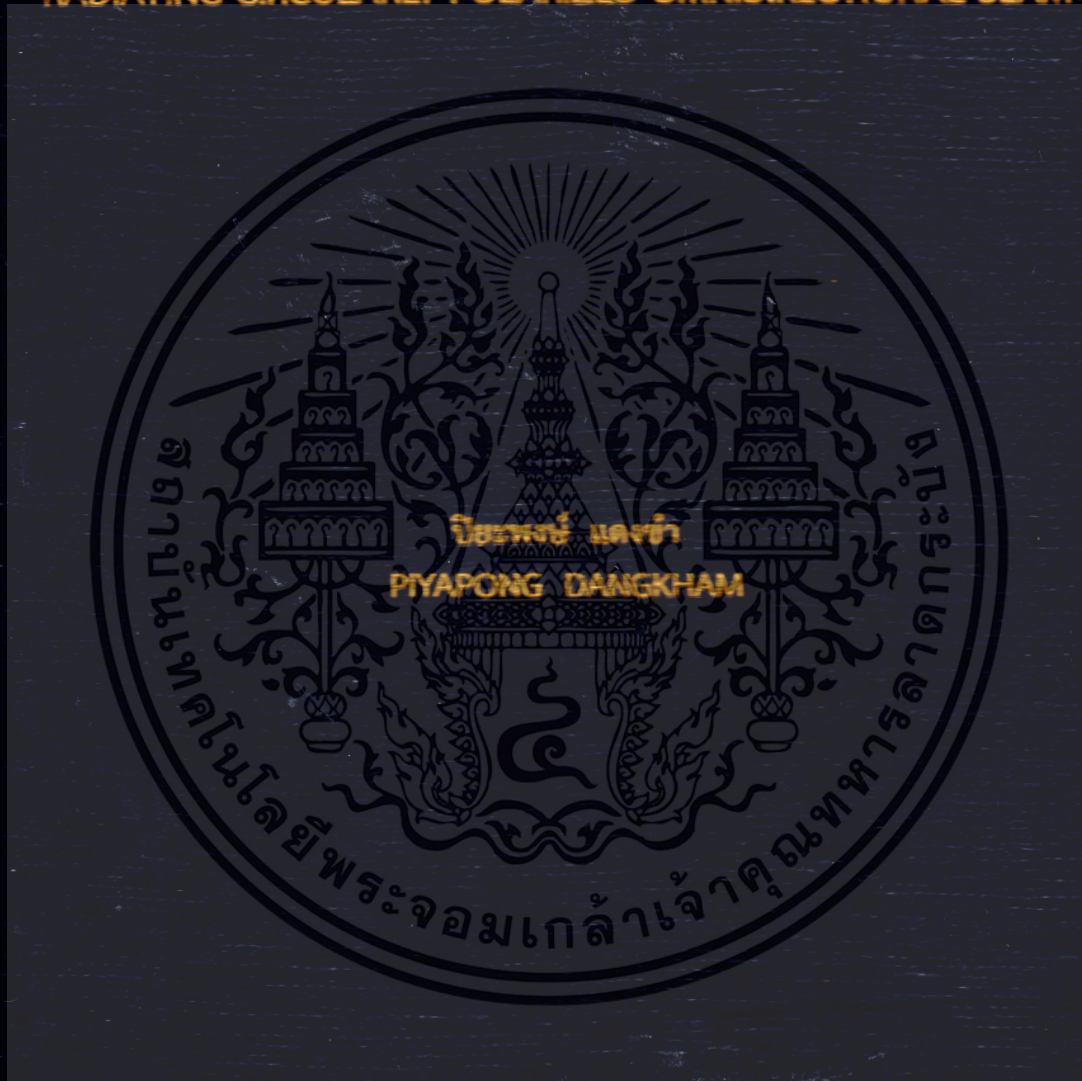


สายอากาศไดโพลร่วมกับแผ่นพาราซิติคเชื่อมแนวทแยงมุม  
แพร่กระจายคลื่นรอบตัวโพลาริซวงกลม

DIPOLE ANTENNA WITH DIAGONALLY ADJOINED PARASITIC BRACES  
RADIATING CIRCULARLY POLARIZED OMNIDIRECTIONAL BEAM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

KMITL-2019-EN-D-018-050

สายอากาศไดโพลร่วมกับแผ่นพาราซิติคเชื่อมแนวทแยงมุม  
แพร่กระจายคลื่นรอบตัวโพลาริซ์วงกลม

DIPOLE ANTENNA WITH DIAGONALLY ADJOINED PARASITIC BRACES  
RADIATING CIRCULARLY POLARIZED OMNIDIRECTIONAL BEAM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

KMITL-2019-EN-D-018-050

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIPOLE ANTENNA WITH DIAGONALLY ADJOINED PARASITIC BRACES  
RADIATING CIRCULARLY POLARIZED OMNIDIRECTIONAL BEAM



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
DOCTOR OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2019  
KMITL-2019-EN-D-018-050

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2019

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สายอากาศไดโพลร่วมกับแผ่นพาราซีติกเชื่อมแนวทแยงมุม แพร่กระจายคลื่นรอบตัวโพลาริซวงกลม
นักศึกษา	ปิยะพงษ์ แดงขำ
รหัส	56601016
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ชวรงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอสายอากาศไดโพลร่วมกับแผ่นพาราซีติกเชื่อมแนวทแยงมุมแพร่กระจายคลื่นรอบตัวโพลาริซวงกลมสำหรับการประยุกต์ใช้งานในย่านความถี่ไอเอสเอ็ม สายอากาศที่นำเสนอประกอบไปด้วย 3 ส่วนคือ แกนไดโพล บาลัน และแผ่นพาราซีติกเชื่อมแนวทแยงมุม โดยแกนไดโพลเป็นส่วนที่ทำให้สายอากาศมีอัตราขยายที่ดีขึ้นและมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นรอบตัว บาลันเป็นส่วนประกอบที่ช่วยในการทำให้กระแสที่ไหลบนแกนไดโพลมีความสมดุล แผ่นพาราซีติกเชื่อมแนวทแยงมุมจะเพิ่มรอบแกนไดโพล โดยใช้ทั้งหมด 4 ชุด เป็นส่วนที่เหนี่ยวนำทำให้เกิดโพลาริซวงกลม ในการศึกษาผลกระทบพารามิเตอร์จะใช้โปรแกรมซีเอสที ไมโครเวฟ สตูดิโอ ในการจำลอง และได้สร้างสายอากาศต้นแบบเพื่อทำการทดสอบ ผลทดสอบสายอากาศต้นแบบพบว่า สายอากาศมีแบนด์วิดธ์ครอบคลุม 2.35-2.57 GHz คิดเป็น 8.94% มีอัตราส่วนแบนด์วิดธ์เมื่อพิจารณาที่ค่าน้อยกว่า 3 dB ครอบคลุม 2.40-2.60 GHz คิดเป็น 8.00% มีอัตราขยาย 2.07 dBic และมีความกว้างลำคลื่นอัตราส่วนแบนด์วิดธ์เมื่อพิจารณาที่ค่าน้อยกว่า 3 dB เป็น 65 องศา สายอากาศไดโพลร่วมกับแผ่นพาราซีติกเชื่อมแนวทแยงมุมแพร่กระจายคลื่นรอบตัวโพลาริซวงกลมที่นำเสนอสามารถนำไปใช้งานประยุกต์ในย่านความถี่ไอเอสเอ็ม 2.4 – 2.484 GHz ได้

<b>Thesis Title</b>	Dipole Antenna with Diagonally Adjoined Parasitic Braces Radiating Circularly Polarized Omnidirectional Beam
<b>Student</b>	Piyapong Dangkhom
<b>Student ID.</b>	56601016
<b>Degree</b>	Doctor of Engineering
<b>Program</b>	Electrical Engineering
<b>Year</b>	2019
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc.Prof.Dr.Chuwong Phongcharoenpanich

## Abstract

This research proposes a radiating circularly polarized omnidirectional beam antenna operable in 2.45 GHz frequency for the industrial, scientific, and medical (ISM) radio band applications. The proposed antenna consisted of bisectional dipole core, a pair of quarter-wave baluns, and four diagonally adjoined parasitic braces. The bisectional dipole core was utilized to enhance the antenna gain and realize omnidirectional radiation pattern, and the quarter-wave baluns were to symmetrize the current on the bisectional core. The four parasitic braces were incorporated to induce circular polarization. In the study, simulations were conducted using CST Microwave Studio and a prototype antenna fabricated. The measured  $|S_{11}|$  bandwidth, 3-dB AR bandwidth, gain, and 3-dB AR beamwidth in x-z plane were 2.35-2.57 GHz (8.94%), 2.40-2.60 GHz (8.00%), 2.07 dBic, and 65 degree. In essence, the proposed radiating circularly polarized omnidirectional beam antenna could achieve a high antenna gain and is suited to ISM 2.4 – 2.484 GHz frequency band applications.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยดี เพราะคำชี้แนะที่เป็นประโยชน์ในการศึกษาและวิจัยจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์ ซึ่งเป็นผู้ที่ให้ความช่วยเหลือช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า ขอขอบคุณ ดร.สิทธิชัย เต็นตรี ผู้ให้คำแนะนำในการออกแบบสายอากาศ และแนวทางในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณสมาชิกในห้องปฏิบัติการสื่อสารไร้สายทุกท่าน โดยเฉพาะน้องอานนท์ สกลคณาพงษ์ น้องคณศ พุกกะพันธ์ น้องพิสิษฐ์ จันแปงเงิน และน้องวรารัศมิ์ ไชยหงษา ที่ให้การแนะนำเรื่องต่างๆ และช่วยเหลือในการทดสอบสายอากาศ

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณครอบครัวของข้าพเจ้า ทั้งพ่อ แม่ พี่สาว และพี่ชาย ที่คอยสนับสนุนอยู่เบื้องหลัง และคอยเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้าเสมอ

ปิยะพงษ์ แดงขำ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูปภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 การใช้งานความถี่ย่านไอเอสเอ็มที่ 2.45 GHz สำหรับประเทศไทย.....	1
1.2 ข้อดีของสายอากาศแพร่กระจายคลื่นรอบตัวโพลาริซวงกลม.....	2
1.3 ความเป็นมาและวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	3
1.4 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	6
2.1 ความถี่ย่านไอเอสเอ็ม.....	6
2.2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นและโพลาริซ.....	8
2.2.1 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น.....	8
2.2.2 โพลาริซ.....	10
2.3 สายอากาศไดโพล.....	13
2.4 เทคนิคสำหรับโพลาริซวงกลม.....	16
2.5 งานวิจัยที่มีมาก่อน.....	19
2.6 สรุป.....	29
บทที่ 3 สายอากาศไดโพลและพาราซิติค.....	30
3.1 สายอากาศไดโพลร่วมกับแผ่นพาราซิติค.....	30
3.2 การกระจายกระแสเชิงพื้นผิวบนแผ่นพาราซิติค.....	36
3.3 สายอากาศไดโพลร่วมกับแผ่นพาราซิติคโค้ง.....	40
3.4 สรุป.....	42

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 สายอากาศไดโพลร่วมกับแผ่นพาราซิติคเชื่อมแนวทแยงมุม.....	43
4.1 การออกแบบสายอากาศไดโพลร่วมกับแผ่นพาราซิติคเชื่อมแนวทแยงมุม .....	43
4.2 การศึกษาผลกระทบจากพารามิเตอร์ของสายอากาศ.....	44
4.2.1 ความยาวแกนไดโพล .....	44
4.2.2 ระยะห่างระหว่างแกนไดโพล.....	46
4.2.3 รัศมีแกนไดโพล .....	48
4.2.4 ความกว้างแผ่นพาราซิติค .....	50
4.2.5 ความสูงแผ่นพาราซิติค.....	52
4.2.6 ระยะห่างระหว่างแผ่นพาราซิติคกับจุดกึ่งกลางแกน .....	54
4.3 การกระจายกระแสเชิงพื้นผิวบนแผ่นพาราซิติค.....	56
4.4 สรุป .....	59
บทที่ 5 การทดสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของสายอากาศไดโพล ร่วมกับแผ่นพาราซิติคเชื่อมแนวทแยงมุม .....	60
5.1 สายอากาศต้นแบบ.....	60
5.2 การทดสอบสายอากาศต้นแบบ .....	61
5.2.1 การทดสอบ $ S_{11} $ .....	62
5.2.2 การทดสอบอัตราส่วนแกน .....	63
5.2.3 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น.....	65
5.2.4 การทดสอบอัตราขยาย.....	65
5.3 การคำนวณระยะทางการติดต่อสื่อสารกับแท่งในระบบอาร์เอฟไอดีย่านไมโครเวฟ ...	67
5.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสายอากาศที่นำเสนอ.....	67
5.5 สรุป .....	68
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	69
6.1 สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	69
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา.....	71

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง .....	72
ประวัติผู้เขียน .....	75



# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การแบ่งความถี่ในย่านไอเอสเอ็ม .....	7
2.2 การป้อนสัญญาณด้วยมุมต่างๆ สำหรับโพลาริซวงกลม .....	18
2.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสายอากาศ .....	28
3.1 อัตราส่วนแกนของโครงสร้างสายอากาศที่มีการตัดมุมแผ่นพาราซีติกแนวทแยงขนาดต่างๆ	35
5.1 ขนาดของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศต้นแบบ .....	61
5.2 คุณลักษณะของสายอากาศต้นแบบ .....	66
5.3 การคำนวณระยะอ่านสูงสุดที่ความถี่ 2.45 GHz .....	67
5.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสายอากาศที่นำเสนอ .....	68



# สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
1.1	การใช้งานระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุของระบบคลังสินค้า..... 4
2.1	เขตภูมิภาคในการกำหนดคลื่นความถี่..... 6
2.2	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ..... 8
2.3	ส่วนประกอบของลำคลื่นสายอากาศ..... 9
2.4	ประเภทโพลาริซของสายอากาศ..... 11
2.5	แกนหลักและแกนรองของโพลาริซ..... 12
2.6	แบบรูปสำหรับไดโพลพอมที่มีการกระจายกระแสเมื่อมีความยาวที่ต่างกัน..... 14
2.7	แบบรูปเชิงขนาดสำหรับไดโพลพอม เมื่อความยาวสายอากาศเป็น $1.25\lambda$ ..... 15
2.8	การกระจายของกระแสตามแนวยาวของสายอากาศแบบเส้นลวด..... 15
2.9	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสามมิติของสายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่น..... 16
2.10	การเปลี่ยนวิธีการป้อนสัญญาณเพื่อให้เกิดโพลาริซวงกลมสำหรับแผ่นระนาบสี่เหลี่ยม.. 16
2.11	การเปลี่ยนวิธีการป้อนสัญญาณเพื่อให้เกิดโพลาริซวงกลมสำหรับแผ่นระนาบวงกลม.... 17
2.12	การเปลี่ยนแปลงแผ่นระนาบเพื่อสร้างโพลาริซวงกลม..... 18
2.13	สายอากาศโพลาริซวงกลมที่สร้างจากสายอากาศไดโพล..... 19
2.14	สายอากาศแพตช์แบบอาร์เรย์วงกลมและแพตช์ช่องเปิดรูปตัวยู..... 20
2.15	สายอากาศแพตช์แบบอาร์เรย์..... 21
2.16	สายอากาศแพตช์วงกลมแบนด์กว้าง..... 22
2.17	สายอากาศโพลาริซวงกลมที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคล้ายกับไดโพล..... 23
2.18	สายอากาศโพลาริซวงกลมด้วยไดโพลโค้ง..... 24
2.19	สายอากาศโพลาริซวงกลมแบนด์กว้าง..... 25
2.20	สายอากาศโพลาริซวงกลม..... 26
2.21	สายอากาศ DRA..... 27
2.22	สายอากาศที่ใช้ส่วนประกอบเป็นสามมิติ..... 28
3.1	การออกแบบสายอากาศไดโพลร่วมกับแผ่นพาราซีติก..... 31
3.2	การเปรียบเทียบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ระหว่างโครงสร้างสายอากาศที่ไม่มีและมีแผ่นพาราซีติก..... 31

## สารบัญรูปลูกภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.3 การเปรียบเทียบอัตราส่วนแกนระหว่างโครงสร้างสายอากาศที่ไม่มีและมีแผ่นพาราซีติก	32
3.4 การปรับปรุงแผ่นพาราซีติกด้วยการตัดมุมทั้งสองด้านแนวทแยง.....	33
3.5 การเปรียบเทียบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ระหว่างโครงสร้างสายอากาศที่มีการตัดมุมแผ่นพาราซีติกแนวทแยงขนาดต่างๆ.....	34
3.6 การเปรียบเทียบอัตราส่วนแกนระหว่างโครงสร้างสายอากาศ ที่มีการตัดมุมแผ่นพาราซีติกแนวทแยงขนาดต่างๆ.....	35
3.7 ผลการจำลองการกระจายกระแสที่ไหลบนแผ่นพาราซีติก .....	37
3.8 ผลการจำลองการกระจายกระแสที่ไหลบนแผ่นพาราซีติก ในขณะที่การกระจายกระแสบนไดโพลมีขนาดสูงสุดทิศทางด้านล่าง .....	38
3.9 ผลการจำลองการกระจายกระแสที่ไหลบนแผ่นพาราซีติก ในขณะที่การกระจายกระแสบนไดโพลมีขนาดสูงสุดทิศทางด้านบน .....	39
3.10 การออกแบบสายอากาศไดโพลร่วมกับแผ่นพาราซีติกโค้ง.....	40
3.11 การเปรียบเทียบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ระหว่างโครงสร้างสายอากาศแผ่นพาราซีติกแบบตรงและแบบโค้ง .....	41
3.12 การเปรียบเทียบอัตราส่วนแกน ระหว่างโครงสร้างสายอากาศแผ่นพาราซีติกแบบตรงและแบบโค้ง .....	41
4.1 โครงสร้างสายอากาศที่นำเสนอ .....	44
4.2 ผลของความยาวแกนไดโพล ( $L$ ) ต่อประสิทธิภาพสายอากาศ .....	45
4.3 ผลของระยะห่างระหว่างแกนไดโพล ( $d$ ) ต่อประสิทธิภาพสายอากาศ.....	47
4.4 ผลของรัศมีแกนไดโพล ( $r_d$ ) ต่อประสิทธิภาพสายอากาศ.....	49
4.5 ผลของความกว้างแผ่นพาราซีติก ( $W$ ) ต่อประสิทธิภาพสายอากาศ.....	51
4.6 ผลของความสูงแผ่นพาราซีติก ( $H$ ) ต่อประสิทธิภาพสายอากาศ.....	53
4.7 ผลของระยะห่างระหว่างแผ่นพาราซีติกกับจุดกึ่งกลางแกน ( $r_p$ ) ต่อประสิทธิภาพสายอากาศ.....	55
4.8 ผลการจำลองการกระจายกระแสที่ไหลบนแผ่นพาราซีติก เมื่อเวลาต่างกัน.....	57

## สารบัญรูปร่างภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 ผลการจำลองการกระจายกระแสที่ไหลบนแผ่นพาราซิติค ในขณะที่การกระจายกระแสบนไดโพลมีขนาดสูงสุดในทิศทางต่างๆ.....	58
5.1 สายอากาศต้นแบบ.....	60
5.2 อุปกรณ์ในการทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศต้นแบบ.....	61
5.3 ผลการจำลองและผลทดสอบ $ S_{11} $ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่.....	63
5.4 ผลการจำลองและผลทดสอบอัตราส่วนแกน.....	64
5.5 ผลการจำลองและผลทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น.....	65
5.6 ผลการจำลองและผลทดสอบอัตราขยาย.....	66



# บทที่ 1

## บทนำ

การสื่อสารไร้สายเป็นรูปแบบการให้บริการในระบบโทรคมนาคมที่เป็นการถ่ายโอนข้อมูลโดยไม่ต้องใช้สาย ซึ่งข้อมูลจะถูกถ่ายโอนได้ทั้งในระยะทางสั้นและระยะทางไกล ระบบการสื่อสารไร้สายจะใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งจะมีข้อบ่งชี้ในการใช้ความถี่แตกต่างกันไปตามการประยุกต์ และกลุ่มประเทศที่ใช้งาน เช่น ระบบโทรศัพท์มือถือ ระบบการสื่อสารดาวเทียม ในระบบการสื่อสารไร้สายจะอาศัยสายอากาศเป็นอุปกรณ์เปลี่ยนรูปแบบสลับไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อใช้ในภาคส่งและภาครับการถ่ายโอนข้อมูล ดังนั้น สายอากาศจึงกลายเป็นส่วนสำคัญของอุปกรณ์ทุกชนิดที่ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

### 1.1 การใช้งานความถี่ย่านไอเอสเอ็มที่ 2.45 GHz สำหรับประเทศไทย

ความถี่วิทยุในด้านอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ หรือ ไอเอสเอ็ม (ISM: Industrial, Scientific and Medical) เป็นย่านความถี่สากลที่มีไว้ใช้เพื่อจุดประสงค์ทางด้านอุตสาหกรรม ด้านวิทยาศาสตร์ และด้านการแพทย์ เช่น การใช้ความร้อนที่เกิดจากคลื่นความถี่ (เตาไมโครเวฟ หรือ เครื่องอบไฟฟ้าทางการแพทย์) ไอเอสเอ็มเป็นย่านความถี่ที่ได้รับการยกเว้นใบอนุญาต (Unlicensed Spectrum) ทำให้ผู้ใช้งานไม่ต้องขอใบอนุญาตก่อนใช้งาน แต่อาจเกิดการรบกวนกันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับการใช้งานในระบบสื่อสาร ซึ่งในระบบสื่อสารไร้สายมีการใช้งานที่หลากหลายมากขึ้น มีรูปแบบการใช้พลังงานที่ต่ำลง และมีรูปแบบที่ใช้สื่อสารในระยะทางสั้นๆ โดยมีการใช้งานย่านไอเอสเอ็มที่ยังคงไม่ต้องขอใบอนุญาต เช่น อุปกรณ์บลูทูธ (Bluetooth) การสื่อสารสนามระยะใกล้ (NFC: Near Field Communication) และเทคโนโลยีไร้สาย (WiFi) สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union: ITU) ได้กำหนดการใช้งานความถี่ในย่านไอเอสเอ็มไว้ในเชิงอรรถ (Footnote) หมายเลข 5.138 5.150 และ 5.280 ที่มีการใช้งานในความถี่ที่แตกต่างกันความเขตภูมิภาค (Region) ทั้ง 3 เขต ทำให้นโยบายการใช้งานย่านความถี่ไอเอสเอ็มของแต่ละประเทศไม่เหมือนกัน

ในประเทศไทย สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) จะทำหน้าที่ออกประกาศในการใช้งานย่านความถี่ไอเอสเอ็ม โดยในประกาศเรื่อง เครื่องวิทยุคมนาคม และสถานวิทยุที่ได้รับการยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาต ได้แบ่งการใช้งานตามคลื่นความถี่ และลักษณะการใช้งาน สำหรับความถี่ 2.45 GHz มีการกำหนดการใช้งานไว้ในย่าน

ความถี่ 2.4 – 2.484 GHz และกำหนดให้กำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก (Equivalent Isotropically Radiated Power: E.I.R.P.) ไม่เกิน 100 mW และสามารถใช้งานได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร การใช้งานความถี่ไอเอสเอ็มย่านความถี่นี้มีการนำมาใช้งานหลายด้าน เช่น ระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุหรืออาร์เอฟไอดี (Radio Frequency Identity: RFID) การเครือข่ายแบบไร้สาย (WiFi) บลูทูธ และเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network: WSN) ทั้งนี้ ในการใช้งานความถี่ไอเอสเอ็มจะไม่ได้รับสิทธิคุ้มครองการรบกวน เนื่องจากเป็นการอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่เป็นการทั่วไป และใช้งานร่วมกัน (Shared use) จึงไม่ได้รับสิทธิคุ้มครองการรบกวน ในกรณีที่เกิดการรบกวนระดับรุนแรงต่อการใช้คลื่นความถี่ของโครงข่ายสื่อสารอื่นในบริเวณเดียวกัน ผู้ใช้จะต้องระงับการใช้งานคลื่นความถี่ดังกล่าวที่ก่อให้เกิดการรบกวนในบริเวณนั้นโดยทันที

## 1.2 ข้อดีของสายอากาศแพร่กระจายคลื่นรอบตัวโพลาริซวงกลม

โพลาริซของสายอากาศเป็นการแสดงคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายออกไป โดยอธิบายในด้านขนาดและทิศทางของสนามไฟฟ้าที่แปรผันตามเวลา ชนิดของโพลาริซแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ 1.) โพลาริซเชิงเส้น (Linear Polarization) 2.) โพลาริซวงกลม (Circular Polarization) และ 3.) โพลาริซวงรี (Elliptical Polarization) โพลาริซของสายอากาศจะเป็นเงื่อนไขสำคัญในการเลือกใช้งานและการติดตั้ง การสื่อสารไร้สายส่วนมากจะเลือกใช้สายอากาศโพลาริซเชิงเส้นหรือโพลาริซวงกลม ซึ่งความแตกต่างของทั้ง 2 ประเภทอยู่ที่องค์ประกอบของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้น โพลาริซเชิงเส้นจะมีองค์ประกอบของสนามไฟฟ้าเพียงองค์ประกอบเดียว หรือถ้ามี 2 องค์ประกอบจะเป็นกรณีที่ทั้ง 2 องค์ประกอบตั้งฉากกันและมีเฟสตรงกัน (In phase) หรือต่างเฟสกัน (Out of phase) 180 องศา แบ่งออกเป็นโพลาริซเชิงเส้นแนวตั้ง (Vertical Polarization) โพลาริซแนวนอน (Horizontal Polarization) และโพลาริซแนวเฉียง (Slant Polarization) ในขณะที่โพลาริซวงกลมจะมีสนามไฟฟ้า 2 องค์ประกอบที่ตั้งฉากกันและมีขนาดเท่ากัน แต่ต่างเฟสกัน 90 องศา โพลาริซวงกลมแบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามการหมุนวนของสนามไฟฟ้าเทียบกับการหมุนของเข็มนาฬิกา คือ โพลาริซวงกลมหมุนขวา (Right Hand Circular Polarized: RHCP) และโพลาริซวงกลมหมุนซ้าย (Left Hand Circular Polarized: LHCP) โดยทิศทางของสนามไฟฟ้าหมุนตามและทวนเข็มนาฬิกาตามลำดับ การเลือกสายอากาศที่มีโพลาริซวงกลมจะทำให้ได้เปรียบสายอากาศที่มีโพลาริซเชิงเส้นในด้านต่างๆ เช่น

### 1) การติดตั้งสายอากาศ

สายอากาศโพลาริซวงกลมไม่จำเป็นต้องจัดวางในทิศทางที่แน่นอนระหว่างภาคส่งและภาครับ ซึ่งจะแตกต่างจากสายอากาศโพลาริซเชิงเส้นที่จะต้องทำการติดตั้งให้สายอากาศทั้งภาคส่งและภาครับมีระนาบที่สัมพันธ์กัน เพราะสายอากาศโพลาริซเชิงเส้นจะทำงานได้เพียงแค่ระนาบเดียว หากจัดวางผิด

ระนาบโพลาริซจะทำให้มีการสูญเสียของสัญญาณเกิดขึ้นได้ สายอากาศโพลาริซวงกลมจึงมีความน่าสนใจมากกว่า เนื่องจากในการใช้งานจริง การบังคับให้สายอากาศอยู่ในระนาบที่ต้องการตลอดเวลาทำได้ยาก การมีสายอากาศที่รับส่งได้ทุกระนาบจึงเป็นการแก้ปัญหาที่ดีกว่า

## 2) การสะท้อนกลับ

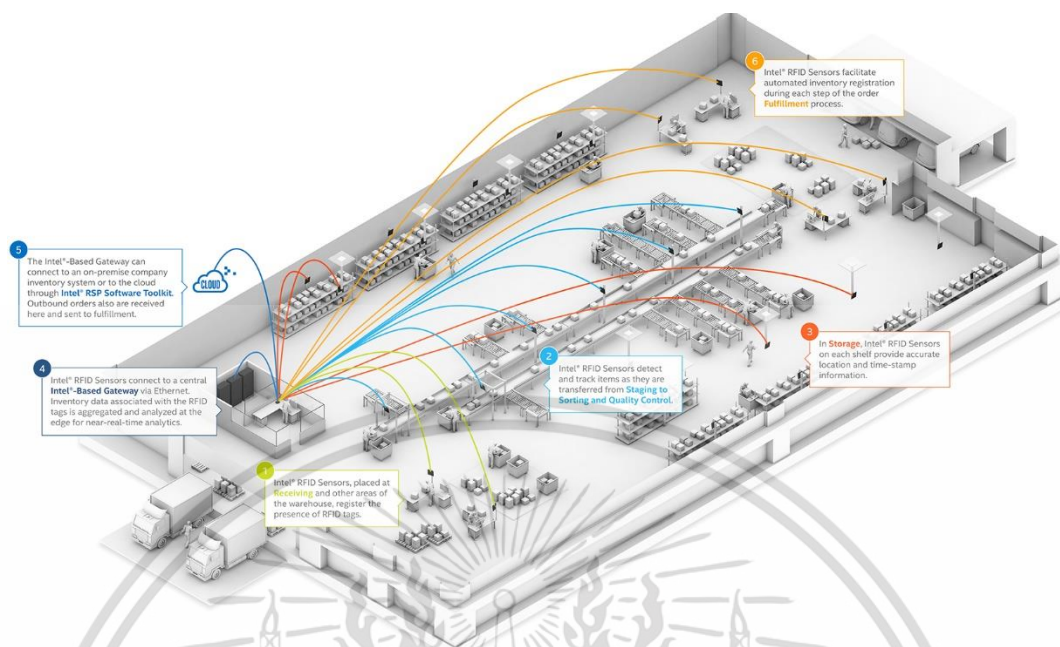
คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีการสะท้อนและการดูดกลืนขึ้นอยู่กับวัสดุที่คลื่นไปกระทบ ซึ่งในกรณีของสายอากาศโพลาริซเชิงเส้นจะมีการรับส่งเพียงระนาบเดียว ทำให้เมื่อมีการสะท้อนกลับและไม่ตรงกับระนาบของสายอากาศภาครับ จะทำให้มีการสูญเสียของสัญญาณได้ แต่ในขณะที่สายอากาศโพลาริซวงกลมสามารถรับส่งได้ทุกระนาบจึงทำให้เกิดความสูญเสียที่น้อยกว่า

## 3) มัลติพาท (Multi-path)

มัลติพาทเกิดจากการที่คลื่นหลักและคลื่นที่สะท้อนมายังภาครับในเวลาใกล้เคียงกัน ซึ่งอาจทำให้เกิดการต่างเฟสเกิดขึ้น อุปกรณ์ภาครับจะต้องมีวิธีการจัดการปัญหามัลติพาทเพื่อที่จะเลือกคลื่นหลักได้อย่างถูกต้อง ซึ่งในการจัดการปัญหานี้จะต้องใช้เวลา ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพที่ลดลง สายอากาศเชิงเส้นจะพบปัญหานี้มากกว่าสายอากาศโพลาริซวงกลม เนื่องจากผลกระทบจากการสะท้อนของคลื่นที่ทำให้เกิดการต่างเฟส ในขณะที่สายอากาศโพลาริซวงกลมจะสะท้อนกลับไปมาระหว่าง RHCP และ LHCP ทำให้สามารถขจัดคลื่นที่สะท้อนได้ง่ายกว่าด้วยการเลือกการหมุนวนที่ต้องการ

## 1.3 ความเป็นมาและวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

การใช้งานในย่านความถี่ไอเอสเอ็มมีการใช้งานที่หลากหลาย และยังมีพัฒนาการให้บริการที่เพิ่มเติมขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากไอเอสเอ็มเป็นย่านความถี่ที่ได้รับการยกเว้นใบอนุญาต ทำให้ลดต้นทุนในการพัฒนาระบบการสื่อสาร และในประเทศไทยก็ได้เปิดให้ใช้งานความถี่ไอเอสเอ็มหลายย่านความถี่ ซึ่งในย่านความถี่ 2.45 GHz ที่ใช้งานในด้านระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่มีความสามารถส่งผ่านข้อมูลที่เร็วที่สุด โดยมีการนำไปประยุกต์ใช้ในการติดตามตู้รถไฟขนส่ง ระบบเก็บเงินบนทางหลวง ระบบคลังสินค้า เป็นต้น อย่างไรก็ตามการพัฒนาสายอากาศให้เป็นสายอากาศโพลาริซวงกลมที่มีการแพร่กระจายคลื่นรอบตัวยังคงเป็นที่น่าสนใจในการพัฒนาระบบให้ดีขึ้น การใช้งานในด้านระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุของระบบคลังสินค้าดังแสดงในรูปที่ 1.1 การใช้เครื่องอ่านที่สายอากาศมีโพลาริซวงกลมจะช่วยให้ติดต่อกับแท็กในระนาบต่างๆ ได้อย่างเสถียร ในขณะที่เครื่องอ่านสายอากาศที่มีการแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นรอบตัวจะช่วยให้ติดต่อกับแท็กที่อยู่รอบตัวได้ ทำให้ประหยัดการติดตั้งเครื่องอ่านในตำแหน่งที่มีสินค้าอยู่รอบเครื่องอ่าน



รูปที่ 1.1 การใช้งานระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุของระบบคลังสินค้า [1]

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา พัฒนาและออกแบบสายอากาศสำหรับการสื่อสารไร้สายย่านความถี่ไอเอสเอ็ม 2.45 GHz ที่มีการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาริซวงกลม และมีแบบรูปการกระจายคลื่นชนิดรอบตัว โครงสร้างของสายอากาศที่นำเสนอจะเริ่มต้นออกแบบจากสายอากาศไดโพลมาตรฐานที่มีแบบรูปการกระจายคลื่นชนิดรอบตัว และมีอัตราขยายอยู่ที่ 2 dBic ซึ่งมีค่าสูงกว่าอัตราขยายของสายอากาศที่มีการนำเสนอในเงื่อนไขคุณลักษณะของสายอากาศเดียวกัน แต่สายอากาศไดโพลจะมีการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาริซเชิงเส้น ซึ่งไม่ตรงกับความต้องการที่เป็นแบบโพลาริซวงกลม จึงต้องทำการศึกษาเพื่อออกแบบและพัฒนาสายอากาศให้ตรงกับความต้องการโดยที่ยังคงอัตราขยายใกล้เคียงกับค่าเดิม และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นรอบตัว แผ่นพาราซิติคจึงถูกนำมาศึกษาถึงผลกระทบต่อ การแพร่กระจายคลื่น ซึ่งพบว่า การนำแผ่นพาราซิติคมาล้อมรอบสายอากาศไดโพล จะทำให้มีอัตราส่วนแอมพลิจูดน้อยกว่า 3 dB หรือโพลาริซวงกลมในบางช่วงความถี่เกิดขึ้น

