



การออกแบบสายอากาศปรินท์ไดโพล
ร่วมกับตัวสะท้อนและตัวนำคลื่นที่ความถี่ 2.45 GHz

โดย

1. นายภูวศิษฐ์

วงศ์เพียร

รหัสประจำตัว B4801597

2. นางสาวสรณ์ย์พร

วิระพันธุ์

รหัสประจำตัว B5044269

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชา 427499 โครงงานวิศวกรรมโทรคมนาคม
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม หลักสูตร พ.ศ. 2545
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ประจำภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา 2554

การออกแบบสายอากาศปรินท์ไดโพลร่วมกับตัวสะท้อนและตัวนำคลื่นที่
ความถี่ 2.45 GHz

คณะกรรมการสอบ โครงงาน



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยาภรณ์ กระณอกนอก)
กรรมการ/อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกุล)
กรรมการ



(อาจารย์ ดร. สมศักดิ์ วาณิชอนันต์ชัย)
กรรมการ



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร. ประโยชน์ คำสวัสดิ์)
กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำรายงานโครงงานฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม วิชา 427499 โครงงานวิศวกรรม
โทรคมนาคม

โครงการ	การออกแบบสายอากาศปรินท์ไคโพลร่วมกับตัวสะท้อนคลื่นและตัวนำคลื่นที่ความถี่ 2.45 GHz
จัดทำโดย	นาย ภูวสิทธิ์ วงศ์เพียร นางสาว สรัณย์พร วีระพันธุ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร ปิยาภรณ์ กระฉอดนอก
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
ภาคการศึกษาที่	1/2554

บทคัดย่อ

โครงการนี้ออกแบบ สายอากาศปรินท์ไคโพลที่ทำงานร่วมกับตัวสะท้อนคลื่นและตัวนำคลื่นบนแผ่นวงจรพิมพ์ FR4 เพื่อใช้สำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) ย่านความถี่ 2.45 GHz เนื่องจากในปัจจุบันระบบการสื่อสารไร้สายมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทั้งทางด้านภาพ เสียงและข้อมูล โดยเฉพาะเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายด้านอินเทอร์เน็ตได้พัฒนาอย่างรวดเร็ว ในปัจจุบันโครงข่ายไร้สายได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในหลายที่โดยใช้ชื่อว่า ระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย ซึ่งใช้จุดเข้าถึงในการเชื่อมต่อโครงข่ายเข้าด้วยกันทำให้มีความสะดวกสบายในการติดตั้งและการใช้งานโดยไม่มีการเชื่อมต่อสายนำสัญญาณ อย่างไรก็ตามการให้บริการของจุดเข้าถึงจะครอบคลุมพื้นที่ให้บริการในบริเวณจำกัด ดังนั้นการใช้ระบบรับส่งสำหรับเชื่อมต่อโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายแบบจุดต่อจุด จึงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการขยายจุดให้บริการโครงข่ายเพิ่มพื้นที่บริการให้ครอบคลุมมากขึ้น และยังเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาด้วย วิธีการนี้ทำให้คณะผู้วิจัยเกิดความสนใจ ในการออกแบบสายอากาศสำหรับการเชื่อมต่อโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายแบบจุดต่อจุด โดยสายอากาศประกอบไปด้วย สายอากาศปรินท์ไคโพลติดตั้งร่วมกับบริเฟล็กเตอร์และไดเร็กเตอร์ เพื่อเพิ่มอัตราการขยายสัญญาณให้สูงขึ้น และทำงานที่ย่านความถี่ 2.45 GHz ตามมาตรฐานโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย IEEE802.11b และ g ซึ่งทำงานในย่าน ISM โดยระบบนี้จะถูกออกแบบและจำลองผลโดยใช้โปรแกรม CST Microwave Studio ในส่วนสุดท้ายจะทำการสร้างสายอากาศต้นแบบและวัดทดสอบผล

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำโครงงานออกแบบ สายอากาศปรินท์ไคโพลที่ทำงานร่วมกับตัวสะท้อนคลื่น และตัวนำคลื่นบนแผ่นวงจรพิมพ์ FR4 เพื่อใช้สำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย(WLAN) ย่านความถี่ 2.45 GHz สามารถเสร็จสมบูรณ์ได้ เนื่องด้วยความกรุณาของบุคคลหลายท่าน ที่คอยให้ความช่วยเหลือและคอยให้คำปรึกษา รวมทั้งข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงาน ทางคณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน ซึ่งบุคคลเหล่านี้ประกอบด้วย

❖ ผศ.ดร. ปิยาภรณ์ กระฉอดนอก อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ผู้ที่เปิดโอกาสให้คณะผู้วิจัยได้เรียนรู้และทำโครงงานนี้ อีกทั้งยังเป็นผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ รวมทั้งคำปรึกษาและคำแนะนำ อันเป็นประโยชน์ยิ่งแก่โครงงาน

❖ รองศาสตราจารย์ ดร. รังสรรค์ วงศ์สรรค์ ซึ่งเป็นอาจารย์คนแรกในชีวิตที่สอนให้พวกเรา รู้จักคำว่า “สายอากาศ”

❖ คณาจารย์ทุกท่าน ที่เกี่ยวข้องในการให้ความรู้แก่ คณะผู้วิจัยและได้นำความรู้เหล่านั้นมาใช้ ประโยชน์ในการพัฒนาโครงงาน

❖ เพื่อนวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกคน สำหรับความช่วยเหลือที่ดีทุกด้าน ตลอดจนกำลังใจที่มอบให้แก่คณะผู้จัดทำตลอดมา

สุดท้ายคณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาของผู้วิจัยผู้ให้โอกาสทางการศึกษาและคอยสนับสนุนรวมทั้งกำลังใจที่คอยมอบให้ตลอดมาอย่างที่ไม่เปรียบไม่ได้

ผู้จัดทำ

นาย ภูวสิษฐ์ วงศ์เพียร

นางสาว สรัณย์พร วีระพันธุ์

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1. บทนำ	1
บทที่ 2 การใช้งานโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO 5 เบื้องต้น	4
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	29
3.1 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน	29
3.2 บีมวิคท์	31
3.3 ความกว้างแถบความถี่	31
3.4 การโพลาไรซ์ของสายอากาศ	31
3.5 พารามิเตอร์ S	34
3.6 สนามของสายอากาศ	35
3.7 สายอากาศไดโพลและไดโพลอุดมคติ	36
3.7 สายอากาศยาคิ-อูดะ	37
บทที่ 4 การออกแบบสายอากาศปรินท์ไดโพลร่วมกับตัวสะท้อนและตัวนำคลื่น	40
4.1 ผลการคำนวณขนาดของสายอากาศปรินท์ไดโพลที่ความถี่ 2.45 GHz	40
4.2 การจำลองแบบสายอากาศปรินท์ไดโพล ที่ได้จากการคำนวณ	43
โดยใช้โปรแกรม CST Microwave Studio	
4.3 การปรับพารามิเตอร์ของสายอากาศปรินท์ไดโพล	45

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
4.3.1 การปรับค่าความยาวของตัวขับสัญญาณ (Driven)	45
4.3.2 การปรับค่าความยาวของกราวด์	46
4.3.3 การปรับค่าความกว้างของกราวด์	47
4.3.4 การปรับค่าความยาวของแผ่นซับสเตรต	48
4.3.5 การปรับค่าความกว้างของแผ่นซับสเตรต	49
4.3.6 สรุปรูปขนาดของสายอากาศปรินท์ไคโพลที่ได้จากการจำลองแบบ	50
4.4 การจำลองแบบสายอากาศปรินท์ไคโพลร่วมกับตัวสะท้อนคลื่น ที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้โปรแกรม CST Microwave Studio	55
4.4.1 การปรับค่าความยาวของตัวขับสัญญาณ	56
4.4.2 การปรับค่าขนาดความยาวของรีเฟล็กเตอร์	57
4.4.4 การปรับค่าความยาวของแผ่นซับสเตรต	59
4.4.3 การปรับค่าระยะห่างจากตัวสะท้อนคลื่น ถึงสายอากาศปรินท์ไคโพล	58
4.4.5 การปรับค่าความกว้างของแผ่นซับสเตรต	60
4.4.6 สรุปรูปขนาดของสายอากาศปรินท์ไคโพลที่ทำงานร่วมกับ ตัวสะท้อนคลื่นที่ได้จำลองแบบ	61
4.5 การออกแบบสายอากาศปรินท์ไคโพลร่วมกับตัวสะท้อนคลื่น และตัวนำคลื่นที่มีความถี่ 2.45 GHz	65
4.5.1 การปรับค่าความยาวของตัวนำคลื่น	66
4.5.2 การปรับค่าระยะห่าง ระหว่างสายอากาศปรินท์ไคโพล กับตัวนำคลื่น	67
4.5.3 การปรับค่าความกว้างของซับสเตรต	68

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
4.5.3 การปรับค่าความกว้างของซิปสเตรต	68
4.5.4 การปรับค่าความยาวของซิปสเตรต	69
4.5.5 สรุปขนาดของสายอากาศปริ้นท์ไคโพลที่ทำงาน ร่วมกับตัวสะท้อนคลื่นและตัวนำคลื่น 1 ตัวที่ได้จากการจำลองแบบ	70
4.6 ทำการใส่ตัวนำคลื่นเพิ่มขึ้นเป็น 3 ตัว และ 5 ตัว	74
4.6.1 การปรับระยะห่างของตัวนำคลื่นทั้ง 3 ตัว	74
4.6.2 การปรับค่าความยาวของตัวนำคลื่นทั้ง 3 ตัว	75
4.6.3 ทดลองปรับค่าความกว้างของซิปสเตรต	76
4.6.4 การปรับค่าความยาวของแผ่นซิปสเตรต	76
4.6.5 การปรับค่าความกว้างของตัวนำคลื่น	77
4.6.6 การปรับค่าความยาวของสายอากาศปริ้นท์ไคโพล	78
4.6.7 ทดลองใส่ตัวนำคลื่นเพิ่มเข้าไปที่ละตัวตั้งแต่ 3 ตัวถึง 20 ตัว	78
4.6.8 สรุปพารามิเตอร์ทั้งหมดนำมาทำการจำลองแบบสายอากาศ ปริ้นท์ไคโพลร่วมกับตัวสะท้อนคลื่นและตัวนำคลื่น 3 ตัว	81
4.6.9 สรุปพารามิเตอร์ทั้งหมดนำมาทำการจำลองแบบสายอากาศ ปริ้นท์ไคโพลร่วมกับตัวสะท้อนคลื่นและตัวนำคลื่น 5 ตัว	85
บทที่ 5 การสร้างสายอากาศปริ้นท์ไคโพลร่วมกับ ตัวสะท้อนคลื่นและตัวนำคลื่นที่ความถี่ 2.45 GHz	90
5.1 สร้างสายอากาศปริ้นท์ไคโพลที่ความถี่ 2.45 GHz	90
5.2 การสร้างสายอากาศปริ้นท์ไคโพลร่วมกับ ตัวสะท้อนคลื่นที่ความถี่ 2.45 GHz	93
5.3 การสร้างสายอากาศปริ้นท์ไคโพลร่วมกับ ตัวสะท้อนคลื่นและตัวนำคลื่น ที่ความถี่ 2.45 GHz	96

สารบัญ

เรื่อง

หน้า

บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

105

บรรณานุกรม

106



สารบัญรูป

รายการ	หน้า
รูปที่ 2.1 หน้าต่างของ Create a New Project	4
รูปที่ 2.2 หน้าต่างของ New Material Parameters	5
รูปที่ 2.3 หน้าต่างของ Specify Units	6
รูปที่ 2.4 หน้าต่างของ Frequency Range Settings	6
รูปที่ 2.5 หน้าต่างของ Boundary Conditions	7
รูปที่ 2.6 หน้าต่างของ Background properties	8
รูปที่ 2.7 หน้าต่าง Monitor	9
รูปที่ 2.8 การสร้างรูปทรงพื้นฐานต่างๆในโปรแกรม CST	9
รูปที่ 2.9 การใช้คำสั่งในการสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยม	10
รูปที่ 2.10 การใช้คำสั่งในการสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยมโดยทางลัด	10
รูปที่ 2.11 หน้าต่างของการสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยม	11
รูปที่ 2.12 สี่เหลี่ยมที่ได้จากการสร้างในขั้นตอนที่ 1	11
รูปที่ 2.13 รูปทรงของกล่องสี่เหลี่ยมที่ได้จากการสร้างในขั้นตอนที่ 2	12
รูปที่ 2.14 แสดงรูปกล่องสี่เหลี่ยมและหน้าต่างที่ชื่อ Brick	12
รูปที่ 2.15 กล่องสี่เหลี่ยมที่มีขนาดตามที่ได้กำหนด	13
รูปที่ 2.16 ทรงกลมและหน้าต่างในการกำหนดค่าพารามิเตอร์	14
รูปที่ 2.17 ทรงกลมที่ได้หลังจากการกำหนดค่าพารามิเตอร์เสร็จแล้ว	14
รูปที่ 2.18 หน้าต่างของการสร้างรูปทรงกระบอก	15
รูปที่ 2.19 วงกลมที่ได้จากการสร้างรูปทรงกระบอกในขั้นตอนที่ 1	16
รูปที่ 2.20 ทรงกระบอกที่ได้จากการสร้างในขั้นตอนที่ 2	16
รูปที่ 2.21 ทรงกระบอกที่มีวงกลมรัศมีต่างกัน 2 วง	17
รูปที่ 2.22 ทรงกระบอกที่มีวงกลมรัศมีต่างกัน 2 วง	17
และหน้าต่างของการกำหนดค่าพารามิเตอร์	

สารบัญรูป

รายการ	หน้า
รูปที่ 2.23 ทรงกระบอกที่มีวงกลมรัศมีต่างกัน 2 วง มีขนาดตามที่ได้กำหนด	18
รูปที่ 2.24 วงรีที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ของการสร้างรูปทรงกระบอกที่มีลักษณะเป็นวงรี	19
รูปที่ 2.25 ทรงกระบอกที่มีหน้าตัดเป็นวงรีที่ได้จากขั้นตอนที่ 2	19
รูปที่ 2.26 ทรงกระบอกที่มีหน้าตัดเป็นวงรีและหน้าต่างในการกำหนดค่าพารามิเตอร์	20
รูปที่ 2.27 ทรงกระบอกที่มีลักษณะเป็นวงรี	20
รูปที่ 2.28 ทรงกรวยที่มีขนาดตามที่ได้กำหนด	21
รูปที่ 2.29 ทรงขนม โค้นท์ที่มีขนาดตามที่ได้กำหนด	22
รูปที่ 2.30 แถบเครื่องมือที่ใช้ในการเลือกขอบหรือผิววัตถุ	22
รูปที่ 2.31 หน้าต่างในการกำหนดค่ารัศมีของการลบคม	23
รูปที่ 2.32 การเลือกขอบวัตถุที่จะทำการลบคม	23
รูปที่ 2.33 วัตถุที่ถูกลบคมแล้ว	23
รูปที่ 2.34 หน้าต่างการกำหนดค่าของการเนียนคม	24
รูปที่ 2.35 การเลือกขอบวัตถุที่จะทำการเนียนคม	24
รูปที่ 2.36 วัตถุที่ถูกเนียนคมแล้ว	25
รูปที่ 2.37 วัตถุที่ยังไม่ทำการ Add	25
รูปที่ 2.38 วัตถุที่ Add แล้ว	25
รูปที่ 2.39 วัตถุที่ยังไม่ทำการ Subtract	26
รูปที่ 2.40 วัตถุที่ทำการ Subtract แล้ว	26
รูปที่ 2.41 วัตถุที่ยังไม่ทำ Intersect	27
รูปที่ 2.42 วัตถุที่ทำ Intersect แล้ว	27
รูปที่ 2.43 วัตถุที่ยังไม่ทำ Insert	28
รูปที่ 2.44 วัตถุที่ทำ Insert แล้ว	28
รูปที่ 3.1 แบบรูปการแผ่พลังงานในรูป 3 มิติ	30
รูปที่ 3.3 แสดงความกว้างแถบความถี่	31
รูปที่ 3.4 แสดงการ โพลาริซ์แนวดิ่งและแนวนอน	32

สารบัญรูป

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 3.5 แสดงการ โพลาริซของสายอากาศยากิ-ยูคะ	33
รูปที่ 3.6 แสดงการ โพลาริซของสายอากาศไดโพล	33
รูปที่ 3.7 แสดงค่าการสูญเสียย้อนกลับ ที่ความถี่ประมาณ 2.5 GHz	34
รูปที่ 3.8 บริเวณของสนามของสายอากาศ	35
รูปที่ 3.9 สายอากาศไดโพล	37
รูปที่ 3.10 สายอากาศยากิ-ยูคะ ชนิด 3 อิลิเมนต์	37
รูปที่ 3.11 ความกว้างลำคลื่นของสายอากาศยากิ-ยูคะที่มีจำนวนอิลิเมนต์ต่างกัน	39
รูปที่ 4.1 แสดงหลักการการออกแบบของสายอากาศ ยากิ-ยูคะ	42
รูปที่ 4.2 ชิ้นงานในโปรแกรม CST Microwave Studio	43
รูปที่ 4.3 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	44
รูปที่ 4.4 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	45
รูปที่ 4.5 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	45
รูปที่ 4.6 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	46
รูปที่ 4.7 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	46
รูปที่ 4.8 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	47
รูปที่ 4.9 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	48
รูปที่ 4.10 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	49
รูปที่ 4.11 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	50
รูปที่ 4.12 ชิ้นงานในโปรแกรม CST Microwave Studio	51
รูปที่ 4.13 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	52
รูปที่ 4.14 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	52
รูปที่ 4.15 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบ 3 มิติ	53
รูปที่ 4.16 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane)	53

สารบัญรูป

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 4.17 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane)	54
รูปที่ 4.18 ชิ้นงานในโปรแกรม CST Microwave Studio	55
รูปที่ 4.19 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	56
รูปที่ 4.20 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	56
รูปที่ 4.21 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	57
รูปที่ 4.22 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	58
รูปที่ 4.23 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	59
รูปที่ 4.24 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	60
รูปที่ 4.25 ชิ้นงานในโปรแกรม CST Microwave Studio	61
รูปที่ 4.26 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	62
รูปที่ 4.27 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	62
รูปที่ 4.28 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane)	63
รูปที่ 4.29 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane)	63
รูปที่ 4.30 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นใน 3 มิติ	64
รูปที่ 4.30 ชิ้นงานในโปรแกรม CST Microwave Studio	65
รูปที่ 4.31 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	66
รูปที่ 4.32 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	67
รูปที่ 4.33 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	67
รูปที่ 4.34 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	68
รูปที่ 4.35 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	68
รูปที่ 4.36 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	69
รูปที่ 4.37 ชิ้นงานในโปรแกรม CST Microwave Studio	71

สารบัญรูป

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 4.38 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	71
รูปที่ 4.39 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	72
รูปที่ 4.4 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane)	72
รูปที่ 4.4 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane)	73
รูปที่ 4.42 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นใน 3 มิติ	73
รูปที่ 4.43 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	74
รูปที่ 4.44 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	75
รูปที่ 4.45 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	76
รูปที่ 4.46 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	76
รูปที่ 4.47 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	77
รูปที่ 4.48 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	78
รูปที่ 4.49 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	78
รูปที่ 4.50 อัตราขยายของสายอากาศเมื่อใส่ตัวนำคลื่นตั้งแต่ 3-20 ตัว	79
รูปที่ 4.51 อัตราขยายของสายอากาศเมื่อใส่ตัวนำคลื่น(Director) ที่ 5,10,15,20 ตัว	79
รูปที่ 4.52 อัตราขยายของสายอากาศเมื่อใส่ตัวนำคลื่น(Director) ที่ 5,10,15,20 ตัว	80
รูปที่ 4.53 อัตราขยายของสายอากาศเมื่อใส่ตัวนำคลื่น (Director) ที่ 10,15,20 ตัว (ภาพขยาย)	80
รูปที่ 4.54 ชิ้นงานในโปรแกรม CST Microwave Studio	82
รูปที่ 4.55 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	82
รูปที่ 4.56 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	83
รูปที่ 4.57 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane)	83
รูปที่ 4.58 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane)	84
รูปที่ 4.59 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นใน 3 มิติ	84

สารบัญรูป

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 4.60 ชิ้นงานในโปรแกรม CST Microwave Studio	86
รูปที่ 4.61 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	86
รูปที่ 4.62 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	87
รูปที่ 4.63 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane)	87
รูปที่ 4.64 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane)	88
รูปที่ 4.65 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นใน 3 มิติ	88
รูปที่ 5.1 ชิ้นงานจริง	90
รูปที่ 5.2 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	91
รูปที่ 5.3 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane)	92
รูปที่ 5.4 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane)	92
รูปที่ 5.5 ชิ้นงานจริง	93
รูปที่ 5.6 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	94
รูปที่ 5.7 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane)	95
รูปที่ 5.8 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane)	95
รูปที่ 5.9 ชิ้นงานจริง	96
รูปที่ 5.10 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	97
รูปที่ 5.11 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane)	98
รูปที่ 5.12 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane)	98
รูปที่ 5.13 ชิ้นงานจริง	99
รูปที่ 5.14 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	100
รูปที่ 5.15 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane)	101
รูปที่ 5.16 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane)	101
รูปที่ 5.17 ชิ้นงานจริง	102
รูปที่ 5.18 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)	103

สารบัญรูป

เรื่อง

หน้า

รูปที่ 5.19 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane)

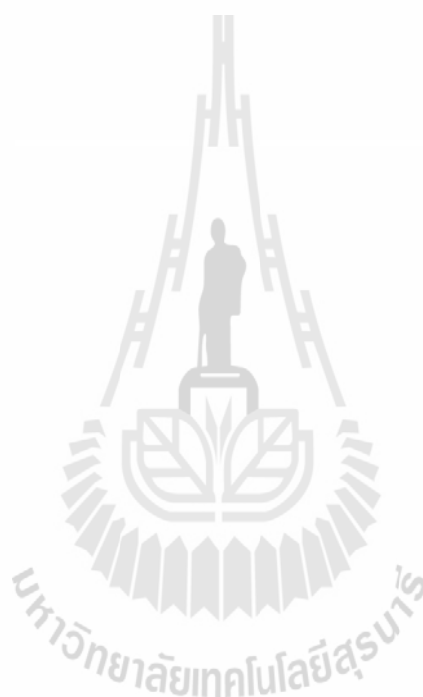
104

รูปที่ 5.20 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane)

104

บรรณานุกรม

106



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันระบบการสื่อสารไร้สายมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทั้งทางด้านภาพ เสียง และ ข้อมูล โดยเฉพาะเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายด้านอินเทอร์เน็ต ได้พัฒนาอย่างรวดเร็ว ในปัจจุบัน โครงข่ายไร้สายได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในด้านระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) ซึ่งเป็น เทคโนโลยีที่เชื่อมอุปกรณ์ตั้งแต่สองตัวขึ้นไปเข้าด้วยกัน โดยใช้วิธีการกระจายแบบไร้สายซึ่งใช้จุด เข้าถึง (Access point) ในการเชื่อมต่อโครงข่ายเข้าด้วยกัน ทำให้มีความสะดวกสบายในการติดตั้ง และการใช้งานโดยไม่มีการเชื่อมต่อสายนำสัญญาณ ทำให้ผู้ใช้สามารถนำพาหรือเคลื่อนย้าย คอมพิวเตอร์ไปยังพื้นที่ใดก็ได้ที่มีสัญญาณ ไร้สาย และยังสามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายได้ตามปกติ แต่อย่างไรก็ตามการให้บริการของจุดเข้าถึง (Access point) จะครอบคลุมพื้นที่ให้บริการในบริเวณ จำกัด ดังนั้นการใช้ระบบรับส่งสำหรับเชื่อมต่อโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายแบบจุดต่อจุด จึงเป็นวิธีที่มี ประสิทธิภาพในการที่จะขยายจุดให้บริการ โครงข่าย เพิ่มพื้นที่บริการให้ครอบคลุมมากขึ้นและยัง เป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ด้วยเหตุนี้ จึงทำให้คณะผู้วิจัยเกิดความสนใจในการ ออกแบบสายอากาศส่ง สำหรับการเชื่อมต่อโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายแบบจุดต่อจุด โดยระบบ ประกอบไปด้วย สายอากาศปรีแอมป์ไดโพล ทำงานร่วมกับตัวสะท้อนคลื่นและตัวนำคลื่น เพื่อเพิ่ม อัตราการขยายสัญญาณให้สูงขึ้น และทำงานที่ย่านความถี่ 2.45 GHz (ตามมาตรฐานโครงข่าย ท้องถิ่นไร้สาย IEEE802.11b และ g ซึ่งทำงานในย่าน ISM) ในการออกแบบสายอากาศไดโพลนี้ อาศัยโครงสร้างเดิมของ สายอากาศแถวลำดับยาเกีย-ยูดา (Yagi-Uda Antenna) และในการออกแบบ ได้กำหนดให้สายอากาศมีอิลิเมนต์ตัวสะท้อน (Reflector Element) อิลิเมนต์ตัวขับ (Driven Element) และอิลิเมนต์ชีทิส (Director Element) การออกแบบและจำลองผลใช้โปรแกรม CST Microwave Studio ในการออกแบบและจำลองการทำงาน เมื่อได้ลักษณะตามที่กำหนดแล้วจึงสร้าง สายอากาศต้นแบบขึ้นมาเพื่อทำการวัดทดสอบเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากโปรแกรม

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบสายอากาศปรินท์ไดโพลร่วมกับตัวสะท้อนคลื่นและตัวนำคลื่นที่ความถี่ 2.45 GHz
2. เพื่อศึกษาการใช้งาน โปรแกรม CST Microwave Studio

1.3 ขอบเขตงาน

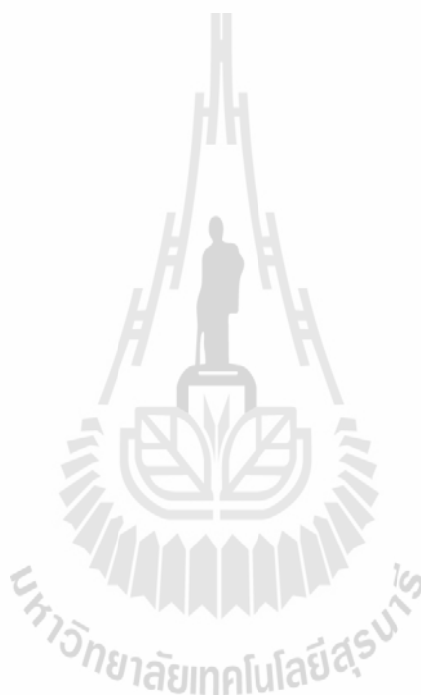
1. ออกแบบสายอากาศปรินท์ไดโพลร่วมกับตัวสะท้อนคลื่นและตัวนำคลื่นบนแผ่นพีซีบี (PCB) ที่ความถี่ 2.45 GHz โดยใช้โปรแกรม CST Microwave Studio
2. สร้างชิ้นงานตามที่ได้ออกแบบไว้และวัดทดสอบในห้องปฏิบัติการ

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาโปรแกรม CST Microwave Studio
2. ศึกษาทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศปรินท์ไดโพล และหลักการออกแบบสายอากาศยาภิ-อูตะ ในเบื้องต้น
3. ออกแบบและวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศต้นแบบ โดยใช้โปรแกรม CST Microwave Studio
4. สร้างสายอากาศต้นแบบปรินท์ไดโพลร่วมกับตัวสะท้อนคลื่นและตัวนำคลื่น
5. วัดทดสอบพร้อมทั้งเปรียบเทียบผลการวัด กับผลที่ออกแบบและวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม CST Microwave Studio
6. สรุปผลการทดลองและเขียนรายงาน
7. นำเสนอโครงการ

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้สายอากาศปรินท์ไดโพลร่วมกับรีเฟล็กเตอร์และไดเรกเตอร์ที่ความถี่ 2.45 GHz
2. ได้เรียนรู้การออกแบบและปรับปรุงสายอากาศได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม
3. ได้เรียนรู้การสร้างสายอากาศ
4. ได้เรียนรู้การใช้เครื่องมือวัดและวิธีการวัดสัญญาณ



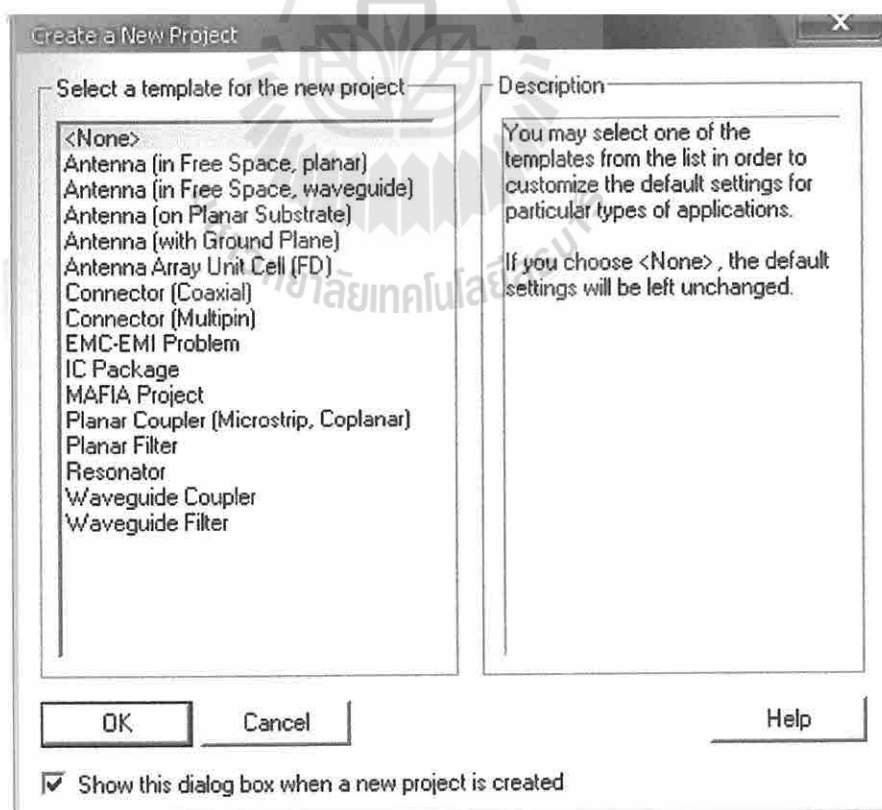
บทที่ 2

การใช้งานโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO 5 เบื้องต้น

ในบทนี้จะเป็นการแนะนำการใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO 5 เบื้องต้น เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจในการใช้โปรแกรมอย่างถูกต้อง และให้รู้หลักการสร้างแบบจำลอง รวมถึงการประมวลผล เพื่อวิเคราะห์ค่าต่างๆ จุดประสงค์เพื่อให้เป็นแนวทางสำหรับผู้ที่ต้องการจะศึกษาและใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO 5 ได้เข้าใจในโปรแกรมมากขึ้น

2.1 การเริ่มสร้างแบบจำลอง

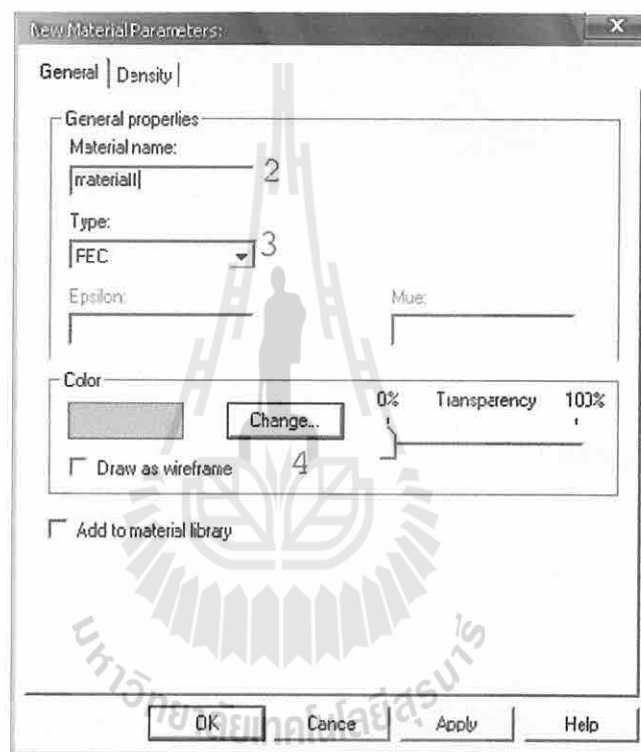
1. เมื่อเปิดโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO 5 แล้วให้เลือกที่เมนู File → New
2. จากนั้นจะขึ้นหน้าต่าง ดังรูปที่ 2.1 เป็นการสร้าง templates ให้กับชิ้นงานโดยอัตโนมัติ ซึ่งจะมีแบบให้เลือกแล้วแต่ความต้องการ หากไม่ต้องการกำหนดให้เลือก None แล้วเลือก OK



รูปที่ 2.1 หน้าต่างของ Create a New Project

2.2 การสร้างวัสดุ Material

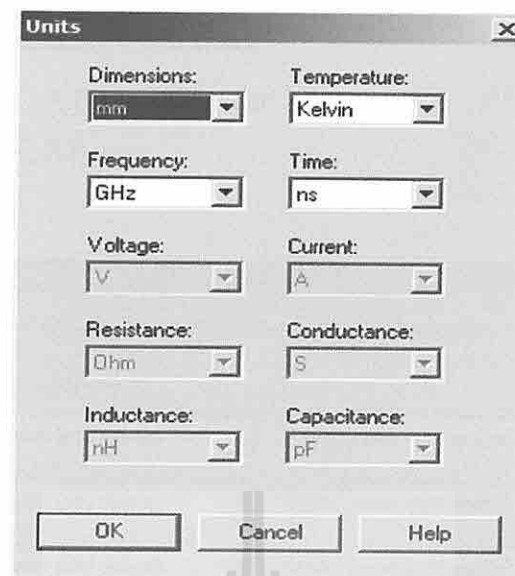
1. เลือกเมนู Solve → Materials → New Materials
2. ตั้งชื่อให้กับวัสดุ
3. กำหนดชนิดของวัสดุ (PEC ,Normal ,Anisotropic และ Lossy Metals)
4. เลือกสีให้กับวัสดุ
5. เลือก OK



รูปที่ 2.2 หน้าต่างของ New Material Parameters

2.3 การกำหนดหน่วย Units

1. เลือกเมนู Solve → Units
2. เลือก Dimensions ความถี่ และ เวลา ที่ต้องการ
3. เลือก OK



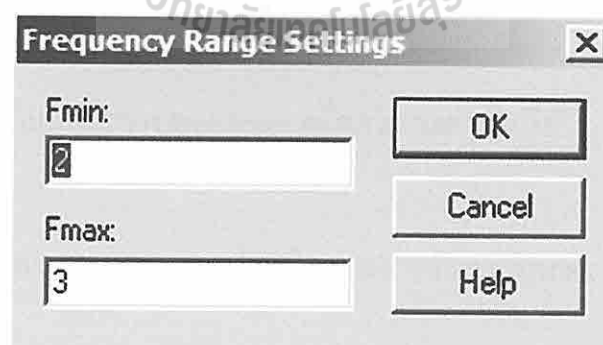
รูปที่ 2.3 หน้าต่างของ Specify Units

2.4 การกำหนดความถี่ Frequency

1. หลังจากสร้างชิ้นงานแล้วจะสามารถกำหนดความถี่ได้โดยเลือกเมนู

Solve → frequency

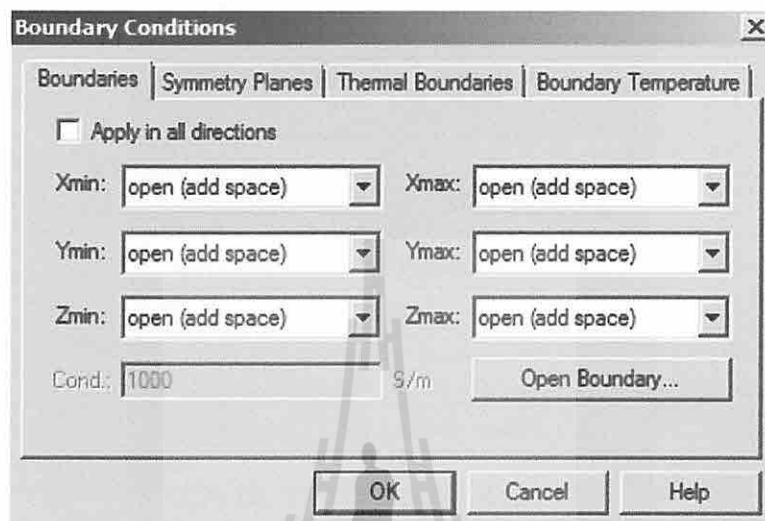
2. กำหนดความถี่เริ่มต้น (fmin) และ ความถี่สูงสุด (fmax) ค่าของความถี่ที่ตั้งไว้จะตั้งค่า Signal monitors โดยอัตโนมัติ



รูปที่ 2.4 หน้าต่างของ Frequency Range Settings

2.5 การกำหนดขอบเขต Boundary Conditions

1. เลือกเมนู Solve → Boundary Conditions
2. เลือกขอบเขตตามที่ต้องการ



รูปที่ 2.5 หน้าต่างของ Boundary Conditions

Electric: ค่าสนามไฟฟ้าของด้านที่เลือก ถูกกำหนดให้เป็นศูนย์

Magnetic: ค่าสนามแม่เหล็กของด้านที่เลือก ถูกกำหนดให้เป็นศูนย์

Open (PML): เสมือนเป็นอากาศว่าง Free Space คลื่นสามารถผ่านไปได้

Open (add space): เหมือน Open (PML) แต่จะเพิ่มระยะสำหรับการคำนวณ

Farfield : การกำหนดแบบนี้ส่วนมากใช้ในการสร้างสายอากาศ

Periodic: เป็นการเชื่อมขอบเขตด้านตรงข้ามเข้าด้วยกัน

Conducting Wall: เสมือนเป็นผนังของวัสดุโลหะแบบ lossy



2.6 กำหนด Background properties

Background Properties

Material properties

Material type: Normal ☐ Multiple layers

Epsilon: 1 Mue: 1.0

Thermal type: Normal Rho (kg/m³): 0.0

Thermal cond. (W/K/m): 0.0 Heat capacity (kJ/K/kg): 0.0

Surrounding space

☐ Apply in all directions

Lower X distance: 0.0 Upper X distance: 0.0

Lower Y distance: 0.0 Upper Y distance: 0.0

Lower Z distance: 0.0 Upper Z distance: 0.0

OK Apply Close Help

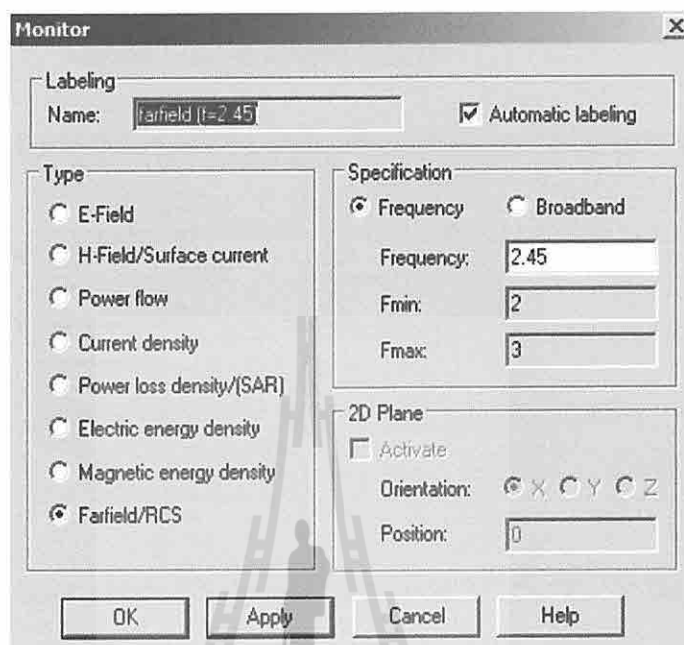
รูปที่ 2.6 หน้าต่างของ Background properties

