

สายอากาศความกว้างแถบกว้างโดยใช้สตริปไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2561

**WIDEBAND ANTENNA USING MAGNETO-ELECTRIC
CURVED STRIP DIPOLE**



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Telecommunication Engineering**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2018

สายอากาศความกว้างแถบกว้างโดยใช้สตริปไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีอนุมัติให้นักศึกษานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รศ. ดร. รุ่งสรรค์ วงศ์สรรค์)

ประธานกรรมการ



(รศ. ดร. ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(รศ. ดร. มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกุล)

กรรมการ



(ศ. ดร. สันติ แม่นศิริ)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล



(รศ. ร.อ. ดร. กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ปานหทัย แซ่เตีย : สายอากาศความกว้างแถบกว้างโดยใช้ไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า
(WIDEBAND ANTENNA USING MAGNETO-ELECTRIC CURVED STRIP
DIPOLE) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์, 79 หน้า.

ในปัจจุบัน การสื่อสารไร้สายได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว โดยมีความต้องการใช้บริการในหลายๆ ด้าน เช่น การบันเทิง การศึกษา เศรษฐกิจ การแพทย์ และอื่นๆ ส่งผลให้มีจำนวนผู้ให้บริการในระบบการสื่อสารไร้สายเพิ่มขึ้น และผู้ให้บริการต้องการการส่งข้อมูลที่มีความเร็วสูงเพิ่มมากขึ้น ดังนั้น จึงทำให้ระบบสื่อสารไร้สายจำเป็นต้องจัดเตรียมความกว้างแถบที่กว้างมากขึ้นเพื่อรองรับการใช้งานของผู้ให้บริการ จากปัญหาดังกล่าว จึงมีหลายงานวิจัยได้นำเสนอการสร้างสายอากาศที่มีความกว้างแถบกว้าง และศึกษาคุณลักษณะต่างๆ ที่ต้องการของสายอากาศ ได้แก่ การเพิ่มอัตราขยาย แบบรูปการแผ่พลังงานแบบเจาะจงทิศทางที่เสถียร มีการแผ่พลังงานไปด้านหลังต่ำ และมีการโพลาไรซ์ไขว้ต่ำ จากการศึกษางานวิจัยพบว่า สายอากาศไดโพลและสายอากาศแพทช์เป็นที่นิยมนำมาใช้งานในด้านการสื่อสารไร้สาย เนื่องจากมีโครงสร้างที่ง่าย สามารถดัดแปลงรูปร่างได้หลากหลาย น้ำหนักเบา และราคาถูก ดังนั้น ในวิทยานิพนธ์นี้จึงใช้สายอากาศไดโพลในการออกแบบ โดยใช้เทคนิคที่น่าสนใจคือ ไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า (Magneto-Electric dipole) ซึ่งประกอบด้วยไดโพลไฟฟ้า (Electric Dipole) และไดโพลแม่เหล็ก (Magnetic Dipole) ที่ทำงานร่วมกัน โดยใช้การป้อนสัญญาณแบบเกนมาเพื่อเพิ่มการแมตช์อิมพีแดนซ์ ทำให้มีความกว้างแถบกว้าง มีแบบรูปการแผ่พลังงานที่สมมาตรทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก นอกจากนั้นได้เพิ่มการดัดโค้งของไดโพลไฟฟ้าและเพิ่มแผ่นกราวด์ ซึ่งส่งผลให้อัตราขยายเพิ่มขึ้นลดโหลบด้านหลัง มีโพลาไรซ์ไขว้ต่ำ และมีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบเจาะจงทิศทาง ซึ่งการจำลองสายอากาศจะใช้โปรแกรม CST Microwave Studio 2014 เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์ สุดท้ายได้สร้างสายอากาศต้นแบบขนาด 200 x 200 มิลลิเมตร ที่สามารถรองรับความถี่ 1.75 ถึง 3.22 GHz และมีอัตราขยายโดยประมาณ 6.52 dB

PANHATAI SAETIA : WIDEBAND ANTENNA USING MAGNETO-ELECTRIC CURVED STRIP DIPOLE. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. PIYAPORN MESAWAD, Ph.D., 79 PP.

MAGNETO-ELECTRIC STRIP DIPOLE/CURVED STRIP DIPOLE/WIDEBAND ANTENNA

Nowadays, wireless communication has developed rapidly to satisfy the increase in area requirement, especially for entertainment, education, economic and medical. As a result, a number of wireless communication system users has increased and all require wider bandwidth high-speed data transmission systems. The previous research has proposed antennas with wider bandwidth and studied various antenna characteristics including wide bandwidth, high gain, stable radiation pattern with low back lobe, and low cross polarization. The dipole and microstrip patch antennas are popular for wireless communication because they have a simple structure, easy to be modified to various shapes, and have light weight and low cost. Here, a dipole antenna is designed using the interesting magneto-electric dipole technique composing of an electric dipole and a magnetic dipole with interoperability. The gamma Feed was added to an antenna for impedance matching to provide wider bandwidth and symmetric radiation pattern in E- and H-planes. Furthermore, blending the electric dipole and increasing ground sheet produce an antenna with high gain, low back lobe, low cost polarization, and a directional radiation pattern. CST Microwave Studio 2014 is used to simulate antenna parameters affecting resonance frequency. To verify our results, fabricate an antenna prototype with size

of 200×200 mm that provides a frequency band from 1.67 GHz to 3.32 GHz with estimated gain around 7.3 dB.



School of Telecommunication Engineering

Academic Year 2018

Student's Signature สมชาย

Advisor's Signature สมชาย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างยิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และ ด้านดำเนินงานวิจัย จากบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษาช่วยแก้ปัญหา และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทาน และแก้ไข วิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

รองศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์ รองศาสตราจารย์ ดร.พีรพงษ์ อุฑารสกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ วาณิชอนันต์ชัย รองศาสตราจารย์ ดร.มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี อุสาหะ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุติมา พรหมมาก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ ทองทา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภณและ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เศรษฐวิทย์ ภูญาษา อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความรู้ทางวิชาการ และให้โอกาสในการศึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุชนาฏ ฝาเพ็ญม ที่คอยให้คำปรึกษาและช่วยเหลือทั้งในด้านวิชาการและด้านเทคนิค รวมทั้งการชี้แนะเกี่ยวกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่สนับสนุนต่อการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษา

ขอขอบคุณพี่น้องบัณฑิตศึกษาทุกท่าน ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาด้านวิชาการ และคอยให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ประสิทธิประสาทความรู้ด้านต่าง ๆ ทั้งในอดีตและปัจจุบัน และขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่านที่ให้การอบรมเลี้ยงดู และให้การสนับสนุนทางการศึกษาเป็นอย่างดีมาโดยตลอด อีกทั้งเป็นกำลังใจที่ทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์

เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบ ให้กับบิดา มารดา รวมถึงญาติพี่น้องซึ่งเป็นที่รัก และเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ผู้สอนที่เคารพทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยทั้งในอดีตและปัจจุบัน จนสำเร็จการศึกษาไปได้ด้วยดี

ปานหทัย แซ่เตีย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของเบื้องต้น	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.6 วิธีดำเนินการวิจัย	3
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.8 การจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์.....	4
2 ปรัชญาวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 กล่าวนำ.....	6
2.2 ความถี่ที่ใช้ในระบบ 3G/4G.....	6
2.2.1 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 (3G)	6
2.2.2 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 4 (4G)	7
2.3 ทฤษฎีพื้นฐานสายอากาศและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.3.1 การสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ	8
2.3.2 ความกว้างแถบ (Bandwidth).....	10

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.3	แบบรูปการแผ่พลังงาน (radiation pattern)	12
2.3.4	อัตราขยาย (Gain)	16
2.3.5	S - Parameter	17
2.3.6	Impedance Matching	18
2.4	ปฏิกิริยาระหว่างวงจรที่เกี่ยวข้อง	18
2.4.1	สายอากาศแพทช์	19
2.4.2	สายอากาศไดโพล	21
2.2.2	สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า	24
2.5	สรุป	26
3	การออกแบบ	27
3.1	บทนำ	27
3.2	การออกแบบสายอากาศสตริปไดโพลไฟฟ้า	27
3.2.1	การคำนวณและออกแบบสายอากาศสตริปไดโพลไฟฟ้า	27
3.2.2	ศึกษาผลกระทบจากการปรับความกว้างของ w	29
3.2.3	ศึกษาผลกระทบจากการปรับความยาวของ l	30
3.2.4	ศึกษาผลกระทบจากการปรับระยะห่างของ s	31
3.2.5	ศึกษาแบบรูปการแผ่พลังงานของสตริปไดโพลไฟฟ้า	32
3.3	การออกแบบสายอากาศไดโพลแม่เหล็ก	33
3.3.1	การคำนวณและออกแบบของสายอากาศไดโพลแม่เหล็ก	33
3.4	การออกแบบสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า	36
3.4.1	การออกแบบสายอากาศสตริปไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบตรง	36
3.4.2	การแมตช์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศสตริปไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบตรง โดยใช้การป้อนสัญญาณแบบเกมมา	38
3.4.3	ออกแบบตัวป้อนสัญญาณแบบเกมมา โดยใช้กับสายอากาศไดโพล	41
3.4.4	การเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศสตริปไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบตรง ด้วยการเพิ่มแผ่นกราวด์	42

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4.5 การออกแบบสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโค้ง	45
3.5 สรุป.....	51
4 ผลการทดลอง	55
4.1 บทนำ	55
4.2 การสร้างสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า.....	55
4.3 ผลการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (S_{11}).....	57
4.4 ผลการวัดอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing Wave Ratio: SWR).....	59
4.5 ผลการวัดแบบรูปการแผ่พลังงาน.....	59
4.6 ผลการวัดอัตราขยาย.....	63
4.7 ผลการวัดอิมพีแดนซ์.....	65
4.8 ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (Half Power Beamwidth)	65
4.9 สรุป.....	66
5 ข้อสรุปของโครงการ.....	67
5.1 บทสรุป.....	67
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	67
5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป.....	68
รายการอ้างอิง	69
ภาคผนวก ก บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	71
ประวัติผู้เขียน	79

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1	เปรียบเทียบอัตราขยายระหว่างก่อนและหลังใส่แผ่นกราวด์.....45
3.2	เปรียบเทียบอัตราขยายระหว่างโครงสร้าง 3 แบบ50
3.3	เปรียบเทียบผลการจำลองแบบ HPBW ของไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า.....50
4.1	ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สร้างสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า57
4.2	อัตราขยายระหว่างผลการจำลองแบบและผลการวัดทดสอบ64
4.3	เปรียบเทียบผลวัด HPBW ของไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า.....66



สารบัญรูป

รูปที่

หน้า

2.1	ความถี่ที่ให้บริการระบบโทรศัพท์ 3G ในประเทศไทย	7
2.2	กราฟ S_{11}	11
2.3	ระบบพิกัดที่ใช้แสดงคุณสมบัติของการแผ่พลังงานของคลื่น	12
2.4	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไดโพลในระนาบสามมิติและระนาบสองมิติ	13
2.5	แบบรูปการแผ่พลังงานของคลื่น	14
2.6	การแบ่งบริเวณของสนามจากสายอากาศที่ต้องการพิจารณา	15
2.7	Radio link	16
2.8	การป้อนสัญญาณแบบเกมมา	18
2.9	สายอากาศแพทช์ไมโครสตริปที่ป้อนสัญญาณรูปตัวแอล	19
2.10	สายอากาศแพทช์ไมโครสตริปที่ป้อนสัญญาณคู่รูปตัวแอล	20
2.11	สายอากาศแพทช์ไมโครสตริปที่ปรับโครงสร้างแพทช์แล้วป้อนสัญญาณตัวแอล	20
2.12	สายอากาศตัดโค้งรูปตัวเอส	22
2.13	สายอากาศตัดโค้งทำมุมวางบนแผ่นสะท้อน	22
2.14	สายอากาศไดโพลเส้นลวดตรงวางบนแผ่นตัวนำ	23
2.15	สายอากาศไดโพลที่ลวดวางบนแผ่นสะท้อน	23
2.16	สายอากาศไดโพลเส้นตรงตัดโค้งเป็นรูปวงกลมลวดวางบนแผ่นสะท้อน	23
2.17	สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า	25
2.18	สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบหูกระต่าย (bowtie)	25
2.19	สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบพับ	26
3.1	สตริปไดโพลไฟฟ้า	28
3.2	ค่า S_{11} ของสตริปไดโพลไฟฟ้าแบบตรง	29
3.3	ศึกษาผลกระทบจากการปรับความกว้าง w	29
3.4	ค่า S_{11} ของไดโพลไฟฟ้าที่ปรับพารามิเตอร์ w	30
3.5	ศึกษาผลกระทบจากการปรับความยาว l	31
3.6	ค่า S_{11} ของสตริปไดโพลไฟฟ้าที่ปรับพารามิเตอร์ l	31

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.7 ศึกษาผลกระทบจากการปรับระยะห่างของ s	32
3.8 ค่า S_{11} ของไดโพลไฟฟ้าที่ปรับพารามิเตอร์ s	32
3.9 แบบรูปการแผ่พลังงานของไดโพลไฟฟ้า	33
3.10 สายอากาศไดโพลแม่เหล็ก	34
3.11 ค่า S_{11} ของไดโพลแม่เหล็ก	34
3.12 ค่า S_{11} ที่ปรับพารามิเตอร์ w ของไดโพลแม่เหล็ก	35
3.13 ค่า S_{11} ที่ปรับพารามิเตอร์ H ของไดโพลแม่เหล็ก	35
3.14 แบบรูปการแผ่พลังงานของไดโพลแม่เหล็ก	36
3.15 ไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการป้อนสัญญาณแบบ Discrete Port	37
3.16 เปรียบเทียบค่า S_{11} ของไดโพลไฟฟ้าไดโพลแม่เหล็ก และไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า โดยใช้การป้อนสัญญาณแบบ Discrete Port	37
3.17 แบบรูปการแผ่พลังงานของไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้การป้อนสัญญาณ แบบ Discrete Port	38
3.18 ไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการป้อนสัญญาณแบบเกมม่า	39
3.19 ค่า S_{11} ระหว่างการป้อนสัญญาณแบบ Probe Feed, L - Feed และ Γ - Feed	39
3.20 สนามไฟฟ้าโดยเปรียบเทียบระหว่างการป้อนสัญญาณ	40
3.21 แบบรูปการแผ่พลังงานของไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการป้อนสัญญาณแบบเกมม่า	41
3.22 การแมตช์อิมพีแดนซ์โดยใช้การป้อนสัญญาณแบบเกมม่า (Gamma Match)	41
3.23 สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการป้อนสัญญาณแบบเกมม่าและ เพิ่มขนาดของแผ่นกราวด์	42
3.24 ค่า S_{11} ของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการป้อนสัญญาณแบบเกมม่าและ เพิ่มขนาดของแผ่นกราวด์	42
3.25 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการป้อนสัญญาณแบบ เกมม่าและเพิ่มขนาดของแผ่นกราวด์	43
3.26 ค่า S_{11} ที่ปรับพารามิเตอร์ w ของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการป้อน สัญญาณแบบเกมม่าและเพิ่มขนาดของแผ่นกราวด์	43

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.27 สนามไฟฟ้าของไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโดยใช้การป้อนสัญญาณแบบเกมม่าและ เพิ่มแผ่นกราวด์	44
3.28 แบบรูปการแผ่พลังงานของไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการป้อนสัญญาณแบบเกมม่า และเพิ่มแผ่นกราวด์	44
3.29 ไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า	46
3.30 ค่า S_{11} ของไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า	46
3.31 สนามไฟฟ้าของไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า	47
3.32 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า	48
3.33 การเปรียบเทียบค่า S_{11} ของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า	49
3.34 อัตราขยายของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า โดยการเปรียบเทียบระหว่างแบบตรง แบบโค้งคว่ำ และแบบโค้งหงาย	50
3.35 โพลาริซัชันของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งคว่ำ	52
3.36 โพลาริซัชันของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งหงาย	53
4.1 สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้ง ดันแบบ	56
4.2 รูปแบบการวัด S_{11} ของไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งหงาย	58
4.3 ค่า S_{11} ที่ได้จากการวัดไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า	58
4.4 เปรียบเทียบค่า SWR ที่ได้จากการวัดของสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า	59
4.5 การวัดอัตราขยายของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโค้ง ดันแบบ	60
4.6 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า	61
4.7 เวกเตอร์สนามไฟฟ้าของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งคว่ำ	62
4.8 เวกเตอร์สนามไฟฟ้าของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งหงาย	62
4.9 ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ	65

บทที่ 1

บทนำ

เนื้อหาในบทนี้เป็นการอธิบายถึงความเป็นมา และเหตุจูงใจ สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งประกอบด้วย ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ แนวทางการดำเนินวิทยานิพนธ์ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

การสื่อสารไร้สายได้มีการพัฒนามาตั้งแต่ในยุคที่ 1 (First Generation : 1G) ที่ส่งสัญญาณเสียงเพียงอย่างเดียว แต่ยังมีคุณภาพเสียงไม่ดี และต่อมาในยุคที่ 2 (Second Generation : 2G) ซึ่งเพิ่มบริการส่งข้อความ และเพิ่มความเร็วในการรับส่งข้อมูล จนมาถึงยุคที่ 3 (Third Generation : 3G) เป็นวิวัฒนาการของเทคโนโลยีการสื่อสารความเร็วสูงผ่านทางอุปกรณ์สื่อสารไร้สายที่สามารถพกพาไปได้ทุกที่ สามารถรับส่งข้อมูล เสียง ภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว รวมถึงการเข้าถึง และใช้งานโปรแกรมระบบงานประยุกต์ต่างๆ บนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตอย่างเต็มรูปแบบ และปัจจุบันเป็นยุคที่ 4 (Fourth Generation : 4G) สำหรับยุคนี้เป็นยุคบรอดแบนด์ (Broadband) ซึ่งเป็นยุคของโทรศัพท์เคลื่อนที่ในปัจจุบัน ที่สนองต่อความต้องการของระบบประยุกต์ที่มีข้อมูลจำนวนมากและต้องการความเร็วสูง เช่น มัลติมีเดีย วิดีทัศน์ แบบภาพเคลื่อนไหวที่เต็มรูปแบบ (Full-motion Video) หรือการประชุมทางโทรศัพท์แบบไร้สาย (Wireless Teleconferencing) ซึ่งในปัจจุบัน การสื่อสารไร้สายได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว โดยนำมาใช้ในด้านต่าง ๆ เช่น การบันเทิง การศึกษา เศรษฐกิจและอื่นๆ จะเห็นว่ามีความต้องการใช้งานในหลายๆด้าน และต้องการการส่งข้อมูลที่มีความเร็วสูงเพิ่มมากขึ้น แต่ความถี่ยังมีเท่าเดิม ซึ่งการเพิ่มความเร็วในการรับส่งข้อมูลดังที่กล่าวมา ทำให้ระบบสื่อสารไร้สายจำเป็นต้องจัดเตรียมความถี่ที่กว้างมากขึ้น เพื่อรองรับการใช้งานของผู้ใช้บริการ ทำให้มีความต้องการสายอากาศแบนด์กว้างเพิ่มมากขึ้น และคุณสมบัติของสายอากาศที่ต้องการ ได้แก่ ความถี่ที่กว้าง อัตราขยายมีความเสถียร และมีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบเจาะจงทิศทางที่เสถียร มีการแผ่พลังงานไปด้านหลังต่ำ และมีการโพลาไรซ์ไขว้ต่ำ

จากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มความกว้างแถบ อัตราขยายสูงและมีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบเจาะจงทิศทาง ของสายอากาศมีหลากหลายเทคนิค และชนิดของสายอากาศที่นิยมใช้ คือสายอากาศแพทช์ไมโครสตริปและสายอากาศไดโพล

โดยสายอากาศแพทช์ไมโครสตริปเป็นสายอากาศที่มีแบบรูปการแผ่พลังงานเจาะจงทิศทาง มีข้อดีคือ น้ำหนักเบา และสร้างง่าย แต่สายอากาศดังกล่าวมีความกว้างแถบแคบ และอัตราขยายต่ำ และต่อมาสายอากาศที่นิยมใช้งานคือสายอากาศไดโพล เนื่องจากมีโครงสร้างที่ดัดแปลงได้ง่ายและหลากหลาย น้ำหนักเบา วัสดุที่ใช้งานหาได้ง่าย และราคาไม่แพง ซึ่งมีหลากหลายเทคนิคในการ ปรับรูปร่างของสายอากาศไดโพล จึงมีแนวคิดที่จะสร้างสายอากาศ โดยใช้สายอากาศไดโพลไฟฟ้า และไดโพลแม่เหล็กด้วยกัน เพื่อให้สายอากาศมีการทำงานได้ดีในระนาบสนามไฟฟ้าและ สนามแม่เหล็ก และให้มีแบบรูปการแผ่พลังงานที่มีความใกล้เคียงกันทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและ สนามแม่เหล็ก ซึ่งเรียกสายอากาศทั้งสองตัวว่าสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า

ดังนั้นสำหรับวิทยานิพนธ์นี้ ได้ทำการออกแบบสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโดยมีการ ดัดโค้งแผ่นไดโพลไฟฟ้าร่วมกับการป้อนสัญญาณรูปเก๋มมา และวางสายอากาศไดโพลแม่เหล็ก ลัดวงจรบนแผ่นกราวด์ เพื่อทำให้ความกว้างแถบกว้าง อัตราขยายสูง แบบรูปการแผ่พลังงานเสถียร ตลอดจนความถี่ โหลบด้านหลังต่ำ และมีโพลาไรซ์ไขว้ต่ำ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาโครงสร้างและออกแบบสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับ ประยุกต์ทำงานบนความถี่ในระบบ 3G (1920-2170 MHz) และ 4G (1710-1880 MHz, 2310-2370 MHz)

1.2.2 เพื่อออกแบบและจำลองผลสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า

1.2.3 เพื่อสร้างสายอากาศต้นแบบ วัดทดสอบ และเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลอง ด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 เมื่อออกแบบสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า จะส่งผลให้มีความกว้างแถบกว้าง และแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กมีความเสถียร

1.3.2 เมื่อออกแบบสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า โดยเพิ่มการดัดโค้ง จะส่งผลให้มีความกว้างแถบกว้าง และโหลบด้านหลังลดลง

1.3.3 เมื่อออกแบบสายอากาศไดโพลโค้งแบบแม่เหล็กไฟฟ้าร่วมกับตัวป้อนคลื่นรูป เก๋มมาจะส่งผลให้มีการเมตซ์อิมพีแดนซ์ดีขึ้น

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.4.1 สร้างสายอากาศที่มีความกว้างแถบกว้าง ที่สามารถทำงานบนความถี่ในระบบ 3G (1920-2170 MHz) และ 4G (1710-1880, 2310-2370) โดยใช้สายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า

1.4.2 ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ CST Microwave Studio ในการจำลอง 2014

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 วิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า

1.5.2 จำลองสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio

1.5.3 สร้างสายอากาศต้นแบบเพื่อเปรียบเทียบผลวัดทดสอบ และผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

1.6.1 แนวทางการดำเนินงานวิจัย

- 1) สำรวจปริทัศน์วรรณกรรม และวิทยานิพนธ์ที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์
- 2) ศึกษาหลักการทำงานรวมถึงทฤษฎีของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า
- 3) ศึกษาหลักการทำงานของตัวป้อนคลื่นรูปแอมมา
- 4) จำลองแบบสร้างสายอากาศและปรับพารามิเตอร์ด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio
- 5) สร้างสายอากาศต้นแบบ วัดอัตราส่วนคลื่นนิ่ง สัมประสิทธิ์การสะท้อน แบบรูปการแผ่พลังงาน และอัตราขยาย เพื่อเปรียบเทียบกับผลจากการจำลองแบบ
- 6) ทำการวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบที่ได้ในทางปฏิบัติเปรียบเทียบกับผลจากการสร้างจำลองแบบการทดลอง

1.6.2 ระเบียบวิธีวิจัย

เป็นวิทยานิพนธ์ประยุกต์ ซึ่งดำเนินการตามกรอบงานดังต่อไปนี้

- 1) การศึกษา และเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรม และวิทยานิพนธ์ที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์
- 2) ออกแบบ และวิเคราะห์สายอากาศไดโพลไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า และทำการปรับโครงสร้างไดโพลไฟฟ้าให้มีลักษณะโค้งด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio

- 3) สร้างสายอากาศต้นแบบ วัดแบบรูปการแผ่พลังงาน คำนวณอัตราขยาย (Gain) และวัดทดสอบ S_{11} เปรียบเทียบกับผลจากการจำลองแบบ

1.6.3 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องวิจัย และปฏิบัติการสื่อสารไร้สาย อาคารเครื่องมือ 11 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

1.6.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- 1) โปรแกรม CST Microwave Studio
- 2) โปรแกรมเมทแลบ (MATLAB)
- 3) เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่าย (Network Analyzer)
- 4) คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer)

1.6.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

- 1) เก็บผลการทดสอบสายอากาศไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้จากการจำลองผลด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio
- 2) เก็บผลการวัดแบบรูปการแผ่พลังงาน
- 3) คำนวณอัตราขยายเชิงทิศทาง

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 ได้สายอากาศแถบความถี่กว้างโดยใช้แผ่นไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้งานในเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สาย โดยมีโครงสร้างง่าย น้ำหนักเบา มีแบนด์วิดท์กว้าง และอัตราขยายเชิงทิศทางสูง

1.7.2 สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานระบบเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สาย

1.8 การจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์

เนื้อหาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการศึกษาค้นคว้า รวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ และสรุปผล สำหรับสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 5 บท

บทที่ 1 เป็นบทนำ กล่าวถึงความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ ขอบเขตวิทยานิพนธ์ สมมติฐานของการวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตวิทยานิพนธ์ วิธีดำเนินวิทยานิพนธ์ และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และการจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงปริทัศน์วรรณกรรม งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศที่มีความกว้างแถบกว้าง ซึ่งได้แก่สายอากาศไดโพลและสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า เนื่องจากสายอากาศไดโพล

มีโครงสร้างที่ดัดแปลงได้ง่าย น้ำหนักเบาและราคาถูก และกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานสายอากาศ เพื่อการวัดทดสอบสายอากาศ

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio เพื่อให้ได้สายอากาศที่มีคุณสมบัติตรงตามที่ต้องการ และพิจารณา ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศ

บทที่ 4 กล่าวถึงการสร้างสายอากาศต้นแบบ และผลการวัดจากห้องปฏิบัติการซึ่งประกอบไปด้วย การวัดค่า S_{11} การวัดแบบรูปการแผ่พลังงาน อัตราขยาย และอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ และสุดท้ายวิเคราะห์ผล

บทที่ 5 กล่าวถึงสรุปผลการวิจัยและคุณสมบัติสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าต้นแบบ ปัญหาที่เกิดขึ้นข้อเสนอแนะอีกทั้งแนวทางในการแก้ปัญหา และการพัฒนาต่อไปในอนาคต



บทที่ 2

ปรัทัศนัวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

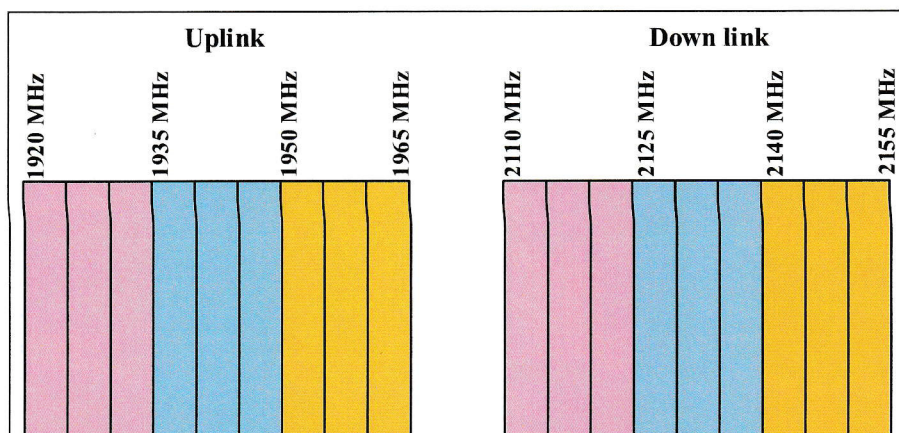
การสื่อสารไร้สายได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ซึ่งเป็นการติดต่อระหว่างอุปกรณ์สื่อสารโดยไม่ใช้สายสัญญาณเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อ แต่จะใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นตัวกลางในการติดต่อสื่อสารที่เรียกว่าเครือข่ายไร้สาย ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ทำให้อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ในเครือข่ายสามารถสื่อสารถึงกันได้โดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการเชื่อมต่อเพื่อการรับและส่งข้อมูลแทนสายเคเบิล โดยมีเทคนิคการส่งข้อมูลและเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน ภายใต้มาตรฐานเครือข่ายไร้สายที่กำหนด โดยใช้สายอากาศเป็นอุปกรณ์ตัวกลางในการรับคลื่นจากสายส่งสัญญาณและแปลงคลื่นส่งออกไปยังอุปกรณ์ต่าง ๆ ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีของสายอากาศ และปรัทัศนัวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.2 ความถี่ที่ใช้ในระบบ 3G/4G

2.2.1 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 (3G)

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ได้พัฒนาตามข้อกำหนดของ IMT-2000 (International Mobile Telecommunications-2000) โดยให้บริการสื่อสารข้อมูลเสียง โดยการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลและได้เพิ่มความเร็วในการส่งข้อมูลดิจิทัลสูงถึง 2 เมกกะบิตต่อวินาที สามารถให้บริการสื่อสารมัลติมีเดียซึ่งรวมถึงข้อมูลเสียงและภาพเคลื่อนไหวด้วย เทคโนโลยีที่ใช้เป็นระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ได้แก่ เทคโนโลยี WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) และ เทคโนโลยี CDMA2000 (3xRTT)

การพัฒนาการของโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 สามารถทำงานได้ที่คลื่นความถี่ 850, 900, 1900 และ 2100 เมกกะเฮิร์ซ ซึ่งในประเทศไทยใช้คลื่นความถี่ที่ 2100 เมกกะเฮิร์ซ เป็นคลื่นความถี่ที่ยังไม่ได้ใช้ในระบบโทรคมนาคม การแบ่งคลื่นความถี่ของประเทศไทยแสดงดังรูปที่ 2.1 ซึ่งประกอบด้วย Uplink ขนาด 45 เมกกะเฮิร์ซ และ Downlink ขนาด 45 เมกกะเฮิร์ซ



รูปที่ 2.1 ความถี่ที่ให้บริการระบบโทรศัพท์ 3G ในประเทศไทย

ตัวอย่างโครงสร้างของเครือข่ายของระบบ WCDMA ซึ่งประกอบส่วนของ UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) และเครือข่ายที่เป็นระบบ GSM ส่วนของ UTRAN ซึ่งจะประกอบด้วยระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ใช้ระบบของ NodeB และ RAN (Radio Access Network) โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เป็นสิ่งที่ทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อเครือข่าย WCDMA เมื่อผู้ใช้งานต้องการส่งข้อมูลเสียงและข้อมูลดิจิทัล NodeB ทำหน้าที่เป็นตัวกลางเชื่อมต่อระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่และ RAN RAN ทำหน้าที่ในการจัดการเชื่อมต่อของโทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อเชื่อมต่อไปยังเครือข่ายหลัก

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ได้ถูกพัฒนาต่อเป็นเทคโนโลยี HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access) เทคโนโลยี HSUPA (High-Speed Uplink Packet Access) เทคโนโลยี HSPA (High-Speed Packet Access) และ เทคโนโลยี HSPA+ ซึ่งเป็นการพัฒนาจากโครงสร้างเดิมของระบบที่เป็น WCDMA ให้สามารถรับส่งข้อมูลได้สูงขึ้น เช่น เทคโนโลยี HSDPA สามารถรับส่งข้อมูลได้สูงสุดถึง 14.4 เมกกะบิตต่อวินาที (Uplink) 384 กิโลบิตต่อวินาที (Downlink) เทคโนโลยี HSUPA สามารถรับส่งข้อมูลได้สูงสุดถึง 14.4 เมกกะบิตต่อวินาที (Uplink) 5.76 เมกกะบิตต่อวินาที (Downlink) เทคโนโลยี HSPA สามารถรับส่งข้อมูลได้สูงสุดถึง 14.4 เมกกะบิตต่อวินาที (Uplink) 5.76 เมกกะบิตต่อวินาที (Downlink) และ เทคโนโลยี HSPA+ สามารถรับส่งข้อมูลได้สูงสุดถึง 42 เมกกะบิตต่อวินาที (Uplink) 22 เมกกะบิตต่อวินาที (Downlink)

ส่วนการพัฒนาการของ CDMA 2000 นั้นประกอบด้วยเทคโนโลยี CDMA EV-DO Rel.0 และ เทคโนโลยี CDMA EV-DO Rel. A ซึ่งสามารถส่งข้อมูลสูงสุดที่ 2.4 เมกกะบิตต่อวินาที (Uplink) 153 กิโลบิตต่อวินาที (Downlink) และ 3.1 เมกกะบิตต่อวินาที (Uplink) 1.8 เมกกะบิตต่อวินาที (Downlink) ตามลำดับ

2.2.2 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 4 (4G)

