



สายอากาศวิวลติแบบไม่สมมาตรสำหรับจุดเข้าถึงในระบบการสื่อสารท้องถิ่นแบบไร้สาย

โดย

1. นายวัชรพงศ์ เสือเปรม รหัสนักศึกษา B4905578
2. นางสาวสกวเดือน หลีแก้วสาย รหัสนักศึกษา B4906452

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชา 427499 โครงการวิศวกรรมโทรคมนาคม

ประจำภาคการศึกษาที่ 3 ปีการศึกษา 2552

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2545

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โครงการ	สายอากาศวิวลติแบบไม่สมมาตรสำหรับจุดเข้าถึงในระบบการสื่อสาร ท้องถิ่นแบบไร้สาย	
จัดทำโดย	1. นายวัชรพงศ์ เสือเปรม	รหัสนักศึกษา B4905578
	2. นางสาวสกวเดือน หลีแก้วสาย	รหัสนักศึกษา B4906452
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. ปิยาภรณ์ กระจงนอก	
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม	
ภาคการศึกษาที่	3/ 2552	

---

### บทคัดย่อ (Abstract)

โครงการนี้นำเสนอการออกแบบสายอากาศวิวลติ ซึ่งเป็นสายอากาศร่องแบบเรียวที่มีความโค้งแบบเอ็กโปเนนเชียล สำหรับเป็นจุดเข้าถึงในระบบการสื่อสารท้องถิ่นแบบไร้สาย ในขั้นตอนการออกแบบจะใช้โปรแกรม MATLAB สำหรับสร้างเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียล โดยทำการปรับเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียลทั้งสองเส้นให้มีลักษณะไม่สมมาตรกัน เพื่อให้ค่าคลื่นหลักของสายอากาศมีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานไปในทิศทางที่ต้องการ โดยสายอากาศดังกล่าวจะถูกติดตั้งบริเวณผนังอาคารสูงๆ หลังจากนั้นจะทำการจำลองแบบสายอากาศโดยใช้โปรแกรม CST ต่อไป ในส่วนสุดท้ายจะทำการสร้างสายอากาศต้นแบบ และวัดทดสอบประสิทธิภาพเปรียบเทียบผลกับค่าที่ได้จากโปรแกรมการจำลองแบบด้วย CST

## กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

จากการที่คณะจัดทำรายงานได้รับมอบหมายให้ทำโครงการเรื่อง สายอากาศวิวลติสำหรับจุดเข้าถึงในระบบการสื่อสารท้องถิ่นแบบไร้สาย เพื่อศึกษาเกี่ยวกับสายอากาศวิวลติแล้วนำความรู้ที่ได้มาดัดแปลงสายอากาศวิวลติให้มีการแผ่กระจายกำลังงานที่ดีและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยการออกแบบสายอากาศในโปรแกรม CST ทำให้ผู้จัดทำได้รับความรู้เกี่ยวกับการออกแบบสายอากาศและการใช้โปรแกรม CST มากยิ่งขึ้น บัดนี้โครงการดังกล่าวพร้อมทั้งรายงานได้สำเร็จลงแล้ว ทั้งนี้ด้วยความร่วมมือและสนับสนุนจากบุคคลต่างๆ ดังนี้

1. ผศ.ดร. ปิยาภรณ์ กระจอดนอก (อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ)
2. นางสาว เกาทัทร คำพิกุล (นักศึกษาปริญญาเอก สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม)
3. นาย ศรันย์ คัมภีร์ภัทร (นักศึกษาปริญญาเอก สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม)
4. นาย ไพศาล ทุมมาศ (นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม)

ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูลและเป็นที่ปรึกษาในการทำรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ตลอดจนให้การดูแลและให้ความเข้าใจเกี่ยวกับพื้นฐานการใช้งานโปรแกรม ซึ่งข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นายวัชรพงศ์ เสือเปรม

นางสาวสกวเดือน หลีแก้วสาย

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตงาน	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 กล่าวนำ	3
2.2 ระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย	3
2.3 การแผ่กระจายกำลังงานสายอากาศ	8
2.4 สายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริป	15
2.5 สายอากาศวิวอลดิ	17
2.6 กล่าวสรุป	21
บทที่ 3 สายอากาศวิวอลดิแบบไม่สมมาตรสำหรับจุดเข้าถึงในระบบการสื่อสารท้องถิ่นแบบไร้สาย	22
3.1 กล่าวนำ	22
3.2 การคำนวณขนาดของสายอากาศวิวอลดิ	22
3.3 การหาสมการเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียลโดยใช้โปรแกรม MATLAB	25
3.4 ขั้นตอนการออกแบบและวิเคราะห์พารามิเตอร์	31
3.5 การประมวลผลสายอากาศวิวอลดิที่ออกแบบในโปรแกรม CST	39
3.6 ผลที่ได้จากการออกแบบสายอากาศในโปรแกรม CST	42
3.7 สรุป	42
บทที่ 4 ผลการทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบ	55
4.1 กล่าวนำ	55
4.2 การสร้างสายอากาศวิวอลดิ	55
4.3 ผลการวัดและทดสอบสายอากาศ	61

4.4 สรุป	61
<b>บทที่ 5 บทสรุป</b>	70
5.1 สรุป	70
5.2 ข้อเสนอแนะ	71
5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป	72
5.4 การนำสายอากาศต้นแบบไปใช้งานจริง	72
<b>ประวัติผู้จัดทำโครงการ</b>	73
<b>บรรณานุกรม</b>	74



## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 การเชื่อมต่อแบบกลุ่มส่วนตัว	4
รูปที่ 2.2 การเชื่อมต่อแบบกลุ่ม โครงสร้าง	4
รูปที่ 2.3 เครื่องหมาย Wi-Fi	6
รูปที่ 2.4 ระบบพิกัดทรงกลมซึ่งใช้สำหรับการวิเคราะห์สายอากาศ	9
รูปที่ 2.5 แบบรูปการแผ่คลื่นแบบรอบตัวในระนาบเดียว	10
รูปที่ 2.6 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานหลักในระนาบสนามไฟฟ้า และแม่เหล็กของสายอากาศปากแตรทรงพีรามิด	11
รูปที่ 2.7 (ก) แสดงโพลการแผ่คลื่นและความกว้างลำของแบบรูปการแผ่คลื่นของสายอากาศ (ข) ภาพพล็อตเชิงเส้นของแบบรูปกำลังงานและโพลที่เกิดขึ้นและความกว้างลำของ แบบรูปการแผ่คลื่น	12
รูปที่ 2.8 บริเวณสนามที่เกิดขึ้นของสายอากาศ	13
รูปที่ 2.9 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่คำนวณได้ ของสายอากาศพาราโบลิก ที่ระยะต่างๆกันเมื่อวัดจากสายอากาศ	13
รูปที่ 2.10 รูปทรงทางเรขาคณิตที่ใช้แสดงความแตกต่างระหว่าง Radian และ Steradian	14
รูปที่ 2.11 สายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริป	15
รูปที่ 2.13 การแผ่กระจายคลื่นของสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริป	16
รูปที่ 2.14 การกำหนดค่าของสายอากาศวิวอลดิ (ก) สายอากาศวิวอลดิแบบสมมาตร (ข) สายอากาศวิวอลดิแบบไม่สมมาตร	18
รูปที่ 2.15 กราฟแสดงค่าการสูญเสียที่ได้จากสายอากาศที่จำลอง	19
รูปที่ 2.16 แสดงแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ (ก) ที่ความถี่ 9.5 GHz (ข) ที่ความถี่ 10 GHz (ค) ที่ความถี่ 10.5 GHz	20
รูปที่ 2.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความโค้งของสายอากาศ	21

## กับความถี่ที่สายอากาศรับได้

รูปที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศวิวอลดี	23
รูปที่ 3.2 ค่า $c_1$ และ $c_2$ ที่ได้จากโค้ดด้านบน	26
รูปที่ 3.3 กราฟเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียลด้านบน	27
รูปที่ 3.4 ข้อมูลพิกัดของเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียลด้านบน	27
รูปที่ 3.5 ค่าเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียลด้านบนลง Notepad	28
รูปที่ 3.6 ค่า $c_1$ และ $c_2$ ที่ได้จากโค้ดด้านบน	29
รูปที่ 3.7 กราฟเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียลด้านล่าง	30
รูปที่ 3.8 ข้อมูลพิกัดของเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียลด้านล่าง	30
รูปที่ 3.9 ค่าเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียลด้านล่างลง Notepad	31
รูปที่ 3.10 การสร้างเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียลด้านบน โดยโปรแกรม CST	31
รูปที่ 3.11 เส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียลด้านบน	32
รูปที่ 3.12 เส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียลด้านล่าง	32
รูปที่ 3.13 การวาดและป้อนค่าให้ได้ขนาดตามที่คำนวณของสายอากาศวิวอลดี	33
รูปที่ 3.14 สายอากาศวิวอลดีที่วาด	33
รูปที่ 3.15 การป้อนค่าพารามิเตอร์	34
รูปที่ 3.16 การวาดรูปวงกลม	34
รูปที่ 3.17 การเชื่อมต่อวงกลมกับเส้นโค้งให้เป็นรูปเดียวกัน	35
รูปที่ 3.18 การเพิ่มความหนาของ PEC	35
รูปที่ 3.19 การสร้าง Substrate	36
รูปที่ 3.20 การเปลี่ยนสีของ Substrate	36
รูปที่ 3.21 การเพิ่มขนาดของ PEC	37
รูปที่ 3.22 การเพิ่มขนาดของ SUB	37
รูปที่ 3.23 การป้อนจุด feed	38
รูปที่ 3.24 การใส่ Ports	38
รูปที่ 3.25 การกำหนดช่วงความถี่	39
รูปที่ 3.26 การกำหนด E-Field	39
รูปที่ 3.27 การกำหนดค่า H-Field / Surface current	40
รูปที่ 3.28 การกำหนดค่า far field / RCS	40

รูปที่ 3.29 การตรวจสอบว่า Open หมดครบทุกด้านแล้ว	41
รูปที่ 3.30 การประมวลผลของสายอากาศวิวอลดิ	41
รูปที่ 3.31 ผลการจำลองสายอากาศวิวอลดิด้วยโปรแกรม CST	43
รูปที่ 3.32 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า $A_l$	44
รูปที่ 3.33 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า $F_{ew}$	45
รูปที่ 3.34 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า $L_g$	46
รูปที่ 3.35 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า $R_a$	47
รูปที่ 3.36 แบบรูปการแผ่กระจายพลังงานในระนาบ E-Plane	48
รูปที่ 3.37 แบบรูปการแผ่กระจายพลังงานในระนาบ H-Plane	48
รูปที่ 3.38 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ	49
รูปที่ 3.39 กราฟแสดงการเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบ E-Plane	50
รูปที่ 3.40 กราฟแสดงการเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบ H-Plane	51
รูปที่ 3.41 รูปสายอากาศวิวอลดิแบบไม่สมมาตร	52
รูปที่ 3.42 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานแบบสามมิติ	52
รูปที่ 3.43 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน ( $S_{11}$ )	53
รูปที่ 3.44 แบบรูปการแผ่กระจายพลังงานในระนาบ E-Plane	53
รูปที่ 3.45 แบบรูปการแผ่กระจายพลังงานในระนาบ H-Plane	54
รูปที่ 4.1 การเลือกรูปสายอากาศออกจากโปรแกรม CST	55
รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนชื่อและนามสกุลของ File	56
รูปที่ 4.3 การนำ file จาก CST มาลงในโปรแกรม Auto CAD	56
รูปที่ 4.4 การนำ file จาก Auto CAD มาลงในโปรแกรม Core / DRAM9	57
รูปที่ 4.5 การปรับขนาดของชิ้นงานให้ได้ตามที่ออกแบบ	57
รูปที่ 4.6 แบบของสายอากาศที่นำไปตัดสติ๊กเกอร์แล้ว	58
รูปที่ 4.7 การติดสติ๊กเกอร์ลงบนแผ่น FR4	58
รูปที่ 4.8 แผ่น FR4 ที่ติดสติ๊กเกอร์เรียบร้อยแล้ว	59
รูปที่ 4.9 แผ่น FR4 ที่จุด feed เรียบร้อยแล้ว	59
รูปที่ 4.10 การละลายน้ำยากัดปรี้นกับน้ำร้อน	60
รูปที่ 4.11 การกัดปรี้นแผ่น FR4	60
รูปที่ 4.12 การวัดค่า $S_{11}$	61
รูปที่ 4.13 ค่า $S_{11}$ ที่วัดได้จากสายอากาศต้นแบบ	62



รูปที่ 4.14 รูปแสดงการตั้งระยะห่างระหว่างสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับ ที่ระยะ Far Field = 1 m	63
รูปที่ 4.15 การวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน ในระนาบระนาบไฟฟ้า (E-Plane)	63
รูปที่ 4.16 แบบรูปการกระจายกำลังงานในระนาบระนาบไฟฟ้า (E-Plane)	64
รูปที่ 4.17 การวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน ในระนาบระนาบแม่เหล็ก (H-Plane)	65
รูปที่ 4.18 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน ในระนาบระนาบแม่เหล็ก (H-Plane)	66



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 หลักการและเหตุผล

การติดต่อสื่อสารแบบไร้สายในปัจจุบัน มีบทบาทกับชีวิตประจำวันมากและมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ตามความต้องการของผู้ใช้ ดังนั้นจึงมีการพัฒนาและวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบสายอากาศในแบบต่างๆ เพื่อให้ส่งสัญญาณได้ครอบคลุม และเหมาะสมในแต่ละพื้นที่เพื่อรองรับความต้องการของผู้ใช้

วีวอลดิเป็นสายอากาศแบบหนึ่งที่กำลังพัฒนาขึ้นในการส่งสัญญาณ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ โดยแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่ส่งออกไปเป็นแบบเจาะจงทิศทาง เมื่อนำสายอากาศวีวอลดิติดตั้งบริเวณผนังอาคาร ทำให้มีสัญญาณพุ่งออกไปข้างหน้า ผู้ใช้ที่อยู่ไกลออกไปจากบริเวณที่ติดตั้งสายอากาศสามารถรับสัญญาณได้ดี ส่วนผู้ใช้ที่อยู่บริเวณติดตั้งสายอากาศกลับรับสัญญาณได้ไม่ชัดเจน

โครงการนี้จะทำการศึกษาและออกแบบสายอากาศวีวอลดิ ที่สามารถส่งสัญญาณให้ผู้ใช้งานได้ อย่างทั่วถึงและเพียงพอต่อความต้องการ ทั้งผู้ใช้ที่อยู่ใกล้และไกลออกไป จากบริเวณติดตั้งสายอากาศ โดยทำการปรับเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียลทั้งสองเส้น ให้มีลักษณะไม่สมมาตรกัน ดังนั้นจะได้แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่เปลี่ยนไปจากเดิม มีลักษณะของลำคลื่นที่มีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานแบบเจาะจงทิศทาง โดยกำหนดองศาและปรับทิศทางของลำคลื่นได้ จากนั้นจะสร้างสายอากาศต้นแบบ และวัดทดสอบประสิทธิภาพเปรียบเทียบกับค่าที่ได้ จาก โปรแกรม CST

### 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศวีวอลดิแบบไม่สมมาตร
2. เพื่อวิเคราะห์สายอากาศวีวอลดิแบบไม่สมมาตรที่ออกแบบ โดยการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น  
แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน อัตราการขยาย เป็นต้น
3. สามารถนำความรู้ที่ได้จากการศึกษาในภาคทฤษฎีของวิชาต่างๆที่ได้จากการศึกษามาปฏิบัติและประยุกต์ใช้ได้จริง

### 1.3 ขอบเขตงาน

1. ศึกษาหาความรู้เกี่ยวกับสายอากาศวิวอลดิ
2. หาสูตรการคำนวณสายอากาศ แล้วทำการคำนวณหาขนาดต่างๆในความถี่ที่เราต้องการ
3. หาสมการเอ็กโปเนนเชียลเพื่อสร้างเส้นโค้งโดยใช้โปรแกรม MAT LAB
4. จำลองแบบสายอากาศวิวอลดิแบบไม่สมมาตรโดยออกแบบในโปรแกรม CST ทำการจำลองแบบ โดยปรับค่าพารามิเตอร์ เพื่อให้ได้แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานตามที่ต้องการ
5. สร้างสายอากาศต้นแบบ
6. วัดทดสอบสายอากาศ เปรียบเทียบผลกับค่าที่ได้จากโปรแกรม CST

### 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษา ค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับสายอากาศวิวอลดิ
2. ทำการออกแบบสายอากาศวิวอลดิแบบสมมาตรในโปรแกรม CST ที่ความถี่ 2.45 GHz
3. ทำการปรับสายอากาศที่ออกแบบไว้จากแบบสมมาตรให้เป็นแบบไม่สมมาตรโดยทำการปรับเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียลเส้นล่างให้ไม่สมมาตรกับเส้นบน
4. จำลองแบบสายอากาศที่ออกแบบในข้อที่ 3 ให้ได้ค่า S11 ที่ความถี่ 2.45 GHz ต่ำกว่า -10 dB
5. สร้างสายอากาศต้นแบบ และวัดทดสอบประสิทธิภาพ เปรียบเทียบผลกับค่าจากโปรแกรม CST
6. สรุปผลการทดลอง และเขียนรายงาน
7. นำเสนอโครงการ

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้สายอากาศวิวอลดิแบบไม่สมมาตร ที่สามารถแผ่กระจายสัญญาณได้อย่างทั่วถึงและเพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้
2. มีความชำนาญในการออกแบบสายอากาศและการสร้างสายอากาศต้นแบบ โดยนำความรู้ที่ได้จากทฤษฎีมาประยุกต์ใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 กล่าวนำ

โครงการนี้นำเสนอการออกแบบสายอากาศวิทยุคลื่น ซึ่ง เป็นสายอากาศร่องแบบรีขเว ที่มีควมโค้งแบบเอ็กโปเนนเชียล โดยที่เส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียลไม่สมมาตรกัน ทำงนที่ควมถี่ 2.45 GHz สำหรับเป็นจุดเข้ถึงในระบบการสื่อสารท้องถิ่นแบบไร้สาย โดยจะทำการออกแบบโดยใช้โปรแกรม CST ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการพื้นฐานที่เกี่ยวข้องในแต่ละส่วนดังต่อไปนี้

#### 2.2 ระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย

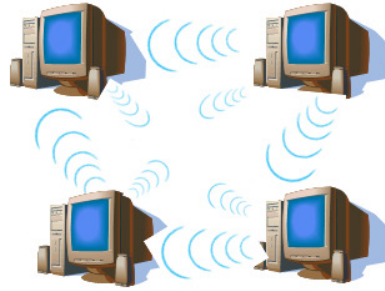
ทฤษฎีระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area Network: WLAN) เป็นระบบการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ 2 เครื่อง หรือ กลุ่มของเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้คลื่นควมถี่วิทยุเป็นตัวกลางหรือช่องทางการสื่อสารระหว่างกัน ซึ่งเป็นการแทนที่ระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบมีสายระบบเดิม (Local Area Network: LAN) ที่ใช้สายในการเชื่อมต้อกัน ทำให้ไม่ต้องมีการเดินสายส่งสัญญาณ และยังส่งผลไปยังผู้ใช้งานให้สามารถใช้งานได้สะดวกยิ่งขึ้น

##### 2.2.1 รูปแบบการเชื่อมต่อเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

- การเชื่อมต่อแบบกลุ่มส่วนตัว

การเชื่อมต่อแบบกลุ่มส่วนตัว (Peer-to-Peer หรือ Ad Hoc Mode) เป็นการเชื่อมต้อกันโดยตรงระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์โดยไม่ต้องผ่านอุปกรณ์กระจายสัญญาณ (access point) เหมาะในการใช้งานเกี่ยวกับงานที่ต้องการควมรวดเร็วและควมง่ายในการติดตั้งเมื่อไม่มีโครงสร้างพื้นฐานรองรับในสถานที่นั้นๆ เช่น การประชุมนอกสถานที่

จากดังที่แสดงในรูปที่ 2.1 เป็นการเชื่อมต่อแบบกลุ่มส่วนตัว ประกอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่ายที่ทำการติดต่อสื่อสารกันโดยไม่ต้องผ่านจุดเข้ถึงเครือข่าย ข้อดีคือ ติดตั้งง่ายและสะดวกต่อการบริหารจัดการ แต่การเชื่อมต่อแบบกลุ่มส่วนตัวมีข้อเสียด้านการรักษาควมปลอดภัยของข้อมูล เนื่องจากไม่มีระบบการป้องกันในรูปแบบของ บัญชีผู้ใช้ และรหัสผ่าน



รูปที่ 2.1 การเชื่อมต่อแบบกลุ่มส่วนตัว

- การเชื่อมต่อแบบกลุ่มโครงสร้าง

การเชื่อมต่อแบบกลุ่มโครงสร้าง (Infrastructure) เป็นการเชื่อมต่อกันผ่านอุปกรณ์กระจายสัญญาณซึ่งเป็นตัวกลางทำหน้าที่รับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับเครือข่ายไร้สายไปยังเครือข่ายมีสาย โดยตัวกระจายสัญญาณหนึ่งตัวมีขีดจำกัดในการรองรับจำนวนผู้ใช้งาน หากมีจำนวนผู้ใช้งานมากจะมีผลทำให้ความเร็วของการสื่อสารเครือข่ายไร้สายช้าลง แต่ปัจจุบันนี้การเชื่อมต่อแบบกลุ่มโครงสร้างเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากจุดเด่นในด้านความเร็วของการสื่อสารตลอดจนความปลอดภัยในการสื่อสาร ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เป็นการเชื่อมต่อแบบกลุ่มโครงสร้าง โดยในการติดต่อสื่อสารของเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย จะต้องผ่านจุดเชื่อมต่อสัญญาณเป็นตัวกลางในการติดต่อสื่อสารระหว่างกัน ข้อดีคือ มีความปลอดภัยในการสื่อสารข้อมูล เนื่องจากมีระบบป้องกันในรูปแบบบัญชีผู้ใช้ และการเข้ารหัส



รูปที่ 2.2 การเชื่อมต่อแบบกลุ่มโครงสร้าง

## 2.2.2 เทคโนโลยีที่ใช้ในการส่งสัญญาณไร้สาย

เทคโนโลยีที่ใช้ในการส่งสัญญาณไร้สาย แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

- แบบที่ใช้คลื่นความถี่วิทยุ แบ่งเป็น
  - Narrow Band Technology: เป็นการรับ-ส่งที่ความถี่ 902 MHz ถึง 928 MHz 2.14 MHz ถึง 2.484 MHz และ 5.725 MHz ถึง 5.850 MHz ใช้ในการรับ-ส่งข้อมูล ระหว่างต้นทางกับปลายทางเพียงหนึ่งคู่เท่านั้น
  - Spread Spectrum Technology: เป็นเทคโนโลยีที่นิยมใช้มาก ซึ่งใช้ความถี่ที่กว้างกว่า narrow band technology โดย spread spectrum คือ ช่วงความถี่ระหว่าง 902-928 MHz และ 2.4 – 2.484 GHz
- แบบที่ใช้สัญญาณอินฟราเรดในการติดต่อ รับ-ส่งข้อมูล

ลำแสงอินฟราเรด (Infrared:IR) เป็นส่วนหนึ่งของสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยเราไม่สามารถมองเห็นได้ เนื่องจากอยู่ในย่านความถี่ของแสงที่ต่ำกว่าแสงสีแดงที่เรามองเห็นได้ ถูกนำมาใช้เพื่อการสื่อสารระยะใกล้ จุดเด่นคือ คลื่นเดินทางเป็นแนวตรง ราคาถูก และง่ายต่อการใช้งาน แต่มีข้อจำกัดคือ ไม่สามารถทะลุผ่านวัตถุหรือสิ่งกีดขวางได้

## 2.2.3 มาตรฐานที่ใช้ในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

องค์กรที่กำหนดมาตรฐานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คือ IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineer) ได้กำหนดมาตรฐานเครือข่ายไร้สาย โดยใช้การกำหนดตัวเลข 802.11 แล้วตามด้วยตัวอักษร เช่น 802.11a 802.11b 802.11g และ 802.11n เป็นต้น ตัวอักษรต่อท้ายจะหมายถึงกลุ่มที่กำหนดมาตรฐาน โดยในแต่ละกลุ่มจะทำการพัฒนาขีดความสามารถของระบบให้มีประสิทธิภาพสูงกว่าเดิม

- **มาตรฐาน IEEE 802.11b** เรียกว่า Wi-Fi หรือการสื่อสารไร้สายความเร็วสูงใช้เทคโนโลยี CCK (Complimentary Code Keying) ผสมกับ DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) เพื่อปรับปรุงความสามารถของอุปกรณ์ให้รับส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงสุดที่ 11 Mbps ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 2.4 GHz (เป็นย่านความถี่ที่เรียกว่า ISM (Industrial Scientific and Medical) ซึ่งถูกจัดสรรไว้สำหรับการใช้งานในด้านอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และ การแพทย์ โดยไม่ต้องขออนุญาตก่อนนำไปใช้งาน โดยอุปกรณ์ที่ใช้

งานในย่านความถี่นี้ได้แก่ Bluetooth โทรศัพท์ไร้สาย และเตาไมโครเวฟ ส่วนใหญ่แล้ว อุปกรณ์ที่ใช้อยู่ทุกวันนี้จะเป็นอุปกรณ์ตามมาตรฐาน IEEE 802.11b ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีในนาม Wi-Fi เป็นเครื่องหมายการค้าถูกกำหนดขึ้นโดยสมาคม WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance) โดยอุปกรณ์ที่ได้รับเครื่องหมายการค้าดังกล่าว หากผ่านการตรวจสอบแล้วพบว่าปฏิบัติตามมาตรฐาน IEEE 802.11b และสามารถนำไปใช้ร่วมกับอุปกรณ์ยี่ห้ออื่นๆ ได้จะมีเครื่องหมายดังแสดงในรูปที่ 2.3 ติดอยู่ที่อุปกรณ์ตัวนั้นซึ่งแสดงถึงสัญลักษณ์ Wireless Fidelity: Wi-Fi หมายถึงชุดผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่สามารถใช้ได้กับมาตรฐานเครือข่ายคอมพิวเตอร์แบบไร้สาย (WLAN) ซึ่งอยู่บนมาตรฐาน IEEE 802.11



รูปที่ 2.3 เครื่องหมาย Wi-Fi

- มาตรฐาน IEEE 802.11a ใช้เทคโนโลยี OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) โดยมีการปรับปรุงความสามารถของอุปกรณ์ให้รับส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็วที่เพิ่มขึ้นประมาณ 54 Mbps แต่จะใช้งานที่ความถี่ 5 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่สาธารณะที่ใช้งานในประเทศสหรัฐอเมริกาที่มีสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์อื่นน้อยกว่าในย่าน 2.4 GHz ข้อเสียของมาตรฐานนี้คือ ในบางประเทศยังไม่มีใบอนุญาตให้ใช้งานย่านความถี่ดังกล่าว เช่นประเทศไทย เนื่องจากย่านความถี่ 5 GHz ได้ถูกจัดสรรสำหรับกิจการอื่นอยู่ก่อนแล้ว นอกจากนี้รัศมีของสัญญาณมีขนาดค่อนข้างสั้น (ประมาณ 30 เมตร) ซึ่งสั้นกว่ารัศมีสัญญาณของอุปกรณ์มาตรฐาน IEEE 802.11b อีกทั้งราคาของอุปกรณ์ค่อนข้างสูงกว่ามาตรฐาน IEEE 802.11b ดังนั้น อุปกรณ์ IEEE 802.11a จึงได้รับความนิยมน้อยกว่าอุปกรณ์ IEEE 802.11b

- **มาตรฐาน IEEE 802.11g** สนับสนุนความเร็วในช่วงเดียวกันกับ IEEE 802.11a แต่มีคุณสมบัติ backward compatibility โดยใช้เทคนิคการแปลงสัญญาณแบบ OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) อุปกรณ์ IEEE 802.11g นี้สามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ IEEE 802.11a และ IEEE 802.11b ได้ ด้วยเหตุนี้บริษัทผู้ผลิตจึงได้ผลิตอุปกรณ์ IEEE 802.11g ให้สามารถทำงานร่วมกับ IEEE 802.11a IEEE 802.11b ส่งผลให้ปัจจุบันนี้อุปกรณ์ IEEE 802.11g ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก

#### 2.2.4 ข้อดีของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

- สามารถเข้าถึงบทเรียน Online ต่างๆ ได้ สามารถสืบค้นข้อมูลบนอินเทอร์เน็ตจากจุดใดจุดหนึ่งของมหาวิทยาลัยได้ และไม่จำเป็นต้องรอเข้าใช้ห้องบริการคอมพิวเตอร์ของมหาวิทยาลัย สามารถใช้จากจุดใดก็ได้ที่สัญญาณเครือข่ายไร้สายไปถึง ช่วยให้เราสามารถใช้งานได้สะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น
- ลดค่าใช้จ่ายในการเดินสายสัญญาณให้เข้าถึงจุดบริการต่างๆ มากขึ้นและสามารถให้บริการในจุดบริการที่สายสัญญาณไม่สามารถเข้าถึงได้
- สามารถเฝ้าตรวจสอบระบบ และปรับเปลี่ยนแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดขึ้นกับระบบเครือข่ายจากจุดก็ได้ ทำให้สะดวกและรวดเร็วต่อการจัดการมากขึ้น

#### 2.2.5 ข้อเสียของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

- เกิดจุดอับสัญญาณบางจุดที่สัญญาณไร้สายเข้าไปไม่ถึง
- ปัญหาทางด้านความปลอดภัยในระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย
- สัญญาณแทรกสอดจากคลื่นหลายวิถี และสัญญาณรบกวน



