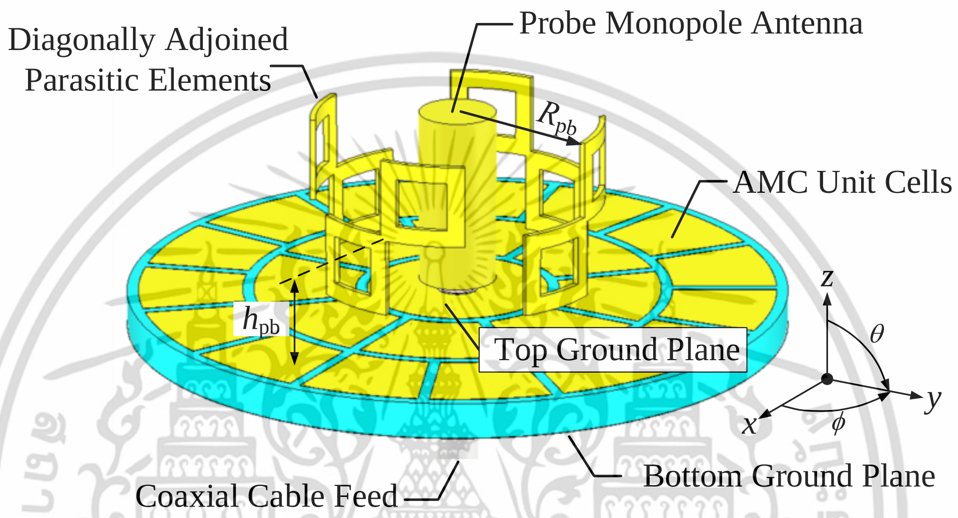
ในบทที่ 3 และ 4 ก่อนหน้านี้ได้กล่าวถึงการศึกษาการออกแบบและวิเคราะห์สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) และสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) สำหรับย่านความถี่ 5.5 GHz ในบทนี้จึงนำเสนอการทดสอบคุณลักษณะและสมรรถนะของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMCAMC) และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) โดยจะพิจารณาคุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศที่ทำการทดสอบซึ่งจะนำผลที่ได้ทำการเปรียบเทียบกับผลการจำลอง ดังนี้ สัมประสิทธิ์การสะท้อน ($|S_{11}|$) ของสายอากาศ อัตราส่วนแกน อัตราขยาย และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ เพื่อการยืนยันและพิสูจน์ความถูกต้องของผลการจำลองของสายอากาศที่นำเสนอ

5.2 สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และแบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC)

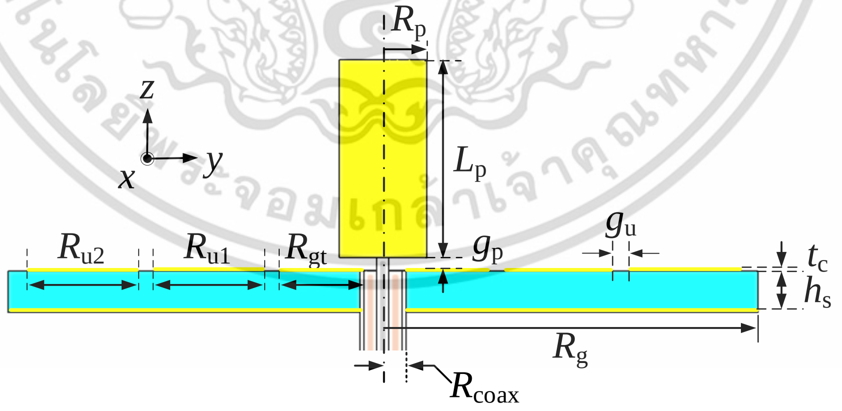
ในหัวข้อนี้นำเสนอสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และแบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ต่อไปสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) คือ โครงสร้าง B และสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) คือ โครงสร้าง C ซึ่งสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางของทั้งโครงสร้าง B และโครงสร้าง C นั้นจะมีส่วนประกอบไปด้วย โพรบโมโนโพลองค์ประกอบพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยง จำนวน 4 องค์ประกอบ ที่ถูกวางเหนือระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ (AMC) แบบวงกลม ระนาบกราวนด์บน ระนาบกราวนด์ด้านล่างของโครงสร้างตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ และหน่วยเซลล์รูปพัด แสดงดังรูปที่ 1(ก) สำหรับรูปที่ 1(ข) แสดงภาพตัดขวางขององค์ประกอบโมโนโพล และตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ รูปที่ 1(ค) แสดงองค์ประกอบพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่อยู่ติดกันในแนวทแยงมุมจำนวน 4 องค์ประกอบ ซึ่งสายอากาศโมโนโพลที่มีองค์ประกอบของพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่อยู่ติดกันในแนวทแยงมุมถูกติดตั้งที่กึ่งกลางของระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ (AMC) แบบวงกลมที่มีการวางอาร์เรย์ของหน่วยเซลล์รูปพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนสองวงรอบ โดยใช้วัสดุฐานรองชนิด FR-4 รุ่น Chukoh CGP-500A ที่มีค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ (Relative permittivity : ε_r) เท่ากับ 2.6 มีค่าการสูญเสียแทนเจนต์ (Tangent loss : $\tan\delta$) เท่ากับ 0.0025 โดยมีความหนาของวัสดุฐานรอง (h_s) เท่ากับ 3.2 mm และใช้คอนเนคเตอร์ชนิด SMA Connector (4 Hole Flange Mount Jack) ต่อร่วมกับสายนำสัญญาณโคแอกเชียล ซึ่งโครงสร้างของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) จะนำเสนอแสดงดังรูปที่ 5.1 พารามิเตอร์และขนาดแสดงในตารางที่ 4.4



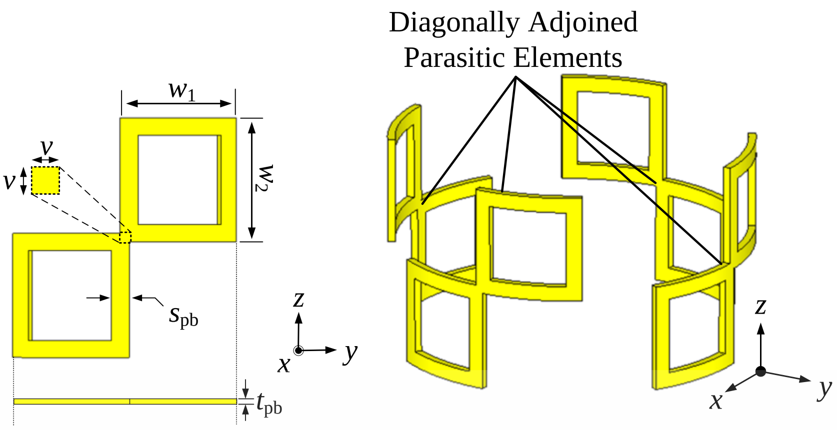
(ก) โครงสร้างสายอากาศที่นำเสนอ



(ข) มุมมองภาพตัดกลางด้านหน้า

รูปที่ 5.1 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ที่นำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) โครงสร้างพาราซิติกสี่เหลี่ยม

รูปที่ 5.1 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ที่นำเสนอ (ต่อ)

(ก) มุมมองทั่วไป (ข) มุมมองด้านบน

รูปที่ 5.2 สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ต้นแบบ

(ก) มุมมองทั่วไป (ข) มุมมองด้านบน

รูปที่ 5.3 สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.2 แสดงถึงโครงสร้างและองค์ประกอบของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) :ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นโครงสร้าง B นั้น จะมีส่วนประกอบไปด้วย โพรบโมโนโพล องค์ประกอบพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยง จำนวน 4 องค์ประกอบ ที่ถูกวางเหนือระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ (AMC) แบบวงกลม ระนาบกราวนด์บน ระนาบกราวนด์ด้านล่างของโครงสร้างตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ และหน่วยเซลล์รูปพัดจำนวน 8 องค์ประกอบ จำนวนหนึ่งวงรอบ ในส่วนรูปที่ 5.3 แสดงต้นแบบของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) :ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นโครงสร้าง C โดยจะมีส่วนประกอบไปด้วย โพรบโมโนโพล องค์ประกอบพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยง จำนวน 4 องค์ประกอบ ที่ถูกวางเหนือระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ (AMC) แบบวงกลม ระนาบกราวนด์บน ระนาบกราวนด์ด้านล่างของโครงสร้างตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ และหน่วยเซลล์รูปพัดจำนวนสองวงรอบ ซึ่งวงในจะมีจำนวน 8 หน่วยเซลล์ และวงนอกจะมีจำนวน 15 หน่วยเซลล์ โดยสายอากาศต้นแบบทั้งโครงสร้าง B และ C นั้นถูกสร้างโดยโดยใช้วัสดุฐานรองชนิด FR-4 รุ่น Chukoh CGP-500A ที่มีค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ (Relative permittivity : ε_r) เท่ากับ 2.6 มีค่าการสูญเสียแทนเจนต์ (Tangent loss : $tan\delta$) เท่ากับ 0.0025 โดยมีความหนาของวัสดุฐานรอง (h_s) เท่ากับ 3.2 mm และใช้คอนเนคเตอร์ชนิด SMA Connector (4 Hole Flange Mount Jack) ต่อร่วมกับสายนำสัญญาณโคแอกเชียล

5.3 ขั้นตอนและผลการทดสอบสายอากาศ

การทดสอบคุณลักษณะต่าง ๆ เพื่อตรวจสอบสมรรถนะของสายอากาศจะต้องใช้เครื่องมือที่มีความเที่ยงตรงและแม่นยำเพื่อทดสอบสายอากาศต้นแบบของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) เนื่องจากสายอากาศต้นแบบที่ได้ทำการออกแบบและนำมาทดสอบนั้นครอบคลุมย่านแถบความถี่กว้างโดยใช้เครื่องมือดังนี้

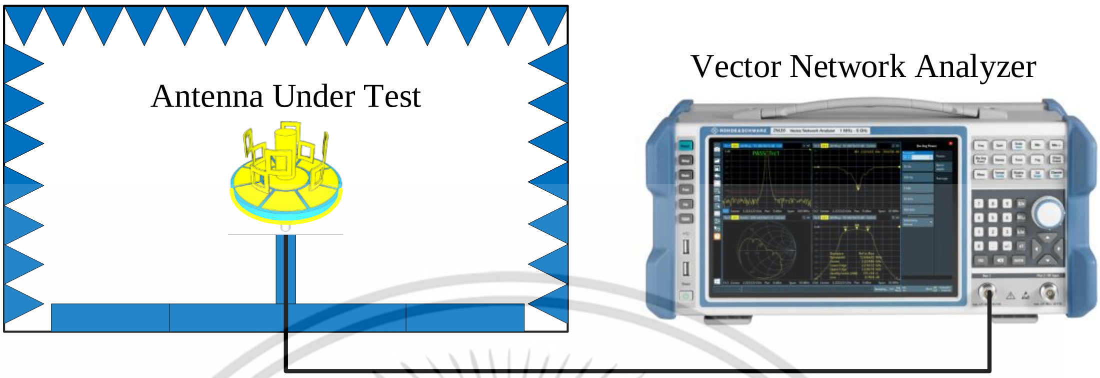
- ห้องไร้การสะท้อนของคลื่นไมโครเวฟ (Microwave anechoic chamber)
- เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Vector network analyzer)
- สายอากาศก้นหอยมาตรฐาน
- สายนำสัญญาณที่มีอิมพีแดนซ์ 50 Ω
- คอนเนคเตอร์

5.3.1 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน $|S_{11}|$ ของสายอากาศต้นแบบ

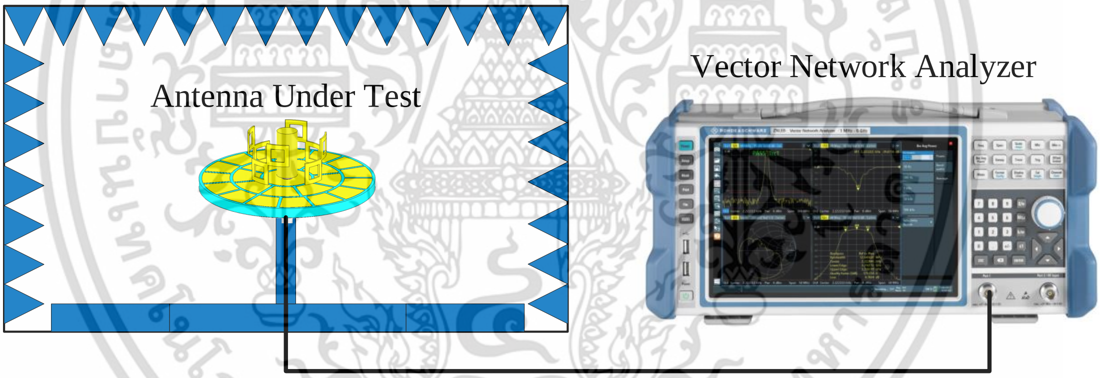
การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน $|S_{11}|$ ของสายอากาศต้นแบบสามารถกระทำได้โดยเชื่อมต่อสายอากาศต้นแบบสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) เข้ากับสายนำสัญญาณโดยใช้พอร์ตที่ 1 ของเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายยี่ห้อ Rohde & Schwarz รุ่น ZNLE6 ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 5.4 และ 5.5 ตามลำดับ และทำการปรับเทียบ (Calibrate) เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายก่อนทำการทดสอบจากนั้นทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบโดยสายอากาศจะถูกวางในห้องไร้การสะท้อน ทำการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองกับผลการทดสอบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.6 และ 5.7 ตามลำดับ



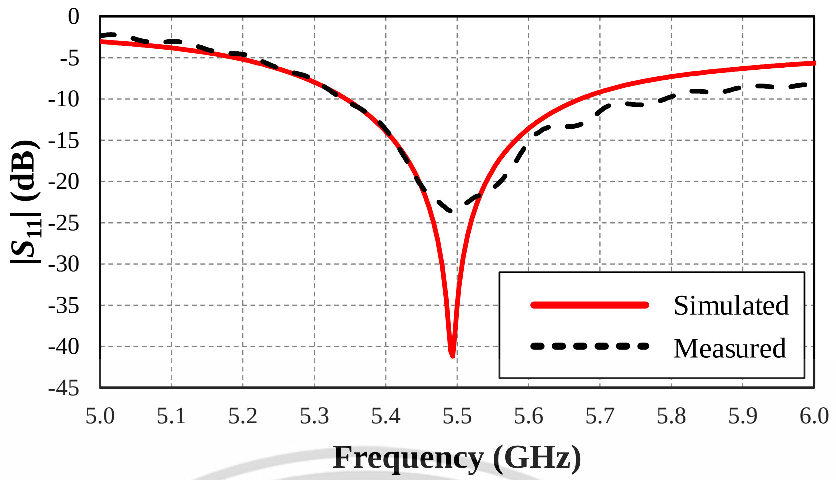
รูปที่ 5.4 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน $|S_{11}|$ ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC)



รูปที่ 5.5 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน $|S_{11}|$ ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC)