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 นั้นได้นำมาใช้กันหลายประเทศรวมถึงประเทศไทยซึ่งสามารถให้บริการการสื่อสารมัลติมีเดียเช่น ข้อมูลภาพเคลื่อนไหว การให้บริการอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง เป็นต้น โดยระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 4 เป็นระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่พัฒนาในด้านของความเร็วการส่งข้อมูลและการรวมเชื่อมต่อเครือข่ายด้วยโปรโตคอลไอพีเพื่อให้เป็นเทคโนโลยีแบบหนึ่งเดียว การให้บริการหลักของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 4 จะเป็นการให้บริการโปรแกรมประยุกต์บนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเป็นหลักซึ่งสามารถให้บริการข้อมูลมัลติมีเดีย เทคโนโลยีที่จะเป็นทางเลือกสำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 4 คือ LTE (Long Term Evolution) และ WiMAX โครงสร้างของเครือข่าย LTE ซึ่งการพัฒนาจะเป็นการพัฒนาส่วนของ EUTRAN (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network) ซึ่งประกอบด้วยโทรศัพท์เคลื่อนที่ ENodeB และ MME (Mobility Management Entity) เครือข่าย EUTRAN นอกจากเชื่อมต่อเครือข่ายไอพีเป็นหลักแล้วยังสามารถเชื่อมต่อกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ของระบบ GSM หรือ CDMA 2000 เพื่อให้การบริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ใช้การสวิตจิ้งจอร์

เทคโนโลยี WiMAX เป็นเทคโนโลยีที่ใช้มาตรฐาน IEEE 802.16 สำหรับการเชื่อมต่อระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่และสถานีฐาน เทคโนโลยี WiMAX เป็นเทคโนโลยีที่ใช้เป็นระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 4 ในอเมริกาซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ไม่ได้พัฒนาต่อจากระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 เพราะฉะนั้นการติดตั้งก็จะทำได้ยาก เนื่องจากต้องทำการติดตั้งระบบใหม่ทั้งหมด มาตรฐานการพัฒนาของเทคโนโลยี WiMAX ประกอบด้วย มาตรฐาน IEEE 802.16 มาตรฐาน IEEE 802.16a มาตรฐาน IEEE 802.16a และ มาตรฐาน IEEE 802.16e สรุปคลื่นที่ให้บริการ 4G LTE ในประเทศไทยในปัจจุบันโดยแบ่งตามความถี่

900MHz [Band 8]: Truemove H (5MHz), AIS (5MHz)

1800MHz [Band 3]: AIS (15MHz), DTAC (20MHz), Truemove H (15MHz)

2100MHz [Band 1]: Dtac (15MHz), Truemove H (15MHz), AIS (15MHz),

TOT-AIS (15MHz) 2300MHz [Band 40], TOT-Dtac (60MHz)

2.3 ทฤษฎีพื้นฐานสายอากาศและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 การสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss)

การสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ เป็นการแสดงถึงค่า การสูญเสียเมื่อป้อนพลังงานให้กับสายอากาศและยังแสดงถึง ช่วงความกว้างแถบของสายอากาศที่สามารถทำงานได้ โดยสามารถพิจารณาจากค่า S_{11} เท่ากับหรือต่ำกว่า -10 dB รวมทั้งแสดงถึงคุณลักษณะของ

อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing Wave Ratio, SWR) โดยค่า SWR และค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับจะพิจารณาจากสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (Voltage Reflection Coefficient)

$$\Gamma = \frac{v_r}{v_i} \quad (2.1)$$

เมื่อ Γ คือ สัมประสิทธิ์แรงดันสะท้อนกลับ

v_r คือ แรงดันสะท้อนกลับ

v_i คือ แรงดันตกกระทบ

จากสมการที่ (2.1) ถ้าสัมประสิทธิ์แรงดันสะท้อนกลับมีค่าเป็นบวกแสดงว่าแรงดันสะท้อนกลับมีเฟสตรงกัน (In Phase) แต่ถ้าเครื่องหมายเป็นลบแสดงว่าแรงดันสะท้อนกลับมีเฟสตรงกันข้าม (Out of Phase) การหาค่าเปอร์เซ็นต์ของคลื่นแรงดันสะท้อนกลับ สามารถหาได้ดังนี้

$$\% \text{ แรงดันสะท้อนกลับ} = \Gamma \times 100 \quad (2.2)$$

กำลังงานหาได้จากแรงดันยกกำลังสองหารด้วยอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ z_c

$$P = \frac{v^2}{z_c} \quad (2.3)$$

เพราะฉะนั้นสัมประสิทธิ์กำลังงานสะท้อนกลับ (Power Reflection Coefficient) มีค่าเท่ากับกำลังสองของค่าสัมประสิทธิ์แรงดันสะท้อนกลับ

$$\Gamma^2 = \frac{P_r}{P_i} \quad (2.4)$$

เมื่อ Γ^2 คือ สัมประสิทธิ์กำลังสะท้อนกลับ

P_r คือ กำลังงานสะท้อนกลับ

P_i คือ กำลังงานตกกระทบ

เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ได้โดย

$$\% \text{ กำลังสะท้อนกลับ} = \Gamma^2 \times 100 \quad (2.5)$$

นอกจากนี้สัมประสิทธิ์แรงคืนสะท้อนกลับยังสามารถหาได้จากอัตราส่วนของผลต่างและผลรวมระหว่างโหลดกับอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายนำสัญญาณ

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_c}{Z_L + Z_c} \quad (2.6)$$

โดยที่ z_c และ z_L เป็นอิมพีแดนซ์ของสายส่งและอิมพีแดนซ์ของโหลด เนื่องจากอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายส่งเท่ากับ 50 โอห์ม อิมพีแดนซ์โหลด ก็คือสายอากาศที่เราทำการออกแบบ ถ้าสามารถออกแบบให้เท่ากับ 50 โอห์มก็จะไม่เกิดการสะท้อนกลับ แต่ถ้าไม่เท่ากับ 50 โอห์ม ก็จะเกิดการสะท้อนกลับจากโหลดไปยังแหล่งกำเนิด ทำให้เกิดคลื่นนิ่ง (SWR) ในสายส่ง โดยการวัดค่า SWR เป็นอัตราส่วนระหว่างของแอมพลิจูดสูงสุดของคลื่นนิ่งกับแอมพลิจูดต่ำสุดของคลื่นนิ่ง โดยค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ของอัตราส่วนคลื่นนิ่ง คือ มีค่าน้อยกว่าหรือ เท่ากับ 2.0 สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.7)

$$SWR = \frac{v_{\max}}{v_{\min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.7)$$

ถัดไปเป็นการแสดงสมการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศ โดยมีความสัมพันธ์เหมือนกับ ค่าของอัตราส่วนคลื่นนิ่ง โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.8)

$$\text{Return Loss} = 10 \log |S_{11}|^2 = -20 \log (|\Gamma|) \quad (2.8)$$

เนื่องจากการแมตช์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ดี ค่าของการสูญเสียย้อนกลับต้องน้อยกว่า 10 dB เมื่อคำนวณย้อนกลับแล้วค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนต้องน้อยกว่า 0.3162 ส่งผลให้ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง น้อยกว่า 2 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ตั้งแต่แรก (รังสรรค์ วงศ์สรรค์, 2555)

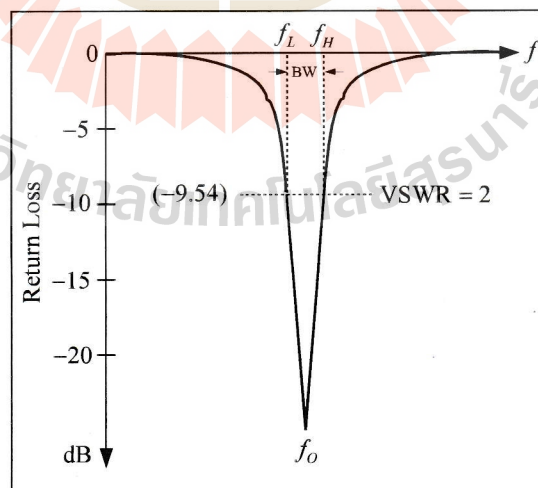
2.3.2 ความกว้างแถบ (Bandwidth)

ความกว้างแถบความถี่ของสายอากาศ หมายถึง ความสามารถของสายอากาศที่ทำงานได้ตลอดย่านความถี่ โดยจากคุณสมบัติบางตัวของสายอากาศและให้เป็นไปตามมาตรฐาน กำหนดความกว้างแถบซึ่งจะพิจารณาจากช่วงของความถี่ที่ต่ำกว่าและสูงกว่าความถี่กลาง (Center Frequency) ซึ่งสายอากาศที่สามารถทำงานได้ตลอดย่านนี้ แบ่งเป็น สายอากาศแถบกว้าง และสายอากาศแถบแคบดังนี้

กรณีที่เป็นสายอากาศแถบกว้าง (Broadband Antennas) ความกว้างแถบมักจะแสดงในรูปของอัตราส่วนระหว่างความถี่สูงสุดกับความถี่ต่ำสุดที่สายอากาศสามารถทำงานได้ เช่น ถ้าสายอากาศชนิดนี้มีความกว้างแถบเท่ากับ 10:1 แสดงว่าความถี่สูงสุดมีค่ามากกว่าความถี่ต่ำสุดอยู่ 10 เท่า

กรณีของสายอากาศแถบแคบ (Narrowband Antennas) ความกว้างแถบมักจะแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์ของผลต่างความถี่ (ความถี่สูงสุด-ลบความถี่ต่ำสุด) โดยเมื่อเทียบกับความถี่กลางของความถี่แถบ เช่น ถ้าสายอากาศชนิดนี้มีความกว้างแถบเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าผลต่างของความถี่ที่สายอากาศสามารถทำงานได้มีค่าเป็น 5 เปอร์เซ็นต์ ของความถี่กลางของความถี่แถบ โดยคุณสมบัติของสายอากาศ แต่ละตัวที่ไม่เหมือนกัน จึงเป็นการยากที่จะพิจารณาค่าของความถี่แถบ สองวิธีที่นิยมที่สุดในการพิจารณาค่าของความถี่แถบ คือ Pattern Bandwidth และ Impedance Bandwidth

ค่า S_{11} ยิ่งติดลบมากยิ่งดี ซึ่งแสดงว่ามีการสะท้อนกลับ (Reflection) ที่น้อย ค่าประมาณ -10 dB เป็นค่าที่บ่งบอกช่วงความถี่ที่สายอากาศสามารถทำงานได้ โดยสายอากาศไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก พิจารณาจาก (ความถี่สูงสุด-ลบความถี่ต่ำสุด) ที่ค่า SWR ค่าที่ยอมรับได้ค่ามาตรฐานในห้องปฏิบัติการ $SWR < 2$ ส่วนทางปฏิบัติที่ยอมรับได้ $SWR < 1.5$ ค่า $SWR = 1.5$ อาจมีความถี่แถบน้อยกว่า $SWR = 2$ แสดงดังรูปที่ 2.2 แต่เป็นเหตุผลที่ว่าเครื่องส่งและเครื่องมืออื่นจะปลอดภัยต่อการเสียหายมากกว่า (รังสรรค์ วงศ์สรรค์, 2555) (ภาวิณี สุวรรณทา)

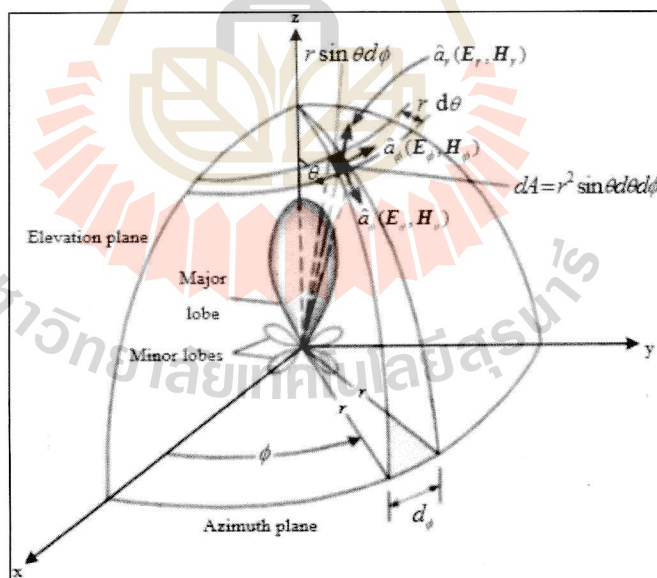


รูปที่ 2.2 กราฟ S_{11}

2.3.3 แบบรูปการแผ่พลังงาน (radiation pattern)

สำหรับการอธิบายคุณลักษณะของสายอากาศที่จำเป็นอีกประการหนึ่ง นั่นคือ แบบรูปการแผ่พลังงาน (Radiation pattern) เพื่อแสดงคุณสมบัติการแผ่พลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า รูปที่ 2.11 แสดงระบบพิกัดที่นำมาใช้สำหรับการแสดงคุณสมบัติของการแผ่พลังงานของคลื่น ซึ่งจะพิจารณาในพิกัดทรงกลมแสดงเป็นสามมิติ ซึ่งเป็นการพิจารณาความสัมพันธ์ของการแผ่พลังงานในสนามระยะไกลที่ล้อมรอบสายอากาศในลักษณะที่เป็นทรงกลม ในระนาบ $x-z$ เป็นการวัดการเปลี่ยนแปลง θ เมื่อ $\phi = 0^\circ$ บ่งบอกถึงระนาบมุมเงย ส่วนระนาบ $x-y$ เป็นการวัดการเปลี่ยนแปลง ϕ เมื่อ $\theta = 90^\circ$ บ่งบอกถึงระนาบมุมแอซิมุท ในระนาบมุมเงยคือเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้า (E-plane) ซึ่งมีทิศทางของการแผ่พลังงานสูงสุด ในระนาบมุมแอซิมุทคือเวกเตอร์ของสนามแม่เหล็ก (H-plane) ซึ่งมีทิศทางของการแผ่พลังงานสูงสุด แบบรูปการแผ่พลังงานทั้งสองระนาบ คือ การพล็อตในเชิงขั้วเกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่า θ คงที่ค่า ϕ หรือ เปลี่ยนแปลงค่า ϕ และคงที่ค่า θ

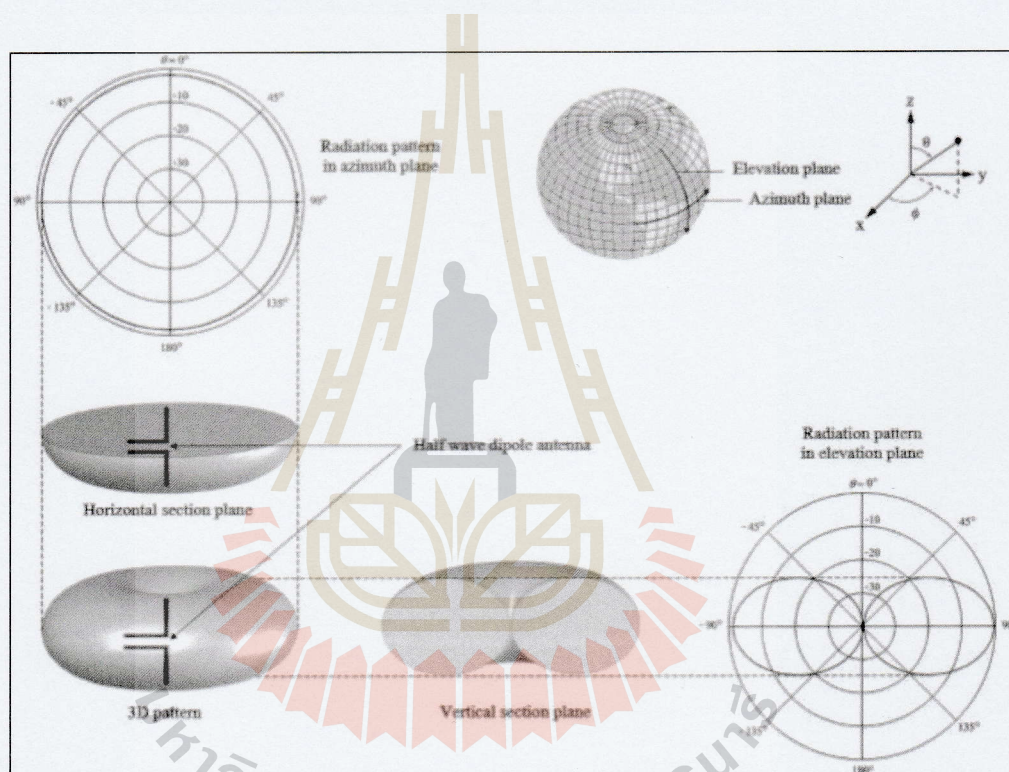
แบบรูปการแผ่พลังงาน ใช้เพื่อแสดงคุณสมบัติของการแผ่พลังงานซึ่งแสดงในฟังก์ชันพิกัดทรงกลม ส่วนใหญ่รูปแบบการแผ่พลังงานนี้มักจะคิดในบริเวณที่เป็นสนามระยะไกล



รูปที่ 2.3 ระบบพิกัดที่ใช้แสดงคุณสมบัติของการแผ่พลังงานของคลื่น (Constantine A. Balanis)

ซึ่งพิจารณาในเชิงขั้วของสายอากาศ เมื่อให้ระนาบมุมแอซิมุทคงที่แล้วทำการเปลี่ยนแปลงในระนาบมุมเงยนั่นก็คือเปลี่ยนแปลงค่า θ ซึ่งสัมพันธ์กับระนาบสนามไฟฟ้า เมื่อให้

ระนาบมุมเงยคงที่ โดยมีการแผ่พลังงานสูงสุดที่ $\theta = 90^\circ$ แล้วทำการเปลี่ยนแปลงในระนาบมุมแฉิมุท นั่นก็คือเปลี่ยนแปลงค่า ϕ ซึ่งสัมพันธ์กับระนาบสนามแม่เหล็ก ดังรูปที่ 2.3 เป็นการแสดงแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสามมิติของสายอากาศไดโพลแบบครึ่งคลื่น และในระนาบสองมิติเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่า θ กำหนดให้ $\phi = 0^\circ$ คงที่ จากนั้นเปลี่ยนแปลงค่า ϕ กำหนดให้ $\theta = 90^\circ$ คงที่ ในการพิจารณาทั้งสองระนาบนั้นเพื่อให้เข้าใจมากขึ้น อีกทั้งยังพบว่าแบบรูปการแผ่พลังงานสูงสุดที่ $\theta = 90^\circ$ โดยเปลี่ยนแปลงค่า ϕ ในระนาบแฉิมุท และ แบบรูปการแผ่พลังงานจะมีค่าเป็นศูนย์ในส่วนปลายของไดโพลตามแกน z (หรือ $\phi = 0^\circ$ และ 180°)



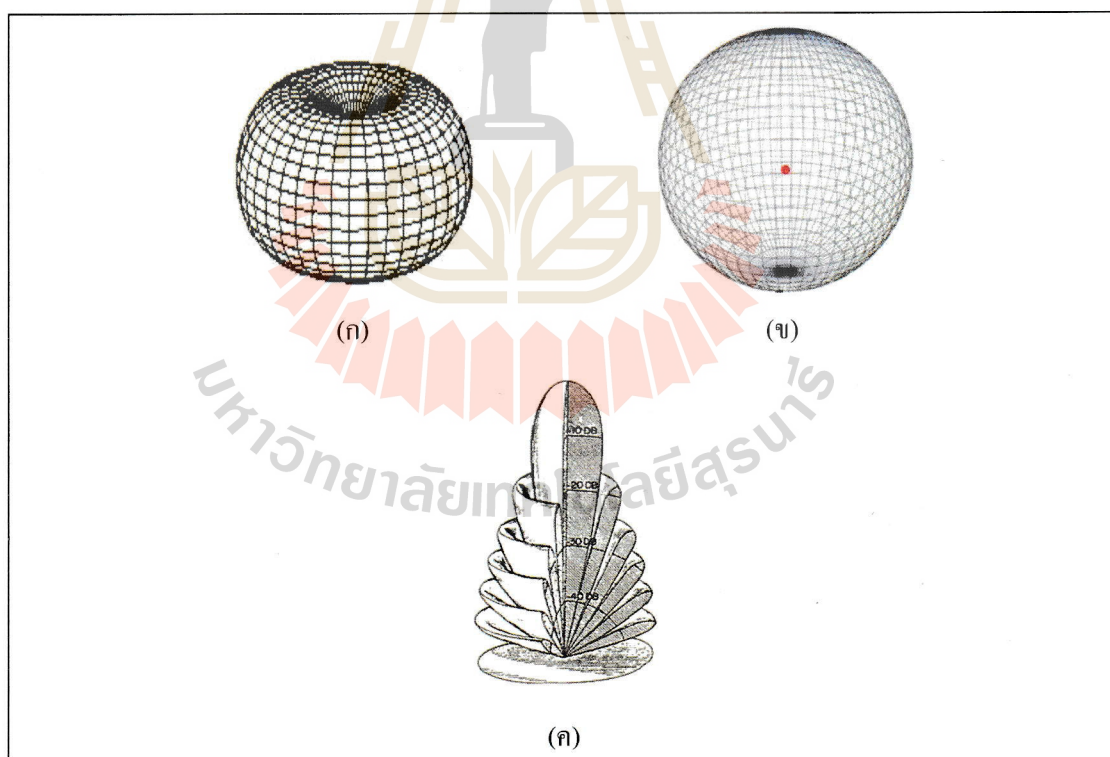
รูปที่ 2.4 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไดโพลในระนาบสามมิติและระนาบสองมิติ

แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

สายอากาศที่มีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบไอโซทรอปิก (Isotropic pattern) ดังรูปที่ 2.5 (ก) เป็นสายอากาศที่ใช้ในทางทฤษฎีโดยมีการแพร่กระจายของคลื่นทุกทิศทาง และมีความเข้มสนามที่เท่ากัน เป็นสายอากาศที่ไม่สามารถสร้างขึ้นได้จริง แต่จะใช้ในการเปรียบเทียบหรือกำหนดเป็นมาตรฐานนำไปเทียบกับสายอากาศแบบอื่น เพื่อดูลักษณะ คุณสมบัติ แสดงทิศทางของสายอากาศ

สายอากาศที่มีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบรอบทิศทาง (Omni-directional pattern) ดังรูปที่ 2.5 (ข) เป็นสายอากาศที่สามารถรับส่งคลื่นได้ดีในทุกทิศทาง ซึ่งมีทิศทางการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง 360 องศา เหมาะสำหรับการใช้งานด้านการติดต่อกับลูกข่ายที่มีตำแหน่งและทิศทางที่ไม่แน่นอน โดยสายอากาศที่นิยมใช้คือ สายอากาศไดโพล (Dipole Antenna) มีอีลีเมนต์ (Element) เพียงด้านเดียว การใช้งานจริงจะออกแบบด้วยโลหะหรือสายไฟรอบๆ ตัว สายอากาศชนิดนี้เป็นสายอากาศที่ใช้ในมาตรฐานในการเปรียบเทียบกับสายอากาศแบบอื่นๆ

สายอากาศที่มีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบเจาะจงทิศทาง (Directional pattern) ดังเช่น รูปที่ 2.5 (ค) เป็นสายอากาศที่สามารถรับส่งคลื่นได้ดี และมีทิศทางการแพร่กระจายของคลื่นที่มีทิศทางชัดเจนเหมาะสำหรับการติดต่อระหว่างจุด แต่มีข้อเสียคือ ถ้าไม่อยู่ในทิศทางการแพร่กระจายของคลื่นจะไม่สามารถรับสัญญาณได้ซึ่งสายอากาศประเภทนี้มีอัตราขยาย (Gain) สูง ชนิดของสายอากาศที่นิยม ได้แก่ สายอากาศแบบยาคี (Yagi Antenna) สายอากาศปากแตร (Horn Antenna) และสายอากาศแบบจานสะท้อน (Dish Antenna) เป็นต้น



รูปที่ 2.5 แบบรูปการแผ่พลังงานของคลื่น (ก) แบบไอโซทรอปิก (ข) แบบรอบตัวในระนาบเดียว
(ค) แบบเจาะจงทิศทาง

บริเวณสนามของสายอากาศถูกแบ่งออกเป็น 3 บริเวณ ดังนี้

สนามระยะใกล้รีแอคทีฟ (Reactive Near Field Region) เป็นบริเวณที่สนามมีระยะอยู่ใกล้สายอากาศมากที่สุด $R < 0.62\sqrt{D^2/\lambda}$ จากสายอากาศ เมื่อความยาวคลื่นเท่ากับ λ และขนาดของสายอากาศที่ยาวที่สุดเท่ากับ D

สนามระยะใกล้ที่มีการแผ่ (Radiation Near Field Region) เป็นสนามที่อยู่ระหว่างสายอากาศระยะใกล้รีแอคทีฟและสนามระยะไกล ซึ่งมีสนามการแผ่พลังงานเป็นส่วนใหญ่ และมีการแผ่พลังงานตามมุม ถ้าหาขนาดของสายอากาศมีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นสนามบริเวณนี้จะไม่เกิดขึ้น โดยมีระยะทาง $0.62\sqrt{D^2/\lambda} < R < 2D^2/\lambda$

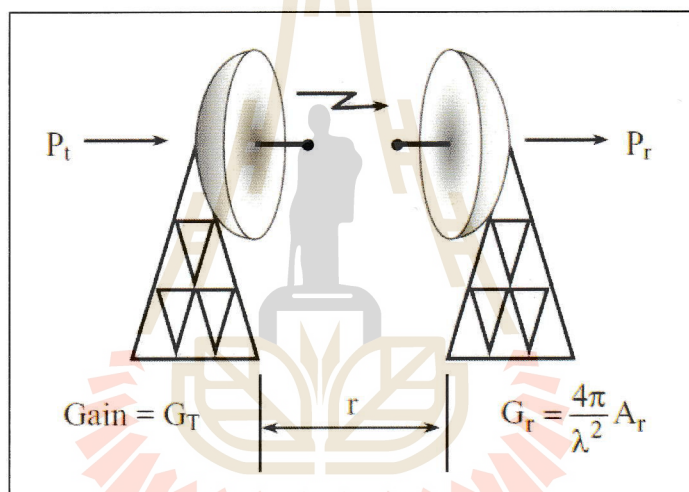
สนามระยะไกล (Far Field Region) เป็นบริเวณการแผ่พลังงานไม่ขึ้นกับระยะทางที่ห่างออกจากสายอากาศ ถ้าหาขนาดสายอากาศใหญ่สุดเท่ากับ D บริเวณการแผ่พลังงานจะเกิดขึ้นเมื่อ $R > 2D^2/\lambda$ จากสายอากาศ สำหรับการพิจารณาแบบรูปการแผ่พลังงานนั้นจะต้องทำในสนามระยะไกล ซึ่งคุณลักษณะการแผ่พลังงานประกอบด้วย ความหนาแน่นของเส้นแรง (Power Flux Density) ความหนาแน่นของพลังงานที่แผ่พลังงาน (Radiation Power Density) ความเข้มของสนาม (Field Intensity) สภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity Phase) หรือการแยกขั้วคลื่น (Polarization) ในรูปที่ 2.14 แสดงบริเวณสนามของสายอากาศซึ่งแบ่งออกเป็น 3 บริเวณ (รังสรรค์ วงศ์สรรค์, 2555)



รูปที่ 2.6 การแบ่งบริเวณของสนามจากสายอากาศที่ต้องการพิจารณา (Constantine A. Balanis)

2.3.4 อัตราขยาย (Gain)

อัตราขยาย (Gain) เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้อธิบายประสิทธิภาพของสายอากาศ และวัดคุณสมบัติในการชี้ทิศทางของแบบรูปการแผ่พลังงาน ในขณะที่ค่าสภาพเจาะจงทิศทางจะอธิบายคุณสมบัติในการชี้ทิศทางของแบบรูปการแผ่พลังงานเพียงอย่างเดียว ซึ่งการวัดอัตราขยายของสายอากาศเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นกับ การวัดสภาพเจาะจงทิศทาง ตลอดจนประสิทธิภาพการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศ โดย วิธีการวัดอัตราขยายจริง (Absolute Gain) ของสายอากาศส่วนใหญ่จะใช้หลักการของฟรีส (Friis formula) ซึ่งเป็นการ คำนวณหาอัตราขยายจากการส่งกำลังงานของสายอากาศสองต้นผ่านตัวกลางที่เป็นอากาศ ดังรูปที่ 2.7 โดยสมการส่งผ่านของฟรีสที่ นำมาใช้แสดงดังสมการที่ (2.9)



รูปที่ 2.7 Radio link

$$\frac{P_r}{P_t} = G_t G_r L_{fs} \quad (2.9)$$

ในการวัดอัตราขยายต้องมีสายอากาศสองต้นในการรับส่งกำลังงาน ซึ่งอาจใช้สายอากาศชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกัน แต่ต้องรู้อัตราขยายของสายอากาศต้นหนึ่งก่อน และทำการส่งกำลังงานผ่านอากาศและเกิดการลดทอนในอากาศที่เรียกว่า free space loss (L_{fs}) โดยที่ $L_{fs} = \left(\frac{\lambda}{4\pi D} \right)^2$ ดังนั้น จะได้ดังสมการที่ (2.10)

$$\frac{P_r}{P_t} = G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi D} \right)^2 \quad (2.10)$$

$$G_{dB} = \frac{1}{2} \left[20 \log \left(\frac{4\pi D}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_t} \right) \right] \quad (2.11)$$

$$G_{r,dB} = P_{r,dB} - P_{t,dB} - G_{t,dB} + 20 \log \left(\frac{4\pi D}{\lambda} \right) \quad (2.12)$$

- โดยที่ P_t คือ กำลังที่ป้อนให้กับสายอากาศส่ง (วัตต์)
- P_r คือ กำลังที่รับได้ของสายอากาศรับ (วัตต์)
- G_{dB} คือ อัตราขยายรวมของสายอากาศส่งและสายอากาศรับ เมื่อสายอากาศทั้งสองตัวมีลักษณะเหมือนกัน
- G_t คือ อัตราขยายของสายอากาศส่ง
- G_r คือ อัตราขยายของสายอากาศรับ
- R คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ (เมตร)

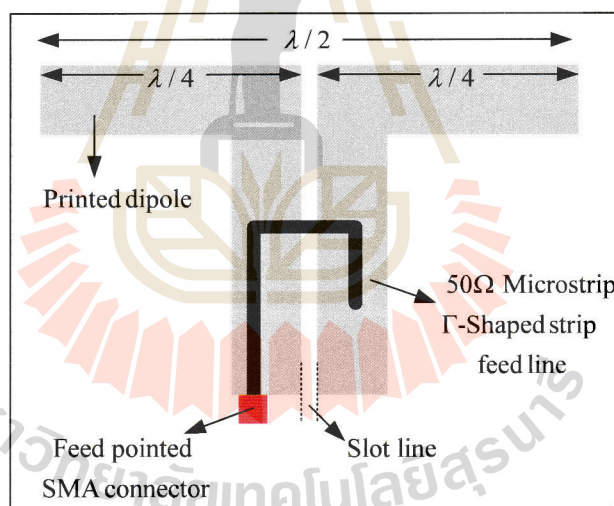
2.3.5 S-Parameter

พารามิเตอร์ S ใช้อธิบายความสัมพันธ์กระแสไฟที่เข้าและออกของอินพุตและเอาต์พุตระหว่างพอร์ต (port) ในระบบไฟฟ้า ซึ่งแปรผันตามความถี่ ตัวอย่างเช่นถ้ามี 2 พอร์ต เช่น พอร์ต 1 และพอร์ต 2 ดังนั้น S_{12} จะหมายถึงพลังงานที่ถ่ายโอนจากพอร์ต 2 ถึงพอร์ต 1 S_{21} หมายถึงพลังงานที่ถ่ายโอนจากพอร์ต 1 ถึงพอร์ต 2 โดยทั่วไป S_{NM} หมายถึงพลังงาน ถ่ายโอนจากพอร์ต M ไปยังพอร์ต N ในเครือข่ายหลายพอร์ต พอร์ตสามารถกำหนดได้อย่างอิสระเป็นสถานที่ที่เราสามารถส่งแรงดันและกระแส เนื่องจากการกำหนดแรงดันและกระแสที่เกิดขึ้นในสาย (Line) ย่านความถี่ไมโครเวฟที่ไม่ใช่โหมด TEM เพื่อนำมาคำนวณหาคุณสมบัติต่าง ๆ ของอุปกรณ์ในทางปฏิบัตินั้นจะกระทำได้อย่างจึงจำเป็นต้องทำการวัดขนาด (Magnitude) และเฟสของคลื่นที่เดินทางไปในทิศทางที่กำหนดให้โดยตรง (หรือขนาดและเฟสของคลื่นนิ่ง (Standing Wave) ก็ได้) จึงมีการกำหนดให้พิจารณาช่วงความถี่ไมโครเวฟในรูปของคลื่นพุ่งกระทบ (Incident Wave) คลื่นสะท้อนกลับ (Reflected Wave) และคลื่นส่งผ่าน (Transmitted Wave) ที่เดินทางในรูปเมตริกซ์การกระจาย (Scattering Matrix) ผ่านเข้าออกอุปกรณ์หรือโครงข่ายที่มีจำนวน N ซึ่งมีจำนวนของ S-parameter ตั้งแต่ S_{11} จนถึง S_{NN} เช่น ถ้าเป็นอุปกรณ์ที่มี 2 พอร์ตก็จะมี S-parameter จำนวน

4 ตัว ได้แก่ S_{11} , S_{12} , S_{21} และ S_{22} ซึ่ง S-parameter ของเครื่องมือวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) ที่มีลักษณะช่องสัญญาณ 2 พอร์ต โดยปกติสามารถใช้วัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนและสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน การลดทอนของสัญญาณที่ผ่านจุดต่อ (Insertion Loss) การสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss) และมุม (Phase) เป็นต้น (รังสรรค์ วงศ์สรรค์, 2555) (ภาวิณี สุวรรณทา)

