

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย ที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์
Unidirectional Antenna for Wireless Local Area Network System at 2.45 GHz

โดย
นายสุรศักดิ์ บุตรโคตร
นายสุระสิทธิ์ ลิตน

รฟ.
ค 854 ก
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 72919
วัน,เดือน,ปี..... 25 ส.ย. 2550

b. 11๓716๑1
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

ภาควิชา

วิศวกรรมโทรคมนาคม

ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว
(ลงชื่อ).....ผู้ตรวจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องสมุดเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด การคัดลอกหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีผู้ตรวจ

สายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย ที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์
Unidirectional Antenna for Wireless Local Area Network System at 2.45 GHz

โดย

นายสุรศักดิ์ บุตรโคตร 47015072

นายสุระสิทธิ์ ถิคน 47015073

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.สมผล โกศลวิตร

ผศ.ดร. ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2549

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

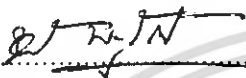
เรื่อง สายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย ที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์

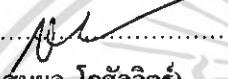
Unidirectional Antenna for Wireless Local Area Network System at 2.45 GHz

ผู้จัดทำ

นายสุรศักดิ์ บุตรโคตร 47015072

นายสุระสิทธิ์ ลีตน 47015073


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.ดร. ชuwong พงศ์เจริญพาณิชย์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร.สมพล โกศลวิตร)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย ที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์

Unidirectional Antenna for Wireless Local Area Network System at 2.45 GHz

โดย นายสุรศักดิ์ บุตร โคตร 47015072
นายสุระสิทธิ์ ลีตน 47015073

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.สมผล โกศลวิศิษฐ์
ผศ.ดร.ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอการศึกษา การคำนวณ การสร้าง และทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศที่ให้ลำคลื่นทิศทางเดียวสำหรับระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ สายอากาศชนิดนี้ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 2 ส่วนคือ วงแหวนป้อนสัญญาณด้วยโพรบตัวนำไฟฟ้าและตัวสะท้อนสายอากาศวงแหวนป้อนสัญญาณด้วยโพรบตัวนำไฟฟ้า มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบสองทิศทางและมีการโพลาไรซ์เชิงเส้นและเมื่อนำมาวางเหนือระนาบสะท้อนที่เป็นแบบวงกลมทำให้การแพร่กระจายคลื่นเปลี่ยนเป็นแบบทิศทางเดียว ที่มีอัตราขยายสูง และมีอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลังที่ดี

Abstract

This project presents the study, calculation, fabrication and measurement the characteristic of unidirectional antenna for 2.45 GHz Wireless Local Area Network (WLAN) system. This antenna is composed of two main components viz., ring fed by electric probe and the reflector. The ring fed by electric probe possesses linear polarization with bi-directional pattern. When it is put on the circular reflector, the pattern becomes uni-directional beam with high gain and high front-to-back ratio

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจากรองศาสตราจารย์ ดร.สมผล โกศลวิตร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ให้คำปรึกษาของพวกข้าพเจ้าโดยเป็นผู้ให้ความช่วยเหลือแนะนำแนวทางการศึกษาและอบรมสั่งสอน นอกจากนี้คำชี้แนะความรู้ และขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่างๆ ให้แก่ผู้จัดทำ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาที่ให้ความสำคัญกับการศึกษาแก่ผู้จัดทำ และให้การสนับสนุนเอาใจใส่ดูแลด้วยดีเสมอมารวมทั้งให้กำลังใจอันยิ่งใหญ่อย่างหาที่เปรียบมิได้

นายสุรศักดิ์ บุตรโคตร
นายสุระสิทธิ์ ลีคน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 เนื้อหาของปริิญาานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 บทนำ	4
2.2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	4
2.2.1 แบบรูปหลัก	5
2.2.2 โลบของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	6
2.2.3 ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังงานลดลงครึ่งหนึ่ง	7
2.2.4 ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังงานเป็นศูนย์ครั้งแรก	7
2.2.5 อัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นข้อยอดด้านข้าง	7
2.3 ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น	7
2.4 ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง	8
2.5 ประสิทธิภาพของสายอากาศ	8
2.6 อัตราขยาย	9
2.7 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ	9
2.8 อัตราส่วนคลื่นนิ่ง	10
2.9 การโพลาไรเซชัน	10
2.9.1 ลิเนียร์โพลาไรเซชัน, โพลาไรเซชันแบบวงกลม และโพลาไรเซชันแบบวงรี	12
2.9.2 โพลาไรเซชันลอสแฟกเตอร์	14
2.10 ท่อนำคลื่นแบบกลม	15
2.10.1 รูปแบบของคลื่นที่ส่งในท่อนำคลื่นแบบกลม	15
2.10.2 ความยาวคลื่นคัทออฟสำหรับท่อนำคลื่นแบบกลม	17
2.11 โครงสร้างของสายอากาศวงแหวนวงกลม	18
2.12 ตัวสะท้อนคลื่นแบบ Cavity - backed Antennas	22
บทที่ 3 การวิเคราะห์ คำนวณ และการออกแบบ	25
3.1 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ที่จะนำไปใช้ในการออกแบบ	25
3.1.1 โครงสร้างของสายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบโครงข่ายท้องถิ่น ไร้สายที่ป้อนด้วยวงแหวนวงกลม	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.2 การออกแบบค่ารัศมี และความยาวของตัวสายอากาศวงแหวนวงกลม	26
3.1.3 การออกแบบค่าความยาวโพรบ	28
3.1.4 การพิจารณาค่าขนาดของตัวสะท้อนคลื่น	30
3.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ	32
3.2.1 ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังงานลดลงครึ่งหนึ่ง	32
3.2.2 ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้าง	33
3.2.3 ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านหลัง	33
3.2.4 ค่าสภาพเงาเชิงทิศทางของสายอากาศ	34
3.2.5 ค่าอัตราส่วนแกน	35
บทที่ 4 การออกแบบสร้างและทดสอบ	37
4.1 การออกแบบสร้าง	37
4.2 การทดสอบ และผลการทดสอบ	37
4.2.1 คุณลักษณะเชิงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ	38
4.2.1.1 การทดสอบค่าอิมพีแดนซ์	40
4.2.1.2 การทดสอบค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง	41
4.2.1.3 การทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับ	42
4.3 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ	44
4.4 การวัด โพลาริเซชันของสายอากาศ	48
4.5 การทดสอบหาอัตราขยายของสายอากาศ	51
บทที่ 5 มาตรฐาน IEEE 802.11 การประเมินประสิทธิภาพ และผลการทดสอบ	55
5.1 บทนำ	55
5.2 มาตรฐาน IEEE 802.11	55
5.2.1 มาตรฐาน IEEE 802.11b	55
5.2.2 มาตรฐาน IEEE 802.11a	56
5.2.3 มาตรฐาน IEEE 802.11g	56
5.3 ความเร็วในการรับ - ส่งข้อมูลกับความแรงของสัญญาณ	58
5.4 ความเร็วในการรับ - ส่งข้อมูลกับระยะทางของระบบไวร์เลสแลนมาตรฐานต่างๆ	59
5.5 การทดสอบประสิทธิภาพ	59
5.5.1 การทดสอบค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน	61
5.5.2 การทดสอบระยะบริการ และค่าวิสัยสามารถ	62

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 วิจักษ์และสรุปล	65
ภาคผนวก	67
กิตติกรรมประกาศ	107
หนังสืออ้างอิง	108



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่ารากของเบสเซล	18
ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนในแต่ละโหมดคลื่น (TE_{mn})	21
ตารางที่ 4.1 ค่าอิมพีแดนซ์ที่ Marker ต่างๆ	41
ตารางที่ 4.2 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ Marker ต่างๆ	42
ตารางที่ 4.3 ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ Marker ต่างๆ	43
ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบคุณลักษณะเชิงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบ WLAN ที่ป้อนสัญญาณด้วยวงแหวนแบบวงกลมรัศมี 36.5 mm	43
ตารางที่ 5.1 คุณสมบัติของเครือข่ายไวร์เลสแลนมาตรฐานต่างๆ	57
ตารางที่ 5.2 ค่า Throughput โดยประมาณของเครือข่ายไวร์เลสแลน	58



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 ส่วนประกอบหลักของระบบการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless Communication)	1
รูปที่ 2.1 แสดงระบบโคออดิเนตสำหรับการวิเคราะห์สายอากาศ	4
รูปที่ 2.2 แสดงแบบรูปหลัก ระนาบ E และ H ของสายอากาศปากแตร	5
รูปที่ 2.3 โลบต่างๆ และบีบิวทิทของแบบรูปสายอากาศ	6
รูปที่ 2.4 แบบรูปในแบบเชิงเส้น	6
รูปที่ 2.5 สายอากาศในโหมดการส่ง	9
รูปที่ 2.6 การหมุนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าระนาบและวงรีโพลาริเซชันที่เป็นฟังก์ชันของเวลา ในระนาบ $Z = 0$	
(ก) การหมุนของคลื่น	10
(ข) วงรีโพลาริเซชัน	11
รูปที่ 2.7 หน่วยเวกเตอร์โพลาริเซชันของคลื่น และของสายอากาศ	15
รูปที่ 2.8 ความหมายของ m และ n ในท่อนำคลื่นแบบกลม	16
รูปที่ 2.9 แสดงโหมด TE และ TM ของท่อนำคลื่น	16
รูปที่ 2.10 สายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนวงกลม	19
รูปที่ 2.11 Open - Cavity Radiator	
(ก) ลักษณะ โครงสร้าง	22
(ข) ใช้ไดโพลในการส่ง	22
(ค) ใช้ไดโพลอาร์เรย์ในการส่ง	23
(ง) ใช้สายส่งสัญญาณในการส่ง	23
(จ) ใช้รูปร่างวงกลมในการส่ง	23
รูปที่ 3.1 โครงสร้างของสายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ป้อน สัญญาณด้วยวงแหวนวงกลม	25
รูปที่ 3.2 สายอากาศวงแหวนวงกลมที่ออกแบบโดยโปรแกรม CST (Computer Simulation Technology)	26
รูปที่ 3.3 ค่าสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนรัศมี 36.5 mm, 34 mm และ 32 mm	27
รูปที่ 3.4 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของวงแหวนวงกลมที่มีความยาวของวงแหวน เท่ากับ 30 mm, 35 mm และ 40 mm	28
รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VSWR กับความยาวโพรบ	29
รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสูญเสียย้อนกลับ (return loss) กับความยาวโพรบ	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.7 ตัวสะท้อนคลื่น	30
รูปที่ 3.8 การวิเคราะห์หาความสูงของตัวสะท้อนคลื่น	
(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า	31
(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก	31
รูปที่ 3.9 ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังงานลดลงครึ่งหนึ่งของสายอากาศทิศทางเดียวที่ป้อน สัญญาณด้วยวงแหวนวงกลม	32
รูปที่ 3.10 ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างของสายอากาศทิศทางเดียวที่ป้อน สัญญาณด้วยวงแหวนวงกลม	33
รูปที่ 3.11 ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านหลังของสายอากาศทิศทางเดียวที่ป้อน สัญญาณด้วยวงแหวนวงกลม	34
รูปที่ 3.12 ค่าสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศทิศทางเดียวที่ป้อนสัญญาณด้วยวงแหวน วงกลม	35
รูปที่ 3.13 ค่าอัตราส่วนแกน (Axial Ratio) ของสายอากาศทิศทางเดียวที่ป้อนสัญญาณ ด้วยวงแหวนวงกลม	36
รูปที่ 4.1 สายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบโครงข่ายท้องถิ่น ไร้สายที่ความถี่ 2.45 GHz ที่ป้อนสัญญาณด้วยวงแหวนวงกลมรัศมี 36.5 mm	37
รูปที่ 4.2 เครื่องวิเคราะห์ระบบโครงข่าย (Network Analyzer)	38
รูปที่ 4.3 ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบโครงข่ายท้องถิ่น ไร้สาย ที่ความถี่ 2.45 GHz ที่ป้อนสัญญาณด้วยวงแหวนวงกลมรัศมี 36.5 mm	40
รูปที่ 4.4 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบโครงข่ายท้องถิ่น ไร้สายที่ความถี่ 2.45 GHz ที่ป้อนสัญญาณด้วยวงแหวนวงกลมรัศมี 36.5 mm	41
รูปที่ 4.5 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบโครงข่ายท้องถิ่น ไร้สายที่ความถี่ 2.45 GHz ที่ป้อนสัญญาณด้วยวงแหวนวงกลม รัศมี36.5 mm	42
รูปที่ 4.6 วิธีการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ	45

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.7 แสดงการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ป้อนสัญญาณด้วยวงแหวนวงกลมรัศมี 36.5 mm ภายในห้องทดสอบ	
(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า	46
(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก	46
รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ป้อนสัญญาณด้วยวงแหวนวงกลมรัศมี 36.5 mm	
(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า	47
(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก	47
รูปที่ 4.9 สายอากาศไดโพล	49
รูปที่ 4.10 วิธีการทดสอบการวัดโพลาไรเซชันของสายอากาศ	49
รูปที่ 4.11 แสดงการทดสอบการวัดโพลาไรเซชันของสายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ป้อนสัญญาณด้วยวงแหวนวงกลมรัศมี 36.5mm ภายในห้องทดสอบ	50
รูปที่ 4.12 ผลการทดสอบการวัดโพลาไรเซชันของสายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ป้อนสัญญาณด้วยวงแหวนวงกลมรัศมี 36.5 mm	50
รูปที่ 4.13 แสดงการทดสอบหาอัตราขยายของสายอากาศ	52
รูปที่ 4.14 แสดงวิธีการทดสอบหาอัตราขยายของสายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย	53
รูปที่ 4.15 สัญญาณที่รับได้จากเครื่องเนทเวิร์กอะนาไลเซอร์	53
รูปที่ 5.1 ระยะทางที่มีผลกระทบเรื่องความเร็วในระบบไวร์เลสแลน 802.11b และ 802.11g	58
รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความเร็วในการรับ - ส่งข้อมูลกับระยะทางของระบบไวร์เลสแลนตามมาตรฐานต่างๆ	59
รูปที่ 5.3 การทดสอบประสิทธิภาพสายอากาศ	
(ก) พารามิเตอร์การทดสอบ	60
(ข) แผนผังการทดสอบ	60
รูปที่ 5.4 การติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบด้านสถานีฐาน และด้านลูกข่าย	61
รูปที่ 5.5 แสดงค่าความแรงของสัญญาณเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น	62
รูปที่ 5.6 แสดงค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น	62
รูปที่ 5.7 ผลการทดสอบค่าวิสัยสามารถของสายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

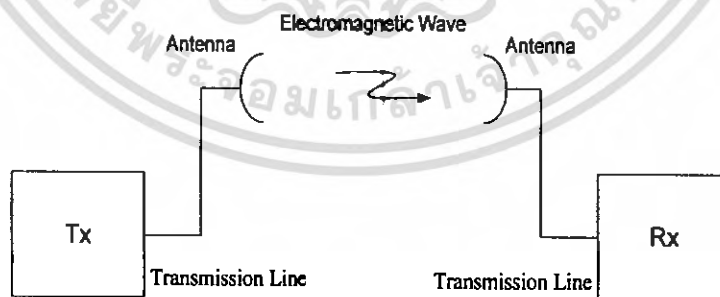
1.1 บทนำ

ในปัจจุบันการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless Communication) ได้รับการพัฒนาเจริญเติบโตเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและได้รับการปรับปรุงและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งปัจจุบันเครือข่ายไร้สายสามารถใช้งานได้ด้วยความสะดวกและมีความปลอดภัยสูงขึ้นมา นอกจากนั้นก็ยังให้อัตราความเร็วของการสื่อสารที่เพิ่มสูงขึ้นจนสามารถรองรับกับการใช้งานในด้านต่างๆ ได้อย่างดี ไม่ว่าจะเป็นการใช้งานอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง การใช้งานวิดีโอและการใช้งานด้านความบันเทิงต่างๆ สำหรับการประยุกต์ใช้งานเครือข่ายไร้สายนับว่ามีอย่างหลากหลาย ซึ่งพอจะยกตัวอย่างได้ต่อไปนี้

ผู้ใช้งานตามบ้านเรือนที่หักสามารถนำระบบเครือข่ายไร้สายมาใช้งานทั้งการแชร์ การใช้งานอินเทอร์เน็ตร่วมกับสมาชิกในครอบครัววิ่ง และรับชมสื่อบันเทิงบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านผลิตภัณฑ์ไร้สายแบบต่างๆ ได้จากทุกๆ ที่ภายในบริเวณบ้าน โดยไม่ต้องเดินสายนำสัญญาณให้ยากลำบาก

ผู้ใช้งานภายในองค์กรสามารถนำมาใช้เพื่อเพิ่มผลผลิตของการทำงานของพนักงาน ลดค่าใช้จ่ายของการวางสายนำสัญญาณลง ใช้ขยายขอบเขตการใช้งานเครือข่ายเดิมให้มีความยืดหยุ่น ในกิจการโรงแรมสามารถให้บริการแก่แขกผู้มาเข้าพักได้โดยสะดวก ร้านอาหารสามารถนำมาให้บริการกับลูกค้าที่เข้ามาสั่งอาหาร ผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเดินสายสัญญาณให้เข้าถึงจุดบริการต่างๆ มากขึ้นและสามารถให้บริการในจุดบริการที่สายสัญญาณไม่สามารถเข้าถึงได้เช่นกัน ผู้บริหารระบบเครือข่ายสามารถเฝ้าตรวจสอบระบบ และปรับเปลี่ยนแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดขึ้นกับระบบเครือข่ายจากจุดใดก็ได้ ทำให้สะดวกและรวดเร็วต่อการจัดการมากขึ้น

ผู้ใช้งานภายในสถานศึกษา สถานศึกษาสามารถใช้เครือข่ายไร้สายโดยให้นักศึกษาสามารถเข้าเรียนในแบบออนไลน์ได้ สามารถสืบค้นข้อมูลบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตจากจุดใดจุดหนึ่งของสถาบันได้ ช่วยให้นักศึกษาสามารถใช้งานได้สะดวกและรวดเร็วมมากขึ้น



รูปที่ 1.1 ส่วนประกอบหลักของระบบการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless Communication)

