



การออกแบบสายอากาศโมโนโพล 5 λ /8 สำหรับสถานีวิทยุ FM
(Design of 5 λ /8 Monopole Antenna for FM Broadcasting Station)

โดย

นายธิตพล ชีรากรณ์ รหัส B5515905

นายชญานิน วนาพันธพรกุล รหัส B5530465

นางสาวกัศรา จงรวมกลาง รหัส B5532247

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชา 527499 โครงการวิศวกรรมโทรคมนาคม
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมหลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2554
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ประจำภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา 2558

สายอากาศโมโนโพลความยาว 5λ/8 สำหรับสถานีกระจายเสียงระบบ FM

คณะกรรมการสอบโครงการ



(รองศาสตราจารย์ ดร. รังสรรค์ วงศ์สรรค์)

กรรมการ/อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ



(รองศาสตราจารย์ ดร. พีระพงษ์ อุธารสกุล)

กรรมการ



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยาภรณ์ กระลดนอก)

กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับรายงานฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม วิชา 527499 โครงการวิศวกรรมโทรคมนาคม
ประจำปีการศึกษา 2558

โครงการ	การออกแบบสายอากาศโมโนโพล 5λ/8 สำหรับสถานีวิทยุ FM (Design of 5λ/8 Monopole Antenna for FM Broadcasting Station)	
จัดทำโดย	นายธิติพล ชีราภรณ์	รหัส B5515905
	นายชญานิน วนาพันธุ์พรกุล	รหัส B5530465
	นางสาวกัศรา จงรวมกลาง	รหัส B5532247
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์	
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม	
ภาคการศึกษาที่	1/2558	

บทคัดย่อ

สายอากาศ (Antenna) คือ อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแผ่กำลังของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกไปหรือในทางกลับกันใช้สำหรับรับกำลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเข้ามา สายอากาศจะทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์การนำทาง (Guiding Device) ให้แก่คลื่น เช่น สายส่ง (Transmission Line) สัญญาณหรือท่อนำคลื่น (Waveguide) กับอวกาศว่าง (Free-Space) ซึ่งในปัจจุบันวิทยุชุมชนได้นำสายอากาศแบบเส้นลวดมาใช้เป็นอุปกรณ์ในการส่งสัญญาณไปยังเครื่องรับวิทยุของผู้รับสถานีนั่น ๆ และส่วนใหญ่จะติดตั้งที่ด้านข้างเสาส่งสัญญาณ ซึ่งมักจะพบปัญหาในการให้บริการได้ไม่เท่าเทียมกันของชุมชนที่มีพื้นที่อยู่ด้านหลังเสาส่งสัญญาณสถานีส่งนั้น โครงการนี้จึงได้ทำการออกแบบสายอากาศโมโนโพลที่มีความยาว $5\lambda/8$ แบบ DC - Ground ให้สามารถส่งสัญญาณได้ครอบคลุมพื้นที่ที่มีชุมชนล้อมรอบโดยการติดตั้งสายอากาศที่ยอดเสาส่งสัญญาณและยังสามารถแก้ปัญหาที่อาจเกิดอันตรายจากฟ้าผ่าได้ ซึ่งวิธีดังกล่าวจะเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับสถานีวิทยุชุมชนที่มีชุมชนล้อมรอบและผู้ที่สนใจต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

โครงการเล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลและกลุ่มบุคคลต่างๆ ได้แก่

รศ.ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ที่เป็นเจ้าของแนวคิดเริ่มแรกของการติดตั้งสายอากาศโมโนโพลบริเวณยอดเสาส่งสัญญาณ ที่ให้ความช่วยเหลือในการให้แนวคิด ให้คำปรึกษา แนะนำ ชี้แนะข้อบกพร่องที่ข้าพเจ้ามองข้ามและให้กำลังใจ ตลอดจนฝึกฝนและสนับสนุนข้าพเจ้าให้มีความสามารถในการทำโครงการจนสามารถนำเสนอผลงานให้เป็นที่รู้จักและยอมรับได้

ขอขอบคุณอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกท่าน ที่สั่งสอนให้ความรู้มาโดยตลอดและยังเป็นแบบอย่างที่ดีในการใช้ชีวิตในรั้วมหาวิทยาลัย

นายพิรสันต์ คำสาลี นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม ที่ช่วยให้คำแนะนำต่างๆ รวมไปถึงการสอนการใช้เครื่องมือแต่ละประเภท

นายภูมิพงษ์ ดวงตั้ง นักศึกษาปริญญาเอกสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม ที่ช่วยให้คำแนะนำต่างๆ รวมไปถึงการสอนการใช้เครื่องมือแต่ละประเภท

นายสมิง เดิมพรมราช นายกิจ บุญภูมิ วิศวกรประจำอาคารเครื่องมือ 3 ที่ช่วยเป็นธุระติดต่อการเบิกจ่ายค่าอุปกรณ์ต่างๆ รวมไปถึงการประสานงานการขอใช้เครื่องมือที่ใช้ทำการทดลอง

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากโครงการฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดา มารดาซึ่งเป็นที่ยรักและเคารพยิ่ง ผู้คอยห่วงใย ให้โอกาสให้กำลังใจและให้การสนับสนุนทางการศึกษามาโดยตลอด ตลอดจนครูอาจารย์ผู้สอนที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้าตลอดมา จนทำให้ข้าพเจ้าประสบความสำเร็จมาจนถึงบัดนี้

นายธิตพล ชีราภรณ์

นายชญานิน วนาพันธ์พรกุล

นางสาวภัสรา จงรวมกลาง

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญ (ต่อ)	ง
สารบัญรูป	จ
สารบัญรูป (ต่อ)	ฉ
สารบัญรูป (ต่อ)	ช
สารบัญรูป (ต่อ)	ซ
สารบัญรูป (ต่อ)	ฌ
สารบัญตาราง	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน	4
2.1 กล่าวนำ	4
2.2 คุณสมบัติที่ดีของสายอากาศสำหรับส่งสัญญาณวิทยุ FM	4

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.3 ทฤษฎีสายอากาศโมโนโพล	10
2.4 การแมตช์ซิ่ง (Matching Network)	12
2.5 สายนำสัญญาณ (Transmission Lines)	13
2.6 ซุปเปอร์ลีน (Superlens)	18
2.7 สรุป	19
บทที่ 3 การออกแบบและการจำลอง	20
3.1 บทนำ	20
3.2 สายอากาศโมโนโพล	20
3.3 วิธีการจำลองสายอากาศโมโนโพล	21
3.4 สรุป	44
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวัดสายอากาศ	45
4.1 กล่าวนำ	45
4.2 การสร้างสายอากาศต้นแบบ	45
4.3 สรุป	58
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	59
5.1 สรุป	59
5.2 ข้อเสนอแนะ	61
บรรณานุกรม	62
ประวัติผู้เขียน	63

สารบัญรูป

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 2.1 ระบบพิกัดทรงกลมซึ่งใช้สำหรับการวิเคราะห์แบบการแผ่กระจาย กำลังงานของสายอากาศ	5
รูปที่ 2.2 แบบรูปการแผ่กำลังงานแบบรอบตัวในระนาบเดียว	6
รูปที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบรูปแสงของไฟฉาย	9
รูปที่ 2.4 วิธีการหาความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง	10
รูปที่ 2.5 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไดโพลจั่วที่อยู่เหนือระนาบกราวด์ ที่มีการสูญเสียและไม่มีการสูญเสียเกิดขึ้น	11
รูปที่ 2.6 สายนำสัญญาณ สายนำสัญญาณแบบกระแสสมมาตร	13
รูปที่ 2.7 สายนำสัญญาณ สายนำสัญญาณแบบกระแสไม่สมมาตร	14
รูปที่ 3.1 หน้าต่างโปรแกรม CST STUDIO SUITE	21
รูปที่ 3.2 เลือกแบบสายอากาศ	22
รูปที่ 3.3 การกำหนดหน่วยวัดต่างๆ	22
รูปที่ 3.4 การกำหนดช่วงระยะความถี่	23
รูปที่ 3.5 หน้าเริ่มต้นการจำลองชิ้นงาน	23
รูปที่ 3.6 การขึ้นรูปชิ้นงานและการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ	24
รูปที่ 3.7 การกำหนดตัวแปรและค่าพารามิเตอร์ต่างๆ	24
รูปที่ 3.8 การกำหนดเส้นทางในการสร้างขดลวด	25
รูปที่ 3.9 การหาจุดแมทช์บนขดลวด	25
รูปที่ 3.10 การกำหนดจุดเพื่อใส่พอร์ตกระตุ้นสัญญาณ	26

สารบัญรูป (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 3.11 การใส่พอร์ตกระตุ้นสัญญาณ	26
รูปที่ 3.12 การจำลองผลการวัดของสายอากาศ	27
รูปที่ 3.13 การดูค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (Reflection Coefficient) หรือในรูปของพารามิเตอร์ S_{11} (จุดนี้ยังไม่แมทช์)	27
รูปที่ 3.14 กำหนดขนาดของขั้วต่อเพื่อหาค่าสภาพยอมไฟฟ้าประสิทธิผล ของวัสดุที่ใช้ในการสร้าง	28
รูปที่ 3.15 การกำหนดตัวแปรและค่าพารามิเตอร์ของขั้วต่อ	29
รูปที่ 3.16 การสร้างชิ้นส่วนขั้วต่อส่วนที่ 1	29
รูปที่ 3.17 การสร้างชิ้นส่วนขั้วต่อส่วนที่ 2	30
รูปที่ 3.18 การสร้างชิ้นส่วนขั้วต่อส่วนที่ 3	30
รูปที่ 3.19 การสร้างชิ้นส่วนขั้วต่อส่วนที่ 4	31
รูปที่ 3.20 การสร้างชิ้นส่วนขั้วต่อส่วนที่ 5 ล้อมรอบพื้นผิวที่เลือก	31
รูปที่ 3.21 การสร้างชิ้นส่วนขั้วต่อส่วนที่ 6	32
รูปที่ 3.22 การสร้างชิ้นส่วนขั้วต่อส่วนที่ 7	32
รูปที่ 3.23 เจาะรูชิ้นส่วนขั้วต่อส่วนที่ 7 ตามขนาดของชิ้นส่วนขั้วต่อส่วนที่ 6	33
รูปที่ 3.24 รูปตัดด้านข้างของชิ้นส่วนขั้วต่อ (Connector)	33
รูปที่ 3.25 การสร้างชิ้นส่วนทรงกระบอกบนชิ้นส่วนขั้วต่อส่วนที่ 7	34
รูปที่ 3.26 ชิ้นส่วนทรงกระบอกทั้ง 4 มุมของชิ้นส่วนขั้วต่อส่วนที่ 7	34
รูปที่ 3.27 เจาะรูชิ้นส่วนขั้วต่อส่วนที่ 7 ตามขนาดของชิ้นส่วนทรงกระบอกทั้ง 4 มุม	35

สารบัญรูป (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 3.28 เลือกมุมทั้ง 4 มุมของชิ้นส่วน	35
รูปที่ 3.29 ทำให้มุมที่เลือกทั้ง 4 เป็นผิวโค้งตามรัศมีที่กำหนด	36
รูปที่ 3.30 นำข้อต่อ ต่อเข้ากับจุดที่แมทช์แล้ว และส่วนปลายของขดลวด	36
รูปที่ 3.31 แบบรูปการแผ่คลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane)	37
รูปที่ 3.32 แบบรูปการแผ่คลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane)	37
รูปที่ 3.33 แบบรูปการแผ่คลื่นของสายอากาศโมโนโพล 3 มิติ	37
รูปที่ 3.34 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (S_{11})	38
รูปที่ 3.35 แสดงสายอากาศโมโนโพล $5\lambda/8$ จากการจำลองผล	38
รูปที่ 3.36 ชิ้นส่วนและขนาดฐานสายอากาศส่วนที่ 1	39
รูปที่ 3.37 ชิ้นส่วนและขนาดสารซูเปอร์ไลน์	39
รูปที่ 3.38 ชิ้นส่วนและขนาดฐานสายอากาศส่วนที่ 2	40
รูปที่ 3.39 ชิ้นส่วนและขนาดระนาบกราวด์แบบเส้นลวด	40
รูปที่ 3.40 ชิ้นส่วนและขนาดสายอากาศส่วนที่ 1	41
รูปที่ 3.41 ชิ้นส่วนและขนาดสายอากาศส่วนที่ 2	41
รูปที่ 3.42 ภาพตัดด้านข้างของสายอากาศ	42
รูปที่ 3.43 ภาพตัดด้านข้างบริเวณฐานของสายอากาศ	43
รูปที่ 4.1 โครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศสายอากาศโมโนโพล ความยาว $5\lambda/8$	46
รูปที่ 4.2 แมตซ์ซิ่งของสายอากาศโมโนโพล ความยาว $5\lambda/8$	46
รูปที่ 4.3 แมตซ์ซิ่งของสายอากาศโมโนโพล ความยาว $5\lambda/8$	47

สารบัญรูป (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 4.4 การวัดอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ (Characteristic Impedance)	48
รูปที่ 4.5 อิมพีแดนซ์ด้านเข้าความถี่ 100 MHz ของสายอากาศต้นแบบ	49
รูปที่ 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (S_{11})	49
รูปที่ 4.7 สายอากาศไดโพลที่ใช้เป็นตัวส่ง	51
รูปที่ 4.8 เครื่องวิเคราะห์แถบคลื่นสัญญาณ (spectrum analyzer)	51
รูปที่ 4.9 เครื่องกำเนิดสัญญาณ (signal generator 2032)	52
รูปที่ 4.10 แสดงวิธีการวัดแบบรูปสนามไฟฟ้า	52
รูปที่ 4.11 วิธีวัดแบบรูปสนามไฟฟ้าของสายอากาศต้นแบบ	52
รูปที่ 4.12 ระนาบสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบของสายอากาศโมโนโพล $5\lambda/8$	53
รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบระนาบสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบและโปรแกรม CST Microwave Studio ของสายอากาศโมโนโพลความยาว $5\lambda/8$	53
รูปที่ 4.14 แสดงวิธีการวัดระนาบสนามแม่เหล็ก	54
รูปที่ 4.15 วิธีวัดแบบระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศต้นแบบ	54
รูปที่ 4.16 แบบรูปสนามแม่เหล็กที่ได้จากการทดสอบของสายอากาศโมโนโพล ความยาว $5\lambda/8$	55
รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบแบบรูปสนามแม่เหล็กที่ได้จากการทดสอบและโปรแกรม CST Microwave Studio ของสายอากาศโมโนโพลความยาว $5\lambda/8$	55

สารบัญรูป (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 4.18 การวัดอัตราขยายของสายอากาศโมนิโพลความยาว $5\lambda/8$	57
รูปที่ 4.19 ค่าส่งผ่านคลื่น (S_{21}) ของสายอากาศไดโพล และโมนิโพล	57



สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงคุณลักษณะเบอร์สายนำสัญญาณ	16
ตารางที่ 2.2 แสดงเบอร์สายและอัตราการสูญเสีย (dB) ต่อ 100 ฟุต	17
ตารางที่ 5.1 ตารางสรุปการเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองกับผลจากการทดสอบ	60



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันสายอากาศที่ใช้กับสถานีวิทยุ FM จะใช้สายอากาศแบบไดโพล (Dipole) ซึ่งส่วนใหญ่จะติดตั้งไว้กับด้านข้างของเสาส่งสัญญาณทำให้ลักษณะการแผ่คลื่นมีลักษณะที่ไม่เป็นวงกลมซึ่งเกิดจากการที่คลื่นที่แผ่กระจายออกไปทางด้านหลังของสายอากาศไปชนกับเสาที่ใช้ติดตั้งกับสายอากาศนั้น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของสายอากาศทำให้ไม่สามารถใช้งานได้สมบูรณ์และไม่สามารถให้บริการกับผู้ให้บริการได้ครอบคลุมในพื้นที่ที่มีชุมชนล้อมรอบได้ทั่วถึง

โครงการนี้จึงได้จัดทำสายอากาศโมโนโพลแบบ DC-Ground ที่มีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าลักษณะเป็นแบบรอบตัวในระนาบเดียว (Omnidirectional Pattern) และติดตั้งที่ยอดเสาแทนซึ่งจะช่วยลดปัญหาที่เกิดจากการติดตั้งสายอากาศไว้ที่ข้างเสาได้อย่างมากทำให้คลื่นที่แผ่กระจายออกไปไม่ถูกขวางโดยเสาส่งสัญญาณและสามารถให้บริการผู้ให้บริการได้อย่างเท่าเทียมในทุกพื้นที่ที่อยู่รอบเสาส่งสัญญาณ นอกจากนี้ยังออกแบบให้แบบให้โครงสร้างของสายอากาศต่อลงระบบกราวด์ของเสาส่งโดยตรงซึ่งสามารถแก้ไขปัญหาในเรื่องของอันตรายที่อาจเกิดจากการโดนฟ้าผ่าลงสู่เครื่องส่งวิทยุได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อออกแบบสายอากาศที่ใช้กับสถานีส่งวิทยุระบบ FM ในปัจจุบัน
2. เพื่อศึกษาการออกแบบสายอากาศโดยใช้เทคนิคการต่อลงระบบกราวด์ของเสาส่งโดยตรง
3. เพื่อศึกษา การเขียนโปรแกรมในการจำลองสายอากาศ ให้สายอากาศส่งความถี่ในย่านความถี่ที่ต้องการและมีคุณสมบัติที่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม
4. นำสายอากาศที่ออกแบบได้ไปใช้งานได้จริงในสถานีวิทยุ FM ที่กำลังส่งไม่เกิน 500 วัตต์

1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน

1. เพื่อศึกษาลักษณะการแผ่กำลังคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสายอากาศโมโนโพล
2. ศึกษาการใช้โปรแกรม CST Microwave Studio
3. ออกแบบสายอากาศโมโนโพลความยาว $5\lambda/8$ โดยใช้โปรแกรม CST Microwave Studio
4. สร้างสายอากาศโมโนโพลความยาว $5\lambda/8$ ต้นแบบที่ได้จากการออกแบบ
5. นำสายอากาศโมโนโพลความยาว $5\lambda/8$ ต้นแบบมาทำการวัดคุณลักษณะของสายอากาศต้นแบบ
6. ทดสอบการทำงานจริงและวัดผลการทดลองเพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

กิจกรรม	พ.ศ 2558 - 2559						
	เม.ย	พ.ค	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค
1. ศึกษา ค้นคว้าข้อมูล	↔						
2 เขียนโครงการและเสนอโครงการกับอาจารย์ที่ปรึกษา		↔					
3. ศึกษาโปรแกรมที่ใช้ทำอุปกรณ์ในการทำโครงงาน			↔				
4. ปรึกษาผลการทดลองกับอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน				↔			
5.หาซื้ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงงาน					↔		
6.สร้างอุปกรณ์ในการทำโครงงานเพื่อให้ได้อุปกรณ์ที่สามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์						↔	
7.วัดคุณลักษณะของสายอากาศต้นแบบและปรับเปลี่ยนอุปกรณ์เพื่อให้สามารถใช้งานได้ตรงตามเป้าหมาย						↔	

8.สรุปผลการทดลองและเขียนรายงาน						↔
9.นำเสนอโครงงาน						↔

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำความรู้ที่ได้จากการศึกษามาประยุกต์ในการทำงาน
2. สามารถนำความรู้ที่ได้มาใช้ในการประกอบวิชาชีพ
3. สามารถนำความรู้ทางทฤษฎีต่างๆ มาใช้ในทางปฏิบัติงานจริง
4. รู้จักวางแผนและทำงานอย่างมีระบบ
5. สามารถทำงานร่วมกันเป็นทีมได้



บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐาน

2.1 กล่าวนำ

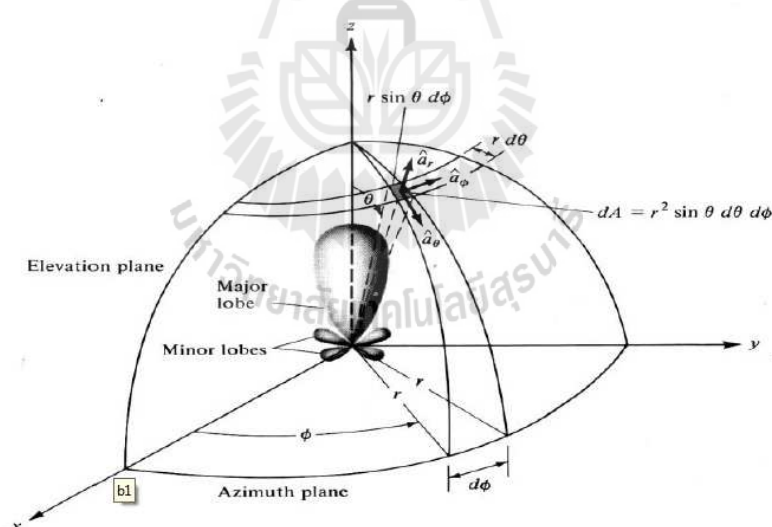
สายอากาศเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนคลื่นที่อยู่ในสายส่งสัญญาณ หรือท่อนำคลื่นให้แผ่กระจายออกสู่ตัวกลางที่สายอากาศวางอยู่ เช่น ในอากาศอิสระ หรือไดอิเล็กตริกและในทางกลับกัน จะทำหน้าที่รับคลื่นที่แผ่กระจายอยู่ในตัวกลางให้เข้ามาอยู่ในท่อนำคลื่นหรือ สายส่งสัญญาณได้ การศึกษารูปแบบการกระจายคลื่นของสายอากาศแต่ละชนิดจึงมีความสำคัญในบทนี้ จึงจะกล่าวถึง คุณสมบัติที่เหมาะสมของสายอากาศที่จะเป็นสายอากาศส่งสัญญาณวิทยุ FM ในย่านความถี่ VHF ของสายอากาศโมโนโพล เพื่อนำมาประยุกต์ใช้เป็นสายอากาศที่มีการแผ่กระจายสัญญาณให้มีรูปแบบของการแผ่กระจายสัญญาณสมบูรณ์ที่สุด

2.2 คุณสมบัติที่ดีของสายอากาศสำหรับส่งสัญญาณวิทยุ FM

สำหรับคุณสมบัติของสายอากาศที่จะทำหน้าที่เป็นสายอากาศตัวส่งที่ดีนั้น จะต้องเป็นสายอากาศที่ทำให้สายอากาศภาครับสามารถรับสัญญาณได้ดีที่สุด นั่นคือ ไม่ว่าสายอากาศภาครับจะอยู่ที่ทิศทางใดของสายอากาศภาคส่ง และมีการโพลาไรซ์เป็นแบบใด ก็ควรที่จะสามารถรับคลื่นจากสถานีส่งได้ โดยเฉพาะสายอากาศที่ใช้สำหรับส่งสัญญาณวิทยุ FM ในย่าน VHF จะต้องมรูปแบบการแผ่กำลัง (radiation pattern) ที่สามารถครอบคลุมพื้นที่ให้บริหาร หรือสามารถเชื่อมต่อกับผู้ใช้บริการได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดเวลา และมีโครงสร้างของสายอากาศที่ไม่ซับซ้อนจนเกินไปสามารถประกอบได้ง่าย รองรับกำลังงานที่สูงได้และมีอัตราขยายในรอบทิศทาง ซึ่งโครงงานฉบับนี้เป็นการนำเสนอการออกแบบ ทดสอบและประเมินคุณสมบัติของสายอากาศโมโนโพลความยาว $5\lambda/8$ เพื่อใช้เป็นสายอากาศสำหรับสถานีส่งสัญญาณวิทยุ FM ย่านความถี่ VHF ภายใต้การใช้งานจริงในระบบการสื่อสาร ณ ความถี่ปฏิบัติการ 100 MHz ดังนั้นคุณสมบัติที่ดีของสายอากาศสำหรับส่ง ที่สำคัญควรมีดังนี้

2.2.1 แบบรูปการแผ่กำลัง (Radiation pattern)