2.7 การกำหนด Field Monitors

ก่อนที่จะทำการประมวลผลจะต้องเลือกที่จะดูผลแบบใดบ้าง

1. เลือกเมนู Solve → Field Monitors
2. เลือก Type ที่ต้องการจะดูการประมวลผล
3. เลือก OK

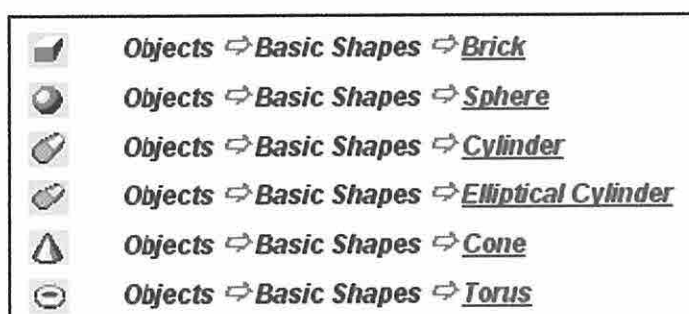
ในการตั้งค่า Field Monitors สามารถกำหนด type ได้หลายตัว



รูปที่ 2.7 หน้าต่าง Monitor

2.8 การสร้างรูปทรงพื้นฐาน (Basic Shape Creation)

การสร้างรูปทรงพื้นฐานต่างๆในโปรแกรม CST มีดังนี้

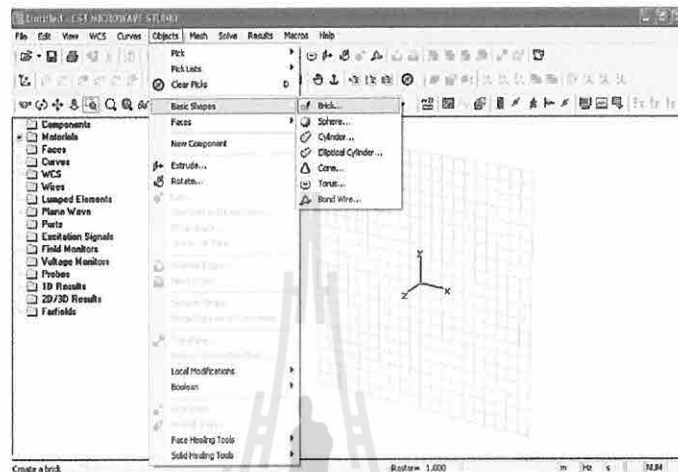


รูปที่ 2.8 การสร้างรูปทรงพื้นฐานต่างๆในโปรแกรม CST

2.8 1 การสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยม (Brick)

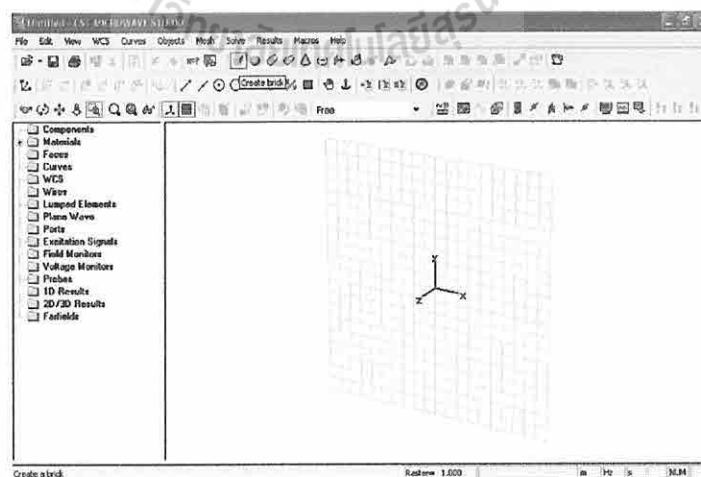
วิธีที่ 1 ไปที่ main menu แล้วทำตามขั้นตอนดังนี้

 **Objects** → **Basic Shapes** → **Brick**



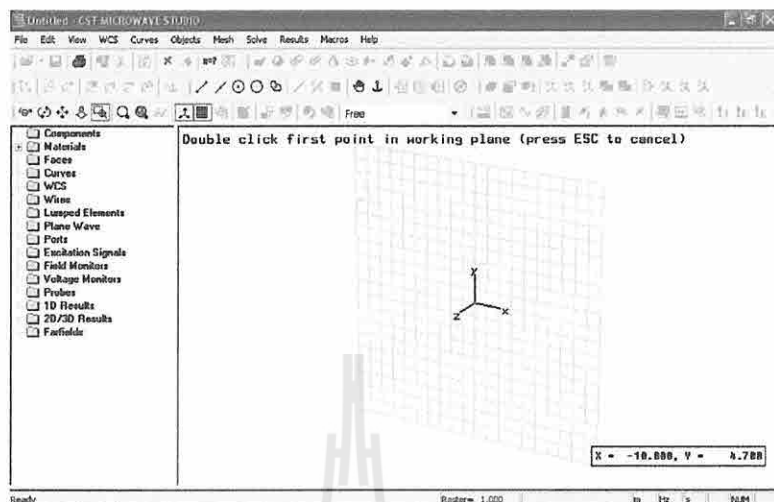
รูปที่ 2.9 การใช้คำสั่งในการสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยม

วิธีที่ 2 ไปที่ Objects toolbar คลิกที่รูปสี่เหลี่ยม (Create brick)



รูปที่ 2.10 การใช้คำสั่งในการสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยม โดยทางลัด

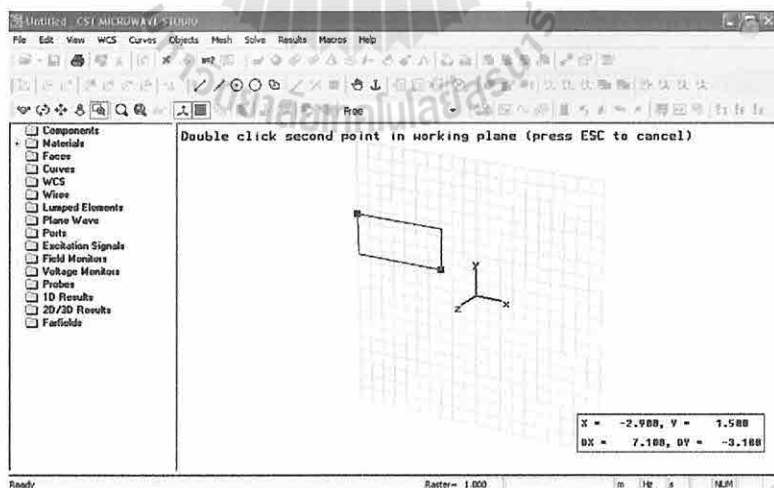
จากทั้ง 2 วิธี จะได้หน้าต่างดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 หน้าต่างของการสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยม

จากนั้นทำตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

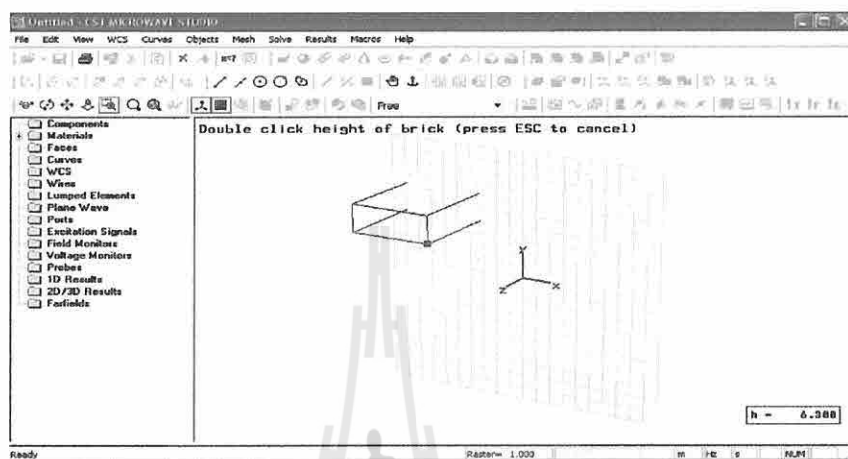
1. ดับเบิ้ลคลิกหนึ่งครั้งบนพื้นที่ว่างแล้วลากเมาส์ออกไปจะได้รูปสี่เหลี่ยม ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 สี่เหลี่ยมที่ได้จากการสร้างในขั้นตอนที่ 1

2. ดับเบิ้ลคลิกอีกครั้งหนึ่งแล้วลากเมาส์ออกไปจะได้รูปทรงของกล่องสี่เหลี่ยม ดังรูปที่

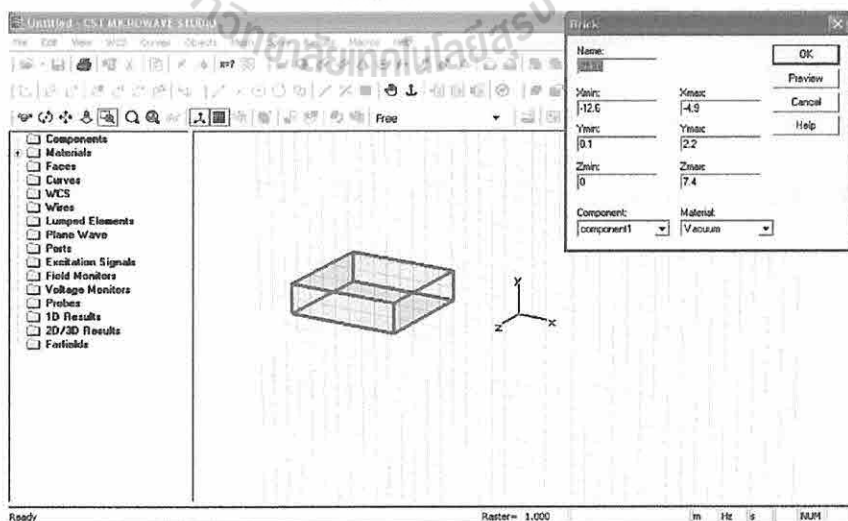
2.13



รูปที่ 2.13 รูปทรงของกล่องสี่เหลี่ยมที่ได้จากการสร้างในขั้นตอนที่ 2

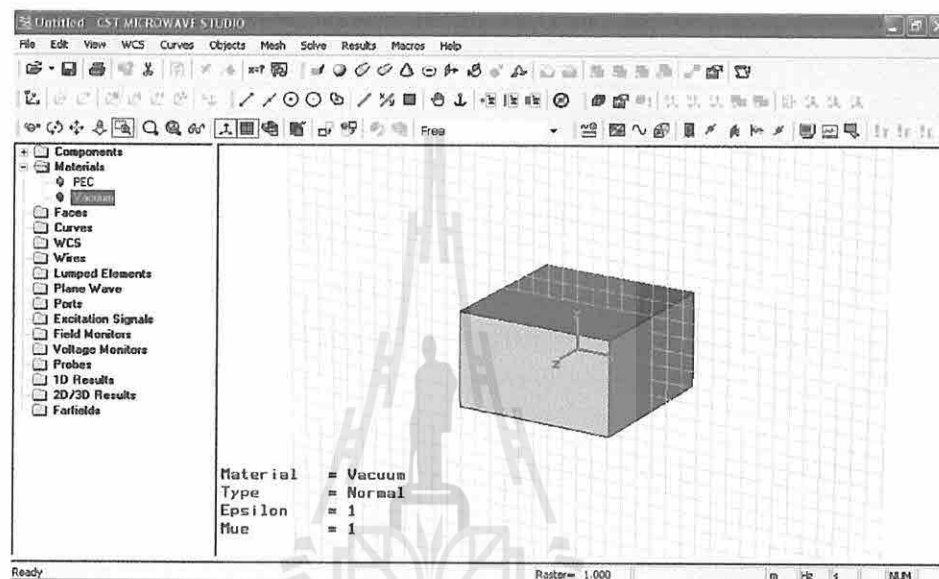
3. ดับเบิ้ลคลิกอีกครั้งหนึ่งจะได้รูปกล่องสี่เหลี่ยมและมีหน้าต่างที่ชื่อ Brick ขึ้นมา ดังรูปที่

2.14



รูปที่ 2.14 แสดงรูปกล่องสี่เหลี่ยมและหน้าต่างที่ชื่อ Brick

4. ตั้งชื่อในช่อง Name กำหนดค่าต่างๆให้ครบ ส่วนตรงช่อง Component กับ Material ให้เลือกว่าจะเอาอะไรตามที่ได้กำหนดไว้ตั้งแต่ตอนต้น
5. คลิกที่ OK ก็จะได้รูปกล่องสี่เหลี่ยมที่มีขนาดตามที่ได้กำหนด ดังรูปที่ 2.15



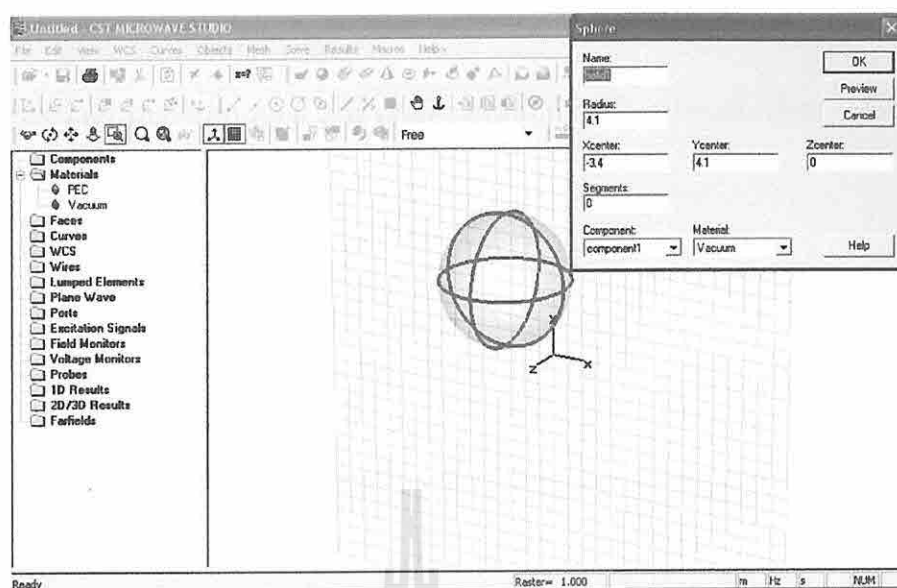
รูปที่ 2.15 กล่องสี่เหลี่ยมที่มีขนาดตามที่ได้กำหนด

2.9 การสร้างรูปทรงกลม (Sphere)

การสร้างรูปทรงกลมมี 2 วิธีเช่นเดียวกันกับการสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยม แต่เลือกคำสั่งจาก main menu ดังนี้

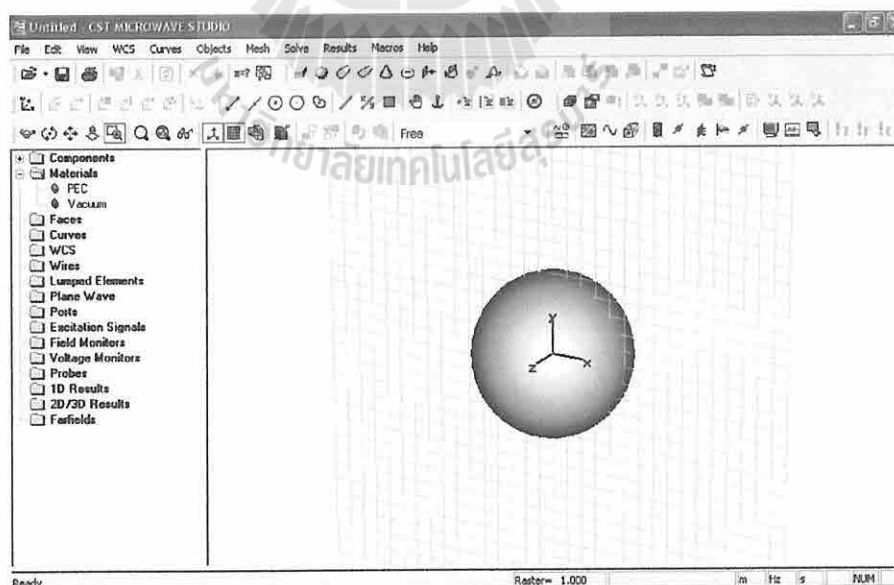
 **Objects** ⇨ **Basic Shapes** ⇨ **Sphere**

แล้วทำการกำหนดค่าในหน้าต่างที่ชื่อ Sphere ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ทรงกลมและหน้าต่างในการกำหนดค่าพารามิเตอร์

จากนั้นก็ทำเช่นเดียวกันกับการสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยมจะได้รูปทรงกลมออกมาดังนี้ ดังรูปที่ 2.17



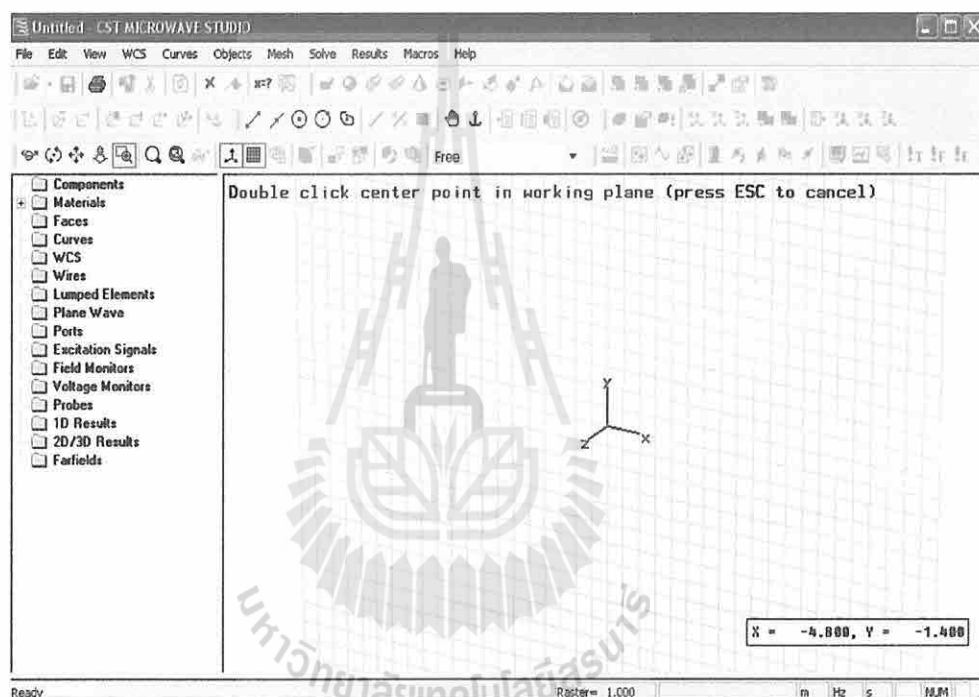
รูปที่ 2.17 ทรงกลมที่ได้หลังจากการกำหนดค่าพารามิเตอร์เสร็จแล้ว

2.10 การสร้างรูปทรงกระบอก (Cylinder)

การสร้างรูปทรงกระบอก มี 2 วิธี เช่นเดียวกันกับการสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยม แต่เลือกคำสั่งจาก main menu ดังนี้

 **Objects** → **Basic Shapes** → **Cylinder**

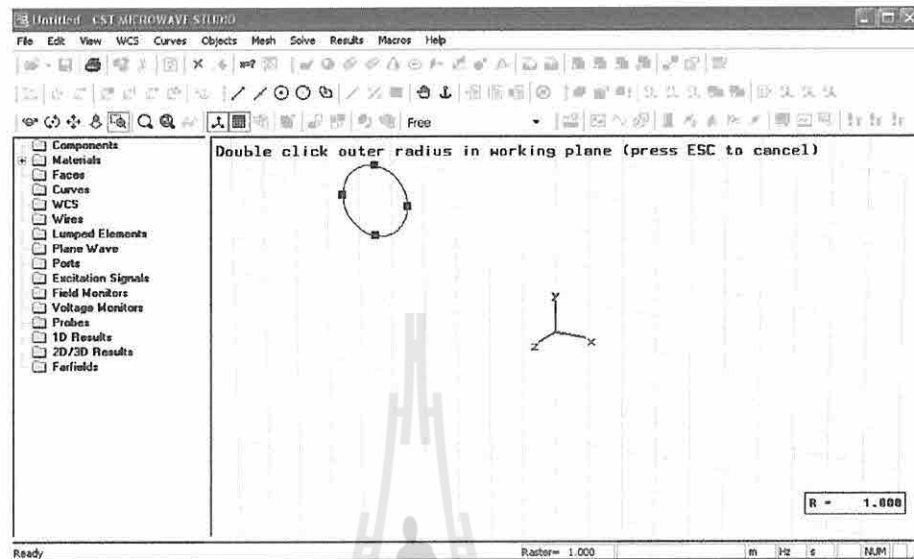
เมื่อเข้าไปตามคำสั่งนี้แล้วจะได้หน้าต่าง ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 หน้าต่างของการสร้างรูปทรงกระบอก

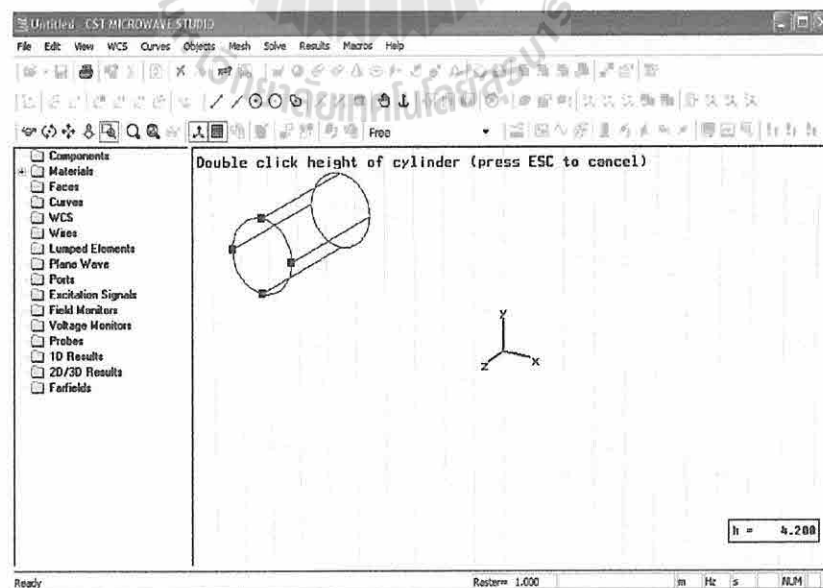
จากนั้นให้ทำตามขั้นตอนดังนี้

1. ดับเบิ้ลคลิกที่พื้นที่ว่างหนึ่งครั้งแล้วลากเมาส์ออกไปจะได้รูปวงกลม ดังรูปที่ 2.19



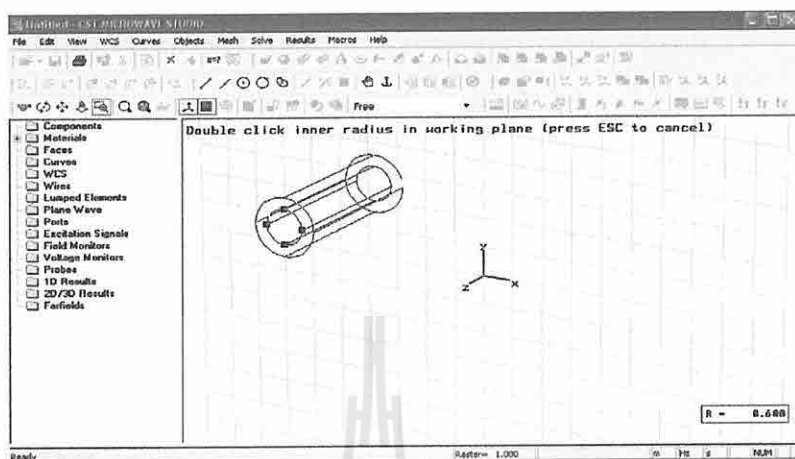
รูปที่ 2.19 วงกลมที่ได้จากการสร้างรูปทรงกระบอกในขั้นตอนที่ 1

2. ดับเบิ้ลคลิกอีกครั้งแล้วลากเมาส์ออกไปจะได้รูปร่างทรงกระบอก ดังรูปที่ 2.20



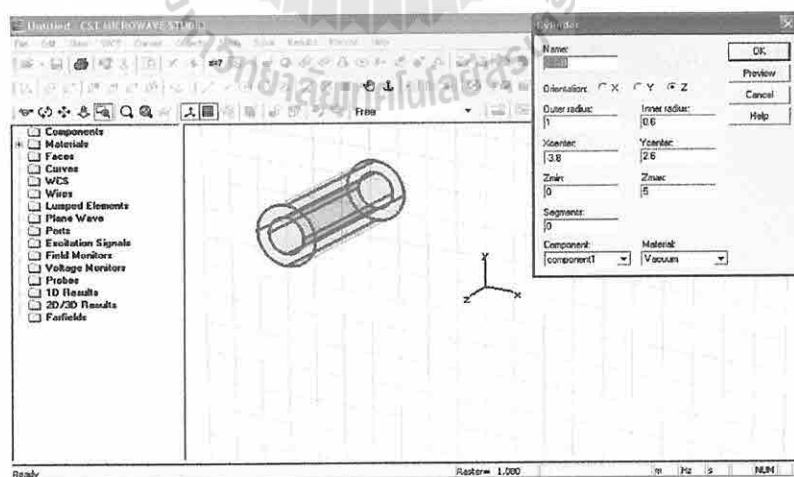
รูปที่ 2.20 ทรงกระบอกที่ได้จากการสร้างในขั้นตอนที่ 2

ดับเบิลคลิกอีกครั้งแล้วลากเมาส์เข้าไปด้านในของทรงกระบอกจะได้รูปร่างของทรงกระบอกที่มีวงกลมรัศมีต่างกัน 2 วง ดังรูป 2.21



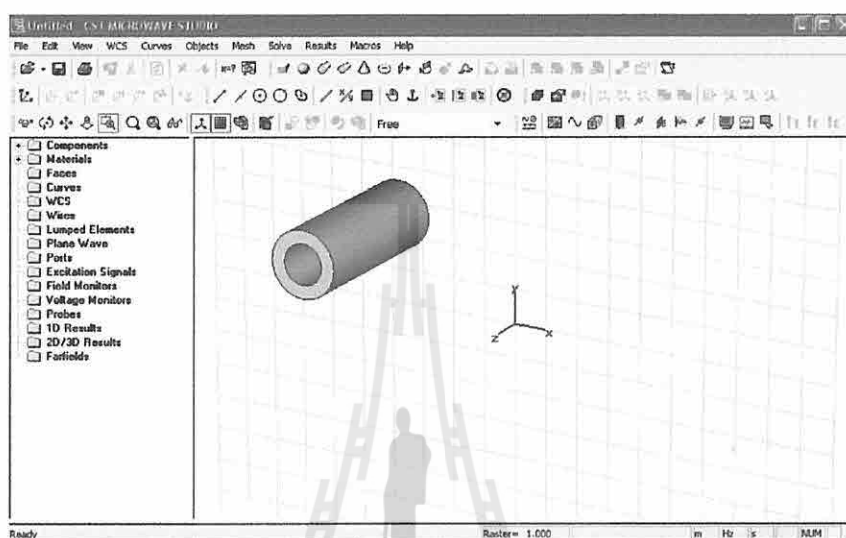
รูปที่ 2.21 ทรงกระบอกที่มีวงกลมรัศมีต่างกัน 2 วง

4. ดับเบิลคลิกอีกครั้งจะได้รูปร่างของทรงกระบอก (จากขั้นตอนที่ 2 สามารถกด Esc ออกไปเลยก็ได้แล้วค่อยไปกำหนดค่ารัศมีเอาไว้จะได้เช่นกัน) และจะปรากฏหน้าต่างที่ชื่อ Cylinder ขึ้นมาเพื่อให้กำหนดค่า ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 ทรงกระบอกที่มีวงกลมรัศมีต่างกัน 2 วง และหน้าต่างของการกำหนดค่าพารามิเตอร์

5. เมื่อกำหนดค่าเสร็จแล้ว คลิกที่ปุ่ม OK จะได้รูปทรงกระบอกที่มีลักษณะกลวงและมีขนาดตามรัศมีของวงกลม 2 วง ที่ได้กำหนด และมีจุดศูนย์กลางกับความยาวตามแนวแกนที่กำหนด ดังรูปที่ 2.23



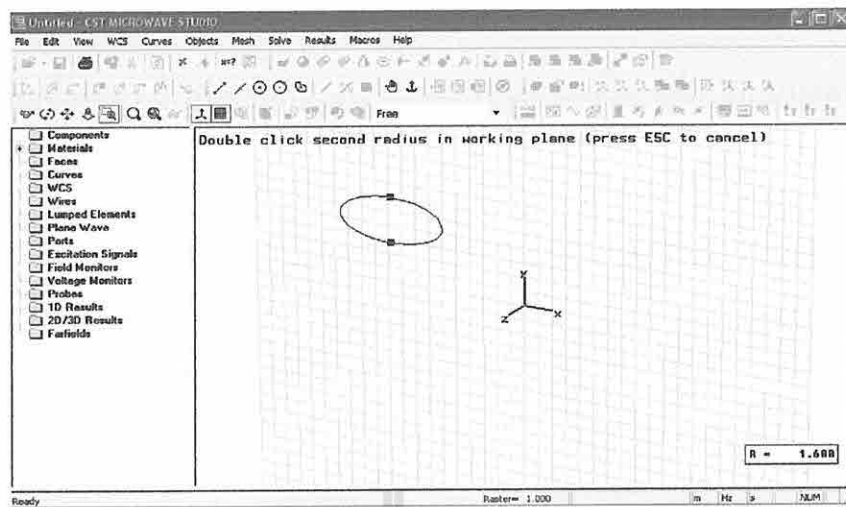
รูปที่ 2.23 ทรงกระบอกที่มีวงกลมรัศมีต่างกัน 2 วง มีขนาดตามที่ได้กำหนด

2.11 การสร้างรูปทรงกระบอกที่มีลักษณะเป็นวงรี (Elliptical Cylinder)

การสร้างรูปทรงกระบอกที่มีลักษณะเป็นวงรี มี 2 วิธี เช่นเดียวกันกับการสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยมแต่เลือกคำสั่งจาก main menu ดังนี้

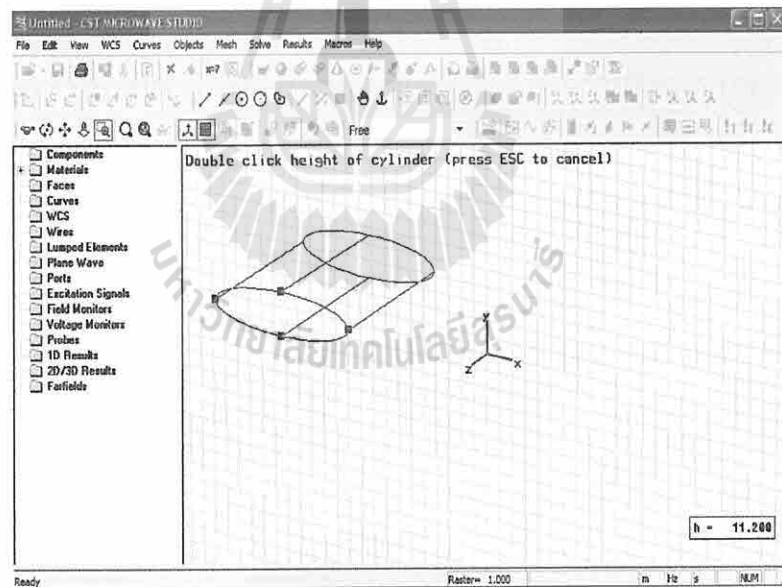
 **Objects** → **Basic Shapes** → **Elliptical Cylinder**

1. ดับเบิลคลิกบนพื้นที่ว่างหนึ่งครั้งแล้วลากเมาส์ออกไปจะได้เส้นตรงจากนั้นดับเบิลคลิกอีกครั้งจะได้รูปวงรี ดังรูปที่ 2.24



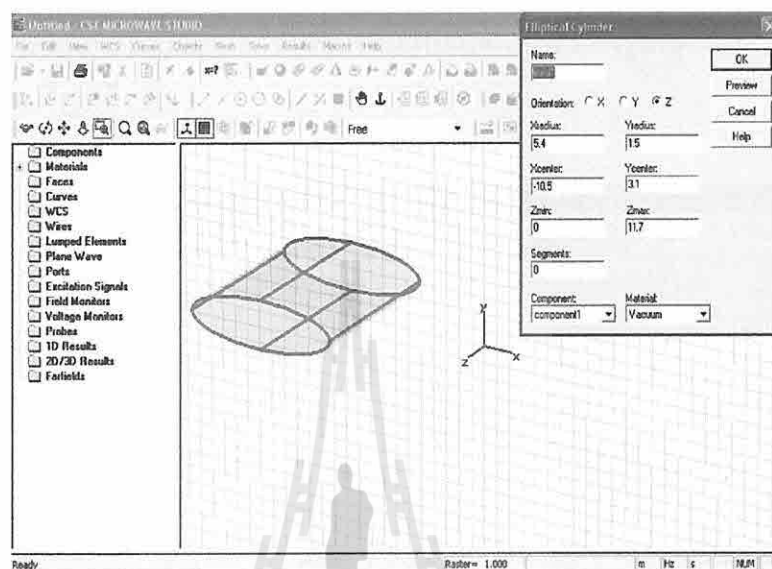
รูปที่ 2.24 วงรีที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ของการสร้างรูปทรงกระบอกที่มีลักษณะเป็นวงรี

ดับเบิลคลิกอีกครั้งจะได้รูปทรงกระบอกที่มีหน้าตัดเป็นวงรี ดังรูปที่ 2.25



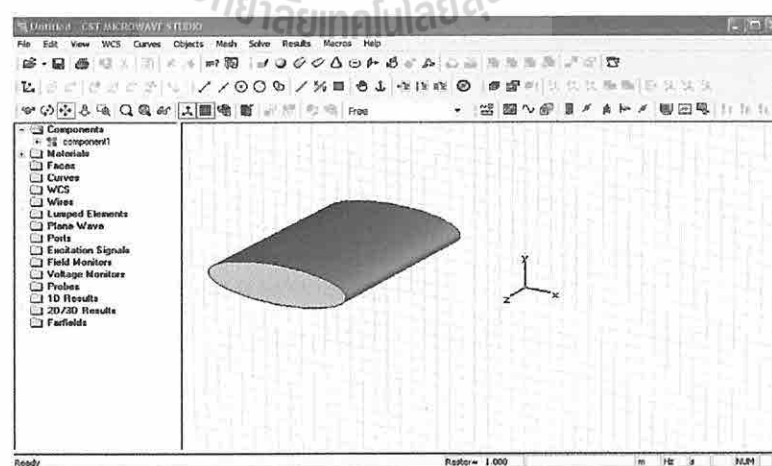
รูปที่ 2.25 ทรงกระบอกที่มีหน้าตัดเป็นวงรีที่ได้จากขั้นตอนที่ 2

3. คับเบิลคลิกหนึ่งครั้งจะมีหน้าต่าง Elliptical Cylinder ขึ้นมาเพื่อให้กำหนดค่าต่างๆ ดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 ทรงกระบอกที่มีหน้าตัดเป็นวงรีและหน้าต่างในการกำหนดค่าพารามิเตอร์

4. กำหนดค่าต่างๆ ให้ครบแล้วกดปุ่ม OK ก็จะได้รูปทรงกระบอกที่มีลักษณะเป็นวงรี ดังรูปที่ 2.27



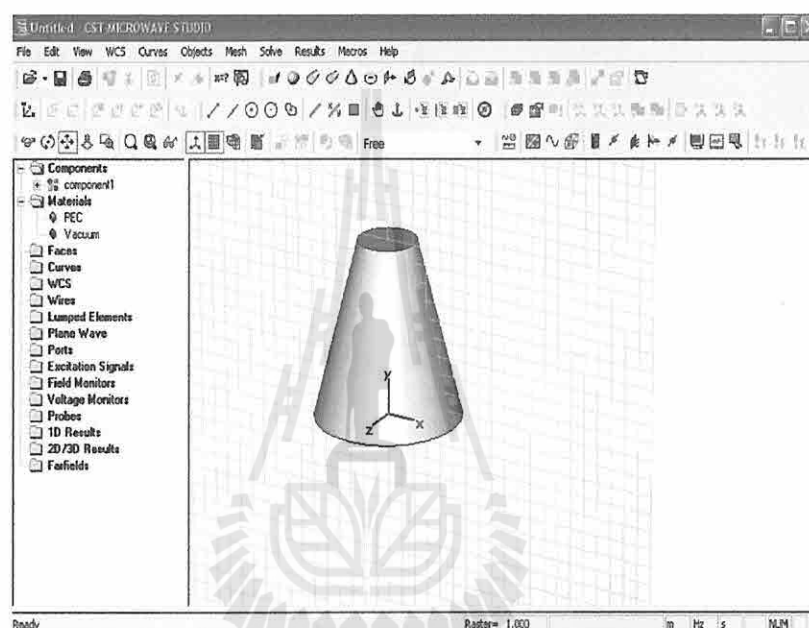
รูปที่ 2.27 ทรงกระบอกที่มีลักษณะเป็นวงรี

2.12 การสร้างรูปทรงกรวย (Cone)

การสร้างรูปทรงกรวย มี 2 วิธี เช่นเดียวกันกับการสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยมและรูปอื่นๆ แต่เลือกคำสั่งจาก main menu ดังนี้

 **Objects** ⇨ **Basic Shapes** ⇨ **Cone**

ส่วนขั้นตอนการทำและการกำหนดค่านั้นเหมือนกับการสร้างรูปที่ผ่านมา จะได้รูปออกมาเป็นรูปทรงกรวย ดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 รูปทรงกรวยที่มีขนาดตามที่ได้กำหนด