สายอากาศนับว่าเป็นองค์ประกอบสำคัญใช้ในการรับส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) ในการสื่อสารไร้สาย คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีข้อได้เปรียบในเรื่องการที่สามารถเดินทางได้แม้ว่าจะมีหรือไม่มีตัวกลาง และเดินทางในความเร็ว (free-space) สายอากาศมีหน้าที่รับส่งสัญญาณที่ถูกผสม (Modulation) ด้วยกรรมวิธีต่างๆ โดยส่วนมากจะเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้อยู่ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) โดยวิธีการเหนี่ยวนำกระแสกลายเป็นคลื่นวิทยุ (Radio Wave) ส่งผ่านตัวกลางสำหรับสายอากาศมี 2 ชนิดหลักๆ คือแบบ Omni-Direction Antenna โดยคุณสมบัติของเสาประเภทนี้ก็คือการรับและส่งสัญญาณในแบบรอบทิศทางในลักษณะเป็นวงกลม ทำให้การกระจายสัญญาณนั้นมีรัศมีโดยรอบ ครอบคลุมพื้นที่ แต่ถ้าต้องการใช้งานที่มีลักษณะรับส่งสัญญาณเป็นเส้นตรงเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการรับส่งและระยะทางตามต้องการ ใช้งานในพื้นที่ที่มีลักษณะยาวและแคบ เช่น รถไฟฟ้า ได้ดี ทางด่วน อุโมงค์ ทางเดินระหว่างตึก เป็นต้น ต้องใช้เสาอีกชนิดหนึ่ง คือ Direction Antenna ฉะนั้นการพัฒนาสายอากาศที่มีราคาถูกจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อที่จะสามารถประยุกต์ใช้งานตามลักษณะพื้นที่ได้ตามต้องการ ลักษณะของสายอากาศที่จะนำมาสร้างต้องพิจารณาส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้ เช่น ลักษณะการใช้งานย่านความถี่ที่ใช้งาน คุณภาพของสัญญาณที่ต้องการนำไปใช้งาน ทิศทางการแพร่กระจายไปของคลื่นตามแนวต่างๆ ที่ส่งระยะทางระหว่างตัวส่งและรับทิศทาง การรับคลื่นของสายอากาศรับตามแนวต่างๆ เป็นต้น สำหรับสายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบ WLAN ซึ่งทำการสร้างขึ้นมาเพื่อจะตรวจสอบดูว่า ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นที่ส่งออกไปทั้งระนาบสนามไฟฟ้า สนามแม่เหล็ก และลักษณะการรับคลื่นในทิศทางต่างๆ รวมทั้งค่าการชี้ทิศทาง (Directivity) อัตราค่าการขยาย (Gain) ลักษณะแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern) อัตราส่วนแกนหลักต่อแกนรอง (Axial Ratio) เพื่อตรวจสอบดูว่าสอดคล้องกับทฤษฎีที่ได้ศึกษามาเพื่อนำไปใช้สร้างสายอากาศ และสามารถพัฒนาสายอากาศให้มีคุณสมบัติเพื่อการตอบสนองความต้องการที่ติมามากยิ่งขึ้น

1.2 เนื้อหาของปริญญานิพนธ์

บทที่ 1 จะกล่าวถึงความเป็นมาและวัตถุประสงค์ ขอบเขตของปริญญานิพนธ์นี้ ซึ่งเป็นเนื้อหาโดยรวมที่ได้รวบรวมไว้ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

บทที่ 2 อธิบายทฤษฎีและหลักการของสายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบ WLAN ที่ป้อนสัญญาณด้วยวงแหวนวงกลมล้อมรอบโพรบไฟฟ้าเชิงเส้นซึ่งได้อธิบายถึงโครงสร้างของสายอากาศ โครงสร้างของตัวป้อนสัญญาณ โครงสร้างของตัวสะท้อนคลื่น ตลอดจนวิธีการหาสนามการแพร่กระจายคลื่นอีกด้วย

บทที่ 3 แสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ การคำนวณ และการออกแบบสายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบ WLAN ซึ่งอาศัยทฤษฎีที่ได้จากบทที่ 2 เป็นการแสดงกระบวนการที่สำคัญในการวิเคราะห์และออกแบบสายอากาศให้ได้ตามความต้องการ ได้ทำการวิเคราะห์หาขนาดความยาวของวงแหวนวงกลม และพิจารณาระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวป้อนสัญญาณแบบวงแหวนด้วยโปรแกรม CST (Computer Simulation Technology)

บทที่ 4 เป็นขั้นตอนการสร้าง การทดสอบและแสดงผลที่ได้จากการทดสอบเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์

บทที่ 5 เกี่ยวข้องกับมาตรฐาน IEEE 802.11, การประเมินประสิทธิภาพและผลการทดสอบ

บทที่ 6 สรุป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการ

2.1 บทนำ

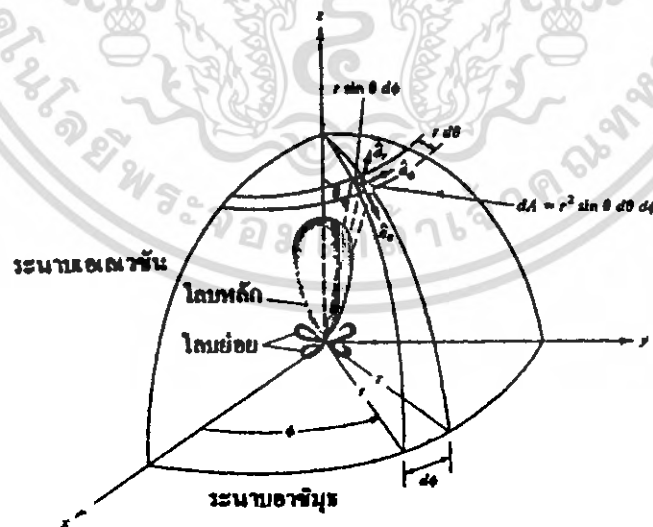
ในการที่จะวิเคราะห์สายอากาศนั้นจำเป็นจะต้องทราบทฤษฎี หลักการ และศัพท์ต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์สายอากาศ รวมทั้งความหมายของศัพท์ต่างๆ ซึ่งจะกล่าวในบทนี้

2.2 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่น (Radiation Pattern)

แบบรูปการแผ่กระจายคลื่น คือ รูปภาพที่ใช้เพื่อแสดงคุณสมบัติของการแผ่กระจายคลื่น ซึ่งเป็นฟังก์ชันของสเปซโคออดิเนต (Space Coordinate) ส่วนใหญ่แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นนี้มักจะคิดในบริเวณที่เป็นสนามระยะไกล (Far-Field)

การอธิบายคุณสมบัติของการแผ่กระจายคลื่น จะอาศัยคุณสมบัติต่างๆ ดังต่อไปนี้ คือ ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น (Radiation Intensity) ความเข้มของสนาม (Field Strength) เฟส (Phase) หรือโพลาไรเซชัน (Polarization) ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ใช้เพื่อแสดงการแจกแจงของพลังงานเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งสามมิติที่สังเกตที่มีรัศมีคงที่

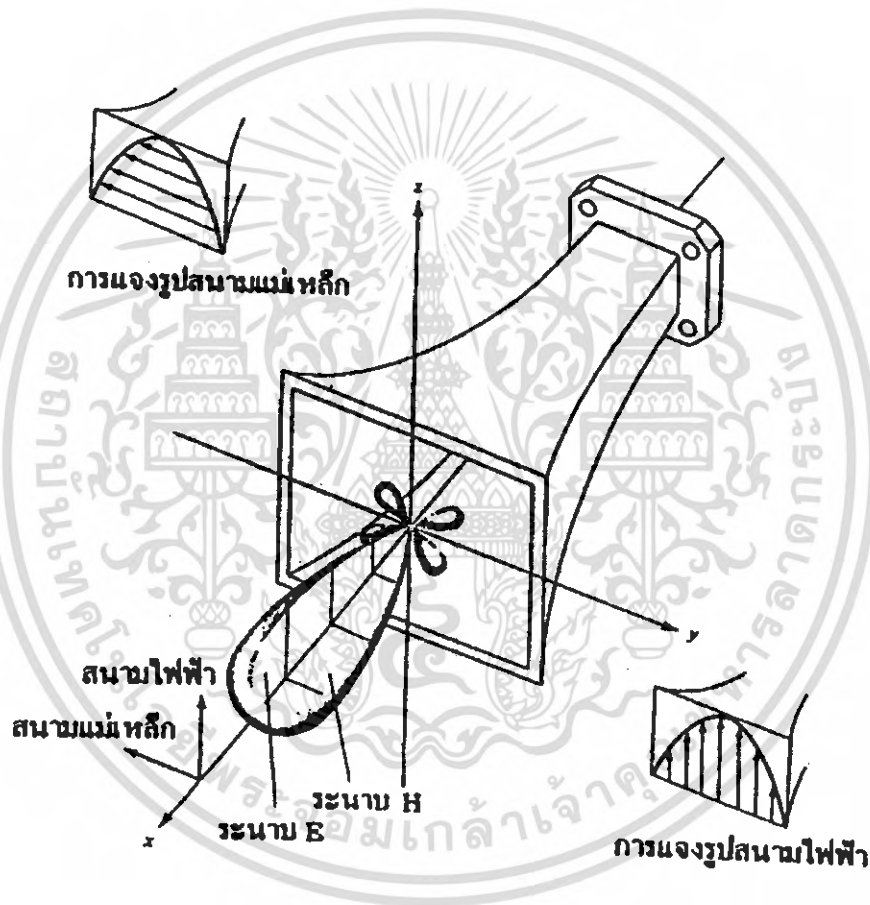
รูปที่ 2.1 แสดงระบบโคออดิเนตที่ใช้แสดงคุณสมบัติของการแผ่กระจายคลื่น เพื่อแสดงกำลังงานที่สายอากาศรับได้ตามแนวรัศมีที่มีค่าคงที่ มีชื่อเรียกว่า แบบรูปกำลังงาน (Power Pattern) ของสายอากาศ และกราฟที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าในทิศทางต่างๆ ที่มีรัศมีคงที่ มีชื่อเรียกว่า แบบรูปสนาม (Field Pattern) ของสายอากาศนั้น



รูปที่ 2.1 แสดงระบบ โคออดิเนตสำหรับการวิเคราะห์สายอากาศ

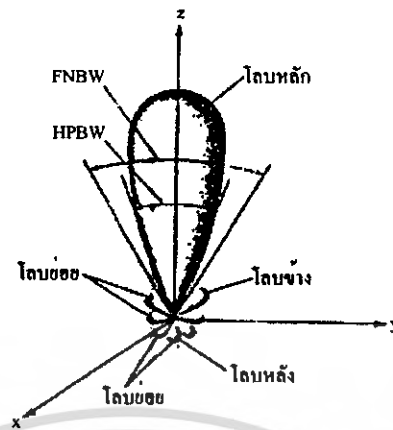
2.2.1 แบบรูปหลัก (Principal Pattern)

เรามักจะอธิบายคุณสมบัติของสายอากาศในเทอมของแบบรูปหลัก (Principal Pattern) ของสนามไฟฟ้า (E) และสนามแม่เหล็ก (H) สำหรับสายอากาศลิเนียร์โพลาไรเซชัน (Linearly Polarization) แบบรูปในระนาบสนามไฟฟ้า จะเป็นระนาบที่บรรจุแอมพลิจูดของสนามไฟฟ้า และทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นที่แรงที่สุด ส่วนแบบรูปในระนาบสนามแม่เหล็กจะเป็นระนาบที่บรรจุแอมพลิจูดของสนามแม่เหล็ก และทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นที่แรงที่สุด ตัวอย่างการแสดงผลแบบรูปหลักมีดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยมีระนาบ XZ (ระนาบเอเลเวชัน ; $\phi = 0$) เป็นระนาบสนามไฟฟ้าหลัก และมีระนาบ XY (ระนาบอาซิมุท ; $\theta = \frac{\pi}{2}$) เป็นระนาบสนามแม่เหล็กหลัก

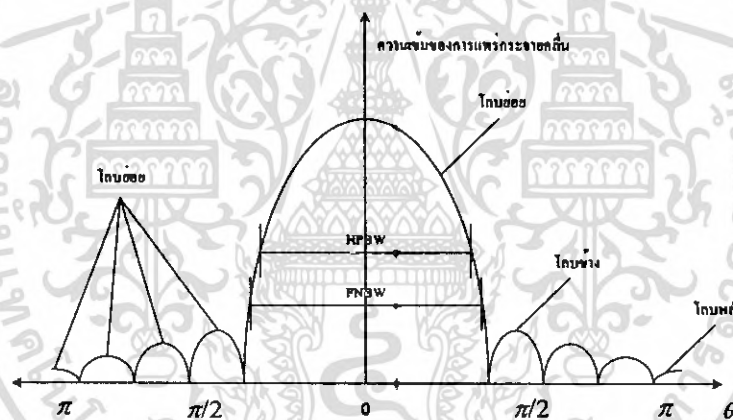


รูปที่ 2.2 แสดงแบบรูปหลัก ระนาบ E และ H ของสายอากาศปากแตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 โอบต่างๆ และมีมิติของแบบรูปสายอากาศ



รูปที่ 2.4 แบบรูปในแบบเชิงเส้น

2.2.2 โอบของการแผ่กระจายคลื่น (Radiation Lobe)

โอบของการแผ่กระจายคลื่น (Radiation Lobe) เป็นส่วนหนึ่งของแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นที่เกิดเป็นบริเวณ โดยการปิดล้อมของส่วนที่มีความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นต่ำ รูปที่ 2.3 แสดงแบบรูปแบบโพลาร์ (Polar Pattern) แบบสามมิติ ซึ่งแบ่งเป็นโอบต่างๆ ดังนี้

โอบหลัก (Major Lobe หรือ Main Lobe) เป็นโอบของการแผ่กระจายคลื่นซึ่งอยู่ในทิศทางที่มีการแผ่กระจายคลื่นแรงที่สุด ตามรูปที่ 2.4 มีโอบหลักอยู่ในทิศทาง $\theta = 0$ สำหรับสายอากาศบางชนิด อาจมีโอบหลักมากกว่าหนึ่งโอบ เช่น สายอากาศแยกบีม (Split Beam Antenna)

โลบย่อย (Minor Lobe) ได้แก่โลบอื่นๆ นอกเหนือไปจากโลบหลัก

โลบข้างหรือ ไซด์โลบ (Side Lobe) เป็นโลบย่อยที่อยู่ติดกับโลบหลัก และอยู่ในทิศทางบนครึ่งวงกลมซีกเดียวกับโลบหลัก

โลบหลัง (Back Lobe) เป็นโลบย่อยที่อยู่ในครึ่งวงกลมตรงข้ามกับโลบหลัก ปกติแล้วโลบย่อยจะเกิดจากการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่ไม่ต้องการ

ดังนั้นสำหรับสายอากาศที่ดีจะต้องกำจัดโลบเหล่านี้ให้น้อยที่สุด ระดับของโลบย่อยมักแสดงเป็นอัตราส่วนของความหนาแน่นของพลังงานในโลบที่กำลังคิดต่อความหนาแน่นของพลังงานในโลบหลัก ซึ่งเรียกว่า อัตราส่วนของไซด์โลบ (Side Lobe Ratio) หรือระดับของไซด์โลบ (Side Lobe Level : SLL) ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปนั้นมักจะต้องการให้ระดับของไซด์โลบน้อยกว่า -20 dB

2.2.3 ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังงานลดลงครึ่งหนึ่ง (Half Power Beamwidth : HPBW)

คือมุมที่วัดระหว่างจุดที่ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในลำคลื่นหลัก มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุด โดยจะวัดในหน่วยองศา

2.2.4 ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังงานเป็นศูนย์ครั้งแรก (First Null Beamwidth : FNBW)

คือมุมที่วัดระหว่างจุดที่ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในลำคลื่นหลัก มีค่าลดลงเป็นศูนย์ โดยจะวัดในหน่วยองศา

2.2.5 อัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้าง (Side Lobe Ratio : SLR)

คือ อัตราส่วนของลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้าง

$$SLR = \text{Main lobe level (dB)} - \text{Side lobe level (dB)} \quad (2.1)$$

2.3 ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Intensity)

คำจำกัดความของคำว่าความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่กำหนดให้คือ กำลังงานที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศต่อหน่วยมุมตัน ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอย่างหนึ่งในการแสดงคุณสมบัติของสายอากาศ เกี่ยวกับสนามระยะไกล ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น สามารถหาได้จากผลคูณของความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่น และผลจากการกำลังสองของระยะทาง ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ คือ

$$U = r^2 W_{rad} \quad (2.2)$$

เมื่อ U = ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น ($W / \text{หน่วยมุมตัน}$)
 W_{rad} = ความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่น (W / m^2)

ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น ถ้าจะเขียนแสดงความสัมพันธ์กับสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระยะไกลได้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$U(\theta, \phi) = \frac{r^2}{2 \cdot \eta} \cdot \left[|E_\theta(\theta, \phi)|^2 + |E_\phi(\theta, \phi)|^2 \right] \quad (2.3)$$

เมื่อ E_θ, E_ϕ = ส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระยะไกล
 N = อินทรีนสิกอิมพีแดนซ์ (Intrinsic Impedance) ของตัวกลาง

ดังนั้นแบบรูปของกำลังงานก็ใช้เพื่อแสดงถึง ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นได้เช่นกัน กำลังงานทั้งหมดนี้ หาได้โดยอินทิเกรตความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นตาม (2.2) และ (2.3) ตลอดมุมตัน 4π ทั้งหมดซึ่งจะได้

$$P_{rad} = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi U \sin \theta d\theta d\phi \quad (2.4)$$

2.4 ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity)

ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง คือ อัตราส่วนระหว่างความเข้มการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในทิศทางต่างๆ เทียบกับสายอากาศไอโซทรอปิก ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$D_0 = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}} \quad (2.5)$$

เมื่อ U_{max} = ค่าสูงสุดของความเข้มการแพร่กระจายคลื่น
 P_{rad} = กำลังงานที่แพร่กระจายทั้งหมด

2.5 ประสิทธิภาพของสายอากาศ

ประสิทธิภาพทั้งหมดของสายอากาศ e_t จะใช้เมื่อเรากำลังพิจารณาการสูญเสียต่างๆ ที่ขั้วและภายในโครงสร้างของสายอากาศด้วย

$$e_t = e_r e_c e_d \quad (2.6)$$

เมื่อ e_t = ประสิทธิภาพทั้งหมด (ไม่มีหน่วย)
 e_r = ประสิทธิภาพเกี่ยวกับการสะท้อนกลับ = $(1 - |\Gamma|^2)$ (ไม่มีหน่วย)
 e_c = ประสิทธิภาพของตัวนำ (ไม่มีหน่วย)
 e_d = ประสิทธิภาพของฉนวน (ไม่มีหน่วย)
 Γ = สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของศักดาไฟฟ้าที่ขั้วของสายอากาศ
 $\Gamma = (Z_{in} - Z_0) / (Z_{in} + Z_0)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ Z_{in} = อินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ
 Z_0 = อิมพีแดนซ์คุณสมบัติของสายส่ง