แบบรูปการแผ่กำลังหรือแบบรูปกระจายคลื่นของสายอากาศเป็นการนำเสนอคุณสมบัติในการแผ่กำลังของสายอากาศในรูปของกราฟฟิกหรือในรูปของฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ซึ่งทำเป็นฟังก์ชันของพิกัดตำแหน่ง (Space Coordinates) ในการพิจารณาแบบรูปการแผ่กำลังจะต้องทำในบริเวณสนามระยะไกล (Far-Field Region) เท่านั้น และจะนำเสนอในรูปฟังก์ชันของพิกัดทิศทาง (Directivity Coordinates) เสมอ ซึ่งคุณสมบัติการแผ่กำลังนี้สามารถที่จะพิจารณา รวมถึงความหนาแน่นของเส้นแรงกำลังงาน (Power Flux Density) ความเข้มการแผ่กำลัง (Radiation Intensity) ความแรงของสนาม (Field Strength) เฟสของสภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity Phase) หรือการแยกขั้วคลื่น (Polarization) ได้ ซึ่งคุณสมบัติการแผ่กำลัง สามารถที่จะแสดงในรูปของการกระจายพลังงานในแต่ละตำแหน่งและทิศทางที่เป็นแบบสองมิติและแบบสามมิติซึ่งเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งของผู้สังเกตตลอดเส้นทางหรือผิวของทรงกลมที่มีรัศมีคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ระบบพิกัดทรงกลมซึ่งใช้สำหรับการวิเคราะห์แบบการแผ่กำลังของสายอากาศ

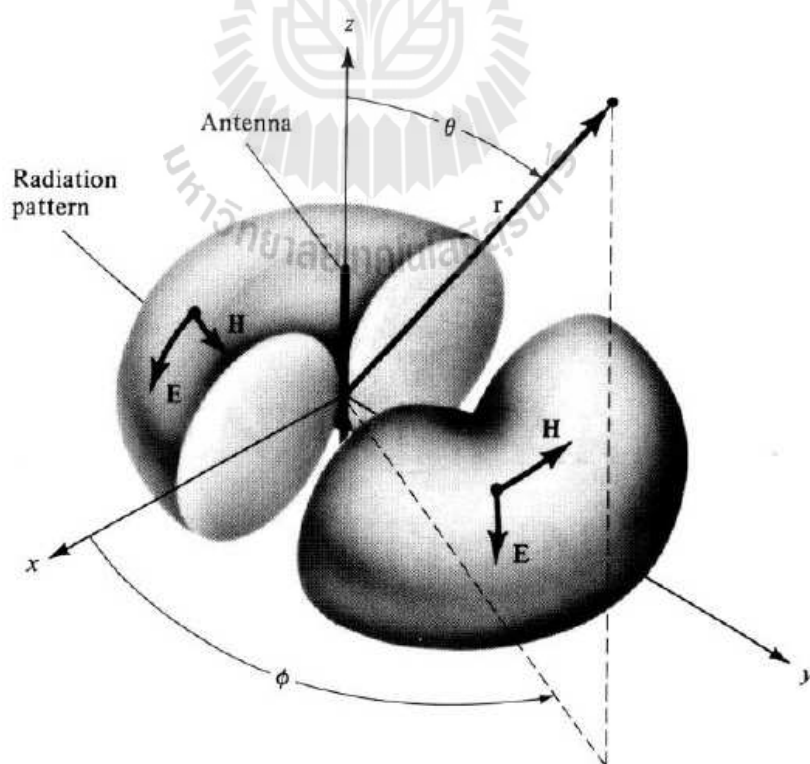
เส้นการกวาดของกำลังที่รับได้ที่ตำแหน่งรัศมีคงที่จะถูกเรียกว่า แบบรูปกำลังงาน(Field Pattern) และอีกวิธีหนึ่งถ้าเป็นแบบรูปที่ใช้แสดงการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กตามฟังก์ชันของตำแหน่ง เราจะเรียกว่า แบบรูปแอมพลิจูดของสนาม (Amplitude Field Pattern)

แบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศสามารถอธิบายได้ 3 แบบดังนี้

1.แบบรูปการแผ่กำลังแบบไอโซทรอปิก (Isotropic Radiator) คือสายอากาศที่ถูกสมมุติขึ้นว่า ไม่มีการสูญเสียภายในตัวเอง และมีการแผ่พลังงานออกมาเท่ากันทุกทิศทาง

2.แบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศแบบมีทิศทาง (Directional Pattern) คือ สายอากาศที่มีคุณสมบัติในการแผ่กำลังหรือรับคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในทิศทางใดทิศทางหนึ่งมากกว่าทิศทางอื่น ๆ ซึ่งมักจะนำมาใช้กับสายอากาศที่มีสภาพเจาะจงทิศทางสูงสุด (Maximum Directivity) มากกว่าจะใช้กับสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศไดโพลความยาวครึ่งคลื่น (Half-wave Dipole)

3.แบบรูปการแผ่กำลังแบบรอบทิศทางในระนาบเดียว (Omnidirectional Pattern) คือสายอากาศที่มีแบบรูปการแผ่กำลังที่ไม่มีทิศทางในระนาบที่กำหนดให้ในที่นี้คือ มุมกวาด (Azimuth) และในระนาบที่ตั้งฉากกันจะมีแบบรูปการแผ่กำลังเป็นแบบมีทิศทางในกรณีนี้คือมุมเงย ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แบบรูปการแผ่กำลังงานแบบรอบตัวในระนาบเดียว

ในโครงงานฉบับนี้ได้ออกแบบสายอากาศโมโนโพลความยาว $5\lambda/8$ ที่มีการแผ่กำลังได้ดีกว่าสายอากาศไดโพลที่มีการติดตั้งแบบข้างเสา ซึ่งสายอากาศยังมีแบบรูปการแผ่กำลังแบบรอบตัวเหมือนเดิมแบบรูปการแผ่กำลังแบบรอบทิศทางในระนาบเดียว เพราะสายอากาศที่ใช้สำหรับส่งสัญญาณวิทยุ ในย่านความถี่ VHF จะต้องมีแบบรูปการแผ่พลังงาน ที่สามารถครอบคลุมพื้นที่ให้บริการ หรือสามารถเชื่อมต่อกับผู้ใช้บริการได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดเวลา

2.2.2 การโพลาไรซ์ (Polarization)

การแยกแฉกคลื่นที่แผ่กำลังออกไป (Polarization of a Radiated Wave) หมายถึง การอธิบายคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งขนาดสัมพัทธ์และทิศทางของเวกเตอร์สนามไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาตลอดทิศทางของการแผ่กำลังออกไป การแยกแฉกคลื่นสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบได้แก่ แบบเชิงเส้น (Linear) แบบวงรี (Ellipse) และแบบวงกลม (Circular) ส่วนสายอากาศไดโพลนั้นมีการโพลาไรซ์เป็นแบบเชิงเส้น คือ เวกเตอร์สนามไฟฟ้าของคลื่นเมื่อแปรผันตามเวลา ณ จุดใด ๆ ในอากาศอย่างต่อเนื่อง แล้วมีลักษณะเป็นเส้นตรง

สำหรับการโพลาไรซ์ของสายอากาศโมโนโพลที่มีขนาดความยาว $5\lambda/8$ ซึ่งสายอากาศยังมีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบรอบตัวที่มีการโพลาไรซ์เป็นแบบเชิงเส้น เพราะในโครงงานฉบับนี้ได้ทำการวิเคราะห์แบบรูปการแผ่กำลังสนามระยะไกล ซึ่งเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าจะมีการแปรผันตามเวลา ณ จุดใด ๆ ในอากาศอย่างต่อเนื่อง เมื่อเราทำการหมุนรอบรับคลื่น จาก 0 องศา ถึง 360 องศา เวลาที่วัดแบบรูปการแผ่กำลัง

2.2.3 อัตราขยาย (Gain)

ก. อัตราขยายจริง (Absolute Gain) ของสายอากาศ (ในทิศทางที่กำหนดให้) หมายถึง อัตราส่วนของความเข้มของการแผ่กำลังงานในทิศทางที่กำหนดให้ ต่อความเข้มของการแผ่กำลังงานที่ได้รับเข้ามา

ข. อัตราขยายสัมพัทธ์ (Relative Gain) หมายถึง อัตราส่วนของอัตราขยายกำลังงานในทิศทางที่กำหนดให้ ต่ออัตราขยายกำลังงานของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบกับทิศทางนั้น โดยกำลังงานที่กำลังงานที่ป้อนให้กับอินพุตของสายอากาศจะต้องเหมือนกันทั้งสองตัว โดยส่วนใหญ่สายอากาศที่

ใช้ในการเปรียบเทียบ ก็คือสายอากาศที่เป็นแหล่งกำเนิดไอโซทรอปิกที่ไม่มีการสูญเสีย (Lossless Isotropic Source) และสายอากาศแบบไดโพล

การวัดค่าอัตราขยายของสายอากาศมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน วิธีที่ง่ายที่สุด ก็คือวิธีที่เรียกว่า วิธีแบบใช้สายอากาศอ้างอิง (Reference Antenna Method) หรือ วิธีการเปรียบเทียบ (Comparison Method) หรือวิธีการแทนที่ (Substitution Method) ซึ่งสามารถหาได้โดยการเปรียบเทียบกำลังงานที่ได้รับด้วยสายอากาศอ้างอิง (P_{pref}) กับกำลังงานที่รับได้จากสายอากาศที่ทำการทดสอบ (P_{test}) ค่าอัตราขยายของสายอากาศที่ต้องการทราบจะหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$G_{test} = \frac{P_{test}}{P_{pref}} G_{ref} \quad (2.1)$$

เมื่อต้องการคำตอบ ให้มีหน่วยเป็น dB ก็จะหาได้จากสมการ

$$G_{test}(dB) = P_{test}(dB) - P_{pref}(dB) + G_{ref}(dB) \quad (2.2)$$

2.2.4 ความกว้างแถบ (Bandwidth)

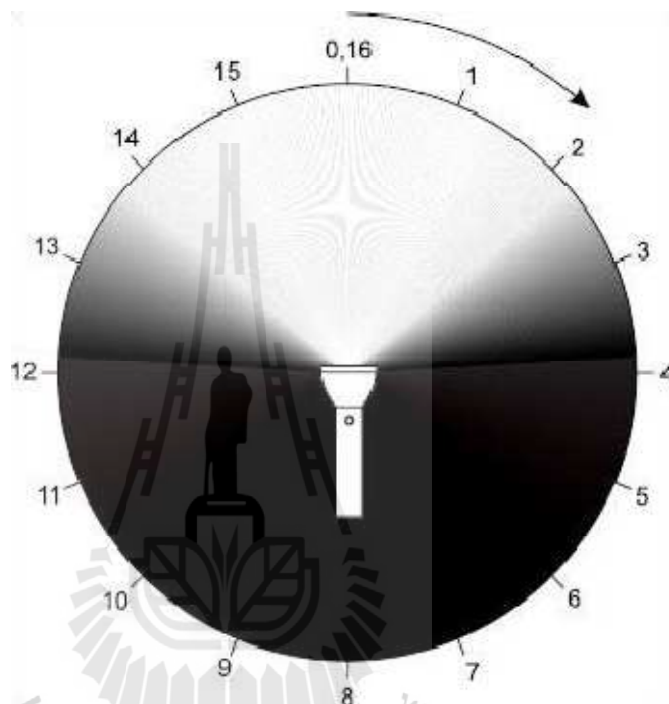
ความกว้างแถบของสายอากาศ ถูกนิยามว่า ย่านความถี่ที่ยังอยู่ภายในสภาวะที่สายอากาศ ยังสามารถทำงานได้ สภาวะดังกล่าวพิจารณาจากคุณสมบัติบางตัวของสายอากาศ และให้เป็นไปตามมาตรฐานกำหนด ความกว้างแถบจะพิจารณาจากช่วงของความถี่ที่ต่ำกว่าและสูงกว่าความถี่กลาง (Center Frequency) ซึ่งสภาวะการทำงานของสายอากาศที่ยอมรับได้ จะต้องสามารถทำงานได้ตลอด ย่านความถี่นี้

กรณีที่เป็น สายอากาศแถบกว้าง (Broadband Antennas) ความกว้างแถบมักจะแสดงในรูปของอัตราส่วนระหว่างความถี่สูงสุดกับความถี่ต่ำสุดที่สายอากาศสามารถทำงานได้ ตัวอย่างเช่น ถ้าสายอากาศชนิดนี้มีความกว้างแถบเท่ากับ 10 : 1 แสดงว่าความถี่สูงสุดมีค่ามากกว่าความถี่ต่ำสุดอยู่ 10 เท่า

และถ้าหากเป็นกรณีของ สายอากาศแถบแคบ (Narrowband Antennas) ความกว้างแถบมักจะแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์ของผลต่างความถี่ (ความถี่สูงสุดลบความถี่ต่ำสุด) เมื่อเทียบกับความถี่กลางของความถี่แถบ ตัวอย่างเช่น ถ้าสายอากาศชนิดนี้มีความกว้างแถบเท่ากับ 5% แสดงว่าผลต่างของความถี่ที่สายอากาศสามารถทำงานได้มีค่าเป็น 5% ของความถี่กลางของความถี่แถบ

2.2.5 ความกว้างลำคลื่น (Beam width)

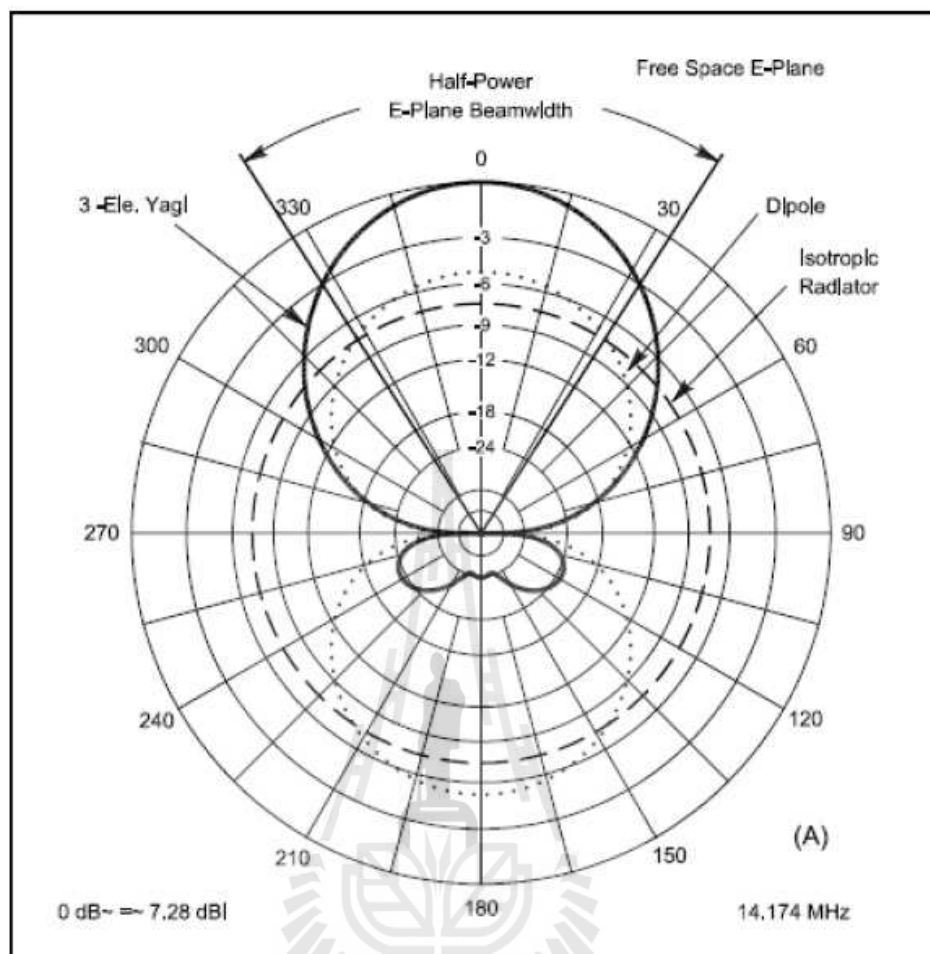
ความกว้างลำคลื่น (Beam width) คือ ความกว้างของลำคลื่นเป็นคุณสมบัติของสายอากาศ ทิศทางที่วัดเป็นองศาของส่วนที่เป็น Major lobe หรือ Main lobe ระหว่างสองทิศทาง ซึ่งกำลังไฟฟ้า ลดลงครึ่งหนึ่ง (-3dB) ของค่าสูงสุด



รูปที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบรูปแสงของไฟฉาย

2.2.6 ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (Half-Power Beam Width)

ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (Half-Power Beam Width) อธิบายไว้ว่าในระนาบหนึ่ง ๆ ที่ ประกอบด้วยทิศทางที่มีลำคลื่นสูงสุดและมีมุมซึ่งอยู่ระหว่างสองทิศทาง ซึ่งความเข้มของการแผ่ กำลังมีค่ากำลังงานลดลงครึ่งหนึ่งจากค่าสูงของมัน และคำว่าความกว้างของลำคลื่นครึ่งกำลัง มักจะ ใช้อธิบายถึงความกว้างของลำคลื่นที่มีค่า 3 dB และคำว่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง มักจะใช้ อธิบายถึงความกว้างของลำคลื่นที่มีค่า 3 dB (3-dB Beam Width) เสมอ



รูปที่ 2.4 วิธีการหาความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง

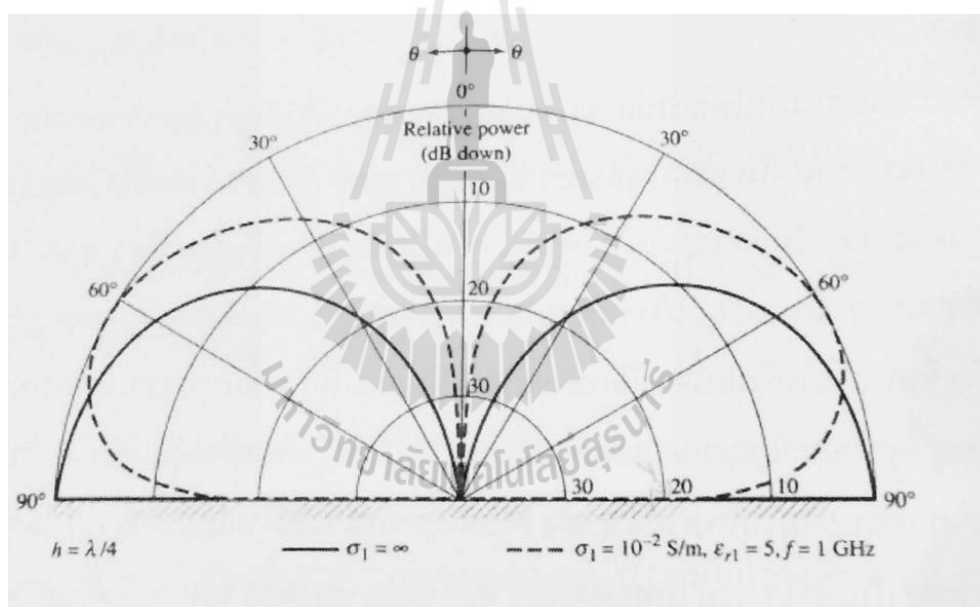
2.3 ทฤษฎีสายอากาศโมโนโพล

2.3.1 สายอากาศโมโนโพลในอุดมคติ

สายอากาศโมโนโพลเป็นสายอากาศเส้นลวดตรงที่มีต้นแบบมาจากสายอากาศไดโพลโดยนำมาใช้เพียงแขนด้านบนของไดโพลและป้อนสัญญาณเข้าที่กึ่งกลางของไดโพลเช่นเดิม แต่วิธีใช้เทียบกับระนาบกราวด์แทน ดังนั้นหากเป็นโมโนโพลที่มาจากไดโพลครึ่งคลื่นก็就会有ความยาวของโมโนโพลเท่ากับหนึ่งในสี่ของความยาวคลื่น ($\lambda/4$) Quarter - Wavelength Monopole การแฉงรูปกระแส่ที่เกิดขึ้นบนโมโนโพลนี้จะมีลักษณะกั่บที่เกิดขึ้นบนแขนด้านบนของไดโพลครึ่งคลื่นโดยมีค่าสูงสุดอยู่่ที่จุดป้อนสัญญาณและลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งมีค่าเป็นศูนย์เมื่ออยู่่ที่ปลายของโมโนโพล

สายอากาศแบบโมโนโพลในแนวตั้ง (จะมีการโพลาริไรซ์ในแนวตั้งด้วย) ได้ถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวาง ไม่ว่าจะเป็นด้านการถ่ายทอดสัญญาณวิทยุระบบ AM ที่มีความถี่ตั้งแต่ 500 - 1500 KHz หรือความยาวคลื่นตั้งแต่ 200 - 600 เมตร เนื่องจากเป็นสายอากาศที่มีความยาวที่สั้นที่สุดและให้ประสิทธิภาพสูงที่สุดเมื่อทำงานที่ย่านความถี่ดังกล่าว เหตุผลอีกประการหนึ่งคือ เนื่องจากการที่คลื่นมีการโพลาริไรซ์แนวตั้งจะเกิดการลดทอนต่ำกว่าเมื่อใช้งานกับความถี่ซึ่งมีพฤติกรรมการแผ่แบบคลื่นดิน (Ground-Wave Propagation) นอกจากนี้ยังถูกนำไปใช้เป็นสายอากาศสำหรับสถานีฐานของระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ (Mobile Communication System) อีกด้วย

สำหรับค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นบนระนาบกราวด์ของสายอากาศโมโนโพลนั้น อาจจะทำให้เกิดการก่อตัวของการแผ่กำลังในรูปแบบที่ไม่เป็นไปตามทฤษฎีได้ ดังที่แสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศไดโพลจั่วที่อยู่เหนือระนาบกราวด์ที่มีการสูญเสียและไม่มีการสูญเสียเกิดขึ้น

ซึ่งเป็นกรณีของสายอากาศไดโพลจั่วที่อยู่ในแนวตั้งและอยู่เหนือระนาบกราวด์ที่สมบูรณ์โดยเส้นทึบของแบบรูป ($\sigma_1 = \infty$) จะแสดงแบบรูปที่เกิดจากกระนาบกราวด์เป็นตัวนำสมบูรณ์และไม่มีการสูญเสีย ส่วนเส้นประของแบบรูป ($\sigma_1 = 10^{-2} \text{ s/m}$) จะแสดงแบบรูปที่เกิดจากกระนาบกราวด์ที่มีการสูญเสียเกิดขึ้น จะเห็นว่ารูปแบบของการแผ่กำลังจะมีรูปร่างผิดไปจากเดิม

2.4 การแมตช์ซิ่ง (Matching Network)

ในการติดตั้งสายอากาศใช้งานจริง ต้องทำการแมตช์ซิ่ง เพื่อให้สายอากาศสามารถใช้งานได้จริงในกรณีที่ต้องการ สำหรับโครงงานนี้ทำการแมตช์สายอากาศ กับสายโคแอกเชียล 50 โอห์ม

2.4.1 การแมตช์อิมพีแดนซ์

การแมตช์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศกับสายส่งนั้นเป็นสิ่งที่ต้องพึงระวังอย่างยิ่งโดยเฉพาะในระบบส่งสัญญาณวิทยุที่มีกำลังส่งสูงนั้นหาก VSWR มีค่าสูงขึ้นจะทำให้ขนาดของคลื่นนิ่งที่เกิดขึ้นภายในสายส่งมีค่าสูงขึ้นตามด้วย และอาจทำให้เกิดประกายไฟฟ้าเกิดขึ้นที่หัวของสายอากาศหรือที่เครื่องส่งได้ ซึ่งวิธีการคำนวณหาผลเฉลยของกำลังสะท้อน (Reflected Power) กลับสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

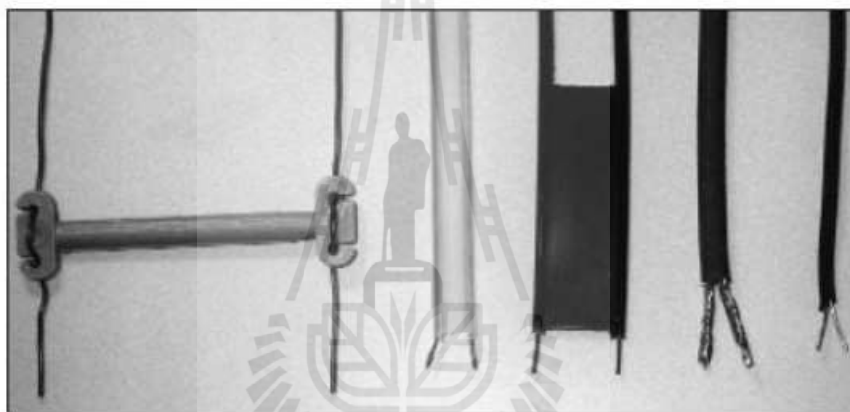
$$|\Gamma|^2 = \left(\frac{VSWR-1}{VSWR+1} \right)^2 \quad (2.3)$$