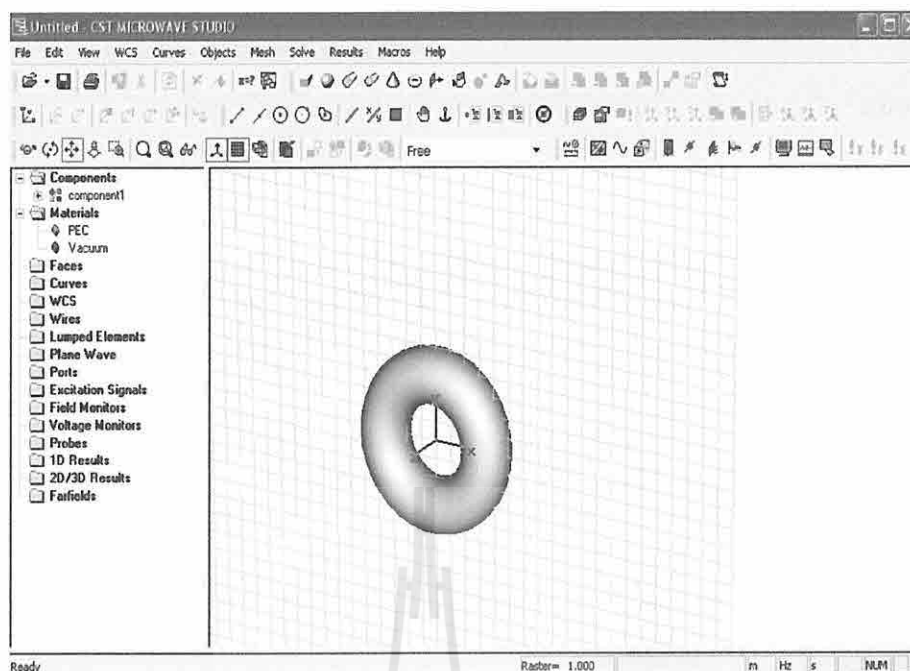
2.13 การสร้างรูปทรงขนมโดนัท (Torus)

การสร้างรูปทรงขนมโดนัทมี 2 วิธี เช่นเดียวกันกับการสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยมและรูปอื่นๆ แต่เลือกคำสั่งจาก main menu ดังนี้

 **Objects** ⇨ **Basic Shapes** ⇨ **Torus**

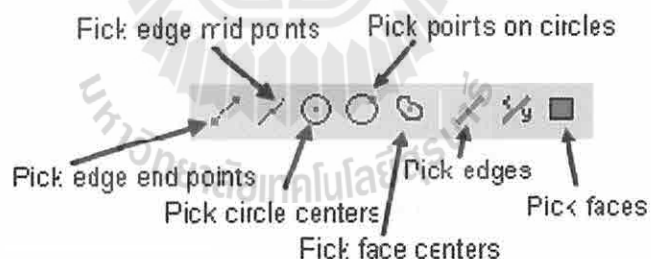
ส่วนขั้นตอนการทำและการกำหนดค่านั้นเหมือนที่ผ่านมา จะได้รูปทรงขนมโดนัท ดังรูปที่

2.29



รูปที่ 2.29 ทรงขมมโคณฑที่มีขนาดตามที่ได้กำหนด

2.14 เครื่องมือที่ใช้ในการเลือกขอบหรือผิววัสดุ (pick tool)



รูปที่ 2.30 แถบเครื่องมือที่ใช้ในการเลือกขอบหรือผิววัสดุ

2.15 การลบคมและการเชื่อมขอบ (Blend and Chamfer Edges)

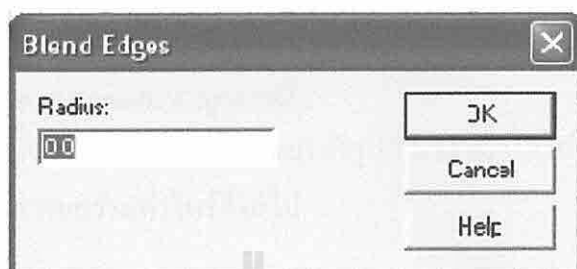
2.15.1 การลบคม (Blend Edge)

ขั้นตอนการทำมีดังนี้

1. เลือกคำสั่ง Pick edges จาก Pick tool
2. ใช้เมาส์ไปดับเบิ้ลคลิกที่ขอบวัสดุที่จะทำการลบคม
3. เลือกใช้คำสั่งจาก main menu ดังนี้

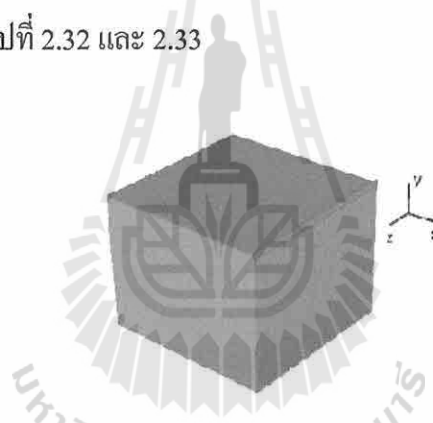
Objects ⇒ **Blend Edges** ()

4. จากนั้นจะมีหน้าต่างเล็กๆ ขึ้นมาเพื่อให้ใส่ค่ารัศมีที่จะลบคมเป็นรัศมีเท่าไรก็ได้ไป ดังรูปที่ 2.31

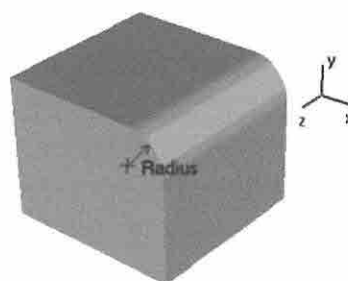


รูปที่ 2.31 หน้าต่างในการกำหนดค่ารัศมีของการลบคม

จะได้ออกมาดังรูปที่ 2.32 และ 2.33



รูปที่ 2.32 การเลือกขอบวัตถุที่จะทำการลบคม



รูปที่ 2.33 วัตถุที่ถูกลบคมแล้ว

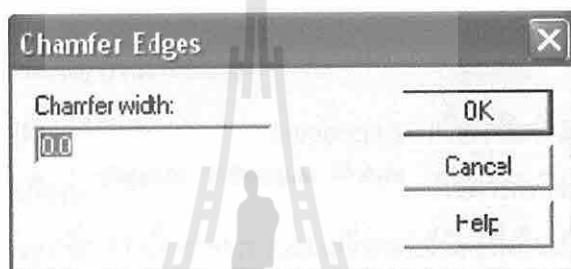
2.15.2 การเฉือนคม (Chamfer Edges)

ขั้นตอนการทำได้ดังนี้

1. เลือกคำสั่ง Chamfer Edges จาก Pick tool
2. ใช้เมาส์ไปดับเบิลคลิกที่ขอบวัตถุที่จะทำการเฉือนคม
3. เลือกใช้คำสั่งจาก main menu ดังนี้

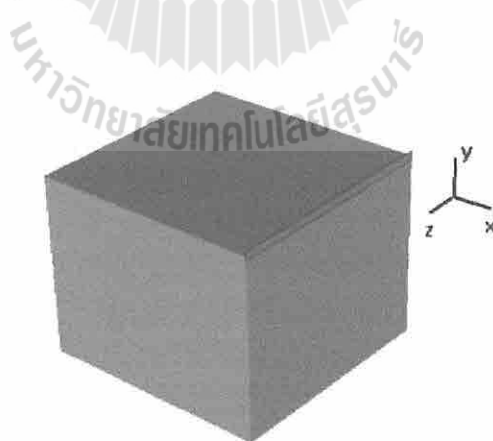
Objects → **Chamfer Edges** ().

4. จากนั้นจะมีหน้าต่างเล็กๆ ขึ้นมา ดังรูปที่ 2.34 เพื่อให้ใส่ค่ารัศมีที่จะเฉือนคม เป็นความกว้างเท่าไรก็ได้

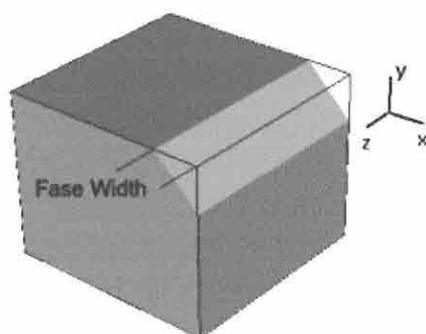


รูปที่ 2.34 หน้าต่างการกำหนดค่าของการเฉือนคม

จะได้ออกมาดังรูปที่ 2.35 และ 2.36



รูปที่ 2.35 การเลือกขอบวัตถุที่จะทำการเฉือนคม

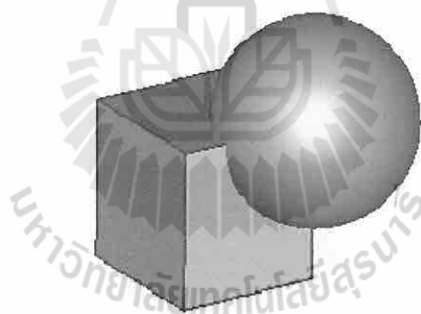


รูปที่ 2.36 วัตถุที่ถูกเชื่อมคมแล้ว

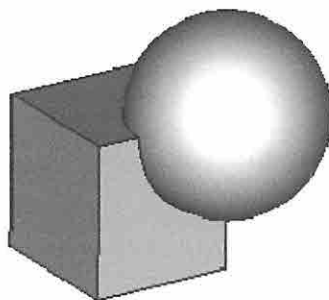
2.16 วิธีการทำงานของบูลีน (Boolean Operations)

2.16.1 วิธีการรวมวัตถุ (Add Mode)

เลือกวัตถุที่จะทำการ Add จาก component จากนั้น คลิกที่ *Boolean Add* (☒) ที่อยู่บน Objects toolbar แล้วเลือก *Objects* ⇨ *Boolean* ⇨ *Add* เลือกวัตถุที่จะทำการ Add เข้ากับวัตถุชั้นนี้ เช่น มีวัตถุ 2 ชิ้น ดังรูปที่ 2.37 เมื่อทำการ Add เสร็จจะได้วัตถุที่เป็นเนื้อเดียวกัน ดังรูปที่ 2.38



รูปที่ 2.37 วัตถุที่ยังไม่ทำการ Add



รูปที่ 2.38 วัตถุที่ Add แล้ว

2.16.2 วิธีการลบวัตถุออก (Subtract Mode)

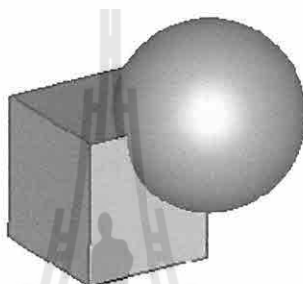
ทำเช่นเดียวกันกับการรวมวัตถุ (Add Mode) แต่เลือกคลิกรูปที่อยู่บน Objects toolbar ดังนี้

Boolean Subtract (☒)

หรือคลิกที่ main menu แล้วเลือกดังนี้

Objects ⇨ **Boolean** ⇨ **Subtract**

จะได้วัตถุที่เป็น ดังรูปที่ 2.39 และ 2.40



รูปที่ 2.39 วัตถุที่ยังไม่ทำการ Subtract



รูปที่ 2.40 วัตถุที่ทำการ Subtract แล้ว

2.17 วิธีการตัดเอาส่วนที่อยู่ร่วมกันของวัตถุ (Intersect Mode)

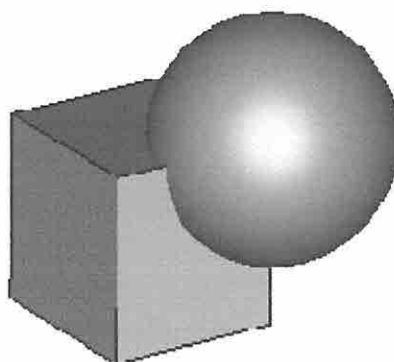
ทำเช่นเดียวกันกับการรวมวัตถุ (Add Mode) แต่เลือกคลิกรูปที่อยู่บน Objects toolbar ดังนี้

Boolean Intersect (☒)

หรือคลิกที่ main menu แล้วเลือกดังนี้

Objects ⇨ **Boolean** ⇨ **Intersect**

จะได้วัตถุที่เป็น ดังรูปที่ 2.41 และ รูปที่ 2.42



รูปที่ 2.41 วัตถุที่ยัง ไม่ทำ Intersect



รูปที่ 2.42 วัตถุที่ทำ Intersect แล้ว

2.18 วิธีการแทรกวัตถุ (Insert Mode)

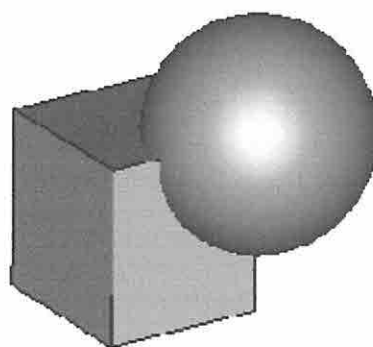
ทำเช่นเดียวกันกับการรวมวัตถุ (Add Mode) แต่เลือกคลิกรูปที่อยู่บน Objects toolbar ดังนี้

Boolean Insert (รูปที่ 2.43)

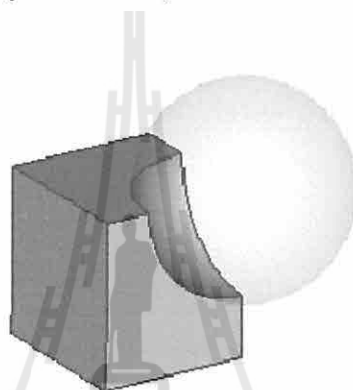
หรือ คลิกที่ main menu แล้วเลือกดังนี้

Objects ⇒ Boolean ⇒ Insert

จะได้วัตถุที่เป็น ดังรูปที่ 2.43 และ รูปที่ 2.44



รูปที่ 2.43 วัสดุที่ยังไม่ทำ Insert



รูปที่ 2.44 วัสดุที่ทำ Insert แล้ว

ในบทนี้ได้นำเสนอ วิธีการใช้โปรแกรม ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง วิธีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้กับแบบจำลอง และวิธีการทำงานของบูทีนในโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO จากนั้นจะเป็นการสร้างแบบจำลองของสายอากาศปรินท์ไดโพลที่มีการทำงานร่วมกับตัวสะท้อนคลื่นและตัวนำคลื่น จากนั้นทำการประมวลผลพร้อมกับการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO เพื่อให้เห็นถึงผลของแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในลักษณะต่างๆ ว่ามีการแผ่กระจายออกมามากน้อยเพียงใด ซึ่งจะได้นำเสนอไว้ในบทถัดไป

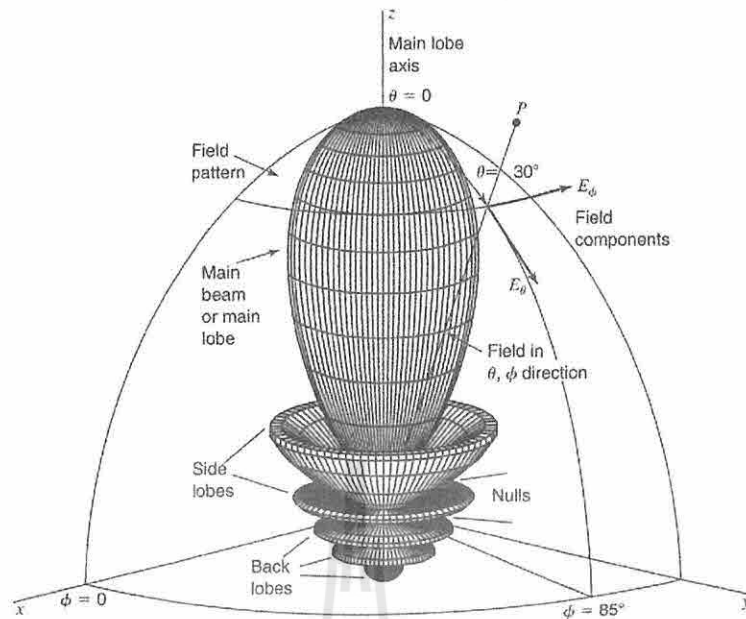
บทที่ 3

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

คำนิยามของสายอากาศนั้นมีหลายคำนิยามโดยจาก Webster's Dictionary นิยามว่า “อุปกรณ์ที่ทำจากโลหะเป็นแท่งหรือเส้นที่ใช้สำหรับแผ่กระจายคลื่น” และคำจำกัดความทั่วไปนิยามว่า “โครงสร้างรอยต่อระหว่างอากาศว่างและอุปกรณ์นำคลื่น” สายอากาศ มีด้วยกันหลายชนิดแบ่งตามลักษณะของสายอากาศ ในการศึกษาเรื่องสายอากาศ สิ่งสำคัญที่ต้องเข้าใจคือ พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศได้แก่ แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน (Radiation Pattern) บีมวิดท์ (Beamwidth) ความกว้างแถบความถี่ (Frequency Bandwidth) การโพลาไรซ์ของสายอากาศ (Antenna Polarization) การสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับ (Scattering parameter) บริเวณสนามระยะไกล (Farfield Region) ดังนี้

3.1 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน (Radiation Pattern)

แบบรูปการแผ่กระจายคลื่น จะเป็นตัวแสดงถึง การกระจายพลังงานออกไปตามฟังก์ชันของทิศทางของสัญญาณที่ส่งออกไปจากสายอากาศ ซึ่งแสดงถึงระดับความสัมพันธ์ของกำลังงานที่ส่งออกไปโดยเป็นฟังก์ชันของทิศทาง ถึงแม้ว่าเราจะใช้คำว่า “การแผ่กระจายคลื่น” กับแบบรูปที่ใช้กับสายอากาศส่ง แต่ความจริงมันจะเป็นแบบรูปเดียวกันกับแบบรูป “การรับคลื่น” ในกรณีที่เป็นสายอากาศรับด้วย ตามทฤษฎีบทภาวะย้อนกลับ (Reciprocity Theorem) ถึงแม้ว่า แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นที่สมบูรณ์ จะเป็นฟังก์ชันแบบ 3 มิติ แต่ทั่วไปจะใช้งานกันเพียง 2 มิติก็เพียงพอ ที่จะบอกคุณลักษณะของสายอากาศที่มีทิศทางได้ การวัดในแต่ละมิติจะวัดในแต่ละระนาบที่ตั้งฉากกันคือ ระนาบที่ขนานกับสนามไฟฟ้า เรียกว่า ระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) และระนาบที่ขนานกับสนามแม่เหล็ก เรียกว่า ระนาบสนามแม่เหล็ก (H-Plane) แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบหนึ่งๆ สามารถวัดได้ โดยการหมุนสายอากาศในระนาบนั้นๆ ขณะที่ระดับของกำลังงานที่รับได้จะเป็นฟังก์ชันของการหมุนของสายอากาศ และเพื่อให้ได้แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นที่ถูกต้อง จึงต้องจัดสภาพแวดล้อมโดยรอบสายอากาศที่จะทำการวัดไม่ให้มีวัตถุใดๆ ที่จะทำให้เกิดการสะท้อนของสัญญาณและส่งกลับไปยังสายอากาศที่ทำการวัดอยู่

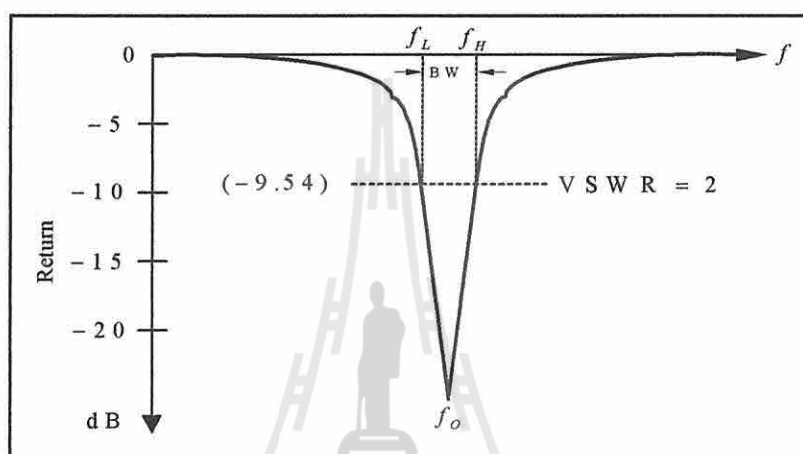


รูปที่ 3.1 แบบรูปการแผ่พลังงานในรูป 3 มิติ

- พูส์ัญญาณหลัก (Major Lobe หรือ Main Lobe) เป็นพูส์ัญญาณของการแผ่พลังงานซึ่งอยู่ในทิศทางที่การแผ่พลังงานแรงที่สุด
- พูส์ัญญาณข้างหรือไซด์พูส์ัญญาณ (Side Lobe) เป็นพูส์ัญญาณย่อยที่อยู่ติดกับพูส์ัญญาณหลัก และอยู่ในทิศทางบนครึ่งวงกลมเดียวกับพูส์ัญญาณหลัก
- พูส์ัญญาณย่อย (Major Lobe) ได้แก่ พูส์ัญญาณอื่น ๆ นอกเหนือไปจากพูส์ัญญาณหลัก
- พูส์ัญญาณหลัง (Back Lobe) เป็นพูส์ัญญาณย่อยที่อยู่ในครึ่งวงกลมตรงข้ามกับพูส์ัญญาณหลัก ปกติแล้ว พูส์ัญญาณย่อยจะเกิดการแผ่พลังงานในทิศทางที่ไม่ต้องการ ดังนั้นสำหรับสายอากาศที่จะต้องกำจัดพูส์ัญญาณเหล่านี้ให้น้อยที่สุด ระดับของพูส์ัญญาณย่อยแสดงเป็นอัตราส่วนของความหนาแน่นของพลังงานในพูส์ัญญาณที่กำลังคิดต่อความหนาแน่นของพลังงานในพูส์ัญญาณหลัก ซึ่งเรียกว่า อัตราส่วนไซด์พูส์ัญญาณ (Side Lobe Ratio) หรือระดับพลังงานของไซด์พูส์ัญญาณ (Side Lobe Level : SLL) ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปนั้น มักต้องการให้ระดับของไซด์พูส์ัญญาณน้อยกว่า -20 dB เมื่อเทียบกับพูส์ัญญาณหลัก

3.2 บีมวิดท์ (Beamwidth)

- ฮาร์ฟเพาเวอร์บีมวิดท์ (Half Power Beamwidth : HPBW) เป็นมุมที่วัดระหว่างจุดที่ความเข้มของการแผ่พลังงานในพหุสัญญาณหลัก มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของบีมของกำลัง (half power level or -3 dB beamwidth)
- เฟิร์สnullบีมวิดท์ (First null Beamwidth : FNBW) เป็นมุมที่เกิดจากการที่ค่าของกำลังในการแพร่เป็น “ศูนย์ครั้งแรก”



รูปที่ 3.3 แสดงความกว้างแถบความถี่

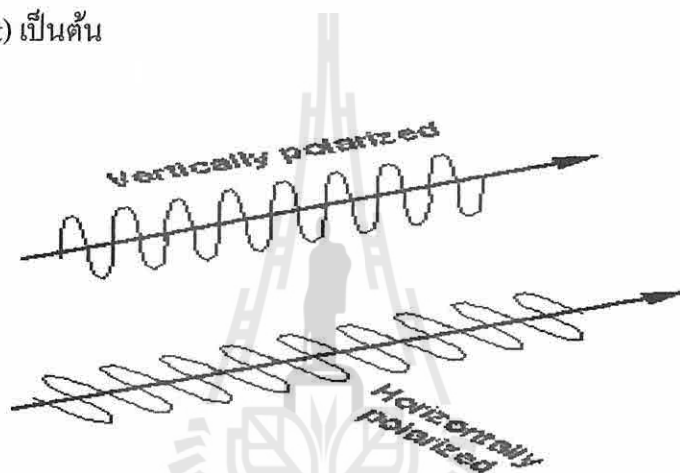
3.3 ความกว้างแถบความถี่ (Frequency Bandwidth : FBW)

ความกว้างแถบความถี่ (Frequency Bandwidth : FBW) ของสายอากาศ คือ ย่านหรือช่วงความถี่ของคลื่นที่สายอากาศสามารถทำงานได้โดยที่ไม่สูญเสียคุณลักษณะที่กำหนดไว้ แบนด์วิดท์ของสายอากาศ จะถูกกำหนดอย่างกว้างขวางโดยย่านของความถี่ ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสายอากาศนั้นๆ โดยทั่วไปแบนด์วิดท์ จะเป็นอัตราส่วนระหว่างความถี่ด้านสูงกับความถี่ด้านต่ำหรือเปอร์เซ็นต์ของความถี่กลาง (center frequency)

3.4 การโพลาไรซ์ของสายอากาศ (Antenna Polarization)

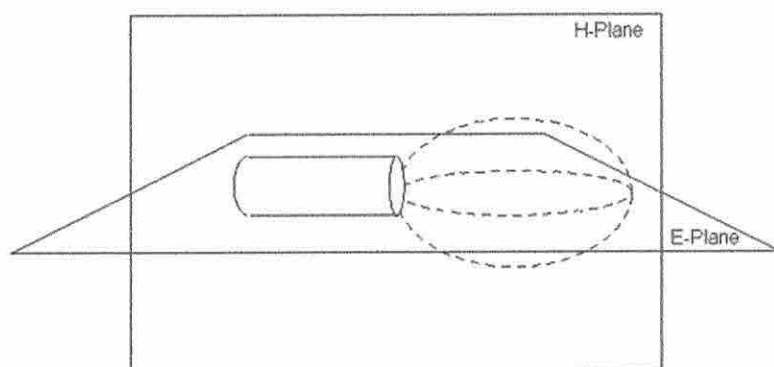
การโพลาไรซ์ของสายอากาศ จะอธิบายทิศทางของสนามไฟฟ้าของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในอากาศซึ่งถูกส่งออกไป โดยตัวสายอากาศในสนามระยะไกล ใช้ในการอธิบายทิศทางซึ่งมีความเข้มของสนามสูงสุด สายอากาศส่วนใหญ่จะมีโพลาไรซ์เป็นแบบเชิงเส้น (Linear Polarization) นั่นคือ

ในหนึ่งรอบ (Cycle) การขจัดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง ในอากาศว่าง สายอากาศดังกล่าวจะถูกแบ่งออกเป็นโพลาไรซ์แนวตั้ง (Vertical Polarization) และการโพลาไรซ์แนวนอน (Horizontal Polarization) บ่อยครั้งที่การโพลาไรซ์ของสายอากาศ จะอ้างอิงจากรูปทรงของตัวมันเอง เช่น ในกรณีของสายอากาศแบบเส้นลวด ซึ่งอาจจะประกอบด้วยองค์ประกอบเพียงตัวเดียวหรือหลายตัววางขนานกัน (เช่นสายอากาศไดโพลและยาเกิ) เราสามารถที่จะสมมุติให้สนามไฟฟ้าซึ่งเป็นโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น ให้ขนานไปกับองค์ประกอบของตัวสายอากาศ ซึ่งสายอากาศบางชนิด มีโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นเหมือนกัน แต่ไม่สามารถจะใช้รูปทรงของมันมาทำนายถึงการโพลาไรซ์ของมันได้ ได้แก่ สายอากาศปากแตร (Horn) แบบบ่วง (Loop) และแบบร่อง (Slit) เป็นต้น

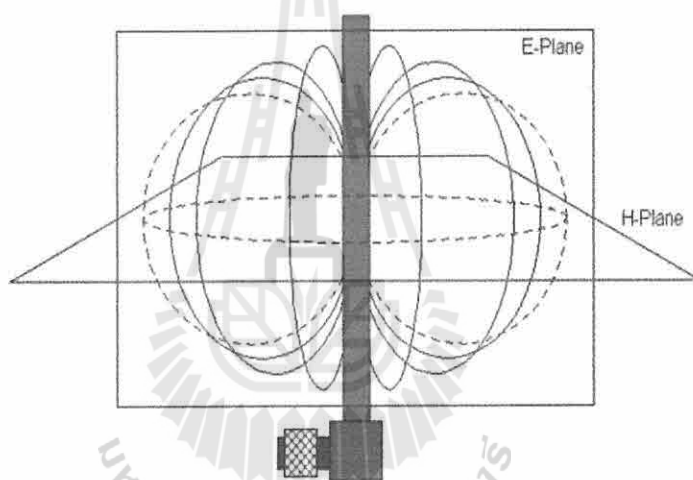


รูปที่ 3.4 แสดงการโพลาไรซ์แนวตั้งและแนวนอน

เพื่อให้การรับสัญญาณทำได้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ สิ่งสำคัญก็คือ สายอากาศที่ทำหน้าที่รับสัญญาณ จะต้องมีการโพลาไรซ์แบบเดียวกันกับสัญญาณที่ส่งมา และเมื่อเกิดการสูญเสียสัญญาณอันเนื่องมาจากการจัดวางการโพลาไรซ์ไม่ถูกต้อง เช่น สัญญาณที่รับได้เป็นของการโพลาไรซ์ทางแนวตั้ง แต่สายอากาศที่ใช้มีการจัดการโพลาไรซ์ทางแนวนอน เราจะเรียกว่า การแยกการโพลาไรซ์ไขว้ (Cross-Polarization Isolation)



รูปที่ 3.5 แสดงการโพลาไรซ์ของสายอากาศยาภิ-บูดะ

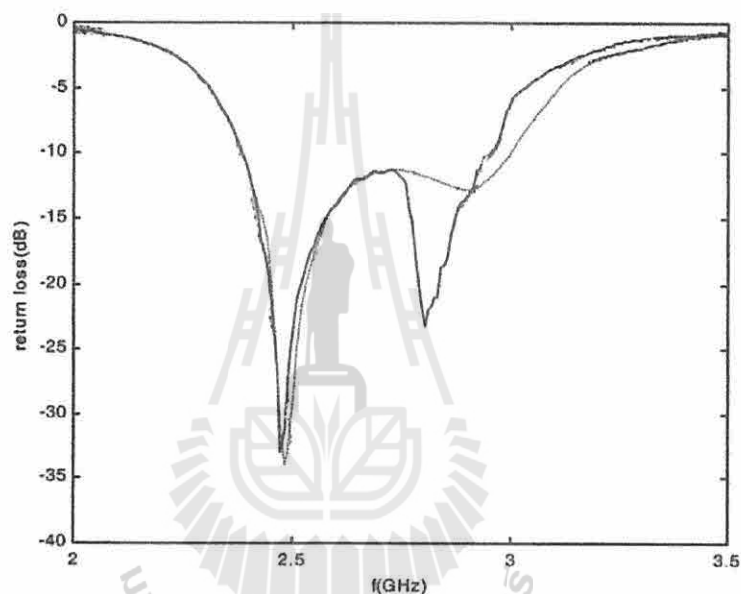


รูปที่ 3.6 แสดงการ โพลาไรซ์ของสายอากาศไดโพล

3.5 พารามิเตอร์ S

พารามิเตอร์ S (Scattering parameters) คือ การสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับ (return loss) โดยพารามิเตอร์ที่เกิดขึ้นมี (S11), (S12), (S21) และ (S22)

ในโครงการนี้ จะใช้ค่าของ S11 เพื่อตรวจสอบว่า สายอากาศสามารถทำงานที่ความถี่นั้นๆ ได้ เนื่องจาก S11 คือ ค่าการสูญเสียย้อนกลับ หากค่า S11 มีค่ามากจะทำให้สายอากาศนั้นไม่สามารถป้อนอินพุตเข้าสู่สายอากาศได้ แรงดันที่ป้อนเข้าไปจะเกิดการสะท้อนกลับหมด ค่า S11 ควรมีค่าต่ำกว่า -10 dB เป็นต้นไป ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับในสายอากาศทั่วไป

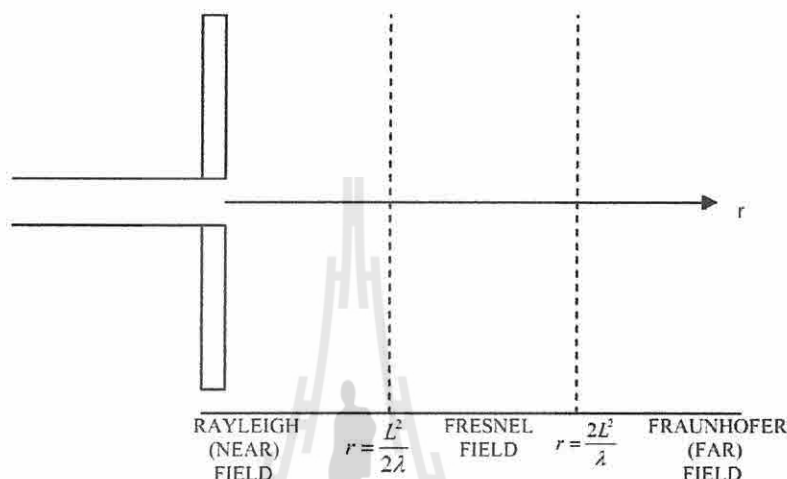


รูปที่ 3.7 แสดงค่าการสูญเสียย้อนกลับ ที่ความถี่ประมาณ 2.5 GHz

รูปข้างต้น แสดงให้เห็นว่า สายอากาศสามารถทำงานได้ที่ย่านความถี่ประมาณ 2.4 GHz ถึง 3GHz เนื่องจาก ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ย่านความถี่ 2.4 GHz – 3 GHz มีค่าต่ำกว่า -10 dB โดยเฉพาะที่ความถี่ประมาณ 2.5 GHz จะสามารถทำงานได้ดีที่สุด

3.6 สนามของสายอากาศ (Antenna Fields)

หลักการของสนามคือสิ่งสำคัญในการศึกษาสายอากาศซึ่ง แบ่งได้เป็น 3 บริเวณ (Regions) ได้แก่ สนามเรย์ลีหรือสนามระยะใกล้ (Rayleigh or Near Field) สนามเฟรสเนล (Fresnel Field) และสนามฟรอนโฮเฟอร์หรือสนามระยะไกล (Fraunhofer or Far Field) ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 บริเวณของสนามของสายอากาศ

- สนามระยะใกล้ (Near Field) : สนามแผ่กระจายระยะใกล้ (Radiating near-field) คือ บริเวณสนามของสายอากาศที่อยู่ระหว่าง บริเวณของสนามรีแอคทีฟระยะใกล้กับบริเวณสนามระยะไกล โดยมีสนามที่กระจายอยู่เป็นส่วนใหญ่และการกระจายของสนามตามมุมต่างๆนั้นแปรผันตามระยะทางจากสายอากาศ เมื่อสายอากาศมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น สนามในบริเวณนี้อาจไม่เกิดขึ้น

- สนามระยะใกล้เชิงรีแอคทีฟ (Reactive Near Field) : หมายถึง บริเวณสนามรีแอคทีฟระยะใกล้ เป็นสนามที่ล้อมรอบใกล้สายอากาศมากที่สุด เป็นจุดที่กระจายสัญญาณได้รอบทิศทาง ยกตัวอย่างเช่นเมื่อเรายื่นใกล้ลวดไฟฟ้าที่มีกำลังวัตต์มากๆ เราจะไม่สามารถแยกได้ว่าด้านไหนเป็นด้านหน้าลวดไฟฟ้าและตรงบริเวณนี้จะมีสนามชนิดรีแอคทีฟเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งบริเวณนี้จะมีระยะทางจากผิวของสายอากาศด้วย

- สนามระยะไกล (Far Field) : บริเวณสนามระยะไกล คือ บริเวณที่เราสนใจเพื่อทำการศึกษาเรื่องของสายอากาศ เพราะเป็นบริเวณที่ใช้จัดวางสายอากาศเพื่อทำการวัดแบบรูปการ

แผ่กระจายกำลังงาน หรือทำการวัดคุณลักษณะต่างๆของสายอากาศ โดยระยะของสนามไกลของสายอากาศทุกชนิดจะถูกกำหนดโดย

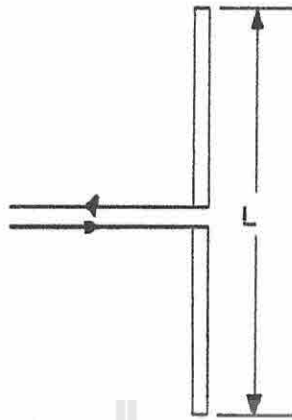
$$r \geq \frac{2L^2}{\lambda} \quad (3.1)$$

โดยที่ r เป็นระยะจากสายอากาศ L เป็นความยาวของสายอากาศ (หรือขนาดที่ใหญ่สุดของช่องเปิด) บริเวณนี้คือ บริเวณที่เราสนใจเพื่อการศึกษาเรื่องของสายอากาศ เพราะจะเป็นบริเวณที่จัดวางสายอากาศเพื่อทำการวัด แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นหรือทำการวัดคุณลักษณะต่างๆของสายอากาศ และถ้าความยาวของสายอากาศสั้น และสายอากาศรับมีขนาดแตกต่างกัน จะต้องแทนค่า L ด้วยขนาดของสายอากาศที่มีความยาวสูงสุด เพื่อจะได้แน่ใจว่าเป็นบริเวณที่ถูกต้อง

หมายเหตุ สายอากาศไม่ควรจะวางในบริเวณที่เป็น Rayleigh เมื่อกระทำการวัดใดๆ แต่ในบางกรณีอาจจะยอมรับได้เมื่อวางสายอากาศในบริเวณที่เป็น Fresnel

3.7 สายอากาศไดโพลและไดโพลอุดมคติ

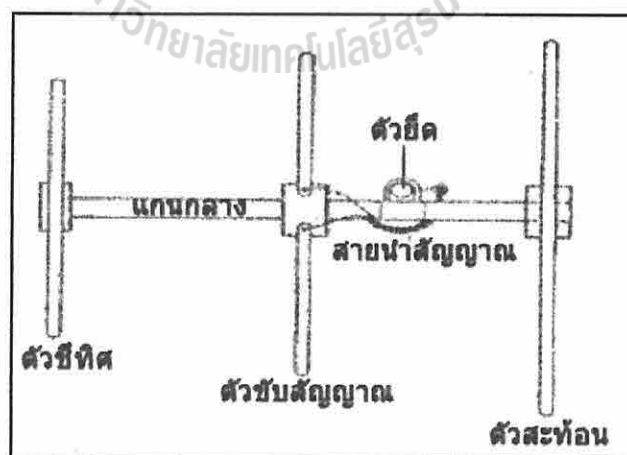
สายอากาศไดโพล (Dipole Antenna) เป็นสายอากาศอย่างง่าย ที่มีองค์ประกอบเป็นแท่งโลหะ 2 แท่ง วางเป็นแนวเส้นตรงที่มีความยาว L ดังรูปที่ 3.9 โดยจุดกึ่งกลางของตัวไดโพลจะถูกต่อเข้ากับเครื่องส่ง โดยใช้สายส่งเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อ เครื่องส่งจะจ่ายสัญญาณเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับไปยังสายอากาศ กระแสของสัญญาณนี้ จะไหลไปยังขั้วหนึ่งของไดโพล และไหลกลับมายังอีกขั้วหนึ่งของไดโพล ดังแสดงใน รูปที่ 3.9 ซึ่งมีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางของกระแสที่ส่งไปยังขั้วแรกของไดโพล การกระจายของกระแส (Current Distribution) จะแสดงให้เห็นขนาด (Magnitude) ของสัญญาณกระแสสลับที่เกิดขึ้น ตลอดความยาวของสายอากาศไดโพล จะมีค่าไม่เท่ากัน โดยจะเป็นศูนย์ที่ปลายทั้งสอง แต่จะมีค่าสูงสุดที่จุดกึ่งกลางหรือที่จุดอื่นๆ บนตัวไดโพล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความยาวของไดโพลและความถี่ของสัญญาณที่มาจากเครื่องส่ง