2.6 อัตราขยาย (Gain)

คือ ความสัมพันธ์ที่ได้มาจากค่าสภาพเจาะจงทิศทาง โดยคุณสมบัติประสิทธิภาพของสายอากาศเข้ามาด้วย ประสิทธิภาพของสายอากาศจะประกอบไปด้วย ประสิทธิภาพเกี่ยวกับการสะท้อนกลับ ประสิทธิภาพของตัวนำ และประสิทธิภาพของฉนวน

$$G_0 = e_r D_0 \quad (2.7)$$

ในทางปฏิบัติเมื่อกล่าวถึงอัตราขยายมักจะหมายถึง เพาเวอร์ของอัตราขยายสูงสุดดังแสดงใน (2.7)

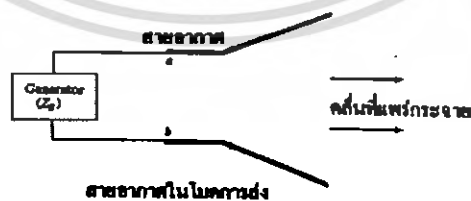
$$G_0 (dBi) = 10 \log_{10} [e_r D_0] \quad (2.8)$$

2.7 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ

อินพุตอิมพีแดนซ์ (Input Impedance) ของสายอากาศใดๆ จะเป็นอิมพีแดนซ์ที่ขั้วสายอากาศนั้นๆ อาจเป็นอัตราส่วนของศักดาไฟฟ้าต่อกระแสไฟฟ้าที่ขั้วของสายอากาศนั้น หรือเป็นอัตราส่วนสนามไฟฟ้าต่อสนามแม่เหล็กที่จุดใดๆ ในรูปที่ 2.5 เป็นขั้วของสายอากาศ อัตราส่วนของศักดาไฟฟ้าต่อกระแสไฟฟ้าที่ขั้วนี้เมื่อไม่ได้ต่อโหลดจะเป็นอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ ซึ่งมีค่า

$$Z_A = R_A + jX_A \quad (2.9)$$

เมื่อ Z_A = อิมพีแดนซ์ที่ขั้ว a-b ของสายอากาศ (Ω)
 R_A = ความต้านทานที่ขั้ว a-b ของสายอากาศ (Ω)
 X_A = รีแอกแตนซ์ที่ขั้ว a-b ของสายอากาศ (Ω)



รูปที่ 2.5 สายอากาศในโหมดการส่ง

โดยทั่วไปค่าความต้านทานใน (2.9) จะถูกแบ่งออกเป็น สองส่วน ดังนี้คือ

$$R_A = R_r + R_L \quad (2.10)$$

เมื่อ R_r = ความต้านทานการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ
 R_L = ความต้านทานการสูญเสียของสายอากาศ

2.8 อัตราส่วนคลื่นนิ่ง

อัตราส่วนคลื่นนิ่งเป็นอัตราส่วนของค่าแรงดันสูงสุด V_{\max} ของคลื่นนิ่ง ที่ได้มาจากการบวกกันของคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนกลับที่มีเฟสตรงกันต่อค่าแรงดันต่ำสุด V_{\min} ของคลื่นนิ่ง ที่ได้มาจากการบวกกันของคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนกลับที่มีเฟสตรงข้ามกัน

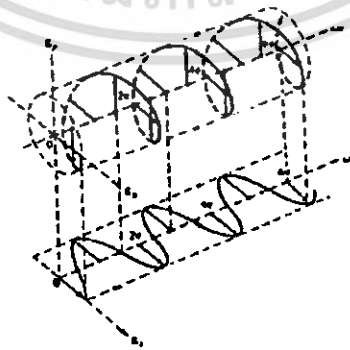
$$VSWR = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} \quad (2.11)$$

อัตราส่วนคลื่นนิ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์การสะท้อนได้ดังนี้

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2.12)$$

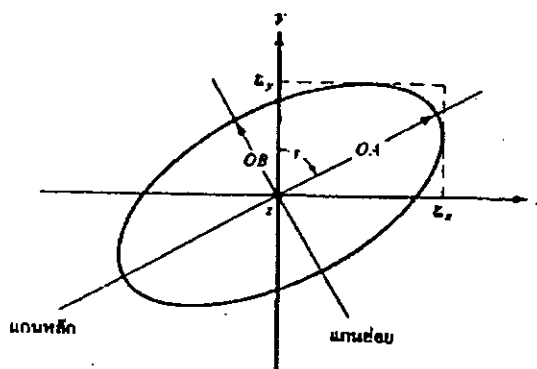
(เมื่อ Γ = สัมประสิทธิ์การสะท้อน = $\frac{V_r}{V_i}$ [V_r = คลื่นสะท้อนกลับ, V_i = คลื่นตกกระทบ])

2.9 โพลาริเซชัน



(ก) การหมุนของคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) วงรีโพลาไรเซชัน

รูปที่ 2.6 การหมุนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าระนาบ และวงรีโพลาไรเซชันที่เป็นฟังก์ชันของเวลาในระนาบ $z = 0$

ก่อนที่จะกล่าวถึงความหมายของโพลาไรเซชัน (Polarization) ของสายอากาศ จะกล่าวถึงความหมายของโพลาไรเซชันของคลื่นเสียก่อน

โพลาไรเซชันของคลื่นที่แพร่กระจายนั้น เป็นรูปแสดงคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายออกไป ที่อธิบายทิศทางและขนาดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าซึ่งแปรผันตามเวลา รูปแสดงโพลาไรเซชันจะแสดงการกวาดของยอดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ ณ ตำแหน่งที่ทำการสังเกตซึ่งคงที่ และการสังเกตนี้จะทำโดยมองตามหลังคลื่นที่เดินทางไป ดูรูปที่ 2.6 ประกอบ

สำหรับโพลาไรเซชันของสายอากาศในทิศทางหนึ่งทิศทางใด จะเป็นโพลาไรเซชันของคลื่นที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศนั้น (เมื่อเป็นสายอากาศส่ง) หรือเป็นโพลาไรเซชันของคลื่นที่มาตกกระทบสายอากาศนั้น จากทิศทางที่กำหนดให้ ซึ่งเมื่อสายอากาศรับคลื่นแล้วจะมีกำลังงานที่เข้าของสายอากาศมากที่สุด ถ้าไม่ได้กำหนดทิศทางมาที่จะหมายถึงทิศทางที่สายอากาศมีเกนมากที่สุด ดังนั้นโพลาไรเซชันของสายอากาศในทิศทางที่ต่างกันจะแตกต่างกัน

การแบ่งชนิดของโพลาไรเซชัน อาจแบ่งเป็นแบบลิเนียร์โพลาไรเซชัน (Linearly Polarization) โพลาไรเซชันแบบวงกลม (Circularly Polarization) และโพลาไรเซชันแบบวงรี (Elliptically Polarization) ขึ้นอยู่กับลักษณะของการหมุนของยอดของเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้า ถ้าเวกเตอร์ที่แสดงสนามไฟฟ้าที่แปรผันกับเวลา ณ จุดใดๆ ในสเปซซึ่งเป็นเส้นตรงเสมอ จะเรียกว่าเป็นโพลาไรเซชันแบบเส้นตรง หรือลิเนียร์โพลาไรเซชัน แต่ถ้าสนามไฟฟ้ามีการหมุนรูปวงรี จะเรียกว่าสนามแบบนั้นว่าเป็นโพลาไรเซชันแบบวงรี ทั้งลิเนียร์โพลาไรเซชันและโพลาไรเซชันแบบวงกลมต่างก็เป็นกรณีพิเศษของโพลาไรเซชันแบบวงรี

ถ้าสนามไฟฟ้าหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา (คือเมื่อมองตามหลังคลื่นแล้วจะเห็นมีการหมุนตามเข็มนาฬิกา) จะเรียกว่าเป็นโพลาไรเซชันมือขวา ในขณะที่หากสนามไฟฟ้าหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาจะเป็นโพลาไรเซชันมือซ้าย

2.9.1 ลิเนียร์โพลาไรเซชัน, โพลาไรเซชันแบบวงกลม และโพลาไรเซชันแบบวงรี

จะเขียนสนามชั่วขณะเวลานั้นของคลื่นระนาบ ที่เดินทางในทิศทาง $-z$ ได้ว่า

$$\dot{E}(z;t) = \hat{a}_x \dot{E}_x(z;t) + \hat{a}_y \dot{E}_y(z;t) \quad (2.13)$$

จาก $\dot{E}(x, y, z; t) = \text{Re} [E(x, y, z) e^{j\omega t}]$

ส่วนประกอบของสนามชั่วขณะเวลานั้น สัมพันธ์กับค่าเชิงซ้อนของสนามนั้นดังนี้

$$\begin{aligned} \dot{E}_x(z;t) &= \text{Re} [E_x^- e^{j(\omega t + kz)}] = \text{Re} [E_x e^{j(\omega t + kz + \phi_x)}] \\ &= E_x \cos(\omega t + kz + \phi_x) \end{aligned} \quad (2.14)$$

$$\begin{aligned} \dot{E}_y(z;t) &= \text{Re} [E_y^- e^{j(\omega t + kz)}] = \text{Re} [E_y e^{j(\omega t + kz + \phi_y)}] \\ &= E_y \cos(\omega t + kz + \phi_y) \end{aligned} \quad (2.15)$$

เมื่อ E_x และ E_y เป็นขนาดของสนามค่าสูงสุด ในทิศทาง x และ y ตามลำดับ

2.9.1.1 ลิเนียร์โพลาไรเซชัน

คลื่นซึ่งเป็นลิเนียร์โพลาไรเซชัน ความต่างเฟสระหว่างส่วนประกอบทั้งสองของสนาม จะมีค่าดังนี้

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = n\pi \quad ; \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (2.16)$$

2.9.1.2 โพลาไรเซชันแบบวงกลม

จะเกิดโพลาไรเซชันแบบวงกลมได้ก็ต่อเมื่อขนาดของส่วนประกอบของสนามทั้งสองมีค่าเท่ากันและความต่างเฟสระหว่างส่วนประกอบทั้งสองเป็นจำนวนคี่เท่าของ $\pi/2$ นั่นคือ

$$\begin{aligned} |\dot{E}_x| &= |\dot{E}_y| \Rightarrow E_x = E_y \\ \Delta\phi &= \phi_y - \phi_x \end{aligned} \quad (2.17)$$

$$= +\left(\frac{1}{2} + 2n\right)\pi, n = 0, 1, 2, \dots \quad \text{for CW} \quad (2.18)$$

$$\text{กับ} \quad = -\left(\frac{1}{2} + 2n\right)\pi, n = 0, 1, 2, \dots \quad \text{for CCW} \quad (2.19)$$

ถ้าคลื่นเดินทางในทิศทางตรงกันข้าม (คือทิศทาง +z) เฟสใน (2.19) และ (2.20) ที่ทำให้เกิด CW (Clockwise) และ CCW (Counter Clockwise) จะต้องสลับกัน

2.9.1.3 โพลาริเซชันแบบวงรี

โพลาริเซชันแบบวงรีจะเกิดขึ้นเมื่อ ความต่างเฟสเป็นจำนวนคี่ของ $\pi/2$ แต่ขนาดของสนามไฟฟ้าไม่เท่ากัน หรือความต่างเฟสไม่เป็นจำนวนคี่ของ $\pi/2$ นั่นคือ

$$|\dot{E}_x| \neq |\dot{E}_y| \Rightarrow E_x \neq E_y$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ} \quad \Delta\phi &= \phi_y - \phi_x \\ &= +\left(\frac{1}{2} + 2n\right)\pi, n = 0, 1, 2, \dots \quad \text{for CW} \end{aligned} \quad (2.20)$$

$$\text{กับ} \quad = -\left(\frac{1}{2} + 2n\right)\pi, n = 0, 1, 2, \dots \quad \text{for CCW} \quad (2.21)$$

$$\begin{aligned} \text{หรือ} \quad \Delta\phi &= \phi_y - \phi_x \neq \pm \frac{n}{2}\pi \\ &\Rightarrow 0, n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad \text{for CW} \end{aligned} \quad (2.22)$$

$$\text{กับ} \quad = < 0, n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad \text{for CCW} \quad (2.23)$$

ในกรณีของโพลาริเซชันแบบวงรี รูปแสดงการกวาดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งใดๆ จะเป็นวงรีเอียง ดังแสดงในรูปที่ 2.5 (ข) อัตราส่วนของแกนหลักต่อแกนย่อย จะเรียกว่าเป็นอัตราส่วนของแกน (Axial Ratio : AR) ซึ่งมีค่าดังต่อไปนี้

$$AR = \frac{\text{major axis}}{\text{minor axis}} = \frac{OA}{OB}, 1 \leq AR \leq \infty \quad (2.24)$$

$$OA = \left[\frac{1}{2} \{ E_x^2 + E_y^2 + [E_x^4 + E_y^4 + 2E_x^2 E_y^2 \cos(2\Delta\phi)]^{1/2} \} \right]^{1/2} \quad (2.25)$$

$$OB = \left[\frac{1}{2} \{ E_x^2 + E_y^2 - [E_x^4 + E_y^4 + 2E_x^2 E_y^2 \cos(2\Delta\phi)]^{1/2} \} \right]^{1/2} \quad (2.26)$$

การเอียงของวงรีเทียบกับแกน y สามารถแสดงด้วยมุมเอียง ดังนี้ คือ

$$\tau = \frac{\pi}{2} - \frac{1}{2} \tan^{-1} \left[\frac{2E_x E_y}{E_x^2 - E_y^2} \cos(\Delta\phi) \right] \quad (2.27)$$

เมื่อวงรีวางตามแนวแกนหลัก [$\tau = n\pi/2, n = 0, 1, 2, \dots$] แกนหลัก เท่ากับ E_x (E_y) หรือ E_y (E_x) และอัตราส่วนของแกนมีค่าเท่ากับ E_x/E_y หรือ E_y/E_x

2.9.2 โพลาริเซชันลอสแฟกเตอร์

โดยทั่วไปแล้วโพลาริเซชันของสายอากาศอาจไม่เหมือนกับ โพลาริเซชันของคลื่นที่เดินทางมายังสายอากาศ ซึ่งเรียกว่าเกิดโพลาริเซชันมismatch (Polarization Mismatch) ทำให้สายอากาศไม่สามารถดึงเอากำลังงานออกมาจากคลื่นได้สูงสุด เนื่องจากเกิดการสูญเสียจากโพลาริเซชัน (Polarization Loss) สมมติว่าสนามไฟฟ้าของคลื่นที่เดินทางเข้ามายังสายอากาศเขียนได้ดังนี้

$$\vec{E}_i = \rho_w \vec{E}_i \quad (2.28)$$

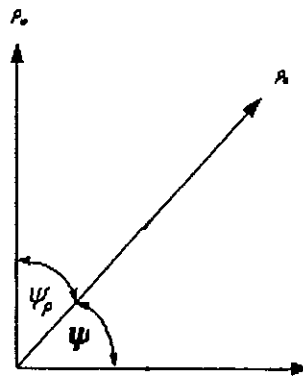
เมื่อ ρ_w เป็นหน่วยเวกเตอร์ของคลื่น และโพลาริเซชันของสนามไฟฟ้าของสายอากาศรับมีค่าดังนี้ คือ

$$\vec{E}_a = \rho_a \vec{E}_a \quad (2.29)$$

เมื่อ ρ_a เป็นหน่วยเวกเตอร์ของสายอากาศ จะกำหนดให้โพลาริเซชันลอสแฟกเตอร์ (Polarization Loss Factor : PLF) มีค่าดังนี้

$$PLF = |\rho_w \cdot \rho_a|^2 = |\cos\psi_p|^2 \quad (\text{ไม่มีหน่วย}) \quad (2.30)$$

เมื่อ ψ_p เป็นมุมระหว่างหน่วยเวกเตอร์ทั้งสอง ดังแสดงในรูป 2.7



รูปที่ 2.7 หน่วยเวกเตอร์โพลาริเซชันของคลื่น และของสายอากาศ

ถ้าเกิดโพลาริเซชันแมทซ์ ค่า PLF จะเป็นหนึ่งและสายอากาศจะรับกำลังงานได้มากที่สุด

2.10 ท่อนำคลื่นแบบกลม (Circular Waveguide)

ท่อนำคลื่นแบบกลมเป็นท่อนำคลื่นอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กัน ท่อนำคลื่นนั้นจะใช้เป็นรูปทรงลักษณะใดก็ได้ แต่ที่เลือกใช้เป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือกลม เพราะการคำนวณวิเคราะห์เกี่ยวกับโหมดการส่งคลื่นและรูปแบบของสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กทำได้ง่ายกว่าท่อนำคลื่นรูปทรงอื่นจึงไม่นิยมกัน

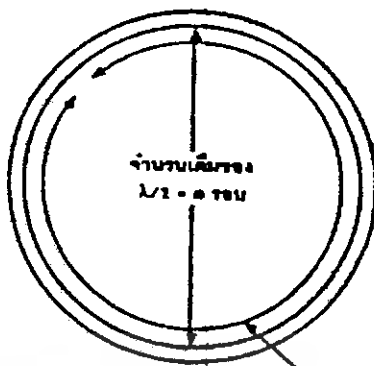
2.10.1 รูปแบบของคลื่นที่ส่งในท่อนำคลื่นแบบกลม

เนื่องจากท่อนำคลื่นเป็นรูปแบบทรงกลม จึงทำให้มีความสลับซับซ้อนมากยิ่งขึ้นในการวิเคราะห์คำนวณ แก้ปัญหาต่างๆ จึงต้องใช้เบสเซลฟังก์ชัน (Bessel Function) มาช่วยคำนวณแทนที่จะใช้ฟังก์ชันตรีโกณมิติธรรมดาที่ใช้กัน การคำนวณทางคณิตศาสตร์ในการหาสูตรหารูปแบบสนาม E และ H ในท่อนำคลื่นต่างๆ เหล่านี้เป็นเรื่องยุ่งยากอยู่ จะนำสูตรหรือผลจากการวิเคราะห์มาใช้งานเลย