การจำลองสายอากาศเพื่อออกแบบและพัฒนาให้ได้คุณลักษณะตามที่ต้องการจะใช้โปรแกรม CST microwave studio ผลการจำลองจะถูกนำมาศึกษาถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์โครงสร้างสายอากาศ เพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมครอบคลุมแบนด์วิดธ์  $|S_{11}|$  และอัตราส่วนแอม 3 dB ตั้งแต่ 2.4 ถึง 2.484 GHz และทำการสร้างสายอากาศต้นแบบเพื่อนำมาทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศเปรียบเทียบกับผลจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บท คือ

บทที่ 1 กล่าวถึงการใช้งานความถี่ย่าน ISM ที่ 2.45 GHz สำหรับประเทศไทย ข้อดีของสายอากาศแพร่กระจายคลื่นรอบตัวโพลาริซวงกลม ความเป็นมาและวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ ส่วนรายละเอียดของวิทยานิพนธ์จะกล่าวถึงในหัวข้อสุดท้าย

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการในหัวข้อทางด้านความถี่ย่าน ISM แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นและโพลาริซ สายอากาศไดโพลมาตรฐาน เทคนิคสำหรับโพลาริซวงกลม และงานวิจัยที่มีมาก่อน เพื่อที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการทำวิจัยฉบับนี้

บทที่ 3 กล่าวถึงสายอากาศไดโพลและแผ่นพาราซีติก โดยจะเริ่มต้นวิเคราะห์จากสายอากาศตั้งต้นที่เป็นรูปแบบไดโพล และนำแผ่นพาราซีติกมารวมในโครงสร้าง ในบทนี้จะกล่าวถึงการศึกษาผลกระทบจากแผ่นพาราซีติกต่ออัตราส่วนแชนที่มีแนวโน้มเป็นโพลาริซวงกลม

บทที่ 4 กล่าวถึงสายอากาศไดโพลร่วมกับแผ่นพาราซีติกเชื่อมแนวทแยงมุม และการศึกษาผลกระทบจากพาราเมเตอร์ของสายอากาศ

บทที่ 5 กล่าวถึงการสร้างสายอากาศต้นแบบ และการทดสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของสายอากาศไดโพลร่วมกับแผ่นพาราซีติกเชื่อมแนวทแยงมุม

บทที่ 6 กล่าวถึงการสรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ รวมไปถึงการให้ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

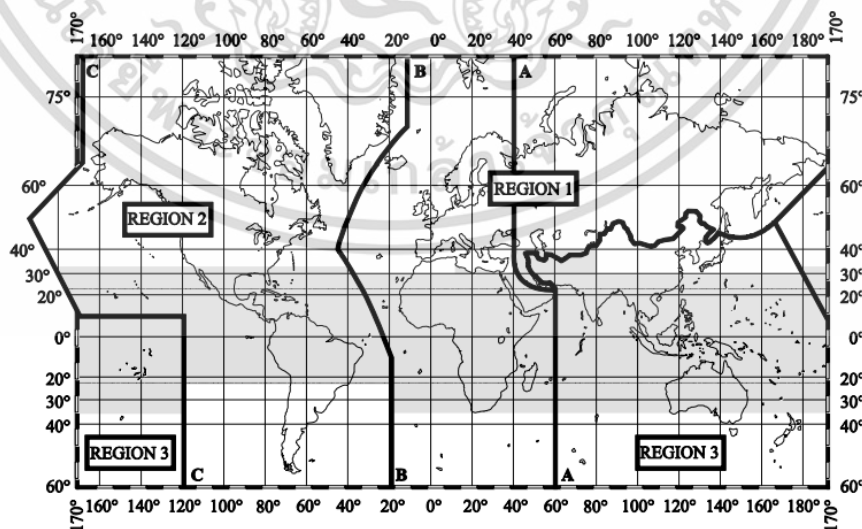
## บทที่ 2

# ทฤษฎีและหลักการ

บทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการ โดยจะเริ่มจากความถี่ย่านไอเอสเอ็ม และการใช้งานที่มีการแบ่งตามความถี่ต่างๆ ในส่วนของทฤษฎีและหลักการของสายอากาศจะกล่าวถึงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นและโพลาริซ สายอากาศไดโพล และเทคนิคสำหรับโพลาริซวงกลม ในส่วนสุดท้ายได้กล่าวถึงผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีมาก่อนสำหรับการออกแบบสายอากาศโพลาริซวงกลมและแบบรูปการกระจายคลื่นรอบตัว

### 2.1 ความถี่ย่านไอเอสเอ็ม

ความถี่วิทยุในด้านอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ หรือ ไอเอสเอ็ม (ISM: Industrial, Scientific and Medical) ถูกกำหนดโดยสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (ITU) ที่เมืองแอตแลนติก ปี ค.ศ. 1947 เพื่อจุดประสงค์ทางด้านอุตสาหกรรม ด้านวิทยาศาสตร์ และด้านการแพทย์ ย่านความถี่นี้ที่ได้รับการยกเว้นใบอนุญาต ทำให้ผู้ใช้งานไม่ต้องขอใบอนุญาตก่อนใช้งาน สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศได้กำหนดการใช้งานความถี่ในย่านไอเอสเอ็มไว้ในเชิงอรรถ (Footnote) หมายเลข 5.138 5.150 และ 5.280 ที่มีการใช้งานในความถี่ที่แตกต่างกันความเขตภูมิภาค (Region) ทั้ง 3 เขต ดังแสดงในรูปที่ 2.1 การใช้งานย่านความถี่ของไอเอสเอ็มจะมีนโยบายของแต่ละประเทศไม่เหมือนกัน และได้กำหนดความถี่ในการใช้งานดังแสดงในตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.1 เขตภูมิภาคในการกำหนดคลื่นความถี่ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 การแบ่งความถี่ในย่านไอเอสเอ็ม [3]

ย่านความถี่	ความถี่กลาง	แบนด์วิดท์	การใช้งาน
6.765 - 6.795 MHz	6.78 MHz	30 kHz	ตามข้อตกลงในท้องถิ่น
13.553 - 13.567 MHz	13.56 MHz	14 kHz	ทั่วโลก
26.957 - 27.283 MHz	27.12 MHz	326 kHz	ทั่วโลก
40.66 - 40.7 MHz	40.68 MHz	40 kHz	ทั่วโลก
433.05 - 434.79 MHz	433.92 MHz	1.74 MHz	เฉพาะเขตภูมิภาคที่ 1, ตามข้อตกลงในท้องถิ่น
902 - 928 MHz	915 MHz	26 MHz	เฉพาะเขตภูมิภาคที่ 2
2.4 - 2.5 GHz	2.45 GHz	100 MHz	ทั่วโลก
5.725 - 5.875 GHz	5.8 GHz	150 MHz	ทั่วโลก
24 - 24.25 GHz	24.125 GHz	250 MHz	ทั่วโลก
61 - 61.5 GHz	61.25 GHz	500 MHz	ตามข้อตกลงในท้องถิ่น
122 - 123 GHz	122.5 GHz	1 GHz	ตามข้อตกลงในท้องถิ่น
244 - 246 GHz	245 GHz	2 GHz	ตามข้อตกลงในท้องถิ่น

การประยุกต์ใช้งานความถี่ไอเอสเอ็มจะเป็นทางด้านอุตสาหกรรม ด้านวิทยาศาสตร์ และด้านการแพทย์ เช่น การใช้ความร้อนที่เกิดจากคลื่นความถี่ไมโครเวฟ 2.45 GHz ในการทำอาหาร อุตสาหกรรมหลอมพลาสติก หรือทางการแพทย์ในการฆ่าเซลล์มะเร็ง แต่ด้วยเงื่อนไขที่ไม่ต้องขอใบอนุญาตและการพัฒนาทางด้านไมโครอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้มีการใช้งานความถี่ไอเอสเอ็มเปลี่ยนไปไม่ได้อยู่ในขอบเขตทางด้านอุตสาหกรรม ด้านวิทยาศาสตร์ และด้านการแพทย์ การประยุกต์ใช้ทางด้านการสื่อสารที่เห็นได้ชัดเจนที่สุด คือ การใช้งานอินเทอร์เน็ตไร้สาย (WiFi) ภายใต้โปรโตคอล IEEE 802.11 ซึ่งได้นำความถี่ย่าน 2.4 GHz มาใช้งาน ในขณะที่บลูทูธก็เป็นอีกหนึ่งการประยุกต์ใช้งานทางด้านการสื่อสารที่ใช้ความถี่ย่าน 2.4 GHz เช่นเดียวกัน นอกจากนี้การใช้งานเทคโนโลยีการสื่อสารสนามระยะใกล้ที่ใช้ความถี่ย่าน 13 MHz ก็เป็นอีกหนึ่งตัวอย่างที่มีการใช้งานนอกเหนือจุดประสงค์ของไอเอสเอ็ม

การใช้งานนอกเหนือวัตถุประสงค์ของไอเอสเอ็มจะเรียกว่า non-ISM ซึ่งยังคงไม่ต้องขอใบอนุญาต อุปกรณ์ที่พัฒนาในไอเอสเอ็มส่วนมากไม่ได้เป็นภาครับสัญญาณ เช่น ตู้ไมโครเวฟ ดังนั้นในการใช้งานของ non-ISM จะไม่ได้รับสิทธิคุ้มครองการรบกวน เนื่องจากเป็นการอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่เป็นการทั่วไป และใช้งานร่วมกัน การประยุกต์ของ non-ISM มีการขยายเป็นวงกว้าง เช่น ระบบอาร์เอฟไอดี ที่มีการใช้งานทั้งในย่านความถี่ 13.56 MHz 900 MHz และ 2.4 GHz นอกจากนี้ในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) ยังพัฒนาการใช้งานในย่านไอเอสเอ็มด้วย เช่น บลูทูธใช้ความถี่ 2.45 GHz IEEE 802.11 ใช้ความถี่ 2.45 และ 5.8 GHz เทคโนโลยีไอโอที (Internet of Things) ใช้ความถี่ 915 MHz การใช้งาน non-ISM บางความถี่จะไปรบกวนการใช้งานระบบอื่นๆ ที่มีใบอนุญาต ดังนั้นหากเกิดการรบกวนระดับรุนแรงต่อการใช้คลื่นความถี่ในบริเวณเดียวกัน จะต้องทำการระงับการใช้งานคลื่นความถี่ดังกล่าวที่ก่อให้เกิดการรบกวนในบริเวณนั้นโดยทันที

## 2.2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นและโพลาริซ

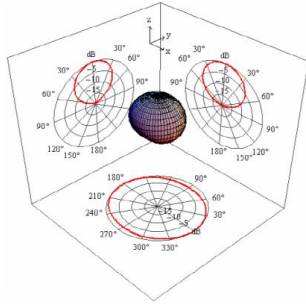
### 2.2.1 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นประโยชน์ในการประกอบการพิจารณานำสายอากาศไปประยุกต์ใช้งานให้เหมาะสม แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นมีหลายลักษณะ เช่น แบบรูปโพลาริซชันและแบบรูปสภาพเจาะจงทิศทาง แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่เป็นการแสดงคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศด้วยกราฟใช้เป็นการระบุทิศทางและหาได้จากสนามระยะไกล แบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ คือ แบบไม่ชี้ทิศทาง (Non-directional) แบบรอบตัว (Omnidirectional) แบบทิศทางเดียว (Unidirectional) และแบบสองทิศทาง (Bi-directional) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นทั้งสี่แสดงได้ดังรูปที่ 2.2

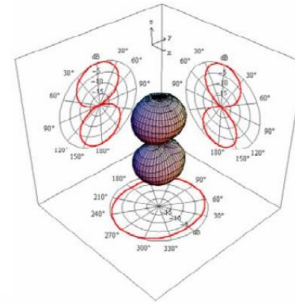


รูปที่ 2.2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



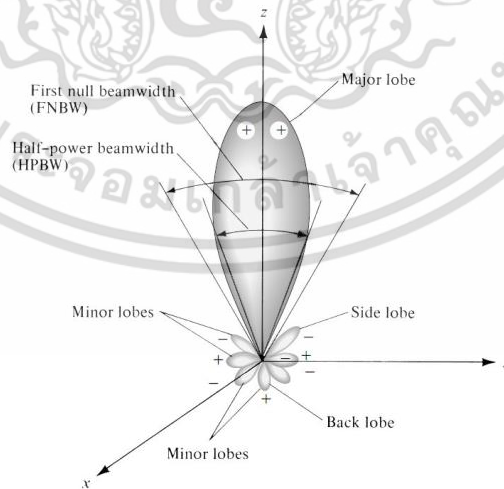
(ค) แบบทิศทางเดียว



(ง) แบบสองทิศทาง

รูปที่ 2.2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ (ต่อ) [4]

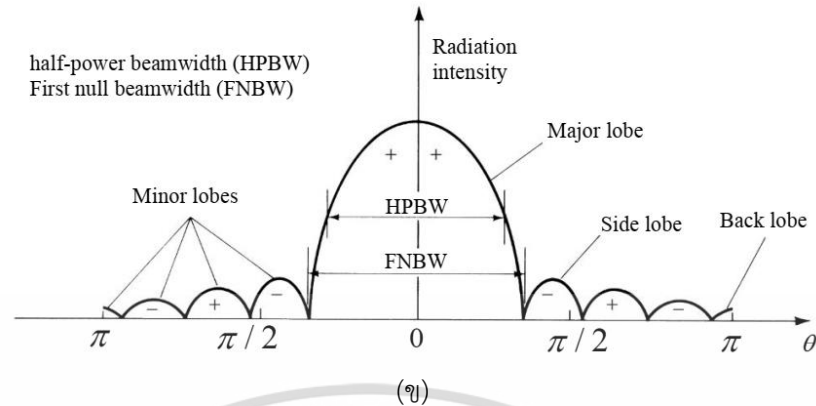
การวัดระดับสัญญาณที่ชี้ไปในทิศทางต่างๆ ในแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น จะมีระดับสัญญาณที่มีค่าสูงสุดเรียกว่า ลำคลื่นหลัก (Major Lobe) ส่วนระดับสัญญาณอื่นเรียกว่า ลำคลื่นย่อย (Minor Lobe) โดยที่ยังแบ่งลำคลื่นย่อยออกตามตำแหน่งที่ปรากฏ คือ ลำคลื่นย่อยด้านข้าง (Side Lobe) และลำคลื่นย่อยด้านหลัง (Back Lobe) ซึ่งลำคลื่นย่อยเป็นทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่ไม่ตรงกับ การออกแบบสายอากาศที่ต้องการ รูปที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบของลำคลื่นสายอากาศ ในการพิจารณาความสามารถในการครอบคลุมพื้นที่ของสัญญาณจะพิจารณาจากความกว้างของลำคลื่น การวัดความกว้างของลำคลื่นที่นิยมใช้มี 2 แบบ คือ 1) ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (Half Power Beam Width: HPBW) เป็นการวัดความกว้างลำคลื่นตรงช่วงตำแหน่งที่กำลังคลื่นลดลงเป็นครึ่งหนึ่งของกำลังสูงสุด และ 2) ความกว้างลำคลื่น ณ จุดศูนย์คู่แรก (First Null Beam Width: FNBW) เป็นการวัดความกว้างของลำคลื่นตรงช่วงตำแหน่งที่กำลังคลื่นเป็นศูนย์ในครั้งแรก



(ก) ลำคลื่นของแบบรูปสายอากาศใน 3 มิติ

รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของลำคลื่นสายอากาศ [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของลำคลื่นสายอากาศ (ต่อ) [4]

## 2.2.2 โพลาริซ

โพลาริซ (Polarize) เป็นการอธิบายเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่แปรผันตามเวลาของลำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายออกไป โพลาริซจะเป็นการสังเกตยอดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ กันในตำแหน่งคงที่และใช้การมองตามหลังคลื่นที่แพร่กระจายไป ในการกำหนดทิศทางโพลาริซของสายอากาศ จะเป็นโพลาริซของคลื่นที่มาตกกระทบสายอากาศจากทิศทางที่กำหนดให้ ถ้าไม่ได้กำหนดทิศทางจะใช้ทิศทางที่สายอากาศมีอัตราการขยายมากที่สุด ดังนั้นโพลาริซของสายอากาศตัวเดียวกันจะต่างกันเมื่อกำหนดทิศทางที่ไม่เหมือนกัน สมการที่ 2.1 เป็นสนามไฟฟ้าชั่วขณะเวลาของคลื่นระนาบในทิศทาง  $z$

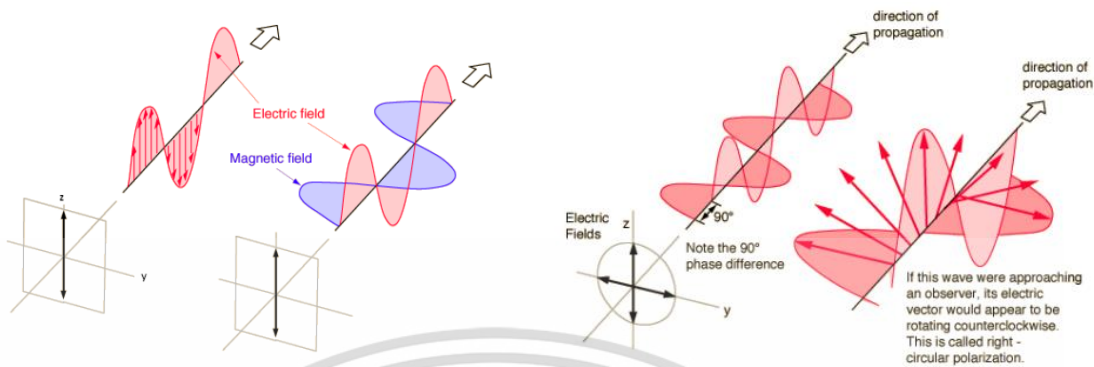
$$E(z;t) = \hat{a}_x E_x(z;t) + \hat{a}_y E_y(z;t) \quad (2.1)$$

โดยส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าชั่วขณะเวลานั้นแสดงเป็นความสัมพันธ์ของค่าสนามสูงสุด  $E_{x0}$  และ  $E_{y0}$  ในทิศทาง  $x$  และ  $y$  ตามลำดับ ดังนี้

$$E_x(z;t) = E_{x0} \cos(\omega t + kz + \phi_x) \quad (2.2)$$

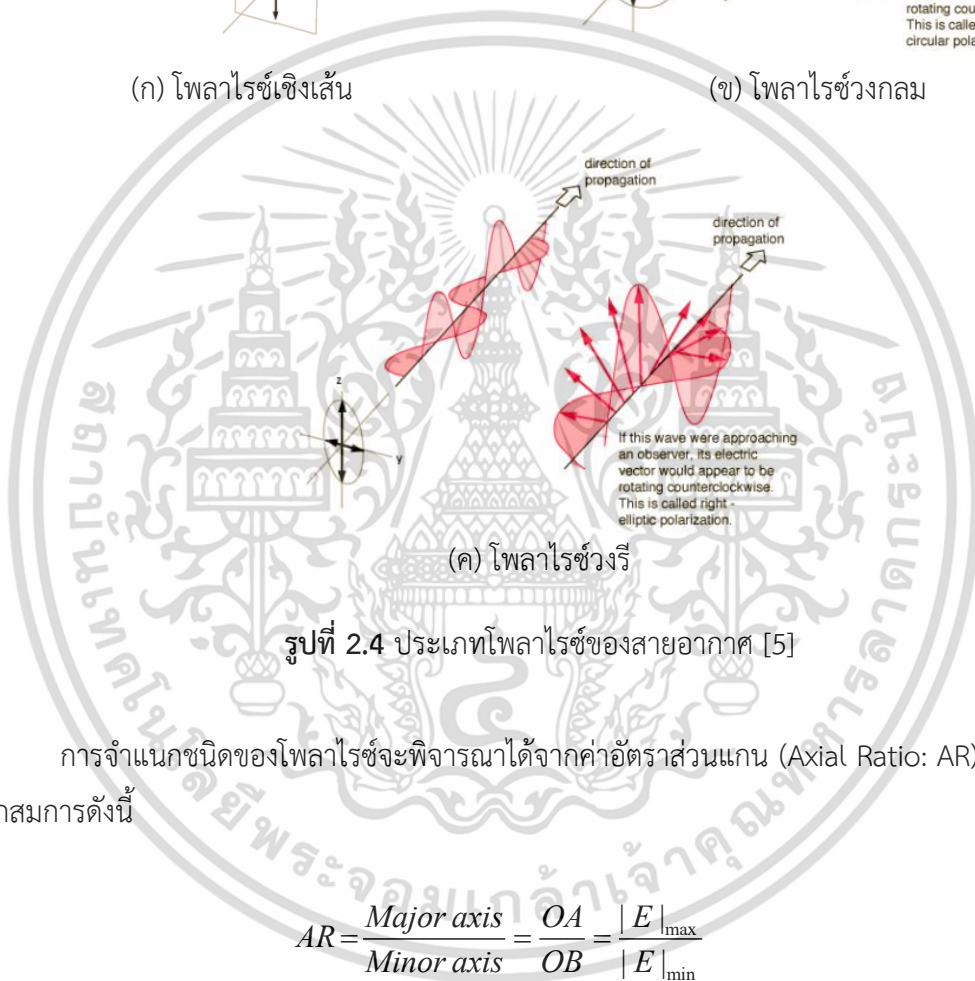
$$E_y(z;t) = E_{y0} \cos(\omega t + kz + \phi_y) \quad (2.3)$$

โพลาริซของสายอากาศจะเป็นเงื่อนไขสำคัญในการเลือกใช้งานและการติดตั้ง ชนิดของโพลาริซแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ 1.) โพลาริซเชิงเส้น (Linear Polarization) 2.) โพลาริซวงกลม (Circular Polarization) และ 3.) โพลาริซวงรี (Elliptical Polarization) ดังแสดงในรูปที่ 2.4



(ก) โพลาริซเซชันเส้น

(ข) โพลาริซเซชันวงกลม



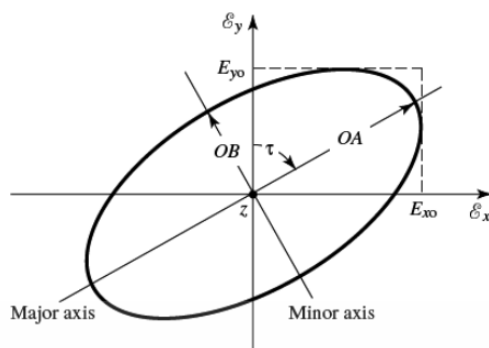
(ค) โพลาริซเซชันรี

รูปที่ 2.4 ประเภทโพลาริซเซชันของสายอากาศ [5]

การจำแนกชนิดของโพลาริซเซชันจะพิจารณาได้จากค่าอัตราส่วนแกน (Axial Ratio: AR) โดยคำนวณจากสมการดังนี้

$$AR = \frac{\text{Major axis}}{\text{Minor axis}} = \frac{OA}{OB} = \frac{|E|_{\max}}{|E|_{\min}} \tag{2.4}$$

โดยที่ OA คือ แกนหลัก และ OB คือ แกนรอง แสดงได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แกนหลักและแกนรองของโพลาริซ [4]

เมื่อพิจารณาจากค่าอัตราส่วนแกนแล้วจะพบว่า การแบ่งประเภทของโพลาริซทั้งสามมีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนแกนดังนี้

1) โพลาริซเชิงเส้น จะมีเพียงค่า  $|E|_{\max}$  เนื่องจาก  $|E|_{\min} = 0$  ทำให้ได้ค่าอัตราส่วนแกนเป็น

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

2) โพลาริซวงกลม จะมีค่า  $|E|_{\max} = |E|_{\min}$  ทำให้ได้ค่าอัตราส่วนแกนเป็น

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

3) โพลาริซวงรี จะมีค่า  $|E|_{\max} > |E|_{\min}$  ทำให้ได้ค่าอัตราส่วนแกนเป็น

$$1 < AR < \infty$$

#### 2.2.2.1 โพลาริซเชิงเส้น

โพลาริซเชิงเส้นจะมีเวกเตอร์สนามไฟฟ้าคงที่ตลอดในการเดินทางของคลื่นองค์ประกอบของสนามไฟฟ้าในทิศทาง  $x$  และ  $y$  จะมีเฟสที่ตรงกัน หรือต่างเฟสกัน  $180$  องศา แสดงดังได้สมการที่ 2.4

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = n\pi, n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (2.5)$$

โพลาริซเชิงเส้นแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบตามทิศทางของสนามไฟฟ้าตลอดการเดินทางของคลื่นในแนวตั้ง แนวนอน และแนวเฉียง คือ โพลาริซเชิงเส้นแนวตั้ง (Vertical Polarization)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพลาไรซ์เชิงเส้นแนวนอน (Horizontal Polarization) และโพลาไรซ์เชิงเส้นแนวเฉียง (Slant Polarization) ตามลำดับ

### 2.2.2.2 โพลาไรซ์วงกลม

โพลาไรซ์วงกลมจะมีการเปลี่ยนแปลงของทิศทางสนามไฟฟ้าตลอดเวลา การจะเกิดโพลาไรซ์วงกลมจะต้องมีองค์ประกอบสนามไฟฟ้าแบบเชิงเส้น 2 องค์ประกอบที่มีขนาดเท่ากัน และต่างเฟสกันเป็นจำนวนเท่าของ  $\pi/2$  นั่นคือ  $E_{x_0}$  จะเท่ากับ  $E_{y_0}$  และ

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = +\frac{(1+4n)\pi}{2}, n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (2.6)$$

หรือ

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = -\frac{(1+4n)\pi}{2}, n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (2.7)$$

จากสมการที่ 2.5 และ 2.6 ทำให้โพลาไรซ์วงกลมสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดตามการหมุนวนของคลื่นเป็น โพลาไรซ์วงกลมหมุนขวา (Right-handed Circular Polarization) เป็นการหมุนวนของสนามไฟฟ้าตามเข็มนาฬิกา และโพลาไรซ์วงกลมหมุนซ้าย (Left-handed Circular Polarization) เป็นการหมุนวนของสนามไฟฟ้าทวนเข็มนาฬิกา

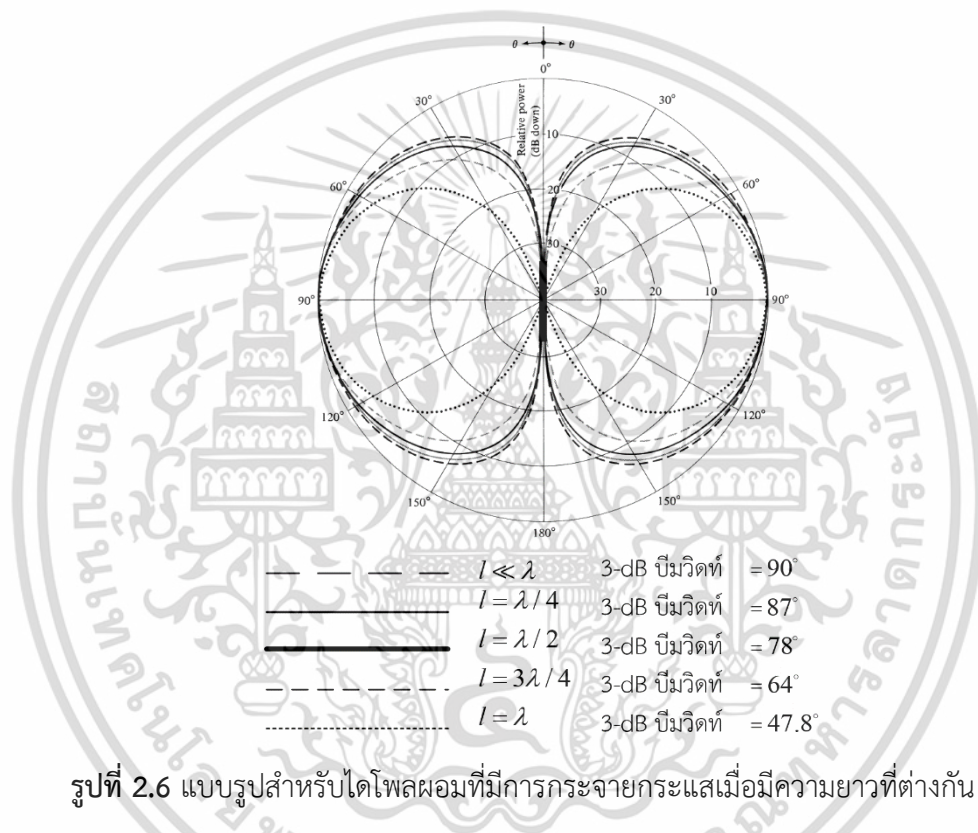
### 2.2.2.3 โพลาไรซ์วงรี

โพลาไรซ์วงรีจะมีการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าตลอดเวลาเหมือนกับโพลาไรซ์วงกลม การจะเกิดโพลาไรซ์วงรีได้แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ 1) มีองค์ประกอบของสนามไฟฟ้าแบบเชิงเส้น 2 องค์ประกอบที่มีขนาดเท่ากัน และมีเฟสที่ต่างกันไม่เป็นจำนวนเท่าของ  $\pi/2$  และ 2) มีองค์ประกอบของสนามไฟฟ้าแบบเชิงเส้น 2 องค์ประกอบที่มีขนาดไม่เท่ากัน และมีเฟสที่ต่างกันไม่เป็นจำนวนเท่าของ  $\pi$

## 2.3 สายอากาศไดโพล

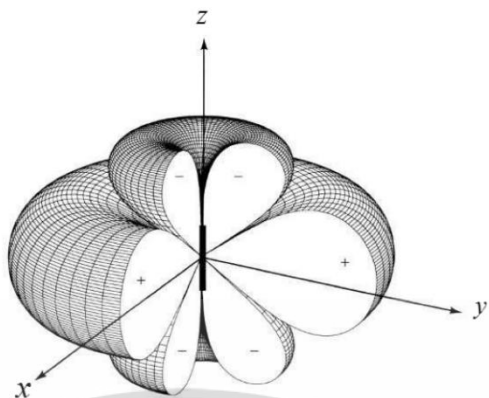
สายอากาศไดโพลเป็นสายอากาศที่ง่ายต่อการออกแบบและมีราคาถูก สายอากาศไดโพลนิยมนำมาดัดแปลงโครงสร้างให้กับสายอากาศประเภทอื่นๆ สายอากาศไดโพลมีการจำแนกตามขนาดความยาวคลื่น เช่น ไดโพลจิ๋ว (Infinitesimal dipole) เป็นสายอากาศไดโพลที่มีความยาวน้อยกว่า  $\lambda/50$  ไดโพลเล็ก (Small dipole) เป็นสายอากาศไดโพลที่มีความยาวอยู่ระหว่าง  $\lambda/50$  และ  $\lambda/10$  ไดโพลยาวจำกัด (Finite length dipole) เป็นสายอากาศไดโพลที่มีความยาวไม่น้อยกว่า  $\lambda/10$  และไดโพลครึ่ง

ความยาวคลื่น (Half-wavelength dipole) เป็นสายอากาศไดโพลที่มีความยาวเป็น  $\lambda/2$  ไดโพลจี้จะไม่ถูกนำไปใช้ในทางปฏิบัติแต่จะถูกนำไปนำเสนอในรูปแบบของสายอากาศแผ่นตัวเก็บประจุ (Capacitor-plate) ส่วนไดโพลครึ่งความยาวคลื่นจะนิยมนำมาใช้มากกว่า ในการวิเคราะห์คุณลักษณะการแผ่พลังงานของไดโพลที่มีความยาวต่างๆ จะใช้ข้อสมมติเบื้องต้นที่เส้นลวดบางมากๆ หรือขนาดของเส้นลวดมีขนาดเล็กมากๆ เมื่อเทียบกับความยาวคลื่น การวิเคราะห์แบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศไดโพลที่มีความยาวต่างๆ แสดงได้ดังรูปที่ 2.6

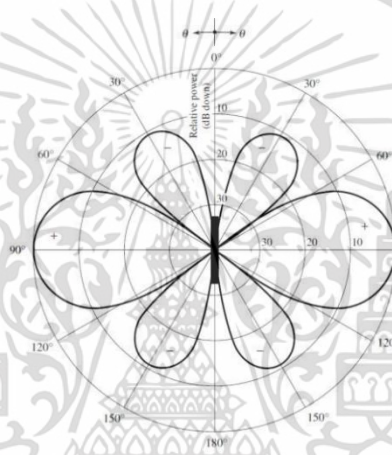


รูปที่ 2.6 แบบรูปสำหรับไดโพลพอมที่มีการกระจายกระแสเมื่อมีความยาวที่ต่างกัน [4]

จากรูปที่ 2.6 จะพบว่าถ้าความยาวของสายอากาศเพิ่มขึ้น ขนาดของลำคลื่นจะมีค่าแคบลง เพราะว่าสภาพเจาะจงทิศทางเพิ่มขึ้นตามความยาว ในขณะที่ความยาวของสายอากาศไดโพลเพิ่มมากขึ้นมากกว่าหนึ่งความยาวคลื่น จะทำให้เกิดจำนวนลำคลื่นเพิ่มมากขึ้นด้วยดังแสดงในรูปที่ 2.7 และในรูปที่ 2.8 แสดงการกระจายกระแสของสายอากาศไดโพลที่มีความยาวต่างๆ

