



รายงานการวิจัย

สายอากาศแถบความถี่กว้างที่ใช้สตริปไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า
สำหรับประยุกต์ใช้ไดเวอร์ซิตีเชิงการโพลาไรซ์
(Wideband Antennas Using Magneto-electric Curved Strip
Dipole for Polarization Diversity Applications)



ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ข

รหัสโครงการ SUT7-709-60-12-12



รายงานการวิจัย

สายอากาศแถบความถี่กว้างที่ใช้สตริปไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า
สำหรับประยุกต์ใช้ไดเวอร์ซิตีเชิงการโพลาไรซ์
(Wideband Antennas Using Magneto-electric Curved Strip
Dipole for Polarization Diversity Applications)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

รองศาสตราจารย์ ดร. ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2560

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

พฤษภาคม 2564

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สามารถดำเนินการได้ และได้รับผลสำเร็จบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ทุกประการ โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2560 สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบคุณบิดามารดาและครอบครัว ซึ่งให้การสนับสนุนและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา

ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์



บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการสื่อสารไร้สายได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว โดยมีความต้องการใช้บริการในหลายๆ ด้าน เช่น การบันเทิง การศึกษา เศรษฐกิจ การแพทย์ และอื่นๆ ส่งผลให้มีจำนวนผู้ใช้บริการในระบบการสื่อสารไร้สายเพิ่มขึ้น และผู้ใช้บริการต้องการการส่งข้อมูลที่มีความเร็วสูงเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงทำให้ระบบสื่อสารไร้สายจำเป็นต้องจัดเตรียมแถบความถี่ที่กว้างมากขึ้น เพื่อรองรับการใช้งานของผู้ใช้บริการ จากปัญหาดังกล่าว จึงมีหลายงานวิจัยได้นำเสนอการสร้างสายอากาศที่มีแถบความถี่กว้าง และศึกษาคุณลักษณะต่างๆ ที่ต้องการของสายอากาศ ได้แก่ การเพิ่มอัตราขยาย แบบรูปการแผ่พลังงานแบบเจาะจงทิศทางที่เสถียร มีการแผ่พลังงานไปด้านหลังต่ำ และมีการโพลาไรซ์ไขว้ต่ำ จากการศึกษางานวิจัยพบว่าสายอากาศไดโพลและสายอากาศแพทช์เป็นที่นิยมนำมาใช้งานในด้านการสื่อสารไร้สาย เนื่องจากมีโครงสร้างที่ง่าย สามารถดัดแปลงรูปร่างได้หลากหลาย น้ำหนักเบา และราคาถูก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้สายอากาศไดโพลในการออกแบบ โดยใช้เทคนิคที่น่าสนใจคือ ไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า (Magneto-Electric dipole) ซึ่งประกอบด้วยไดโพลไฟฟ้า (Electric Dipole) และไดโพลแม่เหล็ก (Magnetic Dipole) ที่ทำงานร่วมกันโดยใช้การป้อนสัญญาณแบบแอมป์เพื่อเพิ่มการแมตช์อิมพีแดนซ์ ทำให้มีแถบความถี่กว้าง มีแบบรูปการแผ่พลังงานที่สมมาตรทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก นอกจากนั้นได้เพิ่มการตัดโค้งของไดโพลไฟฟ้าและเพิ่มแผ่นกราวด์ ซึ่งส่งผลให้อัตราขยายเพิ่มขึ้น ลดโวลต์ด้านหลัง มีโพลาไรซ์ไขว้ต่ำ และมีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบเจาะจงทิศทาง ซึ่งการจำลองสายอากาศจะใช้โปรแกรม CST Microwave Studio เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์ สุดท้ายได้สร้างสายอากาศต้นแบบขนาด 200 x 200 มิลลิเมตร ที่สามารถรองรับความถี่ 1.67 ถึง 3.32 GHz และมีอัตราขยายโดยประมาณ 7.3 dB หลังจากนั้นงานวิจัยนี้ได้ออกแบบสายอากาศที่มีอัตราขยายสูงและแบนด์วิดท์กว้างโดยใช้สตริปไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับประยุกต์ใช้ไดเวอร์ซิตีเชิงการโพลาไรซ์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศและเพิ่มความน่าเชื่อถือของสัญญาณเพื่อรองรับผู้ใช้ในเทคโนโลยีไร้สาย ซึ่งประกอบด้วยสตริปไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าสองต้นวางไขว้กันสำหรับการใช้งานแบบโพลาไรซ์แบบคู่ ซึ่งสตริปไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าจะวางตั้งฉากกับระนาบกราวด์ทำมุม ± 45 องศา และป้อนด้วยสตริปรูป Γ ไขว้กันสองแถบ ส่งผลให้สายอากาศมีแบนด์วิดท์อิมพีแดนซ์ 71.42% (SWR < 2) จากช่วงความถี่ 1.8 GHz ถึง 3.3 GHz โดยมีอัตราขยายสูงสุด 9.8 dB และมีแบบรูปการแผ่พลังงานที่เสถียร มี Input isolation มากกว่า 30 dB ในช่วงแบนด์วิดท์กว้าง ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับสายอากาศของสถานีฐานสำหรับเครือข่าย 4G / LTE

Abstract

Nowadays, wireless communication has developed rapidly to satisfy the increase in area requirement, especially for entertainment and education. 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 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. After that this research proposed the high gain and wideband antenna composed of two crossed magneto-electric curved strip dipoles for polarization diversity applications, increased the efficiency of the antenna and reliability of the signals to support users in the current wireless technology is the necessary wide impedance bandwidth, high gain, low back radiation, and dual-polarized. Two cross elements of the magneto-electric dipole are placed perpendicular on the ground plane at an angle of ± 45 degrees, fed by the two crossed Γ -shaped strip. The impedance bandwidth of 71.42% (SWR<2) from the frequency range of 1.8 GHz to 3.3 GHz is obtained with the maximum gain of 9.8 dB and a stable radiation pattern. Input isolation exceeding 30 dB has been obtained in the wide bandwidth. Thus, it can be potentially used as a base station antenna for 4G/LTE networks.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญภาพ	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 สมมุติฐานของการวิจัย	2
1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 กล่าวนำ	4
2.2 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง	4
2.3 ทฤษฎีและกรอบแนวคิดของโครงการวิจัย	10
2.4 สรุป	17
บทที่ 3 สายอากาศแถบความถี่กว้างที่ใช้สตริปไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับประยุกต์ใช้ไดเวอร์ซิตีเชิงการโพลาไรซ์	18
3.1 บทนำ	18
3.2 การออกแบบสายอากาศสตริปไดโพลไฟฟ้า	18
3.3 การออกแบบสายอากาศไดโพลแม่เหล็ก	21
3.4 การออกแบบไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า	24
3.5 การแมตซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศสตริปไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบตรง โดยการใช้การป้อนสัญญาณแบบแกมมา	26
3.6 การเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศสตริปไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบตรง ด้วยการเพิ่มแผ่นกราวด์	29

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.7 การออกแบบสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า	30
3.8 การออกแบบสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าแบบแบบตัดขอบ	38
3.9 การออกแบบและจำลองสายอากาศไดเวอร์ซิตีเชิงการโปลาไรซ์	42
3.10 สรุป	45
บทที่ 4 การทดสอบชิ้นงานและวิเคราะห์ผล	46
4.1 บทนำ	46
4.2 การสร้างและวัดผลสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า	46
4.3 การสร้างและวัดผลสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบไดเวอร์ซิตีเชิงการโปลาไรซ์	56
4.4 สรุป	59
บทที่ 5 บทสรุป	60
5.1 สรุปผลการวิจัย	60
5.2 แนวทางในการพัฒนาต่อไป	60
บรรณานุกรม	61
ประวัติผู้เขียน	63



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 สตรีปไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าร่วมกับการป้อนคลื่นด้วยสตรีปรูปแกมมา	2
รูปที่ 2.1 สายอากาศที่มีการตัดเป็นรูปตัวเอส	5
รูปที่ 2.2 สายอากาศเส้นลวดรูปประฆังคว่ำ	6
รูปที่ 2.3 สายอากาศเส้นลวดรูปแบบต่าง ๆ	6
รูปที่ 2.4 สายอากาศที่มีลักษณะรูปโค้งทำมุมเป็นรูปตัววีบนแผ่นสะท้อน	6
รูปที่ 2.5 สายอากาศไดโพลบนแผ่นตัวนำ	7
รูปที่ 2.6 สายอากาศไดโพลแบบไฟฟ้า แม่เหล็ก และแม่เหล็กไฟฟ้า	8
รูปที่ 2.7 สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า	9
รูปที่ 2.8 สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบหูกกระต่าย (bowtie)	9
รูปที่ 2.9 สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบพับ	9
รูปที่ 2.10 สายอากาศไดโพล	10
รูปที่ 2.11 สายอากาศไดโพลแบบตัววีกลับหัว	11
รูปที่ 2.12 ลักษณะการโพลารไรซ์ของสายอากาศไดโพล	12
รูปที่ 2.13 การแมตช์แบบแกมมาและวงจรสมมูลของการแมตช์แบบแกมมา	13
รูปที่ 2.14 การป้อนสัญญาณแบบแกมมา	13
รูปที่ 2.14 การป้อนสัญญาณแบบแกมมา	15
รูปที่ 2.16 การเปลี่ยนแปลงตามเวลาของ E_x และ E_y บนระนาบคงที่	16
รูปที่ 3.1 สตรีปไดโพลไฟฟ้า	19
รูปที่ 3.2 ค่า S_{11} ของสตรีปไดโพลไฟฟ้าแบบตรง	19
รูปที่ 3.3 ค่า S_{11} ของไดโพลไฟฟ้าที่ปรับพารามิเตอร์ w	20
รูปที่ 3.4 ค่า S_{11} ของไดโพลไฟฟ้าที่ปรับพารามิเตอร์ l	20
รูปที่ 3.5 ค่า S_{11} ของไดโพลไฟฟ้าที่ปรับพารามิเตอร์ s	20
รูปที่ 3.6 แบบรูปการแผ่พลังงานของไดโพลไฟฟ้า	21
รูปที่ 3.7 สายอากาศไดโพลแม่เหล็ก	22
รูปที่ 3.8 ค่า S_{11} ของไดโพลแม่เหล็ก	22
รูปที่ 3.9 ค่า S_{11} ที่ปรับพารามิเตอร์ w ของไดโพลแม่เหล็ก	23
รูปที่ 3.10 ค่า S_{11} ที่ปรับพารามิเตอร์ H ของไดโพลแม่เหล็ก	23
รูปที่ 3.11 แบบรูปการแผ่พลังงานของไดโพลแม่เหล็ก	23

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.12 สายอากาศสตริปไดโพล (ก) ไดโพลไฟฟ้า (ข) ไดโพลแม่เหล็ก (ค) ไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า	24
รูปที่ 3.13 ผลการจำลองแบบค่า S_{11} ของไดโพลไฟฟ้าและไดโพลแม่เหล็ก	25
รูปที่ 3.14 ไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการป้อนสัญญาณแบบ Discrete Port	25
รูปที่ 3.15 เปรียบเทียบค่า S_{11} ของไดโพลไฟฟ้าไดโพลแม่เหล็ก และไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า โดยใช้ การป้อนสัญญาณแบบ Discrete Port	25
รูปที่ 3.16 แบบรูปการแผ่พลังงานของไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า โดยใช้การป้อนสัญญาณแบบ Discrete Port	26
รูปที่ 3.17 ไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการป้อนสัญญาณแบบแกมมา (Γ -Shaped Strip Feed)	27
รูปที่ 3.18 การป้อนสัญญาณแบบ Probe Feed, L - Feed และ Γ - Feed	27
รูปที่ 3.19 สนามไฟฟ้าโดยเปรียบเทียบระหว่างการป้อนสัญญาณแบบ (ก) Probe Feed (ข) L-Feed และ (ค) Γ - Feed	28
รูปที่ 3.20 แบบรูปการแผ่พลังงานของไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการป้อนสัญญาณแบบแกมมา (Γ -Shaped Strip Feed)	29
รูปที่ 3.21 สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการป้อนสัญญาณแบบแกมมาและเพิ่มขนาดของ แผ่นกราวด์	29
รูปที่ 3.22 ค่า S_{11} ของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการป้อนสัญญาณแบบแกมมาและ เพิ่มขนาดของแผ่นกราวด์	30
รูปที่ 3.23 ไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า (ก) แบบโค้งคว่ำ (ข) แบบโค้งหงาย	31
รูปที่ 3.24 ค่า S_{11} ของไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า (ก) แบบโค้งคว่ำ (ข) แบบโค้งหงาย	31
รูปที่ 3.25 สนามไฟฟ้าของไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า	32
รูปที่ 3.26 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า	33
รูปที่ 3.27 การเปรียบเทียบค่า S_{11} ของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า	34
รูปที่ 3.28 อัตราขยายของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า โดยการเปรียบเทียบระหว่างแบบตรง แบบโค้งคว่ำ และแบบโค้งหงาย	34
รูปที่ 3.29 โพลาริไซซ์ของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งคว่ำที่ความถี่ (ก) 1.7 GHz (ข) 2.1 GHz และ (ค) 2.6 GHz	36
รูปที่ 3.30 โพลาริไซซ์ของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งหงายที่ความถี่ (ก) 1.7 GHz (ข) 2.1 GHz และ (ค) 2.6 GHz	37
รูปที่ 3.31 โครงสร้างสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าที่นำเสนอ	39

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.32 เปรียบเทียบค่า S_{11} สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าที่นำเสนอ	39
รูปที่ 3.33 เปรียบเทียบค่า VSWR สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าที่นำเสนอ	39
รูปที่ 3.34 แบบรูปการแผ่พลังงานที่ความถี่ (ก) 1.7 GHz, (ข) 2.1 GHz, and (ค) 2.7 GHz	40
รูปที่ 3.35 สนามไฟฟ้าที่ความถี่ (ก) 1.7 GHz, (ข) 2.1 GHz, and (ค) 2.7 GHz	41
รูปที่ 3.36 อัตราขยาย	42
รูปที่ 3.37 โครงสร้างสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าแบบไดเวอร์ซิตีเชิงการโพลาไรซ์	43
รูปที่ 3.38 ค่า S-parameter ของสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าแบบไดเวอร์ซิตีเชิงการโพลาไรซ์	43
รูปที่ 3.39 ค่าอัตราขยายของสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าแบบไดเวอร์ซิตีเชิงการโพลาไรซ์	44
รูปที่ 3.40 แบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าแบบไดเวอร์ซิตีเชิงการโพลาไรซ์ ที่ความถี่ (ก) 1.7 GHz, (ข) 2.1 GHz, and (ค) 2.7 GHz	44
รูปที่ 4.1 สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้ง ต้นแบบ	48
รูปที่ 4.2 การวัด S_{11} ของไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งหงาย	49
รูปที่ 4.3 ค่า S_{11} ที่ได้จากการวัดไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า (ก) แบบโค้งคว่ำ (ข) แบบโค้งหงาย	49
รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบค่า SWR ที่ได้จากการวัดของสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า	50
รูปที่ 4.5 การวัดอัตราขยายของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโค้งต้นแบบ	51
รูปที่ 4.6 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า (ก) แบบโค้งคว่ำ และ (ข) แบบโค้งหงาย ที่ความถี่ต่างๆ	52
รูปที่ 4.7 เวกเตอร์สนามไฟฟ้าของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งคว่ำ (ก) ระนาบ xz และ (ข) ระนาบ yz	53
รูปที่ 4.8 เวกเตอร์สนามไฟฟ้าของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งหงาย (ก) ระนาบ x-z และ (ข) ระนาบ y-z	53
รูปที่ 4.9 ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ	56
รูปที่ 4.10 สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบไดเวอร์ซิตีเชิงการโพลาไรซ์ต้นแบบ	57
รูปที่ 4.11 ผลวัดสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบไดเวอร์ซิตีเชิงการโพลาไรซ์ต้นแบบ (ก) S-parameter (ข) SWR.	57
รูปที่ 4.12 ผลวัดสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบไดเวอร์ซิตีเชิงการโพลาไรซ์ต้นแบบ	58

สารบัญตาราง

	หน้า
รูปที่ 3.22 ค่า S_{11} ของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการป้อนสัญญาณแบบแอมมา และเพิ่มขนาดของแผ่นกราวด์	30
ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบอัตราขยายระหว่างโครงสร้างไดโพล 3 แบบ	35
ตารางที่ 3.3 เปรียบเทียบผลการจำลองแบบ HPBW ของไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า	35
ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์สายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า	43
ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สร้างสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า	47
ตารางที่ 4.2 อัตราขยายระหว่างผลการจำลองแบบและผลการวัดทดสอบ	55
ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบผลวัด HPBW ของไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า	56

บทที่ 1

บทนำ

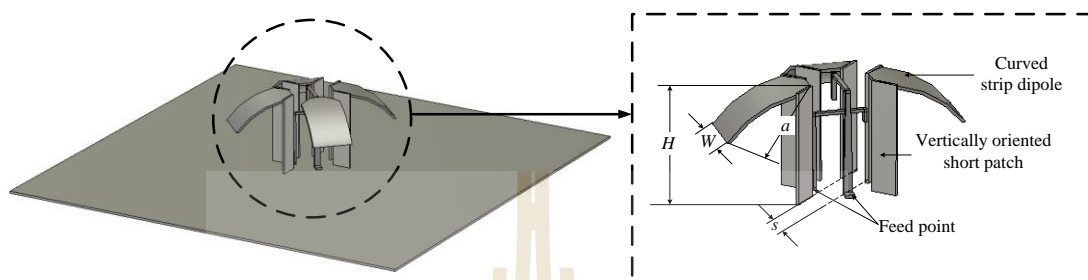
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ความต้องการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการสื่อสารนั้นมีมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายเป็นที่นิยมและใช้กันอย่างแพร่หลาย ทั้งในด้านการศึกษา อุตสาหกรรม การเมือง เป็นต้น โดยสายอากาศจะทำหน้าที่ในการแผ่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกไปในอากาศ เมื่อมีผู้ใช้งานสื่อสารแบบไร้สายเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก ดังนั้นสายอากาศในสถานีฐานควรมีอัตราขยายและแบนด์วิดท์ที่เพียงพอเพื่อรองรับการให้บริการที่มากขึ้น และเมื่อมีปริมาณผู้ใช้เพิ่มขึ้นกระจายไปในพื้นที่ต่างๆ จึงจำเป็นต้องเพิ่มสถานีฐานเพื่อรองรับผู้ใช้บริการด้วย แต่อย่างไรก็ตาม ความถี่ที่ถูกจัดสรรให้การสื่อสารแต่ละประเภทมีจำกัด ดังนั้นจึงทำให้มีความถี่ไม่เพียงพอสำหรับผู้ใช้บริการ และเกิดการรบกวนสัญญาณระหว่างผู้ใช้ นอกจากนี้ยังเกิดการสะท้อนคลื่นหลายวิถีจากสิ่งแวดล้อมด้วย เช่น การสะท้อนคลื่นเนื่องจากอาคารและต้นไม้ เป็นต้น ทำให้เกิดการจางหายของสัญญาณ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการสื่อสารลดลง [1-3] เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสื่อสารดังกล่าว ดังนั้นการออกแบบสายอากาศสำหรับสถานีฐานที่มีประสิทธิภาพสูงจึงเป็นหัวข้อที่น่าสนใจ

จากปัญหาข้างต้น จึงมีผู้คิดค้นวิธีเพิ่มความจุของสัญญาณและเพิ่มความน่าเชื่อถือของสัญญาณ ซึ่งวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจมาใช้คือ ไดเวอร์ซิตี (Diversity) ซึ่งเป็นวิธีการปรับปรุงความน่าเชื่อถือและความจุของสัญญาณข้อมูลโดยใช้การสื่อสารแบบหลายช่องทาง ซึ่งแต่ละช่องทางการสื่อสารจะมีคุณลักษณะที่แตกต่างกัน โดยวิธีไดเวอร์ซิตีของสายอากาศสามารถแบ่งได้เป็น การวางสายอากาศที่ตำแหน่งแตกต่างกัน (space diversity) การใช้สายอากาศที่มีแบบรูปการแผ่กำลังงานต่างกัน (pattern diversity) และ การใช้สายอากาศที่มีโพลาไรซ์ต่างกัน (polarization diversity) [4-10] ซึ่งปกติจะนิยมใช้อากาศแบบรอบตัวในระนาบเดียว (omnidirectional antenna) เป็นสายอากาศสำหรับสถานีฐาน เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่บริการเป็นวงกลม แต่อย่างไรก็ตาม สำหรับพื้นที่แคบและยาว เช่น สถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน อุโมงค์ เป็นต้น สายอากาศแบบทิศทางเดียว (unidirectional antenna) และแบบสองทิศทาง (bidirectional antenna) จะให้พื้นที่บริการที่เหมาะสมกว่า

สำหรับงานวิจัยนี้จะออกแบบสายอากาศแบนด์วิดท์กว้าง 2 ดันที่มีการโพลาไรซ์ต่างกัน โดยใช้สตริปไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าร่วมกับการบ่อนคลื่นด้วยสตริปรูปแกมมา (magneto-electric curved strip dipole antenna with Γ shaped strip feed) แสดงดังรูปที่ 1.1 เพื่อรองรับการสื่อสารไร้สายที่มีแถบความถี่กว้าง ให้สามารถส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูง และมีคุณภาพสัญญาณที่ดี น่าเชื่อถือ โดยงานวิจัยนี้จะนำเสนอการวิเคราะห์ ออกแบบ ทดสอบ และประเมินคุณสมบัติของสายอากาศไดเวอร์ซิตีเชิงการโพลาไรซ์ ซึ่งมีลักษณะเป็นสายอากาศที่มีแบบรูปการแผ่พลังงานเป็นแบบทิศทางเดียว และมีโครงสร้างประกอบด้วยตัวบ่อนรูปแกมมา 2 ตัวที่ตั้งฉากกัน เพื่อกระตุ้นสตริปไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า (magneto-electric dipole) สายอากาศนี้จะถูกนำเสนอเพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นสายอากาศสำหรับสถานีฐาน ในบริเวณพื้นที่ให้บริการที่มีลักษณะเป็นเส้นทางจำกัดและมีทิศทางการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ที่แน่นอนใน

ระบบสื่อสารเคลื่อนที่ เช่น บนทางด่วน ในอุโมงค์ หรือ บริเวณระเบียบทางเดิน โดยสายอากาศจะถูกวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจำลองแบบ CST Microwave Studio หลังจากนั้นจึงทำการสร้างและทดสอบคุณลักษณะต่างๆ ของสายอากาศ



รูปที่ 1.1 สตรีปไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าร่วมกับการป้อนคลื่นด้วยสตรีปรูปแกมมา

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อออกแบบ และจำลองผลสายอากาศแถบความถี่กว้าง โดยใช้ไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับประยุกต์ใช้ไดเวอซิตีเชิงโพลาริซ

1.2.2 เพื่อสร้างสายอากาศต้นแบบ วัดทดสอบ และเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 จำลองแบบสายอากาศไดโพลโค้ง 1 ต้น ด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio

1.3.2 จำลองแบบสายอากาศไดโพลโค้ง 2 ต้น ด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio

1.3.3 สร้างสายอากาศต้นแบบเพื่อเปรียบเทียบผลวัดทดสอบ และผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio

1.4 สมมุติฐานของการวิจัย

1.4.1 เมื่อออกแบบสายอากาศไดโพลโค้งแบบแม่เหล็กไฟฟ้าร่วมกับตัวป้อนรูปแกมมา จะส่งผลให้แบนด์วิดท์กว้างขึ้น

1.4.2 เมื่อออกแบบไดโพลโค้ง 2 ต้น วางตั้งฉากกัน จะส่งผลให้สายอากาศมีสองโพลาริซ

1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

1.5.1 แนวทางการดำเนินงานวิจัย

1. การศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสำรวจบริษัทวิศวกรรมกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2. ออกแบบ วิเคราะห์ และศึกษาความเป็นไปได้สายอากาศแถบความถี่กว้างแบบสองพอร์ต สำหรับการการประยุกต์ใช้ไดเวอซิตีเชิงโพลาริซ โดยใชไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST

3. สร้างสายอากาศต้นแบบ วัดแบบรูปการแผ่พลังงาน วัดโพลาริซของสายอากาศ คำนวณ อัตราขยาย และวัดทดสอบการสูญเสียย้อนกลับเปรียบเทียบกับผลการจำลองแบบ

1.5.2 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องวิจัยและปฏิบัติการสื่อสารไร้สายอาคารเครื่องมือ 11 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ต. สุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เป็นองค์ความรู้ในการวิจัยต่อไป

1.5.2 ได้สายอากาศต้นแบบ เพื่อพัฒนาไปใช้งานจริง



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

การสื่อสารไร้สายได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ซึ่งเป็นการติดต่อระหว่างอุปกรณ์สื่อสารโดยไม่ใช้สายสัญญาณเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อ แต่จะใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นตัวกลางในการติดต่อสื่อสารที่เรียกว่าเครือข่ายไร้สาย ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ทำให้อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ในเครือข่ายสามารถสื่อสารถึงกันได้โดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการเชื่อมต่อเพื่อการรับและส่งข้อมูลแทนสายเคเบิล โดยมีเทคนิคการส่งข้อมูลและเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน ภายใต้มาตรฐานเครือข่ายไร้สายที่กำหนด โดยใช้สายอากาศเป็นอุปกรณ์ตัวกลางในการรับคลื่นจากสายส่งสัญญาณและแปลงคลื่นส่งออกไปยังอุปกรณ์ต่างๆ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องดำเนินการสำรวจและศึกษาปริทัศน์วรรณกรรม งานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้เพื่อให้ทราบถึงแนวทางการวิจัยที่เกี่ยวข้อง ระเบียบวิธีที่เคยถูกนำมาใช้ ผลการดำเนินการวิจัย ตลอดจนข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่างๆ เพื่อที่จะนำไปสู่วัตถุประสงค์หลักที่ได้ตั้งไว้ โดยฐานข้อมูลที่ใช้ในการสืบค้นงานวิจัยนั้นเป็นฐานข้อมูลที่มีชื่อเสียงและได้รับการยอมรับกันอย่างกว้างขวาง เช่น ฐานข้อมูล IEEE นอกจากนี้ยังได้ทำการสืบค้นงานวิจัยจากแหล่งอื่น ๆ เช่น จากห้องสมุดของมหาวิทยาลัยต่าง ๆ ทั้งในและต่างประเทศ ผลการสืบค้นที่ได้จะใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัยต่อไป

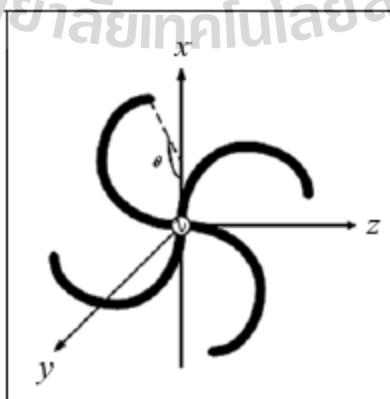
2.2 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

ได้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบและสร้างสายอากาศสำหรับการสื่อสารไร้สายมาเป็นเวลานาน เนื่องจากการสื่อสารไม่เคยหยุดนิ่งและพัฒนาไปอย่างไม่มีขีดจำกัด โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ การออกแบบสายอากาศแถบความถี่กว้างแบบสองพอร์ตสำหรับการประยุกต์ใช้งานไดเวอร์ซิตี ใช้สายอากาศสตริปไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า 2 ต้น ทำมุม 90° และใช้แกมมาแมตซ์ เพื่อปรับประสิทธิภาพและคุณภาพของสัญญาณ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องดำเนินการสำรวจและศึกษาปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้เพื่อให้ทราบถึงแนวทางการวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผลการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่าง ๆ เพื่อที่จะนำไปสู่วัตถุประสงค์หลักที่ได้ตั้งไว้ โดยฐานข้อมูลที่ใช้ในการสืบค้นงานวิจัยนั้นเป็นฐานข้อมูลที่มีชื่อเสียงและได้รับการยอมรับกันอย่างกว้างขวางคือฐานข้อมูล IEEE นอกจากนี้ยังได้สืบค้นงานวิจัยจากแหล่งอื่น ๆ เช่นจากห้องสมุดของมหาวิทยาลัยและอินเทอร์เน็ต ผลการสืบค้นที่ได้จะใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัยต่อไป

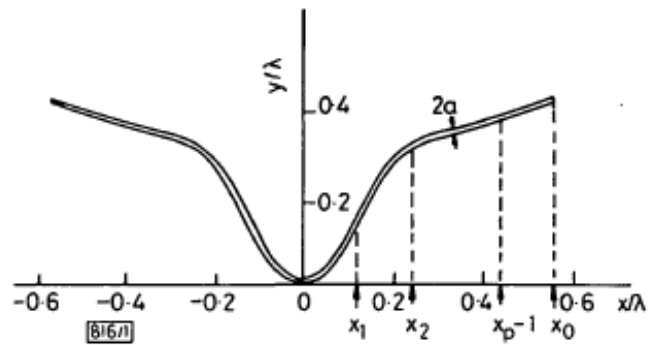
2.2.1 สายอากาศไดโพล

สำหรับสายอากาศที่นิยมนำมาใช้ในงานในระบบการสื่อสารไร้สาย คือ สายอากาศโมโนโพล (monopole antenna) สายอากาศแบบปลอก (sleeve antenna) และ สายอากาศไมโครสตริป