โหมดการส่งคลื่นในท่อนำคลื่นแบบวงกลม จะเหมือนกับโหมดของท่อนำคลื่นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า เจอนไขขอบเขตที่รอยต่อก็เหมือนกันสามารถนำมาใช้ได้โหมดการส่งคลื่นที่ใช้ก็มีโหมด TE_{mn} และ TM_{mn} โดยที่ m จะแสดงถึงจำนวนเต็มของความยาวคลื่นรอบท่อนำคลื่นแบบกลม (เวกเตอร์ย่อยในแนวรัศมีของสนามไฟฟ้า) n จะแสดงถึง จำนวนเท่าของครึ่งความยาวคลื่นที่เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนำคลื่นแบบกลม

m = จำนวนเต็มของความยาวคลื่นรอบด้านในของท่อนำคลื่นแบบกลม

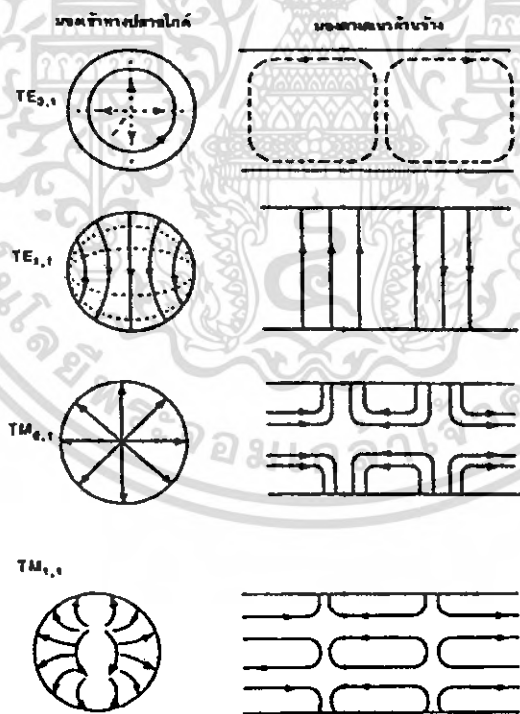
n = จำนวนเต็มของครึ่งความยาวคลื่นบนเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนำคลื่นแบบกลม



จำนวนเต็มของ $\lambda = ๓$ รอบ

รูปที่ 2.8 ความหมายของ m และ n ในท่อนำคลื่นแบบกลม

ความสัมพันธ์ของ m และ n แสดงไว้ในภาคตัดขวางของท่อนำคลื่นแบบกลมดังรูปที่ 2.8 รูปแบบของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก (Electric and Magnetic Field Pattern) ที่ใช้งานกันในโหมด TE_{mn} และ TM_{mn} ของท่อนำคลื่นแบบกลมแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงโหมด TE และ TM ของท่อนำคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.2 ความยาวคลื่นคัทออฟสำหรับท่อนำคลื่นแบบกลม

ในท่อนำคลื่นแบบกลม ความถี่ต่ำสุดที่สามารถส่งผ่านท่อนำคลื่นได้ คือ โหมด TE_{11} ซึ่งถือว่าเป็นโหมดหลักในการส่งคลื่น (Principle Mode) โหมดหลัก TE_{11} ของท่อนำคลื่นแบบวงกลมเทียบได้กับโหมด TE_{01} ของท่อนำคลื่นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ถ้าเปรียบเทียบรูปแบบของสนาม (Field Pattern) จากโหมด TE_{01} กับโหมด TE_{11} ในรูปที่ 2.9 จะเห็นว่าไม่มีความคล้ายคลึงกันเลย แต่เมื่อท่อนำคลื่นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าถูกส่งด้วยคลื่นในโหมด และท่อนำคลื่นนี้นำไปต่อเข้ากับท่อนำคลื่นแบบกลมด้วยการเชื่อมต่อที่ดีไม่เกิดการมิสมแมทซ์คลื่นที่ผ่านเข้าไปในท่อนำคลื่นแบบกลมจะได้เป็น mode TE_{11} เนื่องจากทั้งคู่เป็นโหมดหลักนั่นเอง

การหาความยาวคลื่นคัทออฟของท่อนำคลื่นแบบกลม โดยต้องใช้ค่ารากของเบสเซลฟังก์ชัน (Roots of Bessel Functions) ซึ่งที่ความยาวคลื่นคัทออฟของโหมด TE_{mn} มีค่าเท่ากับ

$$\lambda_{cutoff} = \frac{2\pi r}{u_{mn}} \tag{2.31}$$

โดยที่ λ_{cutoff} = ค่าความยาวคลื่นที่ยาวที่สุดในท่อนำคลื่นในโหมดที่กำหนด (cm)
 r = รัศมีด้านในของท่อนำคลื่นแบบกลม
 u_{mn} = ค่ารากของสมการเบสเซล (มาจากตารางที่ 2.1 (ก))

ส่วนความยาวคลื่นคัทออฟของโหมด TM_{mn} มีค่าเท่ากับ

$$\lambda_{cutoff} = \frac{2\pi r}{u_{mn}} \tag{2.32}$$

โดยที่ λ_{cutoff} = ค่าความยาวคลื่นที่ยาวที่สุดในท่อนำคลื่นในโหมดที่กำหนด (cm)
 r = รัศมีด้านในของท่อนำคลื่นแบบกลม
 u_{mn} = ค่ารากของสมการเบสเซล (มาจากตารางที่ 2.1 (ข))

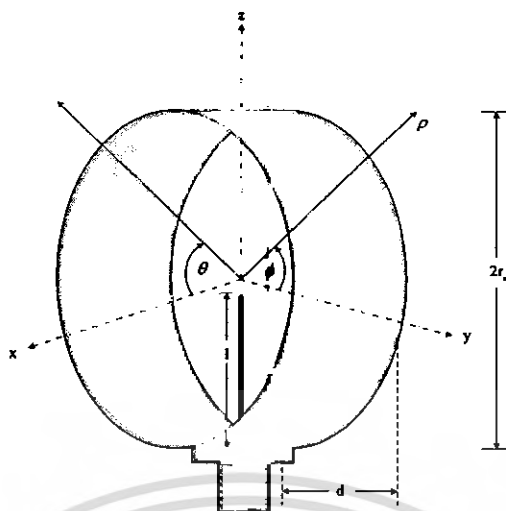
ตารางที่ 2.1 ค่ารากของเบสเซล

ค่ารากเบสเซลสำหรับ โหมด TE		
$u'_{01} = 3.8821$	$u'_{02} = 7.016$	
$u'_{11} = 1.841$	$u'_{12} = 5.332$	
$u'_{21} = 3.054$	$u'_{22} = 6.706$	
$u'_{31} = 4.201$	$u'_{32} = 8.031$	
(ก)		
ค่ารากเบสเซลสำหรับ โหมด TM		
$u_{01} = 2.405$	$u_{02} = 5.520$	$u_{03} = 8.654$
$u_{11} = 3.832$	$u_{12} = 7.016$	
$u_{22} = 5.136$		
(ข)		

จากตารางที่ 2.1 (ก) จะพบว่า u'_{mn} มีค่าน้อยที่สุดซึ่งนำไปแทนลงในสมการที่ 2.31 และทราบ ค่า r มากกว่าใช้ค่า u'_{mn} หมายความว่าต้องใช้ท่อนำคลื่นแบบกลมขนาดใหญ่ขึ้น ด้วยเหตุนี้ โหมด TE_{11} จึงถือว่าเป็นโหมดหลัก และเช่นเดียวกันในตารางที่ 2.1 (ข) โหมด TM_{01} จะเป็นโหมดหลักสำหรับคลื่น TM เนื่องจากท่อนำคลื่นแบบกลมนั้นจะมีความสมมาตรในทุกด้านทุกมุม การหมุนท่อนำคลื่นไปในลักษณะใดจึงไม่มีผลต่อการส่งคลื่น ผิดกับท่อนำคลื่นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งเมื่อทำการหมุนจะเกิดเสียความสมมาตรและส่งผลกระทบต่อคลื่นที่ส่งผ่านท่อนำคลื่นด้วย

2.11 โครงสร้างของสายอากาศวงแหวนวงกลม

สายอากาศที่นำมาใช้จะประกอบด้วยโพรบไฟฟ้าเชิงเส้นด้วยความยาว l ที่ต่อกับสายนำสัญญาณแบบแกนร่วมโดยผ่านตัวต่อแบบ N Type และถูกล้อมรอบด้วยวงแหวนที่มีโครงสร้างคล้ายรูปทรงกระบอกโดยมีรัศมีและความยาวของวงแหวนเป็น r_0 และ d ตามลำดับซึ่งโพรบจะวางตัวตามแนวแกน z ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 สายอากาศโพรบกระดุนวงแหวนวงกลม

ให้พิจารณาว่าวงแหวนเป็นส่วนหนึ่งของท่อนำคลื่นแบบทรงกระบอก ซึ่งมีสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระจายในทิศทาง x และ $-x$ และจะแพร่กระจายออกจากขอบของวงแหวนที่ช่องเปิดทั้ง 2 ด้าน สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ออกมาจากช่องเปิดทั้ง 2 ด้านนี้จะสอดคล้องกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ประกอบไปด้วยโหมดคลื่นต่างๆ มากมายที่อยู่ภายในท่อนำคลื่นทรงกระบอก ดังนั้น ความยาวของวงแหวนและรัศมีจึงถูกออกแบบให้มีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อที่จะทำให้โหมดอื่นๆ ถูกตัดออกไปให้เหลือเพียงโหมดคลื่นหลัก (dominant mode : TE_{11}) เพียงโหมดเดียว แต่อย่างไรก็ตามบริเวณที่ใกล้กับโพรบก็ยังคงมีโหมดคลื่นอื่นรวมอยู่ด้วย

โดยทั่วไปแล้ว โหมดคลื่นอื่นๆ ที่ไม่ใช่โหมดคลื่นหลักจะเป็นรูปแบบของคลื่นที่เรียกว่า คลื่นจางหายและโหมดคลื่นเหล่านี้จะมีขนาดลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อระยะทางที่คลื่นเดินทางออกจากโพรบมีค่ามากขึ้น ด้วยเหตุนี้จะต้องเลือกระยะทางที่ห่างจากโพรบที่ทำให้ขนาดของโหมดคลื่นอื่นๆ มีค่าน้อยมากจึงสามารถเพิกเฉยได้ เพื่อที่ว่าบริเวณขอบของวงแหวนที่ช่องเปิดทั้งสองด้านซึ่งเป็นจุดที่คลื่นจะเดินทางออกไปนั้นจะมีแต่รูปแบบเพียงรูปแบบเดียว ซึ่งก็คือการกำหนดค่าความยาวของวงแหวนนั่นเอง ส่วนการกำหนดค่ารัศมีจะต้องทำให้มีค่าความถี่คutoff ที่ต่ำที่สุด เพื่อให้มีเพียงโหมดคลื่นหลักแพร่กระจายออกจากช่องเปิดทั้ง 2 ด้านของวงแหวน และโหมดคลื่นอื่นๆ ที่อยู่ติดกับโหมดคลื่นหลัก คือ TE_{21} จะต้องถูกตัดออกไป

ดังนั้นค่ารัศมีของวงแหวนแบบวงกลมที่เหมาะสมสามารถแสดงได้ดังนี้

$$0.293\lambda < r_0 < 0.486\lambda \quad (2.33)$$

เมื่อ λ = ความยาวคลื่นที่ความถี่ที่ใช้งาน

ให้พิจารณารูปที่ 2.11 โพรบไฟฟ้าเชิงเส้นภายในวงแหวน จะขนานกับรัศมีของวงแหวน เป็นผลให้คลื่นที่ประกอบไปด้วยโหมดคลื่นต่างๆ (TE_{mn}) ถูกปล่อยออกมาในบริเวณใกล้เคียงกับโพรบ โดยคลื่นที่ออกมานั้นจะมีความซับซ้อนมาก นั่นหมายความว่า ความถี่ใช้งานค่าหนึ่งเป็นไปได้ว่าคลื่นจะประกอบไปด้วยโหมดคลื่นต่างๆ มากมาย แต่ที่มีความสำคัญต่อการเดินทางของคลื่นสำหรับสายอากาศที่ได้ออกแบบ คือ โหมดคลื่นของ TE_{11} , TE_{21} และ TE_{01}

ขณะที่คลื่นเดินทางออกจากช่องเปิดทั้ง 2 ด้านของวงแหวนแบบวงกลม คลื่นจะเกิดการลดทอนซึ่งค่าคงที่ของการลดทอนสำหรับโหมดคลื่นหลัก แสดงได้ดังนี้

$$\alpha_{11} = \frac{R_s}{r_a \eta} \frac{8.686}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_{c11}}\right)^2}} \left[\left(\frac{\lambda}{\lambda_{c11}}\right)^2 + 0.420 \right] \quad (\text{dB/m}) \quad (2.34)$$

เมื่อ λ_{c11} = ความยาวคลื่นคัตออฟ (cut off wavelength) ของโหมดคลื่นหลัก
ซึ่งมีค่าเท่ากับ $3.412r_a$
 r_a = รัศมีของวงแหวน
 η = ค่าอินทรีนสิกอิมพีแดนซ์ ของตัวกลาง
 R_s = ค่าความต้านทานคุณลักษณะอิสระไม่ขึ้นกับความถี่ของผนังโลหะ
(frequency – dependent characteristic resistance of metal walls)

โดยที่ $R_s = \sqrt{\frac{\omega\mu}{2\sigma}} \quad ; \mu = \mu_0\mu_r \quad (2.35)$

เมื่อ ω = ความถี่เชิงมุม (rad /sec) และ $\omega = 2\pi f$
 μ = ค่าความซึมซาบสภาพแม่เหล็ก (permeability) ของวัสดุ (H/m)
 μ_0 = ค่าความซึมซาบสภาพแม่เหล็กของสูญญากาศมีค่าเท่ากับ $4\pi \times 10^{-7}$ (H/m)
 μ_r = ค่าความซึมซาบสภาพแม่เหล็กสัมพัทธ์ของวัสดุ
 σ = ค่าความนำจำเพาะของวัสดุ (conductivity) (S/m)

ในส่วนของคลื่นจางหายนั้น จะมีค่าความยาวคลื่นในสูญญากาศ (free space) มีค่ามากกว่าค่าความยาวคลื่นคัตออฟของตัวเอง ซึ่งโหมดของคลื่นจางหายที่มีความสำคัญต่อการเดินทางของคลื่นสำหรับสายอากาศที่ได้ออกแบบไว้ ได้แก่ TE_{21} และ TE_{01} โดยค่าการลดทอนของคลื่นจางหายอันเนื่องมาจากระยะทางนั้นจะสอดคล้องกับปัจจัย (factor) ของ $e^{-\alpha x}$

ซึ่งค่าคงที่ของการลดทอนสำหรับโหมดคลื่นของ TE_{21} แสดงได้ดังนี้

$$\alpha_{21} = \frac{17.372\pi}{\lambda_{c21}} \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_{c21}}{\lambda}\right)^2} \quad (\text{dB/m}) \quad (2.36)$$

เมื่อ λ_{c21} = ค่าความยาวคลื่นตัดออฟ (cut off wavelength) ของโหมดคลื่น TE₂₁ ซึ่งมีค่าเท่ากับ $2.057r_a$

สำหรับรูปแบบคลื่น TE₀₁ แสดงได้ดังนี้

$$\alpha_{01} = \frac{17.372\pi}{\lambda_{c01}} \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_{c01}}{\lambda}\right)^2} \quad (\text{dB/m}) \quad (2.37)$$

เมื่อ λ_{c01} = ค่าความยาวคลื่นตัดออฟ (cut off wavelength) ของโหมดคลื่น TE₀₁ ซึ่งมีค่าเท่ากับ $1.6396r_a$

กำลังงานที่แพร่กระจาย (power flow) ในแต่ละ โหมดคลื่น (TE_{mn}) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$P = |A|^2 \omega \mu \beta r_a^4 A_{mn} \quad (2.38)$$

เมื่อ A_{mn} = ค่าสัมประสิทธิ์ของการลดทอนในแต่ละ โหมดคลื่น (TE_{mn})

β = ค่าคงที่เฟส (phase constant) (rad/m) ; $\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$

r_a = ค่ารัศมีของวงแหวน (m)

ω = ความถี่เชิงมุม (rad/sec) ; $\omega = 2\pi f$

μ = ค่าความซึมซับสภาพแม่เหล็ก ของวัสดุ (H/m) ; $\mu = \mu_0 \mu_r$

μ_0 = ค่าความซึมซับสภาพแม่เหล็กของสุญญากาศ มีค่าเท่ากับ $4\pi \times 10^{-7}$ (H/m)

μ_r = ค่าความซึมซับสภาพแม่เหล็กสัมพัทธ์ของวัสดุ

A = ค่าแอมพลิจูดของสัญญาณ โดยปกติจะนอร์มอลไรซ์ให้เท่ากับ 1

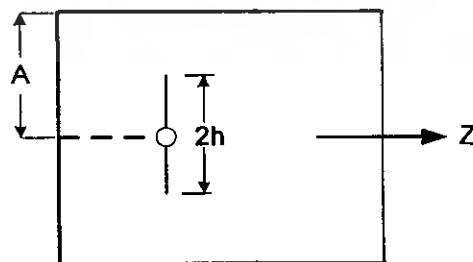
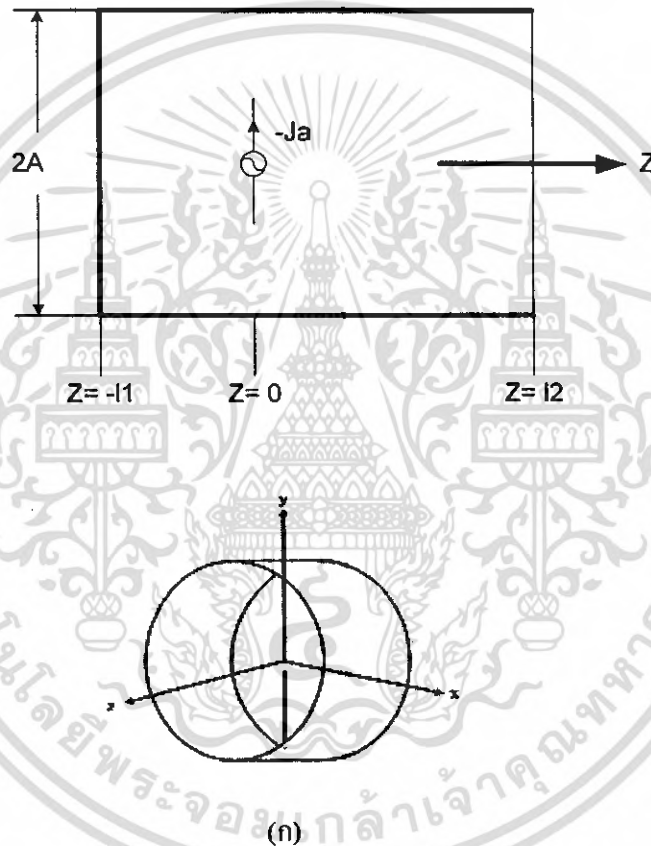
ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนในแต่ละ โหมดคลื่น (TE_{mn})