รูปที่ 3.9 สายอากาศไดโพล

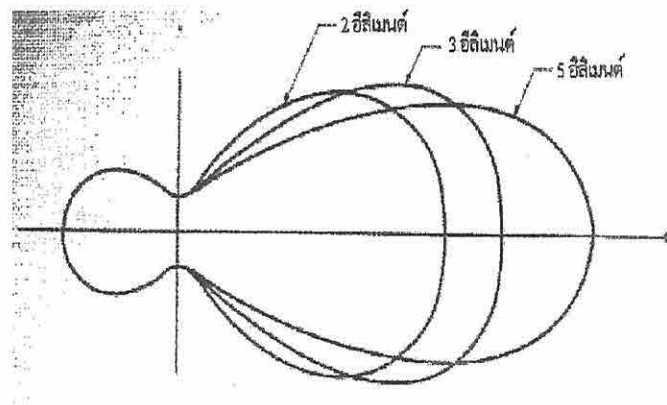
ไดโพลอุดมคติ (Ideal Dipole) เป็นสายอากาศสมมติซึ่งใช้ประโยชน์ในการศึกษาสายอากาศชนิดอื่นๆ สามารถพิจารณาให้เป็นองค์ประกอบเล็กๆ ของความยาวไดโพล (Infinitesimal Dipole) ที่มีการแจกแจงกระแส มีลักษณะที่เท่ากันตลอด คุณสมบัติทางทฤษฎีของไดโพลอุดมคติจะประมาณให้มีค่าทางไฟฟ้าเท่ากับ สายอากาศไดโพลที่มีขนาดเล็กๆ

3.8 สายอากาศยาگی-ยูดะ



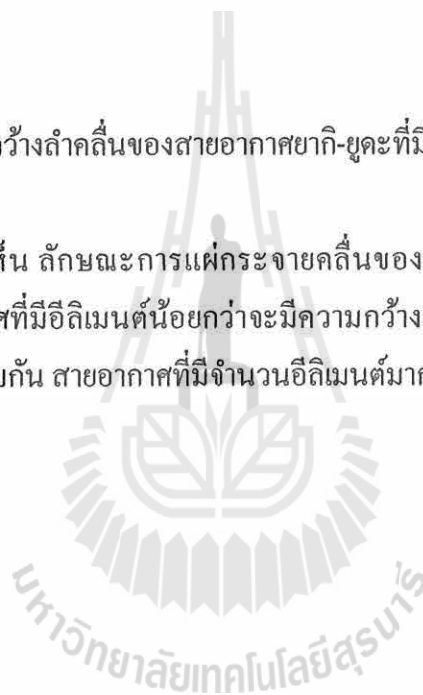
รูปที่ 3.10 สายอากาศยาگی-ยูดะ ชนิด 3 อีลิเมนต์

สายอากาศยาภิ-ยูดะ เป็นสายอากาศที่นิยมใช้กันมาก ซึ่งประกอบด้วย ตัวขับสัญญาณ (Driven Element) อีลิเมนต์ชี้ทิศ (Director Element) และอีลิเมนต์สะท้อนกลับ (Reflector Element) ตัวขับสัญญาณ เป็นส่วนที่ปล่อยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field) ส่วนอีลิเมนต์อื่นๆ (parasitic) จะทำหน้าที่ เป็นตัวที่รับเอาพลังงานจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมาจากตัวขับ แล้วแผ่กระจายคลื่นออกมา โดยคลื่นที่แผ่ออกมาเมื่อรวมกันทุกอีลิเมนต์ทำให้ แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน (Radiation Pattern) ไปในทิศทางเดียวกัน ทำให้มีแบบรูปการกระจายคลื่นแบบมีทิศทาง (Directional Pattern) เราจะรู้ได้อย่างไรว่า สายอากาศเป็นแบบมีทิศทาง ถ้าเป็นสายอากาศแบบมีทิศทางแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานจะมีทิศทางที่มุ่งเน้นทิศเดียวกัน โดยไม่มีการมุ่งเน้นไปในทิศทางอื่น นอกจากอีลิเมนต์ขับแล้ว สายอากาศยาภิ-ยูดะ ยังมีอีลิเมนต์สะท้อนกลับ (Reflector Element) และอีลิเมนต์ชี้ทิศ (Director Element) โดยอีลิเมนต์สะท้อนกลับ จะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ กีดขวางหรือสะท้อนการแผ่กระจายคลื่นที่พุ่งไปด้านหลังให้พุ่งกลับไปด้านหน้าแทน โดยจะมีขนาดยาวกว่าตัวขับสัญญาณ ประมาณ 5% ส่วนตัวชี้ทิศจะอยู่ด้านหน้าตัวขับสัญญาณ จะมีการวางขนาดกันกับอีลิเมนต์อื่นๆ และมีขนาดสั้นกว่าตัวขับสัญญาณประมาณ 5% ในส่วนของอีลิเมนต์ชี้ทิศนี้จะช่วยในการรวมโฟกัสของการแผ่กระจายคลื่นเพื่อให้พุ่งไปด้านหน้า อย่างไรก็ตามทั้งตัวสะท้อนกลับ และตัวชี้ทิศ สามารถลดการแผ่กระจายคลื่นไปด้านหลัง (Front-to-Back Ratio) ได้ประมาณ 25 ถึง 30 dB และเมื่อทำการเพิ่มจำนวนชี้ทิศ ก็จะสามารถทำให้อัตราขยายไปทางด้านหน้าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่า อัตราขยายของสายอากาศ ขึ้นอยู่กับตัวชี้ทิศและตัวสะท้อนกลับ หรือจำนวนอีลิเมนต์ของสายอากาศ ยิ่งจำนวนอีลิเมนต์มากขึ้นเท่าใด อัตราขยายก็ยิ่งมากขึ้นเท่านั้น ซึ่งก็เป็นไปตาม หลักการของสายอากาศยาภิ-ยูดะ แต่ในทางตรงกันข้ามยังมีอัตราขยายมากขึ้นเท่าใด ความกว้างลำคลื่นก็จะยิ่งแคบลงเรื่อยๆ ซึ่งจะแปรผกผันกับอัตราขยาย ลักษณะจะเป็น ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ความกว้างลำคลื่นของสายอากาศยาคิ-ยูตะที่มีจำนวนอิลิเมนต์ต่างกัน

จากรูปแสดงให้เห็น ลักษณะการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศยาคิ-ยูตะ ที่มีจำนวนอิลิเมนต์ต่างกัน สายอากาศที่มีอิลิเมนต์น้อยกว่าจะมีความกว้างลำคลื่นที่กว้างกว่าสายอากาศที่มีอิลิเมนต์มาก แต่ในทางกลับกัน สายอากาศที่มีจำนวนอิลิเมนต์มากกว่าจะมีอัตราขยายที่มากกว่า



บทที่ 4

การออกแบบสายอากาศปรีนท์ไดโพลร่วมกับตัวสะท้อนคลื่นและตัวนำคลื่น

จากบทที่ผ่านมา ได้ศึกษาลักษณะต่างๆของสายอากาศยาگی-ยูดะ ในบทนี้จะทำการออกแบบสายอากาศปรีนท์ไดโพลร่วมกับตัวสะท้อนคลื่นและตัวนำคลื่น ที่มีพื้นฐานจากสายอากาศยาگی-ยูดะ

ขั้นตอนการออกแบบมีดังนี้คือ

1. ทำการออกแบบสายอากาศปรีนท์ไดโพลที่ความถี่ 2.45 GHz
2. ทำการออกแบบสายอากาศปรีนท์ไดโพลร่วมกับตัวสะท้อนคลื่นที่ความถี่ 2.45 GHz
3. ทำการออกแบบสายอากาศปรีนท์ไดโพลร่วมกับตัวสะท้อนคลื่นและตัวนำคลื่นที่ความถี่ 2.45 GHz

4.1 ผลการคำนวณขนาดของสายอากาศปรีนท์ไดโพลที่ความถี่ 2.45 GHz

การออกแบบสายอากาศจะทำการออกแบบโดยใช้โปรแกรม CST Microwave Studio การออกแบบ ต้องคำนึงถึงความถี่ (Frequency) ที่ต้องการใช้งาน เพื่อคำนวณหาความยาวคลื่น ที่ใช้ในการกำหนดความยาวของสายอากาศปรีนท์ไดโพล (Driven Element) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (4.1)$$

โดยที่ λ = ความยาวคลื่น หน่วย เป็น เมตร (m)

v = ความเร็วแสง หน่วย เป็น เมตร/วินาที (3×10^8 เมตร/วินาที)

f = ความถี่ที่ใช้งาน หน่วยเป็น เฮิร์ต (Hz)

ความถี่ที่ใช้ในการออกแบบ คือ 2.45 GHz ตามมาตรฐานโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย IEEE 802.11b และ g ซึ่งทำงานในย่าน ISM เมื่อทำการคำนวณตามสมการที่ (3.1) จะได้ ความยาวคลื่น (λ) เท่ากับ 0.122 เมตร

ขนาดของไมโครสตริปสามารถหาได้จาก สมการที่ 3.2 ถึง 3.5

$$\frac{w}{d} = \frac{8e^A}{e^{2A}-2} \quad \text{เมื่อ } \frac{w}{d} > 2 \quad (4.2)$$

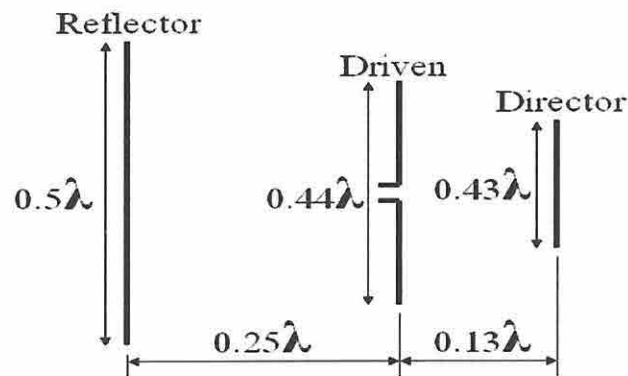
$$\frac{w}{d} = \frac{2}{\pi} \left[B - 1 \ln(2B - 1) \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left\{ \ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right\} \right] \quad \text{เมื่อ } \frac{w}{d} > 2 \quad (4.3)$$

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0.39 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right) \quad (4.4)$$

$$B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \quad (4.5)$$

จากสมการที่ (4.2) ถึง (4.5) เป็นการคำนวณหาขนาดของไมโครสตริป ซึ่งการคำนวณจะได้ ความกว้างของสายนำสัญญาณ (w) คือ 3 มิลลิเมตร ต่อไปจะทำการหาความยาวของสายนำสัญญาณ จากการศึกษาลักษณะพื้นฐานของสายอากาศปรินท์ไคโพล พบว่า ระยะระหว่างแขนของสายอากาศ และหัวคอนเนคเตอร์ คือ $\lambda_0/4$ ในสมการที่ (4.1) ได้คำนวณค่าความยาวคลื่น (λ) ได้ 0.122 เมตร เมื่อแทนค่าจะได้ ระยะระหว่างแขนของสายอากาศและหัวคอนเนคเตอร์ คือ 30 มิลลิเมตร

จากนั้นใช้หลักการพื้นฐานของสายอากาศยา-บูดะ มาทำการออกแบบ ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงหลักการการออกแบบของสายอากาศ ยากิ-ยูดา

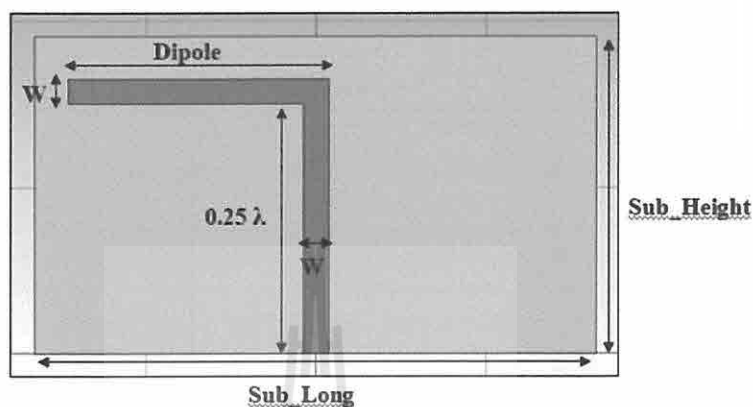
จากสมการที่ (4.1) ได้ทำการคำนวณหาความยาวคลื่น ได้เท่ากับ 0.122 เมตร เมื่อใช้หลักการพื้นฐานของสายอากาศยากิ-ยูดา มาทำการออกแบบ จะได้ขนาดความยาวของ ตัวขับสัญญาณ (Driven) ตัวสะท้อนคลื่น (Reflector) และตัวนำคลื่น (Director) ดังนี้

ความยาวของตัวขับสัญญาณ (Driven)	$= 0.44 \lambda$
	$= 53.87$ มิลลิเมตร
ความยาวของตัวสะท้อนคลื่น (Reflector)	$= 0.50 \lambda$
	$= 61.22$ มิลลิเมตร
ความยาวของตัวนำคลื่น (Director)	$= 0.43 \lambda$
	$= 53.87$ มิลลิเมตร
ระยะห่างจาก ตัวขับสัญญาณ ถึง ตัวสะท้อนคลื่น	$= 0.25 \lambda$
	$= 30.61$ มิลลิเมตร
ระยะห่างจาก ตัวขับสัญญาณ ถึง ตัวนำคลื่น	$= 0.13 \lambda$
	$= 15.92$ มิลลิเมตร
ระยะระหว่างแขนของสายอากาศ ถึง หัวคอนเนคเตอร์	$= \lambda_0/4$
	$= 30$ มิลลิเมตร

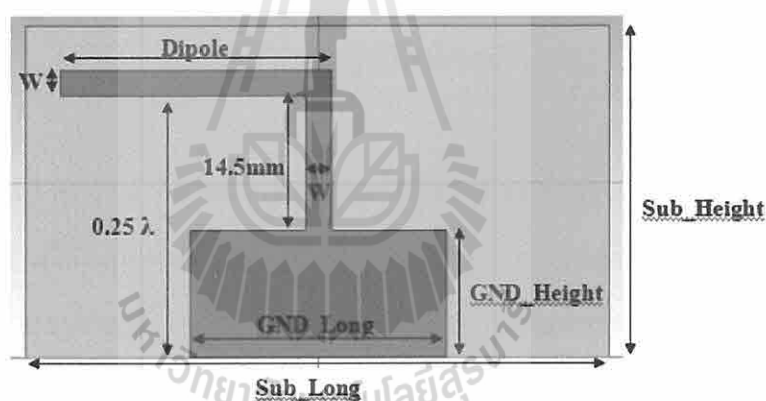
นำผลที่ได้จากการคำนวณ ไปออกแบบชิ้นงานใน โปรแกรม CST Microwave Studio

4.2 การจำลองแบบสายอากาศปรินท์ไดโพล ที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้โปรแกรม CST Microwave

Studio



(ก) ด้านหน้า

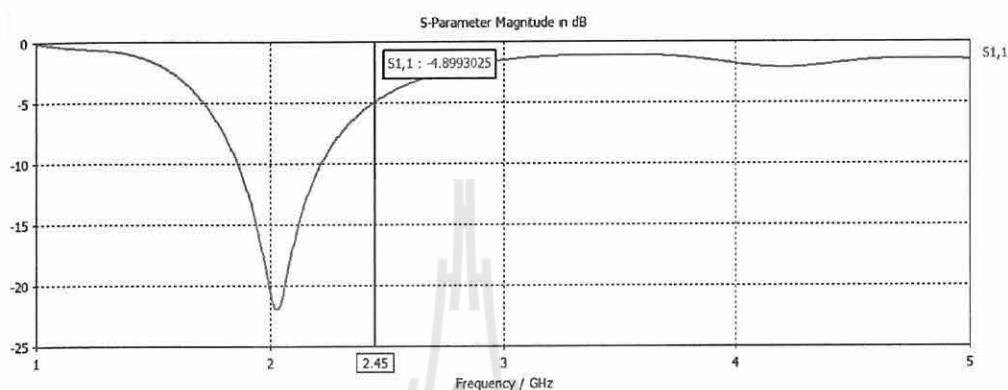


(ข) ด้านหลัง

รูปที่ 4.2 ชิ้นงานในโปรแกรม CST Microwave Studio

Dipole_Lenght	แทน	ความยาวของตัวขั้วสัญญาณ
W	แทน	ความกว้างของสายนำสัญญาณ
Sub Height	แทน	ความกว้างของแผ่นซับสเตรต
Sub Long	แทน	ความยาวของแผ่นซับสเตรต
GND_Long	แทน	ความยาวของกราวด์
GND Height	แทน	ความกว้างของกราวด์

เมื่อทำการจำลองออกแบบสายอากาศ ตามรูปที่ 4.2 (ก) และ 4.2 (ข) จะยังไม่ทราบค่าความกว้างและความสูงของกราวด์ จึงกำหนดให้ ความยาวของกราวด์ คือ 29 มิลลิเมตร และความกว้างของกราวด์ คือ 14.5 มิลลิเมตร จากนั้นทำการดูค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)

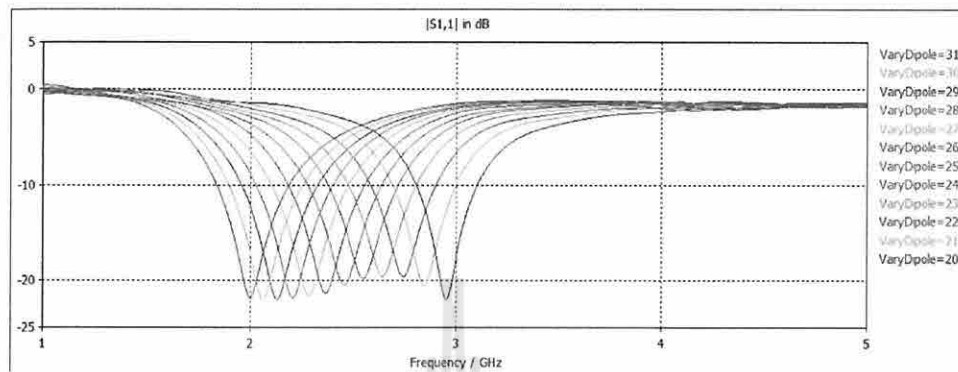


รูปที่ 4.3 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)

จากรูป 4.3 พบว่า ถ้าพิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ต่ำกว่า -10 dB สายอากาศปรินท์ไดโพลสามารถทำงานได้ตั้งแต่ช่วงความถี่ 1.86 ถึง 2.21 GHz และความถี่เรโซแนนซ์คือ 2.02 GHz ซึ่งเราต้องการให้สายอากาศ ปรินท์ไดโพลสามารถทำงานได้ ตั้งแต่ช่วง 2.401 ถึง 2.473 GHz ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 b/g และมีความถี่เรโซแนนซ์อยู่ที่ 2.45 GHz จึงต้องทำการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆเพื่อให้ได้ผลการจำลองแบบตามที่ต้องการ

4.3 การปรับพารามิเตอร์ของสายอากาศปรินท์ไดโพล

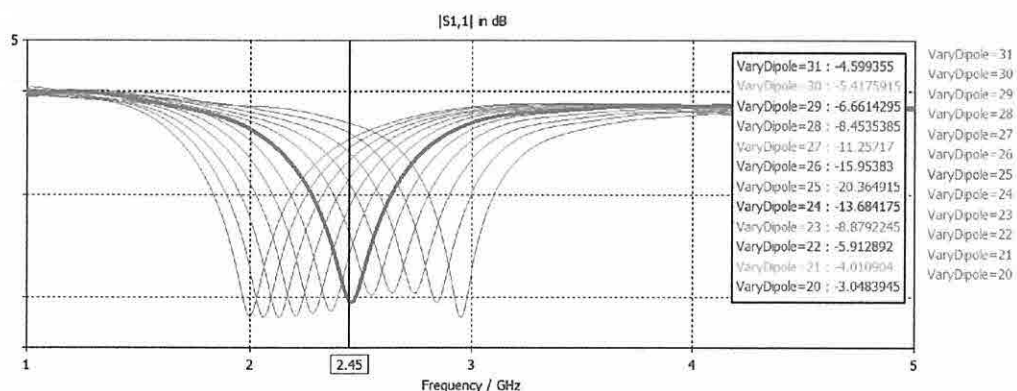
4.3.1 การปรับค่าความยาวของตัวขับสัญญาณ (Driven)



รูปที่ 4.4 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)

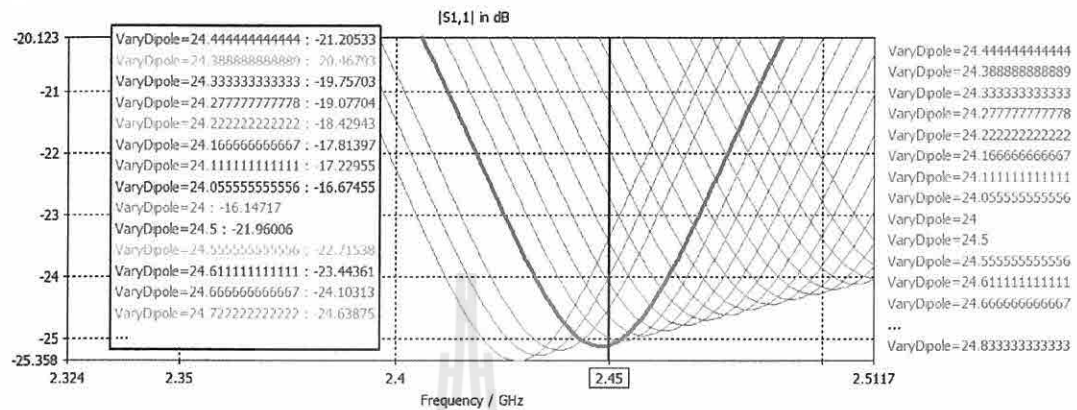
***VaryDipole แทน ความยาวตัวขับสัญญาณ

จากรูปที่ 4.4 ซึ่งเป็นการศึกษาความยาวของสายอากาศปรินท์ไดโพล ที่มีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์ โดยการปรับค่าความยาวตัวขับสัญญาณ ตั้งแต่ 20 ถึง 31 มิลลิเมตร ถ้าพิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ต่ำกว่า -10 dB จะเห็นว่าความยาวของตัวปรินท์ไดโพลนั้น มีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์อย่างมาก เนื่องจากกราฟมีการเลื่อนออกไปอย่างเห็นได้ชัดเจน โดยระยะที่ทำการปรับค่าแต่ละช่วงนั้นห่างกันเพียง 1 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.5 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)

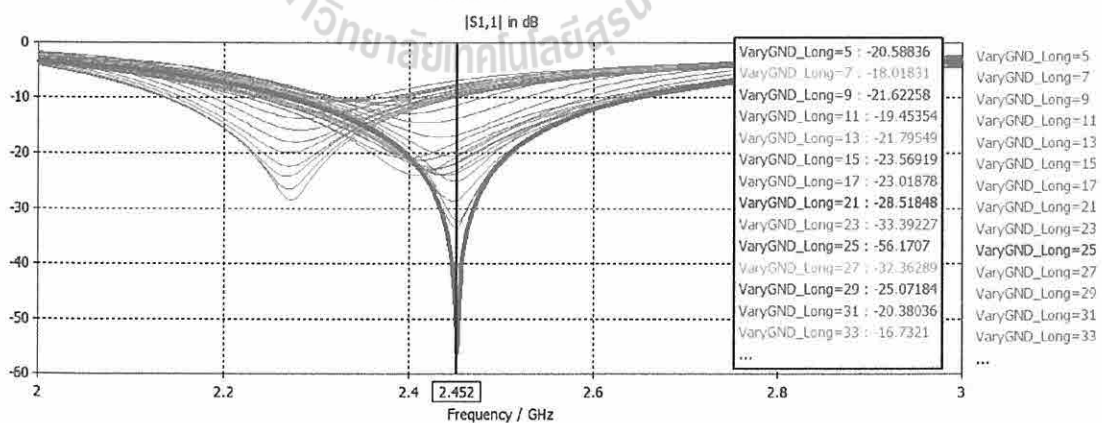
จากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่า ความถี่เรโซแนนซ์ที่ใกล้กับความถี่เรโซแนนซ์ที่เราต้องการ คือ 2.45 GHz โดย ความยาวของสายอากาศปรีนท์ไดโพลอยู่ที่ 25 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.6 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)

เมื่อทำการปรับค่าโดยละเอียดพบว่า ถ้าต้องการให้สายอากาศปรีนท์ไดโพลทำงานที่ความถี่ 2.45 GHz ต้องกำหนดให้สายอากาศปรีนท์ไดโพล มีความยาว 24.815 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.6

4.3.2 การปรับค่าความยาวของกราวด์

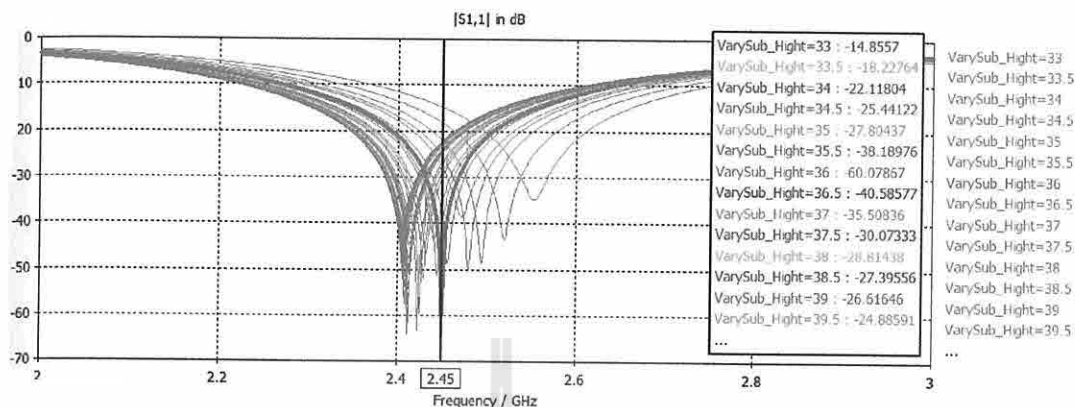


รูปที่ 4.7 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)

** VaryGND_Long แทน ค่าความยาวของกราวด์

*** ความยาวสายอากาศปรีนท์ไดโพล เท่ากับ 24.815 มิลลิเมตร

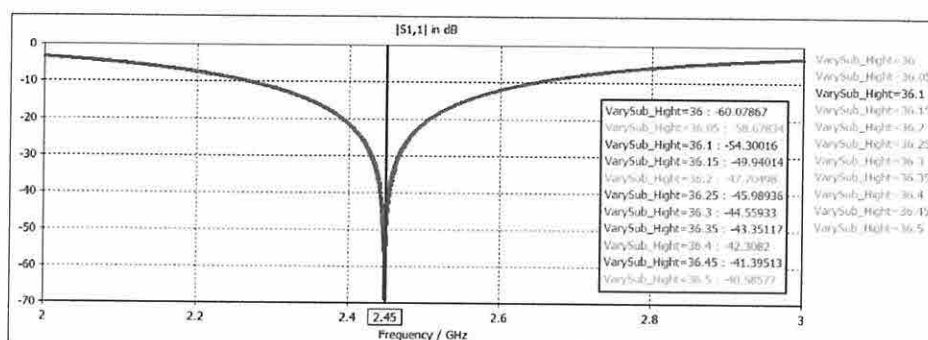
4.3.5 การปรับค่าความกว้างของแผ่นชั้นสเตรต



รูปที่ 4.10 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)

** VarySub_Hight	แทน	ค่าความยาวของแผ่นชั้นสเตรต
*** ความยาวสายอากาศปรีนไดโพล	เท่ากับ	24.815 มิลลิเมตร
*** ความยาวของกราวด์	เท่ากับ	25 มิลลิเมตร
*** ความกว้างของกราวด์	เท่ากับ	14.5 มิลลิเมตร
*** ความยาวของแผ่นชั้นสเตรต	เท่ากับ	64.5 มิลลิเมตร

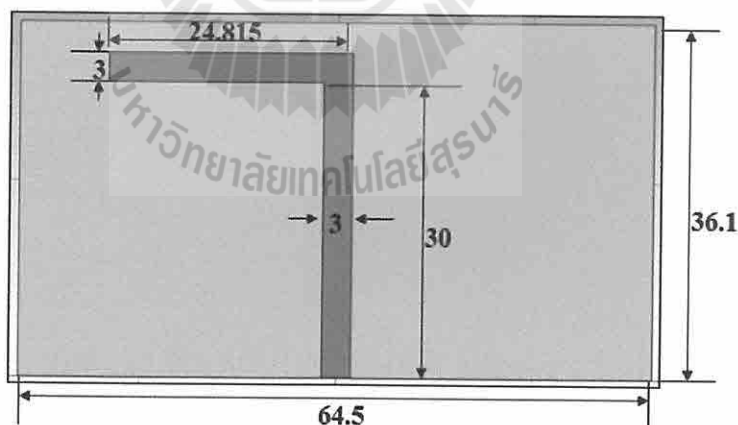
จากรูปที่ 4.10 เป็นการศึกษา ความกว้างของแผ่นชั้นสเตรตที่มีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์ โดยการปรับความกว้างของแผ่นชั้นสเตรต ตั้งแต่ 33 ถึง 63 มิลลิเมตร เมื่อพิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับ ที่ต่ำกว่า -10 dB จะเห็นได้ว่า ความกว้างของแผ่นชั้นสเตรต นั้นมีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์อย่างมาก และมีความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศปรีนไดโพลที่ดีที่สุดอยู่ที่ความถี่ 2.45 GHz ค่าการสูญเสียย้อนกลับ -60 dB จึงทำการกำหนดความกว้างของแผ่นชั้นสเตรต เท่ากับ 36 มิลลิเมตร



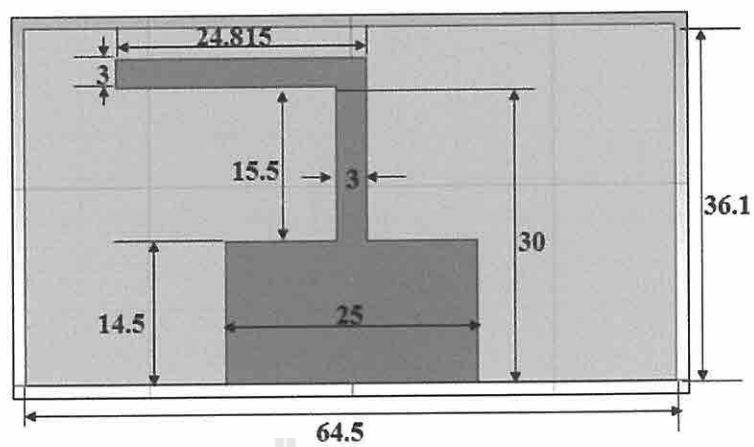
รูปที่ 4.11 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)

เมื่อทำการปรับค่าโดยละเอียดพบว่า ถ้าต้องการให้สายอากาศปรีนท์ไดโพลทำงานที่ความถี่ 2.45 GHz จะมีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -69 dB จึงกำหนดให้ ความกว้างของแผ่นชั้นสเตรตเท่ากับ 36.1 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.11

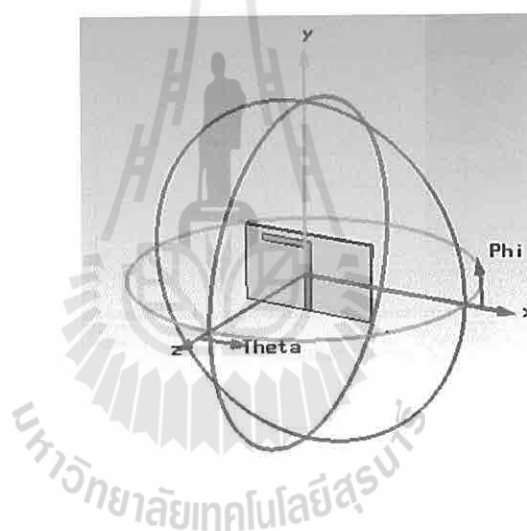
4.3.6 สรุปขนาดของสายอากาศปรีนท์ไดโพลที่ได้จากการจำลองแบบ



(ก) ด้านหน้า



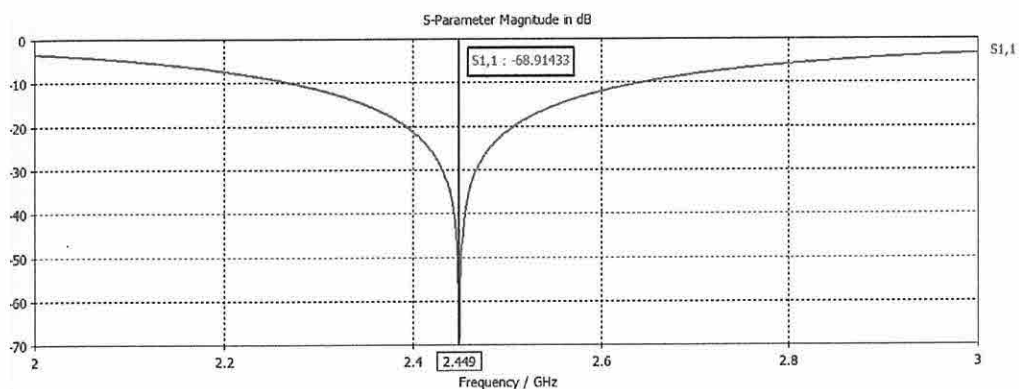
(จ) ด้านหลัง



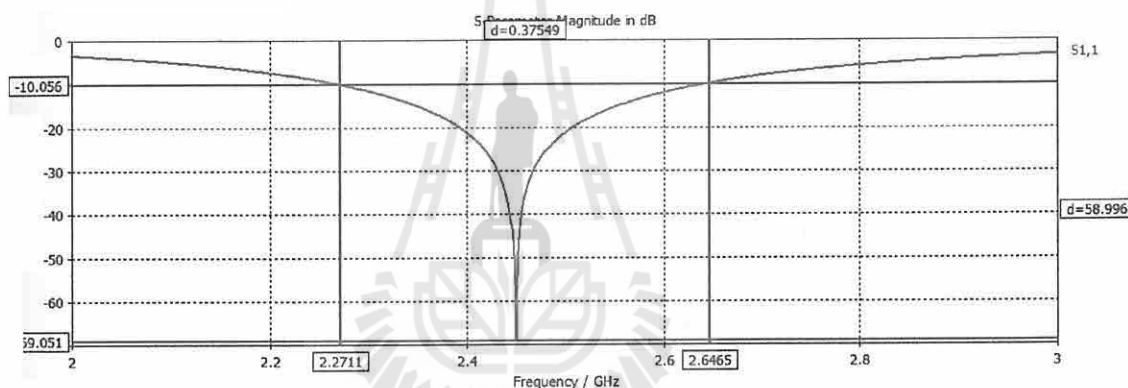
(ค) 3 มิติ

รูปที่ 4.12 ชิ้นงานในโปรแกรม CST Microwave Studio

จากนั้นทำการจำลองผล ได้ดังนี้

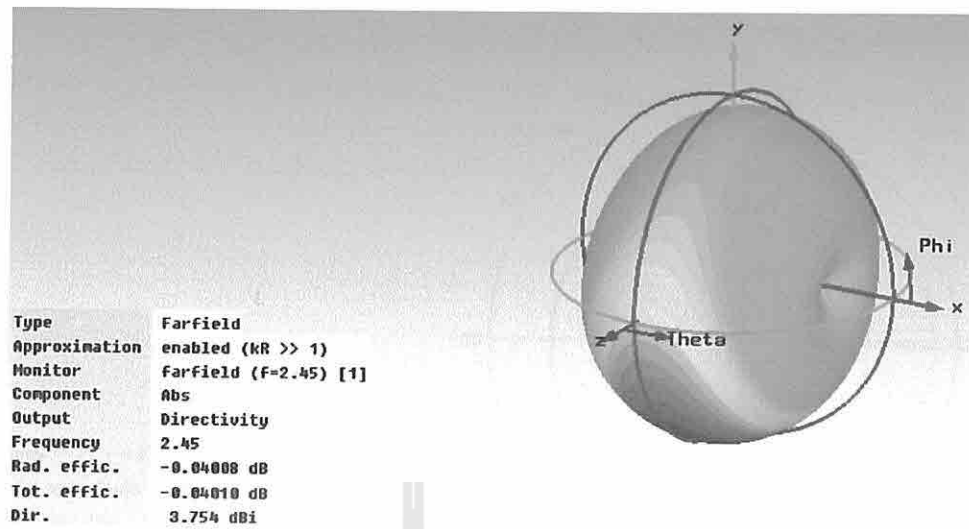


รูปที่ 4.13 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S_{11})

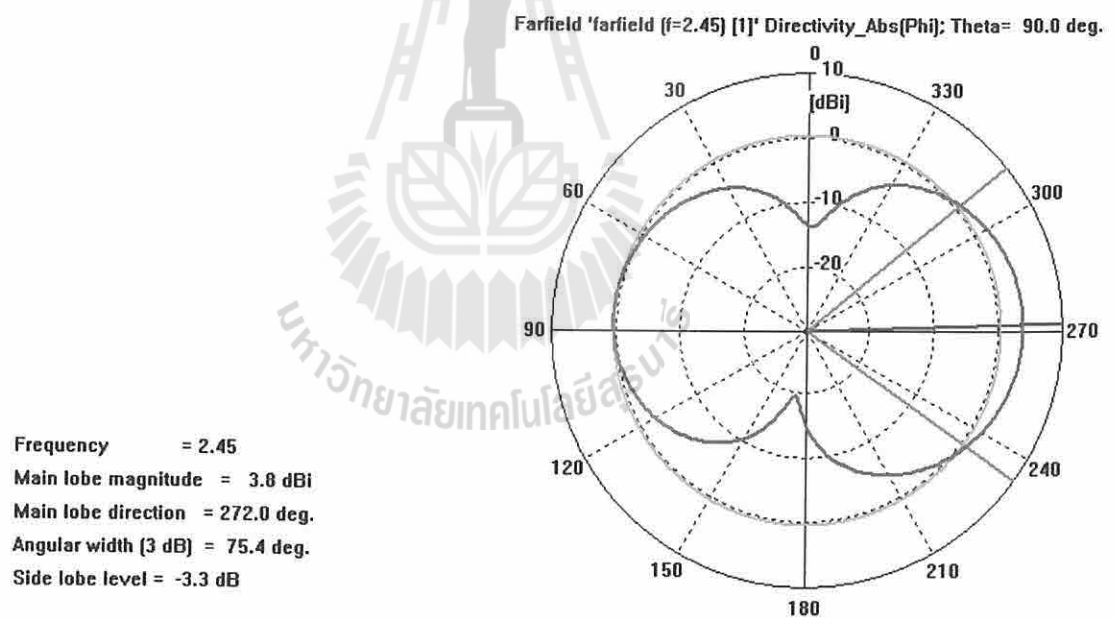


รูปที่ 4.14 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S_{11})