## 2.3 การแผ่กระจายกำลังงานสายอากาศ

### 2.3.1 พารามิเตอร์มูลฐานของสายอากาศ

พฤติกรรมของสายอากาศตัวใดตัวหนึ่ง จำเป็นต้องทราบคำนิยามของพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศเป็นอย่างมาก พารามิเตอร์บางตัวจะมีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกัน ซึ่งจะนำมาอธิบายอย่างสมบูรณ์เฉพาะพารามิเตอร์บางตัวที่จำเป็นเท่านั้น ได้แก่

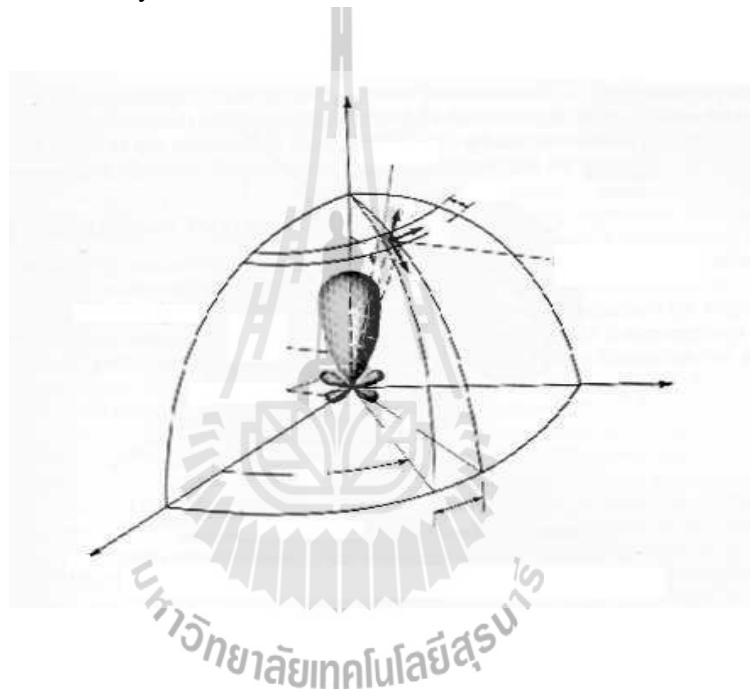
1. แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน (Radiation Pattern /Antenna Pattern)
2. ความหนาแน่นของกำลังงานที่แผ่กระจาย (Radiation Power Density)
3. ความเข้มของการแผ่กระจายกำลังงาน (Radiation Intensity)
4. สภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity)
5. อัตราขยาย (Gain)
6. ประสิทธิภาพสายอากาศ (Antenna Efficiency)
7. ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (Half-Power Beamwidth)
8. ประสิทธิภาพลำคลื่น (Beam Efficiency)
9. ความกว้างแถบ (Bandwidth)
10. การแยกขั้วคลื่น (Polarization)
11. อิมพีแดนซ์อินพุต (Input Impedance)
12. ประสิทธิภาพการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศ (Antenna Radiation Efficiency)
13. ความยาวประสิทธิภาพเชิงเวกเตอร์และพื้นที่สมมูลของสายอากาศ (Antenna Vector Effective Length and Equivalent Areas)
14. ค่าสภาพเจาะจงทิศทางสูงสุดและพื้นที่ประสิทธิภาพสูงสุด (Maximum Directivity and Maximum Effective Area)
15. สมการการส่งของฟรีสและสมการพิสัยเรดาร์ (Friis Transmission Equation and Radar Range Equation)
16. อุณหภูมิสายอากาศ (Antenna Temperature)

### 2.3.2 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน

การนำเสนอคุณสมบัติในการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศเชิงกราทิกหรือฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของพิกัดเชิงตำแหน่ง (Space Coordinates) ในการพิจารณาแบบรูปการแผ่คลื่นจะต้องกระทำในบริเวณสนามระยะไกล (Far-Field Region) และจะนำเสนอในลักษณะฟังก์ชันของพิกัดเชิงทิศทาง (Directional Coordinates) เสมอ ซึ่งคุณสมบัติการแผ่คลื่นนี้จะสามารถพิจารณาถึงความหนาแน่นเส้นแรงกำลังงาน (Power Flux Density)

ความเข้มการแผ่กระจายกำลังงาน (Radiation Intensity) ความแรงของสนาม (Field Strength)

เฟสของการขึ้นนำ (Directivity Phase) หรือการแยกขั้วคลื่น (Polarization)



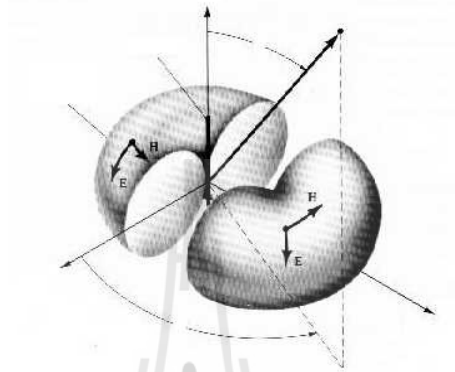
รูปที่ 2.4 ระบบพิกัดทรงกลมซึ่งใช้สำหรับการวิเคราะห์สายอากาศ

1. แบบรูปการแผ่คลื่นแบบไอโซทรอปิก (Isotropic) แบบมีทิศทาง (Direction) และแบบรอบตัวในระนาบเดียว (Omnidirection)

- ตัวแผ่คลื่นแบบไอโซทรอปิก (*Isotropic Radiator*) คือ “สายอากาศที่สมมุติขึ้นมาว่าปราศจากการสูญเสียและมีการแผ่คลื่นออกมาเท่ากันทุกทิศทาง”

- สายอากาศแบบมีทิศทาง (*Directional Antenna*) คือ “สายอากาศที่มีคุณสมบัติในการแผ่หรือรับคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในทิศทางใดทิศทางหนึ่งมากกว่าทิศทางอื่นๆ คำนี้มักจะใช้กับสายอากาศที่มีสภาพเจาะจงทิศทางสูงสุด (Maximum Directivity) มากกว่าของสายอากาศไดโพลความยาวครึ่งคลื่น”

- แบบรูปการแผ่คลื่นแบบรอบตัวในระนาบเดี่ยว (*Omnidirectional Pattern*) คือ“แบบรูปการแผ่คลื่นที่ไม่มีทิศทาง ในระนาบที่กำหนดให้ในที่นี้คือมุมอาซิมุท (Azimuth) และระนาบที่อยู่ตั้งฉากกันจะมีแบบรูปการแผ่คลื่นเป็นแบบมีทิศทาง ในกรณีคือมุมเงย (Elevation) ”

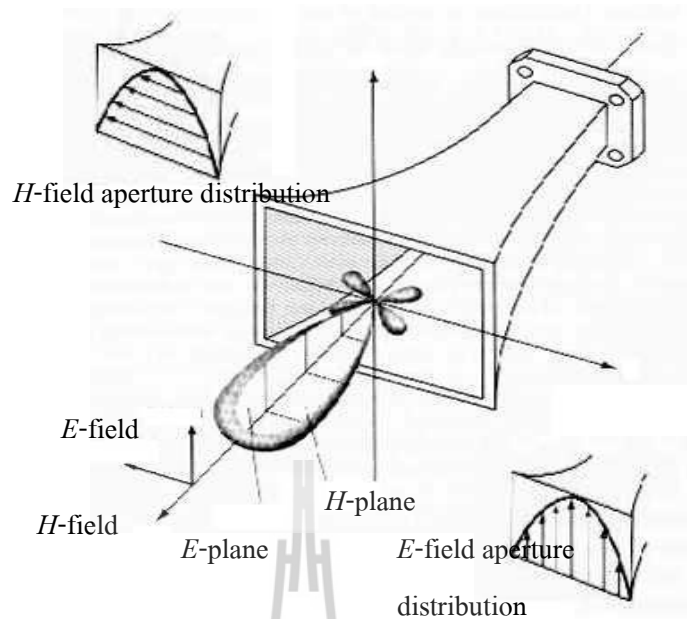


รูปที่ 2.5 แบบรูปการแผ่คลื่นแบบรอบตัวในระนาบเดี่ยว

## 2. แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานหลัก (Principal Patterns)

พฤติกรรมของสายอากาศที่มีการแยกขั้วคลื่นเชิงเส้นมักจะอธิบายรูปแบบการแผ่คลื่นในเทอมของแบบรูปการแผ่คลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) และสนามแม่เหล็ก (H-plane)

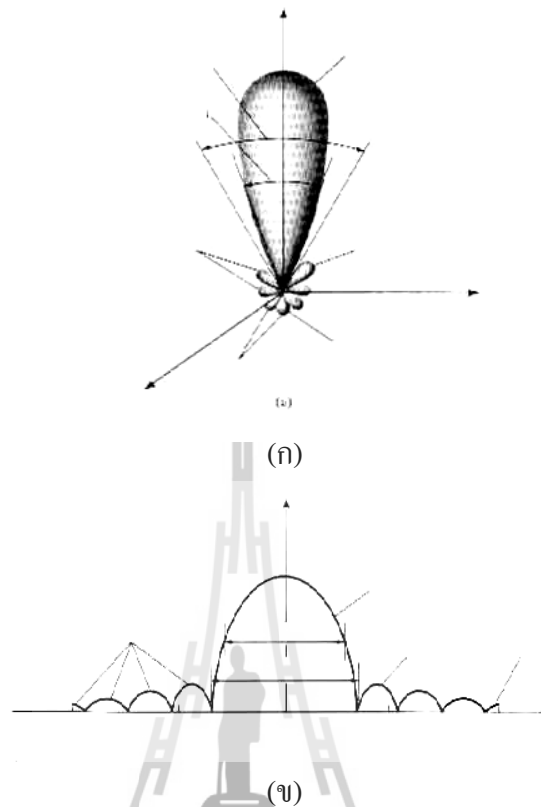
- ระนาบสนามไฟฟ้า (*E-plane*) คือ“ระนาบที่ประกอบไปด้วยเวกเตอร์สนามไฟฟ้าและทิศทางที่มีการแผ่คลื่นสูงสุด” (ระนาบ  $x-z$  หรือระนาบ มุมเงย)
- ระนาบสนามแม่เหล็ก (*H-plane*) คือ“ระนาบที่ประกอบไปด้วยเวกเตอร์สนามแม่เหล็กและทิศทางที่มีการแผ่คลื่นสูงสุด” (ระนาบ  $x-y$  หรือระนาบมุมอาซิมุท )



รูปที่ 2.6 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานหลักในระนาบสนามไฟฟ้า  
และแม่เหล็กของสายอากาศปากแตรทรงพีรามิด

### 3. โหลบของแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน (Radiation Pattern Lobes)

- โหลบการแผ่คลื่น (*Radiation Lobe*) คือ “ส่วนต่างๆ ของแบบรูปการแผ่คลื่นที่บ่งบอกถึงบริเวณที่มีความเข้มของการแผ่คลื่นแตกต่างกันอย่างไร สามารถแบ่งได้เป็นกลุ่มต่างๆ ได้ คือ โหลบหลัก โหลบย่อย โหลบด้านข้าง และ โหลบด้านหลัง
- โหลบหลัก (*Major/Main Lobe*) คือ “โหลบของแบบรูปการแผ่คลื่นที่มีทิศทางการแผ่คลื่นสูงสุด”
- โหลบย่อย (*Minor Lobe*) คือ “โหลบใดๆ ที่ปรากฏอยู่นอกเหนือจากโหลบหลัก”
- โหลบด้านข้าง (*Side Lobe*) คือ “โหลบของแบบรูปการแผ่คลื่นในทิศทางใดๆ ที่นอกเหนือจากทิศทางหลัก มักจะพิจารณาในโหลบที่อยู่ด้านข้างของโหลบหลัก และอยู่บนครึ่งวงกลมเดียวกันกับโหลบหลัก
- โหลบด้านหลัง (*Back Lobe*) คือ “โหลบของแบบรูปการแผ่คลื่นที่มีทิศทางการแผ่คลื่นตรงข้ามกับโหลบหลัก หรืออยู่ที่ประมาณ 180 องศาเมื่อเทียบกับโหลบหลัก

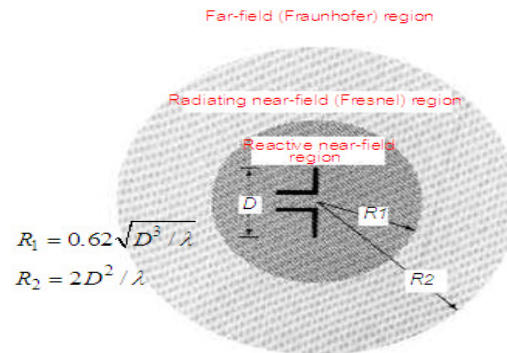


รูปที่ 2.7 (ก) แสดง โลหการแผ่คลื่นและความกว้างลำของแบบรูปการแผ่คลื่นของสายอากาศ  
 (ข) ภาพพล็อตเชิงเส้นของแบบรูปกำลังงานและ โลหที่เกิดขึ้นและความกว้างลำของ  
 แบบรูปการแผ่คลื่น

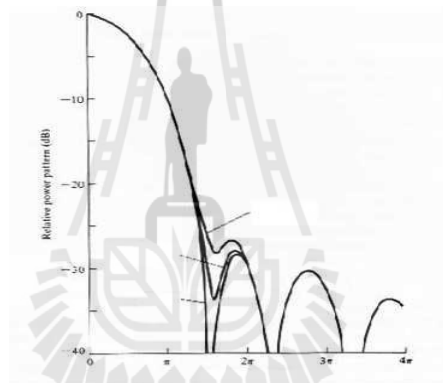
#### 4. บริเวณสนาม (Field Regions)

อากาศอิสระที่อยู่ล้อมรอบสายอากาศจะถูกแบ่งออกเป็น 3 บริเวณ ดังนี้

- บริเวณสนามระยะใกล้รีแอกทีฟ (*Reactive Near-Field Region*) คือ “ส่วนของบริเวณสนามระยะใกล้ที่อยู่โดยรอบสายอากาศโดยตรง สนามที่เกิดขึ้นบริเวณนี้จะเป็นสนามรีแอกทีฟ”
- บริเวณสนามระยะใกล้ที่มีการแผ่ (*Radiating Near-Field (Fresnel) Region*) คือ “บริเวณของสนามของสายอากาศที่เกิดขึ้นระหว่างบริเวณสนามระยะใกล้รีแอกทีฟกับบริเวณสนามระยะไกล ถ้าขนาดที่ใหญ่ที่สุดของสายอากาศมีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่น สนามบริเวณนี้จะไม่เกิดขึ้น”
- บริเวณสนามระยะไกล (*Far-Field (Fraunhofer) Region*) คือ “บริเวณของสนามของสายอากาศ ซึ่งมีการกระจายของสนามเชิงมุมไม่ขึ้นอยู่กับระยะทางที่ห่างออกมาจากตัวสายอากาศ”



รูปที่ 2.8 บริเวณสนามที่เกิดขึ้นของสายอากาศ



รูปที่ 2.9 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่คำนวณได้ ของสายอากาศพาราโบลา ที่ระยะต่างๆกัน เมื่อวัดจากสายอากาศ

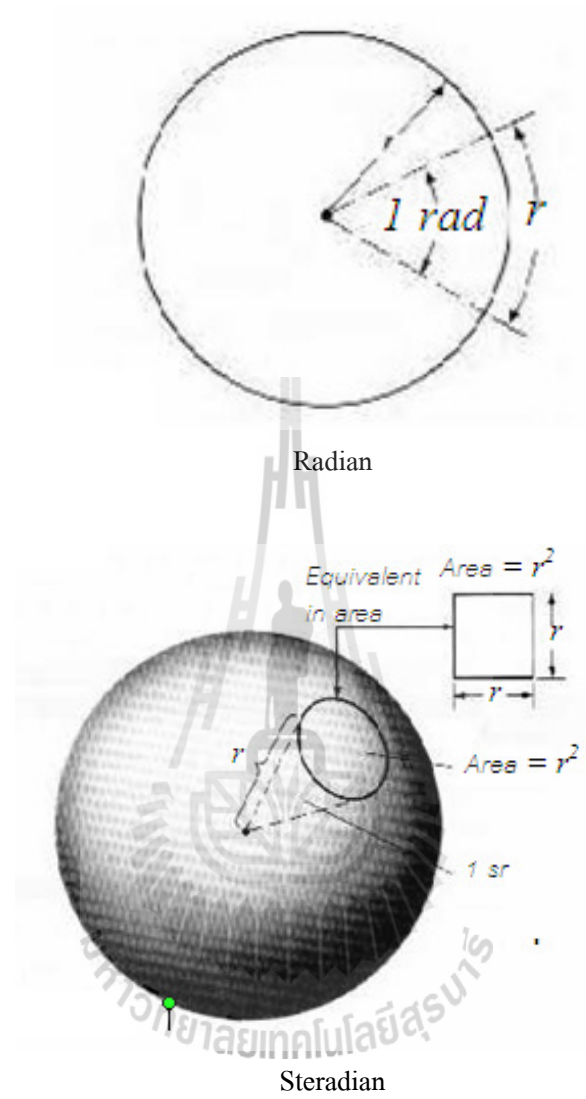
##### 5. เรเดียน และ สเตอเรเดียน (Radian and steradian)

- การวัดมุมเชิงระนาบ (Plane Angle) มีหน่วยเป็นเรเดียน (Radian)
  - การวัดมุมเชิงรูปทรงหรือรูปตัน (Solid Angle) ของทรงกลม มีหน่วยเป็น สเตอเรเดียน (Steradian)
- พื้นที่เล็กๆ  $dA$  บนผิวของทรงกลมที่มีรัศมี  $r$  สามารถกำหนดได้โดย

$$dA = r^2 \sin \theta d\theta d\phi \quad (2.1)$$

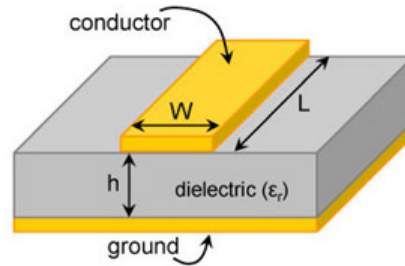
อีลิเมนต์ของมุมรูป  $d\Omega$  ของทรงกลมสามารถกำหนดได้โดย

$$d\Omega = \frac{dA}{r^2} = \sin \theta d\theta d\phi \quad (2.2)$$



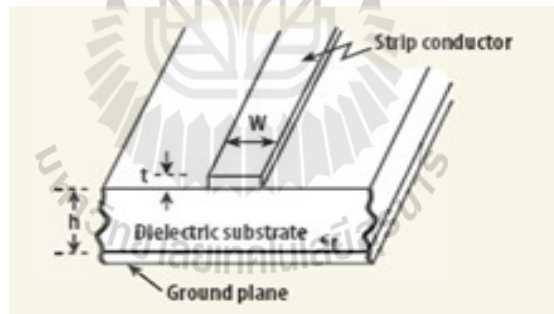
รูปที่ 2.10 รูปทรงทางเรขาคณิตที่ใช้แสดงความแตกต่างระหว่าง Radian และ Steradian

## 2.4 สายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริป



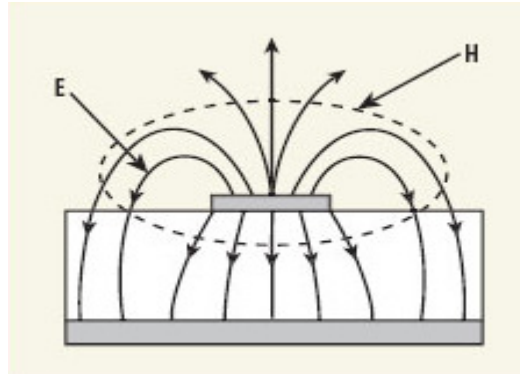
รูปที่ 2.11 สายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริป

สายส่งสัญญาณไมโครสตริปประกอบไปด้วย ตัวนำไฟฟ้าแบบแผ่น และระนาบกราวด์โดยมีไดอิเล็กตริกอยู่ตรงกลาง ดังแสดงในรูปที่ 2.9 โดยค่าไดอิเล็กตริกนี้จะอยู่ตรงกลางระหว่าง ตัวนำไฟฟ้าแบบแผ่นและระนาบกราวด์ ในการออกแบบสายส่งสัญญาณไมโครสตริปนี้จะมีพารามิเตอร์ที่สำคัญ คือ ความกว้างของตัวนำไฟฟ้าแบบแผ่น ( $W$ ) ความสูงของฐานรองรับ ( $h$ ) ความหนาของตัวนำไฟฟ้าแบบแผ่น และค่าของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของวัสดุ ( $\epsilon_r$ ) เป็นต้น



รูปที่ 2.12 สายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริป





รูปที่ 2.13 การแผ่กระจายคลื่นของสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริป

สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ในสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริปดังที่แสดงในรูปที่ 2.10 ไม่ได้บรรจุอยู่ในชั้นของฐานรองรับ แต่การแผ่กระจายคลื่นจะแผ่ออกไปข้างนอกของสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริปดังที่แสดงในรูปที่ 2.11 ดังนั้นการแผ่กระจายในสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริปจะไม่ใช่โหมด TEM แต่จะเป็น Quasi-TEM ความเร็วเฟสของสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริปสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$v_p = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_{re}}} \quad (2.1)$$

เมื่อ ค่าของ  $c$  คือ ความเร็วแสง

ค่าของ  $\epsilon_{re}$  คือ ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของวัสดุ

การหาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด

$$AF = A \frac{\sin(N\psi/2)}{\sin(\psi/2)} \quad \text{นำค่าที่ได้แทนลงในสมการดังต่อไปนี้}$$

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\left(\epsilon_r + 1\right) \frac{1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r}\right) \quad (2.2)$$

$$B = \frac{377p}{2Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.3)$$

2. นำค่าที่ได้เหล่านี้แทนลงในสมการ (W/d)

เมื่อ  $W/d \leq 1$

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{re}}} \ln(8h/w + 0.25w/h) \quad (2.4)$$

และที่

$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ (1 + 12h/w)^{-1/2} + 0.04(1 - w/h)^2 \right] \quad (2.5)$$

และเมื่อ  $W/d \geq 1$

$$Z_0 = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{re}} \left( w/h + 1.393 + 0.667 \ln(w/h + 1.44) \right)} \quad (2.6)$$

และที่

$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_{re} + 1}{2} + \frac{\epsilon_{re} - 1}{2} (1 + 12h/w)^{-1/2} \quad (2.7)$$

ผลที่ได้จากการคำนวณ คือ ความกว้างของตัวนำไฟฟ้าแบบแผ่น (W) ความสูงของฐานรองรับ (h) ความหนาของตัวนำไฟฟ้าแบบแผ่น สามารถนำค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ไปใช้ในการออกแบบสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริปได้

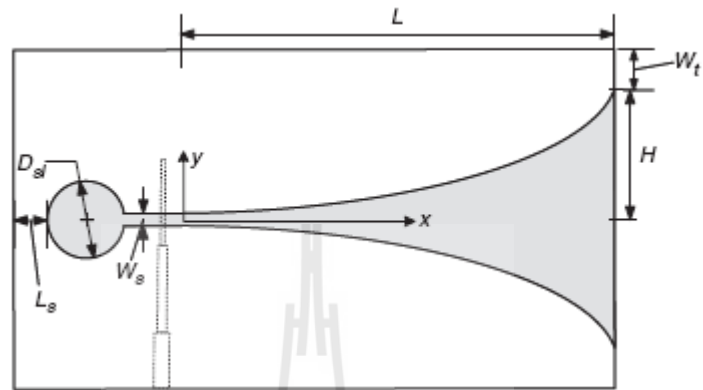
## 2.5 สายอากาศวิวอลดิ

การวิเคราะห์รูปแบบของสายอากาศที่ไม่สมมาตร

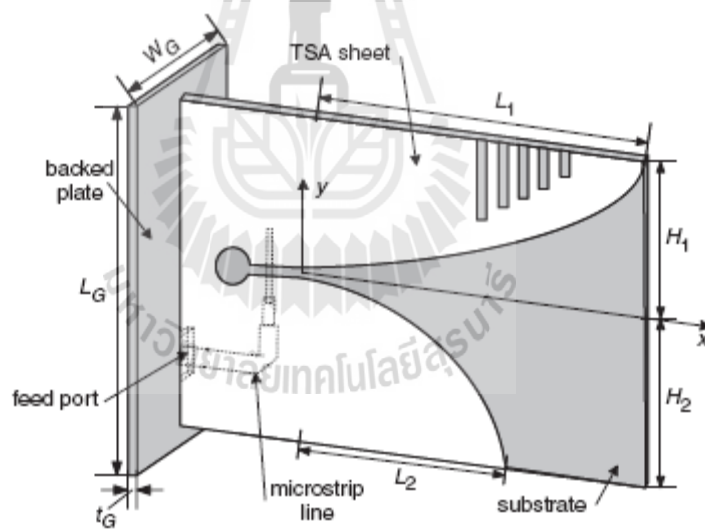
จากตัวอย่างโครงสร้างของสายอากาศที่มีการแผ่กระจายแบบรูปของคลื่นซึ่งใช้สำหรับสถานีฐานที่มีการสื่อสารเคลื่อนที่ ตัวอย่างของสายอากาศนี้มีแบบรูปการแผ่กระจายสัญญาณที่มีความถี่ 10 GHz ที่ 4 องศา ครอบคลุมที่ -19.9 dB ในส่วนด้านล่าง 65 องศา ของ HPBW ในแนวนอน และ 11.7 dBi จาก Gain ของสายอากาศครอบคลุมในความถี่ที่ VSWR < 2:1 เกิน 3:1 ที่ความถี่ (5.56-16.8) GHz

สายอากาศวิวอลดิ (VSTA) เป็นสายอากาศที่มีประโยชน์มาก เนื่องจากมีการส่งสัญญาณที่มีประสิทธิภาพ สร้างขึ้นง่าย และมีโพลาไรเซชันที่มีประสิทธิภาพ นักวิทยาศาสตร์ที่ชื่อ Prasad Mahapatra และ Gibson ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับลักษณะของสายอากาศวิวอลดิ โดยส่วนใหญ่เน้น

ศึกษาเกี่ยวกับความกว้างแถบ และคุณลักษณะแบบรูปการแผ่กระจายคลื่น นอกจากนี้ยังศึกษาสายอากาศ วิทยุคลื่นแบบไม่สมมาตร โดยมีการปรับแต่งให้สามารถแผ่กระจายสัญญาณให้ตรงตามความต้องการ



(ก)



(ข)

### รูปที่ 2.14 การกำหนดค่าของสายอากาศวิทยุคลื่น

(ก) สายอากาศวิทยุคลื่นแบบสมมาตร

(ข) สายอากาศวิทยุคลื่นแบบไม่สมมาตร

การตั้งค่าสายอากาศ

การกำหนดค่าของสายอากาศโดยสมการ  $y(x) = \pm [Ae^{Rx} + B]$

เมื่อ  $R$  คือรัศมีความโค้งที่พารามิเตอร์  $A$  และ  $B$  โดยพิจารณาจาก ค่าความยาว  $L$  และ  $H$  ค่ากึ่งกลางของความกว้าง ซึ่งสมการเส้นโค้งที่ใช้ในเส้นโค้งด้านบนและด้านล่างคือ

$$y(x) = - \left[ A_1 e^{R_1 x} + B_1 \right] \quad \text{และ}$$

$$y(x) = - \left[ A_2 e^{R_2 x} + B_2 \right]$$

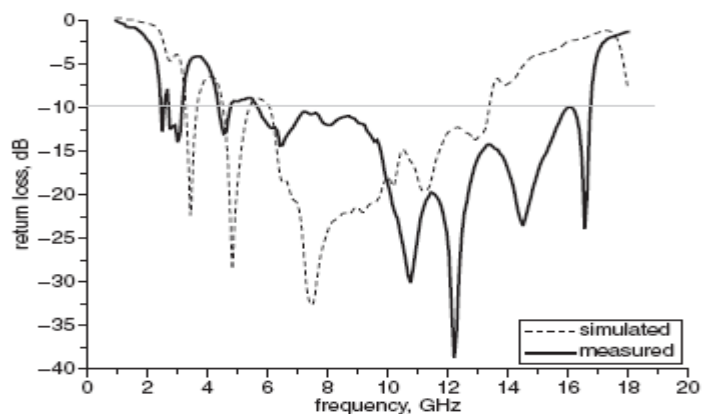
โดยคำนวณจากแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นที่แสดงผลใน CST

ผลการวัดค่าสายอากาศ

ตัวอย่างสายอากาศที่ออกแบบสายอากาศแบบไม่สมมาตร กับค่าพารามิเตอร์ที่แสดงดังตาราง เป็นการทดสอบการวัดค่าการสูญเสียในความถี่สำหรับ  $VSWR < 2:1$  เกิน  $3:1$  (5.56-16.8) GHz หรือ  $VSWR < 1.5:1$  เกิน  $1.6:1$  (9.5-15.4) GHz

ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ที่ออกแบบ

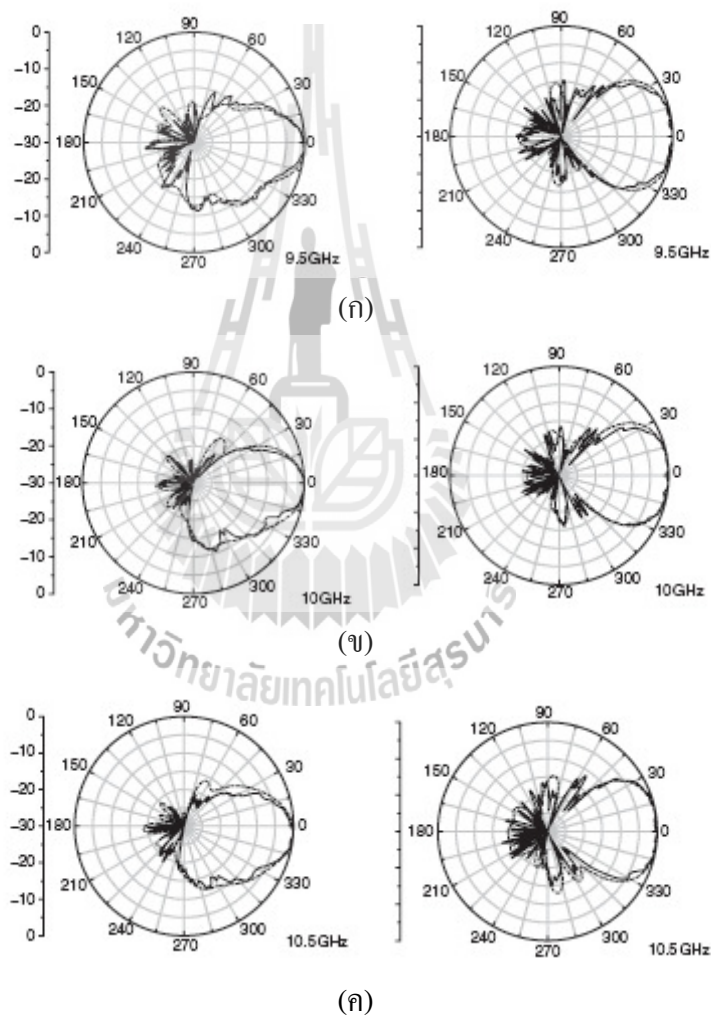
$H_1$	$H_2$	$L_1$	$L_2$	$W_{t1}$	$W_{t2}$	$L_s$
21 mm	21 mm	60 mm	30 mm	3 mm	3 mm	3 mm
$D_M$	$W_s$	$L_G$	$W_G$	$t_G$	$R_1$	$R_2$
4.3 mm	1 mm	20 mm	52 mm	3 mm	0.08	0.11



รูปที่ 2.15 กราฟแสดงค่าการสูญเสียที่ได้จากสายอากาศที่จำลอง

จากการวัดและการจำลองผลของสายอากาศที่ความถี่ 9.5, 10 และ 10.5 GHz ตามลำดับ ซึ่งมีแบบรูปการแผ่กระจายสัญญาณที่มีประสิทธิภาพโพลด้านหลังของสายอากาศจะลดลงถึง -19.6, -19.9 และ 19.8 dB ตามลำดับ ที่มุม (3.4-5.0) องศา ในช่วงความถี่ 10.5 GHz ค่า HPB เป็น 29.3 , 26.9, และ 32 องศา ในระนาบ E-plane 53.8, 65.0 และ 54.6

ในระนาบ H-plane สำหรับช่วงความถี่ต่างๆ (9-11) GHz จะปรากฏค่าสูงสุดที่ 11.74 dBi คือที่ความถี่ 9.8 GHz แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นระหว่าง 9.5 และ 10.5 เป็น 0.6 dB เท่านั้น

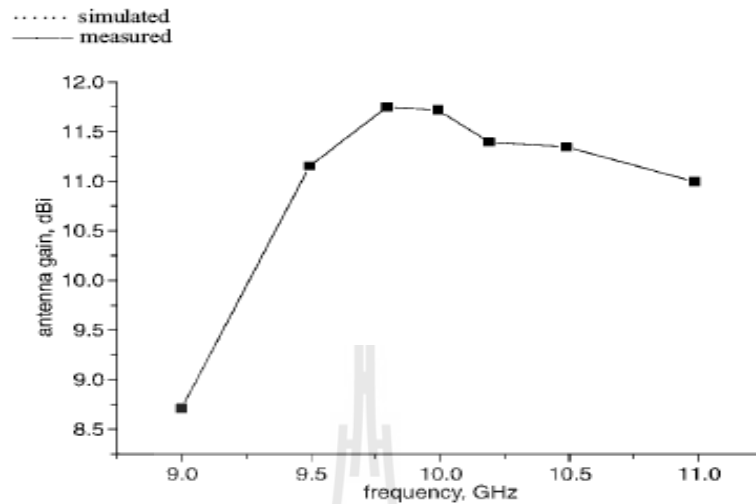


รูปที่ 2.16 แสดงแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ

(ก) ที่ความถี่ 9.5 GHz

(ข) ที่ความถี่ 10 GHz

(ค) ที่ความถี่ 10.5 GHz



รูปที่ 2.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของสายอากาศกับความถี่ที่สายอากาศรับได้

สายอากาศวิวลติแบบไม่สมมาตร ได้ยื่นยื่นการออกแบบและการจำลองผล เพื่อให้มีประสิทธิภาพ สายอากาศนี้ใช้กับสถานีฐานสำหรับ Interferences suppressing ที่มีสองความถี่และมีการปรับปรุงเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพ

## 2.6 กล่าวสรุป

ในการทำโครงการสายอากาศวิวลติสำหรับจุดเข้าถึงในระบบการสื่อสารท้องถิ่นแบบไร้สายต้องศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีสายอากาศ และเจาะลึกเฉพาะสายอากาศวิวลติ รวมไปถึงวิธีการคำนวณ การปรับสมการเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียลเพื่อให้ได้เส้นโค้งแบบไม่สมมาตร และวิธีการออกแบบสายอากาศในโปรแกรม CST ซึ่งก่อนที่จะทำการออกแบบเป็นสายอากาศต้นแบบจำเป็นต้องศึกษาทฤษฎีพื้นฐานในเรื่องดังกล่าวให้มีความเข้าใจเป็นอย่างดี เพราะผลที่ได้จากการออกแบบในโปรแกรม CST เมื่อนำมาทำเป็นสายอากาศต้นแบบจะต้องให้ผลที่ตรงกันและสามารถนำไปใช้งานได้จริง เพื่อให้บรรลุผลตามวัตถุประสงค์ของโครงการ

### บทที่ 3

## สายอากาศวิวลดิแบบไม่สมมาตรสำหรับจุดเข้าถึงในระบบการสื่อสารท้องถิ่นแบบไร้สาย

### 3.1 กล่าวนำ

โครงการนี้นำเสนอการออกแบบสายอากาศวิวลดิ ซึ่งเป็นสายอากาศร่องแบบเรียวที่มีความโค้งแบบเอ็กโปเนนเชียล สำหรับเป็นจุดเข้าถึงในระบบการสื่อสารท้องถิ่นแบบไร้สาย ในขั้นตอนการออกแบบจะใช้โปรแกรม MATLAB สำหรับสร้างเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียล โดยทำการปรับเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียลทั้งสองเส้นให้มีลักษณะไม่สมมาตรกัน เพื่อให้ลำคลื่นหลักของสายอากาศมีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานไปในทิศทางที่ต้องการ โดยสายอากาศดังกล่าวจะถูกติดตั้งบริเวณผนังอาคารสูงๆ หลังจากนั้นจะทำการจำลองแบบสายอากาศโดยใช้โปรแกรม CST ต่อไป ในส่วนสุดท้ายจะทำการสร้างสายอากาศต้นแบบ และวัดทดสอบประสิทธิภาพเปรียบเทียบผลกับค่าที่ได้จากโปรแกรม CST

### 3.2 การคำนวณขนาดของสายอากาศวิวลดิ

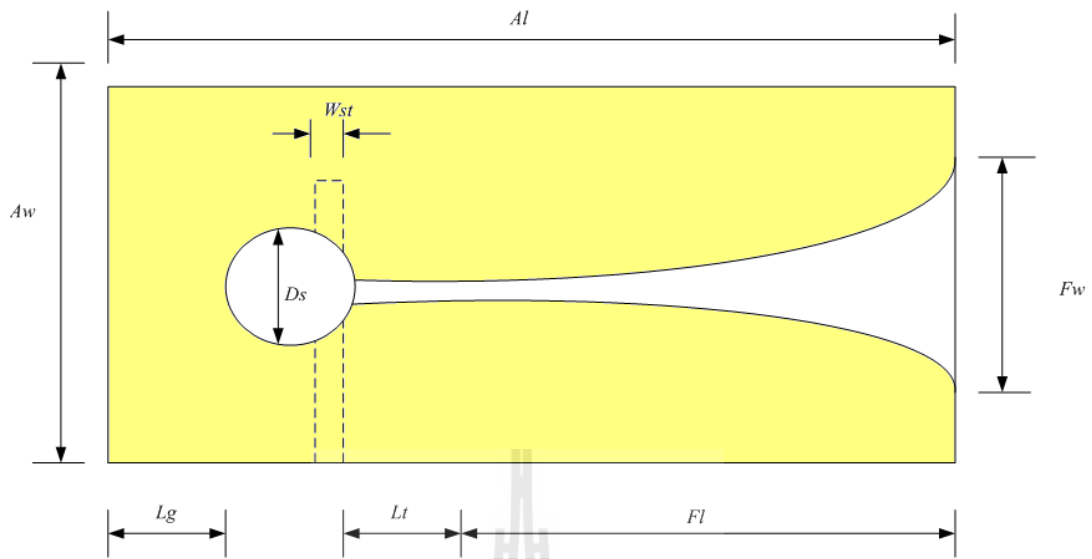
สายอากาศวิวลดิที่ออกแบบเป็นสายอากาศวิวลดิแบบไม่สมมาตร จึงต้องมีการสร้างเป็นสายอากาศวิวลดิแบบสมมาตรจากนั้นจึงปรับขนาดเพิ่มขึ้นเพื่อให้มีแบบรูปการแผ่กระจายสัญญาณที่ 2.45 GHz ให้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่วางเอาไว้ จึงได้ทำการออกแบบสายอากาศวิวลดิโดยคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้  
สมการเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียล

$$y = C_1 e^{Rz} + C_2 \quad (3.1)$$

โดยที่  $C_1 = \frac{y_2 - y_1}{e^{Rz_2} - e^{Rz_1}}$  และ  $C_2 = \frac{y_1 e^{Rz_2} - y_2 e^{Rz_1}}{e^{Rz_2} - e^{Rz_1}}$

เมื่อ  $P_1(y_1, z_1)$  ที่จุด  $(y_1, z_1)$  เป็นจุดแรกเริ่มของเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียล  
 $P_2(y_2, z_2)$  ที่จุด  $(y_2, z_2)$  เป็นจุดสุดท้ายของเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียล

สมการหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ออกแบบสายอากาศวิวลดิ



รูปที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศวีวอลดี

- ความยาวของร่องสายอากาศ  $Fl$

$$Fl = \lambda_0 = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}^2}{2 \times 10^9 \text{ GHz}} = 150 \text{ mm}$$

- ความกว้างของร่องสายอากาศ  $Fw$

$$Fw = \frac{\lambda_0}{2} = \frac{150 \times 10^{-3}}{2} \text{ m} = 75 \text{ mm}$$

- ความยาวของสายอากาศ  $Al$

$$Al = Fl + \frac{\lambda_0}{4} = 150 + \frac{150 \times 10^{-3}}{4} = 187.5 \text{ mm}$$

- ความกว้างของสายอากาศ  $Aw$

$$Aw = Fw + 2(\text{end of the tapered})$$

เมื่อ end of the tapered เป็นจุดสุดท้ายของเส้นโค้ง โดยกำหนดให้เท่ากับ 2 mm



ดังนั้น

$$Aw = 75 + 2(2) = 187.5 \text{ mm}$$

- เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของวงกลม,  $D_s$

$$D_s = \frac{\lambda_s}{4} = \frac{\left( \frac{1}{\sqrt{\epsilon_o \epsilon_r \mu_o \mu_r}} \right)}{4 \times f}$$

เมื่อ  $\epsilon_o = 8.854 \times 10^{-12}$

$$\epsilon_r = 4.4$$

$$\mu_o = 4\pi \times 10^{-7}$$

$$\mu_r = 1$$

ดังนั้นจะได้

$$D_s = \frac{\left( \frac{1}{\sqrt{(4\pi \times 10^{-7})(4.4)(8.854 \times 10^{-12})(1)}} \right)}{4 \times (2 \times 10^9)}$$

$$D_s = 17.86 \text{ mm}$$

- ความยาวของส่วนที่เป็นเส้นตรงของร่อง,  $L_t$  และ ความยาวชดเชยด้านหลังสตัด,  $L_g$

$$L_t = L_g = \frac{\left( \frac{\lambda_o}{4} - D_s \right)}{2} = \frac{\left( \frac{150 \times 10^{-3}}{4} - 17.86 \times 10^{-3} \right)}{2}$$

$$L_t = L_g = 9.82 \text{ mm}$$

- ความกว้างของเส้นไมโครสตริป  $W_{st}$

จากสมการ  $A = \frac{Z_o}{b_o} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1}} \left[ 0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right]$

เมื่อ  $Z_o = 50$ ,  $b_o = 60$ , และ  $\varepsilon_r = 4.5$

$$A = \frac{50}{60} \sqrt{\frac{4.5+1}{2} + \frac{4.5-1}{4.5+1}} \left[ 0.23 + \frac{0.11}{4.5} \right]$$

$$A = 1.542$$

จาก  $\frac{W}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A} - 2}$

$$\frac{W}{h} = \frac{8e^{1.542}}{e^{2(1.542)} - 2} = \frac{37.391}{19.845} = 1.883$$

เมื่อ  $h = 1.6 \text{ mm}$

ดังนั้น

$$W_{st} = 1.883 \times (1.6 \times 10^{-3}) = 3.014 \text{ mm}$$

### 3.3 การหาสมการเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียลโดยใช้โปรแกรม MATLAB

#### 3.3.1 โค้ดสมการเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียลด้านบน ดังนี้

$$y1 = 4.0; \quad z1 = 3.75;$$

$$y2 = 7.7; \quad z2 = 18.75;$$

$$Ra = 0.5;$$

$$e11 = Ra * z2; \quad e22 = Ra * z1;$$

$$e1 = \exp(e11); \quad e2 = \exp(e22);$$

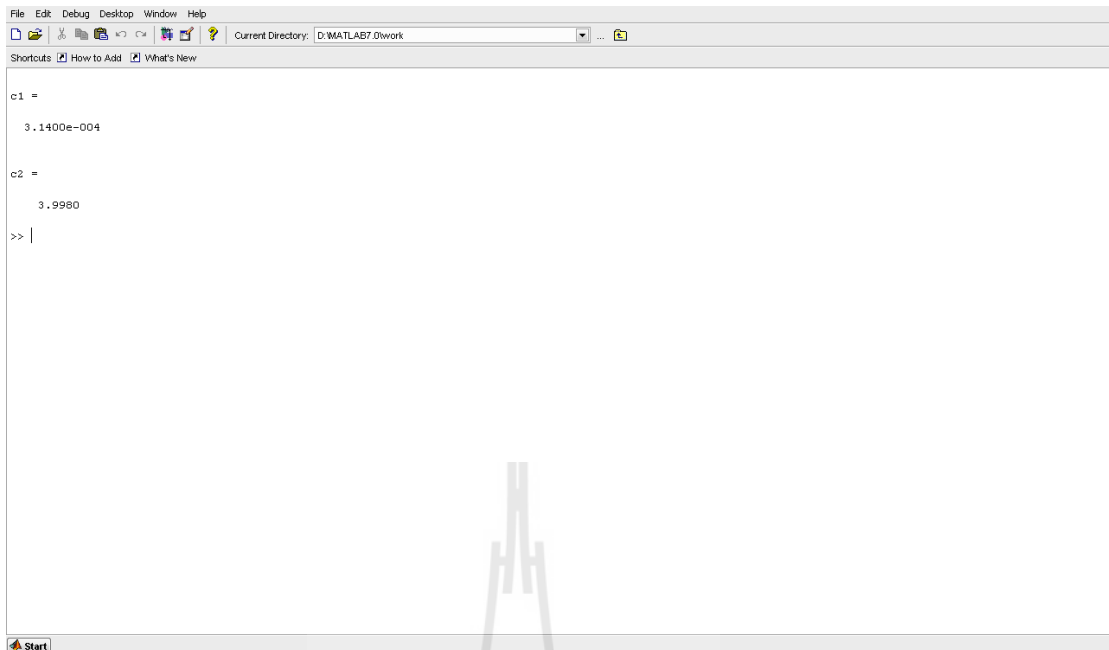
$$c11 = y2 - y1;$$

$$c21 = y1 * e1; \quad c22 = y2 * e2;$$

$$c1 = c11 / (e1 - e2)$$

$$c2 = (c21 - c22) / (e1 - e2)$$

จะได้ค่า  $c1$  และ  $c2$  ดังรูปที่ 3.3



```

File Edit Debug Desktop Window Help
Current Directory: D:\MATLAB7\work
Shortcuts How to Add What's New

c1 =
    3.1400e-004

c2 =
    3.9980

>> |

```

รูปที่ 3.2 ค่า c1 และ c2 ที่ได้จากโค้ดด้านบน

นำค่า c1 และ c2 ที่ได้ใส่ลงในโค้ด ดังนี้

```
n = 0;
```

```
for x1 = 3.75:0.1:18.75;
```

```
    n = n+1;
```

```
    y1(n) = ((3.1400e-004*exp(0.5*x1))+ 3.9980);
```

```
    R_a(n) = x1;
```

```
end
```

```
x=R_a*10;
```

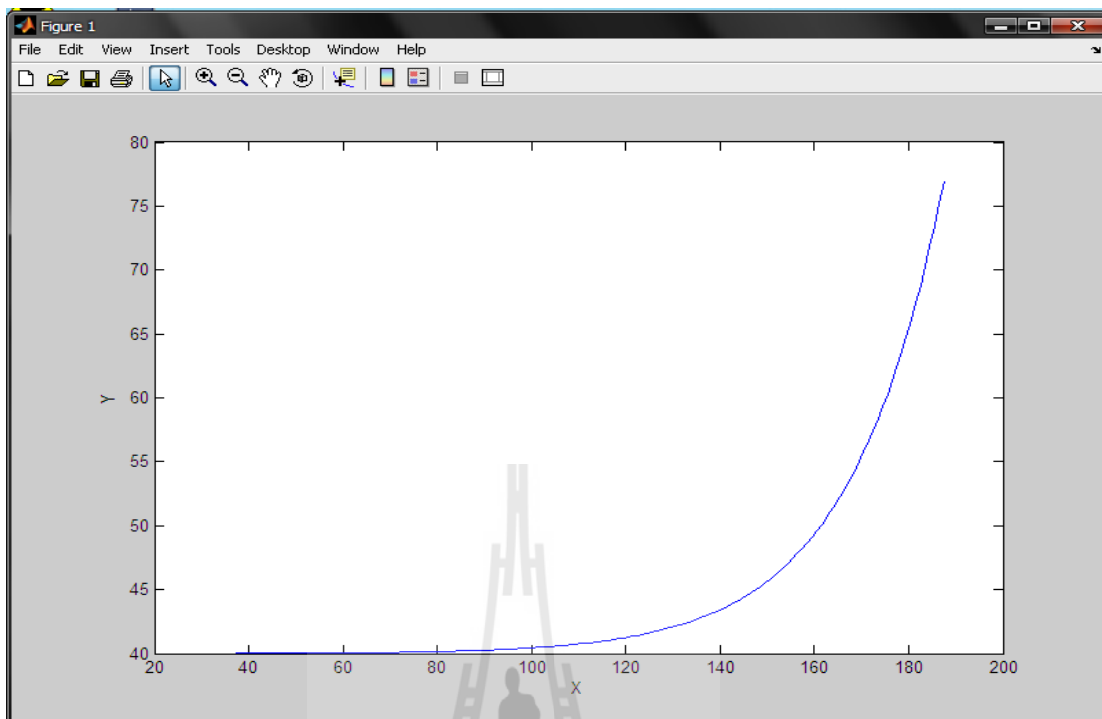
```
y=y1*10;
```

```
expo=x';
```

```
yy=y';
```

```
plot(x,y)
```

จะได้กราฟ ดังนี้




รูปที่ 3.3 กราฟเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียลด้านบน

เก็บค่าจากเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียลออกมาเป็นตัวเลขโดยเลือกที่ค่า Expo และค่า yy เพื่อโหลดลงโปรแกรม CST

Row	Expo	yy
1	37.5	40
2	38.5	40.002
3	39.5	40.003
4	40.5	40.004
5	41.5	40.005
6	42.5	40.006
7	43.5	40.008
8	44.5	40.009
9	45.5	40.011
10	46.5	40.012
11	47.5	40.014
12	48.5	40.015
13	49.5	40.017
14	50.5	40.019
15	51.5	40.021
16	52.5	40.023
17	53.5	40.026
18	54.5	40.028
19	55.5	40.03
20	56.5	40.033
21	57.5	40.036
22	58.5	40.039
23	59.5	40.042
24	60.5	40.045
25	61.5	40.048
26	62.5	40.051
27	63.5	40.055
28	64.5	40.059
29	65.5	40.063
30	66.5	40.067
31	67.5	40.072
32	68.5	40.076

รูปที่ 3.4 ข้อมูลพิกัดของเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียลด้านบน

นำค่าที่ได้จากโปรแกรม MATLAB ลงใน Notepad ดังนี้



```

Untitled - Notepad
File Edit Format View Help
135.5 42.73
136.5 42.871
137.5 43.019
138.5 43.175
139.5 43.338
140.5 43.511
141.5 43.692
142.5 43.882
143.5 44.082
144.5 44.292
145.5 44.513
146.5 44.746
147.5 44.99
148.5 45.247
149.5 45.517
150.5 45.801
151.5 46.099
152.5 46.413
153.5 46.743
154.5 47.09
155.5 47.454
156.5 47.837
157.5 48.24
158.5 48.664
159.5 49.109
160.5 49.577
161.5 50.069
162.5 50.587
163.5 51.13
164.5 51.702
165.5 52.303
166.5 52.935
167.5 53.599
168.5 54.297
169.5 55.031
170.5 55.803
171.5 56.614

```

รูปที่ 3.5 ค่าเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียลด้านบนลง Notepad

3.3.2 โค้ดสมการเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียลด้านล่าง ดังนี้

$$y1 = 4.5; \quad z1 = 3.75;$$

$$y2 = 0.2; \quad z2 = 16.5;$$

$$Ra = 0.5;$$

$$e11 = Ra * z2; \quad e22 = Ra * z1;$$

$$e1 = \exp(e11); \quad e2 = \exp(e22);$$

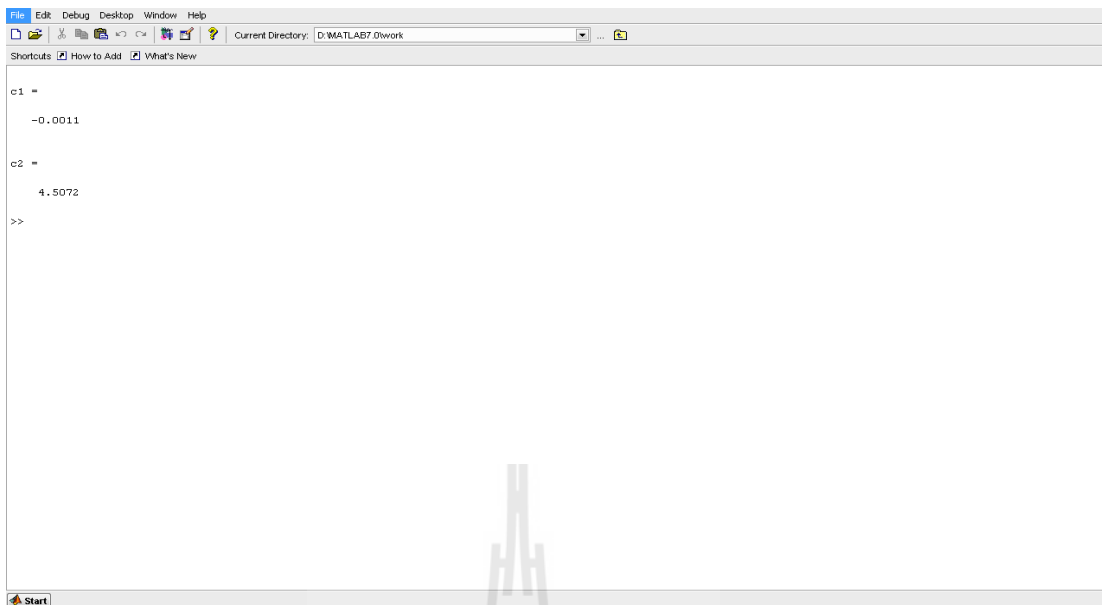
$$c11 = y2 - y1;$$

$$c21 = y1 * e1; \quad c22 = y2 * e2;$$

$$c1 = c11 / (e1 - e2)$$

$$c2 = (c21 - c22) / (e1 - e2)$$

จะได้ค่า c1 และ c2 ดังรูป



```

MATLAB
Current Directory: D:\MATLAB7\work
Shortcuts | How to Add | What's New

c1 =
    -0.0011

c2 =
     4.5072

>>

```

รูปที่ 3.6 ค่า  $c_1$  และ  $c_2$  ที่ได้จากโค้ดด้านบน

นำค่า  $c_1$  และ  $c_2$  ที่ได้ใส่ลงในโค้ด ดังนี้

```
n = 0;
```

```
for x1 = 3.7:0.1:16.5;
```

```
    n = n+1;
```

```
    y1(n) = ((-0.0011*exp(0.5*x1))+ 4.507);
```

```
    R_a(n) = x1;
```

```
end
```

```
x=R_a*10;
```

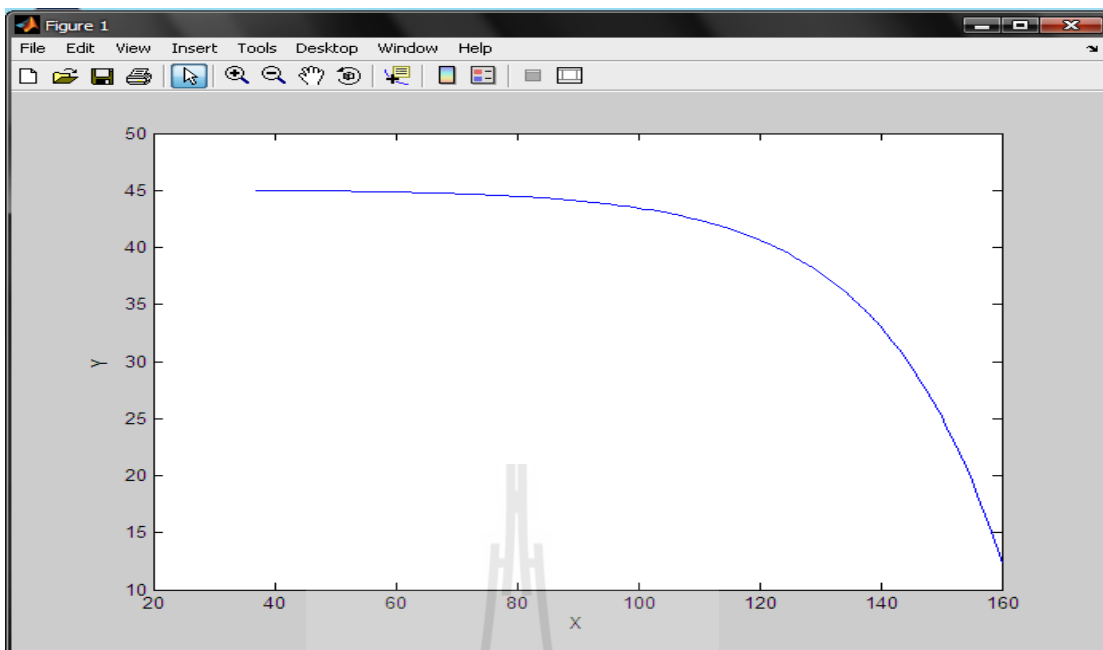
```
y=y1*10;
```

```
expo=x';
```

```
yy=y';
```

```
plot(x,y)
```

จะได้กราฟ ดังนี้



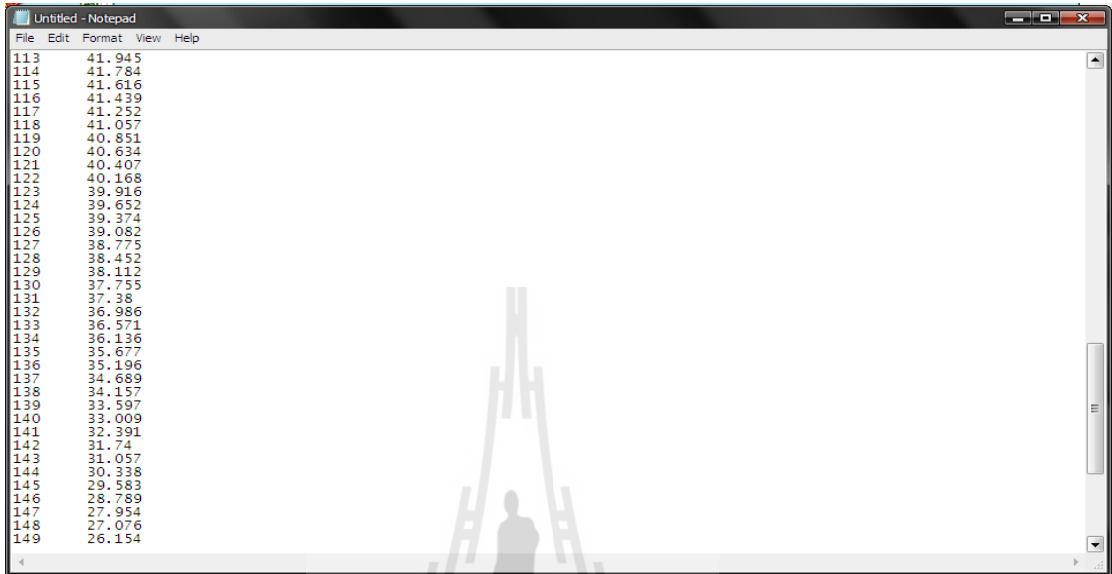
รูปที่ 3.7 กราฟเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียลด้านล่าง

เก็บค่าจากเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียลออกมาเป็นตัวเลข โดยเลือกที่ค่า expo และค่า yy เพื่อโหลดลงโปรแกรม CST

Row	expo	yy
1	37	45.002
2	38	44.996
3	39	44.996
4	40	44.991
5	41	44.987
6	42	44.982
7	43	44.978
8	44	44.973
9	45	44.968
10	46	44.962
11	47	44.957
12	48	44.951
13	49	44.945
14	50	44.938
15	51	44.931
16	52	44.924
17	53	44.916
18	54	44.908
19	55	44.9
20	56	44.891
21	57	44.882
22	58	44.872
23	59	44.862
24	60	44.851
25	61	44.84
26	62	44.828
27	63	44.815
28	64	44.802
29	65	44.788
30	66	44.774
31	67	44.758