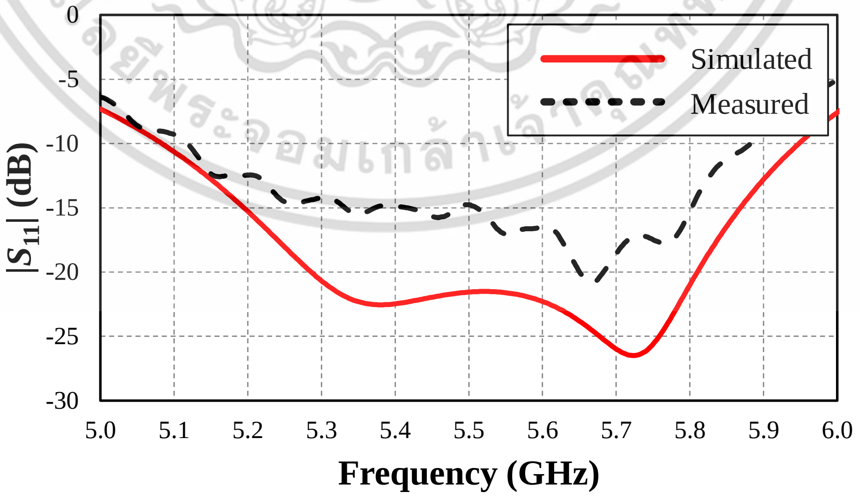
จากรูปที่ 5.6 ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบ $|S_{11}|$ ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) โดยผลการจำลองของ $|S_{11}| \leq -10$ dB มีช่วงความถี่ 5.34 GHz – 5.69 GHz คิดเป็น 6.34% ของความถี่กลาง 5.5 GHz และผลการทดสอบของ $|S_{11}| \leq -10$ dB มีช่วงความถี่ 5.34 GHz – 5.80 GHz คิดเป็น 8.26% ของความถี่กลาง 5.5 GHz ค่า $|S_{11}|$ ต่ำสุดของผลการจำลองและทดสอบคือ 5.49 GHz และพบว่าผลการทดสอบมีค่า $|S_{11}|$ แบนด์วิดท์มากกว่าผลการจำลองเล็กน้อยโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงย่านความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 การเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบ $|S_{11}|$ ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC)

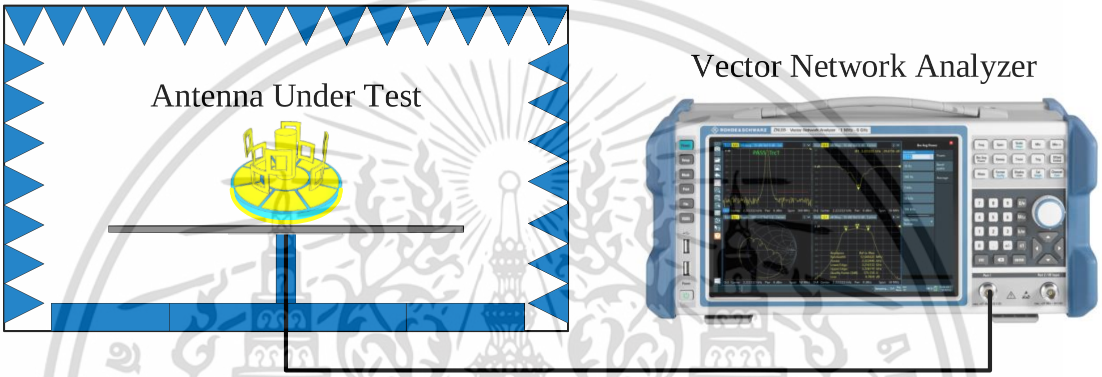
จากรูปที่ 5.7 การเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบ $|S_{11}|$ ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ต้นแบบ โดยผลการจำลองของ $|S_{11}| \leq -10$ dB มีช่วงความถี่ 5.08 GHz – 5.95 GHz คิดเป็น 15.77% ของความถี่กลาง 5.5 GHz และผลการทดสอบของ $|S_{11}| \leq -10$ dB มีช่วงความถี่ 5.11 GHz – 5.89 GHz คิดเป็น 14.36% ของความถี่กลาง 5.5 GHz ซึ่งพบว่าผลการทดสอบมีค่า $|S_{11}|$ แบนด์วิดท์แคบกว่าผลการจำลองเล็กน้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงย่านความถี่สูงอันเนื่องมาจากในการสร้างสายอากาศต้นแบบมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยเกี่ยวกับตำแหน่งการวางของพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยงทำให้ผลการทดสอบ $|S_{11}|$ ของสายอากาศต้นแบบคลาดเคลื่อนกับผลการจำลองเล็กน้อย แต่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน



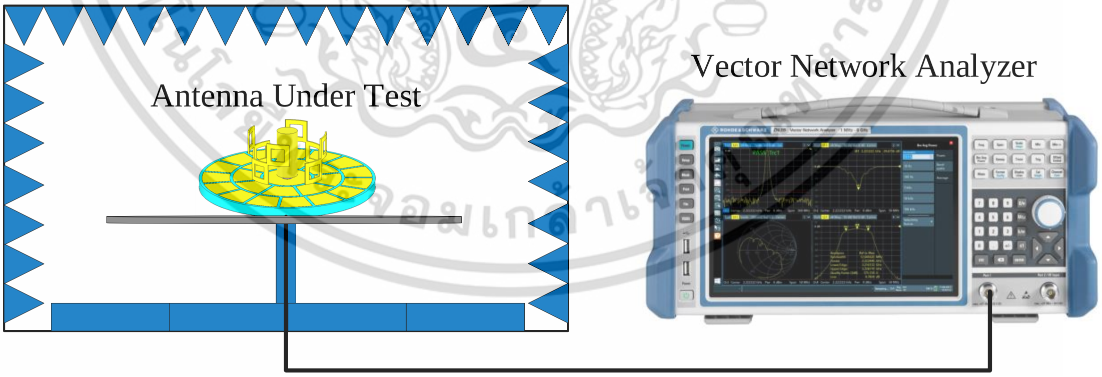
รูปที่ 5.7 การเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบ $|S_{11}|$ ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน $|S_{11}|$ ของสายอากาศต้นแบบโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ที่ทำการขยายระนาบกราวนด์ด้านล่างของตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ที่กำหนดขนาดรัศมี R_g = 119.2 mm และ 188.4 mm เพื่อเป็นการศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน $|S_{11}|$ ที่ได้รับจากการเปลี่ยนแปลงของระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ ซึ่งแสดงการติดตั้งสายอากาศในการทดสอบได้ดังรูปที่ 5.8 และ 5.9 ตามลำดับ โดยทำการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองกับผลการทดสอบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.10 และ 5.11 ตามลำดับ



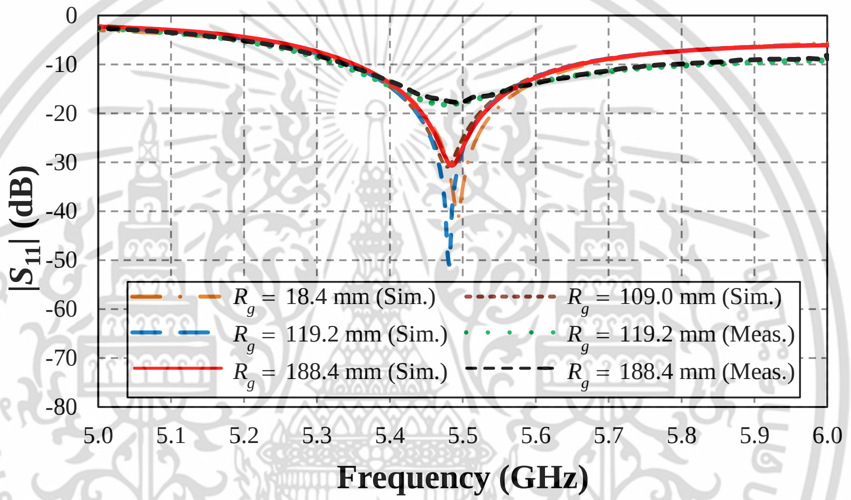
รูปที่ 5.8 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน $|S_{11}|$ ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 119.2 mm และ 188.4 mm)



รูปที่ 5.9 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน $|S_{11}|$ ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 119.2 mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

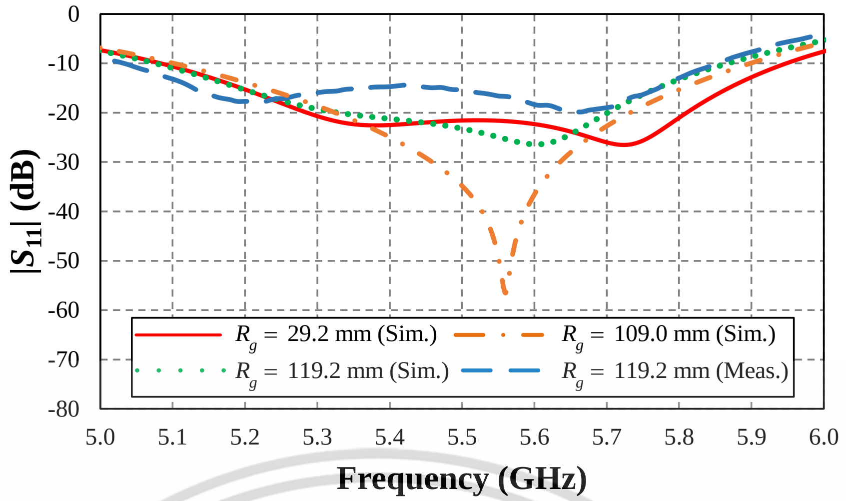
จากรูปที่ 5.10 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบ $|S_{11}|$ ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 119.2 mm และ 188.4 mm) โดยผลการจำลองของ $|S_{11}| \leq -10$ dB มีช่วงความถี่ที่เปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 5.33 GHz – 5.69 GHz และผลการทดสอบของ $|S_{11}| \leq -10$ dB มีช่วงความถี่ที่เปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 5.33 GHz – 5.85 GHz ซึ่งพบว่าผลการทดสอบมีค่า $|S_{11}|$ แบนด์วิดท์มากกว่าผลการจำลองเล็กน้อยโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงย่านความถี่สูง ในส่วนของผลกระทบที่เกิดขึ้นของการเปลี่ยนขนาดรัศมีระนาบกราวนด์ทั้งผลการจำลองและทดสอบพบว่ามีความเปลี่ยนแปลงของค่า $|S_{11}|$ แบนด์วิดท์น้อยมาก จึงสรุปได้ว่าสายอากาศโครงสร้าง B ทนต่อผลกระทบของการเปลี่ยนขนาดระนาบกราวนด์



รูปที่ 5.10 การเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบ $|S_{11}|$ ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 119.2 mm และ 188.4 mm)

จากรูปที่ 5.11 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบ $|S_{11}|$ ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ R_g = 119.2 mm โดยผลการจำลองของ $|S_{11}| \leq -10$ dB มีช่วงความถี่ที่เปลี่ยนแปลงอยู่ที่ 5.06 GHz – 5.95 GHz และผลการทดสอบของ $|S_{11}| \leq -10$ dB มีช่วงความถี่ที่เปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 5.01 GHz – 5.85 GHz ซึ่งพบว่าผลการทดสอบมีค่า $|S_{11}|$ แบนด์วิดท์ใกล้เคียงกับผลการจำลอง เพียงแต่ผลการทดสอบความถี่เลื่อนลงในย่านความถี่ต่ำเล็กน้อย ในส่วนของผลกระทบที่เกิดขึ้นของการเปลี่ยนขนาดรัศมีระนาบกราวนด์ทั้งผลการจำลองและทดสอบพบว่ามีความเปลี่ยนแปลงของค่า $|S_{11}|$ แบนด์วิดท์น้อย จึงสรุปได้ว่าสายอากาศโครงสร้าง C ทนต่อผลกระทบของการเปลี่ยนขนาดระนาบกราวนด์ได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 การเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบ $|S_{11}|$ ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 119.2 mm)

5.3.2 การทดสอบอัตราส่วนแกนของสายอากาศ

การทดสอบอัตราส่วนแกน อัตราขยาย ประสิทธิภาพและแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจะต้องกระทำภายในห้องไร้การสะท้อนคลื่นไมโครเวฟ โดยจะทำการทดสอบสายอากาศต้นแบบทั้ง 2 โครงสร้าง ได้แก่สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ซึ่งจะทำการทดสอบในแบบสนามระยะไกล (R) โดยการคำนวณระยะห่างระหว่างสายอากาศภาครับ (สายอากาศต้นแบบ) และสายอากาศภาคส่ง (สายอากาศแบบก้นหอย) จะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขดังสมการที่ 5.1

$$R \geq \frac{2\left(D^2\right)}{\lambda} \qquad (5.1)$$

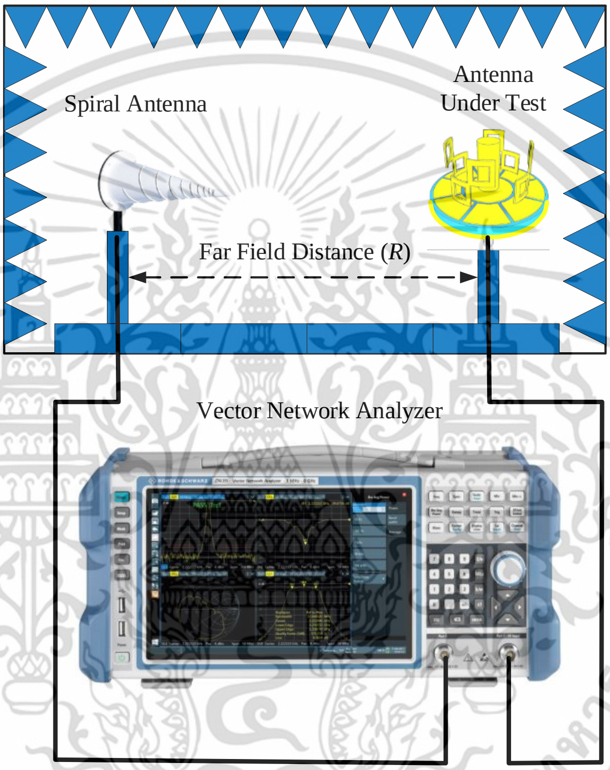
โดยที่

R คือ ระยะของสนามระยะไกล (m)
D คือ มิติที่ยาวที่สุดของสายอากาศต้นแบบ (m)
λ คือ ความยาวคลื่นในอากาศ ณ ที่ความถี่ใช้งาน

การทดสอบอัตราส่วนแกน อัตราขยาย และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศต้นแบบของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) จะกระทำโดยทดสอบในห้องไร้การสะท้อนของคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งเป็น

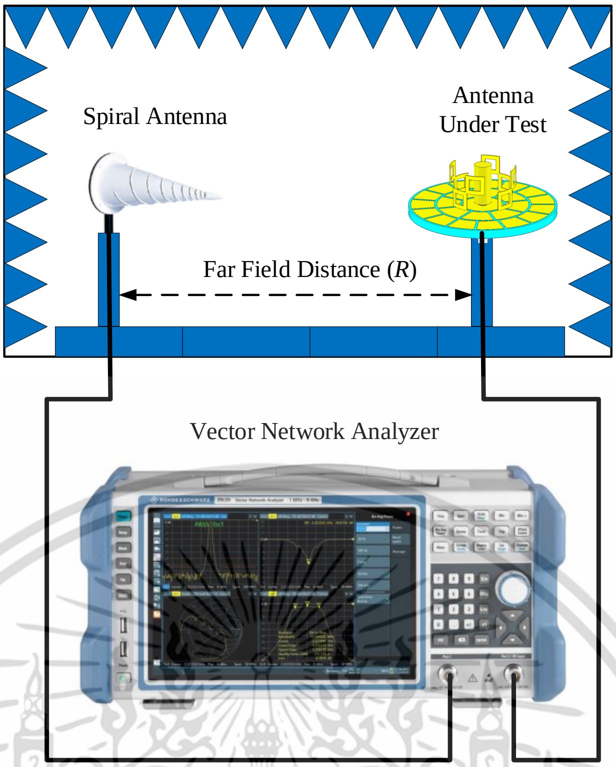
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องที่มีสภาวะแวดล้อมที่ใกล้เคียงกับช่องว่างอิสระ (Free space) โดยการทดสอบอัตราส่วนแกนของสายอากาศต้นแบบได้เลือกใช้สายอากาศภาคส่งเป็นสายอากาศแบบก้นหอย (Spiral Antennas) รุ่น ETS Lindgren 3102 ซึ่งมีคุณลักษณะการโพลาไรซ์เป็นแบบวงกลมหมุนซ้ายจำนวน 1 ตัว และการโพลาไรซ์เป็นแบบวงกลมหมุนขวาจำนวน 1 ตัว โดยต้นแบบสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และต้นแบบสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) นั้นเป็นสายอากาศภาครับแสดงได้ดังรูปที่ 5.12 และ 5.13 ตามลำดับ