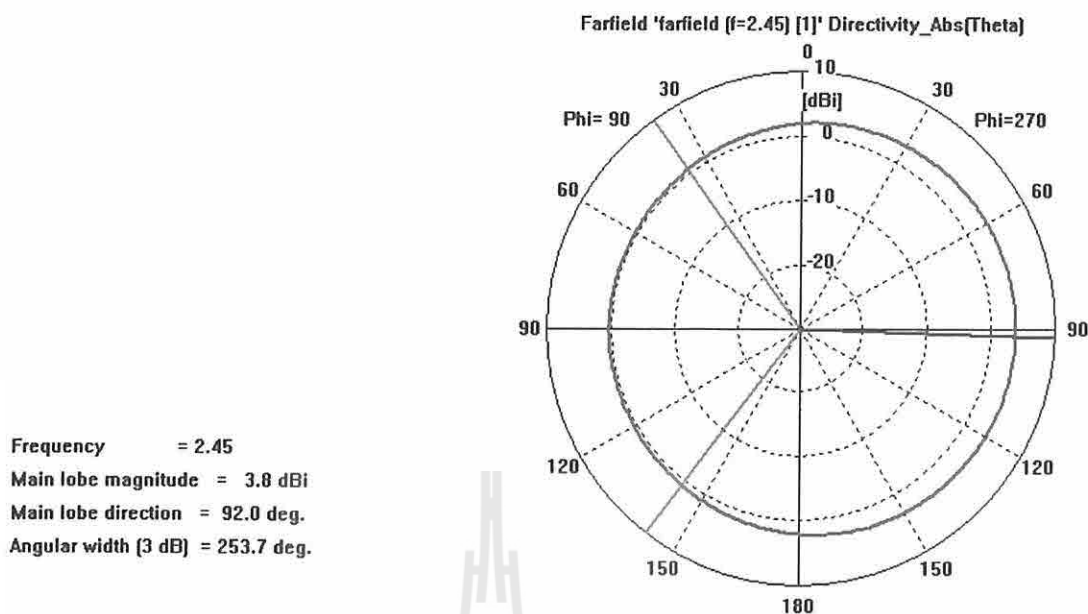
จากรูปที่ 4.13 และ 4.14 เมื่อพิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับ ที่ต่ำกว่า -10 dB จะเห็นได้ว่าความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศปรีนทีโคโพล อยู่ที่ 2.499 GHz ค่าการสูญเสียย้อนกลับ -69.051 dB และมีความกว้างแถบความถี่เท่ากับ 375 MHz ซึ่งครอบคลุมย่านความถี่ตามที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 b/g



รูปที่ 4.15 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบ 3 มิติ



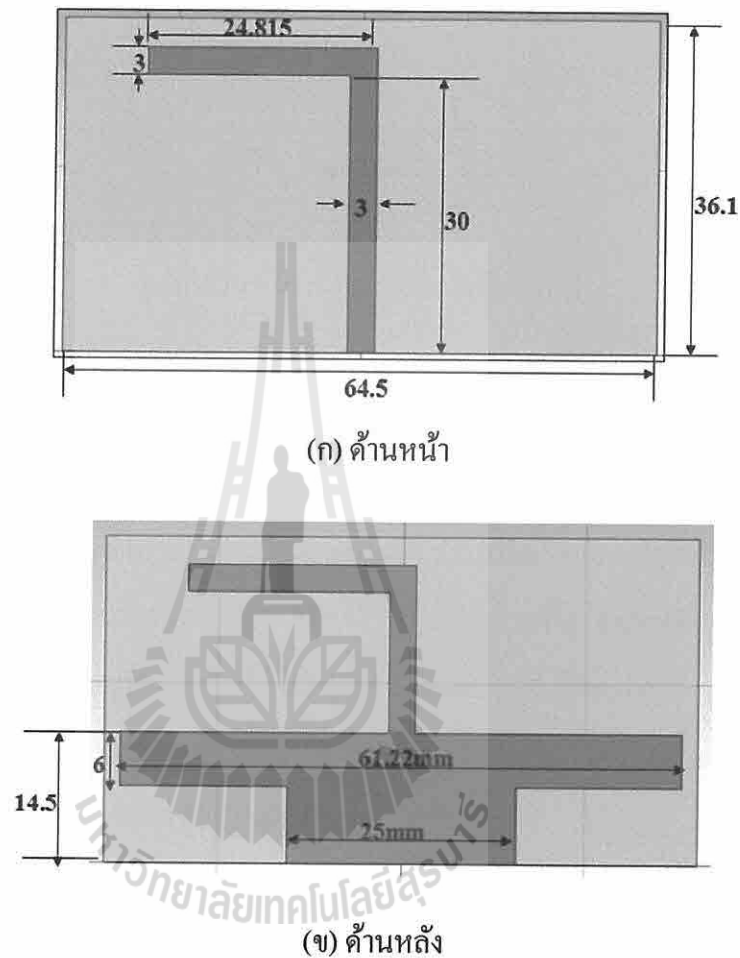
รูปที่ 4.16 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane)



รูปที่ 4.17 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane)

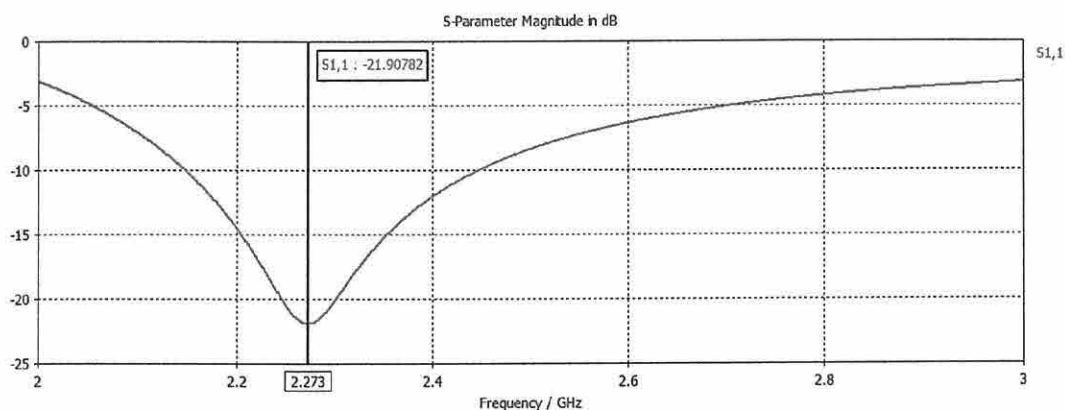
จาก รูปที่ 4.15 ถึง 4.17 จะเห็นได้ว่าสายอากาศปรินท์ไดโพลมีอัตราขยายอยู่ที่ 3.8 dBi และระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กมีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นคล้ายสายอากาศไดโพล แต่การแผ่กระจายคลื่นออกทางด้านหลังมากกว่าด้านหน้า เนื่องจากขนาดของกราวนนั้นมีขนาดเล็กกว่าความยาวของสายอากาศปรินท์ไดโพล กราวนจึงทำหน้าที่เป็น ตัวนำคลื่นหรือตัวชี้ทิศ (Director) ทำให้คลื่นพุ่งออกด้านหลังมากกว่าด้านหน้า เราจึงทำการจำลองแบบสายอากาศปรินท์ไดโพลให้ทำงานร่วมกับตัวสะท้อนคลื่น เพื่อให้คลื่นสะท้อนออกไปด้านหน้า ตามหลักการของสายอากาศ ยากิ-ยูตะ แสดงในขั้นตอนต่อไป

4.4 การจำลองแบบสายอากาศปรินท์ไดโพลร่วมกับตัวสะท้อนคลื่น ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม CST Microwave Studio



รูปที่ 4.18 ชิ้นงานในโปรแกรม CST Microwave Studio

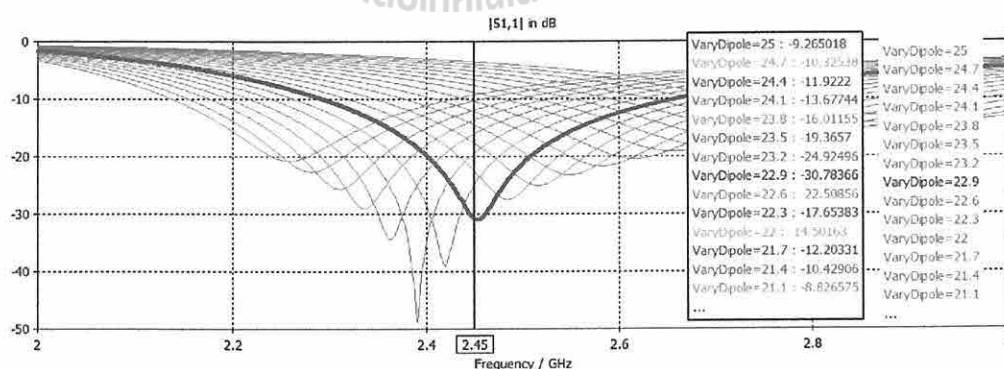
การจำลองแบบสายอากาศปรินท์ไดโพลร่วมกับตัวสะท้อนคลื่น จะทำการใส่ค่าพารามิเตอร์ดังรูปที่ 4.18 จากนั้นทำการดูค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)



รูปที่ 4.19 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S_{11})

จากรูป 4.19 พบว่า เมื่อพิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับ ที่ต่ำกว่า -10 dB จะเห็นได้ว่า สายอากาศ ปรีนท์ไดโพล สามารถทำงานได้ ตั้งแต่ช่วงความถี่ 2.14 ถึง 2.44 GHz และมีความถี่เรโซแนนซ์คือ 2.27 GHz ซึ่งเราต้องการให้สายอากาศ ปรีนท์ไดโพลสามารถทำงานได้ตั้งแต่ช่วง 2.401 ถึง 2.473 GHz ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 b/g และความถี่เรโซแนนซ์ อยู่ที่ 2.45 GHz จึงต้องทำการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อให้ได้ผลการจำลองแบบตามที่ต้องการ

4.4.1 การปรับค่าความยาวของตัวขับสัญญาณ (Driven)

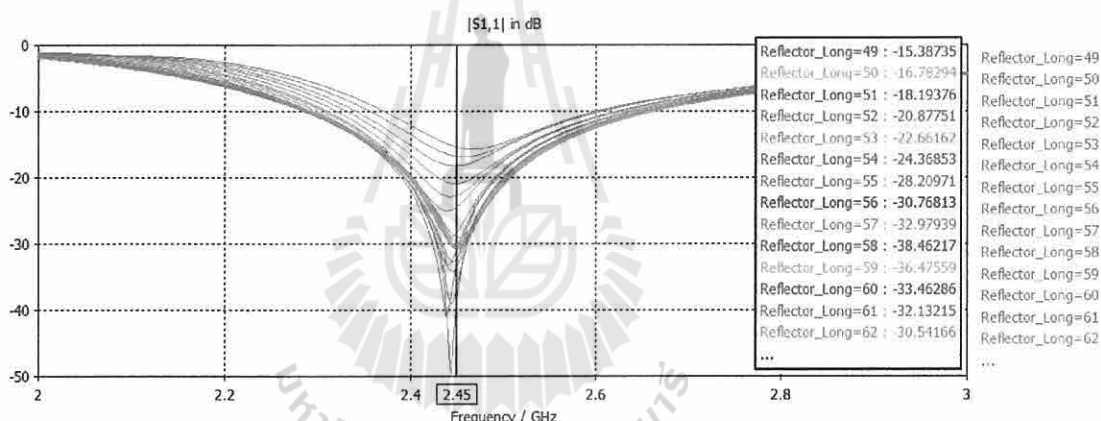


รูปที่ 4.20 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S_{11})

**VaryDipole แทน ความยาวตัวขับสัญญาณ

จากรูปที่ 4.20 ซึ่งเป็นการศึกษาความยาวของสายอากาศปรีนท์ไดโพล ที่มีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์ โดยการปรับความยาวของสายอากาศปรีนท์ไดโพล ตั้งแต่ 19 ถึง 25 มิลลิเมตร เมื่อพิจารณาการสูญเสียย้อนกลับ ที่ต่ำกว่า -10 dB จะเห็นได้ว่า ความยาวของสายอากาศปรีนท์ไดโพล นั้นมีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์อย่างมาก เนื่องจากกราฟมีการเลื่อนออกไปอย่างเห็นได้ชัดเจน โดยระยะที่ทำการปรับค่าแต่ละช่วงนั้นห่างกันเพียง 1 มิลลิเมตร และถ้าต้องการให้สายอากาศปรีนท์ ไดโพลทำงานที่ความถี่ 2.45 GHz ต้องกำหนดให้สายอากาศปรีนท์ไดโพลมีความยาว 22.93 มิลลิเมตร

4.4.2 การปรับค่าขนาดความยาวของรีเฟล็กเตอร์



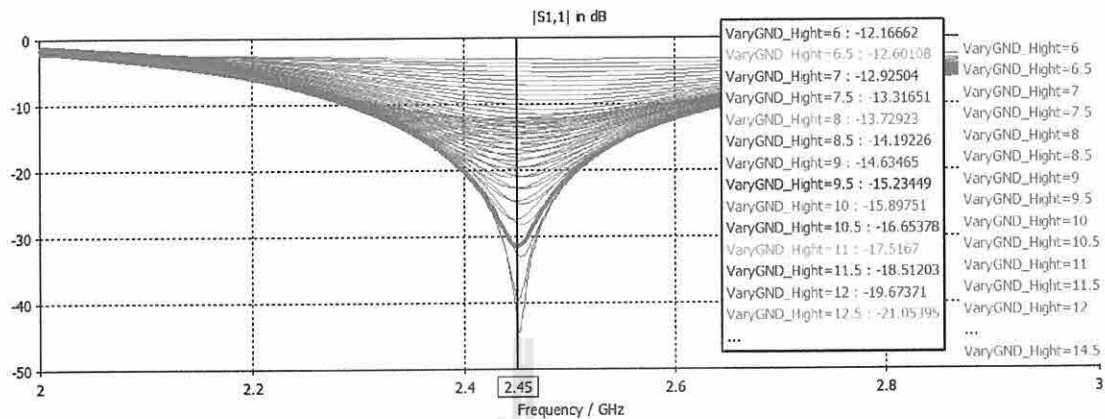
รูปที่ 4.21 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)

** Reflector_Long แทน ความยาวของตัวสะท้อนคลื่น

*** ความยาวสายอากาศปรีนท์ไดโพล เท่ากับ 22.93 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 4.21 ซึ่งเป็นการศึกษาความยาวของตัวสะท้อนคลื่น (Reflector) ที่มีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์ โดยการปรับความยาวของตัวสะท้อนคลื่น ตั้งแต่ 46 ถึง 64 มิลลิเมตร เมื่อพิจารณาการสูญเสียย้อนกลับ ที่ต่ำกว่า -10 dB จะเห็นได้ว่า ความยาวของตัวสะท้อนคลื่น นั้นมีผลต่อค่าการสูญเสียย้อนกลับเป็นอย่างมาก แต่มีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์น้อย โดยระยะที่ทำการปรับค่าแต่ละช่วงนั้นห่างกันเพียง 1 มิลลิเมตร และถ้าต้องการให้สายอากาศปรีนท์ไดโพลทำงานที่ความถี่ 2.45 GHz ต้องกำหนดให้ตัวสะท้อนคลื่นมีความยาว 61.22 มิลลิเมตร

4.4.3 การปรับค่าระยะห่างจากตัวสะท้อนคลื่นถึงสายอากาศปรีนท์ไดโพล

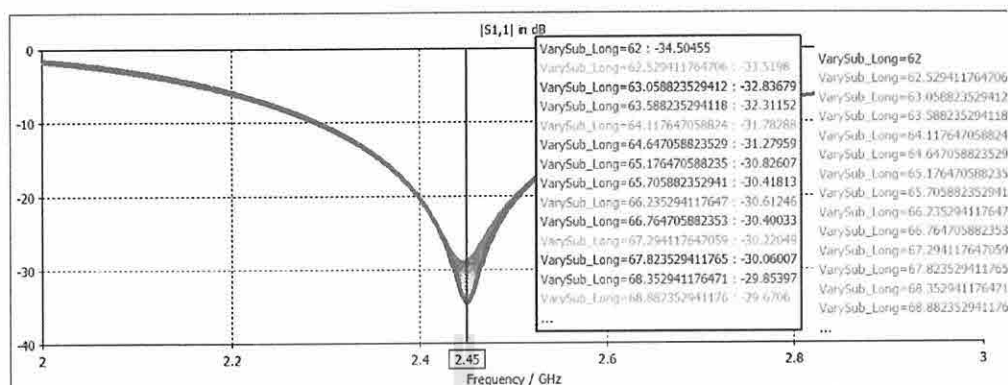


รูปที่ 4.22 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)

- ** VaryGND_High แทน ระยะห่างจากตัวสะท้อนคลื่นถึงสายอากาศปรีนท์ไดโพล
- ** VaryGND_Hight เท่ากับ 6 มิลลิเมตร
- *** ตัวสะท้อนคลื่นจะห่างจากสายอากาศปรีนท์ไดโพล เท่ากับ 14 มิลลิเมตร)
- *** ความยาวสายอากาศปรีนท์ไดโพล เท่ากับ 22.93 มิลลิเมตร
- *** ความยาวของตัวสะท้อนคลื่น เท่ากับ 61.22 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 4.22 เป็นการศึกษา ระยะห่างจากตัวสะท้อนคลื่นถึงสายอากาศปรีนท์ไดโพล ที่มีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์และค่าการสูญเสียย้อนกลับ โดยการปรับระยะห่างจากตัวสะท้อนคลื่นถึงสายอากาศปรีนท์ไดโพล ตั้งแต่ 6 ถึง 16 มิลลิเมตร เมื่อพิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับ ที่ต่ำกว่า -10 dB จะเห็นได้ว่าความยาวของตัวสะท้อนคลื่น นั้นมีผลต่อค่าการสูญเสียย้อนกลับเป็นอย่างมาก แต่มีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์น้อย และถ้าต้องการให้สายอากาศปรีนท์ไดโพลทำงานที่ความถี่ 2.45 GHz และมีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -31 dB ต้องกำหนดให้ระยะห่างจากตัวสะท้อนคลื่นถึงสายอากาศปรีนท์ไดโพล เท่ากับ 15.5 มิลลิเมตร

4.4 การปรับค่าความยาวของแผ่นซับสเตรต

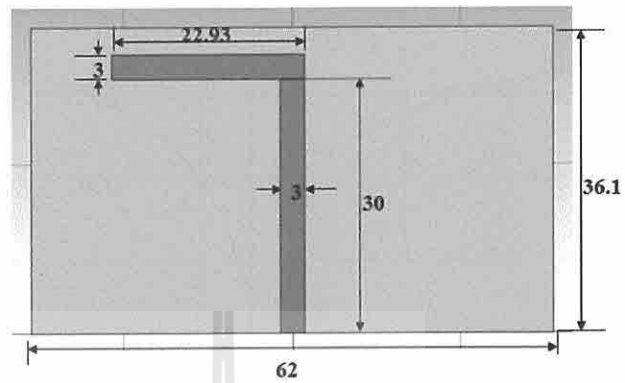


รูปที่ 4.23 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)

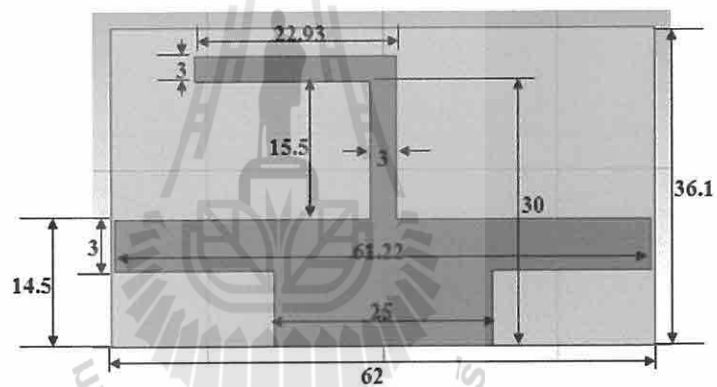
- ** VarySub_Long แทน ค่าความยาวของแผ่นซับสเตรต
- *** ความยาวสายอากาศปรินท์ไคโพล เท่ากับ 22.93 มิลลิเมตร
- *** ความยาวของตัวสะท้อนคลื่น เท่ากับ 61.22 มิลลิเมตร
- *** ระยะห่างจากตัวสะท้อนคลื่นถึงสายอากาศปรินท์ไคโพล เท่ากับ 15.5 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 4.23 ซึ่งเป็นการศึกษาความยาวของแผ่นซับสเตรต ที่มีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์ และค่าการสูญเสียย้อนกลับ โดยการปรับความยาวของแผ่นซับสเตรต ตั้งแต่ 62 ถึง 80 มิลลิเมตร เมื่อพิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับ ที่ต่ำกว่า -10 dB จะเห็นได้ว่า ความยาวของแผ่นซับสเตรต นั้นมีผลต่อค่าการสูญเสียย้อนกลับเป็นอย่างมาก แต่มีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์น้อย และถ้าต้องการให้สายอากาศปรินท์ไคโพลทำงานที่ความถี่ 2.45 GHz และมีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -34 dB ต้องกำหนดให้ ความยาวของแผ่นซับสเตรตเท่ากับ 62 มิลลิเมตร

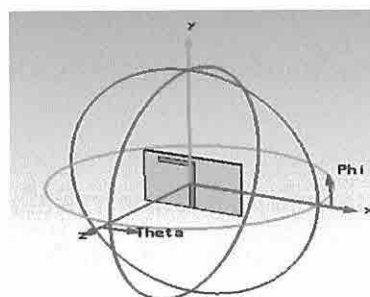
4.4.6 รูปขนาดของสายอากาศปรีนทีไดโพลที่ทำงานร่วมกับตัวสะท้อนคลื่น ที่ได้จากการจำลอง
แบบ



(ก) ด้านหน้า



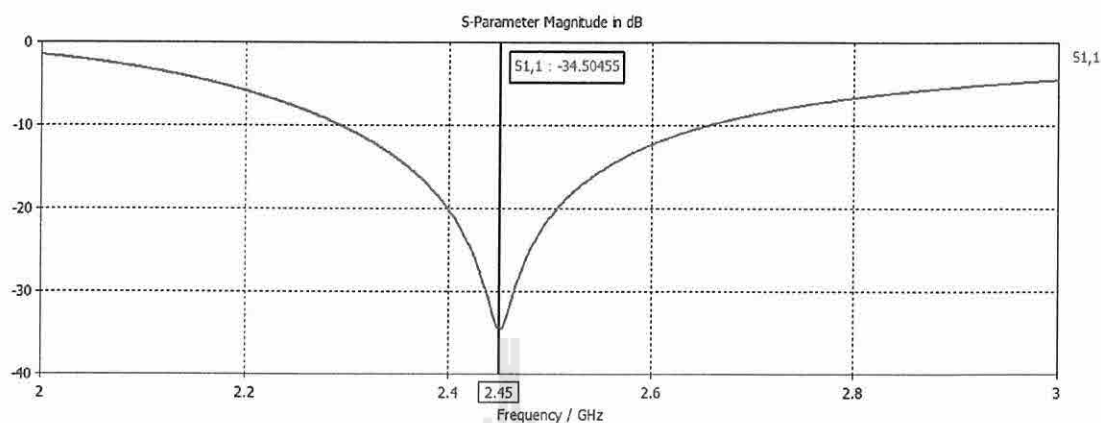
(ข) ด้านหลัง



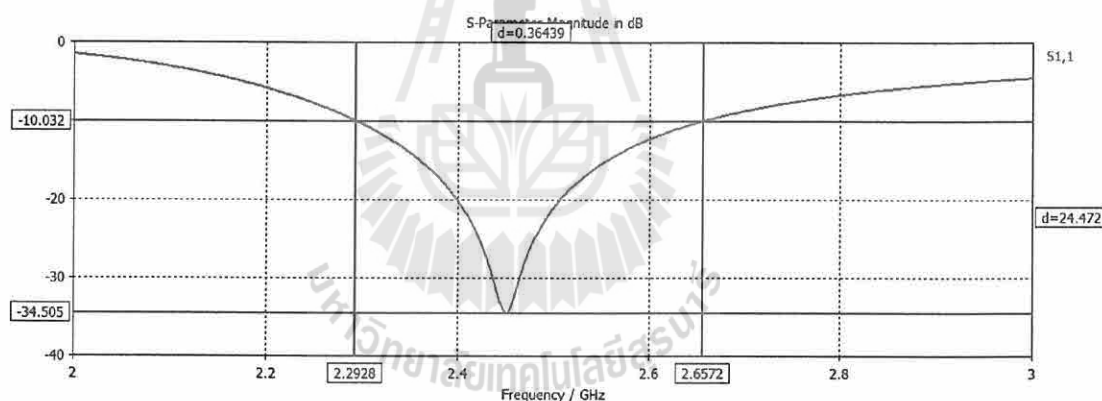
(ค) 3 มิติ

รูปที่ 4.25 ชิ้นงานในโปรแกรม CST Microwave Studio

จากนั้นทำการจำลองผลได้ผลดังนี้

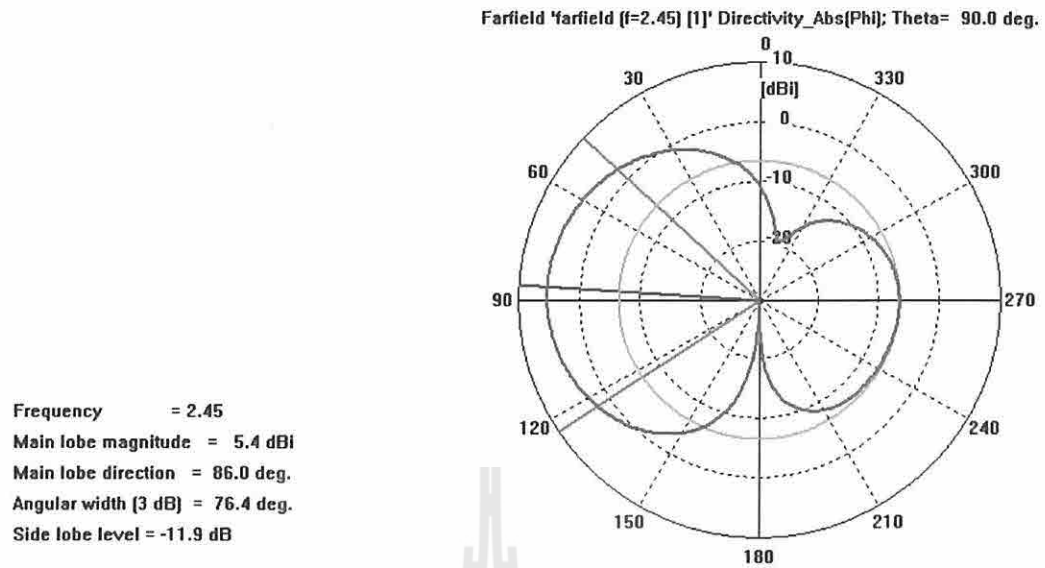


รูปที่ 4.26 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)

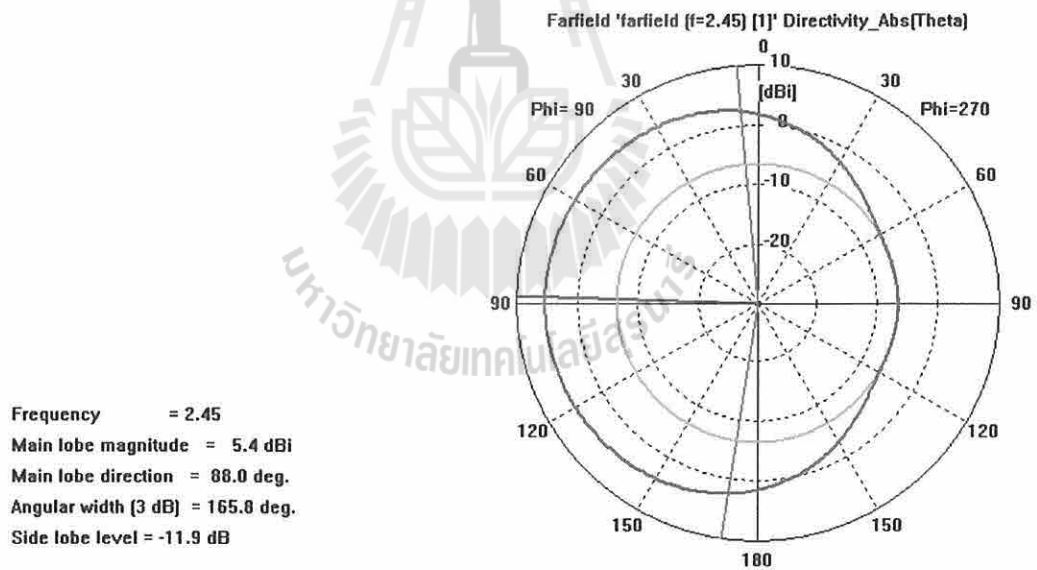


รูปที่ 4.27 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)

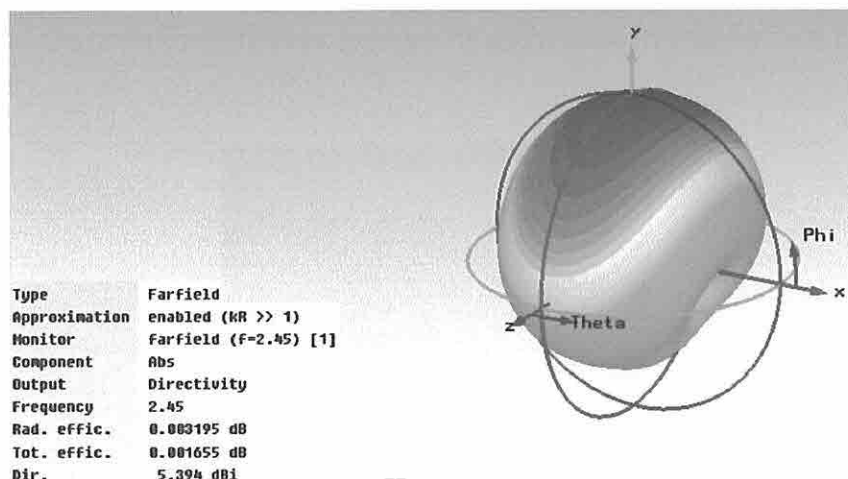
จากรูปที่ 4.26 และ 4.27 เมื่อพิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับ ที่ต่ำกว่า -10 dB จะเห็นได้ว่าความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศปรีนท์โดโพล์อยู่ที่ 2.45 GHz มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -34 dB และมีความกว้างแถบความถี่เท่ากับ 364 MHz ซึ่งครอบคลุมย่านความถี่ตามที่กำหนดไว้ ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 b/g



รูปที่ 4.28 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane)



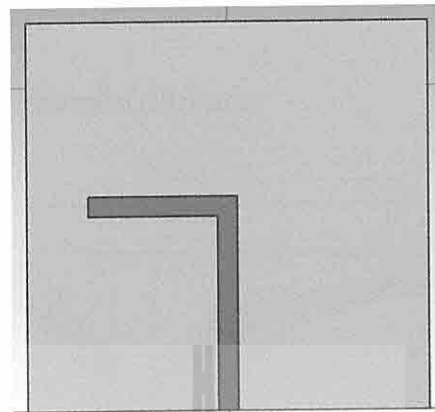
รูปที่ 4.29 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane)



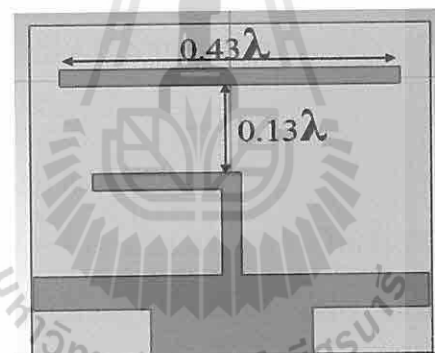
รูปที่ 4.30 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นใน 3 มิติ

จาก รูปที่ 4.28 ถึง 4.30 จะเห็นได้ว่า สายอากาศปรีนท์ไดโพลมีอัตราขยายอยู่ที่ 5.4 dBi ซึ่งมีอัตราขยายเพิ่มจากเดิมถึง 1.6 dBi เนื่องจากตัวสะท้อนคลื่นมีการสะท้อนคลื่นออกไปทางด้านหน้า จึงทำให้อัตราขยายเพิ่มขึ้น และในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กมีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นคล้ายสายอากาศไดโพล แต่มีการแผ่กระจายคลื่นออกทางด้านหน้ามากกว่าด้านหลัง เนื่องจากเราได้ทำการใส่ตัวสะท้อนคลื่น ซึ่งทำการสะท้อนคลื่นที่ออกไปด้านหลังให้ออกไปด้านหน้าตามหลักการของสายอากาศยาเก-อูอะ จากนั้นเราจะทำการใส่ตัวนำคลื่นเพื่อเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศในขั้นตอนต่อไป

4.5 การออกแบบสายอากาศปรินท์ไดโพลร่วมกับตัวสะท้อนคลื่น และตัวนำคลื่นที่ความถี่ 2.45 GHz



(ก) ด้านหน้า



(ข) ด้านหลัง

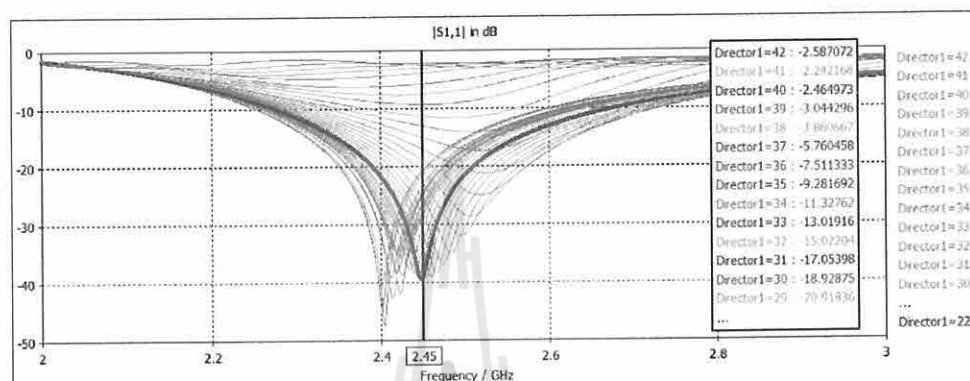
รูปที่ 4.30 ชิ้นงานในโปรแกรม CST Microwave Studio

*** พารามิเตอร์ทั้งหมดจากตอนที่ 4.4 และจากการคำนวณตอนที่ 4.1

จากรูปที่ 4.30 (ข) จะเห็นได้ว่า ความยาวของตัวนำคลื่นที่ได้จากการคำนวณมีความยาวมากกว่าสายอากาศปรินท์ไดโพล ซึ่งผลหลักการออกแบบของ สายอากาศยาคิ-อูตะ ที่ตัวนำคลื่นจะ

สั้นกว่าตัวขั้วสัญญาณอยู่ประมาณ 5% จึงต้องทำการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆเพื่อให้ได้ผลการจำลองแบบตามที่ต้องการ

4.5.1 การปรับค่าความยาวของตัวนำคลื่น (Director)

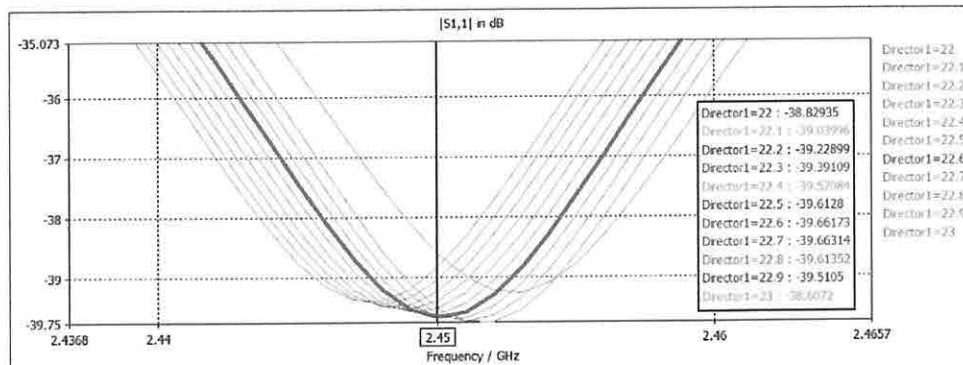


รูปที่ 4.31 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)

**** Director1 แทน ความยาวของตัวนำคลื่นตัวแรก**

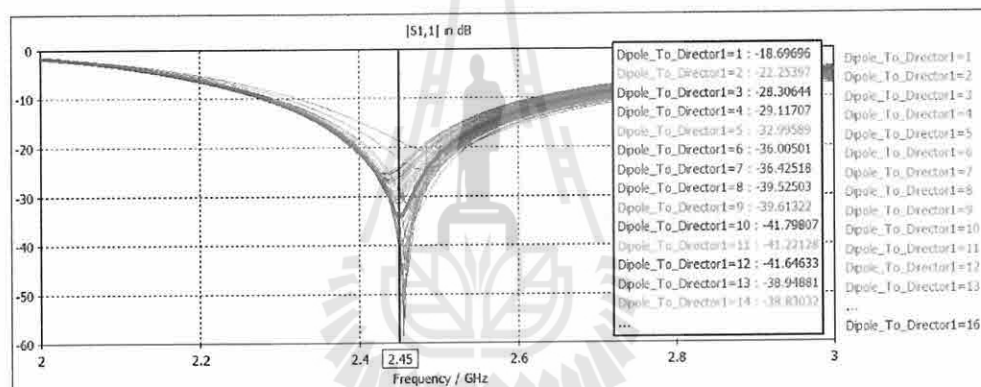
จากรูปที่ 4.31 ซึ่งเป็นการศึกษาความยาวของตัวนำคลื่นที่มีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์ โดยการปรับความยาวของตัวนำคลื่นตั้งแต่ 2 ถึง 42 มิลลิเมตร ซึ่งจะมีความยาวไม่เกินสายอากาศปรีนท์ไดโพล เมื่อพิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับ ที่ต่ำกว่า -10 dB พบว่าความยาวของตัวนำคลื่นนั้นมีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์อย่างมาก เห็นได้จากกราฟที่เลื่อนออกไป

เมื่อทำการปรับค่าอย่างละเอียด ดังรูปที่ 4.32 ถ้าต้องการให้สายอากาศปรีนท์ไดโพลของเรา มีความถี่ใช้งานอยู่ที่ 2.45 GHz และมีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -39 dB จะต้องกำหนดให้ความยาวของตัวนำคลื่นเท่ากับ 22.6 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.32 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)

4.5.2 การปรับค่าระยะห่าง ระหว่างสายอากาศปรีนท์ไดโพล (Driven) กับตัวนำคลื่น (Director)



รูปที่ 4.33 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)

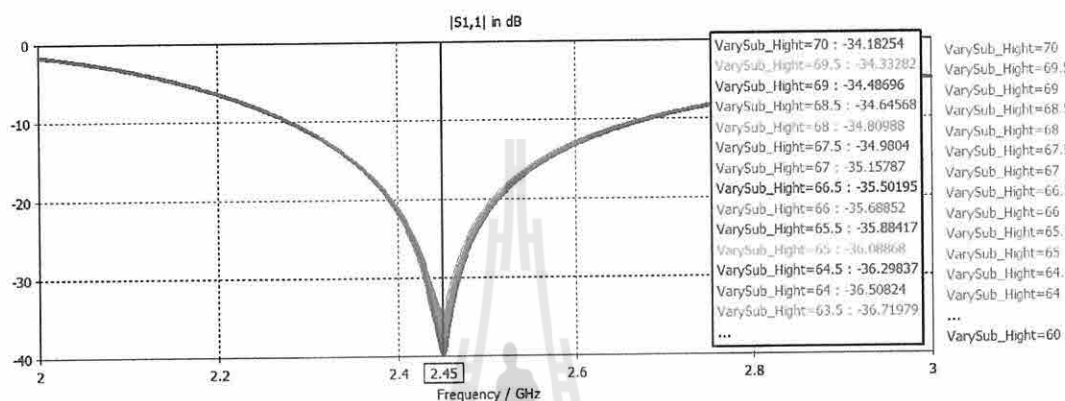
** Direct_To_Director1 แทน ระยะจากสายอากาศปรีนท์ไดโพลถึงตัวนำคลื่น