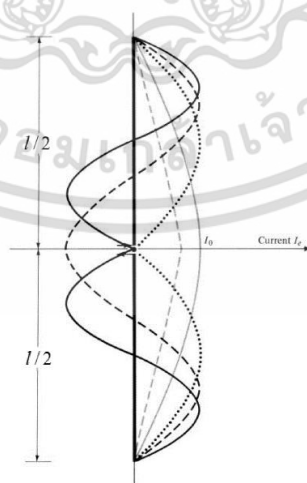


(ก) แบบรูปเชิงขนาดสามมิติ



(ข) แบบรูปเชิงขนาดสองมิติ

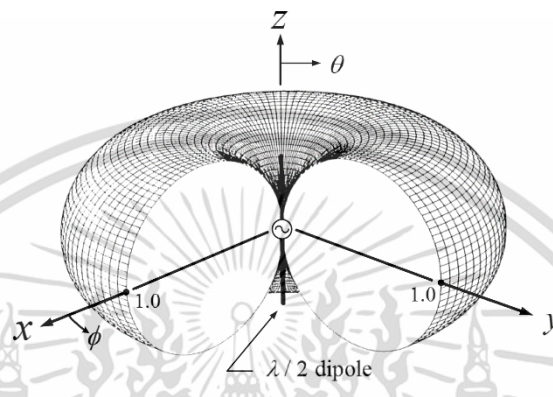
รูปที่ 2.7 แบบรูปเชิงขนาดสำหรับไดโพลพอม เมื่อความยาวสายอากาศเป็น  $1.25\lambda$  [4]



รูปที่ 2.8 การกระจายของกระแสตามแนวยาวของสายอากาศแบบเส้นลวด [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

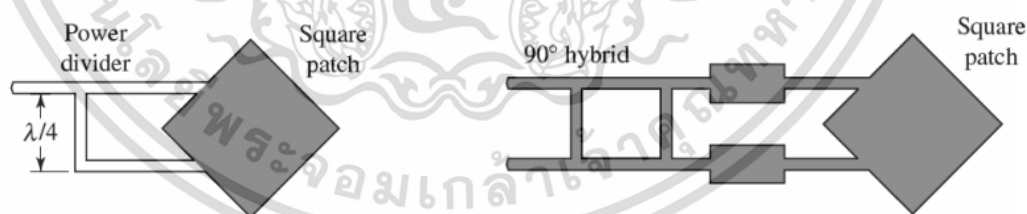
สายอากาศไดโพลที่มีการนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางคือ สายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่น เนื่องจากมีค่าความต้านทานการแผ่พลังงานของสายอากาศเท่ากับ  $73 \Omega$  ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณที่นิยมใช้กัน (50 หรือ  $75 \Omega$ ) ทำให้เมื่อนำสายอากาศมาต่อเข้ากับสายนำสัญญาณจะเกิดการแมตช์ แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นแสดงได้ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นสามมิติของสายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่น [4]

#### 2.4 เทคนิคสำหรับโพลาริซวงกลม

โพลาริซวงกลมจะต้องมีสนามไฟฟ้า 2 องค์ประกอบที่ตั้งฉากและมีขนาดเท่ากัน แต่ต่างเฟสกัน 90 องศา ซึ่งสามารถทำแผ่นระบายสี่เหลี่ยมให้เกิดโพลาริซวงกลมได้ด้วยการเปลี่ยนวิธีการป้อนสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 2.10

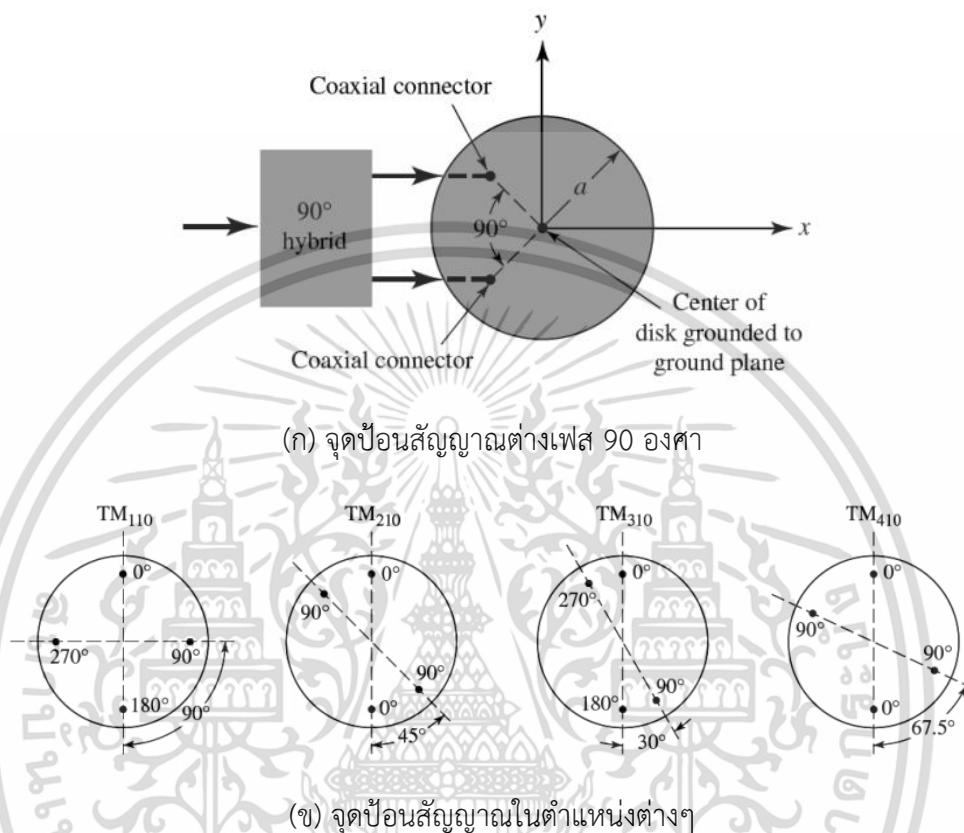


(ก) แบ่งจุดป้อนสัญญาณให้ขอบที่ติดกัน (ข) จุดป้อนสัญญาณให้ขอบที่ติดกันแบบไฮบริด

รูปที่ 2.10 การเปลี่ยนวิธีการป้อนสัญญาณเพื่อให้เกิดโพลาริซวงกลมสำหรับแผ่นระบายสี่เหลี่ยม [4]

แผ่นระบายสี่เหลี่ยมมักจะมีการป้อนสัญญาณเพียงจุดเดียวและมีโพลาริซเชิงเส้น เมื่อเปลี่ยนการป้อนสัญญาณหนึ่งจุดให้แยกสัญญาณเข้ากับขอบด้านที่ติดกันด้วยเฟสที่ต่างกัน 90 องศา ดังแสดงในรูปที่ 2.10 (ก) หรือทำการป้อนสัญญาณสองจุดแบบไฮบริด 90 องศา ดังแสดงในรูปที่ 2.10 (ข) ก็จะทำให้

เกิดโพลาไรซ์วงกลมได้เช่นเดียวกัน ส่วนแผ่นระนาบวงกลมที่ไม่มีขอบด้านเหลี่ยมจะใช้วิธีการป้อนสัญญาณสองจุดในตำแหน่งที่เหมาะสม ดังแสดงในรูปที่ 2.11



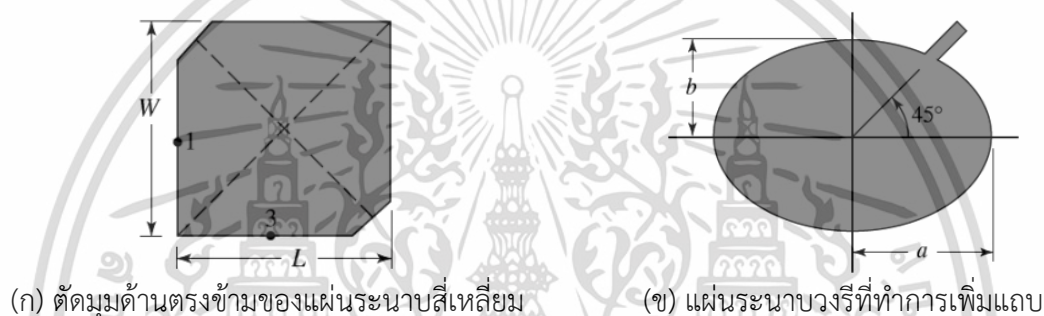
รูปที่ 2.11 การเปลี่ยนวิธีการป้อนสัญญาณเพื่อให้เกิดโพลาไรซ์วงกลมสำหรับแผ่นระนาบวงกลม [4]

แผ่นระนาบวงกลมจะเกิดโพลาไรซ์วงกลมสำหรับ  $TM_{110}^x$  ด้วยการป้อนสัญญาณสองจุดที่ห่างกัน 90 องศา ดังแสดงในรูปที่ 2.11 (ก) โดยในการสร้างสนามที่ตั้งฉากกันจะการใช้การป้อนแบบไฮบริดที่มีความต่างเฟสกัน 90 องศา ในการเกิดโพลาไรซ์วงกลมสำหรับโหมดอื่นๆ ระยะห่างระหว่างการป้อนสัญญาณทั้งสองจุดมีองศาที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.2 นอกจากนี้ยังสามารถป้อนได้เป็น 4 จุดได้อีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.11 (ข) โดยแต่ละโหมดจะทำการป้อนเฟสที่ต่างกันออกไป เช่น  $TM_{410}$  จะใช้การป้อนเฟส 0 และ 90 องศาเป็นคู่กัน แต่ใน  $TM_{110}$  จะต้องป้อนเฟส 0 90 180 และ 270 องศา

ตารางที่ 2.2 การป้อนสัญญาณด้วยมุมต่างๆ สำหรับโพลาริซวงกลม [4]

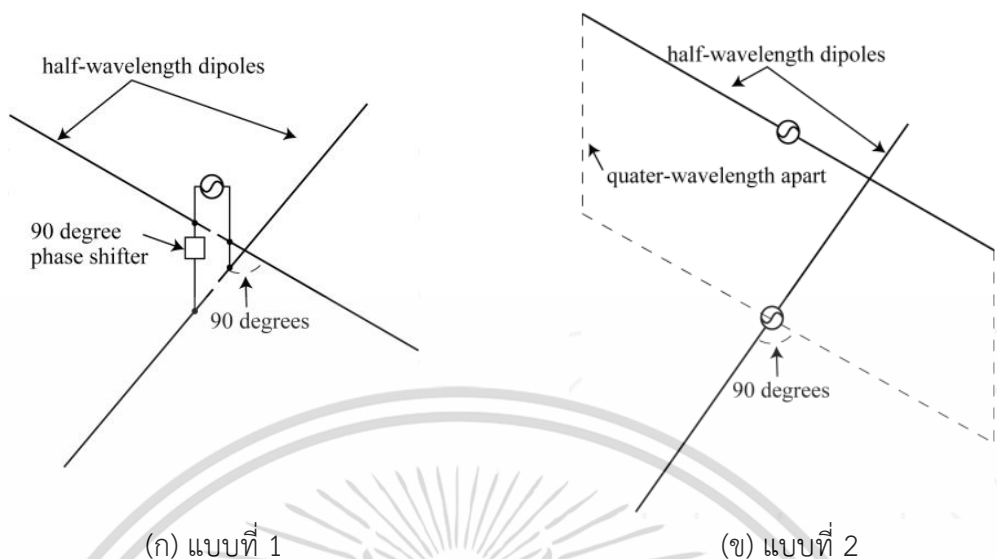
	TM <sub>110</sub>	TM <sub>210</sub>	TM <sub>310</sub>	TM <sub>410</sub>	TM <sub>510</sub>	TM <sub>610</sub>
$\alpha$ (องศา)	90	45/135	30/90	22.5/67.5	18, 54/90	15, 45/75

นอกจากการเปลี่ยนรูปแบบการป้อนสัญญาณแล้ว ยังสามารถเปลี่ยนรูปแบบของแผ่นระนาบสี่เหลี่ยมด้วยการตัดมุมที่อยู่ตรงกันข้ามได้อีกด้วย การป้อนสัญญาณจะทำเพียงหนึ่งจุดในตำแหน่งหมายเลข 1 หรือ 3 ดังแสดงในรูปที่ 2.12 (ก) ส่วนแผ่นระนาบวงกลมจะทำได้โดยเปลี่ยนให้เป็นแผ่นระนาบวงรีหรือเพิ่มแถบดังแสดงในรูปที่ 2.12 (ข)



รูปที่ 2.12 การเปลี่ยนแปลงแผ่นระนาบเพื่อสร้างโพลาริซวงกลม [4]

การสร้างสายอากาศโพลาริซวงกลมยังสามารถสร้างได้จากสายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่นที่มีโพลาริซเชิงเส้น โดยจะนำสายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่น 2 อันมาประกอบกันด้วยรูปแบบต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ในการสร้างสายอากาศโพลาริซวงกลมจากสายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่น 2 อันสามารถสร้างได้ด้วยการนำสายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่นมาวางไขว้กันทำมุม 90 องศา ดังรูปที่ 2.13 (ก) และ (ข) โดยมีความแตกต่างกันคือ รูปที่ 2.13 (ก) จะทำการป้อนสัญญาณที่มีความต่างเฟสกัน 90 องศา ทำให้เกิดสนามไฟฟ้า 2 องค์ประกอบที่ตั้งฉากกันและต่างเฟสกัน 90 องศาจึงเกิดโพลาริซวงกลม ในขณะที่รูปที่ 2.13 (ข) เป็นการป้อนสัญญาณที่มีเฟสตรงกัน แต่วางให้ไดโพลครึ่งความยาวคลื่นห่างกันเป็นระยะ  $\lambda/4$  รูปแบบการไขว้กันของสายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่นเป็นโครงสร้างพื้นฐานในการสร้างสายอากาศโพลาริซวงกลม แต่จะทำให้ได้บีมวิดธ์ที่แคบ

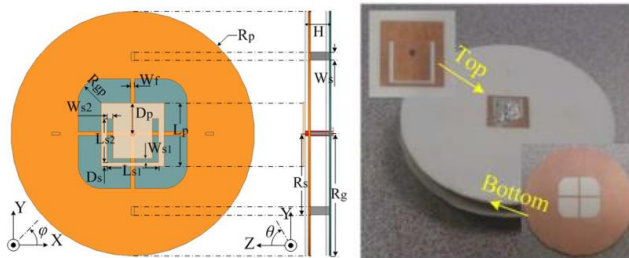


รูปที่ 2.13 สายอากาศโพลาไรซ์วงกลมที่สร้างจากสายอากาศไดโพล [6]

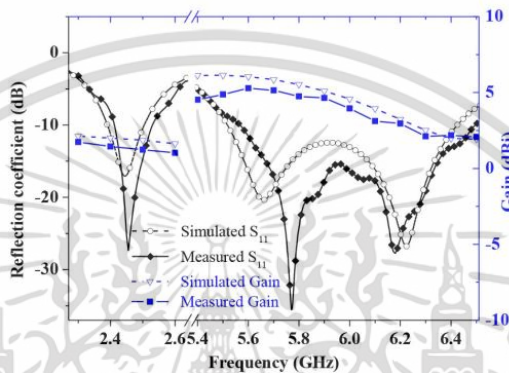
## 2.5 งานวิจัยที่มีมาก่อน

สายอากาศแพร่กระจายคลื่นรอบตัวโพลาไรซ์วงกลมมีข้อดีที่รวมทั้งการแพร่กระจายรอบตัวและโพลาไรซ์วงกลมไว้ด้วยกัน มีงานวิจัยที่ได้นำเสนอการออกแบบสายอากาศเพื่อให้ได้สายอากาศแพร่กระจายคลื่นรอบตัวโพลาไรซ์วงกลมด้วยเทคนิคต่างๆ ซึ่งรูปแบบที่ใช้กัน เช่น นำสายอากาศโพลาไรซ์เชิงเส้นที่มีการแพร่กระจายรอบตัวอยู่แล้วมาประกอบกันเพื่อให้ได้โพลาไรซ์วงกลม หรือออกแบบสายอากาศสองด้านที่แตกต่างกัน (Back-to-Back) รวมไปถึงใช้สายอากาศแบบแพตช์มาซ้อนกันหลายชั้น (Multilayered)

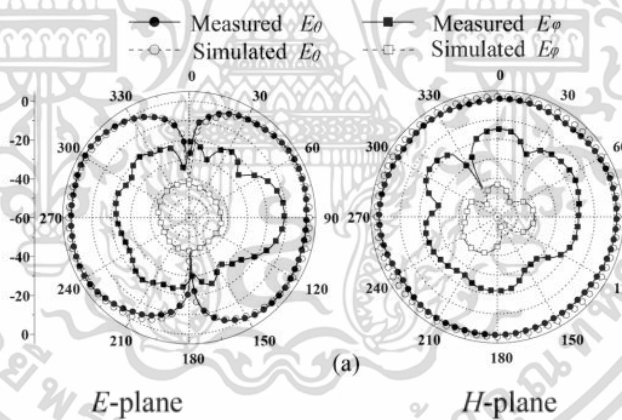
ในงานวิจัย [7] ได้นำเสนอสายอากาศที่ใช้งานในความถี่ 2.4 และ 5.8 GHz ด้วยโครงสร้างสายอากาศสองแบบคือ สายอากาศแพตช์รูปวงกลมที่มีช่องเปิด (Slot) แบบสมมาตร 4 ด้าน และสายอากาศแพตช์ช่องเปิดรูปตัวยู (U-slot) โดยสายอากาศสองแบบอยู่คนละด้าน และมีการบ่อนสัญญาณร่วมกันด้วยโคแอกเซียลโพรบ (Coaxial probe) ผลการทดสอบพบว่าที่ความถี่ 2.45 GHz มีอัตราขยายอยู่ที่ 1.37 dBi และมีแบนด์วิดธ์อยู่ที่ 115 MHz โดยสายอากาศมีรัศมีอยู่ที่ 30.8 mm รูปที่ 2.14 แสดงรายละเอียดของสายอากาศที่กล่าวถึง



(ก) โครงสร้างและต้นแบบของสายอากาศ



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



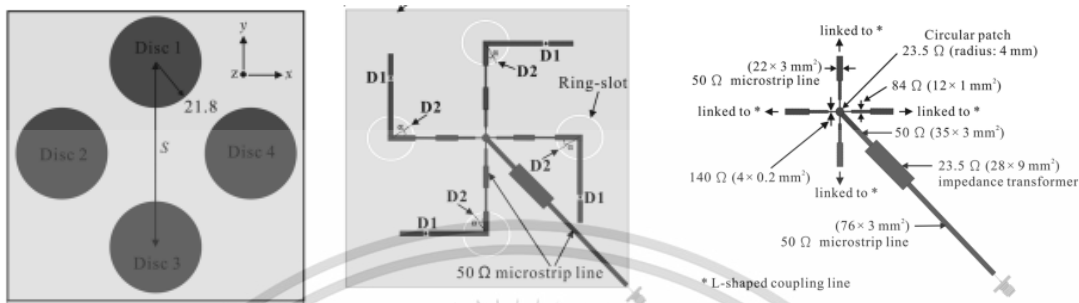
(ค) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

รูปที่ 2.14 สายอากาศแพตช์แบบอาร์เรย์วงกลมและแพตช์ช่องเปิดรูปตัวยู [7]

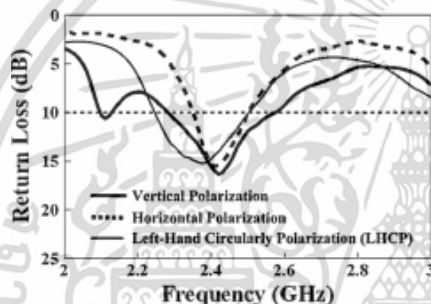
ในงานวิจัย [8] ได้นำเสนอเทคนิคที่ใกล้เคียงกันด้วยการออกแบบให้ด้านหนึ่งมีลักษณะเป็นอาร์เรย์ของสายอากาศแพตช์วงกลม และอีกด้านเป็นสายอากาศรูปตัวแอล (L-shaped strip) แสดงได้ดังรูปที่ 2.15 ซึ่งจะพบว่ามีสายอากาศแพตช์วงกลมทั้งหมด 4 วง และอีกด้านจะเป็นสายอากาศรูปตัวแอลวางอยู่ด้านหลัง โดยจะอยู่คู่กันระหว่างสายอากาศทั้งสองด้าน ซึ่งจะใช้การบ่อนสัญญาณด้วยไมโครสตริปเข้าไปยังสายอากาศรูปตัวแอล ผลการทดสอบพบว่าสายอากาศทำงานครอบคลุมย่านความถี่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิพนธ์ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

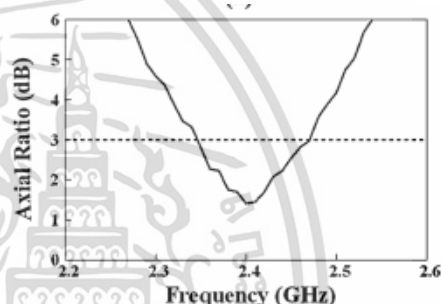
GHz มีแบนด์วิดธ์อัตราส่วนเกินที่ 90 MHz และมีอัตราขยายที่ 2.3 dBic แต่ขนาดของสายอากาศรวมมีขนาดใหญ่ คือ มีความกว้างและยาวด้านละ 200 mm



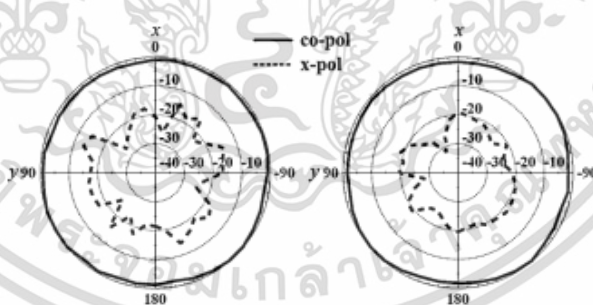
(ก) โครงสร้างของสายอากาศและตัวป้อนสัญญาณ



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



(ค) อัตราส่วนแกนที่เป็นฟังก์ชันของความถี่



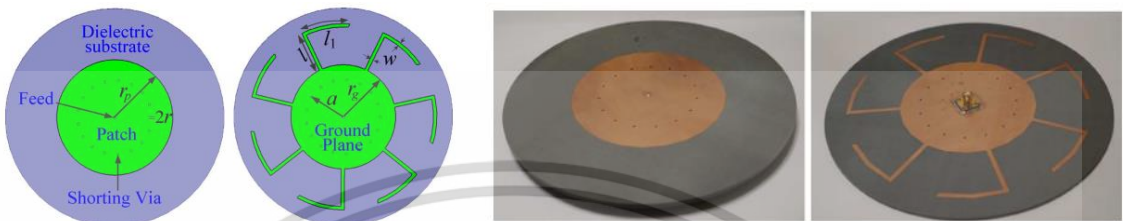
(ง) แบบรูปการแผ่กระจายคลื่น

รูปที่ 2.15 สายอากาศแพตช์แบบอาร์เรย์ [8]

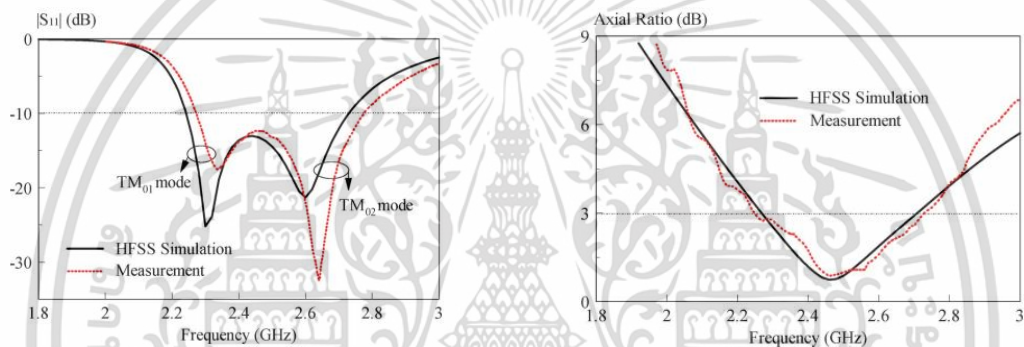
ในงานวิจัย [9] นำเสนอการออกแบบสายอากาศแบบแพตช์โดยที่มีการเจาะรูเชื่อมกับกราวด์ของด้านตรงข้าม สายอากาศที่นำเสนอมีลักษณะเป็นวงกลมทั้งสองด้านให้แบบรูปการแผ่กระจายรอบตัว แต่อีกด้านมีการเพิ่มแขนงโค้งที่ขอบของแพตช์วงกลมจำนวน 7 ชั้น เพื่อให้สายอากาศมีโพลาไรซ์จากเชิงเส้นเป็นวงกลม ดังแสดงในรูปที่ 2.16 สายอากาศที่นำเสนอครอบคลุมการทำงานความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 GHz สำหรับเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย ผลการทดสอบพบว่าสายอากาศมีอิมพีแดนซ์แบนด์วิดธ์ที่ 2.27 – 2.77 GHz และมีแบนด์วิดธ์อัตราส่วนแกนที่ 2.25 – 2.73 GHz และมีอัตราขยาย 3.75 dBic สายอากาศมีขนาดรัศมี 90 mm

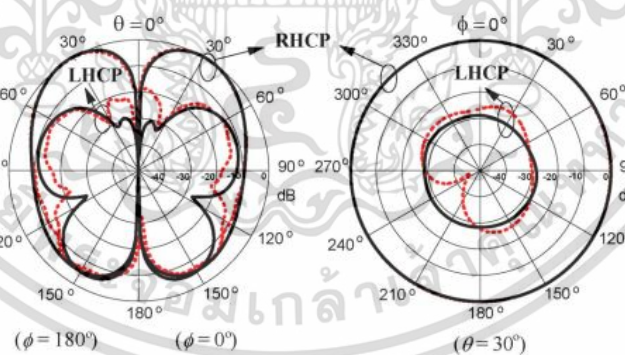


(ก) โครงสร้างและต้นแบบของสายอากาศ



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

(ค) อัตราส่วนแกนที่เป็นฟังก์ชันของความถี่



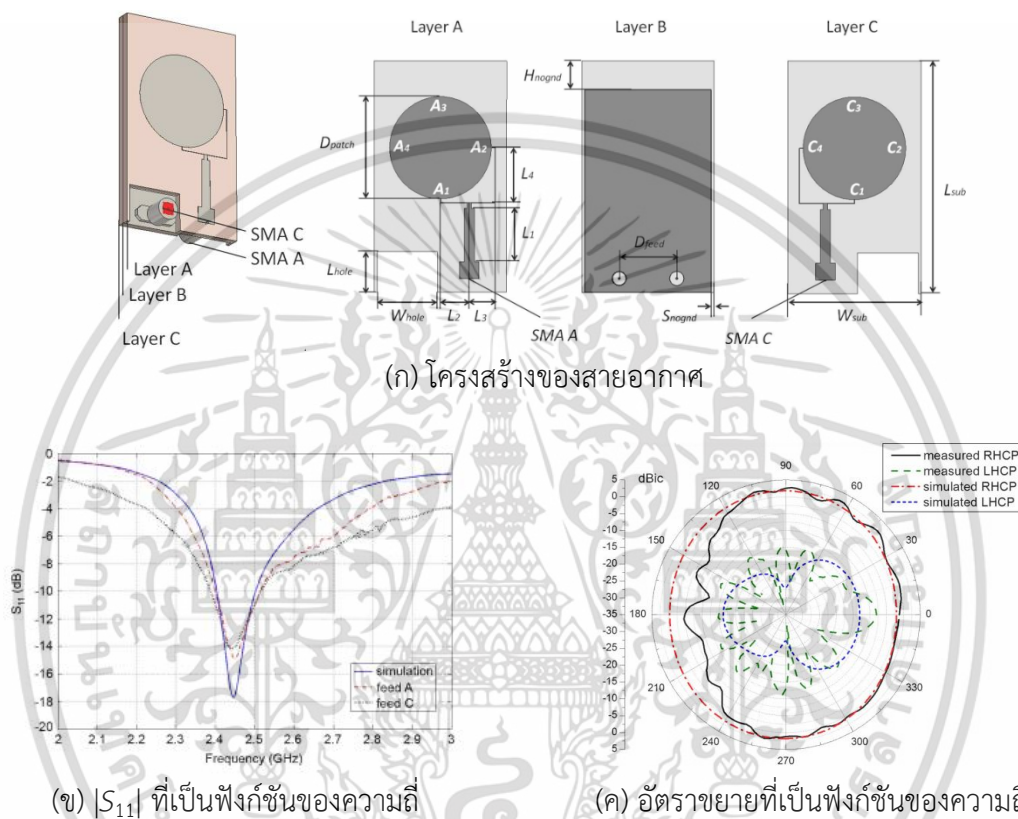
(ง) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

รูปที่ 2.16 สายอากาศแพตช์วงกลมแบนด์กว้าง [9]

เทคนิคการออกแบบที่คล้ายกันยังปรากฏอยู่ใน [10] อีกด้วย โดยงานวิจัยชิ้นนี้นำเสนอสายอากาศโพลาไรซ์วงกลมที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคล้ายกับไดโพล โครงสร้างของสายอากาศนี้มีสามชั้นดังแสดงในรูปที่ 2.17 โดยที่จุดบ่อนสัญญาณจะเป็นที่ชั้น A และชั้น C และมีจุดในการบ่อนชั้นละ 4 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากัน ในขณะที่ชั้น B เป็นระนาบกราวด์เป็นชั้นที่อยู่ตรงกลาง จุดที่ป้อนของชั้น A และ C จะทำให้เกิดเฟสแตกต่างกันซึ่งส่งผลกับแบบรูปการแพร่กระจายด้วย ผลการทดสอบพบว่าสายอากาศที่นำเสนอมีแบนด์วิดธ์ของ  $|S_{11}|$  อยู่ที่ 2.4 – 2.51 GHz แบนด์วิดธ์อัตราส่วนแบนด์อยู่ที่ 2.464 – 2.484 GHz และมีอัตราขยายที่ 1.9 dBic ซึ่งขนาดของสายอากาศ คือ  $80 \times 46 \times 6 \text{ mm}^3$



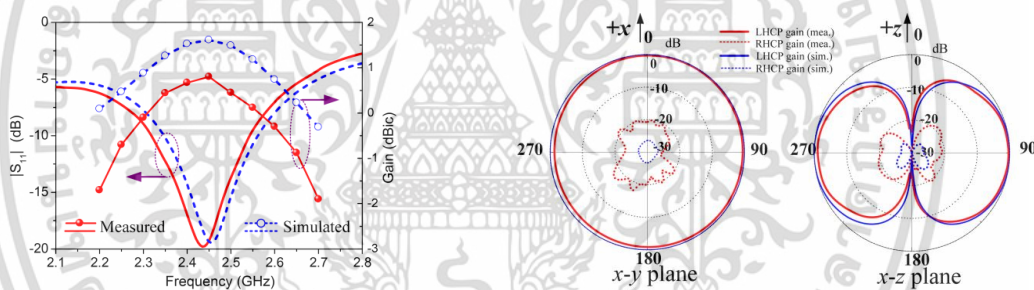
รูปที่ 2.17 สายอากาศโพลาริซวงกลมที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคล้ายกับไดโพล [10]

งานวิจัยอีกกลุ่มหนึ่งที่เลือกสร้างสายอากาศแบบหลายชั้นมาประกอบกันเพื่อให้ได้สายอากาศโพลาริซวงกลมและแบบรูปการแพร่กระจายรอบตัว เช่น ในงานวิจัย [11] เป็นการนำเสนอสายอากาศที่ประกอบไปด้วยสายอากาศทั้งหมด 3 ชั้น แต่ละชั้นเชื่อมกันด้วยท่อทำให้เกิดการต่างเฟสกัน 90 องศา ซึ่งส่งผลให้สายอากาศเป็นโพลาริซวงกลม โครงสร้างของสายอากาศแสดงดังรูปที่ 2.18 ซึ่งจะพบว่าที่ชั้นที่ 2 มีการออกแบบให้เป็นสายอากาศไดโพลและมีการเจาะรูในแต่ละชั้นเพื่อเชื่อมถึงกัน ในขณะที่ทำการป้อนสัญญาณตรงมายังชั้นที่สองที่เป็นสายอากาศไดโพล เมื่อสัญญาณที่ไหลผ่านสายอากาศในแต่ละด้านและแต่ละชั้นมีทิศทางที่แตกต่างกันแล้ว ส่งผลให้เกิดการต่างเฟสกันทำให้สายอากาศเป็นโพลาริซวงกลม

การทดสอบปรากฏว่าที่ความถี่ 2.45 GHz สายอากาศมีอัตราขยายที่ 0.8 dBic และมีอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ 220 MHz สายอากาศมีขนาดกว้าง  $33 \times 33 \times 20 \text{ mm}^3$