รูปที่ 5.12 การทดสอบอัตราส่วนแกนของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 การทดสอบอัตราส่วนแกนของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ต้นแบบ

จากรูปที่ 5.12 และ 5.13 สายอากาศภาคส่งซึ่งเป็นสายอากาศแบบก้นหอยที่ใช้ในการทดสอบจะทำการติดตั้งและทดสอบผลได้ทั้งโพลาไรซ์ร่วม (Co-polarization) และโพลาไรซ์ไขว้ (Cross-polarization) เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าอัตราส่วนแกน ซึ่งสามารถคำนวณหาอัตราส่วนแกนได้ดังสมการที่ 5.2 ด้านล่าง

$$\mathrm{AR(dB)} = 20\log\left(\frac{|E_{co-pol}|+|E_{cross-pol}|}{|E_{co-pol}|-|E_{cross-pol}|}\right),\quad 0 \le \mathrm{AR} \le \infty \qquad (5.2)$$

โดยที่

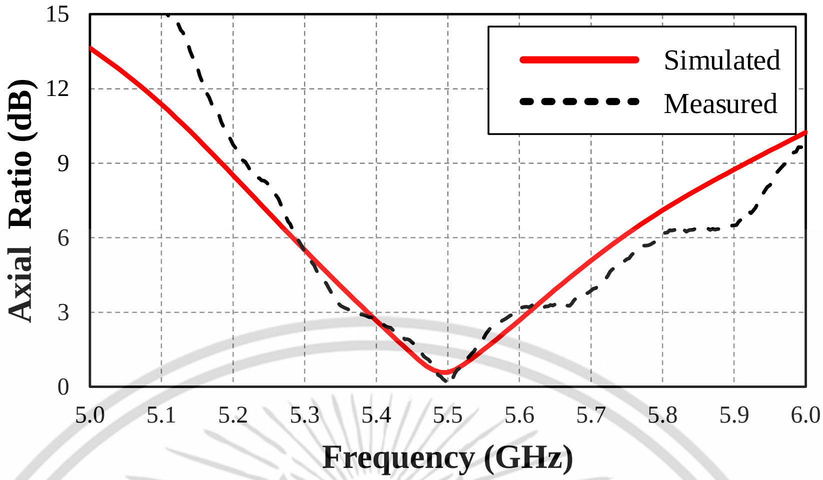
$|E_{co-pol}|$ คือ สนามไฟฟ้าโพลาไรซ์ร่วม

$|E_{cross-pol}|$ คือ สนามไฟฟ้าโพลาไรซ์ไขว้

จากรูปที่ 5.14 การเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบอัตราส่วนแกน (Axial ratio : AR) ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ต้นแบบ โดยผลการจำลองของอัตราส่วนแกน (AR ≤ 3 dB) มีช่วงความถี่ครอบคลุม 5.38 GHz – 5.62 GHz คิดเป็น 4.36% ของความถี่กลาง 5.5 GHz และผลการทดสอบของอัตราส่วนแกน (AR ≤ 3 dB) มีช่วงความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

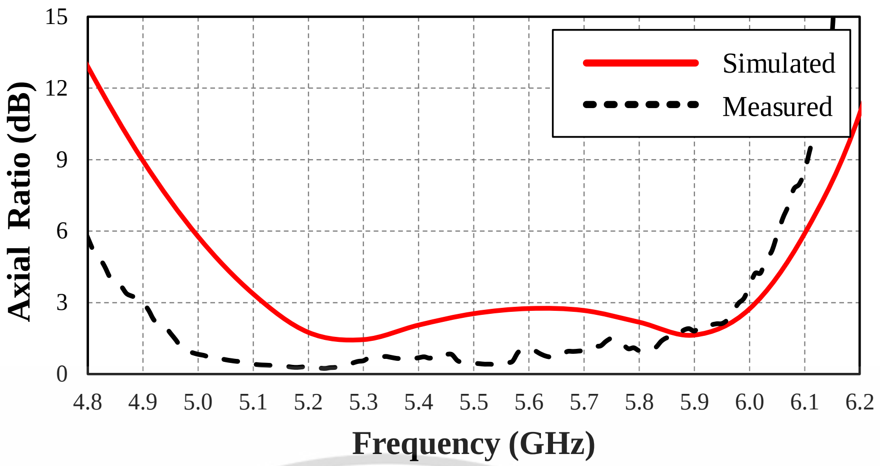
5.36 GHz – 5.60 GHz คิดเป็น 4.38% ของความถี่กลาง 5.5 GHz ซึ่งพบว่าผลการจำลองและทดสอบอัตราส่วนแกนมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน



รูปที่ 5.14 การเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบอัตราส่วนแกนของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ต้นแบบ

จากรูปที่ 5.15 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบอัตราส่วนแกน (Axial ratio : AR) ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ต้นแบบ โดยผลการจำลองของอัตราส่วนแกน (AR ≤ 3 dB) มีช่วงความถี่ครอบคลุม 5.12 GHz – 6.01 GHz คิดเป็น 15.99% ของความถี่กลาง 5.5 GHz และผลการทดสอบของอัตราส่วนแกน (AR ≤ 3 dB) มีช่วงความถี่ 4.9 GHz – 5.98 GHz คิดเป็น 19.85% ของความถี่กลาง 5.5 GHz ซึ่งพบว่าผลการทดสอบมีการเลื่อนความถี่ไปทางด้านความถี่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลอง เนื่องจากสายอากาศต้นแบบได้ถูกประดิษฐ์ขึ้นโดยนักวิจัยเอง อาจจะมีส่วนพาราซิติกที่ความไวต่ออัตราส่วนแกนจึงทำให้ผลทดสอบคลาดเคลื่อนจากการจำลองผลในโปรแกรมเล็กน้อย

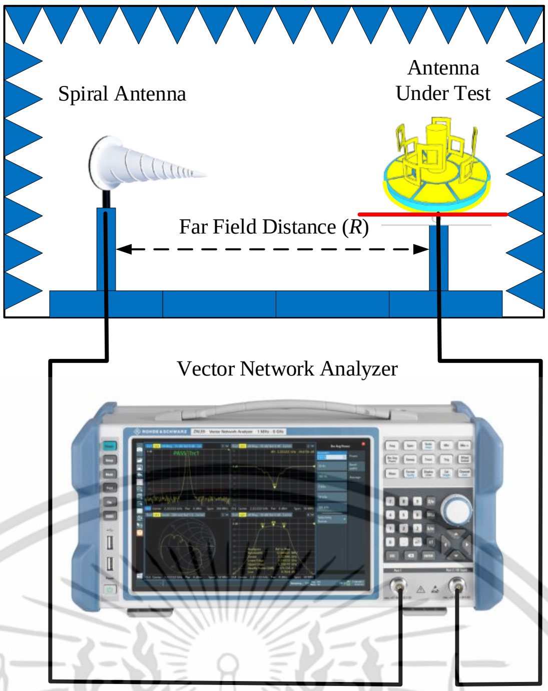
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



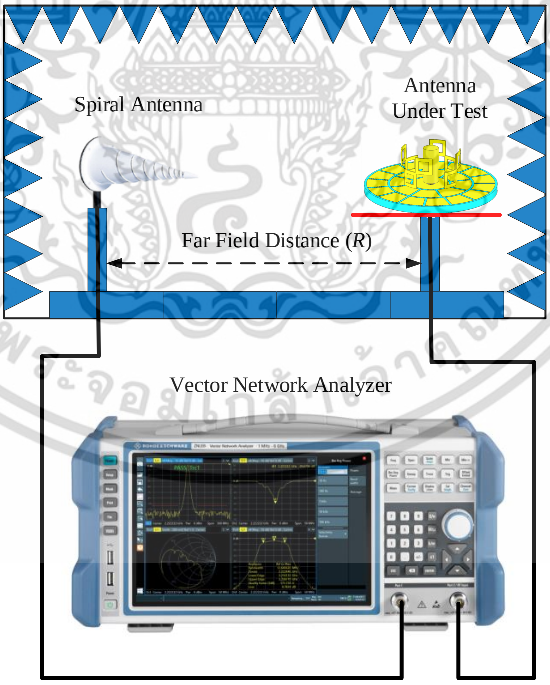
รูปที่ 5.15 การเปรียบเทียบผลการจำลองและผลการทดสอบของอัตราส่วนแกนของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ต้นแบบ

การทดสอบอัตราส่วนแกนของสายอากาศต้นแบบของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ต้นแบบ ที่จะทำการเพิ่มขนาดระนาบกราวนด์ด้านล่างของตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ของสายอากาศทั้งโครงสร้าง B และ C โดยจะกระทำโดยทดสอบในห้องไร้การสะท้อนของคลื่นไมโครเวฟเช่นเดียวกันกับกรณีก่อนหน้านี้ ซึ่งเป็นห้องที่มีสภาวะแวดล้อมที่ใกล้เคียงกับช่องว่างอิสระ (Free space) โดยการทดสอบอัตราส่วนแกนของสายอากาศต้นแบบได้เลือกใช้สายอากาศภาคส่งเป็นสายอากาศแบบก้นหอย (Spiral Antennas) รุ่น ETS Lindgren 3102 ซึ่งมีคุณลักษณะการโพลาไรซ์เป็นแบบวงกลมหมุนซ้ายจำนวน 1 ตัว และการโพลาไรซ์เป็นแบบวงกลมหมุนขวาจำนวน 1 ตัว โดยสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ที่ขนาด R_g = 119.2 mm และ 188.4 mm วางทดสอบในระยะสนามระยะไกล ในส่วนสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ต้นแบบก็จะทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ที่ R_g = 119.2 mm เช่นเดียวกัน โดยวัสดุตัวนำที่ใช้ในการขยายระนาบกราวนด์คือ แผ่นอลูมิเนียมหนา 1 mm รูปวงกลม ซึ่งสายอากาศที่นำเสนอจะเป็นสายอากาศภาครับแสดงได้ดังรูปที่ 5.16 และ 5.17 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.16 การทดสอบอัตราส่วนแกนของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 119.2 mm และ 188.4 mm)

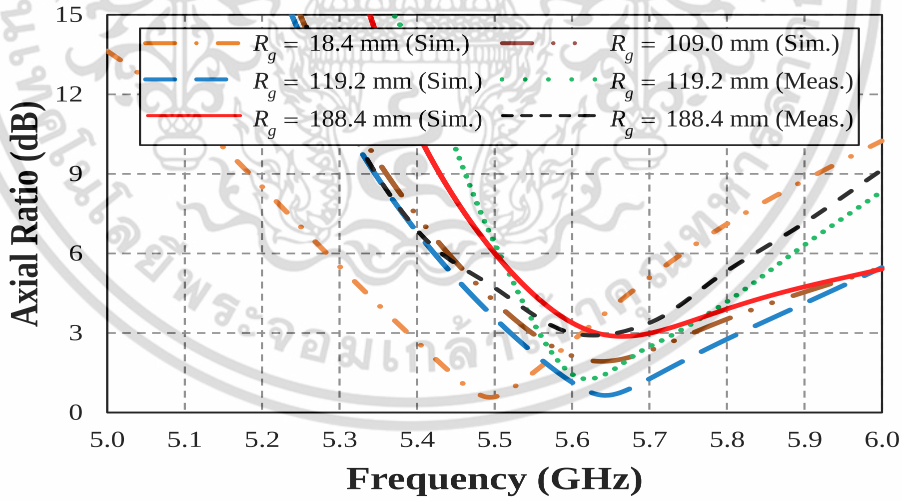


รูปที่ 5.17 การทดสอบอัตราส่วนแกนของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 119.2 mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.16 และ 5.17 สายอากาศภาคส่งซึ่งเป็นสายอากาศแบบก้นหอยที่ใช้ในการทดสอบจะทำการติดตั้งและทดสอบผลได้ทั้งโพลาไรซ์ร่วม (Co-polarization) และโพลาไรซ์ไขว้ (Cross-polarization) เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าอัตราส่วนแกน ซึ่งสามารถคำนวณหาอัตราส่วนแกนได้จากสมการที่ 5.2 ที่ได้กล่าวไว้ในเนื้อหาก่อนหน้านี้แล้ว

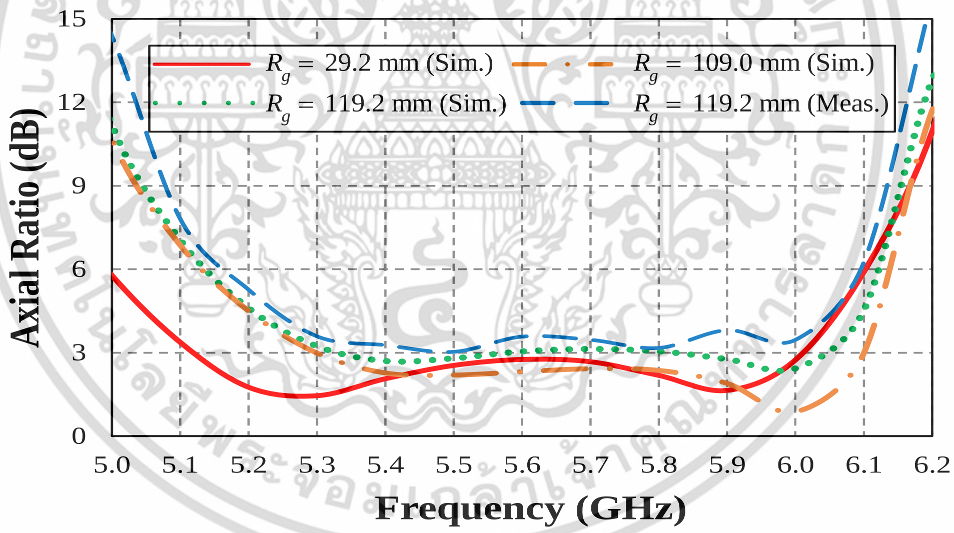
จากรูปที่ 5.18 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบอัตราส่วนแกน (Axial ratio : AR) ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ต้นแบบ ที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 119.2 mm และ 188.4 mm) โดยผลการจำลองของอัตราส่วนแกน (AR ≤ 3 dB) ที่ R_g = 119.2 mm มีช่วงความถี่ครอบคลุมอยู่ระหว่าง 5.51 GHz – 5.82 GHz และผลการทดสอบของอัตราส่วนแกน (AR ≤ 3 dB) มีช่วงความถี่ครอบคลุมอยู่ระหว่าง 5.55 GHz – 5.74 GHz และเมื่อพิจารณาที่ R_g = 188.4 mm มีค่าอัตราส่วนแกนที่ประมาณ AR = 3 dB ซึ่งพบว่าหากเปรียบเทียบผลการทดสอบอัตราส่วนแกนที่ R_g = 18.4 mm ถึง 188.4 mm ค่าอัตราส่วนแกนจะเลื่อนไปช่วงย่านความถี่สูงเล็กน้อย และยังมีค่าอัตราส่วนแกนต่ำกว่าหรือเท่ากับ 3 dB อยู่ แต่ถ้าหากขนาดของระนาบกราวนด์ด้านล่างมีการขยายจนมีขนาดที่ใหญ่เกิน 188.4 mm มีแนวโน้มที่ค่าอัตราส่วนแกนจะมีค่าเพิ่มขึ้นสูงกว่า 3 dB อันเนื่องมาจากผลการขยายขนาดของระนาบกราวนด์ ในส่วนของผลการจำลองเปรียบเทียบผลการทดสอบมีแนวโนมไปในทิศทางเดียวกัน จึงสามารถยืนยันได้ว่าสายอากาศโครงสร้าง B ที่นำเสนอสามารถลดผลกระทบของระนาบกราวนด์ล่างลงได้ เพิ่มความยืดหยุ่นในการออกแบบสายอากาศ แต่ว่ายังมีข้อจำกัดในเรื่องของขนาดระนาบกราวนด์ล่างต้องมีขนาดไม่เกิน R_g = 188.4 mm ในการนำไปติดตั้งบนฐานที่เป็นตัวทางนำไฟฟ้า