*** ความยาวของตัวนำคลื่น เท่ากับ 22.6 มิลลิเมตร

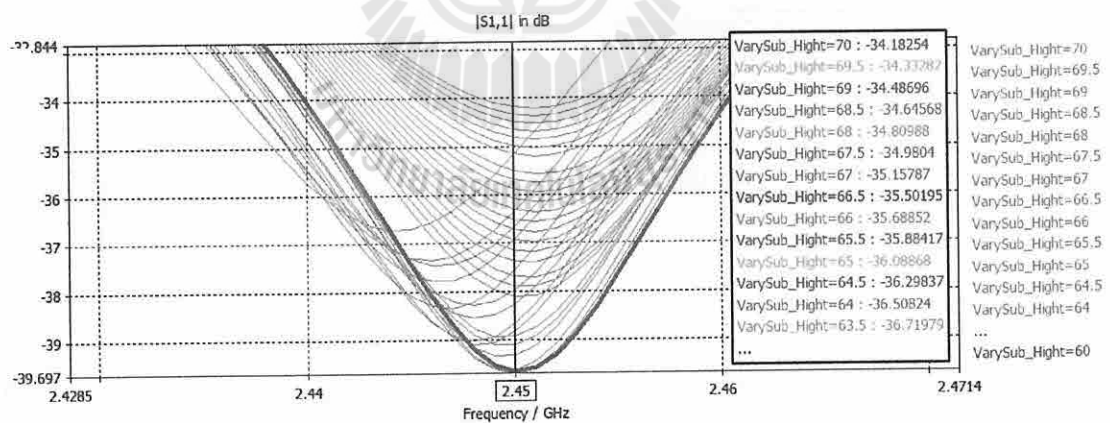
จากรูปที่ 4.33 เป็นการศึกษาระยะห่างระหว่างสายอากาศปรีนท์ไดโพล (Driven) กับตัวนำคลื่น (Director) ที่มีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์ โดยการปรับระยะห่างตั้งแต่ 1 ถึง 30 มิลลิเมตร เมื่อพิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับ ที่ต่ำกว่า -10 dB ระยะห่างระหว่างสายอากาศปรีนท์ไดโพลกับตัวนำคลื่นมีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์ค่อนข้างน้อย แต่มีผลต่อค่าการสูญเสียย้อนกลับมาก และถ้าต้องการ

ให้สายอากาศปรีนทีโดโพลมีความถี่ใช้งานอยู่ที่ 2.45 GHz และมีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -34 dB จะต้องกำหนดให้ระยะห่างระหว่างสายอากาศปรีนทีโดโพลกับตัวนำคลื่นเท่ากับ 15.92 มิลลิเมตร

1.5.3 การปรับค่าความกว้างของซบเสตรต



รูปที่ 4.34 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)



รูปที่ 4.35 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)

*** VarySub_High

แทน ความกว้างของซบเสตรต

*** ความยาวของตัวนำคลื่น

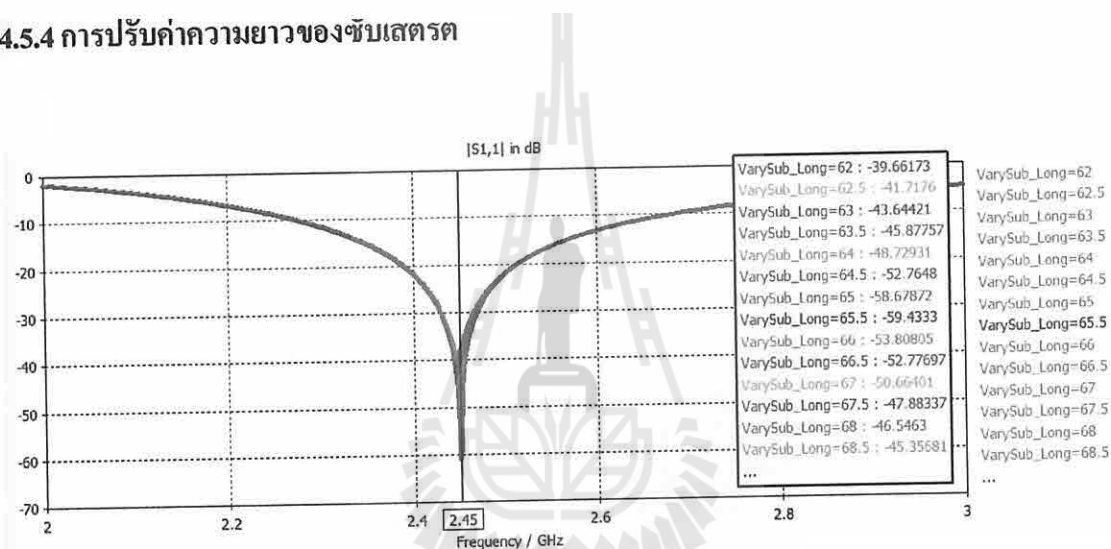
เท่ากับ 22.6 มิลลิเมตร

*** ระยะห่างระหว่างสายอากาศปรีนทีโดโพลกับตัวนำคลื่น

เท่ากับ 15.92 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 4.34 เป็นการศึกษาความกว้างของแผ่นชั้นเสตรตที่มีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์ โดยการปรับระยะห่างตั้งแต่ 53 ถึง 70 มิลลิเมตร เมื่อพิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับ ที่ต่ำกว่า -10 dB พบว่าความกว้างของแผ่นชั้นเสตรต มีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์ค่อนข้างน้อยแต่มีผลต่อค่าการสูญเสียย้อนกลับมาก เมื่อทำการขยายรูปที่ 4.34 ได้ดังรูปที่ 4.35 จะเห็นได้ว่าถ้าต้องการให้สายอากาศปรีนทีโคโพลของเรามีความถี่ใช้งานอยู่ที่ 2.45 GHz และมีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -39.96 dB จะต้องกำหนดให้ความกว้างของชั้นเสตรตเท่ากับ 60 มิลลิเมตร

4.5.4 การปรับค่าความยาวของชั้นเสตรต



รูปที่ 4.36 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)

*** VarySub_Long

แทน ความยาวของแผ่น

ตัวนำ

*** ความยาวของตัวนำคลื่น

เท่ากับ 22.6 มิลลิเมตร

*** ระยะห่างระหว่างสายอากาศปรีนทีโคโพลกับตัวนำคลื่น

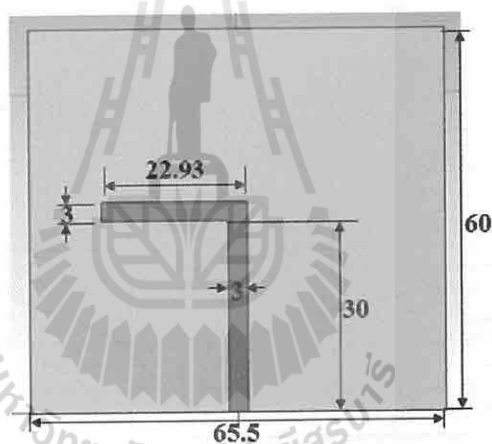
เท่ากับ 15.92 มิลลิเมตร

*** ความกว้างของชั้นเสตรต

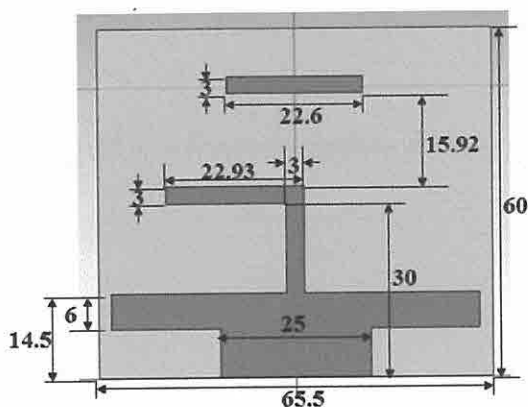
เท่ากับ 60 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 4.36 เป็นการศึกษาความยาวของซิปเสตรค ที่มีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์ โดยการปรับระยะห่างตั้งแต่ 62 ถึง 80 มิลลิเมตร เมื่อพิจารณาการสูญเสียย้อนกลับ ที่ต่ำกว่า -10 dB พบว่า ความยาวของซิปเสตรคนั้น มีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์น้อยมาก แต่จะมีผลต่อค่าการสูญเสียย้อนกลับมาก และถ้าต้องการให้สายอากาศปรีนท์ไดโพลของเรามีความถี่ใช้งานอยู่ที่ 2.45 GHz และมีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -61 dB จะต้องกำหนดให้ความกว้างของซิปเสตรคเท่ากับ 65.5 มิลลิเมตร

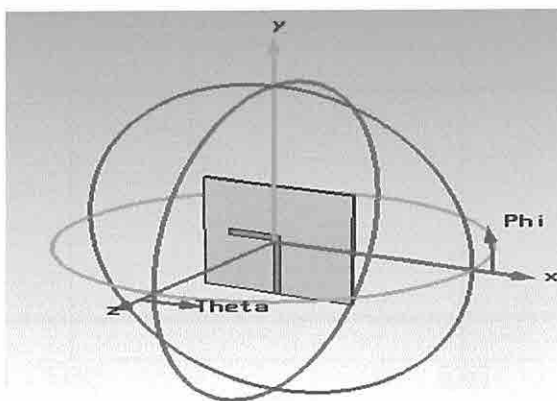
4.5.5 รูปขนาดของสายอากาศปรีนท์ไดโพลที่ทำงานร่วมกับตัวสะท้อนคลื่นและตัวนำคลื่น 1 ตัว ที่ได้จากการจำลองแบบ



(ก) ด้านหน้า



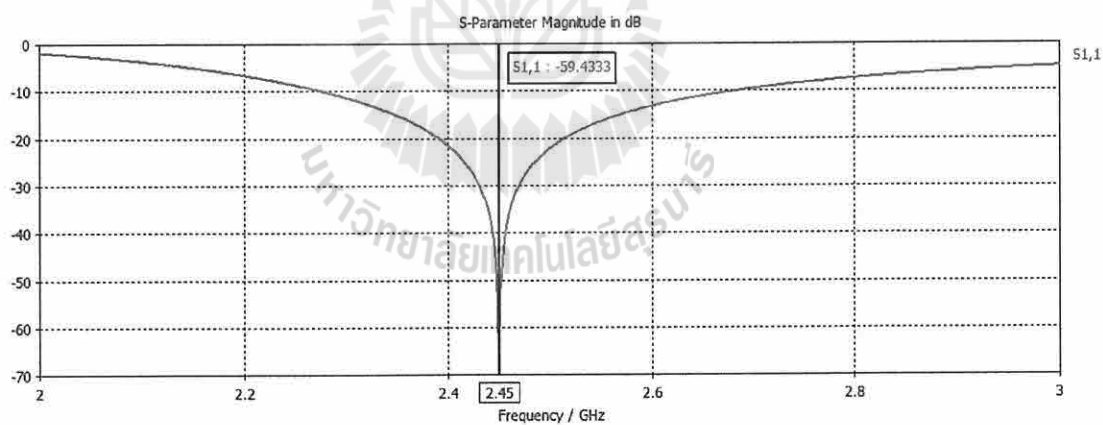
(ข) ด้านหลัง



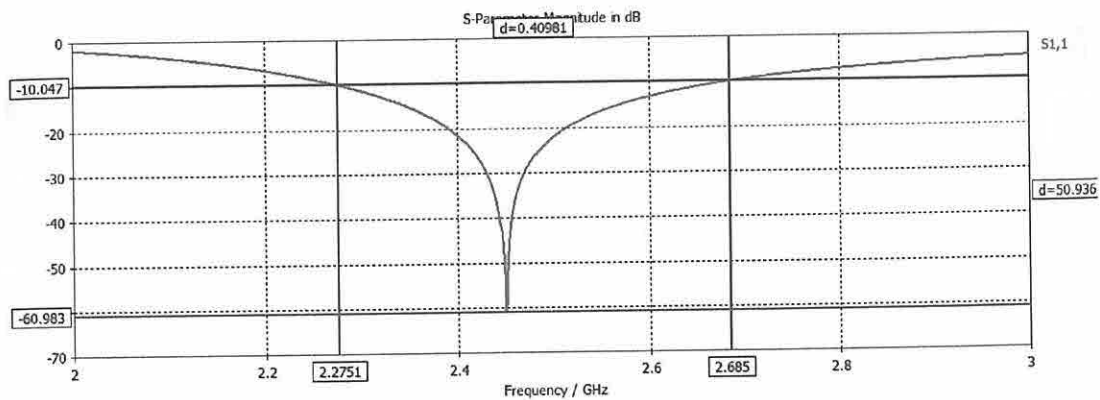
(ค) 3 มิติ

รูปที่ 4.37 ชิ้นงานใน โปรแกรม CST Microwave Studio

จากนั้นทำการจำลองผลได้ผลดังนี้

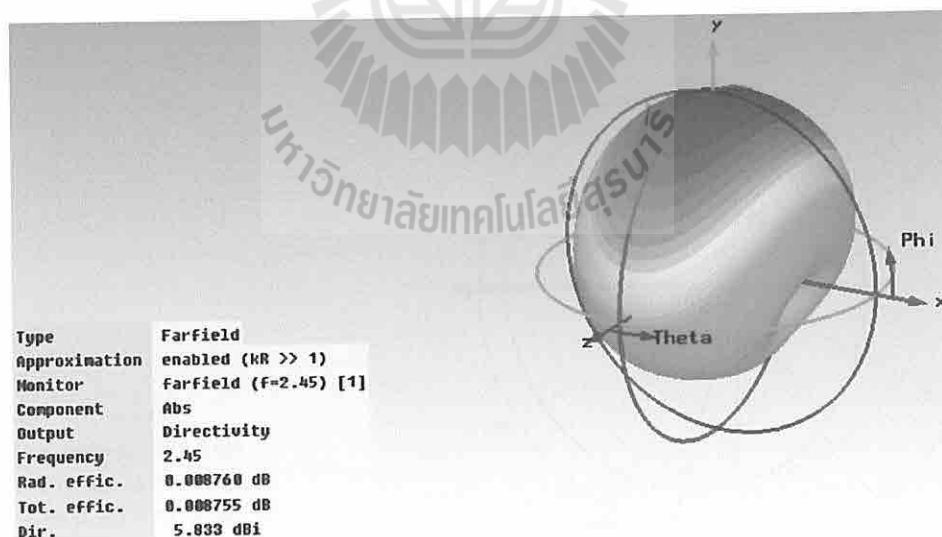


รูปที่ 4.38 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)

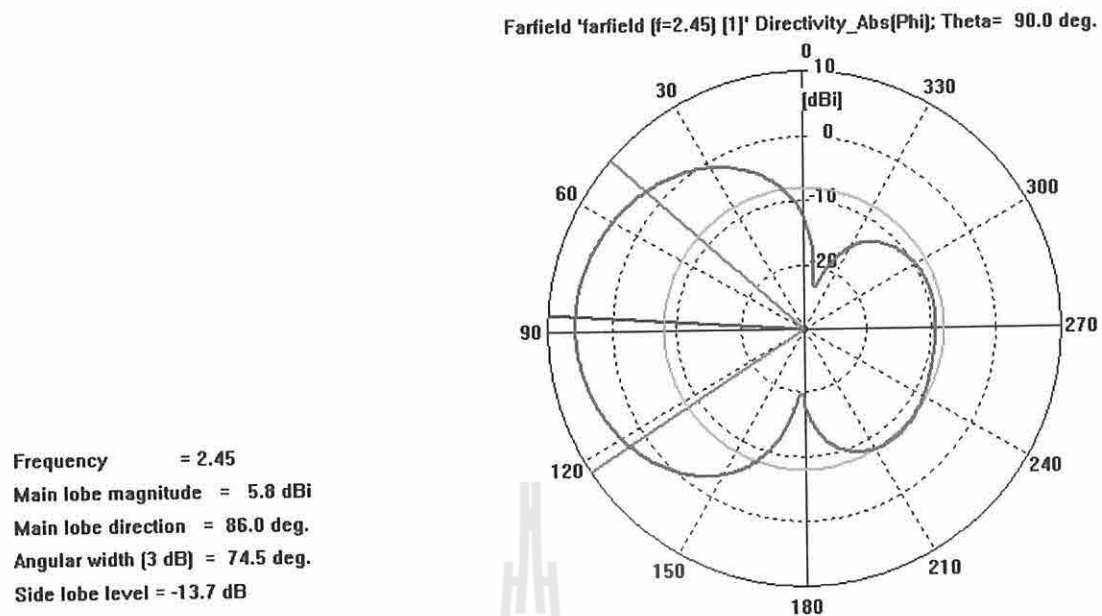


รูปที่ 4.39 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)

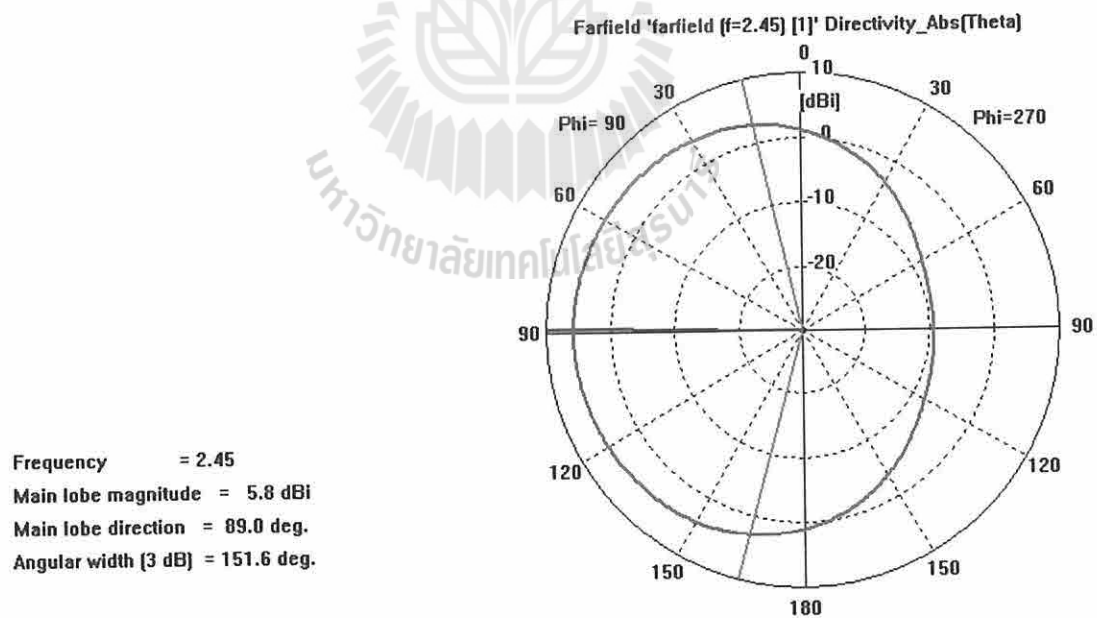
จากรูปที่ 4.38 และ 4.39 เมื่อพิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับ ที่ต่ำกว่า -10 dB จะเห็นได้ว่าความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศปรินท์โคโพล อยู่ที่ 2.45 GHz มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -60.98 dB และมีความกว้างแถบความถี่ เท่ากับ 409 MHz ซึ่งครอบคลุมย่านความถี่ตามที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 b/g



รูปที่ 4.40 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane)



รูปที่ 4.41 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane)



รูปที่ 4.42 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นใน 3 มิติ

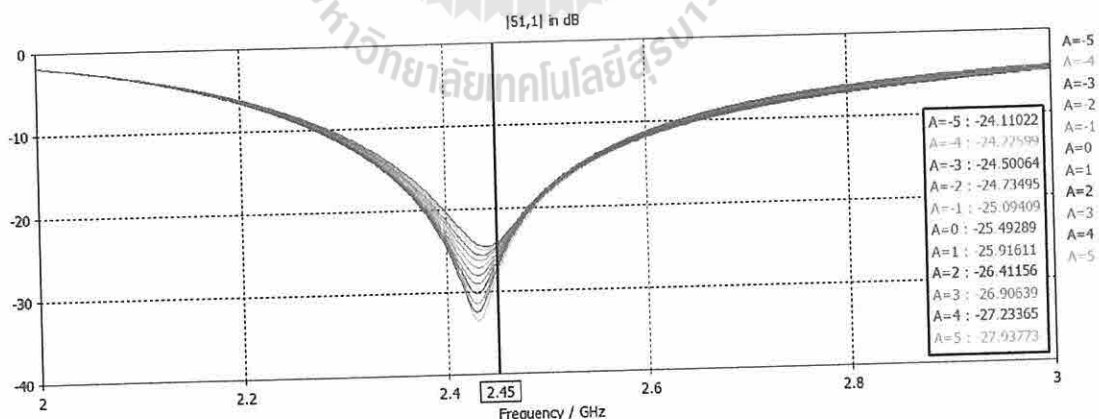
จากรูปที่ 4.40 ถึง 4.42 จะเห็นได้ว่าสายอากาศปรินท์ไคโพลมีอัตราขยายอยู่ที่ 5.8 dBi ซึ่งมีอัตราขยายเพิ่มขึ้นมาจากเดิม 0.4 dBi และในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กมีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นคล้ายสายอากาศไคโพล แต่จะมีคลื่นแผ่กระจายออกมาทางด้านหน้ามากขึ้นเนื่องจากได้ทำการใส่ตัวนำคลื่นเข้าไปนั่นเอง ซึ่งเป็นไปตามหลักการของสายอากาศวิทยิกทุกประการ เราจึงทำการเพิ่มตัวนำคลื่นเข้าไปอีกตัวเพื่อให้อัตราขยายเพิ่มมากขึ้นในขั้นตอนต่อไป

4.6 ทำการใส่ตัวนำคลื่นเพิ่มขึ้นเป็น 3 ตัว และ 5 ตัว

*** นำพารามิเตอร์ทั้งหมดจากตอนที่ 4.5 มาใช้

การจำลองแบบสายอากาศปรินท์ไคโพลร่วมกับตัวสะท้อนคลื่นและตัวนำคลื่นทั้ง 3 ตัวและ 5 ตัวโดยในขั้นตอนต่อไปนี้จะทำการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อศึกษาแนวโน้มของกราฟ S11 แล้วนำผลที่ได้จากการศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆ มาเป็นแนวทางในการจำลองแบบเพื่อให้ได้ความกว้างแถบความถี่ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 b/g ตามที่ต้องการและมีอัตราขยายของสายอากาศปรินท์ไคโพลที่สูงขึ้น

4.6.1 การปรับระยะห่างของตัวนำคลื่นทั้ง 3 ตัว

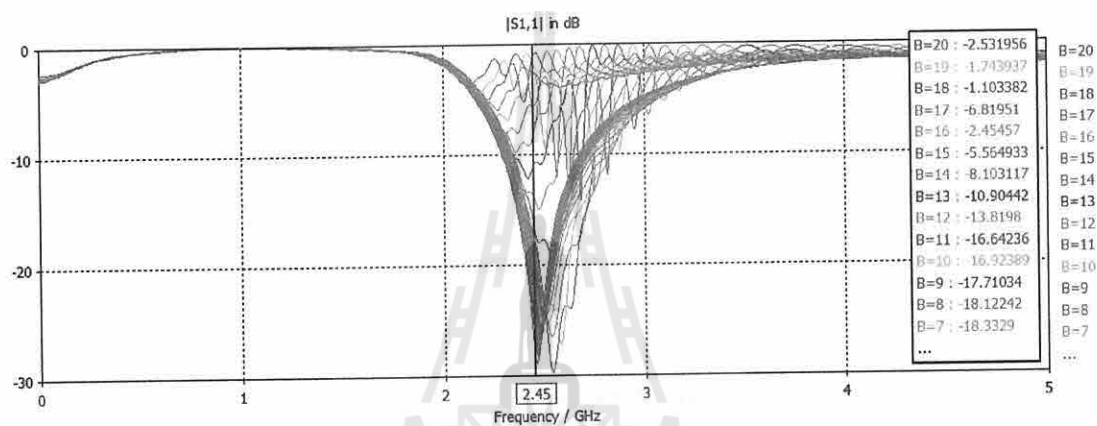


รูปที่ 4.43 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)

*** A คือ ระยะห่างที่เพิ่มหรือลดระหว่างตัวนำคลื่นแต่ละตัว

จากรูปที่ 4.43 ซึ่งเป็นการศึกษาพารามิเตอร์ A ที่มีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์และค่าการสูญเสียย้อนกลับ โดยการปรับตั้งแต่ -5 ถึง 5 มิลลิเมตร เมื่อพิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับ ที่ต่ำกว่า -10 dB พารามิเตอร์ A นั้นมีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์น้อยมาก แต่จะมีผลต่อค่าการสูญเสียย้อนกลับมากโดยระยะที่ทำการปรับค่าแต่ละช่วงนั้นห่างกันเพียง 1 มิลลิเมตร

4.6.2 การปรับค่าความยาวของตัวนำคลื่นทั้ง 3 ตัว

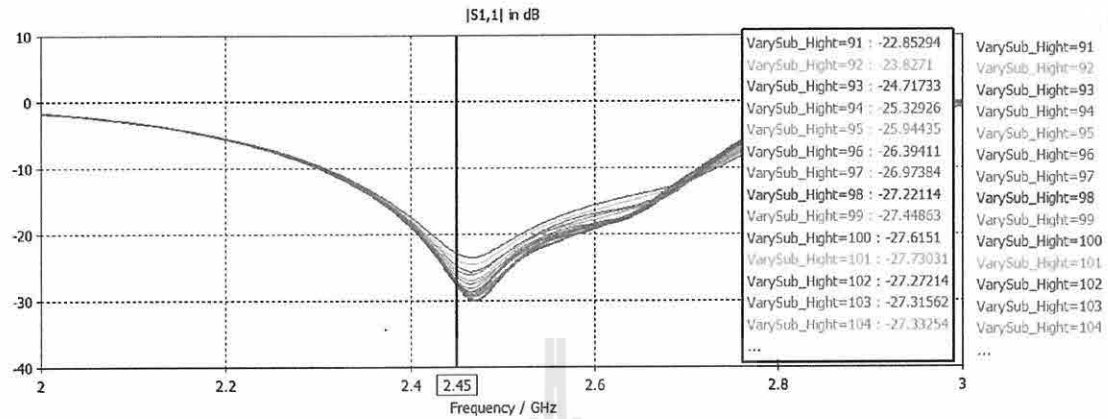


รูปที่ 4.44 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)

*** B แทน ความยาวที่เพิ่มหรือลดของตัวนำคลื่นแต่ละตัว

จากรูปที่ 4.44 ซึ่งเป็นการศึกษาความยาวที่เพิ่มหรือลดของตัวนำคลื่น ที่มีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์และค่าการสูญเสียย้อนกลับ โดยการปรับตั้งแต่ -20 ถึง 20 มิลลิเมตร เมื่อพิจารณาที่ต่ำกว่า -10 dB จะเห็นได้ว่าความยาวนั้นมีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์น้อย แต่จะมีผลต่อค่าการสูญเสียย้อนกลับมาก

4.6.3 ทดลองปรับค่าความกว้างของซิปสเตรต

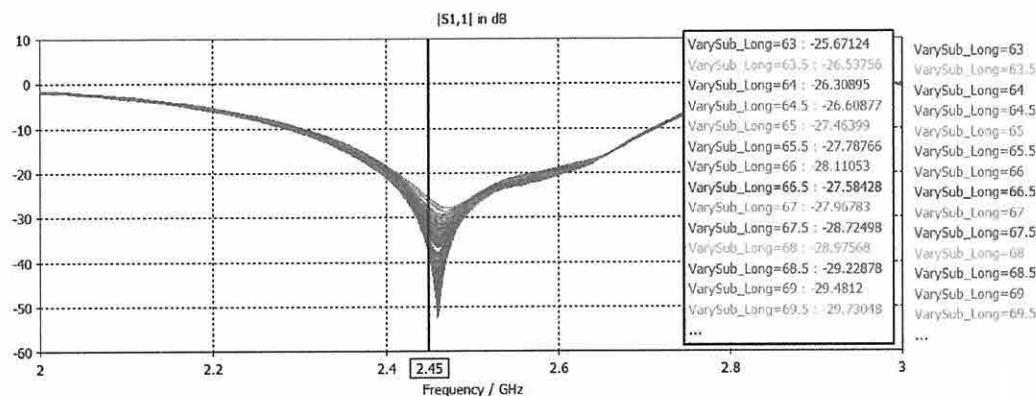


รูปที่ 4.45 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)

*** VarySub_Hight แทน ความกว้างของซิปสเตรต

จากรูปที่ 4.45 เป็นการศึกษาความกว้างของซิปสเตรตที่มีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์และค่าการสูญเสียย้อนกลับ โดยการปรับตั้งแต่ 90 ถึง 111 มิลลิเมตร เมื่อพิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ต่ำกว่า -10 dB จะเห็นได้ว่า ความกว้างของซิปสเตรตนั้นมีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์น้อย แต่จะมีผลต่อค่าการสูญเสียย้อนกลับมาก

4.6.4 การปรับค่าความยาวของแผ่นซิปสเตรต

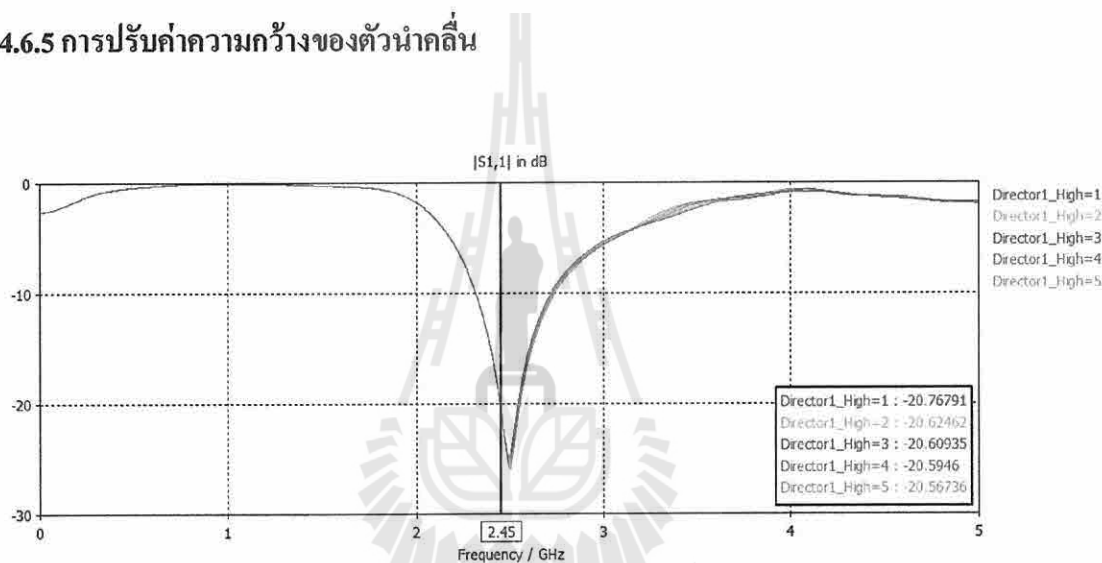


รูปที่ 4.46 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)

***VarySub_Long แทน ความยาวของซิปสเตรต

จากรูปที่ 4.46 ซึ่งเป็นการศึกษาความยาวของซิปสเตรตที่มีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์และค่าการสูญเสียย้อนกลับ โดยการปรับตั้งแต่ 63 ถึง 110 มิลลิเมตร เมื่อพิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ต่ำกว่า -10 dB พบว่า ความยาวของซิปสเตรตนั้นมีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์น้อย แต่จะมีผลต่อค่าการสูญเสียย้อนกลับมาก

4.6.5 การปรับค่าความกว้างของตัวนำคลื่น

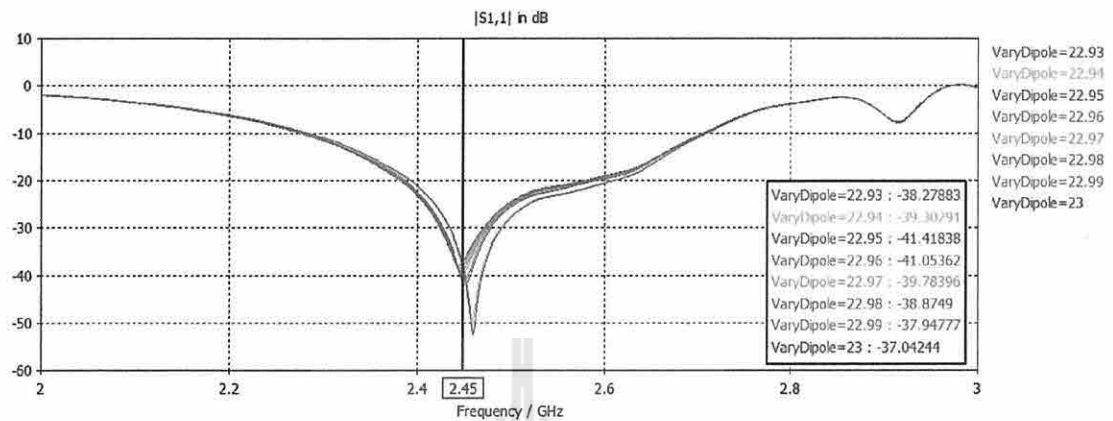


รูปที่ 4.47 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)

*** Director1_Hight แทน ความกว้างของตัวนำคลื่นทั้ง 3 ตัว

จากรูปที่ 4.47 ซึ่งเป็นการศึกษาความกว้างของตัวนำคลื่นที่มีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์และค่าการสูญเสียย้อนกลับ โดยการปรับตั้งแต่ 1 ถึง 5 มิลลิเมตร เมื่อพิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ต่ำกว่า -10 dB พบว่าความกว้างของตัวนำคลื่นทั้ง 3 ตัวนั้นนั้นมีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์และการสูญเสียย้อนกลับน้อย

4.6.6 การปรับค่าความยาวของสายอากาศปรินท์ไดโพล

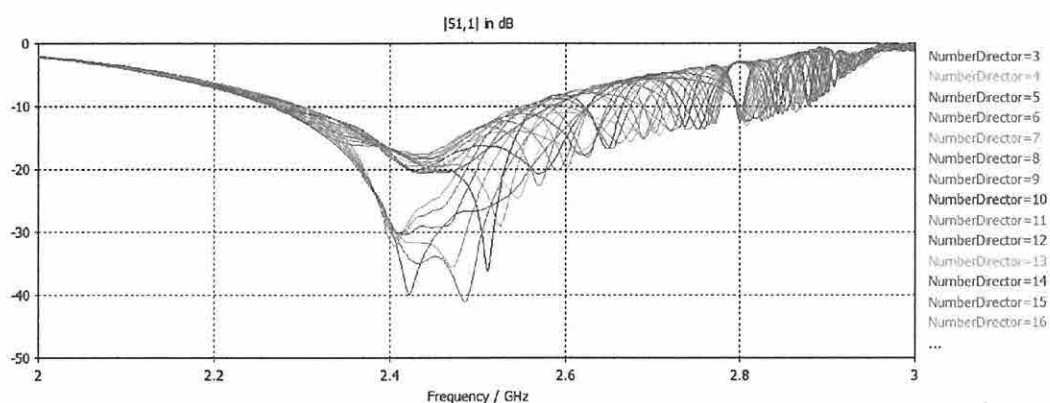


รูปที่ 4.48 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)

*** VaryDipole แทน ความยาวของสายอากาศปรินท์ไดโพล

จากรูปที่ 4.48 ซึ่งเป็นการศึกษาความยาวของสายอากาศปรินท์ไดโพลที่มีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์และค่าการสูญเสียย้อนกลับ โดยการปรับตั้งแต่ 22.93 ถึง 23 มิลลิเมตร เมื่อพิจารณาที่ต่ำกว่า -10 dB จะเห็นได้ว่าความยาวของสายอากาศไดโพลมีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์มากและการสูญเสียย้อนกลับน้อย

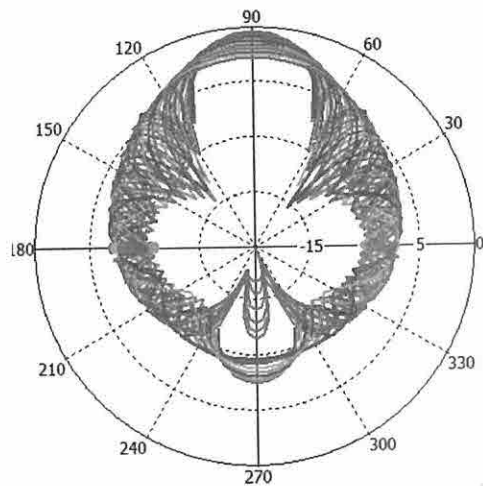
4.6.7 ทดลองใส่ตัวนำคลื่นเพิ่มเข้าไปที่ละตัวตั้งแต่ 3 ตัวถึง 20 ตัว



รูปที่ 4.49 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)

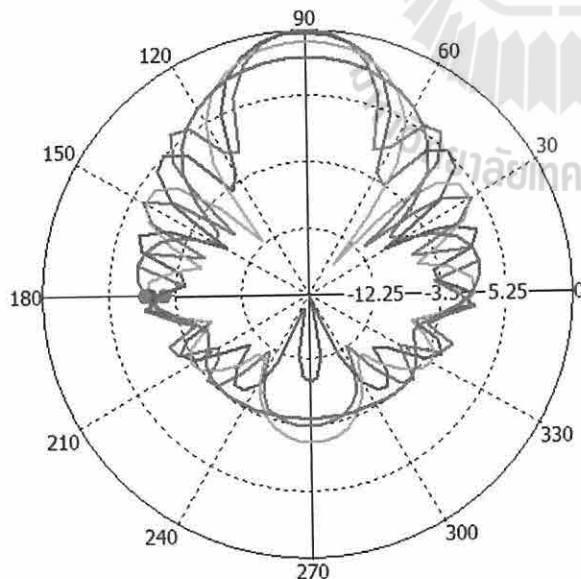
*** NumberDirector แทน จำนวนของตัวนำคลื่น

จากรูปที่ 4.49 เมื่อทำการใส่ตัวนำคลื่นตั้งแต่ 3 ตัวจนถึง 20 ตัวที่ระยะห่างเท่าๆกัน พบว่าความถี่เรโซแนนซ์มีการเปลี่ยนไปอย่างมาก แต่ความกว้างแถบความถี่ที่จำนวนตัวนำคลื่นตั้งแต่ 3 ตัวจนถึง 20 ตัวก็ยังครอบคลุมตามมาตรฐาน IEEE 802.11 b/g



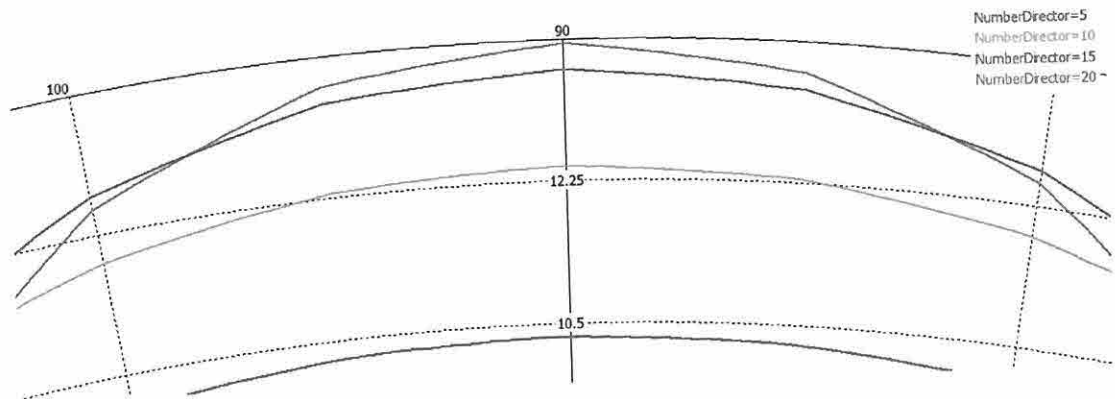
NumberDirector=3
 NumberDirector=4
 NumberDirector=5
 NumberDirector=6
 NumberDirector=7
 NumberDirector=8
 NumberDirector=9
 NumberDirector=10
 NumberDirector=11
 NumberDirector=12
 NumberDirector=13
 NumberDirector=14
 NumberDirector=15
 NumberDirector=16
 ...