รูปที่ 3.8 ข้อมูลพิกัดของเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียลด้านล่าง

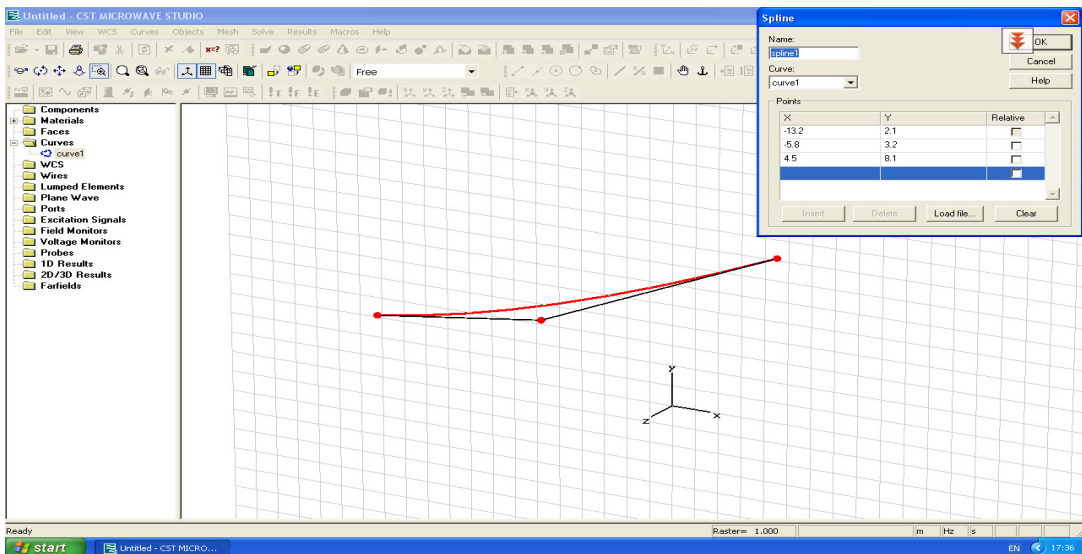
นำค่าที่ได้จากโปรแกรม MATLAB ลงใน Notepad ดังนี้



รูปที่ 3.9 ค่าเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียลด้านล่าง Notepad

### 3.4 ขั้นตอนการออกแบบและวิเคราะห์พารามิเตอร์

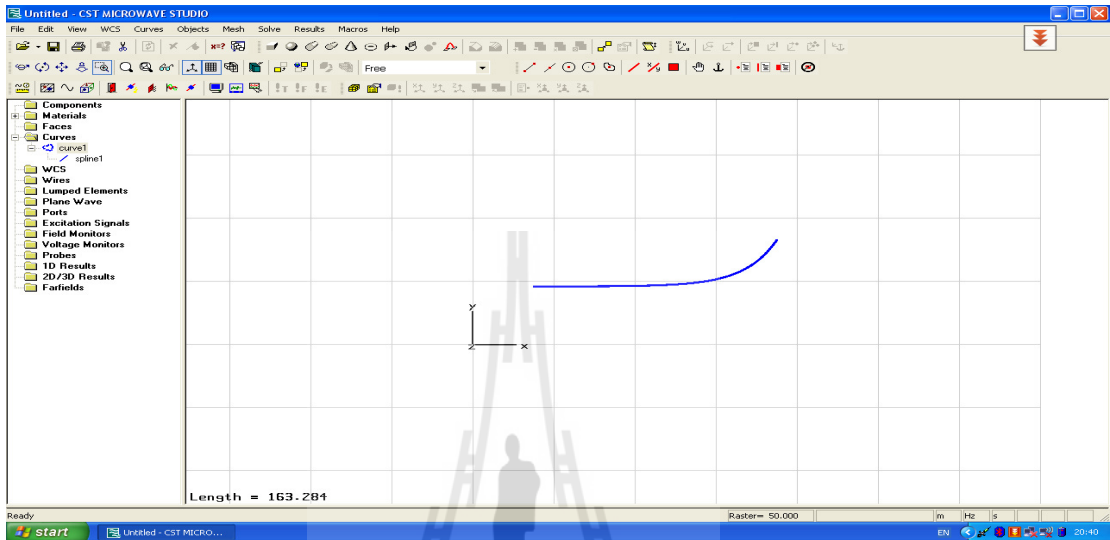
3.4.1 เปิดโปรแกรม CST เลือกเมนู Curves แล้วเลือก New Curve เลือกเส้นที่จะวาดในที่นี้เลือกเส้น Spline คลิกลงบนหน้าจอสามจุด จะได้เส้นดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.10 การสร้างเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียลด้านบน โดยโปรแกรม CST

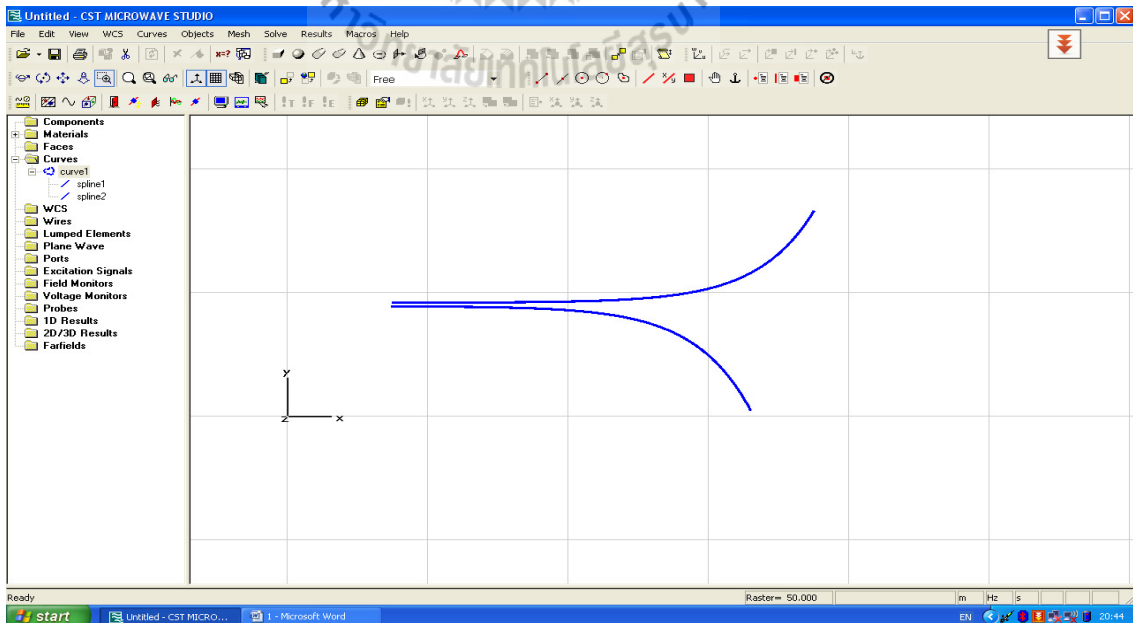


3.4.2 ทำการโหลด File ที่ได้ทำไว้ใน Notepad ดังรูปที่ 3.6 เลือก Load File คลิกเลือก Folder ที่จัดเก็บไว้ จากนั้นเลือก OK โปรแกรมก็จะทำการโหลดเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียลด้านบน ดังรูปที่ 3.12



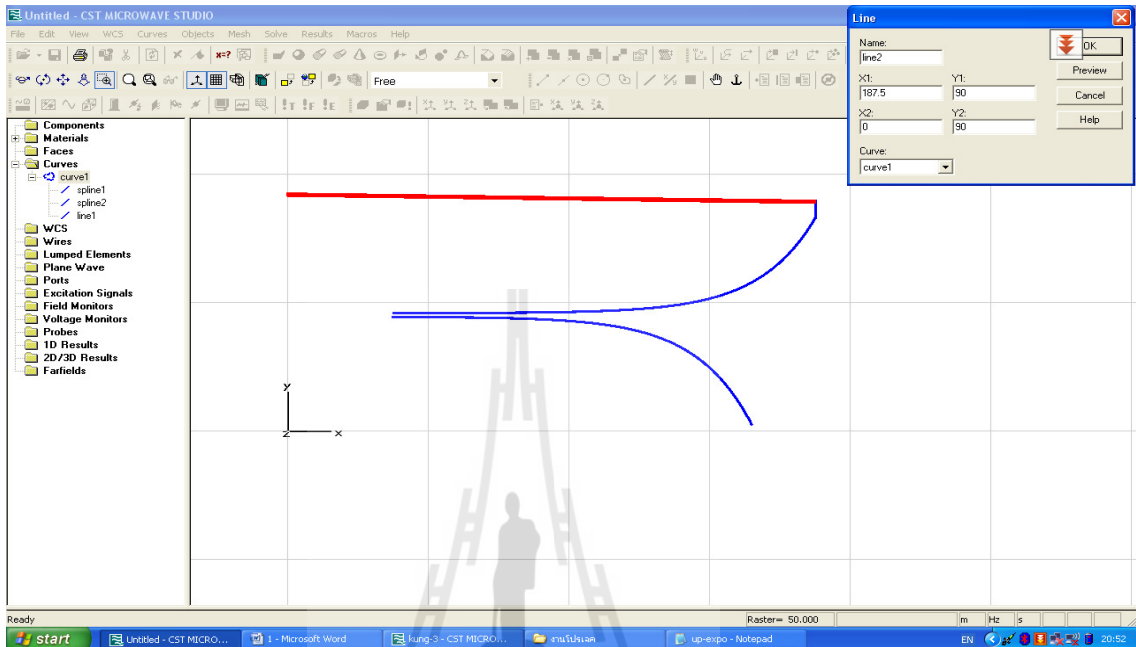
รูปที่ 3.11 เส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียลด้านบน

3.4.3 ทำการโหลด File สมการเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียลด้านล่าง ทำเช่นเดียวกับข้อที่ 3.4.1 และ 3.4.2 จะได้ดังรูปที่ 3.13



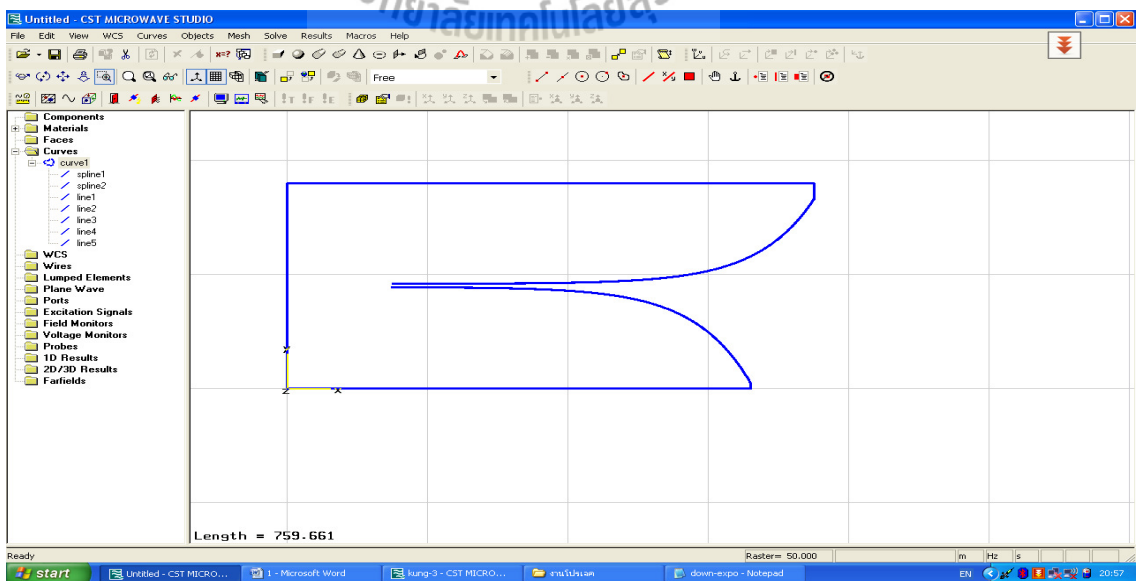
รูปที่ 3.12 เส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียลด้านล่าง

3.4.4 ลากเส้นวาดสายอากาศตามรูปแบบของสายอากาศวิวอลดี โดยใส่ขนาดตามที่ได้คำนวณไว้ โดยให้จุดทุกจุดเชื่อมต่อกัน เมื่อวาดครบเลือก OK ดังรูปที่ 3.14




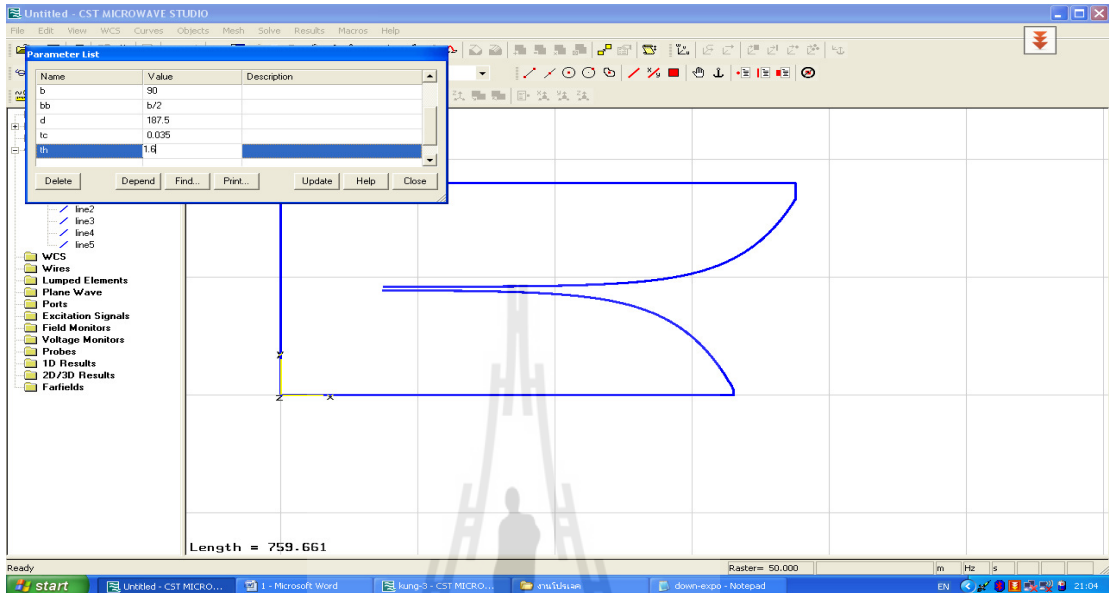
รูปที่ 3.13 การวาดและป้อนค่าให้ได้ขนาดตามที่คำนวณของสายอากาศวิวอลดี

3.4.5 เมื่อทำการวาดและป้อนค่าให้ได้ขนาดตามที่คำนวณไว้ จะได้รูปสายอากาศวิวอลดี ดังรูปที่ 3.15



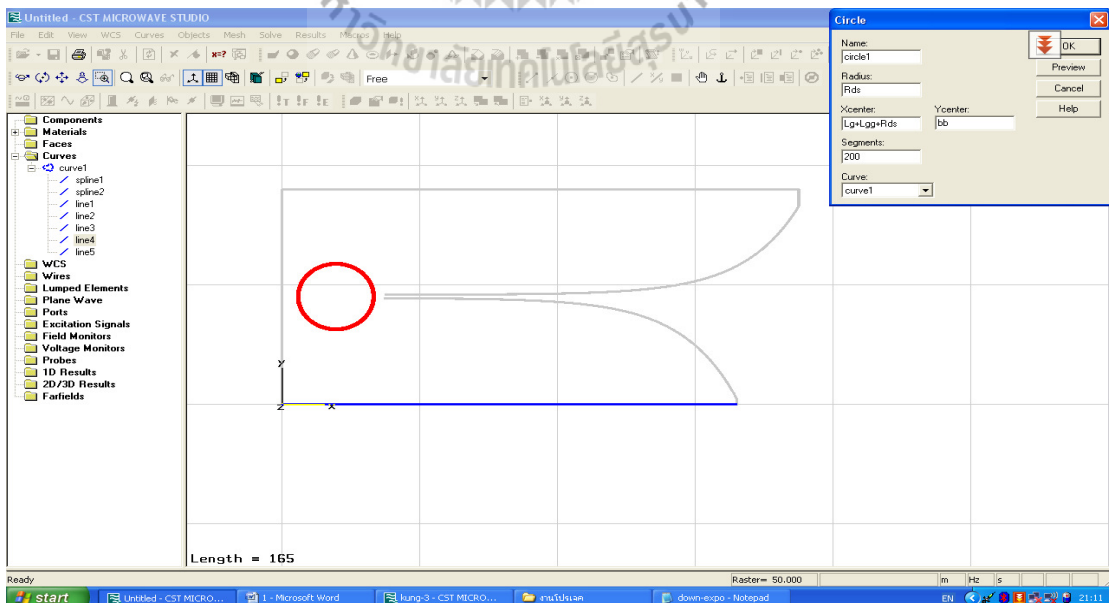
รูปที่ 3.14 สายอากาศวิวอลดีที่วาดดังข้อ 3.3.4

3.4.6 ทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่คำนวณไว้ โดยคลิกเลือกที่รูป  เมื่อกำหนดค่าครบแล้ว เลือก Update แล้วปิดหน้าต่างนี้ไป ดังรูปที่ 3.16



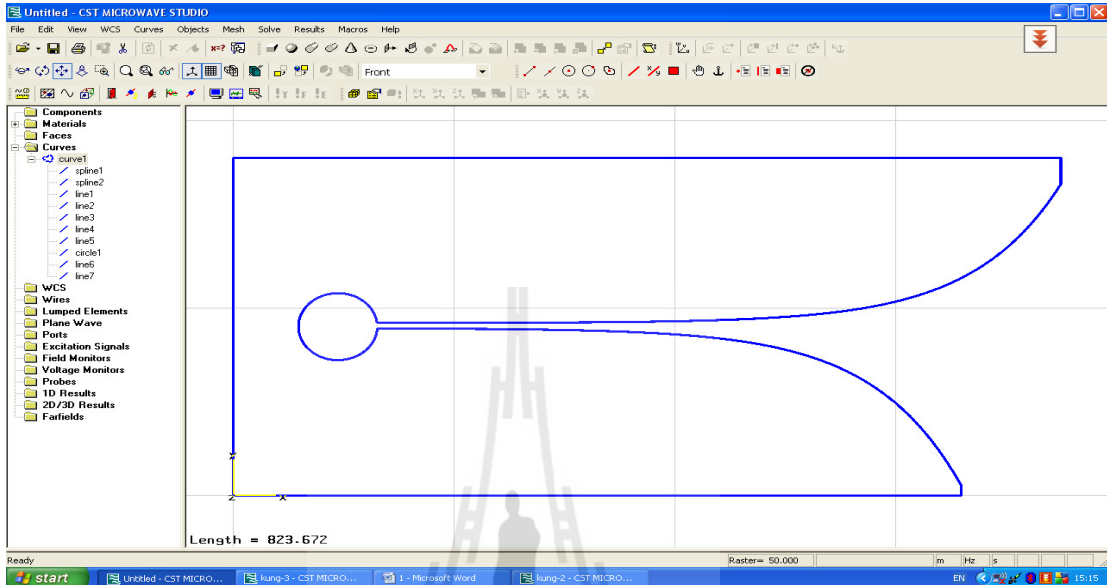
รูปที่ 3.15 การป้อนค่าพารามิเตอร์

3.4.7 สร้างวงกลมโดยเลือกที่ Curves แล้วเลือกที่ Circle แล้วกำหนดขนาดและตำแหน่งของวงกลมเมื่อเสร็จแล้วเลือก OK ดังรูปที่ 3.17



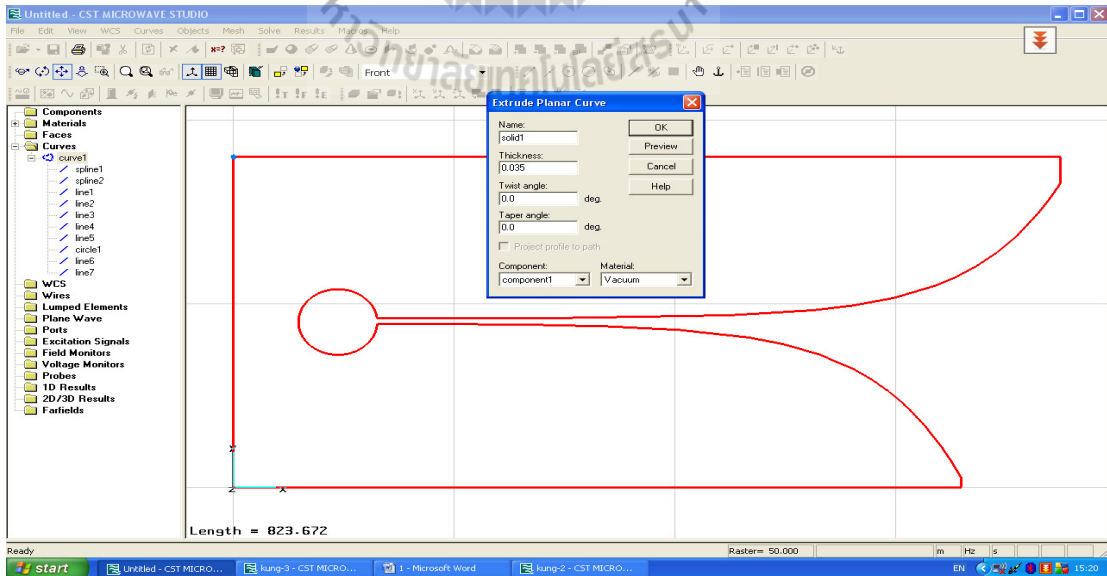
รูปที่ 3.16 การวาดรูปวงกลม

3.4.8 วาดเส้นเพื่อเชื่อมต่อระหว่างวงกลมกับเส้นโค้งให้เป็นรูปเดียวกัน แล้วทำการตัดส่วนที่เกินออก โดยเลือก Curves แล้วเลือก Trim Curves ดังรูปที่ 3.18




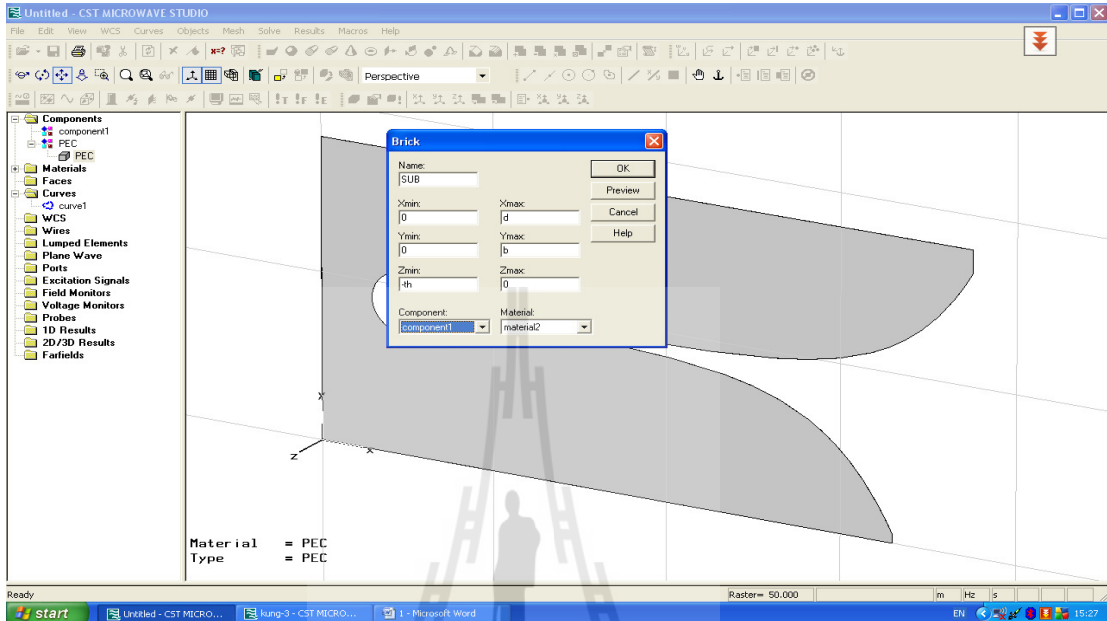
รูปที่ 3.17 การเชื่อมต่อวงกลมกับเส้นโค้งให้เป็นรูปเดียวกัน

3.4.9 ทำการเพิ่มความหนาของแผ่น PEC โดยเลือก Curves แล้วเลือก Extrude Planar Curve ทำการดับเบิลคลิกที่เส้น กำหนดค่าความหนาที่ช่อง Thickness เท่ากับ 0.035 ดังรูปที่ 3.19



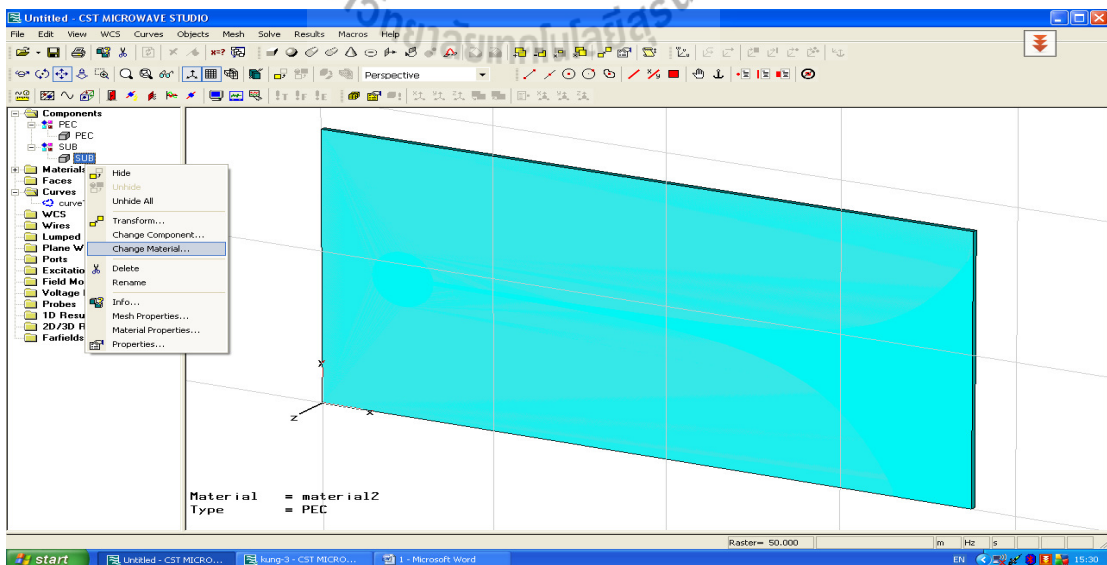
รูปที่ 3.18 การเพิ่มความหนาของ PEC

3.4.10 ทำการสร้าง Substrate โดยคลิกเลือก  (Create Brick) แล้วดับเบิลคลิก จากนั้นกด Esc ทำการกำหนดชื่อและใส่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังรูปที่ 3.20



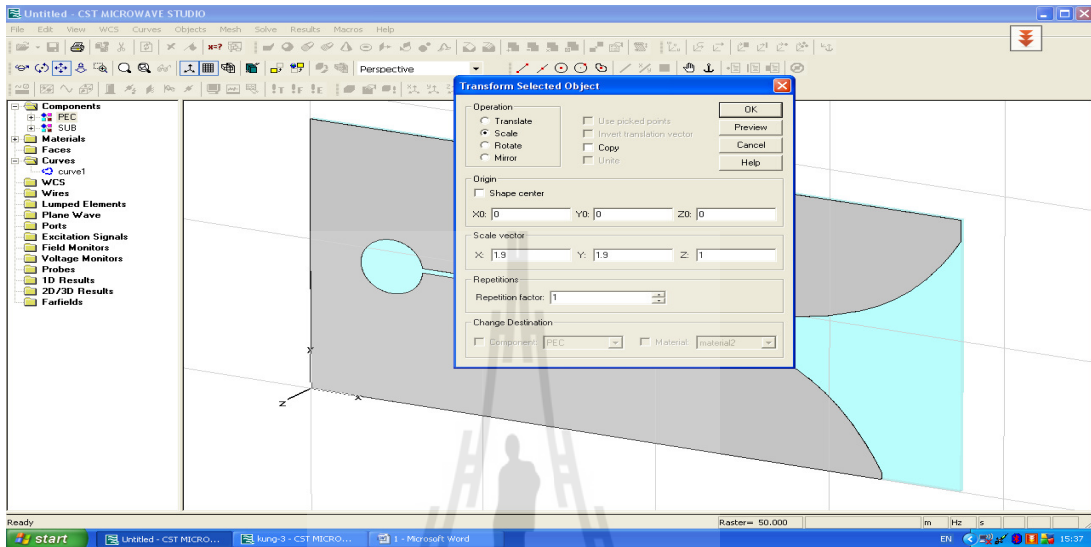
รูปที่ 3.19 การสร้าง Substrate

3.4.11 คลิกขวาที่ SUB ทางด้านซ้ายมือ แล้วเลือก Change Material เพื่อเปลี่ยนสีของ Substrate ดังรูปที่ 3.21