รูปที่ 5.18 การเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบอัตราส่วนแกนของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ต้นแบบ ที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 119.2 mm และ 188.4 mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.19 การเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบอัตราส่วนแกน (Axial ratio : AR) ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ต้นแบบที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 119.2 mm) โดยผลการจำลองของอัตราส่วนแกน (AR ≤ 3 dB) ที่ R_g = 29.2 mm ถึง 119.2 mm พบว่ามีช่วงความถี่ครอบคลุมอยู่ระหว่าง 5.10 GHz – 6.10 GHz และผลการทดสอบของอัตราส่วนแกน (AR ≤ 3 dB) ที่ R_g = 119.2 mm มีค่าอัตราส่วนแกนที่ประมาณ 3 dB ซึ่งพบว่าหากเปรียบเทียบผลการทดสอบอัตราส่วนแกนที่ R_g = 18.4 mm ถึง 119.2 mm พบว่าค่าอัตราส่วนแกนจะเลื่อนไปช่วงย่านความถี่สูงเล็กน้อย และยังมีค่าอัตราส่วนแกนต่ำกว่าหรือประมาณ 3 dB อยู่ แต่ถ้าหากขนาดของระนาบกราวนด์ด้านล่างมีการขยายจนมีขนาดที่ใหญ่เกิน R_g > 119.2 mm มีแนวโน้มที่ค่าอัตราส่วนแกนจะมีค่าเพิ่มขึ้นสูงกว่า 3 dB อันเนื่องมาจากผลการขยายขนาดของระนาบกราวนด์ ในส่วนของผลการจำลองเปรียบเทียบผลการทดสอบมีแนวโนมไปในทิศทางเดียวกัน จึงสามารถยืนยันได้ว่าสายอากาศโครงสร้าง C ที่นำเสนอสามารถลดผลกระทบของระนาบกราวนด์ล่างลงได้ เพิ่มความยืดหยุ่นในการออกแบบสายอากาศ แต่ว่ายังมีข้อจำกัดในเรื่องของขนาดระนาบกราวนด์ล่างต้องมีขนาดไม่เกิน R_g = 119.2 mm ในการนำไปติดตั้งบนฐานที่เป็นตัวทางนำไฟฟ้า และเมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศโครงสร้าง A และ B พบว่ามีอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ และอัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์ที่กว้างเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 5.19 การเปรียบเทียบผลการจำลองและผลการทดสอบของอัตราส่วนแกนของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ต้นแบบ ที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 119.2 mm)

5.3.3 การทดสอบอัตราขยายของสายอากาศ

การทดสอบอัตราขยายของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ต้นแบบ และสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ต้นแบบ (สายอากาศภาครับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

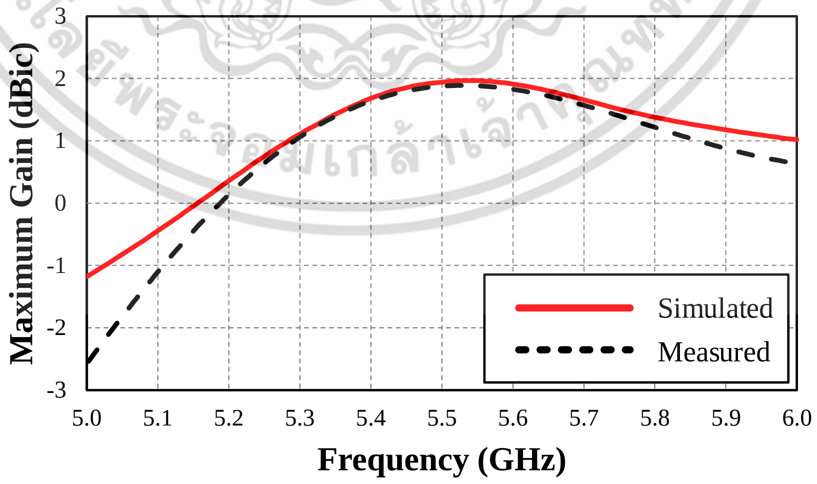
สามารถกระทำได้โดยการใช้สายอากาศก้นหอยเป็นสายอากาศภาคส่ง ซึ่งสายอากาศก้นหอยนั้นมีคุณลักษณะโพลาไรซ์แบบวงกลมและเลือกใช้สายอากาศทั้งภาครับและภาคส่งแบบโพลาไรซ์ร่วม (Co-polarization) ในการทดสอบอัตราขยาย (G_{rx}) และประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่น (Radiation efficiency) ของสายอากาศต้นแบบซึ่งสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 5.3 และ 5.4 ตามลำดับ

$$G_{tx}(\mathrm{dBic}) + G_{rx}(\mathrm{dBic}) = 20\log_{10}\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right) + 10\log_{10}\left(\frac{P_{rx}}{P_{tx}}\right) \tag{5.3}$$

โดย

G_{tx} คือ อัตราขยายของสายอากาศภาคส่ง (สายอากาศก้นหอย)
G_{rx} คือ อัตราขยายของสายอากาศภาครับ (สายอากาศต้นแบบ)
R คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศภาคส่งและสายอากาศภาครับ
λ คือ ความยาวคลื่น ณ ที่ความถี่ใช้งาน
P_{tx} คือ กำลังงานของภาคส่ง
P_{rx} คือ กำลังงานของภาครับ

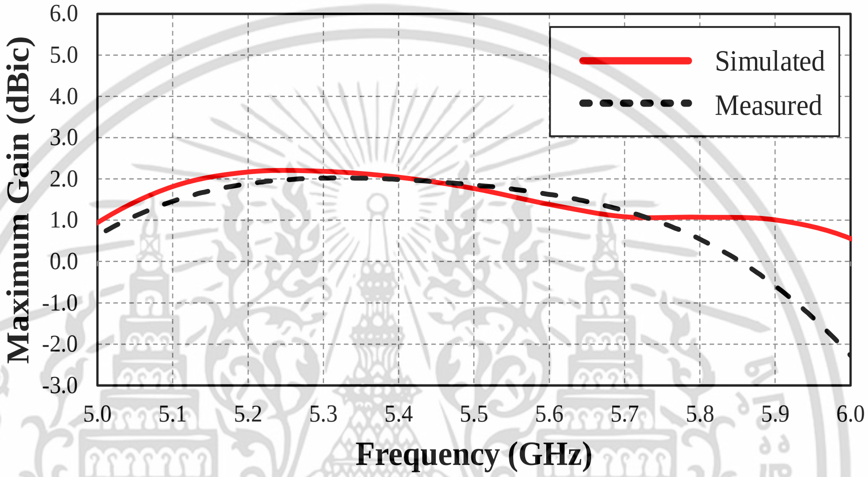
จากรูปที่ 5.20 การเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบอัตราขยายและรูปที่ 5.21 แสดงผลการจำลองและผลการทดสอบประสิทธิภาพของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ต้นแบบ โดยผลการทดสอบของอัตราขยายสูงสุดมีค่าเท่ากับ 2.0 dBic ที่ความถี่ 5.52 GHz อัตราขยายแบนด์วิดท์ในทิศทางตั้งฉากมีค่าสูงกว่า 18.0% ที่ช่วงความถี่ 5.02 GHz – 6.0 GHz และประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่นมีค่าสูงว่า 95% ที่ช่วงความถี่ใช้งาน (5.15 GHz – 5.875 GHz) ของความถี่กลาง 5.5 GHz



รูปที่ 5.20 การเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบอัตราขยายของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.22 การเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบอัตราขยายและรูปที่ 5.23 แสดงผลการจำลองและผลการทดสอบประสิทธิภาพของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวน์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (DA-AMC) ต้นแบบ โดยผลการทดสอบของอัตราขยายสูงสุดมีค่าเท่ากับ 2.18 dBic ที่ความถี่ 5.25 GHz อัตราขยายในทิศทางตั้งฉากมีค่าสูงกว่า 17.0% ที่ช่วงความถี่ 5.0 GHz – 5.92 GHz และประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่นมีค่าสูงว่า 95% ที่ช่วงความถี่ใช้งาน (5.15 GHz – 5.875 GHz) ของความถี่กลาง 5.5 GHz

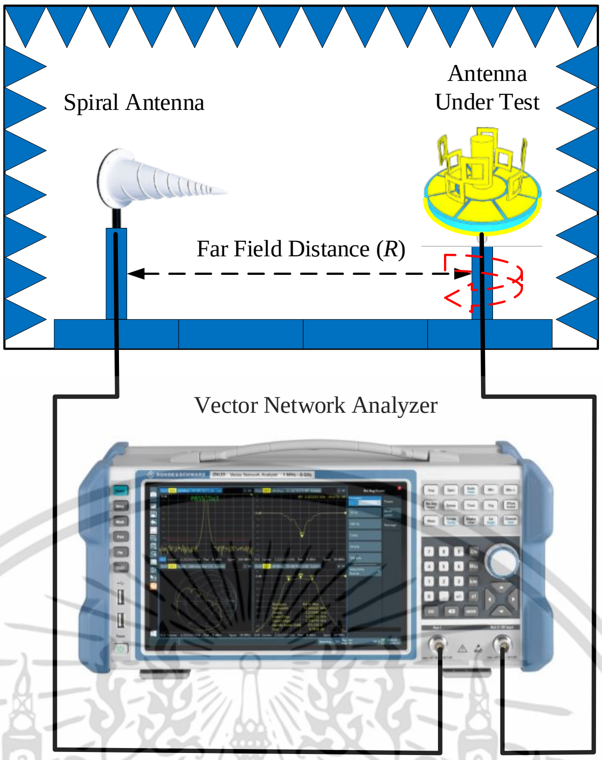


รูปที่ 5.21 การเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบอัตราขยายของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวน์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ต้นแบบ

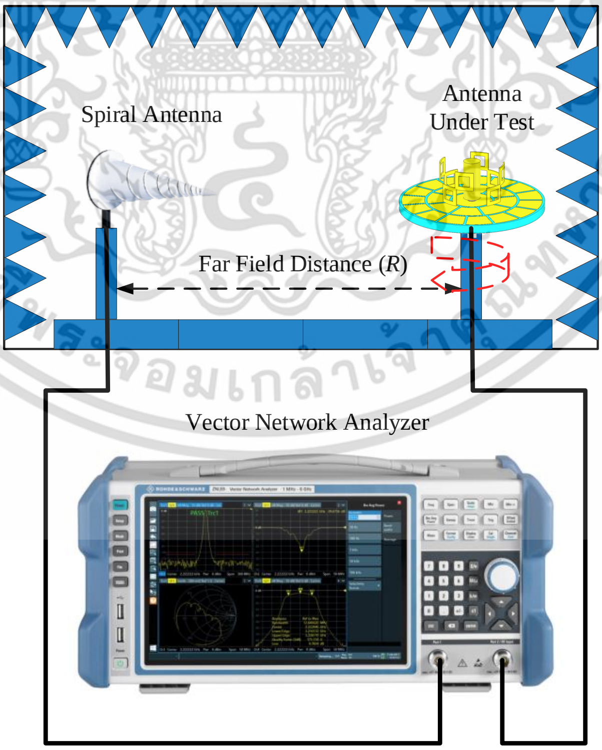
5.3.4 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

การพิจารณาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวน์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ต้นแบบ และสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวน์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ต้นแบบ ซึ่งแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศต้นแบบนั้นมีความสำคัญในด้านของทิศทางการแพร่กระจายสัญญาณและวัตถุประสงค์ในการใช้งานของสายอากาศที่ออกแบบที่ต้องเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้งานการสื่อสารเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.22 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ต้นแบบ

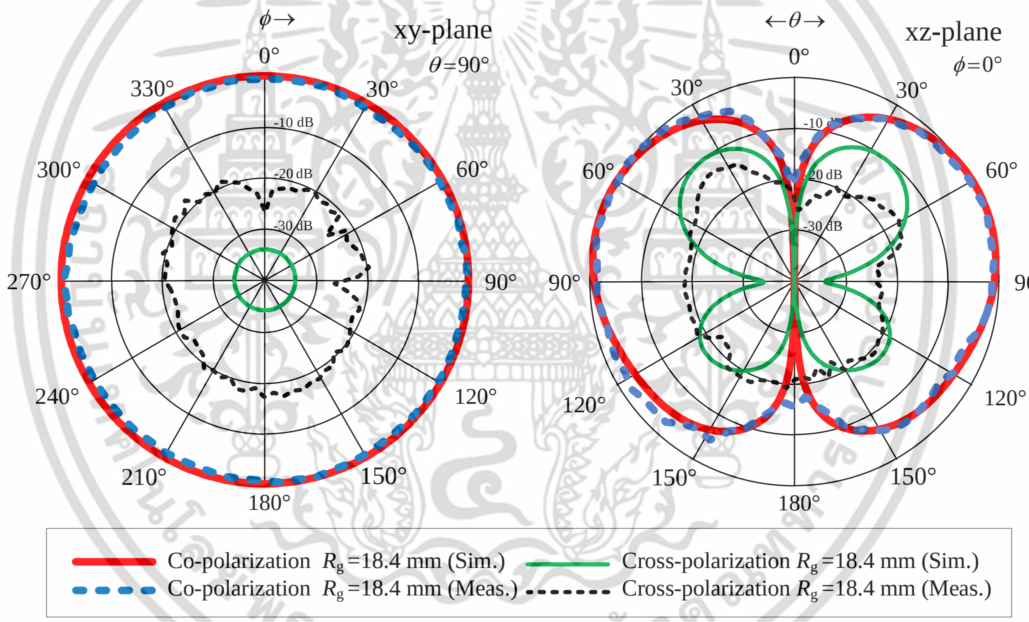


รูปที่ 5.23 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศต้นแบบนั้นจะกระทำได้โดยการใช้สายอากาศมาตรฐานที่มีคุณลักษณะโพลาไรซ์วงกลม (สายอากาศแบบก้นหอย) ซึ่งสามารถทดสอบได้ทั้งโพลาไรซ์ร่วมและโพลาไรซ์ไขว้ทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาคส่ง และสายอากาศต้นแบบที่นำเสนอเป็นสายอากาศภาครับแสดงได้ดังรูปที่ 5.22 และ 5.23 ตามลำดับ