วิธีการโดยทั่วไปที่ใช้ในการพิจารณาคำแหน่งของจุดป้อนบนไดโพลและโมโนโพลก็คือ ใช้วิธีการป้อนเข้าไปยังตำแหน่งที่ไม่ใช่จุดกึ่งกลางของสายอากาศ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศให้สูงขึ้นเมื่อเทียบกับอิมพีแดนซ์ที่ได้จากการป้อนที่จุดกึ่งกลางของสายอากาศชนิดเดียวกัน อย่างไรก็ตามการที่ป้อนกระแสเข้าที่ตำแหน่งที่ไม่ใช่จุดกึ่งกลางของสายอากาศนั้น จะทำให้ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศก็จะไม่ได้ดุลและอาจทำให้เกิดการกลับเฟสขึ้นบนตัวของสายอากาศ และถ้าความยาวของสายอากาศนั้นยาวมากกว่าความยาวครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น จะส่งผลให้แบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก ดังนั้นเพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงกรณีดังกล่าว การป้อนแบบตำแหน่งที่ได้ดุลเพื่อเพิ่มอิมพีแดนซ์จึงจะเหมาะสมซึ่งเป็นการแมตช์แบบขนาน (Shunt Matching) หรือบางครั้งถูกเรียกว่า การป้อนแบบขนาน (Shunt Feed)

2.5 สายนำสัญญาณ (Transmission Lines)

ในการรับส่งสัญญาณวิทยุ นั้นสายนำสัญญาณก็มีความสำคัญไม่น้อยไปกว่าสายอากาศเลย การจะเลือกใช้สายนำสัญญาณ การจะเลือกใช้สายนำสัญญาณให้เหมาะสมกับงานนั้น ต้องศึกษาเรื่องของสายนำสัญญาณ ให้ดีก่อน สายนำสัญญาณ สามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภทคือ

2.5.1 สายนำสัญญาณแบบกระแสมมาตร คือสายนำสัญญาณที่มีตัวนำ 2 เส้นที่มีลักษณะเหมือนกันนำมาต่อขนานกัน โดยมีตัวกลางกั้นไว้ว่าจะเป็นอากาศก็ได้ เช่นสายอากาศ Open wire จะมีฉนวนยึดสายเอาไว้เป็นระยะ เพื่อความแข็งแรง และคงลักษณะการขนานกันเอาไว้



รูปที่ 2.6 สายนำสัญญาณ สายนำสัญญาณแบบกระแสมมาตร

สูตรการคำนวณ ค่าอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณแบบสายนำสัญญาณแบบกระแสมมาตร

$$Z_0 = 276 \log_{10} \frac{2S}{d} \quad (2.4)$$

Z_0 = ค่าอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณแบบสายนำสัญญาณแบบกระแสมมาตร

S = ระยะห่างระหว่างตัวนำทั้งสอง (วัดจากแกนกลางของตัวนำ)

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดตัวนำ (ใช้หน่วยเดียวกับ S)

2.5.2 สายนำสัญญาณแบบกระแสไม่สมมาตร คือ สายนำสัญญาณที่มีตัวนำ 2 เส้นมีลักษณะต่างกัน หรือที่เรารู้จักกันในชื่อสายโคแอกเชียลหรือสายแบบแกนร่วมสอง สายนำสัญญาณแบบนี้ถูกสร้างขึ้นมาทดแทนสายแบบสายนำสัญญาณแบบกระแสมมาตร เพื่อลดการแผ่คลื่นออกจากสายนำสัญญาณและป้องกันสัญญาณรบกวนได้ดีกว่า สามารถติดตั้งใกล้ ๆ โลหะได้



รูปที่ 2.7 สายนำสัญญาณ สายนำสัญญาณแบบกระแสไม่สมมาตร

สูตรการคำนวณค่าอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณแบบ สายนำสัญญาณแบบกระแสไม่สมมาตร

$$Z_0 = 138 \log_{10} \left(\frac{b}{a} \right) \quad (2.5)$$

Z_0 คือ ค่าอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณแบบสายนำสัญญาณแบบกระแสไม่สมมาตร

b คือ เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของชีลด์

a คือ เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของลวดตัวนำที่อยู่ตรงกลาง (ใช้หน่วยเดียวกับ b)

ในการติดตั้งสายแบบ สายนำสัญญาณแบบกระแสมมาตร เราต้องป้องกันไม่ให้ความชื้นเกิดขึ้นบนสายเพราะความชื้นทำให้ค่า ไดอิเล็กทริกเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของสายเปลี่ยนแปลงไปด้วยนอกจากนี้ การติดตั้งสายนำสัญญาณต้องห่างจากตัวนำหรือโลหะอื่น ๆ โดยระยะห่างจากตัวนำอื่นประมาณ 2 - 3 เท่าของระยะห่างระหว่างตัวนำทั้งสอง สำหรับสายนำสัญญาณแบบกระแสไม่สมมาตรนั้นจะมีชีลด์ต่อลงกราวด์ฉะนั้นการติดตั้งจึงไม่ค่อยมีปัญหา ติดตั้งใกล้โลหะได้ ปัญหาเรื่องความชื้นน้อยกว่า เว้นแต่ความชื้นจะเข้าไปในสาย สรุปได้ว่าสายนำสัญญาณ

แบบกระแสมมาตรจะมีการสูญเสียน้อย แต่สายนำสัญญาณแบบกระแสมมาตรจะติดตั้งง่ายกว่าค่าความเร็วของคลื่นวิทยุในสายนำสัญญาณ (Velocity Factor) ในสายนำสัญญาณนั้น คลื่นวิทยุเดินทางได้ช้ากว่าในบรรยากาศ และช้ากว่าความเร็วของแสง ซึ่งค่าความเร็วของคลื่นในสายนำสัญญาณนี้สัมพันธ์กับค่าคงที่ของวัสดุที่นำมาทำเป็นไดอิเล็กทริกโดยทั่วไปแล้วค่าความเร็วของคลื่นในสายเราเรียกว่า ตัวคูณความเร็วของสายเช่น สาย เบอร์ RG-58 A/U มีตัวคูณความเร็วเท่ากับ 0.66 ดังนั้นความเร็วของคลื่นในสายคือ 0.66×300 ล้านเมตร / วินาที เท่ากับ 1.98 ล้านเมตร / วินาที

สูตรการคำนวณค่าความเร็วในสาย

$$\lambda = \frac{983.6}{f} \times VF \quad (2.6)$$

โดยที่

λ = wavelength, in ft

f = frequency in MHz

VF = velocity factor

สูตรการคำนวณค่าความเร็วในสาย (velocity factor) มีหน่วยเป็น ฟุต เมื่อสายนำสัญญาณนำมาใช้ปกติ ตัวคูณความเร็วของสายแทบไม่ต้องสนใจ แต่ถ้านำสายสัญญาณมาต่อเพื่อขนานกับสายอากาศหลาย ๆ ต้น เข้าเป็นชุดด้วยสายเฟส (phasing line) เช่น การอากาศยาก็หลายสแต็ก หรือสายอากาศไดโพลหลาย ๆ ห่วง เราต้องนำความเร็วตัวนี้มาคำนวณด้วย

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณลักษณะเบอร์สายนำสัญญาณ

RG or Type	Part Number	Nom. Z_0 Ω	VF %	Cap. pF/ft	Cent. Cond. AWG
RG-6	Belden 1694A	75	82	16.2	#18 Solid BC
RG-6	Belden 8215	75	66	20.5	#21 Solid CCS
RG-8	Belden 7810A	50	86	23.0	#10 Solid BC
RG-8	TMS LMR400	50	85	23.9	#10 Solid CCA
RG-8	Belden 9913	50	84	24.6	#10 Solid BC
RG-8	CXP1318FX	50	84	24.0	#10 Flex BC
RG-8	Belden 9913F7	50	83	24.6	#11 Flex BC
RG-8	Belden 9914	50	82	24.8	#10 Solid BC
RG-8	TMS LMR400UF	50	85	23.9	#10 Flex BC
RG-8	DRF-BF	50	84	24.5	#9.5 Flex BC
RG-8	WM CQ106	50	84	24.5	#9.5 Flex BC
RG-8	CXP008	50	78	26.0	#13 Flex BC
RG-8	Belden 8237	52	66	29.5	#13 Flex BC
RG-8X	Belden 7808A	50	86	23.5	#15 Solid BC
RG-8X	TMS LMR240	50	84	24.2	#15 Solid BC
RG-8X	WM CQ118	50	82	25.0	#16 Flex BC
RG-8X	TMS LMR240UF	50	84	24.2	#15 Flex BC
RG-8X	Belden 9258	50	82	24.8	#16 Flex BC
RG-8X	CXP08XB	50	80	25.3	#16 Flex BC
RG-9	Belden 8242	51	66	30.0	#13 Flex SPC
RG-11	Belden 8213	75	84	16.1	#14 Solid BC
RG-11	Belden 8238	75	66	20.5	#18 Flex TC
RG-58	Belden 7807A	50	85	23.7	#18 Solid BC
RG-58	TMS LMR200	50	83	24.5	#17 Solid BC
RG-58	WM CQ124	52	66	28.5	#20 Solid BC

ควรใช้สายนำสัญญาณยาวเท่าไร ในการใช้สายนำสัญญาณส่งผ่านกำลังส่งจากเครื่องวิทยุไปยังสายอากาศ และนำสัญญาณที่รับได้กลับเข้าสู่เครื่องรับ ในเครื่องรับวิทยุสื่อสาร สายนำสัญญาณจะยาวเท่าไร ก็ไม่มีผลต่อค่าอิมพีแดนซ์เราจะตัดที่ความยาวเท่าไรก็ได้ สายอากาศที่แมตช์ซึ่งไม่ดีค่า SWR สูงมิได้หมายความว่า สายนำสัญญาณที่ต่อเข้าเครื่อง ไม่ลงตัวกับความยาวคลื่นผิดกับสาย สายเฟสที่ต้องคำนึงถึง ความยาวของสายเป็นพิเศษ ในการใช้งานธรรมดา ความยาวของสายมีผลคือ สูญเสียกำลังส่งในสาย (Losses in Transmission Lines) สายที่ยาวมาก ๆ จะลดทอนกำลังส่งมากตัวอย่างเช่น สายอากาศสูง 30 เมตร ใช้สายนำสัญญาณ RG 58/U ถ้าส่งด้วยความถี่ 150 MHz จะสูญเสีย 6 dB ถ้าเราส่งด้วยกำลังส่ง 10 วัตต์กำลังจะถูกลดทอนลงไปถึง 7.49 วัตต์ กำลังส่งที่ออกไปถึงสายอากาศเพียง 2.51 วัตต์เท่านั้น แต่ถ้าเราเปลี่ยนมาใช้ สายนำสัญญาณ

เบอร์ RG-8 แบบโฟม จะมีการสูญเสียเพียง 2.1 dB ที่ 30 เมตร กำลังส่งที่ปลายสายจะได้ถึง 6.17 วัตต์

ตารางที่ 2.2 แสดงเบอร์สายและอัตราการสูญเสีย (dB) ต่อ 100 ฟุต

RG or Type	Part Number	Nom. Z_0 Ω	VF %	1 MHz	Matched Loss (dB/100')			
					10	100	1000	
RG-6	Belden 1694A	75	82	0.2	.7	1.8	5.9	
RG-6	Belden 8215	75	66	0.4	0.8	2.7	9.8	
RG-8	Belden 7810A	50	86	0.1	0.4	1.2	4.0	
RG-8	TMS LMR400	50	85	0.1	0.4	1.3	4.1	
RG-8	Belden 9913	50	84	0.1	0.4	1.3	4.5	
RG-8	CXP1318FX	50	84	0.1	0.4	1.3	4.5	
RG-8	Belden 9913F7	50	83	0.2	0.6	1.5	4.8	
RG-8	Belden 9914	50	82	0.2	0.5	1.5	4.8	
RG-8	TMS LMR400UF	50	85	0.1	0.4	1.4	4.9	
RG-8	DRF-BF	50	84	0.1	0.5	1.6	5.2	
RG-8	WM CQ106	50	84	0.2	0.6	1.8	5.3	
RG-8	CXP008	50	78	0.1	0.5	1.8	7.1	
RG-8	Belden 8237	52	66	0.2	0.6	1.9	7.4	
RG-8X	Belden 7808A	50	86	0.2	0.7	2.3	7.4	
RG-8X	TMS LMR240	50	84	0.2	0.8	2.5	8.0	
RG-8X	WM CQ118	50	82	0.3	0.9	2.8	8.4	
RG-8X	TMS LMR240UF	50	84	0.2	0.8	2.8	9.6	
RG-8X	Belden 9258	50	82	0.3	0.9	3.1	11.2	
RG-8X	CXP08XB	50	80	0.3	0.9	3.1	14.0	
RG-9	Belden 8242	51	66	0.2	0.6	2.1	8.2	
RG-11	Belden 8213	75	84	0.2	0.4	1.3	5.2	
RG-11	Belden 8238	75	66	0.2	0.7	2.0	7.1	
RG-58	Belden 7807A	50	85	0.3	1.0	3.0	9.7	
RG-58	TMS LMR200	50	83	0.3	1.0	3.2	10.5	
RG-58	WM CQ124	52	66	0.4	1.3	4.3	14.3	
RG-58	Belden 8240	52	66	0.3	1.1	3.8	14.5	
RG-58A	Belden 8219	53	73	0.4	1.3	4.5	18.1	
RG-58C	Belden 8262	50	66	0.4	1.4	4.9	21.5	
RG-58A	Belden 8259	50	66	0.4	1.5	5.4	22.8	

2.6 ซุปเปอร์ลีน (Superlene)

ซุปเปอร์ลีน (Superlene) หรือชื่อทางการค้าคือ Nylon ชื่อทางเคมีคือ Polyamide (PA6) Superlene Nylon (ซุปเปอร์ลีนไนลอน) เป็นชื่อที่คนไทยรู้จักพลาสติกประเภทนี้ ซุปเปอร์ลีน เป็นพลาสติก ประเภทเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) จัดอยู่ในกลุ่มพลาสติกวิศวกรรม ที่ได้จากการ กระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) ของเอไมด์ (amide, CHONH) และกรดอินทรีย์ มีการเติมสารแต่งเติม (Filler & Additives) ประเภทกราไฟท์และ โมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ (Graphite & Molybdenum Disulphite) ทำให้เพิ่มคุณสมบัติให้ดีขึ้น

2.6.1 คุณสมบัติของ ซุปเปอร์ลีน

- ใช้งานในอุณหภูมิที่สูงได้ 120 องศาเซลเซียส เพราะมีจุดหลอมเหลว 180 - 200 องศาเซลเซียส
- ความแข็ง 82 Shore D หรือ 112 R Scale
- ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส และไม่เป็นอันตราย
- ปิดผนึกด้วยความร้อนได้ แต่ต้องใช้ อุณหภูมิสูงมากจึงไม่นิยมใช้เป็นชั้นปิดผนึกด้วยตัวเอง
- มีความเหนียว ขยายตัวได้มาก ยึดหยุ่นได้ดี ด้านทานแรงดึงและแรงฉีกขาดได้ดี ทนการบิดพับงอได้
- ทนต่อการกัดกร่อนและการเสียดสีไม่เสียรูปทรงง่าย
- แข็งแรง เหมาะสำหรับงานรับแรงมาก ๆ
- ทนต่อสารเคมี ทนต่อการขีดข่วน การขีด
- ดูดซึมน้ำได้มาก แต่ถ้าไม่มีเปอร์เซ็นต์ของกลุ่ม Amide โครงสร้างลดลง จะสามารถลดการดูดน้ำ และความชื้นได้ซึ่งทำให้เสถียรภาพทางโครงสร้างและทางไฟฟ้าดีขึ้น
- ป้องกันการซึมผ่านของไขมัน ออกซิเจนและกลิ่นต่าง ๆ ได้ดี

- ความแข็งแรงและการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซลดลงเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น

2.6.2 ลักษณะการใช้งาน ชุปเปอร์ลีน

การใช้งานของ ชุปเปอร์ลีน กว้างขวางมาก เช่น ใช้ทำเบร้ง บูช เฟือง ลูกปืน ลูกล้อ ลูกกลิ้ง เกียร์ วาล์ว อะไหล่เครื่องจักร ล้อจักรยานยนต์ ค้ำปากกา ลูกกลิ้ง แห อวน ถูร่องสตรี ถูเท้า สายไฟ ปลั๊กไฟฟ้า หมกเทียม เส้นใยสังทอ นอกจากนี้ยังใช้งานในด้านบรรจุภัณฑ์อาหาร โดยผลิตในรูปฟิล์ม ซึ่งในโรงงานนำ ชุปเปอร์ลีน มาหุ้มด้านกรวดเพื่อไม่ให้ สายอากาศกับกรวดเพื่อไม่ให้ เกิดการขีดกันระหว่างกรวดกับสายอากาศ

2.7 สรุป

สายอากาศเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนคลื่นที่อยู่ในสายส่งสัญญาณหรือท่อนำคลื่นให้แผ่ออกสู่ตัวกลางที่สายอากาศวางอยู่ เช่น อากาศอิสระ (free space) หรือไดอิเล็กตริกและในทางกลับกันจะทำหน้าที่รับคลื่นที่แผ่กำลังอยู่ในตัวกลางให้เข้ามาอยู่ในท่อนำคลื่นหรือสายส่งสัญญาณได้ สายอากาศที่ใช้สำหรับส่งสัญญาณวิทยุ FM ในระบบ VHF ที่ดีควรมีคุณสมบัติที่สำคัญ เช่น แบบรูปการแผ่กำลังงานแบบรอบทิศทาง ความกว้างแถบที่เพียงพอ และมีอัตราขยายในทิศทางด้านหน้าของสายอากาศได้มากขึ้น สำหรับสายอากาศโมโนโพลความยาว $5\lambda/8$ จะมีรูปแบบการแผ่กำลังแบบรอบตัวที่ดีกว่าสายอากาศไดโพลที่มีการติดตั้งให้อยู่ข้างเสา และมีสายอากาศชนิดนี้จะมีการแผ่กำลังของสายอากาศเป็นแบบรอบทิศทางในระนาบเดียว เพราะสายอากาศที่ใช้สำหรับส่งสัญญาณวิทยุ FM ในย่านความถี่ VHF จะต้องมีแบบรูปการแผ่กำลัง ที่สามารถครอบคลุมพื้นที่ให้บริการหรือสามารถเชื่อมต่อกับผู้ใช้บริการได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดเวลา การศึกษาพารามิเตอร์ของสายอากาศแต่ละชนิดจึงมีความสำคัญ เพื่อให้ทราบถึงลักษณะและค่าการกระจายสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ได้ เมื่อได้ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศไดโพลแล้ว จะต้องนำไปจำลองโครงสร้าง เพื่อวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CST Microwave studio ต่อไป

บทที่ 3

การออกแบบและการจำลอง

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการออกแบบและจำลองชิ้นงาน เพื่อที่จะนำไปสร้างชิ้นงานจริง โครงงานนี้จึงได้จัดทำสายอากาศโมโนโพล ความยาว $5\lambda/8$ แบบ DC-Ground ที่ติดตั้งบริเวณยอดเสาส่งสัญญาณ และยังรักษาคูสมบัติของสายอากาศชนิดนี้ อีกทั้งยังสามารถแก้ปัญหาที่อาจเกิดจากอันตรายจากฟ้าผ่าได้ ซึ่งสายอากาศยังมียูปร่างแบบการแผ่พลังงานแบบรอบตัวเหมือนเดิม มีข้อดีคือ สามารถแผ่พลังงานได้เท่าเทียมและครอบคลุมพื้นที่ที่มีชุมชนล้อมรอบ ซึ่งจะสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม CST STUDIO SUITE ในการศึกษาแนวโน้มนำคุณสมบัติต่างๆของสายอากาศ จากนั้นทำการปรับค่าพารามิเตอร์และรูปแบบชิ้นงานให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานสำหรับสถานีวิทยุ FM ย่านความถี่ 100 MHz

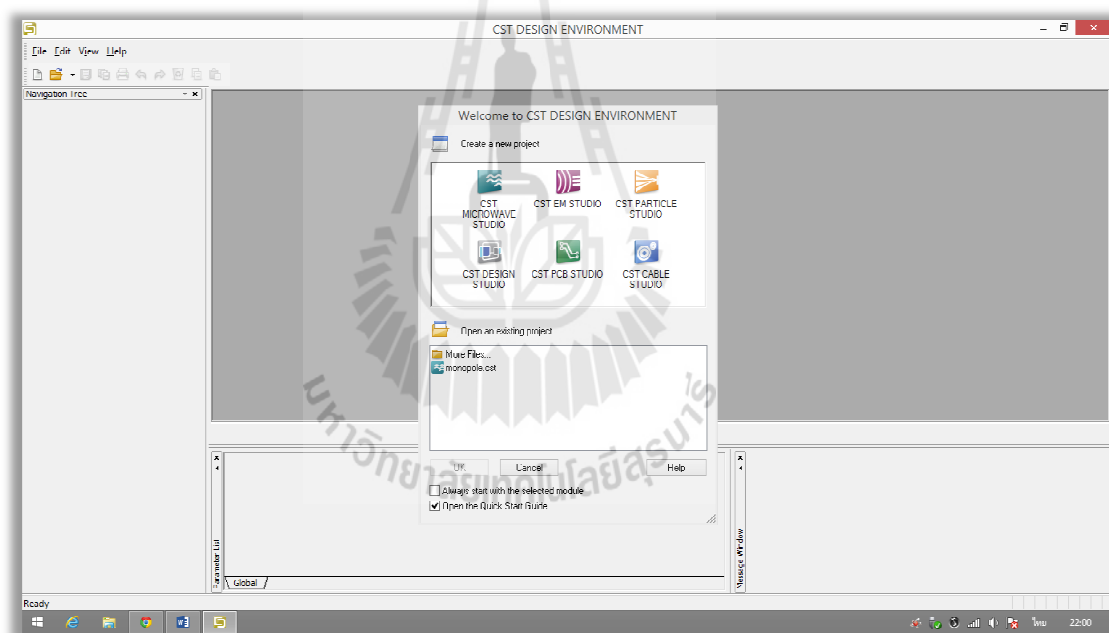
3.2 สายอากาศโมโนโพล

สำหรับโครงงานนี้ได้นำสายอากาศโมโนโพล ความยาว $5\lambda/8$ แบบ DC-Ground มาติดตั้งบริเวณยอดเสาส่งสัญญาณแต่ยังคงรักษาคูสมบัติการแผ่พลังงานเพื่อนำไปใช้งานกับสถานีวิทยุ FM โดยการออกแบบและการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST STUDIO SUITE เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ถึงคุณลักษณะสมบัติของสายอากาศ แสดงดังรูปที่ 3.1 โดยทำการออกแบบสายอากาศให้ติดตั้งบริเวณยอดเสาส่งสัญญาณ จากนั้นทำการจำลองผลค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการพิจารณาการแมตซ์อิมพีแดนซ์ด้านเข้า คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (Reflection Coefficient) หรือในรูปของพารามิเตอร์ S_{11} และอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing Wave Ratio หรือ SWR) สำหรับค่า SWR สามารถมีค่าต่ำสุดตั้งแต่ 1 ถึงอนันต์ โดยถ้า SWR มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าสายอากาศนั้นมีการแมตซ์ที่สมบูรณ์ หมายความว่ากำลังไฟฟ้าด้านเข้าที่ป้อนให้กับสายอากาศมีการแผ่พลังงานออกไปทั้งหมดไม่มีการสะท้อนกลับมา แต่ถ้าสายอากาศมีค่า SWR เท่ากับอนันต์หมายความว่าสายอากาศนั้นไม่แมตซ์ ทำให้กำลังไฟฟ้าที่ส่งออกไปเกิดการสะท้อนกลับมาทั้งหมด ส่งผลให้เครื่องส่งได้รับความเสียหายในงานประยุกต์ต่างๆ ค่าของ S_{11} จะยอมรับ