สายอากาศโมโนโพลนิยมใช้มากที่สุดเพราะมีน้ำหนักเบา คุณลักษณะเป็นแถบกว้าง (broadband characteristics) และมีโครงสร้างไม่ซับซ้อน แต่สายอากาศที่เห็นใช้โดยทั่วไป คือ สายอากาศไดโพล เพราะเป็นสายอากาศที่มีน้ำหนักเบา คุณลักษณะเป็นแถบกว้าง (broadband characteristics) และมีโครงสร้างไม่ซับซ้อน ง่ายต่อการออกแบบและสร้าง ในปัจจุบันสายอากาศไดโพลได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานกันอย่างแพร่หลายได้แก่ เทคนิคการปรับปรุงรูปร่างสายอากาศไดโพลให้เป็นรูปแบบต่าง ๆ เช่น สายอากาศรูปตัวเอส [10] ดังรูปที่ 2.1 อีกทั้งยังนำสายอากาศไดโพลมาตัดโค้งเป็นรูปประฆังคว่ำ [11] เพื่อหาค่าความโค้งที่เหมาะสมที่สายอากาศจะมีค่าอัตราขยายสูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 2.2 นอกจากนี้งานวิจัยที่ [12] ยังนำเสนอเกี่ยวกับการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสายอากาศไดโพลในรูปแบบที่แตกต่างกัน เช่น รูปตัววี รูปประฆังคว่ำและอื่น ๆ ดังรูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นว่าเมื่อวางสายอากาศในรูปประฆังคว่ำ และตัดโค้งที่แขนทั้งสองข้างของไดโพลเล็กน้อย จะสามารถลดโหลบด้านข้างของสายอากาศได้ เทคนิคต่อมาเป็นการเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศด้วยการเพิ่มตัวสะท้อนที่บริเวณด้านหลังของสายอากาศ เช่น สายอากาศไดโพลที่มีลักษณะโค้ง (arc-curved dipole) [9] แล้วทำมุมสายอากาศไดโพลรูปตัววี (V-shape antenna) [13] ดังแสดงในรูปที่ 2.4 นอกจากนี้มีการนำสายอากาศไดโพลเส้นตรงวางใกล้แผ่นตัวนำ [14] ซึ่งได้กล่าวถึงการวิเคราะห์การทำแมตช์ (matching) นอกจากนี้ยังมีเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสายอากาศไดโพลชนิดแผ่นตรงลัดวงจรที่ปลายระนาบตัวสะท้อน [15] ได้กล่าวถึงการวิเคราะห์อิมพีแดนซ์ด้านเข้าการแผ่พลังงานและความกว้างแถบของไดโพลตรงที่มีการลัดวงจรขนานกับระนาบตัวสะท้อนสมบูรณ์แบบและการประยุกต์ใช้สายอากาศไดโพลเส้นตรงตัดโค้งเป็นรูปครึ่งวงกลมลัดวงจรปลายทั้งสองข้างบนระนาบตัวสะท้อน [16-17] ซึ่งทำการวิเคราะห์ความถี่ลาคี่และอัตราขยายของสายอากาศสำหรับใช้งานที่ความถี่โทรทัศนเป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.5 (ก) (ข) และ (ค) ตามลำดับ



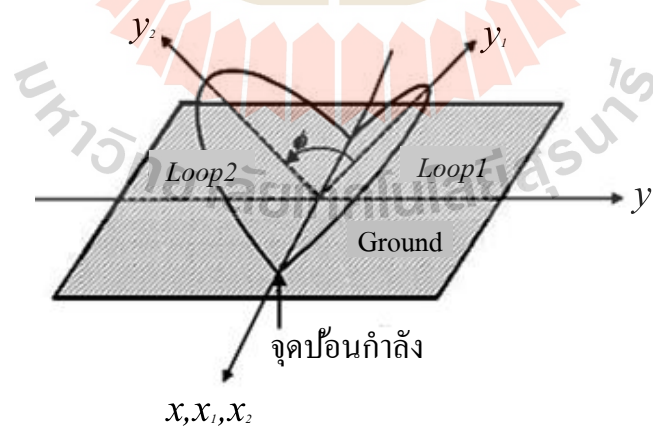
รูปที่ 2.1 สายอากาศที่มีการตัดเป็นรูปตัวเอส



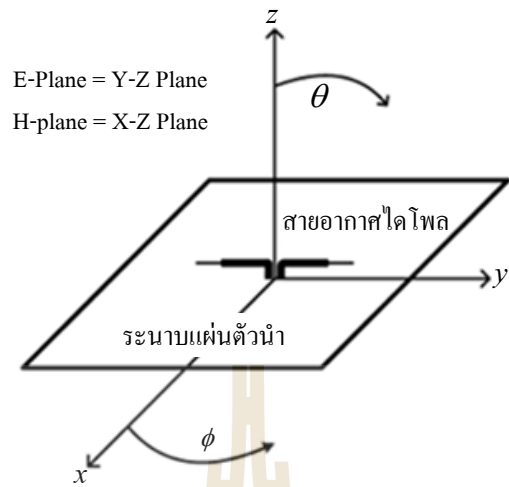
รูปที่ 2.2 สายอากาศเส้นลวดรูปประฆังคว่ำ



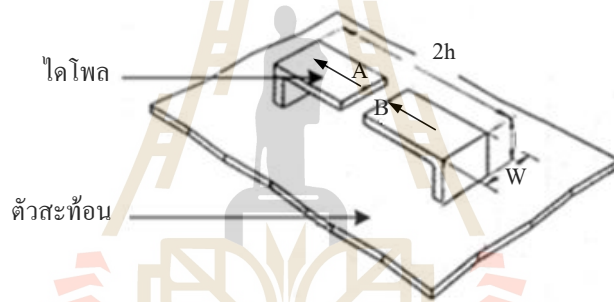
รูปที่ 2.3 สายอากาศเส้นลวดรูปแบบต่าง ๆ



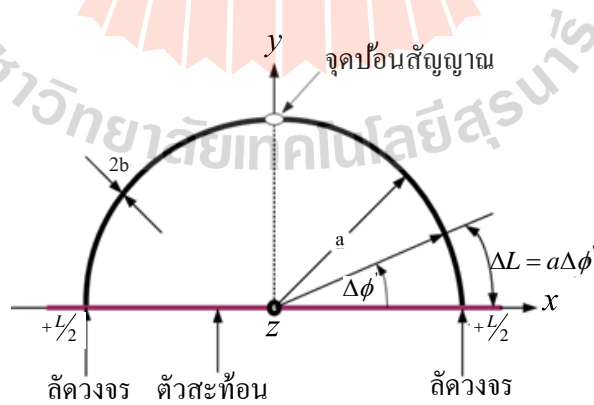
รูปที่ 2.4 สายอากาศที่มีลักษณะรูปโค้งทำมุมเป็นรูปตัววีบนแผ่นสะท้อน



(ก) สายอากาศไดโพลเส้นตรงบนแผ่นตัวนำ



(ข) สายอากาศไดโพลชนิดแผ่นลัดวงจรที่ปลาย บนระนาบตัวสะท้อน

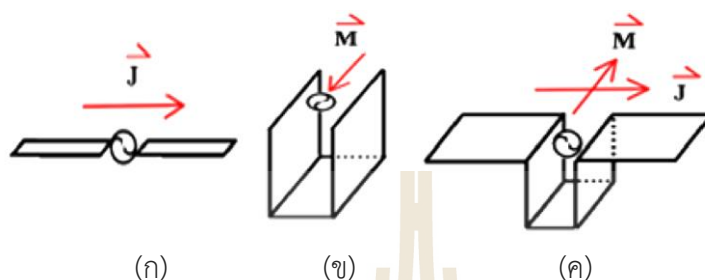


(ค) สายอากาศไดโพลโค้งลัดวงจรที่ปลายระนาบตัวสะท้อน

รูปที่ 2.5 สายอากาศไดโพลบนแผ่นตัวนำ

2.2.2 สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า

สำหรับการออกแบบไดโพลให้มีแบนด์วิดท์กว้าง จะใช้การจัดโครงสร้างดังรูปที่ 2.6 (ค) ซึ่งเรียกว่า ไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า [18] ส่วนรูปที่ 2.6 (ก) และ (ข) เป็นไดโพลไฟฟ้า และไดโพลแม่เหล็ก ตามลำดับ



รูปที่ 2.6 สายอากาศไดโพลแบบไฟฟ้า แม่เหล็ก และแม่เหล็กไฟฟ้า

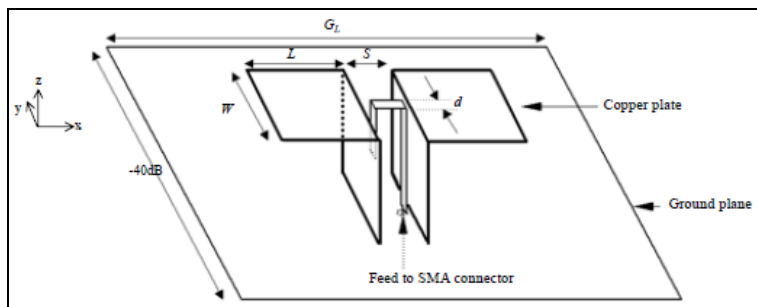
มีหลายงานวิจัยที่นำสายอากาศไดโพลไฟฟ้าและไดโพลแม่เหล็กมาออกแบบร่วมกันเพื่อให้การมีแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก และมีแบบรูปการแผ่พลังงานที่ค่อนข้างสมมาตรทั้งในสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจึงเรียกรวมกันว่า สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีเทคนิคที่หลากหลายในการปรับปรุงร่างของสายอากาศไดโพล ดังที่จะกล่าวต่อไป

เนื่องด้วยงานวิจัยของ (Kwai-Man LUK, and Hang WONG, 2006) ดังรูปที่ 2.7 ได้ออกแบบสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า (Electro-Magnetic Dipole Antenna) วางบนแผ่นกราวด์ เพื่อให้มีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบเจาะจงทิศทาง แล้วยังทำให้อัตราขยายเพิ่มขึ้น และทำการแมตซ์ด้วยการป้อนสัญญาณแบบแกมมา จากเทคนิคที่กล่าวมาทำให้สายอากาศมีความกว้างแถบกว้าง มีแบบรูปการแผ่พลังงานที่เสถียรในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก

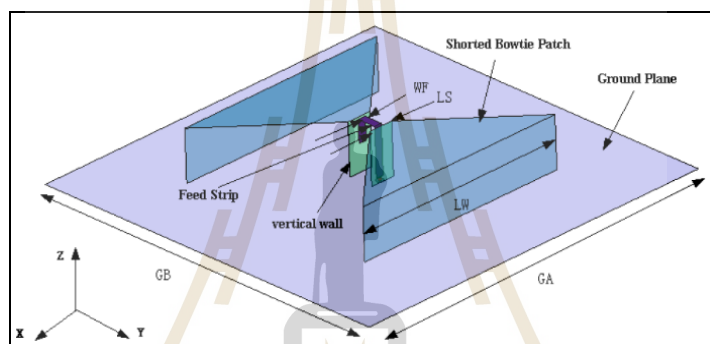
งานวิจัยของ (Z. Y. Zhang, G. Fu, S. L. Zuo, and T. Ran, 2009) ได้ทำการออกแบบสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทำการเปลี่ยนรูปทรงไดโพลไฟฟ้าเป็นรูปร่างแบบหูกกระทาย (Bowtie) วางบนแผ่นกราวด์ และป้อนสัญญาณแบบแกมมา ดังรูปที่ 2.8 ส่งผลให้สายอากาศมีความกว้างของลำคลื่นกว้าง ความกว้างแถบกว้าง และแบบรูปการแผ่พลังงานเป็นแบบเจาะจงทิศทาง

ในงานวิจัยของ (Lei Ge and Kwai Man Luk, 2013) เป็นการออกแบบสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทำการพับไดโพลไฟฟ้าและเพิ่มตัวสะท้อนด้านหลัง แสดงดังรูปที่ 2.9 การออกแบบลักษณะนี้ส่งผลให้มีแบบรูปการแผ่พลังงานเป็นแบบเจาะจงทิศทาง และมีความกว้างแถบกว้าง

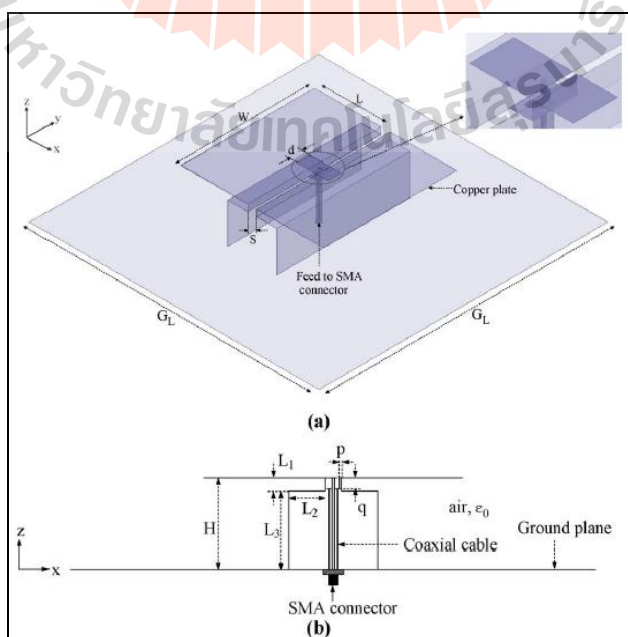
ซึ่งจากที่กล่าวมาข้างต้นเกี่ยวกับสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าพบว่าข้อดี คือ มีความกว้างแถบกว้าง แบบรูปการแผ่พลังงานเป็นแบบเจาะจงทิศทาง มีความเสถียรทั้งในระนาบสนามไฟฟ้า และแม่เหล็ก อัตราขยายสูง



รูปที่ 2.1 สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า (Kwai-Man LUK, and Hang WONG, 2006)



รูปที่ 2.2 สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบหูกกระต่าย (bowtie) (Z. Y. Zhang, G. Fu, S. L. Zuo, and T. Ran, 2009)



รูปที่ 2.3 สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบพับ (Lei Ge and Kwai Man Luk, 2013)

2.3 ทฤษฎีและกรอบแนวคิดของโครงการวิจัย

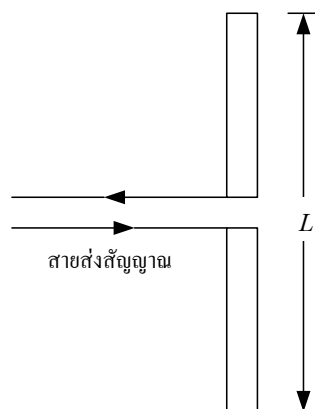
สายอากาศเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนคลื่นที่อยู่ในสายส่งสัญญาณหรือท่อนำคลื่นให้แพร่กระจายออกสู่อากาศและในทางตรงกันข้าม จะทำหน้าที่รับคลื่นที่แพร่กระจายอยู่ในตัวกลางให้เข้ามาอยู่ในท่อนำคลื่นหรือสายส่งสัญญาณได้ ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีสายอากาศไดโพล ทฤษฎีป้อนและการแมตซ์อิมพีแดนซ์แบบเกมมาอีกด้วย

2.3.1 ทฤษฎีสายอากาศไดโพล

การนำสายอากาศไดโพลมาประยุกต์ใช้นั้นยังคงมีการศึกษากันอย่างต่อเนื่อง เพราะสายอากาศไดโพลมีคุณสมบัติที่สามารถออกแบบและสร้างได้ง่าย โดยลักษณะของสายอากาศไดโพลและไดโพลอุดมคติแสดงดังต่อไปนี้

สายอากาศไดโพลและไดโพลอุดมคติ

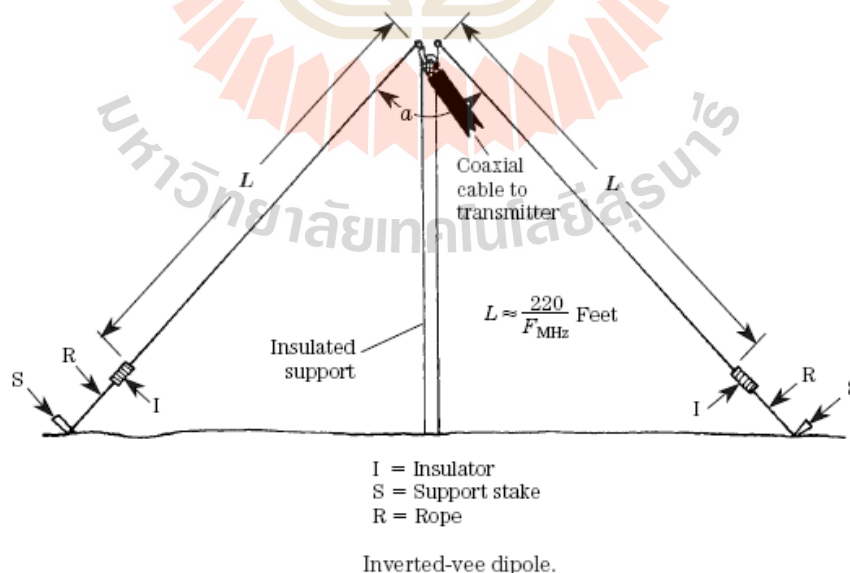
สายอากาศไดโพล (Dipole Antenna) เป็นสายอากาศที่มีโครงสร้างง่ายที่สุดมีส่วนประกอบเป็นเส้นลวดสองเส้นที่มีความยาว L วางเป็นแนวเส้นตรงดังรูปที่ 2.10 โดยจุดกึ่งกลางของตัว ไดโพลจะถูกต่อเข้ากับเครื่องส่งโดยใช้สายส่งเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อเครื่องส่งจะจ่ายสัญญาณเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับไปยังสายอากาศกระแสของสัญญาณนี้จะไหลไปยังขั้วหนึ่งของไดโพลและไหลกลับมายังอีกขั้วหนึ่งของไดโพล ซึ่งมีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางของกระแสที่ส่งไปยังขั้วแรกของไดโพลการแจกแจงรูปของกระแส (Current Distribution) จะแสดงให้เห็นขนาด (Magnitude) ของสัญญาณกระแสสลับที่เกิดขึ้นตลอดความยาวของสายอากาศไดโพลซึ่งมีค่าไม่เท่ากันโดยที่ปลายทั้งสองจะมีค่าเป็นศูนย์แต่จะมีค่าสูงสุดอยู่ที่จุดกึ่งกลางหรือที่จุดอื่นๆบนตัวไดโพลทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความยาวของไดโพลและความถี่ของสัญญาณที่มาจากรีเครื่องส่ง



รูปที่ 2.10 สายอากาศไดโพล

ไดโพลอุดมคติ (Ideal Dipole) เป็นสายอากาศสมมติซึ่งใช้ประโยชน์ในการศึกษาสายอากาศชนิดอื่น ๆ สามารถพิจารณาให้เป็นส่วนประกอบเล็ก ๆ ของความยาวไดโพล (Infinitesimal Dipole) ที่มีการแจกแจงของกระแสที่เท่ากันตลอดความยาวคุณลักษณะทางทฤษฎีสายอากาศไดโพลในอุดมคติจะประมาณให้มีค่าทางไฟฟ้าเท่ากับสายอากาศไดโพลที่มีขนาดเล็ก ๆ

นอกจากนี้ยังมีสายอากาศไดโพลแบบตัววีกลับหัวก็เป็นสายอากาศแบบครึ่งความยาวคลื่น (half-wavelength) เช่นเดียวกับสายอากาศไดโพลที่ได้กล่าวมาข้างต้น แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างการจัดวางให้อยู่ในรูปตัววีกลับหัว โดยที่จุดบ่อนสัญญาณจะยกให้สูงจากพื้นดินมากที่สุด และสายอากาศแบบนี้จะสั้นกว่าสายอากาศไดโพลธรรมดาประมาณ 3-5 เปอร์เซ็นต์จากรูปที่ 2.11 มุม α จะมีค่าระหว่าง 70° - 110° ถ้าต่ำกว่า 70 องศา สายอากาศก็จะคล้ายสายนำสัญญาณสองเส้นขนานกัน จะมีการแพร่กระจายคลื่นได้น้อย แต่ถ้ามุมเกิน 110° คุณสมบัติต่าง ๆ ก็จะคล้ายกันกับสายอากาศไดโพลธรรมดา (โดยทั่วไปเราจะใช้ 90° เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด) ผลของการตัดลดไดโพลเอียงลงมา (sloping) ทำให้ความถี่ใช้งานลดลง นั่นก็คือ ความยาวทางไฟฟ้าของสายอากาศเพิ่มขึ้นนั่นเอง ถ้าต้องการให้ความถี่ใช้งานมีค่าเท่าเดิม ก็ต้องลดความยาวของสายอากาศลงซึ่งเป็นข้อดี ส่วนอิมพีแดนซ์และความกว้างแถบ (bandwidth) ก็จะลดลงตามไปด้วย ข้อดีของสายอากาศแบบนี้ก็อย่างหนึ่งคือ สามารถแมตซ์อิมพีแดนซ์กับสายนำสัญญาณ 50 โอห์มได้ดีกว่า

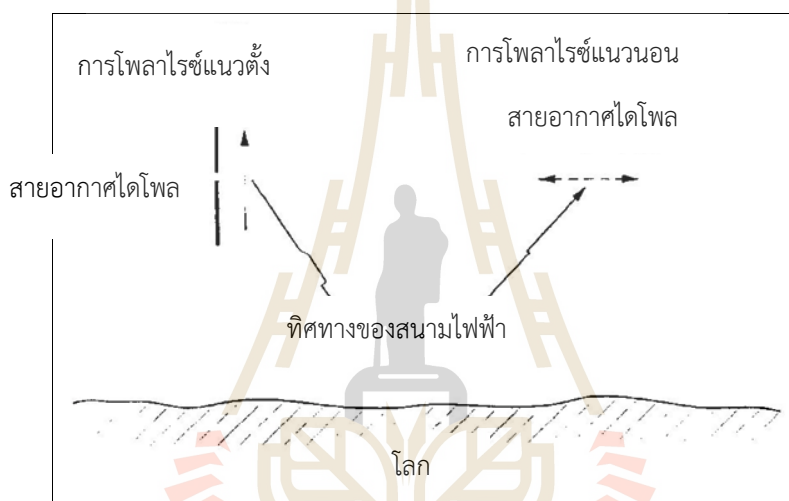


รูปที่ 2.11 สายอากาศไดโพลแบบตัววีกลับหัว

จากข้อดีของสายอากาศไดโพลแบบตัววีกลับหัว จึงเกิดแนวคิดเกี่ยวกับสายอากาศไดโพลแบบตัดโค้งเป็นครึ่งวงกลมขึ้น

การโพลาไรซ์ของสายอากาศไดโพล

การโพลาไรซ์ของสายอากาศจะใช้ในการอธิบายทิศทางของสนามไฟฟ้าของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในอากาศซึ่งถูกส่งออกไปโดยตัวสายอากาศในทิศทางซึ่งมีความเข้มของสนามสูงสุดและวัดได้ในสนามระยะไกลการสายอากาศจำนวนมากจะมีการโพลาไรซ์เป็นแบบเชิงเส้น(Linear Polarization) นั่นคือในหนึ่งรอบ (Cycle) เวกเตอร์สนามไฟฟ้าจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงและยังถูกแบ่งออกเป็นการโพลาไรซ์แนวตั้ง (Vertical Polarization) และการโพลาไรซ์แนวนอน (Horizontal Polarization) ดังรูปที่ 2.12 นอกจากนี้ยังมีการโพลาไรซ์แบบวงกลม (Circular Polarization) และแบบรูปวงรี (Elliptical Polarization)

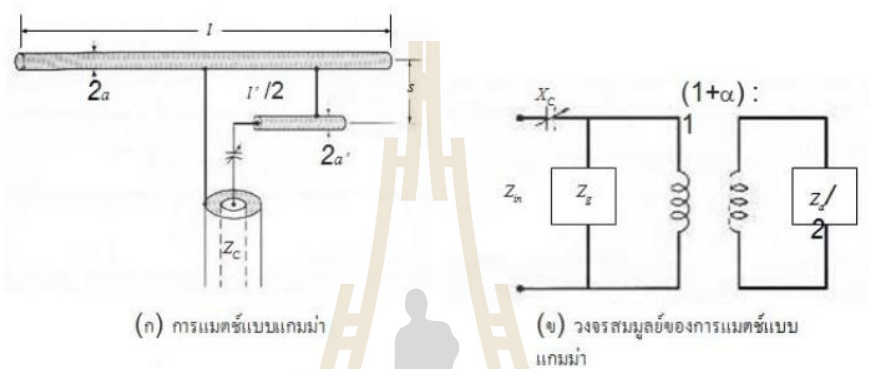


รูปที่ 2.12 ลักษณะการโพลาไรซ์ของสายอากาศไดโพล

บ่อยครั้งที่การโพลาไรซ์ของสายอากาศจะพิจารณาจากรูปทรงของตัวสายอากาศ เช่น ในกรณีของสายอากาศแบบเส้นลวดซึ่งอาจจะมีส่วนประกอบเพียงตัวเดียวหรือหลายตัววางขนานกันเช่นสายอากาศไดโพลและสายอากาศยาคี เราสามารถที่จะสมมุติให้สนามไฟฟ้าซึ่งมีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นขนานไปกับส่วนประกอบของตัวสายอากาศแต่ก็มีสายอากาศบางชนิดซึ่งมีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นเหมือนกันแต่ไม่สามารถจะใช้รูปทรงของโครงสร้างมาทำนายการโพลาไรซ์ได้เช่นสายอากาศปากแตร (Horn) สายอากาศแบบบ่วง (Loop) และสายอากาศแบบร่อง (Slit) เป็นต้นเพื่อให้การรับสัญญาณทำได้มากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้สิ่งสำคัญก็คือสายอากาศที่ทำหน้าที่รับสัญญาณจะต้องมีการโพลาไรซ์เป็นแบบเดียวกันกับการโพลาไรซ์ของสัญญาณที่ส่งมาหากเกิดการสูญเสียสัญญาณอันเนื่องมาจากการจัดวางการโพลาไรซ์ไม่ถูกต้อง (เช่นสัญญาณที่รับได้เป็นของการโพลาไรซ์ทางแนวตั้งแต่สายอากาศที่ใช้มีการจัดการโพลาไรซ์ทางแนวนอน) เรียกว่าเกิดการแยกการโพลาไรซ์แบบไขว้ (Cross-Polarization Isolation) ในงานวิจัยฉบับนี้จะออกแบบสายอากาศโดยประยุกต์ใช้สายอากาศไดโพลให้มีสองโพลาไรซ์ จากหลักการการวางสายอากาศไดโพลในแนวเอียง 45° ร่วมกับตัวป้อนรูปแกมมา

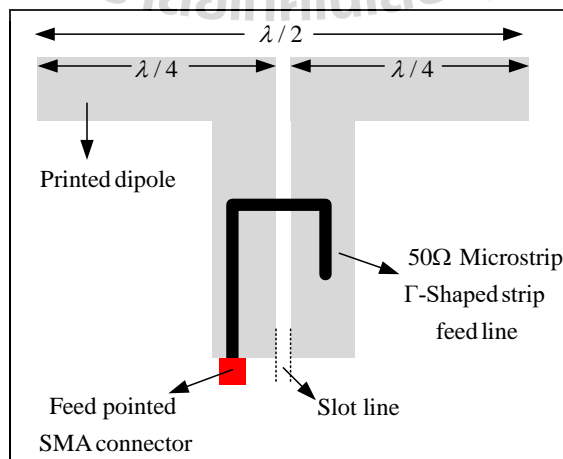
2.3.2 การแมตช์แบบแกมมา (Gamma Match)

ออกแบบตัวป้อนสัญญาณ (Feed Network) ซึ่งตัวป้อนสัญญาณมีหลากหลายแบบ มีหลักการทำงานที่เหมือนกัน บ่อยครั้งที่สายอากาศไดโพลถูกป้อนด้วยสายโคแอกเซียล ซึ่งเป็นสายนำสัญญาณแบบไม่สมมาตร วิธีที่สะดวกที่สุดที่จะต่อไดโพลหรือสายอากาศอื่นๆ เข้ากับสายนำสัญญาณแบบโคแอกเซียลขนาด 50 หรือ 75 โอห์ม ก็คือการใช้การแมตช์แบบแกมมา ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 การแมตช์แบบแกมมาและวงจรสมมูลของการแมตช์แบบแกมมา

การป้อนสัญญาณแบบแกมมา (Gamma Matching) ในงานวิจัยนี้ เราจะประยุกต์ทฤษฎีการแปลงอิมพีแดนซ์ของสายส่งความยาว $\lambda/4$ ($\lambda/4$ Impedance Transformer) ซึ่งวิธีนี้เป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางสำหรับการแมตช์อิมพีแดนซ์ (Impedance Matching) สมมติว่าเรามีความประสงค์จะแมตช์โหลดที่มีความต้านทานเข้ากับสายส่งเส้นหนึ่งเราจะใช้ตัวแปลงซึ่งเป็นสายที่มีความยาว $\lambda/4$ ต่อเข้าระหว่างโหลดกับสายส่งเพื่อทำให้เกิดการแมตช์ ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การป้อนสัญญาณแบบแกมมา