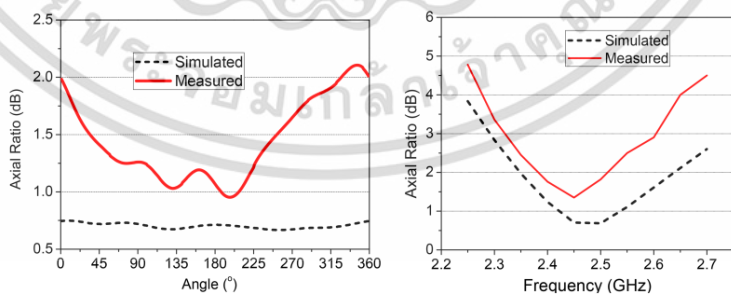


(ก) โครงสร้างและต้นแบบของสายอากาศ



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

(ค) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

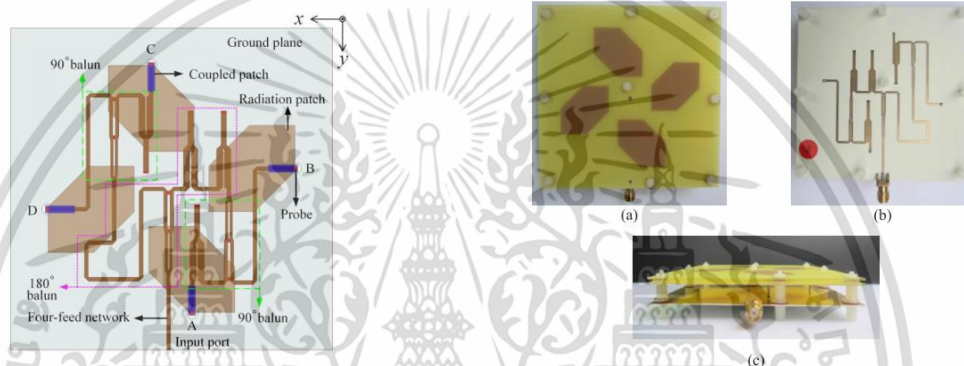


(ง) อัตราส่วนแกนที่เป็นฟังก์ชันของความถี่

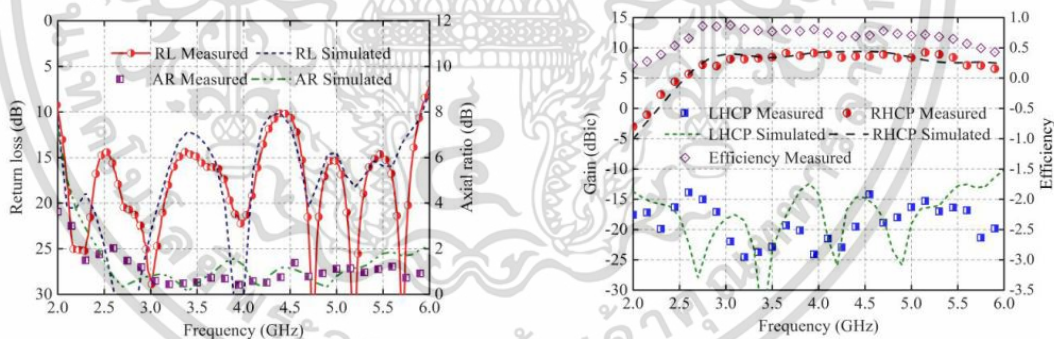
รูปที่ 2.18 สายอากาศโพลาริซวงกลมด้วยไดโพลโค้ง [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะทำงานวิจัย [12] นำเสนอการสร้างสายอากาศโพลาริซวงกลมแบนด์กว้างตั้งแต่ 2.0 – 5.92 GHz และมีแบนด์วิดธ์อัตราส่วนแบนด์ตั้งแต่ 2.15 – 6 GHz โดยมีอัตราขยายสูงสุด 9.5 dBic ที่ความถี่ 5.15 GHz โครงสร้างของสายอากาศแสดงได้ดังรูปที่ 2.19 ซึ่งจะพบว่ามีารประกอบกันสามชั้น และมีการเจาะรูทะลุเชื่อมถึงในแต่ละชั้น ส่วนของการป้อนสัญญาณจะมีลักษณะเป็นเครือข่ายของบาลัน (balun) ที่มีเฟสต่างกัน 90 และ 180 ในส่วนของอีกชั้นจะเป็นแพตช์ที่ทำหน้าที่เป็นส่วนกระจายสัญญาณรูปหกเหลี่ยมวางในตำแหน่งที่ตรงกับด้านข้างของบาลันที่อยู่อีกชั้นหนึ่ง ทำให้สายอากาศมีการกระจายแบบรอบตัวและมีโพลาริซวงกลม ขนาดของสายอากาศ  $85 \times 85 \times 12 \text{ mm}^3$



(ก) โครงสร้างและต้นแบบของสายอากาศ



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

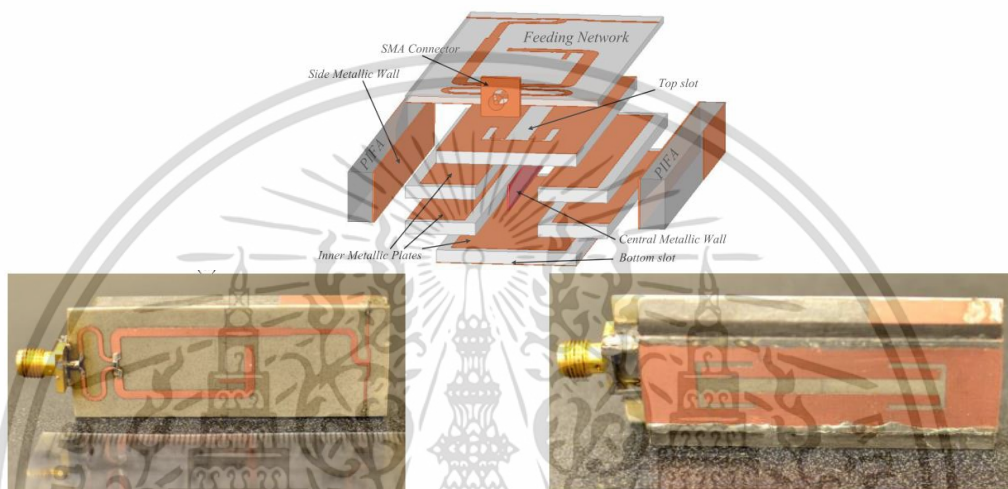
(ค) อัตราขยาย

รูปที่ 2.19 สายอากาศโพลาริซวงกลมแบนด์กว้าง [12]

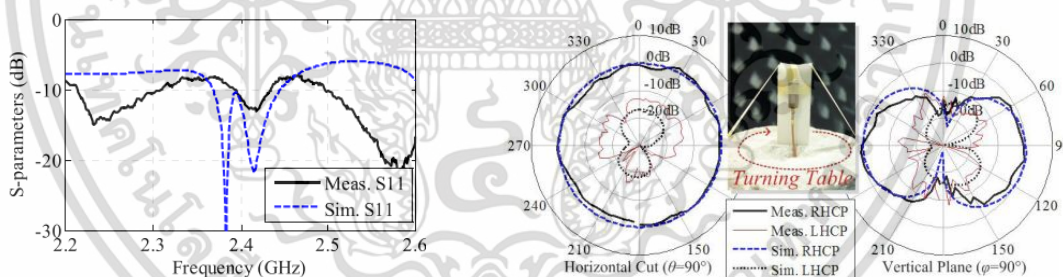
การออกแบบสายอากาศให้มีโพลาริซวงกลมด้วยการเจาะเชื่อมระหว่างสายอากาศแพตช์แต่ละด้านยังปรากฏให้เห็นในการออกแบบที่ความถี่อื่นๆ อีกด้วย เช่น งานวิจัย [13] เป็นการออกแบบสายอากาศแบนด์กว้างตั้งแต่ 2.11 – 3.58 GHz ด้วยสายอากาศแพตช์วงกลมที่มีการเชื่อมต่อกับสายอากาศช่องโค้ง 6 จุด ในขณะทำงานวิจัย [14] ก็ออกแบบสายอากาศแบนด์กว้างเช่นกันที่ความถี่ 5.04 – 6.12 GHz ด้วยการเชื่อมต่อสายอากาศแพตช์วงกลมกับสายอากาศช่องรูปวงแหวนรัศมีทั้งหมด 8 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากวิธีที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัย [15] ออกแบบโครงสร้างของสายอากาศที่ซับซ้อนขึ้น มีการประกอบกันของหลายส่วน ขนาดของสายอากาศอยู่ที่  $63 \times 25 \times 7 \text{ mm}^3$  โครงสร้างของสายอากาศแสดงได้ดังรูปที่ 2.20 ซึ่งเป็นการใช้สายอากาศสองแบบที่มีโพลาริซเซชันแต่จัดให้ต่างเฟสกัน 90 องศา ด้วยการป้อนสัญญาณแบบเครือข่าย การออกแบบสายอากาศในงานวิจัยนี้ใช้ PIFA (Planar Inverted-F Antenna) เป็นตัวปิดด้านข้างของสายอากาศที่เรียงตัวเป็นชั้น



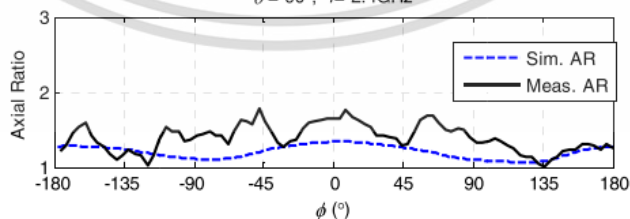
(ก) โครงสร้างและต้นแบบของสายอากาศ



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

(ค) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

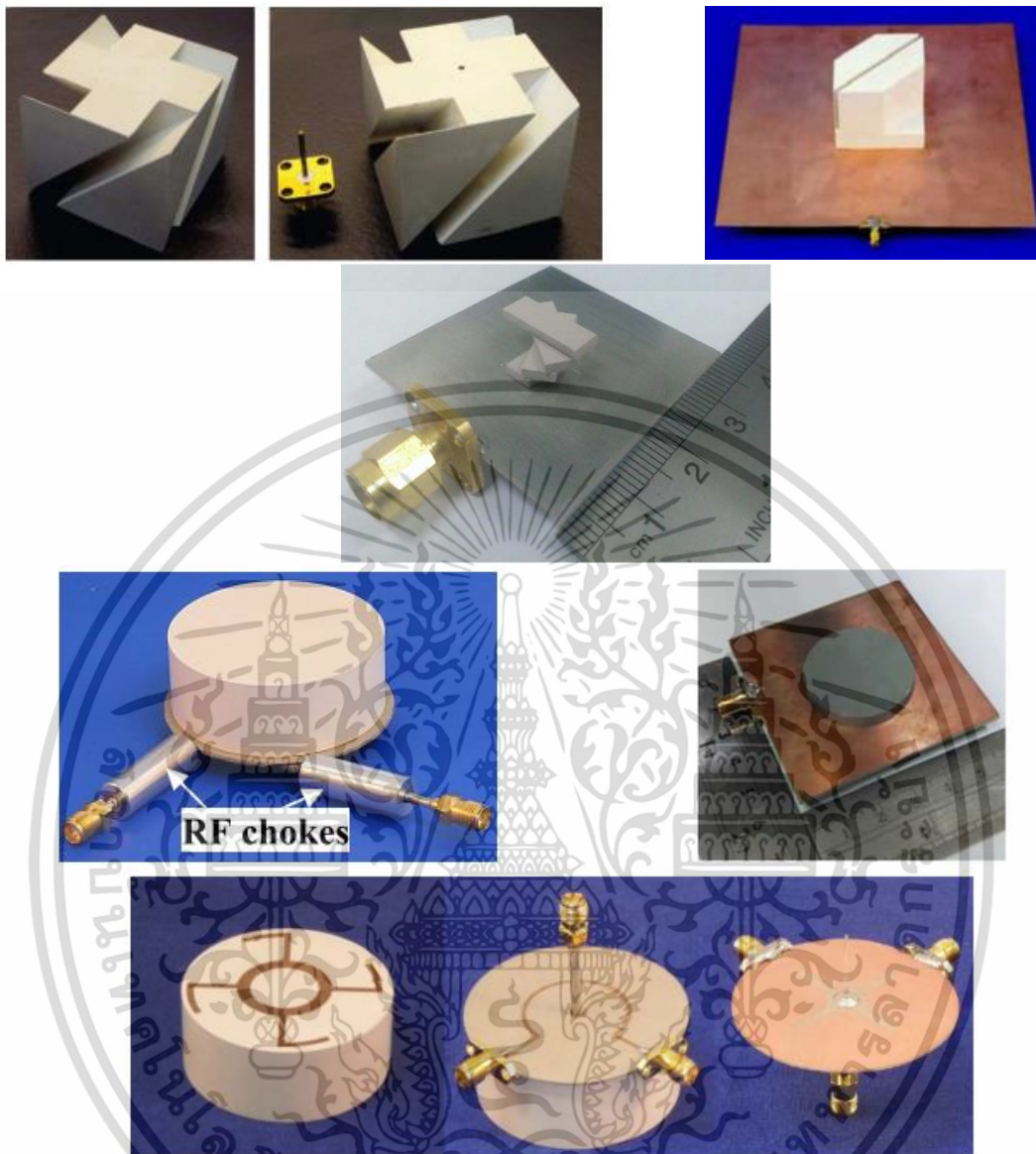
$\theta = 90^\circ, f = 2.4 \text{ GHz}$



(ง) อัตราส่วนแกนที่เป็นฟังก์ชันของความถี่

รูปที่ 2.20 สายอากาศโพลาริซเซชันวงกลม [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 สายอากาศ DRA [16 - 21]

เทคนิคการออกแบบสายอากาศโพลาริซวงกลมที่มีแบบรูปการแพร่กระจายรอบตัวที่น่าสนใจอีกเทคนิคคือ DRA (Dielectric Resonator Antenna) ซึ่งการออกแบบวิธีนี้จะใช้วัสดุไดอิเล็กตริก เช่น เซรามิก เป็นกล่องครอบไปบนระนาบกราวด์ การป้อนสัญญาณจะทำด้านในของกล่องไดอิเล็กตริกนี้ สัญญาณจะสะท้อนไปมากับ DRA ทำให้เกิดโพลาริซวงกลมที่ต้องการ สายอากาศ DRA ปรากฏในงานวิจัย [16 - 21] ซึ่งมีการออกแบบให้ไดอิเล็กตริกมีรูปร่างที่แตกต่างกันออกไป เพื่อให้สายอากาศที่ออกแบบทำงานได้ในย่านความถี่ที่ต้องการ เช่น งานวิจัย [16 - 17] มีการบากด้านนอกของไดอิเล็กตริกทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากให้เป็นร่อง หรือมีการเรียงตัวกันของไดอิเล็กตริกรอบล้อมจุดป้อนสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานวิจัย [18] ในขณะที่งานวิจัย [19 – 21] ใช้ไดอิเล็กทริกรูปทรงระบอบ แต่ใช้สายอากาศแพตช์รูปแบบต่างๆ เป็นตัวป้อนสัญญาณ รูปตัวอย่างสายอากาศ DRA แสดงไว้ในรูปที่ 2.21

สายอากาศในงานวิจัย [22 – 24] เป็นการออกแบบในรูปแบบสามมิติ โดยใช้โพรบเป็นตัวป้อนสัญญาณเหมือนกัน แนวคิดของทั้งสามงานวิจัยเหมือนกันคือ ออกแบบให้คลื่นที่ออกมาจากโพรบเปลี่ยนจากโพลาริซเซชันเชิงเส้นเป็นโพลาริซเซชันวงกลมโดยที่ยังมีแบบรูปการกระจายคลื่นรอบตัวอยู่ โดยอาศัยโครงสร้างที่เพิ่มเข้ามา เช่น งานวิจัย [22] ใช้การเรียงตัวของแท่งรอบโพรบที่ต่างองศา กัน ทำให้เกิดโพลาริซเซชันวงกลม ในขณะที่งานวิจัย [23] ออกแบบเป็นห่วงทอรัส (Torus knot) เพื่อให้เกิดการกระจายกระแสที่แตกต่างกันไป และงานวิจัย [24] ใช้การปรับเอียงของของแผ่นสายอากาศโมโนโพลต่างกันทำให้เกิดโพลาริซเซชันวงกลม สายอากาศที่กล่าวถึงแสดงในรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 สายอากาศที่ใช้ส่วนประกอบเป็นสามมิติ [22 - 24]

จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาทั้งหมด สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสายอากาศที่ทำงานในย่านความถี่ 2.45 GHz เพียงความถี่เดียว และมีโพลาริซเซชันวงกลมที่มีแบบรูปการกระจายคลื่นรอบตัวได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสายอากาศ

งานวิจัย	อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์	แบนด์วิดท์อัตราส่วนแกน	อัตราขยาย	โครงสร้างสายอากาศ
[9]	2.27 – 2.77 GHz	2.25 – 2.73 GHz	3.75 dBic	$180 \times 180 \times 3 \text{ mm}^3$
[10]	2.40 – 2.51 GHz	2.46 – 2.48 GHz	1.90 dBic	$80 \times 46 \times 6 \text{ mm}^3$
[11]	2.32 – 2.54 GHz	2.32 – 2.61 GHz	1.20 dBic	$33 \times 33 \times 20 \text{ mm}^3$
[16]	2.30 – 2.94 GHz	2.39 – 2.57 GHz	0.91 dBic	$39 \times 39 \times 33 \text{ mm}^3$
[19]	2.37 – 2.63 GHz	2.37 – 2.56 GHz	1.56 dBic	$53 \times 53 \times 20 \text{ mm}^3$
[20]	2.39 – 2.51 GHz	2.39 – 2.51 GHz	1.12 dBic	$50 \times 50 \times 20 \text{ mm}^3$

## 2.6 สรุป

ย่านความถี่ไอเอสเอ็มมีการนำมาใช้งานในด้านการสื่อสารมากขึ้น แต่จะต้องไม่ทำให้การใช้งานไปรบกวนระบบหลักตามข้อบังคับของแต่ละพื้นที่ การออกแบบสายอากาศที่ใช้ในระบบจึงมีความสำคัญ ซึ่งในบทนี้ได้นำเสนอหลักการและทฤษฎีทางสายอากาศ และได้นำเสนอสายอากาศไดโพลที่นิยมนำมาปรับปรุงใช้งานเฉพาะด้าน รวมไปถึงเทคนิคการสร้างสายอากาศโพลาริซวงกลม ในส่วนของงานวิจัยที่ผ่านมา การออกแบบสายอากาศโพลาริซวงกลมมีหลายเทคนิคที่นำเสนอ การออกแบบโดยใช้แผ่นระนาบสองแผ่นมาประกบกันเป็นวิธีการสร้างที่สะดวกแต่พบว่ามีความถี่ที่ใหญ่มาก การออกแบบที่นำสายอากาศย่อยมาเป็นองค์ประกอบหลายชั้นสามารถลดขนาดแผ่นระนาบได้ การออกแบบด้วยวัสดุไดอิเล็กทริกก็เป็นอีกวิธีที่มีการนำเสนอ นอกจากนี้ยังมีการนำแผ่นวัสดุมาวางล้อมรอบจุดป้อนสัญญาณเพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดโพลาริซวงกลมได้เช่นกัน



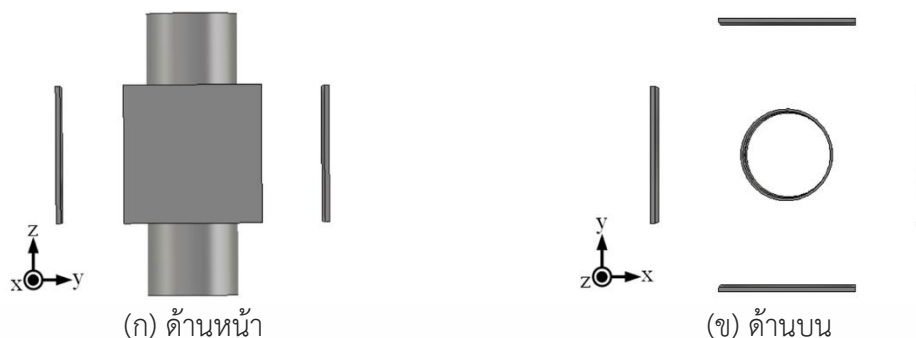
## บทที่ 3

# สายอากาศไดโพลและพาราซิติค

สายอากาศไดโพลเป็นสายอากาศที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นรอบตัว และมีโพลาริซเซชันเชิงเส้น หากต้องการให้เปลี่ยนเป็นโพลาริซเซชันวงกลมจะต้องทำให้เกิดองค์ประกอบสนามไฟฟ้า 2 องค์ประกอบที่ตั้งฉากและมีขนาดเท่ากัน แต่เฟสต่างกัน 90 องศา ในบทนี้จึงจะกล่าวถึงการนำแผ่นพาราซิติคมารวมกับสายอากาศไดโพลเพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนแอมพลิจูดที่เพิ่มเข้ามาจะต้องทำให้เกิดโพลาริซเซชันวงกลมโดยที่ยังคงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นรอบตัวไว้ด้วย

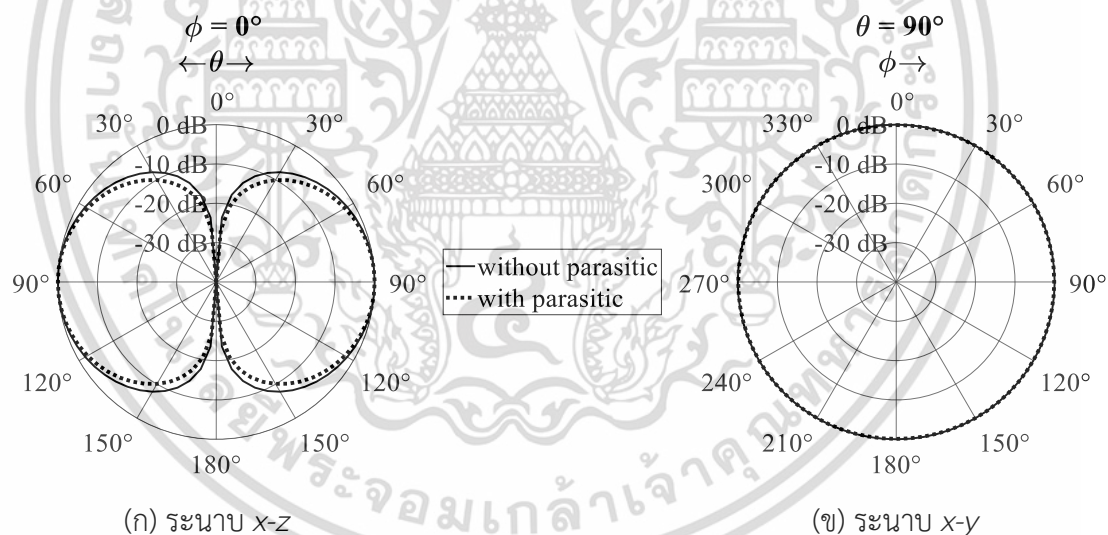
### 3.1 สายอากาศไดโพลร่วมกับแผ่นพาราซิติค

ในระบบการสื่อสารไร้สายต้องการสายอากาศที่สามารถรับคลื่นได้ทุกทิศทางและโพลาริซเซชันในทุกระนาบ สายอากาศโพลาริซเซชันวงกลมจึงเป็นที่สนใจ สายอากาศตั้งต้นที่ศึกษาจะเริ่มจากสายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่นที่มีความยาวรวม 62 mm มีช่องว่างระหว่างไดโพล 2 mm โดยมีรัศมี 10 mm และมีความหนา 1 mm สายอากาศไดโพลมีแบบรูปการกระจายคลื่นรอบตัว แต่มีโพลาริซเซชันเชิงเส้น ซึ่งในการใช้งานบางระบบมีความต้องการรับโพลาริซเซชันได้ทุกระนาบ จึงต้องทำการเพิ่มองค์ประกอบสนามไฟฟ้าให้เกิดโพลาริซเซชันวงกลมด้วยการเพิ่มแผ่นพาราซิติคเข้าไปในโครงสร้างสายอากาศ โดยแผ่นพาราซิติคที่ทำการเพิ่มเข้ามาจะเป็นแผ่นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีความยาวด้านละ 30 mm ซึ่งมีขนาดเป็น  $\lambda/4$  อาจส่งผลให้เกิดสนามไฟฟ้าที่มีเฟสต่างกัน 90 องศา นำมาวางไว้ล้อมรอบสายอากาศไดโพลทั้งสิ้นด้านอย่างสมมาตร โดยมีระยะห่างจากจุดศูนย์กลางสายอากาศไดโพล 30 mm เพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำในสนามระยะไกลโดยที่เกิดผลกระทบต่อ  $|S_{11}|$  น้อยที่สุด และช่องว่างระหว่างสายอากาศไดโพลและแผ่นพาราซิติคเป็นอากาศ เพื่อลดการสูญเสียที่เกิดจากวัสดุฐานรองที่เป็นไดอิเล็กทริก โครงสร้างสายอากาศที่เพิ่มเติมแสดงได้ดังรูปที่ 3.1 ในมุมมองด้านหน้า และด้านบนของสายอากาศ



รูปที่ 3.1 การออกแบบสายอากาศไดโพลร่วมกับแผ่นพาราซิติก

การศึกษาผลกระทบในการเพิ่มโครงสร้างแผ่นพาราซิติกล้อมรอบไดโพลจะพิจารณาในส่วนของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นและอัตราส่วนแกน เพื่อปรับปรุงให้สายอากาศมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นรอบตัวและมีโพลาริซิงกลม จากการจำลองการเพิ่มโครงสร้างแผ่นพาราซิติกพบว่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแสดงได้ดังรูปที่ 3.2

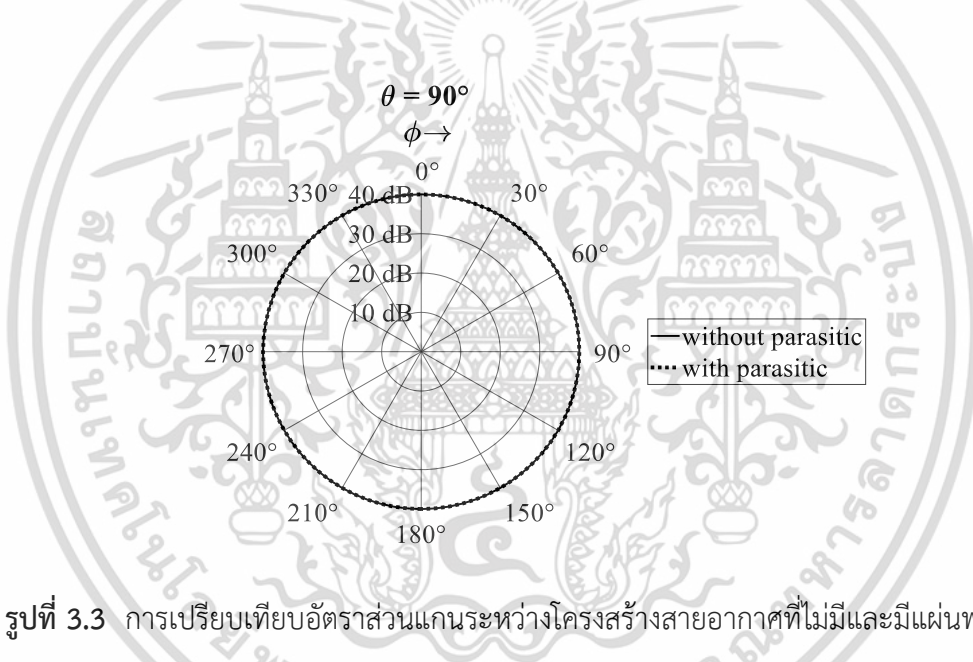


รูปที่ 3.2 การเปรียบเทียบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นระหว่างโครงสร้างสายอากาศที่ไม่มีและมีแผ่นพาราซิติก

จากการจำลองการเพิ่มแผ่นพาราซิติกพบว่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศยังคงเป็นแบบรอบตัวทั้งในระนาบ  $x-z$  และ  $x-y$  โดยโครงสร้างสายอากาศทั้งสองรูปแบบยังคงมีโพลหลัก (main lobe) ที่มุม 90 องศา ซึ่งตั้งฉากกับสายอากาศไดโพล แต่ค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบ

$x-z$  มีขนาดที่แตกต่างกัน โครงสร้างสายอากาศที่ไม่มีแผ่นพาราซิติคมีค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง 76.5 องศา ในขณะที่โครงสร้างสายอากาศที่มีแผ่นพาราซิติคมีค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง 65.8 องศา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มแผ่นพาราซิติคยังคงทำให้สายอากาศมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นรอบตัวเหมือนเดิม เนื่องจากการล้อมรอบสายอากาศได้โพลอย่างสมมาตร

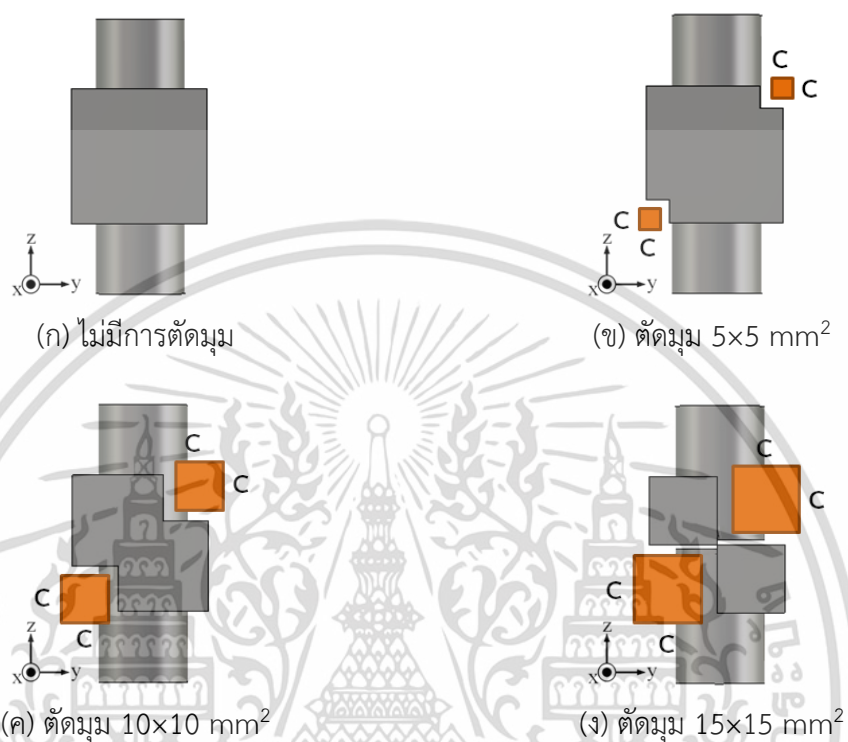
ผลการจำลองอัตราส่วนแกนของโครงสร้างสายอากาศที่ไม่มีและมีแผ่นพาราซิติคในระนาบ  $x-y$  เพื่อศึกษาผลกระทบจากตำแหน่งที่วางแผ่นพาราซิติคแสดงได้ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งพบว่าค่าอัตราส่วนแกนไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยโครงสร้างสายอากาศทั้งสองแบบมีค่าอัตราส่วนแกนเท่ากับ 40 dB สายอากาศทั้งสองแบบยังคงเป็นสายอากาศที่มีโพลาริซเซชันเชิงเส้น แสดงว่าองค์ประกอบสนามไฟฟ้าที่เกิดจากไดโพลและแผ่นพาราซิติคยังมีเฟสที่เหมือนกัน จึงต้องหาวิธีปรับปรุงแผ่นพาราซิติคให้มีองค์ประกอบสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป เพื่อให้โครงสร้างสายอากาศมีโพลาริซเซชันวงกลม



รูปที่ 3.3 การเปรียบเทียบอัตราส่วนแกนระหว่างโครงสร้างสายอากาศที่ไม่มีและมีแผ่นพาราซิติค

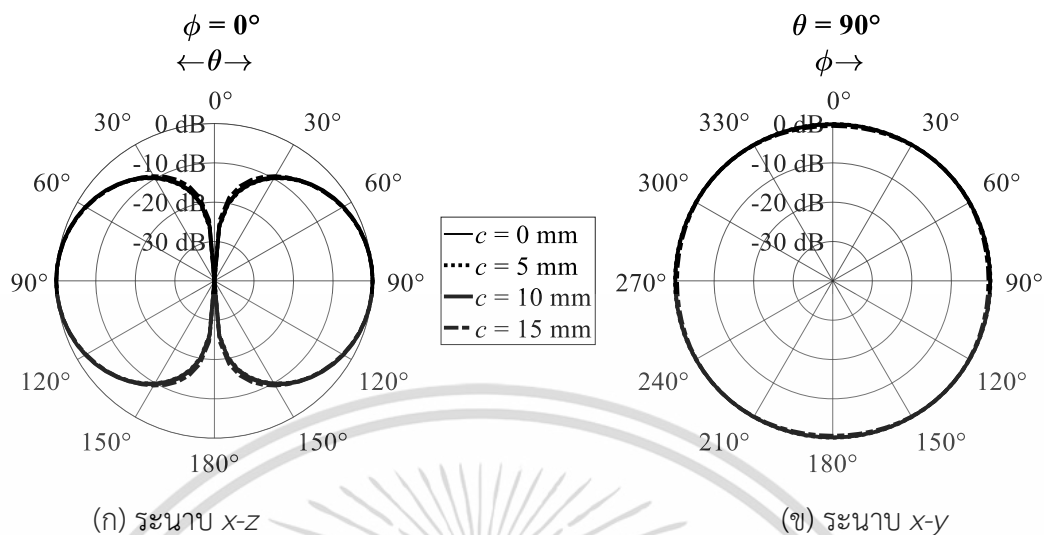
การนำแผ่นพาราซิติคมาเพิ่มในโครงสร้างสายอากาศเพื่อต้องการให้เกิดสนามไฟฟ้า 2 องค์ประกอบที่มีขนาดเท่ากันและเฟสต่างกัน 90 องศาเพื่อสร้างโพลาริซเซชันวงกลม แต่การวางแผ่นพาราซิติคที่เป็นสี่เหลี่ยมพบว่าไม่ทำให้อัตราส่วนแกนเกิดการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากกระแสที่กระจายตัวบนพื้นผิวแผ่นพาราซิติคมีเพียงในแนวแกนเดียว ไม่ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าใน 2 องค์ประกอบได้ จึงต้องทำการปรับปรุงแผ่นพาราซิติคด้วยการตัดมุมแนวทแยงทั้งสองด้าน เพื่อแยกกระแสที่กระจายบนพื้นผิวแผ่นพาราซิติคออกเป็นสองส่วน ซึ่งอาจจะส่งผลให้เกิดการกระจายกระแสใน 2 แนวแกนที่มีขนาดที่เท่ากันและเฟสต่างกัน 90 องศา การตัดมุมของแผ่นพาราซิติคจะตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีขนาดด้านละ  $c$

เพื่อศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแผ่นพาราซีติกจึงทำการปรับขนาดของการตัดมุมเป็น 5 และ 15 mm ทำให้รูปร่างแผ่นพาราซีติกเป็นดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การปรับปรุงแผ่นพาราซีติกด้วยการตัดมุมทั้งสองด้านแนวทแยง