จากรูปที่ 5.24 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ต้นแบบ ซึ่งกระทำโดยการทดสอบโพลาไรซ์ร่วม (Co-polarization: LHCP) และโพลาไรซ์ไขว้ (Cross-polarization : RHCP) จากผลการทดสอบและผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าสายอากาศที่นำเสนอสามารถแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง ซึ่งสังเกตได้จากระนาบ xy-plane ในส่วนระนาบ xz-plane จะเห็นว่าสายอากาศแพร่กระจายคลื่นได้ดีในมุม $\theta = 90^{\circ}$ (รอบตัว) ซึ่งค่า Cross-polarization level : XPL ต่ำกว่า -15 dB ทั้งระนาบ xy-plane และ xz-plane จากผลการจำลองเปรียบเทียบกับผลการทดสอบที่ความถี่กลาง 5.5 GHz นั้นมีความสอดคล้องกัน

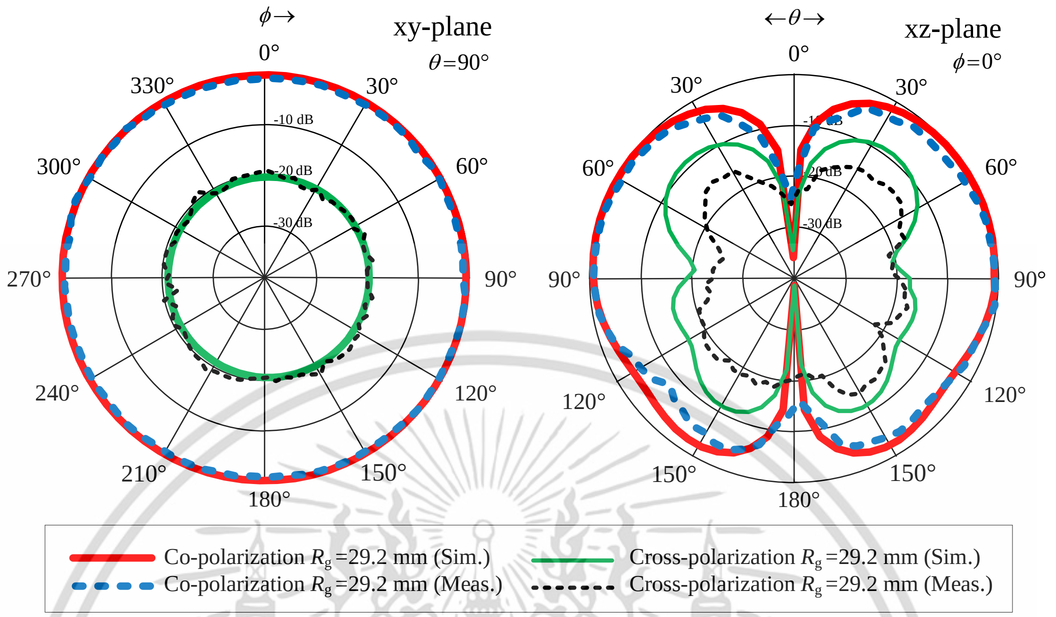


รูปที่ 5.24 ผลการจำลองและผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ต้นแบบ ที่ความถี่ 5.5 GHz

จากรูปที่ 5.25 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ต้นแบบ ซึ่งกระทำโดยการทดสอบโพลาไรซ์ร่วม (Co-polarization) และโพลาไรซ์ไขว้ (Cross-polarization level) จากผลการทดสอบและผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าสายอากาศที่นำเสนอสามารถแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง ซึ่งสังเกตได้จากระนาบ xy-plane ในส่วนระนาบ xz-plane จะเห็นว่าสายอากาศแพร่กระจายคลื่นได้ดีในมุม $\theta = 90^{\circ}$ (รอบตัว) ซึ่งค่า XPL ต่ำกว่า -15 dB ทั้งระนาบ xy-plane และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

xz-plane จากผลการจำลองเปรียบเทียบกับผลการทดสอบที่ความถี่กลาง 5.5 GHz นั้นมีความสอดคล้องกัน

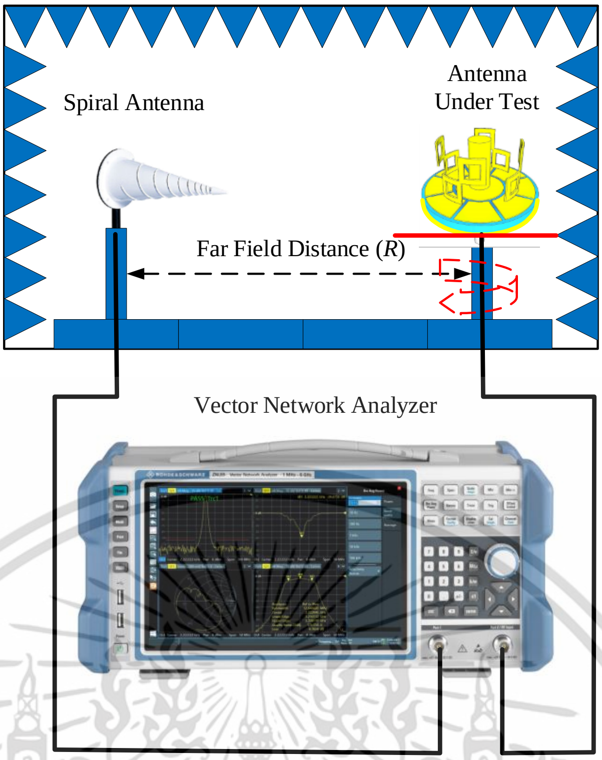


รูปที่ 5.25 ผลการจำลองและผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ต้นแบบ ที่ความถี่ 5.5 GHz

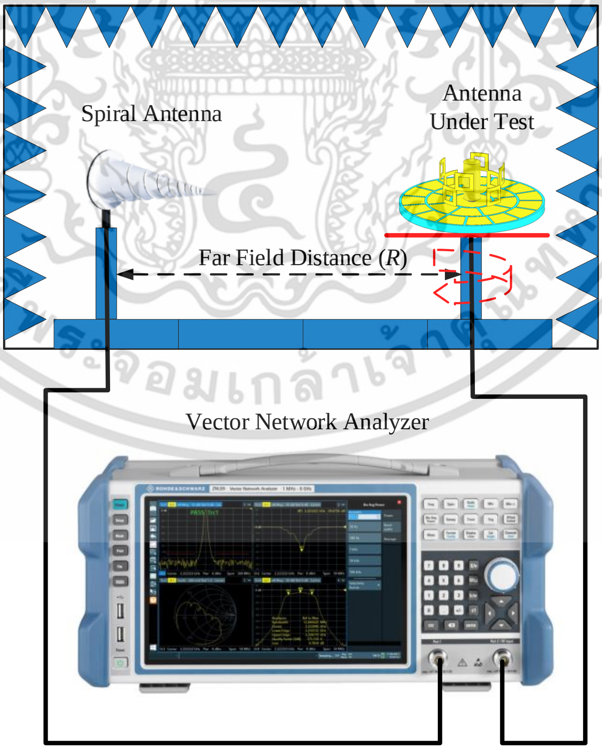
การพิจารณาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ต้นแบบที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 119.2 mm และ 188.4 mm) และสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ต้นแบบที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 119.2 mm) ซึ่งการจำลองผลและทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศต้นแบบที่ทำการขยายระนาบกราวนด์นั้นมีความสำคัญในด้านของทิศทางการแพร่กระจายสัญญาณและวัตถุประสงค์ในการใช้งานของสายอากาศที่ออกแบบที่ต้องเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้งานการสื่อสารเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) ได้ แม้ว่าจะทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ออกไปให้มีขนาดใหญ่มากขึ้น แบบรูปการแพร่กจะจายคลื่นของสายอากาศก็ยังจำเป็นต้องเป็นการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางอยู่

โดยการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศต้นแบบที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ของโครงสร้าง B และ C โดยจะนำแผ่นอลูมิเนียมวงกลมขนาดตามที่ระบุ (R_g = 119.2 mm และ 188.4 mm) เป็นฐานในการติดตั้งสายอากาศ จากนั้นจะทำการทดสอบโดยการใช้สายอากาศมาตรฐานที่มีคุณลักษณะโพลาไรซ์วงกลม (สายอากาศแบบก้นหอย) ซึ่งสามารถทดสอบได้ทั้งโพลาไรซ์ร่วมและโพลาไรซ์ไขว้ทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาคส่ง และสายอากาศต้นแบบที่นำเสนอเป็นสายอากาศภาครับทดสอบภายในห้องไร้การสะท้อนคลื่นไมโครเวฟแสดงได้ดังรูปที่ 5.26 และ 5.27 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

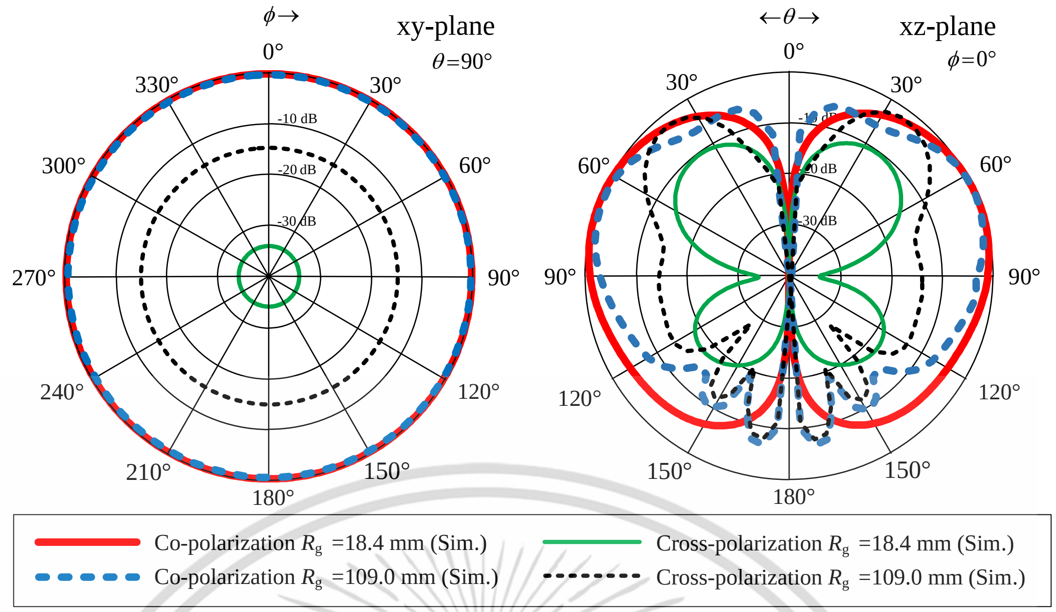


รูปที่ 5.26 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ต้นแบบที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 119.2 mm และ 188.4 mm)

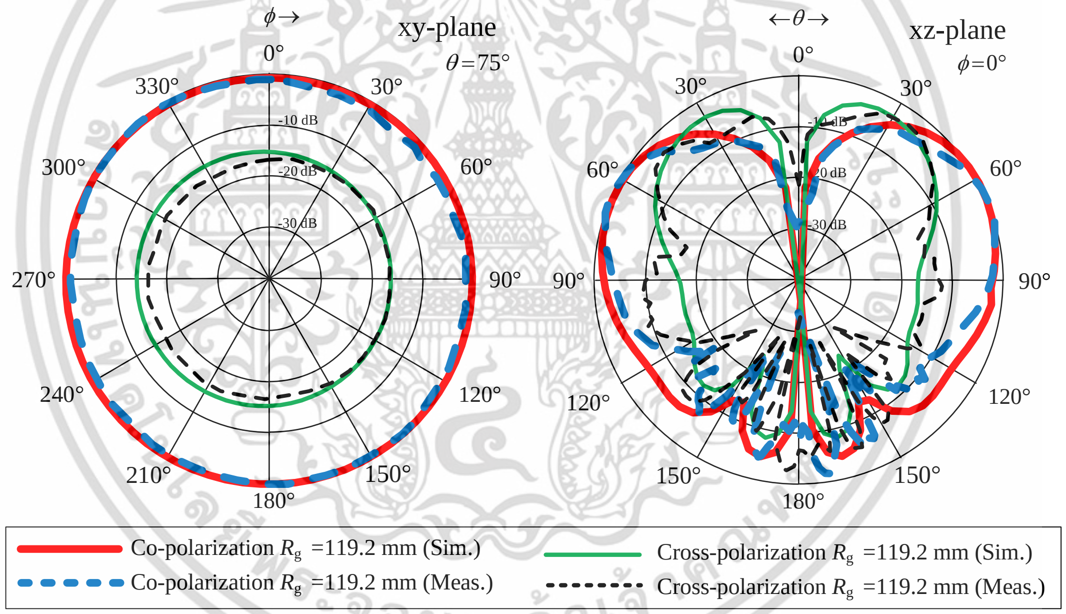


รูปที่ 5.27 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ต้นแบบที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 119.2 mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ผลการจำลองระนาบกราวนด์ R_g ที่ขนาดรัศมี 18.4 mm เปรียบเทียบ 109.0 mm



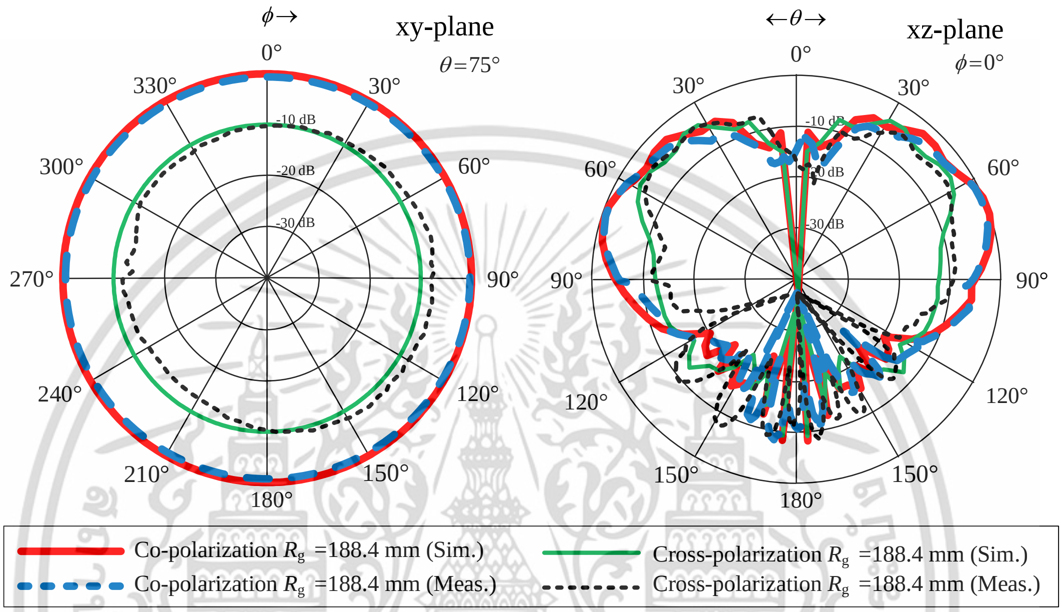
(ข) ผลการจำลองและทดสอบระนาบกราวนด์ R_g ที่ขนาดรัศมี 119.2 mm

รูปที่ 5.28 ผลการจำลองและผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ต้นแบบที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 119.2 mm และ 188.4 mm) ที่ความถี่ 5.5 GHz