2.3.3 การโพลาไรซ์ของคลื่นระนาบ

คลื่นระนาบโดยทั่วไปไม่จำเป็นต้องมีสนามไฟฟ้าในทิศ E_x หรือ E_y เพียงอย่างเดียว นอกจากนั้น เฟสของ E_x และ E_y ก็ไม่จำเป็นต้องเท่ากันด้วย ดังนั้นในกรณีทั่ว ๆ ไปนั้นทิศทางและขนาดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้ารวมจะเปลี่ยนไปตามเวลา ในการให้นิยามของการโพลาไรซ์นี้เราจะถือเอาทิศทางของปลายของ E บนระนาบที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่เป็นหลัก ในกรณีที่สนามไฟฟ้ามีเฉพาะทิศ x หรือทิศ y เท่านั้นก็จะเห็นได้ชัดว่าทิศทางของ E จะเป็นเส้นตรง ซึ่งจะเรียกว่า การโพลาไรซ์แบบเส้นตรง (linear polarization) กรณีสนามไฟฟ้ามีทั้งทิศ x และ y นั้น ถ้าเฟสของสนามไฟฟ้านั้นไม่เท่ากันการโพลาไรซ์ที่ได้จะเป็นแบบวงรีเป็นส่วนใหญ่ และอาจจะเป็นแบบวงกลมภายใต้เงื่อนไขเฉพาะอันหนึ่งซึ่งจะเห็นได้จากรายละเอียดที่จะกล่าวต่อไปนี้

เนื่องจากสนามไฟฟ้า E_x , E_y ของคลื่นระนาบจะไม่เป็นฟังก์ชันของ x , y ดังนั้นในกรณีที่ไม่มีการสูญเสียในตัวกลางเราจะสามารถเขียนค่าชั่วขณะของ E_x และ E_y ได้ในรูปต่อไปนี้

$$E_x(z,t) = \sqrt{2}E_{x0} \cos(\omega t - kz) \quad (2.1)$$

$$E_y(z,t) = \sqrt{2}E_{y0} \cos(\omega t - kz) \quad (2.2)$$

โดยที่ $E_{x0} = (E_{xr}^2 + E_{xi}^2)^{1/2}$, $E_{y0} = (E_{yr}^2 + E_{yi}^2)^{1/2}$ และ θ เป็นมุมของเฟสเซอร์ E_y เมื่อเทียบกับเฟสเซอร์ E_x เมื่อเราทำการคำนวณทิศทางของ E โดยกำหนด kz ให้คงที่และดูการเคลื่อนที่ตามเวลา เราจะได้สมการสำหรับทิศทางในกรณีนี้เป็น

$$\frac{E_x^2}{E_{x0}^2 \sin^2 \theta} - \frac{2 \cos \theta E_x E_y}{E_{x0} E_{y0} \sin^2 \theta} + \frac{E_y^2}{E_{y0}^2 \sin^2 \theta} = 1 \quad (2.3)$$

ผลที่ได้ตามสมการ (2.3) จะเป็นสมการของวงรีที่มีแกนหลักทั้งสองไม่ตรงกันกับแกน x และ y นั่นคือในกรณีทั่วไปที่เฟสของ E_x และ E_y ไม่เท่ากัน ($\sin \theta \neq 0$) จะเป็นการโพลาไรซ์แบบวงรี ถ้าเป็นกรณีพิเศษที่ $\theta = \pi/2$ สมการ (2.3) จะเขียนได้เป็น

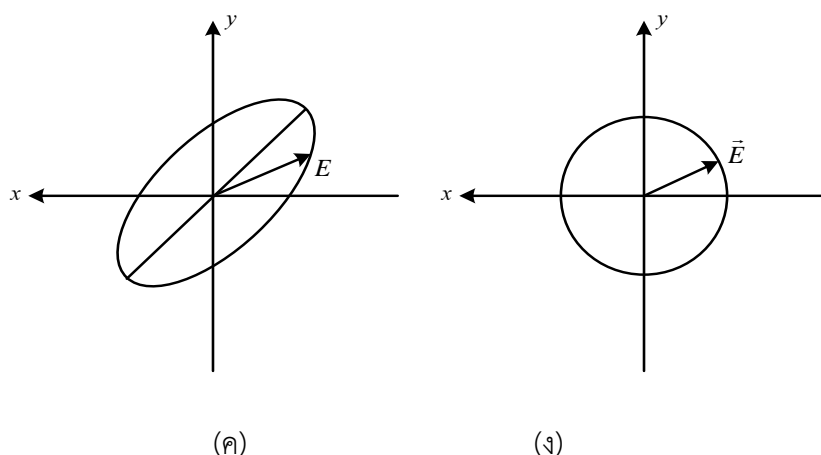
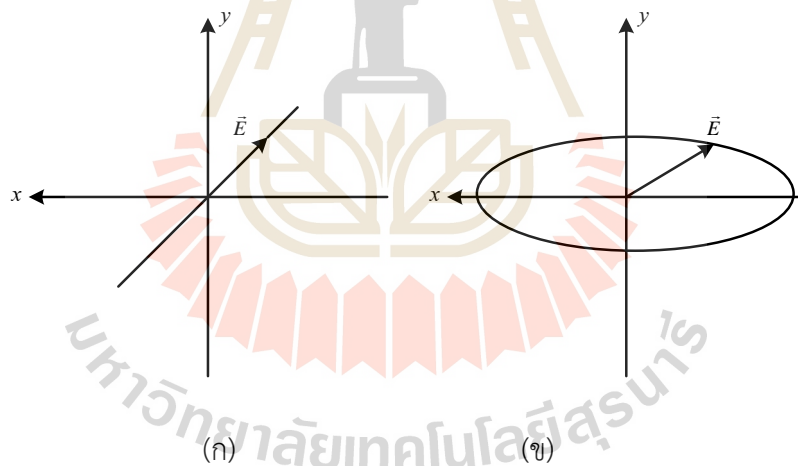
$$\frac{E_x^2}{E_{x0}^2} + \frac{E_y^2}{E_{y0}^2} = 1 \quad (2.4)$$

สมการนี้เป็นสมการของวงรีที่มีแกนหลักอยู่บนแกน x และ y และถ้าเป็นกรณีพิเศษที่ $E_{x0} = E_{y0}$ และ $\theta = \pi/2$ สมการ (2.4) ก็จะเปลี่ยนเป็นสมการของวงกลมดังนี้

$$E_x^2 + E_y^2 = E_{x0}^2 \quad (2.5)$$

จากที่กล่าวมาทั้งหมดจะสามารถสรุปรูปแบบของการโพลาไรซ์ที่เป็นไปได้ออกเป็น 3 แบบดังนี้คือ

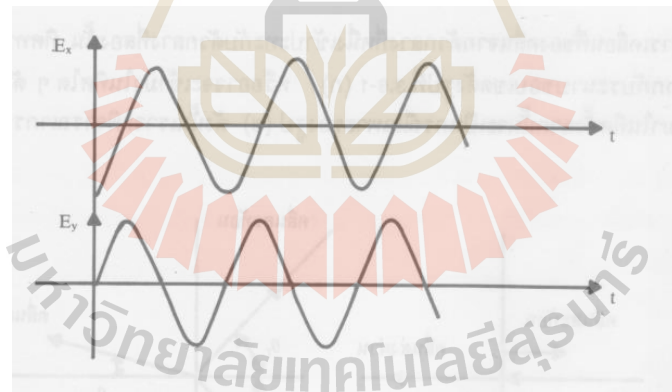
1. โพลาริเซชันแบบเส้นตรง (Linear Polarization) จะเกิดขึ้นเมื่อเฟสของ E_x เท่ากับ E_y หรือ $\theta = 0$ รูปร่างของการโพลาริเซชันจะเป็นไปตามรูปที่ 2.15 (ก)
2. โพลาริเซชันแบบวงรี (Elliptical Polarization) เมื่อเฟสของ E_x และ E_y ไม่เท่ากัน และ $\theta \neq \pi/2$ จะเกิดการโพลาริเซชันแบบวงรีโดยที่มีแกนหลักไม่ตรงกับแกน x และ y ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.15(ข) และเมื่อเฟสของ E_x และ E_y ต่างกันเท่ากับ $\pi/2$ หรือ $\theta = \pi/2$ จะได้โพลาริเซชันแบบวงรีที่มีแกนหลักตรงกับแกน x และ y ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.15(ค)
3. โพลาริเซชันแบบวงกลม (Circularly Polarization) เมื่อเฟสของ E_x และ E_y ไม่เท่ากัน และ $\theta \neq \pi/2$ จะเกิดการโพลาริเซชันแบบวงรีโดยที่มีแกนหลักไม่ตรงกับแกน x และ y ดังแสดงไว้ในรูปที่ 6(ข) และเมื่อเฟสของ E_x และ E_y ต่างกันเท่ากับ $\pi/2$ หรือ $\theta = \pi/2$ จะได้โพลาริเซชันแบบวงรีที่มีแกนหลักตรงกับแกน x และ y ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.11(ค) เมื่อ $|E_x| = |E_y|$ ด้วย โพลาริเซชันที่ได้จะเป็นวงกลมดังที่แสดงในรูปที่ 2.15(ง)



รูปที่ 2.15 การโพลาริเซชันแบบต่าง ๆ

การโพลาไรซ์แบบวงรีและแบบวงกลมนั้นการหมุนของ \vec{E} อาจจะเป็นแบบตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกาก็ได้ ในการนิยามทิศทางการหมุนนี้จะถือหลักดังนี้คือ เมื่อเรากำหนดระนาบ x - y คงที่ระนาบหนึ่ง และเมื่อมองจากทิศทางของแหล่งกำเนิดคลื่น (เช่น สายอากาศส่ง) ถ้าสนามไฟฟ้า \vec{E} ที่ปรากฏบนระนาบนี้หมุนตามเข็มนาฬิกา เรากำหนดว่าเป็นการโพลาไรซ์แบบตามเข็มนาฬิกาหรือแบบหมุนขวา และถ้า \vec{E} หมุนทวนเข็มนาฬิกา ก็จะเป็นการโพลาไรซ์แบบทวนเข็มนาฬิกาหรือแบบหมุนซ้าย

การพิจารณาว่าถ้าเฟสของ E_y เร็วหรือช้ากว่า E_x อยู่ $\pi/2$ คือ $\theta = \pi/2$ หรือ $-\pi/2$ แล้วทิศทางการหมุนจะเป็นแบบไหนนั้นจะทำได้ดังนี้คือ ตามสมการ (1) และสมการ (2) ถ้าเฟสของ E_y เร็วกว่าของ E_x อยู่ $\pi/2$ หรือ $\theta = \pi/2$ เมื่อเขียนรูปของ E_x และ E_y ตามเวลาโดยให้ z มีค่าคงที่จะได้ตามรูป 2.16 ในสภาพเช่นนี้การหมุนของ \vec{E} ก็จะเป็นการหมุนจากแกน y ไปหาแกน x ซึ่งเป็นการหมุนแบบทวนเข็มนาฬิกา เมื่อพิจารณาในทำนองเดียวกันสำหรับกรณีที่ $\theta = -\pi/2$ คือเฟสของ E_y ช้ากว่า E_x อยู่ $\pi/2$ ก็จะพบว่าการหมุนของ \vec{E} เป็นแบบตามเข็มนาฬิกา ดังนั้นอาจจะสรุปเป็นกฎให้จำได้ง่าย ๆ ว่า “ถ้าเฟสของส่วนประกอบไหนเร็วกว่าอีกส่วนประกอบหนึ่งอยู่ $\pi/2$ จะมีการหมุนจากส่วนนั้นไปหาส่วนประกอบที่มีเฟสช้ากว่า”



รูปที่ 2.16 การเปลี่ยนแปลงตามเวลาของ E_x และ E_y บนระนาบคงที่เมื่อ

$$\angle E_x \text{ เร็วกว่า } \angle E_y \text{ อยู่ } \pi/2$$

เนื่องจากในเชิงของเฟสเซอร์การที่เฟสของเฟสเซอร์หนึ่งเร็วกว่าหรือช้าของอีกเฟสเซอร์ หนึ่งอยู่ $\pi/2$ นั้นเราสามารถเขียนในรูปของ j กับ $-j$ ได้ เพราะฉะนั้นถ้าขนาดของ E_x และ E_y เท่ากัน และเฟสของ E_y เร็วกว่าหรือช้ากว่า E_x ก็เขียนได้เป็น $E_y = jE_x$ หรือ $E_y = -jE_x$ ตามลำดับ ดังนั้นสำหรับคลื่นโพลาไรซ์แบบวงกลมมีการหมุนขวานั้น สนามไฟฟ้ารวมจะเขียนในรูปเฟสเซอร์ได้ดังนี้

$$\vec{E} = \vec{i}_x \frac{E_x}{\sqrt{2}} - \vec{i}_y \frac{E_x}{\sqrt{2}} = (\vec{i}_x - j\vec{i}_y) \frac{E_x}{\sqrt{2}} \quad (2.6)$$

และคลื่นการโพลาไรซ์แบบวงกลมหมุนซ้ายจะเขียนสนามไฟฟ้ารวมในรูปเฟสเซอร์ได้ต่อไปนี้

$$\vec{E} = (\vec{i}_x + j\vec{i}_y) \frac{E_x}{\sqrt{2}} \quad (2.7)$$

การแสดงผลสนามไฟฟ้ารวมของคลื่นที่หมุนขวาและหมุนซ้ายตามสมการทั้งสองนี้จะให้ความสะดวกในการวิเคราะห์ปัญหาในกรณีที่คลื่นระนาบส่งผ่านไปภายในตัวกลางที่มีการตอบสนองต่อคลื่นหมุนขวาและหมุนซ้ายไม่เหมือนกัน เช่น การส่งผ่านไปใยสารเฟอร์ไรต์

2.4 สรุป

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



บทที่ 3

สายอากาศแถบความถี่กว้างที่ใช้สตริปไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า สำหรับประยุกต์ใช้ไดเวอร์ซิตีเชิงการโพลารไรซ์

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะทำการออกแบบสายอากาศตามวัตถุประสงค์ โดยใช้โปรแกรม CST Microwave Studio ในการจำลองแบบและวิเคราะห์ผล โดยประยุกต์ใช้ไดโพลไฟฟ้าและไดโพลแม่เหล็กเข้าด้วยกัน เพื่อให้มีคุณสมบัติทั้งทางไฟฟ้าและแม่เหล็ก โดยเพิ่มการแมตซ์อิมพีแดนซ์และเพิ่มความกว้างแถบด้วยโครงสร้างตัวบ่อนสัญญาณรูปทรงกลมมา และเพิ่มอัตราขยายด้วยแผ่นกราวด์และการตัดโค้งสายอากาศที่มีระยะความสูงจากแผ่นกราวด์ที่ไม่เท่ากันก็มีผลต่อการแมตซ์อิมพีแดนซ์แต่ละช่วงความถี่ และความโค้งของสายอากาศก็ยังมีผลต่อแบบรูปการแผ่พลังงานด้วย สุดท้ายจะออกแบบสายอากาศแถบความถี่กว้างที่ใช้สตริปไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับประยุกต์ใช้ไดเวอร์ซิตีเชิงการโพลารไรซ์ต่อไป

3.2 การออกแบบสายอากาศสตริปไดโพลไฟฟ้า

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

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

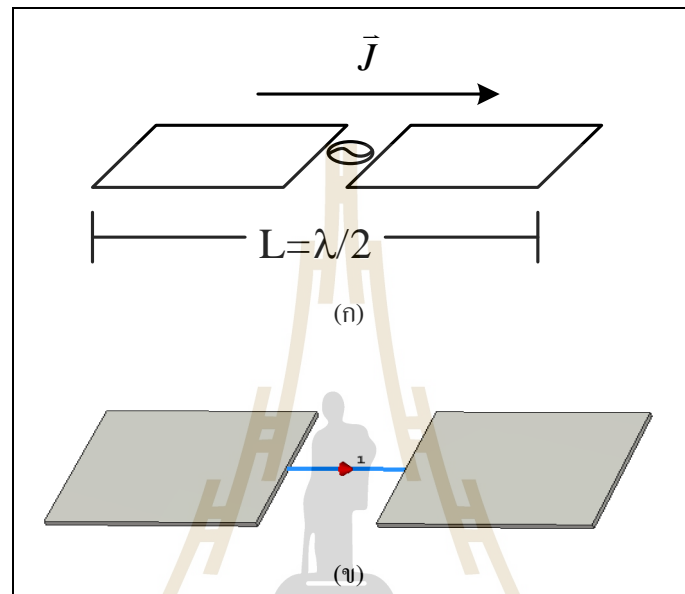
จะได้

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

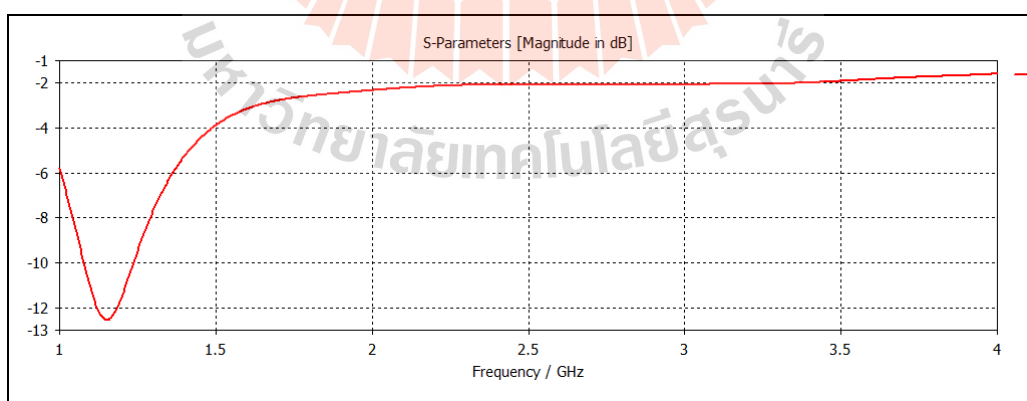
สำหรับความกว้างของสายอากาศสตริปไดโพลไฟฟ้า หาได้จาก

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

จากค่าความยาวและความกว้างที่คำนวณได้จะนำมาออกแบบสายอากาศสตริปไดโพลไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.1 โดยใช้แผ่นทองแดง และทำการจำลองผลของสตริปไดโพลไฟฟ้า ที่มีการป้อนสัญญาณแบบ Discrete Port ดังรูป 3.1 (ข) แล้วนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ มาวิเคราะห์ผล

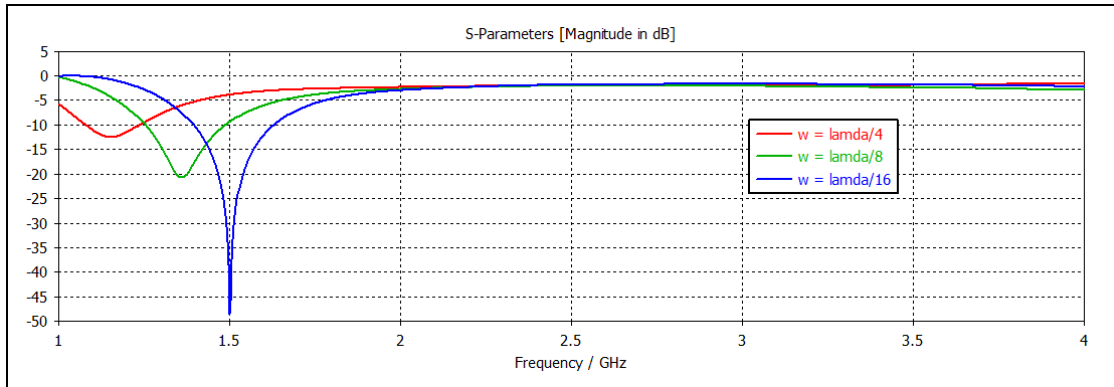


รูปที่ 3.1 สตริปไดโพลไฟฟ้า

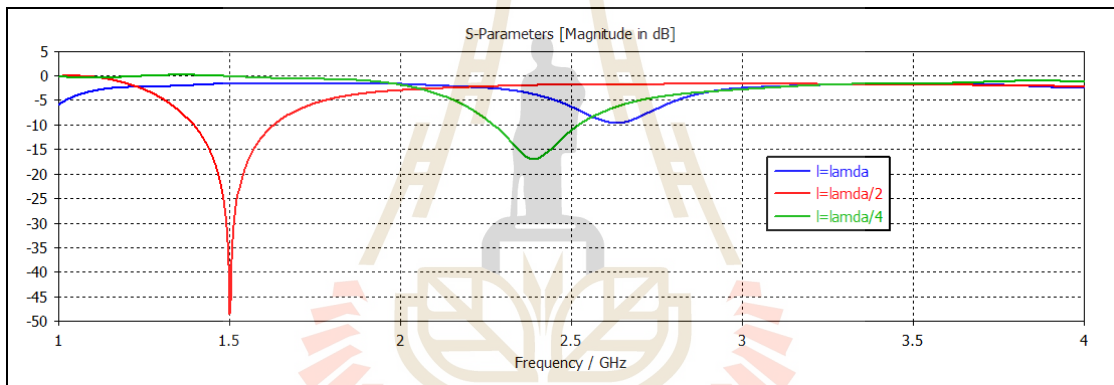


รูปที่ 3.2 ค่า S_{11} ของสตริปไดโพลไฟฟ้าแบบตรง

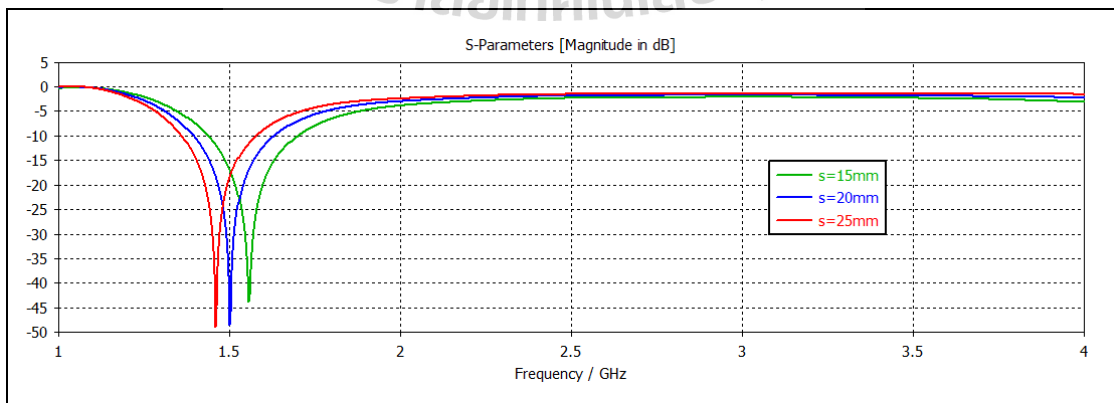
จากการออกแบบและนำค่ามาพิจารณาดังรูปที่ 3.2 พบว่าความถี่ใช้งานอยู่ที่ 1.15 GHz และมีแถบความถี่ที่แคบ ซึ่งยังไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งาน ดังนั้นขั้นต่อไปคือการปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อให้มีความถี่กลางที่เหมาะสมและมีการแมตซ์อิมพีแดนซ์ดีขึ้นดังรูปที่ 3.3 ถึง 3.5



รูปที่ 3.3 ค่า S_{11} ของไดโพลไฟฟ้าที่ปรับพารามิเตอร์ w

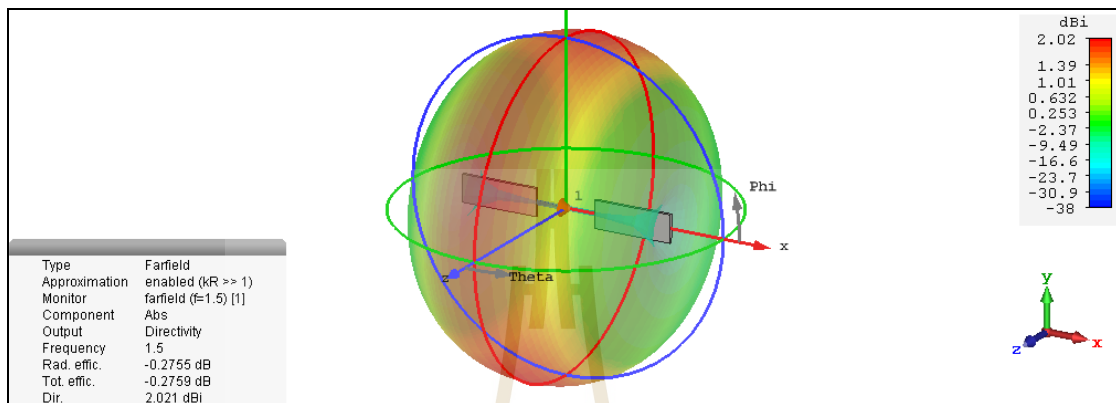


รูปที่ 3.4 ค่า S_{11} ของสตริปไดโพลไฟฟ้าที่ปรับพารามิเตอร์ l



รูปที่ 3.5 ค่า S_{11} ของไดโพลไฟฟ้าที่ปรับพารามิเตอร์ s

ศึกษาแบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าของสตริปไดโพลไฟฟ้า โดยกำหนดพารามิเตอร์ ดังนี้ $w = 35.715$ มิลลิเมตร $l = 71.43$ มิลลิเมตร และ $s = 20$ มิลลิเมตร ในการพิจารณาเนื่องจากดูผลการจำลองจากกราฟ S_{11} มีการแมตซ์อิมพีแดนซ์ดีที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แบบรูปการแผ่พลังงานของไดโพลไฟฟ้า

3.3 การออกแบบสายอากาศไดโพลแม่เหล็ก

ในบทนี้เป็นการออกแบบสายอากาศไดโพลแม่เหล็ก (Magnetic Dipole Antenna) โดยใช้ไดโพลตัดเป็นรูปตัวยู (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

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

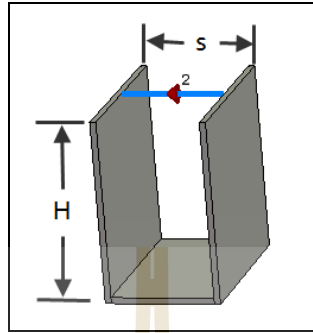
$$\text{จะได้ } H = \frac{\lambda}{4} = \frac{142.86 \text{ mm}}{4} = 35.715 \text{ mm}$$

สำหรับความกว้างของสายอากาศสตริปไดโพลไฟฟ้า หาได้จาก

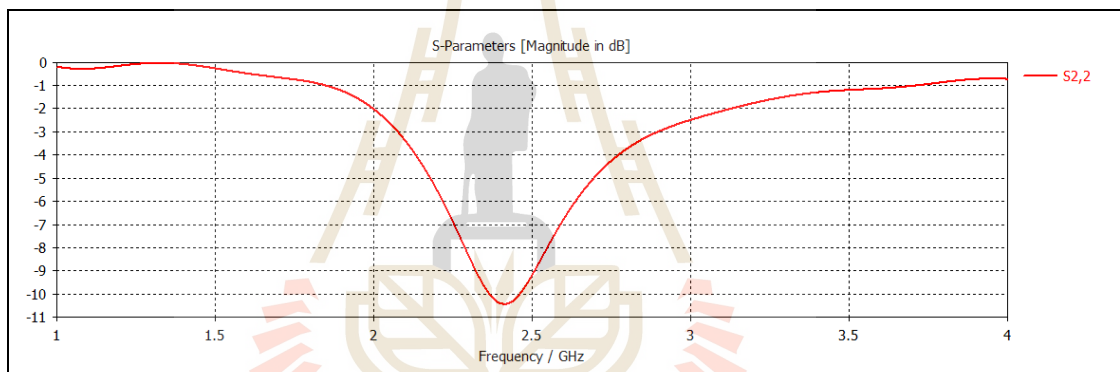
$$w = \frac{\lambda}{4} = \frac{142.86 \text{ mm}}{4} = 35.715 \text{ mm}$$

จากค่าพารามิเตอร์ความสูงและความกว้างที่คำนวณได้ จะนำมาออกแบบสายอากาศไดโพลแม่เหล็ก โดยให้ค่าพารามิเตอร์ s มีค่าเท่ากับ 20 mm และใช้แผ่นทองแดงตัดโค้งเป็นรูปตัวยู และทำการ

จำลองผลของสตริปไดโพลไฟฟ้า ที่มีการป้อนสัญญาณแบบ Discrete Ports ดังรูป 3.7 และนำค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ มาวิเคราะห์ผล