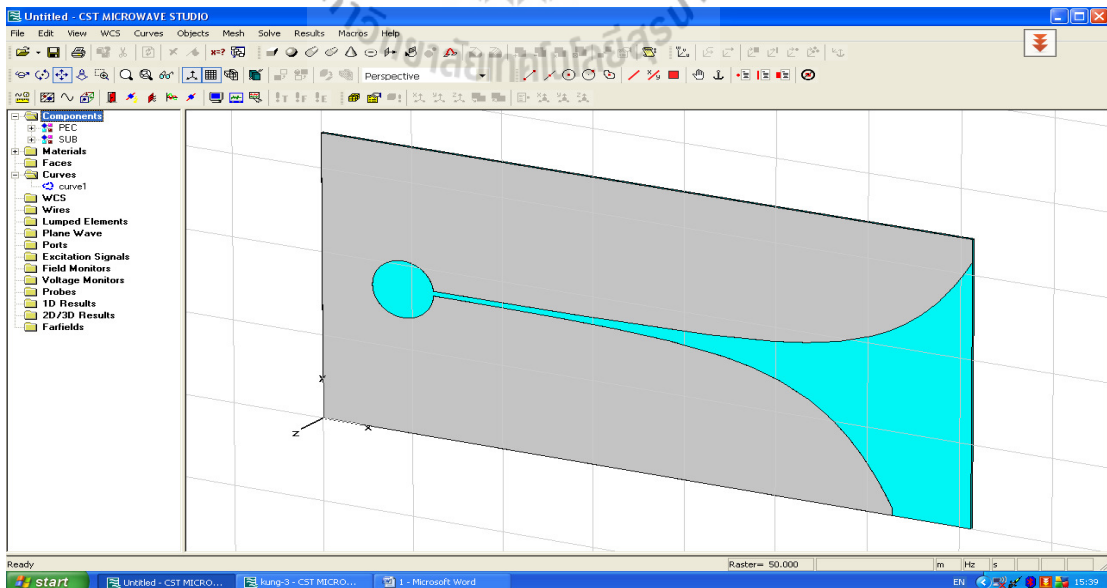
รูปที่ 3.20 การเปลี่ยนสีของ Substrate

3.4.12 ทำการเพิ่มขนาดของ PEC โดยคลิกขวาที่ PEC ซึ่งอยู่ด้านซ้ายมือ แล้วเลือกที่ Transform คลิกที่ Scale เลือกเครื่องหมายถูกต้อง ออกจาก Shape Center แล้วป้อนค่าลงช่อง Scale Vector โดยกำหนดให้ X=1.9, Y=1.9 และ Z=1 ดังรูปที่ 3.22




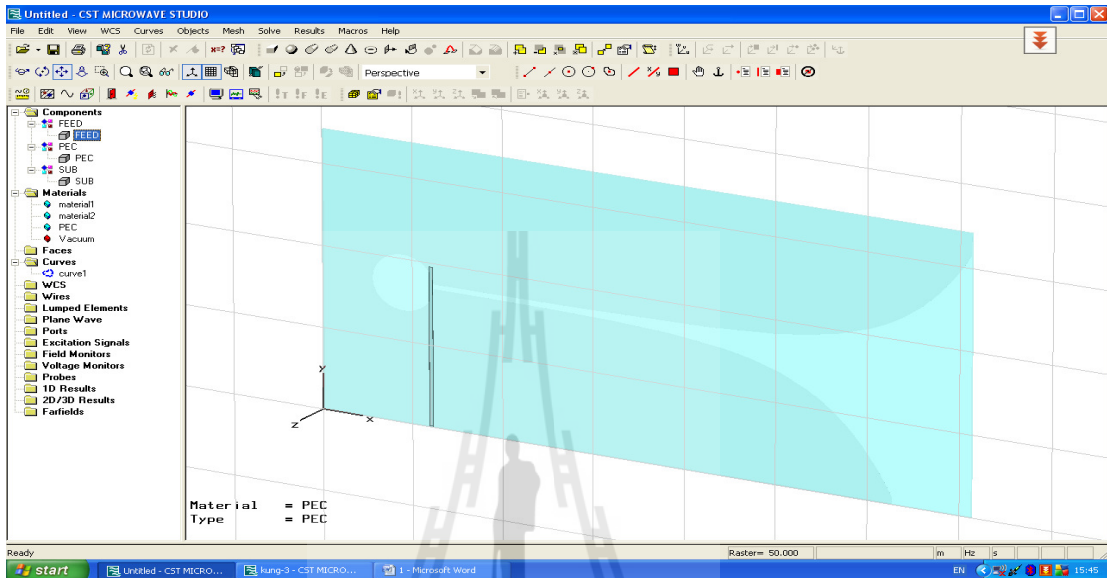
รูปที่ 3.21 การเพิ่มขนาดของ PEC

3.4.13 ทำการเพิ่มขนาดของแผ่น SUB โดยคลิกขวาที่ SUB ซึ่งอยู่ด้านซ้ายมือ จากนั้นทำเช่นเดียวกับข้อที่ 3.4.12 จะได้ดังรูปที่ 3.23



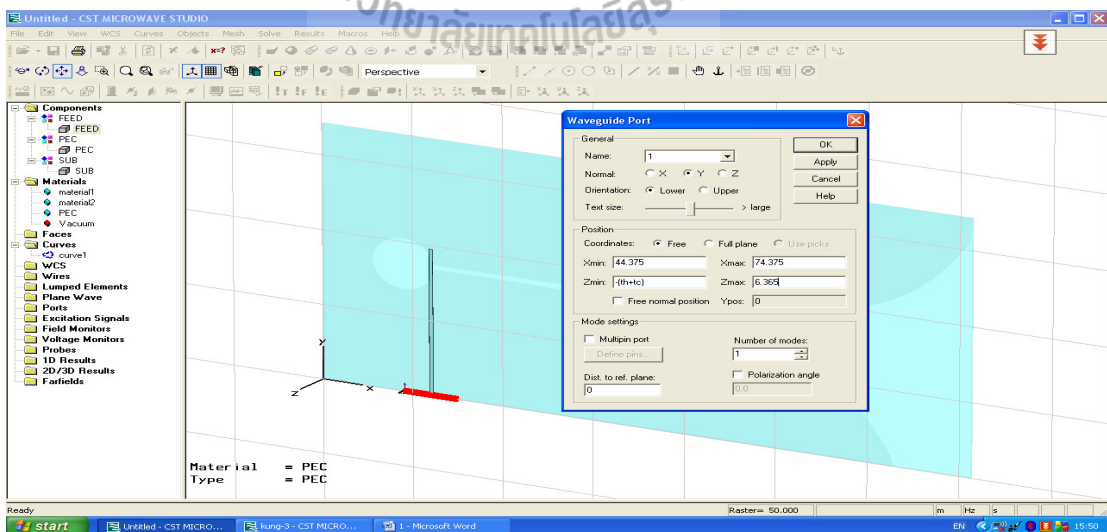
รูปที่ 3.22 การเพิ่มขนาดของ SUB

3.4.14 ทำการป้อนจุด feed โดยคลิกเลือก  (Create Brick) ตรงแถบเครื่องมือ กดดับเบิลคลิกหนึ่งครั้ง เลือก Esc โดยกำหนดขนาดของ feed แล้วเลือก Material เป็น PEC คลิกเลือก OK ดังรูปที่ 3.24




รูปที่ 3.23 การป้อนจุด feed

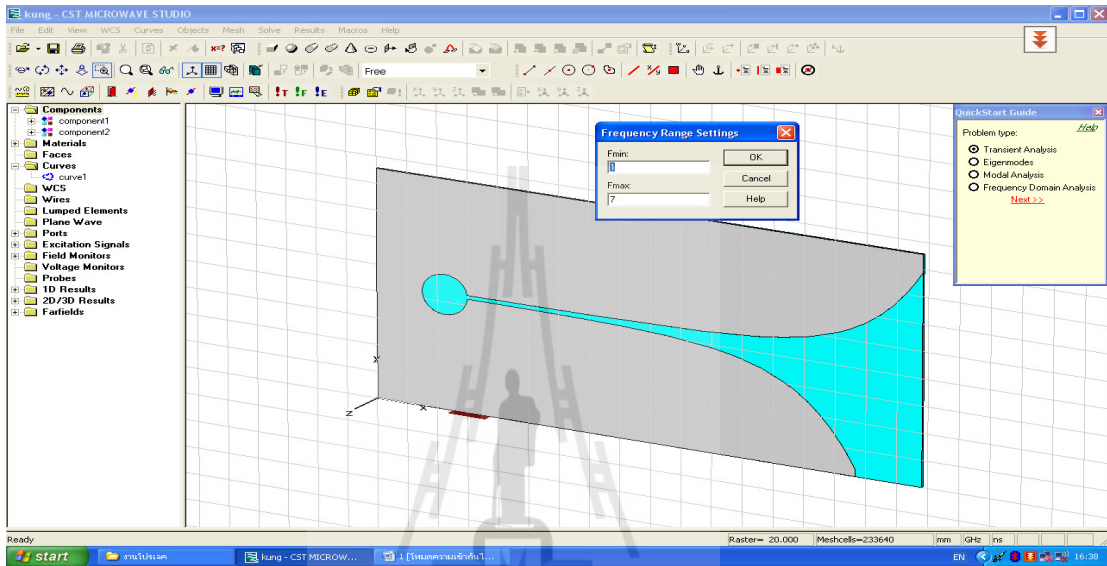
3.4.15 ทำการใส่ Ports โดยคลิกที่ Waveguide Ports แล้วเลือกที่ Normal เป็นแกน Y แล้วใส่ค่าขนาดของ Ports โดยไม่เกิน 30 mm โดยจุด Ports จะวางอยู่ที่กึ่งกลางของจุด feed ดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.24 การใส่ Ports

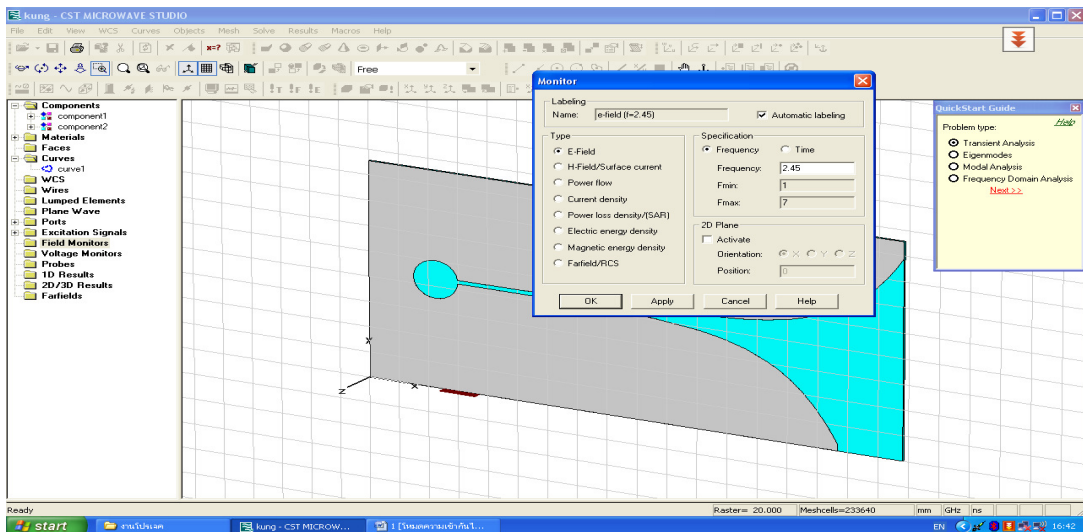
### 3.5 การประมวลผลสายอากาศวิวลิตที่ออกแบบในโปรแกรม CST

3.5.1 กำหนดช่วงความถี่ โดยเลือก  (Frequency range) แล้วใส่ช่วงความถี่ที่ต้องการซึ่งกำหนดให้อยู่ในช่วง 1-7 ดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.25 การกำหนดช่วงความถี่

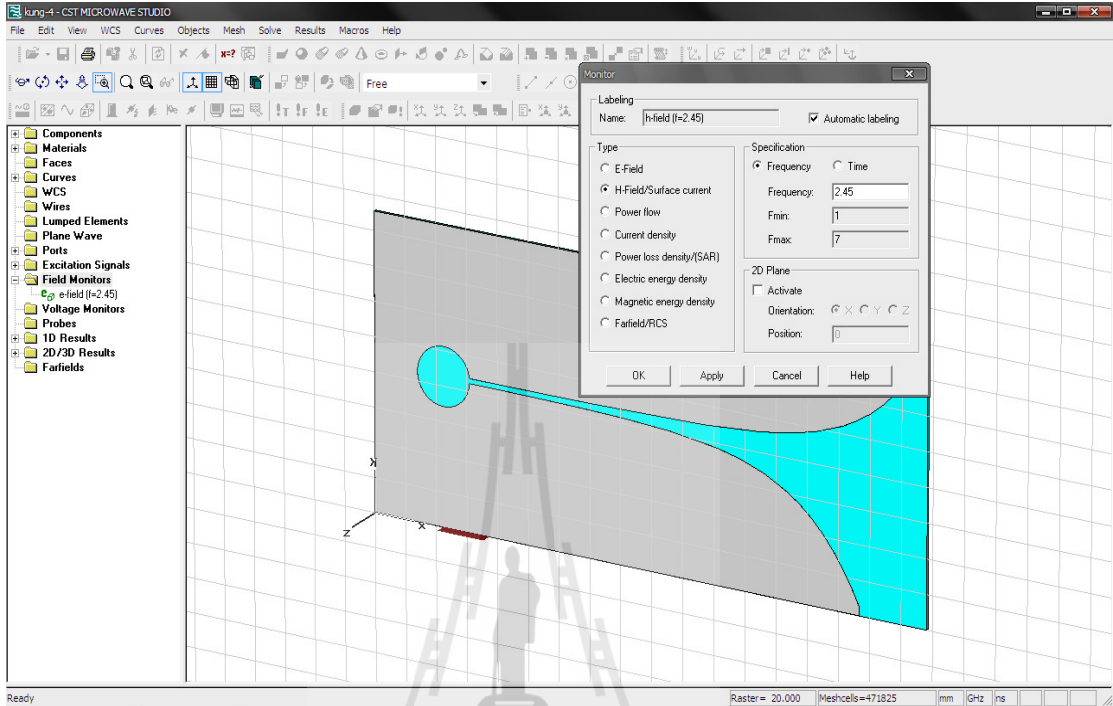
3.5.2 คลิกขวาที่ Field Monitors เลือก New Field Monitor จะมีหน้าต่างขึ้นมา เลือก Type ที่ E-Field แล้วป้อน Frequency เท่ากับ 2.45 GHz เลือก OK ดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.26 การกำหนด E-Field

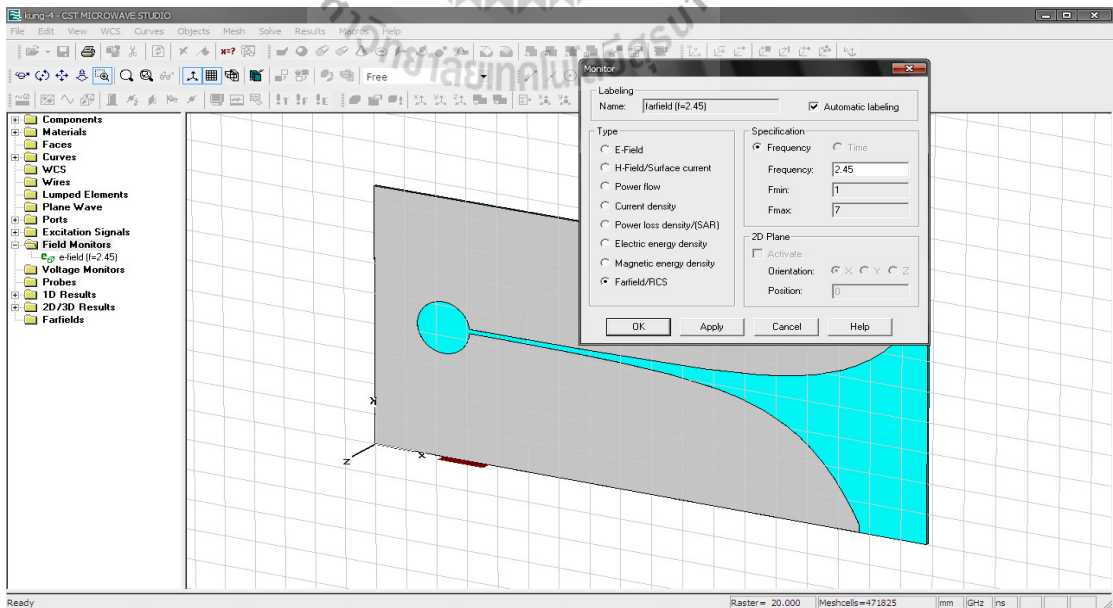


### 3.5.3 ทำเช่นเดียวกับข้อ 3.5.2 แต่เลือก H-Field / Surface current ดังรูปที่ 3.28




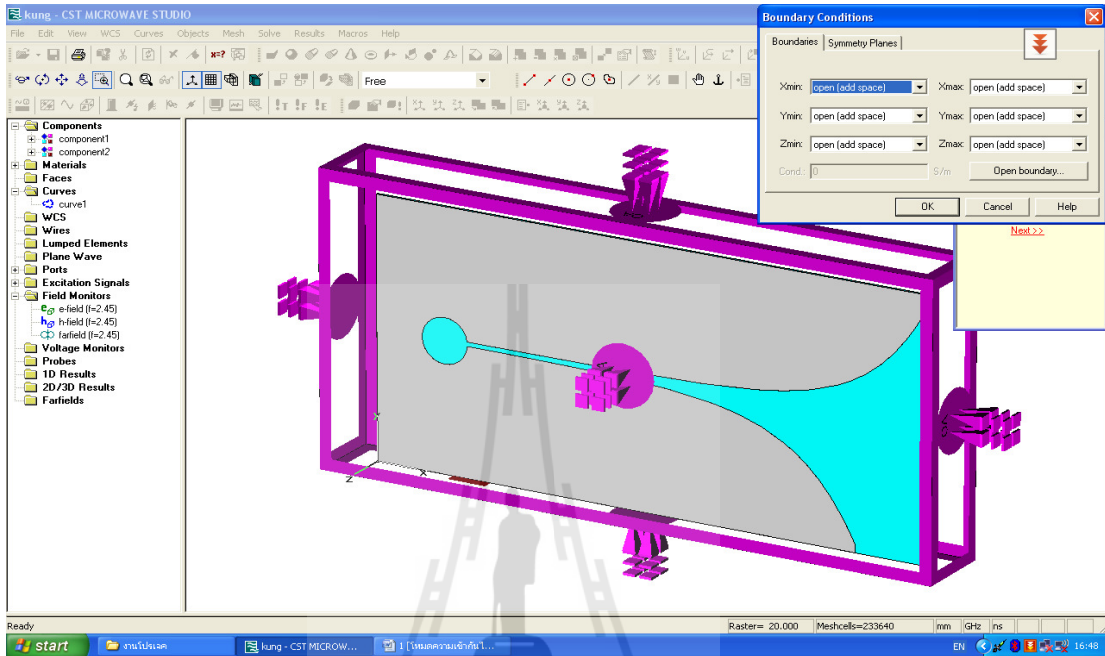
รูปที่ 3.27 การกำหนดค่า H-Field / Surface current

### 3.5.4 ทำเช่นเดียวกับข้อ 3.5.2 แต่เลือก far field / RCS ดังรูปที่ 3.29



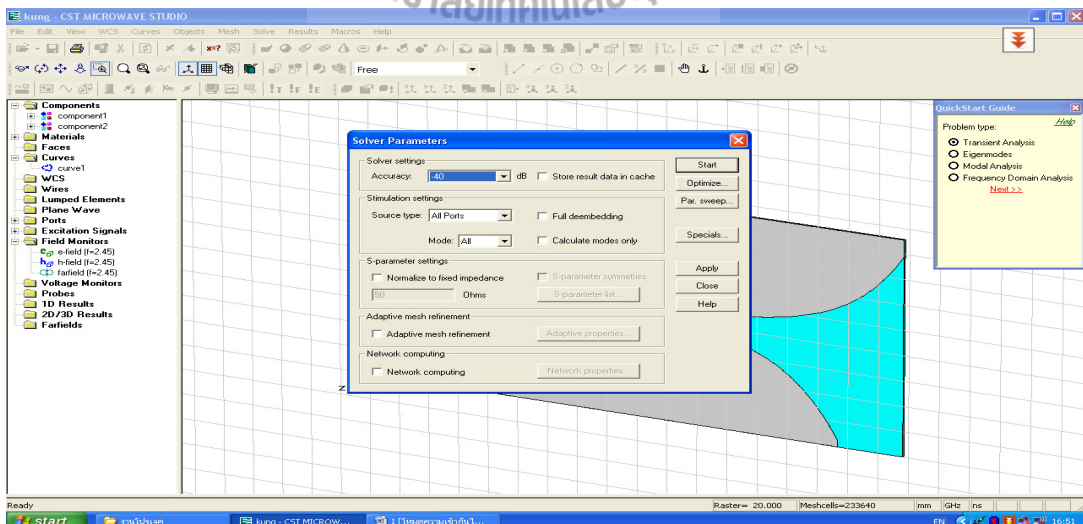
รูปที่ 3.28 การกำหนดค่า far field / RCS

3.5.5 คลิกเลือก  (Specify boundary conditions) แล้วตรวจสอบดูว่า Open หกครบทุกด้านแล้ว แล้วเลือก OK ดังรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.29 การตรวจสอบว่า Open หกครบทุกด้านแล้ว

3.5.6 คลิกเลือก  (Solver) แล้วป้อนค่า Accuracy เท่ากับ -40dB คลิกที่ Start จากนั้นโปรแกรมก็จะเริ่มประมวลผล ดังรูปที่ 3.31

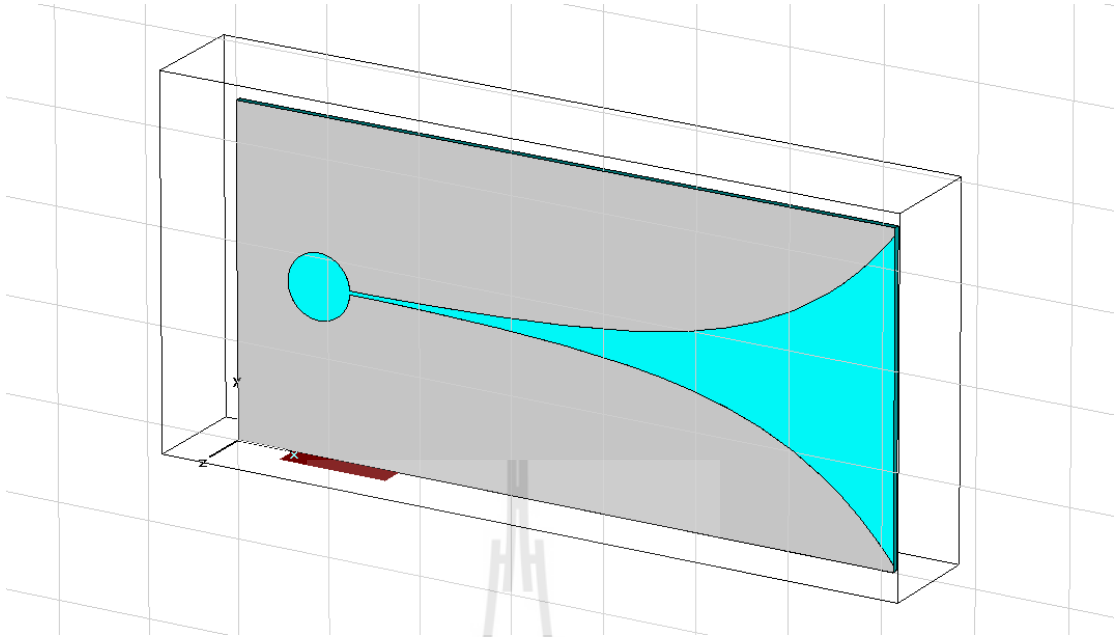


รูปที่ 3.30 การประมวลผลของสาขาอากาศวิวลติ

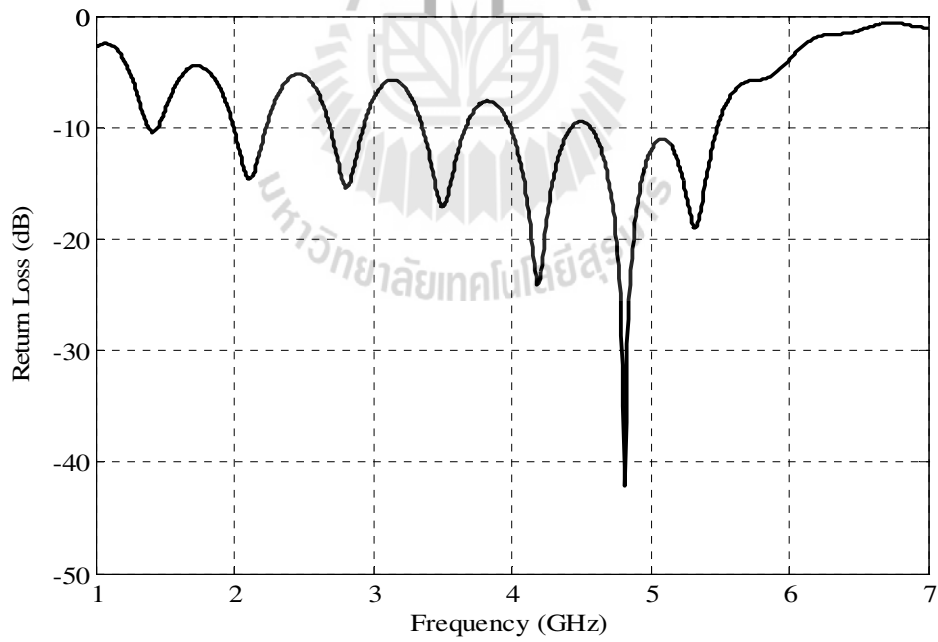
### 3.6 ผลที่ได้จากการออกแบบสายอากาศในโปรแกรม CST

#### 3.6.1 การศึกษาพารามิเตอร์ของสายอากาศวิวอลดิแบบสมมาตร

จากที่ได้คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศ ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศวิวอลดิ จะได้ผลการจำลองด้วยโปรแกรม CST เป็นแบบจำลองสายอากาศวิวอลดิ และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (S11) ดังรูปที่ 3.32 (ก) และ (ข) ตามลำดับ ซึ่งก่อนที่จะได้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ในการออกแบบ ดังนั้นจึงต้องทำการปรับค่าที่เหมาะสม เพื่อให้ได้สายอากาศวิวอลดิที่มีความกว้างแถบครอบคลุมช่วงความถี่ปฏิบัติการที่ 2.45 GHz โดยมีค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับหาค่าที่เหมาะสม ได้แก่ ความยาวของสายอากาศ ( antenna length :  $Al$ ) ความกว้างของร่อง ( flared slotline width :  $Fw$ ) ความยาวชดเชยด้านหลังสตัป ( backwall length :  $Lg$ ) อัตราความโค้งของร่องเอ็กโปเนนเชียล ( exponential opening rate :  $Ra$ ) การปรับมาตราส่วนของสายอากาศ ซึ่งจะพิจารณาการปรับหาค่าที่เหมาะสมจากค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศ



(ก) แบบจำลองสายอากาศวิทยุคลื่นแบบสมมาตร

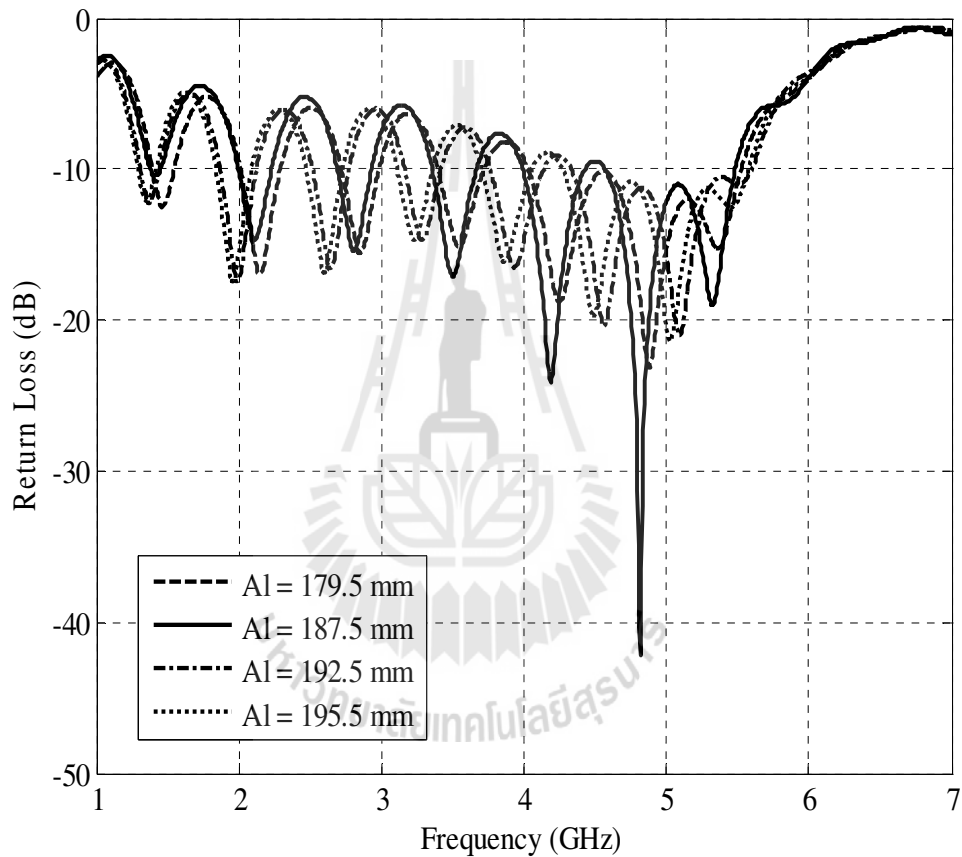


(ข) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ, S11

รูปที่ 3.31 ผลการจำลองสายอากาศวิทยุคลื่นด้วยโปรแกรม CST

### 1. ความยาวของสายอากาศ

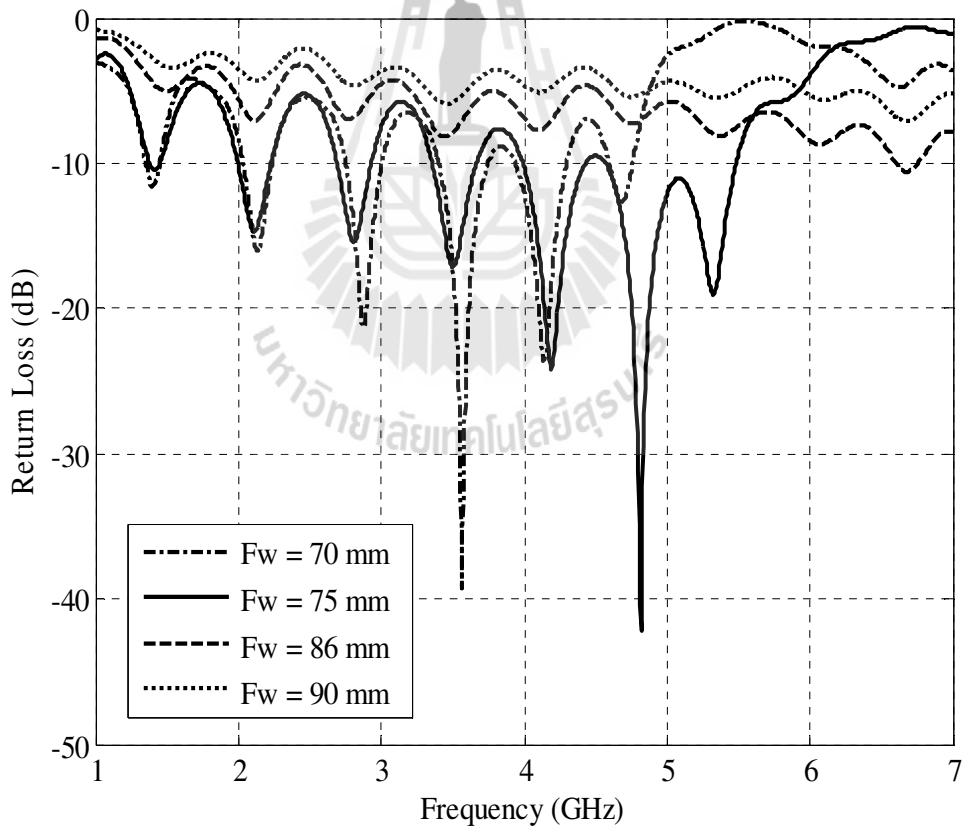
เมื่อทำการเปลี่ยนค่าความยาวของสายอากาศ หรือ  $Al$  คือให้  $Al$  เท่ากับ 179.5 มิลลิเมตร 187.5 มิลลิเมตร 192.5 มิลลิเมตร และ 195.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยให้ค่าพารามิเตอร์อื่นๆคงที่ จากการจำลองผลพบว่า เมื่อสายอากาศวิวลติมีความยาวเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน มีจำนวนการแกว่ง (oscillation) ที่เพิ่มขึ้นแสดงดังรูปที่ 3.33