2.3.6 Impedance Matching

ออกแบบตัวป้อนสัญญาณ (Feed Network) ซึ่งตัวป้อนสัญญาณมีหลากหลายแบบ มีหลักการทำงานที่เหมือนกัน แต่ตัวป้อนสัญญาณที่จะนำมากล่าวถึงและใช้งาน คือ การป้อนสัญญาณแบบแกมมา (Gamma Matching) เราจะประยุกต์ทฤษฎีการแปลงอิมพีแดนซ์ของสายส่งความยาว $\lambda/4$ ($\lambda/4$ Impedance Transformer) ซึ่งวิธีนี้เป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางสำหรับการแมตช์อิมพีแดนซ์ (Impedance Matching) สมมติว่าเรามีความประสงค์จะแมตช์โหลดที่มีความต้านทานเข้ากับสายส่งเส้นหนึ่งเราจะใช้ตัวแปลงซึ่งเป็นสายที่มีความยาว $\lambda/4$ ต่อเข้าระหว่างโหลดกับสายส่งเพื่อทำให้เกิดการแมตช์ ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การป้อนสัญญาณแบบแกมมา

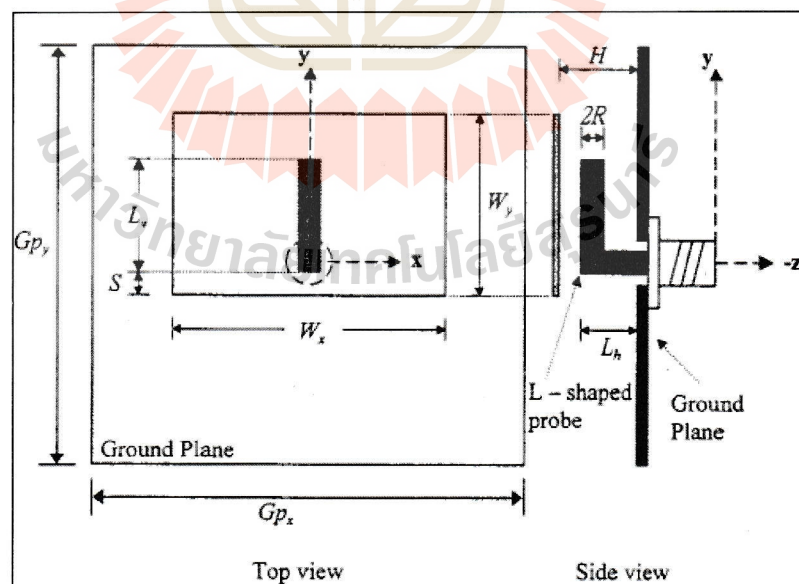
2.4 ปรัชณวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันนี้ การสื่อสารมีความจำเป็นต่อการใช้ชีวิตประจำวัน เช่น การสื่อสารผ่านเครือข่ายไร้สาย ที่มีการใช้งานเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และมีความต้องการส่งข้อมูลที่มีความเร็วสูง ดังนั้น สิ่งที่ต้องการในการสื่อสารไร้สายคือการเพิ่มความกว้างแถบ เพื่อรองรับต่อจำนวนผู้ใช้บริการและความเร็วที่เพิ่มขึ้น จึงต้องการออกแบบสายอากาศที่มีความกว้างแถบที่กว้าง โดยศึกษาจากงานวิจัย

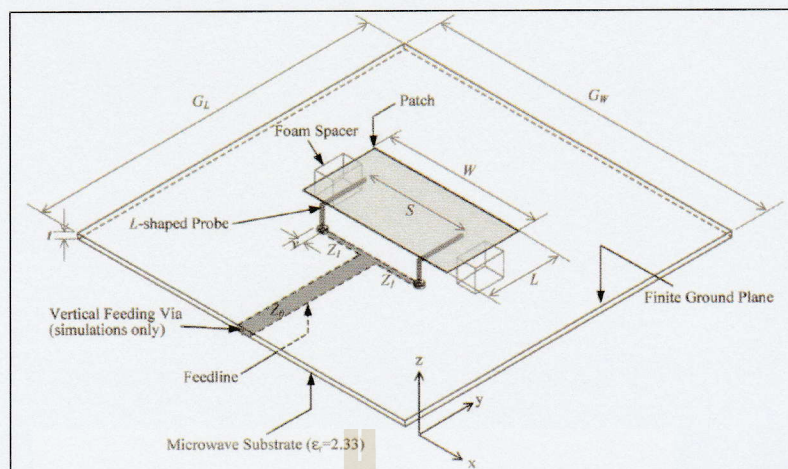
ซึ่งสายอากาศที่นิยมใช้ในการสื่อสารไร้สาย คือ สายอากาศไดโพลและสายอากาศแพทช์ จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศไดโพลที่มีความกว้างแถบกว้าง ที่สามารถทำงานได้ตลอดย่านความถี่ที่ต้องบนระบบ 3G และ 4G ในวิทยานิพนธ์นี้สนใจสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นสายอากาศที่มีความกว้างแถบกว้าง มีแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก มีอัตราขยายสูง และโพลาไรซ์ไขว้ต่ำ

2.4.1 สายอากาศแพทช์

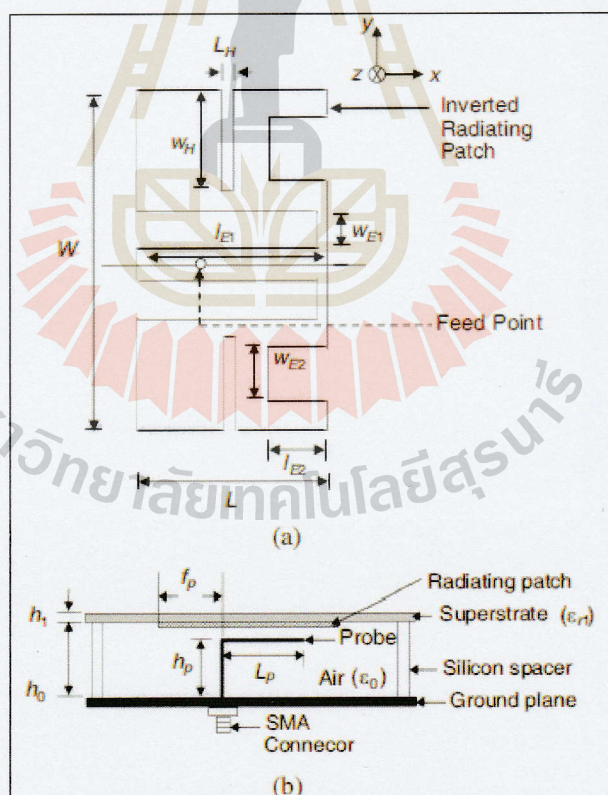
จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศแพทช์ไมโครสตริป เป็นสายอากาศที่มีแบบรูปการแผ่พลังงานเจาะจงทิศทาง มีข้อดีคือ น้ำหนักเบา และสร้างง่าย แต่สายอากาศดังกล่าวมีความกว้างแถบแคบ และอัตราขยายต่ำ (C. L. Mak, K. M. Luk, K. F. Lee, and Y. L. Chow, 2000) ดังรูปที่ 2.9 ในงานวิจัย (Chi-Lun Mak, Hang Wong, Member, and Kwai-Man Luk, 2005) ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ได้ปรับปรุงความกว้างแถบและอัตราขยายสายอากาศแพทช์ โดยใช้เทคนิคการวางแพทช์บนแผ่นสะท้อนแล้วป้อนสัญญาณคู่รูปตัวแอล (Twin L-Shaped Probe) ทำให้อัตราขยายสูงถึง 10 dB และแบนด์วิธกว้างถึง 25% แต่สายอากาศดังกล่าวมีแบบรูปการแผ่พลังงานที่ไม่เสถียร นอกจากนี้ยังมีเทคนิคปรับปรุงรูปร่างของสายอากาศแพทช์โดยการตัดให้มีรูปร่างตามที่ต้องการแล้วนำไปวางบนแผ่นสะท้อนและป้อนสัญญาณรูปตัวแอล (M. T. Islam, M. N. Shakib and N. Misran) ดังรูปที่ 2.11 ซึ่งเทคนิคนี้ยังช่วยเพิ่มอัตราขยาย



รูปที่ 2.9 สายอากาศแพทช์ไมโครสตริปที่ป้อนสัญญาณรูปตัวแอล (C. L. Mak, K. M. Luk, K. F. Lee, and Y. L. Chow, 2000)



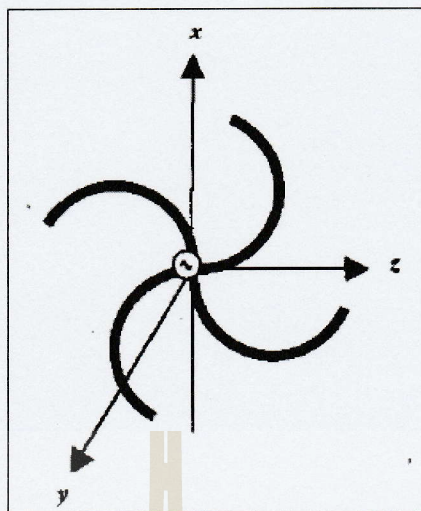
รูปที่ 2.10 สายอากาศแพทช์ไมโครสตริปที่ป้อนสัญญาณคู่รูปตัวแอล (Chi-Lun Mak, Hang Wong, Member, and Kwai-Man Luk, 2005)



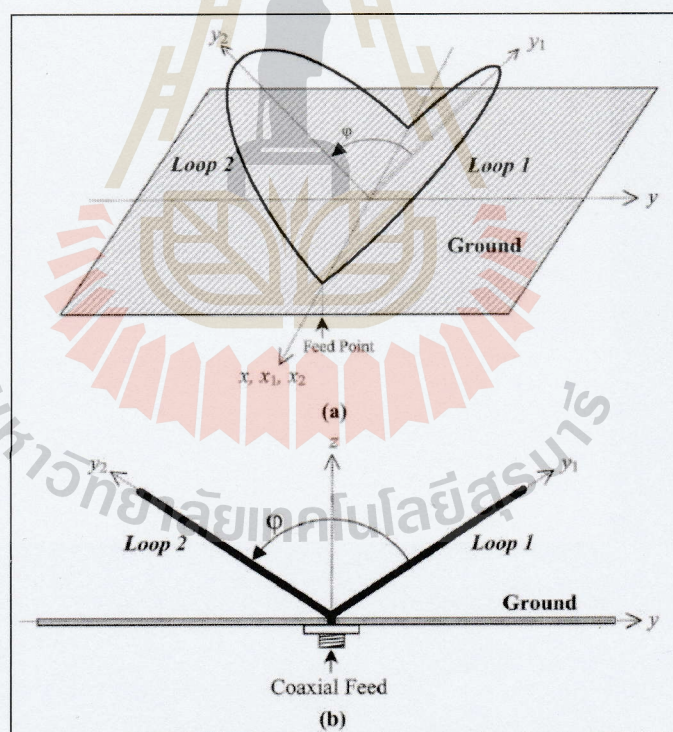
รูปที่ 2.11 สายอากาศแพทช์ไมโครสตริปที่ปรับโครงสร้างแพทช์แล้วป้อนสัญญาณตัวแอล (M. T. Islam, M. N. Shakib and N. Misran)

2.4.2 สายอากาศไดโพล

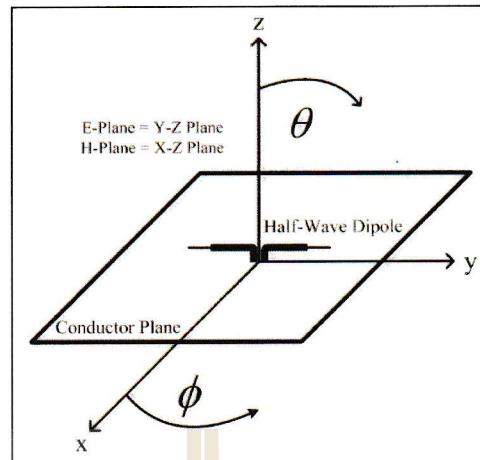
สายอากาศไดโพลเป็นสายอากาศที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายมากที่สุด เนื่องจากโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน มีความแข็งแรง สามารถนำมาประยุกต์และดัดแปลงโครงสร้างได้ง่าย และวัสดุที่ใช้ในการสร้างยังหาง่ายและราคาถูก จากงานวิจัยต่าง ๆ ที่ได้นำสายอากาศมาประยุกต์ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย และทำให้เกิดเทคนิคต่าง ๆ ในการปรับปรุงร่างของสายอากาศไดโพลให้มีโครงสร้างต่าง ๆ ที่หลากหลาย เช่น สายอากาศรูปตัวเอส (S-Shaped Antenna) (Elkamchouchi H., 2004) ดังรูปที่ 2.12 โครงสร้างรูปตัวเอสนี้ เอาเส้นลวดมาดัดโค้งเป็นตัวเอส ซึ่งโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน แต่โครงสร้างไม่แข็งแรง และยังมีอัตราขยายที่ต่ำ ต่อมาสายอากาศไดโพลที่ปรับโครงสร้างให้มีลักษณะโค้ง (Arc-Curved Dipole) ที่นำเส้นลวดดัดเป็นวงกลมแล้วทำการงอ (Wang, J-H., Jan, L., and Jian, S-S., 1997) แล้วทำมุมสายอากาศไดโพลรูปตัววี (V-Shape Antenna) (Li, K., and Leong, M-S., 2005) และนำตัวสะท้อนมาวางบริเวณด้านหลังของสายอากาศ เพื่อเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศและยังเพิ่มความแข็งแรงของสายอากาศได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ซึ่งโครงสร้างในลักษณะอย่างนี้ยังมีอัตราขยายที่ต่ำ นอกจากนี้ยังมีเทคนิคการนำสายอากาศไดโพลเส้นตรงวางใกล้แผ่นตัวนำ (Thumvichit, A., and Takano, T. Kamata, Y., 2007) ดังรูปที่ 2.14 ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กล่าวถึงการวิเคราะห์การทำแมตช์ซิ่ง (Matching) นอกจากนี้ยังมีเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสายอากาศไดโพลชนิดแผ่นตรงลวดวงจรที่ปลายระนาบตัวสะท้อน (Dobost, G., 1981) ดังรูปที่ 2.15 ได้กล่าวถึง การวิเคราะห์ห่อหุ้มพีแดนซ์ด้านเข้าการแผ่พลังงาน และความกว้างแถบ ของไดโพลตรงที่มีการลวดวงจรขนานกับตัวสะท้อน และการประยุกต์ใช้สายอากาศไดโพลเส้นตรงดัดโค้งเป็นรูปครึ่งวงกลมลวดวงจรปลายทั้งสองข้างบนระนาบตัวสะท้อน (Wongsan, R., 2008) ซึ่งทำการวิเคราะห์ความกว้างลำคลื่นและอัตราขยายของสายอากาศสำหรับใช้งานที่ความถี่โทรทัศน เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.16



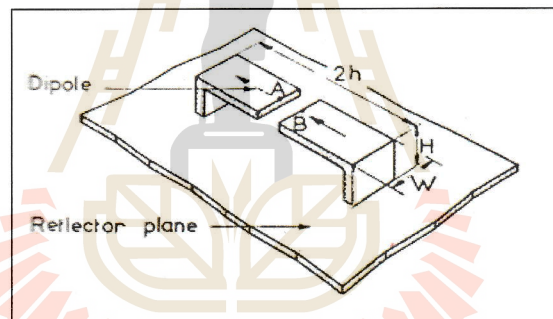
รูปที่ 2.12 สายอากาศดัดโค้งรูปตัวเอส (Elkamchouchi H., 2004)



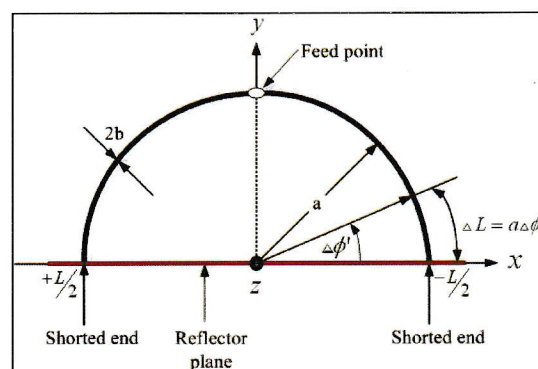
รูปที่ 2.13 สายอากาศดัดโค้งทำมุมวางบนแผ่นสะท้อน (Li, K., and Leong, M-S., 2005)



รูปที่ 2.14 สายอากาศไดโพลเส้นลวดตรงวางบนแผ่นตัวนำ (Thumvichit, A., and Takano, T. Kamata, Y., 2007)



รูปที่ 2.15 สายอากาศไดโพลที่ลัดวงจรบนแผ่นสะท้อน (Dobost, G., 1981)



รูปที่ 2.16 สายอากาศไดโพลคัตโค้งเป็นรูปวงกลมลัดวงจรบนแผ่นสะท้อน (Wongsan, R., 2008)

2.2.2 สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า

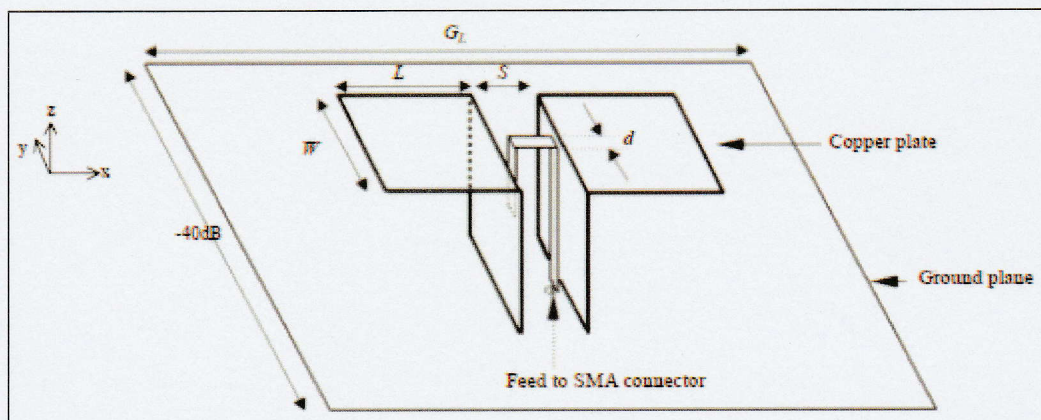
มีหลายงานวิจัยที่นำสายอากาศไดโพลไฟฟ้าและไดโพลแม่เหล็กมาออกแบบร่วมกันเพื่อให้การมีแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก และมีแบบรูปการแผ่พลังงานที่ค่อนข้างสมมาตรทั้งในสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจึงเรียกรวมกันว่า สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีเทคนิคที่หลากหลายในการปรับปรุงร่างของสายอากาศไดโพล ดังที่จะกล่าวต่อไป

เนื่องด้วยงานวิจัยของ (Kwai-Man LUK, and Hang WONG, 2006) ดังรูปที่ 2.17 ได้ออกแบบสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า (Electro-Magnetic Dipole Antenna) วางบนแผ่นกราวด์เพื่อให้มีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบเจาะจงทิศทาง แล้วยังทำให้อัตราขยายเพิ่มขึ้น และทำการแมตช์ด้วยการป้อนสัญญาณแบบแกมมา จากเทคนิคที่กล่าวมาทำให้สายอากาศมีความกว้างแถบกว้าง มีแบบรูปการแผ่พลังงานที่เสถียรในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก

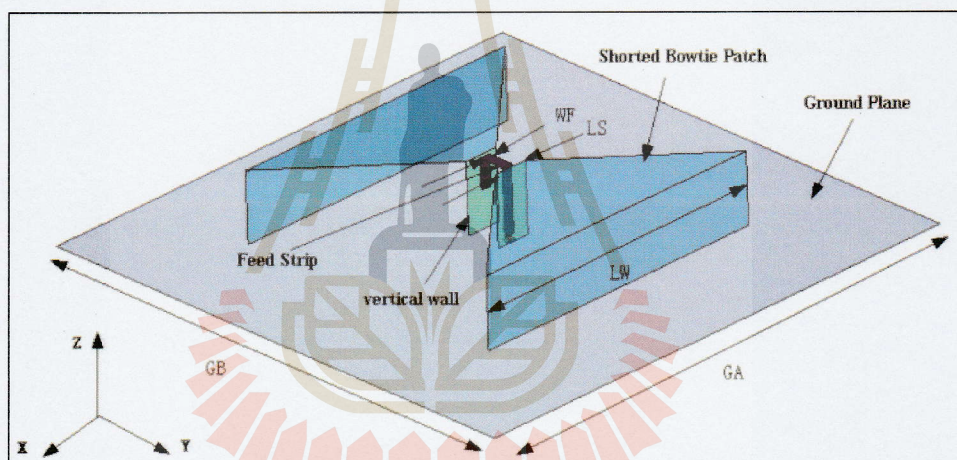
งานวิจัยของ (Z. Y. Zhang, G. Fu, S. L. Zuo, and T. Ran, 2009) ได้ทำการออกแบบสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทำการเปลี่ยนรูปทรงไดโพลไฟฟ้าเป็นรูปร่างแบบหูกกระต่าย (Bowtie) วางบนแผ่นกราวด์ และป้อนสัญญาณแบบแกมมา ดังรูปที่ 2.18 ส่งผลให้สายอากาศมีความกว้างของลำคลื่นกว้าง ความกว้างแถบกว้าง และแบบรูปการแผ่พลังงานเป็นแบบเจาะจงทิศทาง

ในงานวิจัยของ (Lei Ge and Kwai Man Luk, 2013) เป็นการออกแบบสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทำการพับไดโพลไฟฟ้าและเพิ่มตัวสะท้อนด้านหลัง แสดงดังรูปที่ 2.19 การออกแบบลักษณะนี้ส่งผลให้มีแบบรูปการแผ่พลังงานเป็นแบบเจาะจงทิศทาง และมีความกว้างแถบกว้าง

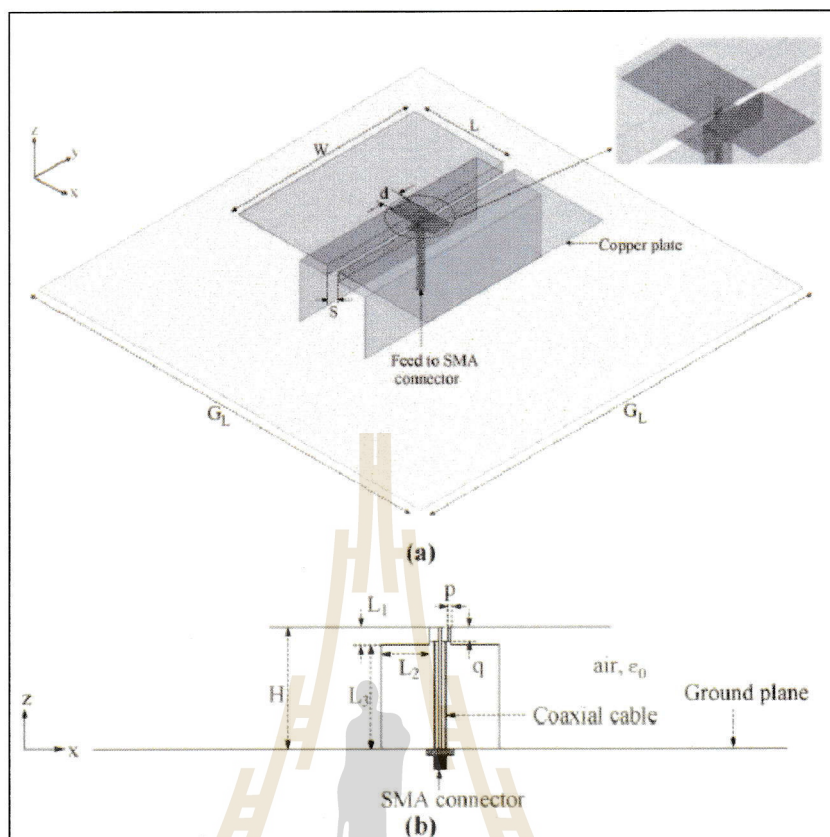
ซึ่งจากที่กล่าวมาข้างต้นเกี่ยวกับสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าพบว่าข้อดี คือ มีความกว้างแถบกว้าง แบบรูปการแผ่พลังงานเป็นแบบเจาะจงทิศทาง มีความเสถียรทั้งในระนาบสนามไฟฟ้า และแม่เหล็ก อัตราขยายสูง



รูปที่ 2.17 สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า (Kwai-Man LUK, and Hang WONG, 2006)



รูปที่ 2.18 สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบหูกกระต่าย (bowtie) (Z. Y. Zhang, G. Fu, S. L. Zuo, and T. Ran, 2009)



รูปที่ 2.19 สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบพับ (Lei Ge and Kwai Man Luk, 2013)

ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงสนใจออกแบบสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับประยุกต์ใช้งานบนระบบ 3G และ 4G เนื่องจากสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถดัดแปลงโครงสร้างได้หลากหลาย ให้แบนด์วิธกว้าง แบบรูปการแผ่พลังงานทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก นอกจากนี้วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศหาได้ง่าย มีราคาถูก โครงสร้างมีความแข็งแรง ซึ่งจะกล่าวถึงขั้นตอนออกแบบสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าในบทถัดไป

2.5 สรุป

การออกแบบสายอากาศเพื่อประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายบนระบบ 3G และ 4G จึงต้องทำความเข้าใจศึกษาคุณลักษณะสายอากาศพื้นฐานในการออกแบบ วิเคราะห์การทำงานของสายอากาศ และค่าคุณสมบัติต่างๆของสายอากาศ ซึ่งในแต่ละงานวิจัยจะแตกต่างกันไป จึงต้องทำการศึกษาข้อมูลให้เข้าใจก่อนที่จะนำมาทำแบบจำลอง และยังมีเทคนิคต่างๆในการปรับโครงสร้างสายอากาศให้ตรงตามที่ต้องการ

บทที่ 3

การออกแบบ

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบสายอากาศแถบความถี่กว้าง โดยใช้ไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อประยุกต์ใช้ในสถานการณ์ของการสื่อสารผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยเลือกใช้สายอากาศไดโพลในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง เนื่องจากโครงสร้างของสายอากาศไดโพลไม่ซับซ้อน สามารถนำมาประยุกต์และปรับปรุงโครงสร้างได้ง่าย และเป็นที่นิยมใช้สำหรับการสื่อสารแบบไร้สาย โดยทำการออกแบบร่วมกันระหว่างไดโพลไฟฟ้าและไดโพลแม่เหล็ก เพื่อให้มีการทำงานที่สอดคล้องกัน และเพื่อรองรับย่านความถี่ที่ใช้งาน (ย่านความถี่ 1800 MHz 1900 MHz 2100 MHz และ 2600 MHz) นอกจากนี้ยังรองรับการทำงานในระบบ WiFi (2.45 GHz) ได้อีกด้วย โดยมีความถี่กลาง 2.1 GHz สำหรับการออกแบบตัวป้อนสัญญาณ โดยใช้การป้อนแบบแฉกมา (Γ – Shaped Strip Feed) ที่ช่วยเพิ่มการแมตช์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศในแต่ละช่วงความถี่ และเสริมให้สายอากาศทำงานได้ดียิ่งขึ้น สายอากาศที่ออกแบบแล้วจะถูกจำลองผลในโปรแกรม CST Microwave Studio 2014 เพื่อดูค่า S_{11} อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (VSWR) สนามไฟฟ้า (E-field) การแจกแจงกระแส (Current Distribution) แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า และสนามเหล็ก และอัตราขยาย (Gain)

3.2 การออกแบบสายอากาศสตริปไดโพลไฟฟ้า

3.2.1 การคำนวณและออกแบบสายอากาศสตริปไดโพลไฟฟ้า

ในขั้นตอนแรกจะเริ่มด้วยการออกแบบสายอากาศไดโพลไฟฟ้าให้มีลักษณะเป็นแผ่น (Strip Electric Dipole Antenna) โดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ ความถี่ใช้งานและความยาวคลื่น จากนั้นจะคำนวณค่าความยาวและความกว้างเริ่มต้นของสายอากาศ แล้วจำลองผลในโปรแกรม CST Microwave studio ต่อไป ดังนั้นสายอากาศสตริปไดโพลที่ใช้ในการออกแบบ จะมีความยาวของสตริปไดโพลไฟฟ้า (l) ความกว้างของสตริปไดโพลไฟฟ้า (w) และระยะห่างระหว่างแผ่นของไดโพล (s) ซึ่งความยาวของสตริปไดโพลไฟฟ้าที่ใช้งานคือ $\lambda/2$ และทำการปรับค่าพารามิเตอร์ให้ได้ค่าที่เหมาะสม

ความยาวของสายอากาศสตริปไดโพลตรง ที่ความถี่กลาง 2.1 GHz หาได้ดังนี้

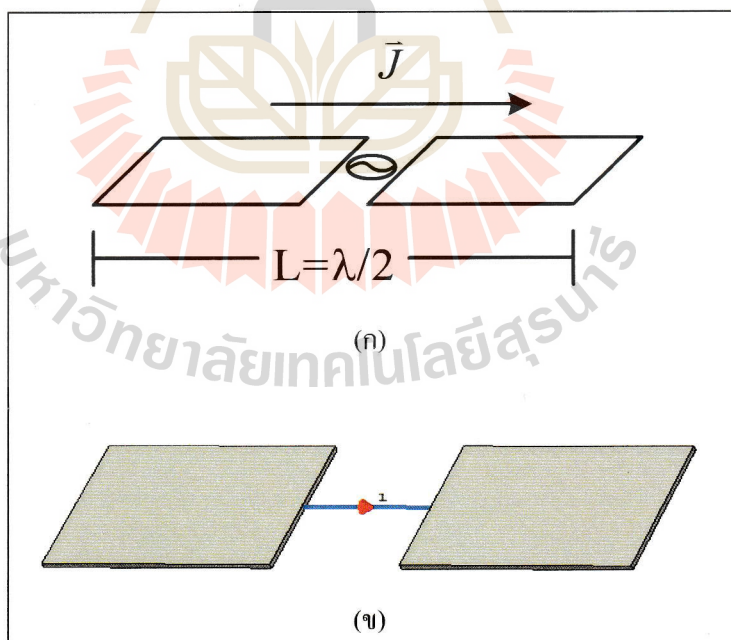
จาก
$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{2.1 \times 10^9 \text{ Hz}} = 142.86 \text{ mm}$$

จะได้
$$l = \frac{\lambda}{2} = \frac{142.86 \text{ mm}}{2} = 71.43 \text{ mm}$$

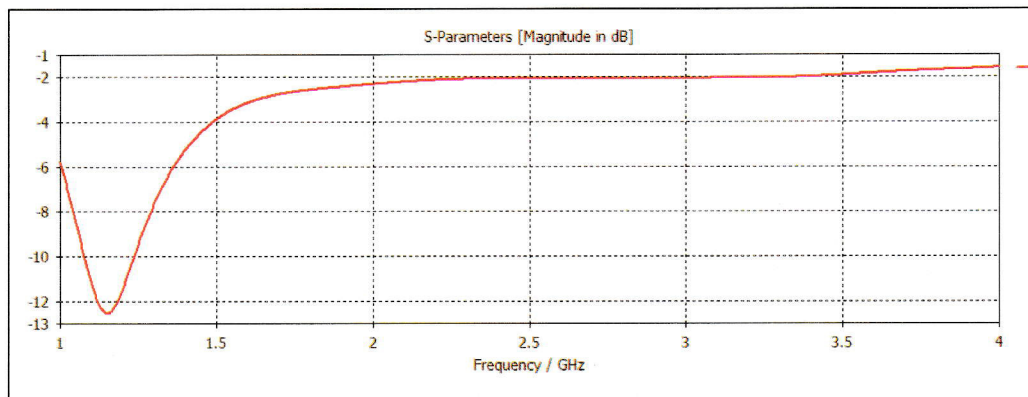
สำหรับความกว้างของสายอากาศสตริปไดโพลไฟฟ้า หาได้จาก

$$w = \frac{\lambda}{4} = \frac{142.86 \text{ mm}}{4} = 35.715 \text{ mm}$$

จากค่าความยาวและความกว้างที่คำนวณได้ จะนำมาออกแบบสายอากาศสตริปไดโพลไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.1 โดยใช้แผ่นทองแดงและทำการจำลองผลของสตริปไดโพลไฟฟ้า ที่มีการป้อนสัญญาณแบบ Discrete Port ดังรูป 3.1 (ข) แล้วนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ มาวิเคราะห์ผล