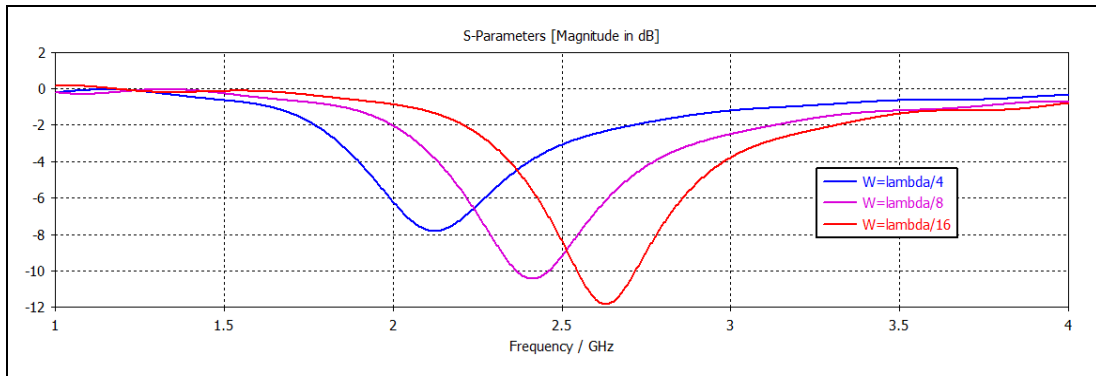
รูปที่ 3.7 สายอากาศไดโพลแม่เหล็ก



รูปที่ 3.8 ค่า S_{11} ของไดโพลแม่เหล็ก

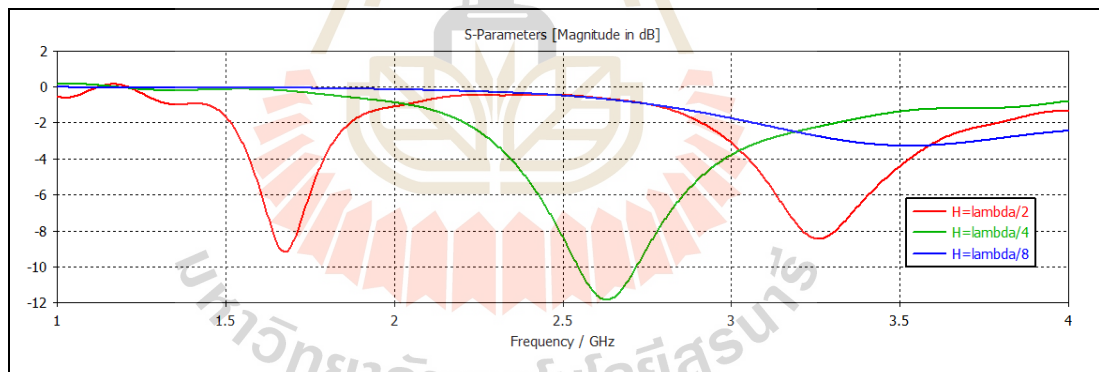
เมื่อพิจารณาค่า S_{11} ดังรูปที่ 3.8 พบว่าความถี่ใช้งานอยู่ที่ 2.41 GHz มีแถบความถี่ที่แคบและยังมีการแมตซ์อิมพีแดนซ์น้อยมาก ซึ่งยังไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งาน

ต่อมาเป็นการปรับพารามิเตอร์ w โดยให้ H คงที่คือ $\lambda/4$ และ $s = 20$ mm โดยกำหนดพารามิเตอร์ w ดังรูปที่ 3.9 จากรูปจะพบว่าค่า $w = \lambda/16$ คือค่าที่ดีที่สุด มีความถี่ใช้งานที่ 2.63 GHz และยังมีแถบความถี่ที่แคบ และยังพบว่ายิ่งปรับให้ w มีขนาดเล็กลงจะทำให้ความถี่ใช้งานเพิ่มขึ้นและยังทำให้การแมตซ์อิมพีแดนซ์ดีขึ้น แต่ไม่สามารถลดขนาด w ได้มากกว่านี้เพราะจะทำให้มีขนาดเล็กเกินไป ดังนั้นพารามิเตอร์ w มีผลต่อการแมตซ์อิมพีแดนซ์ และทำให้ความถี่ใช้งานเลื่อน

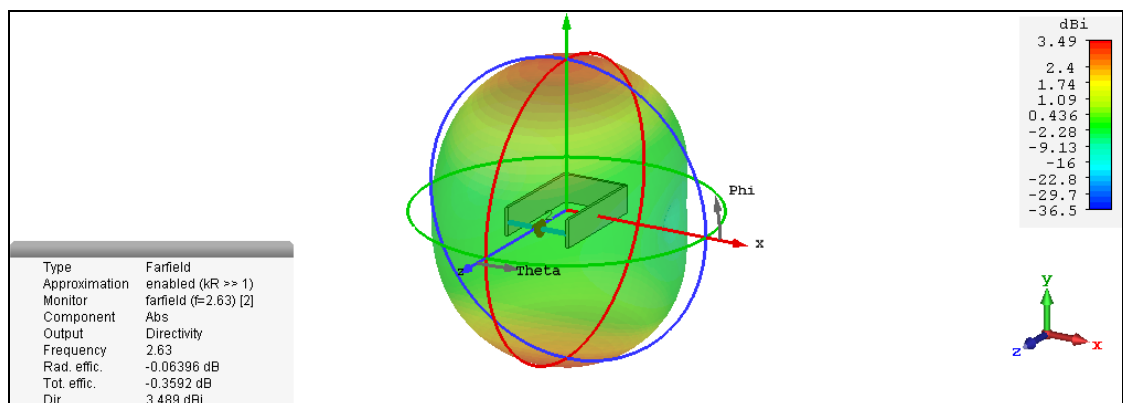


รูปที่ 3.9 ค่า S_{11} ที่ปรับพารามิเตอร์ w ของไดโพลแม่เหล็ก

หลังจากนั้นได้ทำการปรับพารามิเตอร์ H โดยให้ค่าพารามิเตอร์อื่นคงที่ คือ $w = \lambda / 16$ (8.928 mm) และ $s = 20$ mm ซึ่งได้ทำการปรับพารามิเตอร์ H ดังรูปที่ 3.10 จากรูปจะพบว่า $H = \lambda / 14$ มีการแมตซ์อิมพีแดนซ์ดีที่สุดที่สุด เนื่องจากมีความถี่ใช้งานอยู่ที่ 2.63 GHz และยังมีแถบความถี่ที่แคบ



รูปที่ 3.10 ค่า S_{11} ที่ปรับพารามิเตอร์ H ของไดโพลแม่เหล็ก

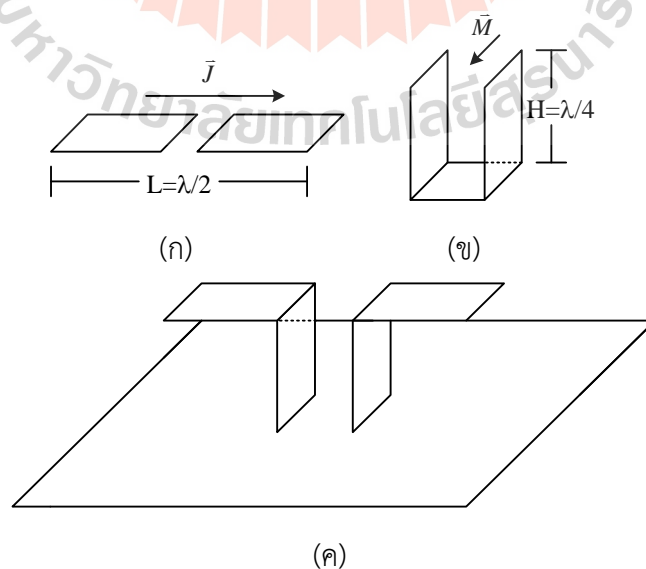


รูปที่ 3.11 แบบรูปการแผ่พลังงานของไดโพลแม่เหล็ก

จากการออกแบบ และปรับพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้ทำการจำลองผลและวิเคราะห์ผลออกมา พบว่า หลังจากการปรับพารามิเตอร์ w และ H จะส่งผลให้มีการแมตซ์อิมพีแดนซ์ดีขึ้น แต่ยังมีแถบความถี่ที่แคบ และได้เลือกค่าที่ดีที่สุดของการปรับพารามิเตอร์ออกมา คือ $w = \lambda/16$ และ $H = \lambda/4$ ในการออกแบบและปรับปรุงไดโพลแม่เหล็กต่อไป และทำการจำลองผลแบบรูปการแผ่พลังงานออกมาจะเห็นว่าไดโพลแม่เหล็กมีการแผ่คลื่นออกไปสองทิศทาง มีอัตราขยาย 3.49 dB ที่ความถี่ 2.63 GHz ดังนั้นรูปทรงของไดโพลแม่เหล็กที่มีการดัดเป็นรูปตัวยูทำให้มีการแผ่คลื่นในสองทิศทาง และส่งผลให้อัตราขยายเพิ่มขึ้นจากไดโพลไฟฟ้าที่มีลักษณะเป็นสตริปตรงที่มีการแผ่คลื่นรอบทิศทาง

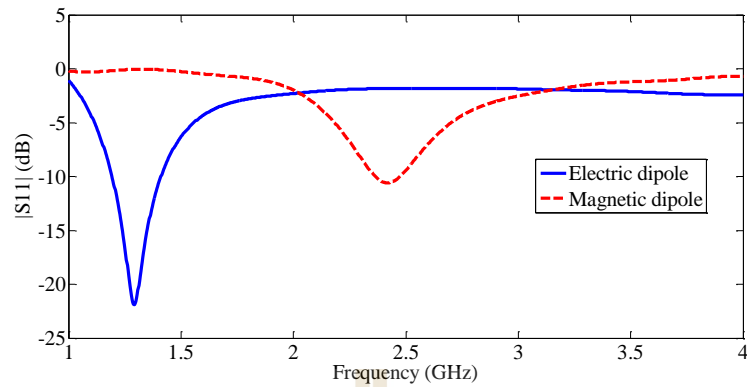
3.4 การออกแบบไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า

ไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า (Magneto-electric dipole) คือความสามารถในการทำงานร่วมกันของ ไดโพลไฟฟ้าและไดโพลแม่เหล็ก การออกแบบไดโพลไฟฟ้าแบบแพทช์ที่มีความยาวเท่ากับ $\lambda/2$ ดังแสดงในรูปที่ 3.12(ก) และไดโพลแม่เหล็กจะใช้แพทช์ดัดเป็นรูปตัวยูโดยมีความสูง $\lambda/4$ ดังแสดงในรูปที่ 3.12 (ข) ผลการจำลองแบบของไดโพลไฟฟ้าและไดโพลแม่เหล็กจะแสดงไว้ในรูปที่ 3.13 ซึ่งไดโพลทั้งสองทำงานด้วยความถี่ที่ต่างกัน เมื่อนำไดโพลไฟฟ้าวรรวมกับไดโพลแม่เหล็กโดยตั้งอยู่บนระนาบกราวด์ที่มีความสูง $\lambda/4$ ดังแสดงในรูปที่ 3.12(ค) จะทำให้คลื่นสะท้อนมีเฟสตรงกัน จึงสามารถเกิดการรวมกันของคลื่นพลังงานได้ [17] ดังนั้นหากเราสามารถออกแบบไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าให้ทำงานที่ความถี่เดียวกันได้ก็จะได้สายอากาศที่มีแบนด์วิดท์กว้างและแบบรูปการแผ่พลังงานสมมาตรในระนาบสนาม E และ H



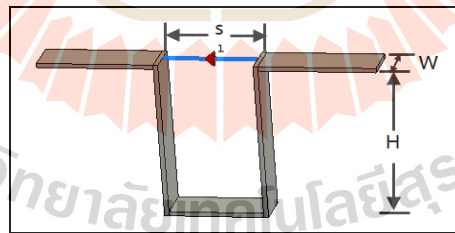
รูปที่ 3.12 สายอากาศสตริปไดโพล

(ก) ไดโพลไฟฟ้า (ข) ไดโพลแม่เหล็ก (ค) ไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า

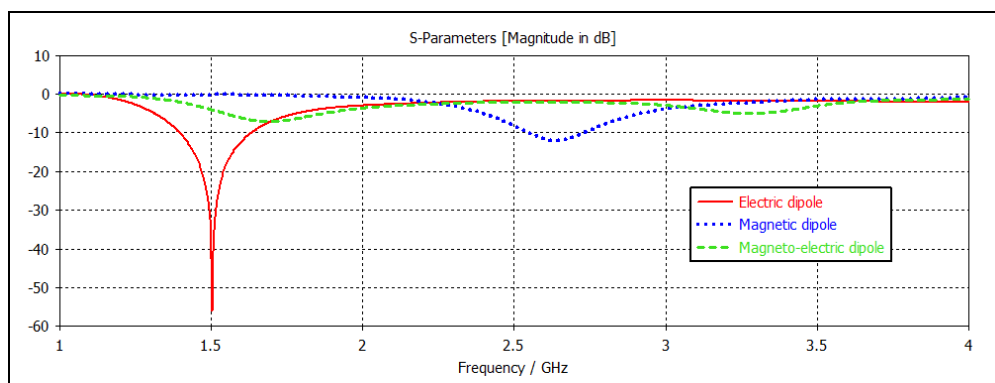


รูปที่ 3.13 ผลการจำลองแบบค่า S_{11} ของไดโพลไฟฟ้าและไดโพลแม่เหล็ก

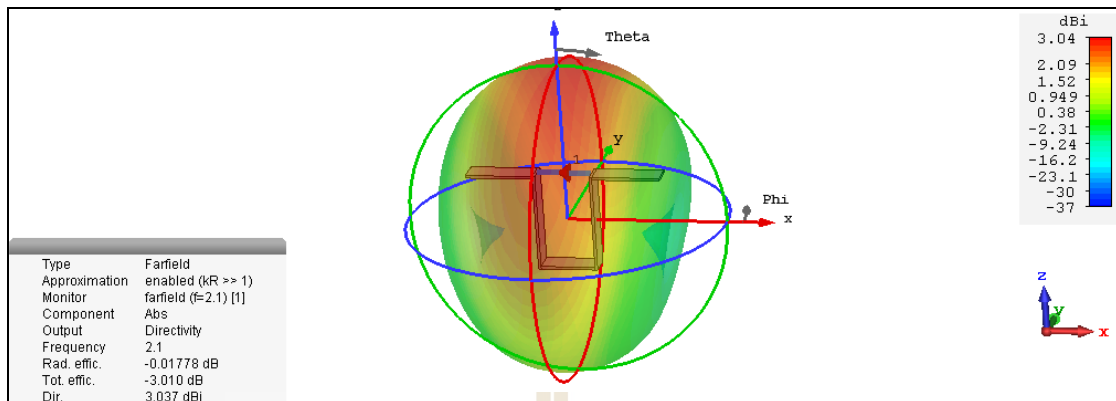
ออกแบบสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า (Magneto-Electric Strip Dipole Antenna) โดยใช้คุณสมบัติของไดโพลแม่เหล็กและไดโพลไฟฟ้าที่มีการแผ่พลังงานไปในทิศทางของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า ที่ได้ทำการออกแบบร่วมกัน ซึ่งกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้ ความกว้าง $w = \lambda/16$ ความยาว $l = \lambda/2$ ความสูง $H = \lambda/4$ และระยะห่างระหว่างสตริปไดโพลทั้งสอง ($s = 20\text{mm}$) และใส่แผ่นกราวด์ที่มีความยาวและความกว้างเป็น λ (142.86 mm) ซึ่งค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวที่เลือกใช้ เนื่องจากเป็นค่าที่ดีที่สุดจากการจำลองผลแต่ละตัวของไดโพลไฟฟ้าและไดโพลแม่เหล็กจากนั้นได้ทำการจำลองผล ที่มีการป้อนสัญญาณแบบ Discrete Ports ดังรูปที่ 4.14 และแสดงค่า S_{11} และแบบรูปการแผ่พลังงาน ดังรูปที่ 3.15 และรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.14 ไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการป้อนสัญญาณแบบ Discrete Port



รูปที่ 3.15 เปรียบเทียบค่า S_{11} ของไดโพลไฟฟ้าไดโพลแม่เหล็ก และไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า โดยใช้การป้อนสัญญาณแบบ Discrete Port

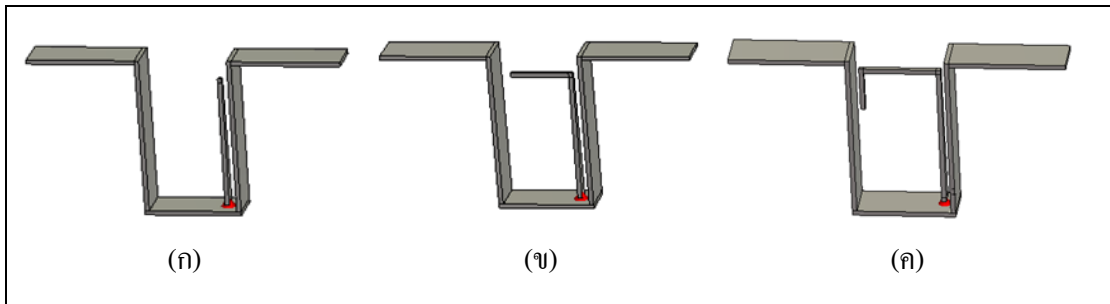


รูปที่ 3.16 แบบรูปการแผ่พลังงานของไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า โดยใช้การป้อนสัญญาณแบบ Discrete Port

จากรูปที่ 3.14 เมื่อนำไดโพลไฟฟ้าและไดโพลแม่เหล็กมารวมกันโดยป้อนสัญญาณแบบ Discrete Port และทำการจำลองผลออกมาจะพบว่าอิมพีแดนซ์ไม่แมตซ์ ซึ่งสัญญาณที่ป้อนเข้าไปมีอิมพีแดนซ์เท่ากับ 50 โอห์ม แต่สายอากาศมีอิมพีแดนซ์ที่สูงกว่าจึงทำให้อิมพีแดนซ์ไม่แมตซ์ สามารถดูได้จากรูปที่ 3.15 จะพบว่าไดโพลไฟฟ้ามีการแมตซ์ที่ดีที่สุดที่ 1.5 GHz และไดโพลแม่เหล็กมีการแมตซ์ที่ 2.63 GHz แต่เมื่อนำไดโพลทั้งสองมารวมกันกลับพบว่าอิมพีแดนซ์ไม่แมตซ์ การแมตซ์อิมพีแดนซ์นั้นต้องมีสัญญาณขาเข้าและขาออกเท่ากัน ดังนั้นการป้อนสัญญาณแบบ Discrete Port จึงไม่เหมาะสมกับการใช้งาน และขนาดพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศก็มีผลต่อการแมตซ์อิมพีแดนซ์ และจากรูปที่ 3.16 แบบรูปการแผ่พลังงานมีการแผ่พลังงานไปในทิศทางเดียวที่กว้าง และมีอัตราขยายเป็น 3.04 dBi ที่ความถี่ 2.1 GHz เมื่อพิจารณาไดโพลไฟฟ้า และไดโพลแม่เหล็ก ที่ค่ามีการแมตซ์อิมพีแดนซ์ หลังจากนำไดโพลไฟฟ้าและแม่เหล็กมารวมกันพบว่าอิมพีแดนซ์ไม่แมตซ์ เนื่องมาจากสัญญาณที่ป้อนเข้ามาไม่แมตซ์จึงได้พิจารณาตัวป้อนสัญญาณใหม่ในหัวข้อถัดไป

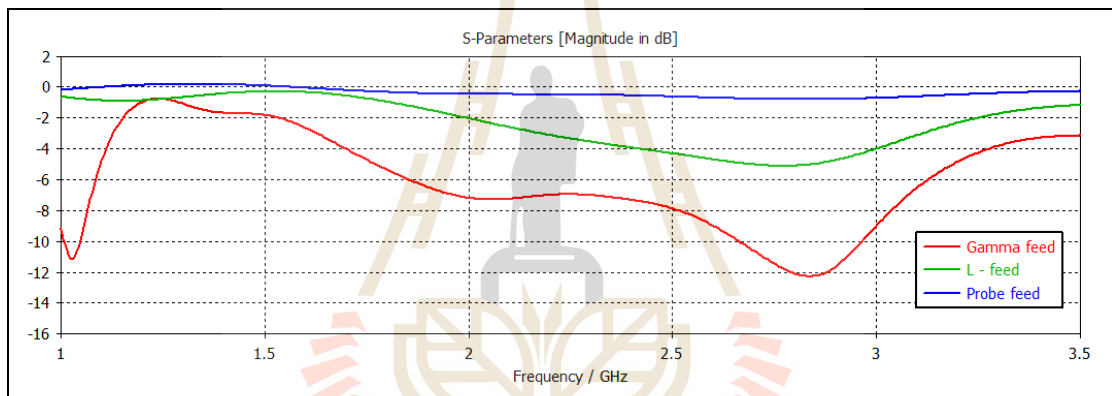
3.5 การแมตซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศสตริปไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบตรง โดยใช้การป้อนสัญญาณแบบแอมมา

จากหัวข้อที่ผ่านมาได้ออกแบบสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetoelectric Strip Dipole Antenna) และมีการป้อนสัญญาณแบบ Discrete Port เมื่อทำการจำลองผลพบว่ายังไม่แมตซ์อิมพีแดนซ์ ซึ่งการแมตซ์อิมพีแดนซ์เป็นผลมาจากการป้อนสัญญาณ ในหัวข้อนี้จึงได้ทำการเปลี่ยนตัวป้อนสัญญาณเป็น 3 แบบดังรูปที่ 3.17 โดยเลือกใช้ไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าตัวเดิมและมีพารามิเตอร์ต่างๆคงเดิม ซึ่งได้ทำการจำลองผลค่า S_{11} ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการป้อนสัญญาณแบบแกมมา (Γ -Shaped Strip Feed)

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

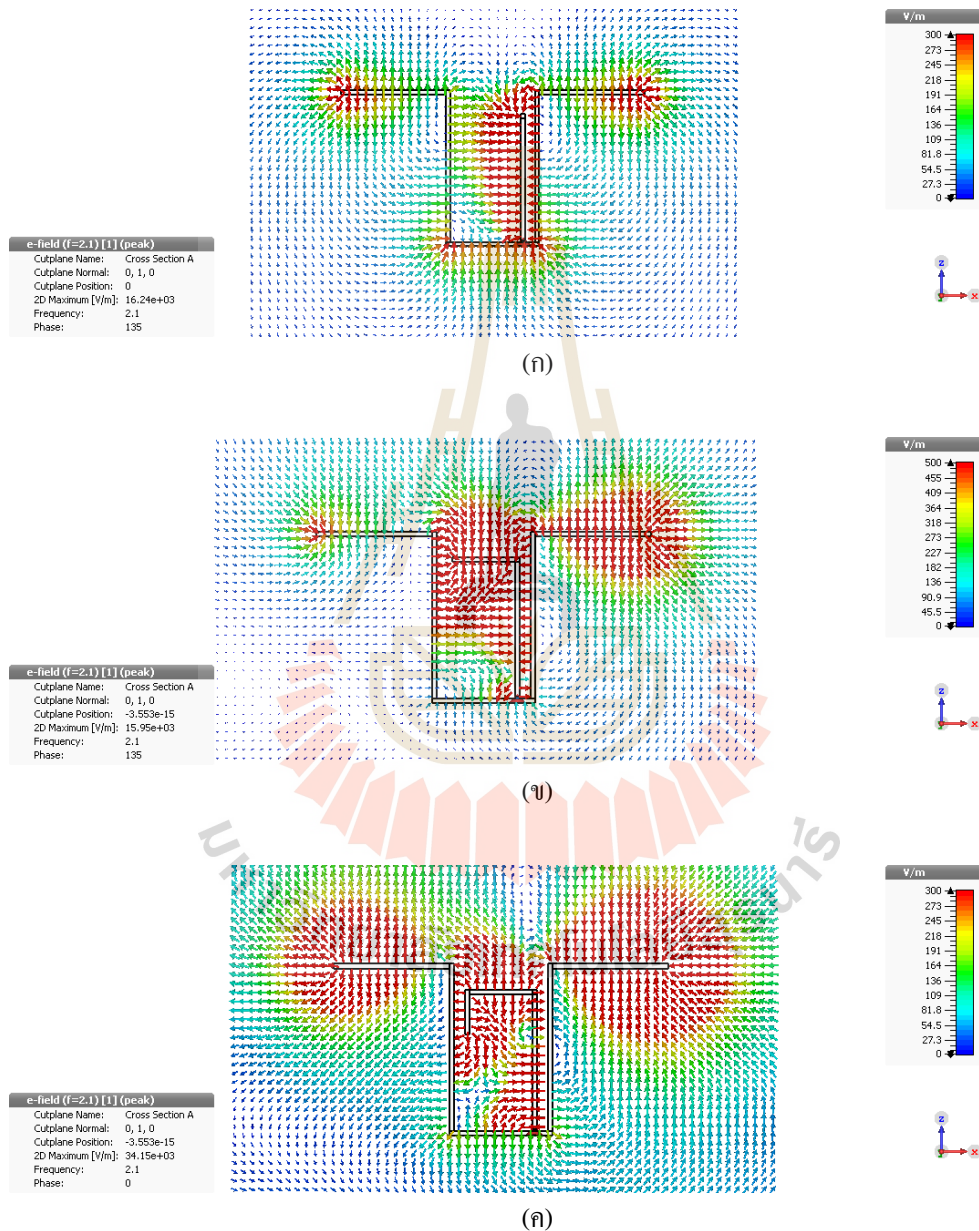


รูปที่ 3.18 การป้อนสัญญาณแบบ Probe Feed, L - Feed และ Γ - Feed

จากรูปที่ 3.18 เป็นผลเปรียบเทียบค่า S_{11} ระหว่างการป้อนสัญญาณแบบโพรบ (Probe Feed) การป้อนสัญญาณรูปตัวแอล (L - Feed) และการป้อนสัญญาณแบบแกมมา (Γ - Feed) ซึ่งพบว่า การป้อนสัญญาณแบบโพรบยังไม่แมตซ์อิมพีแดนซ์ เนื่องจากความยาวของตัวป้อนสัญญาณแบบโพรบมีความยาวไม่ถึง $\lambda/2$ ต่อมาป้อนสัญญาณแบบรูปตัวแอล จากรูปพบว่ายังไม่แมตซ์อิมพีแดนซ์ แต่พบว่าการแมตซ์ดีขึ้นในช่วงความถี่ปลาย เนื่องจากความยาวของตัวป้อนสัญญาณรูปตัวแอลมีความยาวมากขึ้นแต่ยังไม่ถึง $\lambda/2$ ซึ่งไม่สามารถปรับความยาวของตัวป้อนได้มากกว่านี้เพราะจะชนกับขาของไดโพล ดังนั้นจึงได้ทำการป้อนสัญญาณแบบแกมมา พบว่าการแมตซ์อิมพีแดนซ์ดีขึ้น และมีการแมตซ์ในช่วงความถี่ปลาย ตั้งแต่ 2.7 GHz - 3 GHz

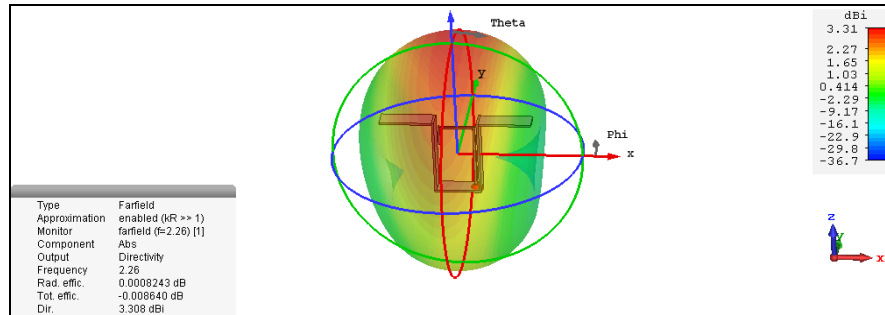
จากรูปที่ 3.19 แสดงสนามไฟฟ้า โดยเริ่มจากการป้อนสัญญาณแบบโพรบ (Probe Feed) จะเห็นว่าคลื่นมีการเหนี่ยวนำรอบๆโพรบและมีคลื่นส่วนน้อย ที่ถูกเหนี่ยวนำไปที่ปลายแขนของไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อลองเปลี่ยนตัวป้อนเป็นแบบ L-Feed พบว่าการเหนี่ยวนำคลื่นไปที่ขาของไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้ามักขึ้น แต่คลื่นที่เหนี่ยวนำไม่มีความสมดุล โดยที่แขนของไดโพลฝั่งที่ใกล้โพรบคลื่นจะ

เหนี่ยวนำได้มากกว่าแขนอีกด้าน และเมื่อใช้ตัวป้อนเป็นแบบ Γ -Feed คลื่นจะได้เหนี่ยวนำได้มากขึ้นและมีความสมมาตรของคลื่นทั้ง 2 ข้างของแขนไดโพล ทั้งนี้เนื่องจากความยาวของตัวป้อนนั้นมีความยาวใกล้เคียง $\lambda/2$



รูปที่ 3.19 สนามไฟฟ้าโดยเปรียบเทียบระหว่างการป้อนสัญญาณแบบ

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

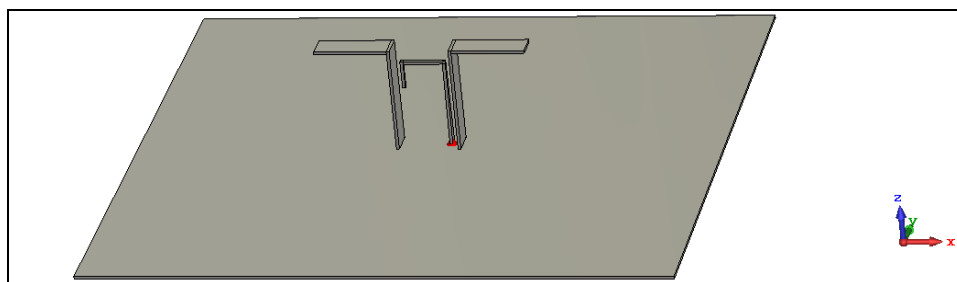


รูปที่ 3.20 แบบรูปการแผ่พลังงานของไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการป้อนสัญญาณแบบแกมม่า (Γ-Shaped Strip Feed)