รูปที่ 4.50 อัตราขยายของสายอากาศเมื่อใส่ตัวนำคลื่นตั้งแต่ 3-20 ตัว

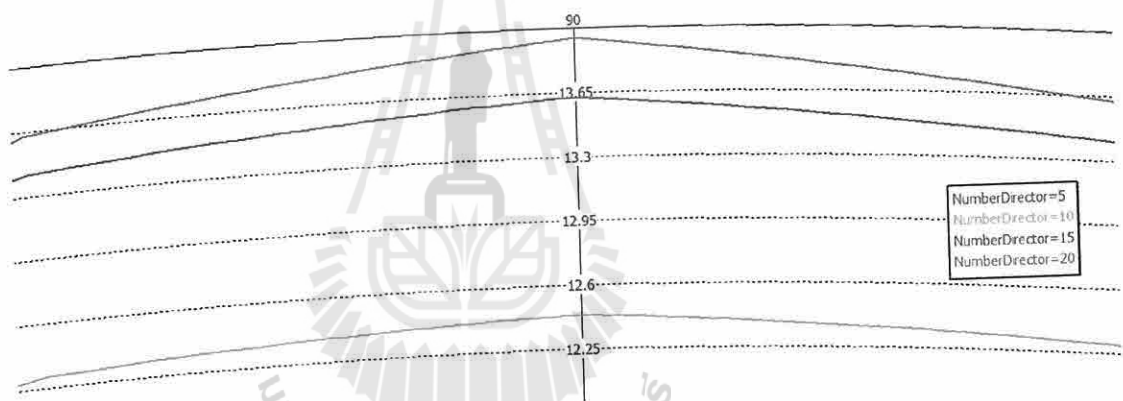


NumberDirector=5
 NumberDirector=10
 NumberDirector=15
 NumberDirector=20

รูปที่ 4.51 อัตราขยายของสายอากาศเมื่อใส่ตัวนำคลื่น(Director)ที่ 5,10,15,20 ตัว



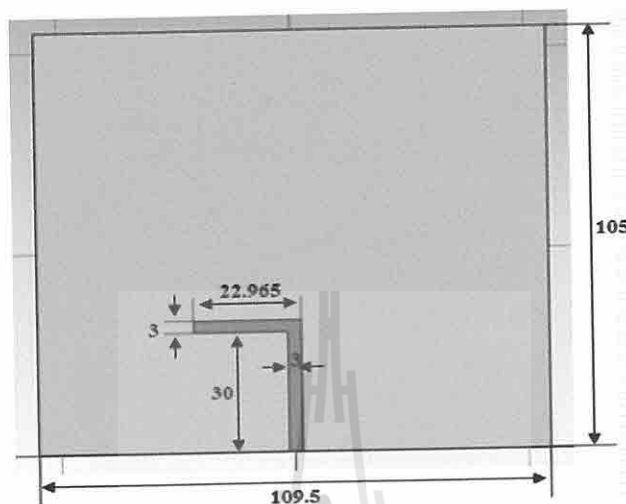
รูปที่ 4.52 อัตราขยายของสายอากาศเมื่อใส่ตัวนำคลื่น(Director)ที่ 5,10,15,20 ตัว (ภาพขยาย)



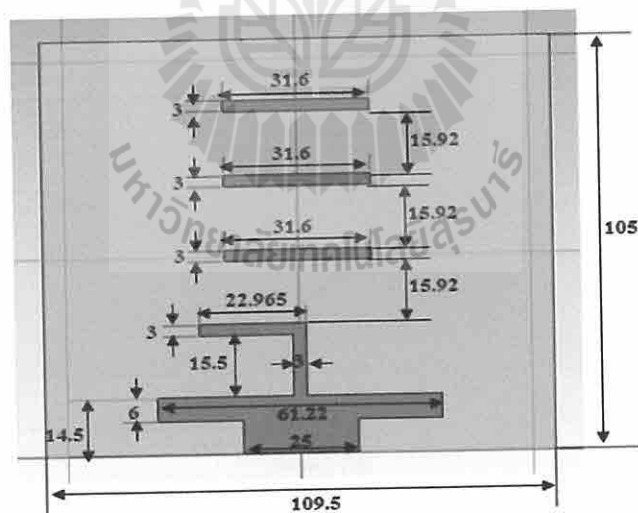
รูปที่ 4.53 อัตราขยายของสายอากาศเมื่อใส่ตัวนำคลื่น (Director) ที่ 10,15,20 ตัว (ภาพขยาย)

จากรูปที่ 4.50 และรูปที่ 4.51 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าเมื่อทำการเพิ่มจำนวนของตัวนำคลื่นเข้าไปเรื่อยๆ อัตราขยายของสายอากาศก็จะสูงตามขึ้นไปเรื่อยๆแต่ไม่เป็นเชิงเส้นเห็นได้จากรูปที่ 4.52 และ 4.53 เมื่อเราทำการใส่ตัวนำคลื่น 5 ตัวและ 10 ตัวเปรียบเทียบกันอัตราขยายของสายอากาศเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดประมาณ 2 dB แต่เมื่อเราทำการใส่ตัวนำคลื่น 15 ตัวและ 20 ตัวเปรียบเทียบกันอัตราขยายของสายอากาศเพิ่มเพียงเล็กน้อยเท่านั้นอยู่ที่ประมาณ 0.3 dB

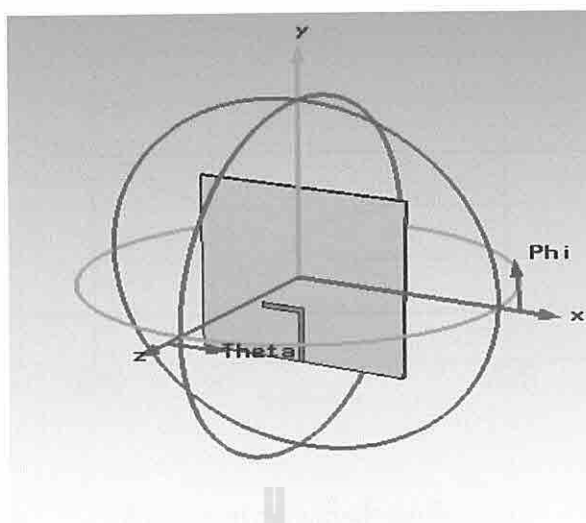
6.8 สรุปพารามิเตอร์ทั้งหมดนำมาทำการจำลองแบบสายอากาศปรินท์ไดโพลร่วมกับตัวสะท้อนคลื่นและตัวนำคลื่น 3 ตัว



(ก) ด้านหน้า



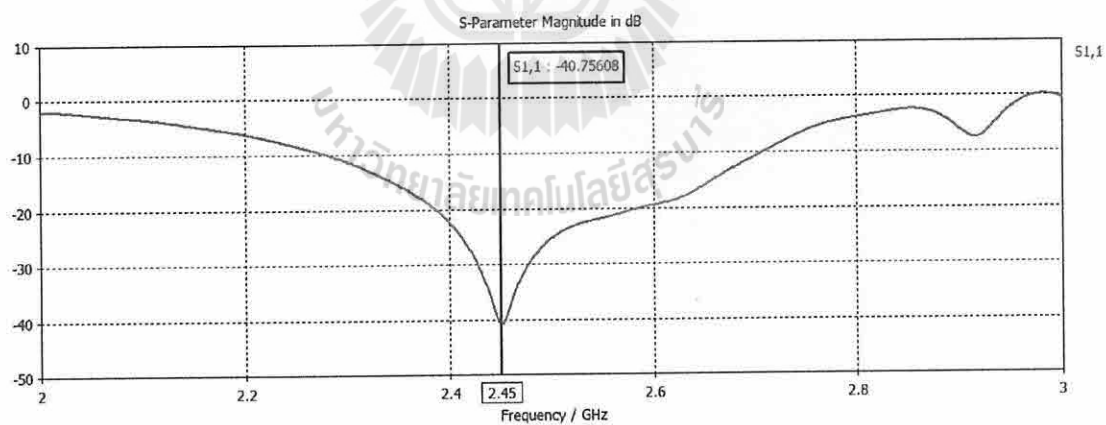
(ข) ด้านหลัง



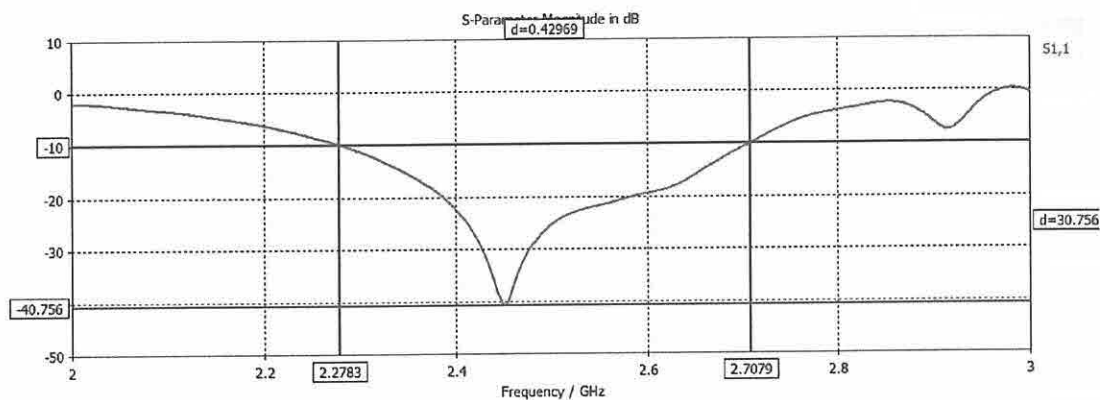
(ค) 3 มิติ

รูปที่ 4.54 ชิ้นงานในโปรแกรม CST Microwave Studio

จากนั้นทำการจำลองผลได้ผลดังนี้

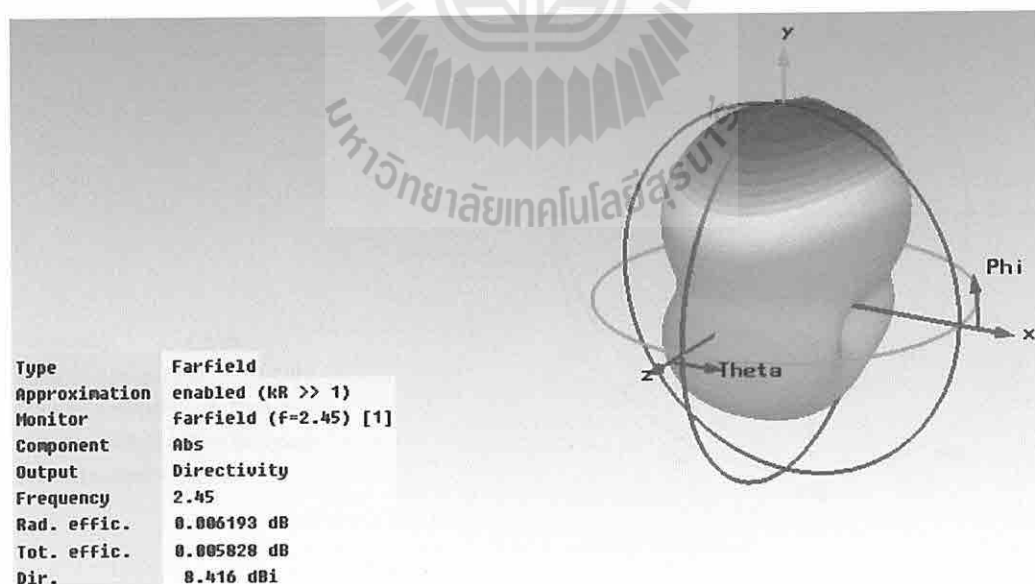


รูปที่ 4.55 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)

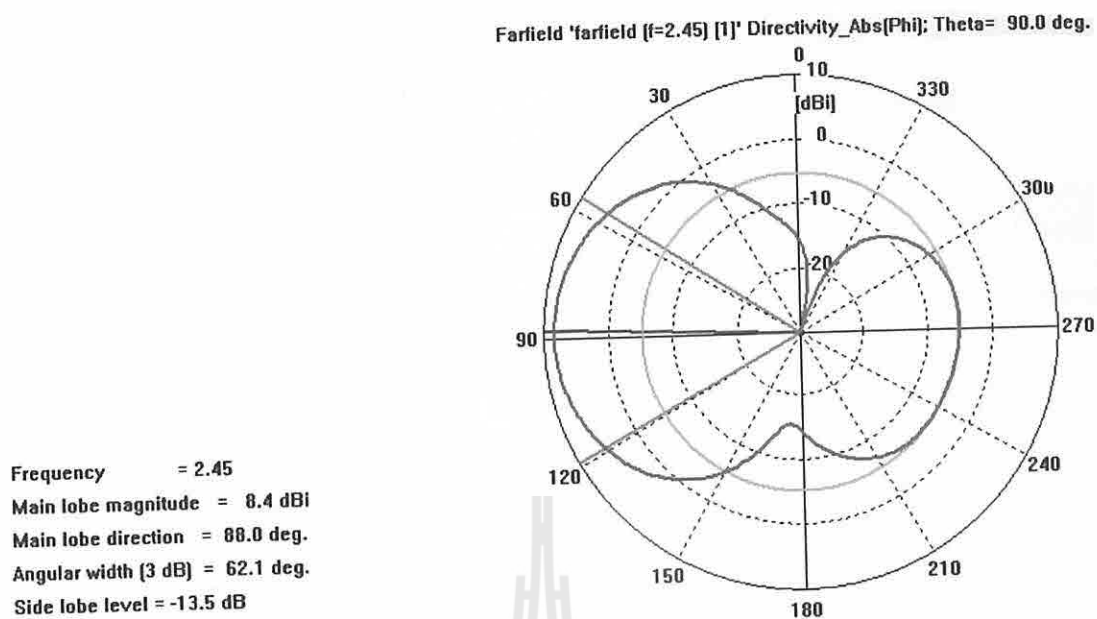


รูปที่ 4.56 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)

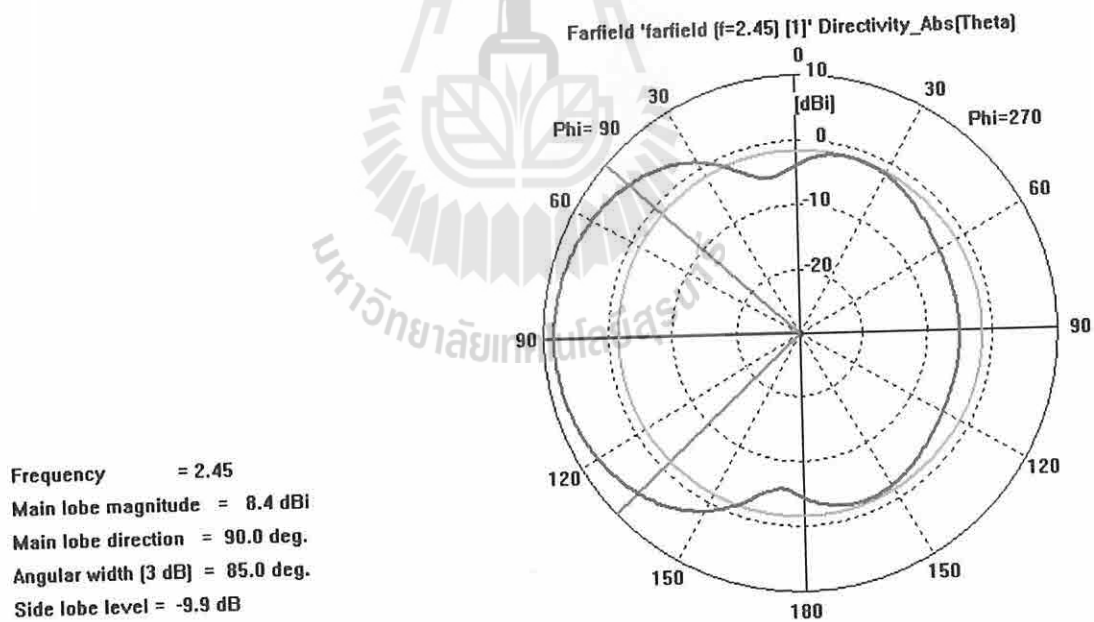
จากรูปที่ 4.55 และ 4.56 เมื่อพิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับ ที่ต่ำกว่า -10 dB พบว่าความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศปรินท์โคโพล อยู่ที่ 2.45 GHz มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -40.75 dB และมีความกว้างแถบความถี่เท่ากับ 429 MHz ซึ่งครอบคลุมย่านความถี่ตามที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 b/g



รูปที่ 4.57 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane)



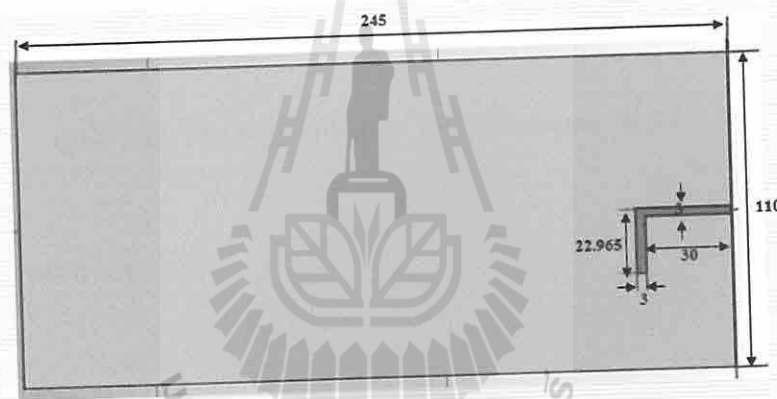
รูปที่ 4.58 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane)



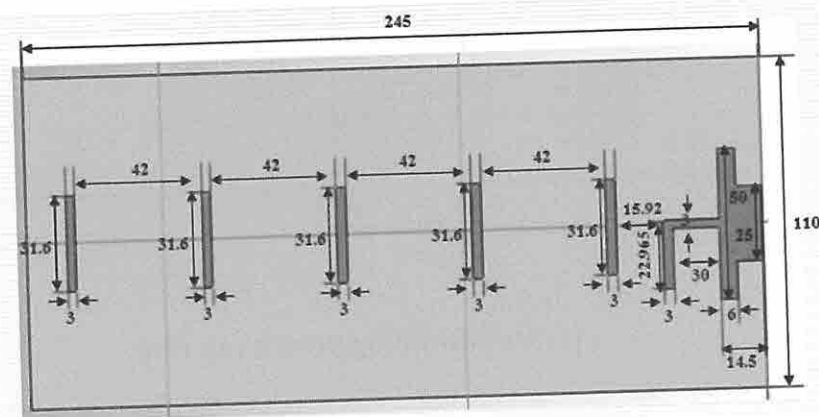
รูปที่ 4.59 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นใน 3 มิติ

จากรูปที่ 4.57 ถึง 4.59 จะเห็นว่าสายอากาศปรินท์ไดโพลเมื่อทำงานร่วมกับตัวสะท้อนคลื่นและตัวนำคลื่น 3 ตัวทำให้มีอัตรา 8.4 dBi ซึ่งมีอัตราขยายเพิ่มจากเดิมถึง 2.6 dBi จากเดิมที่ใส่ตัวนำคลื่นเพียงตัวเดียว และในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กมีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นคล้ายสายอากาศไดโพล แต่มีการแผ่กระจายคลื่นออกทางด้านหน้ามากกว่าด้านหลังมาก เนื่องจากเราได้ทำการใส่ตัวสะท้อนคลื่นเพิ่มขึ้นจากเดิมอีก 2 ตัว จึงทำให้อัตราขยายเพิ่มมากขึ้นและแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นมี พูตัญญานหลักแคบลง

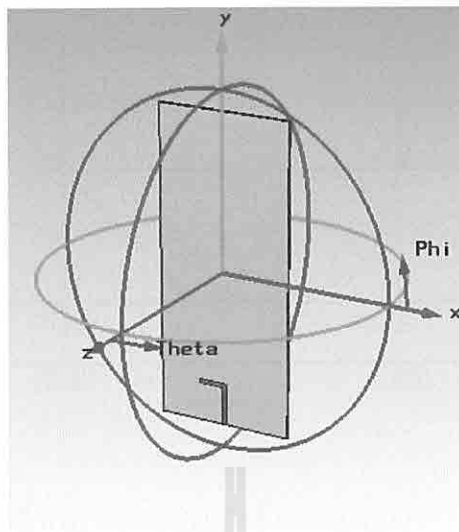
4.6.9 สรุปพารามิเตอร์ทั้งหมดนำมาทำการจำลองแบบสายอากาศปรินท์ไดโพลร่วมกับตัวสะท้อนคลื่นและตัวนำคลื่น 5 ตัว



(ก) ด้านหน้า



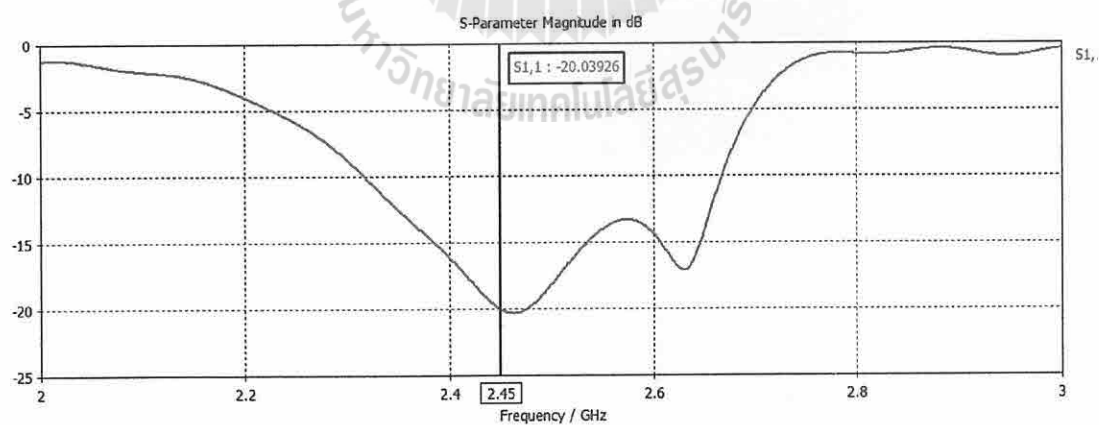
(ข) ด้านหลัง



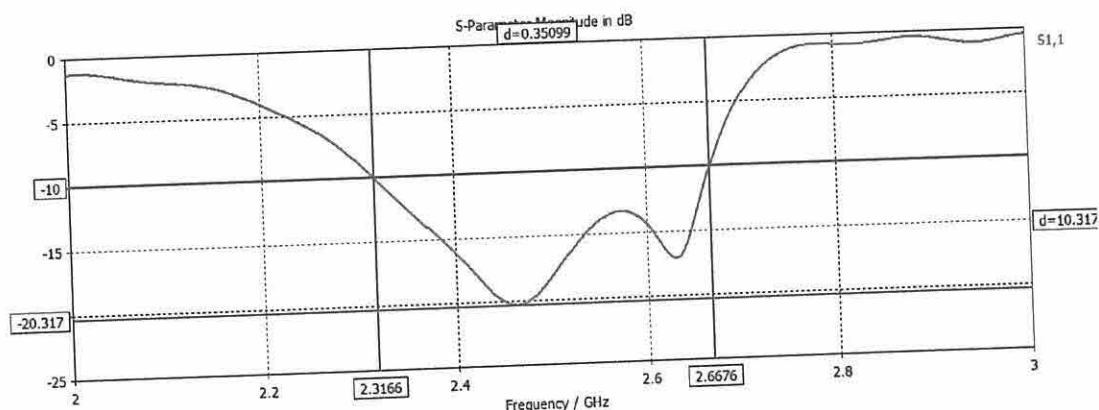
(ค) 3 มิติ

รูปที่ 4.60 ชิ้นงานในโปรแกรม CST Microwave Studio

จากนั้นทำการจำลองผลได้ผลดังนี้

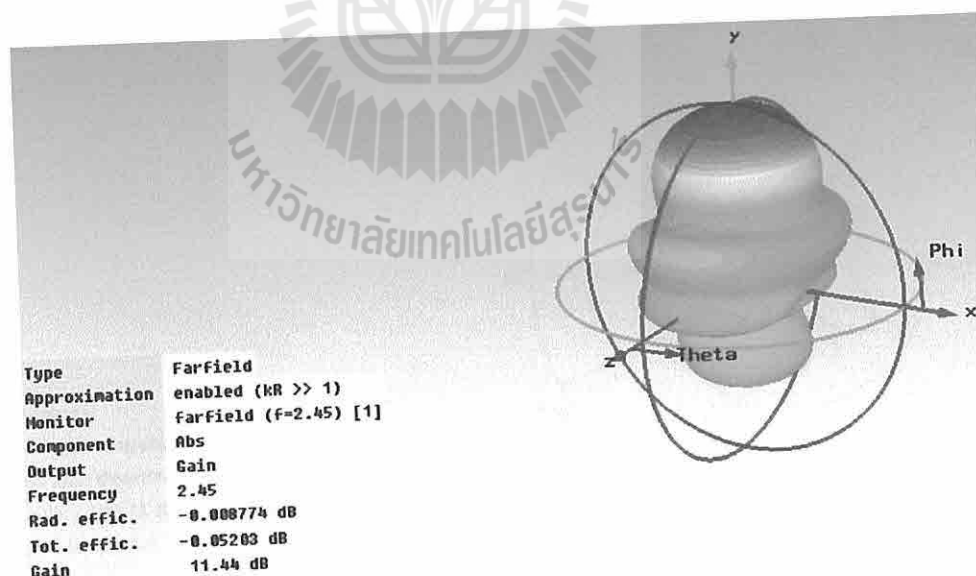


รูปที่ 4.61 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)

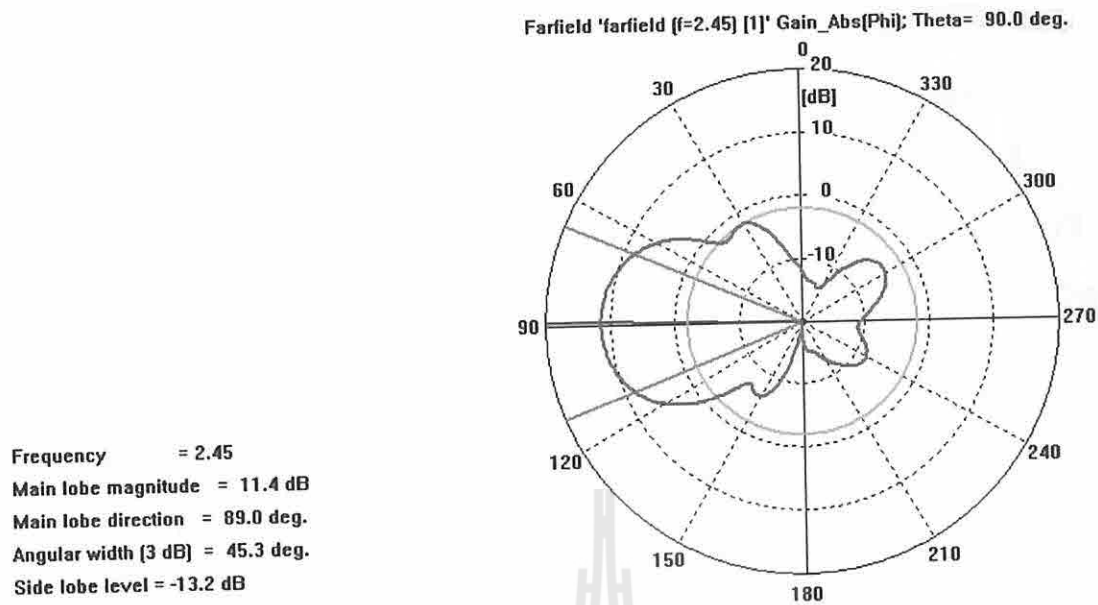


รูปที่ 4.62 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)

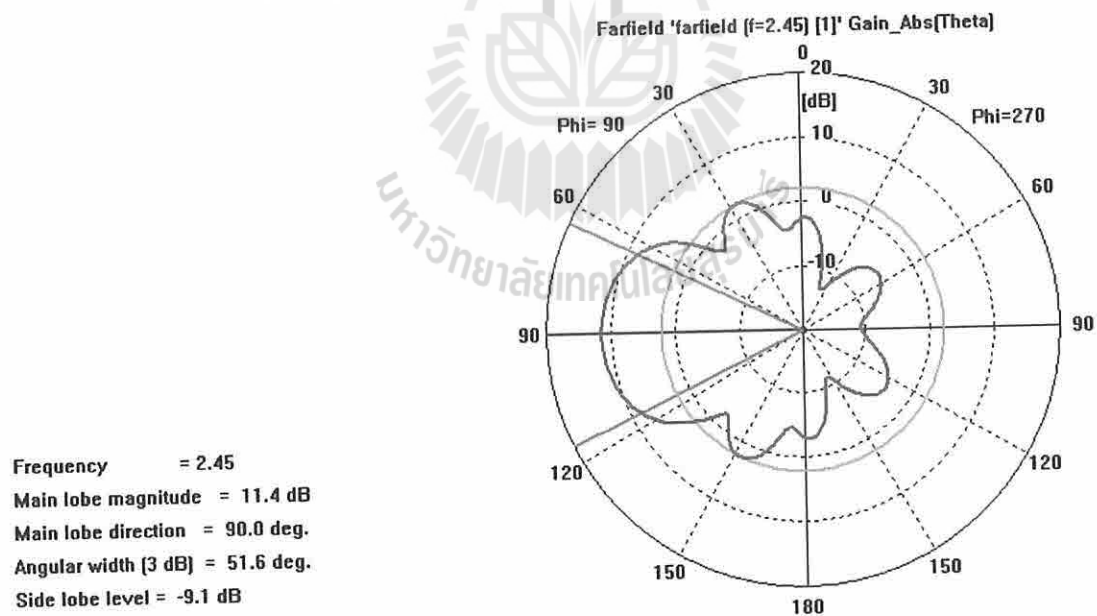
จากรูปที่ 4.61 และ 4.62 เมื่อพิจารณาที่ต่ำกว่า -10 dB จะเห็นได้ว่าความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศปรีนทิดไพลอยู่ที่ประมาณ 2.45 GHz มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -20.317 dB และมีความกว้างแถบความถี่เท่ากับ 350 MHz ซึ่งครอบคลุมย่านความถี่ตามที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 b/g



รูปที่ 4.63 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane)



รูปที่ 4.64 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane)



รูปที่ 4.65 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นใน 3 มิติ

จาก รูปที่ 4.63 ถึง 4.65 จะเห็นได้ว่าสายอากาศปรินท์ไคโพลเมื่อทำงานร่วมกับตัวสะท้อนคลื่นและตัวนำคลื่น 5 ตัวทำให้มีอัตรา 11.4 dBi ซึ่งมีอัตราขยายเพิ่มจากเดิมถึง 3 dBi จากเดิมที่ได้ตัวนำคลื่น 3 ตัว และในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กมีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นคล้ายสายอากาศไคโพล แต่มีการแผ่กระจายคลื่นออกทางด้านหน้ามากกว่าด้านหลังมาก เนื่องจากเราได้ทำการใส่ตัวสะท้อนคลื่นเพิ่มขึ้นจากเดิมอีก 2 ตัว จึงทำให้อัตราขยายเพิ่มมากขึ้นและแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นมีพหุสัญญาณหลักแคบลง

ในบทนี้ได้จำลองแบบสายอากาศปรินท์ไคโพล สายอากาศปรินท์ไคโพลที่ทำงานร่วมกับตัวสะท้อนคลื่น และสายอากาศปรินท์ไคโพลที่ทำงานร่วมกับตัวสะท้อนคลื่นและตัวนำคลื่นที่จำนวน 1 ตัว 3 ตัว และ 5 ตัว ที่ความถี่ 2.45 GHz และจะทำการสร้างชิ้นงานจริงในบทถัดไป



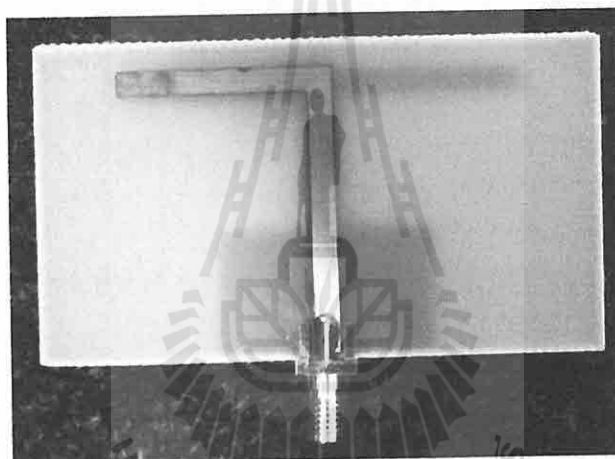
บทที่ 5

การสร้างสายอากาศปรินท์ไดโพลร่วมกับตัวสะท้อนคลื่นและตัวนำคลื่น ที่ความถี่ 2.45 GHz

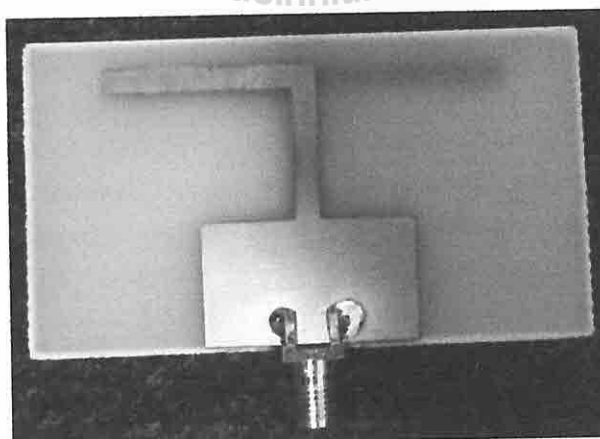
ในบทนี้จะทำการสร้างสายอากาศปรินท์ไดโพลร่วมกับตัวสะท้อนคลื่นและตัวนำคลื่น จากผลที่ได้จากการจำลองในบทที่ 4

5.1 สร้างสายอากาศปรินท์ไดโพลที่ความถี่ 2.45 GHz

จากผลการจำลองนำมาสร้างชิ้นงานได้ดังนี้

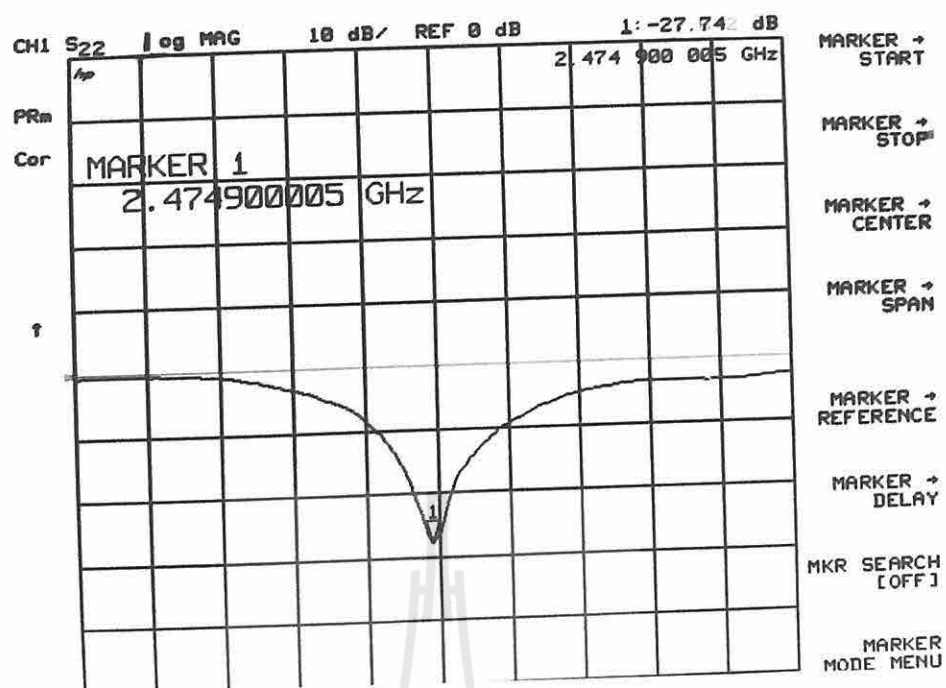


(ก) ด้านหน้า



(ข) ด้านหลัง

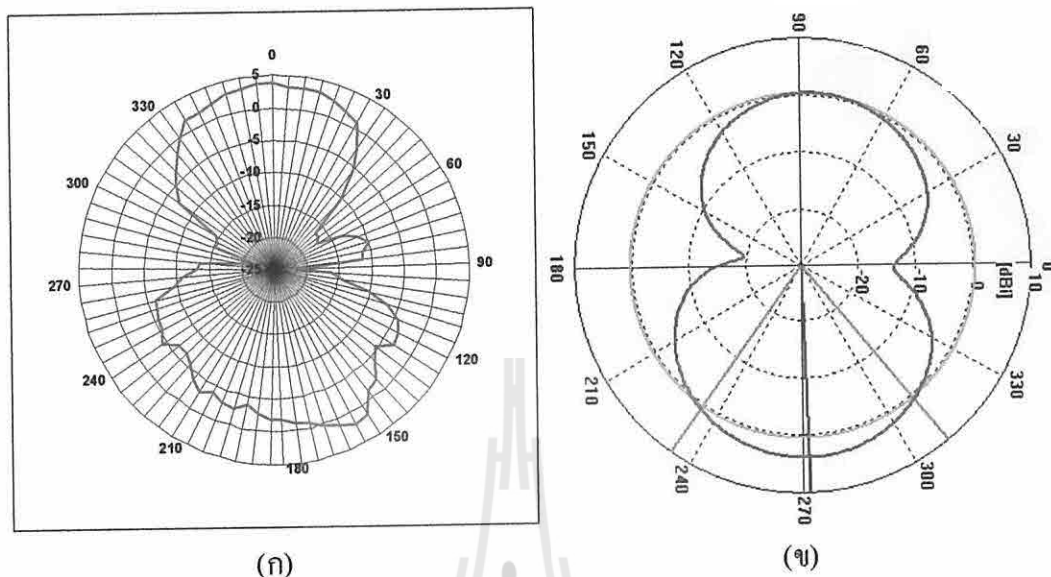
รูปที่ 5.1 ชิ้นงานจริง



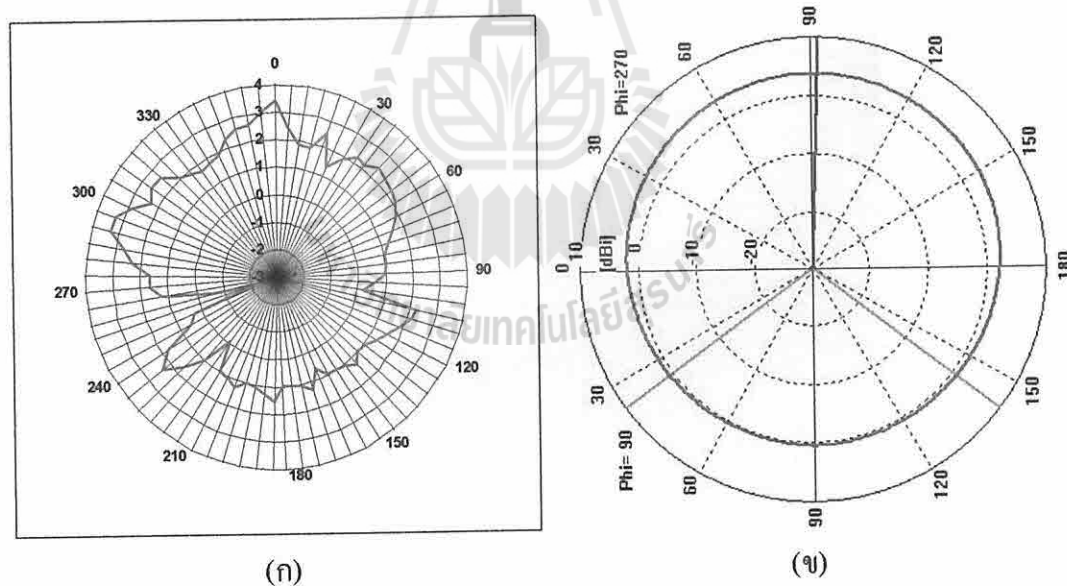
รูปที่ 5.2 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)