รูปที่ 3.1 สตริปไดโพลไฟฟ้า

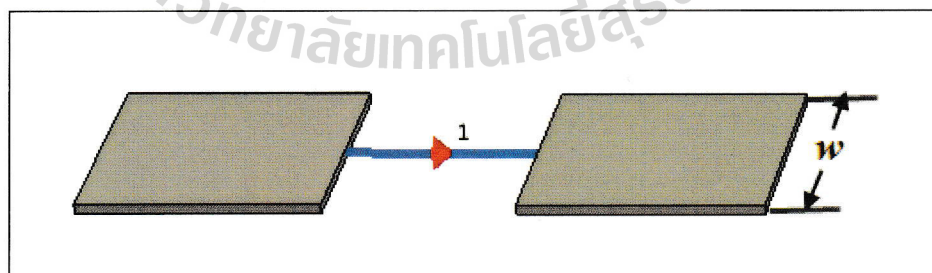


รูปที่ 3.2 ค่า S_{11} ของสตริปไดโพลไฟฟ้าแบบตรง

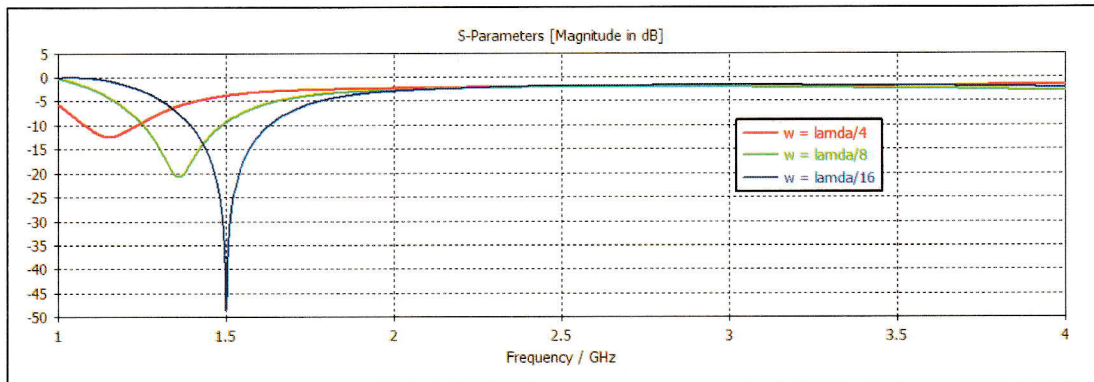
จากการออกแบบและนำค่ามาพิจารณาดังรูปที่ 3.2 พบว่าความถี่ใช้งานอยู่ที่ 1.15 GHz และมีแถบความถี่ที่แคบ ซึ่งยังไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งาน ดังนั้นขั้นตอนต่อไปคือการปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อให้มีความถี่กลางที่เหมาะสมและมีการเมตซ์อิมพีแดนซ์ดีขึ้น

3.2.2 ศึกษาผลกระทบจากการปรับความกว้างของ w

โดยเริ่มจากการศึกษาผลกระทบของการปรับระยะความกว้าง ดังรูปที่ 3.3 โดยกำหนดให้ พารามิเตอร์ทุกตัวคงที่คือ $l = 71.43$ มิลลิเมตร ($\lambda/2$) และ $s = 20$ มิลลิเมตร แสดงค่าที่ปรับแล้ว 3 ค่าคือ $w = 35.715$ มิลลิเมตร ($\lambda/4$) $w = 17.858$ มิลลิเมตร ($\lambda/8$) และ $w = 8.929$ มิลลิเมตร ($\lambda/16$) ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.4 เพื่อเปรียบเทียบค่าในการปรับระยะความกว้าง



รูปที่ 3.3 ศึกษาผลกระทบจากการปรับความกว้าง w

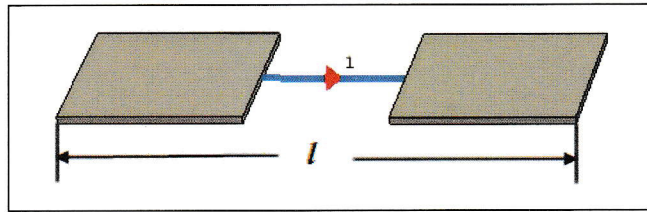


รูปที่ 3.4 ค่า S_{11} ของไดโพลไฟฟ้าที่ปรับพารามิเตอร์ w

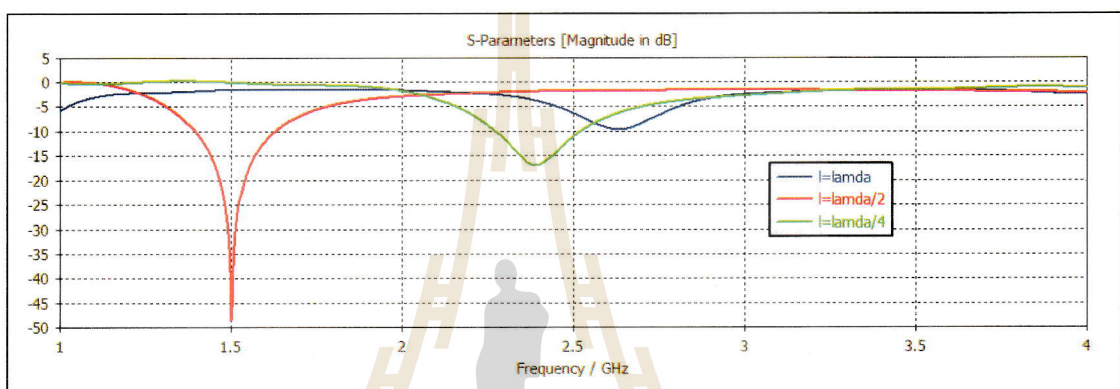
ขั้นตอนแรกปรับระยะความกว้างของ w เพื่อดูผลกระทบของ S_{11} เมื่อทำการจำลองผลสายอากาศสตริปไดโพลไฟฟ้า โดยทำการปรับระยะความกว้าง w สามค่าจะพบว่า การปรับระยะ w มีผลต่อการแมตช์อิมพีแดนซ์ จะสังเกตได้ว่าถ้าความกว้างของ w ลดลงจะทำให้การแมตช์อิมพีแดนซ์ดีขึ้น ในขณะที่เดียวกันจะมีผลตอบสนองต่อความถี่เรโซแนนซ์เช่นเดียวกัน กล่าวคือ ในทางทฤษฎีระยะความกว้างของ w นั้นจะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ แต่ในทางปฏิบัติเมื่อความกว้างของ w มีค่าที่ไม่ใช่ศูนย์จะเป็นการเพิ่มพื้นที่ประสิทธิผล (Effective Area) ซึ่งมีผลกระทบต่อการเลื่อนต่ำลงของความถี่เรโซแนนซ์และเพิ่มแถบความถี่ ดังนั้นจึงทำการปรับขนาดความกว้าง w ให้มีขนาดเล็กลง ซึ่งส่งผลให้ความถี่เรโซแนนซ์เพิ่มขึ้น ผลจากการจำลองแบบเพื่อศึกษาการปรับความกว้าง w ดังแสดงในรูปที่ 3.3 แสดงให้เห็นว่าความกว้าง w เท่ากับ 8.929 มิลลิเมตร หรือ $\lambda/16$ จะมีผลให้การแมตช์อิมพีแดนซ์ดีที่สุด แต่ยังมีแถบความถี่ที่แคบ และสายอากาศยังไม่สามารถทำงานได้ตลอดย่านที่ต้องการ แต่ไม่สามารถลดขนาดความกว้าง w ได้มากกว่านี้เพราะจะทำให้สายอากาศมีขนาดเล็กเกินไป ดังนั้นจึงเลือกไปปรับขนาดพารามิเตอร์อื่นแทนซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

3.2.3 ศึกษาผลกระทบจากการปรับความยาวของ l

ในหัวข้อนี้ได้ศึกษาการปรับระยะความยาวของสตริปไดโพลไฟฟ้า คือ พารามิเตอร์ความยาว l ดังแสดงในรูปที่ 3.5 โดยทำการปรับความยาว l เพื่อดูผลกระทบจากการปรับและเปรียบเทียบค่า S_{11} ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ซึ่งในการจำลองจะกำหนดให้พารามิเตอร์อื่นคงที่ คือ $w = 35.715$ มิลลิเมตร และ $s = 20$ มิลลิเมตร



รูปที่ 3.5 ศึกษาผลกระทบจากการปรับความยาว l

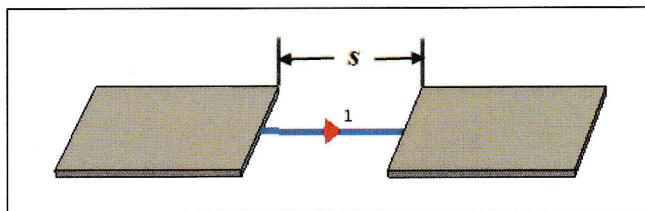


รูปที่ 3.6 ค่า S_{11} ของสตริปไดโพลไฟฟ้าที่ปรับพารามิเตอร์ l

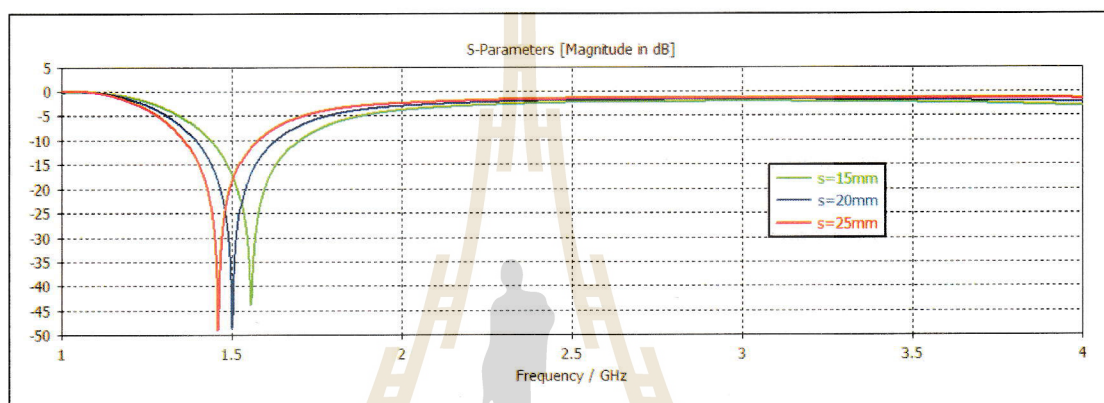
จากผลการจำลองในรูปที่ 3.6 ได้ทำการปรับความยาวพารามิเตอร์ l ดังนี้ $l = 142.86$ มิลลิเมตร (λ), $l = 71.43$ มิลลิเมตร ($\lambda/2$) และ $l = 35.715$ มิลลิเมตร ($\lambda/4$) ซึ่งจะมีผลต่อการแมตช์อิมพีแดนซ์ และยังมีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์ จากรูปที่ 3.6 ได้พิจารณาว่า S_{11} เมื่อทำการปรับความยาวเพิ่มขึ้นหรือลดลงจะส่งผลให้ความถี่เรโซแนนซ์เพิ่มขึ้นและทำให้การแมตช์อิมพีแดนซ์ไม่ดีเท่าความยาว $l = 71.43$ มิลลิเมตรหรือ ($\lambda/2$) ที่มีความถี่ใช้งานอยู่ที่ 1.5 GHz ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของสายอากาศไดโพลที่มีความยาวเป็น ($\lambda/2$)

3.2.4 ศึกษาผลกระทบจากการปรับระยะห่างของ s

ถัดมาในหัวข้อนี้ได้ศึกษาการปรับระยะห่างของสตริปไดโพลไฟฟ้า คือ พารามิเตอร์ s ดังแสดงในรูปที่ 3.7 โดยทำการปรับระยะห่างของ s เพื่อดูผลกระทบต่อ S_{11} และกำหนดให้พารามิเตอร์อื่นๆคงที่ คือ $w = 35.715$ มิลลิเมตร และ $l = 71.43$ มิลลิเมตร



รูปที่ 3.7 ศึกษาผลกระทบจากการปรับระยะห่างของ s

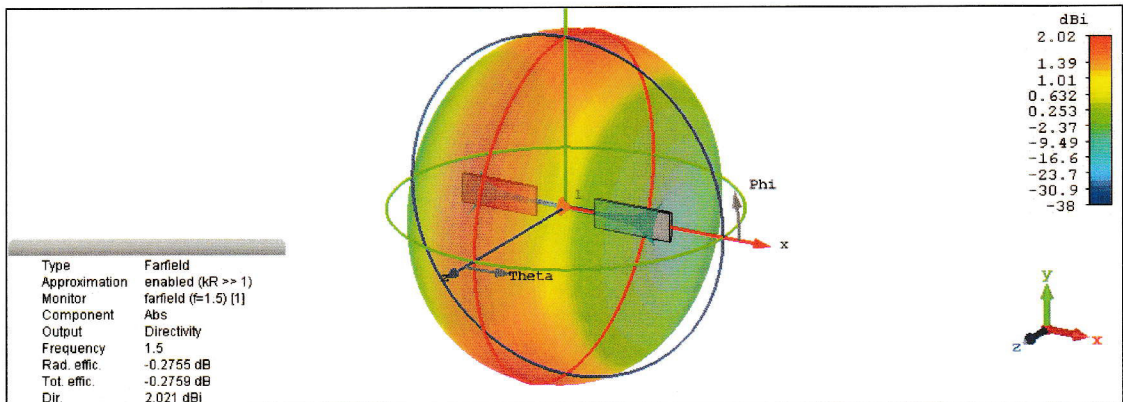


รูปที่ 3.8 ค่า S_{11} ของไดโพลไฟฟ้าที่ปรับพารามิเตอร์ s

ในขั้นตอนนี้จะปรับระยะห่างของ s ตั้งแต่ 15 มิลลิเมตรถึง 25 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.8 เพื่อดูผลกระทบของ S_{11} เมื่อทำการจำลองผลสายอากาศสตริปไดโพลไฟฟ้า จะพบว่ามีความถี่เรโซแนนซ์ และสังเกตได้ว่า ถ้าระยะห่างของ s ลดลงจะทำให้ความถี่เรโซแนนซ์เลื่อนขึ้น และเมื่อลดระยะ s จะทำให้ความถี่ใช้งานเข้าใกล้ความถี่ 2.1 GHz แต่ในวิทยานิพนธ์นี้เว้นพื้นที่ไว้เพื่อเชื่อมต่อระหว่างไดโพลไฟฟ้าและไดโพลแม่เหล็ก จึงเลือกใช้ $s = 20$ มิลลิเมตร

3.2.5 ศึกษาแบบรูปการแผ่พลังงานของสตริปไดโพลไฟฟ้า

ในหัวข้อนี้ได้ศึกษาแบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าของสตริปไดโพลไฟฟ้า โดยกำหนดพารามิเตอร์ดังนี้ $w = 35.715$ มิลลิเมตร $l = 71.43$ มิลลิเมตร และ $s = 20$ มิลลิเมตร ในการพิจารณาเนื่องจากดูผลการจำลองจากกราฟ S_{11} มีการแมตช์อิมพีแดนซ์ดีที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 3.9 และ 3.10



รูปที่ 3.9 แบบรูปการแผ่พลังงานของไดโพลไฟฟ้า

ได้จำลองผลแบบรูปการแผ่พลังงานดังรูปที่ 3.9 จะเห็นว่าไดโพลไฟฟ้ามีการแผ่พลังงานแบบรอบตัวระนาบเดียว มีอัตราขยาย 2.02 dB ที่ความถี่ 1.5 GHz ซึ่งมีอัตราขยายต่ำ ดังนั้นการปรับขนาดพารามิเตอร์ทั้ง w l และ s ของพารามิเตอร์จะส่งผลต่อความถี่เรโซแนนซ์ ซึ่งยังได้แถบความถี่แคบ และแบบรูปการแผ่พลังงานเป็นแบบรอบตัวในระนาบเดียว มีอัตราขยายต่ำ

3.3 การออกแบบสายอากาศไดโพลแม่เหล็ก

3.3.1 การคำนวณและออกแบบของสายอากาศไดโพลแม่เหล็ก

ในบทนี้เป็นการออกแบบสายอากาศไดโพลแม่เหล็ก (Magnetic Dipole Antenna) โดยใช้ ไดโพลัดเป็นรูปตัวยู (U-Shape) ซึ่งจะต่างจากไดโพลไฟฟ้าที่วางในแนวนอนขนานกับพื้นโลก แต่ไดโพลแม่เหล็กจะวางตั้งฉากกับพื้นโลกและมีการแผ่พลังงาน และได้มีการปรับพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ความกว้างของไดโพลแม่เหล็ก (w) ความสูงของไดโพลแม่เหล็ก (H) และระยะห่างระหว่างไดโพลแม่เหล็ก (s) ให้มีการทำงานทางแม่เหล็กได้ดี โดยทำการออกแบบรูปทรงของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กให้มีลักษณะเป็นรูปตัวยู (U-Shape) และทำการจำลองผลเพื่อนำค่ามาวิเคราะห์ ดูแนวโน้มความถี่เรโซแนนซ์และค่า S_{11} ของไดโพลแม่เหล็ก ซึ่งกำหนดให้ความสูงของไดโพลแม่เหล็กคือ $\lambda/4$ และทำการปรับค่าพารามิเตอร์ให้ได้ค่าที่เหมาะสม

ความสูงของสายอากาศไดโพลแม่เหล็ก ที่ความถี่กลาง 2.1 GHz หาได้ดังนี้

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{2.1 \times 10^9 \text{ Hz}} = 142.86 \text{ mm}$$

จาก

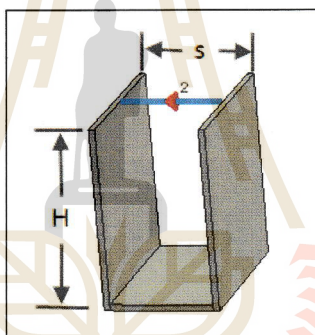
จะได้

$$H = \frac{\lambda}{4} = \frac{142.86 \text{ mm}}{4} = 35.715 \text{ mm}$$

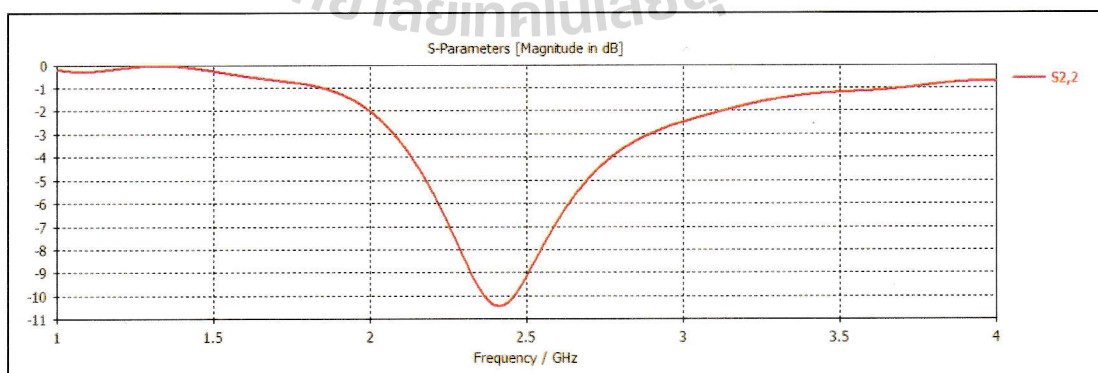
สำหรับความกว้างของสายอากาศสตริปไดโพลไฟฟ้า หาได้จาก

$$w = \frac{\lambda}{4} = \frac{142.86 \text{ mm}}{4} = 35.715 \text{ mm}$$

จากค่าพารามิเตอร์ความสูงและความกว้างที่คำนวณได้ จะนำมาออกแบบสายอากาศไดโพลแม่เหล็ก โดยให้ค่าพารามิเตอร์ s มีค่าเท่ากับ 20 mm และใช้แผ่นทองแดงตัดโค้งเป็นรูปตัวยู และทำการจำลองผลของสตริปไดโพลไฟฟ้า ที่มีการป้อนสัญญาณแบบ Discrete Ports ดังรูป 3.10 และนำค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ มาวิเคราะห์ผล



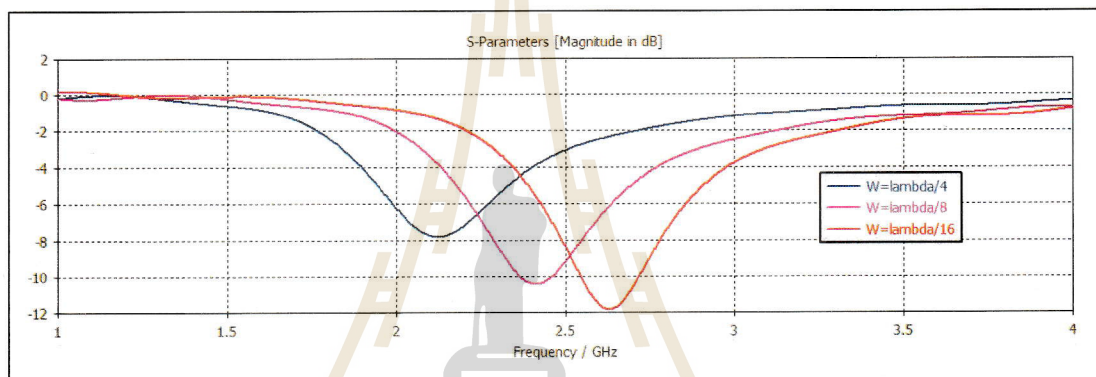
รูปที่ 3.10 สายอากาศไดโพลแม่เหล็ก



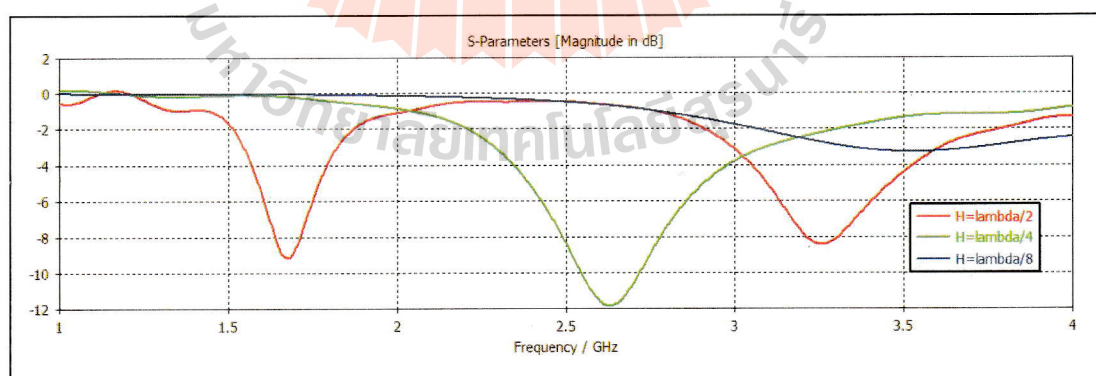
รูปที่ 3.11 ค่า S_{11} ของไดโพลแม่เหล็ก

เมื่อพิจารณาค่า S_{11} ดังรูปที่ 3.11 พบว่าความถี่ใช้งานอยู่ที่ 2.41 GHz มีแถบความถี่ที่แคบ และยังมีการแมตช์อิมพีแดนซ์น้อยมาก ซึ่งยังไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งาน

ต่อมาเป็นการปรับพารามิเตอร์ w โดยให้ H คงที่คือ $\lambda/4$ และ $s = 20$ mm โดยกำหนดพารามิเตอร์ w ดังรูปที่ 3.12 จากรูปจะพบว่าค่า $w = \lambda/16$ คือค่าที่ดีที่สุด มีความถี่ใช้งานที่ 2.63 GHz และยังมีแถบความถี่ที่แคบ และยังพบว่ายิ่งปรับให้ w มีขนาดเล็กลงจะทำให้ความถี่ใช้งานเพิ่มขึ้นและยังทำให้การแมตช์อิมพีแดนซ์ดีขึ้น แต่ไม่สามารถลดขนาด w ได้มากกว่านี้ เพราะจะทำให้มีขนาดเล็กเกินไป ดังนั้นพารามิเตอร์ w มีผลต่อการแมตช์อิมพีแดนซ์ และทำให้ความถี่ใช้งานเลื่อน

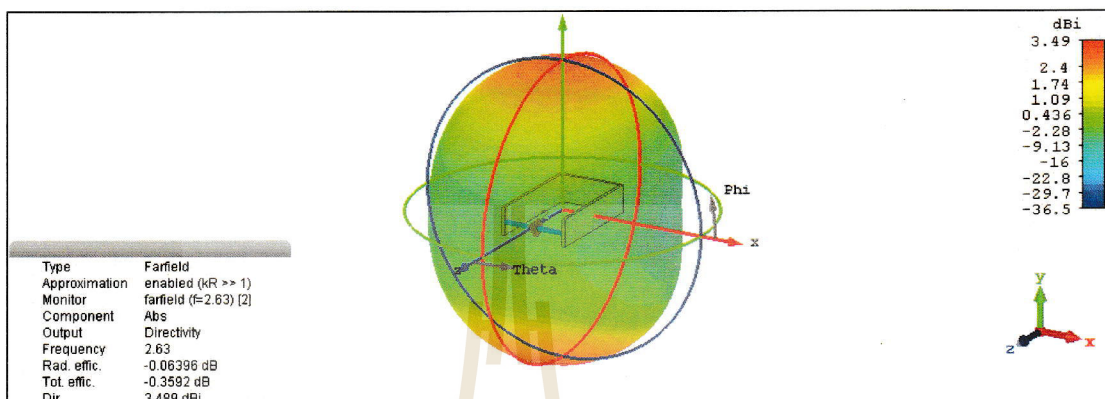


รูปที่ 3.12 ค่า S_{11} ที่ปรับพารามิเตอร์ w ของไดโพลแม่เหล็ก



รูปที่ 3.13 ค่า S_{11} ที่ปรับพารามิเตอร์ H ของไดโพลแม่เหล็ก

จากรูปที่ 3.13 ได้ทำการปรับพารามิเตอร์ H โดยให้ค่าพารามิเตอร์อื่นคงที่ คือ $w = \lambda/16$ (8.928 mm) และ $s = 20$ mm จะพบว่า $H = \lambda/4$ มีการแมตซ์อิมพีแดนซ์ดีที่สุด เนื่องจากมีความถี่ใช้งานอยู่ที่ 2.63 GHz และยังมีแถบความถี่ที่แคบ



รูปที่ 3.14 แบบรูปการแผ่พลังงานของไดโพลแม่เหล็ก

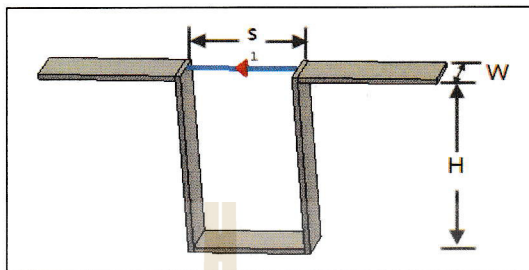
จากการออกแบบ และปรับพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้ทำการจำลองผลและวิเคราะห์ผลออกมาพบว่าหลังจากการปรับพารามิเตอร์ w และ H จะส่งผลให้มีการแมตซ์อิมพีแดนซ์ดีขึ้น แต่ยังมีแถบความถี่ที่แคบ และได้เลือกค่าที่ดีที่สุดของการปรับพารามิเตอร์ออกมา คือ $w = \lambda/16$ และ $H = \lambda/4$ ในการออกแบบและปรับปรุงไดโพลแม่เหล็กต่อไป และทำการจำลองผลแบบรูปการแผ่พลังงานออกมาจะเห็นว่าไดโพลแม่เหล็กมีการแผ่คลื่นออกไปสองทิศทาง มีอัตราขยาย 3.49 dB ที่ความถี่ 2.63 GHz ดังนั้นรูปทรงของไดโพลแม่เหล็กที่มีการตัดเป็นรูปตัวยูทำให้มีการแผ่คลื่นในสองทิศทาง และส่งผลให้มีอัตราขยายเพิ่มขึ้นจากไดโพลไฟฟ้าที่มีลักษณะเป็นสตริปตรงที่มีการแผ่คลื่นรอบทิศทาง

3.4 การออกแบบสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า

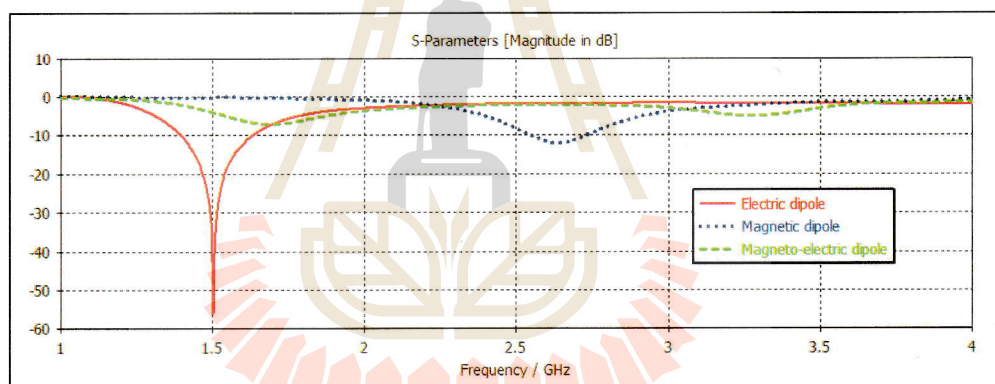
3.4.1 การออกแบบสายอากาศสตริปไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบตรง

ออกแบบสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetoelectric Strip Dipole Antenna) โดยใช้คุณสมบัติของไดโพลแม่เหล็กและไดโพลไฟฟ้าที่มีการแผ่พลังงานไปในทิศทางของสนามแม่เหล็ก และสนามไฟฟ้า ที่ได้ทำการออกแบบร่วมกัน ซึ่งกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้ ความกว้าง $w = \lambda/16$ ความยาว $l = \lambda/2$ ความสูง $H = \lambda/4$ และระยะห่างระหว่างสตริปไดโพลทั้งสอง ($s = 20$ mm) และใส่แผ่นกราวด์ที่มีความยาวและความกว้างเป็น λ (142.86 mm) ซึ่ง

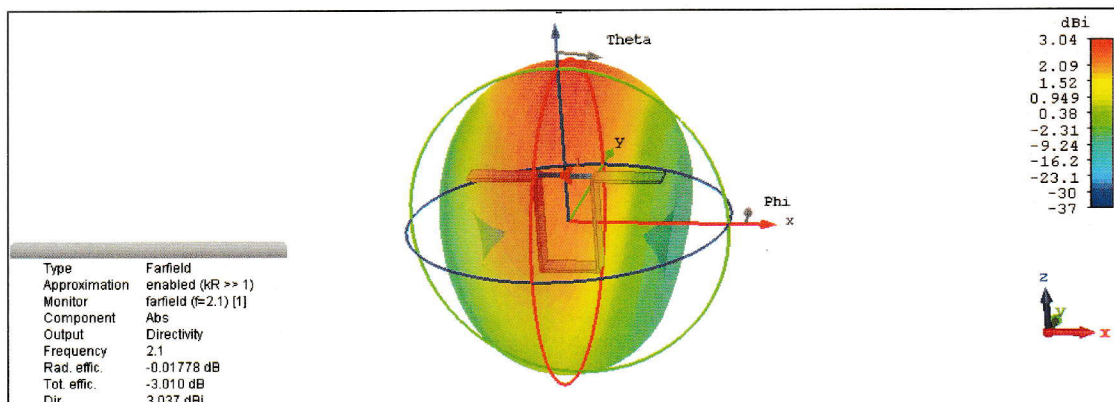
ค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวที่เลือกใช้ เนื่องจากเป็นค่าที่ดีที่สุดจากการจำลองผลแต่ละตัวของไดโพลไฟฟ้าและไดโพลแม่เหล็กจากนั้นได้ทำการจำลองผล ที่มีการป้อนสัญญาณแบบ Discrete Ports ดังรูปที่ 4.15 และแสดงค่า S_{11} และแบบรูปการแผ่พลังงาน ดังรูปที่ 3.16 และรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.15 ไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการป้อนสัญญาณแบบ Discrete Port



รูปที่ 3.16 เปรียบเทียบค่า S_{11} ของไดโพลไฟฟ้าไดโพลแม่เหล็ก และไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า โดยใช้การป้อนสัญญาณแบบ Discrete Port

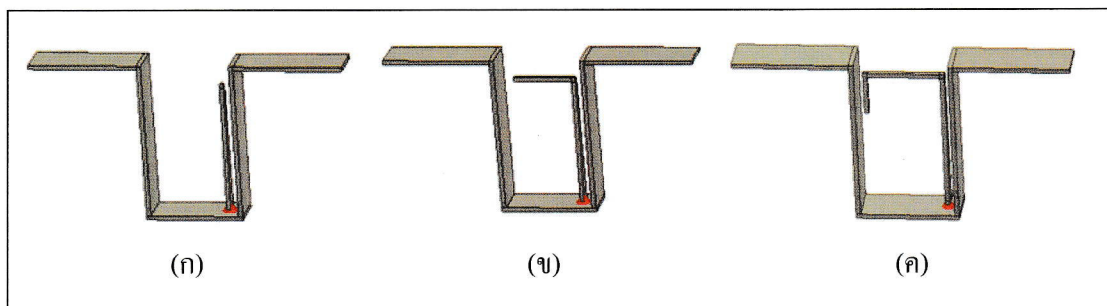


รูปที่ 3.17 แบบรูปการแผ่พลังงานของไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า ที่ใช้การป้อนสัญญาณแบบ Discrete Port

จากรูปที่ 3.15 เมื่อนำไดโพลไฟฟ้าและไดโพลแม่เหล็กมารวมกันโดยป้อนสัญญาณแบบ Discrete Port และทำการจำลองผลออกมาจะพบว่าอิมพีแดนซ์ไม่แมตช์ ซึ่งสัญญาณที่ป้อนเข้าไปมีอิมพีแดนซ์เท่ากับ 50 โอห์ม แต่สายอากาศมีอิมพีแดนซ์ที่สูงกว่าจึงทำให้อิมพีแดนซ์ไม่แมตช์สามารถดูได้จากรูปที่ 3.16 จะพบว่าไดโพลไฟฟ้ามีการแมตช์ที่ดีที่สุดที่ 1.5 GHz และไดโพลแม่เหล็กมีการแมตช์ที่ 2.63 GHz แต่เมื่อนำไดโพลทั้งสองมารวมกันกลับพบว่าอิมพีแดนซ์ไม่แมตช์ การแมตช์อิมพีแดนซ์นั้นต้องมีสัญญาณขาเข้าและขาออกเท่ากัน ดังนั้นการป้อนสัญญาณแบบ Discrete Port จึงไม่เหมาะสมกับการใช้งาน และขนาดพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศก็มีผลต่อการแมตช์อิมพีแดนซ์ และจากรูปที่ 3.17 แบบรูปการแผ่พลังงานมีการแผ่พลังงานไปในทิศทางเดียวที่กว้าง และมีอัตราขยายเป็น 3.04 dBi ที่ความถี่ 2.1 GHz เมื่อพิจารณาไดโพลไฟฟ้า และไดโพลแม่เหล็ก ที่ค่ามีการแมตช์อิมพีแดนซ์ หลังจากนำไดโพลไฟฟ้าและแม่เหล็กมารวมกันพบว่าอิมพีแดนซ์ไม่แมตช์ เนื่องจากสัญญาณที่ป้อนเข้ามาไม่แมตช์จึงได้พิจารณาตัวป้อนสัญญาณใหม่ในหัวข้อถัดไป