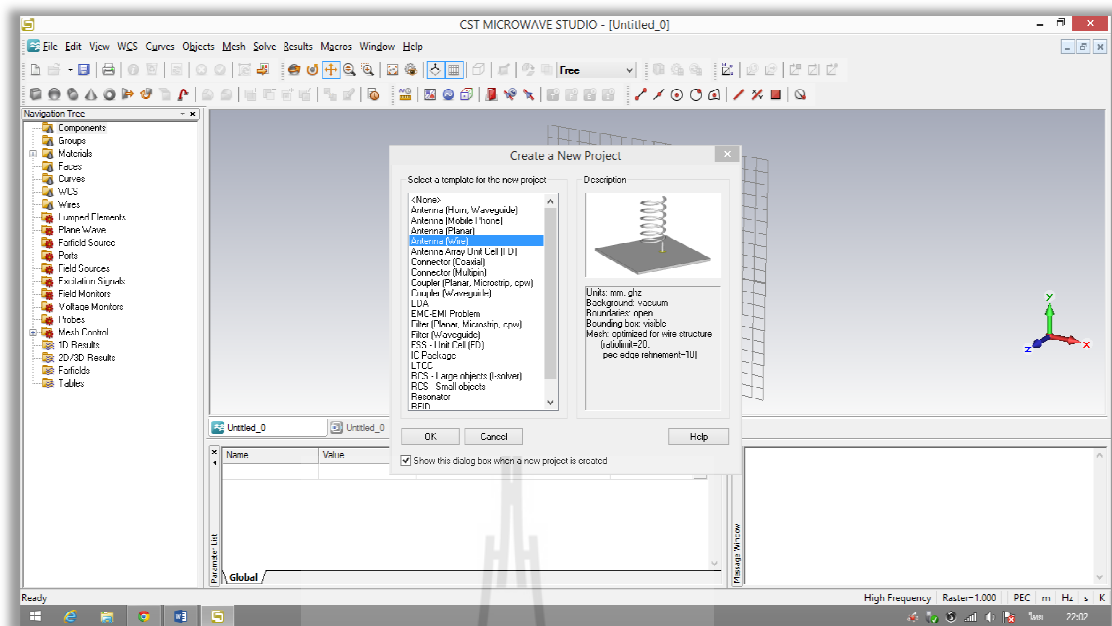
ได้ถ้ามีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับ -10 dB ซึ่งจะสอดคล้องกับค่า SWR เท่ากับ 2 หรือต่ำกว่า แสดงว่าการแมตช์ที่ดี

3.3 วิธีการจำลองสายอากาศโมโนโพล

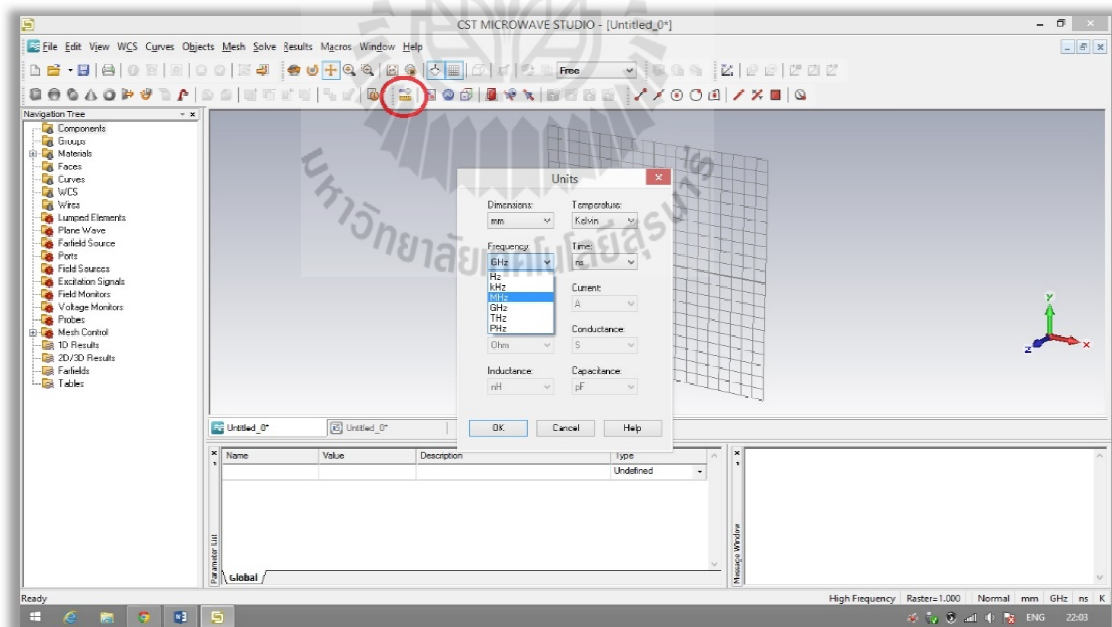
การจำลองสายอากาศโมโนโพลจะทำการจำลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป CST STUDIO SUITE การจำลองต้องคำนึงถึงความถี่ (Frequency) ที่ต้องการใช้ เราได้จำลองขึ้นตามตัวอย่างของสายอากาศโมโนโพลที่ใช้ได้จริง ซึ่งจะใช้ความถี่ที่ทำการทดสอบคือ 100 MHz โดยมีขั้นตอนดังนี้



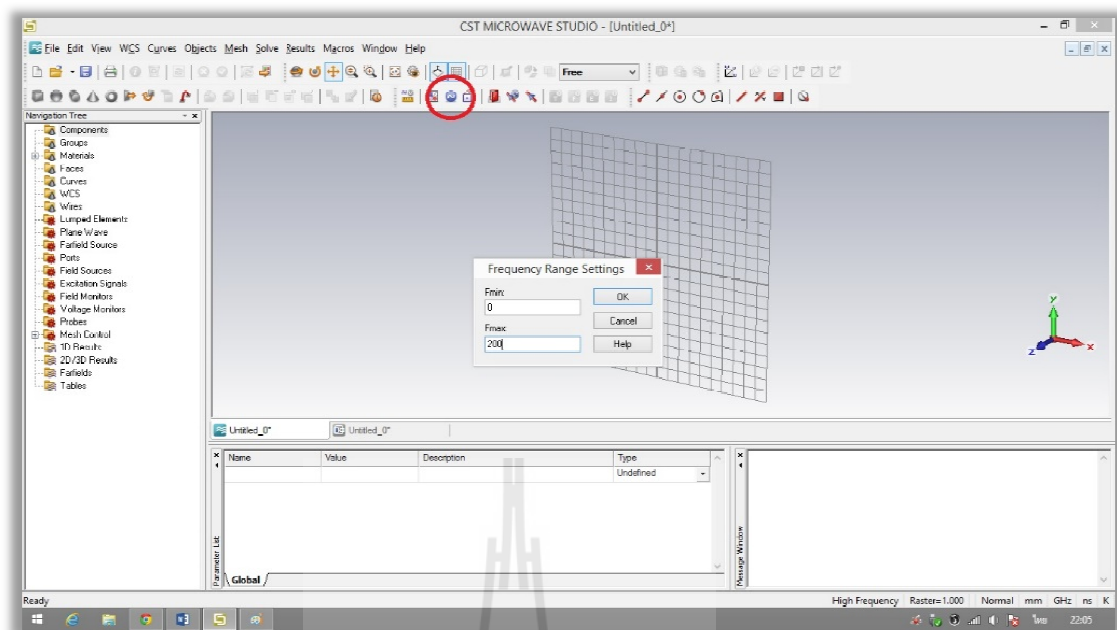
รูปที่ 3.1 หน้าต่างโปรแกรม CST STUDIO SUITE



รูปที่ 3.2 เลือกแบบสายอากาศ



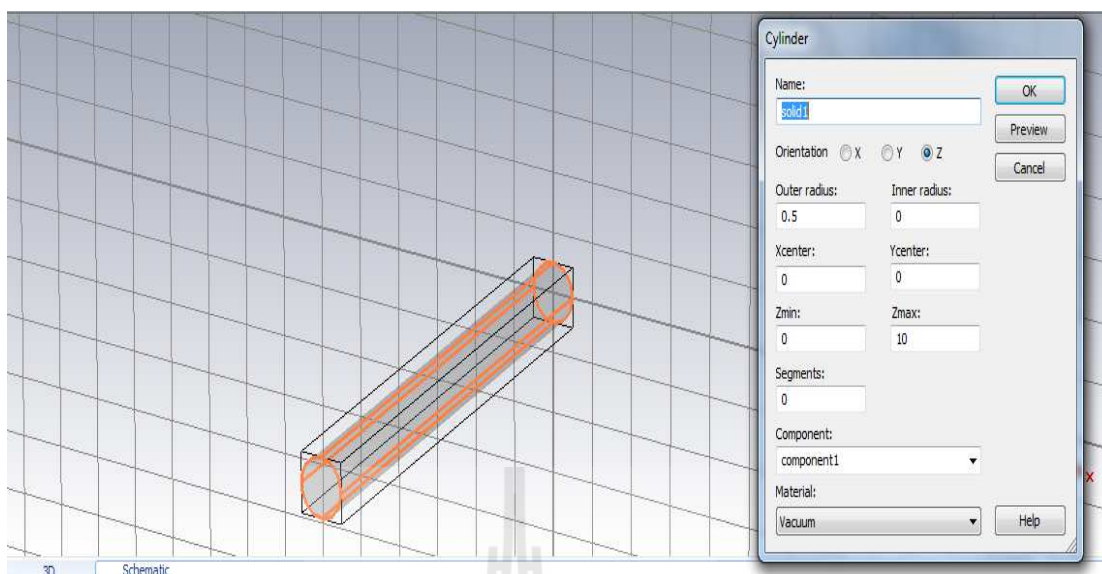
รูปที่ 3.3 การกำหนดหน่วยวัดต่างๆ



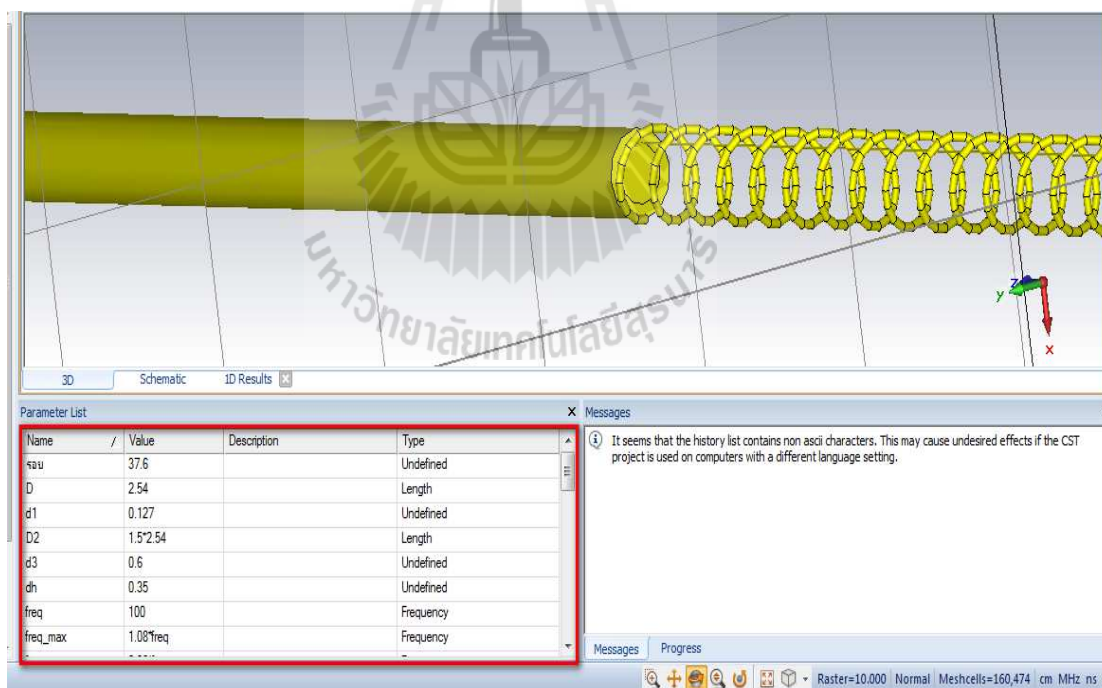
รูปที่ 3.4 การกำหนดช่วงระยะความถี่



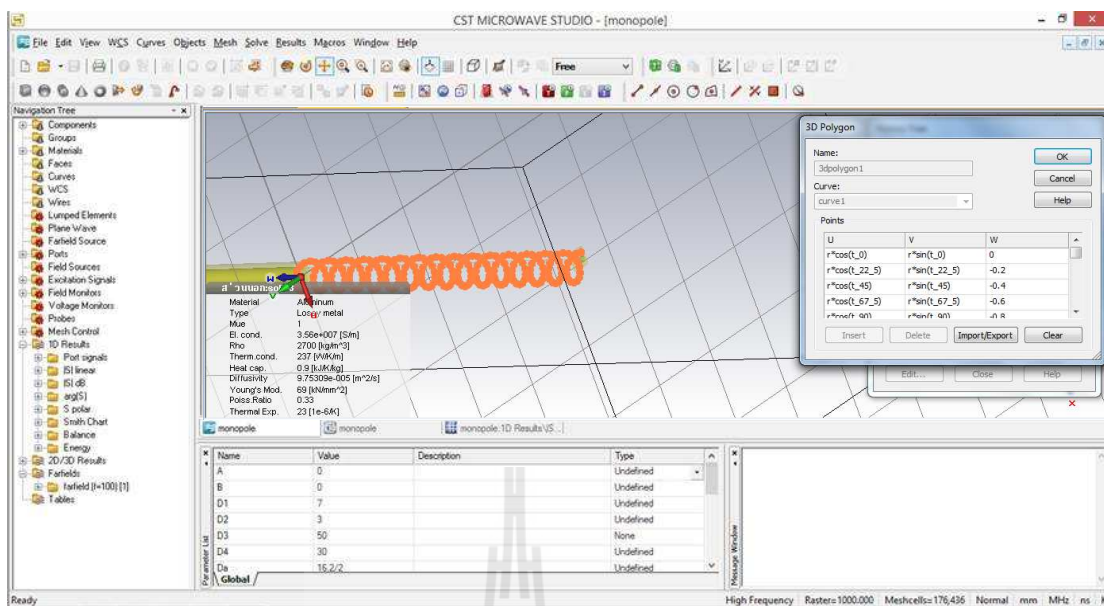
รูปที่ 3.5 หน้าเริ่มต้นการจำลองชิ้นงาน



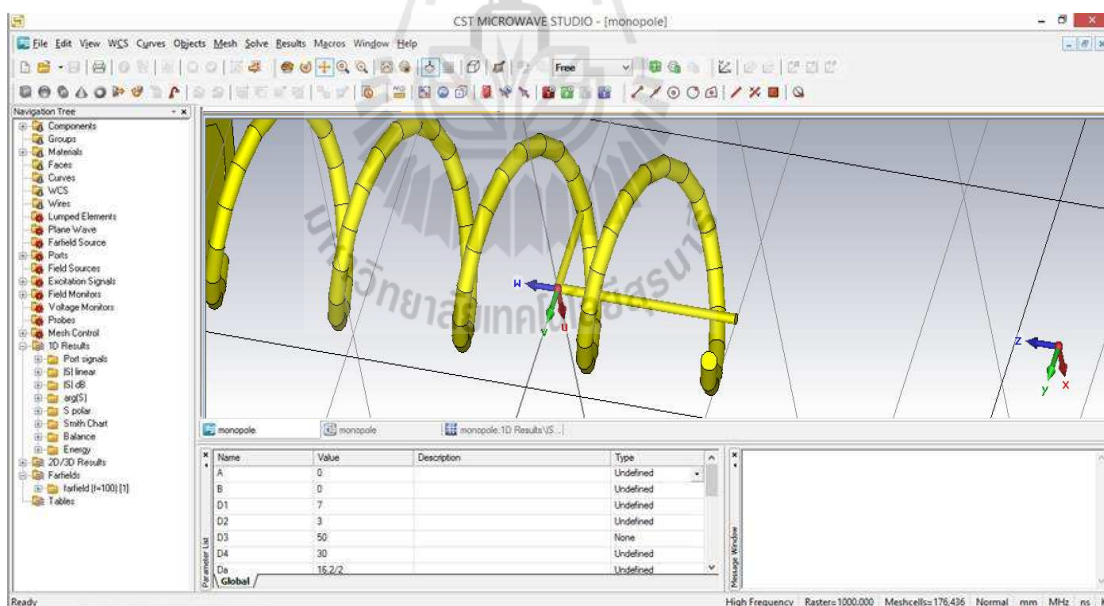
รูปที่ 3.6 การขึ้นรูปชิ้นงานและการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ



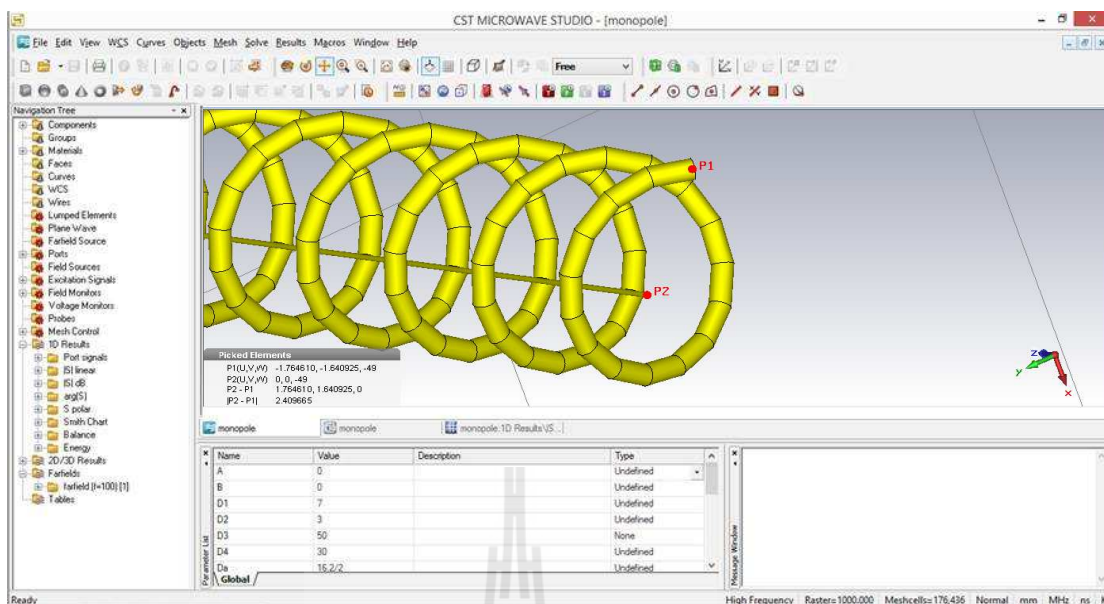
รูปที่ 3.7 การกำหนดตัวแปรและค่าพารามิเตอร์ต่างๆ



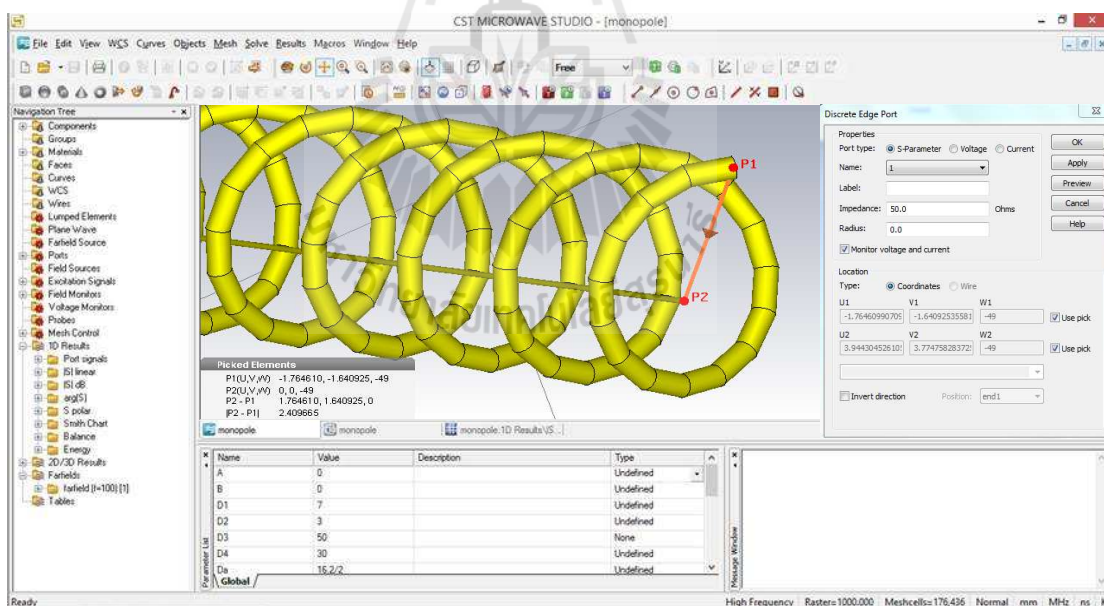
รูปที่ 3.8 การกำหนดเส้นทางในการสร้างขดลวด