จากรูปที่ 3.4 จะพบว่าแผ่นพาราซีติกถูกตัดมุมทั้งสองด้านแนวทแยงในขนาดที่ต่างกัน รูปที่ 3.4 (ก) เป็นแผ่นพาราซีติกที่ไม่มีการตัดมุมออก รูปที่ 3.4 (ข) แผ่นพาราซีติกถูกตัดมุมออกทั้งสองด้านขนาด  $5 \times 5 \text{ mm}^2$  รูปที่ 3.4 (ค) แผ่นพาราซีติกถูกตัดมุมออกทั้งสองด้านขนาด  $10 \times 10 \text{ mm}^2$  โดยในรูปที่ 3.4 (ง) จะเป็นขนาดที่สามารถตัดได้มากที่สุดคือ  $15 \times 15 \text{ mm}^2$  เนื่องจากแผ่นพาราซีติกมีขนาดกว้างและยาว 30 mm จึงทำการตัดมุมได้มากที่สุด 15 mm ถ้าทำการตัดมุมมากกว่านี้จะทำให้แผ่นพาราซีติกแยกออกเป็นสองแผ่น ซึ่งจะทำให้เกิดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสเต็มแผ่นเหมือนเดิมที่ไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราส่วนแกน ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น และอัตราส่วนแกนของการปรับปรุงแผ่นพาราซีติกแสดงได้ดังรูปที่ 3.5 และ 3.6



**รูปที่ 3.5** การเปรียบเทียบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ระหว่างโครงสร้างสายอากาศที่มีการตัดมุมแผ่นพาราซีติกแนวทแยงขนาดต่างๆ

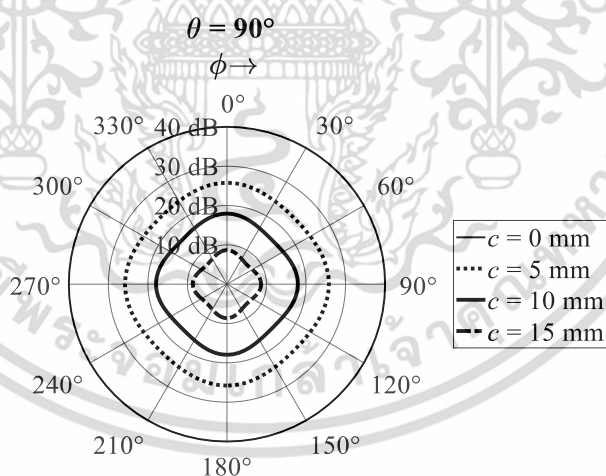
จากรูปที่ 3.5 เป็นการเปรียบเทียบในการปรับปรุงแผ่นพาราซีติกด้วยการตัดมุมทั้งสองด้านในแนวทแยง โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการไม่ตัดมุมออก และตัดมุมออกด้วยขนาด 5 10 และ 15 mm ผลการจำลองพบว่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศยังคงเป็นแบบรอบตัวทั้งในระนาบ x-z และ x-y โดยโครงสร้างสายอากาศทั้งสองรูปแบบยังคงมีโหลบลึกที่มุม 90 องศา ซึ่งตั้งฉากกับสายอากาศไดโพล แต่ค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบ x-z มีขนาดที่แตกต่างกัน ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังมีค่าเป็น 65.8 66.8 67.6 และ 65.4 องศา ของการตัดมุมออกด้วยขนาด 0 5 10 และ 15 mm ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงรูปร่างแผ่นพาราซีติกยังคงทำให้สายอากาศมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นรอบตัวเหมือนเดิม เนื่องจากการล้อมรอบสายอากาศไดโพลอย่างสมมาตร

ผลการจำลองอัตราส่วนแกนของโครงสร้างสายอากาศที่มีการตัดมุมแผ่นพาราซีติกแนวทแยงขนาดต่างๆ ในระนาบ x-y เพื่อศึกษาผลกระทบจากตำแหน่งที่วางแผ่นพาราซีติกแสดงได้ดังรูปที่ 3.6 ซึ่งพบว่าค่าอัตราส่วนแกนมีการเปลี่ยนแปลง โดยอัตราส่วนแกนของโครงสร้างสายอากาศแบบต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนแกนของโครงสร้างสายอากาศที่มีการตัดมุมแผ่นพาราซิติคแนวทแยงขนาดต่างๆ

ขนาดการตัดมุมแผ่นพาราซิติค	อัตราส่วนแกนน้อยสุด	อัตราส่วนแกนมากที่สุด
0×0 mm <sup>2</sup>	40.0 dB	40.0 dB
5×5 mm <sup>2</sup>	23.9 dB	25.8 dB
10×10 mm <sup>2</sup>	16.0 dB	17.9 dB
15×15 mm <sup>2</sup>	7.0 dB	8.7 dB

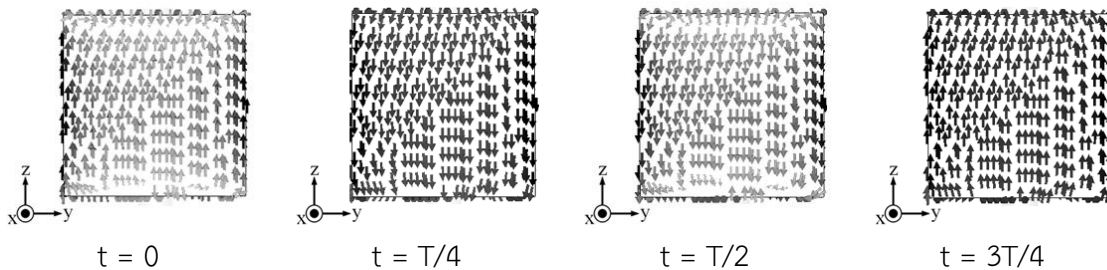
จากตารางที่ 3.1 พบว่าอัตราส่วนแกนของโครงสร้างสายอากาศที่มีการมุมแผ่นพาราซิติคแนวทแยงมีค่าที่ลดลงเมื่อขนาดการตัดมุมแผ่นพาราซิติคมีขนาดที่ใหญ่ขึ้น และลดลงเข้าใกล้ 3 dB ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโครงสร้างสายอากาศที่ได้ใกล้เคียงสายอากาศโพลาริซิงกลม นอกจากนี้อัตราส่วนแกนที่มากที่สุดของโครงสร้างสายอากาศแต่ละแบบมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งที่วางแผ่นพาราซิติค จากรูปที่ 3.6 พบว่าตำแหน่ง 0 90 180 และ 270 องศา ของแต่ละโครงสร้างสายอากาศ มีค่าอัตราส่วนแกนมากที่สุด ซึ่งตำแหน่งดังกล่าวคือตำแหน่งที่ทำการวางแผ่นพาราซิติคล้อมรอบไดโพล แสดงให้เห็นว่าการตัดมุมแผ่นพาราซิติคตามแนวทแยงจะช่วยให้เกิดองค์ประกอบของสนามไฟฟ้าสององค์ประกอบจากไดโพลและแผ่นพาราซิติคที่มีเฟสต่างกัน



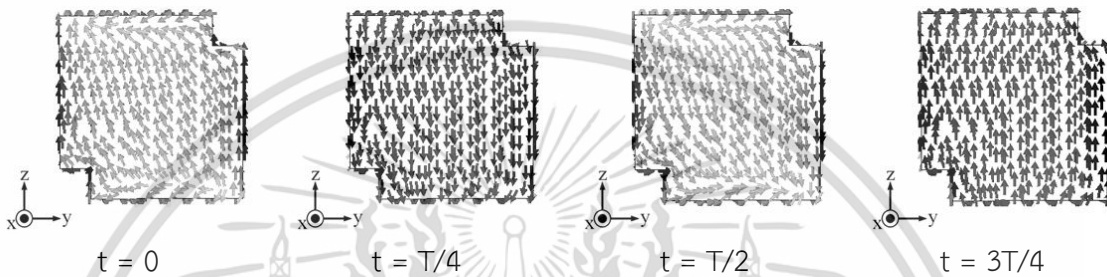
รูปที่ 3.6 การเปรียบเทียบอัตราส่วนแกนระหว่างโครงสร้างสายอากาศที่มีการตัดมุมแผ่นพาราซิติคแนวทแยงขนาดต่างๆ

### 3.2 การกระจายกระแสเชิงพื้นผิวบนแผ่นพาราซิติค

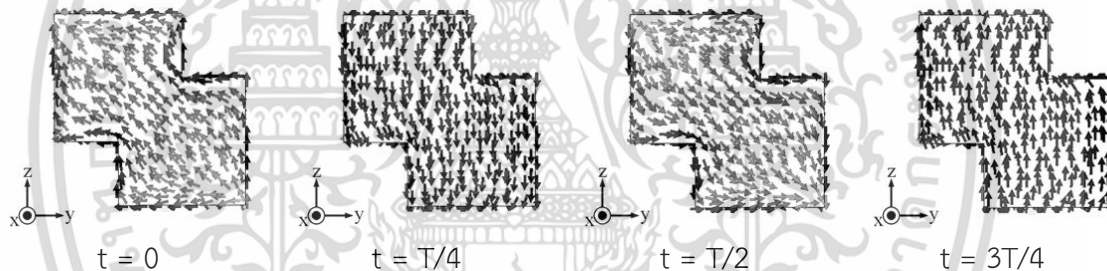
เพื่อศึกษาผลการปรับปรุงแผ่นพาราซิติคที่ทำให้เกิดองค์ประกอบของสนามไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับองค์ประกอบสนามไฟฟ้าของไดโพล จึงได้ทำการจำลองการกระจายกระแสเชิงพื้นผิวบนแผ่นพาราซิติคขึ้นรูปที่ 3.7 แสดงผลการจำลองการกระจายกระแสเชิงพื้นผิวบนแผ่นพาราซิติคของรูปแบบแผ่นพาราซิติคที่ทำการตัดมุมขนาดต่างๆ ความหนาแน่นกระแสมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา จากรูปที่ 3.7 (ก) พบว่าที่เวลา  $t = 0$  ทิศทางของการกระจายกระแสจะไหลในทิศทางขึ้นข้างบน เมื่อเวลา  $t = T/4$  และ  $T/2$  ทิศทางของการกระจายกระแสจะไหลในทิศทางลงด้านล่าง และเมื่อเวลา  $t = 3T/4$  ทิศทางของการกระจายกระแสจะไหลในทิศทางขึ้นข้างบน จะสังเกตว่าทิศทางการไหลของกระแสมีเพียงสองทิศทางคือขึ้นด้านบนและลงด้านล่าง ในรูปที่ 3.7 (ข) เมื่อทำการตัดมุมของแผ่นพาราซิติคแล้ว จะพบทิศทางของการกระจายกระแสเริ่มมีทิศทางอื่นที่ไม่ใช่ขึ้นด้านบนหรือลงด้านล่าง โดยในส่วนของขอบที่ทำการตัดจะพบกระแสเริ่มมีการเอียงตามรอยตัด ในรูปที่ 3.7 (ค) จะเห็นได้ชัดเจนขึ้น เมื่อเวลา  $t = 0$  และ  $T/2$  ทิศทางของการกระจายกระแสมีการเอียงขึ้น และเอียงลง แต่เวลา  $t = T/4$  และ  $3T/4$  ทิศทางของการกระจายกระแสยังคงขึ้นด้านบนและลงด้านล่างเหมือนเดิม รูปที่ 3.7 (ง) พบว่าที่เวลา  $t = 0$  ทิศทางของการกระจายกระแสจะไหลในทิศทางเอียงขึ้นข้างบน เมื่อเวลา  $t = T/4$  ทิศทางของการกระจายกระแสจะไหลในทิศทางลงด้านล่าง เมื่อเวลา  $t = T/2$  ทิศทางของการกระจายกระแสจะไหลในทิศทางเอียงขึ้นลงข้างล่าง และเมื่อเวลา  $t = 3T/4$  ทิศทางของการกระจายกระแสจะไหลในทิศทางขึ้นด้านบน เมื่อพิจารณาถึงแนวการกระจายตัวของกระแสจะพบว่ารูปที่ 3.7 (ก) และ (ข) มีเพียงแนวแกนเดียว ขณะที่รูปที่ 3.7 (ค) แนวการกระจายตัวของกระแสเริ่มมี 2 แนวแกน โดยมีแนวเอียงเพิ่มเข้ามา และในรูปที่ 3.7 (ง) จะเห็นได้ชัดเจนว่าแนวการกระจายตัวของกระแสเป็น 2 แนวแกน ดังนั้นการตัดมุมแผ่นพาราซิติคจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้า 2 องค์ประกอบ



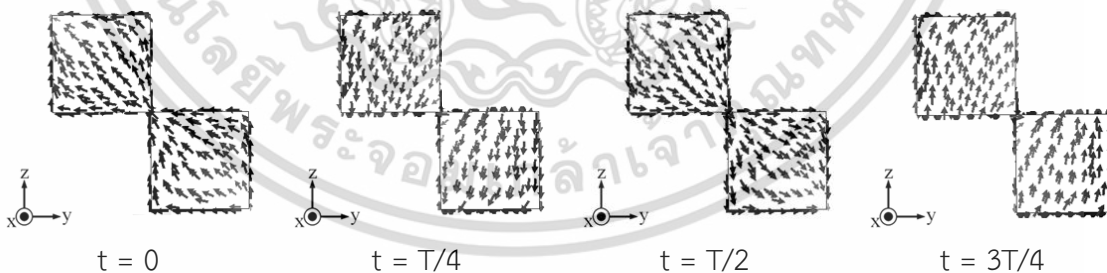
(ก) ไม่มีการตัดมุม



(ข) ตัดมุม  $5 \times 5 \text{ mm}^2$



(ค) ตัดมุม  $10 \times 10 \text{ mm}^2$

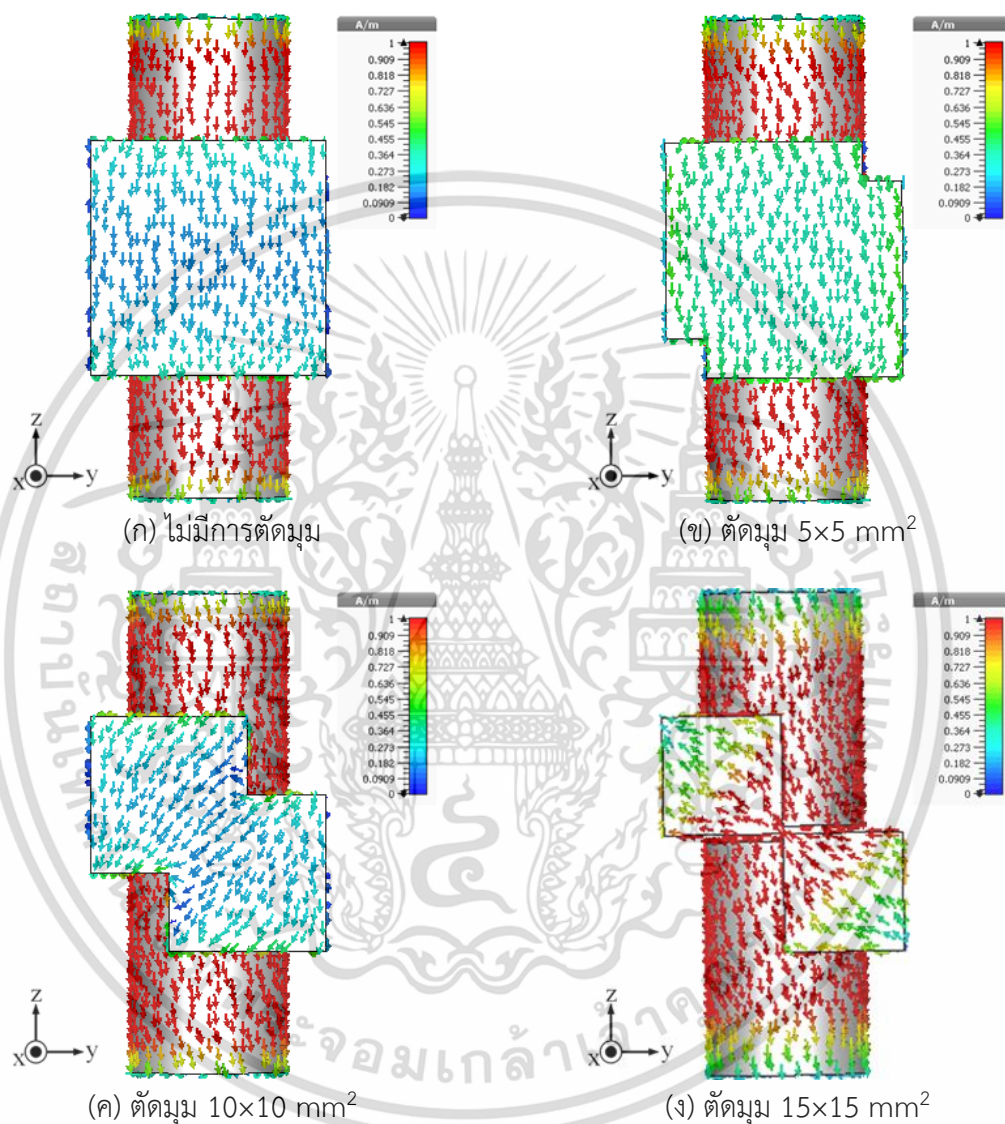


(ง) ตัดมุม  $15 \times 15 \text{ mm}^2$

รูปที่ 3.7 ผลการจำลองการกระจายกระแสที่ไหลบนแผ่นพาราซิติค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

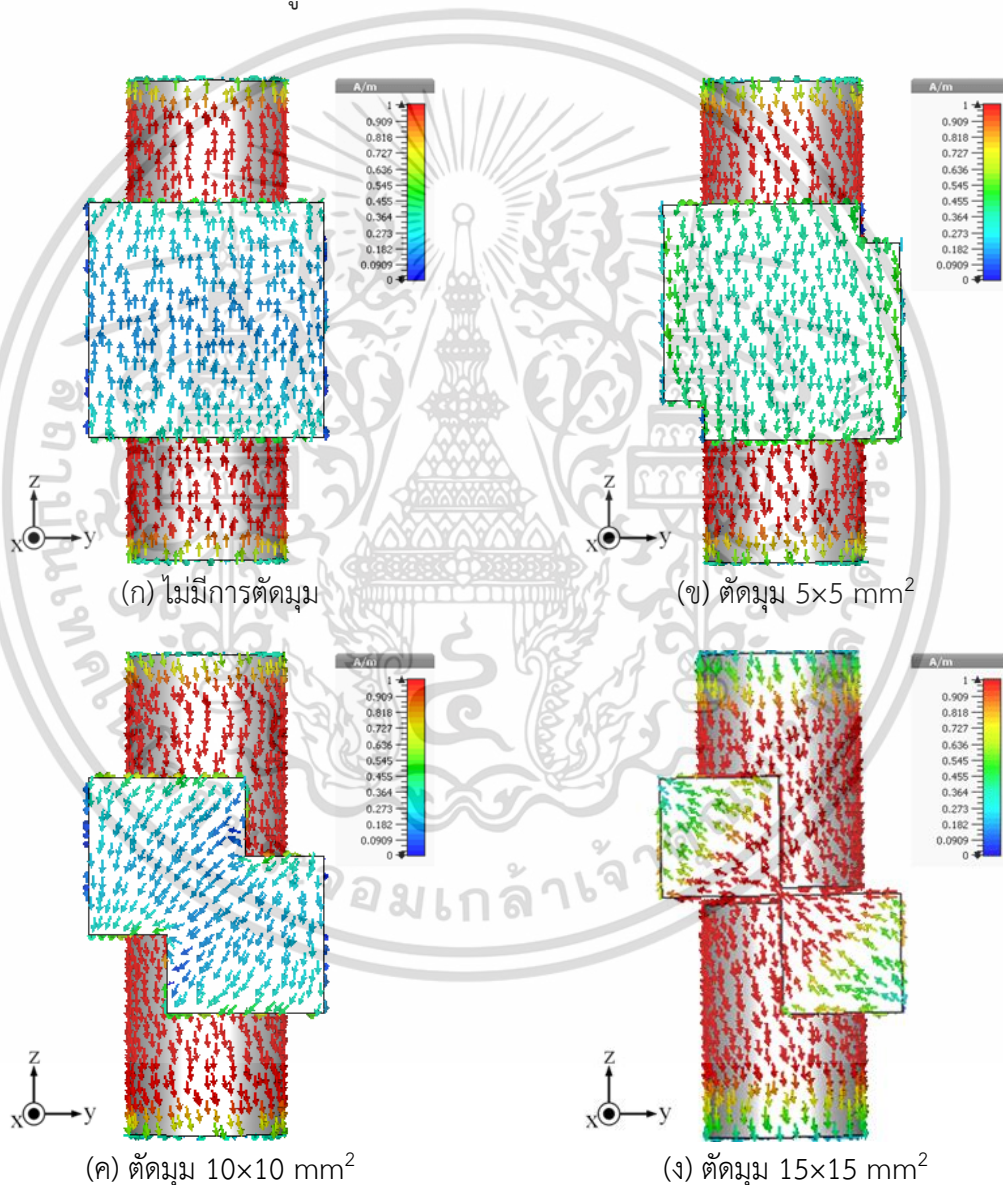
เมื่อพิจารณาการกระจายกระแสที่ไหลบนแผ่นพาราซิติคเปรียบเทียบกับ การกระจายกระแสที่ไหลบนไดโพล โดยเปรียบเทียบในขณะที่การกระจายกระแสบนไดโพลมีขนาดสูงสุดทิศทางด้านล่าง แสดงได้ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ผลการจำลองการกระจายกระแสที่ไหลบนแผ่นพาราซิติค  
ในขณะที่การกระจายกระแสบนไดโพลมีขนาดสูงสุดทิศทางด้านล่าง

จากรูปที่ 3.8 พบว่า ในกรณีที่ไม่มีการตัดมุมแผ่นพาราซิติค ทิศทางการกระจายกระแสของทั้งไดโพลและแผ่นพาราซิติคเป็นทิศทางเดียวกันคือไหลลงด้านล่าง ซึ่งให้ผลที่คล้ายกับการตัดแผ่นพาราซิติคขนาด  $5 \times 5 \text{ mm}^2$  ทิศทางการไหลของกระแสยังเป็นทิศทางเดียวกันระหว่างไดโพลและแผ่นพาราซิติค

เมื่อทำการตัดมุมแผ่นพาราซีติกขนาด  $10 \times 10 \text{ mm}^2$  ทิศทางการไหลของกระแสบนแผ่นพาราซีติกมีการไหลลงด้านล่างแนวเฉียง ซึ่งจะมีทิศทางแตกต่างจากกระแสไหลบนไดโพลที่มีทิศทางไหลลงด้านล่างตรงๆ แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบของกระแสบนไดโพลและแผ่นพาราซีติกเริ่มมีความแตกต่างกันขึ้น ทิศทางการกระจายกระแสของโครงสร้างสายอากาศที่มีการตัดมุมแผ่นพาราซีติกขนาด  $15 \times 15 \text{ mm}^2$  จะทำให้เห็นองค์ประกอบที่แตกต่างกันยิ่งขึ้นระหว่างกระแสบนไดโพลและแผ่นพาราซีติก การไหลของกระแสบนไดโพลและแผ่นพาราซีติกมีลักษณะที่คล้ายกันเมื่อการกระจายกระแสบนไดโพลมีขนาดสูงสุด ทิศทางขึ้นด้านบน ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ผลการจำลองการกระจายกระแสที่ไหลบนแผ่นพาราซีติก  
ในขณะที่การกระจายกระแสบนไดโพลมีขนาดสูงสุดทิศทางขึ้นด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.9 จะพบว่า การตัดมุมแผ่นพาราซิติคขนาด  $15 \times 15 \text{ mm}^2$  จะทำให้กระแสที่ไหลบนไดโพลและแผ่นพาราซิติคมีทิศทางที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ความต่างเฟสของกระแสที่ไหลบนไดโพลและแผ่นพาราซิติคมีค่าใกล้เคียง 90 องศา ในขณะที่แผ่นพาราซิติคที่ตัดมุมตามแนวทแยงจะทำให้แผ่นพาราซิติคมีรูปร่างที่คล้ายกับสายอากาศไดโพล ดังนั้น โครงสร้างของสายอากาศที่มีแผ่นพาราซิติคตัดมุมล้อมรอบไดโพลจึงคล้ายกับการวางไดโพลไขว้กัน และเมื่อกระแสที่ไหลบนไดโพลกับแผ่นพาราซิติคมีความต่างเฟสใกล้เคียง 90 องศา จึงทำให้โพลาริซเข้าใกล้โพลาริซวงกลม

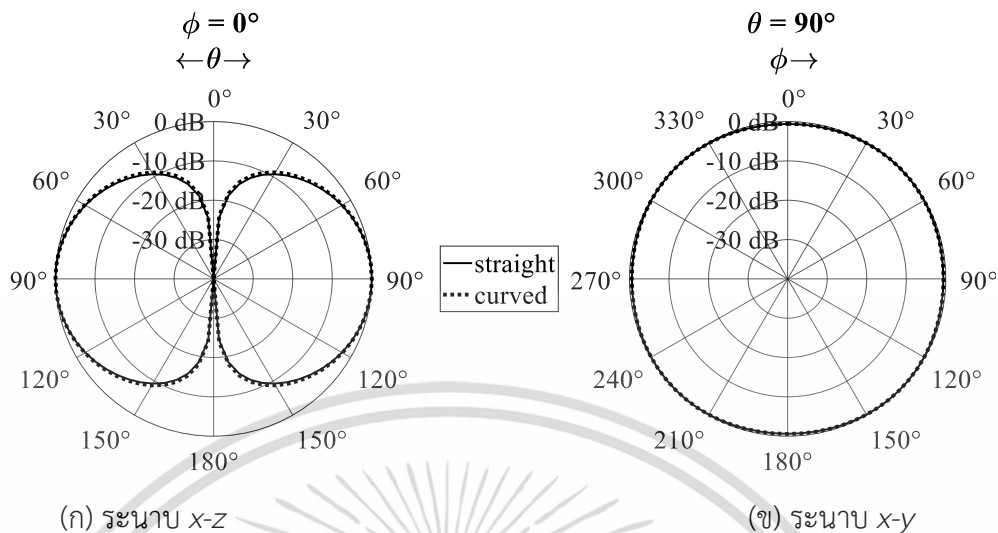
### 3.3 สายอากาศไดโพลร่วมกับแผ่นพาราซิติคโค้ง

การปรับปรุงแผ่นพาราซิติคด้วยการตัดมุมตามแนวทแยงทำให้อัตราส่วนแกนเข้าใกล้โพลาริซวงกลมมากขึ้น แต่พบว่าการใช้แผ่นพาราซิติคแบบตรงจะทำให้อัตราส่วนแกนในแต่ละมุมรอบสายอากาศในระนาบ  $x-y$  มีความแตกต่างกันตามตำแหน่งที่วางแผ่นพาราซิติค เนื่องจากแผ่นพาราซิติคไม่ได้โค้งตามรูปทรงของไดโพล ดังนั้นจึงทำการปรับปรุงแผ่นพาราซิติคให้มีความโค้งตามแนวทรวงกระบอกไดโพลดังแสดงในรูปที่ 3.10

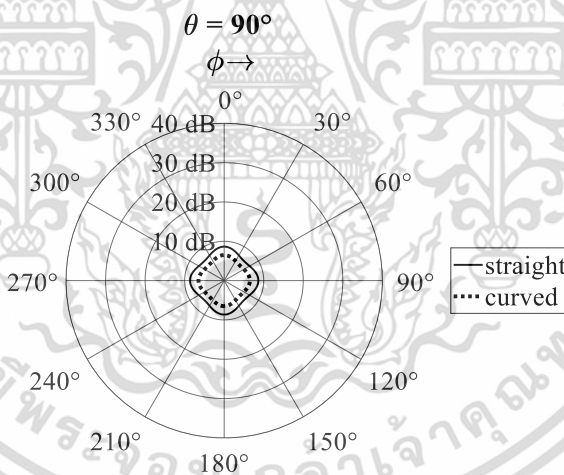


รูปที่ 3.10 การออกแบบสายอากาศไดโพลร่วมกับแผ่นพาราซิติคโค้ง

รูปที่ 3.11 การเปรียบเทียบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นระหว่างโครงสร้างสายอากาศแผ่นพาราซิติคแบบตรงและแบบโค้ง พบว่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศยังคงเป็นแบบรอบตัวทั้งในระนาบ  $x-z$  และ  $x-y$  โดยมีโหลบลึกที่มุม 90 องศาเหมือนเดิม ในขณะที่ผลการจำลองอัตราส่วนแกนของโครงสร้างสายอากาศแสดงในรูปที่ 3.12 พบว่าอัตราส่วนแกนของแผ่นพาราซิติคแบบโค้งมีค่าที่ต่ำกว่าแผ่นพาราซิติคแบบตรง อีกทั้งยังมีความแตกต่างของค่าอัตราส่วนแกนในแต่ละมุมของระนาบ  $x-y$  น้อยกว่าอีกด้วย แสดงให้เห็นว่าการใช้แผ่นพาราซิติคที่มีความโค้งตามลักษณะทรวงกระบอกของไดโพลจะทำให้ได้ค่าอัตราส่วนแกนที่ดีกว่า เนื่องจากแผ่นพาราซิติคมีความสมมาตรกับไดโพลมากกว่าแบบแผ่นตรง



รูปที่ 3.11 การเปรียบเทียบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น  
ระหว่างโครงสร้างสายอากาศแผ่นพาราซิติคแบบตรงและแบบโค้ง



รูปที่ 3.12 การเปรียบเทียบอัตราส่วนแกน  
ระหว่างโครงสร้างสายอากาศแผ่นพาราซิติคแบบตรงและแบบโค้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการออกแบบสายอากาศไดโพลร่วมกับแผ่นพาราซีติกเพื่อให้ได้สายอากาศที่มีโพลาริซชันวงกลมที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นรอบตัว แผ่นพาราซีติกที่เพิ่มเข้ามาเพื่อเหนี่ยวนำองค์ประกอบสนามไฟฟ้าให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนแกนเข้าใกล้ 3 dB แผ่นพาราซีติกที่นำมาใช้จะถูกตัดมุมทั้งสองด้านตามแนวทแยงเพื่อให้การกระจายกระแสเกิดการหมุนวน เมื่อเพิ่มแผ่นพาราซีติกเข้ามาในโครงสร้างจะทำให้อัตราส่วนแกนมีค่าลดลง โดยค่าที่ลดลงมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งที่วางแผ่นพาราซีติก ดังนั้น เพื่อให้ได้อัตราส่วนแกนที่ลดลงทุกมุมรอบโครงสร้างสายอากาศจึงต้องใช้แผ่นพาราซีติกเป็น 4 แผ่นวางล้อมรอบสายอากาศไดโพลแบบสมมาตร ผลที่ได้ทำให้สายอากาศมีอัตราส่วนแกนลดต่ำลงทุกด้าน เมื่อได้สายอากาศตั้งต้นแล้ว ในบทถัดไปจะทำการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ต่างๆ ต่อประสิทธิภาพสายอากาศ



## บทที่ 4

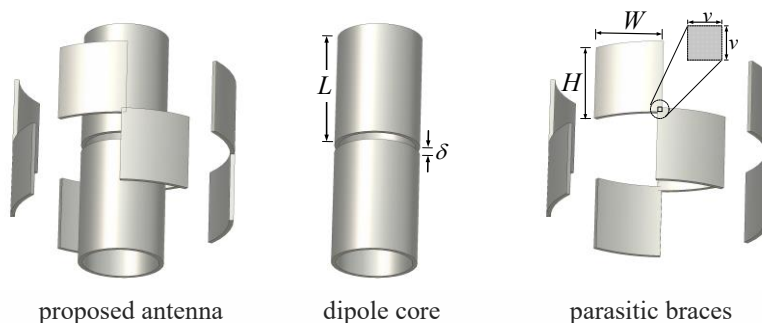
# สายอากาศไดโพลร่วมกับแผ่นพาราซิติกเชื่อมแนวทแยงมุม

สายอากาศที่นำเสนอในบทที่ 3 เริ่มต้นจากสายอากาศไดโพลที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นรอบตัวและมีโพลาริซเซชันเชิงเส้น เมื่อนำแผ่นพาราซิติกมาประกอบรอบสายอากาศไดโพลจะพบว่า โพลาริซเซชันเปลี่ยนจากเชิงเส้นเป็นวงกลมโดยที่แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นยังคงเดิม แต่ผลจำลองยังพบว่าไม่สามารถทำงานในย่านความถี่ที่ต้องการได้ ในบทนี้จะทำการปรับพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อศึกษาผลกระทบต่อคุณลักษณะของสายอากาศ โดยพิจารณาจาก  $|S_{11}|$  และอัตราส่วนแอมพลิจูดเป็นสำคัญ เพื่อให้ได้สายอากาศที่มีคุณลักษณะที่เหมาะสมและสามารถใช้งานย่านความถี่ 2.45 GHz ได้

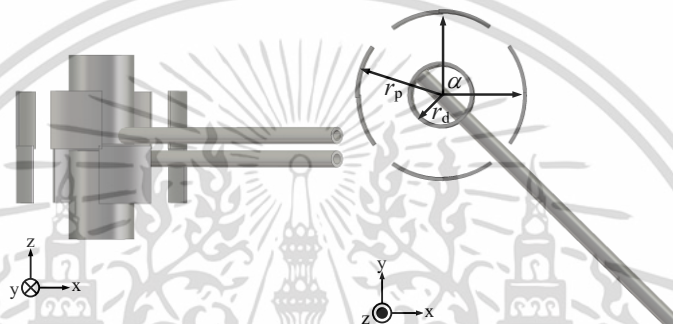
### 4.1 การออกแบบสายอากาศไดโพลร่วมกับแผ่นพาราซิติกเชื่อมแนวทแยงมุม

จากการศึกษาเทคนิคการเพิ่มแผ่นพาราซิติกจะทำให้สายอากาศมีโพลาริซเซชันวงกลม โดยที่สายอากาศยังมีคุณสมบัติของสายอากาศไดโพลในเรื่องของการกระจายคลื่นรอบตัว ดังนั้นโครงสร้างของสายอากาศที่นำเสนอจึงประกอบไปด้วยแกนไดโพล (Dipole core) และแผ่นพาราซิติก (Parasitic) โดยแผ่นพาราซิติกมีลักษณะคล้ายการเชื่อมกันของแผ่นพาราซิติกเล็กสองแผ่นตามแนวทแยงมุม โครงสร้างของสายอากาศที่นำเสนอแสดงได้ดังรูปที่ 4.1 ในส่วนของแกนไดโพลจะมีรัศมี  $r_d$  ความยาวด้านละ  $L$  และวางห่างกัน  $\delta$  ในขณะที่แผ่นพาราซิติกที่วางโค้งรอบแกนไดโพลแบบสมมาตรทั้งสองด้านจะมีขนาดของแผ่นพาราซิติกเล็กกว้างและสูง  $W$  และ  $H$  ตามลำดับ แผ่นพาราซิติกวางห่างจากจุดกึ่งกลางแกนไดโพล  $r_p$  ซึ่งในส่วนของคุณลักษณะที่เชื่อมกันของแผ่นพาราซิติกจะคงที่ขนาด  $1 \times 1 \text{ mm}^2$  เนื่องจากข้อจำกัดในการสร้างแผ่นพาราซิติกที่เชื่อมแบบตะกั่วกันพอดี