จากรูปที่ 5.28 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ต้นแบบที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 119.2 mm และ 188.4 mm) ที่ความถี่ 5.5 GHz จากผลการจำลองและผลทดสอบแสดงให้เห็นว่าสายอากาศที่นำเสนอสามารถแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สังเกตได้จากระนาบ xy-plane ในส่วนระนาบ xz-plane จะเห็นว่าสายอากาศแพร่กระจายคลื่นได้ดีในมุม $\theta = 90^{\circ}$ ที่ R_g = 18.4 mm และเมื่อทำการขยายระนาบกราวนด์เพิ่มขึ้นเป็น R_g = 119.2 mm และ 188.4 mm สายอากาศจะมีลำคลื่นยกขึ้นเล็กน้อยไปที่มุม $\theta = 70^{\circ}$ (ครอบคลุมการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว) ซึ่งค่า XPL ต่ำกว่า -10 dB ในทิศทางลำคลื่นหลัก ทั้งระนาบ xy-plane และ xz-plane จากผลการจำลองเปรียบเทียบกับผลการทดสอบที่ความถี่กลาง 5.5 GHz นั้นที่ R_g ขนาดต่าง ๆ มีผลการจำลองและทดสอบความสอดคล้องกัน

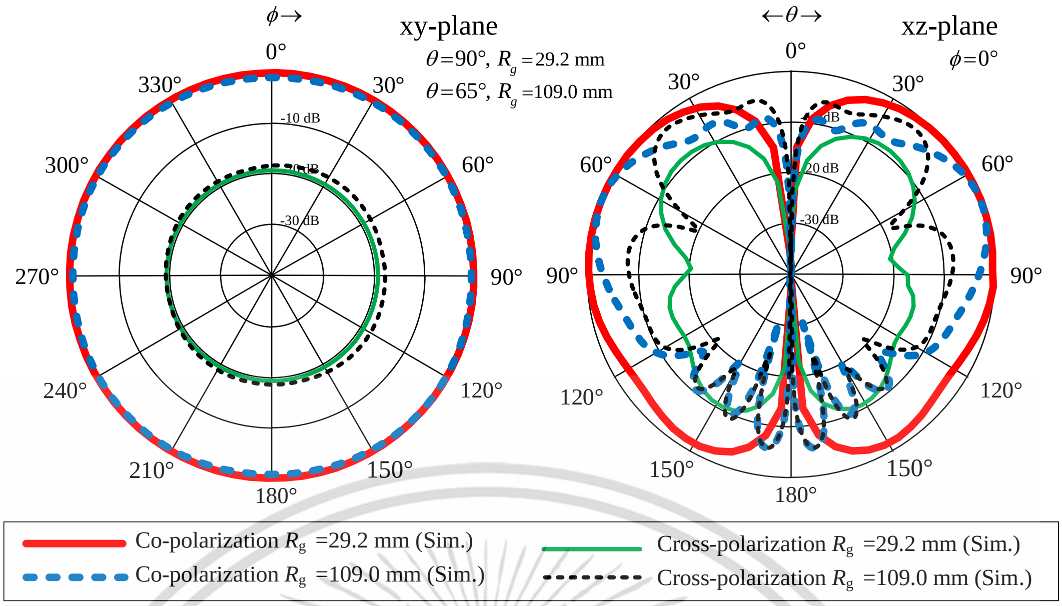


(ค) ผลการจำลองและทดสอบระนาบกราวนด์ R_g ที่ขนาดรัศมี 188.4 mm

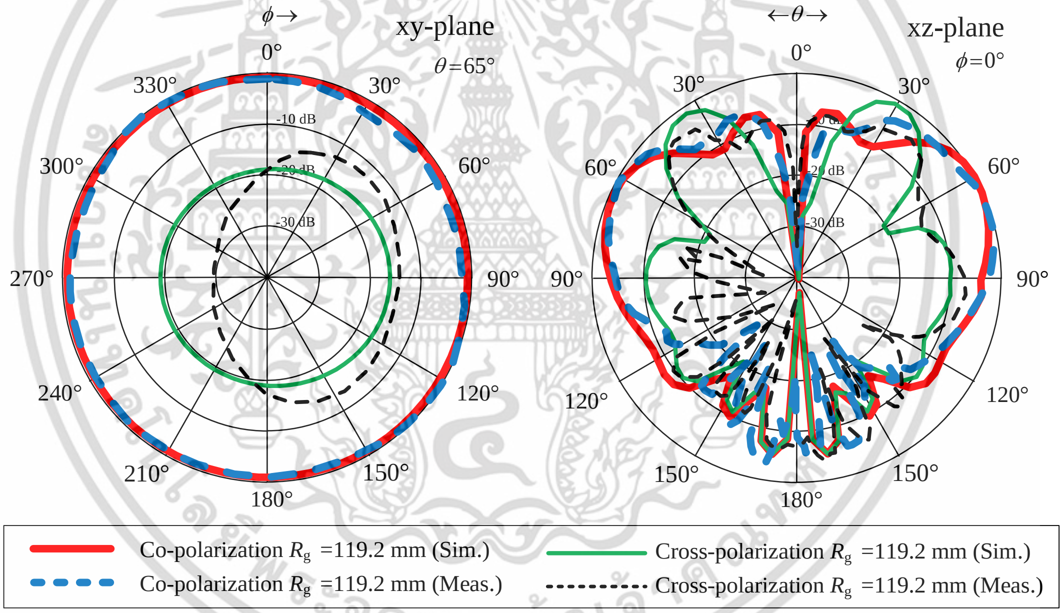
รูปที่ 5.28 ผลการจำลองและผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ต้นแบบที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 119.2 mm และ 188.4 mm) ที่ความถี่ 5.5 GHz (ต่อ)

จากรูปที่ 5.29 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ต้นแบบที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 119.2 mm) ที่ความถี่ 5.5 GHz จากผลการจำลองและผลทดสอบแสดงให้เห็นว่าสายอากาศที่นำเสนอสามารถแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง ซึ่งสังเกตได้จากระนาบ xy-plane ในส่วนระนาบ xz-plane จะเห็นว่าสายอากาศแพร่กระจายคลื่นได้ดีในมุม $\theta = 80^{\circ}$ ที่ R_g = 29.2 mm และเมื่อทำการขยายระนาบกราวนด์เพิ่มขึ้นเป็น R_g = 109.0 mm และ 119.2 mm สายอากาศจะมีลำคลื่นยกขึ้นเล็กน้อยไปที่มุม $\theta = 70^{\circ}$ และ $\theta = 65^{\circ}$ (ครอบคลุมการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว) ตามลำดับ ซึ่งค่า XPL ต่ำกว่า -10 dB ในทิศทางลำคลื่นหลัก ทั้งระนาบ xy-plane และ xz-plane จากผลการจำลองเปรียบเทียบกับผลการทดสอบที่ความถี่กลาง 5.5 GHz นั้นที่ R_g ขนาดต่าง ๆ มีผลการจำลองและทดสอบความสอดคล้องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ผลการจำลองระนาบกราวนด์ R_g ที่ขนาดรัศมี 29.2 mm เปรียบเทียบกับ 109.0 mm



(ข) ผลการจำลองและทดสอบระนาบกราวนด์ R_g ที่ขนาดรัศมี 119.2 mm

รูปที่ 5.29 ผลการจำลองและผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ต้นแบบที่ทำการขยายรัศมีระนาบกราวนด์ (R_g = 119.2 mm) ที่ความถี่ 5.5 GHz

5.4 การเปรียบเทียบสมรรถนะของสายอากาศ

จากตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบสมรรถนะของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) กับงานวิจัยที่มีอยู่ก่อนหน้าในแง่ของค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ อัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์ อัตราขยายสูงสุด ความต้องการใช้บาลันในโครงสร้างสายอากาศ ความเสถียรของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเมื่อติดตั้งบนระนาบกราวนด์ขนาดใหญ่ และขนาดโดยรวมของสายอากาศเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น พบว่าในเอกสารอ้างอิงที่ [1] แม้จะมีอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ และอัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์ที่กว้างกว่า แต่ขนาดของสายอากาศแพตช์โพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางสัญฐานต่ำมีขนาดที่ใหญ่กว่าโครงสร้าง B และ C อย่างมาก

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบสมรรถนะของสายอากาศโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางแบบทั่วไปกับงานวิจัยที่มีมาก่อน

References	$\|S_{11}\|$ bandwidth (%)	AR bandwidth (%)	Maximum gain (dBic)	Center frequency (GHz)	Balun require -ment	Occurrence of non-omnidirectionality when in direct contact with installation base	Overall antenna dimensions
[1]	19.84% 2.27-2.77GHz	17.67% 2.27-2.71 GHz	3.75	2.49 GHz	yes	yes	$1.362\lambda_L \times 1.362\lambda_L \times 0.023\lambda_L$ at 2.27 GHz
[3]	13.17% 2.34-2.67 GHz	10.50% 2.26-2.51 GHz	1.12	2.38 GHz	yes	yes	$0.390\lambda_L \times 0.390\lambda_L \times 0.156\lambda_L$ at 2.34 GHz
[11]	9.00% 2.32-2.54 GHz	11.76% 2.32-2.61 GHz	1.20	2.43 GHz	no	yes	$0.255\lambda_L \times 0.255\lambda_L \times 0.155\lambda_L$ at 2.32 GHz
[12]	4.48% 2.40-2.51 GHz	1.21% 2.46-2.48 GHz	1.90	2.47 GHz	yes	yes	$0.640\lambda_L \times 0.368\lambda_L \times 0.048\lambda_L$ at 2.40 GHz
[13]	24.42% 2.30-2.94 GHz	7.25% 2.39-2.57 GHz	0.91	2.48 GHz	yes	yes	$0.299\lambda_L \times 0.299\lambda_L \times 0.253\lambda_L$ at 2.30 GHz
[14]	10.40% 2.37-2.63 GHz	8.90% 2.36-2.58 GHz	1.56	2.47 GHz	yes	yes	$0.418\lambda_L \times 0.418\lambda_L \times 0.158\lambda_L$ at 2.37 GHz
[23]	9.37% 2.34-2.57 GHz	8.00% 2.40-2.60GHz	2.07	2.48 GHz	yes	yes	$0.407\lambda_L \times 0.407\lambda_L \times 0.438\lambda_L$ at 2.35 GHz
Structure B* (proposed)	**8.08% 5.34-5.79 GHz**	**4.38% 5.36-5.60 GHz**	**1.96**	5.48 GHz	**no**	**no**	$0.655\lambda_L \times 0.655\lambda_L \times 0.363\lambda_L$ at 5.34 GHz
Structure C (proposed)**	**14.37% 5.08-5.89 GHz**	**19.85% 4.90-5.98 GHz**	**2.18**	5.50 GHz	**no**	**no**	$0.982\lambda_L \times 0.982\lambda_L \times 0.333\lambda_L$ at 5.08 GHz

หมายเหตุ: * ในโครงสร้าง B ค่า AR ขั้นต่ำทำได้ที่มุม $(\theta, \phi) = (90°, 0°)$ และระนาบกราวนด์ล่างที่เหมาะสมที่สุด (R_g) = 18.4 mm

** ในโครงสร้าง C ค่า ขั้นต่ำทำได้ที่ $(\theta, \phi) = (90°, 0°)$ และระนาบกราวนด์ล่างที่เหมาะสมที่สุด (R_g) = 29.2 mm

λ_L : คือความยาวคลื่นในสภาวะอากาศว่างที่สอดคล้องกับความถี่การทำงานต่ำสุดของสายอากาศ

นอกจากนี้ ยังจำเป็นต้องใช้บาลัน ซึ่งส่งผลให้สายอากาศมีขนาดใหญ่ อีกข้อด้อยหนึ่งคือมีองค์ประกอบที่แพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางโพลาไรซ์วงกลมอยู่ใต้ระนาบกราว นด์ด้านล่างของโครงสร้างสายอากาศของเอกสารอ้างอิงที่ [1] ดังนั้นสายอากาศจึงมีความไวต่อการติดตั้งฐานที่เป็นสื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำกระแสไฟฟ้า นอกจากนี้ โครงสร้างสายอากาศที่นำเสนอยังมีประโยชน์ในเรื่องการป้อนแบบจุดเดียว แบนด์วิดท์กว้าง และไม่จำเป็นต้องใช้บาลัน โดยพื้นฐานแล้ว การรวมระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ DA-AMC เข้ากับสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (โครงสร้าง C) ช่วยเพิ่มอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ และอัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์ โดยมีค่าอัตราขยายค่อนข้างคงที่ในช่วงความถี่ใช้งาน และมีประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่นสูง ในขณะที่สามารถแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางโพลาไรซ์วงกลม และลดกระแสไฟรั่วบนโครงสร้างสายอากาศที่นำเสนอ

ดังนั้นสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) สำหรับประยุกต์ใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) ย่านความถี่ 5.5 GHz ที่นำเสนอนั้นมีค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ และอัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์เท่ากับ 8.08% (5.34 – 5.79 GHz) และ 4.38% (5.36 – 5.60 GHz) สำหรับโครงสร้าง B ที่ความถี่กลาง 5.5 GHz และมีขนาดเล็ก ($0.655\lambda_L \times 0.655\lambda_L \times 0.363\lambda_L$) เมื่อ λ_L คือ ความยาวคลื่นที่สอดคล้องกับความถี่ใช้งานต่ำสุดของสายอากาศ ทำให้สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) หรือโครงสร้าง B นั้นจึงเหมาะสำหรับสำหรับประยุกต์ใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) ย่านความถี่ 5.5 GHz หรือ 5G ได้

สำหรับสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) หรือ โครงสร้าง C มีค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ และอัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์เท่ากับ 14.37% (5.10 – 5.89 GHz) และ 19.85% (4.90 – 5.98 GHz) ตามลำดับ ที่ความถี่กลาง 5.5 GHz และมีขนาดเล็ก ($0.982\lambda_L \times 0.982\lambda_L \times 0.333\lambda_L$) ทำให้สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) นั้นจึงเหมาะสำหรับสำหรับประยุกต์ใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) ย่านความถี่ 5.5 GHz หรือ 5G ได้

จากตารางที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะของสายอากาศสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางของแต่ละโครงสร้างที่นำเสนอ โดยกำหนดโครงสร้างสายอากาศดังนี้

- สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) : โครงสร้าง A
- สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) : โครงสร้าง B
- สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) : โครงสร้าง C

ซึ่งจากผลการจำลองและทดสอบพบว่าสายอากาศโครงสร้าง B และ C มีความยืดหยุ่นต่อโครงสร้างระนาบกราวนด์ของสายอากาศ มีระดับโพลาไรซ์ไขว้ที่ต่ำกว่าสายอากาศโครงสร้าง A อย่างมาก ในส่วนค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ และอัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์พบว่าสายอากาศโครงสร้าง C มีแบนด์วิดท์ที่กว้างมากที่สุด มีเหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) ย่านความถี่ 5.5 GHz