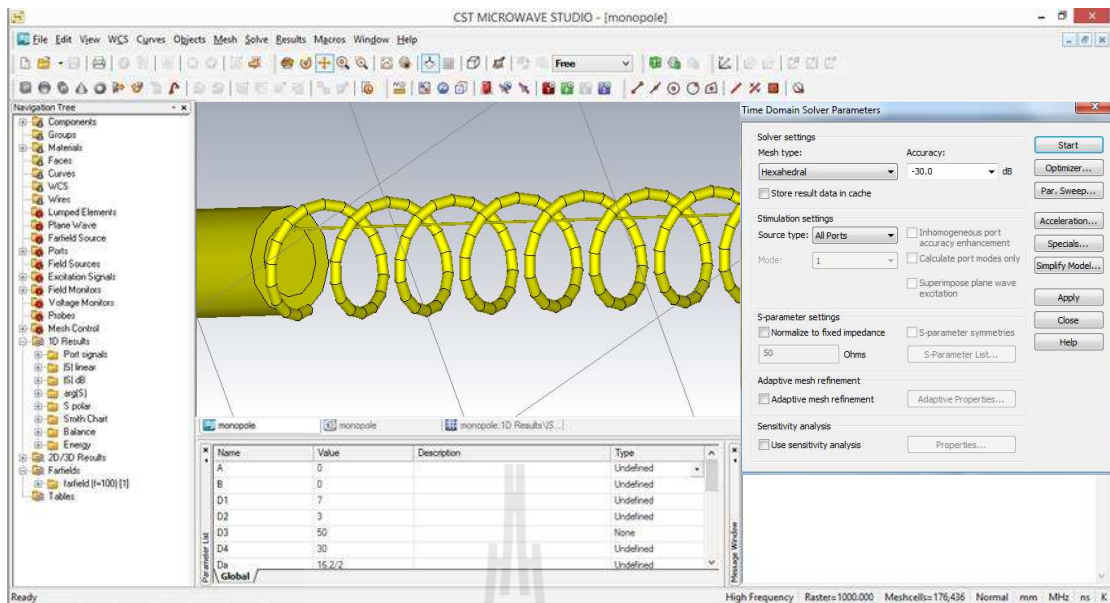
รูปที่ 3.9 การหาจุดแมทซ์บนขดลวด



รูปที่ 3.10 การกำหนดจุดเพื่อใส่พอร์ตกระตุ้นสัญญาณ

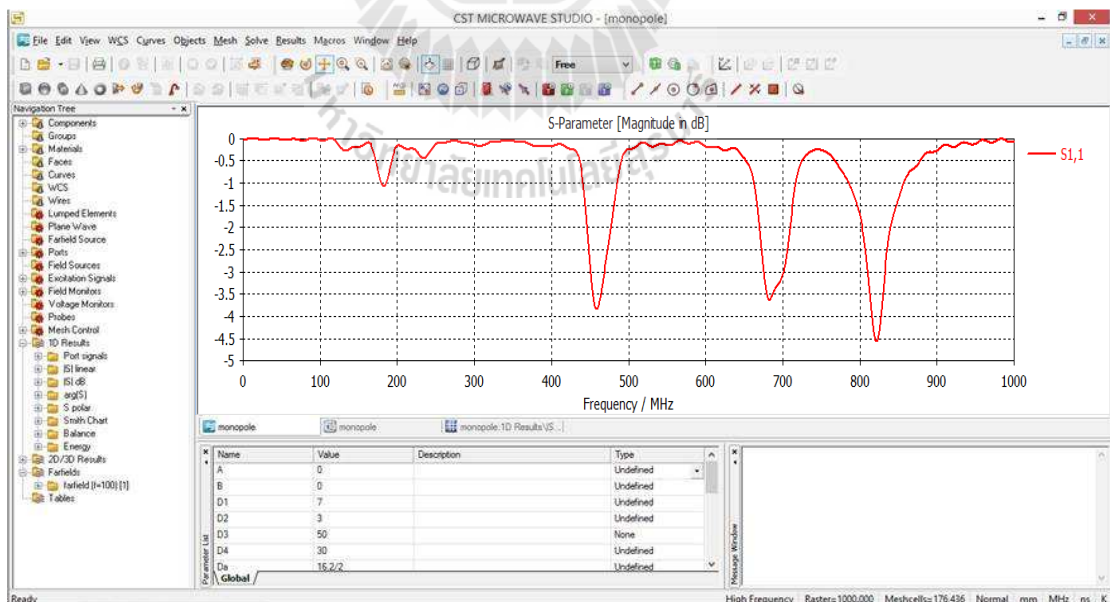


รูปที่ 3.11 การใส่พอร์ตกระตุ้นสัญญาณ



รูปที่ 3.12 การจำลองผลการวัดของสายอากาศ

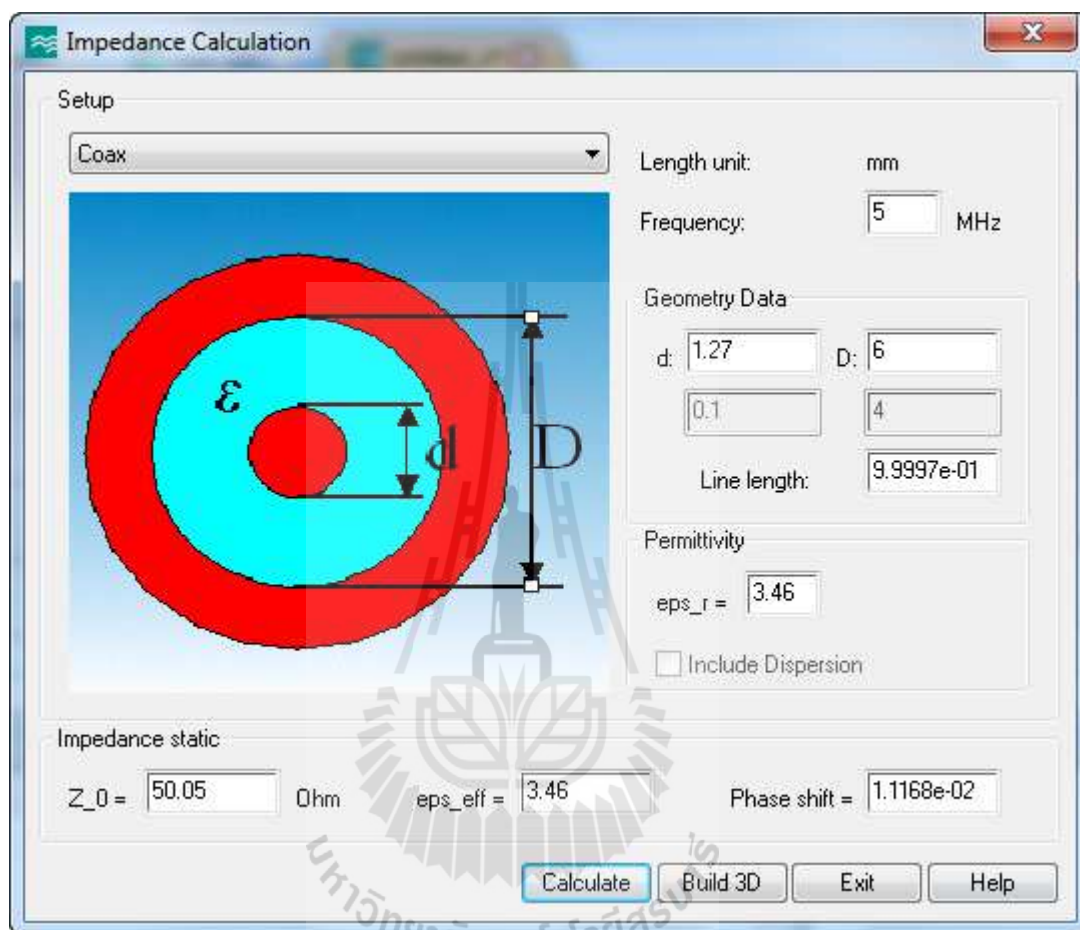
เมื่อจำลองผลเสร็จแล้วให้ดูค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน S_{11} (รูปที่ 3.13) ว่าตกที่ 100 MHz หรือไม่ ถ้าไม่ตกที่ 100 MHz ให้ทำการหาจุดแมทซ์ใหม่จนกว่าจะเจอจุดที่ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน S_{11} ตกที่ 100 MHz



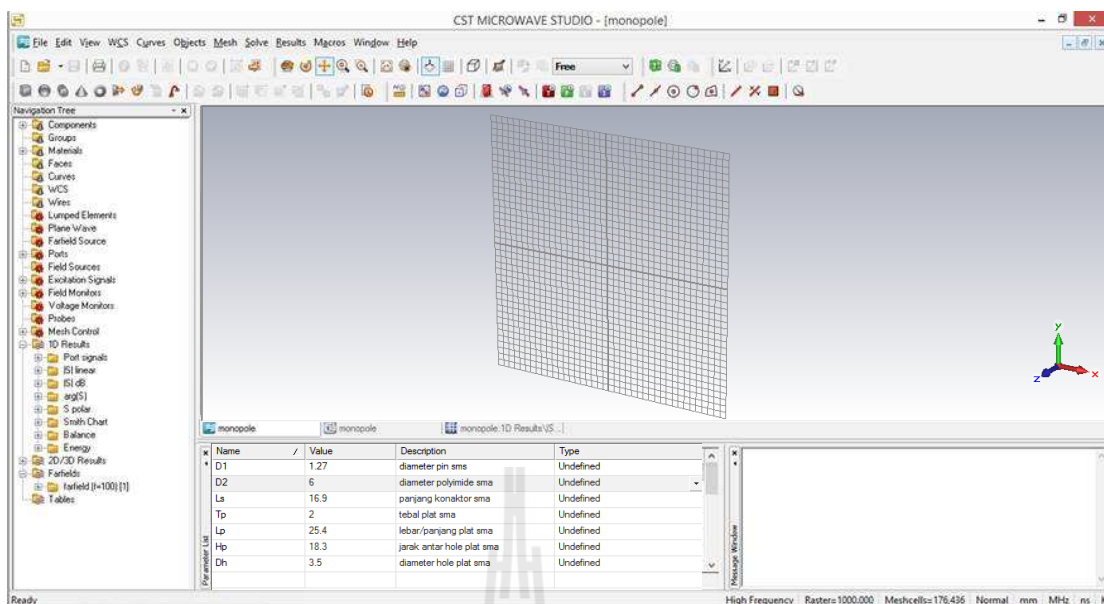
รูปที่ 3.13 การดูค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (Reflection Coefficient) หรือในรูปของพารามิเตอร์ S_{11}

(จุดนี้ยังไม่แมทซ์)

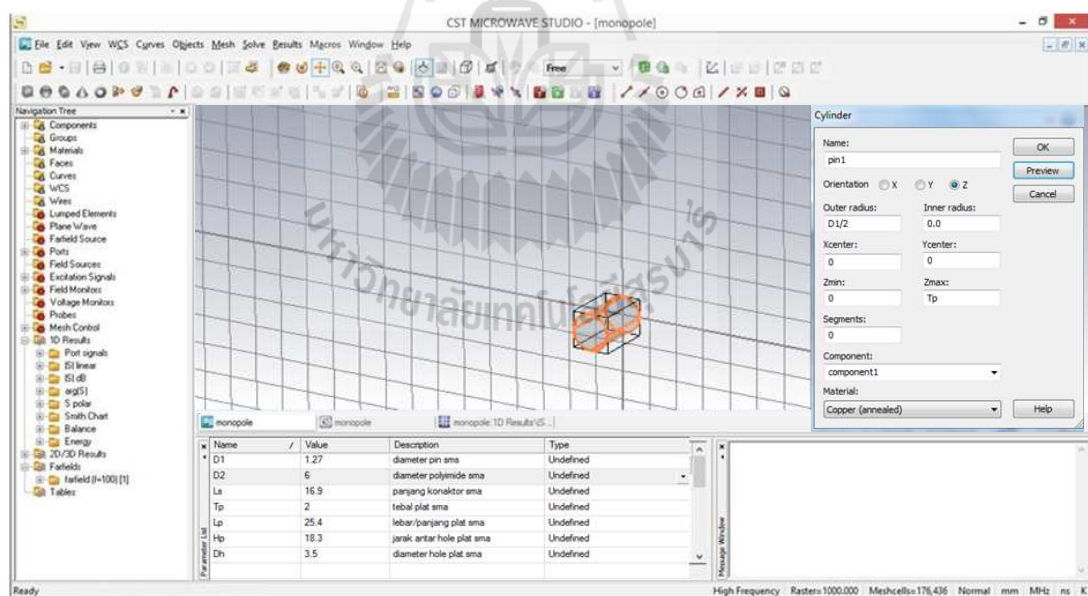
เมื่อหาจุดที่เมทซ์ได้แล้ว ทำการสร้างขั้วต่อ (Connector) บริเวณปลายของขดลวด



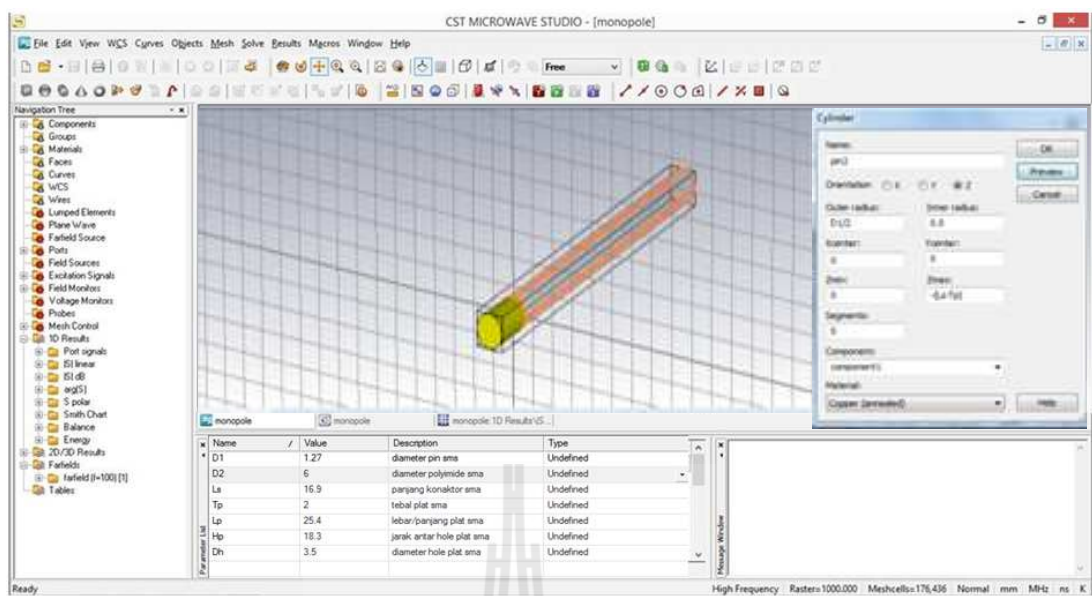
รูปที่ 3.14 กำหนดขนาดของขั้วต่อเพื่อหาค่าสภาพยอมไฟฟ้าประสิทธิผลของวัสดุที่ใช้ในการสร้าง



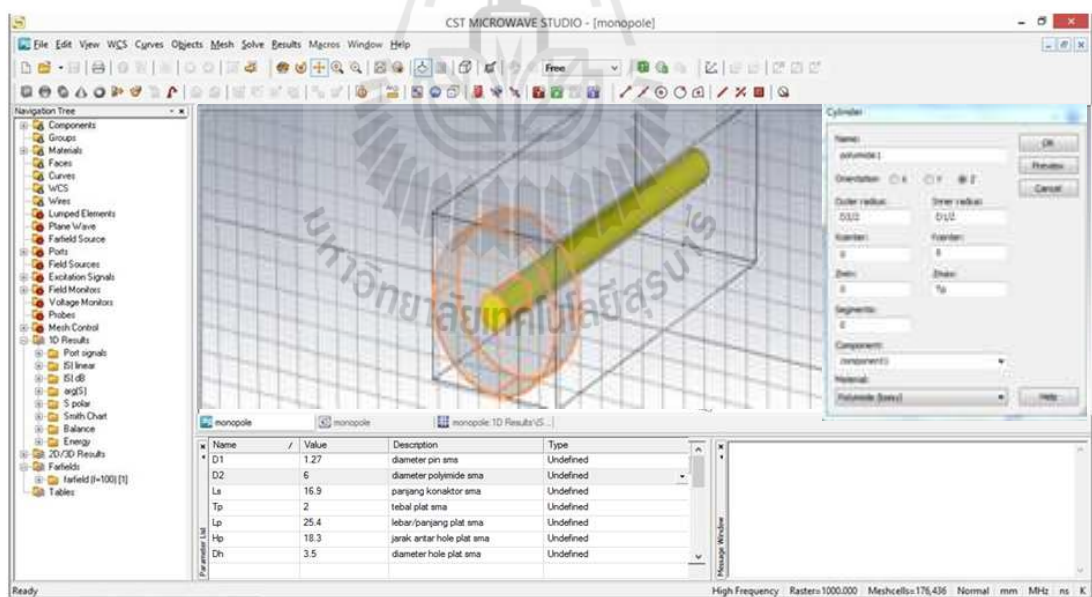
รูปที่ 3.15 การกำหนดตัวแปรและค่าพารามิเตอร์ของขั้วต่อ



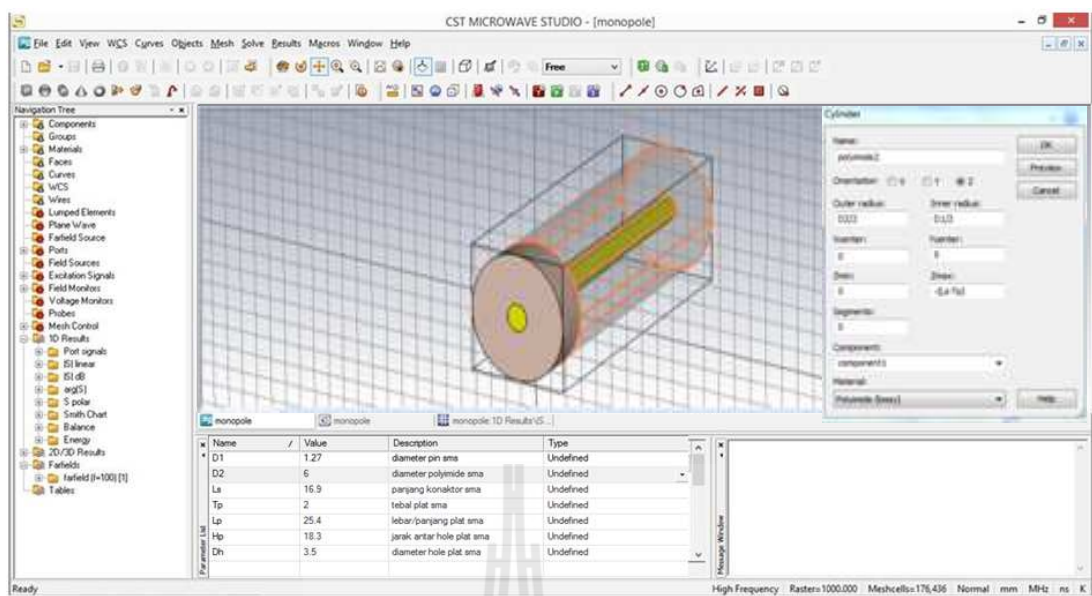
รูปที่ 3.16 การสร้างชิ้นส่วนขั้วต่อส่วนที่ 1



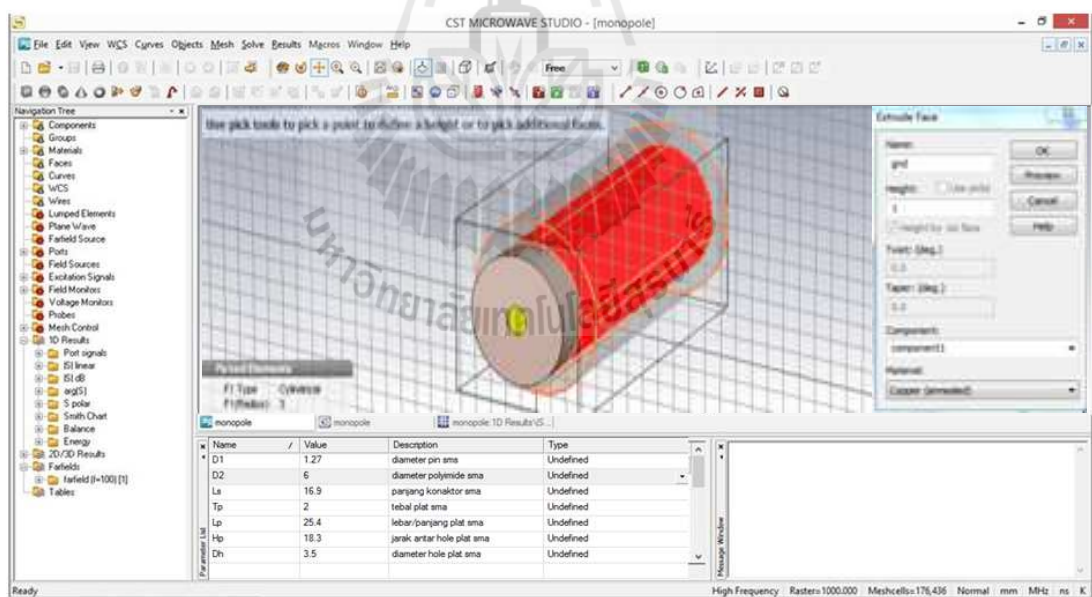
รูปที่ 3.17 การสร้างชิ้นส่วนข้อต่อส่วนที่ 2



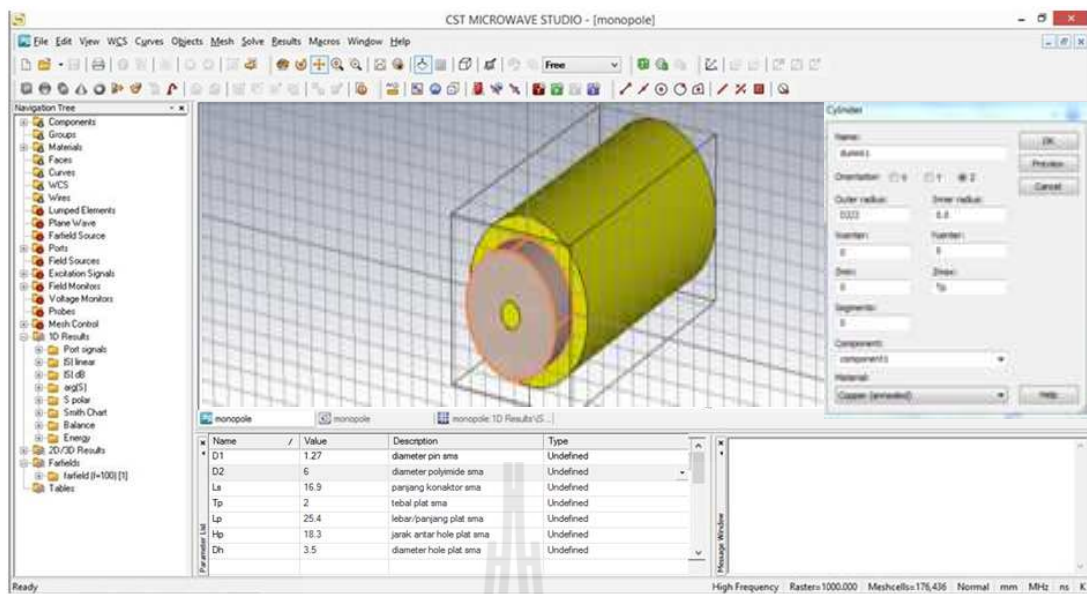
รูปที่ 3.18 การสร้างชิ้นส่วนข้อต่อส่วนที่ 3



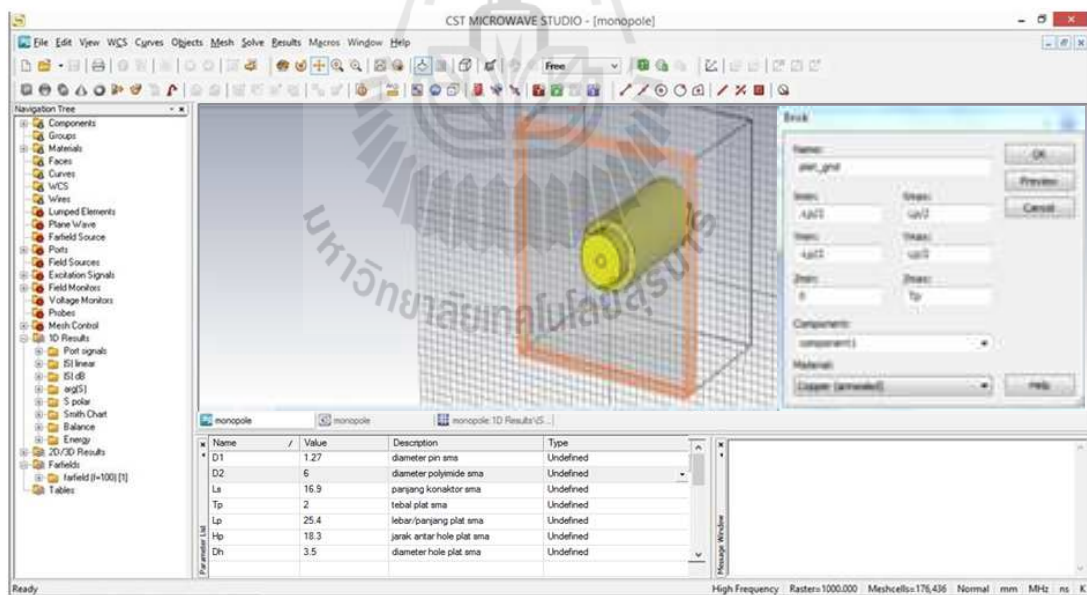
รูปที่ 3.19 การสร้างชิ้นส่วนข้อต่อส่วนที่ 4



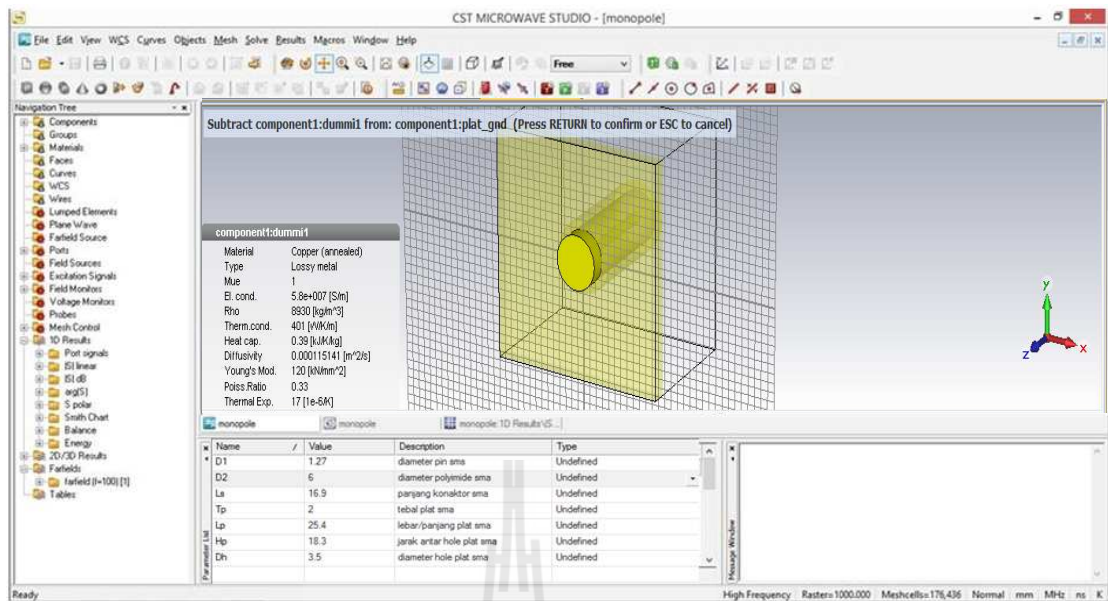
รูปที่ 3.20 การสร้างชิ้นส่วนข้อต่อส่วนที่ 5 ล้อมรอบพื้นผิวที่เลือก