ในการออกแบบสายอากาศจะใช้จุดบ่อนสัญญาณที่แกนไดโพล เมื่อมีการเหนี่ยวนำมายังแผ่นพาราซิติกที่ล้อมรอบอยู่ จะมีการเปลี่ยนรูปแบบการโพลาริซเซชัน การออกแบบจะเริ่มต้นให้ช่องว่างระหว่างแกนไดโพลและแผ่นพาราซิติกเป็นอากาศ และเนื่องจากต้องการความสมมาตรของแผ่นพาราซิติกทั้ง 4 ชุดที่ล้อมรอบแกนไดโพล แผ่นพาราซิติกจึงทำมุม ( $\alpha$ ) 90 องศาระหว่างแต่ละชุด



(ก) ส่วนประกอบสายอากาศ



(ข) สายอากาศที่ติดตั้งบาลูน

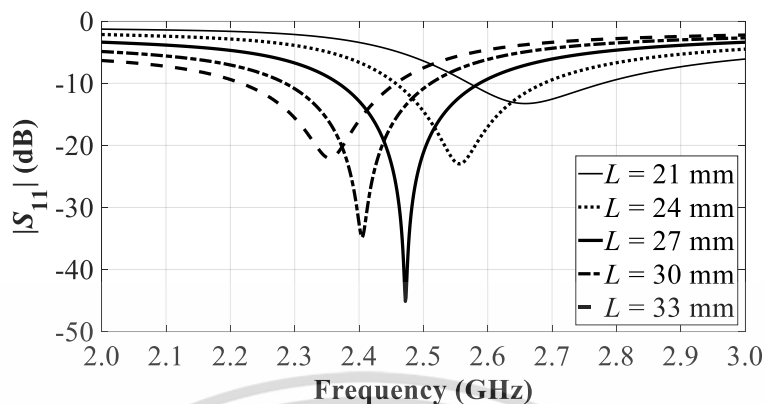
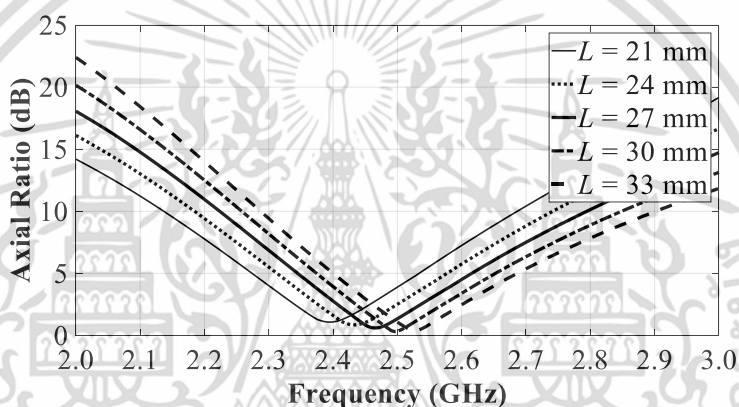
รูปที่ 4.1 โครงสร้างสายอากาศที่นำเสนอ

## 4.2 การศึกษาผลกระทบจากพารามิเตอร์ของสายอากาศ

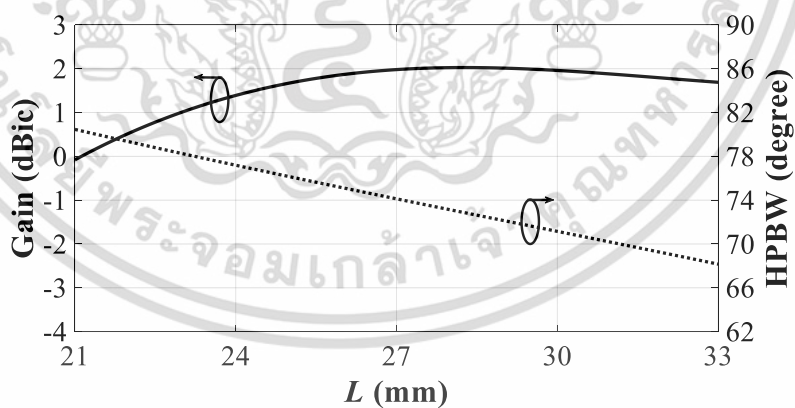
เพื่อให้สายอากาศที่นำเสนอสามารถทำงานได้ในย่านความถี่ 2.45 GHz จึงต้องทำการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของสายอากาศ ซึ่งจากโครงสร้างสายอากาศที่นำเสนอทำให้แยกเป็น 2 ส่วนหลักในการศึกษา คือ ส่วนแกนไดโพล และส่วนแผ่นพาราซีติก โดยนำขนาดพารามิเตอร์จากบทที่ 3 มาทำการศึกษา ผลการศึกษาผลกระทบจากพารามิเตอร์ของสายอากาศมีดังนี้

### 4.2.1 ความยาวแกนไดโพล

ในการศึกษาผลกระทบจากความยาวแกนไดโพล ( $L$ ) จะทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์  $\delta$   $r_d$   $WH$  และ  $r_p$  เป็น 2.0 10.0 16.0 17.5 และ 26.0 mm ตามลำดับ โดยทำการปรับค่า  $L$  เป็น 21 24 27 30 และ 33 mm ผลของความยาวแกนไดโพลต่อประสิทธิภาพสายอากาศแสดงได้ดังรูปที่ 4.2

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

(ข) อัตราส่วนแกนที่เป็นฟังก์ชันของความถี่

(ค) อัตราขยายและความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังที่ความถี่ 2.45 GHz  
ที่เป็นฟังก์ชันของความยาวแกนไดโพลรูปที่ 4.2 ผลของความยาวแกนไดโพล ( $L$ ) ต่อประสิทธิภาพสายอากาศ

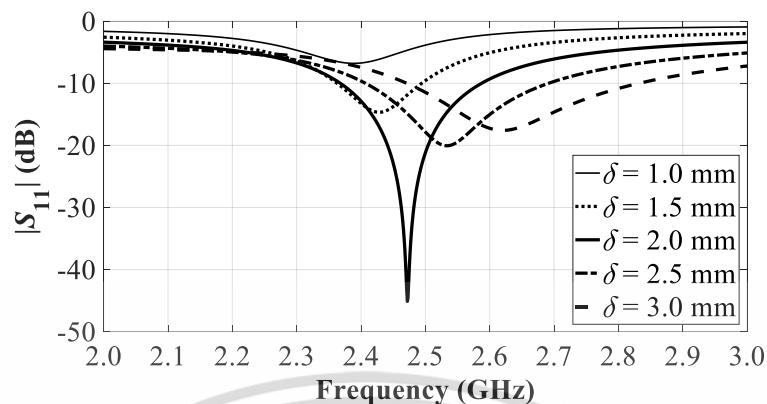
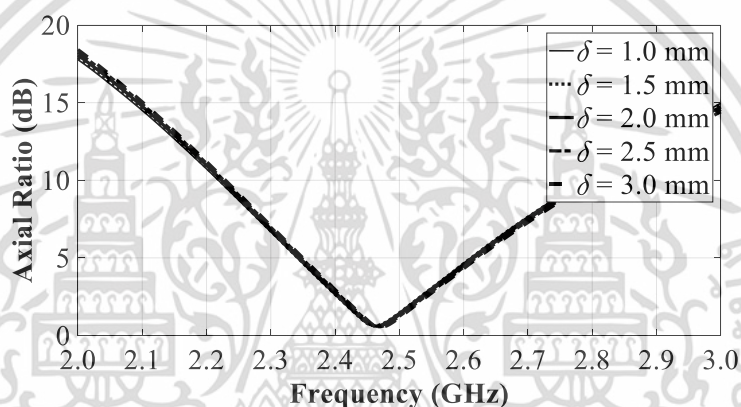
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 ความยาวแกนไดโพลเป็น 21 mm จะทำให้แบนด์วิดธ์ของสายอากาศเป็น 206 MHz ครอบคลุมตั้งแต่ความถี่ 2.572 - 2.778 GHz และเมื่อทำการเพิ่มความยาวแกนไดโพลเป็น 24 27 30 และ 33 mm ทำให้แบนด์วิดธ์ลดลงต่ำลงเป็น 2.457 - 2.686 GHz 2.368 - 2.587 GHz 2.286 - 2.511 GHz และ 2.218 - 2.457 GHz ตามลำดับ ผลกระทบของความยาวแกนไดโพลที่มีผลต่อ  $|S_{11}|$  พบว่าเมื่อความยาวแกนไดโพลมีขนาดที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ความถี่ปฏิบัติการลดต่ำลง ในขณะที่เมื่อความยาวแกน ไดโพลเป็น 21 mm จะทำให้แบนด์วิดธ์อัตราส่วนแกน 3 dB เป็น 140 MHz ครอบคลุมตั้งแต่ความถี่ 2.330 - 2.470 GHz และเมื่อทำการเพิ่มความยาวแกนไดโพลเป็น 24 27 30 และ 33 mm ทำให้แบนด์วิดธ์อัตราส่วนแกนเพิ่มขึ้นเป็น 2.365 - 2.515 GHz 2.395 - 2.550 GHz 2.425 - 2.585 GHz และ 2.450 - 2.615 GHz ตามลำดับ ผลกระทบของความยาวแกนไดโพลที่มีผลต่ออัตราส่วนแกน พบว่าเมื่อความยาวแกนไดโพลมีขนาดที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ความถี่ปฏิบัติการเพิ่มขึ้นแต่ไม่มากนักเมื่อเทียบกับผลกระทบต่อ  $|S_{11}|$  เมื่อค่าความยาวแกนไดโพลมีขนาด 27 mm จะทำให้ทั้งอิมพีแดนซ์แบนด์วิดธ์ และแบนด์วิดธ์อัตราส่วนแกนครอบคลุมความถี่ 2.4 - 2.484 GHz

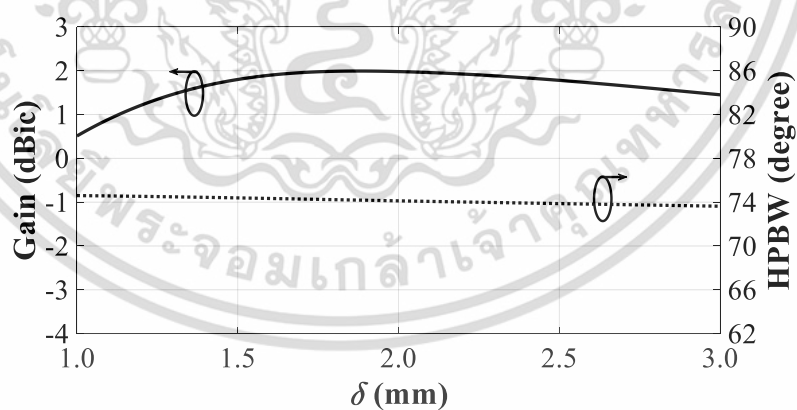
นอกจากนี้ผลการจำลองอัตราขยายที่ความถี่ 2.45 GHz เมื่อความยาวแกนไดโพล 21 24 27 30 และ 33 mm มีค่าเป็น -0.08 1.39 1.98 1.96 และ 1.69 dBic ตามลำดับ ในขณะที่ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังที่ความถี่ 2.45 GHz มีค่าเป็น 80.46 77.19 74.12 71.15 และ 68.16 องศาตามลำดับ ผลกระทบของความยาวแกนไดโพลที่เพิ่มขึ้นมีผลต่ออัตราขยายที่เพิ่มมากขึ้นด้วย แต่พบว่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังมีขนาดที่ลดลง

#### 4.2.2 ระยะห่างระหว่างแกนไดโพล

ในการศึกษาผลกระทบจากระยะห่างระหว่างแกนไดโพล ( $\delta$ ) จะทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์  $L$   $r_d$   $WH$  และ  $r_p$  เป็น 27.0 10.0 16.0 17.5 และ 26.0 mm ตามลำดับ โดยที่ทำการปรับค่า  $\delta$  เป็น 1.0 1.5 2.0 2.5 และ 3.0 mm ผลของระยะห่างระหว่างแกนไดโพลต่อประสิทธิภาพสายอากาศแสดงได้ดังรูปที่ 4.3

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

(ข) อัตราส่วนแกนที่เป็นฟังก์ชันของความถี่



(ค) อัตราขยายและความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังที่ความถี่ 2.45 GHz

ที่เป็นฟังก์ชันของระยะห่างระหว่างแกนไดโพล

รูปที่ 4.3 ผลของระยะห่างระหว่างแกนไดโพล ( $\delta$ ) ต่อประสิทธิภาพสายอากาศ

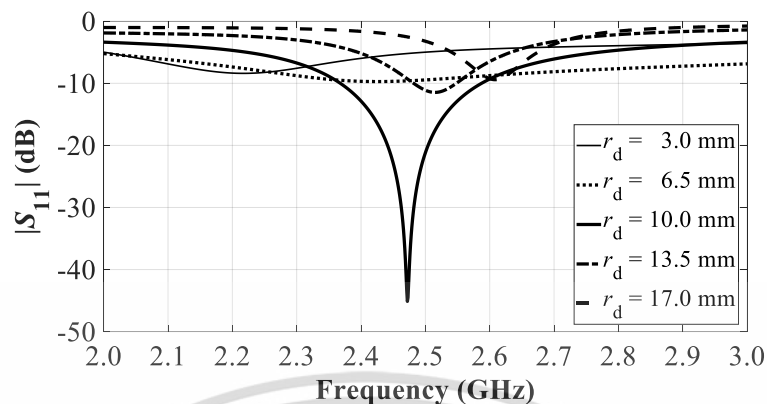
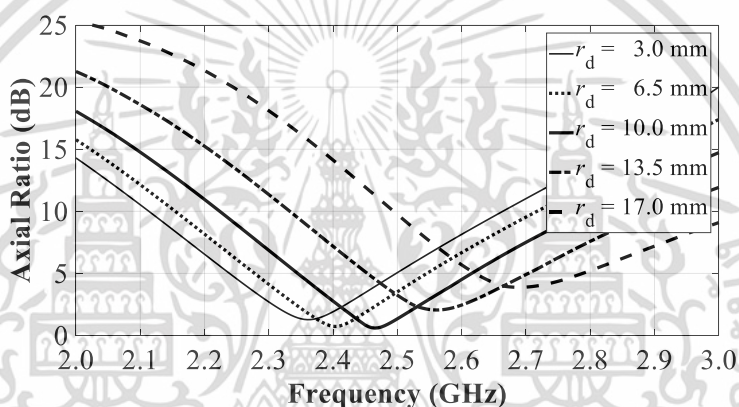
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 ระยะห่างระหว่างแกนไดโพลเป็น 1.0 mm พบว่าไม่สามารถแมตช์กับสายอากาศได้ จะทำให้ไม่มีแบนด์วิดท์ที่ใช้งานได้ และเมื่อทำการเพิ่มระยะห่างระหว่างแกนไดโพลเป็น 1.5 2.0 2.5 และ 3.0 mm ทำให้แบนด์วิดท์เพิ่มสูงขึ้นเป็น 2.363 - 2.494 GHz 2.368 - 2.587 GHz 2.407 - 2.691 GHz และ 2.471 - 2.831 GHz ตามลำดับ ผลกระทบของระยะห่างระหว่างแกนไดโพลที่มีผลต่อ  $|S_{11}|$  พบว่าเมื่อระยะห่างระหว่างแกนไดโพลมีขนาดที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ความถี่ปฏิบัติการเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่เมื่อระยะห่างระหว่างแกนไดโพลเป็น 1.0 mm จะทำให้แบนด์วิดท์อัตราส่วนแกน 3 dB เป็น 150 MHz ครอบคลุมตั้งแต่ความถี่ 2.395 - 2.545 GHz และเมื่อทำการเพิ่มระยะห่างระหว่างแกนไดโพลเป็น 1.5 2.0 2.5 และ 3.0 mm พบว่าแบนด์วิดท์อัตราส่วนแกน 3 dB เป็น 2.395 - 2.545 GHz 2.395 - 2.550 GHz 2.400 - 2.555 GHz และ 2.400 - 2.555 GHz ตามลำดับ ผลกระทบของระยะห่างระหว่างแกนไดโพลที่มีผลต่ออัตราส่วนแกน พบว่าเมื่อระยะห่างระหว่างแกนไดโพลมีขนาดที่เพิ่มขึ้น ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนแกน เมื่อค่าระยะห่างระหว่างแกนไดโพลมีขนาด 2.0 mm จะทำให้ทั้งอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ และแบนด์วิดท์อัตราส่วนแกนครอบคลุมความถี่ 2.4 - 2.484 GHz

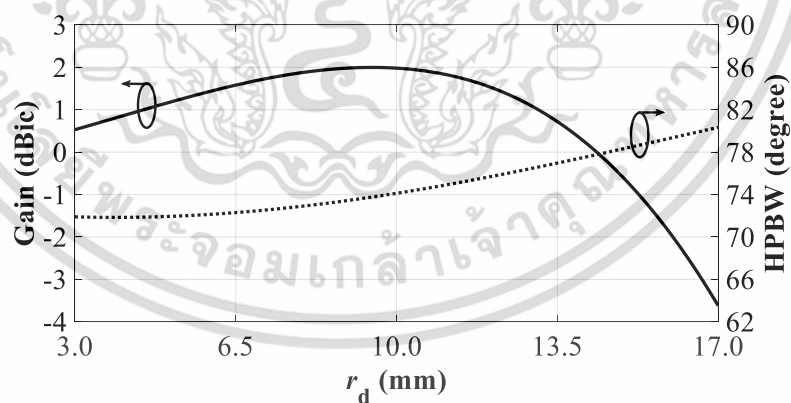
นอกจากนี้ผลการจำลองอัตราขยายที่ความถี่ 2.45 GHz เมื่อระยะห่างระหว่างแกนไดโพล 1.0 1.5 2.0 2.5 และ 3.0 mm มีค่าเป็น 0.51 1.80 1.98 1.78 และ 1.45 dBic ตามลำดับ ในขณะที่ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังที่ความถี่ 2.45 GHz มีค่าเป็น 74.60 74.39 74.12 73.87 และ 73.63 องศาตามลำดับ ผลกระทบของระยะห่างระหว่างแกนไดโพลที่มากกว่า 1.5 mm ไม่มีผลต่ออัตราขยายและความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง

#### 4.2.3 รัศมีแกนไดโพล

ในการศึกษาผลกระทบจากรัศมีแกนไดโพล ( $r_d$ ) จะทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์  $L$   $\delta$   $W$   $H$  และ  $r_p$  เป็น 27.0 2.0 16.0 17.5 และ 26.0 mm ตามลำดับ โดยที่ทำการปรับค่า  $r_d$  เป็น 3.0 6.5 10.0 13.5 และ 17.0 mm ผลของรัศมีแกนไดโพลต่อประสิทธิภาพสายอากาศแสดงได้ดังรูปที่ 4.4

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

(ข) อัตราส่วนแกนที่เป็นฟังก์ชันของความถี่

(ค) อัตราขยายและความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังที่ความถี่ 2.45 GHz  
ที่เป็นฟังก์ชันของรัศมีแกนไดโพลรูปที่ 4.4 ผลของรัศมีแกนไดโพล ( $r_d$ ) ต่อประสิทธิภาพสายอากาศ

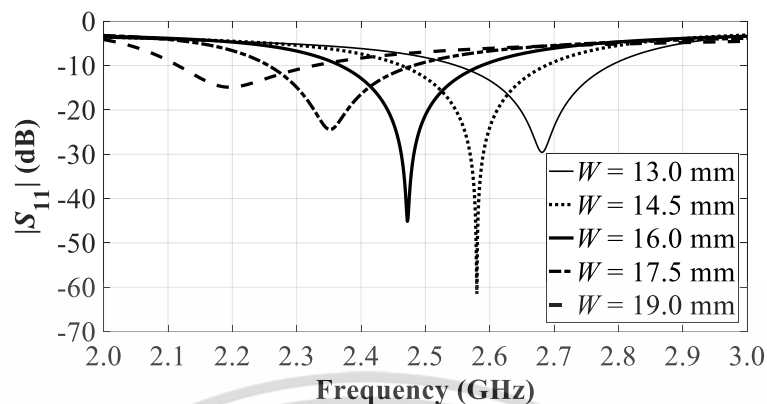
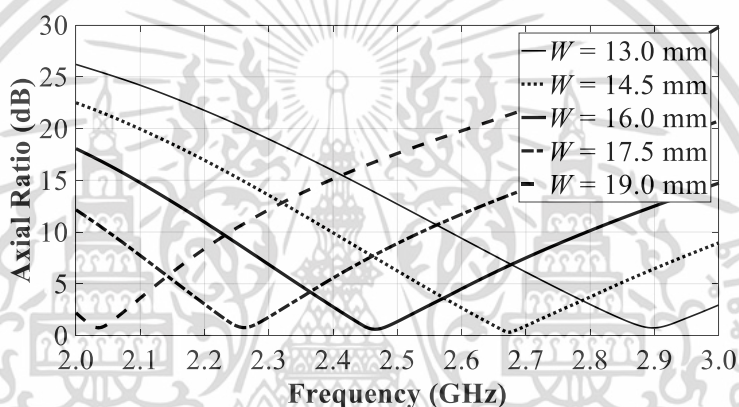
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4 รัศมีแกนไดโพลเป็น 3 mm พบว่าไม่สามารถแมตช์กับสายอากาศได้ จะทำให้ไม่มีแบนด์วิดท์ที่ใช้งานได้ และเมื่อทำการเพิ่มรัศมีแกนไดโพลเป็น 6.5 10.0 13.5 และ 17.0 mm พบว่ามีเพียงค่า 10.0 และ 13.5 mm ที่เกิดการแมตช์กับสายอากาศให้ค่าแบนด์วิดท์เป็น 2.368 - 2.587 GHz และ 2.482 - 2.548 GHz ตามลำดับ ผลกระทบของรัศมีแกนไดโพลที่มีผลต่อ  $|S_{11}|$  พบว่าการเปลี่ยนแปลงรัศมี ไดโพลมีผลกระทบเป็นอย่างมาก รัศมีไดโพลที่น้อยกว่า 6.5 mm และมากกว่า 17 mm จะทำให้สายอากาศไม่เกิดการแมตช์ ในขณะที่เมื่อรัศมีแกนไดโพลเป็น 3 mm จะทำให้แบนด์วิดท์อัตราส่วนแกน 3 dB เป็น 140 MHz ครอบคลุมตั้งแต่ความถี่ 2.295 - 2.435 GHz และเมื่อทำการเพิ่มรัศมีแกนไดโพลเป็น 6.5 10.0 และ 13.5 mm พบว่าแบนด์วิดท์อัตราส่วนแกน 3 dB เป็น 2.330 - 2.480 GHz 2.395 - 2.550 GHz และ 2.510 - 2.625 GHz ตามลำดับ รัศมีแกนไดโพลที่มีค่า 17.0 mm ไม่มีแบนด์วิดท์อัตราส่วนแกน 3 dB ผลกระทบของรัศมีแกนไดโพลที่มีผลต่ออัตราส่วนแกน พบว่าเมื่อรัศมีแกนไดโพลมีขนาดที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ความถี่ปฏิบัติการเพิ่มสูงขึ้น รัศมีไดโพลที่มากกว่า 17.0 mm จะไม่มีความถี่ปฏิบัติการที่ใช้ได้ เมื่อค่ารัศมีแกนไดโพลมีขนาด 10.0 mm จะทำให้ทั้งอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์และแบนด์วิดท์อัตราส่วนแกนครอบคลุมความถี่ 2.4 - 2.484 GHz

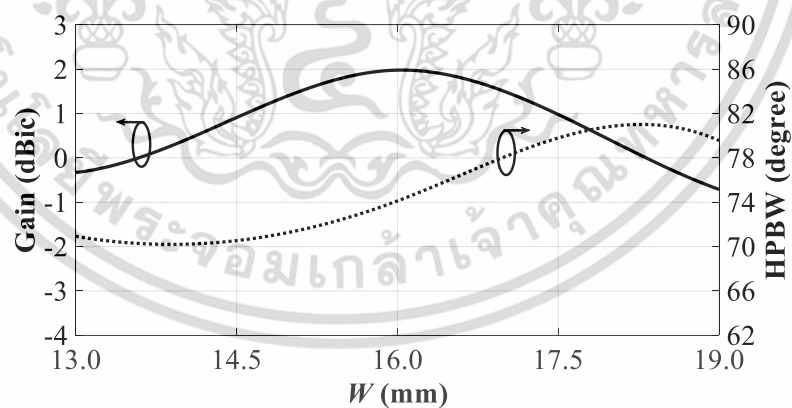
นอกจากนี้ผลการจำลองอัตราขยายที่ความถี่ 2.45 GHz เมื่อรัศมีแกนไดโพล 3.0 6.5 10.0 13.5 และ 17.0 mm มีค่าเป็น 0.53 1.58 1.98 0.72 และ -3.62 dBic ตามลำดับ ในขณะที่ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังที่ความถี่ 2.45 GHz มีค่าเป็น 71.90 72.30 74.12 76.97 และ 80.34 องศาตามลำดับ ผลกระทบของระยะห่างระหว่างแกนไดโพลที่มีค่ามากกว่า 10.0 mm จะทำให้อัตราขยายลดลงเป็นอย่างมาก แต่พบว่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังมีค่าที่เพิ่มมากขึ้น

#### 4.2.4 ความกว้างแผ่นพาราซิติค

ในการศึกษาผลกระทบจากความกว้างแผ่นพาราซิติค ( $W$ ) จะทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์  $L$   $\delta$   $r_d$   $H$  และ  $r_p$  เป็น 27.0 2.0 10.0 17.5 และ 26.0 mm ตามลำดับ โดยที่ทำการปรับค่า  $W$  เป็น 13.0 14.5 16.0 17.5 และ 19.0 mm ผลของความกว้างแผ่นพาราซิติคต่อประสิทธิภาพสายอากาศแสดงได้ดังรูปที่ 4.5

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

(ข) อัตราส่วนแกนที่เป็นฟังก์ชันของความถี่



(ค) อัตราขยายและความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังที่ความถี่ 2.45 GHz

ที่เป็นฟังก์ชันของความกว้างแผ่นพาราซิติค

รูปที่ 4.5 ผลของความกว้างแผ่นพาราซิติค ( $W$ ) ต่อประสิทธิภาพสายอากาศ

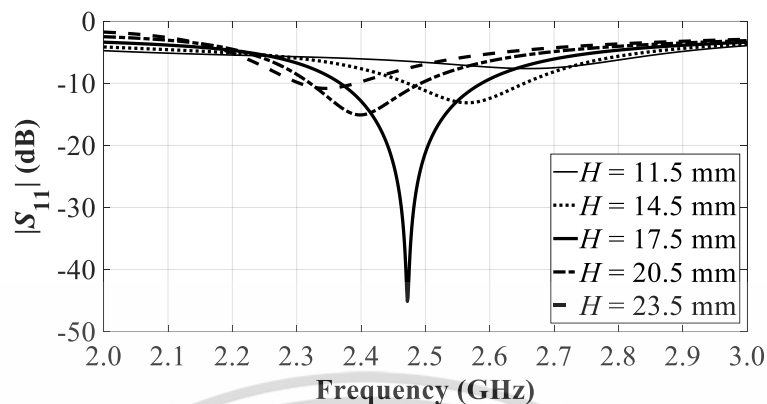
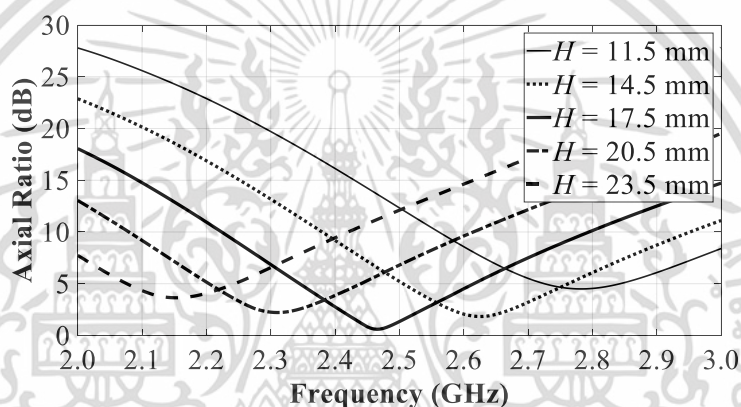
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 ความกว้างแผ่นพาราซิติคเป็น 13 mm จะทำให้แบนด์วิดธ์ของสายอากาศเป็น 238 MHz ครอบคลุมตั้งแต่ความถี่ 2.549 - 2.787 GHz และเมื่อทำการเพิ่มความกว้างแผ่นพาราซิติคเป็น 14.5 16.0 17.5 และ 19.0 mm ทำให้แบนด์วิดธ์ลดต่ำลงเป็น 2.463 - 2.687 GHz 2.368 - 2.587 GHz 2.257 - 2.481 GHz และ 2.116 - 2.327 ตามลำดับ ผลกระทบของความกว้างแผ่นพาราซิติคที่มีผลต่อ  $|S_{11}|$  พบว่าเมื่อความกว้างแผ่นพาราซิติคมีขนาดที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ความถี่ปฏิบัติการลดต่ำลง ในขณะที่เมื่อความกว้างแผ่นพาราซิติคเป็น 13 mm จะทำให้แบนด์วิดธ์อัตราส่วนแกน 3 dB เป็น 200 MHz ครอบคลุมตั้งแต่ความถี่ 2.8 - 3.0 GHz และเมื่อทำการเพิ่มความกว้างแผ่นพาราซิติคเป็น 14.5 16.0 17.5 และ 19.0 mm ทำให้แบนด์วิดธ์ลดต่ำลงเป็น 2.595 - 2.770 GHz 2.395 - 2.550 GHz 2.205 - 2.330 GHz และ 2.000 - 2.085 GHz ตามลำดับ ผลกระทบของความกว้างแผ่นพาราซิติคที่มีผลต่ออัตราส่วนแกน พบว่าเมื่อความกว้างแผ่นพาราซิติคมีขนาดที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ความถี่ปฏิบัติการลดลง เมื่อค่าความกว้างแผ่นพาราซิติคมีขนาด 16.0 mm จะทำให้อิมพีแดนซ์แบนด์วิดธ์ และแบนด์วิดธ์อัตราส่วนแกนครอบคลุมความถี่ 2.4 - 2.484 GHz

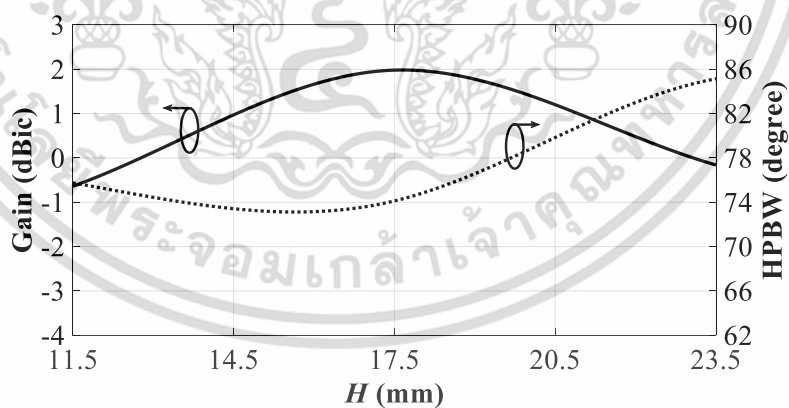
นอกจากนี้ผลการจำลองอัตราขยายที่ความถี่ 2.45 GHz เมื่อความกว้างแผ่นพาราซิติค 13.0 14.5 16.0 17.5 และ 19.0 mm มีค่าเป็น -0.33 0.91 1.98 0.98 และ -0.71 dBic ตามลำดับ ในขณะที่ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังที่ความถี่ 2.45 GHz มีค่าเป็น 70.93 70.54 74.12 79.80 และ 79.57 องศาตามลำดับ ผลกระทบของความกว้างแผ่นพาราซิติคจะทำให้อัตราขยายลดลงเป็นอย่างมาก เมื่อมีค่าความกว้างแผ่นพาราซิติคไม่เท่ากับ 16.0 mm แต่พบว่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังมีค่าที่เพิ่มมากขึ้น

#### 4.2.5 ความสูงแผ่นพาราซิติค

ในการศึกษาผลกระทบจากความสูงแผ่นพาราซิติค ( $H$ ) จะทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์  $L$   $\delta r_d$   $W$  และ  $r_p$  เป็น 27.0 2.0 10.0 16.0 และ 26.0 mm ตามลำดับ โดยที่ทำการปรับค่า  $H$  เป็น 11.5 14.5 17.5 20.5 และ 23.5 mm ผลของความสูงแผ่นพาราซิติคต่อประสิทธิภาพสายอากาศแสดงได้ดังรูปที่ 4.6

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

(ข) อัตราส่วนแกนที่เป็นฟังก์ชันของความถี่



(ค) อัตราขยายและความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังที่ความถี่ 2.45 GHz