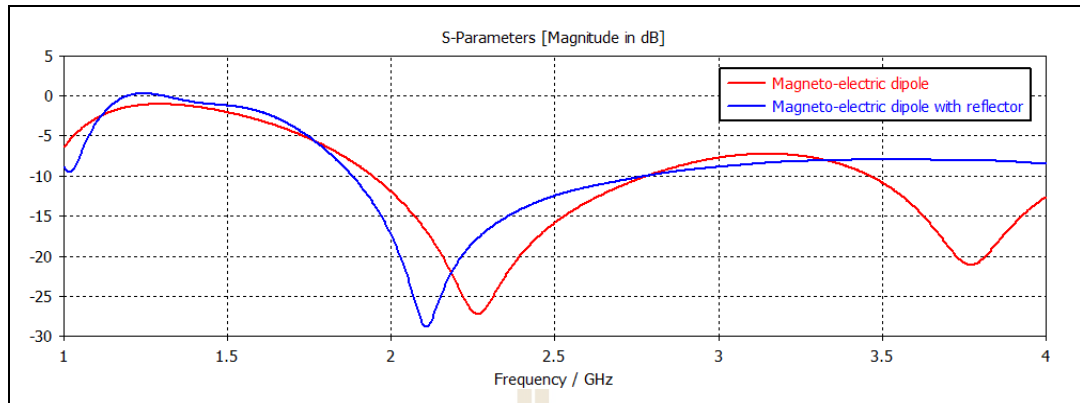
จากรูปที่ 3.20 แบบรูปการแผ่พลังงานของไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการป้อนสัญญาณแบบแกมม่า (Γ-Shaped Strip Feed) มีการแผ่คลื่นไปในทิศทางเดียวและมีความสมมาตร อีกทั้งยังพบว่าอัตราขยายมีค่าประมาณ 3.31 dBi ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการป้อนสัญญาณแบบแกมม่าส่งผลให้มีการแมตซ์อิมพีแดนซ์ดีขึ้น

3.6 การเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศสตริปไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบตรง ด้วยการเพิ่มแผ่นกราวด์

การออกแบบสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า (Magneto-Electric Strip Dipole Antenna) ในหัวข้อนี้จะเป็นการใช้สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าตัวเดิม โดยการเพิ่มแผ่นกราวด์ที่มีความยาวและความกว้างเป็น 1.4λ ดังรูปที่ 3.21 ซึ่งจากหัวข้อที่แล้วผลการจำลองยังได้อัตราขยายต่ำ ดังนั้นจึงใส่แผ่นกราวด์เพื่อเพิ่มการสะท้อนของคลื่น และยังกำหนดให้ความสูงของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้ามีความสูงจากแผ่นกราวด์เป็น $\lambda/4$ เพื่อให้คลื่นที่สะท้อนออกไปเสริมกันที่จะทำให้อัตราขยายเพิ่มขึ้น และจำลองผล ค่า S_{11} ดังรูปที่ 3.22 ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบอัตราขยายระหว่างก่อนและหลังใส่แผ่นกราวด์



รูปที่ 3.21 สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการป้อนสัญญาณแบบแกมม่าและเพิ่มขนาดของแผ่นกราวด์



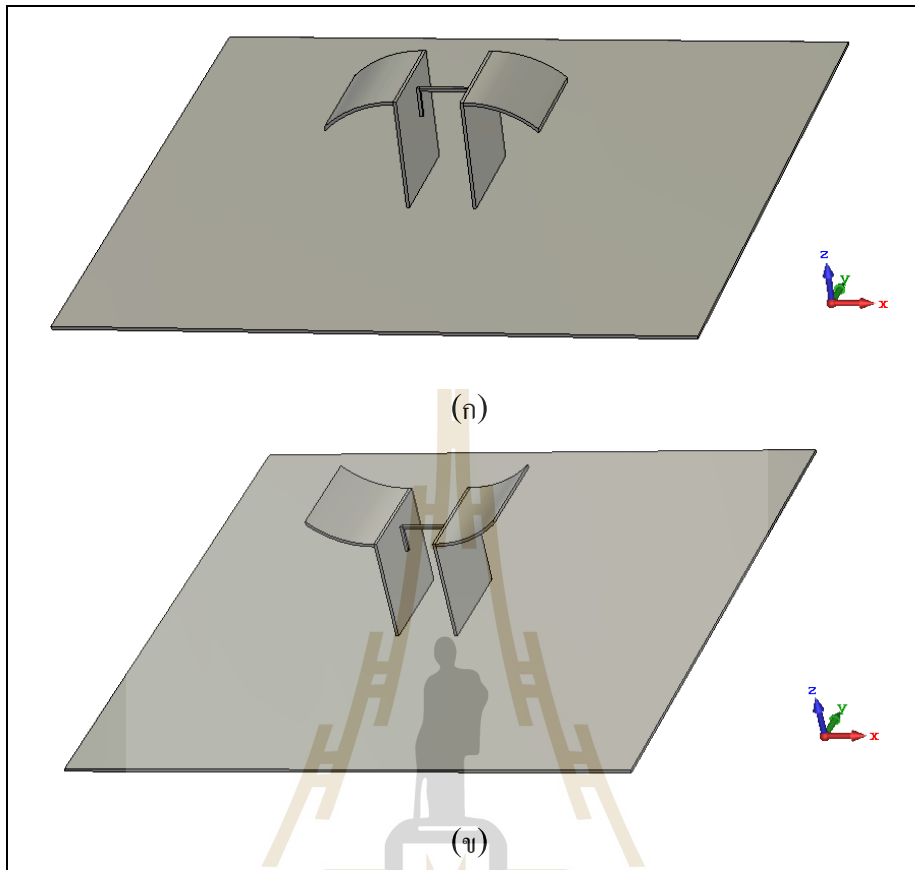
รูปที่ 3.22 ค่า S_{11} ของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการป้อนสัญญาณแบบแอมมำและ
เพิ่มขนาดของแผ่นกราวด์

ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบอัตราขยายระหว่างก่อนและหลังใส่แผ่นกราวด์

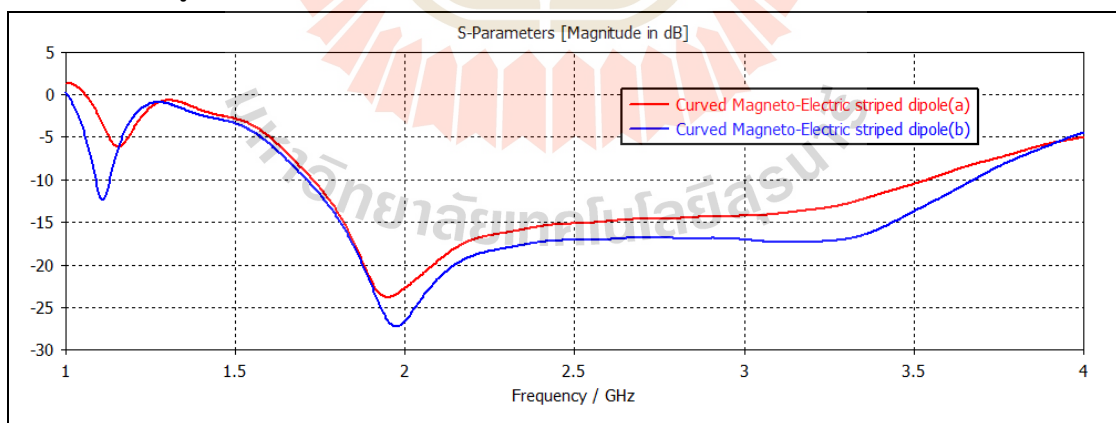
ความถี่ (GHz)	อัตราขยาย (dBi)	
	ก่อนใส่แผ่นกราวด์	หลังใส่แผ่นกราวด์
1.7	2.6	8.8
2.1	2.26	8.5
2.6	4.3	7.5

3.7 การออกแบบสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า

การออกแบบสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า (Magneto-Electric Curved Dipole Antenna) ได้พิจารณาความสูงของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อดูการแมตซ์ของอิมพีแดนซ์ โดยใช้ในการปรับไดโพลไฟฟ้าให้มีความโค้งเพื่อดูระยะความสูงของสายอากาศว่ามีผลต่อการแมตซ์อิมพีแดนซ์ในแต่ละช่วงความถี่หรือไม่ โดยทำการเปลี่ยนจากสตริปไดโพลไฟฟ้าแบบตรงเป็นสตริปไดโพลไฟฟ้าที่เพิ่มการดัดโค้งเป็นรัศมี ($r = 34\text{mm}$) เพื่อพิจารณาความสูงจากไดโพลไฟฟ้า เมื่อทำการดัดโค้งแล้วจะมีผลต่อความถี่ที่ระยะความสูงใดๆจากระยะความโค้งว่ามีผลต่อการแมตซ์อิมพีแดนซ์ในแต่ละช่วงความถี่หรือไม่ กำหนดให้พารามิเตอร์ต่างๆที่ คือความกว้าง ($w = \lambda / 4$) ความยาว ($l = \lambda / 2$) ความสูง ($h = \lambda / 4$) และระยะห่างของไดโพล ($s = 20\text{mm}$) ที่ป้อนสัญญาณแบบแอมมำ และได้ทำการเปรียบเทียบไดโพลไฟฟ้าโค้งสองแบบ คือ (ก) แบบโค้งคว่ำ และแบบ (ข) โค้งหงาย ดังรูป 3.23

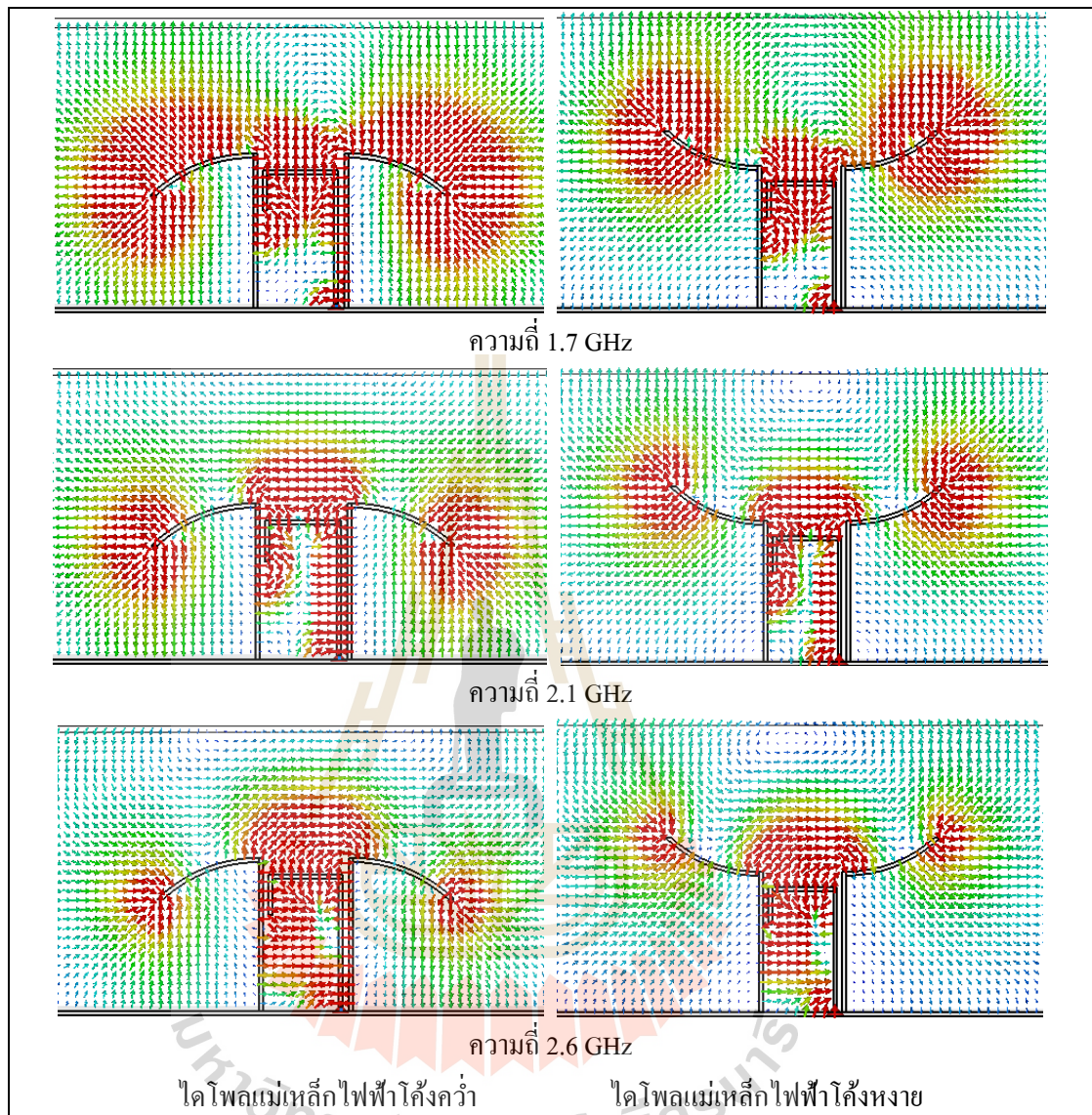


รูปที่ 3.23 ไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า (ก) แบบโค้งคว่ำ (ข) แบบโค้งหงาย



รูปที่ 3.24 ค่า S_{11} ของไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า (ก) แบบโค้งคว่ำ (ข) แบบโค้งหงาย

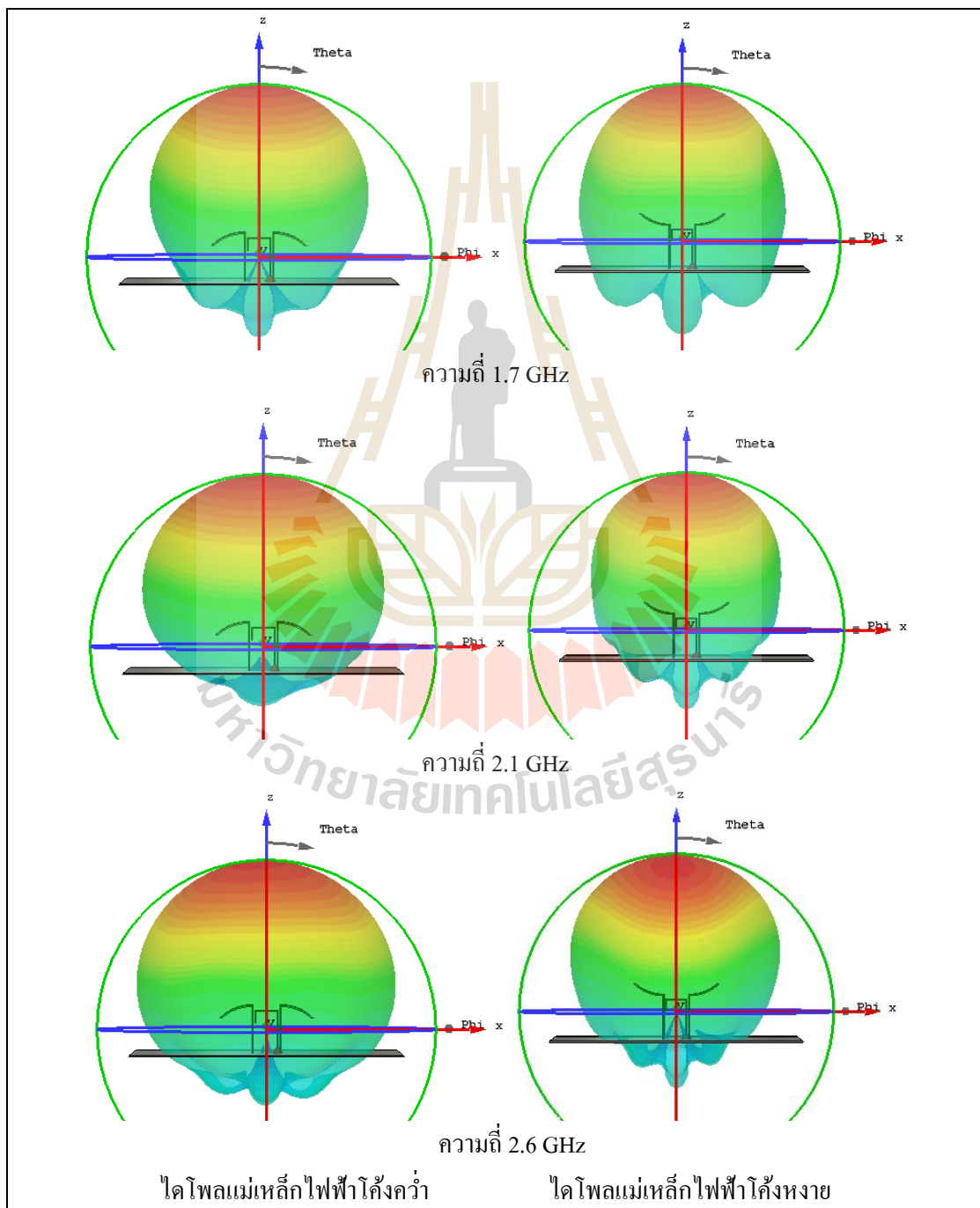
จากรูปที่ 3.24 เป็นกราฟเปรียบเทียบค่า S_{11} ของไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งคว่ำและแบบโค้งหงาย โดยดูจากค่า S_{11} เพื่อดูการสะท้อนกลับของคลื่นที่ส่งออกไป และส่งผลการแมตซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศหรือไม่ จากรูปจะเห็นว่าแบบโค้งหงายในเส้นสีน้ำเงินจะมีการแมตซ์อิมพีแดนซ์ได้ดีกว่าแบบโค้งคว่ำในเส้นสีแดง แสดงว่าคลื่นที่สะท้อนกลับมีค่าน้อยกว่าและยังทำให้มีความกว้างแถบเพิ่มขึ้นอีกด้วย ซึ่งบ่งบอกว่าระยะความสูงจากสายอากาศไดโพลถึงแผ่นกราวด์มีผลต่อการแมตซ์อิมพีแดนซ์ จึงทำการปรับระยะความโค้งให้สอดคล้องกับสายอากาศที่ต้องการออกแบบ



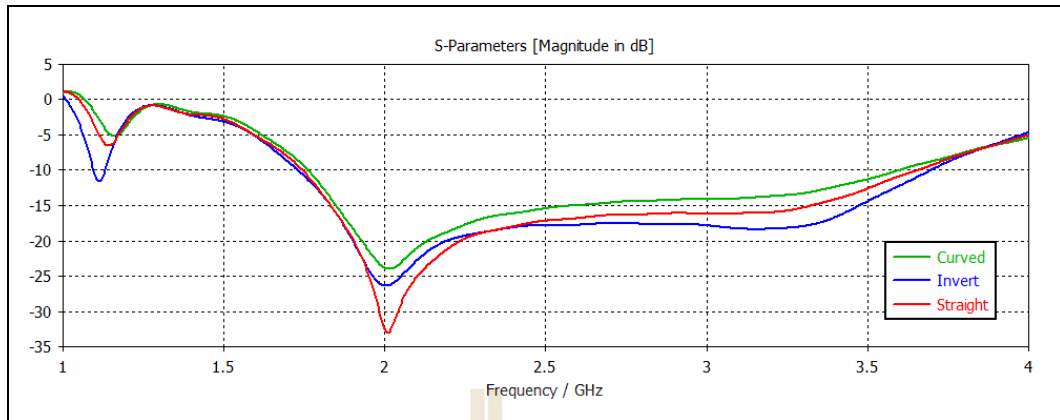
รูปที่ 3.25 สนามไฟฟ้าของโดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.25 ดูทิศทางการเหนี่ยวนำของกระแสบนผิวโลหะ ได้ทำการป้อนสัญญาณเข้าไปในสายอากาศ ตัวป้อนสัญญาณรูปแกมมาจะทำการเหนี่ยวนำกระแสออกไปและเกิดการเหนี่ยวนำสัญญาณระหว่างขาโดโพลแม่เหล็กและเหนี่ยวนำคลื่นไปตามสายอากาศและแผ่คลื่นออกไปในอากาศ ซึ่งจากรูปได้แสดงให้เห็นดู 3 ความถี่ และแบ่งสายอากาศเป็นแบบโค้งคว่ำและแบบโค้งหงายตามการออกแบบ จากรูปที่ความถี่ 1.7 GHz มีการเหนี่ยวนำคลื่นได้ดีกว่าความถี่อื่น ซึ่งบ่งบอกว่าสายอากาศทำงานในช่วงความถี่ที่ 1.7 GHz ได้ดี ส่วนต่อมาพิจารณาตามโครงสร้างแบบโค้งคว่ำกับแบบโค้งหงายพิจารณาจากรูปจะพบว่าคลื่นที่แผ่ออกไปของสายอากาศแบบโค้งคว่ำจะมีลักษณะที่กว้างกว่าแบบโค้งหงายซึ่งเป็นไปตามลักษณะโครงสร้างของโดโพลไฟฟ้าที่ตัดโค้ง ในส่วนแบบรูปการแผ่พลังงานพิจารณาจากรูปที่ 3.26 จะเห็นว่าแบบรูปการแผ่พลังงานจะมีลักษณะและทิศทางเหมือนกับรูป 3.25 ที่โครงสร้างของ

สายอากาศแบบโค้งคว่ำจะมีแบบรูปการแผ่พลังงานที่กว้างกว่าสายอากาศแบบโค้งหงาย ต่อมาได้พิจารณาสายอากาศแบบโค้งคว่ำและโค้งหงายว่าส่งผลต่อการแมตซ์อิมพีแดนซ์และอัตราขยายอย่างไร ดังแสดงในรูปที่ 3.7 และ 3.8 ที่นำโครงสร้าง 3 แบบ มาเปรียบเทียบกับว่าความโค้งจะส่งผลอย่างไรกับค่า S_{11} และส่งผลให้อัตราขยายเพิ่มขึ้นหรือลดลง



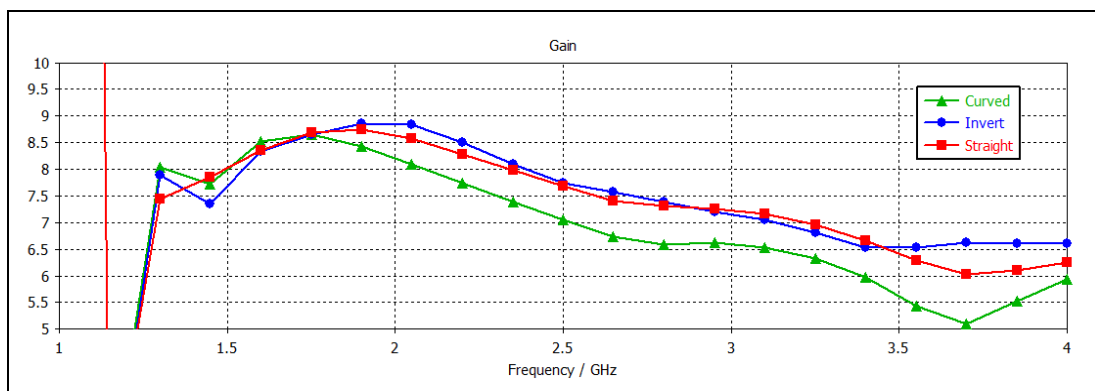
รูปที่ 3.26 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า



รูปที่ 3.27 การเปรียบเทียบค่า S_{11} ของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.27 พิจารณาความโค้งของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าต่อค่า S_{11} จะพบว่ามีผลต่อการแมตซ์ ในช่วงความถี่ที่ 2 GHz สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบตรงจะมีการแมตซ์อิมพีแดนซ์ได้ดีกว่าตัวอื่น แต่ในช่วงความถี่ประมาณ 2.5-3.6 GHz สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโค้งหงายจะมีการแมตซ์อิมพีแดนซ์ดีกว่า ซึ่งค่า S_{11} จะสอดคล้องกับอัตราขยายถ้ามีการแมตซ์อิมพีแดนซ์ดีจะส่งผลให้มีอัตราขยายที่สูงขึ้น

จากรูปที่ 3.28 พิจารณาอัตราขยายจากโครงสร้างสายอากาศระหว่างโครงสร้างแบบตรง แบบโค้งคว่ำ และโค้งหงายแล้วทำการเปรียบเทียบอัตราขยายของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งสามแบบดังตารางที่ 3.2 จากรูปแสดงอัตราขยาย เส้นสีน้ำเงิน แบบโค้งคว่ำในเส้นสีเขียวและแบบโค้งหงายในเส้นสีแดง จะพบว่าแบบโค้งคว่ำจะมีอัตราขยายต่ำสุด และแบบโค้งหงายกับแบบตรงจะมีอัตราขยายที่ใกล้เคียงกันแต่แบบโค้งหงายจะมีอัตราขยายที่ดีกว่าในช่วงต้นของความถี่และช่วงปลายของความถี่ แต่ถ้าพิจารณาเฉพาะโครงสร้างแบบโค้งจะเห็นได้ชัดเจนว่าแบบโค้งหงายจะมีอัตราขยายที่ดีกว่า เนื่องจากลักษณะโครงสร้างที่โค้งเข้าหากันจึงทำให้คลื่นที่แผ่ออกไปมีการรวมกันได้ดีกว่า ซึ่งส่งผลให้อัตราขยายเพิ่มขึ้น ถ้าพิจารณาที่ความกว้างแถบโครงสร้างแบบโค้งคว่ำจะมีย่านความถี่ที่กว้างกว่าซึ่งเป็นไปตามลักษณะการแผ่พลังงาน



รูปที่ 3.28 อัตราขยายของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า โดยการเปรียบเทียบระหว่างแบบตรง แบบโค้งคว่ำ และแบบโค้งหงาย

ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบอัตราขยายระหว่างโครงสร้างไดโพล 3 แบบ

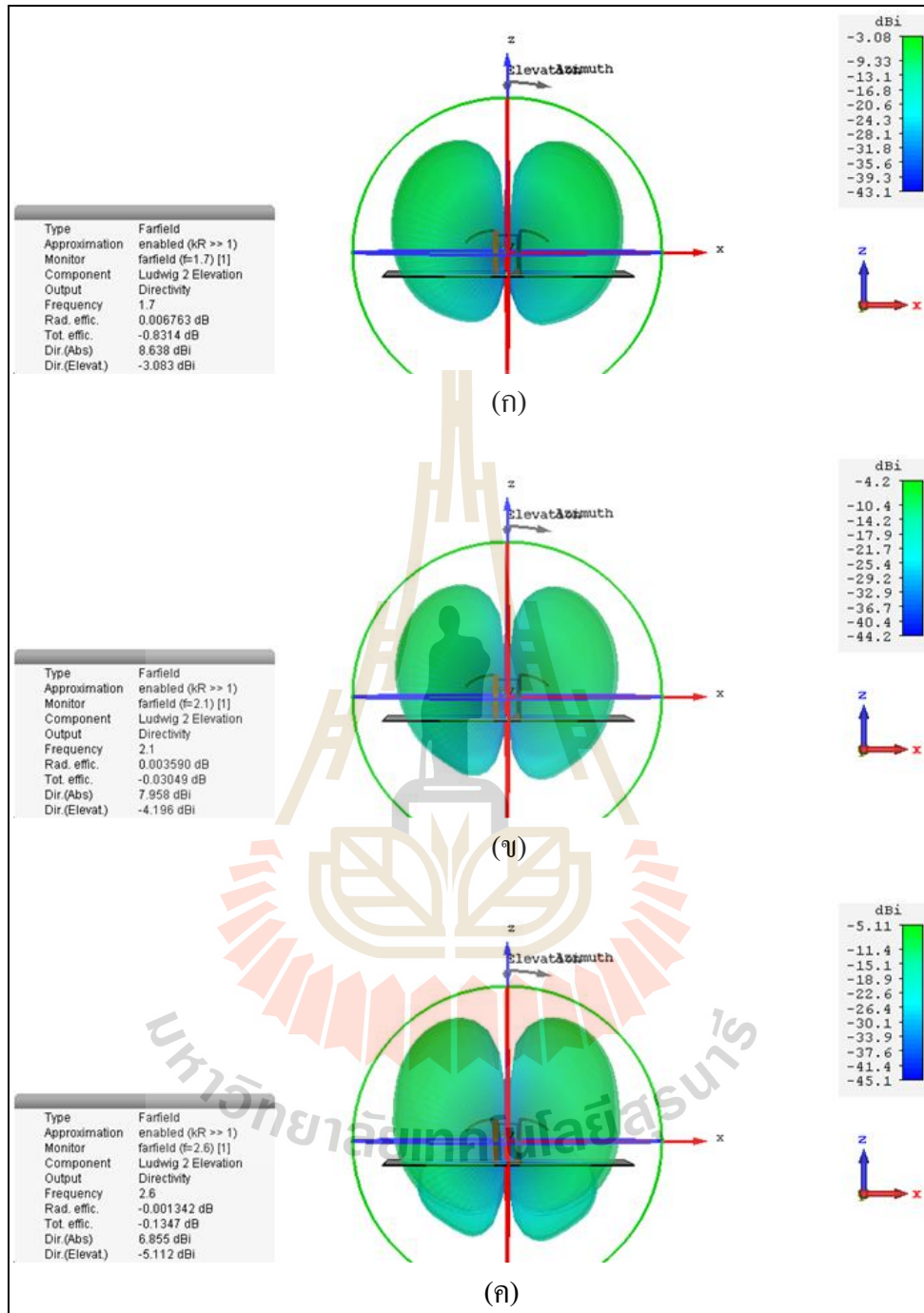
ความถี่ (GHz)	ไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า แบบตรง	ไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า แบบโค้งคว่ำ(ก)	ไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า แบบโค้งหงาย(ข)
1.7	8.65	8.55	8.59
2.1	8.49	7.86	8.7
2.6	7.49	6.78	7.61