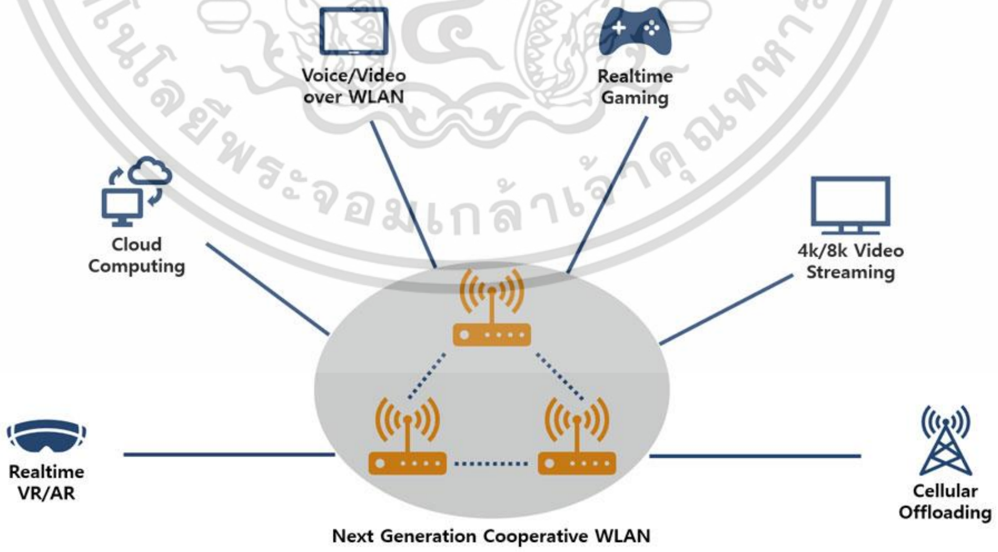
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบสมรรถนะของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางของแต่ละโครงสร้างที่นำเสนอ

Structu-res	$\|S_{11}\|$ bandwidth (%)	ARBW (%)	XPL (dB)		Elevation of θ for min. AR	Gain	R_g Radius for CP
			xy-plane	*xz*-plane			
A	4.68	4.49	-12.70	-12.70	75°	2.49 dBic	0.72 λ_c
B	5.99	4.38	-34.73	-34.57	75°	1.96 dBic	0.34 λ_c – 3.5 λ_c
C	15.77	15.99	-20.36	-20.62	65°	2.18 dBic	0.54 λ_c – 2.15 λ_c

5.5 การประยุกต์ใช้งาน

การสื่อสารเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area Network : WLAN) คือระบบการสื่อสารและส่งผ่านข้อมูลแบบไม่มีสายนำสัญญาณ โดยการส่งสัญญาณและข้อมูลเพื่อทำการแลกเปลี่ยนข้อมูลกันนั้นจะใช้ความถี่วิทยุ (Radio Frequency : RF) และคลื่นอินฟราเรดผ่านอากาศไปยังเครื่องรับสัญญาณโดยตรง โดยคลื่นวิทยุที่ถูกส่งจากเครื่องส่งจะสามารถผ่านทะลุวัตถุที่กีดขวางสัญญาณได้ ทำให้การใช้การสื่อสารเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายสามารถครอบคลุมพื้นที่การใช้งานได้เหมือนกับระบบเครือข่ายที่ใช้สายนำสัญญาณอย่าง LAN (Local Area Network) สำหรับการนำระบบการสื่อสารเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายไปใช้งานในปัจจุบันและอนาคตได้แสดงดังรูปที่ 5.30



รูปที่ 5.30 ระบบการสื่อสารเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย [39]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความท้าทายในการออกแบบสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางเพื่อประยุกต์ใช้งานสำหรับระบบการสื่อสารเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายจึงเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายเพื่อให้สายอากาศที่มีโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางนั้นบรรลุคุณสมบัติต่าง ๆ เช่น สายอากาศสามรถครอบคลุมความถี่ใช้งาน มีแบบรูปการณ์แพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง มีการโพลาไรซ์วงกลม อัตราขยายตามมาตรฐาน อีกทั้งยังต้องสามารถรองรับการใช้งานในการติดตั้งบนฐานระนาบกราวนด์ตัวนำหรือวัสดุอื่น ๆ ได้อีกด้วย เพื่อลดผลกระทบที่เกิดขึ้นเมื่อนำสายอากาศไปใช้งานในสภาวะสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยสามารถออกแบบสายอากาศที่มีโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางที่สามารถใช้งานในการสื่อสารเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายโดยใช้ระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบร่วมกับสายอากาศสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง ซึ่งมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา มีความยืดหยุ่นของระนาบกราวนด์ และลดผลกระทบของสัญญาณเนื่องจากสิ่งแวดล้อม เช่น ตึก ต้นไม้ ยานพาหนะ ดังนั้นสายอากาศที่นำเสนอมีความเหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้งานสำหรับการสื่อสารเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายในยุคสมัยใหม่ได้

5.6 สรุป

ในบทนี้ได้ทำการทดสอบสมรรถนะของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) สำหรับประยุกต์ใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) ย่านความถี่ 5.5 GHz เพื่อยืนยันและเปรียบเทียบระหว่างผลจากการทดสอบและผลการจำลองของสายอากาศที่นำเสนอ โดยทดสอบค่าคุณลักษณะของสายอากาศต้นแบบซึ่งประกอบไปด้วยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน $|S_{11}|$ อัตราส่วนแกน อัตราขยาย ประสิทธิภาพ และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศต้นแบบโดยใช้สายอากาศแบบก้นหอยที่มีคุณลักษณะโพลาไรซ์แบบวงกลมโดยทำการทดสอบทั้งโพลาไรซ์ร่วม (Co-polarization) และโพลาไรซ์ไขว้ (Cross-polarization) จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าสมรรถนะของสายอากาศต้นแบบมีความสอดคล้องกับผลการจำลองและเป็นที่ยอมรับได้ในสากล อีกทั้งได้มีการเปรียบเทียบสมรรถนะของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ต้นแบบกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่มีอยู่ก่อนหน้า พบว่าสายอากาศต้นแบบมีค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ ค่าอัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์ ค่าอัตราขยายที่สูงกว่า และมีความยืดหยุ่นของระนาบกราวนด์ของสายอากาศมากกว่าเมื่อเทียบกับสายอากาศอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยไม่จำเป็นต้องใช้บาลัน ดังนั้นทำให้สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ที่มีการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวโพลาไรซ์วงกลมแถบความถี่กว้างที่นำเสนอนั้นจึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้งานทางด้านการสื่อสารเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายในยุคสมัยใหม่ได้ที่สามารถครอบคลุมย่านความถี่ 5.5 GHz (5.15 GHz – 5.875 GHz)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) สำหรับการสื่อสารเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) ย่านความถี่ 5.5 GHz โดยมีวัตถุประสงค์ในการออกแบบโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางที่ใช้งานร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์เพื่อทำให้สายอากาศสามารถมีความยืดหยุ่นในการออกแบบของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง ที่มีข้อเสียในการออกแบบระนาบกราวนด์ด้านล่างที่ต้องมีขนาดคงที่ตลอดเวลาในการนำไปใช้งานหรือติดตั้ง ทั้งนี้การนำระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์มาใช้ยังช่วยเพิ่มความกว้างช่วงความถี่ของอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ และอัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์ให้มากขึ้น โดยวิทยานิพนธ์นี้ได้ออกแบบพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยงมุม จำนวน 4 องค์ประกอบวางรอบสายอากาศโมโนโพลเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวแปลงโพลาไรซ์เชิงเส้นเป็นโพลาไรซ์วงกลมและใช้งานร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) โดยเริ่มต้นจากการออกแบบสายอากาศโมโนโพลก่อน และพัฒนาโครงสร้างสายอากาศโมโนโพลร่วมกับพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยงมุมจำนวน 4 องค์ประกอบ ซึ่งพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยงมุมจะทำหน้าที่เหนี่ยวนำสนามไฟฟ้าที่มีการโพลาไรซ์เชิงเส้นแนวตั้ง แล้วทำการเปลี่ยนเฟสและแอมพลิจูดของสนามไฟฟ้าที่ได้รับมาจากสายอากาศโมโนโพล ให้สนามไฟฟ้าทั้งในแนวนอนและแนวตั้งมีขนาดแอมพลิจูดเท่ากัน สนามไฟฟ้าในแนวนอนและแนวตั้งมีการตั้งฉากกัน และมีเฟสต่างกัน 90° ทำให้สายอากาศสามารถแพร่กระจายคลื่นรอบตัวโพลาไรซ์วงกลม จากนั้นทำการออกแบบระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ตามลำดับ โดยพิจารณาจากค่าเฟสการสะท้อนแบนด์วิดท์ที่ออกแบบให้ครอบคลุมความถี่ใช้งาน สำหรับระนาบกราวด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว SA-AMC และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ DA-AMC สามารถปรับปรุงอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ ($|S_{11}| \leq -10$ dB) และและอัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์ (AR ≤ 3 dB) ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง ในขณะที่สามารถลดกระแสไฟรั่วไหลบนระนาบกราวด์ด้านล่างและสายป้อนสัญญาณโคแอกเชียล กระแสไฟรั่วที่ลดลงเกิดจากพื้นผิวตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ที่มีค่าอิมพีแดนซ์สูงบนโครงสร้างระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว SA-AMC และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ DA-AMC

จากการออกแบบและทดสอบสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) สำหรับการสื่อสารเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) ย่านความถี่ 5.5 GHz ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้นสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ที่ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) สามารถปรับปรุงอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ที่กว้าง 8.08% (5.34 - 5.79 GHz) และอัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์ 4.38% (5.36 - 5.60 GHz) ในส่วนสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) สามารถปรับปรุงอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ที่กว้าง 14.37% (5.10 - 5.89 GHz) และอัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์ 19.85% (4.90 - 5.98 GHz ตามลำดับ และทั้งนี้สายอากาศยังมีความยืดหยุ่นในการออกแบบของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง พร้อมทั้งลดกระแสรั่วไหลบนโครงสร้างสายอากาศโดยไม่จำเป็นต้องใช้งานบาลัน ซึ่งสมรรถนะของสายอากาศที่นำเสนอนั้นดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางที่ได้รับการตีพิมพ์มาก่อน และความใหม่ของงานวิจัยนี้อยู่ที่การนำโครงสร้างระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบ SA- และ DA-AMC เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นในการออกแบบของระนาบกราวนด์ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางแบบดั้งเดิม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการออกแบบของโครงสร้างตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ (AMC) ทำให้นักพัฒนาสายอากาศสามารถออกแบบสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางได้อย่างยืดหยุ่นในการสร้างสายอากาศ

6.1 สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

ที่มาความสำคัญและความแปลกใหม่ของวิทยานิพนธ์นี้อันเป็นเหตุผลสำคัญสำหรับการออกแบบสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) สำหรับการสื่อสารเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) ย่านความถี่ 5.5 GHz ซึ่งมีการนำระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้กับสายอากาศประเภทสายอากาศโมโนโพลร่วมกับพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยงมุม จำนวน 4 องค์ประกอบที่มีโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว ซึ่งซึ่งความท้าทายในการออกแบบคือการนำระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้เพื่อให้สายอากาศยังมีความยืดหยุ่นในการออกแบบของระนาบกราวนด์สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง พร้อมทั้งลดกระแสรั่วไหลบนโครงสร้างสายอากาศโดยไม่จำเป็นต้องใช้งานบาลัน และยังสามารถปรับปรุงอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกนที่มีแถบความถี่ที่กว้างยิ่งขึ้น เพื่อให้ได้ตามสมรรถนะของสายอากาศที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 1 จากนั้นได้ทำการศึกษารายละเอียดขั้นตอนตลอดจนการวิเคราะห์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศโดยจะนำเสนอในบทต่อไปนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศที่นำเสนอและออกแบบในที่นี้คือ สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) สำหรับการสื่อสารเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) ย่านความถี่ 5.5 GHz ซึ่งกล่าวถึงการออกแบบสายอากาศที่ประกอบไปด้วยสายอากาศโมโนโพล พาราซิติก และกล่าวถึงพื้นผิวอภิวัสดุในรูปแบบต่าง ๆ ในการประยุกต์ใช้ร่วมกับสายอากาศให้มีสมรรถนะตามที่นำเสนอไว้ข้างต้น นอกจากนั้นได้กล่าวถึงการเปรียบเทียบงานวิจัยของสายอากาศโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางที่มีมาก่อนหน้าโดยสายอากาศที่มีโพลาไรซ์วงกลมแต่ละงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นได้นำมาเปรียบเทียบในด้านของการปรับปรุงอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกนวงกลมให้มีแถบความถี่กว้างขึ้น สามารถแพร่กระจายคลื่นได้รอบทิศทาง ซึ่งมีจุดประสงค์บางส่วนที่มีความเกี่ยวข้องกับการทำวิทยานิพนธ์นี้ สำหรับส่วนที่ต่างกันก็คืองานวิจัยที่นำเสนอนี้ได้ให้ความสำคัญกับความยืดหยุ่นในการออกแบบสายอากาศ และมีการศึกษาผลกระทบกระแสรั่วไหลที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างสายอากาศเพิ่มเติม

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบและการจำลองสายอากาศสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับพาราซิติกสี่เหลี่ยมที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยงมุมจำนวน 4 องค์ประกอบเพื่อทำหน้าที่แปลงโพลาไรซ์เชิงเส้นเป็นโพลาไรซ์วงกลมในย่านความถี่ 5.5 GHz โดยอาศัยหลักการจากทฤษฎีของพื้นผิวอภิวัสดุ อีกทั้งทำการจำลองวงจรสมมูลเพื่อเปรียบเทียบและศึกษาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง จากนั้นนำไปออกแบบสายโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ต่อไป

บทที่ 4 กล่าวถึงการออกแบบและการจำลองสายโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) โดยเริ่มจากศึกษาและออกแบบระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) โดยศึกษาจากเฟสการสะท้อนแบนด์วิดท์ เช่นเดียวกันกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) จากนั้นทำการนำสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) ก่อนและศึกษาผลกระทบต่าง ๆ ของพารามิเตอร์ ก่อจะมาศึกษาระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ร่วมกับสายโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางเป็นลำดับถัดมา ซึ่งผลเป็นไปตามจุดมุ่งหมายของการทำงานวิจัยนี้

บทที่ 5 ในบทนี้เพื่อเป็นการพิสูจน์สมรรถนะของสายอากาศที่ได้ทำการออกแบบสายอากาศในบทก่อนหน้านี้จึงทำการทดสอบสมรรถนะต่างๆ ของสายอากาศ จากการสร้างชิ้นงานและทดสอบต้นแบบของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) สำหรับการสื่อสารเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) ย่านความถี่ 5.5 GHz เมื่อทำการเทียบกับสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางแบบทั่วไป ระนาบกราวนด์ของตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) สามารถปรับปรุงอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ ($|S_{11}|\leq$-10 dB) และอัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์ (AR≤3 dB) ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง ในขณะที่ลดกระแสไฟรั่วไหลบนสายนำสัญญาณโคแอกเชียล รัศมีระนาบกราวนด์ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางที่นำเสนอด้วยระนาบกราวนด์ของตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ยังมีขนาดที่เล็กกว่ารัศมีของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางแบบเดิมอย่างมาก นอกจากนี้สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ไม่จำเป็นต้องมีบาลันภายนอก อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ที่ทดสอบและอัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางที่มีระนาบกราวด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) คือ 8.08% (5.34 – 5.79 GHz) และ 4.38% (5.36 – 5.60 GHz) ในขณะที่ของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางที่มีระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) คือ 14.37% (5.10 – 5.89 GHz) และ 19.85% (4.90 – 5.98 GHz) โดยพื้นฐานแล้ว SA- และ DA-AMC จะลดขนาดโดยรวมของสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางอย่างมีประสิทธิภาพในขณะที่ปรับปรุงอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ และอัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์ นอกจากนี้สายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) ยังสามารถติดตั้งบนพื้นผิวประเภทต่างๆ เช่น หลังคารถ ตู้คอนเทนเนอร์ขนส่ง ผนังไม้หรือคอนกรีต โดยมีผลกระทบต่ออิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ และอัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์ และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางน้อยที่สุด