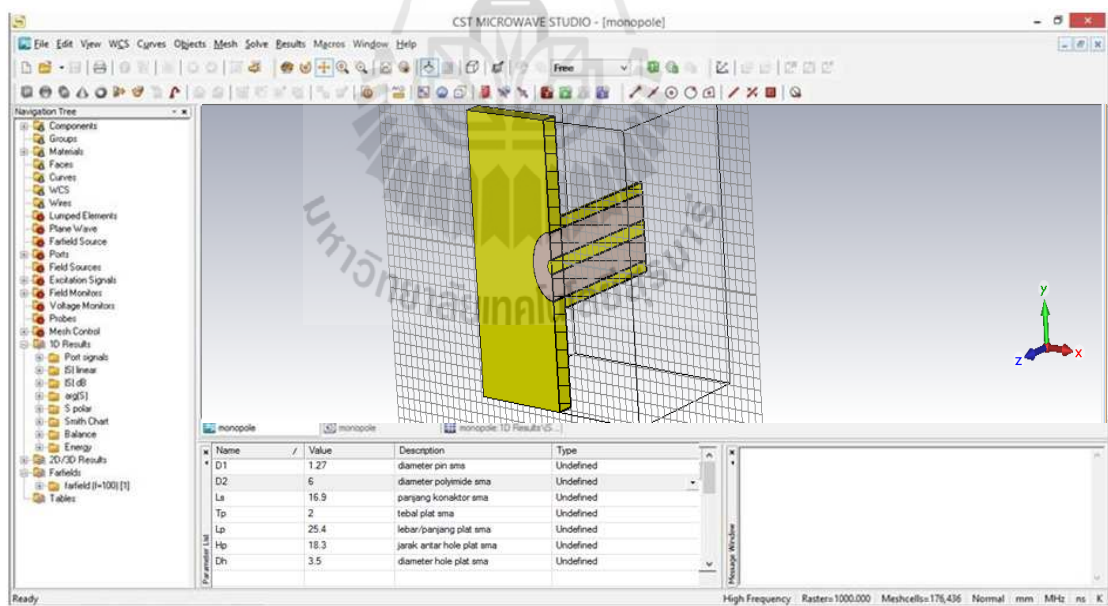
รูปที่ 3.21 การสร้างชิ้นส่วนข้อต่อส่วนที่ 6



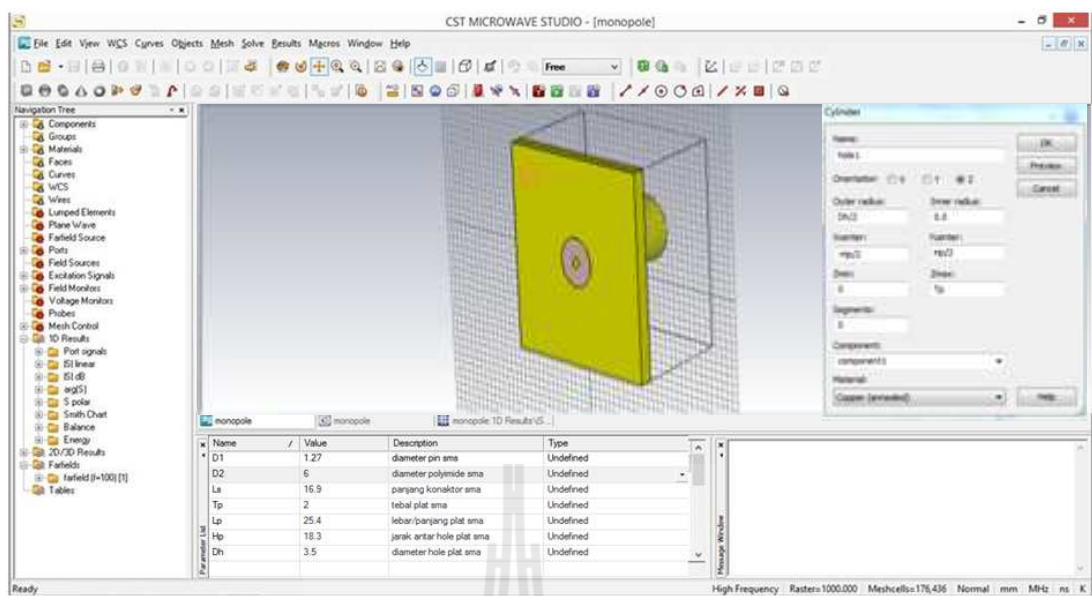
รูปที่ 3.22 การสร้างชิ้นส่วนข้อต่อส่วนที่ 7



รูปที่ 3.23 เจาะรูชิ้นส่วนหัวต่อส่วนที่ 7 ตามขนาดของชิ้นส่วนหัวต่อส่วนที่ 6

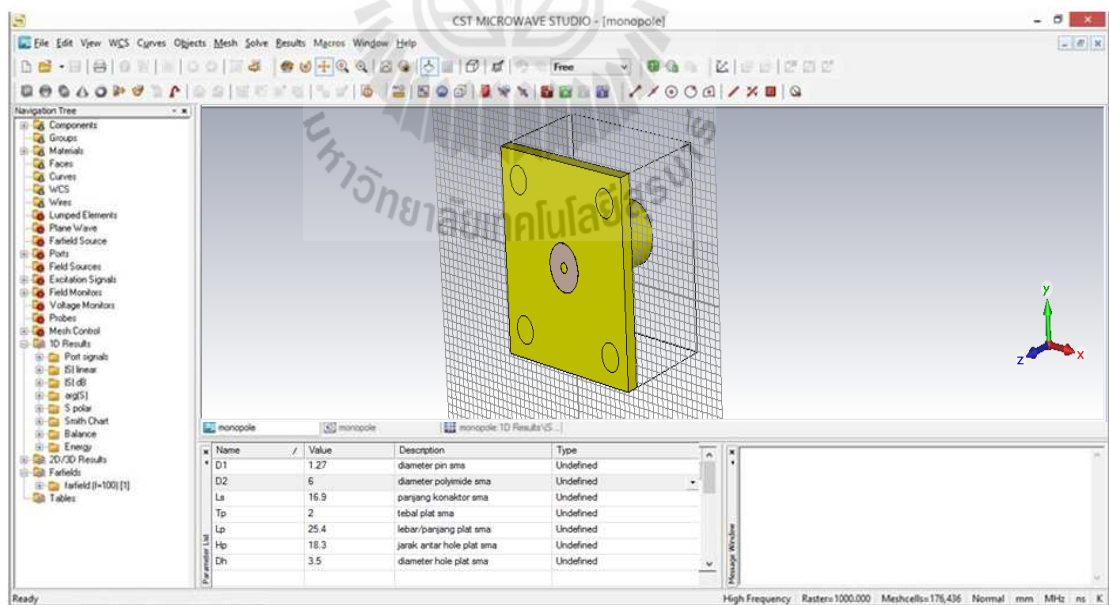


รูปที่ 3.24 รูปตัดด้านข้างของชิ้นส่วนหัวต่อ (Connector)

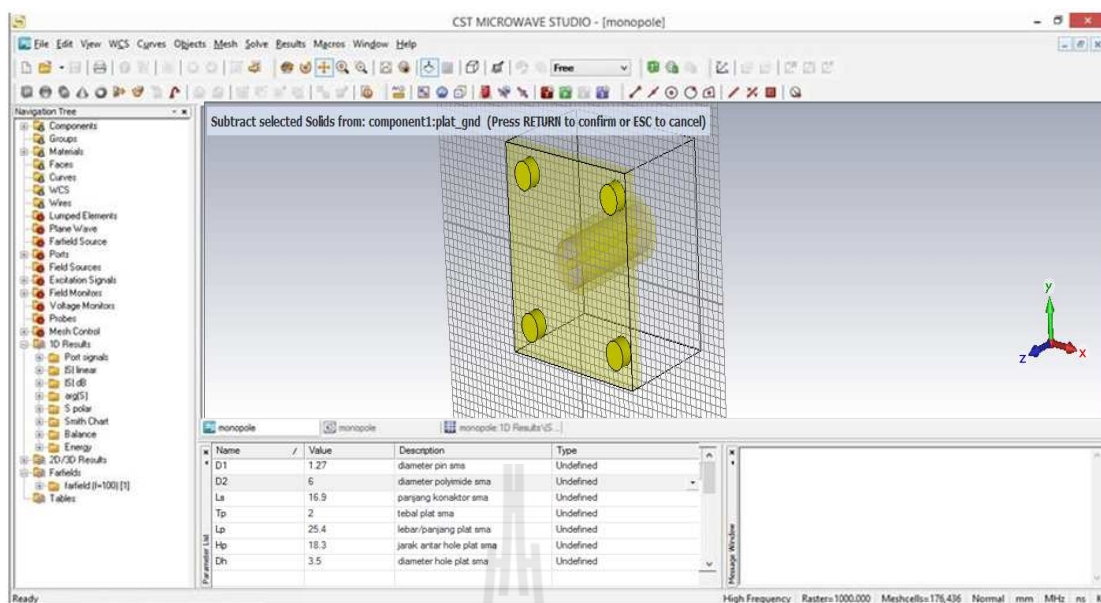


รูปที่ 3.25 การสร้างชิ้นส่วนทรงกระบอกบนชิ้นส่วนข้อต่อส่วนที่ 7

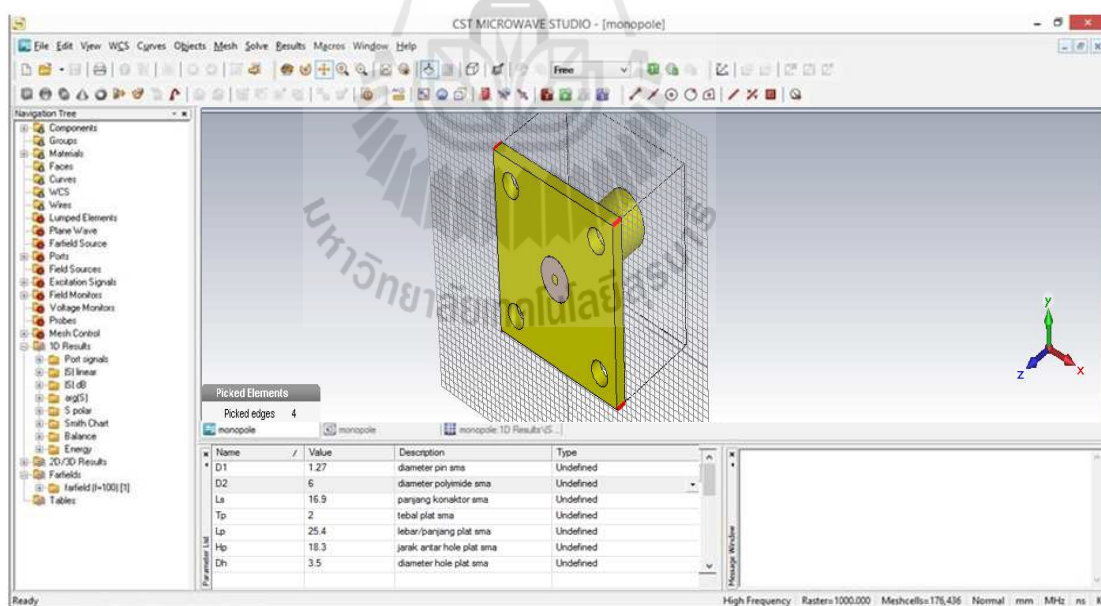
จากนั้นทำการสร้างชิ้นส่วนทรงกระบอกทั้ง 4 มุม ดังรูปที่ 3.26



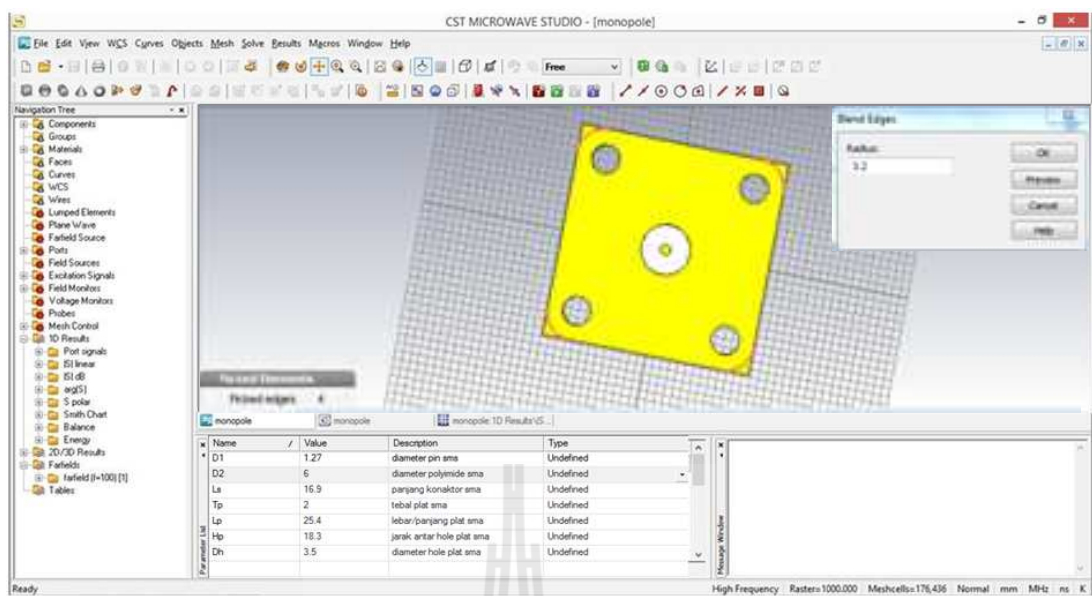
รูปที่ 3.26 ชิ้นส่วนทรงกระบอกทั้ง 4 มุมของชิ้นส่วนข้อต่อส่วนที่ 7



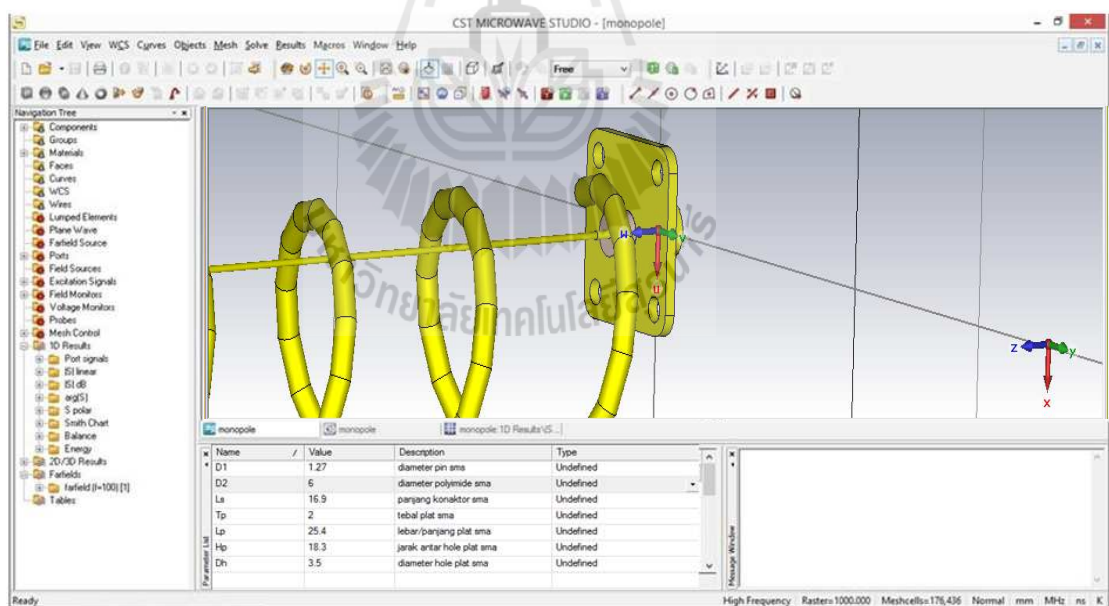
รูปที่ 3.27 เจาะรูชิ้นส่วนชั่วคราวส่วนที่ 7 ตามขนาดของชิ้นส่วนทรงกระบอกทั้ง 4 มุม



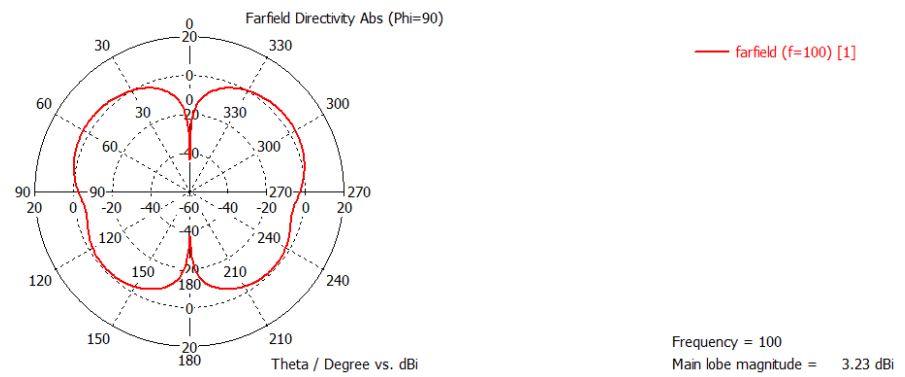
รูปที่ 3.28 เลือกมุมทั้ง 4 มุมของชิ้นส่วน



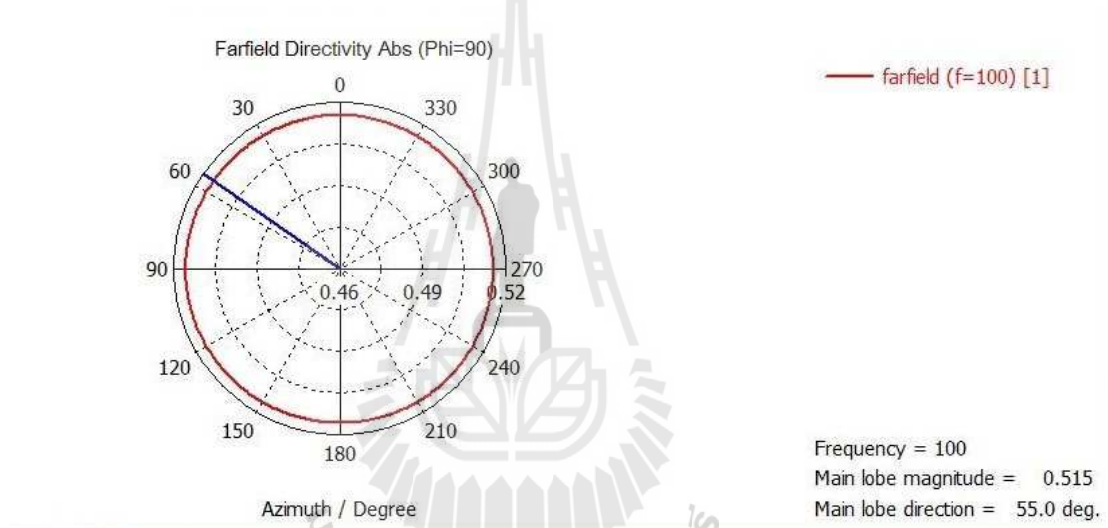
รูปที่ 3.29 ทำให้มุมที่เลือกทั้ง 4 เป็นผิวโค้งตามรัศมีที่กำหนด



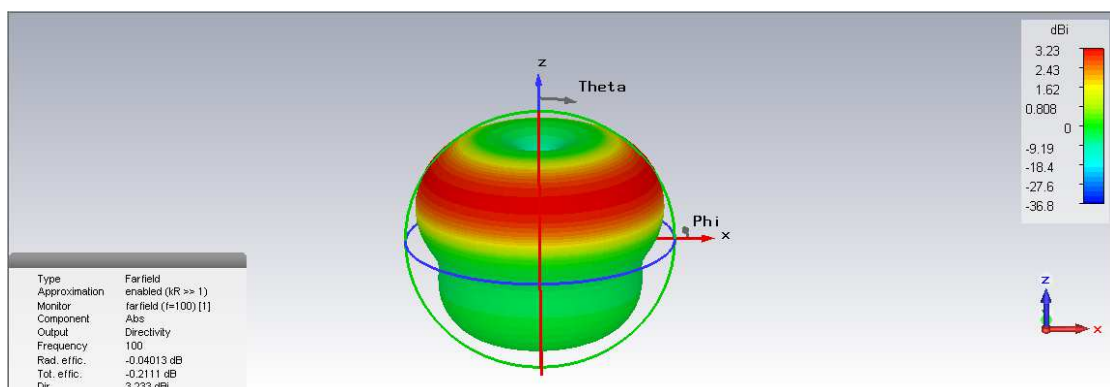
รูปที่ 3.30 นำข้อต่อ ต่อเข้ากับจุดที่แมทช์แล้ว และส่วนปลายของขดลวด



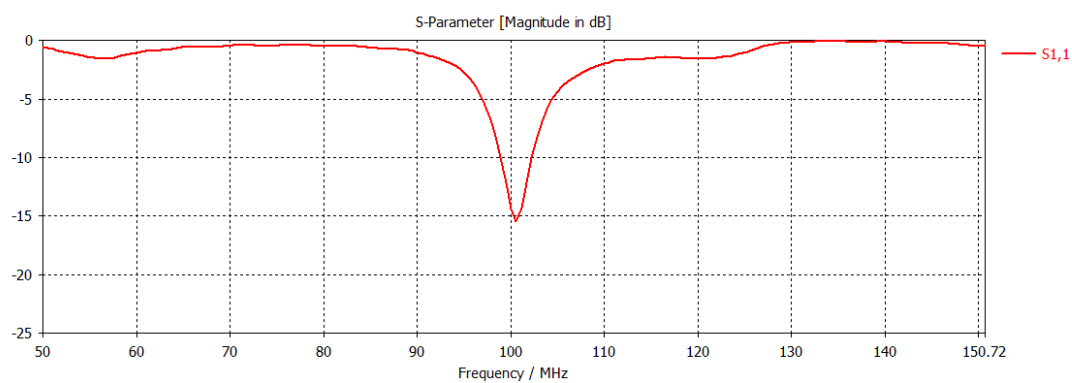
รูปที่ 3.31 แบบรูปการแผ่คลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane)



รูปที่ 3.32 แบบรูปการแผ่คลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane)



รูปที่ 3.33 แบบรูปการแผ่คลื่นของสายอากาศโมโนโพล 3 มิติ



รูปที่ 3.34 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (S_{11})



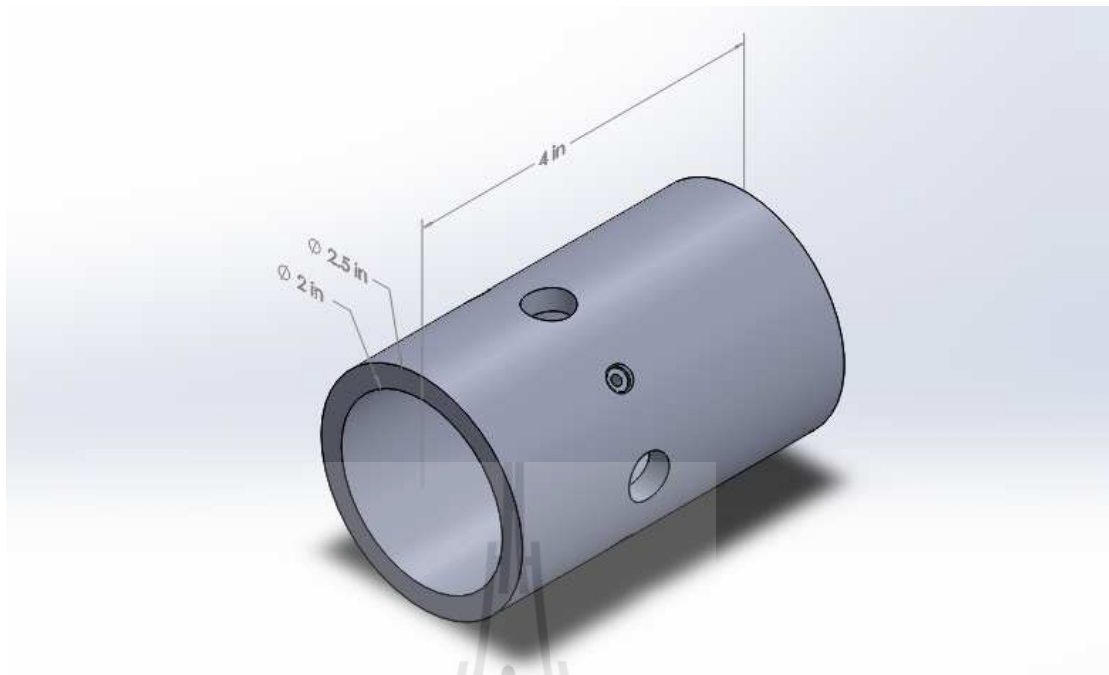
รูปที่ 3.35 แสดงสายอากาศโมโนโพล $5\lambda/8$ จากการจำลองผล