จากตารางที่ 3.2 ได้เปรียบเทียบผลการจำลองแบบ HPBW ของสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างโค้งคว่ำและโค้งหงาย โดยจะเห็นว่า HPBW ของไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งคว่ำจะกว้างกว่าแบบโค้งหงาย ซึ่งไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งคว่ำจะมีลำคลื่นที่กว้าง เนื่องจากคลื่นที่แผ่ออกไปจะเป็นการกระจายคลื่นตามความโค้ง ส่วนแบบโค้งหงายจะมีลำคลื่นที่แคบด้วยมีลักษณะที่โค้งเข้าหากันจะเป็นการรวมคลื่น ดังนั้นความโค้งของสตริปไดโพลไฟฟ้ามีผลต่อ HPBW มีลักษณะเป็นไปตามลักษณะความโค้งของสตริปไดโพลไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.29 และ 3.30 แสดงโพลาริซชันไขว้ของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งคว่ำและแบบโค้งหงายแสดงที่ความถี่ 1.7 GHz 2.1 GHz และ 2.6 GHz โดยโพลาริซชันไขว้จะดูคลื่นที่สะท้อนออกไปจากสายอากาศแล้วตกกระทบกับแผ่นกราวด์และคลื่นที่สะท้อนกลับอาจเกิดการรบกวนกันของคลื่น ซึ่งจะพิจารณาในทิศทางหลักที่คลื่นแผ่ออกไปจากสายอากาศ จะพบว่าสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งคว่ำและแบบโค้งหงายในทิศทางหลักจะไม่มีโพลาริซชันไขว้ แต่จะมีโพลาริซชันไขว้ในทิศทางอื่นซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสายอากาศน้อยจึงไม่นำมาพิจารณา จากรูปจะพบว่าค่าโพลาริซชันไขว้ของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งคว่ำจะมีค่าต่ำกว่าสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งหงาย ซึ่งบ่งบอกว่าสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งคว่ำจะเกิดการรบกวนคลื่นได้น้อยกว่าแบบโค้งหงาย

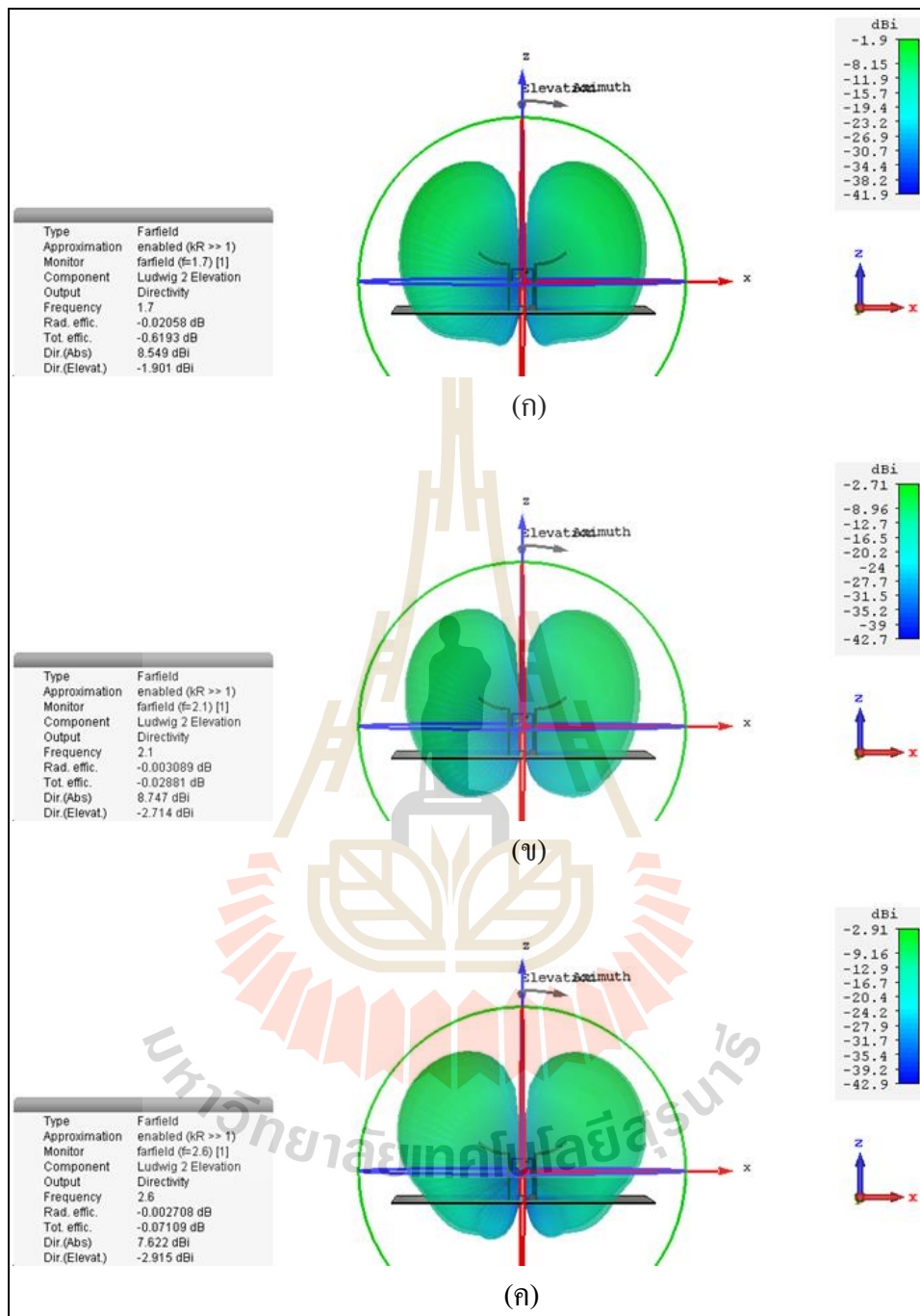
ตารางที่ 3.3 เปรียบเทียบผลการจำลองแบบ HPBW ของไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า

ความถี่ (GHz)	HPBW ไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งคว่ำ (องศา)		HPBW ไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งหงาย (องศา)	
	ระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane)	ระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane)	ระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane)	ระนาบสนามแม่เหล็ก (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



รูปที่ 3.29 โพลาริเซชันของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งคว่ำที่ความถี่

(ก) 1.7 GHz (ข) 2.1 GHz และ (ค) 2.6 GHz



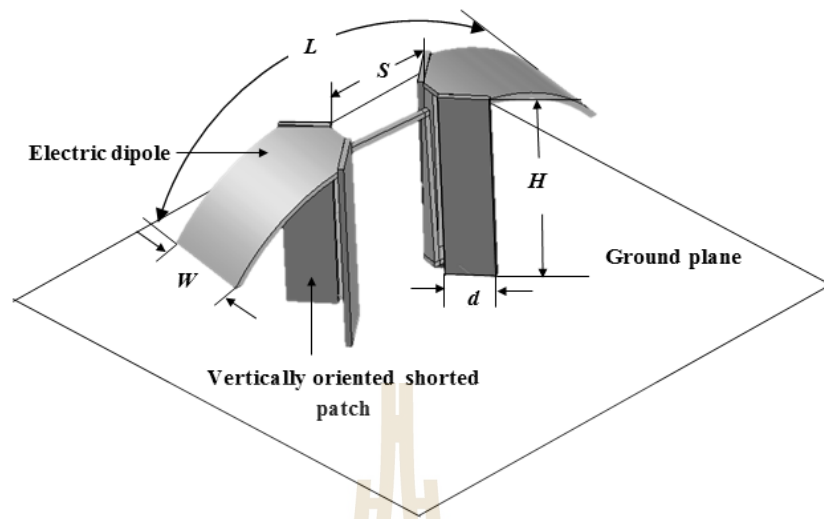
รูปที่ 3.30 โพลาริโกราฟีของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งหงายที่ความถี่ (ก) 1.7 GHz (ข) 2.1 GHz และ (ค) 2.6 GHz

จากวัตถุประสงค์ที่ต้องการออกแบบและสร้างสายอากาศที่มีความกว้างแถบกว้าง อัตราขยายสูง มีแบบรูปการแผ่พลังงานที่เสถียรและโพลาริโกราฟีต่ำ ซึ่งผลการจำลองของไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งหงายจะได้ความกว้างแถบที่กว้างและอัตราขยายสูงกว่าไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งคว่ำ แต่แบบรูปการแผ่พลังงานจะมีลำคลื่นที่แคบกว่า และมี HPBW ที่น้อยกว่าไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งคว่ำ และมีเมื่อ

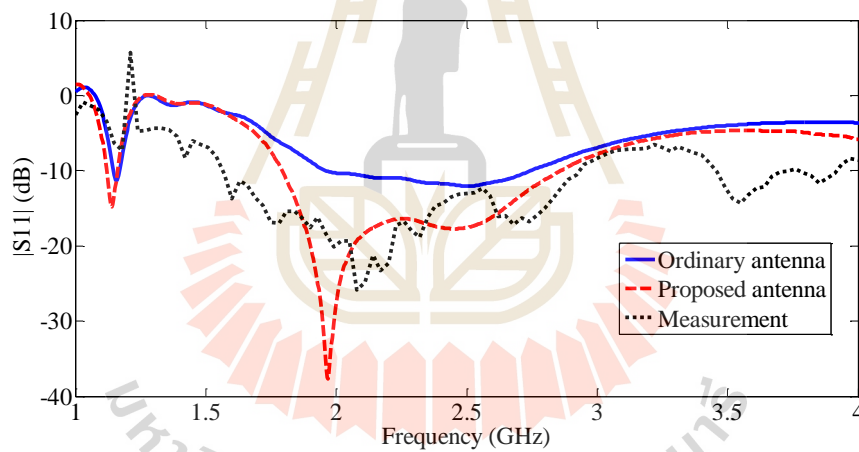
พิจารณาจากการโพลาริไซซ์ไขว้ โดยดูคลื่นที่สะท้อนออกไปจากสายอากาศและคลื่นที่สะท้อนกลับอาจจะเกิดการรบกวนกันของคลื่น ซึ่งกรณีแรกสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งคว่ำคลื่นที่สะท้อนออกไปจะสะท้อนคลื่นได้ทั้งหมด แต่ในกรณีที่สองสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งหงาย ด้วยลักษณะโค้งเข้าหากัน คลื่นที่สะท้อนออกไปจะมีบางส่วนที่สะท้อนกลับมาซึ่งจะทำให้เกิดการรบกวนกันหรือเกิดการโพลาริไซซ์ไขว้ จะทำให้สายอากาศที่ใช้งานมีประสิทธิภาพลดลง

3.8 การออกแบบสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าแบบแบนตัดขอบ

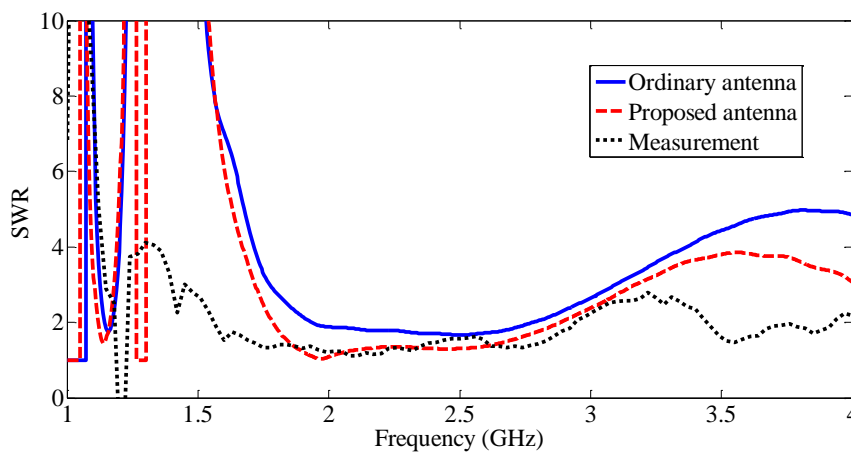
จากหัวข้อ 3.5 ไดโพลแถบโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าได้ถูกวิเคราะห์ การพิจารณาการปรับปรุงทรงของแพทช์แนวตั้งและตำแหน่งการวางของไดโพลแม่เหล็กซึ่งลัดวงจรบนระนาบกราวด์ จะส่งผลต่อการเปลี่ยนความถี่เรโซแนนซ์และการแมตซ์อิมพีแดนซ์ ดังนั้นสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าที่นำเสนอแสดงในรูปที่ 3.31 สายอากาศประกอบด้วยไดโพลไฟฟ้าโค้ง และส่วนตัดขอบสั้นในแนวตั้งบนระนาบกราวด์ โดยมี ความกว้าง $d = 8.5$ มม. ความสูง $H = 35.7$ มม. ($\lambda / 4$) และขนาดระนาบกราวด์เท่ากับ 200×200 มม. แพทช์แนวตั้งวางในทิศทางที่ตั้งฉากกับระนาบกราวด์ที่มุม 45 องศา ไดโพลไฟฟ้าโค้งตั้งอยู่บนระนาบกราวด์ โดยมีขนาด $L = 79$ มม. และ $W = 16$ มม. ซึ่งสัมพันธ์กับการตัดขอบสองด้านที่ 45 องศา และป้อนด้วยสตรัทรูป Γ ที่มี N-type เชื่อมต่อไว้ด้านล่างระนาบกราวด์ การป้อนด้วย Γ จะทำให้สามารถแมตซ์อิมพีแดนซ์ได้ดี โดยมีความถี่เรโซแนนซ์ระหว่างไดโพลไฟฟ้าและไดโพลแม่เหล็กเหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้งานในย่านความถี่กว้าง ดังแสดงในรูปที่ 3.32 ค่า S_{11} จะเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าธรรมดา กับไดโพลแถบโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าที่นำเสนอ พบว่าสายอากาศที่นำเสนอมีความต้านทานที่ตรงกันดีกว่าสายอากาศธรรมดาในทุกๆ ความถี่การทำงาน ตั้งแต่ช่วง 1.78 GHz ถึง 2.88 GHz (เมื่อ $S_{11} < -10$) และ (VSWR < 2) แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ E-plane และ H-plane ที่ความถี่ต่างกัน 1.7 GHz, 2.1 GHz และ 2.7 GHz แสดงดังรูปที่ 3.34 พบว่ามีความสมมาตรและโหลบหลังลดลงในการพิจารณาการกระจายสนามไฟฟ้าใกล้กับความถี่ต่างๆดังที่แสดงในรูปที่ 3.35 ความหนาแน่นไฟฟ้าสูงสุดคือ $500 \text{ V} / \text{m}$ ที่ปลายแขนทั้งสองข้างมีเวกเตอร์สนามไฟฟ้าส่วนใหญ่เนื่องจากสนามไฟฟ้าแผ่โดยอาศัยไดโพลไฟฟ้า อัตราขยายอยู่ในช่วง 6-9 dB ดังแสดงในรูปที่ 3.36



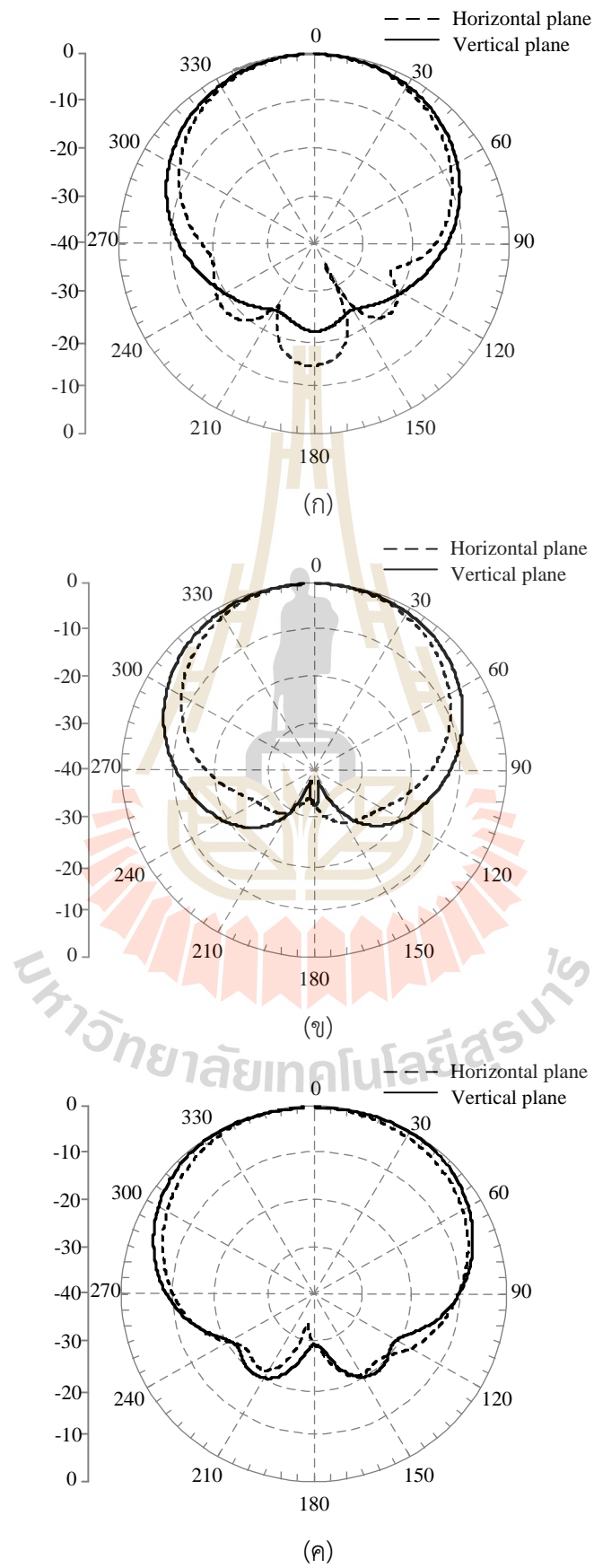
รูปที่ 3.31 โครงสร้างสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าที่นำเสนอ



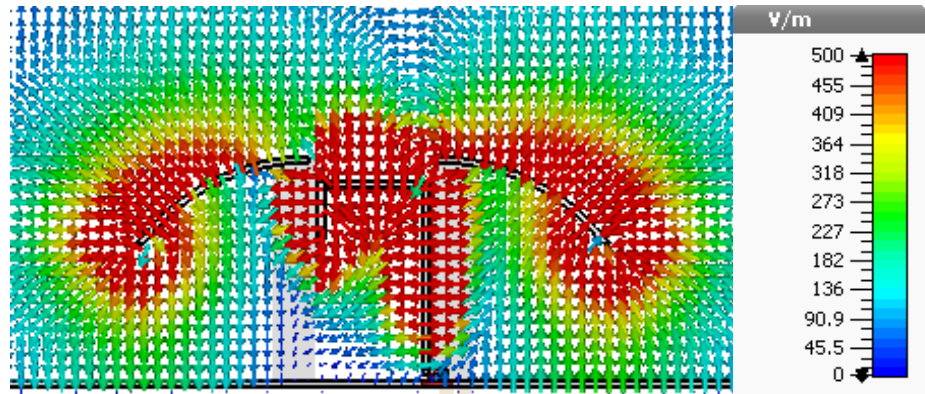
รูปที่ 3.32 เปรียบเทียบค่า S_{11} สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าที่นำเสนอ



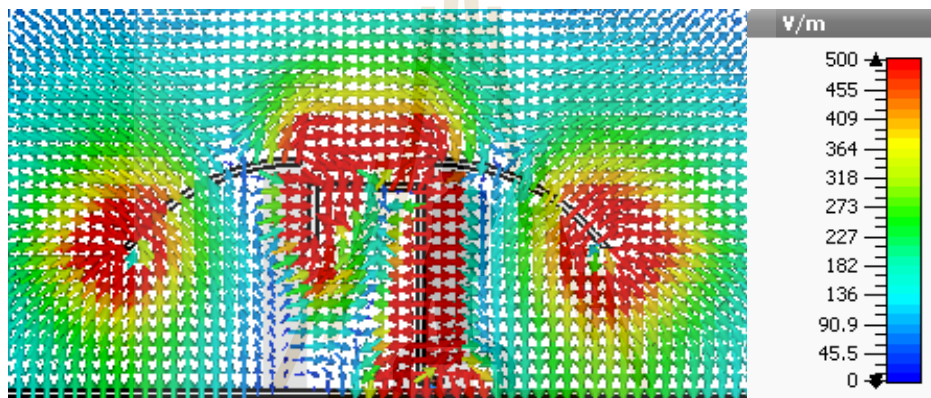
รูปที่ 3.33 เปรียบเทียบค่า VSWR สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าที่นำเสนอ



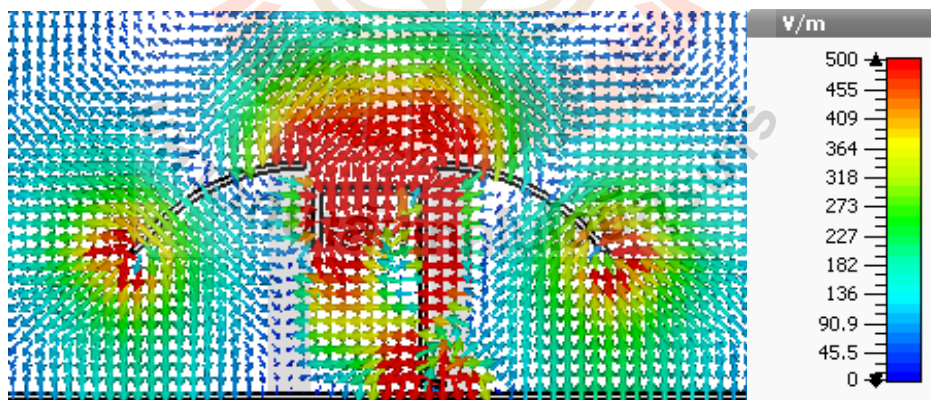
รูปที่ 3.34 แบบรูปการแผ่พลังงานที่ความถี่ (ก) 1.7 GHz, (ข) 2.1 GHz, and (ค) 2.7 GHz



(ก)

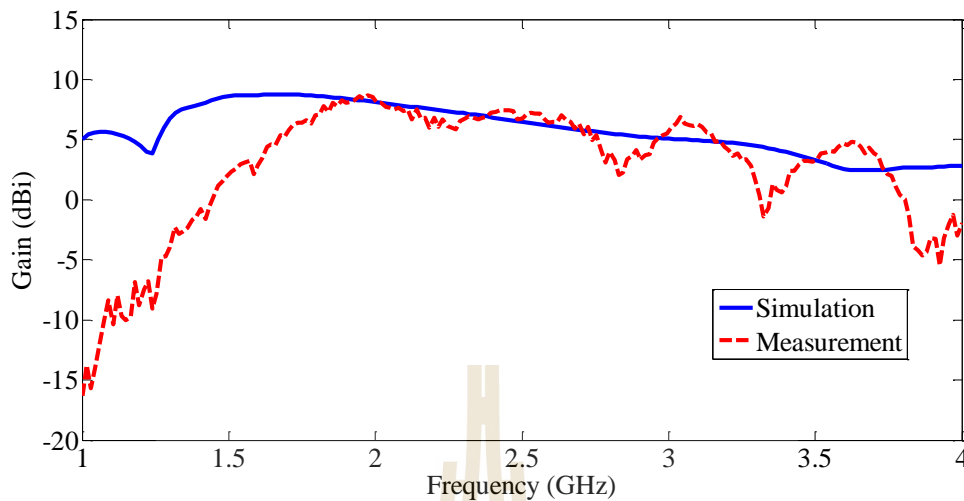


(ข)



(ค)

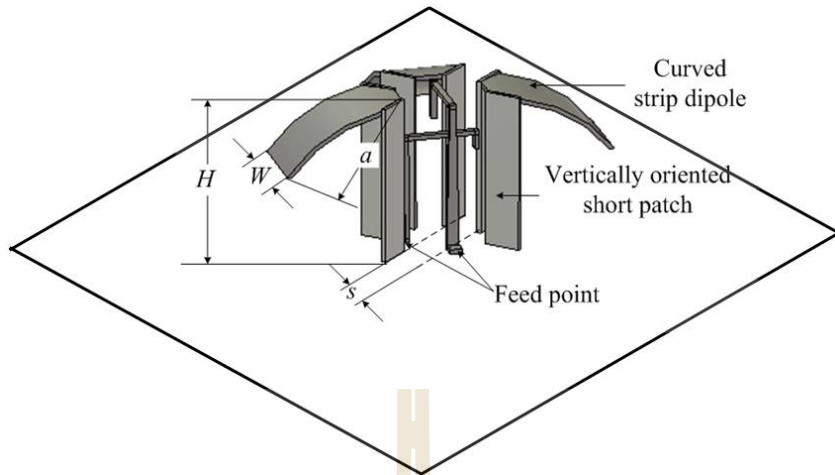
รูปที่ 3.35 สนามไฟฟ้าที่ความถี่ (ก) 1.7 GHz, (ข) 2.1 GHz, and (ค) 2.7 GHz



รูปที่ 3.36 อัตราขยาย

3.9 การออกแบบและจำลองสายอากาศไดเวอร์ซิตีเชิงการโพลาไรซ์

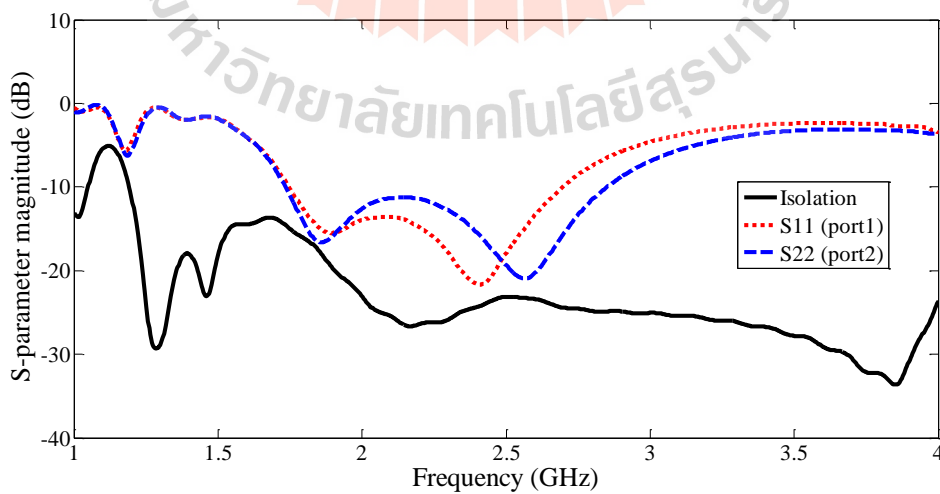
มีเทคนิคมากมายได้รับการพัฒนาและสร้างขึ้นเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของความสามารถและคุณภาพการสื่อสาร หนึ่งในเทคนิคที่ใช้บ่อยที่สุดคือไดเวอร์ซิตีเชิงการโพลาไรซ์ ในหัวข้อนี้จะออกแบบสายอากาศสตริปไดโพลโค้งที่มีระบบป้อนคู่ โดยใช้ไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าพร้อมกับตัวป้อนรูป Γ ที่มุมป้อนโพลาไรซ์ $\pm 45^\circ$ ดังแสดงในรูปที่ 3.37 วิธีการนี้ทำให้ไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าไม่เพียงแต่จ่ายต่อการออกแบบและสร้าง ยังทำให้มีความหลากหลายของโพลาไรซ์ โดยไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโค้งที่มีการป้อนด้วย Γ จะเชื่อมต่อกับพอร์ต 1 และวางที่มุม -45 องศาบนระนาบกราวด์ โดยใช้ขนาดสายอากาศเป็น a , W และ L เท่ากับ 34 มม., 18 มม. และ 52 มม. ตามลำดับ นอกจากนี้ไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าอีกต้นจะถูกป้อนที่พอร์ต 2 โดยใช้ Γ ที่ต่ำกว่าและวางที่มุม $+45$ องศาบนระนาบกราวด์ การป้อน Γ มีความสูงที่แตกต่างกันเพื่อลดการมีเหนี่ยวนำระหว่างพอร์ตอินพุตทั้งสอง ขนาดที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าแบบสองขั้วแสดงไว้ในตารางที่ 3.4 ผลการจำลองแสดงดังรูปที่ 3.38 ถึง 3.41 พบว่าแบนด์วิดท์อิมพีแดนซ์ที่ $S_{11} \leq -10$ dB เท่ากับ 19.52% และ 25.71% ที่พอร์ต 1 และพอร์ต 2 ตามลำดับ ช่วงความถี่ในการทำงานของพอร์ต 1 และพอร์ต 2 แตกต่างกันเล็กน้อย (1.96 - 2.37 GHz และ 1.96 - 2.5 GHz) อาจเป็นเพราะความแตกต่างเล็กน้อยในขนาดและตำแหน่งของเส้นสตริปสองเส้น ในย่านความถี่การทำงานทั้งหมด Isolation อินพุตมากกว่า 30 dB ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดการออกแบบสำหรับแอปพลิเคชันโพลาไรซ์คู่ อัตราขยายสูงสุดของสายอากาศเท่ากับ 9.6 dBi