ที่เป็นฟังก์ชันของความสูงแผ่นพาราซีติก

รูปที่ 4.6 ผลของความสูงแผ่นพาราซีติก ( $H$ ) ต่อประสิทธิภาพสายอากาศ

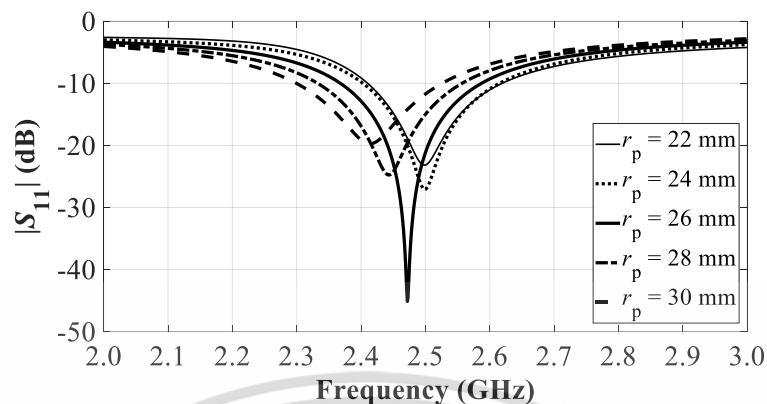
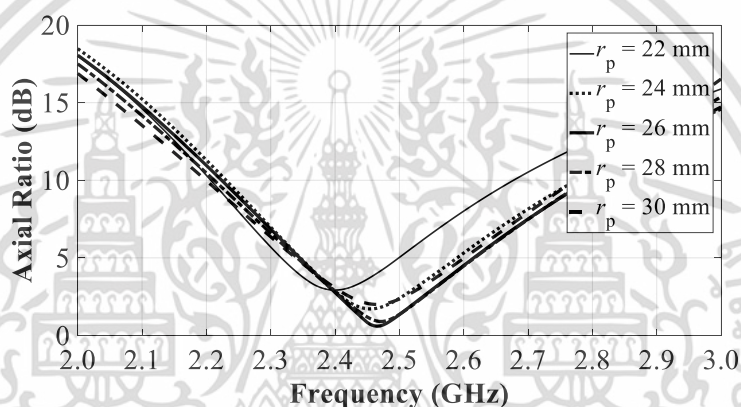
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 ความสูงแผ่นพาราซิติคเป็น 11.5 mm พบว่าไม่สามารถแมตช์กับสายอากาศได้ จะทำให้ไม่มีแบนด์วิดท์ที่ใช้งานได้ และเมื่อทำการเพิ่มความสูงแผ่นพาราซิติคเป็น 14.5 17.5 20.5 และ 23.5 mm ทำให้แบนด์วิดท์ลดต่ำลงเป็น 2.473 - 2.653 GHz 2.368 - 2.587 GHz 2.321 - 2.492 GHz และ 2.305 - 2.391 GHz ตามลำดับ ผลกระทบของความสูงแผ่นพาราซิติคที่มีผลต่อ  $|S_{11}|$  พบว่าเมื่อความสูงแผ่นพาราซิติคมีขนาดที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ความถี่ปฏิบัติการลดต่ำลง ในขณะที่เมื่อความสูงแผ่นพาราซิติคเป็น 11.5 mm ไม่มีแบนด์วิดท์อัตราส่วนเกิน 3 dB และเมื่อทำการเพิ่มความสูงแผ่นพาราซิติคเป็น 14.5 16.0 และ 17.5 ทำให้แบนด์วิดท์ลดต่ำลงเป็น 2.565 - 2.690 GHz และ 2.395 - 2.550 GHz และ 2.265 - 2.365 GHz ตามลำดับ ความสูงแผ่นพาราซิติคที่มีค่าเป็น 23.5 mm จะไม่ทำให้เกิดแบนด์วิดท์อัตราส่วนเกิน 3 dB ผลกระทบของความสูงแผ่นพาราซิติคที่มีผลต่ออัตราส่วนเกิน พบว่าเมื่อความสูงแผ่นพาราซิติคมีขนาดที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ความถี่ปฏิบัติการลดลง ความสูงแผ่นพาราซิติคที่น้อยกว่า 11.5 mm และมากกว่า 23.5 mm จะไม่มีแบนด์วิดท์อัตราส่วนเกิน 3 dB เมื่อค่าความสูงแผ่นพาราซิติคมีขนาด 17.5 mm จะทำให้อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ และแบนด์วิดท์อัตราส่วนเกินครอบคลุมความถี่ 2.4 - 2.484 GHz

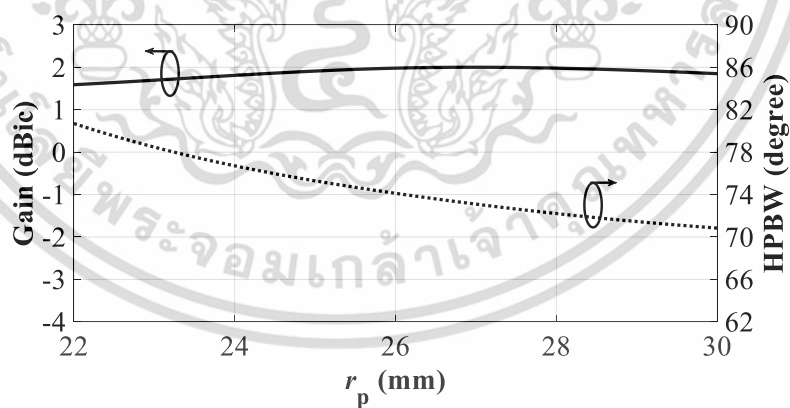
นอกจากนี้ผลการจำลองอัตราขยายที่ความถี่ 2.45 GHz เมื่อความสูงแผ่นพาราซิติค 13.0 14.5 16.0 17.5 และ 19.0 mm มีค่าเป็น -0.64 0.97 1.98 1.20 และ -0.16 dBic ตามลำดับ ในขณะที่ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังที่ความถี่ 2.45 GHz มีค่าเป็น 75.75 73.42 74.12 79.84 และ 85.14 องศาตามลำดับ ผลกระทบของความสูงแผ่นพาราซิติคจะทำให้อัตราขยายลดลงเป็นอย่างมาก เมื่อมีค่าความสูงแผ่นพาราซิติคไม่เท่ากับ 17.5 mm แต่พบว่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังมีค่าที่เพิ่มมากขึ้น

#### 4.2.6 ระยะห่างระหว่างแผ่นพาราซิติคกับจุดกึ่งกลางแกน

ในการศึกษาผลกระทบระยะห่างระหว่างแผ่นพาราซิติคกับจุดกึ่งกลางแกน ( $r_p$ ) จะทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์  $L$   $\delta r_d$   $W$  และ  $H$  เป็น 27.0 2.0 10.0 16.0 และ 17.5 mm ตามลำดับ โดยที่ทำการปรับค่า  $r_p$  เป็น 22 24 26 28 และ 30 mm ผลของความสูงแผ่นพาราซิติคต่อประสิทธิภาพสายอากาศแสดงได้ดังรูปที่ 4.7

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

(ข) อัตราส่วนแกนที่เป็นฟังก์ชันของความถี่



(ค) อัตราขยายและความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังที่ความถี่ 2.45 GHz ที่เป็นฟังก์ชันของระยะห่างระหว่างแผ่นพาราซิติคกับจุดกึ่งกลางแกน

รูปที่ 4.7 ผลของระยะห่างระหว่างแผ่นพาราซิติคกับจุดกึ่งกลางแกน ( $r_p$ ) ต่อประสิทธิภาพสายอากาศ

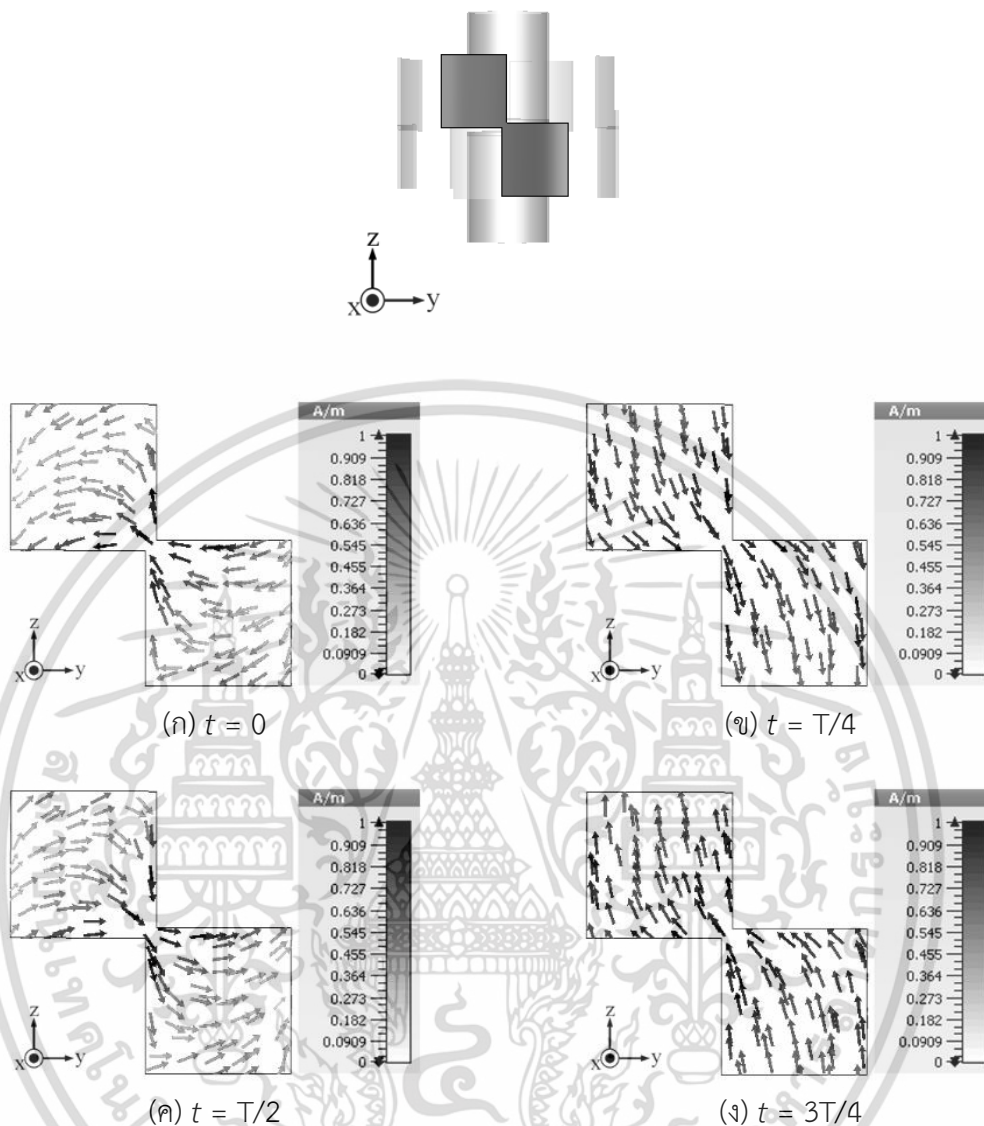
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.7 ระยะห่างระหว่างแผ่นพาราซิติคกับจุดกึ่งกลางแกนเป็น 22 mm จะทำให้แบนด์วิดธ์ของสายอากาศเป็น 208 MHz ครอบคลุมตั้งแต่ความถี่ 2.411 - 2.619 GHz และเมื่อทำการเพิ่มระยะห่างระหว่างแผ่นพาราซิติคกับจุดกึ่งกลางแกนเป็น 24 26 28 และ 30 mm ทำให้แบนด์วิดธ์ลดต่ำลงเป็น 2.403 - 2.615 GHz 2.368 - 2.587 GHz 2.333 - 2.557 GHz และ 2.300 - 2.525 GHz ตามลำดับ ผลกระทบของระยะห่างระหว่างแผ่นพาราซิติคกับจุดกึ่งกลางแกนที่มีผลต่อ  $|S_{11}|$  พบว่าเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นพาราซิติคกับจุดกึ่งกลางแกนมีขนาดที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ความถี่ปฏิบัติการลดต่ำลง ในขณะที่เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นพาราซิติคกับจุดกึ่งกลางแกนเป็น 22 mm จะไม่มีแบนด์วิดธ์อัตราส่วนแกน 3 dB และเมื่อทำการเพิ่มระยะห่างระหว่างแผ่นพาราซิติคกับจุดกึ่งกลางแกนเป็น 24 26 28 และ 30 mm ทำให้แบนด์วิดธ์เป็น 2.40 - 2.52 GHz 2.395 - 2.550 GHz 2.395 - 2.550 GHz และ 2.405 - 2.525 GHz ผลกระทบของระยะห่างระหว่างแผ่นพาราซิติคกับจุดกึ่งกลางแกนที่มีผลต่ออัตราส่วนแกน พบว่าเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นพาราซิติคกับจุดกึ่งกลางแกนมีค่าน้อยกว่า 22 mm จะไม่ทำให้เกิดแบนด์วิดธ์อัตราส่วนแกน 3 dB และระยะห่างระหว่างแผ่นพาราซิติคกับจุดกึ่งกลางแกนที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลกระทบต่อแบนด์วิดธ์อัตราส่วนแกน 3 dB มากนัก เมื่อค่าระยะห่างระหว่างแผ่นพาราซิติคกับจุดกึ่งกลางแกนมีขนาด 26 mm จะทำให้อิมพีแดนซ์แบนด์วิดธ์ และแบนด์วิดธ์อัตราส่วนแกนครอบคลุมความถี่ 2.4 - 2.484 GHz

นอกจากนี้ผลการจำลองอัตราขยายที่ความถี่ 2.45 GHz เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นพาราซิติคกับจุดกึ่งกลางแกน 22 24 26 28 และ 30 mm มีค่าเป็น 1.59 1.81 1.98 1.98 และ 1.85 dBic ตามลำดับ ในขณะที่ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังที่ความถี่ 2.45 GHz มีค่าเป็น 80.70 76.71 74.12 72.21 และ 70.84 องศาตามลำดับ ผลกระทบของระยะห่างระหว่างแผ่นพาราซิติคกับจุดกึ่งกลางแกนไม่มีผลต่ออัตราขยาย แต่พบว่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังมีค่าที่ลดลง

### 4.3 การกระจายกระแสเชิงพื้นผิวบนแผ่นพาราซิติค

การที่สายอากาศจะมีโพลาไรซ์วงกลม จะต้องมีส่วนประกอบที่ตั้งฉากกันและมีขนาดเท่ากัน แต่ต่างเฟสกัน 90 องศา และสายอากาศที่นำเสนอประกอบไปด้วยแกนไดโพลและแผ่นพาราซิติค ซึ่งแผ่นพาราซิติคจะเป็นส่วนกระจายสัญญาณที่ทำให้สายอากาศโพลาไรซ์เชิงเส้นเป็นโพลาไรซ์วงกลม ผลจำลองการกระจายกระแสเชิงพื้นผิวบนแผ่นพาราซิติคเพื่อนำมาอธิบายการเกิดโพลาไรซ์แสดงได้ดังรูปที่ 4.8

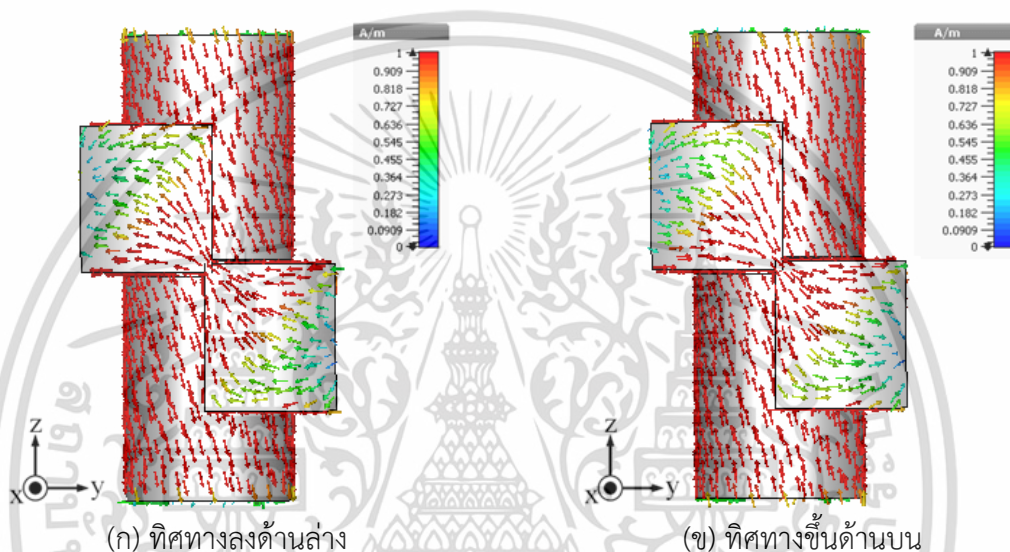


รูปที่ 4.8 ผลการจำลองการกระจายกระแสที่ไหลบนแผ่นพาราซีติก เมื่อเวลาต่างกัน

จากรูปที่ 4.8 แสดงผลการจำลองการกระจายกระแสเชิงพื้นผิวบนแผ่นพาราซีติกเมื่อเวลาที่แตกต่างกัน โดยแสดงเฉพาะแผ่นด้านหน้าเพียงแผ่นเดียว ความหนาแน่นกระแสมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาซึ่งมีขนาดกระแสเท่ากัน แต่มีเฟสที่ต่างกัน 90 องศา พบว่าที่เวลา  $t = 0$  ทิศทางของการกระจายกระแสจะไหลในทิศทางด้านซ้ายมือ เมื่อเวลา  $t = T/4$  ทิศทางของการกระจายกระแสจะไหลในทิศทางลงด้านล่าง เมื่อเวลา  $t = T/2$  ทิศทางของการกระจายกระแสจะไหลในทิศทางด้านขวามือ และเมื่อเวลา  $t = 3T/4$  ทิศทางของการกระจายกระแสจะไหลในทิศทางขึ้นข้างบน จากผลการจำลองพบว่าการกระจายกระแสมีทิศทางทั้งแนวตั้งและแนวนอน ทำให้องค์ประกอบของสนามไฟฟ้ามี 2 องค์ประกอบที่

ต่างเฟสกัน 90 องศา การกระจายกระแสจะเปลี่ยนแปลงเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ในลักษณะทวนเข็มนาฬิกา (โพลาริซชันหมุนซ้าย) แต่เนื่องจากเป็นมุมมองด้านตรงข้ามที่พิจารณากับทิศทางการแพร่กระจายคลื่น ดังนั้นสายอากาศที่นำเสนอจึงมีโพลาริซชันวงกลมหมุนขวา

เมื่อพิจารณาการกระจายกระแสที่ไหลบนแผ่นพาราซิติคเปรียบเทียบกับการกระจายกระแสที่ไหลบนไดโพล โดยเปรียบเทียบในขณะที่การกระจายกระแสบนไดโพลมีขนาดสูงสุดทิศทางลงด้านล่าง และขึ้นด้านบน แสดงได้ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ผลการจำลองการกระจายกระแสที่ไหลบนแผ่นพาราซิติค  
ในขณะที่การกระจายกระแสบนไดโพลมีขนาดสูงสุดในทิศทางต่างๆ

จากรูปที่ 4.9 เมื่อการกระจายกระแสที่ไหลบนไดโพลมีค่าสูงสุดทั้งในทิศทางลงด้านล่าง และทิศทางขึ้นด้านบนจะพบว่า ทิศทางการกระจายกระแสบนแผ่นพาราซิติคไหลในทิศทางที่ตั้งฉากจากรูปที่ 4.9 (ก) ทิศทางการกระจายกระแสบนแผ่นพาราซิติคไหลในแนววนรอบไปทางด้านซ้ายซึ่งตั้งฉากกับทิศทางการกระจายกระแสบนไดโพลที่ไหลไปในแนวตั้งลงด้านล่าง ในขณะที่รูปที่ 4.9 (ข) ทิศทางการกระจายกระแสบนแผ่นพาราซิติคไหลในแนววนรอบไปทางด้านขวาซึ่งตั้งฉากกับทิศทางการกระจายกระแสบนไดโพลที่ไหลไปในแนวตั้งขึ้นด้านบน แสดงให้เห็นว่ามีสนามไฟฟ้าจากไดโพลและแผ่นพาราซิติค 2 องค์ประกอบที่ตั้งฉากกัน จึงทำให้โครงสร้างสายอากาศเป็นโพลาริซชันวงกลม

#### 4.4 สรุป

การออกแบบสายอากาศที่นำเสนอเป็นการใช้สายอากาศไดโพลเป็นสายอากาศตั้งต้น เพื่อต้องการให้มีแบบรูปการกระจายคลื่นรอบตัว แล้วนำมาปรับให้เป็นโพลาริซวงกลมด้วยแผ่นพาราซิติกล้อมรอบ ผลการศึกษาผลกระทบจากพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศที่นำเสนอพบว่า การปรับความยาวแกนไดโพล ( $L$ ) ให้สูงขึ้นจะทำให้ความถี่ปฏิบัติการของ  $|S_{11}|$  มีค่าต่ำลง ซึ่งเป็นไปตามความสัมพันธ์ทางด้านกายภาพ ในขณะที่มีผลกระทบต่ออัตราส่วนแกนที่น้อยกว่า เนื่องจากไม่ได้ทำการเปลี่ยนแปลงที่แผ่นพาราซิติคโดยตรง แต่การเพิ่มขนาดรัศมีแกนไดโพล ( $r_d$ ) กลับทำให้ความถี่ปฏิบัติการสูงขึ้นไปด้วย เนื่องจากการเพิ่มขนาดรัศมีแกนไดโพลจะทำให้ระยะห่างระหว่างแกนไดโพลและแผ่นพาราซิติคใกล้กันมากขึ้น จึงมีการเหนี่ยวนำมากขึ้นไปด้วย ในการปรับความกว้างแผ่นพาราซิติค ( $W$ ) และความสูงแผ่นพาราซิติค ( $H$ ) ให้ผลที่สอดคล้องกัน คือ เมื่อทำการปรับขนาดของพารามิเตอร์ทั้งสองให้มีขนาดที่ใหญ่ขึ้น จะทำให้ความถี่ปฏิบัติการของ  $|S_{11}|$  และอัตราส่วนแกนมีค่าต่ำลง ในส่วนของ  $|S_{11}|$  จะพบว่าการปรับพารามิเตอร์ทั้งสองตัวจะทำให้การแมตซ์อิมพีแดนซ์แย่งไปด้วย การปรับความกว้างแผ่นพาราซิติคจะไม่ทำให้ค่าต่ำสุดของอัตราส่วนแกนเปลี่ยนแปลงมากนัก แต่จะสังเกตการเปลี่ยนแปลงของความถี่ปฏิบัติการที่ชัดเจน เนื่องจากการลดช่องว่างระหว่างแผ่นพาราซิติคทั้งสองด้าน ในขณะที่การปรับระยะห่างระหว่างแผ่นพาราซิติคกับจุดกึ่งกลางแกน ( $r_p$ ) ให้ผลที่ตรงกันข้ามกับการเพิ่มขนาดรัศมีแกนไดโพล เนื่องจากการเพิ่มระยะห่างระหว่างแผ่นพาราซิติคกับจุดกึ่งกลางแกนจะยังทำให้แกนไดโพลห่างจากแผ่นพาราซิติค จึงทำให้ความถี่ปฏิบัติการลดต่ำลง

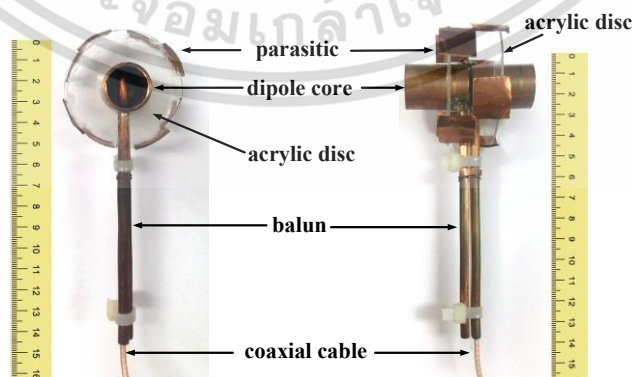
## บทที่ 5

# การทดสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของสายอากาศไดโพล ร่วมกับแผ่นพาราซีติกเชื่อมแนวทแยงมุม

จากการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์สายอากาศที่น่าเสนอ ทำให้ได้สายอากาศต้นแบบที่สามารถทำงานในย่านความถี่ที่ต้องการได้ ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงการสร้างสายอากาศต้นแบบ และทำการทดสอบในคุณลักษณะสายอากาศด้าน  $|S_{11}|$  อัตราส่วนแกน แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น และ อัตราขยาย โดยการทดสอบจะทำในห้องไร้การสะท้อน และใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายในการทดสอบ ซึ่งจะนำผลที่ได้จากการทดสอบมาทำการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองอีกด้วย

### 5.1 สายอากาศต้นแบบ

โครงสร้างของสายอากาศต้นแบบประกอบด้วย 3 ส่วน คือ แกนไดโพล แผ่นพาราซีติก และ บาลัน โดยบาลันที่เพิ่มเข้ามาเป็นส่วนในการบ่อนสัญญาณให้กับแกนไดโพล เพื่อให้กระแสที่ไหลเกิดความสมมาตรกับแกนไดโพลทั้งสองด้าน การบ่อนสัญญาณจะใช้สายโคแอกเซียลที่ถูกแยกสายนำสัญญาณและกราวด์เชื่อมต่อกับแกนไดโพลแต่ละด้าน ในการสร้างสายอากาศต้นแบบจะใช้ท่อทองแดงเป็นวัสดุของแกนไดโพลและแผ่นทองแดงสำหรับแผ่นพาราซีติก การติดตั้งให้แผ่นพาราซีติกล้อมรอบแกนไดโพลจะนำอะคริลิก (Acrylic) ที่มีความหนา 1 mm มาตัดเป็นรูปวงกลมเจาะรูตรงกลางให้พอดีกับแกนไดโพล แล้วนำมาติดกับแกนไดโพลทั้งสองด้าน เว้นระยะห่างเพื่อนำแผ่นพาราซีติกมาติดลงบนขอบของอะคริลิก แผ่นพาราซีติกจะโค้งตามวงอะคริลิกล้อมรอบแกนไดโพล รูปที่ 5.1 แสดงสายอากาศต้นแบบโดยพารามิเตอร์ของสายอากาศต้นแบบแสดงไว้ในตารางที่ 5.1



รูปที่ 5.1 สายอากาศต้นแบบ

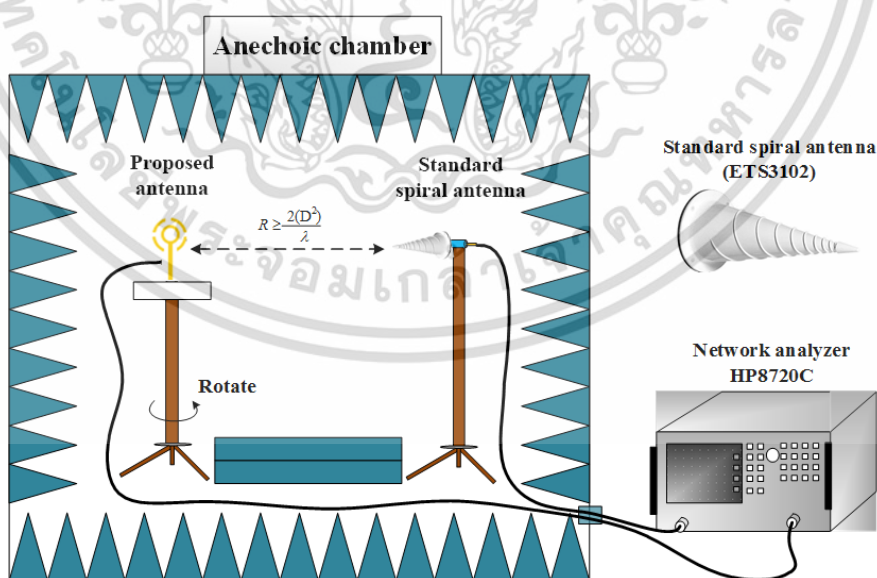
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 ขนาดของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศต้นแบบ

พารามิเตอร์	คำอธิบาย	ขนาดทางไฟฟ้า	ขนาดทางกายภาพ
$L$	ความยาวแกนไดโพลแต่ละด้าน	$0.22\lambda$	27.0 mm
$\delta$	ระยะห่างระหว่างแกนไดโพล	$0.02\lambda$	2.0 mm
$r_d$	รัศมีแกนไดโพล	$0.08\lambda$	10.0 mm
$W$	ความกว้างแผ่นพาราซีติก	$0.13\lambda$	16.0 mm
$H$	ความสูงแผ่นพาราซีติก	$0.14\lambda$	17.5 mm
$v$	จุดเชื่อมกันของแผ่นพาราซีติก	$0.01\lambda$	1.0 mm
$r_p$	ระยะห่างระหว่างแผ่นพาราซีติกกับจุดกึ่งกลางแกน	$0.21\lambda$	26.0 mm
$\alpha$	มุมระหว่างแผ่นพาราซีติกที่อยู่ติดกัน	90.0 องศา	

## 5.2 การทดสอบสายอากาศต้นแบบ

การทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศต้นแบบจะทำการทดสอบในห้องไร้การสะท้อน (Anechoic chamber) ทำการทดสอบ  $|S_{11}|$  ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์โครงข่าย HP-8720C และสายอากาศกรวยขดลวด EST-3102 ในการทดสอบอัตราขยาย อัตราส่วนแกน และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบแสดงได้ดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 อุปกรณ์ในการทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดสอบอัตราส่วนแแกนและแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น จะใช้สายอากาศกรวยขดลวด เป็นสายอากาศทางด้านส่ง และใช้สายอากาศต้นแบบเป็นด้านรับ การทดสอบจะทำในสนามระยะไกล จึงกำหนดให้ระยะห่างระหว่างด้านส่งและด้านรับเป็น 2.2 m ซึ่งอยู่ในสนามระยะไกล และคำนวณหา อัตราส่วนแแกนจากสมการที่ 5.1

$$\text{Axial Ratio (dB)} = 20 \log_{10} \left[ \frac{|E_{co}| + |E_{xp}|}{|E_{co}| - |E_{xp}|} \right] \quad (5.1)$$

โดยที่  $|E_{co}|$  คือ ขนาดของสนามไฟฟ้าที่มีการโพลาไรซ์รูปแบบเดียวกับโพลาไรซ์ของสายอากาศตัวรับ  
 $|E_{xp}|$  คือ ขนาดของสนามไฟฟ้าที่มีการโพลาไรซ์รูปแบบตรงกันข้ามกับโพลาไรซ์ของสายอากาศตัวรับ

ในการทดสอบอัตราขยายจะใช้สายอากาศกรวยขดลวด EST-3102 เป็นสายอากาศทางด้านส่ง และใช้สายอากาศต้นแบบเป็นสายอากาศด้านรับ การทดสอบจะทำในสนามระยะไกลเช่นเดียวกัน จึง กำหนดให้ระยะห่างระหว่างด้านส่งและด้านรับเป็น 2.2 m ซึ่งอยู่ในสนามระยะไกล และคำนวณหา อัตราขยายจากสมการที่ 5.2

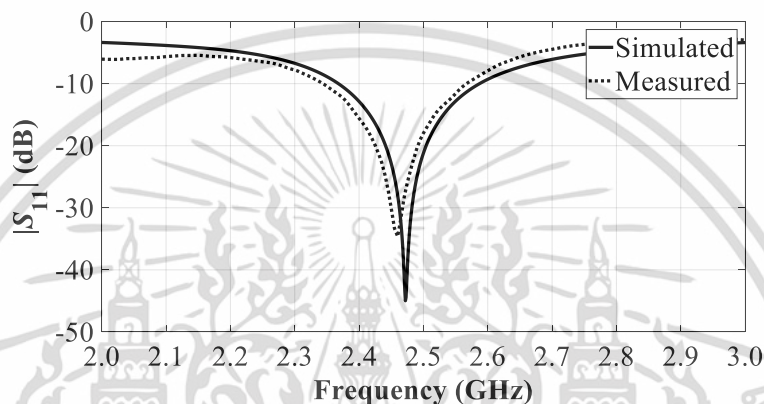
$$(G_t)_{\text{dB}} + (G_r)_{\text{dB}} = 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left( \frac{P_r}{P_t} \right) \quad (5.2)$$

โดยที่  $G_t$  คือ อัตราขยายของสายอากาศส่ง (dB)  
 $G_r$  คือ อัตราขยายของสายอากาศรับ (dB)  
 $R$  คือ ระยะทางระหว่างสายอากาศรับและสายอากาศส่ง (m)  
 $\lambda$  คือ ความยาวคลื่น  
 $P_r$  คือ กำลังงานที่ด้านรับ (W)  
 $P_t$  คือ กำลังงานที่ด้านส่ง (W)

### 5.2.1 การทดสอบ $|S_{11}|$

ผลการจำลอง  $|S_{11}|$  ของสายอากาศที่นำเสนอพบว่า ค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดธ์ ( $|S_{11}| \leq -10$  dB) ครอบคลุมความถี่ 2.37 – 2.59 GHz (220 MHz) หรือเท่ากับ 8.87% แบนด์วิดธ์ ซึ่งที่ความถี่ 2.45 GHz

มีค่า  $|S_{11}|$  เท่ากับ  $-22.88$  dB ในขณะที่ผลการทดสอบพบว่า ค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดธ์ ( $|S_{11}| \leq -10$  dB) ครอบคลุมความถี่  $2.35 - 2.57$  GHz (220 MHz) หรือเท่ากับ 8.94% แบนด์วิดธ์ ซึ่งที่ความถี่  $2.45$  GHz มีค่า  $|S_{11}|$  เท่ากับ  $-30.08$  dB ผลการจำลองและผลการทดสอบ  $|S_{11}|$  แสดงได้ดังรูปที่ 5.3 จะพบว่าผลการจำลองและผลการทดสอบมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน แต่ผลการทดสอบให้ค่า  $|S_{11}|$  ที่ดีกว่า เนื่องจากมีการเพิ่มโครงสร้างบาลันเพื่อทำการปรับค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ

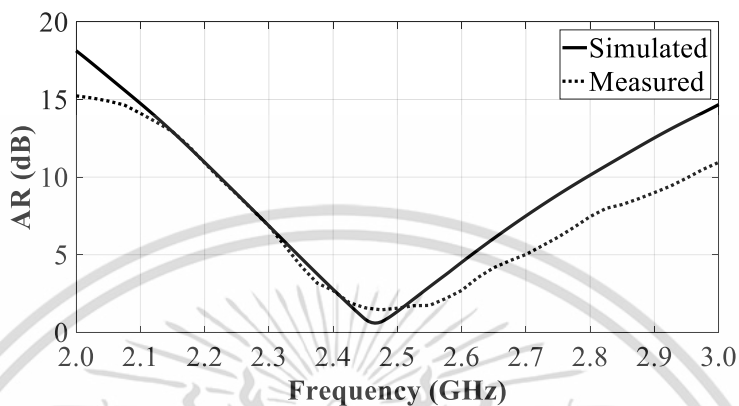


รูปที่ 5.3 ผลการจำลองและผลทดสอบ  $|S_{11}|$  ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่