		$A_{mn} \times 10^{-3}$		
n \ m	m	0	1	2
1	1	17.4	55.3	11.4
2	2	2.07	3.19	1.56
3	3	0.349	0.794	0.492

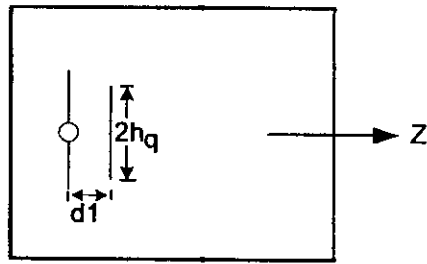
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 ตัวสะท้อนคลื่นแบบ cavity-backed antennas

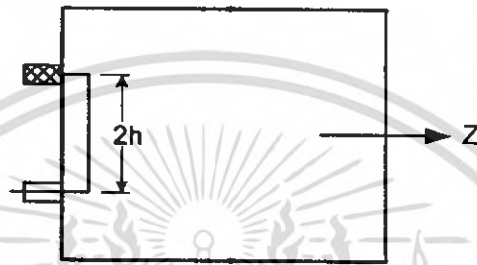
ตัวสะท้อนคลื่นแบบนี้มีคุณลักษณะที่ดีคือ มีคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นมีโลบหลัก (Main lobe) ที่ให้ค่าอัตราส่วนแกนหลักต่อแกนรองสมมาตร (Axial ratio) และจะมีโลบข้างน้อย (Low sidelobes) สมการการแพร่คลื่นของ open-cavity สามารถศึกษาได้จากทฤษฎีและการทดลองของ Hong, Nyquist และ Chen ในการพิจารณาสายอากาศจะประกอบด้วยส่วนประกอบอย่างง่าย ๆ open-ended circular cavity สำหรับการแพร่คลื่นเบื้องต้น ไม่ว่าจะเป็นสายอากาศไดโพลอาร์เรย์, สายส่งสัญญาณ และดูถูกพิจารณาในตำแหน่งที่เหมาะสมใน cavity รูปทรงเรขาคณิตการแพร่คลื่นของ open-ended circular cavity แบ่งได้ 4 ชนิดตามรูปที่ 2.11



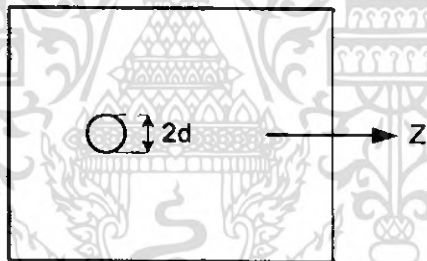
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 2.11 Open-cavity radiator : (ก) ลักษณะโครงสร้าง ; (ข) ใช้ไดโพลในการส่ง ; (ค) ใช้ไดโพลอาเรย์ในการส่ง ; (ง) ใช้สายส่งสัญญาณในการส่ง ; (จ) ใช้รูปรูปวงกลมในการส่ง

จะเห็นว่าสายอากาศสะท้อนคลื่นมีเส้นผ่าศูนย์กลางของ cavity $2A$ ($2\lambda_0$) และความยาว L ตำแหน่งของตัวไดโพลที่แพร์คลื่นแบบ short และ aperture ดังแสดงในรูปรูปที่ 2.11 โดยที่สนามภายใน cavity คือผลรวมฟูเรียร์ของ waveguide mode สำหรับการกระจายและการเชื่อมต่อที่ open-end ของ cavity จะไม่นำมาพิจารณา

สำหรับทฤษฎีการวิเคราะห์การแพร์คลื่นแบบ open-cavity, ท่อนำคลื่น จะทำการคำนวณค่าใน normal mode excited ใน cavity จากนั้นจะทำการคำนวณจากสนาม aperture เพื่อหาสนามการแพร์คลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนามการแพร่คลื่นรวม (E'_q) สร้างโดย $E_{\theta q}$ และ $H_{\phi q}$ จากสนาม aperture ในโหมด qth แทนด้วยสมการ

$$E'_q = \hat{\theta}E_{\theta q} + \hat{\phi}H_{\phi q} \quad (2.39)$$

ซึ่ง

$$E_{\theta q} = \frac{jk_0 \exp(-jk_0 r)}{4\pi r} C_q \left(1 + \frac{\zeta_0}{Z_q} \cos \theta \right) \cdot (\exp(-j\beta_q l_2) + \Gamma_{2q} \exp(j\beta_q l_2)) F_{\theta q} \quad (2.40)$$

และ

$$E_{\phi q} = \frac{jk_0 \exp(-jk_0 r)}{4\pi r} C_q \left(\frac{\zeta_0}{Z_q} + \cos \theta \right) \cdot (\exp(-j\beta_q l_2) + \Gamma_{2q} \exp(j\beta_q l_2)) F_{\phi q} \quad (2.41)$$

$$M_q = \frac{\int_V E_q - J_a dV}{2 \int_{cs} (e_q \times h_p) \cdot \hat{z} dS} \quad \text{และ} \quad N_q = \frac{\int_V E_q + J_a dV}{2 \int_{cs} (e_q \times h_p) \cdot \hat{z} dS}$$

ซึ่ง $\int_V dV$ คือการอินทิกรัลปริมาตรเปิด แหล่งจ่ายกระแส J_a และ $\int_{cs} dS$ คือการอินทิกรัลพื้นผิวบนหน้าตัดของ cavity

$$= \frac{n}{k_{cq} \beta_0 \sin \theta} J_n(k_{cq} A) \quad \text{สำหรับ TE mode} \quad (2.42)$$

$$= \frac{-A \beta_0 \sin \theta}{k_{cq}^2 - (\beta_0 \sin \theta)^2} J'_n(k_{cq} A) \quad \text{สำหรับ TM mode} \quad (2.43)$$

$$F_{\theta q} = j^{n-1} \frac{2\pi A k_{cq} \cos n\phi}{k_{cq}^2 - (\beta_0 \sin \theta)^2} J_n(k_{cq} A) J'_n(\beta_0 A \sin \theta) \quad \text{สำหรับ TE mode} \\ = 0 \quad \text{สำหรับ TM mode} \quad (2.44)$$

$$\Gamma_{1q} = -\exp[-j2\beta_q l_1] \quad (2.45)$$

$$\Gamma_{2q} = \frac{\zeta_0 - Z_q}{\zeta_0 + Z_q} \exp[-j2\beta_q l_2] \quad (2.46)$$

ซึ่ง ζ_0 และ Z_q คือค่าอิมพีแดนซ์ของคลื่นในสูญญากาศและ qth mode, ตามลำดับ

บทที่ 3

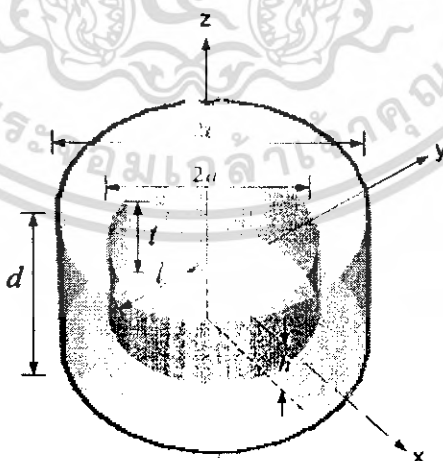
การวิเคราะห์ คำนวณ และการออกแบบ

3.1 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ที่จะนำไปใช้ในการออกแบบ

ในการวิเคราะห์รูปแบบของสายอากาศนั้นจะสนใจในส่วนของคุณสมบัติของตัวสะท้อนคลื่น ค่าความกว้าง ความสูง และความยาวของตัวป้อนสัญญาณวงแหวนแบบวงกลม โดยค่าดังกล่าวจะเป็นตัวกำหนดรูปแบบของคลื่นที่ออกมาจากสายอากาศ และค่าสภาพเจาะจงทิศทางของตัวสายอากาศ ซึ่งถือเป็นพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญมากที่จะต้องพิจารณาก่อนเป็นอันดับแรกสิ่งต่อไปนี้จะต้องพิจารณาคือ ความยาวของโพรบที่ใช้กับตัวสายอากาศ โดยจะเป็นตัวกำหนดค่าอิมพีแดนซ์ของตัวสายอากาศ (Impedance) ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Voltage Standing Wave Ratio) ค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ (Return loss) และค่าความกว้างของความถี่ที่ใช้งาน (Bandwidth) ของสายอากาศ การวิเคราะห์รูปแบบของสายอากาศที่จะนำไปใช้ในการออกแบบนั้นจะทำโดยโปรแกรม CST (Computer Simulation Technology) เพื่อช่วยในการพิจารณาคุณลักษณะต่างๆ ของสายอากาศ

3.1.1 โครงสร้างของสายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย ที่ป้อนด้วยวงแหวนวงกลม

โครงการนี้ได้นำเสนอสายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบ โครงข่ายท้องถิ่น ไร้สายโดยโครงสร้างของสายอากาศทิศทางเดียว จะมีจุดศูนย์กลางร่วมกันระหว่างวงแหวนวงกลมที่เป็นตัวป้อนสัญญาณด้วยโพรบไฟฟ้าเชิงเส้นและตัวสะท้อนคลื่น โครงสร้างของสายอากาศทิศทางเดียวมีโพรบไฟฟ้าเชิงเส้นยาว l วางตามแนวแกน Y มีระยะห่างจากตัวสะท้อนสูง h , วงแหวนวงกลมรัศมี a และมีความยาว c , ตัวสะท้อนคลื่นมีรัศมี b ความยาว d , สายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบโครงข่ายท้องถิ่น ไร้สายมีการแพร่กระจายคลื่นตามแนวแกน z ดังแสดงในรูปที่ 3.1



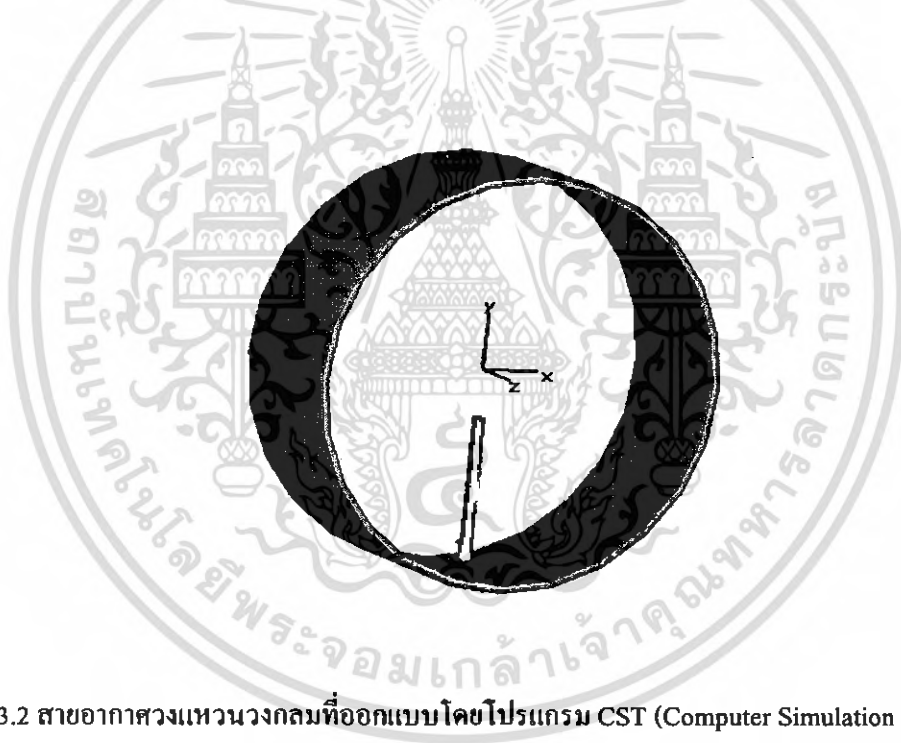
รูปที่ 3.1 โครงสร้างของสายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ป้อนด้วยวงแหวนวงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

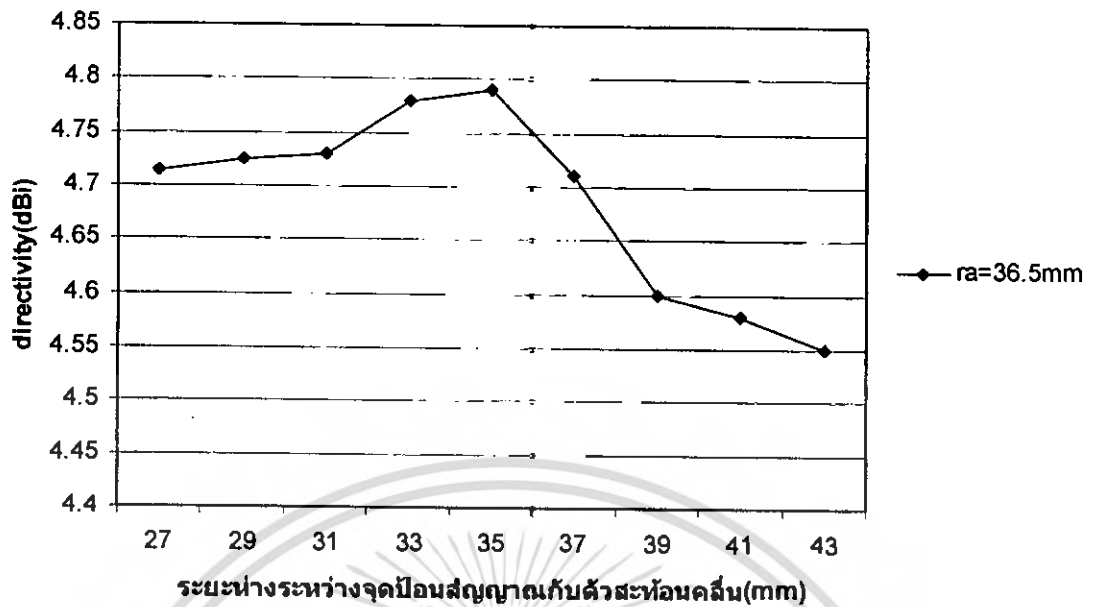
3.1.2 การออกแบบค่ารัศมีและความยาวของตัวสายอากาศวงแหวนแบบวงกลม

ในการพิจารณาถึงค่ารัศมีของสายอากาศวงแหวนแบบวงกลมนั้น จะพิจารณาถึงค่ารัศมีของตัวสายอากาศที่ทำให้คลื่นที่ออกจากตัวสายอากาศมีเพียงรูปแบบของคลื่นหลักเท่านั้น ในกรณีของสายอากาศวงแหวนแบบวงกลมมีรูปแบบของคลื่นหลักคือ TE_{11} จากบทที่ 2 ตามสมการที่ 2.33 จะได้ว่าค่ารัศมีที่เหมาะสมควรมีค่าอยู่ระหว่าง $0.293\lambda < r_0 < 0.486\lambda$ ซึ่งค่ารัศมีเหล่านี้ ก็จะเหมาะสมกับความยาวของวงแหวนที่ไม่เหมือนกัน โดยแต่ละค่ารัศมี จะมีค่าที่เหมาะสมกับค่าความยาวเพียงค่าเดียวเท่านั้น ที่จะทำให้ค่าสภาพเจาะจงทิศทางมีค่าสูงสุดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.3

จากรูปที่ 3.3 จะพบว่าที่ค่ารัศมี (r_0) เท่ากับ 36.5 mm. ค่าความยาวที่เหมาะสมที่สุดที่จะให้ค่าสภาพเจาะจงทิศทางมีค่าสูงสุด และทำให้คลื่นที่ออกจากสายอากาศเป็นรูปแบบคลื่นหลัก TE_{11} นั้นมีค่าเท่ากับ 35 mm. ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อเรารู้ค่ารัศมีก็จะหาค่าความยาวที่เหมาะสมที่สุด ที่จะให้ค่าสภาพเจาะจงทิศทางมีค่าสูงสุดได้ ส่วนการออกแบบที่ค่าอื่นๆ นอกเหนือจากนี้ก็สามารถทำได้เช่นเดียวกัน เช่น ถ้าเรารู้ค่ารัศมีและค่าสภาพเจาะจงทิศทางที่ต้องการก็สามารถหาค่าความยาวที่เหมาะสมได้

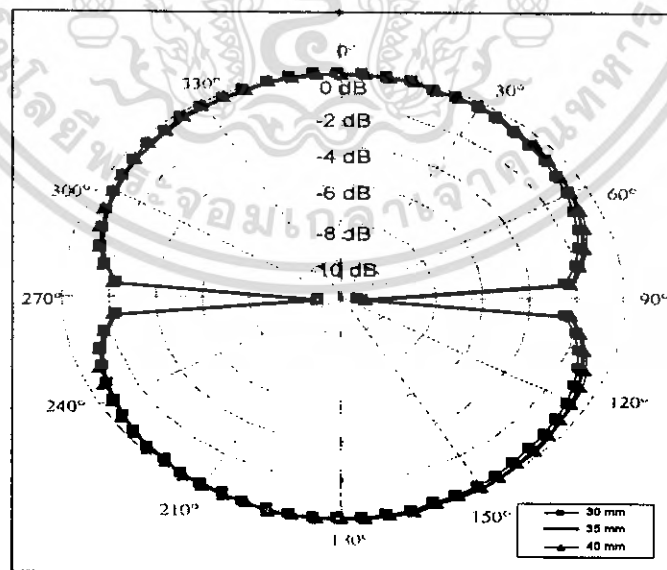


รูปที่ 3.2 สายอากาศวงแหวนวงกลมที่ออกแบบโดยโปรแกรม CST (Computer Simulation Technology)



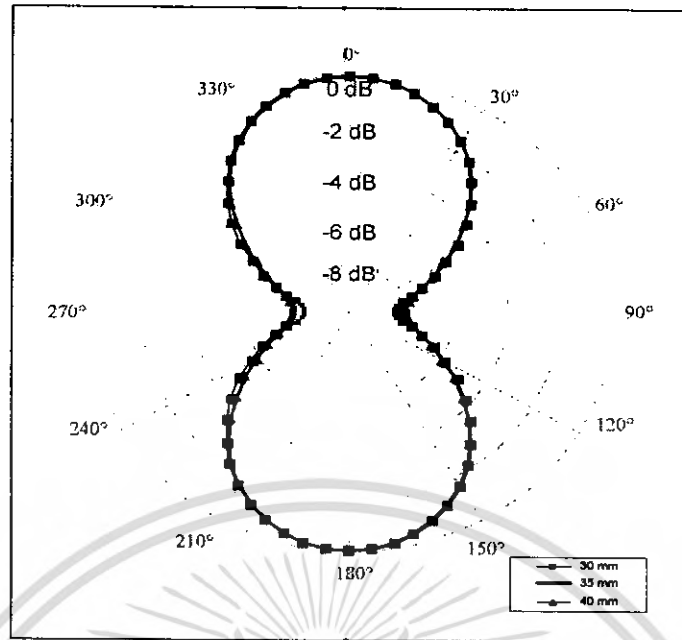
รูปที่ 3.3 ค่าสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนรัศมี 36.5 mm.