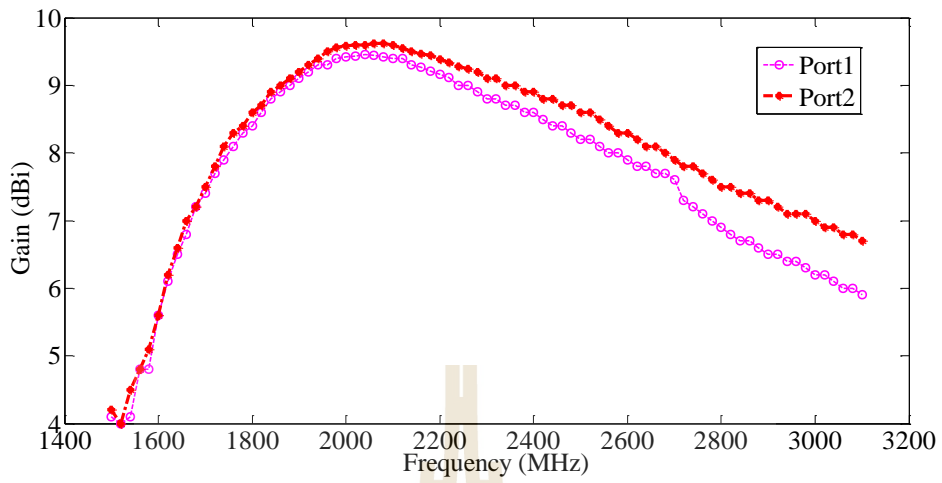
รูปที่ 3.37 โครงสร้างสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าแบบไดเวอร์ซิตีเชิงการโพลาไรซ์

ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์สายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า

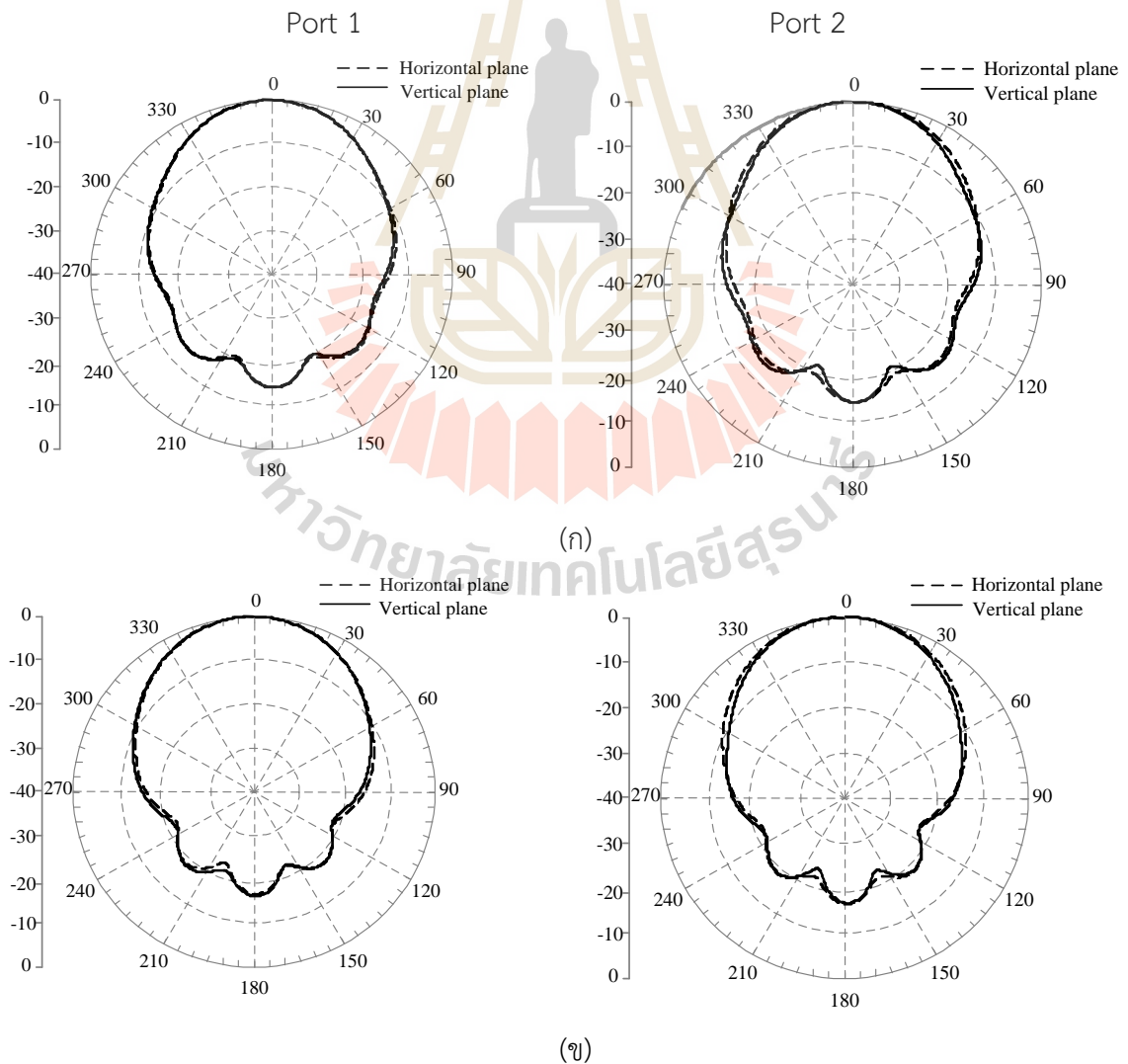
Parameter	Dimension (mm.)
W : width of dipole	18
H : shorted patch length	35.75
a : radius of dipole	34
S : separation of the two vertical plates	20



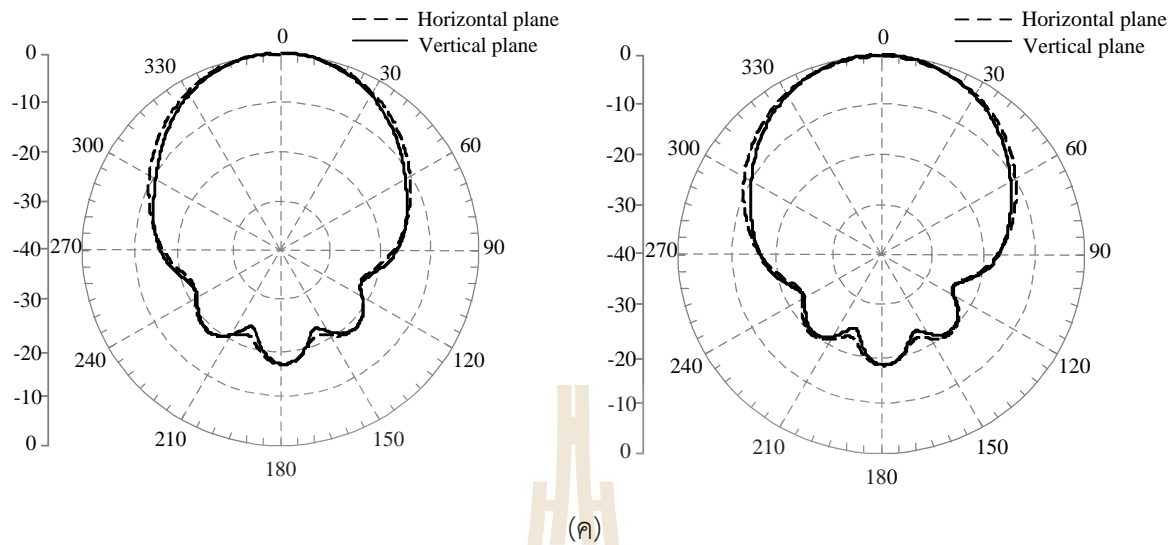
รูปที่ 3.38 ค่า S-parameter ของสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าแบบไดเวอร์ซิตีเชิงการโพลาไรซ์



รูปที่ 3.39 ค่าอัตราขยายของสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าแบบไดเวอร์ซิทีเชิงการโพลาไรซ์



รูปที่ 3.40 แบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าแบบไดเวอร์ซิทีเชิงการโพลาไรซ์ ที่ความถี่ (ก) 1.7 GHz, (ข) 2.1 GHz, and (ค) 2.7 GHz



รูปที่ 3.41 แบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าแบบไดเวอร์ซีตีเชิงการโพลาริซ์ ที่ความถี่ (ก) 1.7 GHz, (ข) 2.1 GHz, and (ค) 2.7 GHz (ต่อ)

3.10 สรุป

ในบทนี้ได้ทำการออกแบบสายอากาศตามวัตถุประสงค์ โดยใช้โปรแกรม CST Microwave Studio ในการออกแบบและวิเคราะห์ผล โดยได้ทำการออกแบบสายอากาศบนสถานีฐาน ซึ่งนิยมใช้สายอากาศไดโพลในการออกแบบ แต่สายอากาศไดโพลมีความกว้างแถบที่แคบจึงได้ประยุกต์ใช้ไดโพลไฟฟ้าและไดโพลแม่เหล็กเข้าด้วยกันเพื่อให้มีคุณสมบัติทั้งทางไฟฟ้าและแม่เหล็ก โดยเพิ่มการแมตซ์อิมพีแดนซ์และเพิ่มความกว้างแถบด้วยโครงสร้างตัวป้อนสัญญาณรูปทรงแกมมา และเพิ่มอัตราขยายด้วยแผ่นกราวด์และการตัดโค้งสายอากาศที่มีระยะความสูงจากแผ่นกราวด์ที่ไม่เท่ากันก็มีผลต่อการแมตซ์อิมพีแดนซ์แต่ละช่วงความถี่ และความโค้งของสายอากาศก็ยังมีผลต่อแบบรูปการแผ่พลังงานด้วย จากวัตถุประสงค์ที่ต้องการออกแบบและสร้างสายอากาศที่มีความกว้างแถบกว้าง อัตราขยายสูง มีแบบรูปการแผ่พลังงานที่เสถียรและโพลาริซ์ไว้วัด ซึ่งผลการจำลองของไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งหงายจะได้ความกว้างแถบที่กว้างและอัตราขยายสูงกว่าไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งคว่ำ แต่แบบรูปการแผ่พลังงานจะมีลำคลื่นที่แคบกว่า และมี HPBW ที่น้อยกว่าไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งคว่ำ และเมื่อพิจารณาจากการโพลาริซ์ไว้วัด จะดูคลื่นที่สะท้อนออกไปจากสายอากาศและคลื่นที่สะท้อนกลับอาจเกิดการรบกวนกันของคลื่น ซึ่งกรณีแรกสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งคว่ำคลื่นที่สะท้อนออกไปจะสะท้อนคลื่นได้ทั้งหมด แต่ในกรณีที่สองสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งหงาย ด้วยลักษณะโค้งเข้าหากัน คลื่นที่สะท้อนออกไปจะมีบางส่วนที่สะท้อนกลับมาซึ่งจะทำให้เกิดการรบกวนกันหรือการโพลาริซ์ไว้วัด จะทำให้สายอากาศที่ใช้งานมีประสิทธิภาพลดลง โดยพิจารณาที่ความถี่ 1-4 GHz ดังนั้นการเลือกสายอากาศจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่ใช้งาน ส่วนสุดท้ายได้ออกแบบสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าแบบไดเวอร์ซีตีเชิงการโพลาริซ์

บทที่ 4

การทดสอบชิ้นงานและวิเคราะห์ผล

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะนำสายอากาศที่ออกแบบในบทที่แล้วมาทำการทดสอบและวัดผลของสายอากาศเพื่อเปรียบเทียบและดูประสิทธิภาพของสายอากาศว่าตรงกับที่ออกแบบไว้หรือไม่ โดยการสร้างสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า 2 ตัว เป็นสายอากาศภาคส่งและภาครับ ที่ได้ออกแบบตามทฤษฎีของสายอากาศไดโพลและได้ปรับเปลี่ยนโครงสร้างของสายอากาศให้สอดคล้องและเหมาะสมกับความต้องการที่ใช้งานในช่วงความถี่ 1700 - 2600 MHz ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่ใช้งานในด้านการสื่อสารไร้สายของโทรศัพท์เคลื่อนที่บนระบบ 2G 3G และ 4G (ที่ต้องการใช้งานในด้านการสื่อสารที่ต้องการภาพและเสียงที่มีความละเอียดสูง ไม่มีคลื่นมารบกวนในขณะที่ใช้งาน) ซึ่งในบทนี้ได้สร้าง วัดพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศ และทดสอบสายอากาศเพื่อเปรียบเทียบและได้นำผลการวัดสายอากาศทั้ง 2 ตัว มาแสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่บ่งบอกประสิทธิภาพของสายอากาศ โดยสายอากาศที่ได้ออกแบบและสร้างเป็นสายอากาศไดโพลที่ประกอบไปด้วยไดโพลแม่เหล็กและไดโพลไฟฟ้าที่มีการตัดโค้งที่ใช้แผ่นทองแดงในการสร้างและวางสายอากาศไดโพลลงบนแผ่นกราวด์ที่ใช้วัสดุ FR-4 เพื่อช่วยในการสะท้อนคลื่นและลดแบ็คโกลบ (Back Lobe) ที่จะไปรบกวนสายอากาศตัวอื่น โดยได้พิจารณาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศ คือ S11 แบบรูปการแผ่พลังงาน อัตราขยาย และ โพลาริไซเซชัน (Cross Polarize) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) เพื่อเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองจากโปรแกรม CST Microwave Studio และผลวัดจริงที่ได้โดยวัดในห้องแชมเบอร์ (Chamber Room) เพื่อลดคลื่นจากภายนอกที่จะไปกระทบกับสายอากาศ และสุดท้ายนำผลต่างๆออกมาวิเคราะห์และสรุปผล

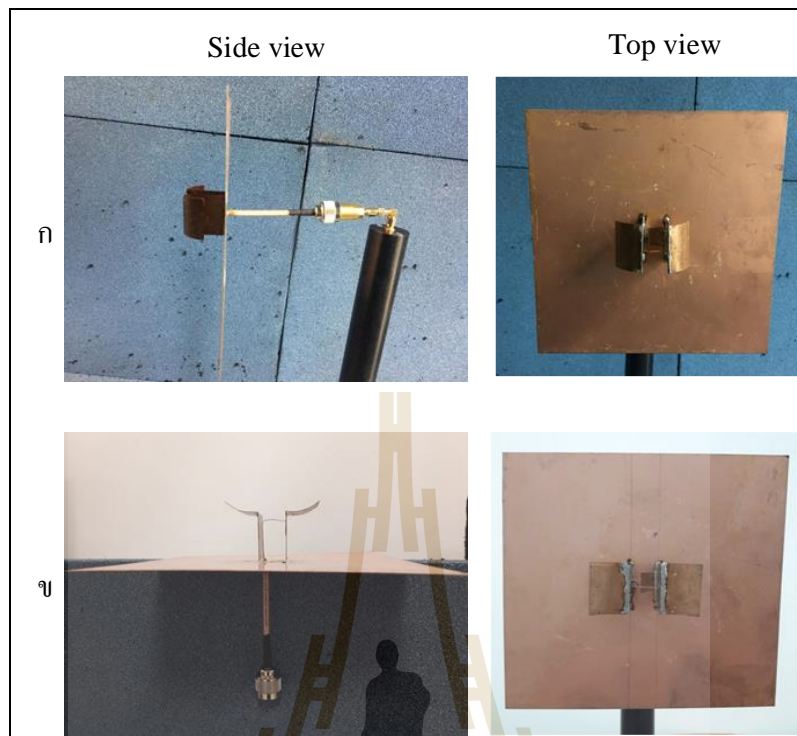
4.2 การสร้างและวัดผลสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า

ออกแบบสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า โดยใช้โปรแกรมออกแบบสายอากาศ CST Microwave Studio ในการออกแบบเพื่อให้ได้สายอากาศที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับการใช้งานในด้านการสื่อสารโทรคมนาคมบนระบบ 3G 4G โดยการสร้าง จำลองผล และทดสอบสายอากาศว่าสามารถทำงานในย่านความถี่ที่กำหนดได้ และค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4.1

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

โดยสายอากาศจะแยกเป็นส่วนของไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า ตัวป้อนสัญญาณ และแผ่นกราวด์ ที่ช่วยสะท้อนคลื่นและลดแบ็คโกลบโดยใช้วัสดุ FR-4 สองหน้า โดยเริ่มทำจากไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้แผ่นทองแดงหนา 0.3 mm มาตัดตามขนาดที่ออกแบบไว้โดยใช้เครื่องตัดรายคัท (Dry-Cut Machine) ในการตัดชิ้นส่วน และได้นำแผ่นทองแดงที่ตัดแล้วมาประกอบติดกันโดยแผ่นที่ตั้งฉากจะเป็นไดโพลแม่เหล็กที่มีความสูงเป็น $\lambda/4$ เพื่อช่วยเสริมคลื่นออกไปด้านหน้าและแผ่นที่ขนานกับแผ่นกราวด์จะเป็นไดโพลไฟฟ้าที่มีการตัดโค้งที่รัศมี 34 mm ที่ช่วยในการแมตซ์อิมพีแดนซ์ที่ความถี่ต่างๆ เพราะจากความสูงที่วัดในแต่ละช่วงจากแผ่นกราวด์จะไม่เท่ากันเพื่อช่วยในเรื่องของการแมตซ์อิมพีแดนซ์แต่ละความถี่ ต่อมาเป็นการสร้างตัวป้อนสัญญาณที่ออกแบบในรูปแบบแกมมา (Gamma match) ที่มีลักษณะเหมือนกับเป็นสตัป เปรียบได้กับวงจรไฟฟ้าที่เปรียบตัวป้อนสัญญาณแบบแกมมาแมตซ์เป็นอีกวงจรที่ช่วยแมตซ์อิมพีแดนซ์ โดยที่เราสามารถคำนวณออกมา โดยเรารู้ว่าโหลดมีขนาด 50 โอห์ม เราจึงออกแบบตัวป้อนให้รองรับที่ความถี่ต่างๆ เพื่อที่จะให้กำลังงานที่ออกมาใกล้เคียงกับกำลังงานที่จ่ายไปจึงทำให้เกิดการแมตซ์อิมพีแดนซ์ และยังเป็นตัวช่วยในการคัปปลิงสัญญาณให้กับไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า และส่วนสุดท้ายเป็นแผ่นกราวด์ที่มีขนาดเป็น 1.4λ ซึ่งเป็นฐานรองไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าและตัวป้อนสัญญาณรูปแบบแกมมาที่มีการเจาะรูเพื่อเชื่อมหัวคอนเน็คเตอร์ เข้าแกมมาแมตซ์ ดังรูปที่ 4.1 เพื่อป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศ ซึ่งใช้หัวคอนเน็คเตอร์ ชนิด N-Type ต่อเข้ากับเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) เพื่อพิจารณาพารามิเตอร์ของสายอากาศ ไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งได้แก่ แบบรูปการแผ่พลังงานงาน อัตราขยาย และโพลาไรซ์ไขว้ (Cross Polarize)

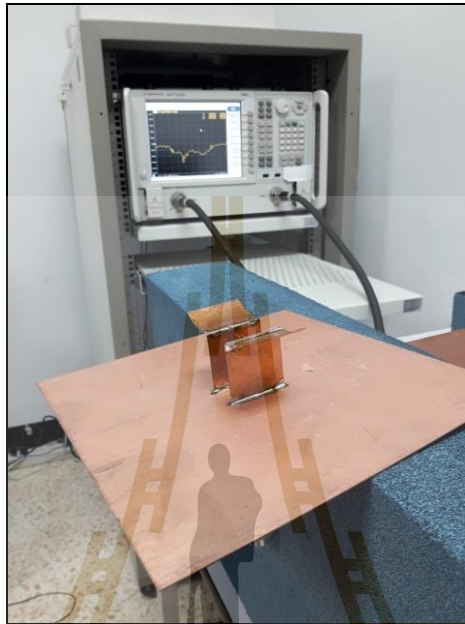


รูปที่ 4.1 สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้ง ต้นแบบ

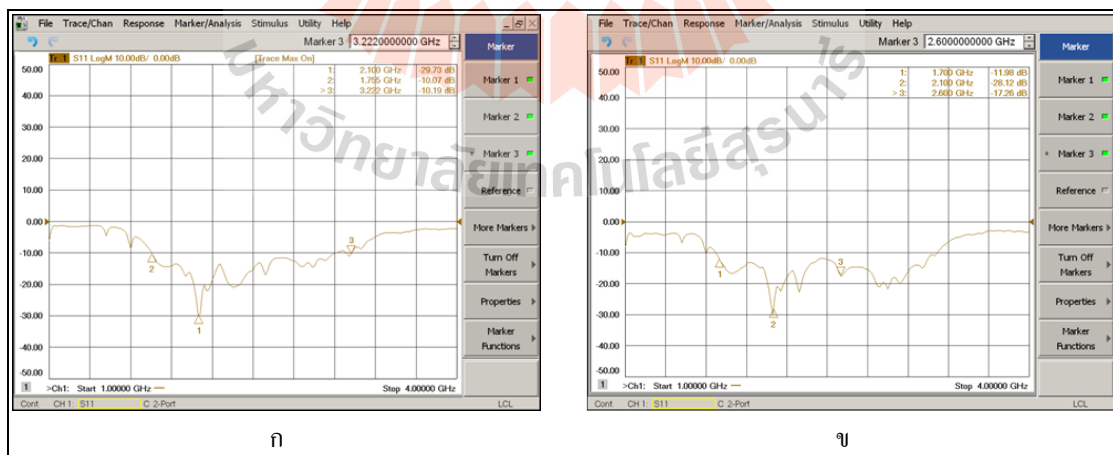
ผลการวัดค่า S_{11}

ค่า S_{11} คือค่าการสูญเสียย้อนกลับที่บอกถึงกระแสไฟฟ้าด้านขาเข้าต่อกระแสไฟฟ้าด้านขาออกว่ามีการแมตช์ของอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ และสามารถดูช่วงความถี่การทำงานของสายอากาศว่าอยู่ในช่วงความถี่ไหนได้ ซึ่งอุปกรณ์ส่วนมากที่ใช้จะมีอิมพีแดนซ์อยู่ที่ 50 โอห์ม และต้องการออกแบบสายอากาศให้สามารถทำงานได้ใกล้เคียงกับอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม เพื่อให้เกิดการแมตช์อิมพุตอิมพีแดนซ์ 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 ซึ่งในทางปฏิบัติอาจเกิดจากความผิดพลาดในการสร้างชิ้นงาน รวมไปถึงการรบกวนจากสิ่งแวดล้อมรอบข้าง แต่เมื่อพิจารณาจากจุดประสงค์ที่ต้องการออกแบบสายอากาศที่ทำงานบนระบบ

3G/4G ถือว่ายังอยู่ในช่วงที่สายอากาศยังทำงานได้ ซึ่งผลที่ได้จากการวัดนั้นสามารถนำไปใช้งานได้จริง และครอบคลุมย่านความถี่ที่ต้องการใช้งาน



รูปที่ 4.2 การวัด S_{11} ของไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งหาง

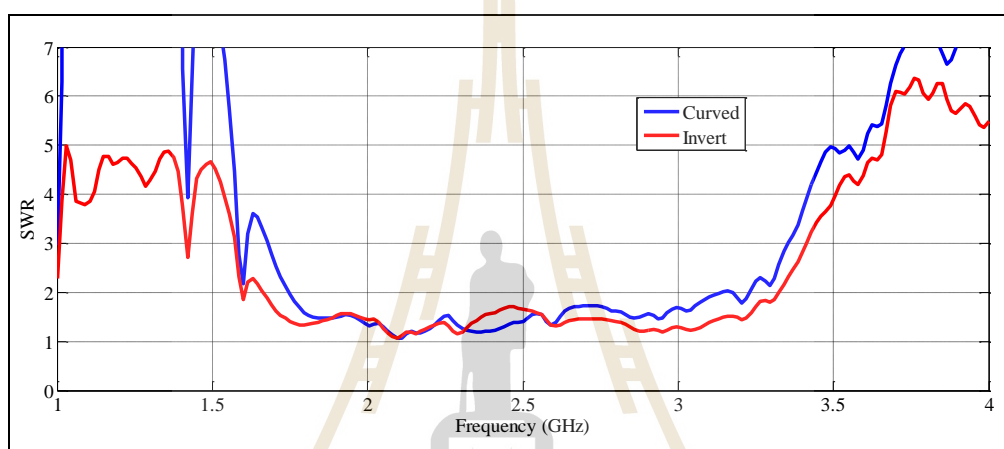


รูปที่ 4.3 ค่า S_{11} ที่ได้จากการวัดไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า (ก) แบบโค้งคว่ำ (ข) แบบโค้งหาง

ผลการวัดอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing Wave Ratio: SWR)

ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งบ่งบอกว่าคลื่นที่ส่งเข้าไปในสายอากาศว่ามี การสะท้อนกลับหรือไม่ และยังมี ความสอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน โดยเป็นผลรวมของคลื่นที่เดินทางรวมกับคลื่นที่สะท้อน

กลับมา 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

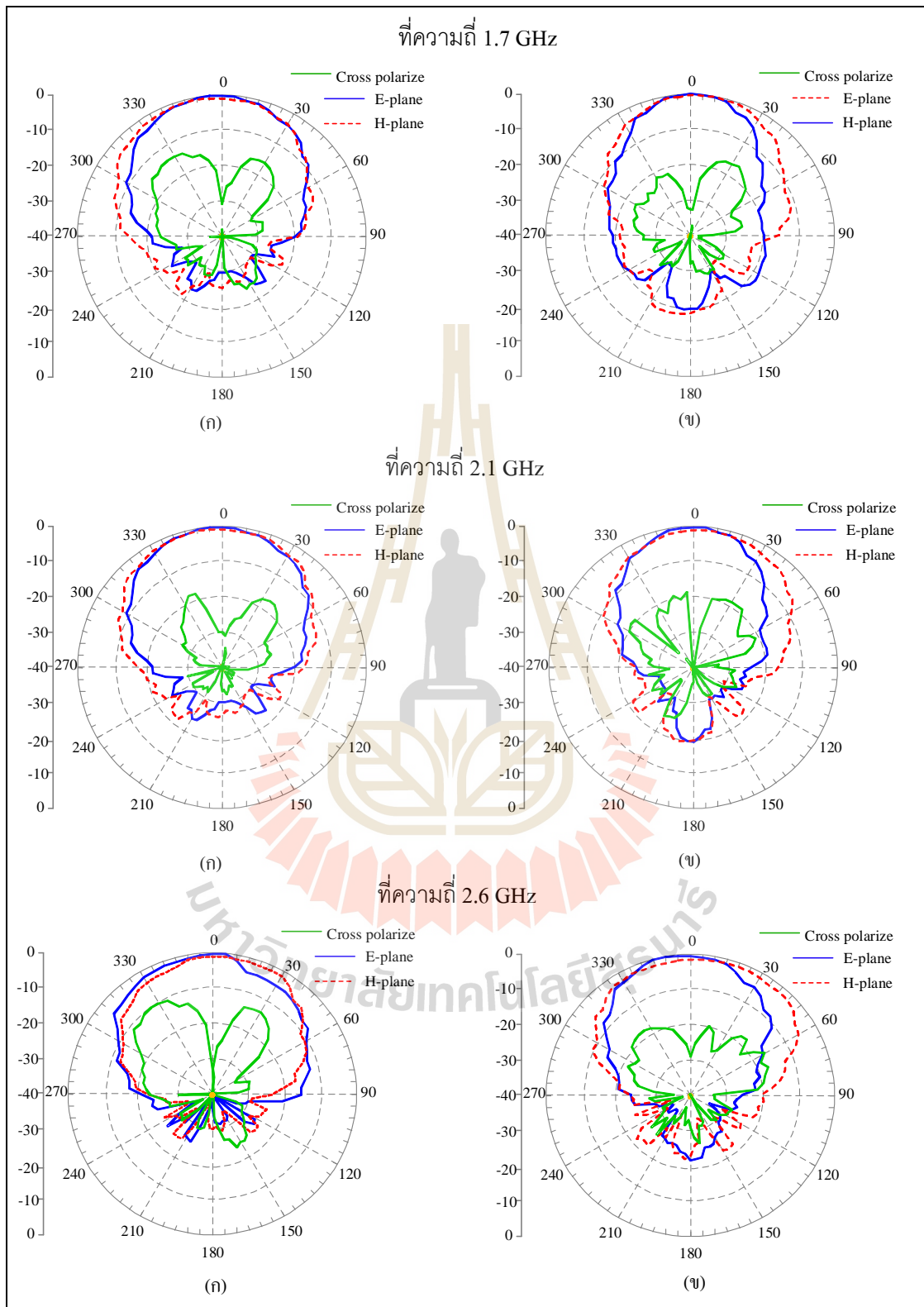
ผลการวัดแบบรูปการแผ่พลังงาน

เนื่องจากการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ (Radiation Pattern) ต้องใช้สายอากาศ 2 ต้น เพื่อเป็นสายอากาศภาคส่งและภาครับ ในงานวิจัยนี้จึงได้สร้างสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโค้ง ประกอบด้วย แบบโค้งคว่ำและแบบโค้งหงายที่เหมือนกันออกมาอย่างละ 2 ต้น แล้วจัดวางสายอากาศภายในห้องแชมเบอร์ (Chamber Room) เพื่อวัดแบบรูปการแผ่พลังงานตามรูปที่ 4.5 โดยใช้เครื่อง Field Fox เพื่อวัดค่า S21 ขณะที่สายอากาศภาครับหมุนรอบตัวเอง 360 องศา ทำให้สะดวกในการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ และลดคลื่นรบกวนจากภายนอก แล้วนำผลการวัดทดสอบเปรียบเทียบกับผลการจำลองแบบของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโค้ง