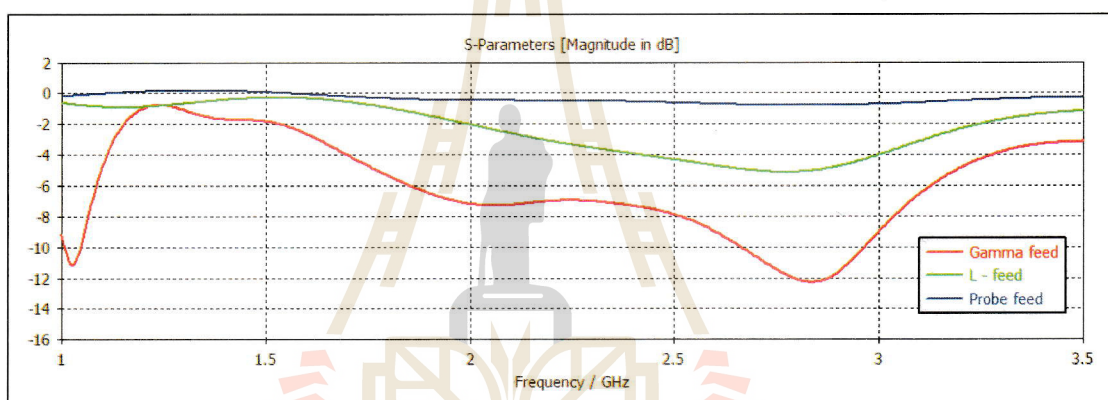
3.4.2 การแมตช์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศสตริปไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบตรง โดยใช้การป้อนสัญญาณแบบแอมมา

จากหัวข้อที่ผ่านมาได้ออกแบบสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetoelectric Strip Dipole Antenna) และมีการป้อนสัญญาณแบบ Discrete Port เมื่อทำการจำลองผลพบว่ายังไม่แมตช์อิมพีแดนซ์ ซึ่งการแมตช์อิมพีแดนซ์เป็นผลมาจากการป้อนสัญญาณ ในหัวข้อนี้จึงได้ทำการเปลี่ยนตัวป้อนสัญญาณเป็น 3 แบบดังรูปที่ 3.18 โดยเลือกใช้ไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าตัวเดิมและมีพารามิเตอร์ต่าง ๆ คงเดิม ซึ่งได้ทำการจำลองผลค่า S_{11} ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 ไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการป้อนสัญญาณแบบแกมมา (Γ-Shaped Strip Feed)

(ก) Probe Feed (ข) L- Feed และ (ค) Γ - Feed

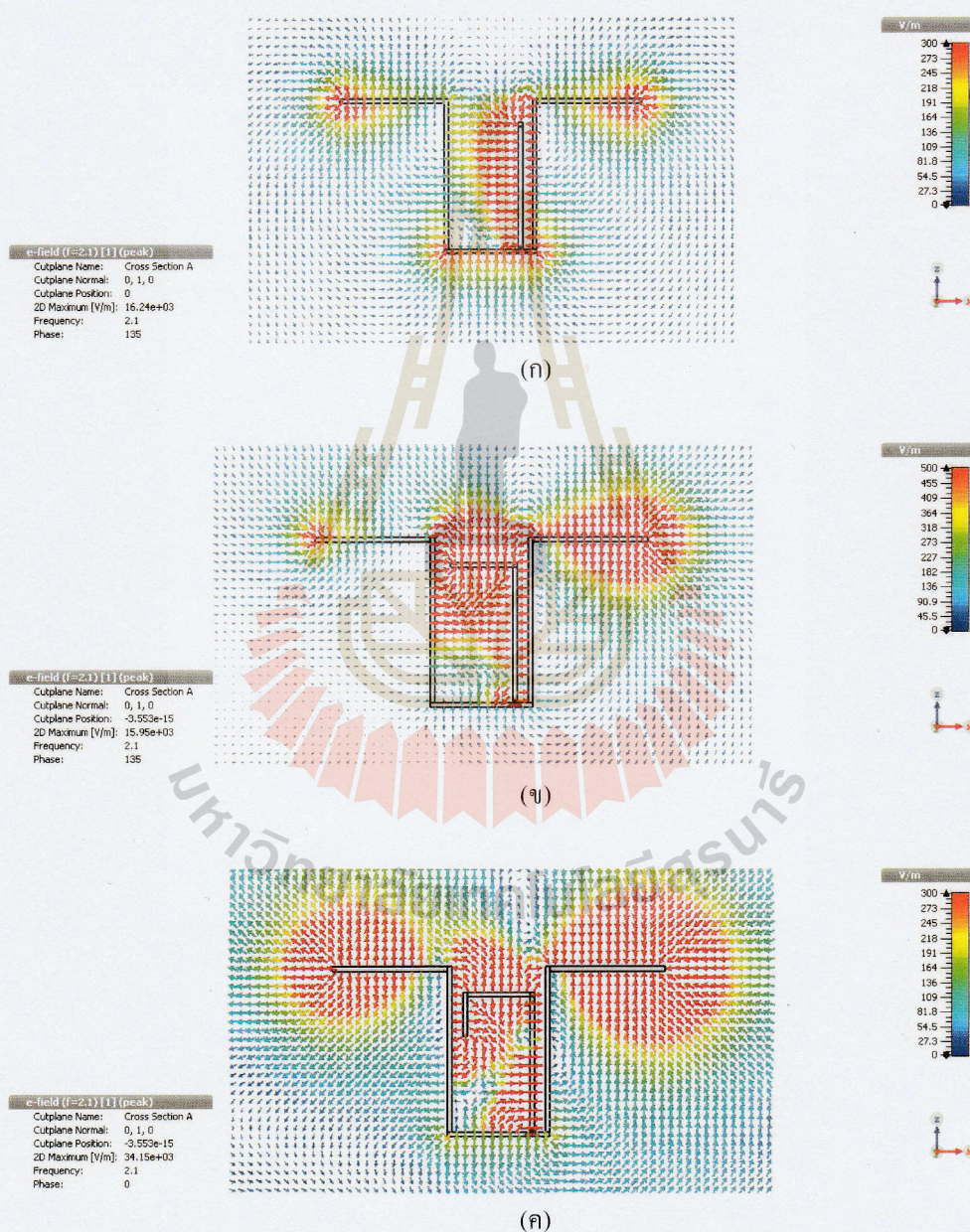


รูปที่ 3.19 ค่า S_{11} ระหว่างการป้อนสัญญาณแบบ Probe Feed, L - Feed และ Γ - Feed

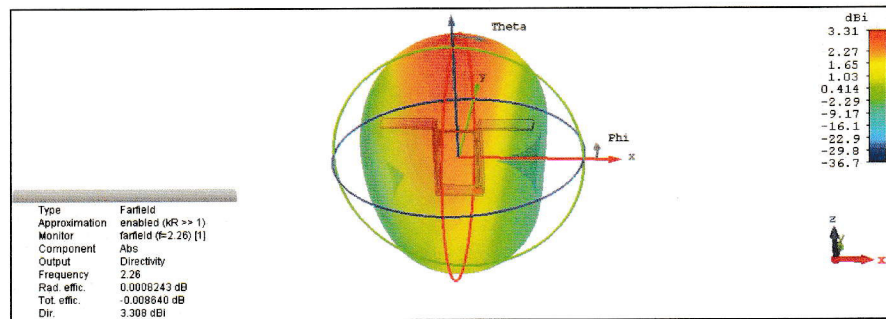
จากรูปที่ 3.19 เป็นผลเปรียบเทียบค่า S_{11} ระหว่างการป้อนสัญญาณแบบโพรบ (Probe Feed) การป้อนสัญญาณรูปตัวแอล (L - Feed) และการป้อนสัญญาณแบบแกมมา (Γ - Feed) ซึ่งพบว่าการป้อนสัญญาณแบบโพรบยังไม่แมตซ์อิมพีแดนซ์ เนื่องจากความยาวของตัวป้อนสัญญาณแบบโพรบมีความยาวไม่ถึง $\lambda/2$ ต่อมาป้อนสัญญาณแบบรูปตัวแอล จากรูปพบว่ายังไม่แมตซ์อิมพีแดนซ์ แต่พบว่าการแมตซ์ดีขึ้นในช่วงความถี่ปลาย เนื่องจากความยาวของตัวป้อนสัญญาณรูปตัวแอลมีความยาวมากขึ้นแต่ยังไม่ถึง $\lambda/2$ ซึ่งไม่สามารถปรับความยาวของตัวป้อนได้มากกว่านี้เพราะจะชนกับขาของไดโพล ดังนั้นจึงได้ทำการป้อนสัญญาณแบบแกมมา พบว่าการแมตซ์อิมพีแดนซ์ดีขึ้น และมีการแมตซ์ในช่วงความถี่ปลายตั้งแต่ 2.7 GHz - 3 GHz

จากรูปที่ 3.20 แสดงสนามไฟฟ้า โดยเริ่มจากการป้อนสัญญาณแบบโพรบ (Probe Feed) จะเห็นว่าคลื่นมีการเหินวนรอบ ๆ โพรบและมีคลื่นส่วนน้อย ที่ถูกเหินวนไปที่ปลาย

แขนของไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อลองเปลี่ยนตัวป้อนเป็นแบบ L - Feed พบว่ามีการเหนี่ยวนำคลื่นไปที่ขาของไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้ามากขึ้น แต่คลื่นที่เหนี่ยวนำไม่มีความสมดุล โดยที่แขนของไดโพลฝั่งที่ใกล้โพรบคลื่นจะเหนี่ยวนำได้มากกว่าแขนอีกด้าน และเมื่อใช้ตัวป้อนเป็นแบบ Γ - Feed คลื่นจะได้เหนี่ยวนำได้มากขึ้นและมีความสมมาตรของคลื่นทั้ง 2 ข้างของแขนไดโพล ทั้งนี้เนื่องจากความยาวของตัวป้อนนั้นมีความยาวใกล้เคียง $\lambda/2$



รูปที่ 3.20 สนามไฟฟ้าโดยเปรียบเทียบระหว่างการป้อนสัญญาณแบบ (ก) Probe Feed (จ) L - Feed และ (ค) Γ - Feed

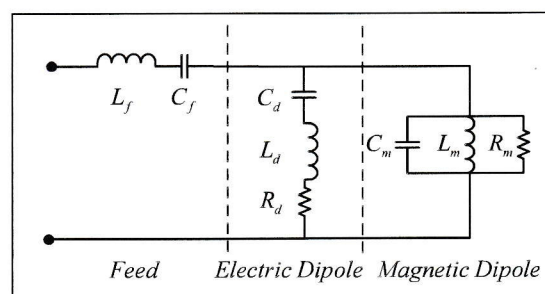


รูปที่ 3.21 แบบรูปการแผ่พลังงานของไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการป้อนสัญญาณแบบแกมมา (Γ-Shaped Strip Feed)

จากรูปที่ 3.21 แบบรูปการแผ่พลังงานของไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการป้อนสัญญาณแบบแกมมา (Γ-Shaped Strip Feed) มีการแผ่คลื่นไปในทิศทางเดียวและมีความสมมาตร อีกทั้งยังพบว่า อัตราขยายมีค่าประมาณ 3.31 dBi ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการป้อนสัญญาณแบบแกมมาส่งผลให้มีการแมตซ์อิมพีแดนซ์ดีขึ้น

3.4.3 ออกแบบตัวป้อนสัญญาณแบบแกมมา โดยใช้กับสายอากาศไดโพล

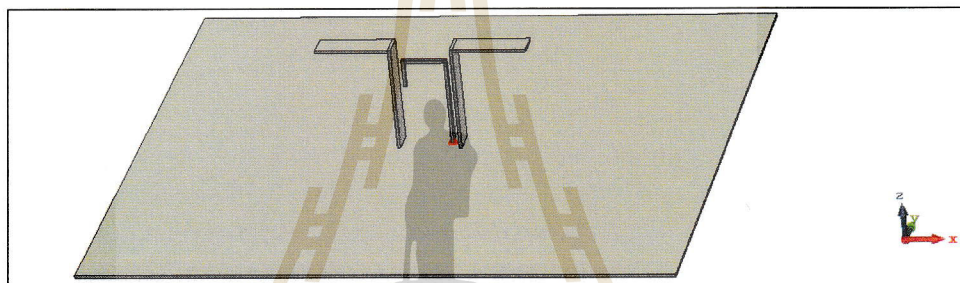
การออกแบบตัวป้อนสัญญาณแบบแกมมา (Gamma Match) ที่ใช้กับสายอากาศไดโพล โดยให้มองสายอากาศเป็นวงจรไฟฟ้าและมองตัวป้อนสัญญาณแบบแกมมาให้เป็นตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำในวงจรไฟฟ้า ซึ่งเปรียบตัวป้อนสัญญาณแบบแกมมาเป็นอีกวงจรที่ช่วยในการแมตซ์อิมพีแดนซ์ จากรูปที่ 3.22 เราจึงออกแบบตัวป้อนให้รองรับที่ความถี่ต่างๆ เพื่อที่จะให้กำลังงานที่ออกมามีค่าใกล้เคียงกับกำลังงานที่จ่ายไปจึงทำให้เกิดการแมตซ์อิมพีแดนซ์ และยังเป็นตัวช่วยในการเหนี่ยวนำสัญญาณให้กับไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า



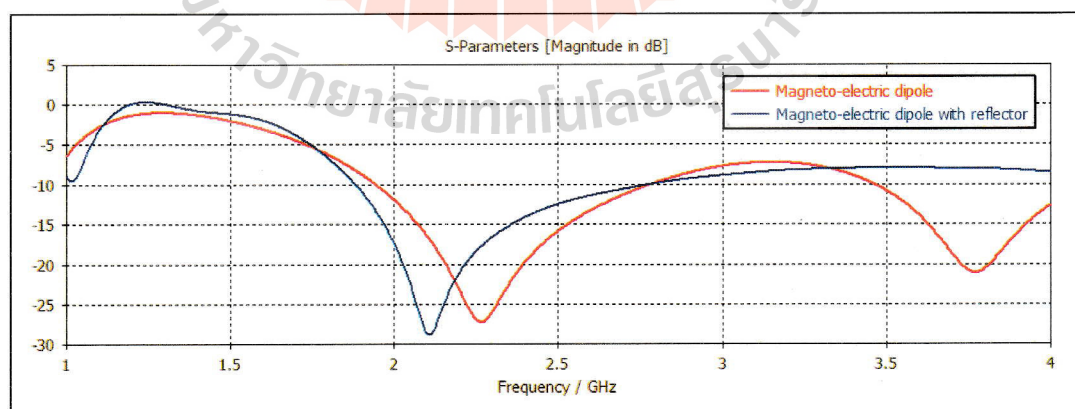
รูปที่ 3.22 การแมตซ์อิมพีแดนซ์โดยใช้การป้อนสัญญาณแบบแกมมา (Gamma Match)

3.4.4 การเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศสตริปไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบตรง ด้วยการเพิ่มแผ่นกราวด์

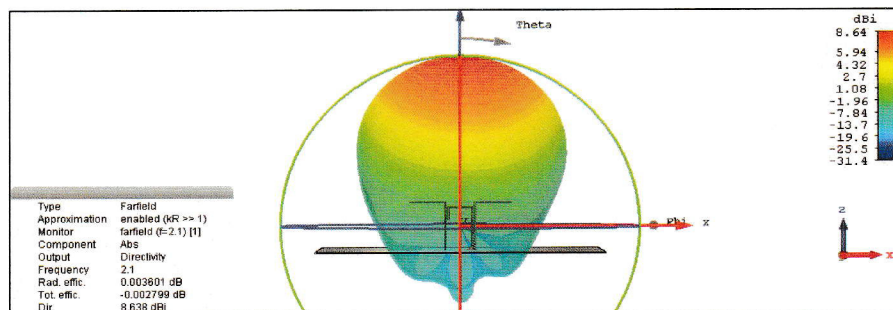
การออกแบบสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า (Magneto-Electric Strip Dipole Antenna) ในหัวข้อนี้จะเป็นการใช้สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าตัวเดิม โดยการเพิ่มแผ่นกราวด์ที่มีความยาวและความกว้างเป็น 1.4λ ดังรูปที่ 3.23 ซึ่งจากหัวข้อที่แล้วผลการจำลองยังได้อัตราขยายต่ำ ดังนั้นจึงใส่แผ่นกราวด์เพื่อเพิ่มการสะท้อนของคลื่น และยังกำหนดให้ความสูงของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้ามีความสูงจากแผ่นกราวด์เป็น $\lambda/4$ เพื่อให้คลื่นที่สะท้อนออกไปเสริมกันที่จะทำให้อัตราขยายเพิ่มขึ้น และจำลองผล ค่า S_{11} แบบรูปการแผ่พลังงาน และอัตราขยาย ดังรูปที่ 3.24 และรูปที่ 3.25 ตามลำดับ



รูปที่ 3.23 สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการป้อนสัญญาณแบบแอมป์และเพิ่มขนาดของแผ่นกราวด์

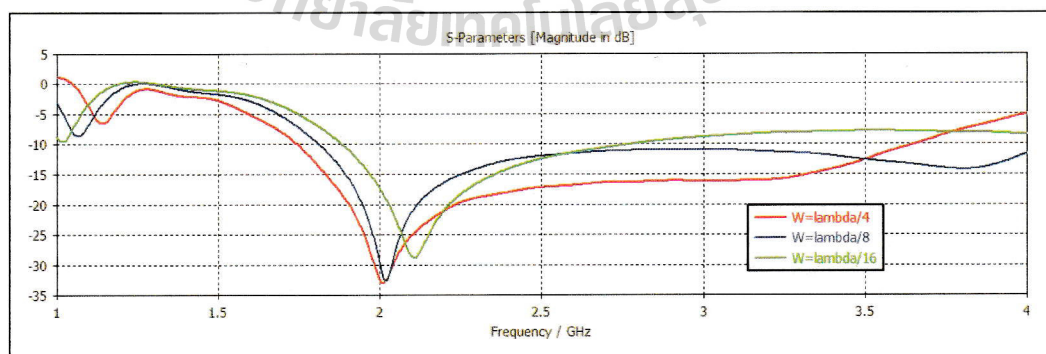


รูปที่ 3.24 ค่า S_{11} ของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการป้อนสัญญาณแบบแอมป์และเพิ่มขนาดของแผ่นกราวด์



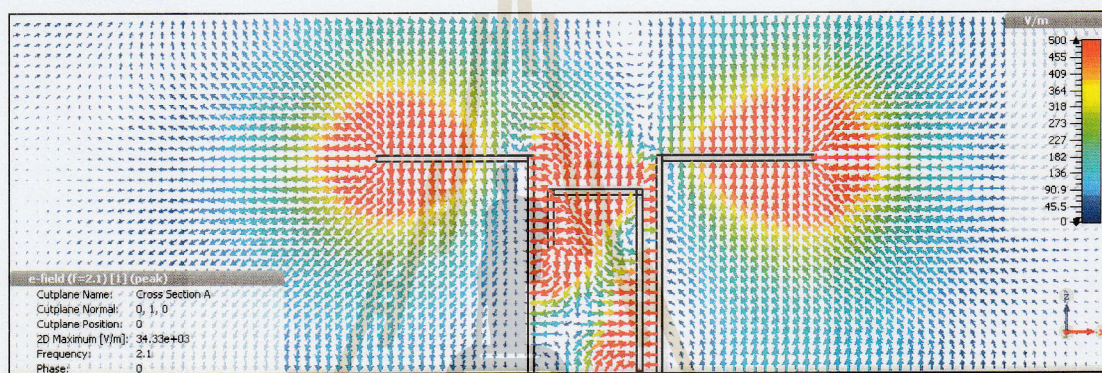
รูปที่ 3.25 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการป้อนสัญญาณแบบแกมมาและเพิ่มขนาดของแผ่นกราวด์

จากรูปที่ 3.24 แสดงค่า S_{11} โดยการเปรียบเทียบระหว่างก่อนใส่แผ่นกราวด์กับหลังใส่แผ่นกราวด์ จะพบว่าหลังใส่แผ่นกราวด์ช่วงความถี่ที่เริ่มทำงานมีแบนด์วิดท์ที่ทำงานได้ในช่วงความถี่ที่กว้างขึ้น ต่อมาจึงดูแบบรูปการแผ่พลังงานและอัตราขยายจากรูปที่ 3.25 จะพบว่าเมื่อใส่แผ่นกราวด์ มีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบเจาะจงทิศทาง โหลดด้านหลังต่ำ และมีอัตราขยายที่เพิ่มขึ้นจาก 3.21 dB เป็น 8.6 dB เนื่องจากการวางไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าบนแผ่นกราวด์จะช่วยในเรื่องการแมตช์อิมพีแดนซ์ และระยะที่วางเป็น $\lambda/4$ ซึ่งเป็นระยะที่คลื่นที่ตกกระทบบนแผ่นกราวด์จะสะท้อนออกไปได้หมดและคลื่นจะไปเสริมกับคลื่นที่แผ่ออกมาจากไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า แต่จะพบว่าความกว้างแถบยังแคบอยู่ ดังนั้นในขั้นต่อไปจึงทำการปรับพารามิเตอร์ความกว้างของไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า (w) และได้กำหนดให้ค่าพารามิเตอร์อื่นๆคงที่ โดยจะเปลี่ยนเฉพาะพารามิเตอร์ความกว้างของไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า (w) ดังรูปที่ 3.26

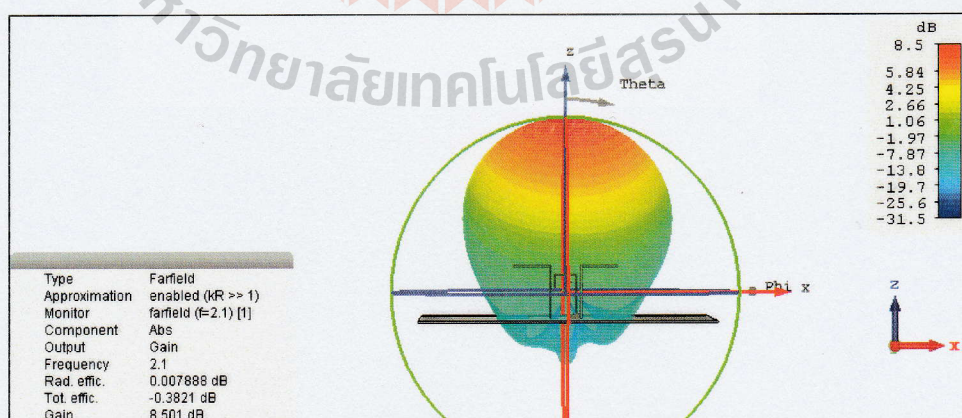


รูปที่ 3.26 ค่า S_{11} ที่ปรับพารามิเตอร์ w ของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการป้อนสัญญาณแบบแกมมาและเพิ่มขนาดของแผ่นกราวด์

จากรูปที่ 3.26 ได้นำผลมาวิเคราะห์ จะพบว่า $w = \lambda / 4$ มีการแมตซ์อิมพีแดนซ์ดีที่สุด จากการปรับพารามิเตอร์ w มีแถบความถี่/ความถี่ใช้งานตั้งแต่ (1.74 - 3.66 GHz) แต่ถ้าดูเรื่องแถบความถี่ จะเป็น $w = \lambda / 8$ ที่มีแถบความถี่กว้างที่สุดครอบคลุมตั้งแต่ (1.81 - 4 GHz) จากเส้นกราฟ จะเห็นว่าช่วงต้นของความถี่จะมีการแมตซ์อิมพีแดนซ์ดีแต่ช่วงกลางมีการแมตซ์อิมพีแดนซ์ไม่ดี ซึ่งถ้าเทียบกับ $w = \lambda / 4$ จะมีช่วงความถี่ที่เสถียรมากกว่า ดังนั้นการปรับพารามิเตอร์ w ส่งผลต่อการเพิ่มแถบความถี่ และได้เลือกใช้ $w = \lambda / 4$ เนื่องจากมีการแมตซ์อิมพีแดนซ์ดีที่สุด ถึงแม้ว่า $w = \lambda / 8$ จะมีแถบความถี่ที่กว้างแต่ยังไม่เสถียร และยังได้จำลองผลของกระแสที่ผิว และมีแบบรูปการแผ่พลังงานดังรูปที่ 3.27 และรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.27 สนามไฟฟ้าของไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโดยใช้การป้อนสัญญาณแบบแอมมาและเพิ่มแผ่นกราวด์



รูปที่ 3.28 แบบรูปการแผ่พลังงานของไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการป้อนสัญญาณแบบแอมมาและเพิ่มแผ่นกราวด์

จากรูปที่ 3.27 จะดูการเคลื่อนที่ของกระแสบนผิวโลหะและทิศทางการสะท้อนคลื่นออกไปของสายอากาศ จะเห็นว่าเมื่อป้อนสัญญาณเข้าไปในสายอากาศ ตัวป้อนสัญญาณรูปเก๋มมา จะเหนี่ยวนำคลื่นออกไปตามโลหะที่มีรูปทรงเก๋มมาและเกิดการเหนี่ยวนำสัญญาณที่ขาไดโพลแม่เหล็กและเหนี่ยวนำไปจนถึงไดโพลไฟฟ้าและทำการแผ่คลื่นออกไปในอากาศและมีคลื่นบางส่วนที่ตกลงมากระทบกับแผ่นกราวด์ จากระยะความสูงของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าถึงแผ่นกราวด์มีระยะเป็น $\lambda/4$ ซึ่งเป็นระยะที่ทำให้คลื่นเกิดการเสริมกันและสะท้อนคลื่นออกไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งจะส่งผลให้อัตราขยายของสายอากาศเพิ่มขึ้น เนื่องจากคลื่นที่สะท้อนออกไปรวมกับคลื่นที่สะท้อนจากแผ่นกราวด์ไปเสริมในทิศทางเดียวกันและได้ทำตารางเปรียบเทียบอัตราขยายระหว่างมีแผ่นกราวด์และไม่มีแผ่นกราวด์ตามตารางที่ 3.1 จากตารางจะพบว่าหลังจากใส่แผ่นกราวด์จะทำให้อัตราขยายเพิ่มขึ้นประมาณ (4-5 dB) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ 50-60% หลังจากนั้นมาดูทิศทางการแผ่คลื่นของสายอากาศจากรูปที่ 3.28 จะพบว่าคลื่นที่แผ่ออกไปเป็นแบบทิศทางเดียว (Unidirectional)

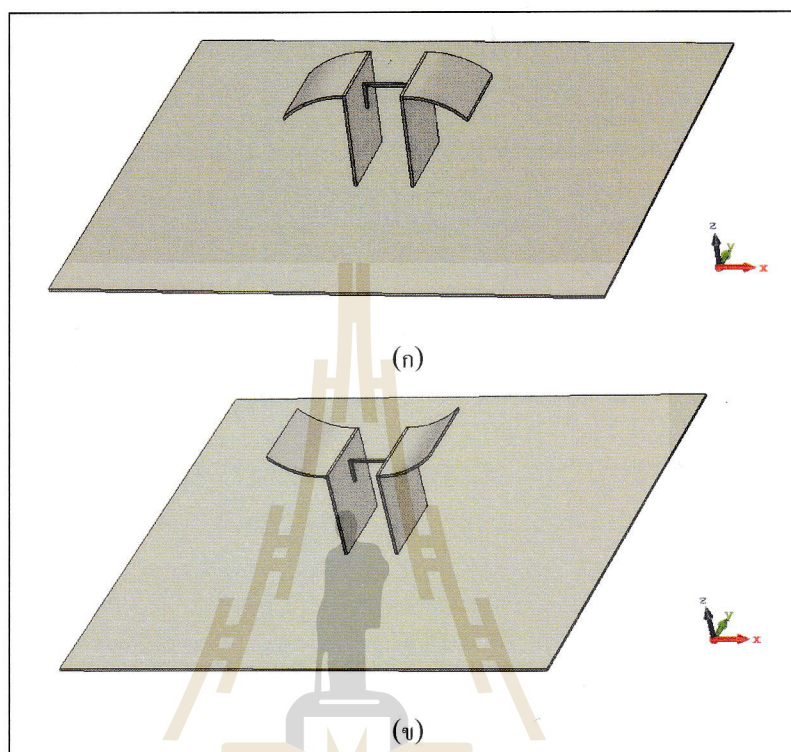
ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบอัตราขยายระหว่างก่อนและหลังใส่แผ่นกราวด์

ความถี่ (GHz)	อัตราขยาย (dBi)	
	ก่อนใส่แผ่นกราวด์	หลังใส่แผ่นกราวด์
1.7	2.6	8.8
2.1	2.26	8.5
2.6	4.3	7.5

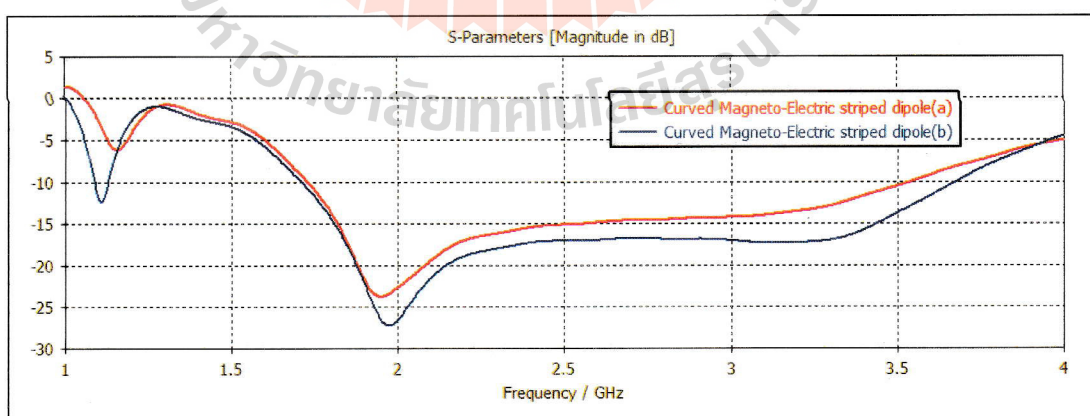
3.4.5 การออกแบบสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโค้ง

ออกแบบสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโค้ง (Magneto-Electric Curved Dipole Antenna) ได้พิจารณาความสูงของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อดูการแผ่ของอิมพีแดนซ์ โดยใช้การปรับไดโพลไฟฟ้าให้มีการโค้ง เพื่อดูระยะความสูงของสายอากาศว่ามีผลต่อการแผ่ของอิมพีแดนซ์ในแต่ละช่วงความถี่หรือไม่ โดยทำการเปลี่ยนจากสตริปไดโพลไฟฟ้าแบบตรง เป็นสตริปไดโพลไฟฟ้าที่เพิ่มการดัดโค้งเป็นรัศมี ($r = 34 \text{ mm}$) เพื่อพิจารณาความสูงจากไดโพลไฟฟ้า เมื่อทำการดัดโค้งแล้วจะมีผลต่อความถี่ที่ระยะความสูงใดๆจากระยะความโค้งว่ามีผลต่อการแผ่ของอิมพีแดนซ์ในแต่ละช่วงความถี่หรือไม่ กำหนดให้พารามิเตอร์ต่างๆดังนี้ คือความกว้าง ($w = \lambda/4$) ความยาว ($l = \lambda/2$) ความสูง ($h = \lambda/4$) และระยะห่างของไดโพล ($s = 20 \text{ mm}$) ที่ป้อนสัญญาณ

แบบแฉกผ่า และได้ทำการเปรียบเทียบไดโพลไฟฟ้าโค้งสองแบบ คือ (ก) แบบโค้งคว่ำ และแบบ (ข) โค้งหงาย ดังรูปที่ 3.29