จากนั้นทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความยาวของวงแหวนต่างๆ กัน ซึ่งพบว่าเมื่อความยาวของวงแหวนมีค่ามากกว่าค่าที่ทำกรออกแบบไว้ค่าคลื่นจะมีขนาดใหญ่กว่า และเมื่อความยาวของวงแหวนน้อยกว่าค่าที่ออกแบบไว้ค่าคลื่นจะมีขนาดเล็กใกล้เคียงกัน สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.4



(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

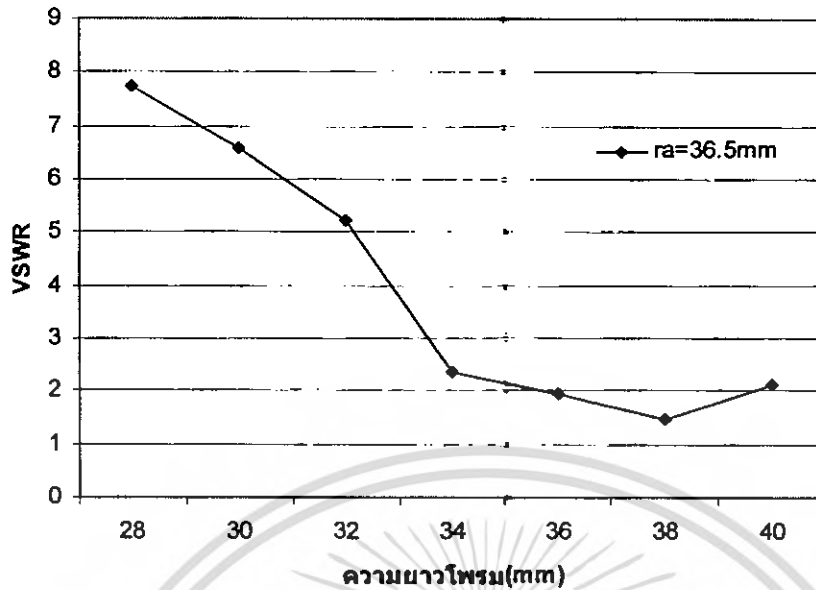
รูปที่ 3.4 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของวงแหวนวงกลมที่มีความยาวของวงแหวนเท่ากับ 30 mm, 35 mm และ 40 mm

ตัวสายอากาศวงแหวนวงกลมที่ได้ออกแบบไว้สำหรับปริมาตรนี้ คือ คาร์ซีมีเท่ากับ 36.5mm. ความยาวของวงแหวนเท่ากับ 35mm. โดยให้ค่าสภาพเจาะจงทิศทางเท่ากับ 4.798 dBi

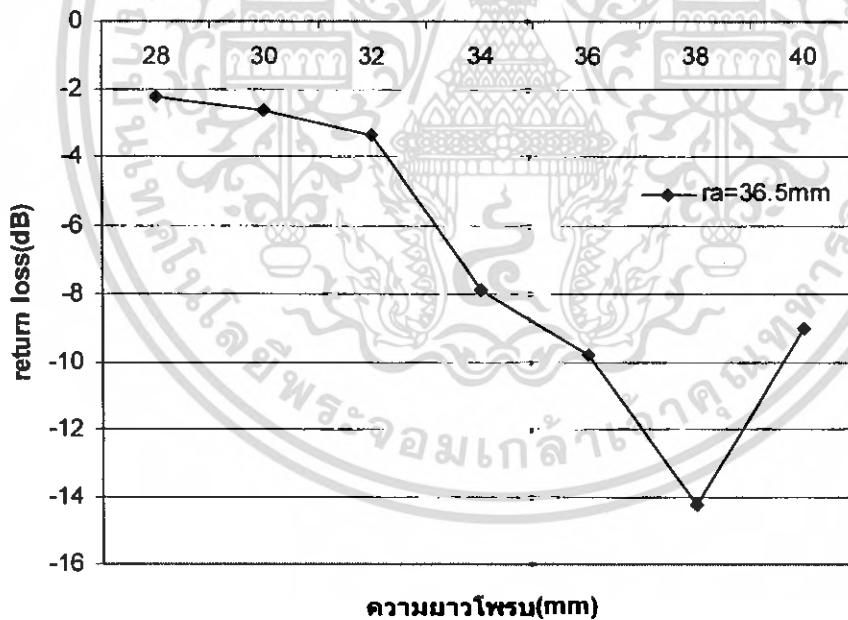
3.1.3 การออกแบบค่าความยาวโพรบ

การพิจารณาค่าความยาวโพรบนั้น จะต้องทำให้เข้าใกล้การเกิดรีโซแนนซ์ (resonance) ให้มากที่สุด เพื่อให้คลื่นที่ส่งออกไปมีพลังงานมากที่สุด ก็จะทำให้สามารถส่งไปได้ไกลโดยค่าอิมพีแดนซ์ที่ต้องการสำหรับการออกแบบสายอากาศนั้นมีค่าเท่ากับ 50Ω เพื่อให้คลื่นที่ออกมาจากสายนำสัญญาณซึ่งมีอิมพีแดนซ์เท่ากับ 50Ω สามารถส่งผ่านสายอากาศออกไปได้อย่างสมบูรณ์ จากนั้นก็ต้องทำให้สายอากาศมีค่า VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) ไม่ควรมีค่ามากกว่า 2:1 และค่าการสูญเสียย้อนกลับ (return loss) จะต้องมีค่าน้อยกว่า -9.54 dB ขึ้นไป ดังนั้นค่าความยาวโพรบที่ได้มานั้นก็ได้มาจากข้อกำหนดที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น เมื่อทำการพิจารณาผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม CST ช่วยในการพิจารณา จากรูปที่ 3.5 จะพบว่าค่าความยาวโพรบที่เหมาะสมกับคาร์ซีมี (R_c) เท่ากับ 36.5 mm มีค่าเท่ากับ 38 mm ซึ่งเป็นค่าความยาวโพรบที่ทำให้ได้ค่า VSWR เท่ากับ 1.48:1 ส่วนค่าการสูญเสียย้อนกลับ (return loss) แสดงในรูปที่ 3.6 จะพบว่าค่าความยาวโพรบที่เหมาะสมกับคาร์ซีมี (R_c) เท่ากับ 36.5 mm มีค่าความยาวโพรบเท่ากับ 38 mm ให้ได้ค่าการสูญเสียย้อนกลับเท่ากับ 14.26 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VSWR กับความยาวโพรม



รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียย้อนกลับ (return loss) กับความยาวโพรม

แบนด์วิดท์ของสายอากาศ ถูกกำหนดให้เป็นช่วงของความถี่ที่สายอากาศมีคุณสมบัติอยู่ในมาตรฐานที่กำหนด อาจคิดเป็นช่วงสายอากาศซึ่งก็มีคุณสมบัติต่างๆ อยู่ในช่วงที่ใช้งานได้ก็มีความไม่ต่างจากคุณสมบัติที่วัดที่ความถี่กลางที่ออกแบบ โดยที่สามารถกำหนดคุณสมบัติของแบนด์วิดท์ให้เป็นไปตามการประยุกต์ใช้งานแต่ละอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

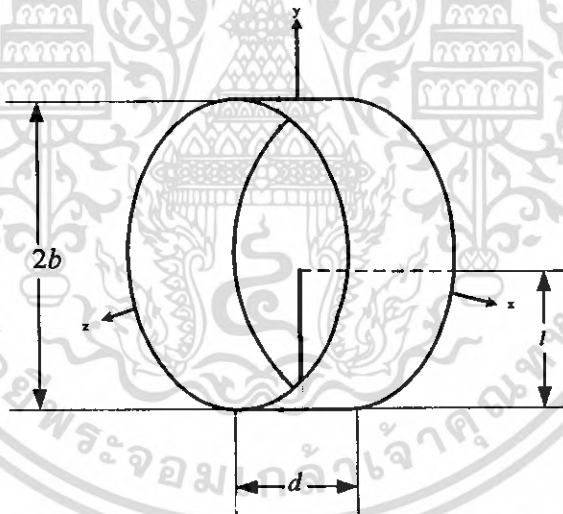
ส่วนการคำนวณหาค่าความกว้างของช่วงความถี่ที่ใช้งานนั้น ทำได้โดยการหาความถี่ที่สูงกว่าและต่ำกว่าความถี่กลางที่มีค่า VSWR เท่ากับ 2 จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าช่วงกว้างความถี่ที่ใช้งานได้ สายอากาศที่มีช่วงความถี่แคบ (Narrow band Antenna) จะใช้สมการที่ 3.1

$$\Delta f(\%) = \frac{f_H - f_L}{f_c} \times 100 ; \text{เปอร์เซ็นต์แบนด์วิดท์} \quad (3.1)$$

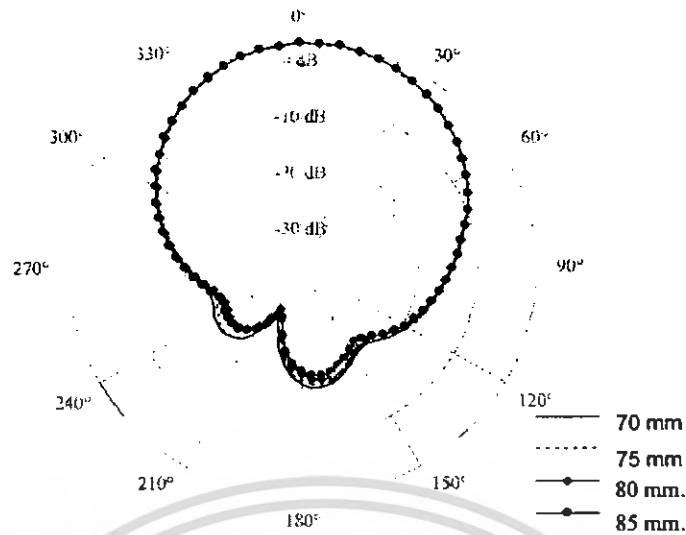
ซึ่งค่าความกว้างของช่วงความถี่ที่ใช้งานควรจะมีค่ามากกว่า 10% ขึ้นไป

3.1.4 การพิจารณาค่าขนาดของตัวสะท้อนคลื่น

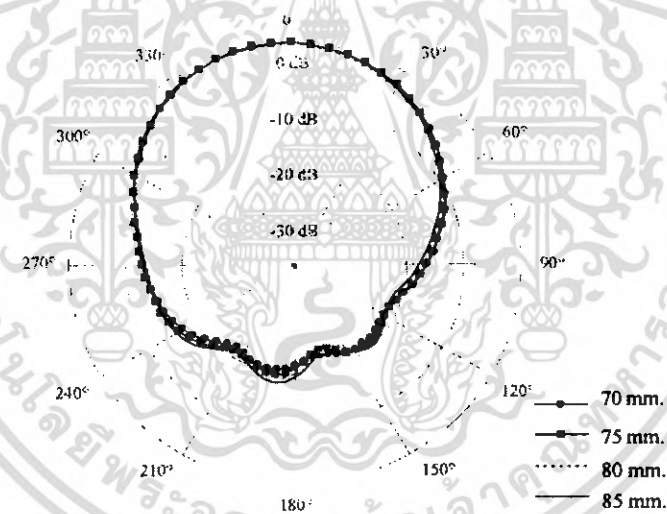
ในการออกแบบตัวสะท้อนคลื่น จะพิจารณาดำแหน่งที่ทำให้คลื่นที่สะท้อนขนานกับแกน z จากรูปที่ 3.8 เป็นการวิเคราะห์ความสูงของตัวสะท้อน จะเห็นว่าขนาดความสูงของตัวสะท้อนในช่วงระยะ 70 mm - 85 mm แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจะใกล้เคียงกัน แต่จะต้องพิจารณาขนาดไม่สูงมากเกินไป เพราะจะทำให้ใช้พื้นที่ในการติดตั้งมาก เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวสะท้อนคลื่นได้ออกแบบให้มีขนาด 100 mm มีความสูงที่ 80 mm และระยะห่างระหว่างจุดป้อนสัญญาณที่ตัวสายอากาศวงแหวนวงกลม และตัวสะท้อนคลื่นมีขนาด 35 mm ซึ่งขนาดของตัวสะท้อนคลื่นจะครอบคลุมสายอากาศวงแหวนแบบวงกลมและมีขนาดเหมาะสมกับการใช้งาน



รูปที่ 3.7 ตัวสะท้อนคลื่น



(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า



(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 3.8 การวิเคราะห์หาความสูงของตัวสะท้อนคลื่น

ในกรณีเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวสะท้อนคลื่นจะต้องมีขนาดมากกว่า 73 mm มิฉะนั้นจะเกิดการล้นออกของคลื่น เนื่องจากขนาดของตัวสะท้อนคลื่นแบบกรวยกลมไม่ครอบคลุมสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนวงกลม อีกสิ่งหนึ่งที่สำคัญคือระยะระหว่างจุดป้อนสัญญาณกับตัวสะท้อนคลื่นจะต้องมีระยะที่เหมาะสมเพื่อที่จะได้คุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ต้องการออกแบบที่ดีที่สุด เนื่องจากถ้าระยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างจุดป้อนสัญญาณกับตัวสะท้อนคลื่นมีระยะที่ไม่เหมาะสม จะทำให้คุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไม่ดี

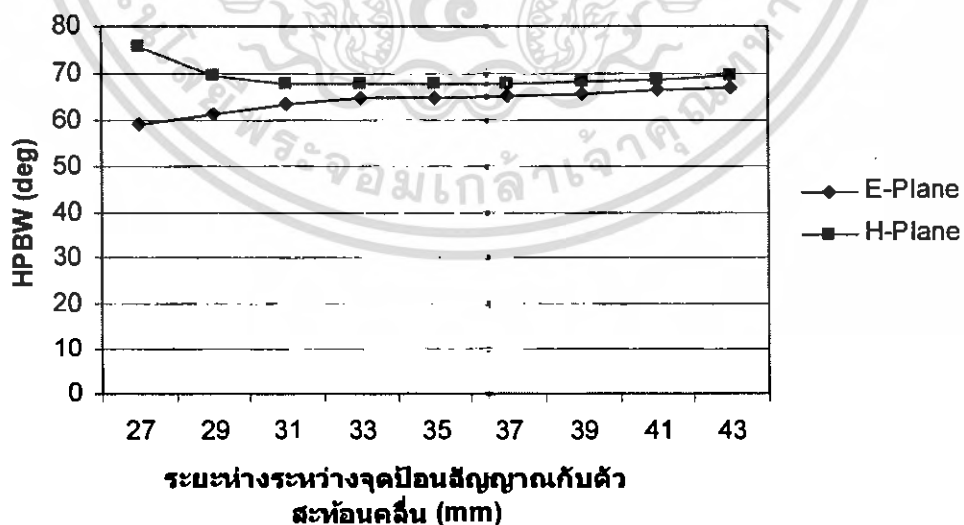
3.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์คุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ได้จากผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CST ได้แก่ ค่าความกว้างลำคลื่นที่กำลังงานลดลงครึ่งหนึ่ง ค่าอัตราส่วนระหว่างลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้าง ค่าอัตราส่วนระหว่างลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านหลัง ค่าสภาพเจาะจงทิศทางสูงสุดของสายอากาศ และค่าอัตราส่วนแกน (Axial Ratio) เมื่อทำการเปลี่ยนระยะห่างระหว่างจุดป้อนสัญญาณ โพรบกระตุ้นวงแหวนกับตัวสะท้อนคลื่น

3.2.1 ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังงานลดลงครึ่งหนึ่ง

ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังงานลดลงครึ่งหนึ่งเป็นคุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศ โดยค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังงานลดลงครึ่งหนึ่งที่ต้องการคือ มีลักษณะแคบๆ ทั้งนี้เพื่อให้สายอากาศสามารถแพร่กระจายคลื่นไปยังทิศทางที่ต้องการได้แม่นยำยิ่งขึ้นและมีการสูญเสียกำลังงานในทิศทางอื่นน้อยๆ ด้วย

รูปที่ 3.9 แสดงค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังงานลดลงครึ่งหนึ่งของสายอากาศที่พิจารณาจากระยะห่างระหว่างจุดป้อนสัญญาณ โพรบกระตุ้นวงแหวนวงกลมกับตัวสะท้อนคลื่น พบว่าในระนาบสนามไฟฟ้าค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังงานลดลงครึ่งหนึ่งของสายอากาศ จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดช่วงระยะห่างระหว่าง 27 - 29 mm ส่วนในระนาบสนามแม่เหล็กค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังงานลดลงครึ่งหนึ่งจะลดลงในช่วงระยะห่างระหว่าง 27 - 31 mm จากนั้นในช่วงระยะห่างระหว่าง 31 - 43 mm ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังงานลดลงครึ่งหนึ่งจะมีค่าค่อยๆ เพิ่มขึ้น