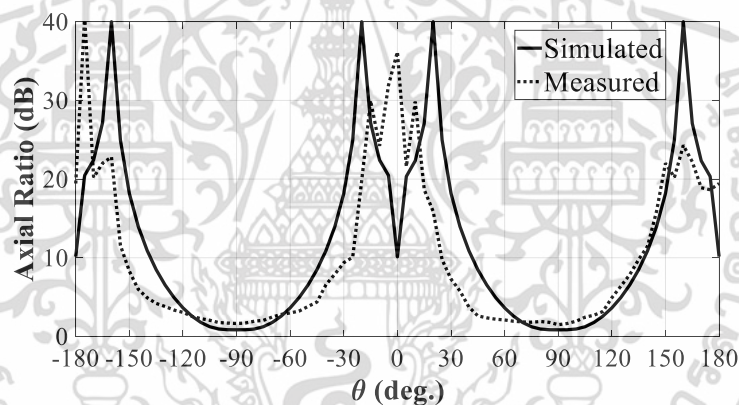
### 5.2.2 การทดสอบอัตราส่วนแกน

ผลการจำลองอัตราส่วนแกนของสายอากาศที่นำเสนอพบว่า ค่าแบนด์วิดธ์อัตราส่วนแกน 3 dB ครอบคลุมความถี่  $2.40 - 2.55$  GHz (150 MHz) หรือเท่ากับ 6.06% แบนด์วิดธ์ โดยที่ความถี่  $2.45$  GHz มีอัตราส่วนแกนเท่ากับ  $0.84$  dB ในขณะที่ผลการทดสอบพบว่า ค่าแบนด์วิดธ์อัตราส่วนแกน 3 dB ครอบคลุมความถี่  $2.40 - 2.60$  GHz (200 MHz) หรือเท่ากับ 8.00% แบนด์วิดธ์ โดยที่ความถี่  $2.45$  GHz มีอัตราส่วนแกนเท่ากับ  $1.58$  dB ผลการจำลองและผลการทดสอบอัตราส่วนแกนแสดงได้ดังรูปที่ 5.4 (ก) สายอากาศที่นำเสนอเป็นสายอากาศโพลารไรซ์วงกลมหมุนขวา โดยมีผลการจำลองและการทดสอบ บีมวิดธ์อัตราส่วนแกนที่ความถี่  $2.45$  GHz ในระนาบ  $x-z$  เป็น  $54$  และ  $65$  องศา ตามลำดับ ส่วนในระนาบ  $x-y$  ที่ความถี่เดียวกันผลการจำลองและการทดสอบบีมวิดธ์อัตราส่วนแกนมีขนาดที่เท่ากัน คือ  $360$  องศา ผลการจำลองและผลการทดสอบอัตราส่วนแกนที่ความถี่  $2.45$  GHz แสดงได้ดังรูปที่ 5.4 (ข) – (ค) จะพบว่าผลการจำลองและผลการทดสอบมีแนวโน้มไปในทางเดียวกันในส่วนของแบนด์วิดธ์อัตราส่วนแกน 3 dB แต่ส่วนของอัตราส่วนแกนในระนาบ  $x-z$  พบว่าที่มุม  $-180$  และ  $180$  องศา ให้ค่าที่แตกต่างกัน เนื่องจากในการสร้างสายอากาศต้นแบบจะมีการเพิ่มบาลัน และจุดเชื่อมสัญญาณ ทำให้ผลทดสอบมีความคลาดเคลื่อน ในขณะที่ระนาบ  $x-y$  ก็มีค่าที่แตกต่างกัน อาจเกิดจากแผ่นพาราซีติกที่

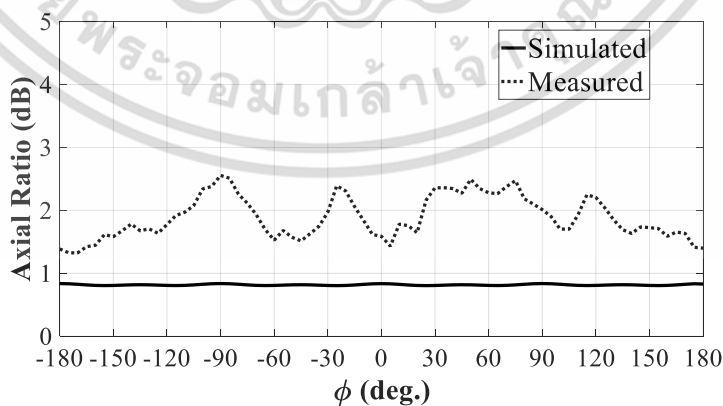
ไม่ได้รูปทรงที่โค้งรับกับไดโพลทรงกระบอกอย่างสมบูรณ์ และค่าที่ทำการทดสอบมีขนาดเล็ก จึงทำให้เกิดการคาดเคลื่อนระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบ



(ก) อัตราส่วนแกนที่เป็นฟังก์ชันของความถี่



(ข) อัตราส่วนแกนในระนาบ x-z



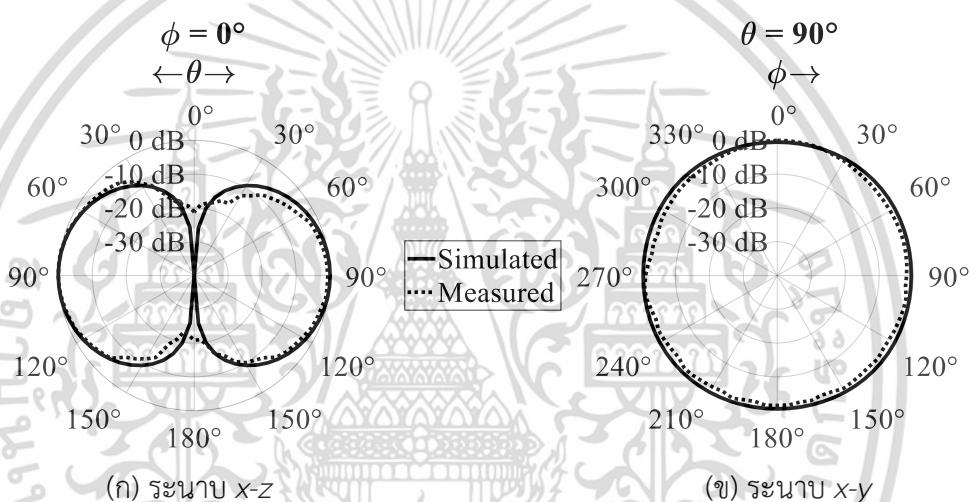
(ค) อัตราส่วนแกนในระนาบ x-y

รูปที่ 5.4 ผลการจำลองและผลทดสอบอัตราส่วนแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.2.3 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

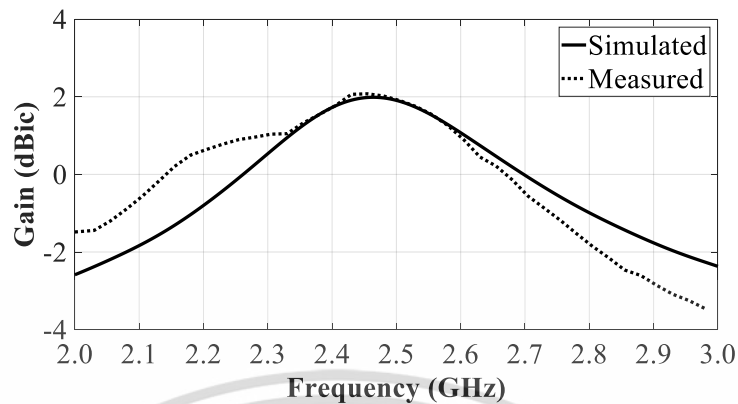
ผลการจำลองและการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ  $x-z$  และ  $x-y$  แสดงได้ดังรูปที่ 5.5 ในระนาบ  $x-z$  ผลการจำลองและการทดสอบพบว่าค่าบีมิวิตซ์ครึ่งกำลังมีขนาดเป็น 74 และ 75 องศา ตามลำดับ และในระนาบ  $x-y$  ผลการจำลองและการทดสอบพบว่าค่าบีมิวิตซ์ครึ่งกำลังมีค่าที่เท่ากัน คือ 360 องศา จะพบว่าผลการจำลองและผลการทดสอบมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน แต่การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ  $x-z$  จะพบว่าที่มุม 0 และ 180 องศา มีความคลาดเคลื่อนกับผลการจำลอง เนื่องจากในการสร้างสายอากาศต้นแบบจะมีการเพิ่มบาลัน และจุดเชื่อมสัญญาณ ทำให้ผลทดสอบมีความคลาดเคลื่อน



รูปที่ 5.5 ผลการจำลองและผลทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

### 5.2.4 การทดสอบอัตราขยาย

ผลการจำลองอัตราขยายที่ความถี่ 2.45 GHz มีค่าเท่ากับ 1.98 dBic โดยมีอัตราขยายต่ำสุดที่ความถี่ใช้งาน 2.4 GHz เท่ากับ 1.73 dBic และมีอัตราขยายสูงสุดที่ความถี่ใช้งาน 2.47 GHz เท่ากับ 1.99 dBic ผลทดสอบอัตราขยายที่ความถี่ 2.45 GHz มีค่าเท่ากับ 2.07 dBic โดยมีอัตราขยายต่ำสุดที่ความถี่ใช้งาน 2.4 GHz เท่ากับ 1.77 dBic และมีอัตราขยายสูงสุดที่ความถี่ใช้งาน 2.45 GHz เท่ากับ 2.07 dBic ผลการจำลองและผลทดสอบอัตราขยายที่ความถี่ 2.45 GHz ดังแสดงในรูปที่ 5.6 ผลการจำลองและผลการทดสอบในช่วงความถี่ 2.4 – 2.5 GHz มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน ในขณะที่ความถี่อื่นๆ ผลการทดสอบมีความคลาดเคลื่อนไปจากผลการจำลอง ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่ไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้งาน



รูปที่ 5.6 ผลการจำลองและผลทดสอบอัตราขยาย

การเปรียบเทียบผลการจำลองและผลทดสอบของคุณลักษณะสายอากาศต้นแบบ แสดงได้ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 คุณลักษณะของสายอากาศต้นแบบ

คุณลักษณะ	ผลการจำลอง	ผลทดสอบ	
$ S_{11} $	2.37 – 2.59 GHz	2.35 – 2.57 GHz	
AR	2.40 – 2.55 GHz	2.40 – 2.60 GHz	
3-dB AR-BW	x-z	54°	65°
	x-y	360°	360°
HPBW	x-z	74°	75°
	x-y	360°	360°
Gain	1.98 dBic	2.07 dBic	
Polarization	RHCP	RHCP	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 การคำนวณระยะทางการติดต่อสื่อสารกับแท็กในระบบอาร์เอฟไอดีย่านไมโครเวฟ

ระยะการอ่านสูงสุดของระบบอาร์เอฟไอดีขึ้นอยู่กับกำลังการแพร่กระจายไอโซทรอปิกประสิทธิภาพ (EIRP) ของสายอากาศส่ง และอัตราขยายสายอากาศแท็ก ระยะการอ่านสูงสุดสามารถคำนวณได้จากสมการ Friss ในสมการที่ 5.3

$$d_{\max}(\theta, \phi) = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{\text{EIRP}}{P_{\text{chip}}} (1 - |\Gamma|^2) G_{\text{tag}}(\theta, \phi) \chi} \quad (5.3)$$

โดยที่ EIRP คือ กำลังการแพร่กระจายกระจายไอโซทรอปิก

$P_{\text{chip}}$  คือ ความไวชิปไอซีแท็ก

$\Gamma$  คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศแท็ก

$G_{\text{tag}}$  คือ อัตราขยายของสายอากาศแท็ก

$\chi$  คือ องค์กรประกอบการสูญเสียโพลาริซ

ในการคำนวณจะใช้ค่า EIRP ตามข้อกำหนดของ กสทช. ต้องไม่เกิน 100 mW และใช้ค่าความไวชิปไอซีแท็กเท่ากับ -97 dBm โดยมีอัตราขยายแท็ก 2 dBi และกำหนดองค์กรประกอบการสูญเสียโพลาริซเท่ากับ 0.5 ผลการคำนวณระยะอ่านสูงสุดแสดงได้ดังตารางที่ 5.3 ซึ่งผลการคำนวณจะได้ระยะอ่านสูงสุดที่ 8.4 m

ตารางที่ 5.3 การคำนวณระยะอ่านสูงสุดที่ความถี่ 2.45 GHz

$ S_{11} $ (dB)	ระยะอ่านสูงสุด (m)
-3	6.3
-6	7.7
-10	8.4

### 5.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสายอากาศที่นำเสนอ

สายอากาศที่นำเสนอมีข้อดีเมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศที่มีในงานวิจัยมาก่อนในด้านอัตราขยายที่สูงกว่า เมื่อขนาดของสายอากาศมีขนาดที่ใกล้เคียงกัน ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสายอากาศแสดงได้ดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสายอากาศที่นำเสนอ

งานวิจัย	อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์	แบนด์วิดท์อัตราส่วนแกน	อัตราขยาย	โครงสร้างสายอากาศ
[9]	2.27 – 2.77 GHz	2.25 – 2.73 GHz	3.75 dBic	180 × 180 × 3 mm <sup>3</sup>
[10]	2.40 – 2.51 GHz	2.46 – 2.48 GHz	1.90 dBic	80 × 46 × 6 mm <sup>3</sup>
[11]	2.32 – 2.54 GHz	2.32 – 2.61 GHz	1.20 dBic	33 × 33 × 20 mm <sup>3</sup>
[16]	2.30 – 2.94 GHz	2.39 – 2.57 GHz	0.91 dBic	39 × 39 × 33 mm <sup>3</sup>
[19]	2.37 – 2.63 GHz	2.37 – 2.56 GHz	1.56 dBic	53 × 53 × 20 mm <sup>3</sup>
[20]	2.39 – 2.51 GHz	2.39 – 2.51 GHz	1.12 dBic	50 × 50 × 20 mm <sup>3</sup>
สายอากาศ ที่นำเสนอ	2.35 – 2.57 GHz	2.40 – 2.60 GHz	2.07 dBic	52 × 52 × 56 mm <sup>3</sup>

จากตารางที่ 5.4 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสายอากาศที่นำเสนอกับสายอากาศที่มีในงานวิจัยมาก่อน ซึ่งทำการเลือกสายอากาศที่สามารถทำงานในย่านความถี่ 2.4 – 2.484 GHz โดยมีโพลาริซวงกลมและมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นรอบตัวมาเปรียบเทียบ ผลการเปรียบเทียบพบว่าสายอากาศในงานวิจัย [9] มีอัตราขยายที่สูงที่สุด แต่ขนาดของสายอากาศใหญ่เกินสามเท่าของสายอากาศที่นำเสนอ ในขณะที่สายอากาศที่นำเสนอใน [10] มีอัตราขยายที่ใกล้เคียงกัน แต่มีขนาดที่เทอะทะกว่าสายอากาศในงานวิจัย [11, 16] มีขนาดเล็กกว่า แต่ก็จะมีอัตราขยายที่ต่ำกว่า และสายอากาศในงานวิจัย [19-20] มีขนาดที่ใกล้เคียงกับสายอากาศที่นำเสนอ แต่พบว่ามีอัตราขยายที่ต่ำกว่าและยังต้องทำการป้อนสัญญาณมากกว่าหนึ่งจุดอีกด้วย (Multiport feeding)

## 5.5 สรุป

จากการทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศต้นแบบพบว่า สายอากาศมีขนาด 52 × 52 × 56 mm<sup>3</sup> มีอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ ตั้งแต่ 2.35 – 2.57 GHz (8.94%) อัตราส่วนแกน 3 dB ตั้งแต่ 2.40 – 2.60 GHz (8.00%) มีบีเอ็มวีอัตราส่วนแกน 3 dB ในระนาบ x-z เป็น 65 องศา และในระนาบ x-y เป็น 360 องศา สายอากาศต้นแบบเป็นสายอากาศที่มีโพลาริซวงกลมหมุนขวา ผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นบนระนาบ x-z พบว่ามีบีเอ็มวีครึ่งกำลังขนาด 65 องศา และบนระนาบ x-y พบว่ามีบีเอ็มวีครึ่งกำลังขนาด 360 องศา สายอากาศต้นแบบมีอัตราขยายอยู่ที่ 2.07 dBic สายอากาศที่นำเสนอสามารถใช้งานในย่านความถี่ 2.4 – 2.484 GHz ซึ่งนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านอาร์เอฟไอดีได้

## บทที่ 6

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอสายอากาศที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นรอบตัวและมีโพลาริเซชันวงกลม โดยใช้โครงสร้างสายอากาศไดโพลร่วมกับแผ่นพาราซีติกเชื่อมแนวทแยงมุม เพื่อนำไปใช้งานในย่านความถี่ไอเอสเอ็ม 2.4 GHz โครงสร้างของสายอากาศที่นำเสนอมีขนาดกว้าง 52 mm ยาว 52 mm และมีความหนา 56 mm โดยมีอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ และแบนด์วิดท์อัตราส่วนแกน 3 dB รองรับการใช้งานย่านความถี่ 2.4 – 2.484 GHz สายอากาศมีโพลาริเซชันวงกลมหมุนขวา มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นรอบตัวที่มีบีมิวิตซ์ครึ่งกำลังขนาด 65 องศาในระนาบ x-z และมีอัตราขยาย 2.07 dBic ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าสายอากาศที่มีขนาดใกล้เคียงกันในงานวิจัยอื่น

### 6.1 สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์เริ่มจากการใช้งานความถี่ย่านไอเอสเอ็ม 2.45 GHz ในประเทศไทย ซึ่งความถี่ย่านไอเอสเอ็มเป็นย่านความถี่สากลที่มีไว้เพื่อจุดประสงค์ทางด้านอุตสาหกรรม ด้านวิทยาศาสตร์ และด้านการแพทย์ เป็นย่านความถี่ที่ได้รับการยกเว้นใบอนุญาต แต่ในระบบสื่อสารไร้สายมีการนำมาใช้งานโดยที่ยังคงไม่ต้องขอใบอนุญาต เช่น การสื่อสารสนามระยะใกล้ (NFC: Near Field Communication) เทคโนโลยีไร้สาย (WiFi) และอุปกรณ์บลูทูธ (Bluetooth) ในประเทศไทยได้มีการกำหนดการใช้งานสำหรับความถี่ 2.45 GHz ไว้ในย่านความถี่ 2.4 – 2.5 GHz สามารถใช้งานได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร ส่วนมากใช้งานในด้านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไร้สาย และด้านอาร์เอฟไอดี นอกจากนี้ยังได้กล่าวถึงสายอากาศแพร่กระจายคลื่นรอบตัวโพลาริเซชันวงกลมที่มีข้อได้เปรียบมากกว่าสายอากาศโพลาริเซชันเชิงเส้น ทั้งในด้านการจัดวางในทิศทางระหว่างภาคส่งและภาครับ และการจางหายหลายวิถี จึงเป็นที่มาและความสำคัญในการออกแบบสายอากาศที่มีโพลาริเซชันวงกลมและมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นรอบตัว

ในส่วนของทฤษฎีได้กล่าวถึงความถี่ย่านไอเอสเอ็มที่ได้รับการยกเว้นใบอนุญาต แต่จะต้องไม่ทำให้การใช้งานไปรบกวนระบบหลักตามข้อบังคับของแต่ละพื้นที่ จากนั้นจึงนำเสนอหลักการทางสายอากาศ สายอากาศไดโพลชนิดต่างๆ และเทคนิคการสร้างสายอากาศโพลาริเซชันวงกลมจากแผ่นระนาบสี่เหลี่ยมและระนาบวงกลมด้วยวิธีการปรับปรุงรูปแบบการป้อนสัญญาณและการตัดมุมแผ่นระนาบ เทคนิคอื่นๆ ที่ทำให้เกิดโพลาริเซชันวงกลมได้กล่าวถึงในส่วนของงานวิจัยที่มีมาก่อน งานวิจัยได้นำเสนอเทคนิคต่างๆ เช่น การออกแบบโดยใช้แผ่นระนาบสองแผ่นมาประกบกัน การออกแบบที่นำ

สายอากาศย่อยมาเป็นองค์ประกอบหลายชิ้น การออกแบบด้วยวัสดุไดอิเล็กทริกส์ และการออกแบบด้วยการนำแผ่นวัสดุมาวางล้อมรอบจุดป้อนสัญญาณ

การออกแบบสายอากาศตั้งต้นด้วยสายอากาศไดโพลและแผ่นพาราซีติกได้นำเสนอในบทที่ 3 เทคนิคที่นำมาใช้ทำให้สายอากาศไดโพลมีโพลาริซชันเป็นวงกลมคือการเพิ่มแผ่นพาราซีติกเข้าไปในโครงสร้างเหนี่ยวนำองค์ประกอบสนามไฟฟ้าให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนแกนเข้าใกล้ 3 dB แต่แผ่นพาราซีติกที่นำมาใช้จะต้องถูกตัดมุมทั้งสองด้านตามแนวทแยงเพื่อให้การกระจายกระแสเกิดการหมุนวน เมื่อเพิ่มแผ่นพาราซีติกเข้ามาในโครงสร้างจะทำให้อัตราส่วนแกนมีค่าลดลงในมุมที่มีการวางแผ่นพาราซีติก และมุมด้านตรงข้ามแผ่นพาราซีติกด้วย เพื่อให้ได้อัตราส่วนแกนที่ลดลงทุกมุมรอบโครงสร้างสายอากาศจึงต้องใช้จำนวนแผ่นพาราซีติกเป็น 4 แผ่นวางล้อมรอบสายอากาศไดโพลแบบสมมาตรทำให้สายอากาศมีอัตราส่วนแกนลดต่ำลงทุกด้าน นอกจากนี้ยังพบว่า การปรับให้แผ่นพาราซีติกโค้งไปตามแนวรัศมีไดโพลจะทำให้ค่าอัตราส่วนแกนดีขึ้นอีกด้วย

ในบทที่ 4 ได้ทำการศึกษาผลกระทบจากพารามิเตอร์ของสายอากาศที่นำเสนอ โดยโครงสร้างของสายอากาศแบ่งออกเป็นแกนไดโพล และแผ่นพาราซีติก การศึกษาผลกระทบจะวิเคราะห์จาก  $|S_{11}|$  และอัตราส่วนแกนเป็นหลัก ในส่วนของแกนไดโพล การปรับความยาวแกนไดโพลจะส่งผลกระทบต่อความถี่เรโซแนนซ์ของ  $|S_{11}|$  ซึ่งเป็นไปตามความสัมพันธ์ทางด้านกายภาพ ในขณะที่มีผลกระทบต่ออัตราส่วนแกนที่น้อย เนื่องจากไม่ได้ทำการเปลี่ยนแปลงที่แผ่นพาราซีติกโดยตรง แต่การเพิ่มขนาดรัศมีแกนไดโพลกลับมีผลกระทบทั้ง  $|S_{11}|$  และอัตราส่วนแกน เนื่องจากการเพิ่มขนาดรัศมีแกนไดโพลจะทำให้ระยะห่างระหว่างแกนไดโพลและแผ่นพาราซีติกใกล้กันมากขึ้น จึงมีการเหนี่ยวนำมากขึ้นไปด้วย ในส่วนของพาราซีติกนั้น การปรับความกว้างและความสูงแผ่นพาราซีติกให้ผลที่สอดคล้องกันคือ เมื่อทำการปรับขนาดของพารามิเตอร์ทั้งสองให้มีขนาดที่ใหญ่ขึ้น จะทำให้ความถี่เรโซแนนซ์ของ  $|S_{11}|$  และอัตราส่วนแกนมีค่าต่ำลง การศึกษาผลกระทบจากพารามิเตอร์ต่างๆ ส่งผลให้ได้ค่าที่เหมาะสมต่อการออกแบบสายอากาศที่นำเสนอ

ในบทที่ 5 เป็นการทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศต้นแบบที่สร้างขึ้นมีขนาดกว้าง 52 mm ยาว 52 mm และมีความหนา 56 mm โดยได้เพิ่มบาลันในการป้อนสัญญาณเพื่อให้กระแสที่ไหลเกิดความสมมาตรกับแกนไดโพลทั้งสองด้าน จากการทดสอบพบว่าสายอากาศมีอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ ตั้งแต่ 2.35 – 2.57 GHz (8.94%) อัตราส่วนแกน 3 dB ตั้งแต่ 2.40 – 2.60 GHz (8.00%) มีบีมิวอิ้อตราส่วนแกน 3 dB ในระนาบ x-z เป็น 65 องศา และในระนาบ x-y เป็น 360 องศา สายอากาศต้นแบบเป็นสายอากาศที่มีโพลาริซชันวงกลมหมุนขวา ผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นบนระนาบ x-z พบว่ามีบีมิวอิ้อตราส่วนแกน 65 องศา และบนระนาบ x-y พบว่ามีบีมิวอิ้อตราส่วนแกน 360 องศา

สายอากาศต้นแบบมีอัตราขยายอยู่ที่ 2.07 dBic สายอากาศที่นำเสนอสามารถใช้งานในย่านความถี่ 2.4 - 2.484 GHz ซึ่งนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านอาร์เอฟไอดีได้

## 6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

โครงสร้างสายอากาศต้นแบบประกอบด้วย 3 ส่วน คือ แกนไดโพล แผ่นพาราซีติก และบาลัน โดยส่วนแกนไดโพลเป็นส่วนในการกระจายสัญญาณซึ่งมีแบบรูปการกระจายแบบรอบตัว ส่วนแผ่นพาราซีติกเป็นการสร้างโพลาริซวงกลมจากสัญญาณที่ได้จากแกนไดโพล และบาลันเพิ่มเข้ามาในส่วนของการป้อนสัญญาณให้กระแสที่ไหลเกิดความสมมาตรระหว่างแกนไดโพลทั้งสองด้าน ในขั้นตอนการสร้างสายอากาศต้นแบบได้ใช้ท่อทองแดงในส่วนของแกนไดโพลและบาลัน ส่วนแผ่นพาราซีติกใช้แผ่นทองแดงที่โค้งงอได้มาตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมที่ถูกต้องมุมแนวทแยงแล้วนำมาติดลงบนแผ่นอะคริลิกเจาะรูกลางเพื่อให้ล้อมรอบแกนไดโพลเป็นแนวโค้งตามรัศมี ซึ่งในขั้นตอนการติดแผ่นพาราซีติกถ้าไม่ทำให้โค้งตามแนวรัศมีแกนไดโพลแล้วจะพบว่าแบนด์วิดธ์อัตราส่วนแกน 3 dB ไม่ตรงตามทีออกแบบไว้ แผ่นพาราซีติกจึงถือว่าเป็นหัวใจสำคัญที่ทำให้เกิดเป็นสายอากาศโพลาริซวงกลมที่มีแบบรูปการกระจายคลื่นรอบตัว

สายอากาศที่นำเสนอเป็นสายอากาศโพลาริซวงกลมหมุนขวา หากต้องการปรับให้เป็นสายอากาศโพลาริซวงกลมหมุนซ้าย สามารถทำได้โดยการกลับทิศทางแผ่นพาราซีติกให้เป็นด้านตรงข้ามสายอากาศที่นำเสนอมีแบบรูปการกระจายคลื่นรอบตัว ซึ่งสามารถทำการปรับแบบรูปการกระจายคลื่นเป็นแบบเจาะจงทิศทางได้ด้วยการเพิ่มส่วนประกอบไดเรกเตอร์และรีเฟลกเตอร์เข้าไป การเพิ่มส่วนประกอบทั้งสองจะทำให้สายอากาศที่ได้ยังคงเป็นโพลาริซวงกลม เนื่องจากไม่ได้ทำการปรับเปลี่ยนส่วนแผ่นพาราซีติก และด้วยโครงสร้างที่ทำการเพิ่มแผ่นพาราซีติกล้อมรอบแกนไดโพลจะทำให้เกิดโพลาริซวงกลมขึ้น สามารถนำหลักการนี้ไปปรับปรุงสายอากาศรูปแบบอื่นๆ ให้มีโพลาริซวงกลมได้เช่นกัน เช่น นำแผ่นพาราซีติกออกแบบร่วมกับสายอากาศไมโครสตริปเพื่อให้มีโพลาริซวงกลม หรือสร้างสายอากาศที่มีแผ่นพาราซีติกให้ทำหน้าที่เป็นรีเฟลกเตอร์สะท้อนสัญญาณออกมาเป็นโพลาริซวงกลม การนำโครงสร้างแผ่นพาราซีติกไปผสมกับโครงสร้างสายอากาศแบบอื่นๆ จะช่วยขยายแบนด์วิดธ์ให้กว้างขึ้นด้วย

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Intel RFID sensor platform. [Online]. Available: <https://www.intel.com/content/logistics/infographics/warehouse-management-infographic.html>
- [2] ตารางกำหนดคลื่นความถี่แห่งชาติ (พ.ศ. 2560). [Online]. Available: [https://www.nbt.go.th/spectrum\\_management/แผนแม่บท/ตารางกำหนดคลื่นความถี่แห่งชาติ/29029.aspx](https://www.nbt.go.th/spectrum_management/แผนแม่บท/ตารางกำหนดคลื่นความถี่แห่งชาติ/29029.aspx)
- [3] ISM band. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/ISM\\_band](https://en.wikipedia.org/wiki/ISM_band)
- [4] Constantine A. Balanis, “*Antenna Theory: Analysis and Design*”, John Wiley & Son, Inc., 2005
- [5] Classification of Polarization. [Online]. Available: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/polclas.html>
- [6] Mayumi Matsunaga, “A circularly polarized spiral/loop antenna and its simple feeding mechanism”, *Modern Antenna Systems*, 2017.
- [7] X.-Q. Zhu, Y.-X. Guo and W. Wu, “A novel dual-band antenna for wireless communication application,” *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 15, pp.516–519, 2016.
- [8] C.-Y.-D. Sim, “Conical beam array antenna with polarization diversity,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 60, No. 10, pp. 4568–4572, 2012.
- [9] Y. M. Pan, S. Y. Zaeng, and B. J. Hu, “Wideband and low-profile omnidirectional circularly polarized patch antenna,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 62, No. 8, pp. 4347–4351, 2014.
- [10] 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.
- [11] Y. Yu, J. Xiong and H. Li, “Compact omni-directional circularly polarised antenna utilising bended dipoles and integrated baluns,” *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, vol. 11, no. 10, pp. 1409-1414, 2017.

- [12] Q. Liu, Z. N. Chen, Y. Liu, and C. Li, "Compact ultrawideband circularly polarized weakly coupled patch array antenna," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 65, No. 4, pp. 2129–2134, 2017.
- [13] 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, 2014.
- [14] D. Yu, S.-X. Gong, Y.-T. Wan and W. Yiang, "Wideband conical-beam circularly polarized microstrip antenna for large ground plane," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 63, No. 10, pp. 4614–4619, 2015.
- [15] J. Wu and K. Sarabandi, "Compact omnidirectional circularly polarized antenna," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 65, no. 4, pp. 1550-1557, April 2017.
- [16] 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.
- [17] X. Fang, K. W. Leung, and E. H. Lim, "Singly-fed dual-band circularly polarized dielectric resonator antenna," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 13, pp.995–998, 2014.
- [18] S. Fakhte, H. Oraizi, and R. Karimian, "A novel low-cost circularly polarized rotated stacked dielectric resonator antenna," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 13, pp.722–725, 2014.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] C.-C. Lin, and J.-S. Sun, "Circularly polarized dielectric resonator antenna fed by off-centered microstrip line for 2.4-GHz ISM band applications," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 14, pp.947–949, 2015.

- [22] Y.-M. Pan and K. W. Leung, "Wideband circularly polarized dielectric bird-nest antenna with conical radiation pattern," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 61, no. 2, pp. 563-570, Feb. 2013.
- [23] S. V. Kumar and A. R. Harish, "Generation of circular polarized conical beam pattern using torus knot antenna," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 65, no. 11, pp. 5740-5746, Feb. 2017.
- [24] B. Yektakhah and K. Sarabandi, "A wideband circularly polarized omnidirectional antenna based on excitation of two orthogonal circular TE<sub>21</sub> modes," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 65, no. 8, pp. 3877-3888, Aug. 2017.
- [25] CST Microwave Studio Suite, (User's Manual), 2017.



# ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	ปิยะพงษ์ แดงขำ
วันเดือนปีเกิด	11 สิงหาคม พ.ศ. 2526
ที่อยู่	19/1 หมู่ 1 ต.ทองเอน อ.อินทร์บุรี จ.สิงห์บุรี 16110
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2548 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมสารสนเทศ) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2550 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) สายอากาศโพลาริซิงวงกลม 2.) ระบบอาร์เอฟไอดี
ประสบการณ์การทำงาน	พ.ศ. 2550 – 2553 วิศวกร บริษัท ไทยสมาร์ทการ์ด จำกัด พ.ศ. 2553 - ปัจจุบัน อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศและการสื่อสาร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

## วารสารที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] Piyapong Dangkham, Sitthichai Dentri, Chuwong Phongcharoenpanich and Prayoot Akkaraekthalin, "Circularly Polarized Omnidirectional Antenna with Dipole Core and Diagonally Adjoined Parasitic Braces for ISM Band Applications," *International Journal of Antennas and Propagation*, 2019.

## บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] Piyapong Dangkham and Chuwong Phongcharoenpanich, "A Compact Split Ring Resonator Antenna on Paper-Based for UHF RFID Passive Tag," *Proceeding of the 2015 IEEE International Conference on Antenna Measurements and Applications (IEEE CAMA 2015)*, Chiangmai, pp. 210 - 213, Dec. 2015.

- [2] Piyapong Dangkham and Chuwong Phongcharoenpanich, "A Small UHF RFID Passive Tag Antenna Using Modified Split Ring Resonator," *Proceeding of the 2017 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP 2017)*, Phuket, pp. 659 - 660, Nov. 2017.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้