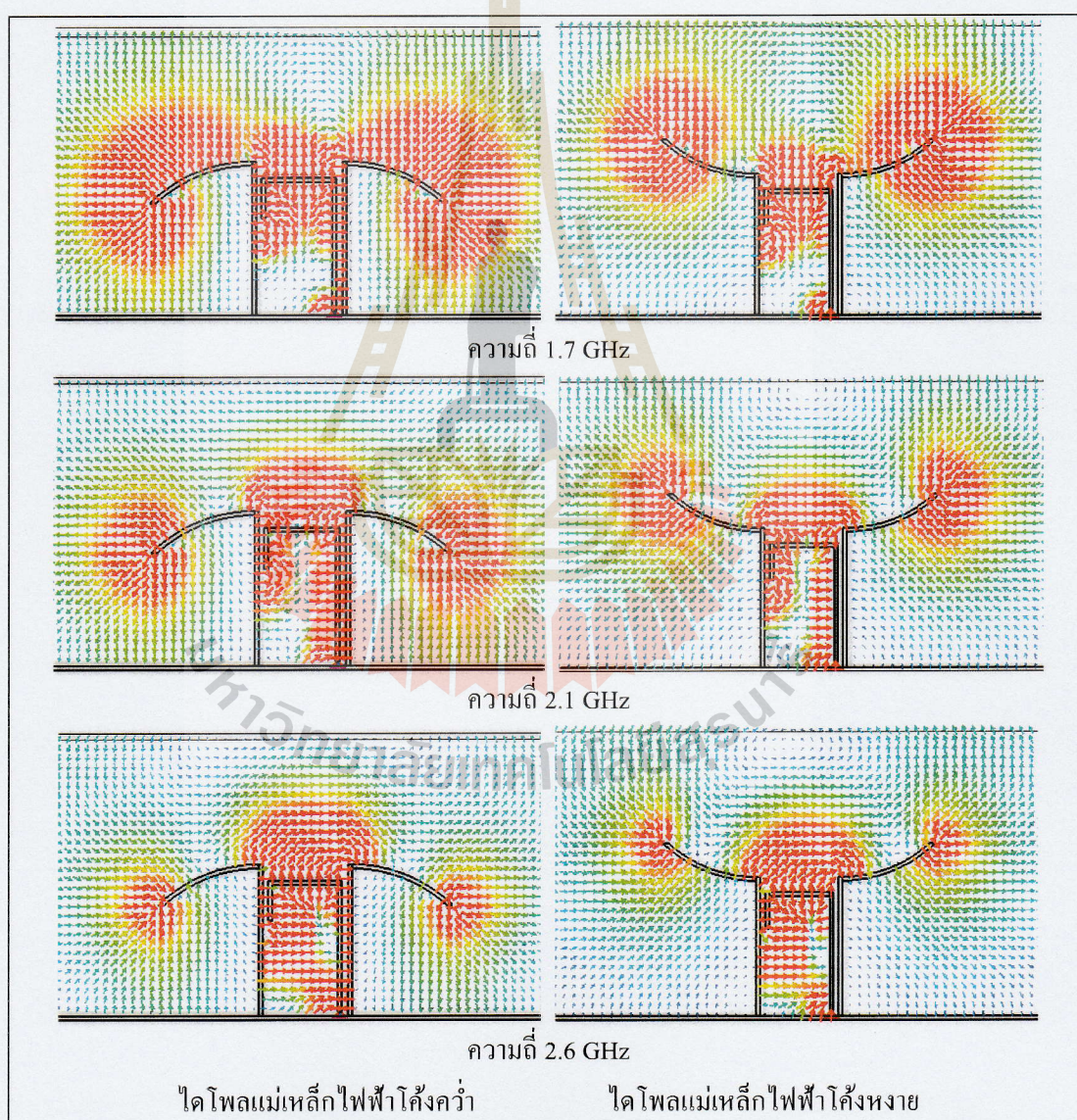


รูปที่ 3.29 ไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า (ก) แบบโค้งคว่ำ (ข) แบบโค้งหงาย

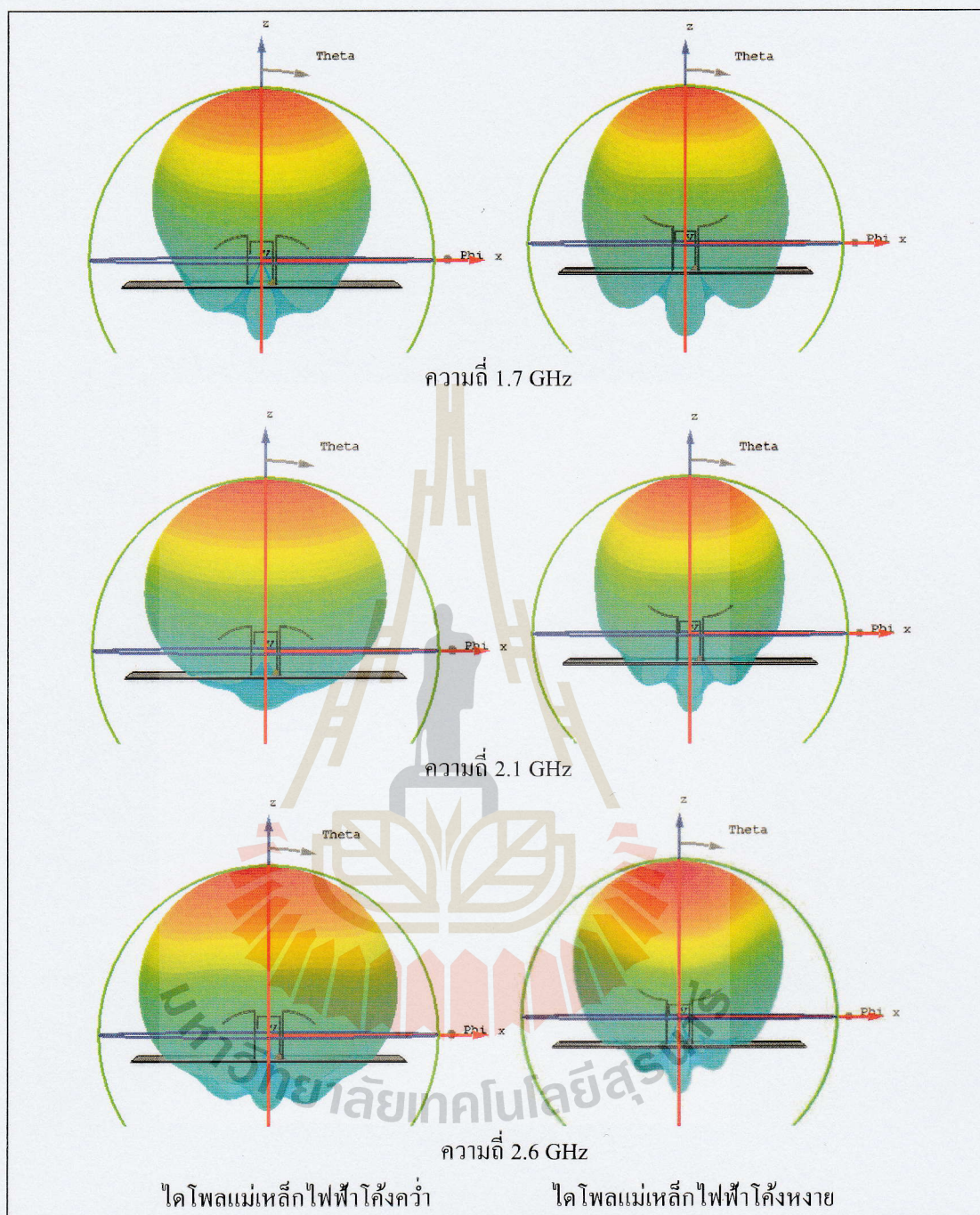


รูปที่ 3.30 ค่า S_{11} ของไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า (ก) แบบโค้งคว่ำ (ข) แบบโค้งหงาย

จากรูปที่ 3.30 เป็นกราฟเปรียบเทียบค่า S_{11} ของไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโค้งแบบโค้งคว่ำ และแบบโค้งหงาย โดยดูจากค่า S_{11} เพื่อการสะท้อนกลับของคลื่นที่ส่งออกไป และส่งผลต่อการแมตซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศหรือไม่ จากรูปจะเห็นว่าแบบโค้งหงายในเส้นสีน้ำเงินจะมีการแมตซ์อิมพีแดนซ์ได้ดีกว่าแบบโค้งคว่ำในเส้นสีแดง แสดงว่าคลื่นที่สะท้อนกลับมีค่าน้อยกว่า และยังทำให้มีความกว้างแถบเพิ่มขึ้นอีกด้วย ซึ่งบ่งบอกว่าระยะความสูงจากสายอากาศไดโพลถึงแผ่นกราวด์มีผลต่อการแมตซ์อิมพีแดนซ์ จึงทำการปรับระยะความโค้งให้สอดคล้องกับสายอากาศที่ต้องการออกแบบ



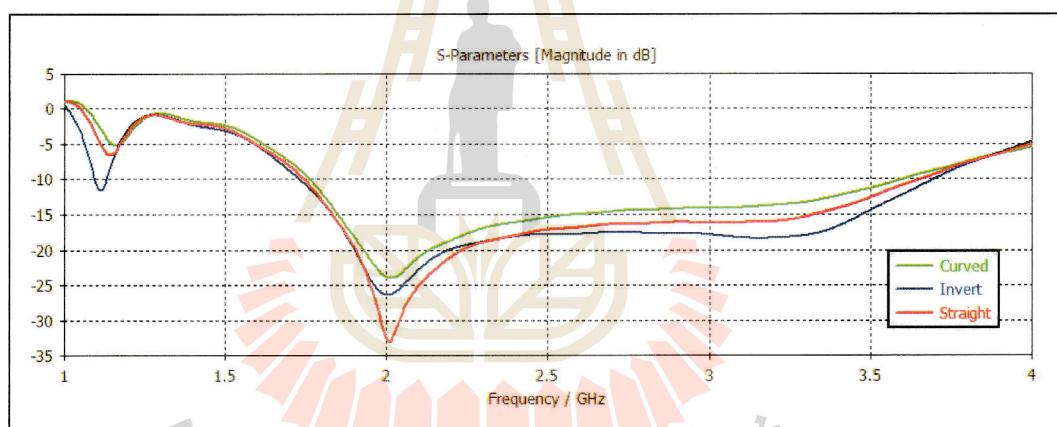
รูปที่ 3.31 สนามไฟฟ้าของไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า



รูปที่ 3.32 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.31 คู่มือทางการเหนี่ยวนำของกระแสนไฟฟ้าได้ทำการป้อนสัญญาณเข้าไปในสายอากาศ ตัวป้อนสัญญาณรูปเก๋มมาจะทำการเหนี่ยวนำกระแสออกไปและเกิดการเหนี่ยวนำสัญญาณระหว่างขาไดโพลแม่เหล็กและเหนี่ยวนำคลื่นไปตามสายอากาศและแผ่คลื่น

ออกไปในอากาศ ซึ่งจากรูปได้แสดงให้เห็น 3 ความถี่ และแบ่งสายอากาศเป็นแบบโค้งคว่ำและแบบโค้งหงายตามการออกแบบ จากรูปที่ความถี่ 1.7 GHz มีการเหนี่ยวนำคลื่นได้ดีกว่าความถี่อื่น ซึ่งบ่งบอกว่าสายอากาศทำงานในช่วงความถี่ที่ 1.7 GHz ได้ดี ส่วนต่อมาพิจารณาตามโครงสร้างแบบโค้งคว่ำกับแบบโค้งหงาย พิจารณาจากรูปจะพบว่าคลื่นที่แผ่ออกไปของสายอากาศแบบโค้งคว่ำจะมีลักษณะที่กว้างกว่าแบบโค้งหงายซึ่งเป็นไปตามลักษณะโครงสร้างของไดโพลไฟฟ้าที่ตัดโค้ง ในส่วนแบบรูปการแผ่พลังงานพิจารณาจากรูปที่ 3.32 จะเห็นว่าแบบรูปการแผ่พลังงานจะมีลักษณะและทิศทางเหมือนกันรูป 3.31 ที่โครงสร้างของสายอากาศแบบโค้งคว่ำจะมีแบบรูปการแผ่พลังงานที่กว้างกว่าสายอากาศแบบโค้งหงาย ต่อมาได้พิจารณาสายอากาศแบบโค้งคว่ำและโค้งหงายว่าส่งผลต่อการแมตซ์อิมพีแดนซ์และอัตราขยายอย่างไร ดังแสดงในรูปที่ 3.33 และ 3.34 ที่นำโครงสร้าง 3 แบบ มาเปรียบเทียบกับว่าความโค้งจะส่งผลอย่างไรกับค่า S_{11} และส่งผลให้อัตราขยายเพิ่มขึ้นหรือลดลง

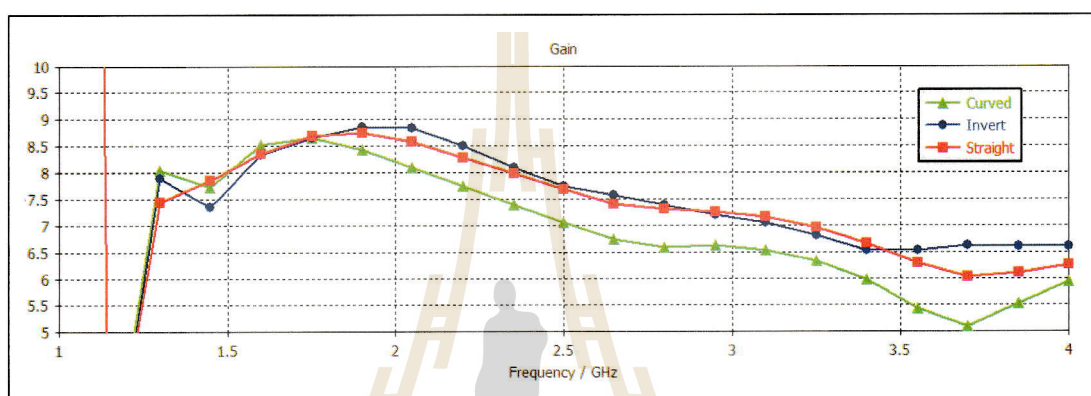


รูปที่ 3.33 การเปรียบเทียบค่า S_{11} ของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.33 พิจารณาความโค้งของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าต่อค่า S_{11} จะพบว่า มีผลต่อการแมตซ์ ในช่วงความถี่ที่ 2 GHz สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบตรงจะมีการแมตซ์อิมพีแดนซ์ได้ดีกว่าตัวอื่น แต่ในช่วงความถี่ประมาณ 2.5-3.6 GHz สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโค้งหงายจะมีการแมตซ์อิมพีแดนซ์ดีกว่า ซึ่งค่า S_{11} จะสอดคล้องกับอัตราขยายถ้ามีการแมตซ์อิมพีแดนซ์ดีจะส่งผลให้มีอัตราขยายที่สูงขึ้น

จากรูปที่ 3.34 พิจารณาอัตราขยายจากโครงสร้างสายอากาศระหว่างโครงสร้างแบบตรงแบบโค้งคว่ำ และโค้งหงายแล้วทำการเปรียบเทียบอัตราขยายของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งสามแบบดังตารางที่ 3.2 จากรูปแสดงอัตราขยาย เส้นสีน้ำเงิน แบบโค้งคว่ำในเส้นสีเขียวและแบบ

โค้งหงายในเส้นสีแดง จะพบว่าแบบโค้งคว่ำจะมีอัตราขยายต่ำสุด และแบบโค้งหงายกับแบบตรง จะมีอัตราขยายที่ใกล้เคียงกันแต่แบบโค้งหงายจะมีอัตราขยายที่ดีกว่าในช่วงต้นของความถี่และช่วงปลายของความถี่ แต่ถ้าพิจารณาเฉพาะโครงสร้างแบบโค้งจะเห็นได้ชัดเจนว่าแบบโค้งหงายจะมีอัตราขยายที่ดีกว่า เนื่องจากลักษณะโครงสร้างที่โค้งเข้าหากันจึงทำให้คลื่นที่แผ่ออกไปมีการรวมกันได้ดีกว่า ซึ่งส่งผลให้อัตราขยายเพิ่มขึ้น ถ้าพิจารณาที่ความกว้างแถบโครงสร้างแบบโค้งคว่ำจะมีย่านความถี่ที่กว้างกว่าซึ่งเป็นไปตามลักษณะการแผ่พลังงาน



รูปที่ 3.34 อัตราขยายของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า โดยการเปรียบเทียบระหว่างแบบตรงแบบโค้งคว่ำ และแบบโค้งหงาย

ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบอัตราขยายระหว่างโครงสร้าง 3 แบบ

ความถี่ (GHz)	ไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า		ไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า
	แบบตรง	แบบโค้งคว่ำ(ก)	แบบโค้งหงาย(ข)
1.7	8.65	8.55	8.59
2.1	8.49	7.86	8.7
2.6	7.49	6.78	7.61

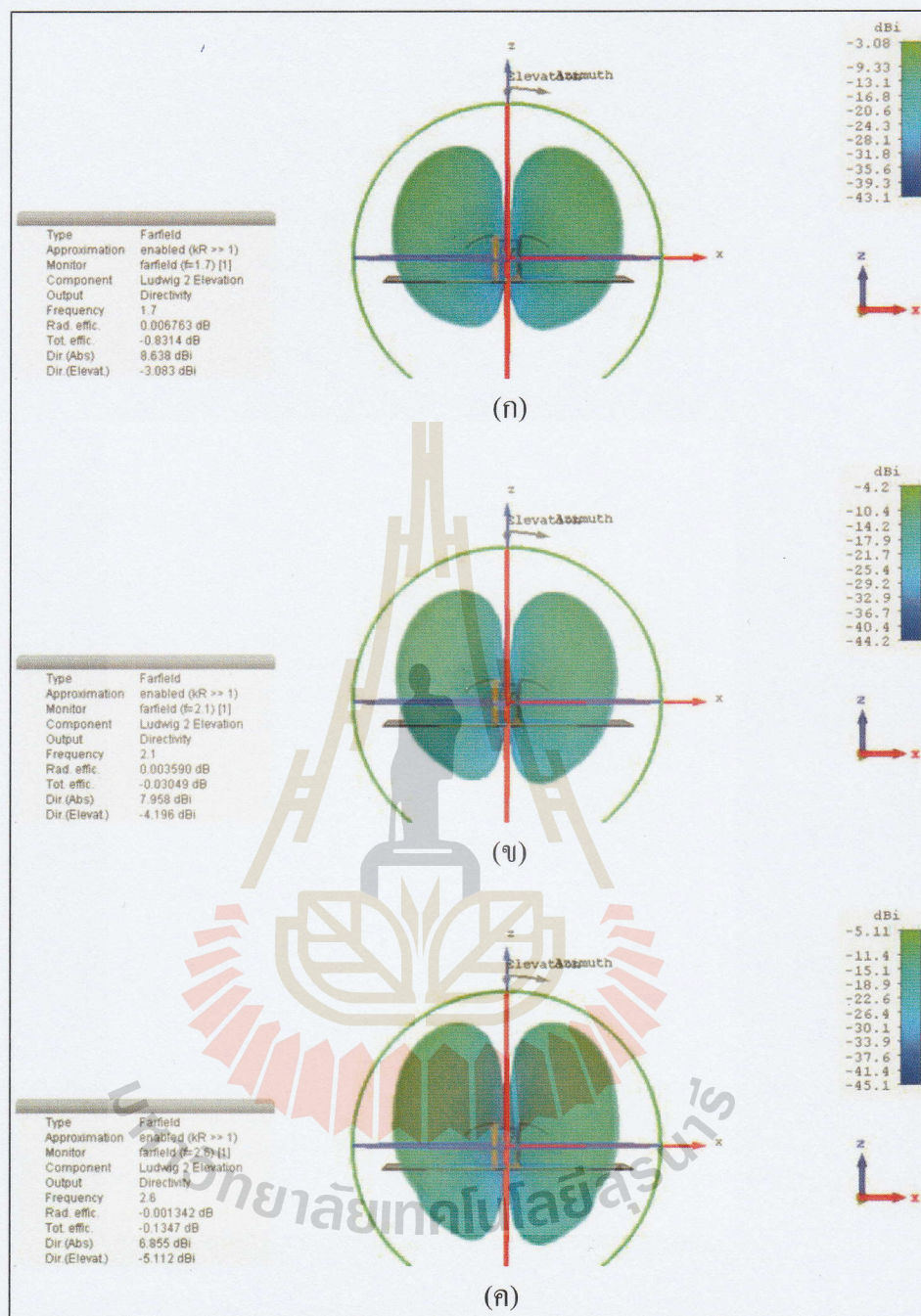
จากตารางที่ 3.3 ได้เปรียบเทียบผลการจำลองแบบ HPBW ของสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างโค้งคว่ำและโค้งหงาย โดยจะเห็นว่า HPBW ของไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งคว่ำจะกว้างกว่าแบบโค้งหงาย ซึ่งไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งคว่ำจะมีค่าคลื่นที่กว้างเนื่องจากคลื่นที่แผ่ออกไปจะเป็นการกระจายคลื่นตามความความโค้ง

ส่วนแบบโค้งงายจะมีค่าคลื่นที่แคบด้วยมีลักษณะที่โค้งเข้าหากันจะเป็นการรวมคลื่น ดังนั้นความโค้งของสตริปไดโพลไฟฟ้ามีผลต่อ HPBW มีลักษณะจะเป็นไปตามลักษณะความโค้งของสตริปไดโพลไฟฟ้า

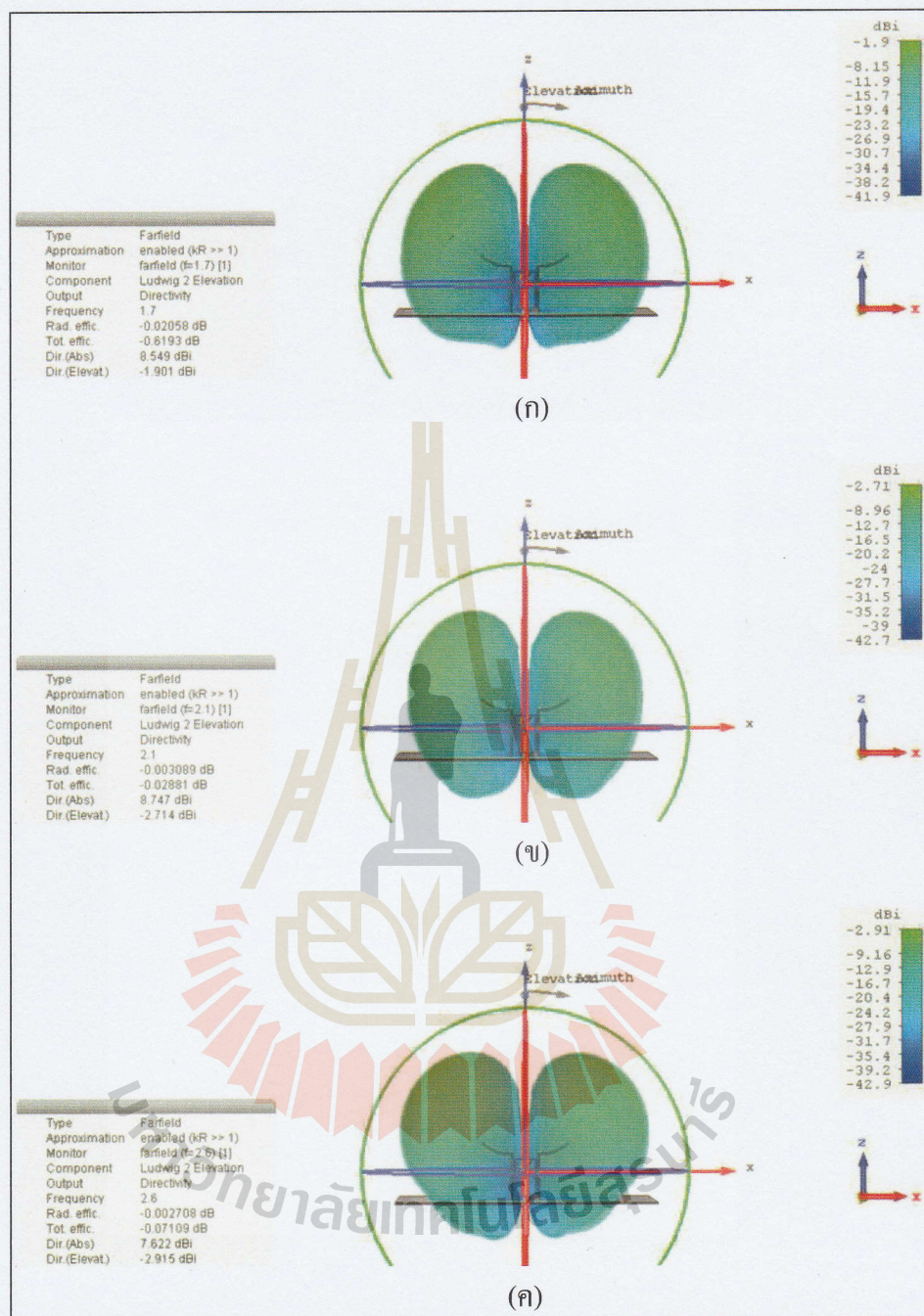
ตารางที่ 3.3 เปรียบเทียบผลการจำลองแบบ HPBW ของไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า

ความถี่ (GHz)	ไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งคว่ำ		ไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งงาย	
	ระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane)	ระนาบ สนามแม่เหล็ก (H-plane)	ระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane)	ระนาบ สนามแม่เหล็ก (H-plane)
1.7	58.6	80.8	54.6	77.5
2.1	70.6	89.4	54.7	84.1
2.6	82.5	102.5	72.7	111

จากรูปที่ 3.35 และ 3.36 แสดงโพลาริแซนซ์ของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งคว่ำและแบบโค้งงายแสดงที่ความถี่ 1.7 GHz 2.1 GHz และ 2.6 GHz โดยโพลาริแซนซ์จะดูคลื่นที่สะท้อนออกไปจากสายอากาศแล้วตกกระทบกับแผ่นกราวด์และคลื่นที่สะท้อนกลับอาจจะเกิดการรบกวนกันของคลื่น ซึ่งจะพิจารณาในทิศทางหลักที่คลื่นแผ่ออกไปจากสายอากาศ จะพบว่าสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งคว่ำและแบบโค้งงายในทิศทางจะหลักจะไม่มีโพลาริแซนซ์ไขว้ แต่จะมีโพลาริแซนซ์ในทิศทางอื่นซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสายอากาศน้อยจึงไม่นำมาพิจารณา จากรูปจะพบว่าค่าโพลาริแซนซ์ไขว้ของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งคว่ำจะมีค่าต่ำกว่าสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งงาย ซึ่งบ่งบอกว่าสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งคว่ำจะเกิดการรบกวนคลื่นได้น้อยกว่าแบบโค้งงาย



รูปที่ 3.35 โพลาริซ์ไวกซ์ของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งคว่ำที่ความถี่ (ก) 1.7 GHz
(ข) 2.1 GHz และ (ค) 2.6 GHz



รูปที่ 3.36 โพลาริไรซ์ไวย์ของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งหงายที่ความถี่ (ก) 1.7 GHz
(ข) 2.1 GHz และ (ค) 2.6 GHz

3.5 สรุป

ในบทนี้ได้ทำการออกแบบสายอากาศตามวัตถุประสงค์ โดยใช้โปรแกรม CST Microwave Studio ในการออกแบบและวิเคราะห์ผล และนำไปสร้างสายอากาศต้นแบบ โดยได้ทำการออกแบบสายอากาศบนสแตนไดเนียม ซึ่งนิยมใช้สายอากาศไดโพลในการออกแบบ แต่สายอากาศไดโพลมีความกว้างแถบที่แคบจึงได้ประยุกต์ใช้ไดโพลไฟฟ้าและไดโพลแม่เหล็กเข้าด้วยกันเพื่อให้มีคุณสมบัติทั้งทางไฟฟ้าและแม่เหล็ก โดยเพิ่มการแมตซ์อิมพีแดนซ์และเพิ่มความกว้างแถบด้วยโครงสร้างตัวป้อนสัญญาณรูปทรงแอมมา และเพิ่มอัตราขยายด้วยแผ่นกราวด์และการตัดโค้งสายอากาศที่มีระยะความสูงจากแผ่นกราวด์ที่ไม่เท่ากันก็มีผลต่อการแมตซ์อิมพีแดนซ์แต่ละช่วงความถี่ และความโค้งของสายอากาศก็ยังมีผลต่อแบบรูปการแผ่พลังงานด้วย จากวัตถุประสงค์ที่ต้องการออกแบบและสร้างสายอากาศที่มีความกว้างแถบกว้าง อัตราขยายสูง มีแบบรูปการแผ่พลังงานที่เสถียรและโพลาไรซ์ไขว้ต่ำ ซึ่งผลการจำลองของไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งหงายจะได้ความกว้างแถบที่กว้างและอัตราขยายสูงกว่าไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งคว่ำ แต่แบบรูปการแผ่พลังงานจะมีลำคลื่นที่แคบกว่า และมี HPBW ที่น้อยกว่าไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งคว่ำ และเมื่อพิจารณาจากการโพลาไรซ์ไขว้ จะดูคลื่นที่สะท้อนออกไปจากสายอากาศและคลื่นที่สะท้อนกลับอาจจะเกิดการรบกวนกันของคลื่น ซึ่งกรณีแรกสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งคว่ำ คลื่นที่สะท้อนออกไปจะสะท้อนคลื่นได้ทั้งหมด แต่ในกรณีที่สองสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งหงาย ด้วยลักษณะโค้งเข้าหากัน คลื่นที่สะท้อนออกไปจะมีบางส่วนที่สะท้อนกลับมาซึ่งจะทำให้เกิดการรบกวนกันหรือการโพลาไรซ์ไขว้ จะทำให้สายอากาศที่ใช้งานมีประสิทธิภาพลดลง โดยพิจารณาที่ความถี่ 1-4 GHz ดังนั้นการเลือกสายอากาศจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่ใช้งาน

บทที่ 4

ผลการทดลอง

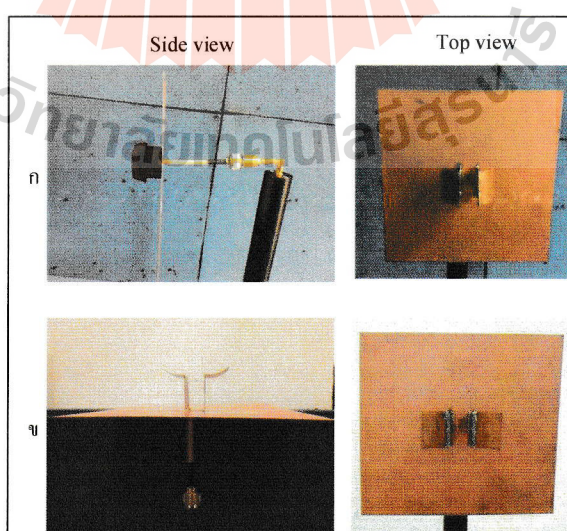
4.1 บทนำ

ในบทนี้จะนำสายอากาศที่ออกแบบในบทที่แล้วมาทำการทดสอบและวัดผลของสายอากาศเพื่อเปรียบเทียบและดูประสิทธิภาพของสายอากาศว่าตรงกับที่ออกแบบไว้หรือไม่ โดยการสร้างสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า 2 ตัว เป็นสายอากาศภาคส่งและภาครับ ที่ได้ออกแบบตามทฤษฎีของสายอากาศไดโพลและได้ปรับเปลี่ยนโครงสร้างของสายอากาศให้สอดคล้องและเหมาะสมกับความต้องการที่ใช้งานในช่วงความถี่ 1700 - 2600 MHz ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่ใช้งานในด้านการสื่อสารไร้สายของโทรศัพท์เคลื่อนที่บนระบบ 2G 3G และ 4G (ที่ต้องการใช้งานในด้านการสื่อสารที่ต้องการภาพและเสียงที่มีความละเอียดสูง ไม่มีคลื่นมารบกวนในขณะที่ใช้งาน) ซึ่งในบทนี้ได้สร้าง วัดพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศ และทดสอบสายอากาศเพื่อเปรียบเทียบและได้นำผลการวัดสายอากาศทั้ง 2 ตัว มาแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่บ่งบอกประสิทธิภาพของสายอากาศ โดยสายอากาศที่ได้ออกแบบและสร้างเป็นสายอากาศไดโพลที่ประกอบไปด้วยไดโพลแม่เหล็กและไดโพลไฟฟ้าที่มีการตัดโค้งที่ใช้แผ่นทองแดงในการสร้างและวางสายอากาศไดโพลลงบนแผ่นกราวด์ที่ใช้วัสดุ FR-4 เพื่อช่วยในการสะท้อนคลื่นและลดแบ็คโวลบ (Back Lobe) ที่จะไปรบกวนสายอากาศตัวอื่น โดยได้พิจารณาพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศ คือ S_{11} แบบรูปการแผ่พลังงาน อัตราขยาย และ โพลาริซัชัน (Cross Polarize) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) เพื่อเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองจากโปรแกรม CST Microwave Studio และผลวัดจริงที่ได้โดยวัดในห้องแชมเบอร์ (Chamber Room) เพื่อลดคลื่นจากภายนอกที่จะไปกระทบกับสายอากาศ และสุดท้ายนำผลต่างๆออกมาวิเคราะห์และสรุปผล

4.2 การสร้างสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า

ออกแบบสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า โดยใช้โปรแกรมออกแบบสายอากาศ CST Microwave Studio ในการออกแบบเพื่อให้ได้สายอากาศที่มีคุณสมบัติเหมาะกับการใช้งานในด้านการสื่อสารโทรคมนาคมบนระบบ 3G 4G โดยการสร้าง จำลองผล และทดสอบสายอากาศว่าสามารถทำงานในย่านความถี่ที่กำหนดได้ และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.1