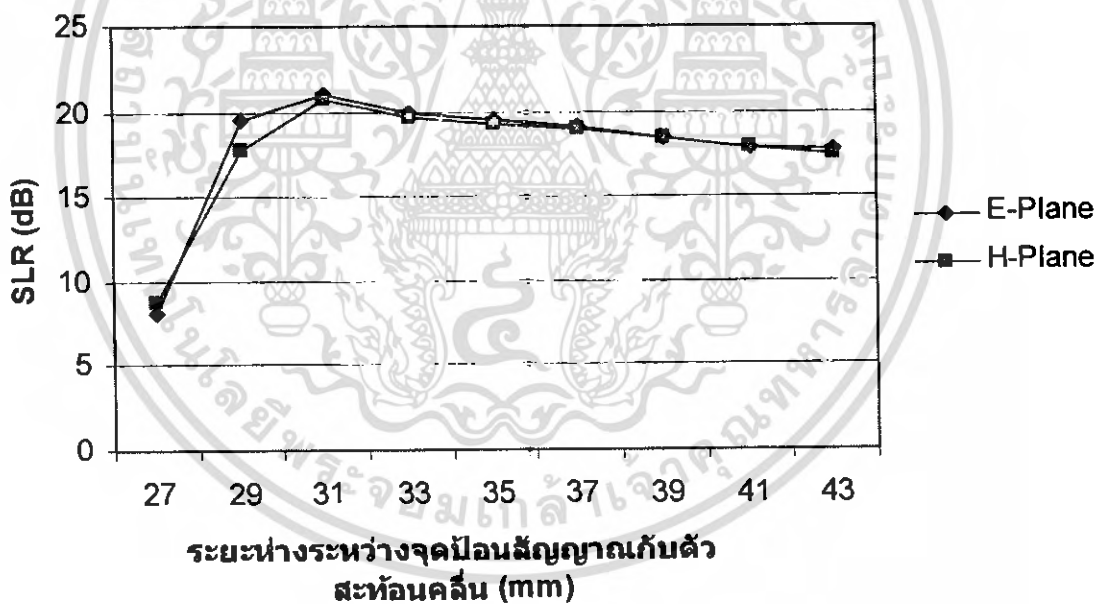
รูปที่ 3.9 ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังงานลดลงครึ่งหนึ่งของสายอากาศทิศทางเดียวที่ป้อนสัญญาณด้วยวงแหวนวงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ค่าอัตราส่วนล้าคลื่นหลักต่อล้าคลื่นย่อยด้านข้าง

ค่าอัตราส่วนล้าคลื่นหลักต่อล้าคลื่นย่อยด้านข้าง เป็นการพิจารณาความสูงของล้าคลื่นหลักต่อความสูงของล้าคลื่นย่อยด้านข้างที่พิจารณา โดยล้าคลื่นหลักเป็นล้าคลื่นที่มีขนาดการแพร่กระจายคลื่นสูงสุด (ไม่ใช่ล้าคลื่นที่อ่อนที่สุด) ซึ่งจะชี้ออกไปยังทิศทางที่เราต้องการ โดยยิ่งสูงมากยิ่งส่งไปได้ไกลมาก ส่วนล้าคลื่นย่อยด้านข้าง เป็นล้าคลื่นที่อยู่ระนาบเดียวกันกับล้าคลื่นหลัก จะมีขนาดต่ำกว่าล้าคลื่นหลัก ซึ่งจะเกิดขึ้นเองเราไม่ต้องการให้เกิด ดังนั้นการออกแบบจึงต้องให้มีจำนวนน้อยและมีขนาดต่ำสุด โดยทั่วไปแล้วค่าอัตราส่วนล้าคลื่นหลักต่อล้าคลื่นย่อยด้านข้างจะต้องมากกว่า 20 dB ค่าอัตราส่วนล้าคลื่นหลักต่อล้าคลื่นย่อยด้านข้างยิ่งมากยิ่งดี เพราะแสดงถึงล้าคลื่นหลักมีขนาดการแพร่กระจายคลื่นสูงและต่อล้าคลื่นย่อยด้านข้างมีขนาดการแพร่กระจายคลื่น ทำให้มีการสูญเสียกำลังงานในทิศทางอื่นๆ น้อย มีการแพร่กระจายคลื่นไปยังทิศทางที่ต้องการได้ดี ทำให้ส่งได้ระยะทางที่ไกล

จากรูปที่ 3.10 แสดงค่าอัตราส่วนล้าคลื่นหลักต่อล้าคลื่นย่อยด้านข้าง จะพบว่าทั้งในระนาบสนามไฟฟ้า และระนาบสนามแม่เหล็ก จะมีลักษณะที่เหมือนกัน ค่าอัตราส่วนล้าคลื่นหลักต่อล้าคลื่นย่อยด้านข้างจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง 27 - 31 mm จากนั้นค่าอัตราส่วนล้าคลื่นหลักต่อล้าคลื่นย่อยด้านข้างจะมีค่าลดลงในช่วง 31 - 43 mm



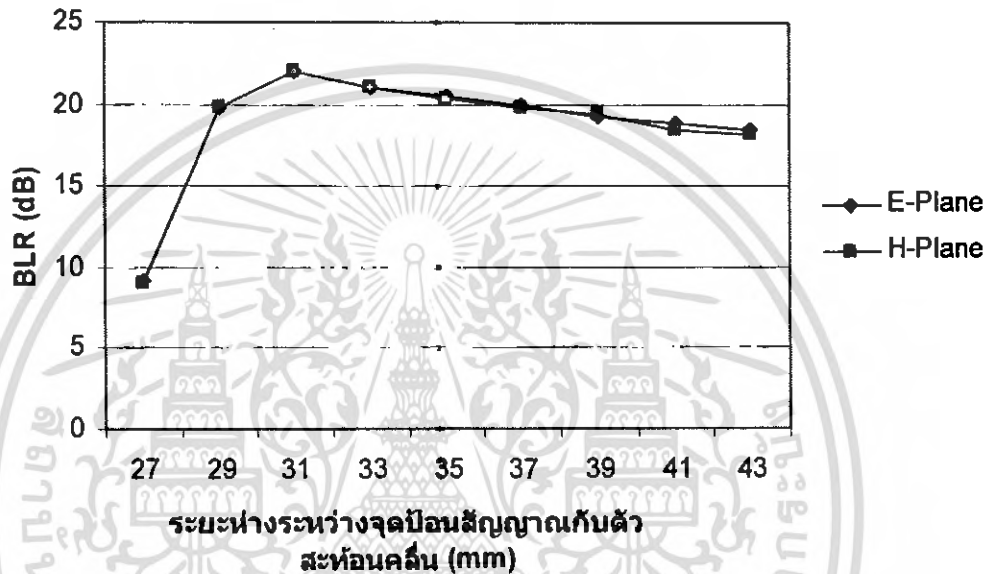
รูปที่ 3.10 ค่าอัตราส่วนล้าคลื่นหลักต่อล้าคลื่นย่อยด้านข้างของสายอากาศทิศทางเดียวที่ป้อนสัญญาณด้วยวงแหวนวงกลม

3.2.3 ค่าอัตราส่วนล้าคลื่นหลักต่อล้าคลื่นย่อยด้านหลัง

ค่าอัตราส่วนล้าคลื่นหลักต่อล้าคลื่นย่อยด้านหลัง เป็นการพิจารณาความสูงของล้าคลื่นหลักต่อความสูงของล้าคลื่นย่อยด้านหลัง จะมีค่าเป็นบวกเสมอ โดยทั่วไปแล้วค่าอัตราส่วนล้าคลื่นหลักต่อล้าคลื่นย่อยด้านหลังจะเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นย่อยด้านหลังจะต้องมากกว่า 20 dB ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านหลังยิ่งมากยิ่งดีเพราะมีการแพร่กระจายคลื่นไปยังทิศทางที่ต้องการได้ดี ทำให้ส่งได้ระยะทางที่ไกล

รูปที่ 3.11 แสดงค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านหลัง จะพบว่าทั้งในระนาบสนามไฟฟ้า และระนาบสนามแม่เหล็ก ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านหลังจะเพิ่มขึ้นในช่วงระยะห่างระหว่าง 27 - 31 mm จากนั้นค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านหลังจะมีค่าลดลงในช่วงระยะห่างระหว่าง 31 - 43 mm



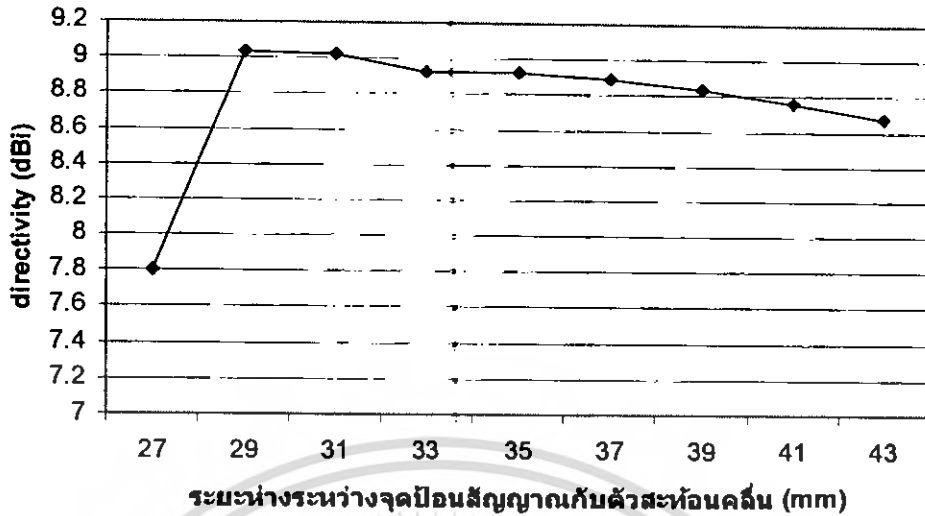
รูปที่ 3.11 ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านหลังของสายอากาศทิศทางเดียวที่ป้อนสัญญาณด้วยวงแหวนวงกลม

3.2.4 ค่าสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศ

ค่าสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศ เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างความเข้มการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศต่อความเข้มการแพร่กระจายคลื่นไอโซโทรปิก สำหรับตัวแพร่กระจายคลื่นไอโซโทรปิก (Isotropic Radiator) เป็นสายอากาศอ้างอิงทางทฤษฎี มีการแพร่กระจายคลื่นเท่ากันหมดในทุกทิศทาง เรียกว่าสายอากาศไม่มีทิศทาง (Non-directional antenna) จะมี Radiation pattern เป็นรูปทรงกลม (spherical shape) ใช้สำหรับอ้างอิงเท่านั้น ไม่สามารถสร้างได้จริงในทางปฏิบัติ สำหรับค่าสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศที่ต้องการต้องมีค่าสูงๆ จะทำให้เข้าไปในทิศทางที่ต้องการได้ดี ช่วยให้สามารถส่งได้ระยะทางที่ไกล

จากรูปที่ 3.12 แสดงค่าสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศ เมื่อระยะห่างระหว่างจุดป้อนสัญญาณโพรบกระตุ้นวงแหวนกับตัวสะท้อนคลื่นเปลี่ยนแปลงไปจะพบว่า ค่าสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงระยะห่างระหว่าง 27 - 29 mm โดยจะมีค่าสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศสูงสุดในช่วงระยะห่าง 29 mm จากนั้นจะมีค่าลดลงในช่วงระยะ 29 - 43 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 ค่าสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศทิศทางเดียวที่ป้อนสัญญาณด้วยวงแหวนวงกลม

3.2.5 ค่าอัตราส่วนแกน (Axial Ratio)

ค่าอัตราส่วนแกน เป็นการพิจารณาชนิดของการโพลาไรเซชัน (polarization) มีความสัมพันธ์ดังนี้

$$AR = \frac{\text{majoraxis}}{\text{minoraxis}} = \frac{|E|_{\max}}{|E|_{\min}}, 1 \leq AR \leq \infty$$

โดยที่

AR=1 จะเป็น โพลาไรซ์แบบวงกลม $\rightarrow |E|_{\max} = |E|_{\min}$

1<AR< ∞ จะเป็น โพลาไรซ์แบบวงรี $\rightarrow |E|_{\max} > |E|_{\min}$

AR= ∞ จะเป็น โพลาไรซ์แบบเชิงเส้น $\rightarrow |E|_{\min} = 0$

การโพลาไรซ์แบบวงกลม ทิศทางของ \vec{E} จะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาโดยมีขนาดคงที่

ข้อดี คือ มีการสูญเสียอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงโพลาไรเซชันต่ำ

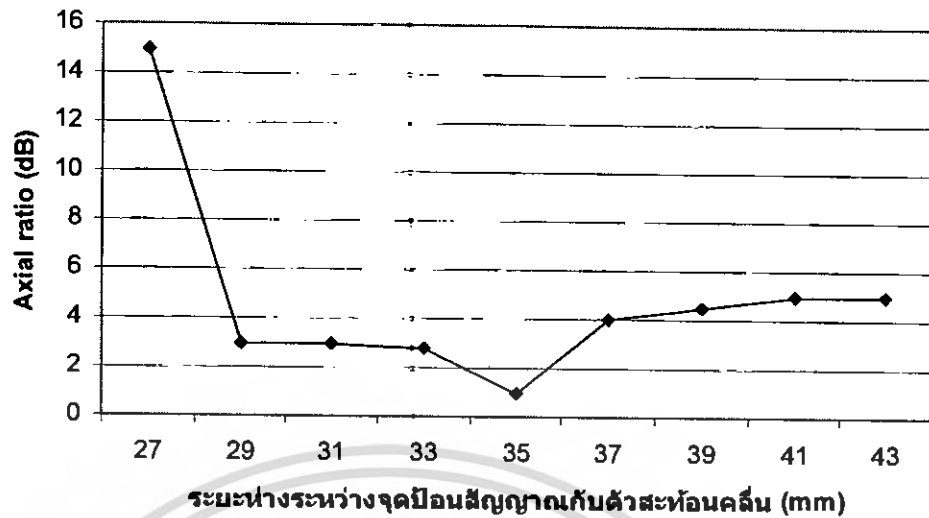
ข้อเสีย คือ สายอากาศสามารถสร้างได้ยาก

การโพลาไรซ์แบบวงรี ทิศทางของ \vec{E} และขนาดของ \vec{E} จะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

ข้อดี คือ สายอากาศสามารถสร้างได้ง่าย

ข้อเสีย คือ มีการสูญเสียอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงโพลาไรเซชัน

การโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น ทิศทางของ \vec{E} คงที่ตลอดการเดินทางของคลื่น



รูปที่ 3.13 ค่าอัตราส่วนแกน (Axial Ratio) ของสายอากาศทิศทางเดียวที่ป้อนสัญญาณด้วยวงแหวนวงกลม

จากรูปที่ 3.13 แสดงค่าอัตราส่วนแกน เมื่อระยะห่างระหว่างจุดป้อนสัญญาณโพรบกระตุนวงแหวนกับตัวสะท้อนคลื่นเปลี่ยนแปลงไป จะพบว่าค่าอัตราส่วนแกนลดลงในช่วงระยะ 27 - 29 mm จากนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงระยะห่างระหว่าง 29 - 33 mm และจะมีค่าลดลงอีกครั้งหนึ่งถึงระยะห่างที่ทำให้ค่าอัตราส่วนแกนต่ำสุดที่ระยะห่าง 35 mm จากนั้นค่าอัตราส่วนแกนจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงระยะห่างระหว่าง 35 - 43 mm ซึ่งผลการวิเคราะห์ทั้งหมดที่ผ่านมานี้จะนำไปสู่การออกแบบ และการสร้างต่อไป

บทที่ 4

การออกแบบสร้าง และทดสอบ

4.1 การสร้าง

จากการวิเคราะห์ในบทที่ 3 ร่วมกับโปรแกรมการคำนวณ CST (Computer Simulation Technology) ออกแบบสร้างที่สายอากาศทำงานที่ความถี่ 2.45 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่ของระบบสื่อสารไร้สาย จะทำให้ทราบถึงขนาด และส่วนประกอบต่างๆ ที่เหมาะสมสำหรับที่จะใช้ในการออกแบบสร้างสายอากาศ สำหรับสายอากาศที่ทำการออกแบบมีรายละเอียดดังนี้

ตัวป้อนสัญญาณวงแหวนวงกลมล้อมรอบโพรบเชิงเส้นไฟฟ้า มีค่ารัศมีของวงแหวนเท่ากับ 36.5 mm ค่าความยาวของวงแหวนวงกลมเท่ากับ 35 mm ค่าความยาวโพรบเท่ากับ 38 mm ตัวสะท้อนเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 100 mm สูง 80 mm และระยะห่างระหว่างจุดป้อนสัญญาณกับตัวสะท้อนคลื่น 35 mm



รูปที่ 4.1 สายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบโครงข่ายท้องถิ่น ไร้สายที่ความถี่ 2.45 GHz ที่ป้อนสัญญาณด้วยวงแหวนวงกลมรัศมี 36.5 mm

สำหรับการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศจะป้อนผ่านตัวเชื่อมต่อชนิด Connector SMA 50 Ω

4.2 การทดสอบ และผลการทดสอบ

การทดสอบเพื่อวัดคุณสมบัติของสายอากาศ นับว่าเป็นเรื่องสำคัญมากเพราะการทดสอบนั้นทำให้แน่ใจได้ว่าสายอากาศที่สร้างขึ้นนั้นมีคุณสมบัติตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ นอกจากนั้นในสายอากาศที่มีโครงสร้างไม่เอื้ออำนวยในการออกแบบทางทฤษฎีได้อย่างละเอียดถูกต้อง ก็จำเป็นต้องใช้การออกแบบโดยใช้การทดสอบคุณสมบัติเข้ามาช่วยในการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศ จะทำโดยเครื่องวิเคราะห์เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบโครงข่าย (Network Analyzer) ในส่วนคุณสมบัติของสายอากาศที่ต้องคำนึงถึง เช่น ค่าอิมพีแดนซ์ ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง ค่าการสูญเสียย้อนกลับ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น การโพลาไรซ์ และอัตราการขยาย



รูปที่ 4.2 เครื่องวิเคราะห์ระบบโครงข่าย (Network Analyzer)

4.2.1 การทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง และค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย

การพิจารณาช่วงกว้างแถบความถี่ของสายอากาศจะพิจารณาคุณลักษณะเชิงอิมพีแดนซ์ และคุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ โดยการทดสอบสายอากาศลำดับแรกจะต้องทดสอบคุณลักษณะเชิงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ โดยค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ คือ 50Ω แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถทำได้ดังนั้นจึงต้องออกแบบให้มีค่าใกล้เคียง และเมื่อพิจารณาค่าใกล้เคียงนั้นในรูปของอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศ (VSWR) ไม่ควรเกิน 2:1 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ หรือพิจารณาในรูปกำลังงานที่สะท้อนกลับจะต้องมีค่าเป็นลบมากๆ ในทางทฤษฎีควรมีค่าเป็น $-\infty$ dB ส่วนในทางปฏิบัติค่าสัมประสิทธิ์การย้อนกลับควรมีค่ามากกว่า 10 dB ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้