รูปที่ 3.36 ชิ้นส่วนและขนาดฐานสายอากาศส่วนที่ 1



รูปที่ 3.37 ชิ้นส่วนและขนาดสารูปเปอร์ลิน



รูปที่ 3.38 ชิ้นส่วนและขนาดฐานสายอากาศส่วนที่ 2



รูปที่ 3.39 ชิ้นส่วนและขนาดระนาบกรวดแบบเส้นลวด



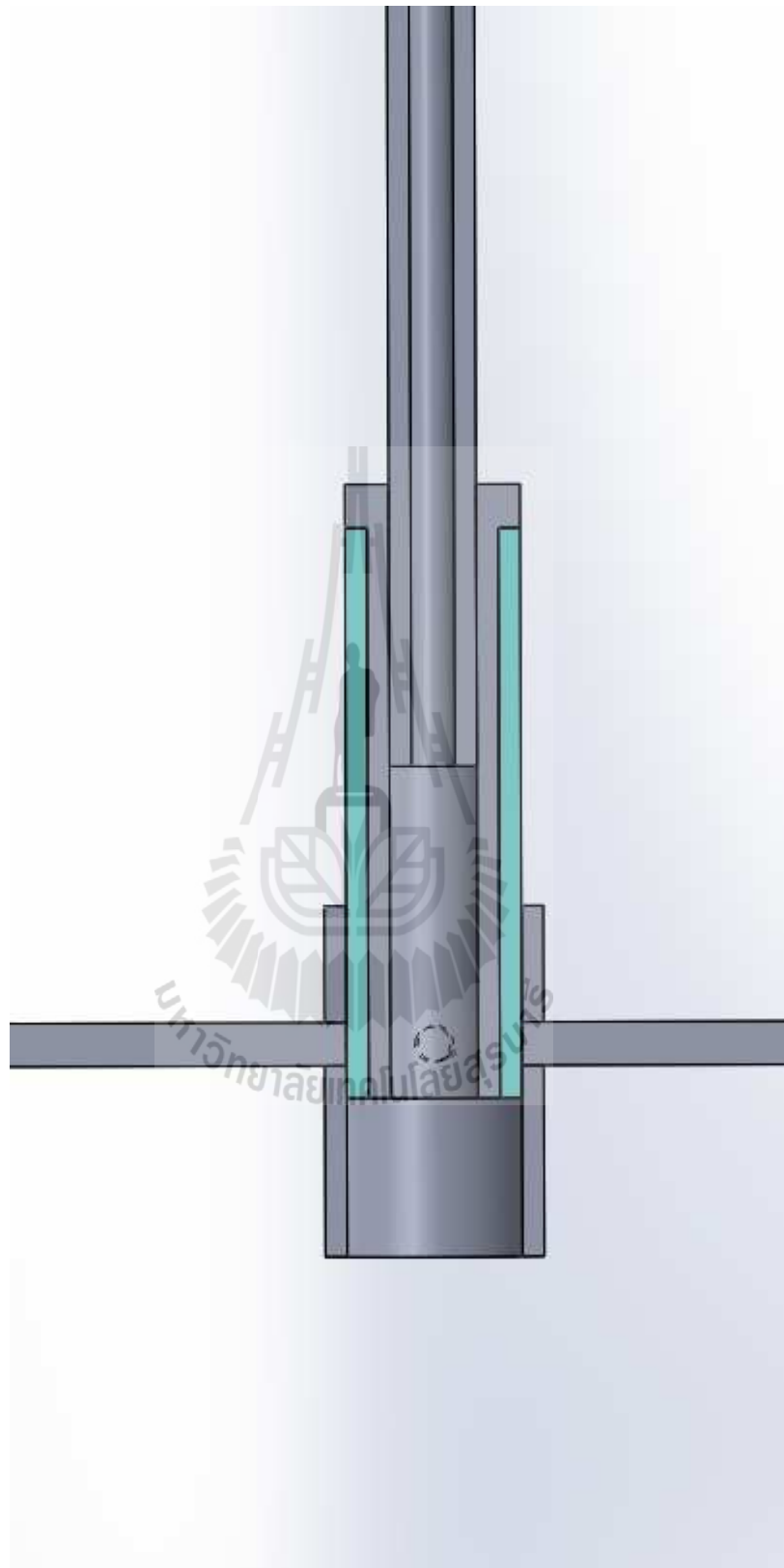
รูปที่ 3.40 ชิ้นส่วนและขนาดสายอากาศส่วนที่ 1



รูปที่ 3.41 ชิ้นส่วนและขนาดสายอากาศส่วนที่ 2



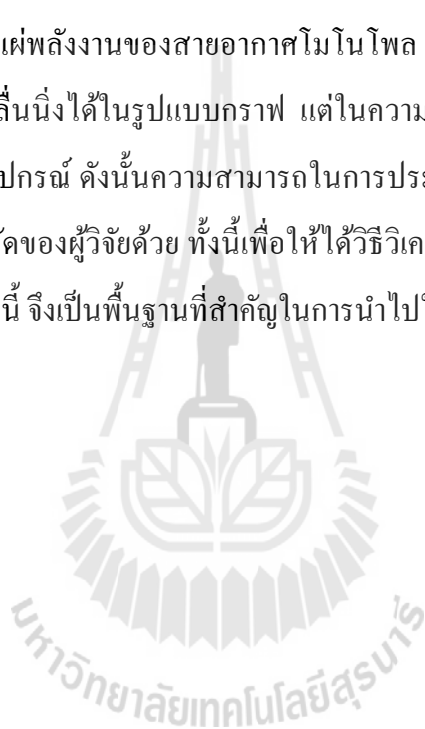
รูปที่ 3.42 ภาพตัดด้านข้างของสายอากาศ



รูปที่ 3.43 ภาพตัดด้านข้างบริเวณส่วนฐานของสายอากาศ

3.4 สรุป

ในบทนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบและประมวลผลของสายอากาศโมโนโพล ที่มีความยาว $5\lambda/8$ ที่ติดตั้งบริเวณยอดเสาส่งสัญญาณ และยังรักษาคุณสมบัติของสายอากาศชนิดนี้ อีกทั้งยังสามารถแก้ปัญหาที่อาจเกิดจากอันตรายจากฟ้าผ่าได้ โดยใช้วัสดุชุบเปอร์ลีนมาประยุกต์ใช้ในการค้นกลางระหว่างสายอากาศและฐาน เนื่องจากสารชุบเปอร์ลีนนั้นเป็นวัสดุที่ไม่นำไฟฟ้า โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป CST STUDIO SUITE มาช่วยในการประมวลผลหาอัตราการขยายและรูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศโมโนโพล ทั้งสามารถบอกค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน และอัตราส่วนคลื่นนิ่งได้ในรูปแบบกราฟ แต่ในความเป็นจริง อาจมีความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากข้อจำกัดของอุปกรณ์ ดังนั้นความสามารถในการประมวลผลของคอมพิวเตอร์เป็นหลักตลอดจนความรู้ ความถนัดของผู้วิจัยด้วย ทั้งนี้เพื่อให้ได้วิธีวิเคราะห์ที่เหมาะสมและตรงกับความต้องการมากที่สุด แนวคิดนี้ จึงเป็นพื้นฐานที่สำคัญในการนำไปใช้ต่อไป



บทที่ 4

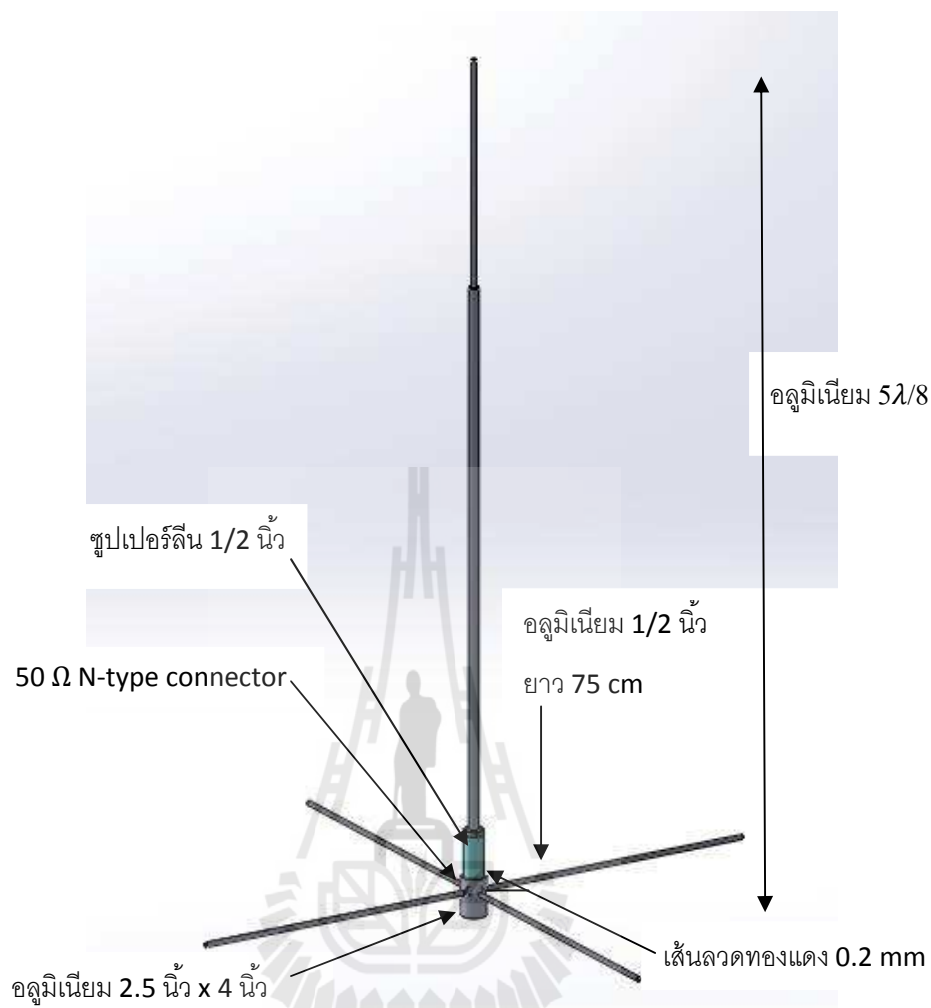
ผลการทดลองและการวัดสายอากาศ

4.1 กล่าวนำ

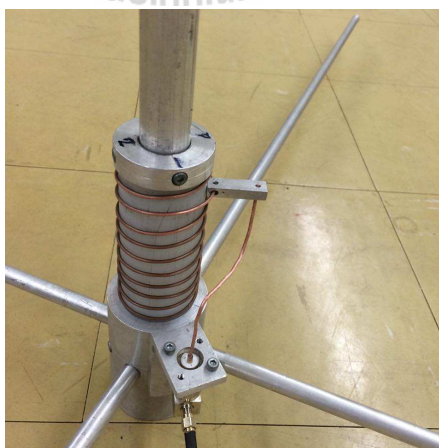
ในบทนี้เป็นการนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์สายอากาศด้วยโปรแกรม CST STUDIO SUITE ที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 มาใช้ในการสร้างสายอากาศต้นแบบจริงและวัดทดสอบคุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศ ซึ่งโครงสร้างของสายอากาศที่น่าเสนอนี้เป็นสายอากาศโมโนโพล ความยาว $5\lambda/8$ แบบ DC-Ground ที่ติดตั้งบริเวณยอดเสาส่งสัญญาณ และยังรักษาคุณสมบัติของสายอากาศชนิดนี้ ซึ่งได้ทำการสร้างสายอากาศต้นแบบตามขนาดที่ได้จากการวิเคราะห์และนำมาวัดทดสอบคุณลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ ค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้า ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing Wave Ratio : SWR) ความกว้างแถบสายอากาศ และแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน ทั้งระนาบสนามไฟฟ้า และระนาบสนามแม่เหล็กโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (network analyzer) รุ่น HP8722D ซึ่งในการออกแบบได้ใช้ความถี่ปฏิบัติการอยู่ที่ความถี่ 100 MHz เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์สายอากาศด้วยโปรแกรม CST STUDIO SUITE ต่อไป

4.2 การสร้างสายอากาศต้นแบบ

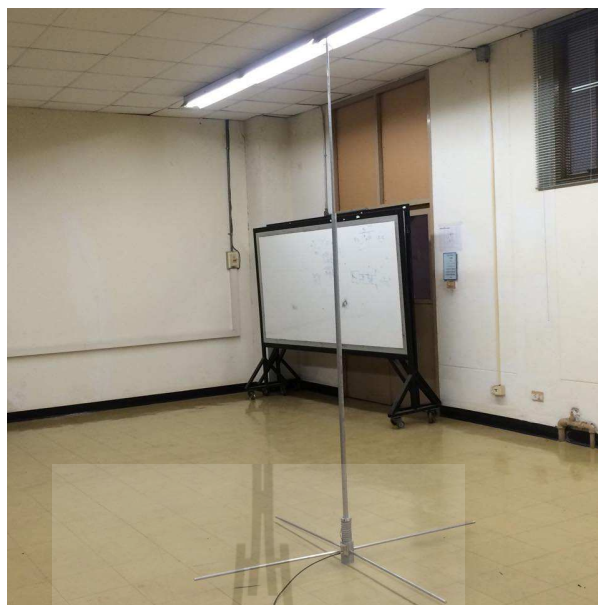
จากการนำโครงสร้างของสายอากาศโมโนโพล มาประยุกต์เพื่อให้ได้โครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศโมโนโพล ความยาว $5\lambda/8$ ที่ติดตั้งบริเวณยอดเสาส่งสัญญาณและยังรักษาคุณสมบัติของสายอากาศชนิดนี้



รูปที่ 4.1 โครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศสายอากาศโมโนโพล ความยาว 5λ/8



รูปที่ 4.2 แสดงการแมตช์ของสายอากาศโมโนโพล ความยาว 5λ/8



รูปที่ 4.3 แสดงโครงสร้างของสายอากาศโมโนโพล ความยาว $5\lambda/8$ ต้นแบบ

4.2.1 การวัดอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ (Characteristic Impedance)

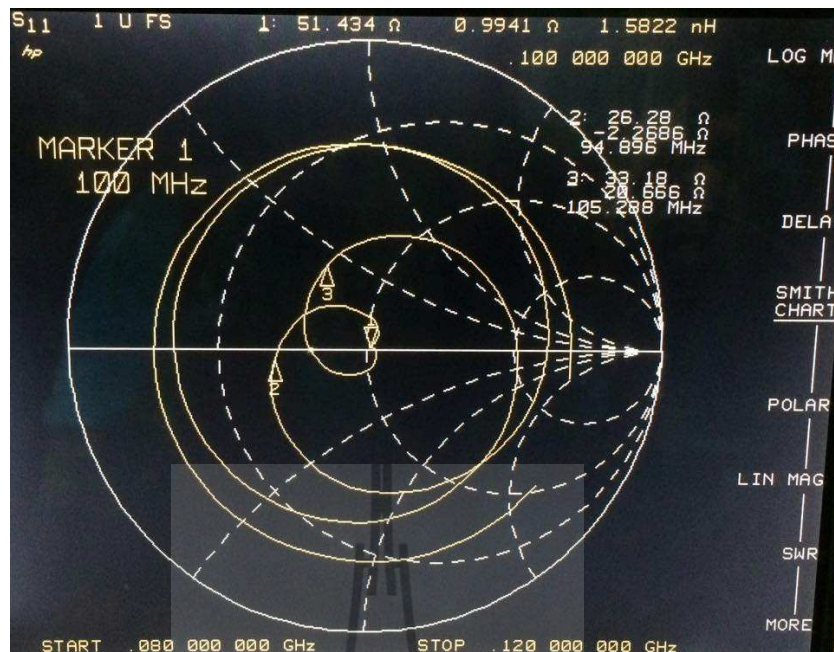
การแมตช์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศกับสายส่งนั้นเป็นสิ่งที่ต้องพึงระวังอย่างยิ่งโดยเฉพาะในระบบส่งสัญญาณวิทยุที่มีกำลังส่งสูงนั้นหาก VSWR มีค่าสูงจะทำให้ขนาดของคลื่นนิ่งที่เกิดขึ้นภายในสายส่งมีค่าสูงขึ้นตามด้วย และอาจทำให้เกิดประกายไฟฟ้าเกิดขึ้นที่หัวของสายอากาศหรือที่เครื่องส่งได้ สำหรับโครงการนี้ใช้สายนำสัญญาณแบบโคแอกเชียลที่มีอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายส่งเท่ากับ $50\ \Omega$ ดังนั้น สายอากาศสายอากาศโมโนโพล ความยาว $5\lambda/8$ ที่สร้างจะต้องมีอิมพีแดนซ์ด้านเข้า เท่ากับ หรือใกล้เคียง $50\ \Omega$ มากที่สุด โดยสามารถดูจากค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง ที่จะต้องไม่เกิน 1.5 dB



รูปที่ 4.4 การวัดอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ (Characteristic Impedance)

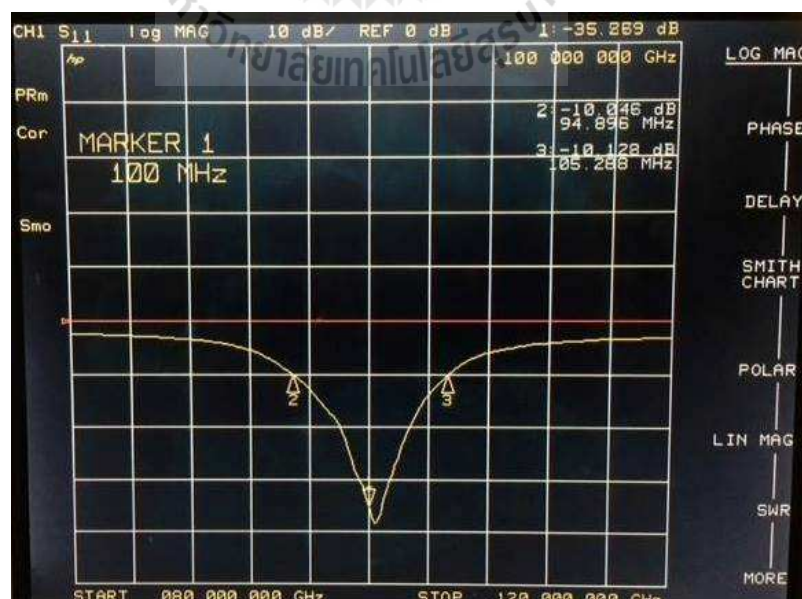
ขั้นตอนการวัดค่าอิมพีแดนซ์

- ก) ทำการ Calibrate เครื่อง Network Analyzer ที่ความถี่ตั้งแต่ 50 MHz ถึง 120 MHz
- ข) เลือกคำสั่ง Save เพื่อจะได้ไม่ต้องทำการเซตเครื่องใหม่ เมื่อมาใช้งานตอนหลังอีก
- ค) ต่อสายอากาศต้นแบบ เข้าที่ Port 1 ของเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย HP8722D
- ง) ทำการวัด S_{11} เลือก Format แบบ Log Mag



รูปที่ 4.5 อิมพีแดนซ์ด้านเข้าความถี่ 100 MHz ของสายอากาศต้นแบบ

จากผลการวัดค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศที่ความถี่ 100 MHz โดยดูค่าอิมพีแดนซ์ที่ทำการวัดได้จากกราฟ Smith Chart มีค่าเท่ากับ 51.434Ω และจากการทดลองได้นำค่าอิมพีแดนซ์และความถี่มาสร้างกราฟเพื่อจะได้นำมาวิเคราะห์ผลการทดลองและค่าอิมพีแดนซ์ที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกับอิมพีแดนซ์ของสายส่งสัญญาณคือ 50Ω



รูปที่ 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (S_{11})

จากผลการทดลองวัดสายอากาศสายอากาศโมโนโพล ความยาว $5\lambda/8$ จะสังเกตได้ว่า ได้ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับเท่ากับ -35.269 dB ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ และมี ความกว้างของสัญญาณ (Bandwidth) อยู่ระหว่าง 94.896 MHz ถึง 105.288 MHz

4.2.2 การวัดแบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศโมโนโพล ความยาว $5\lambda/8$

การวัดแบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศ จะทำการวัดที่บริเวณสนามระยะไกล (Far-Field Region) โดยสามารถคำนวณจากสมการ

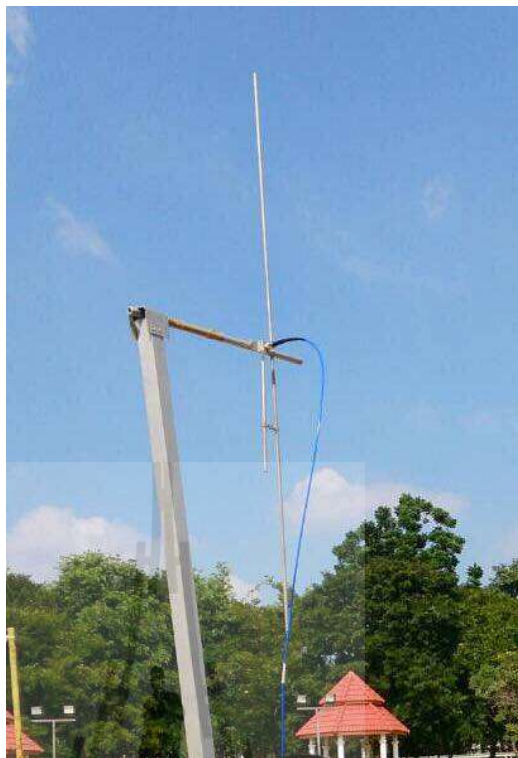
$$R > \frac{2D^2}{\lambda} \quad (4.1)$$

เมื่อ R คือ ระยะของสนามระยะไกล

D คือ ความยาวสูงสุดของสายอากาศ

λ คือ ความยาวคลื่นของสายอากาศ

ในการวัดแบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศโมโนโพล ความยาว $5\lambda/8$ ขนาดของสายอากาศที่ยาวที่สุดมีค่าเท่ากับ 212 cm ทำให้ได้ระยะห่างระหว่างสายอากาศภาคส่งและภาครับเท่ากับ 300 cm ซึ่งในที่นี้ได้ใช้สายอากาศโมโนโพลที่มีความถี่ 100 MHz เป็นสายอากาศอ้างอิง ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ทำหน้าที่เป็นสายอากาศส่ง และสายอากาศที่นำมาทดสอบจะมีการหมุนรับคลื่นจาก 0 องศา ถึง 360 องศา ในทีละองศา ซึ่งจะช่วยให้ลดการสะท้อนของคลื่น โดยรูปแบบการวัดการแผ่กำลังงานของสายอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.12 ซึ่งจะได้รูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศโมโนโพล ความยาว $5\lambda/8$ ที่ระนาบสนามไฟฟ้า ในระนาบ xy และระนาบสนามแม่เหล็ก ในระนาบ yz



รูปที่ 4.7 สายอากาศไดโพลที่ใช้เป็นตัวส่ง

ในการทดสอบจะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของระนาบสนามไฟฟ้า และระนาบสนามแม่เหล็กโดยทดสอบในที่โล่ง สายอากาศที่จะทำการทดสอบนั้นจะเป็นสายอากาศรับ ซึ่งจะทำให้การหมุนเพื่อรับคลื่น จาก 0 องศาจนถึงมุม 360 องศา ส่วนสายอากาศส่งเป็นสายอากาศแบบไดโพลออกแบบที่ความถี่เดียวกันกับสายอากาศรับ และต้องมีโพลาริซที่เหมือนกัน ระดับความสูงของสายอากาศรับและสายอากาศส่งต้องเท่ากันด้วย รูปที่ 4.8 เครื่องวิเคราะห์แถบคลื่นสัญญาณ (spectrum analyzer) ที่เราใช้ในการวัดค่ารูปการแผ่กำลังของสายอากาศโมโนโพล รูปที่ 4.9 เครื่องกำเนิดสัญญาณ (signal generator 2032) โดยใช้กำลังส่ง -5 dBm ที่ความถี่ 100 MHz