โดยสายอากาศจะแยกเป็นส่วนของไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า ตัวป้อนสัญญาณ และแผ่นกราวด์ที่ช่วยสะท้อนคลื่นและลดเบี่ยงเบนโดยวัสดุ FR-4 สองหน้า โดยเริ่มทำจากไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้แผ่นทองแดงหนา 0.3 mm มาตัดตามขนาดที่ออกแบบไว้โดยใช้เครื่องดรายคัท (Dry-Cut Machine) ในการตัดชิ้นส่วน และได้้นำแผ่นทองแดงที่ตัดแล้วมาประกอบติดกันโดยแผ่นที่ตั้งฉากจะเป็นไดโพลแม่เหล็กที่มีความสูงเป็น $\lambda/4$ เพื่อช่วยเสริมคลื่นออกไปด้านหน้าและแผ่นที่ขนานกับแผ่นกราวด์จะเป็นไดโพลไฟฟ้าที่มีการดัดโค้งที่รัศมี 34 mm ที่ช่วยในการแมตช์อิมพีแดนซ์ที่ความถี่ต่างๆ เพราะจากความสูงที่วัดในแต่ละช่วงจากแผ่นกราวด์จะไม่เท่ากันเพื่อช่วยในเรื่องของการแมตช์อิมพีแดนซ์แต่ละความถี่ ต่อมาเป็นการสร้างตัวป้อนสัญญาณที่ออกแบบในรูปแบบตรงแอมมา (Gamma match) ที่มีลักษณะเหมือนกับเป็นสตัป เปรียบได้กับวงจรไฟฟ้าที่เปรียบตัวป้อนสัญญาณแบบแอมมาแมตช์เป็นอีกวงจรที่ช่วยแมตช์อิมพีแดนซ์ โดยที่เราสามารถคำนวณออกมา โดยเรารู้ว่าโหลดมีขนาด 50 โอห์ม เราจึงออกแบบตัวป้อนให้รองรับที่ความถี่ต่าง ๆ เพื่อที่จะให้กำลังงานที่ออกมามีค่าใกล้เคียงกับกำลังงานที่จ่ายไปจึงทำให้เกิดการแมตช์อิมพีแดนซ์และยังเป็นตัวช่วยในการคัปปลิงสัญญาณให้กับไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า และส่วนสุดท้ายเป็นแผ่นกราวด์ที่มีขนาดเป็น 1.4 λ ซึ่งเป็นฐานรองไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าและตัวป้อนสัญญาณรูปแอมมาที่มีการเจาะรูเพื่อเชื่อมหัวคอนเน็คเตอร์ เข้าแอมมาแมตช์ ดังรูปที่ 4.1 เพื่อป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศ ซึ่งใช้หัวคอนเน็คเตอร์ ชนิด N-Type ต่อเข้ากับเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) เพื่อพิจารณาพารามิเตอร์ของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งได้แก่ แบบรูปการแผ่พลังงานงาน อัตราขยาย และโพลาไรซ์ไขว้ (Cross Polarize)



รูปที่ 4.1 สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้ง ต้นแบบ

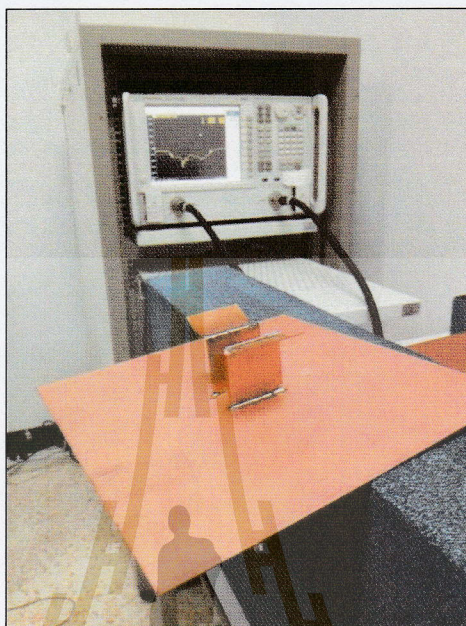
ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สร้างสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า

พารามิเตอร์	ขนาด (mm)
ความกว้างของสายอากาศ (w)	16
ความยาวของสายอากาศ (l)	80
ความสูงของสายอากาศ (h)	35.715
ช่องว่างระหว่างไดโพล (s)	20
รัศมีความโค้งของสายอากาศ (r)	34
ความกว้างและความยาวของแผ่นกราวด์ (t)	200
ความสูงของตัวป้อนสัญญาณ (h_2)	30.715
ความยาวของตัวป้อนสัญญาณ (l_2)	17
ความกว้างของตัวป้อนสัญญาณ (w_2)	1

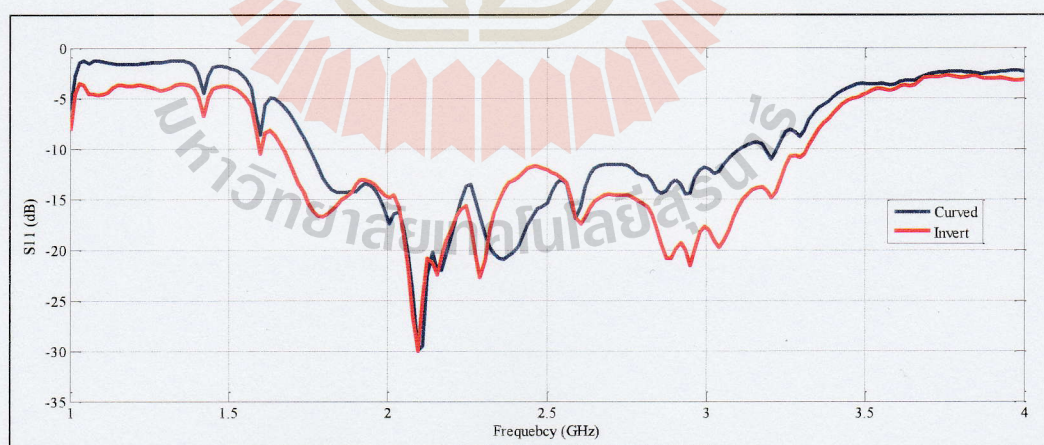
4.3 ผลการวัดค่า S_{11}

ค่า S_{11} คือค่าการสูญเสียย้อนกลับที่บอกลักษณะการสะท้อนไฟฟ้าด้านขาเข้าต่อกระแสไฟฟ้าด้านขาออก ว่ามีการแมตช์ของอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ และสามารถดูช่วงความถี่การทำงานของสายอากาศว่าอยู่ในช่วงความถี่ไหนได้ ซึ่งอุปกรณ์ส่วนมากที่ใช้จะมีอิมพีแดนซ์อยู่ที่ 50 โอห์ม และต้องการออกแบบสายอากาศให้สามารถทำงานได้ใกล้เคียงกับอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม เพื่อให้เกิดการแมตช์อิมพีแดนซ์ โดยได้พิจารณาค่า S_{11} ต่ำกว่าหรือเท่ากับ -10 dB ลงมา ซึ่งจากการออกแบบได้พิจารณาสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าสองแบบ คือ แบบ (ก) จะเป็นแบบโค้งคว่ำ และแบบ (ข) จะเป็นแบบโค้งหงาย ดังรูปที่ 4.2 จากผลการวัดทดสอบโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย จะพบว่าสายอากาศแบบ (ก) ทำงานในช่วงความถี่ตั้งแต่ 1.75 ถึง 3.22 GHz และแบบ (ข) ทำงานในช่วงความถี่ตั้งแต่ 1.68 ถึง 3.33 GHz ดังรูปที่ 4.3 แต่จะพิจารณาสามความถี่ คือ 1.7 GHz 2.1 GHz และ 2.6 GHz ซึ่งเป็นความถี่ที่อยู่บนระบบ 3G และ 4G และได้ทำการออกแบบที่ความถี่กลาง 2.1 GHz จากรูปที่ จะพบว่าแบบ (ข) จะมีช่วงความถี่ที่กว้างกว่าแบบ (ก) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการจำลองแบบในโปรแกรม CST Microwave Studio แล้วสายอากาศแบบ (ก) มีการทำงานในช่วงความถี่ตั้งแต่ 1.72 - 3.24 GHz สายอากาศแบบ (ข) มีการทำงานในช่วง 1.71-3.33 GHz ซึ่งช่วงความถี่จะแคบกว่าที่ออกแบบไว้โดยเฉพาะความถี่ในช่วงปลายความถี่จะมีการเลื่อนเข้ามา ซึ่งในทางปฏิบัติอาจจะเกิดจากความผิดพลาดในการสร้างชิ้นงาน รวมไปถึงการรบกวนจากสิ่งแวดล้อมรอบข้าง แต่เมื่อพิจารณาจากจุดประสงค์ที่ต้องการออกแบบสายอากาศที่ทำงานบน

ระบบ 3G/4G ถือว่ายังอยู่ในช่วงที่สายอากาศยังทำงานได้ ซึ่งผลที่ได้จากการวัดนั้นสามารถนำไปใช้งานได้จริง และครอบคลุมย่านความถี่ที่ต้องการใช้งาน



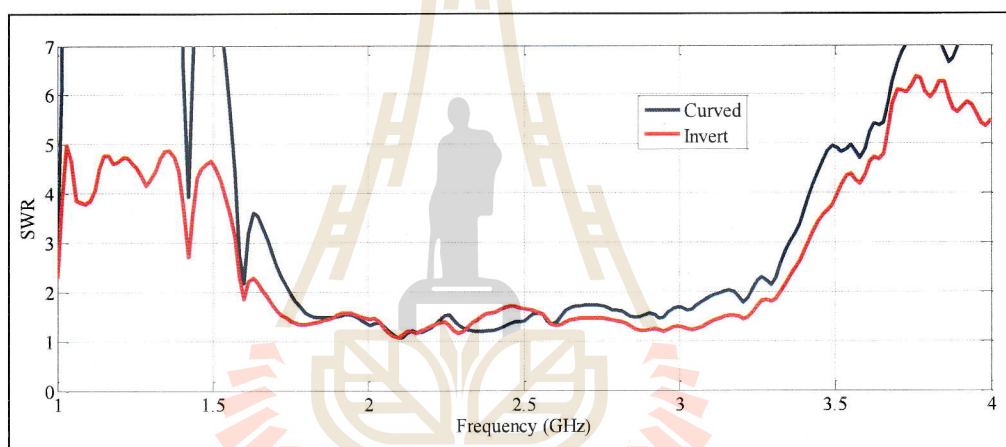
รูปที่ 4.2 รูปแบบการวัด S_{11} ของไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งงาย



รูปที่ 4.3 ค่า S_{11} ที่ได้จากการวัดไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า (ก) แบบโค้งคว่ำ (ข) แบบโค้งหงาย

4.4 ผลการวัดอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing Wave Ratio: SWR)

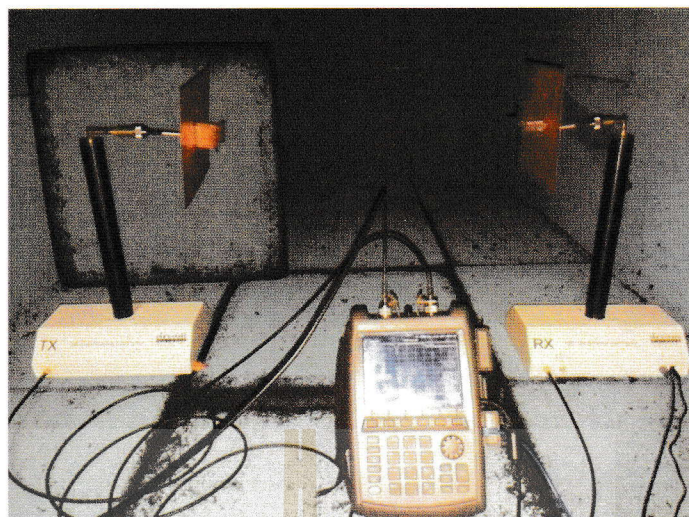
ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งบ่งบอกว่าคลื่นที่ส่งเข้าไปในสายอากาศจะมีการสะท้อนกลับหรือไม่ และยังมีผลสอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน โดยเป็นผลรวมของคลื่นที่เดินทางร่วมกับคลื่นที่สะท้อนกลับมา ซึ่งค่า SWR ไม่เกิน 2 ($SWR \leq 2$) โดยได้นำสายอากาศต้นแบบไปวัดทดสอบ และเปรียบเทียบผลระหว่างสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า แบบโค้งคว่ำและโค้งหงาย ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ซึ่งจากผลการวัดจะพบว่า ค่า SWR ของสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าแบบคว่ำบอกได้ว่าสายอากาศมีทำงานในช่วงความถี่ตั้งแต่ 1.75 ถึง 3.22 GHz และแบบโค้งหงายมีการทำงานในช่วงความถี่ตั้งแต่ 1.68 ถึง 3.22 GHz จากกราฟจะพบว่าสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าแบบหงายให้การแมตซ์ดีกว่าโค้งคว่ำ และมีความกว้างแถบที่กว้างกว่า



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบค่า SWR ที่ได้จากการวัดของสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า

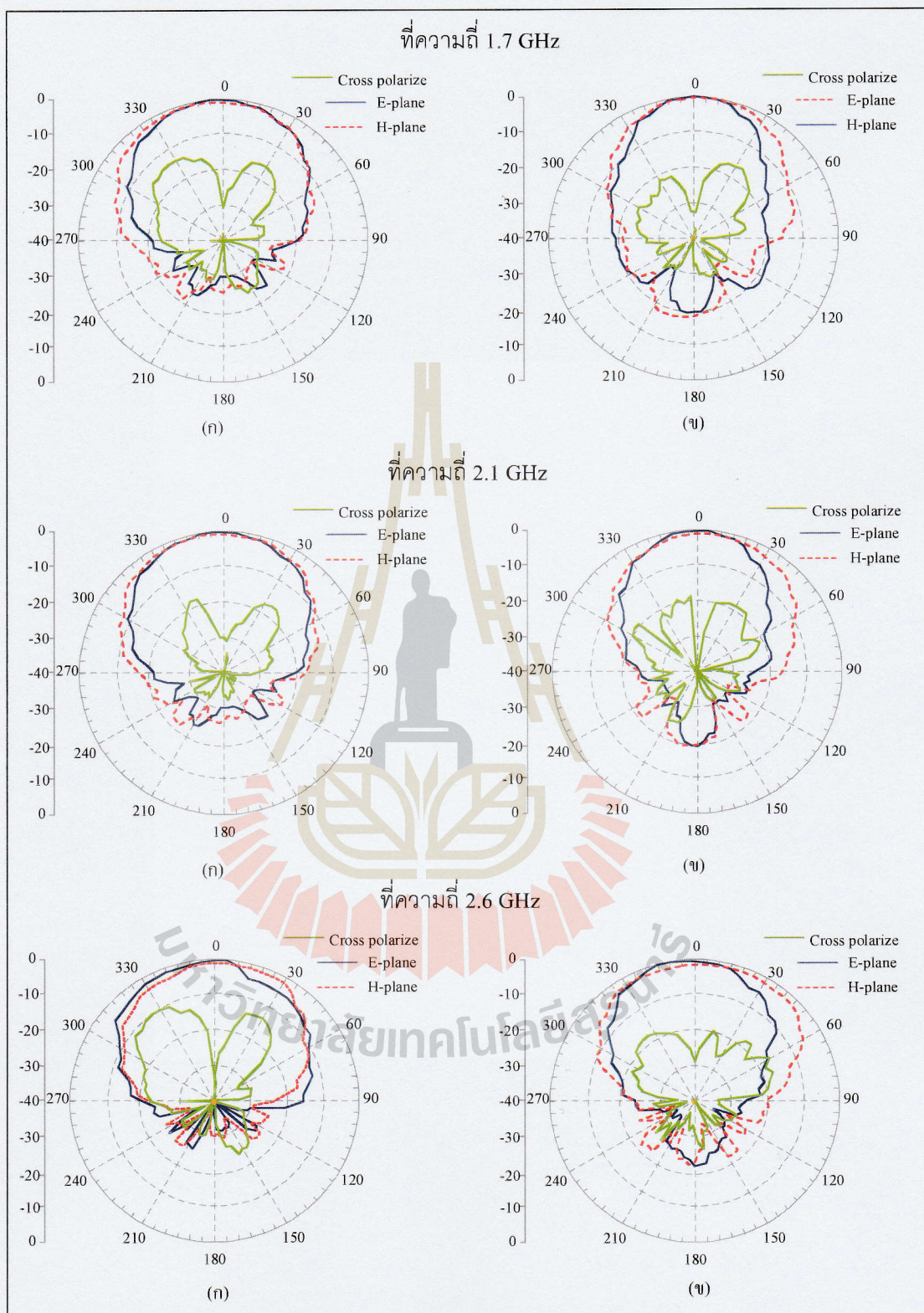
4.5 ผลการวัดแบบรูปการแผ่พลังงาน

เนื่องจากการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ (Radiation Pattern) ต้องใช้สายอากาศ 2 ต้น เพื่อเป็นสายอากาศภาคส่งและภาครับ ในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้สร้างสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโค้งประกอบด้วย แบบโค้งคว่ำและแบบโค้งหงายที่เหมือนกันออกมาอย่างละ 2 ต้น แล้วจัดวางสายอากาศภายในห้องแชมเบอร์ (Chamber Room) เพื่อวัดแบบรูปการแผ่พลังงานตามรูปที่ 4.5 โดยใช้เครื่อง Field Fox เพื่อวัดค่า S_{21} ขณะที่สายอากาศภาครับหมุนรอบตัวเอง 360 องศา ทำให้สะดวกในการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ และลดคลื่นรบกวนจากภายนอก แล้วนำผลการวัดทดสอบเปรียบเทียบกับผลการจำลองแบบของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโค้ง

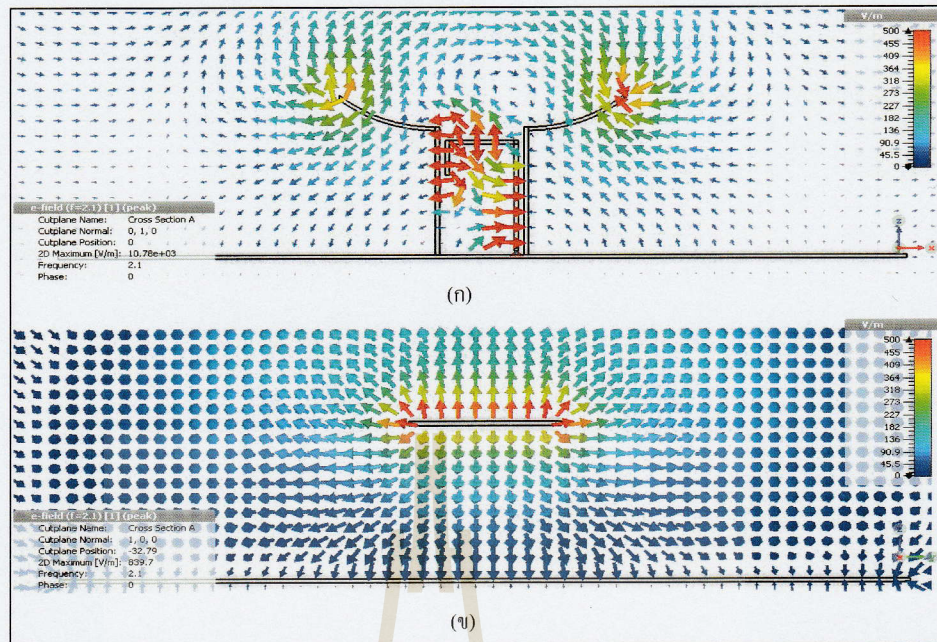


รูปที่ 4.5 การวัดอัตราขยายของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโค้งต้นแบบ

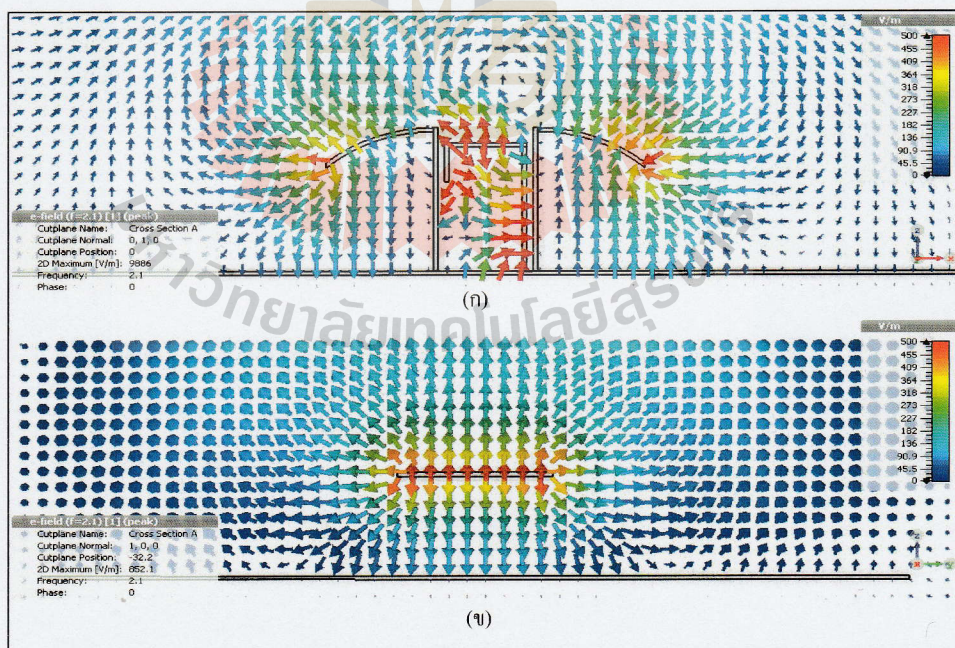
จากรูปที่ 4.6 ได้แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก แล้ววัดโพลาไรซ์ไขว้ (Cross Polarize) ที่บ่งบอกการทำงานของสายอากาศว่ามีการรบกวนกัน ในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กหรือไม่ โดยพิจารณาที่ความถี่ 1.7 GHz, 2.1 GHz และ 2.6 GHz จากผลการวัดพบว่า แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ออกแบบเป็นแบบเจาะจงทิศทาง (Directional Radiation) ซึ่งเกิดจากการแผ่คลื่นของไดโพลไฟฟ้าและไดโพลแม่เหล็ก ร่วมกันและยังมีส่วนของกราวด์ที่ช่วยสะท้อนคลื่นให้แผ่ออกไปในทิศด้านหน้า (แกน z) อีกด้วย จากการเปรียบเทียบสายอากาศทั้งสองจะพบว่า สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งกว่า จะมีแบบรูปการแผ่พลังงานที่ทำให้ลำคลื่นกว้าง โดยมี HPBW เท่ากับ 50 องศา ที่ใกล้เคียงกับผลการจำลองในโปรแกรม CST Microwave Studio และไปตามการออกแบบเพราะคลื่นที่แผ่ออกไป จะมีลักษณะที่กว้างกว่าแบบโค้งหงาย ต่อมาพิจารณาการโพลาไรซ์ไขว้ ซึ่งจะพิจารณาจากทิศทางลำคลื่นหลักที่คลื่นแผ่ออกไป พบว่า สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งกว่าจะมีโพลาไรซ์ไขว้ต่ำกว่าแบบโค้งหงาย และไม่อยู่ในทิศทางของลำคลื่นหลัก เพื่อให้เห็นภาพที่ชัดเจนขึ้นจะแสดงภาพเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าดังรูปที่ 4.7 และ 4.8 ซึ่งเป็นภาพจากโปรแกรม CST Microwave Studio ในระนาบ xz และ yz โดยการโพลาไรซ์ไขว้จะพิจารณาจากทิศทางเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่พุ่งออกตามความโค้งของแกนไดโพลไฟฟ้า แล้วตกกระทบกับกราวด์ ซึ่งทิศทางของเวกเตอร์ที่ตกกระทบและสะท้อนกับกราวด์จะมีลักษณะเอียง (ไม่ได้อยู่ในแนวแกน x) จึงทำให้เกิดโพลาไรซ์ไขว้ ซึ่งจากการเปรียบระหว่างสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งกว่าและโค้งหงาย



รูปที่ 4.6 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า (ก) แบบโค้งคว่ำ และ (ข) แบบโค้งหงาย ที่ความถี่ต่าง ๆ



รูปที่ 4.7 เวกเตอร์สนามไฟฟ้าของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งคว่ำ (ก) ระนาบ xz และ (ข) ระนาบ yz



รูปที่ 4.8 เวกเตอร์สนามไฟฟ้าของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งหงาย (ก) ระนาบ xz และ (ข) ระนาบ yz

จากรูปที่ 4.7 และ 4.8 จะเห็นว่าเวกเตอร์สนามไฟฟ้าของสายอากาศแบบโค้งหงายจะมีทิศทางของเวกเตอร์ที่เกิดการโพลาไรซ์ไขว้น้อยกว่าสายอากาศแบบโค้งงาย ดังนั้นผลการวัดโพลาไรซ์ไขว้จะเห็นว่าในทิศทางหลักของลำคลื่นที่แผ่ออกไปของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งงายจะเกิดการโพลาไรซ์ไขว้น้อยกว่าแบบโค้งหงายด้วย

4.6 ผลการวัดอัตราขยาย

อัตราขยายเป็นค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของสายอากาศ และใช้วัดคุณสมบัติในการชี้ทิศทางของแบบรูปการแผ่พลังงาน โดยใช้สมการฟรีส ในการหาอัตราขยายของการวัดสายอากาศจากทฤษฎีในบทที่ 2 เรื่องอัตราขยาย

$$\frac{P_r}{P_t} = G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi D} \right)^2 \quad (2.10)$$

$$G_{dB} = \frac{1}{2} \left[20 \log \left(\frac{4\pi D}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_t} \right) \right] \quad (2.11)$$

$$G_{r_{dB}} = P_{r_{dB}} - P_{t_{dB}} - G_{t_{dB}} + 20 \log \left(\frac{4\pi D}{\lambda} \right) \quad (2.12)$$

เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโค้ง เพื่อนำไปประยุกต์ใช้บนระบบ 3G และ 4G ซึ่งกำหนดให้ความถี่กลางคือ 2.1 GHz และทำการสร้างสายอากาศต้นแบบที่เหมือนกัน 2 ตัว เป็นสายอากาศภาคส่ง และภาครับ เพื่อใช้ในการวัดทดสอบจริง ดังนั้นอัตราขยายของสายอากาศทั้งสองตัวจึงมีค่าเท่ากัน โดยใช้สมการที่ 2.11 ในการคำนวณหาอัตราขยาย โดยทำการคำนวณจากสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าแบบหงาย

ที่ความถี่ 1.7 GHz

$$G_{dB} = \frac{1}{2} \left[20 \log \left(\frac{4\pi \times 90 \times 10^{-2} \times 1.7 \times 10^9}{3 \times 10^8} \right) - 20.49 \right]$$

$$G_{dB} = 7.823$$

ที่ความถี่ 2.1 GHz

$$G_{dB} = \frac{1}{2} \left[20 \log \left(\frac{4\pi \times 90 \times 10^{-2} \times 2.1 \times 10^9}{3 \times 10^8} \right) - 22.13 \right]$$

$$G_{dB} = 7.92$$

ที่ความถี่ 2.6 GHz

$$G_{dB} = \frac{1}{2} \left[20 \log \left(\frac{4\pi \times 90 \times 10^{-2} \times 2.6 \times 10^9}{3 \times 10^8} \right) - 27.05 \right]$$

$$G_{dB} = 6.39$$

ได้แสดงอัตราขยายที่เปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองกับผลการวัดทดสอบ ดังรูปที่ 4.5 และได้แสดงผลแบบตาราง ซึ่งได้เปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองกับผลการวัดทดสอบ อัตราขยายจากผลการวัดทดสอบ ได้นำค่าพลังงานที่รับได้ของสายอากาศ ที่มาจากการป้อนสัญญาณให้สายอากาศทางขาเข้าพอร์ตหนึ่ง โดยพิจารณาจากการค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (S_{21}) ซึ่งมาจากค่า Pr / Pt ของเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย แทนค่าลงในสมการฟรีส จะได้ค่าจากการวัดทดสอบของอัตราขยายตลอดย่านความถี่ 1-4 GHz ดังตารางที่ 4.2

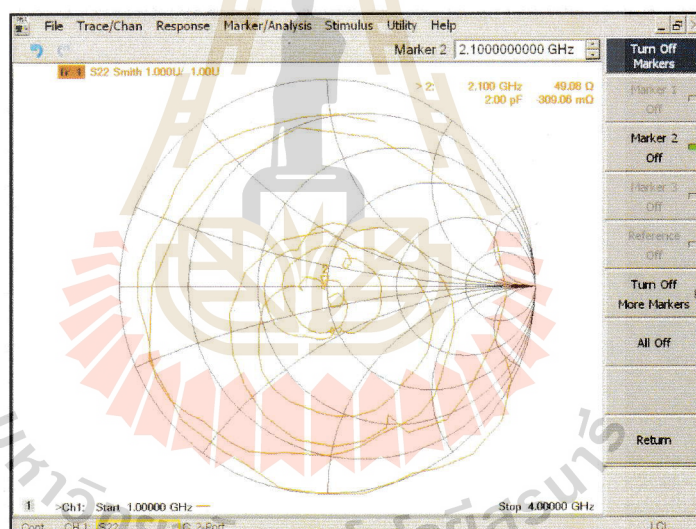
ตารางที่ 4.2 อัตราขยายระหว่างผลการจำลองแบบและผลการวัดทดสอบ

ความถี่ (GHz)	ไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งคว่ำ		ไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งหงาย	
	ผลการจำลอง	ผลการวัดทดสอบ	ผลการจำลอง	ผลการวัดทดสอบ
1.7	8.55 dB	6.46 dB	8.59 dB	7.82 dB
2.1	7.86 dB	7.61 dB	8.7 dB	7.92 dB
2.6	6.78 dB	5.548 dB	7.61 dB	6.39 dB

จากการสร้างสายอากาศต้นแบบเพื่อศึกษาและวัดทดสอบตามวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ได้ผลการวัดจริงที่มีความคลาดเคลื่อนจากผลการจำลองแบบในโปรแกรม ซึ่งอาจมาจากการสร้างชิ้นงานจริงที่บางส่วนมีขนาดเล็กและมีการตัดโค้งและงอจึงทำให้นาอาจคลาดเคลื่อนได้ และจากสภาพแวดล้อมโดยรอบในขณะที่กำลังวัดชิ้นงานจริง

4.7 ผลการวัดอิมพีแดนซ์

เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้งานส่วนใหญ่มีค่าอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม ดังนั้นควรออกแบบสายอากาศให้มีค่าอิมพีแดนซ์ เท่ากับ 50 โอห์ม หรือใกล้เคียงกัน จึงจะทำให้สายอากาศที่ออกแบบมีการทำงานได้ดี จากรูปที่ 4.9 แสดงผลการวัดทดสอบค่าอิมพีแดนซ์สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบ โค้งหงาย ที่ความถี่ 2.1 GHz จากรูปจะเห็นได้ว่า สายอากาศต้นแบบ มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ 49.08 โอห์มซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ยอมรับได้ คือ 50 โอห์ม



รูปที่ 4.9 ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ

4.8 ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (Half Power Beamwidth)

ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (Half Power Beamwidth : HPBW) คือค่าที่บ่งบอกถึงกำลังงานที่ลดลงมาครึ่งหนึ่งของกำลังงานทั้งหมดที่สายอากาศรับได้ หรือค่ากำลังงานที่ลดลงมา 3 dB จากตารางที่ 4.3 ได้ทำการวัดสายอากาศต้นแบบแล้วทำการสรุปลงในตาราง โดยทำการเปรียบเทียบค่า HPBW ในระนาบสนามไฟฟ้าและในระนาบสนามแม่เหล็ก ซึ่งในจะพบว่า ค่า HPBW ของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กแบบ โค้งหงายมีค่าที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับ โค้งคว่ำ เนื่องจากการออกแบบ

สายอากาศไดโพลแม่เหล็กแบบโค้งหงายมีค่าที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับโค้งคว่ำ เนื่องจากการออกแบบของสายอากาศต้นแบบ โค้งหงายจะมีการแผ่คลื่นออกไปด้านหน้าได้ไกลและอัตราขยายที่สูงกว่าแบบโค้งคว่ำ จึงทำให้มีลำคลื่นที่แคบ

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบผลวัด HPBW ของไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า

ความถี่ (GHz)	ไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งคว่ำ		ไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งหงาย	
	ระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane)	ระนาบ สนามแม่เหล็ก (H-Plane)	ระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane)	ระนาบ สนามแม่เหล็ก (H-Plane)
1.7	59	82	50	67
2.1	64	83	52	76
2.6	75	85	61	100

4.9 สรุป

ในบทนี้ได้แสดงการสร้างและวัดทดสอบสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าตัวต้นแบบตามที่ออกแบบไว้ในโปรแกรม CST Microwave Studio 2014 ซึ่งได้เปรียบเทียบระหว่างสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าแบบ (ก) โค้งคว่ำ และแบบ (ข) โค้งหงาย โดยพิจารณาคุณลักษณะของสายอากาศที่ได้จากการวัดทดสอบและได้ค่า S_{11} แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในสนามระยะไกล โพลาริไรซ์ไขว้ อัตราขยาย และอิมพีแดนซ์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งคว่ำและโค้งหงาย พบว่าค่า S_{11} และค่า SWR บ่งบอกว่าสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งคว่ำสามารถทำงานได้ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 1.75 GHz ถึง 3.22 GHz และสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งหงายทำงานได้ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 1.68 GHz ถึง 3.3 GHz ซึ่งสามารถทำงานบนระบบ 3G และ 4G ที่มีช่วงความถี่ที่โทรศัพท์ใช้งานได้ มีแบบรูปการแผ่พลังงานในลักษณะแบบเจาะจงทิศทาง และนำสายอากาศมาวัดโพลาริไรซ์ไขว้ เพื่อดูการรบกวนกันของคลื่นที่แผ่ออกไป และเมื่อนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศที่วัดทดสอบมาเทียบกับผลการจำลองแบบด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio พบว่ามีความใกล้เคียงกัน แต่ยังมีบางส่วนที่คลาดเคลื่อน ซึ่งสาเหตุมาจากความแม่นยำในการสร้างสายอากาศ และขณะวัดทดสอบสายอากาศตลอดจนสภาพแวดล้อมปัจจัยภายนอกที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 5