รูปที่ 3.32 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า  $Al$

## 2. ความกว้างของร่อง

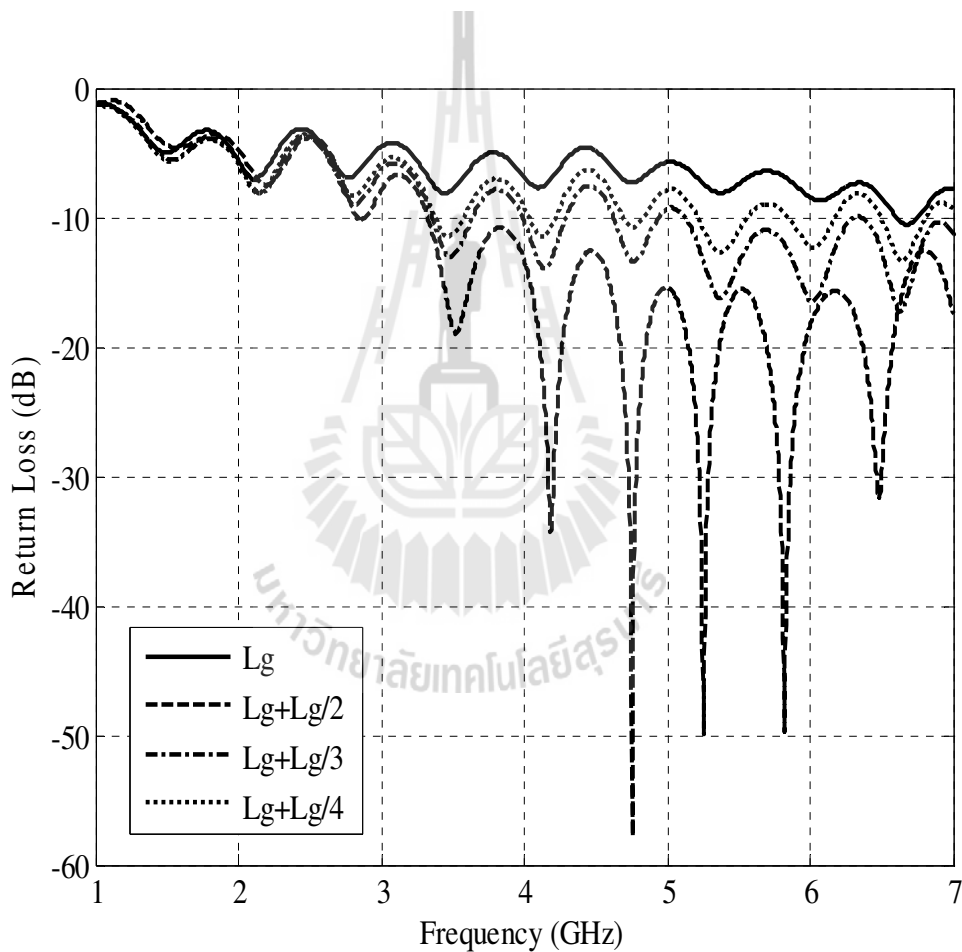
เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าความกว้างของร่อง ( $F_w$ ) คือให้  $F_w$  เท่ากับ 70 มิลลิเมตร 75 มิลลิเมตร 86 มิลลิเมตร และ 90 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยให้ค่าพารามิเตอร์อื่นๆมีค่าคงที่ พบว่าเมื่อค่า  $F_w$  เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนดีขึ้น เนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ในการแผ่กระจายกำลังงาน แต่ถ้า  $F_w$  เพิ่มมากขึ้นจะพบว่าความถี่ปฏิบัติการในช่วงความถี่กลาง จะเลื่อนไปยังความถี่สูงขึ้น แต่จากการจำลองผลจะเห็นได้ว่าเมื่อ  $F_w$  เท่ากับ 75 มิลลิเมตร มีผลของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับดีที่สุด ดังรูปที่ 3.34 แต่เมื่อนำค่า  $F_w$  เท่ากับ 75 มิลลิเมตร ไปทำการปรับค่าความยาวขดเชยด้านหลังสลับ พบว่าได้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับที่ไม่ดี จึงได้ทำการเลือกค่า  $F_w$  เท่ากับ 86 มิลลิเมตร มาทำการปรับค่าความยาวขดเชยด้านหลังสลับ พบว่าได้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับที่ดีขึ้น ดังนั้นจึงเลือกค่า  $F_w$  เท่ากับ 86 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.33 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า  $F_w$

### 3. ความยาวขดเชยด้านหลังสตัป

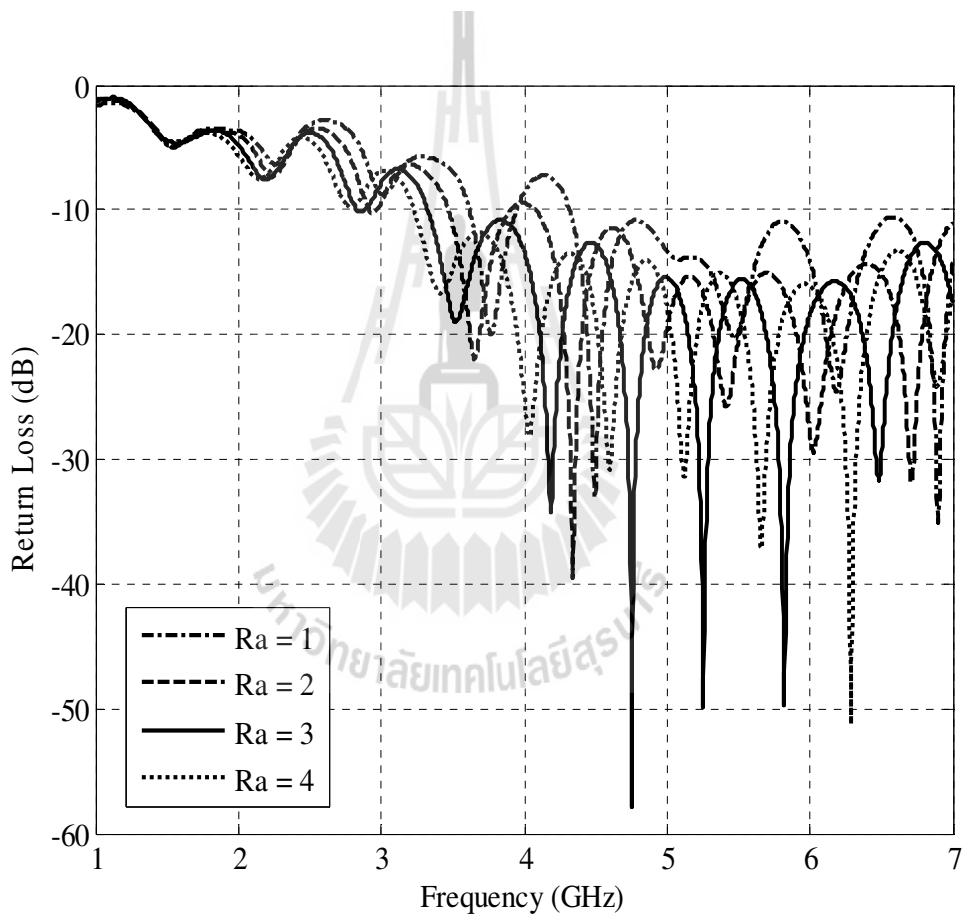
เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าความยาวขดเชยด้านหลังสตัป หรือ ( $L_g$ ) คือให้  $L_g$  เท่ากับ 9.82 มิลลิเมตร ( $L_g$ ) 12.28 มิลลิเมตร ( $L_g + (L_g/4)$ ) 13.09 มิลลิเมตร ( $L_g + (L_g/3)$ ) และ 14.73 มิลลิเมตร ( $L_g + (L_g/2)$ ) โดยค่าพารามิเตอร์อื่นๆ มีค่าคงที่ จากการจำลองผล พบว่าเมื่อค่า  $L_g$  เพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับดีขึ้นที่ความถี่ปฏิบัติการช่วงความถี่ต่ำ แต่ถ้า  $L_g$  เพิ่มขึ้นมากจะพบว่าความถี่ปฏิบัติการที่ช่วงความถี่กลางจะเลื่อนไปยังความถี่ที่สูงขึ้นแสดงดังรูป 3.35 ดังนั้นเลือกค่า  $L_g$  เท่ากับ 14.73 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.34 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า  $L_g$

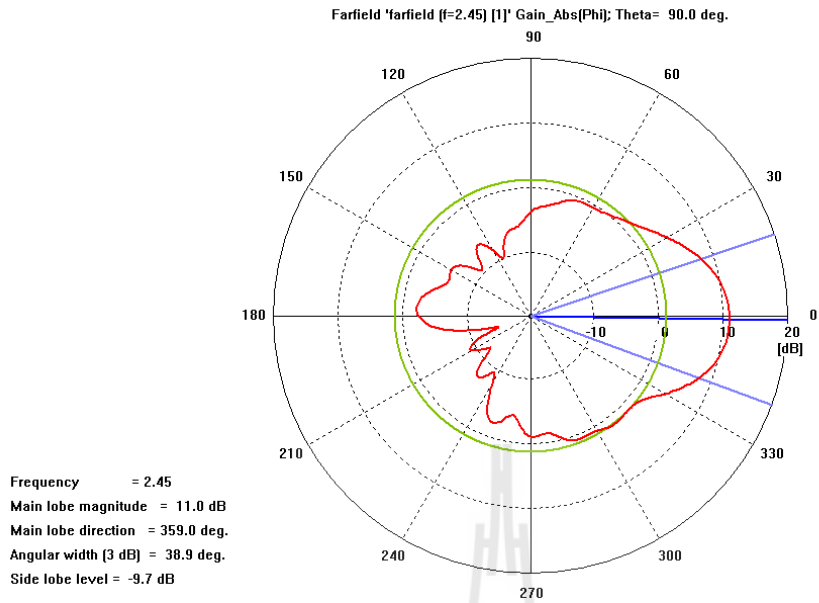
#### 4 อัตราความโค้งของร่องเอ็กโปเนนเชียล

เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราความโค้งของร่องเอ็กโปเนนเชียล ( $Ra$ ) คือ ให้  $Ra$  เท่ากับ 1 2 3 และ 4 โดยให้ค่าพารามิเตอร์อื่นๆ มีค่าคงที่ จากการจำลองผล พบว่า เมื่อค่า  $Ra$  เพิ่มขึ้น ทำให้ความถี่ปฏิบัติการช่วงความถี่ต่ำลดลง และช่วงความถี่กลางมีการแมตช์ที่ไม่ดี จากรูปที่ 3.35 จะเห็นได้ว่าค่า  $Ra$  เท่ากับ 3 จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับที่ดีที่สุด เมื่อ  $Ra$  มากกว่า 3 พบว่าความถี่ปฏิบัติการที่ช่วงความถี่ต่ำมากกว่า 3 GHz และเมื่อ  $Ra$  มากกว่า 3 พบว่าช่วงความถี่กลางมีการแมตช์ที่ไม่ดี ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับมากกว่า -10 dB ดังนั้นเลือกค่า  $Ra$  เท่ากับ 3

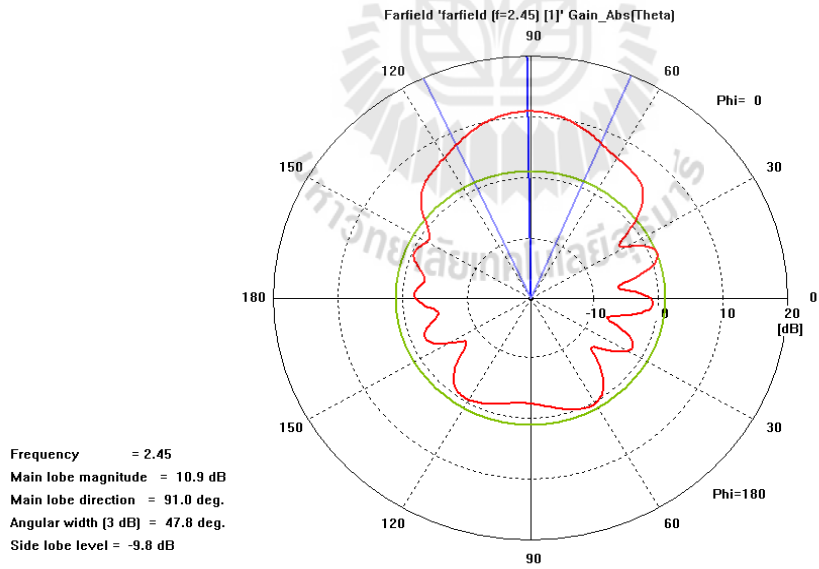


รูปที่ 3.35 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า  $Ra$





รูปที่ 3. 36 แบบรูปการแผ่กระจายพลังงานในระนาบ E-Plane



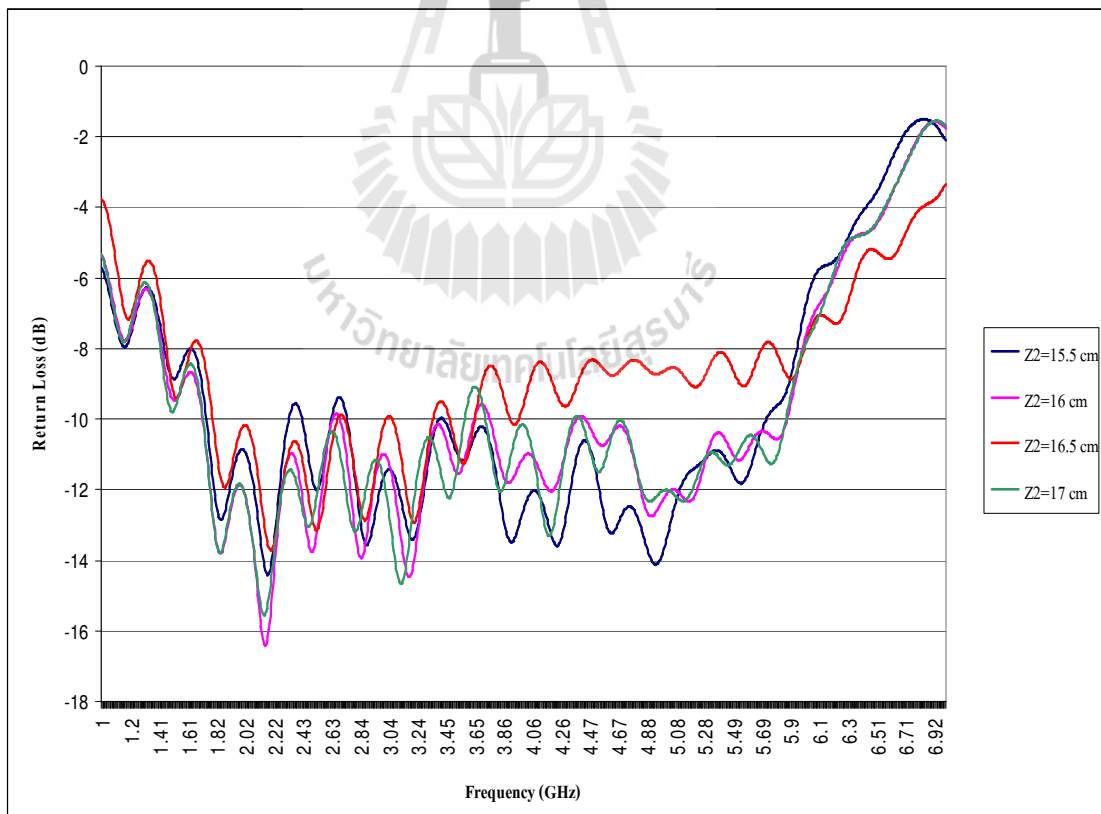
รูปที่ 3. 37 แบบรูปการแผ่กระจายพลังงานในระนาบ H-Plane

3.6.2 การศึกษาพารามิเตอร์ของสายอากาศวิวลดิแบบไม่สมมาตร

เนื่องจากการปรับให้สายอากาศวิวอลดิเป็นแบบไม่สมมาตร เป็นการปรับเส้นโค้ง เอ็กโปเนนเชียลด้านล่างให้ไม่สมมาตรกับด้านบน โดยการปรับตำแหน่งของ  $Z_2$  ทำให้ค่า S11 และแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่มีอยู่เดิมเปลี่ยนไป โดยที่จะเลือกตำแหน่ง  $Z_2$  ที่ได้ค่า S11 ดีที่สุด นั่นคือต่ำกว่า -10 dB และมีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานครอบคลุมได้ดีที่สุด

### 1. ผลเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (S11)

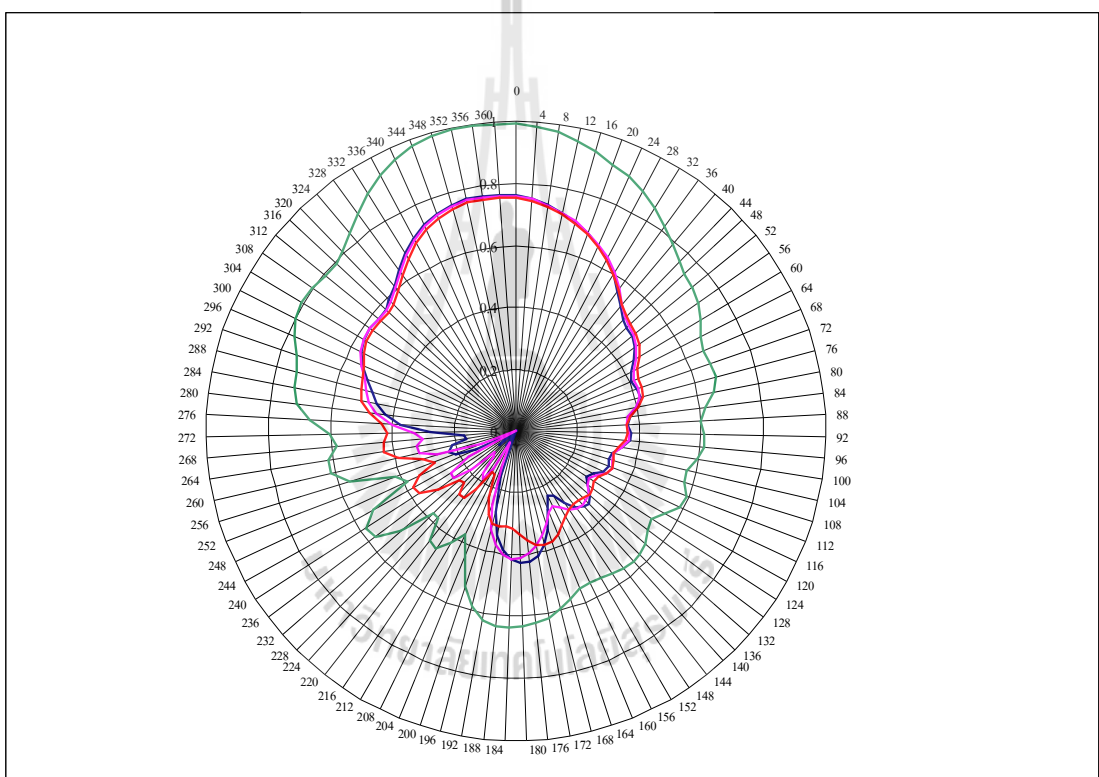
เมื่อทำการเปลี่ยนตำแหน่งของ  $Z_2$  เท่ากับ 15.5 เซนติเมตร 16 เซนติเมตร 16.5 เซนติเมตร และ 17 เซนติเมตร โดยจะเปรียบเทียบที่ความถี่ 2.45 GHz ซึ่งเป็นความถี่ที่เจาะจงให้สายอากาศวิวอลดิแบบไม่สมมาตรที่ออกแบบทำงานที่ความถี่ 2.45 GHz ได้ จะเห็นว่าที่  $Z_2=16$  เซนติเมตร มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนต่ำกว่า -10 dB ที่สุดแต่เมื่อพิจารณาแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานแล้วมีการแผ่กระจายกำลังงานที่ไม่ค่อยดีมากนัก เมื่อเทียบกับที่  $Z_2=16.5$  เซนติเมตร ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ ต่ำกว่า -10 dB ลงจากที่ตำแหน่ง  $Z_2=16$  เซนติเมตร ดังนั้นจึงเลือกที่ตำแหน่ง  $Z_2=16.5$  เซนติเมตร



รูปที่ 3.38 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ

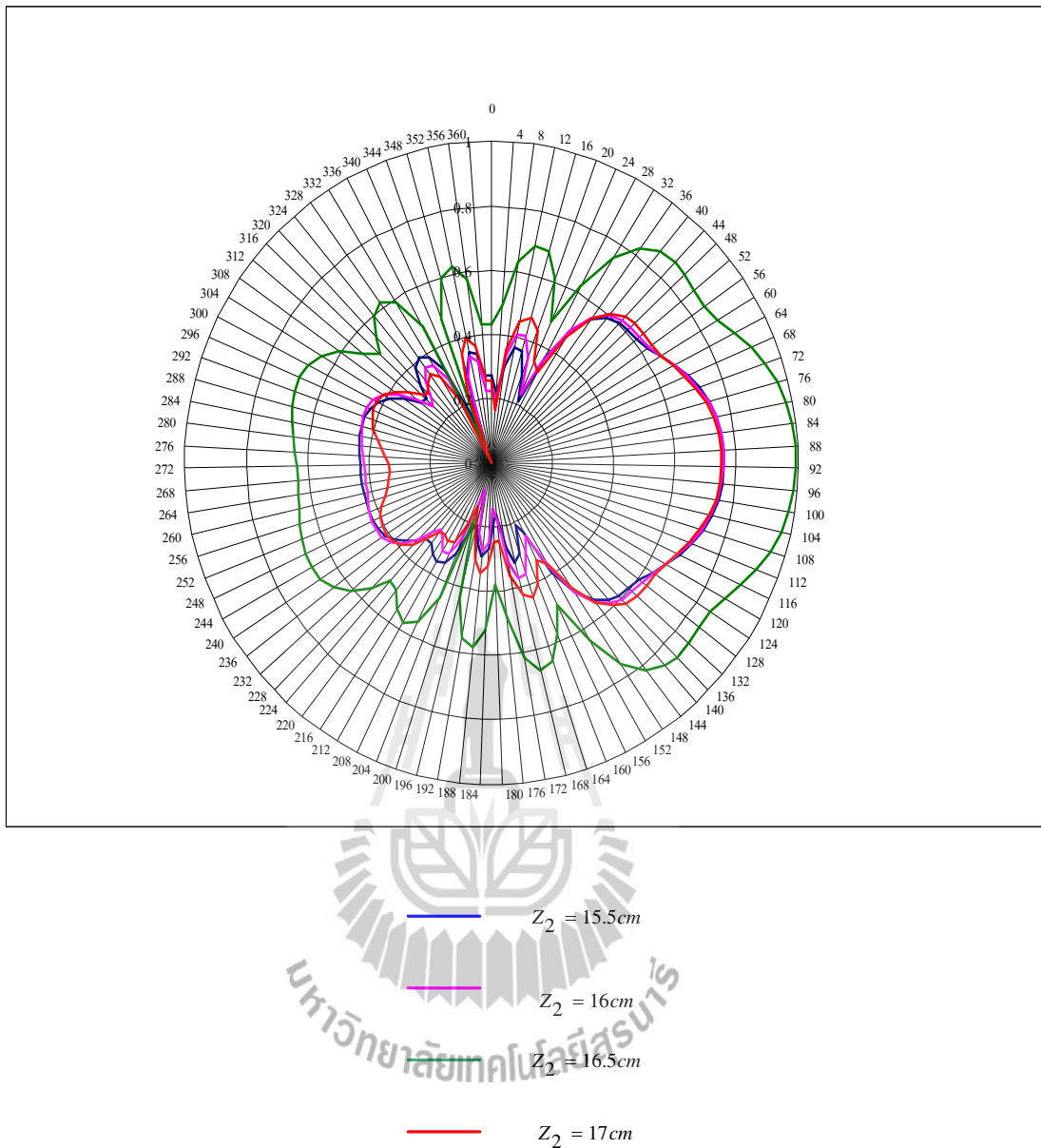
### 2. ผลเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน (Pattern)

เมื่อทำการเปลี่ยนตำแหน่งของ  $Z_2$  เท่ากับ 15.5 เซนติเมตร 16 เซนติเมตร 16.5 เซนติเมตร และ 17 เซนติเมตร จะเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศวิวอลติ ในระนาบ E-Plane และ H-Plane โดยจะดูความกว้างของแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานให้ครอบคลุมมากที่สุด และลำคลื่น โกงลงเพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์ของโครงการ จะเห็นว่าที่ตำแหน่ง  $Z_2=16.5$  เซนติเมตร มีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่ครอบคลุม ลำคลื่นต่ำลงทำมุม 5 องศา ซึ่งไม่มากเกินไปและน้อยเกินไปเพราะถ้าลำคลื่นทำมุมที่มากเกินไปจะทำให้ผู้ใช้ที่อยู่ไกลออกไปไม่ได้รับสัญญาณ ดังนั้นจึงเลือกที่ตำแหน่ง  $Z_2=16.5$  เซนติเมตร



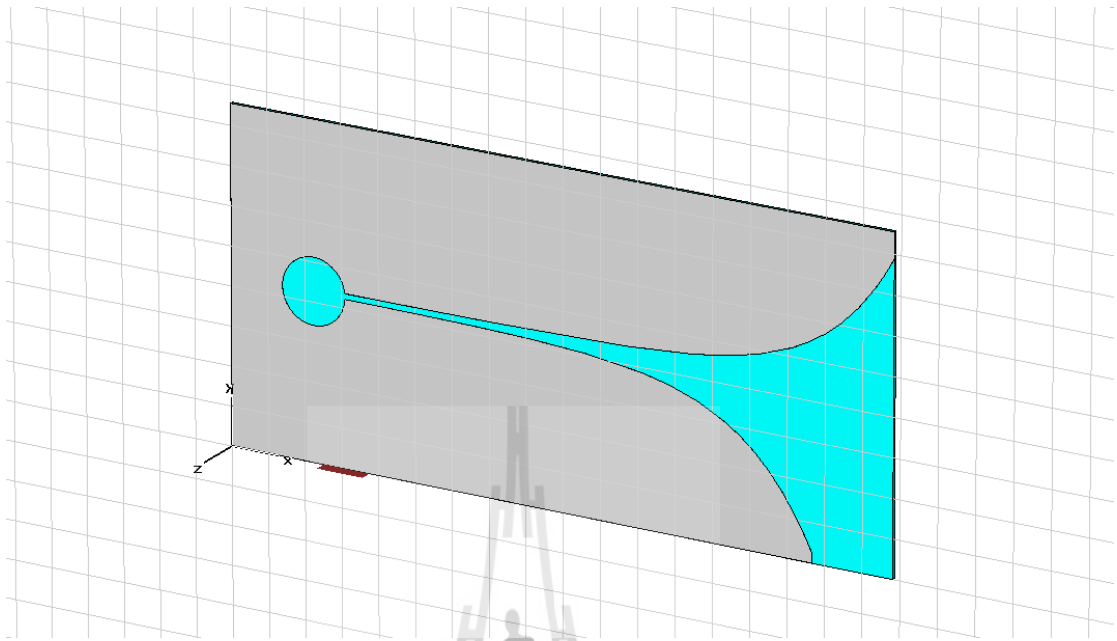
- $Z_2 = 15.5\text{cm}$
- $Z_2 = 16\text{cm}$
- $Z_2 = 16.5\text{cm}$
- $Z_2 = 17\text{cm}$

รูปที่ 3.39 กราฟแสดงการเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบ E-Plane