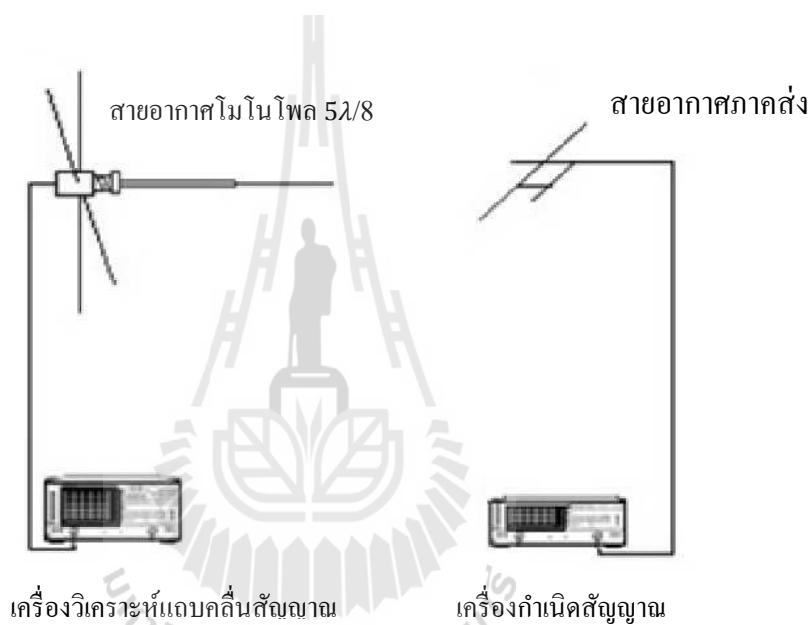


รูปที่ 4.8 เครื่องวิเคราะห์แถบคลื่นสัญญาณ (spectrum analyzer)



รูปที่ 4.9 เครื่องกำเนิดสัญญาณ (signal generator 2032)

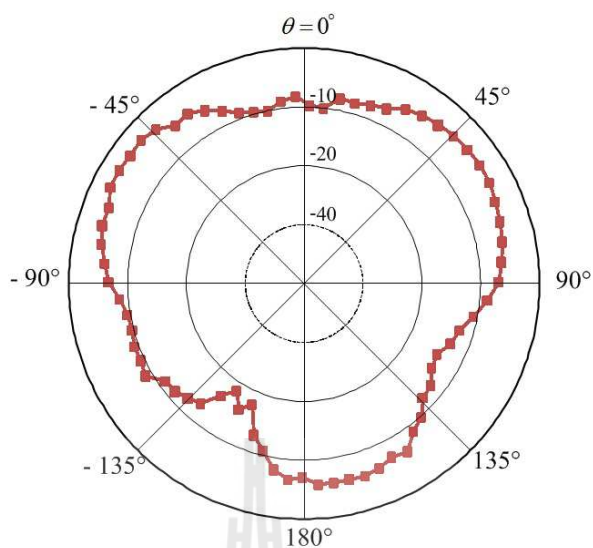
- การวัดระนาบสนามไฟฟ้า



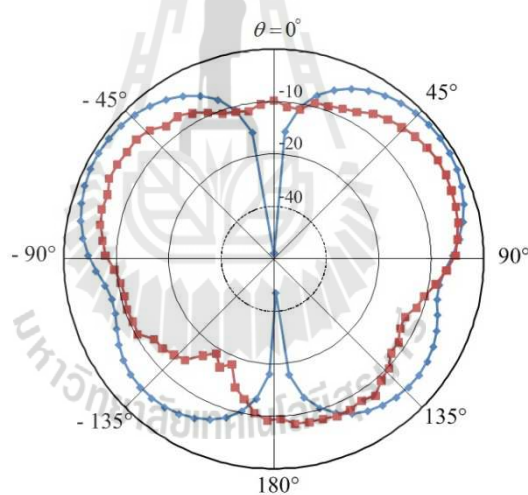
รูปที่ 4.10 แสดงวิธีการวัดระนาบสนามไฟฟ้า



รูปที่ 4.11 วิธีวัดแบบระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศต้นแบบ



รูปที่ 4.12 ระบายสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบของสายอากาศโมโนโพล $5\lambda/8$

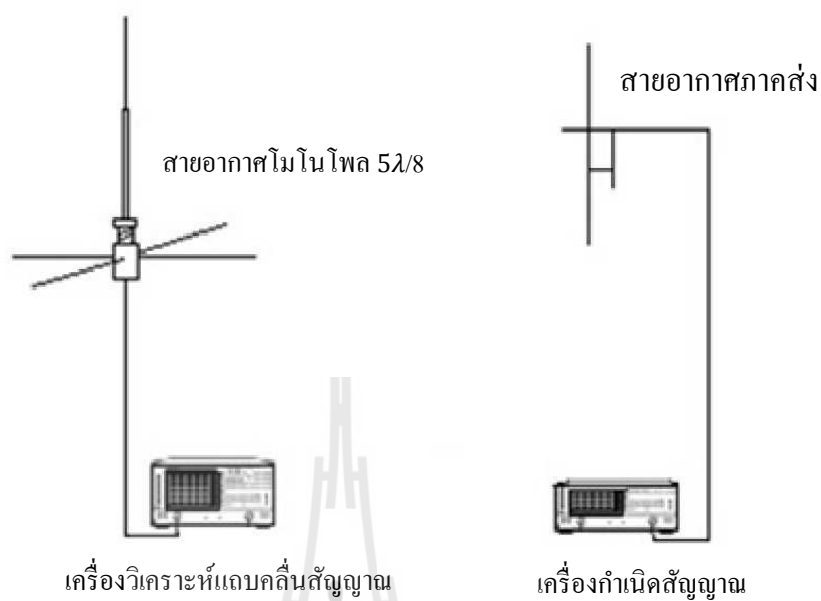


รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบระบายสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบและโปรแกรม

CST Microwave Studio ของสายอากาศโมโนโพลความยาว $5\lambda/8$

จากรูปที่ 4.13 เปรียบเทียบผลการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในแนวระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศโมโนโพลความยาว $5\lambda/8$ จากผลที่ได้จากการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในแนวระนาบสนามไฟฟ้าจะเห็นรูปร่างที่ใกล้เคียงกัน

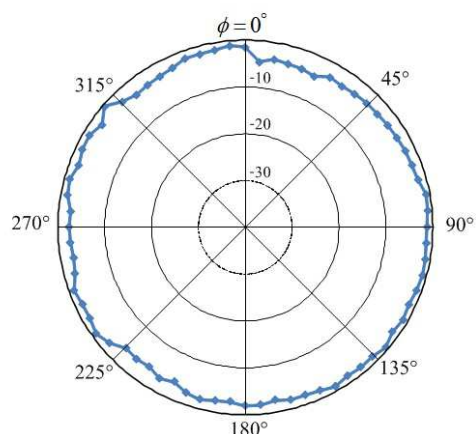
- การวัดระนาบสนามแม่เหล็ก



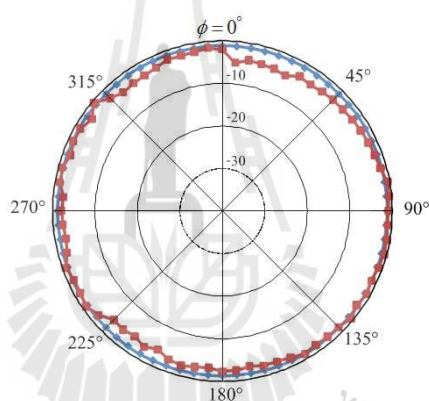
รูปที่ 4.14 แสดงวิธีการวัดระนาบสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 4.15 วิธีวัดแบบระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศต้นแบบ



รูปที่ 4.16 ระนาบสนามแม่เหล็กที่ได้จากการทดสอบของสายอากาศโมโนโพลความยาว $5\lambda/8$



รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบระนาบสนามแม่เหล็กที่ได้จากการทดสอบและโปรแกรม

CST Microwave Studio ของสายอากาศโมโนโพลความยาว $5\lambda/8$

จากรูปที่ 4.17 เป็นผลที่ได้จากการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในแนวระนาบในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศสายอากาศโมโนโพลความยาว $5\lambda/8$ จากแบบรูปการแผ่กระจายกำลังในแนวระนาบสนามไฟฟ้าจะรูปร่างที่คล้ายกัน

4.2.3 การวัดอัตราการขยายของสายอากาศโมโนโพลความยาว $5\lambda/8$

1). อัตราการสูญเสียในอากาศ (Free-Space Loss)

การหาอัตราการสูญเสียของสายอากาศต้นแบบที่ใช้ในการทดสอบ สามารถหาได้จากสมการ

$$\text{loss}(dB) = 20\log\left[\frac{\lambda}{4\pi R}\right] \quad (4.2)$$

R คือ ระยะห่างของสายอากาศระหว่างภาคส่งและภาครับ (เมตร)

λ คือ ความยาวคลื่น (เมตร)

จากการคำนวณระยะสนามไกลได้ที่ 2.996266667 m ซึ่งระยะห่างของสายอากาศภาครับและภาคส่งจะต้องมีระยะ R มากกว่า 2.996266667 m ดังนั้นจึงได้ตั้งสายอากาศทั้งภาคส่งและภาครับให้ห่างกันที่ระยะ 3 m และสามารถแทนค่าในสมการหาค่าการสูญเสียในอากาศได้เท่ากับ

$$\text{loss}(dB) = 20\log\left[\frac{3}{4\pi(3)}\right] = -21.9841 \text{ dB}$$

2). การคำนวณค่าอัตราขยายของสายอากาศ

จากสมการของ Friis ในหน่วย dB

$$P_r - P_t = G_t + G_r + 20\log\left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right) \quad (4.3)$$

จัดรูปสมการจะได้

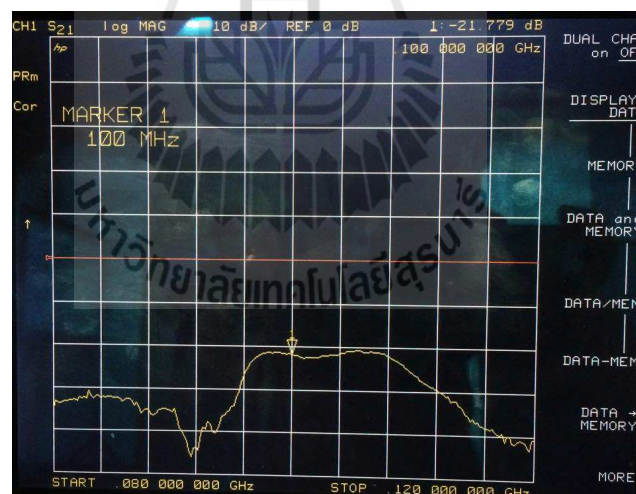
$$G_r = P_r - P_t - G_t - G_r - 20\log\left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right) \quad (4.4)$$

จะใช้คำนวณหาอัตราขยายของสายอากาศ โดยจะใช้สายอากาศไดโพลเป็นสายอากาศภาคส่ง โดยลำดับแรกจะใช้สายอากาศไดโพล ที่ทำงานในย่านความถี่ 100 MHz ให้ตัวหนึ่งเป็นภาคส่ง และอีกตัวหนึ่งสายอากาศโมโนโพลความยาว $5\lambda/8$ เป็นภาครับ วางห่างกันที่ระยะ 3 m แสดงดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.18 การวัดอัตราขยายของสายอากาศโมโนโพลความยาว $5\lambda/8$

ซึ่งเครื่อง Network Analyzer จะอ่านค่า P_r ได้เท่ากับ -21.779 dB แสดงดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.19 ค่าส่งผ่านคลื่น (S_{21}) ของสายอากาศไดโพล และโมโนโพล

จากนั้นแทนค่าในสมการที่ (4.3) เพื่อหาอัตราขยายของสายอากาศไดโพล G_r โดย $G_t = 2.142$ dB

$$P_r - P_t = G_t + G_r + 20 \log\left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)$$

เมื่อ P_r เท่ากับ -21.779 dB, P_t เท่ากับ -10 dB และ loss เท่ากับ -21.9841 dB แทนค่า

$$-21.779 + 10 \text{ (dB)} = 2.142 \text{ (dB)} + G_r \text{ (dB)} + (-21.9841) \text{ (dB)}$$

$$G_r \text{ (dB)} = 8.0631 \text{ dB}$$

คุณสมบัติของสายอากาศชนิดนี้ (G_r) ใกล้เคียงกันและอัตราการขยายจะดีในช่วง 100 MHz ซึ่งเป็นความถี่ที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศโมโนโพลความยาว $5\lambda/8$

4.3 สรุป

ในบทที่ 4 เป็นการทดสอบวัดสายอากาศโมโนโพลความยาว $5\lambda/8$ ตามที่ได้ออกแบบด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio มาแล้วในบทที่ 3 เพื่อทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของสายอากาศที่ได้ทำการออกแบบคือค่าอิมพีแดนซ์ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับและแบบรูปการแผ่กำลังงาน ซึ่งผลการวัดกับทฤษฎีสอดคล้องกันทั้งสายอากาศโมโนโพล $5\lambda/8$

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

โครงงานฉบับนี้ได้ดำเนินการศึกษาวิเคราะห์ออกแบบและสร้างสายอากาศต้นแบบแล้วทำการวัดทดสอบคุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศโมโนโพลความยาว $5\lambda/8$ DC - Ground ที่มีการแผ่กำลังคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าลักษณะเป็นแบบรอบตัวในระนาบเดี่ยว(Omnidirectional Pattern)และติดตั้งที่ยอดเสาแทนซึ่งจะช่วยลดปัญหาที่เกิดจากการติดตั้งสายอากาศไว้ที่ข้างเสาได้อย่างมากทำให้คลื่นที่แผ่ออกไปไม่ถูกขวางโดยเสาส่งสัญญาณและสามารถให้บริการผู้ใช้บริการได้อย่างเท่าเทียมรองรับกำลังงานที่สูงได้ มีความกว้างลำคลื่น สำหรับการแพร่สัญญาณวิทยุที่ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการได้อย่างเพียงพอ และมีอัตราขยายในรอบทิศทาง จึงจำเป็นต้องทำการพัฒนาอุปกรณ์สายอากาศให้สอดคล้องกับความต้องการและสามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพสูงสุด ในโครงงานฉบับนี้ได้นำโปรแกรม CST Microwave Studio เข้ามาวิเคราะห์ โครงสร้างของสายอากาศได้ถูกแทนด้วยเส้นลวดขนาดเล็ก โปรแกรมจะใช้สมการอินทิกรัลสนามไฟฟ้า ในการหากระแสเหนี่ยวนำบนโครงสร้างนั้น ซึ่งเกิดจากแหล่งกำเนิด หรือสนามที่ตกกระทบ ในการหาค่าของกระแสเหนี่ยวนำที่ต้อง การกระตุ้นเกิดจากแหล่งกำเนิดแรงดันที่ป้อนเข้าไป CST Microwave Studio สามารถใช้ในการคำนวณหาค่ากระแสเหนี่ยวนำ และประจุ สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ระยะใกล้และไกล อิมพีแดนซ์ แอตมิตแตนซ์ อัตราขยาย และสภาพเจาะจงทิศทาง การใช้กำลังงาน และการเชื่อมร่วมระหว่างสายอากาศได้

การวิเคราะห์คุณลักษณะของสายอากาศในโครงงานฉบับนี้จะเริ่มจากอิมพีแดนซ์ด้านเข้า ความกว้างแถบ และแบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศแบบโมโนโพล อัตราส่วนแกน และอัตราขยาย ซึ่งทำให้มีความรู้และเข้าใจในพื้นฐานของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศที่มีต่อแบบรูปการกำลังและอิมพีแดนซ์ด้านเข้า ในส่วนของการออกแบบเพื่อจะนำสายอากาศไปใช้งาน สิ่งสำคัญนั้นคือจะต้องทำให้สายอากาศมีความเหมาะสมที่สุดสำหรับระบบนั้นๆ และเงื่อนไขที่ได้

นำมาพิจารณาในการออกแบบสายอากาศนั้นก็คือแบบรูปการแผ่กำลัง ความกว้างแถบ และอัตราส่วนเกน การวิเคราะห์เชิงทฤษฎีทั้งหมดทำโดยโปรแกรม CST Microwave Studio

จากบทที่ 4 ได้แสดงผลการทดสอบแบบรูปการแผ่กำลัง ความกว้างแถบ และอัตราขยายของสายอากาศที่ได้ออกแบบและสร้าง จะพบว่าผลการทดสอบนั้นเป็นที่ยอมรับได้ คือค่อนข้างตรงตามทฤษฎี และตามความต้องการของสายอากาศที่จะใช้งานจริง ไม่ว่าจะเป็นแบบรูปการแผ่กำลัง ความกว้างแถบ และอัตราขยายของสายอากาศ เพื่อนำมา สร้างเป็นสายอากาศที่ใช้เป็นสายอากาศสำหรับส่งสัญญาณวิทยุ FM ย่านความถี่ VHF ที่นำเสนอไว้ ข้างต้น และสุดท้ายได้สร้างสายอากาศต้นแบบตามค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ถูกออกแบบไว้เพื่อยืนยัน ความถูกต้องด้วยผลการทดลองวัดคุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศโดยใช้เครื่องมือวัดในที่โล่งและ ห้องปฏิบัติการ ดังได้กล่าวรายละเอียดไว้แล้วในบทที่ 4

ตารางที่ 5.1 ตารางสรุปการเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองกับผลจากการทดสอบ

คุณลักษณะของสายอากาศ	สายอากาศโมโนโพลที่ทำการจำลอง	สายอากาศโมโนโพลที่ทำการทดสอบ
ความยาว (cm)	187.5	187.5
อิมพีแดนซ์ด้านเข้า (Ω)	50	51.434
S_{11}	-15.5	-35.289
SWR	1.005	1.0535
Bandwidth (MHz)	98.95 - 102.25	94.89 - 105.288
Gain (dB)	3.23	8.0631

สรุปผลที่ได้จากการวัดทดสอบสายอากาศมีความสอดคล้องกับผลเฉลยที่ได้จากการ คำนวณด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio แต่ผลจากการวัดทดสอบอาจจะให้ค่าที่ คลาดเคลื่อนไปบ้างเล็กน้อย ซึ่งสาเหตุของการคลาดเคลื่อนระหว่างผลการวัดทดสอบและผลการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio ก็อาจเกิดจากความสูญเสียในระบบสายอากาศ เช่น ความสูญเสียในสายส่ง ความผิดพลาดจากการจัดวางตำแหน่งสายอากาศภาคส่งและสายอากาศภาครับ สุดท้ายเกิดจากผลกระทบจากสภาพแวดล้อมขณะ วัดทดสอบสายอากาศเพราะการทดสอบ

สายอากาศที่ดีนั้น ควรจะหาพื้นที่โล่งและกว้างพอสมควร เพื่อลดปัญหาการบังหรือสะท้อนของคลื่นระหว่างสายอากาศภาคส่ง และภาครับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากบทสรุปที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า นอกจากการเลือกเทคนิคของการสร้างสายอากาศที่เหมาะสมกับจุดประสงค์ของการใช้งานสำหรับการแพร่สัญญาณวิทยุ FM ที่ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการได้อย่างเพียงพอ และมีอัตราขยายรอบทิศทาง ยังต้องพิจารณาถึงกระบวนการวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศด้วย เพื่อที่จะนำผลเฉลยที่ได้จากการคำนวณและวิเคราะห์ไปประกอบการสร้างสายอากาศต้นแบบต่อไป และสายอากาศที่จะนำมาเป็นสายอากาศภาคส่งต้องมีความถี่เรโซแนนซ์ เท่ากับความถี่เรโซแนนซ์ ของสายอากาศที่จะทำการทดสอบ เพื่อให้สายอากาศทั้งสองตัวทำงานได้ดีที่สุดที่ความถี่เดียวกัน ในส่วนของการวัดเพื่อบันทึกค่านั้น ควรทำการวัดอย่างน้อย 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย จะทำให้ได้ค่าที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยลง

สายอากาศโมโนโพลความยาว 52/8 DC - Ground ที่มีการแผ่กำลังคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดีกว่าสายอากาศที่ติดตั้งแบบข้างเสา ไปใช้งานในระบบแพร่สัญญาณเสียงสำหรับสถานีส่งวิทยุ FM ระบบ VHF ควรจะถูกพัฒนาต่อไปในด้านของขนาด วิธีการแมตช์ให้เหมาะสมมากยิ่งขึ้นเพื่อให้สายอากาศมีแบบรูปการแผ่กำลังออกทุกทิศทาง อัตราส่วนคลื่นนิ่งที่เหมาะสม และมีการโพลาไรซ์แบบเส้นตรงต่อไป

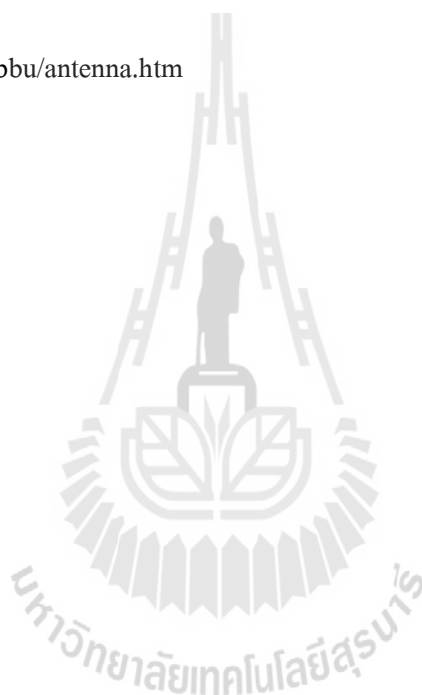
บรรณานุกรม

รองศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์, วิศวกรรมสายอากาศ (พิมพ์ครั้งที่ 3), ศูนย์นวัตกรรมและเทคโนโลยีการศึกษา,มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2555.

<http://www.superlenethai.com/product/1079278/Superlene->

[\(%E0%B8%8B%E0%B8%B8%E0%B8%9B%E0%B9%80%E0%B8%9B%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B9%8C%E0%B8%A5%E0%B8%B5%E0%B8%99\)-sheet.html](http://www.superlenethai.com/product/1079278/Superlene-(%E0%B8%8B%E0%B8%B8%E0%B8%9B%E0%B9%80%E0%B8%9B%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B9%8C%E0%B8%A5%E0%B8%B5%E0%B8%99)-sheet.html)

<http://www.feed-auto.com/bbu/antenna.htm>



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายธิตพล ชีราภรณ์

วัน-เดือน-ปีเกิด 7 พฤศจิกายน 2536

ที่อยู่ 107 หมู่ 2 ตำบลพระงาม อ.พรหมบุรี จ.สิงห์บุรี 16120

การศึกษา -ระดับประถมศึกษา โรงเรียนอินทโมลีประทาน จังหวัดสิงห์บุรี

-ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนท่าช้างวิทยาคาร จังหวัดสิงห์บุรี

การศึกษาปัจจุบัน นักศึกษาชั้นปี 4 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โทรศัพท์ 09-1469-4752

ชื่อ-นามสกุล นางสาวภัสรา จงรวมกลาง

วัน-เดือน-ปีเกิด 7 เมษายน 2537

ที่อยู่ 81 หมู่ 7 ตำบลสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

การศึกษา -ระดับประถมศึกษา โรงเรียนอุบลรัตน์ จังหวัดนครราชสีมา

-ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนสุรธรรมพิทักษ์ จังหวัดนครราชสีมา

การศึกษาปัจจุบัน นักศึกษาชั้นปี 4 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โทรศัพท์ 08-8136-7621

ชื่อ-นามสกุล นายชญาณิน วนาพันธพรกุล

วัน-เดือน-ปีเกิด 6 กุมภาพันธ์ 2537

ที่อยู่ 612/1 ถนนชนสาร ต.ในเมือง อ.เมือง จ.สุรินทร์ 32000

การศึกษา -ระดับประถมศึกษา โรงเรียนอนุบาลสุรินทร์ จ.สุรินทร์

-ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนราชสีมาวิทยาลัย จ.นครราชสีมา

การศึกษาปัจจุบัน นักศึกษาชั้นปี 4 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โทรศัพท์ 08-9628-4929