ข้อสรุปของโครงการ

5.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์คุณลักษณะของสายอากาศ การออกแบบ และสร้างสายอากาศต้นแบบ ด้วยสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า ที่ประกอบไปด้วย ไดโพลไฟฟ้า และไดโพลแม่เหล็กที่ทำงานร่วมกัน โดยใช้เทคนิคในการปรับปรุงร่างของไดโพล ได้ทำการเพิ่มการแมตช์อิมพีแดนซ์และความกว้างแถบกว้างด้วยการป้อนสัญญาณแบบแอมมา มีแบบรูปการแผ่พลังงานที่สมมาตร แบบรูปการแผ่พลังงานแบบเจาะจงทิศทาง และโหนดด้านหลังต่ำ ด้วยการเพิ่มแผ่นกราวด์ด้านหลังและยังช่วยเรื่องอัตราขยายได้ สุดท้ายได้ทำการตัดโค้งสตริปไดโพลไฟฟ้า โดยเปรียบเทียบแบบโค้งคว่ำและโค้งหงาย ซึ่งแบบโค้งคว่ำจะให้ลำคลื่นที่กว้าง และ HPBW ที่มากกว่าแบบโค้งหงาย ในการจำลองสายอากาศใช้โปรแกรม Microwave Studio CST เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้างดงาม และวิทยานิพนธ์ ในส่วนของการสร้าง และทดลองจริงทำให้ได้สายอากาศต้นแบบ 2 ชุดคือสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งคว่ำ ซึ่งสามารถทำงานได้ตั้งแต่ความถี่ 1.75 ถึง 3.22 GHz มีอัตราขยายโดยเฉลี่ย 6.52 dB มี HPBW โดยเฉลี่ย 66 และสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งหงายที่สามารถทำงานได้ตั้งแต่ความถี่ 1.68 ถึง 3.32 GHz มีอัตราขยายโดยเฉลี่ย 7.37 dB มี HPBW โดยเฉลี่ย 54 ซึ่งสายอากาศแบบโค้งคว่ำและแบบโค้งหงายมีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบเจาะจงทิศทาง มีแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่สมมาตร มีการโพลาไรซ์ไขว้ต่ำ และมีค่าอิมพีแดนซ์ประมาณ 49 โอห์ม ดังนั้นการเลือกสายอากาศจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่ใช้งานว่าต้องการในบริเวณกว้างหรือพื้นที่ที่รับสัญญาณได้ไกล

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ในการสร้างสายอากาศต้นแบบมีบางชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็ก คือตัวป้อนสัญญาณรูปแอมมา ไม่สามารถตัดชิ้นงานได้เอง จึงต้องอาศัยเครื่องมือในการตัดชิ้นงานที่ละเอียดขึ้น

5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการออกแบบสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อเพิ่มความกว้างแถบ ด้วยการออกแบบไดโพลไฟฟ้า และไดโพลแม่เหล็กร่วมกัน และเพิ่มเทคนิคการดัดโค้งไดโพลไฟฟ้า หรือการวางสายอากาศไดโพลบนแผ่นสะท้อนและการป้อนสัญญาณรูปแบบมาที่จะช่วยในเรื่องการแมตชิงได้ดี และยังช่วยในเรื่องอัตราขยาย ซึ่งการปรับโครงสร้างของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถทำได้หลากหลายวิธี จากคุณสมบัติข้างต้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้หรือปรับปรุงสายอากาศต่อไปได้และสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นในอนาคต



รายการอ้างอิง

- รังสรรค์ วงศ์สรรค์, **วิศวกรรมสายอากาศ** (พิมพ์ครั้งที่ 3), ศูนย์นวัตกรรมและเทคโนโลยีการศึกษา, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2555.
- Constantine A. Balanis, **Antenna Theory Analysis and Design** (Third Edition), A JOHN Wiley & Sons, INC., Publication, 2005.
- Arpa Thumvichit, Tadashi Takano, and Yukio Kamata, **Characteristics Verification of a Half-Wave Dipole Very Close to a Conducting Plane With Excellent Impedance Matching**, IEEE Transactions on Antennas And Propagation, Vol. 55, No. 1, January 2007.
- Botao Feng, Weijun Hong, Shufang Li, Wenxing An, and Sixing Yin, **A Dual-Wideband Double Layer Magnetolectric Dipole Antenna with a Modified Horned Reflector for 2G/3G/LTE**, Applications, International Journal of Antennas and Propagation, 2013.
- C. L. Mak, K. M. Luk, K. F. Lee, and Y. L. Chow, **Experimental Study of a Microstrip Patch Antenna with an L-Shaped Probe**, IEEE Transactions On Antennas And Propagation, Vol. 48, No. 5, May 2000, pp.777-783.
- Hassan Elkamchouchi, Mustafa Abu Nasr, **The S-Shaped Dipole Antenna**, 4th International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology Proceedings, 2004.
- G. Dubost, **Flat radiating dipoles and applications to arrays**, IEEE Proceedings, Vol. 130, Pt. H, No. 6, October 1983.
- Jun-Hong Wang, Lang Jen, Shui-Sheng Jian, **Optimization of the Dipole Shapes for Maximum Peak Values of the Radiating Pulse**, 0-7803-4178-3/97/\$10.00 © 1997 IEEE.
- Kwai-Man LUK, and Hang WONG, **A New Wideband Unidirectional Antenna Element**, International Journal Of Microwave And Optical Technology Vol. 1, No. 1, June 2006.
- Lei Ge and Kwai Man Luk, **A Magneto-Electric Dipole Antenna with Low-Profile and Simple Structure**, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 12, 2013.
- RANGSAN WONGSAN, **A Wide-Beam Broadcasting Antenna Using a Curved Dipole on Reflector Plane**, 12th WSEAS International Conference on Communications, Heraklion, Greece, 23-25 July, 2008.

Sivanand Krishnan, Le-Wei Li, and Mook-Seng Leong, **A V-Shaped Structure for Improving the Directional Properties of the Loop Antenna**, IEEE Transactions On Antennas And Propagation, Vol. 53, No. 6, June 2005.

Thunyawat Limpiti, and Ajalawit Chantaveerod, **Design of a Magneto-Electric Dipole Antenna for FM Radio Broadcasting Base Station Antenna Implementation**, Progress in Electromagnetics Research M, Vol. 60, pp.75–84, 2017.

Z. Y. Zhang, G. Fu, S. L. Zuo, and T. Ran, **A Shorted Magneto-Electric Dipole with -Shaped Strip Feed**, Progress in Electromagnetics Research Letters, Vol. 12, 2009, pp.119-126.

“ประกาศคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ, หลักเกณฑ์และวิธีการอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่สำหรับกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล (International Mobile Telecommunications - IMT) ย่าน 2.1 GHz พ.ศ. 2555,” พ.ศ. 2555, (2555, 10 กันยายน). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 129 ตอนที่ พิเศษ 130 ง. หน้า 1-53.



The logo of Sakon Nakhon Rajabhat University is a large, faint watermark in the background. It features a central figure of a person sitting on a throne, surrounded by a circular emblem with a crown on top. The entire logo is rendered in a light beige color.

ภาคผนวก ก

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา

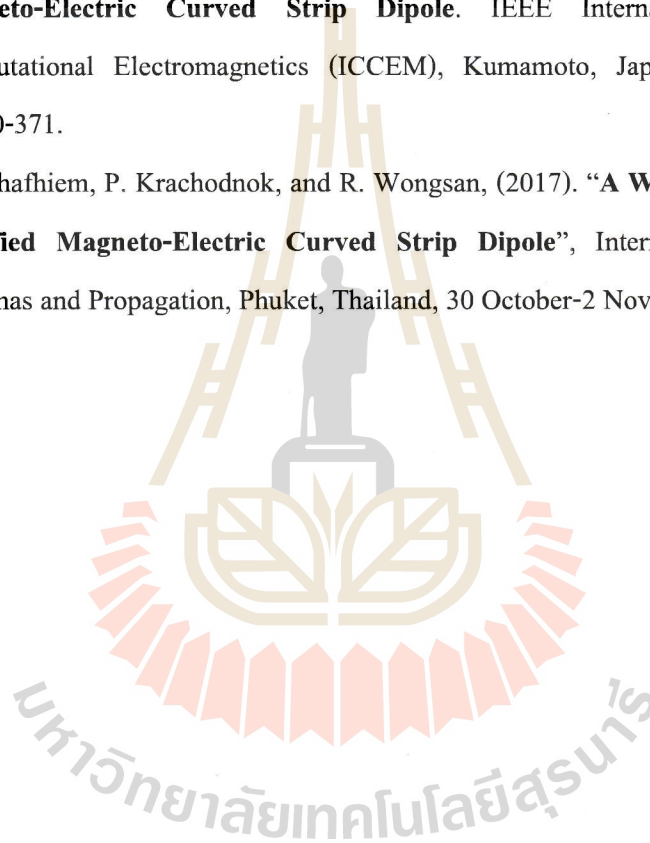
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

Saetia P., Fhafhiem, N., Krachodnok, P. and Wongson, R., (2017). **A Wideband Magneto-Electric Dipole with A Modified Vertical Patch**. International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC), Phuket, Thailand, 11-14 January, 2017. pp.172-173.

Saetia P., Fhafhiem, N., Krachodnok, P. and Wongson, R., (2017). **A Wideband Antenna Using Magneto-Electric Curved Strip Dipole**. IEEE International Conference on Computational Electromagnetics (ICCEM), Kumamoto, Japan, 8-10 March, 2017. pp.370-371.

P. Saetia, N. Fhafhiem, P. Krachodnok, and R. Wongsan, (2017). “**A Wideband Antenna Using Modified Magneto-Electric Curved Strip Dipole**”, International Symposium on Antennas and Propagation, Phuket, Thailand, 30 October-2 November 2017.



A wideband magneto-electric dipole with a modified vertical patch

P. Saetia¹, N. Fhathiem², and P. Krachodnok³

School of Telecommunication Engineering,

Suranaree University of Technology, Nakhonratchasima, Thailand 30000¹

Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala

University of Technology Isan, Nakhonratchasima, Thailand 30000²

M5740802@g.sut.ac.th¹, Nuchanart.f.a@rmuti.ac.th², priam@sut.ac.th³

Abstract

The wireless communications are developed rapidly applied in many fields such as education, economy, and entertainment. Communications systems need to provide more bandwidth of an antenna to support the service. Antenna features include a wide impedance bandwidth, stable gain, and low back radiation. In this paper, a wideband magneto-electric dipole with a modified vertical patch with a Γ -shaped feed is designed. The impedance bandwidth of 63.8% ($SWR < 2$) from the frequency range of 1.71-3.05 GHz is obtained and antenna gain of 7.7-8.8 dBi is found over the operating frequencies, which stable gain.

Keywords: magneto-electric, wideband, vertical patch.

1. Introduction

In recently, the many users used applications on mobile with high speed transfer requirement in 3G and 4G system that are the basis of current technology. Thus, base stations need the antennas with high gain and wide bandwidth to support more services. In addition, they used the method of diversity for increase the capacity of channel [1-4]. This method is to improve the capacity of the signal by using multiple communication channels that provide different features.

The study found that the omnidirectional antenna is the popular in the base station, which the feature is radiation all around [5]. However, some areas have no user, loss power without benefit. Therefore, directional antenna is suitable for some areas such as subway, tunnel and more. The several types of research used a magnetic dipole and electric dipole with a Γ -shaped strip feed [6-7] for increase impedance bandwidth and gain, which data transfer more speed and more quality signal were increased. In this paper, design requirements for antenna by

using the above method for characteristics and features of bandwidth increasing to the application for antenna base station and pointing the direction to the carrier is presented.

2. Antenna design

The detailed structure of the proposed magneto-electric dipole shows in Figure 1. The antenna comprised of the vertical patch for magnetic dipole and horizontal patch for electric dipole. The vertically-oriented short patch dipole has a width of $d=8.5$ mm and a length of $h=35.7$ mm placed in the direction perpendicular to ground plane at an angle of 45 degree. The electric dipole located parallel to the ground with the dimensions of $l=80$ mm and $w=16$ mm, associated with cutting two edges at 45 degrees. The ground plane with the dimension of 200×200 mm² was added for the back radiation reduction. The conclusion of antenna parameters is demonstrated in table 1.

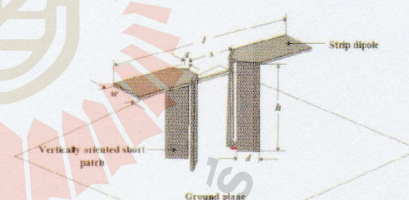


Figure 1: Antenna geometry

Table 1: Parameter of antenna

Parameter	Length (mm)
d	8.5
h	35.7
l	80
s	20
t	6
w	16

3. Simulation result

To analyze the effect of electric and magnetic dipole parameters adjustment, the CST microwave studio software is used. In Figures 2-3, the adjustment of the length of l and the width of w are considered, it can be seen that the length of l effect on changing resonance frequency and impedance matching is an essential part of tuning width of w . After that, when edge of the electric dipole is cut at angle of 45 degrees with $t=6$ mm, while $w=16$ mm, $l=80$ mm, and $h=35.7$ mm stay constant, the operating frequency are better impedance matching demonstrated in Figure 4. Therefore, the vertically-oriented short patch dipole has to point in the direction perpendicular to ground plane at an angle of 45 degree. It is the adjustment of the placing position of magnetic dipole. The impedances of wide bandwidth are improved as seen the compared vertical patch positions in Figure 5.

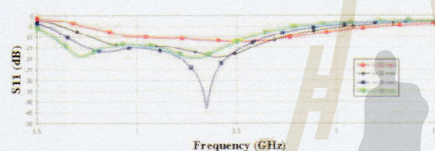


Figure 2. Simulated result of S11 with different l

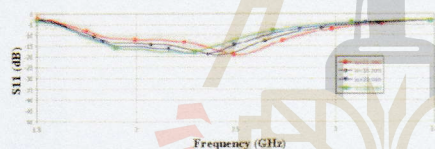


Figure 3. Simulated result of S11 with different w

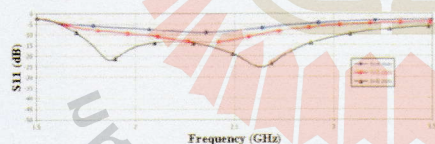


Figure 4. Simulated result of S11 with different t

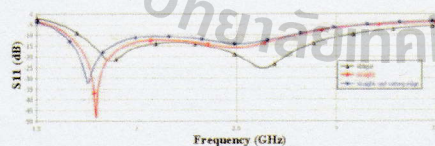


Figure 5. Simulated result of S11 with different vertical patch positions

Figure 6 is the simulation resulted of antenna gain, it achieved around 8-9 dBi in the resonance frequency of 1.7 GHz - 3 GHz, can be seen that gain is stable suitable to use all the operating frequencies.

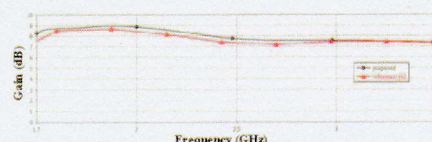


Figure 6. Simulated result of gain

4. Conclusion

In this paper, the design of wideband and high gain magneto-electric dipole with a modified vertical patch is presented. The proposed antenna was achieved the impedance bandwidth of 63% (1.71-3.05 GHz) and stable antenna gain around 9 dBi.

References

- [1] M. Sonkki, E. Antonino-Daviu, M. Ferrado-Bataller, and E. T. Salonen, "Planar Wideband Polarization Diversity Antenna for Mobile Terminals," *Antennas and Wireless Propagation Letters*, IEEE, no.99 pp.1-1, 2011.
- [2] R. G. Vaughan, and J. B. Andersen, "Antenna diversity in mobile communications," *Vehicular Technology*, IEEE Transactions on, vol. 36, no.4 pp.149-172, 1987.
- [3] W. K. Toh, Z. N. Chen, X. Qing, and T. See, "A planar UWB diversity antenna," *Antenna and Propagation*, IEEE Transactions on, vol.57, no.11 pp.3467-3473, 2009.
- [4] Bi Qun Wu, and K. M. Luk, "A broadband dual-polarized magneto-electric dipole antenna with simple feeds," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 8, pp. 60-63, 2009.
- [5] X. Quan, and R. Li, "A broadband dual-polarized omnidirectional antenna for base stations," *Antenna and Propagation*, IEEE Transactions on, vol.61, no.2 pp.943-947, 2013.
- [6] K. M. Luk, and H. Wong, "A new wideband unidirectional antenna element," *International Journal Microwave and Optical Technology*, vol. 1, no. 1, pp. 35-44, Jun. 2006.
- [7] Z. Y. Zhang, G. Fu, S. L. Zuo, and T. Ran, "A shorted magneto-electric dipole with Γ -shaped strip feed," *Progress In Electromagnetic Research*, vol.12, pp. 119-126, 2009.

A Wideband Antenna Using Magneto-Electric Curved Strip Dipole

P. Saetia¹, N. Fhahiem², P. Krachodnok³, and R. Wongson⁴
 School of Telecommunication Engineering, Institute of Engineering
 Suranaree University of Technology, Nakhonratchasima, Thailand¹
 Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,
 Rajamangala University of Technology Isan, Nakhonratchasima, Thailand²
 E-mail: M5740802@e.sut.ac.th, Nuchanart_fa@rmuti.ac.th
 priam@sut.ac.th, and rangsan@sut.ac.th

Abstract—The important factor increased the efficiency of the antenna to support the user in the current technology is necessary wide impedance bandwidth, high gain, and low back radiation. In this paper, the antenna composed of the curved strip electric dipole and the vertically-oriented short patch is presented. The magnetic dipole is placed to point in the direction perpendicular to ground plane at an angle of 45 degree, fed by r-shaped strip. The impedance bandwidth of 65.23% (SWR<2) from the frequency range of 1.69-3.06 GHz is obtained and the antenna gain of 9 dBi is found over the operating frequencies, which is stable gain.

Keywords—wideband; magneto-electric; vertical patch

I. INTRODUCTION

Nowadays, base station antennas are essential to the transferring of the data in the current technology for 3G and 4G systems. The studies found that the dipole antenna was applied widely because the structure was simple to design and build. There were the technique to adjust the shape of the dipole in various ways such as the introduction of the inverted bell shaped dipole [1] and the slightly arms bending of a dipole to reduce the side lobe of the antenna. In addition, the method increased the gain of the antenna was to use reflector adding at the back of the antenna such as curved shaped dipole antenna [2] and v-shaped [3]. Furthermore, the dipole antenna was placed near the conductor patch [4], which the mention analyzed matching. The method applied to use the curved wire dipole antenna with semicircular shaped was shorted on reflector plane [5-6].

In this paper, the antenna design with arms curving of the electric dipole and the vertically-oriented short patch dipole which pointed in the direction perpendicular to ground plane at an angle of 45 degree is presented. The impedance bandwidth of 65.23% (SWR<2) from the frequency range of 1.69-3.06 GHz is obtained. The antenna gain around 8-9 dBi is found over the operating frequencies, which gain is stable.

II. ANTENNA DESIGN

The proposed magneto-electric dipole antenna is shown in Fig. 1. The antenna composed of the curved strip electric dipole and the vertically-oriented shorted patch on the ground plane, with the dimensions of 200×200 mm², the width of

d=8.5 mm, and the height of h=35.7 mm ($\lambda/4$). The vertical patch is placed in the direction perpendicular to ground plane at an angle of 45 degree. The curved electric dipole located on the ground with the dimensions of l=79 mm and w=16 mm, associated with cutting two edges at 45 degree. In this study, there are two types of the electric dipole, curved strip dipole (Fig. 1(a)) and upturned curved strip dipole (Fig. 1(b)), respectively.

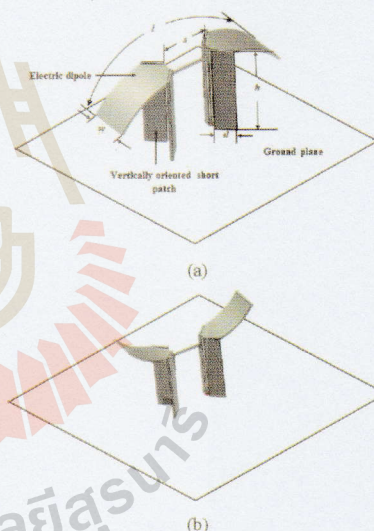


Fig. 1. Antenna Geometry (a) curved strip dipole and (b) upturned curved strip dipole

III. SIMULATION RESULTS

To analyze the effect of electric and magnetic dipole parameters, the CST microwave studio software is analyzed. As seen the compared vertical patch positions in Fig. 2-3, the length of l effects on changing resonance frequency and the impedance matching is an essential part of tuning width of w (type A, red line). When the arms of the electric dipole are cut at angle at 45 degrees with $t=6$ mm, the impedance matching at low frequency is better (type B, blue line). In the proposed antenna (type C), the vertically-oriented short patch dipole has to point in the direction perpendicular to ground plane at an angle of 45 degree. It is the adjustment of the placing position of magnetic dipole. Matched impedances are still hold-in operating frequency range, also the wide bandwidth are improved as seen the compared vertical patch positions in Fig. 2.

The curved strip dipole and the upturned curved strip dipole are considered as demonstrated in Fig. 4. It is founded that the VSWR is less than 1.5 dB in the frequency range between 1.77 GHz - 2.89 GHz when the curved strip dipole is used; also the good impedance matching at middle frequency band is occurred. While the upturned curved strip dipole displays a better bandwidth (in frequency range of 1.69-3.06 GHz).

Fig.5 shows the radiation pattern in difference curves and difference frequency. The beam is in specific direction with the resulted antenna gain around 6-9 dBi in the resonance frequency between 1.7 GHz - 3 GHz, that can be seen that gain is stable suitable to use all the operating frequencies when the upturned curved strip dipole is proposed (seen in Fig. 6).

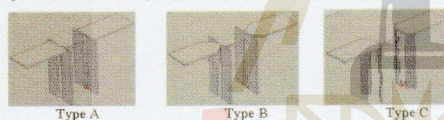


Fig. 2. Different vertical patch positions

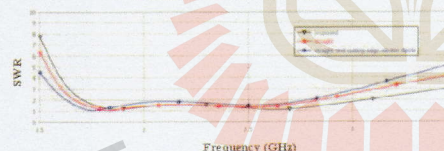


Fig. 3. Simulated SWR results with different vertical patch positions

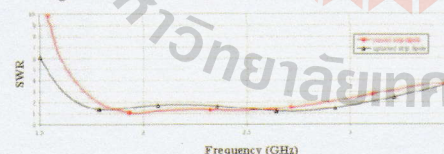


Fig. 4. Simulated SWR results with different curved electric dipole

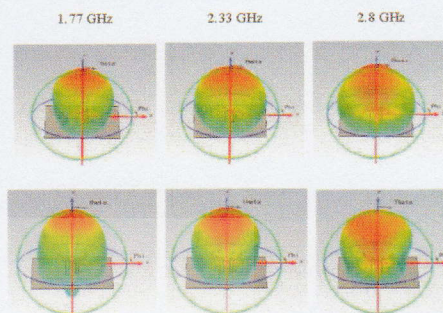


Fig. 5. Radiation pattern at 1.77 GHz, 2.33 GHz, and 2.89 GHz

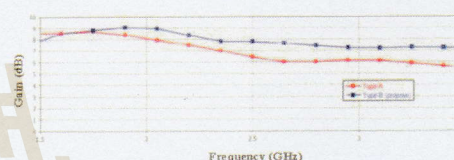


Fig. 6. Simulated result of gain

IV. CONCLUSION

In this paper, a wideband antenna using magneto-electric upturned curved strip dipole is designed by using CST microwave studio software. The proposed antenna was achieved the impedance bandwidth of 65.23% (1.69-3.06 GHz), stable antenna gain around 7-9 dBi and the radiation pattern is stable, which reduce side radiation lobe.

REFERENCES

- [1] H. Elkamchouchi, and M. Abu Nasr, "The S-shaped dipole antenna," International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology Proceeding, pp. 19-22, 2004.
- [2] H. Yoon, Y. Yoon, H. Kim, and C. H. Lee, "Flexible ultra-wideband polarization diversity antenna with band-notch function," *Microwaves, Antennas & Propagation, IET*, vol. 5, no.12 pp.1463-1470, 2011.
- [3] C. I. Paez, "Design and evaluation of curved dipoles antenna optimum," *Latin America Transactions IEEE*, vol. 7, pp. 613-619, 2009.
- [4] S. Krishnan, L.-W. Li and M.-S. Leong, "A v-shaped structure for improving the directional properties of the loop antenna," *IEEE Transaction on Antenna and Propagation*, vol.53, pp. 2114-2117, 2005.
- [5] G. Dubost, "Flat Radiating dipoles and applications to arrays," *Research Studies Press A Division of John Wiley & Sons LTD.*, pp.28-36, 1981.
- [6] Pimpol, S. and Wongsan, R. "A wide-beam broadcasting antenna using a curved dipole on reflector plane," *WSEAS International on Communications*, pp. 271-276, 2008.

A Wideband Antenna Using Modified Magneto-Electric Curved Strip Dipole

P. Saetia, P. Krachodnok, and R. Wongsan
School of Telecommunication Engineering,
Suranaree University of Technology, Nakhonratchasima, Thailand
M5740802@g.sut.ac.th, priam@sut.ac.th, and rangsan@sut.ac.th

Abstract—The important factors increased the efficiency of the antenna to support users in the current technology are necessary wide impedance bandwidth, high gain, and low back radiation. In this paper, the antenna composed of the curved strip electric dipole and the vertically-oriented short patch is presented. The measured impedance bandwidth of 60.9% (SWR<2) from the frequency range of 1.62-2.9 GHz is obtained and the maximum gain of 8.7 dBi is found over the operating frequencies.

Keywords—wideband; magneto-electric; curved strip dipole.

I. INTRODUCTION

Recently, the dipole antenna is popular to use for the wireless communication technology to support the high-speed transferring of the data and cover in areas of the users. The previous studies, the dipole antenna and patch antenna were applied in various applications due to its simple structure and easy to design with modified shapes [1]-[3]. The technique to adjust the shape of the dipole and patch antenna had many ways such as the bowtie shaped dipole to increase impedance bandwidth [2] but the radiation pattern is not stable and V-shaped antenna to improving the directional properties [4]. However, the dipole antenna gain was lower to apply in various applications [5]. The method increased the gain of the antenna was to use adjustment of feed such as L-probe coupled patch antenna [6]. Moreover, the electric and magnetic dipole are designed together to provide wide bandwidth, high gain, and symmetric radiation pattern [5]. In this paper, the antenna designed by using two curving arms of electric dipole and vertically-oriented shorted patch dipole on ground plane with placing in the direction perpendicular to ground plane and oblique placing at an angle of 45 degree is presented.

II. ANTENNA DESIGN

In this paper, the antenna is designed by using electric dipole and magnetic dipole to provide wide bandwidth and high gain. Basically, the electrical dipole and magnetic dipole are illustrated in Fig. 1(a) and (b), the electric and the magnetic dipole to be designed with the length of $\lambda/2$ and the height of $\lambda/4$, respectively. Fig. 1(c) shows the magneto-electric dipole ordinary which the electric dipole and magnetic

dipole are combined. As simulated results shown in Fig.2, the electric dipole can be operating at lower frequency and magnetic dipole is working at higher frequency, however they are narrowband. When the both of dipoles are combined, better bandwidth is obtained. To improve to wideband antenna, the magneto-electric dipole modified by using the curving of the electric dipole with the length of $L=79$ mm and the width of $W=16$ mm located parallel on the ground plane associated with the modified vertically-oriented shorted patch is mentioned in the paper. As shown in the Fig.3, the vertical patch is placed on the ground plane with the direction perpendicular to ground plane at an angle of 45 degree with the height of $H=35.7$ mm ($\lambda/4$) and the width of $d=8.5$ mm. The ground plane has the dimension of 200×200 mm².

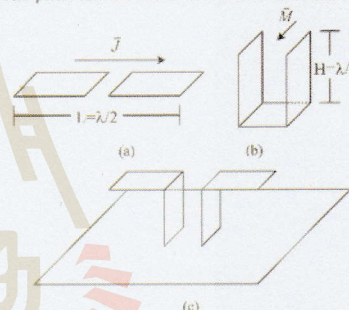


Fig. 1. (a) Electric dipole, (b) Magnetic dipole, and (c) Magneto-electric dipole (Ordinary).

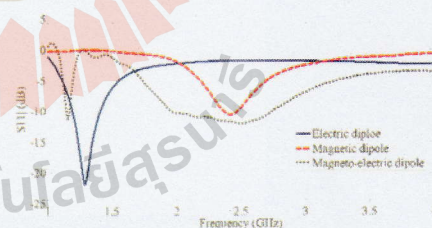


Fig. 2. S_{11} result of Electric dipole, magnetic dipole, and magneto-electric dipole.

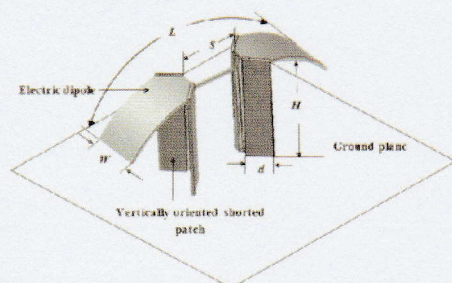


Fig. 3. Proposed antenna structure.

TABLE I. PARAMETERS OF ANTENNA

Parameter	Length (mm)
d	8.5
H	35.7
L	80
S	20
W	16

III. RESULTS

As the restructuring of the magneto-electric dipole antenna shown in Fig.3, S_{11} results which these are prepared between magneto-electric dipole is illustrated in Fig.4. The adjustment of the arms bending of the electric dipole and adjust the vertical patch as seen in Fig.4, is wide bandwidth and good impedance matching, using the r-shaped strip feed to help the impedance matching. The measurement result is good agreed with the simulation result, the coverage operating frequencies from 1.78-2.88 GHz ($VSWR \leq 2$). The antenna gain result is plotted in Fig.5, it is achieved in the range of 6-8.65 dBi due to its ground plane to reflect waves for the higher gain.

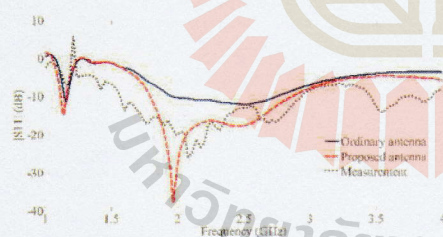
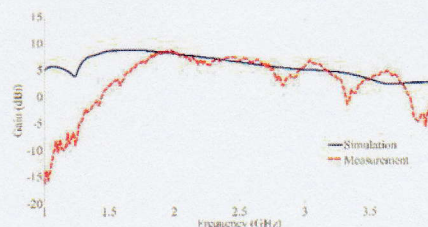
Fig. 4. S_{11} of magneto-electric curved strip dipole antenna.

Fig. 5. Gain of magneto-electric curved strip dipole antenna.

CONCLUSIONS

In this paper, a wideband antenna using modified magneto-electric curved strip dipole is designed. The proposed antenna is obtained the impedance bandwidth of 60.9% ($SWR < 2$) and covered operating frequencies from 1.62-2.9 GHz. The antenna gain achieved in the range of 6-8.7 dBi is found over the operating frequency.

REFERENCES

- [1] K. M. Luk, and H. Wong, "A new wideband unidirectional antenna element," *International Journal of Microwave and Optical Technology*, vol. 1, no. 1, pp. 35-44, June 2006.
- [2] J. J. Xie, S. L. Deng, and Y. Z. Yin, "A wideband magneto-electric dipole antenna using CPW structure," *Progress In Electromagnetics Research C*, vol. 41, pp. 217-226, 2013.
- [3] P. Sactia, N. Haffien, P. Kraehodnok, and R. Wongson, "A wideband antenna using magneto-electric curved strip dipole," *IEEE International Conference on Computational Electromagnetics (ICCEM)*, pp. 370-371, 2017.
- [4] S. Krishnan, L. W. Li, and M. S. Leong, "A V-shaped structure for improving the directional properties of the loop antenna," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 53, no. 6, pp. 2114-2117, June 2005.
- [5] L. Ge, and K. M. Luk, "A wideband magneto-electric dipole antenna," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 60, no. 11, pp. 4987-4991, November 2012.
- [6] H. Wong, K. L. Lau, and K. M. Luk, "Design of dual-polarized L-probe patch antenna arrays with high isolation," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 52, no. 1, pp. 45-52, January 2004.

ประวัติผู้เขียน

นางสาวปานหทัย แซ่เตีย เกิดเมื่อวันที่ 5 พฤศจิกายน พุทธศักราช 2534 ที่จังหวัดอุดรธานี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาปีที่ 1-6 แผนกวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จากโรงเรียนสุนารีวิทยา 2 จังหวัดนครราชสีมา จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อปีพุทธศักราช 2553 และสำเร็จการศึกษาปริญญาตรีในปีพุทธศักราช 2556 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท ด้านสาขาอากาศ สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ระหว่างศึกษาได้เสนอบทความและเข้าร่วมงานประชุมในงานวิชาการนานาชาติ 16th International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC 2017) ณ โรงแรมฮิลตัน จังหวัดภูเก็ต ประเทศไทย วันที่ 11 - 14 มกราคม 2560 ในหัวข้อ A Wideband Magneto-Electric Dipole with A Modified Vertical Patch ต่อมาได้นำเสนอบทความในงานประชุมวิชาการนานาชาติ IEEE International Conference on Computational Electromagnetics (ICCEM) ณ Parea Kumamoto Prefectural Community Center ประเทศญี่ปุ่น วันที่ 8-10 มีนาคม 2560 ในหัวข้อ A Wideband Antenna Using Magneto-Electric Curved Strip Dipole และในงานประชุมวิชาการนานาชาติ International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP) ณ จังหวัดภูเก็ต ประเทศไทย วันที่ 30 ตุลาคม – 2 พฤศจิกายน 2560 ในหัวข้อ A Wideband Antenna Using Modified Magneto-Electric Curved Strip Dipole