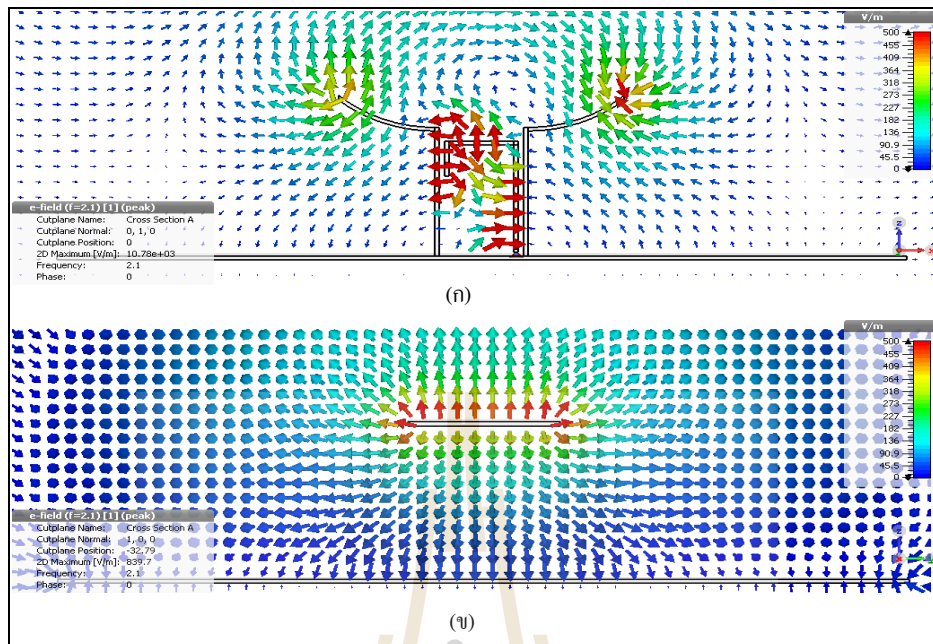


รูปที่ 4.5 การวัดอัตราขยายของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโค้งตันแบบ

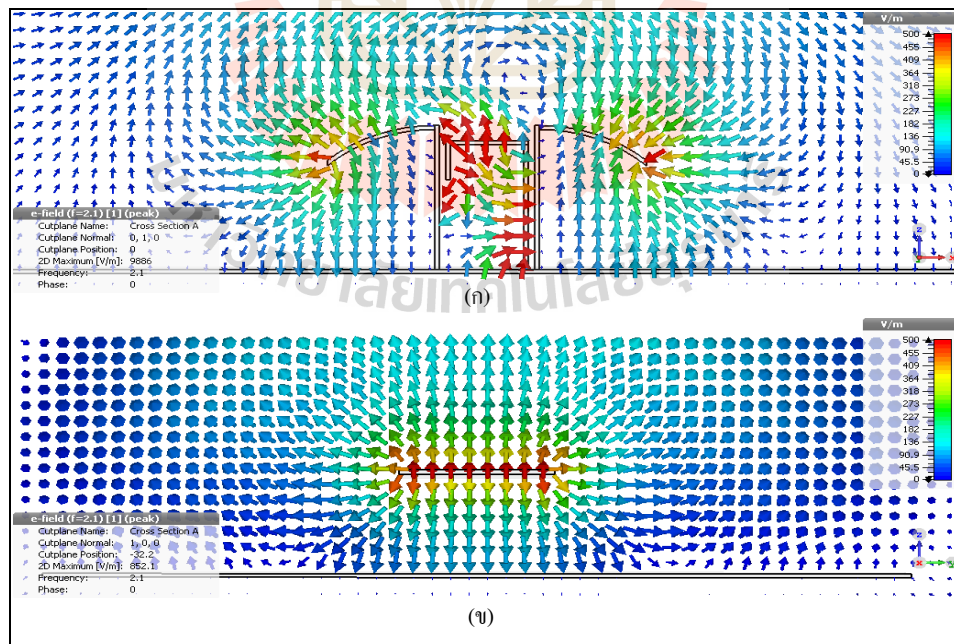
จากรูปที่ 4.6 ได้แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก แล้ววัดโพลาไรซ์ไขว้ (Cross Polarize) ที่บ่งบอกการทำงานของสายอากาศว่ามีการรบกวนกันในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กหรือไม่ โดยพิจารณาที่ความถี่ 1.7 GHz, 2.1 GHz และ 2.6 GHz จากผลการวัดพบว่า แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ออกแบบเป็นแบบเจาะจงทิศทาง (Directional Radiation) ซึ่งเกิดจากการแผ่คลื่นของไดโพลไฟฟ้าและไดโพลแม่เหล็กร่วมกันและยังมีส่วนของกราวด์ที่ช่วยสะท้อนคลื่นให้แผ่ออกไปในทิศด้านหน้า (แกน z) อีกด้วย จากการเปรียบเทียบสายอากาศทั้งสองจะพบว่า สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งตันจะมีแบบรูปการแผ่พลังงานที่ทำให้ลำคลื่นกว้าง โดยมี HPBW เท่ากับ 50 องศา ที่ใกล้เคียงกับผลการจำลองในโปรแกรม CST Microwave Studio และเป็นไปตามการออกแบบเพราะคลื่นที่แผ่ออกไปจะมีลักษณะที่กว้างกว่าแบบโค้งหงาย ต่อมาพิจารณาการโพลาไรซ์ไขว้ ซึ่งจะพิจารณาจากทิศทางลำคลื่นหลักที่คลื่นแผ่ออกไป พบว่า สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งตันจะมีโพลาไรซ์ไขว้ต่ำกว่าแบบโค้งหงาย เพื่อให้เห็นภาพที่ชัดเจนขึ้นจะแสดงภาพเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าดังรูปที่ 4.7 และ 4.8 ซึ่งเป็นภาพจากโปรแกรม CST Microwave Studio ในระนาบ xz และ yz โดยการโพลาไรซ์ไขว้จะพิจารณาจากทิศทางเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่พุ่งออกตามความโค้งของแขนไดโพลไฟฟ้า แล้วตกกระทบกับกราวด์ ซึ่งทิศทางของเวกเตอร์ที่ตกกระทบและสะท้อนกับกราวด์จะมีลักษณะเอียง (ไม่ได้อยู่ในแนวแกน x) จึงทำให้เกิดโพลาไรซ์ไขว้ ซึ่งจากการเปรียบระหว่างสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งตันและโค้งหงาย



รูปที่ 4.6 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า (ก) แบบโค้งคว่ำ และ (ข) แบบโค้งหงาย ที่ความถี่ต่างๆ



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



รูปที่ 4.8 เวกเตอร์สนามไฟฟ้าของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งหงาย (ก) ระนาบ xz และ (ข) ระนาบ $y-z$

จากรูปที่ 4.7 และ 4.8 จะเห็นว่าเวกเตอร์สนามไฟฟ้าของสายอากาศแบบโค้งคว่ำจะมีทิศทางของเวกเตอร์ที่เกิดการโพลาไรซ์ไขว้น้อยกว่าสายอากาศแบบโค้งหงาย ดังนั้นผลการวัดโพลาไรซ์ไขว้จะเห็นว่าในทิศทางหลักของลำคลื่นที่แผ่ออกไปของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งคว่ำจะเกิดการโพลาไรซ์ไขว้น้อยกว่าแบบโค้งหงายด้วย

ผลการวัดอัตราขยาย

อัตราขยายเป็นค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของสายอากาศ และใช้วัดคุณสมบัติในการชี้ทิศทางของแบบรูปการแผ่พลังงาน โดยใช้สมการพริส ในการหาอัตราขยายของการวัดสายอากาศ

จากทฤษฎีในบทที่ 2 เรื่องอัตราขยาย

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

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

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

เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าโค้ง เพื่อนำไปประยุกต์ใช้บนระบบ 3G และ 4G ซึ่งกำหนดให้ความถี่กลางคือ 2.1 GHz และทำการสร้างสายอากาศต้นแบบที่เหมือนกัน 2 ตัว เป็นสายอากาศภาคส่ง และภาครับ เพื่อใช้ในการวัดทดสอบจริง ดังนั้นอัตราขยายของสายอากาศทั้งสองตัวจึงมีค่าเท่ากันโดยใช้สมการที่ (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

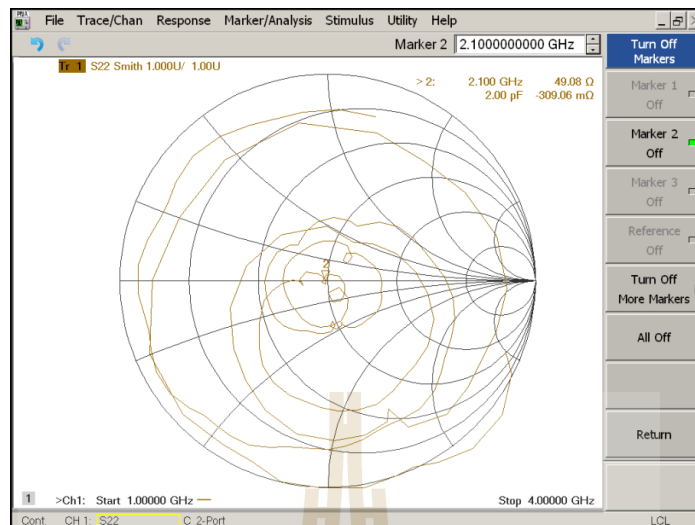
ตารางที่ 4.2 อัตราขยายระหว่างผลการจำลองแบบและผลการวัดทดสอบ

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

จากการสร้างสายอากาศต้นแบบเพื่อศึกษาและวัดทดสอบตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยได้ผลการวัดจริงที่มีความคลาดเคลื่อนจากผลการจำลองแบบในโปรแกรม ซึ่งอาจมาจากการสร้างชิ้นงานจริงที่บางส่วนมีขนาดเล็กและมีการตัดโค้งและงอจึงทำให้ขนาดอาจจะคลาดเคลื่อนได้ และจากสภาพแวดล้อมโดยรอบในขณะที่กำลังวัดชิ้นงานจริง

ผลการวัดอิมพีแดนซ์

เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้งานส่วนใหญ่มีค่าอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม ดังนั้นควรออกแบบสายอากาศให้มีค่าอิมพีแดนซ์ เท่ากับ 50 โอห์ม หรือใกล้เคียงกัน จึงจะทำให้สายอากาศที่ออกแบบมีการทำงานได้ดี จากรูปที่ 4.8 แสดงผลการวัดทดสอบค่าอิมพีแดนซ์สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบโค้งหงาย ที่ความถี่ 2.1 GHz จากรูปจะเห็นได้ว่า สายอากาศต้นแบบ มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ 49.08 โอห์มซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ยอมรับได้ คือ 50 โอห์ม



รูปที่ 4.9 ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ

ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (Half Power Beamwidth)

ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (Half Power Beamwidth : HPBW) คือค่าที่บ่งบอกถึงกำลังงานที่ลดลงมาครึ่งหนึ่งของกำลังงานทั้งหมดที่สายอากาศรับได้ หรือค่ากำลังงานที่ลดลงมา 3 dB จากตารางที่ 4.3 ได้ทำการวัดสายอากาศต้นแบบแล้วทำการสรุปลงในตาราง โดยทำการเปรียบเทียบค่า HPBW ในระนาบสนามไฟฟ้าและในระนาบสนามแม่เหล็ก ซึ่งในจะพบว่า ค่า HPBW ของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กแบบโค้งหงายมีค่าที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับโค้งคว่ำ เนื่องจากการออกแบบของสายอากาศต้นแบบโค้งหงายจะมีการแผ่คลื่นออกไปด้านหน้าได้ไกลและอัตราขยายที่สูงกว่าแบบโค้งคว่ำ จึงทำให้มีลำคลื่นที่แคบ

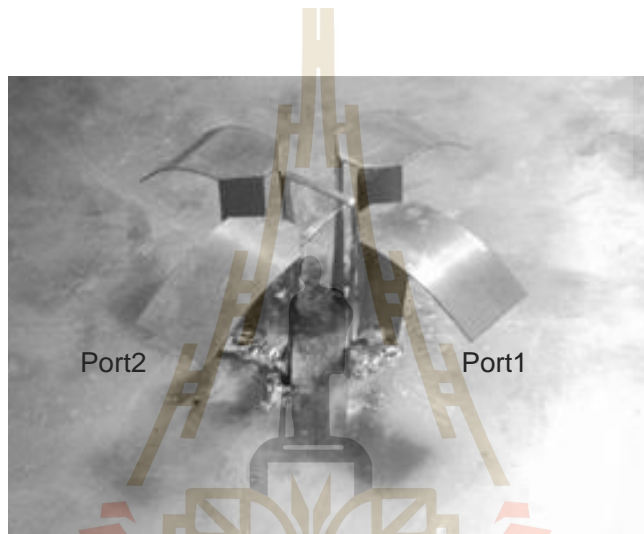
ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบผลวัด HPBW ของไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า

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

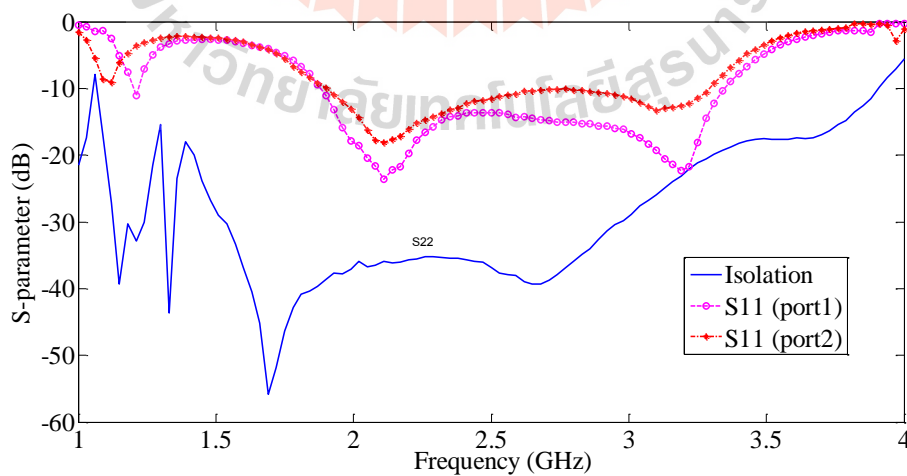
4.3 การสร้างและวัดผลสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบไดเวอร์ซิทีเชิงการโพลาไรซ์

สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบไดเวอร์ซิทีเชิงการโพลาไรซ์ต้นแบบแสดงในรูปที่ 4.10 ผลวัด S-parameter โดยใช้ Network Analyzer แสดงดังรูปที่ 4.11 (ก) ค่า S_{11} ของพอร์ต 1 และพอร์ต 2 ของ

สายอากาศ $S_{11} < -10$ dB จะอยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 1.83 GHz ถึง 3.33 GHz เนื่องจากระบบป้อน ต้นแบบเชื่อมต่อกันโดยใช้โคแอกเซียลความยาวคลื่นหนึ่งในสี่ ดังนั้นค่า S_{11} ที่วัดได้จึงแตกต่างกันเล็กน้อย เมื่อเทียบกับผลการจำลองแบบ ค่า Isolation ระหว่างพอร์ตทั้งสอง (พอร์ตเอียง+ 45° และ -45°) แสดงใน รูปที่ 3.11 (ก) แสดงให้เห็นว่าการเหนี่ยวนำระหว่างต่ำกว่า -30 dB ที่ย่านความถี่เรโซแนนซ์ SWR และแบนด์วิดท์อิมพีแดนซ์ที่วัดได้ดังแสดงในรูปที่ 3.11 (ก) และ (ข) ตามลำดับ ซึ่งหมายความว่าสายอากาศนี้ สามารถทำงานได้ดีมากในการใช้งานจริง รูปที่ 3.12 (ข) แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ (ระนาบ xz และ yz) ที่ความถี่ 2.1 GHz ซึ่งมี HPBW กว้างและคล้ายกันในทั้งสองระนาบ



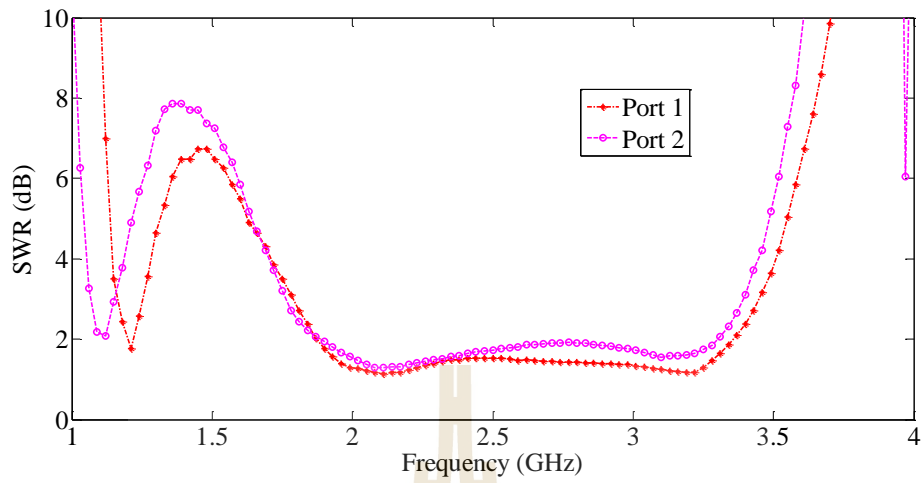
รูปที่ 4.10 สายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบไดเวอร์ซิตีเชิงการโพลาไรซ์ต้นแบบ



(ก)

รูปที่ 4.11 ผลวัดสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบไดเวอร์ซิตีเชิงการโพลาไรซ์ต้นแบบ

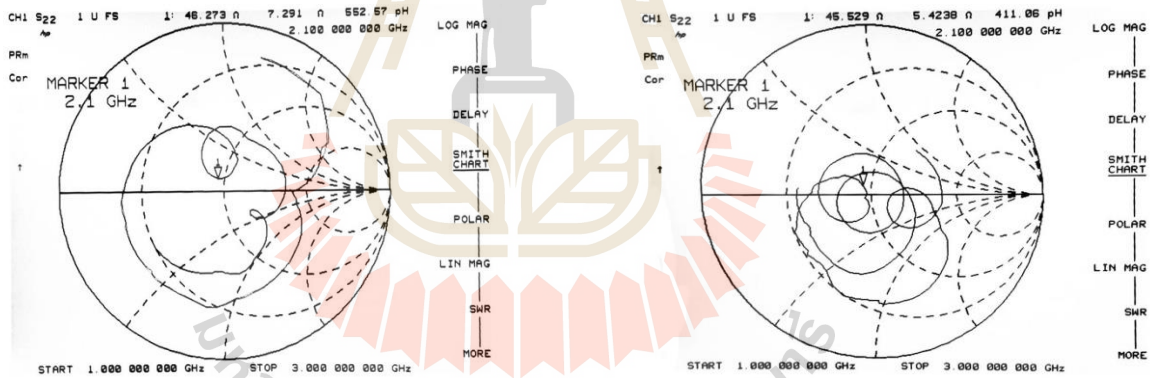
(ก) S-parameter (ข) SWR



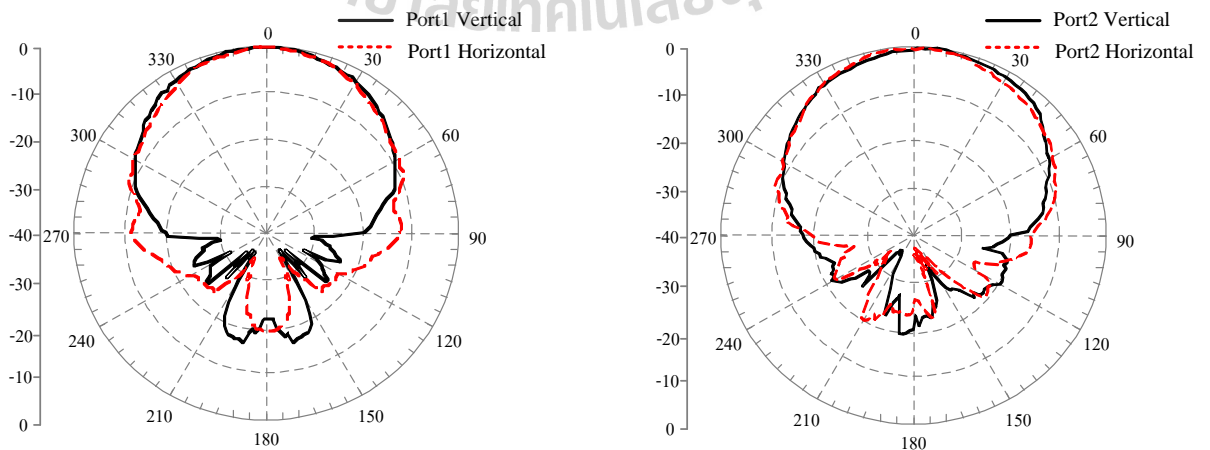
(ข)

รูปที่ 4.11 ผลวัดสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบไดเวอร์ซีตีเชิงการโพลาไรซ์ต้นแบบ

(ก) S-parameter (ข) SWR (ต่อ)



(ก) smith chart



(ข) radiation pattern

รูปที่ 4.12 ผลวัดสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบไดเวอร์ซีตีเชิงการโพลาไรซ์ต้นแบบ

4.4 สรุป

ในบทนี้ได้แสดงการสร้างและวัดทดสอบสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าและสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบไดเวอร์ซิทีเชิงการโพลาไรซ์ต้นแบบตัวต้นแบบตามทีออกแบบไว้ในโปรแกรม CST ซึ่งได้เปรียบเทียบระหว่างสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้า แบบ (ก) โค้งคว่ำ และแบบ (ข) โค้งหงาย โดยพิจารณาคุณลักษณะของสายอากาศที่ได้จากการวัดทดสอบและได้ค่า S_{11} แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในสนามระยะไกล โพลาริไซซ์ไว้อัตราขยาย 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 และนำสายอากาศมาวัดโพลาไรซ์ไว้อัตราขยาย เพื่อดูการรบกวนกันของคลื่นที่แผ่ออกไป และเมื่อนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศที่วัดทดสอบมาเทียบกับผลการจำลองแบบด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio พบว่ามีความใกล้เคียงกัน แต่ยังมีบางส่วนที่คลาดเคลื่อน ซึ่งสาเหตุมาจากความแม่นยำในการสร้างสายอากาศ และขณะวัดทดสอบสายอากาศตลอดจนสภาพแวดล้อมปัจจัยภายนอกที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 5

บทสรุป

5.1. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์คุณลักษณะของสายอากาศ การออกแบบและสร้างสายอากาศต้นแบบ ด้วยสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้า ที่ประกอบไปด้วย ไดโพลไฟฟ้า และไดโพลแม่เหล็กที่ทำงานร่วมกันโดยใช้เทคนิคในการปรับรูปร่างของไดโพล ได้ทำการเพิ่มการแมตซ์อิมพีแดนซ์และความกว้างแถบกว้างด้วยการป้อนสัญญาณแบบแกมมา มีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบเจาะจงทิศทาง และโหลบด้านหลังต่ำ ด้วยการเพิ่มแผ่นกราวด์ด้านหลังและยังช่วยเรื่องอัตราขยายได้ สุดท้ายได้ทำการตัดโค้งไดโพลไฟฟ้าด้วยการโค้งคว่ำที่ช่วยในเรื่องของอัตราขยายโดยใช้วิธีการจำลองสายอากาศด้วยโปรแกรม Microwave Studio CST เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้างกล่าว ในส่วนของการสร้างและทดลองจริงทำให้ได้สายอากาศต้นแบบซึ่งสามารถทำงานได้ตั้งแต่ความถี่ 1.68 ถึง 3.22 GHz มีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบเจาะจงทิศทาง มีแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่สมมาตร มีอัตราขยายโดยเฉลี่ย 6.52 dB และมีค่าอิมพีแดนซ์ 49.08 โอห์ม

จากนั้นได้ออกแบบสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าแบบไดเวอร์ซิทีเชิงการโพลาริซชันต้นแบบ ผลวัด S-parameter โดยใช้ Network Analyzer พบว่า ค่า S_{11} ของพอร์ต 1 และพอร์ต 2 ของสายอากาศ ที่ $S_{11} < -10$ dB จะอยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 1.83 GHz ถึง 3.33 GHz เนื่องจากระบบป้อนต้นแบบเชื่อมต่อกันโดยใช้โคแอกเซียลความยาวคลื่นหนึ่งในสี่ ดังนั้นค่า S_{11} ที่วัดได้จึงแตกต่างกันเล็กน้อยเมื่อเทียบกับผลการจำลองแบบ ค่า Isolation ระหว่างพอร์ตทั้งสอง (พอร์ตเอียง $+45^\circ$ และ -45°) แสดงให้เห็นว่าการเหนี่ยวนำระหว่างต่ำกว่า -30 dB ที่ย่านความถี่เรโซแนนซ์ ซึ่งมี HPBW กว้าง

5.2 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการออกแบบสายอากาศไดโพลโค้งแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อเพิ่มความกว้างแถบ ด้วยการออกแบบไดโพลไฟฟ้า และไดโพลแม่เหล็กพร้อมกัน และเพิ่มเทคนิคการตัดโค้งไดโพลไฟฟ้าหรือการวางสายอากาศไดโพลบนแผ่นสะท้อนและการป้อนสัญญาณรูปแกมมาที่จะช่วยในเรื่องการแมตซ์ที่ดี และยังช่วยในเรื่องอัตราขยาย ซึ่งการปรับโครงสร้างของสายอากาศไดโพลแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถทำได้หลากหลายวิธี จากคุณสมบัติข้างต้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้หรือปรับปรุงสายอากาศต่อไปได้และสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นในอนาคต

บรรณานุกรม

- [1] M. Sonkki, E. Antonino-Daviu, M. Ferrando-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] Shaikh, A.; Saleem, R. ; Shafique, M.F. ; Brown, A.K., "Reconfigurable dual-port UWB diversity antenna with high port isolation," *Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE*, Vol. 50 pp. 786-788, 2014
- [3] 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.
- [4] W. K. Toh, Z. N. Chen, X. Qing, and T. See, "A planar UWB diversity antenna," *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, vol. 57, no.11 pp. 3467-3473, 2009.
- [5] M. Gallo, E. Antonino-Daviu, M. Ferrando, M. Bozzetti, J. Molina-Garcia-Pardo, and L. Juan-Llacer, "A Broadband Pattern Diversity Annular Slot Antenna," *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, no.99 pp. 1-1, 2011.
- [6] C. B. Dietrich Jr, K. Dietze, J. R. Nealy, and W. L. Stutzman, "Spatial, polarization, and pattern diversity for wireless handheld terminals," *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, vol. 49, no.9 pp. 1271-1281, 2001.
- [7] X. Bao and M. Ammann, "Wideband Dual-Frequency Dual-Polarized Dipole-Like Antenna," *Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE*, vol. 10, pp. 831-834, 2011.
- [8] G. Adamiuk, T. Zwick, and W. Wiesbeck, "Compact, dual-polarized UWB-antenna, embedded in a dielectric," *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, vol. 58, no.2 pp. 279-286, 2010.
- [9] H. Yoon, Y. Yoon, H. Kim, and C. H. Lee, "Flexible ultra-wideband polarisation diversity antenna with band-notch function," *Microwaves, Antennas & Propagation, IET*, vol. 5, no.12 pp. 1463-1470, 2011.
- [10] S. Vongsack, C. Phongcharoenpanich, S. Kosulvit, K. Hamamoto, and T. Wakabayashi, "Polarization Diversity Unidirectional Antenna for IEEE 802.11a Applications," *Progress In Electromagnetics Research Symposium Proceedings*, 2012, pp 569-573
- [11] Elkamchouchi, H., and Abu Nasr, M. (2004) The S-Shaped Dipole Antenna. 2004 4th International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology Proceeding, 2004, pp. 19-22.
- [12] Cheng D.K., (1982) Shaped Wire Antennas with Maximum Directivity. *IEEE Transactions on Antenna and Propagation*, vol.18. pp. 816-818, September 1982.

- [13] Paez, C.I. (2009). Design and Evaluation of Curved Dipoles Antenna Optimum. Latin America Transactions IEEE, vol.7. pp. 613-619, December 2009.
- [14] Krishnan, L.-W. Li and M.-S. Leong, (2005) A V-Shaped Structure for Improving the Directional Properties of the Loop Antenna. IEEE Transactions on Antenna and Propagation, vol.53. pp. 2114-2117, June 2005.
- [15] Thumvichit, A., Takano, T. (2007) 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.
- [16] Dubost, G. (1981) Flat Radiating Dipoles and Applications to Arrays. RESEARCH STUDIES PRESS A DIVISION OF JOHN WILEY & SONS LTD. pp. 28-36.
- [17] Pimpol, S. and Wongsan, R. (2007) Impedance Analysis of a Shorted-End Curved Dipole on Reflector Plane using Method of Moment. The 2007 ECTI International Conference, Thailand, Vol. 2, pp. 667-670.
- [18] Yuehe Ge (2007) Design of Low-Profile High-Gain EBG Resonator Antennas Using a Genetic Algorithm. Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE, Vol. 6, pp. 480-483.
- [19] Ge, L. and Luk, K. M., "A Wideband Magneto-Electric Dipole Antenna," Antennas and Propagation, IEEE Transactions on , Volume:60 , Issue: 11 , pp. 4987 – 4991.

ประวัติผู้เขียน

รศ.ดร.ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์ เกิดเมื่อ 9 กันยายน 2517 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อปี 2540 และต่อมาได้ศึกษาระดับปริญญาโทต่อด้วยทุนส่งเสริมผู้มีความสามารถพิเศษเป็นอาจารย์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยสำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า (ไฟฟ้าสื่อสาร) จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเมื่อปี 2550 ได้สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี งานวิจัยที่สนใจได้แก่ เทคโนโลยีสายอากาศ