จากรูปที่ 5.1 เราจะเห็นได้ว่าความถี่เรโซแนนซ์อยู่ที่ 2.47 GHz และมีความกว้างแถบความถี่ตั้งแต่ 2.2856-2.7527GHz ซึ่งครอบคลุมย่านความถี่ตามที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 b/g

แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานเมื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลองแล้ว ได้ดังนี้



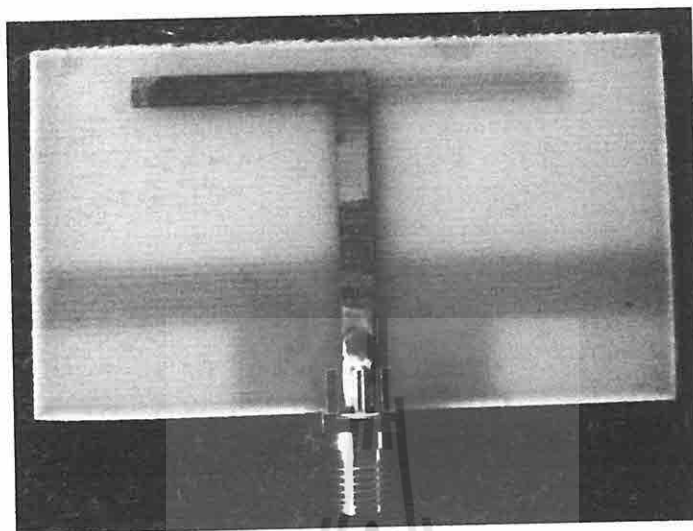
รูปที่ 5.3 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane)



รูปที่ 5.4 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane)

จาก รูปที่ 5.3 และ 5.4 จะเห็นได้ว่าแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานจากการสร้างชิ้นงานจริงและผลจากการจำลองนั้นใกล้เคียงกัน และอัตราขยายของสายอากาศที่วัดได้จริงคือ 3.853 dB นั้นแสดงให้เห็นว่าการออกแบบสายอากาศและการสร้างชิ้นงานของเรานั้นถูกต้องและได้มาตรฐาน

5.2 การสร้างสายอากาศปรินท์ไดโพลร่วมกับตัวสะท้อนคลื่นที่ความถี่ 2.45 GHz
จากผลการจำลองนำมาสร้างชิ้นงานได้ดังนี้

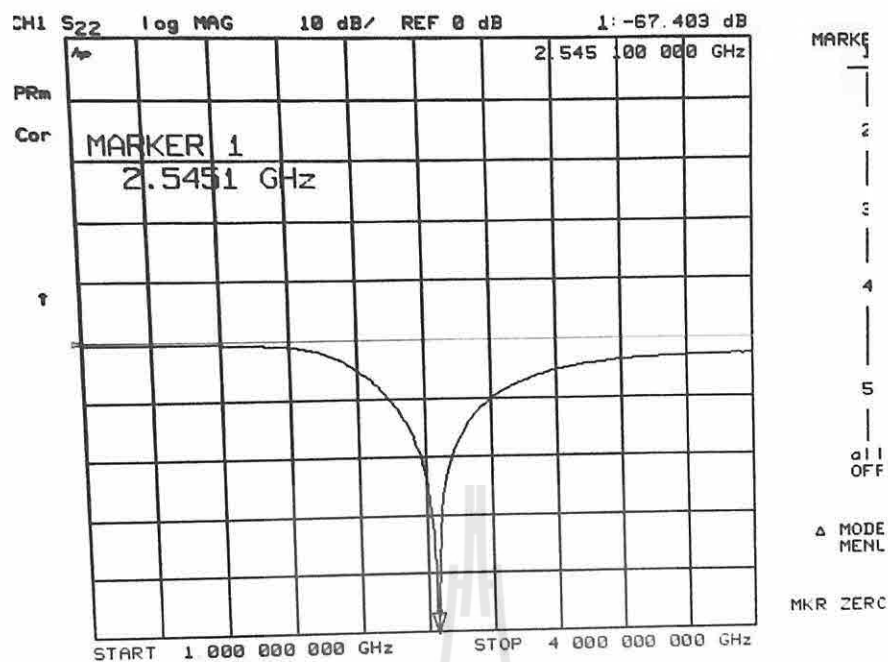


(ก) ด้านหน้า



(ข) ด้านหลัง

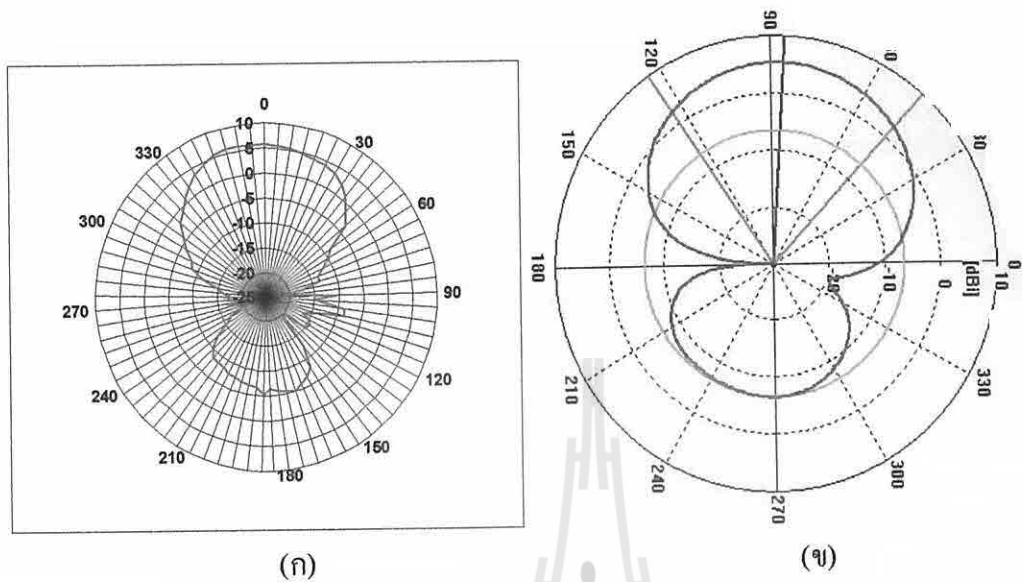
รูปที่ 5.5 ชิ้นงานจริง



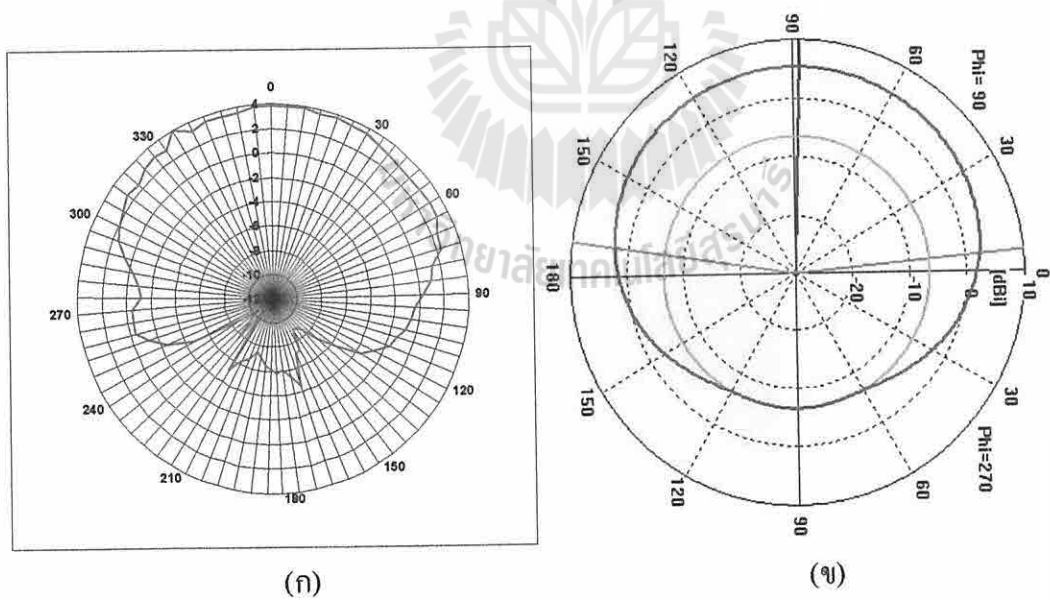
รูปที่ 5.6 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)

จากรูปที่ 5.6 เราจะเห็นได้ว่าความถี่เรโซแนนซ์อยู่ที่ 2.54 GHz และมีความกว้างแถบความถี่ตั้งแต่ 2.3447-2.8007 GHz ซึ่งครอบคลุมย่านความถี่ตามที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 b/g

แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานเมื่อเปรียบเทียบกับผลการแล้วจำต้องแล้วได้ดังนี้



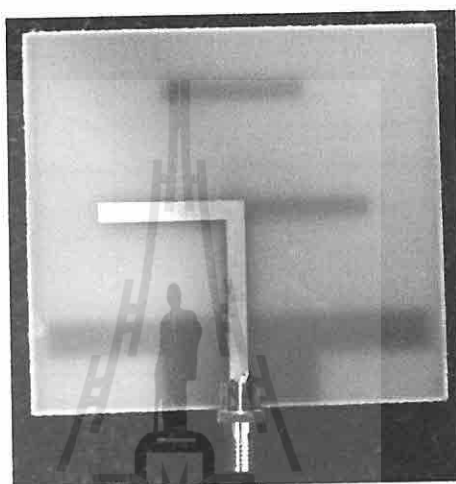
รูปที่ 5.7 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane)



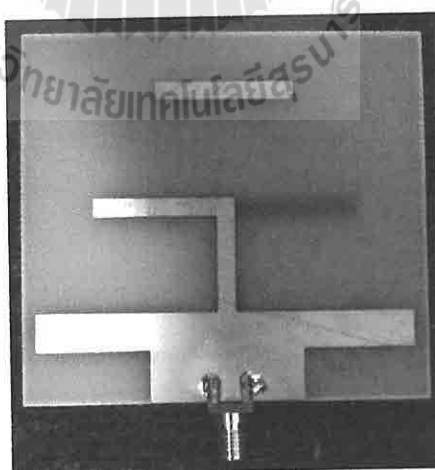
รูปที่ 5.8 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane)

จาก รูปที่ 5.7 และ 5.8 จะเห็นได้ว่าแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานจากการสร้างชิ้นงานจริงและผลจากการจำลองนั้นใกล้เคียงกัน และอัตราขยายของสายอากาศที่วัดได้จริงคือ 5.735 dB นั้นแสดงให้เห็นว่าการออกแบบสายอากาศและการสร้างชิ้นงานของเรานั้นถูกต้องและได้มาตรฐาน

5.3 การสร้างสายอากาศปรีนทีไดโพลร่วมกับตัวสะท้อนคลื่นและตัวนำคลื่น ที่ความถี่ 2.45 GHz
จากผลการจำลองที่ใส่ตัวนำคลื่น 1 ตัวนำมาสร้างชิ้นงานได้ดังนี้



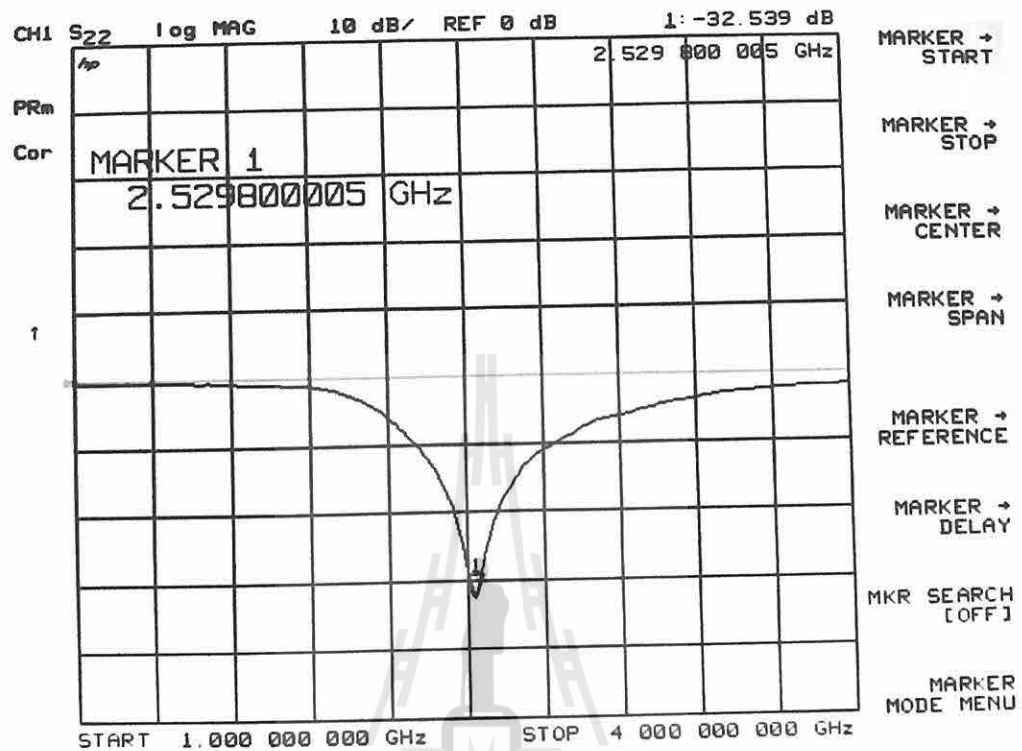
(ก) ด้านหน้า



(ข) ด้านหลัง

รูปที่ 5.9 ชิ้นงานจริง

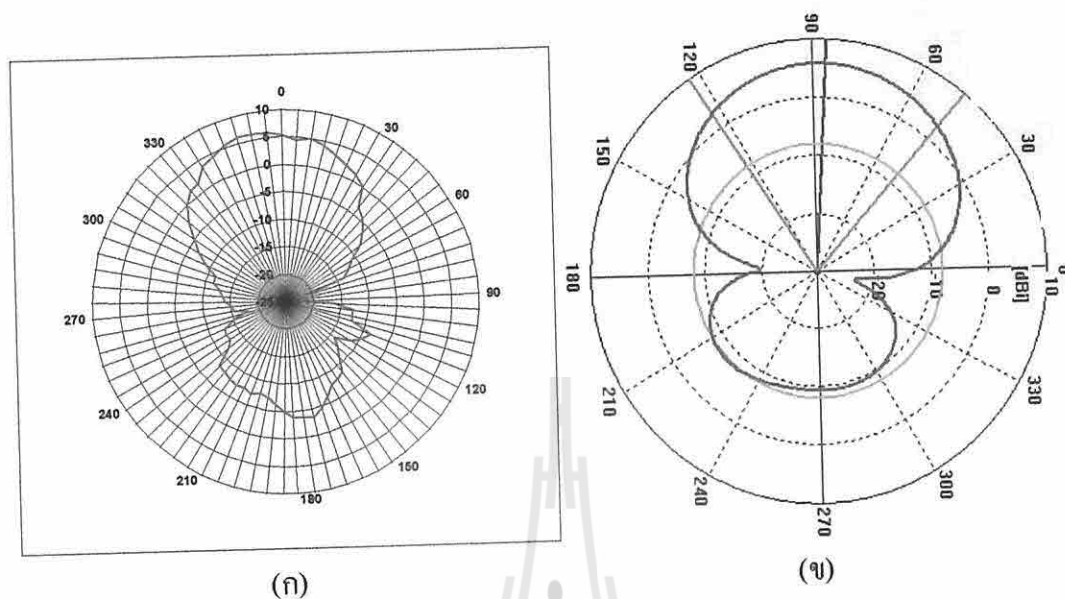
มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11) ดังนี้



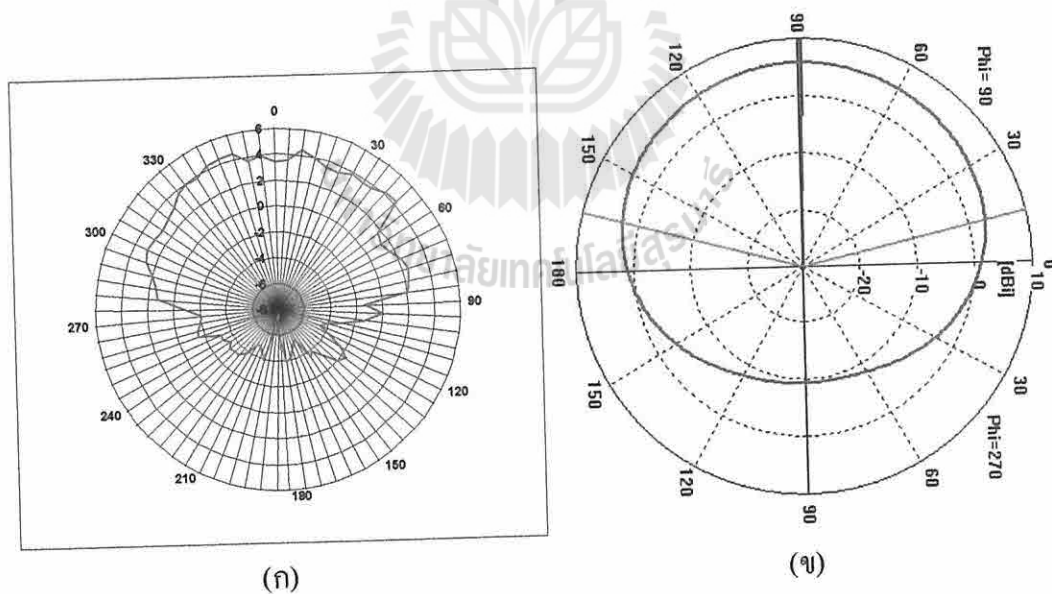
รูปที่ 5.10 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)

จากรูปที่ 5.10 เราจะเห็นได้ว่าความถี่เรโซแนนซ์คือ 2.5298 GHz และมีความกว้างแถบความถี่ตั้งแต่ 2.3075-2.8529GHz ซึ่งครอบคลุมย่านความถี่ตามที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 b/g

มีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานเมื่อเปรียบเทียบกับผลการแล้วจำลองแล้ว ได้ดังนี้



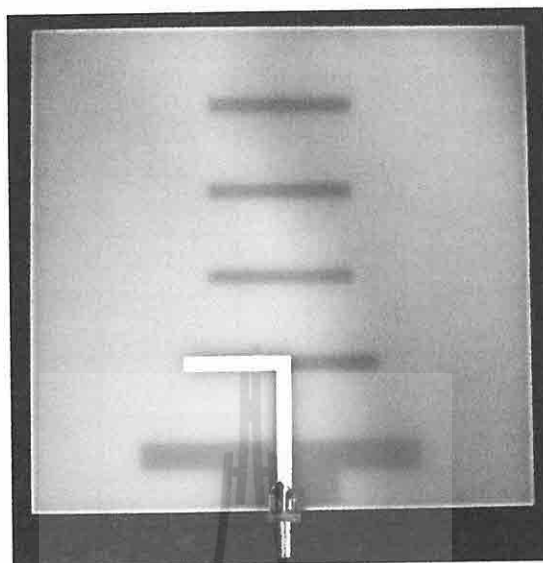
รูปที่ 5.11 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane)



รูปที่ 5.12 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane)

จาก รูปที่ 5.11 และ 5.12 จะเห็นว่าแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานจากการสร้างชิ้นงานจริงและผลจากการจำลองนั้นใกล้เคียงกัน และอัตราขยายของสายอากาศที่วัดได้จริงคือ 5.855dB นั้นแสดงให้เห็นว่าการออกแบบสายอากาศและการสร้างชิ้นงานของเรานั้นถูกต้องและได้มาตรฐาน

จากผลการจำลองที่ได้ตัวนำคลื่น 3 ตัวนำมาสร้างชิ้นงานได้ดังนี้

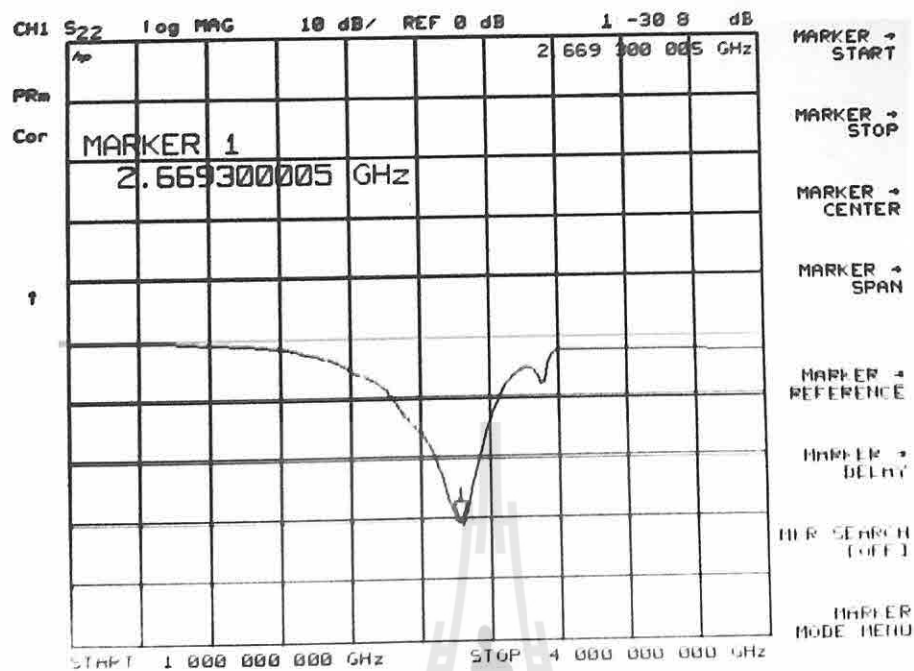


(ก) ด้านหน้า



(ข) ด้านหลัง

รูปที่ 5.13 ชิ้นงานจริง

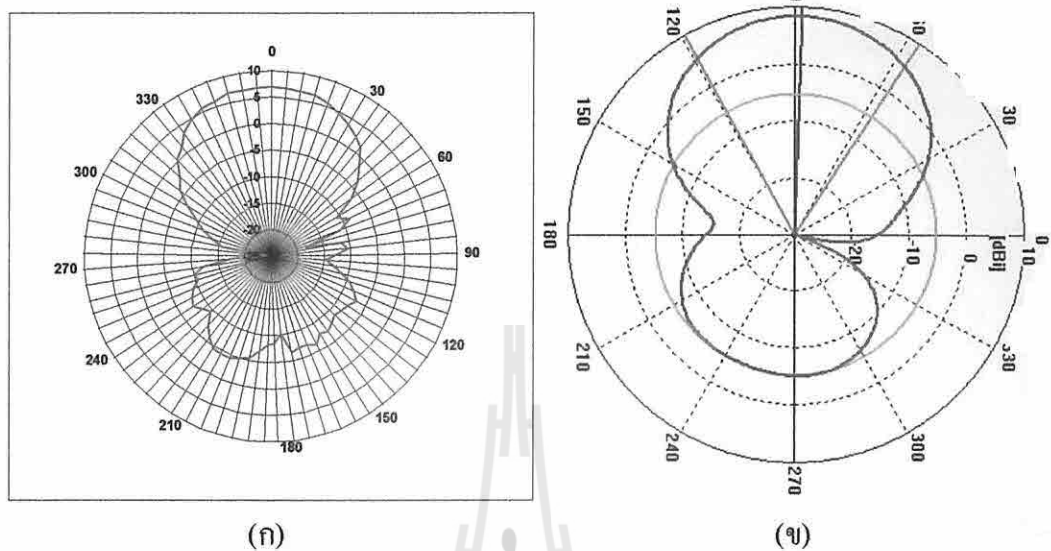


รูปที่ 5.14 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)

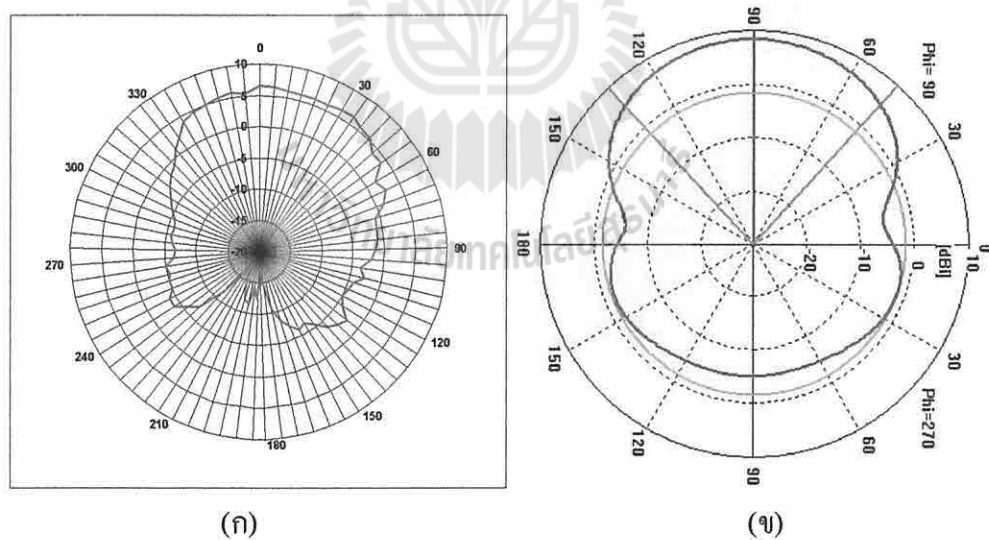
จากรูปที่ 5.14 เราจะเห็นได้ว่าความถี่เรโซแนนซ์คือ 2.6693 GHz และมีความกว้างแถบความถี่ตั้งแต่ 2.3596-2.7553GHz ซึ่งครอบคลุมย่านความถี่ตามที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 b/g

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานเมื่อเปรียบเทียบกับผลการแล้วจำลองแล้วได้ดังนี้



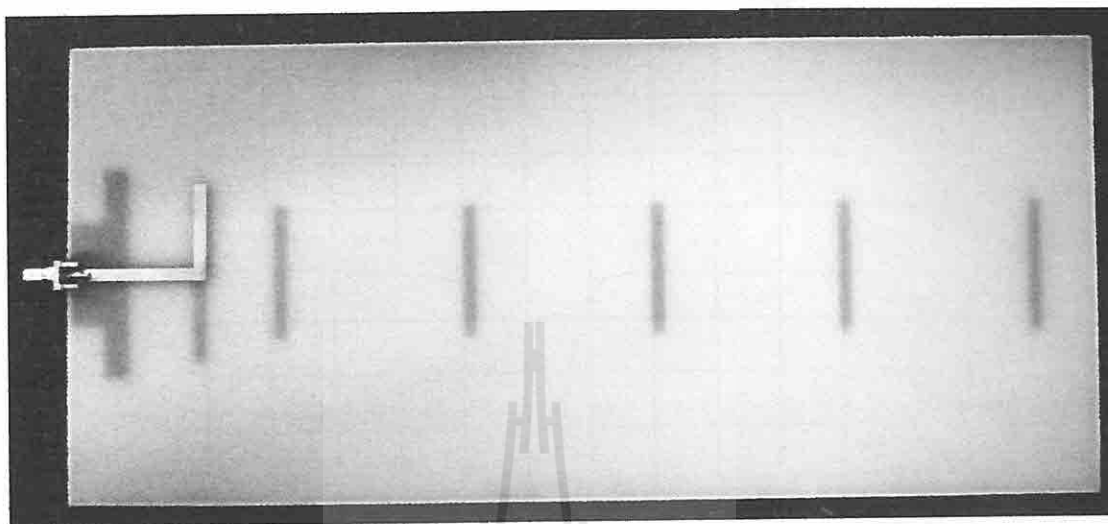
รูปที่ 5.15 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane)



รูปที่ 5.16 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane)

จาก รูปที่ 5.15 และ 5.16 จะเห็นได้ว่าแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานจากการสร้างชิ้นงานจริงและผลจากการจำลองนั้นใกล้เคียงกัน และอัตราขยายของสายอากาศที่วัดได้จริงคือ 6.845 dB นั้นแสดงให้เห็นว่าการออกแบบสายอากาศและการสร้างชิ้นงานของเรานั้นถูกต้องและได้มาตรฐาน

จากผลการจำลองที่ได้ตัวนำคลื่น 5 ตัวนำมาสร้างชิ้นงานได้ดังนี้



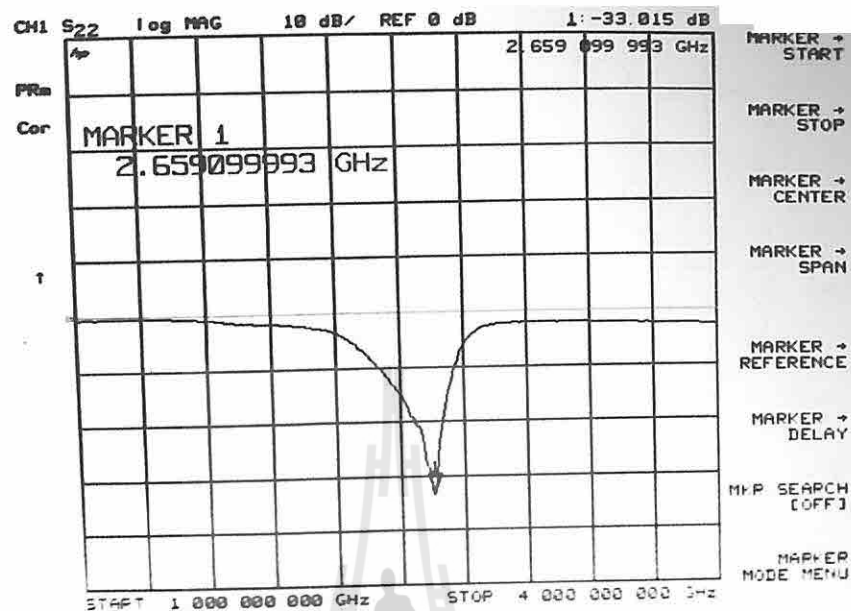
(ก) ด้านหน้า



(ข) ด้านหลัง

รูปที่ 5.17 ชิ้นงานจริง

การสูญเสียย้อนกลับ (S11) ดังนี้

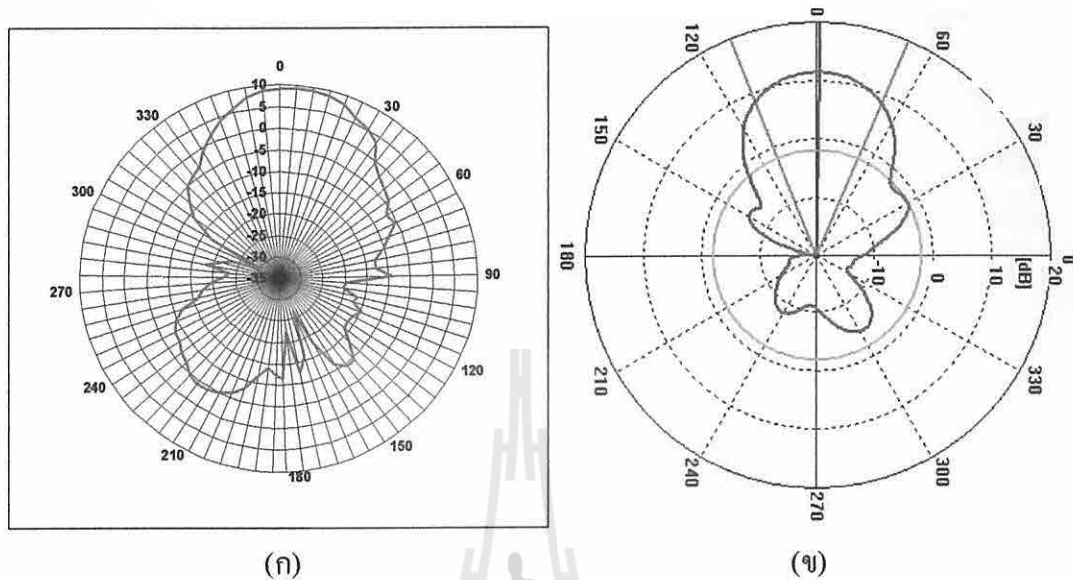


รูปที่ 5.18 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11)

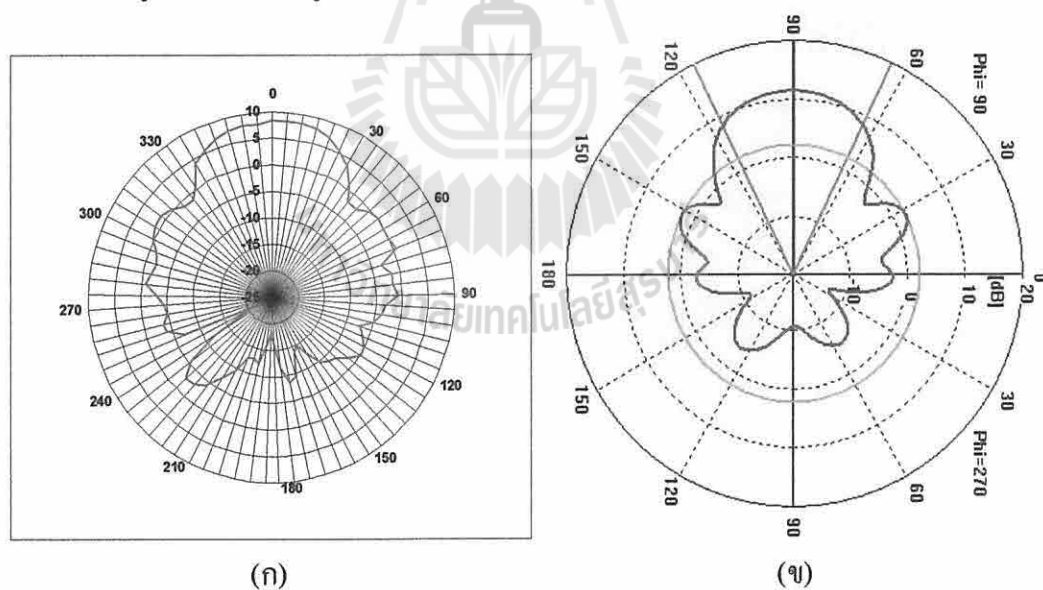
จากรูปที่ 5.18 เราจะเห็นได้ว่าความถี่เรโซแนนซ์ คือ 2.6590 GHz และมีความกว้างแถบความถี่ ตั้งแต่ 2.3956-2.7553GHz ซึ่งครอบคลุมย่านความถี่ตามที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 b/g

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานเมื่อเปรียบเทียบกับผลการแล้วจำลองแล้วได้ดังนี้



รูปที่ 5.19 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane)



รูปที่ 5.20 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane)

จาก รูปที่ 5.19 และ 5.20 จะเห็นว่าแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานจากการสร้างชิ้นงานจริงและผลจากการจำลองนั้นใกล้เคียงกัน และอัตราขยายของสายอากาศที่วัดได้จริงคือ 9.085 dB นั้นแสดงให้เห็นว่าการออกแบบสายอากาศและการสร้างชิ้นงานของเรานั้นถูกต้องและได้มาตรฐาน

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป

โครงการฉบับนี้เป็นการนำเสนอสายอากาศสำหรับการแผ่กระจายคลื่น โดยทำการออกแบบสายอากาศปรินท์ไคโพล โดยมีการทำงานร่วมกับตัวนำคลื่นและตัวสะท้อนคลื่น โดยอาศัยโครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศยาคิ-อูตะ โดยสายอากาศที่ได้จากการออกแบบมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนสามารถสร้างชิ้นงานได้ง่าย มีความแข็งแรง น้ำหนักเบา และต้นทุนต่ำ

ในเชิงทฤษฎีได้นำโปรแกรม CST-Microwave Studio เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์คุณลักษณะต่างๆของสายอากาศ ได้แก่ แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน ค่าการสูญเสียย้อนกลับ อัตราขยายของสายอากาศ จำนวนตัวนำคลื่นที่มีผลต่ออัตราขยาย ซึ่งจะช่วยให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับสายอากาศมากขึ้น

6.2 ข้อเสนอแนะ

สิ่งสำคัญที่สุดในการทำโครงการคือ ต้องมีความรู้ความเข้าใจในการใช้โปรแกรมเป็นอย่างดีเพื่อให้สามารถสร้างแบบจำลองต่างๆ ได้รวดเร็วและเหมือนจริงมากที่สุด

บรรณานุกรม

- [1] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รังสรรค์ วงศ์สรรค์ :วิศวกรรมสายอากาศ
(Antenna engineering)
- [2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยาภรณ์ กระฉอดนอก :วงจรข่ายสื่อสารและสายส่งสัญญาณ
(Communication Networks and Transmission Lines)
- [3] www.ieee.org
- [4] www.monsterfm.com/engineering/antcalc.htm
- [5] www.ansoft.com