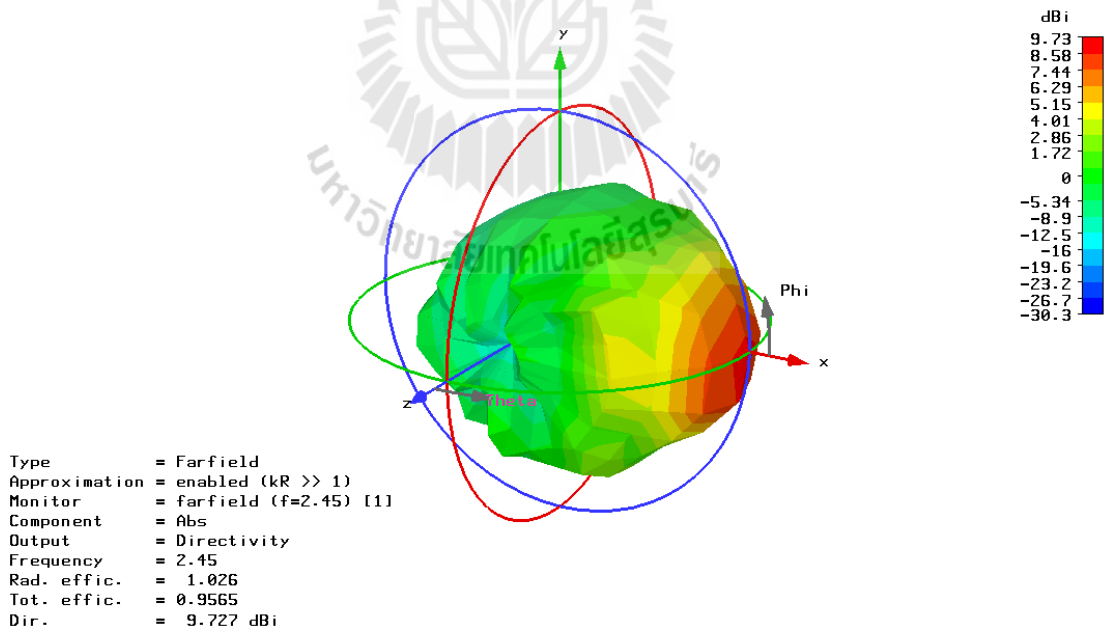


รูปที่ 3.40 กราฟแสดงการเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบ H-Plane

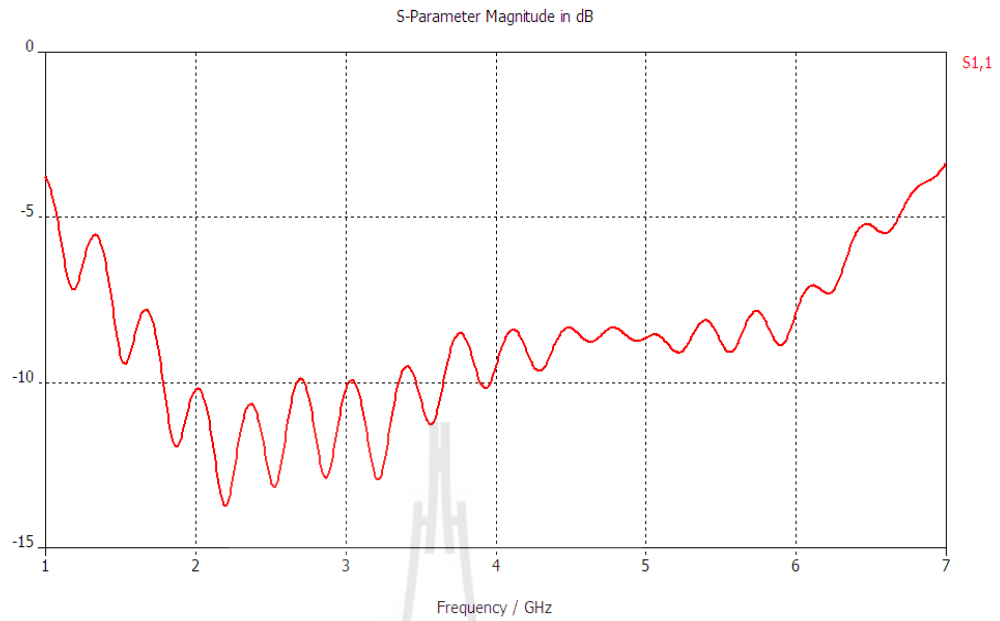
ดังนั้นจึงได้สายอากาศวิวลติแบบไม่สมมาตรที่ออกแบบจากโปรแกรม CST เพื่อนำมาสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบได้ดังรูปที่ 3.39



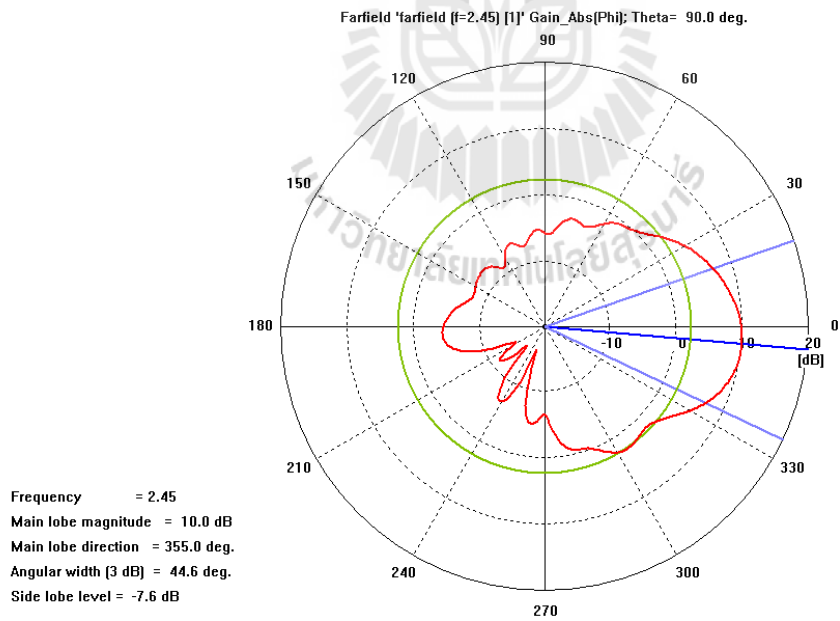
รูปที่ 3.41 รูปสายอากาศวิวลดิแบบไม่สมมาตร



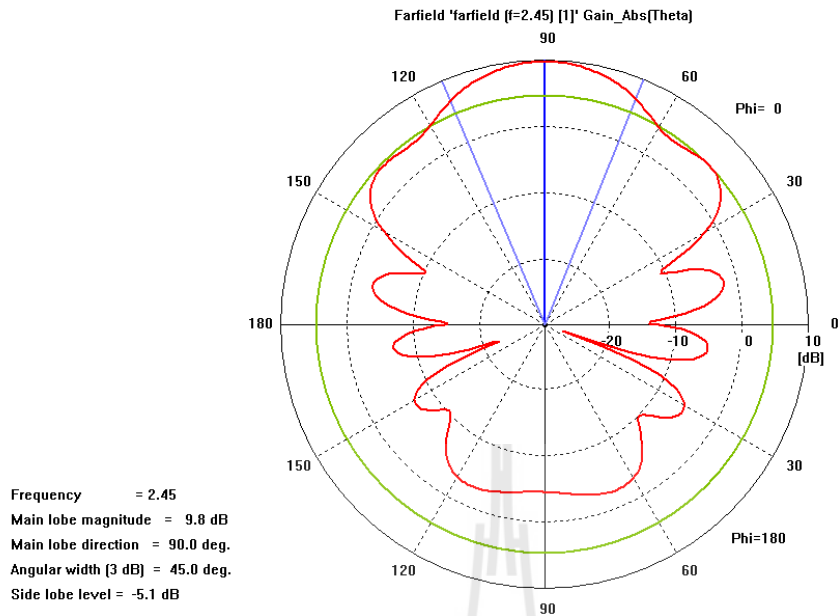
รูปที่ 3.42 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานแบบสามมิติ



รูปที่ 3.43 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (S11)



รูปที่ 3.44 แบบรูปการแผ่กระจายพลังงานในระนาบ E-Plane



รูปที่ 3.45 แบบรูปการแผ่กระจายพลังงานในระนาบ H-Plane

### 3.7 สรุป

จากการออกแบบสายอากาศโดยทำการปรับเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียลให้ไม่สมมาตรกัน โดยการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของระยะ  $Z_2$  ที่ตำแหน่ง  $Z_2$  เท่ากับ 15.5, 16, 16.5, และ 17 เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อทำการประมวลผลในโปรแกรม CST ทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่ต่างกัน จากผลที่ได้จึงเลือกใช้ที่ตำแหน่ง  $Z_2$  เท่ากับ 16.5 เซนติเมตร ที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ค่อนข้างดี มีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่ครอบคลุม และลำคลื่นโค้งทำมุม 5 องศา ซึ่งออกแบบได้ตรงตามวัตถุประสงค์ของโครงการ ที่ต้องการให้ผู้ใช้สามารถรับสัญญาณได้ทั่วถึงทั้งที่อยู่ใกล้และไกลจากตำแหน่งที่ติดตั้งสายอากาศ

## บทที่ 4

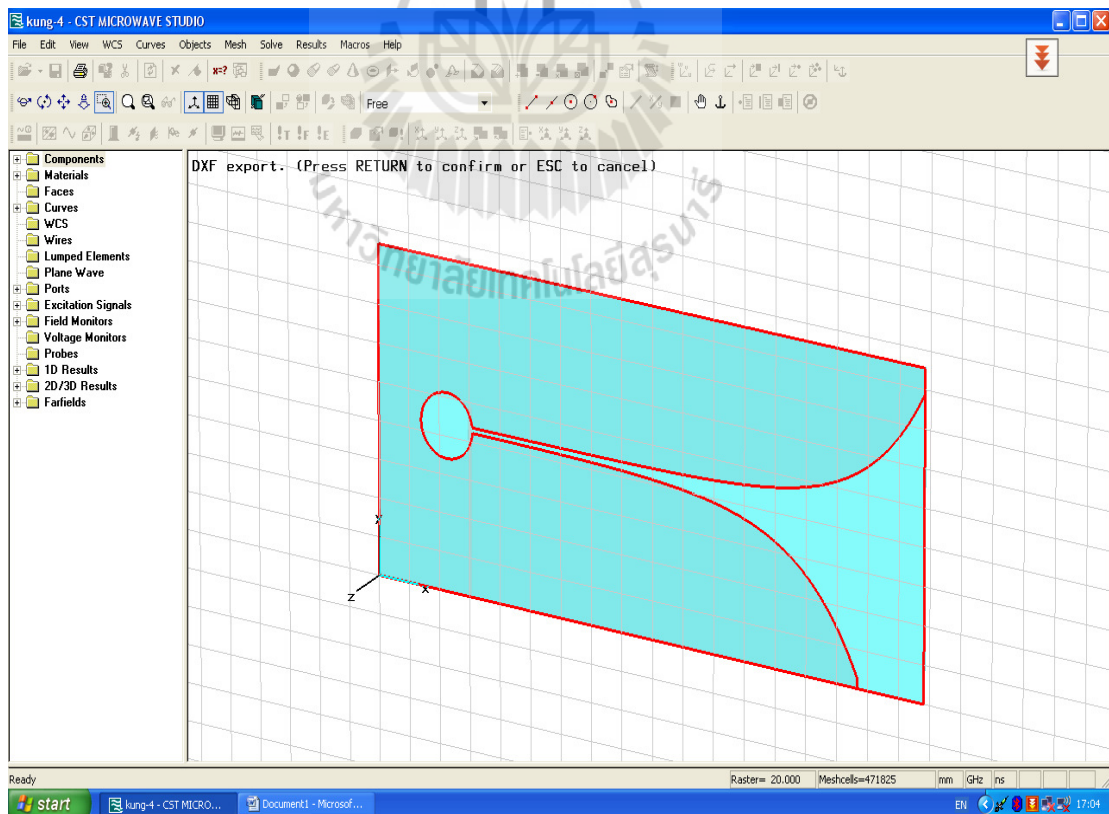
### ผลการทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบ

#### 4.1 กล่าวนำ

จากการศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีพื้นฐานในบทที่ 2 และ 3 นั้น ทำให้สามารถสร้างอุปกรณ์ต้นแบบที่เสร็จสมบูรณ์พร้อมที่จะนำไปทดสอบการใช้งานจริง เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของโครงการ

#### 4.2 การสร้างสายอากาศวิวลติ

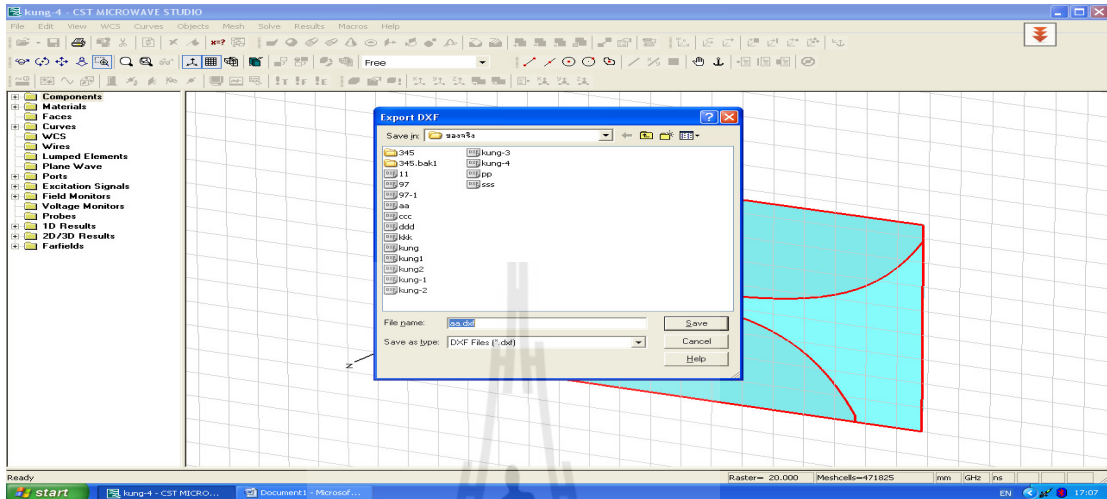
1. ทำการเปิดรูปของสายอากาศวิวลติจากโปรแกรม CST แล้วคลิกที่ Components แล้วเลือกที่ File จากนั้นเลือก Export และเลือก DXE ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การเลือกรูปสายอากาศออกจากโปรแกรม CST

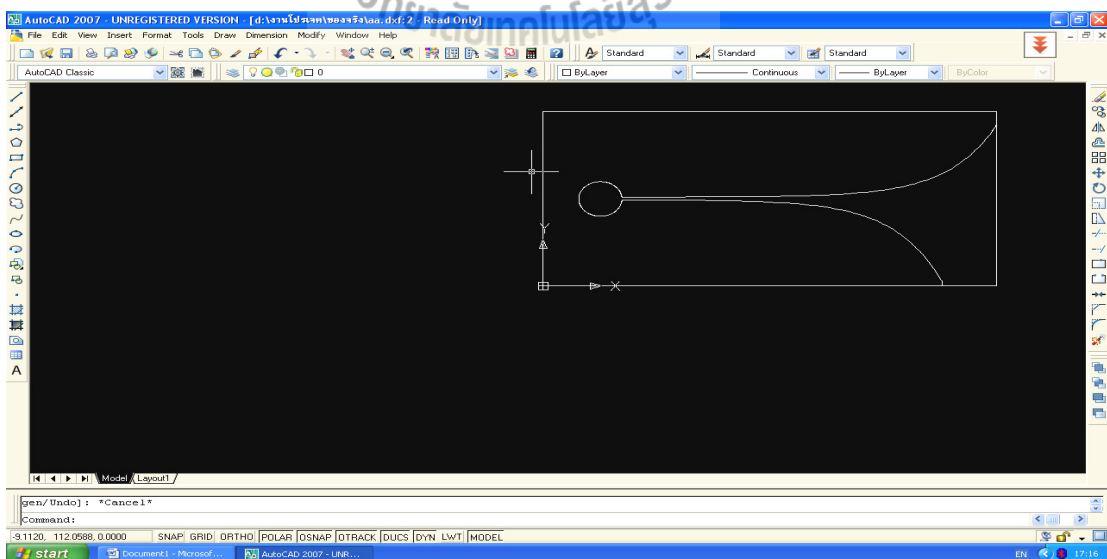


2. กด Enter ทำการ Save ชื่อ file แล้วเปลี่ยน Save as type เป็น DXF File (\*.dxf) แล้วเลือก Save ดังรูปที่ 4.2



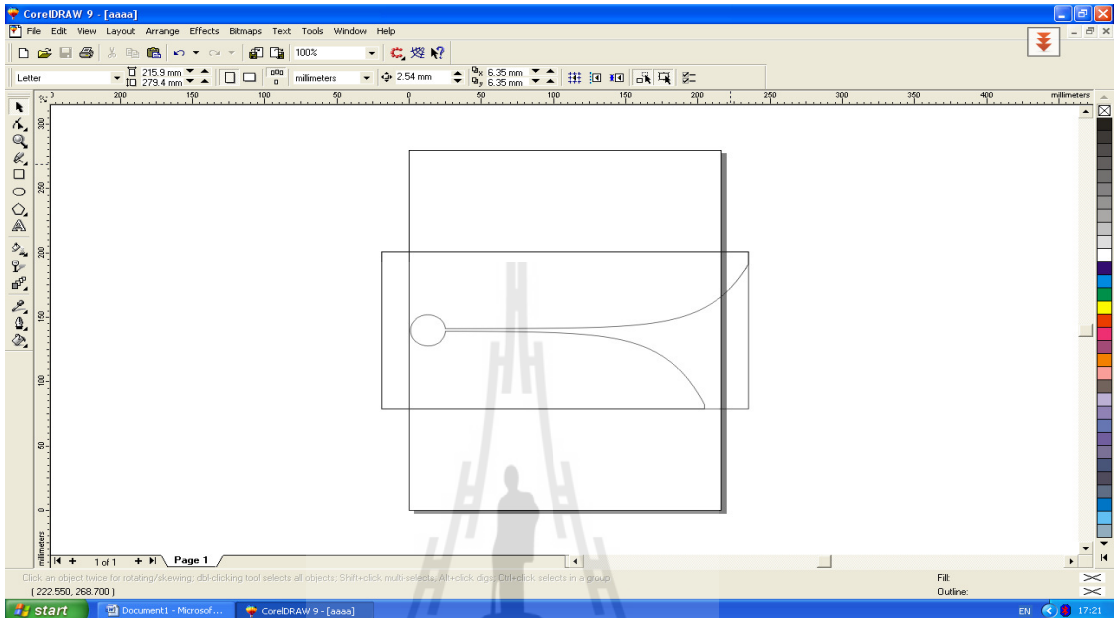
รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนชื่อและนามสกุลของ File

3. เปิดโปรแกรม Auto CAD คลิกเลือกที่ File เลือก Open เปิด File ที่ Save ไว้จากข้อที่ 4.2.2 แล้วทำการ Save AS โดยตั้งชื่อ File ขึ้นมาใหม่ แล้วเปลี่ยน File of type ให้เป็น Auto CAD 2004 / LT 2004 DXF (\*.dxf) แล้วคลิกเลือก Save ดังรูปที่ 4.3



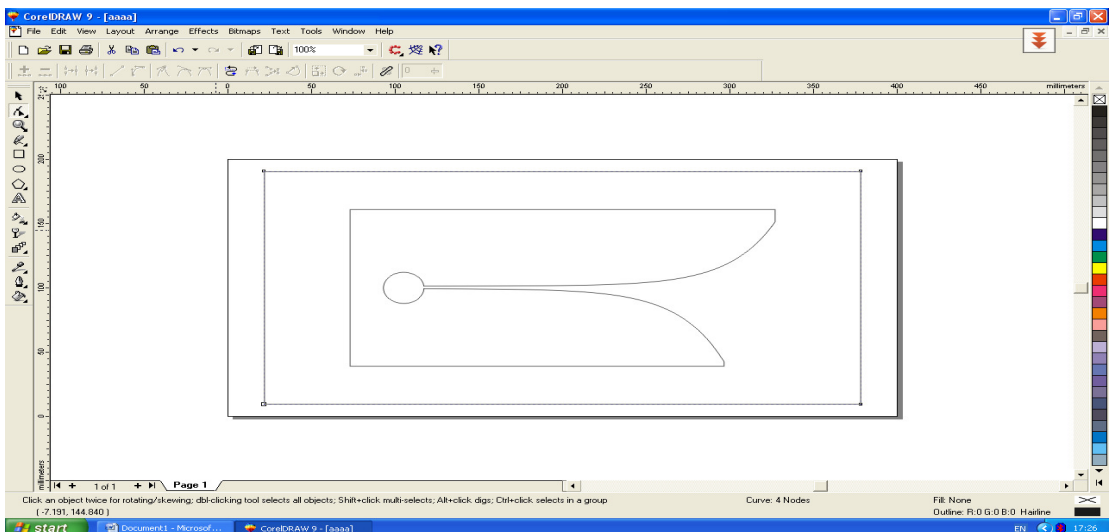
รูปที่ 4.3 การนำ file จาก CST มาลงในโปรแกรม Auto CAD

4. เปิดโปรแกรม Core / DRAM9 เลือก New Graphic แล้วเลือก File คลิก Open เลือกงานที่ Save ไว้จาก Auto CAD แล้วเลือก Open ดังรูปที่ 4.4



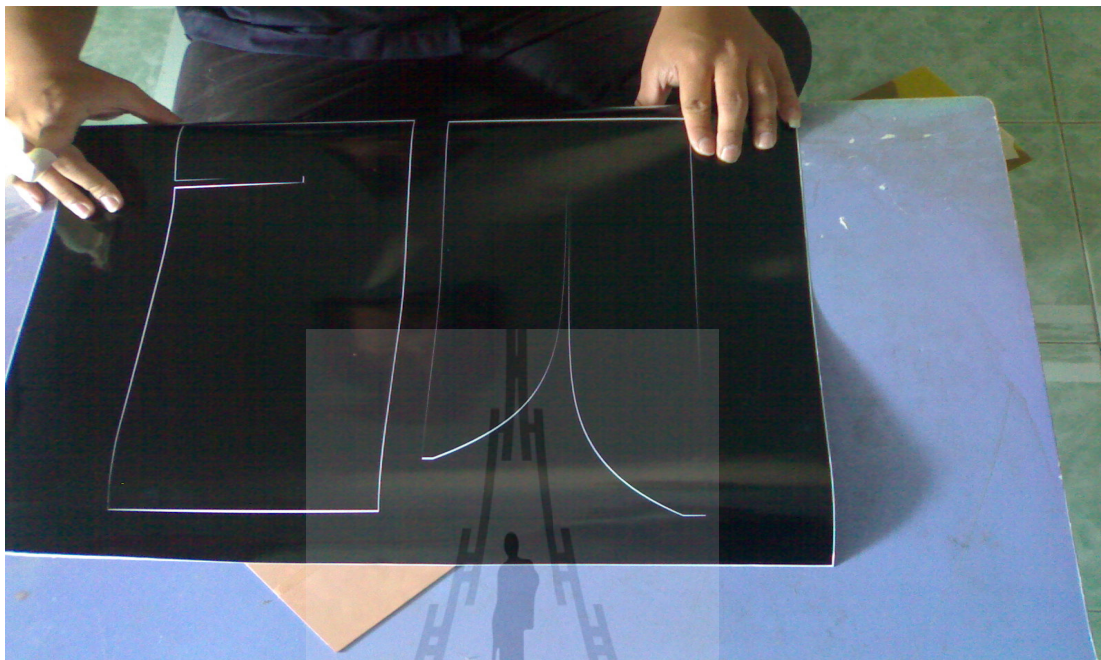
รูปที่ 4.4 การนำ file จาก Auto CAD มาลงโปรแกรม Core / DRAM9

5. ทำการปรับขนาดของกระดาษให้พอดีกับชิ้นงาน และปรับขนาดของชิ้นงานให้ได้ตามที่ต้องการ ออกแบบไว้ ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 การปรับขนาดของชิ้นงานให้ได้ตามที่ออกแบบ

6. นำแบบของสายอากาศวีวอลติที่ออกแบบไว้ไปตัดสติ๊กเกอร์จะได้แบบออกมาดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แบบของสายอากาศที่นำไปตัดสติ๊กเกอร์แล้ว

7. นำแบบของสายอากาศที่ตัดสติ๊กเกอร์แล้วติดลงบนแผ่น FR4 ที่ตัดไว้แล้ว ซึ่งขนาดเท่ากับที่ออกแบบไว้ในโปรแกรม CST ดังรูปที่ 4.7



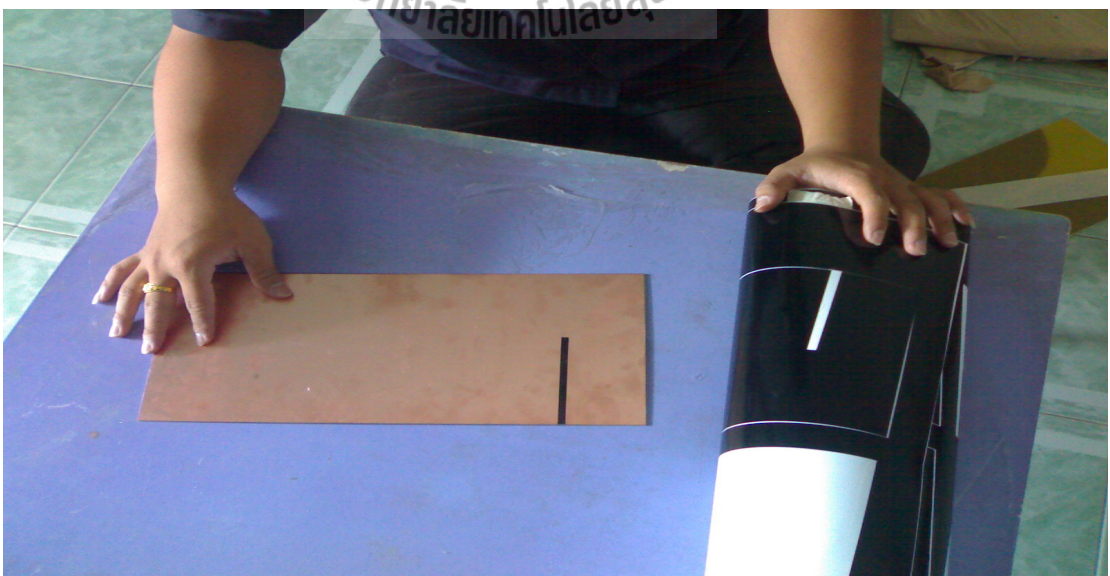
รูปที่ 4.6 การติดสติ๊กเกอร์ลงบนแผ่น FR4

8. เมื่อติดสติ๊กเกอร์ลงบนแผ่น FR4 แล้วต้องติดให้ดี ห้ามให้มีอากาศอยู่ภายในแผ่นโดยเด็ดขาด  
 ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แผ่น FR4 ที่ติดสติ๊กเกอร์เรียบร้อยแล้ว

9. ทำการติด feed อีกด้านของแผ่น FR4 ให้ตรงตามตำแหน่งที่ตัดไว้เพื่อไม่ให้ตำแหน่งของ feed เลื่อน ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แผ่น FR4 ที่จุด feed เรียบร้อยแล้ว

10. ทำการละลายน้ำยากัดปรินกับน้ำ (ถ้าจะให้น้ำยากัดปรินกัดแผ่น FR4 ได้ดีควรใช้น้ำร้อนในการผสมน้ำยากัดปริน) ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 การละลายน้ำยากัดปรินกับน้ำร้อน

11. นำแผ่น FR4 ที่เตรียมไว้ในข้อที่ 4.2.9 แ่ลงในน้ำยากัดปรินที่เตรียมไว้ โดยทำการเขย่าแผ่น FR4 อยู่ตลอดเวลาเพื่อให้สารกัดปรินทั่วทั้งแผ่นและเพื่อให้กัดปรินแผ่น FR4 ได้เร็วขึ้น ดังรูปที่ 4.10



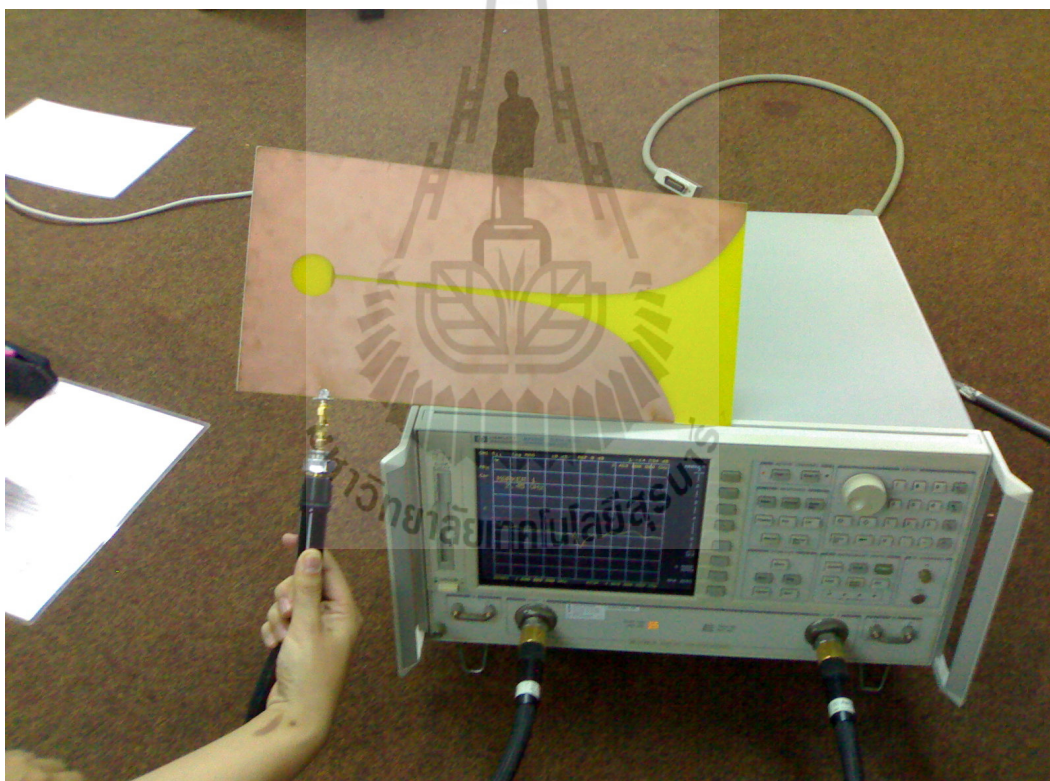
รูปที่ 4.10 การกัดปรินแผ่น FR4

เมื่อได้สายอากาศต้นแบบที่กดปริ้นเสร็จแล้ว ก็จะนำไปเข้าหัวคอนเน็คเตอร์ ก็เสร็จสิ้นการสร้างชิ้นงานของสายอากาศวิวลคิแบบไม่สมมาตรต้นแบบ เพื่อจะนำไปวัดค่าเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการประมวลผลในโปรแกรม CST

#### 4.3 ผลการวัดและทดสอบสายอากาศ

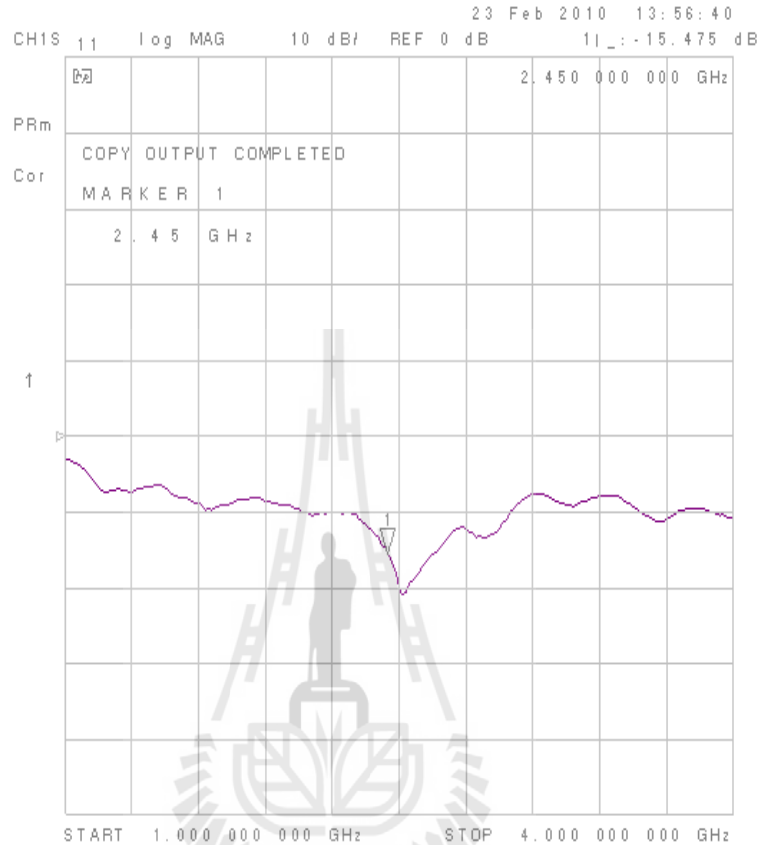
เมื่อนำสายอากาศที่ออกแบบจากโปรแกรม CST มาสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบ เมื่อนำมาวัดค่าเพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ประมวลได้ในโปรแกรม CST ดังนี้

##### 1. การวัดค่า S11 ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 การวัดค่า S11

เมื่อทำการวัดแล้วบันทึกค่า จะได้ค่า S11 ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ค่า S11 ที่วัดได้จากสายอากาศต้นแบบ

2. ในการตั้งสายอากาศเพื่อทำการวัดค่า กำลังงานที่สายอากาศต้นแบบรับได้ ต้องคำนวณหาสนามระยะไกล (Far Field) ซึ่งเป็นระยะห่างระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับ ดังนี้

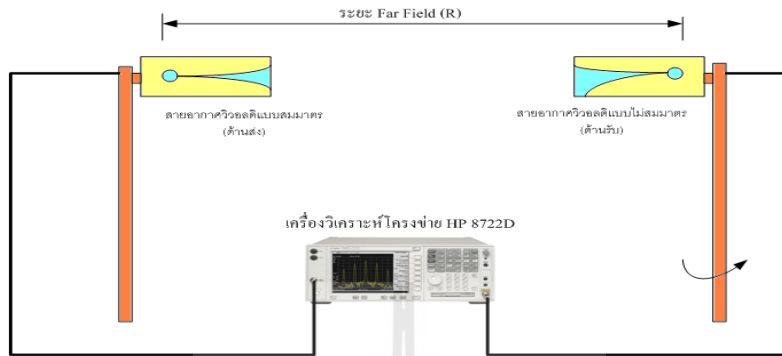
$$\text{จากสมการ สนามระยะไกล (Far Field)} = \frac{2d^2}{\lambda}$$

$$\text{เมื่อ } \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}^2}{2.45 \times 10^9 \text{ GHz}} = 0.1224 \text{ m} \quad , d = 18 \text{ cm}$$

$$\text{ดังนั้น สนามระยะไกล (Far Field)} = \frac{2 \times (18 \times 10^{-2})^2}{0.1224} \frac{\text{m}^2}{\text{m}} = 0.53 \text{ m}$$

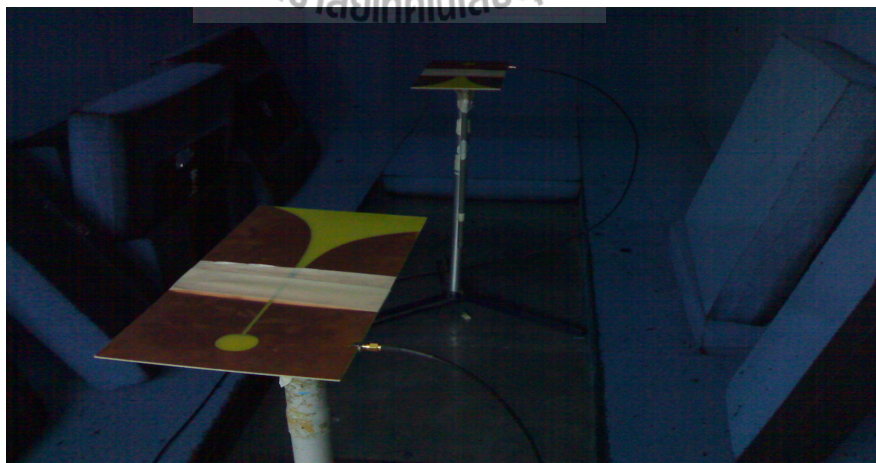
ในการทดลองจึงกำหนดให้สายอากาศมีระยะ Far Field = 0.53 m

จากการคำนวณได้ระยะ Far Field = 0.53 m แต่ในทางปฏิบัติจริงจะต้องกำหนดระยะให้มากกว่าที่ได้จากการคำนวณ ดังนั้นในการทดลองจึงให้ระยะ Far Field = 1 m ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 รูปแสดงการตั้งระยะห่างระหว่างสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับ  
ที่ระยะ Far Field = 1 m

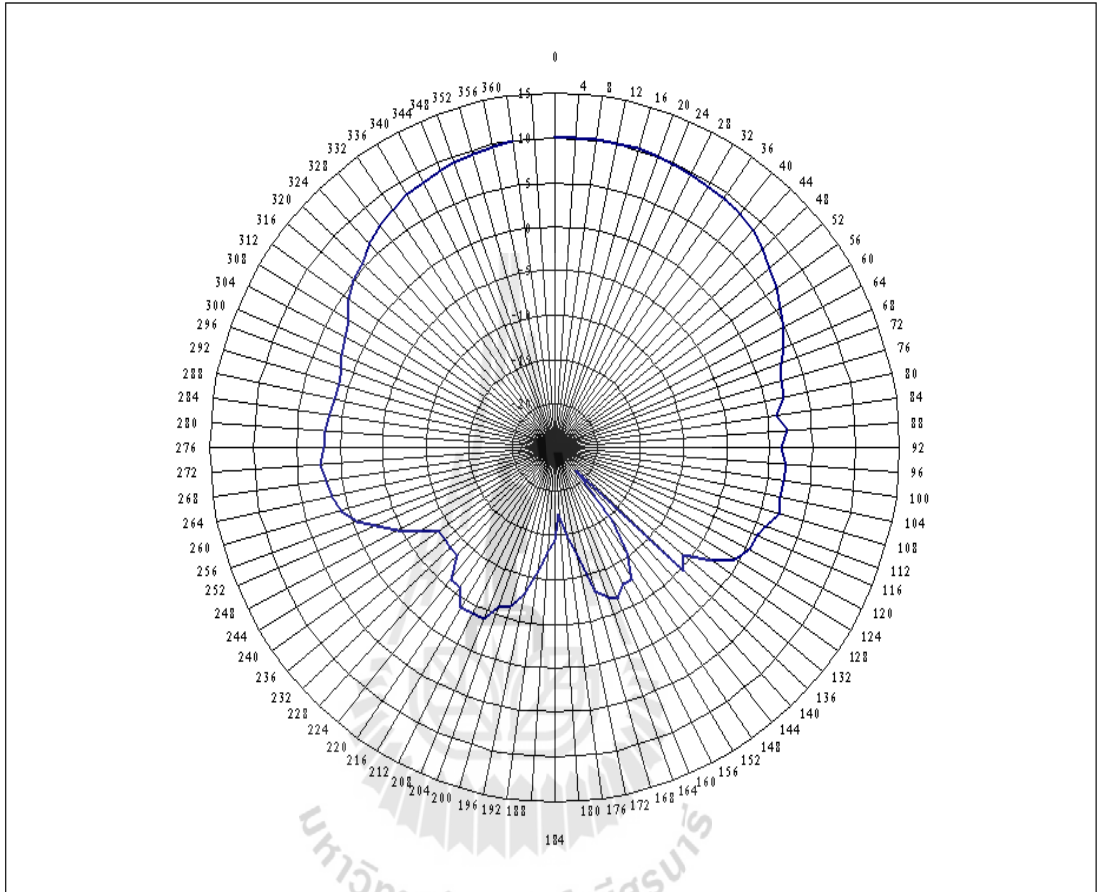
3. การวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน ในระนาบระนาบไฟฟ้า (E-Plane) โดยจะให้สายอากาศด้านส่งเป็นสายอากาศวีลอดีแบบสมมาตร ส่วนด้านรับจะเป็นสายอากาศวีลอดีแบบไม่สมมาตร โดยจะศึกษา แบบรูปการแผ่คลื่นของสายอากาศวีลอดีแบบไม่สมมาตรที่อยู่ฝั่งด้านรับ จะตั้งสายอากาศ ดังรูปที่ 4.14



ดังรูปที่ 4.14 การวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน ในระนาบระนาบไฟฟ้า (E-Plane)



ทำการหุนสายอากาศด้านรับไปทีละ 4 องศาจนครบ 360 องศา แล้วจับบันทึกค่า กำลังงานที่รับได้ลงในตาราง นำค่าที่ได้ไป พล็อตลงใน Excel จะได้รูปดังรูปที่ 4.16



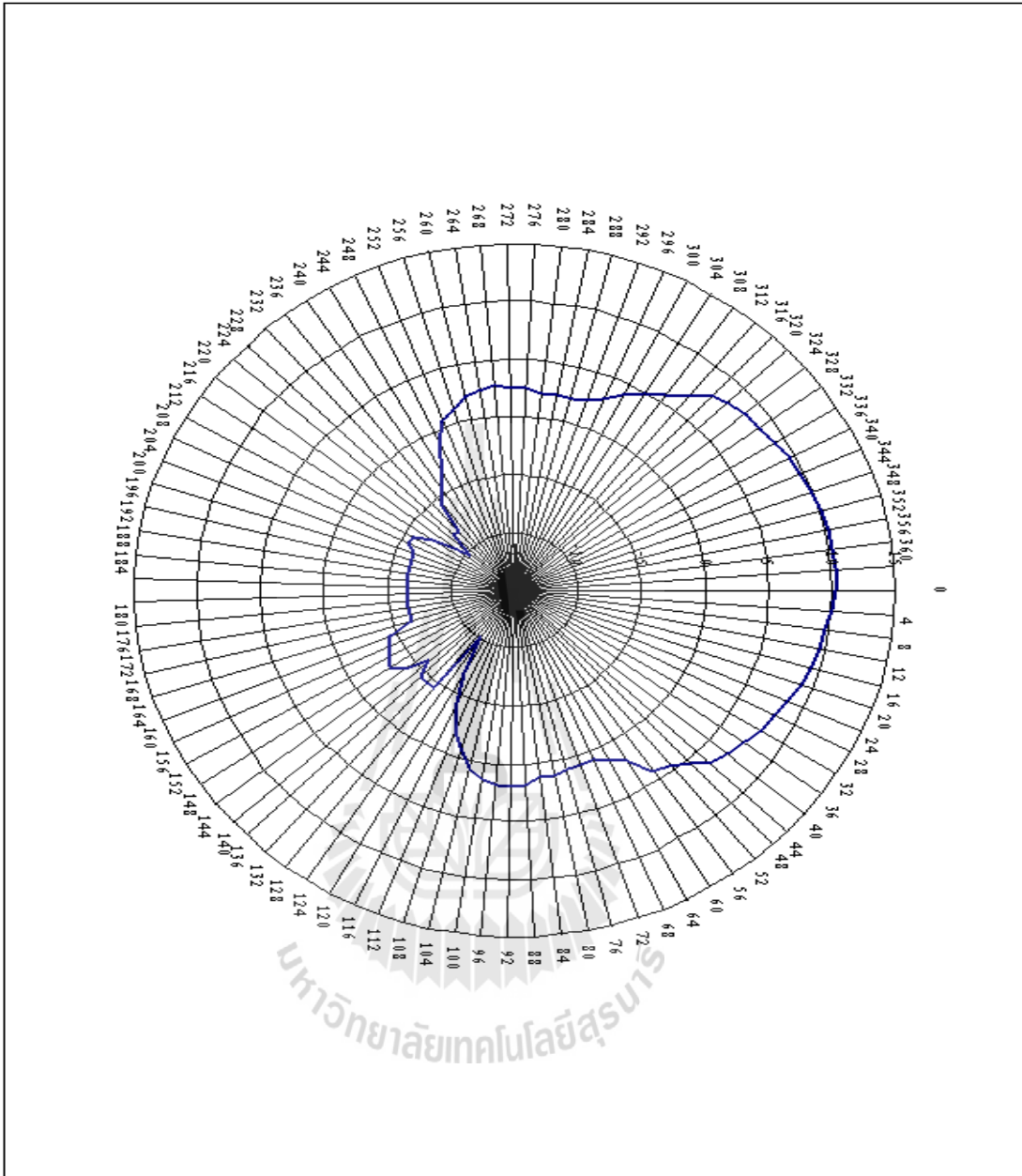
รูปที่ 4.15 แบบรูปการกระจายกำลังงานในระนาบระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane)

4. การวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน ในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-Plane) โดยจะให้สายอากาศด้านส่งเป็นสายอากาศวิวลติแบบสมมาตร ส่วนด้านรับจะเป็นสายอากาศวิวลติแบบไม่สมมาตร โดยจะศึกษา แบบรูปการแผ่คลื่นของสายอากาศวิวลติแบบไม่สมมาตรที่อยู่ฝั่งด้านรับ จะตั้งสายอากาศ ดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.16 การวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน ในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-Plane)

ทำการหุนสายอากาศด้านรับ ไปทีละ 4 องศาจนครบ 360 องศา แล้วจดบันทึกค่า กำลังงานที่รับได้ ลงในตาราง เมื่อนำค่าที่ได้ไป พล็อตลงใน Excel จะได้รูปดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน ในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-Plane)

ตารางที่ 4.1 ค่ากำลังงานของสายอากาศที่รับได้ในระนาบ E-plane

มุม(องศา)	Pr(dB)	มุม(องศา)	Pr(dB)
0	-27.12	184	-47.59
4	-27.11	188	-46.31
8	-27.16	192	-44.12
12	-27.17	196	-41.28
16	-27.18	200	-39.66
20	-27.3	204	-38.97
24	-27.46	208	-37.31
28	-27.64	212	-37.2
32	-27.79	216	-37.15
36	-27.92	220	-38.98
40	-28.11	224	-39.04
44	-28.59	228	-41.72
48	-29.34	232	-41.45
52	-30.19	236	-41.74
56	-30.8	240	-41.79
60	-31.63	244	-39.49
64	-32.41	248	-37.73
68	-33.37	252	-35.78
72	-34.25	256	-33.91
76	-34.67	260	-32.58
80	-35.05	264	-31.69
84	-36.19	268	-31.41
88	-35.29	272	-31.12
92	-35.9	276	-31.39
96	-35.36	280	-31.55
100	-35.32	284	-31.78
104	-35.4	288	-32.21
108	-35.31	292	-32.21
112	-36.16	296	-31.91
116	-36.68	300	-31.44
120	-36.79	304	-30.91
124	-37.69	308	-30.2
128	-39.76	312	-28.9
132	-42.82	316	-28.11
136	-41.76	320	-27.69
140	-58.73	324	-26.71
144	-51.65	328	-26
148	-47.72	332	-25.41
152	-44.89	336	-24.92
156	-44.75	340	-24.63
160	-43.75	344	-24.29
164	-44.12	348	-23.98
168	-45.27	352	-23.77
172	-49.76	356	-23.39
176	-51.78	360	-23.34
180	-54.72		

ตารางที่ 4.2 ค่ากำลังงานของสายอากาศที่รับได้ในระนาบ H-plane

มุม(องศา)	Pr(dB)	มุม(องศา)	Pr(dB)
0	-27.01	184	-43.63
4	-27.34	188	-43.7
8	-27.56	192	-43.7
12	-27.71	196	-43.68
16	-27.99	200	-43.71
20	-28.27	204	-43.71
24	-28.67	208	-42.81
28	-29.07	212	-43.02
32	-29.34	216	-44.53
36	-29.97	220	-46.54
40	-30.54	224	-47.55
44	-30.97	228	-45.53
48	-31.94	232	-45.53
52	-32.71	236	-42.72
56	-33.34	240	-41.71
60	-35.16	244	-40.73
64	-35.74	248	-38.41
68	-36.43	252	-36.71
72	-36.39	256	-36.02
76	-36.31	260	-35.15
80	-35.92	264	-34.68
84	-35.95	268	-34.63
88	-35.42	272	-34.87
92	-35.25	276	-34.89
96	-35.35	280	-35.07
100	-35.76	284	-35.17
104	-36.36	288	-35.12
108	-38.01	292	-34.81
112	-39.23	296	-34.27
116	-41.51	300	-33.31
120	-44.12	304	-32.5
124	-47.51	308	-31.79
128	-41.67	312	-30.77
132	-41.7	316	-29.31
136	-41.72	320	-29.01
140	-43.14	324	-28.67
144	-41.24	328	-28.59
148	-40.45	332	-28.1
152	-40.78	336	-27.87
156	-41.1	340	-27.74
160	-41.69	344	-27.39
164	-43.63	348	-27.18
168	-43.65	352	-27.01
172	-43.64	356	-27.01
176	-43.64	360	-27.04
180	-43.65		

#### 4.3.5 การคำนวณหาค่า Gain ของสายอากาศ

$$\text{จากสมการ } Pr = Pt + Gr + Gt - Loss$$

จากค่าที่ได้ กำลังงานด้านส่ง  $Pt = -10$  dB

กำลังงานด้านรับ  $Pr =$  ค่าที่ได้จากกำลังงานที่อ่านได้ดังตาราง(dB)

Gain ของสายอากาศด้านส่ง ซึ่งเป็นสายอากาศวิวลติแบบสมมาตร  $Gt = 13$  dB

$$Loss = 20 \log \frac{4\pi r}{\lambda} = 20 \log \frac{4\pi(1)}{0.1224} = 40.228 \text{ dB}$$

เมื่อ  $r$  คือ ระยะห่างของสายอากาศด้านส่งกับสายอากาศด้านรับ  $r = 1$  m

$$\lambda = 0.1224 \text{ m}$$

ดังนั้นสามารถหา Gain ของสายอากาศด้านรับได้ดังนี้

$$Gr = Pr - Pt - Gt + Loss$$

จากผลการคำนวณหาค่า Gain ของสายอากาศด้านรับได้ผลดังนี้

ในระนาบ E-plan ค่า  $Gr$  สูงสุดเท่ากับ 10.118 dB ที่มุม 5 องศา

ในระนาบ H-plan ค่า  $Gr$  สูงสุดเท่ากับ 10.218 dB ที่มุม 0 องศา

#### 4.4 สรุป

ทำสร้างแบบสายอากาศต้นแบบ เมื่อนำสายอากาศวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน และคำนวณค่า Gain ของสายอากาศต้นแบบ ปรากฏว่า มีความใกล้เคียงกับสายอากาศที่ได้ออกแบบในโปรแกรม CST แต่มีที่ความคลาดเคลื่อนบ้างซึ่งอาจเกิดจากความผิดพลาดจากขณะที่ทำการวัดทดสอบสายอากาศ

## บทที่ 5

### บทสรุป

#### 5.1 สรุป

โครงการสายอากาศวิวลติสำหรับจุดเข้าถึงในระบบการสื่อสารท้องถิ่นแบบไร้สายได้ทำการคัดแปลงสายอากาศวิวลติที่ความโค้งเอ็กโปเนนเชียลมีความสมมาตรกันให้มีเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียลที่ไม่สมมาตรกันเพื่อให้ผู้ใช้ที่อยู่ใกล้สายอากาศได้รับสัญญาณเช่นเดียวกับผู้ใช้ที่อยู่ไกลออกไป โดยทำการออกแบบในโปรแกรม CST แล้วทำการประมวลผลให้ทำงานที่ความถี่ 2.45GHz จากนั้นจึงนำไปสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบ

ซึ่งผลการวัดของสายอากาศต้นแบบให้ค่า S11, Gain, Patten ที่ใกล้เคียงกับสายอากาศที่ได้ออกแบบในโปรแกรม CST ซึ่งผลที่คาดเคลื่อนบ้าง อาจเกิดจากความผิดพลาดจากการทดสอบสายอากาศ

ในการทำโครงการสายอากาศวิวลติสำหรับจุดเข้าถึงในระบบการสื่อสารท้องถิ่นแบบไร้สาย ปัญหาที่พบได้บ่อยๆ ดังแสดงในตารางที่ 5.1 ซึ่งประกอบด้วยตัวปัญหาที่พบ สาเหตุของปัญหารวมทั้งวิธีการแก้ไขปัญหา

ตารางที่ 5.1 ปัญหาและสาเหตุที่พบในขณะดำเนินงานและวิธีการแก้ไข

ปัญหาที่พบในขณะดำเนินงาน	สาเหตุและวิธีการแก้ไข
1. ไม่ทราบข้อมูลที่เพียงพอเกี่ยวกับสายอากาศวิวลติ	<b>สาเหตุ</b> เนื่องจากเป็นสายอากาศที่ไม่คุ้นเคยเพราะไม่เคยเห็นและไม่เคยได้ศึกษามาก่อน <b>วิธีการแก้ไข</b> หาข้อมูลเกี่ยวกับสายอากาศวิวลติจากอินเทอร์เน็ต, จากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และจากพี่ที่กำลังศึกษาเกี่ยวกับสายอากาศวิวลติอยู่ แล้วนำความรู้ที่ได้ประกอบกับความรู้ที่ได้ศึกษามานำมาประยุกต์ใช้ในโครงการ

<p>2. ในขณะที่วัดสายอากาศที่สร้างขึ้นจริงจะทำการตั้งสายอากาศ</p>	<p>สาเหตุ เนื่องจากขนาดของสายอากาศที่ออกแบบมีขนาดใหญ่</p> <p>วิธีการแก้ไข ติดสายอากาศกับแกนหลักแล้วติดด้วยเทปกาวสองหน้า จากนั้นพันด้วยเทปใสอีกครั้งเพื่อให้ติดกับแกนได้แน่นเมื่อหมุนสายอากาศจะได้ไม่ตกลงมา</p>
<p>3. ในการวัดค่า S พารามิเตอร์ ของสายอากาศเกิดความคลาดเคลื่อนและผิดเพี้ยนจากที่ได้ออกแบบ</p>	<p>สาเหตุ อาจเกิดจากการกัดปรีนสายอากาศที่ออกแบบและความไม่ประณีตตัดแผ่น FR4 ให้ตรงและได้ขนาดเท่าที่ออกแบบไว้</p> <p>วิธีแก้ไขปัญหา ควรมีความประณีตบรรจงในการตัดแผ่นFR4 โดยการวัดให้ได้เท่ากับที่ออกแบบแล้วค่อยตัด และกัดปรีนสายอากาศให้ดีไม่ให้เป็นลายนิ้วมือ</p>

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการออกแบบสายอากาศด้วยโปรแกรม CST มีการใช้งานทรัพยากรของเครื่อง สูงสามารถสังเกตได้จากกราฟการทำงานของหน่วยประมวลผลกลางจาก Task manager ของ windows ผู้ใช้งานควรใช้งาน โปรแกรมนี้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีสมรรถนะสูง
2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงงานบางชิ้นมีราคาแพง ผู้ใช้งานควรใช้งานด้วยความระมัดระวังเป็นอย่างมาก
3. ในการกัดปรีนสายอากาศนั้นควรทำด้วยความปราณีต ไม่เร่งรีบ และไม่ควรรื้อสายอากาศที่กัดปรีนเสร็จแล้วเป็นรอย
4. ในการวัดค่าของสายอากาศต้นแบบที่ออกแบบ ควรตั้งสายอากาศให้ตรงกันทั้งฝั่งส่งและฝั่งรับเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำ

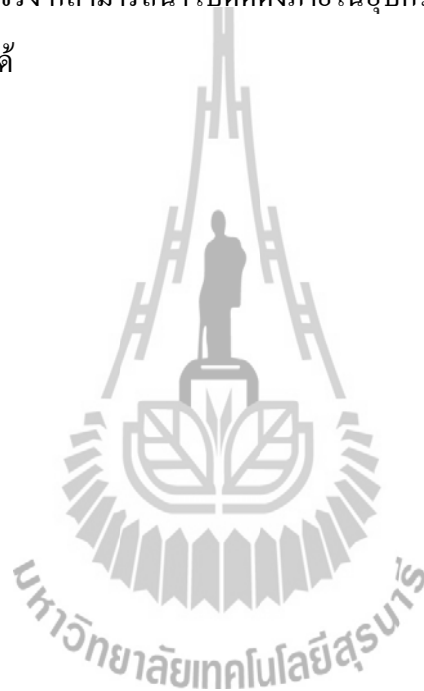


### 5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

เนื่องจากสายอากาศวีวอลติที่ออกแบบมีการแผ่กระจายกำลังงานที่ 2.45GHz ดังนั้นควรออกแบบให้มีการแผ่กระจายกำลังงานในช่วงความถี่ที่กว้างมากกว่านี้

### 5.4 การนำสายอากาศต้นแบบไปใช้งานจริง

เมื่อทำการสร้างสายอากาศต้นแบบวัดค่าและเปรียบเทียบผลจริงที่ได้กับผลจากโปรแกรม CST ว่าสามารถใช้งานได้จริง ก็สามารถนำไปติดตั้งภายในอุปกรณ์กระจายสัญญาณ (access point) ก็จะสามารถส่งสัญญาณได้



## ประวัติผู้จัดทำโครงการ

นาย วัชรพงษ์ เสือเปรม รหัสนักศึกษา B4905578 เกิดวันที่ 28 เดือน เมษายน ปี พ.ศ. 2531 ภูมิลำเนา บ้านเลขที่ 63 หมู่ที่ 5 ตำบลไผ่ขวาง อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี จบการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย สายวิทยาศาสตร์ – คณิตศาสตร์ ที่โรงเรียนกรรณสูตศึกษาลัย จังหวัดสุพรรณบุรี ปัจจุบันศึกษาระดับปริญญาตรี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

นางสาว สกาวเดือน หลีแก้วสาย รหัสนักศึกษา B4906452 เกิดวันที่ 5 เดือน กุมภาพันธ์ ปี พ.ศ. 2531 ภูมิลำเนา บ้านเลขที่ 73 หมู่ที่ 10 ตำบลแม่หมอก อำเภอเถิน จังหวัดลำปาง จบการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย สายวิทยาศาสตร์ – คณิตศาสตร์ ที่โรงเรียนเวียงมอกวิทยา จังหวัดลำปาง ปัจจุบันศึกษาระดับปริญญาตรี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## บรรณานุกรม

Prasad, S.N., and Mahapatra, S.: 'A novel MIC slot line aerial'. Proc. 9th European Microwave Conf., 1979, pp. 120–124

Gibson, P.J.: 'The Vivaldi aerial'. Proc. 9th European Microwave Conf., 1979, pp. 101–105

Yoon, I.J., Kim, H., Yoon, H.K., Yoon, Y.J., and Kim, Y.H.: 'Ultrawideband tapered slot antenna with band cutoff characteristic', Electron.

Let., 2005, 41, (11), pp. 629–630

Shin, J., and Schaubert, D.H.: 'A parameter study of stripline-fed Vivaldi notch-antenna arrays', IEEE Trans. Antennas Propag., 1999, 47, (5), pp. 879–886

รศ.ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์ Antenna engineering <http://www.sut.ac.t/e-texts/eng/Antenna,2004>

เกาทัณฑ์ คำพิกุล (2552). สายอากาศแฉวลำดับวงกลมโดยใช้ร่องแบบเรียว สำหรับการประยุกต์ใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

<http://en.wikipedia.org/wiki/Vivaldi-antenna>

<http://www.q-par.com/products/patch-antennas-and-arrays/vivaldi-antenna-0-2-2-ghz>

<http://mwrf.com/Article/ArticleID/5419/5419.html>

<http://www.cst.com/Content/Applications/Article/15>