6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางพัฒนา

จากการออกแบบสายอากาศโมโนโพลโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (OCPA) ร่วมกับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนเดี่ยว (SA-AMC) และระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์แบบรูปวงแหวนคู่ (DA-AMC) สำหรับการสื่อสารเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) ย่านความถี่ 5.5 GHz ในด้านการออกแบบสายอากาศโมโนโพลนั้นมีข้อจำกัดอยู่บ้างพอสมควร เช่นอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ที่แคบ ผลกระทบของขนาดรัศมีระนาบกราวนด์ที่ส่งผลต่อแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น และมุมอัตราส่วนแกนของสายอากาศ ดังนั้นในการออกแบบระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ต้องให้มีจำนวนวงรอบและขนาดที่เหมาะสม ซึ่งจำเป็นต้องตรวจสอบเฟสการสะท้อนแบนด์วิดท์ให้ครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานอยู่ตลอดเวลา

สำหรับปัญหาของสายอากาศโมโนโพลที่มีอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ที่แคบแม้จะสามารถแก้ปัญหาด้วยการนำมาประยุกต์ใช้กับระนาบกราวนด์ตัวนำแม่เหล็กประดิษฐ์ที่นำเสนอนั้น อีกทางหนึ่งผู้วิจัยสามารถเพิ่มความกว้างอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ได้โดยการออกแบบสายอากาศโมโนโพลให้มีอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ที่กว้างขึ้นได้โดยอาศัยการเปลี่ยนลักษณะโครงสร้างของโพรบโมโนโพลเป็นรูปแบบอื่น ๆ เช่น รูปกรวย รูปวงรี รูปทรงกลม ก็จะสามารถเพิ่มความกว้างอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ได้เช่นกัน

ในส่วนของการทดสอบพบว่าค่าอัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์มีค่าความกว้างของช่วงความถี่มากกว่าผลการจำลองในย่านความถี่ต่ำเล็กน้อย ทำให้การอัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์ที่แพร่กระจายคลื่นของสายอากาศนั้นกว้างขึ้นตามไปด้วย แต่ส่งผลต่อค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ในขอบของด้านความถี่สูงด้วย อันเนื่องมาจากการสร้างชิ้นงานจริงนั้นได้ทำการติดตั้งพาราซิติกของสายอากาศกับโฟมซึ่งอาจมีขนาดรัศมีระยะห่างของพาราซิติกทั้ง 4 องค์ประกอบ คลาดเคลื่อนไปบ้าง ในส่วนของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศระหว่างผลจากการจำลองและการทดสอบนั้นมีผลลัพธ์ไปในทิศทางเดียวกัน แต่ว่าในอนาคตหากมีการออกแบบพาราซิติกอีกครั้งควรมีแนวทางพัฒนาคือการสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นงานโดยการเลือกใช้วัสดุฐานรองที่สามารถกัดลายทองแดงในลักษณะต่าง ๆ ได้ เพื่อทำให้สายอากาศมีข้อจำกัดในเรื่องของโครงสร้าง และความยุ่งยากในวิธีการสร้างน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Y. M. Pan, S. Y. Zheng, and B. J. Hu, "Wideband and Low-Profile Omnidirectional Circularly Polarized Patch Antenna," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 62, no. 8, pp. 4347-4351, Aug. 2014.

[2] Y. M. Pan, and K. W. Leung, "Wideband Omnidirectional Circularly Polarized Dielectric Resonator Antenna with Parasitic Strips," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 60, no. 6, pp. 2992-2997, June 2012.

[3] W. W. Li, and K. W. Leung, "Omnidirectional Circularly Polarized Dielectric Resonator Antenna with Top-Loaded Alford Loop for Pattern Diversity Design," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 61, no. 8, pp. 4246-4256, Aug. 2013.

[4] B. Li, and Q. Xue, "Polarization-Reconfigurable Omnidirectional Antenna Combining Dipole and Loop Radiators," IEEE Antennas Wireless Propag. Lett., vol. 12, pp. 1102-1105, 2013.

[5] Y. Shi and J. Liu, "Wideband and Low-Profile Omnidirectional Circularly Polarized Antenna with Slits and Shorting-Vias," IEEE Antennas Wireless Propag. Lett., vol. 15, pp. 686-689, 2016.

[6] Y.-M. Cai, S. Gao, Y. Yin, W. Li, and Q. Luo, "Compact-Size Low-Profile Wideband Circularly Polarized Omnidirectional Patch Antenna with Reconfigurable Polarizations," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 64, no. 5, pp. 2016-2021, May 2016.

[7] Y. Yu, Z. Shen, and S. He, "Compact Omnidirectional Antenna of Circular Polarization," IEEE Antennas Wireless Propag. Lett., vol. 11, pp. 1466-1469, 2012.

[8] D. Yu, S.-X. Gong, Y.-T. Wan, Y.-L. Yao, Y.-X. Xu, and F.-W. Wang, "Wideband Omnidirectional Circularly Polarized Patch Antenna Based on Vortex Slots and Shorting Vias," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 62, no. 8, pp. 3970-3977, May 2014.

[9] X. L. Quan, R. L. Li, and M. M. Tentzeris, "A Broadband Omnidirectional Circularly Polarized Antenna," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 61, no. 5, pp. 2363-2370, May 2013.

[10] B. Yektakhah, and K. Sarabandi, "A Wideband Circularly Polarized Omnidirectional Antenna Based on Excitation of Two Orthogonal Circular TE21 Modes," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 65, no. 8, pp. 3877-3888, Aug. 2017.

[11] Y. Yu, J. Xiong, and H. Li, "Compact Omni-Directional Circularly Polarised Antenna Utilising Bended Dipoles and Integrated Baluns," IET Microwaves, Antennas & Propag., vol. 11, no. 10, pp. 1409–1414, July 2017.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[12] A. Narbudowicz, X. Bao, M. Ammann, H. Shakhtour, and D. Heberling, “Circularly Polarized Antenna with Steerable Dipole Like Radiation Pattern,” IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 62, no. 2, pp. 519–526, Feb. 2014.

[13] Y. M. Pan, K. W. Leung, and K. Lu, “Omnidirectional Linearly and Circularly Polarized Rectangular Dielectric Resonator Antennas,” IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 60, no. 2, pp. 751–759, Feb. 2012.

[14] W. Li, K. W. Leung, and N. Yang, “Omnidirectional Dielectric Resonator Antenna with a Planar Feed for Circular Polarization Diversity Design,” IEEE Trans. Antennas Propag, vol. 66, no. 3, pp. 1189–1197, Mar. 2018.

[15] K. Lertsakwimarn, C. Phongcharoenpanich and T. Fukusako, “Design of Circularly Polarized and Electrically Small Antenna with Omnidirectional Radiation Pattern,” IEICE Trans. Commun., vol. E97-B, 12, pp. 2739-2746, Dec. 2014.

[16] J. Wu, S. Yang, Y. Chen, S. Qu, and Z. Nie, “A Low Profile Dual-Polarized Wideband Omnidirectional Antenna Based on AMC Reflector,” IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 65, no. 1, pp. 368-374, Jan. 2017.

[17] Q. X. Chu, M. Ye, and X. R. Li, “A Low-Profile Omnidirectional Circularly Polarized Antenna Using Planar Sector-Shaped Endfire Elements,” IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 65, no. 5, pp. 2240-2247, May 2017.

[18] J. Wu, and K. Sarabandi, “Compact Omnidirectional Circularly Polarized Antenna,” IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 65, no. 4, pp. 1550-1557, Apr. 2017.

[19] L. Peng, K. Sun, X. Jiang, S. M. Li, and C. L. Ruan, “EZR-MZR Resonators for Compact Low-Profile Omnidirectional Circular-Polarized Antenna Design,” IEEE Photonics Journal., vol. 9, no. 4, Aug. 2017.

[20] W. Q. Cao, “Compact Dual-Band Dual-Mode Circular Patch Antenna with Broadband Unidirectional Linearly Polarised and Omnidirectional Circularly Polarised Characteristics,” IET Microwaves, Antennas & Propag., vol. 10, Iss. 2, pp. 223–229, Sep. 2015.

[21] B. Zhou, J. Geng, X. Bai, L. Duan, X. Liang, and R. Jin, “An Omnidirectional Circularly Polarized Slot Array Antenna with High Gain in a Wide Bandwidth,” IEEE Antennas Wireless Propag. Lett., vol. 14, pp. 666-669, 2015.

[22] S. Karki, M. Sabbadini, K. Alkhalifeh, and C. Craeye, “Metallic Monopole Parasitic Antenna with Circularly Polarized Conical Patterns,” IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 67, no. 8, pp. 5243-5252, Aug. 2019.

[23] P. Dangkham, S. Dentri, C. Phongcharoenpanich, and P. Akkaraekthalin, “Circularly Polarized Omnidirectional Antenna with Dipole Core and Diagonally Adjoined Parasitic Braces for ISM Band Applications,” International Journal of Antennas and Propag., vol. 2019, Article ID 2463871, 11 pages, 2019.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[24] D. Feng, H. Zhai, L. Xi, S. Yang, K. Zhang, and D. Yang, "A Broadband Low-Profile Circular-Polarized Antenna on an AMC Reflector," IEEE Antennas Wireless Propag. Lett., vol. 16, pp. 2840-2843, 2017.

[25] A. Jafargholi, M. Kamyab, and M. Veysi, "Artificial Magnetic Conductor Loaded Monopole Antenna," IEEE Antennas Wireless Propag. Lett., vol. 9, pp. 211-214, 2010.

[26] A. Foroozesh, and L. Shafai, "Investigation into the Application of Artificial Magnetic Conductors to Bandwidth Broadening, Gain Enhancement and Beam Shaping of Low Profile and Conventional Monopole Antennas," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 59, no. 1, pp. 4-20, Jan. 2011.

[27] H. H. Tran, and I. Park, "A Dual-Wideband Circularly Polarized Antenna Using an Artificial Magnetic Conductor," IEEE Antennas Wireless Propag. Lett., vol. 15, pp. 950-953, 2016.

[28] W. Lin, S. L. Chen, R. W. Ziolkowski, and Y. J. Guo, "Reconfigurable, Wideband, Low-Profile, Circularly Polarized Antenna and Array Enabled by an Artificial Magnetic Conductor Ground," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 66, no. 3, pp. 1564-1569, Mar. 2018.

[29] J. Sarrazin, A. C. Lepage, and X. Begaud, "Circular High-Impedance Surfaces Characterization," IEEE Antennas Wireless Propag. Lett., vol. 11, pp. 260-263, 2012.

[30] M. A. Amiri, C. A. Balanis, C. R. Birtcher, and G. C. Barber, "Curvilinear Antennas Above a Spherical HIS," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 68, no. 10, pp. 7208-7213, Oct. 2020.

[31] M. Tanabe, and H. Nakano, "Low-Profile Wideband Spiral Antenna with a Circular HIS Reflector Composed of Homogenous Fan-Shaped Patch Elements," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 68, no. 10, pp. 7219-7222, Oct. 2020.

[32] J. Zhang, S. Yan and G. A. E. Vandenbosch, "A Multistandard Antenna Based on a 2-D CRLH-TL in Polar Coordinates," IEEE Antennas Wireless Propag. Lett., vol. 20, 3, pp.332-336, Mar. 2021

[33] C. A. Balanis, Antenna Theory: Analysis and Design 3rd ed. Hoboken, NJ: John Wiley, 2005.

[34] A. Chen, Y. Zhang, Z. Chen, and S. Cao, "A Ka-Band High-Gain Circularly Polarized Microstrip Antenna Array," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 9, pp. 1115-1118, 2010.

[35] Yufeng Wang, Circularly Polarized Antenna Technology, De Gruyter, 2020.

[36] N. Engheta and R. W. Ziolkowski, in Metamaterials Physics and Engineering Explorations, John Wiley and Sons, 2006

[37] Fan Yang and Yahya Rahmat-Samii, Electromagnetic Band Gap Structures in Antenna Engineering, Cambridge University Press, 2010.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[38] Ben A. Munk, Frequency Selective Surfaces: Theory and Design, John Wiley, and Sons, 2000.

[39] WILUS group. “WLAN Standard” [Online]. Available: https://wilusgroup.com/wlan. 2023.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล : พิสิษฐ์ จันแปงเงิน
วันเดือนปีเกิด : 3 ตุลาคม พ.ศ. 2534
ที่อยู่ : 40 หมู่ที่ 1 บ้านแม่หีด ตำบลวังแก้ว อำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง 52140
ประวัติการศึกษา : พ.ศ. 2558
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโทรคมนาคม)
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
: พ.ศ. 2560
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโทรคมนาคม)
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน : สายอากาศโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นสองทิศทาง
สายอากาศโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง
: สายอากาศโพลาไรซ์วงกลมแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง โดยใช้พื้นผิวอภิวัสดุ
: เชี่ยวชาญการใช้โปรแกรมจำลองคุณลักษณะของสายอากาศ CST
: เชี่ยวชาญการใช้เครื่องมือทดสอบคุณลักษณะทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

วารสารที่ได้รับการตีพิมพ์และเผยแพร่

[1] **P. Janpangngern**, D. Torrungrueng, M. Krairiksh, and C. Phongcharoenpanich, "Dual-Band Circularly Polarized Omni-Directional Biconical Antenna with Double-Circular Parallelepiped Elements for WLAN Applications," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 31970-31980, 2022.

[2] **P. Janpangngern**, R. Kuse, C. Phongcharoenpanich, and T. Fukusako, "Omnidirectional Circularly Polarized Monopole Antennas on Artificial Magnetic Conductor Ground Plane," *IEEE Access*, vol. xx, pp. xxxxx-xxxx, 2023. (Peer review).

[3] N. Supreeyatitikul, **P. Janpangngern**, T. Lertwiriyaprapa, M. Krairiksh, and C. Phongcharoenpanich, "CMA-Based Quadruple-Cluster Leaf-Shaped Metasurface-Based Wideband Circularly - Polarized Stacked-Patch Antenna Array for Sub-6 GHz 5G Applications," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 14511-14523, 2023.

[4] B. Luadang, R. Pukraksa, **P. Janpangngern**, K. Pookkapund, S. Dentri, S. Kosulvit and C. Phongcharoenpanich, "Portable Wideband Directional Antenna Scheme with Semicircular Corrugated Reflector for Digital Television Reception," *Sensors*, vol. 22, https://doi.org/10.3390/s22145338, 2022.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์และเผยแพร่

[1] **P. Janpangngern** and C. Phongcharoenpanich, "Circularly polarized single-fed wide-slot antenna for UHF RFID reader," *2017 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP)*, DOI: 10.1109/ISANP.2017.8228870, Oct. 2017.

[2] **P. Janpangngern** and C. Phongcharoenpanich, "Unidirectional suspended fractal antenna for SHF RFID reader," *2017 14th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, DOI: 10.1109/ECTICon.2017.8096329, June 2017.

[3] P. Wounchoum, **P. Janpangngern,** K. Pookkapund, and C. Phongcharoenpanich, "A rectangular patch rectifying antenna array for wireless power transmission applications," *2017 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP)*, DOI: 10.1109/ISANP.2017.8229047, Oct. 2017.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้