อุปกรณ์การทดสอบ

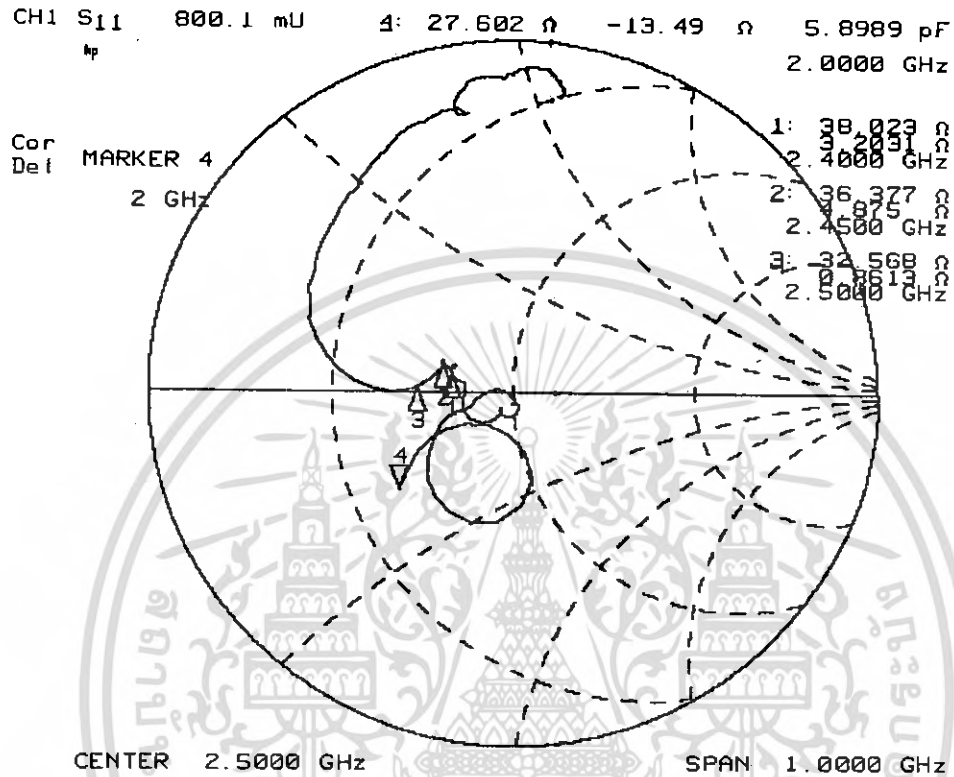
1. Network Analyzer
2. สายอากาศที่ออกแบบ
3. SMA 50Ω Calibration Kit
4. เครื่อง Printer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ทำการปรับสภาวะเครื่อง Network Analyzer เป็นแบบ Two Port (S11)
2. กดปุ่ม START ป้อนความถี่เริ่มต้น ตามด้วยหน่วยความถี่
3. กดปุ่ม STOP ป้อนความถี่สิ้นสุด ตามด้วยหน่วยความถี่
4. กดปุ่ม MRK (marker)
 - ให้ Marker 1 อยู่ที่ความถี่เริ่มต้น (2.4GHz)
 - ให้ Marker 2 อยู่ที่ความถี่ใช้งาน (2.45GHz)
 - ให้ Marker 3 อยู่ที่ความถี่สิ้นสุด (2.5 GHz)
5. กดปุ่ม CAL (Calibration) เลือกที่ S11 เป็นการทำการ calibrate เครื่องโดยจะขึ้นข้อความ OPEN, SHORT, LOAD
6. นำตัว Calibrator แบบ OPEN มาต่อกับสายนำสัญญาณแล้วกดปุ่ม OPEN แล้วทำการถอดตัว Calibrator
7. นำตัว Calibrator แบบ SHORT มาต่อกับสายนำสัญญาณแล้วกดปุ่ม SHORT แล้วทำการถอดตัว Calibrator
8. นำตัว Calibrator แบบ Broadband Load มาต่อกับสายนำสัญญาณแล้วกดปุ่ม Broadband แล้วกด Done Load 2 ครั้งทางจอภาพจะแสดงตัวหนังสือ “ Cor ” (Calibration) แล้วทำการถอดตัว Load ออก
9. ทำการกดปุ่ม Format จะมีเมนูให้เลือกทำการเลือกที่ Smith Chart
10. นำตัว Calibrator แบบ SHORT มาต่อกับสายนำสัญญาณอีกครั้งหนึ่งเพื่อทำการปรับสเกลอ้างอิงโดยทำการปรับที่ Electrical Delay เลื่อนไปที่ตำแหน่งของลูกศร ไปที่ตำแหน่งขวามือสุดของ Smith Chart แล้วทำการปลดตัว Calibrator ออก
11. ขั้นตอนที่ 1-10 เป็นขั้นตอนการ Calibration เครื่อง
12. นำสายอากาศทิศทางเดียวมาทำการต่อเครื่อง Network Analyzer
13. กดปุ่ม Format เครื่องจะแสดงค่า LOG MAG, Smith Chart , SWR, PHASE และ DELAY
14. เลือกที่ SWR เครื่องจะแสดงค่า SWR ของสายอากาศทิศทางเดียวที่วัดออกมาได้ค่าที่วัดต้องมีค่าน้อยกว่า 2 เข้าใกล้ 1 ให้โดยหาค่าที่ได้ซึ่งมีค่ามากกว่า 2 ให้ทำการปรับแต่งค่า ความยาวของโพรบ สายอากาศตัวกระตุ้นจนกว่าจะได้ค่า SWR เข้าใกล้ 1 มากที่สุด เท่าที่จะสามารถทำได้หลังจากนั้นทำการกดปุ่ม copy เพื่อทำการพิมพ์รูปออกมา
15. ทำการเลือกที่ LOG MAG และ Smith Chart ทำการกดปุ่ม copy เพื่อทำการพิมพ์รูปออกมา

4.2.1.1 ผลการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์



รูปที่ 4.3 ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบ โครงข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ความถี่ 2.45 GHz ที่ป้อนสัญญาณด้วยวงแหวนวงกลมรัศมี 36.5 mm

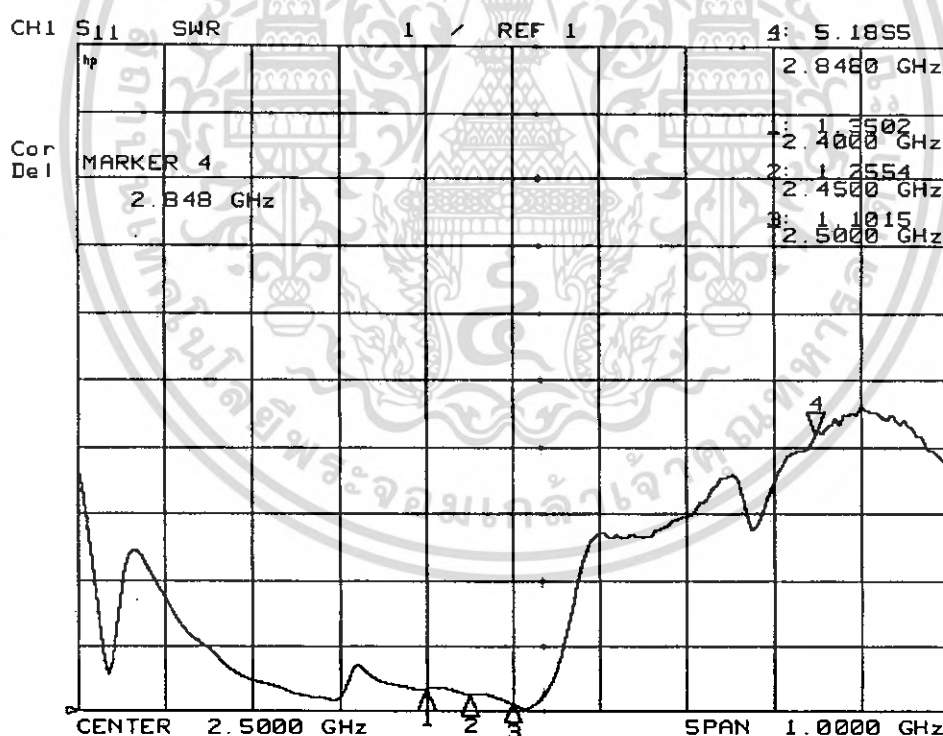
ในการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ที่ต้องการในการใช้งานคือ 50Ω โดยทั่วไปนั้นอิมพีแดนซ์ของสายอากาศนั้นจะมีส่วนที่เป็นค่าความต้านทานและส่วนที่เป็นค่ารีแอกแตนซ์ ในการทดสอบจะต้องทำให้ค่าความต้านทานมีค่าใกล้เคียง 50Ω มากที่สุด และจะต้องพยายามกำจัดค่ารีแอกแตนซ์ให้เหลือน้อยที่สุด เพื่อจะเกิดการแมตซ์ทางอิมพีแดนซ์มากที่สุด ผลจากการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย ที่ความถี่ 2.45 GHz ที่ป้อนสัญญาณด้วยวงแหวนวงกลมรัศมี 36.5 mm จะได้ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าอิมพีแดนซ์ที่ Marker ต่างๆ

Marker	ความถี่ (GHz)	ค่าอิมพีแดนซ์ (Ω)
Marker 1	2.4	$38.023+j3.2031$
Marker 2	2.45	$36.377+j4.875$
Marker 3	2.5	$32.568+j0.8613$

4.2.1.2 ผลการทดสอบค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง

ในการทดสอบอัตราส่วนคลื่นนิ่ง อัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ไม่เกิดคลื่นสะท้อนกลับคือ 1:1 ดังนั้นค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ต้องการนั้นจะต้องมีค่าใกล้เคียง 1:1 มากที่สุดเพื่อที่จะทำให้เกิดคลื่นสะท้อนกลับน้อยที่สุดโดยทั่วไป ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่สามารถจะนำมาใช้งานจริงไม่ควรเกิน 2:1



รูปที่ 4.4 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบ โคร่งข่ายท้องถิ่น ไร้สายที่ความถี่ 2.45 GHz ที่ป้อนสัญญาณด้วยวงแหวนวงกลมรัศมี 36.5 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

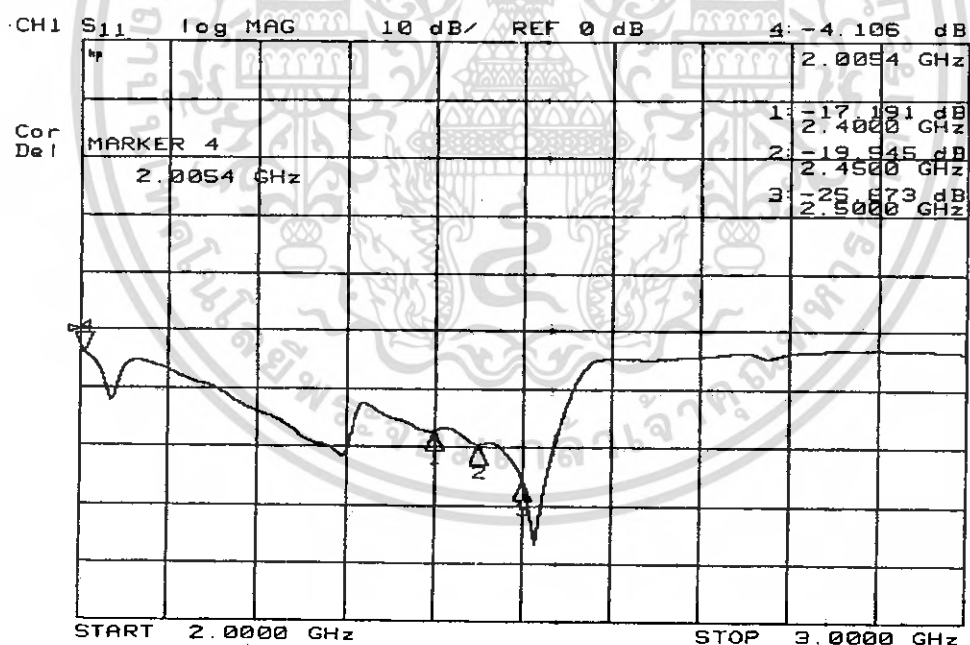
ผลจากการทดสอบค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของ สายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบโครงข่าย ท้องถิ่นไร้สายที่ความถี่ 2.45 GHz ที่ป้อนสัญญาณด้วยวงแหวนแบบวงกลมรัศมี 36.5 mm แสดงดังตาราง ที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ Marker ต่างๆ

Marker	ความถี่ (GHz)	ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง
Marker 1	2.4	1.3502:1
Marker 2	2.45	1.2554:1
Marker 3	2.5	1.1015:1

4.2.1.3 ผลการทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับ

ในการทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับ เป็นการทดสอบกำลังงานที่ สะท้อนกลับจากสายอากาศโดยคิดจากค่า สัมประสิทธิ์การสะท้อน (Γ) มีหน่วยเป็นเดซิเบล (dB) โดยทั่วไปแล้วค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ใช้งานได้จริงควรมีค่าเป็นลบมากๆ ต่ำกว่า 10 dB



รูปที่ 4.5 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ความถี่ 2.45 GHz ที่ป้อนสัญญาณด้วยวงแหวนวงกลมรัศมี 36.5 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ความถี่ 2.45 GHz ที่ป้อนสัญญาณด้วยวงแหวนวงกลมรัศมี 36.5 mm แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ Marker ต่างๆ

Marker	ความถี่ (GHz)	ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (dB)
Marker 1	2.4	-17.191
Marker 2	2.45	-19.545
Marker 3	2.5	-25.673

การวิเคราะห์ช่วงกว้างแถบความถี่ของสายอากาศสามารถหาได้จาก

$$\Delta f(\%) = \frac{f_H + f_L}{f_c} \quad (4.1)$$

โดยที่ f_H คือค่าความถี่สูงที่สามารถทำงานได้

f_L คือค่าความถี่ต่ำสุดที่สามารถทำงานได้

f_c คือค่าความถี่ที่ออกแบบ

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบคุณลักษณะเชิงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ความถี่ 2.45 GHz ที่ป้อนสัญญาณด้วยวงแหวนวงกลมรัศมี 36.5 mm

สายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบ WLAN ที่ความถี่ 2.45 GHz				
ผลการทดสอบและผลการวิเคราะห์	VSWR	Impedance	Return Loss (dB)	Band Width(%)
ผลการทดสอบ	1.2554:1	36.377+j4.875 Ω	-19.545	16.33
ผลการวิเคราะห์	1.48:1	55.05-j23.45 Ω	-14.26	14.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

ในการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ การทดสอบนั้นจะทำในห้องที่มีผลกระทบจากสภาพแวดล้อมน้อยที่สุด สามารถทำได้ในห้องไร้คลื่นสะท้อนซึ่งเป็นห้องที่สร้างขึ้นเพื่อไม่ให้มีคลื่นสะท้อนกลับออกจากผนังทุกด้านของห้อง ส่วนของระยะที่ใช้ในการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจะใช้บริเวณสนามระยะไกลซึ่งเป็นบริเวณสนามของสายอากาศที่การแพร่ของสนามของสายอากาศตามมุมต่างๆ ไม่ขึ้นกับระยะทางจากสายอากาศบริเวณสนามระยะไกล

$$\text{Far Field Distance}(R) \approx \frac{2D^2}{\lambda} \quad (4.2)$$

โดยที่ R คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศรับ กับสายอากาศส่ง (เมตร)
D คือ มิติด้านที่กว้างที่สุดของสายอากาศ (เมตร)

โดยที่สายอากาศโพลาริซวงกลมป้อนสัญญาณด้วยวงแหวนวงกลมรัศมี 36.5 mm มีค่า

$$D = 0.10 \text{ m}$$

$$\lambda = 0.12245 \text{ m}$$

$$\text{Far Field Distance } (R) \approx \frac{2(0.10)^2}{0.12245} = 163 \text{ mm} \quad (4.3)$$

ในการทดสอบนี้จะใช้ระยะสนามระยะไกลที่มากกว่า 163 mm ในระนาบ E – Plane โดยติดตั้งสายอากาศที่ใช้รับและส่งให้โพรบขนานกับพื้นระนาบโดยนำสายอากาศ ไปติดตั้งที่ตำแหน่งซึ่งจะหมุนครั้งละ 5 องศา แล้ววัดค่ากำลังสนามที่องศาต่างๆ จนครบ 360 องศา โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ระบบโครงข่าย (Network Analyzer) เป็นตัวส่งและรับ ส่วนการวัดค่ากำลังสนามในระนาบ H- Plane นั้น ต้องติดตั้งสายอากาศที่ใช้รับและส่ง ให้โพรบตั้งฉากกับพื้นระนาบแล้วทำการทดลองเช่นเดียวกับ E – Plane

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

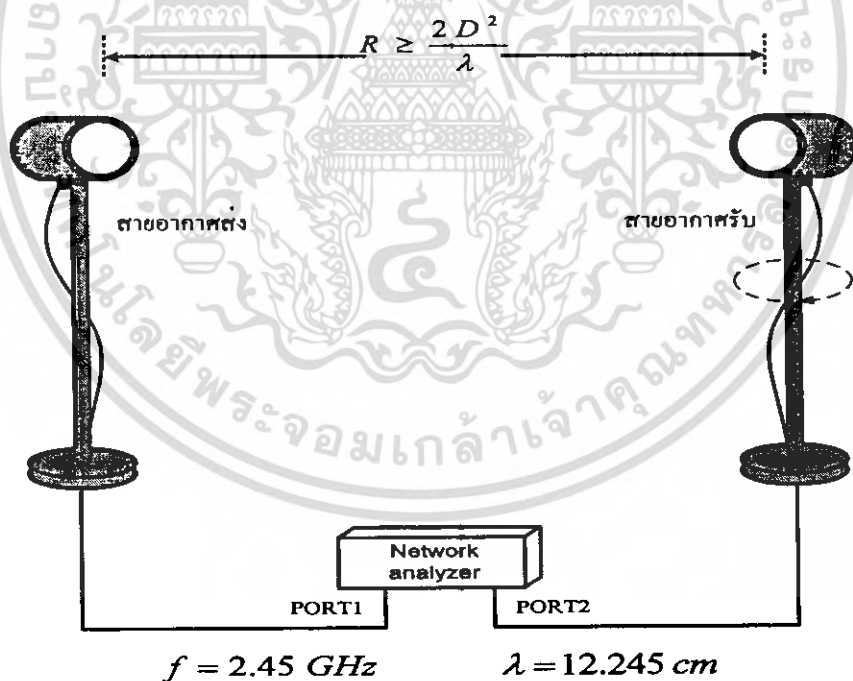
1. เครื่อง Network Analyzer
2. สายนำสัญญาณ
3. ขาดิ่งสำหรับการติดตั้งสายอากาศจำนวน 2 ตัว
4. สายอากาศที่ทำการออกแบบ

วิธีการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

1. เครื่อง Network Analyzer ตั้งไว้ที่ความถี่ Center 2.45GHz

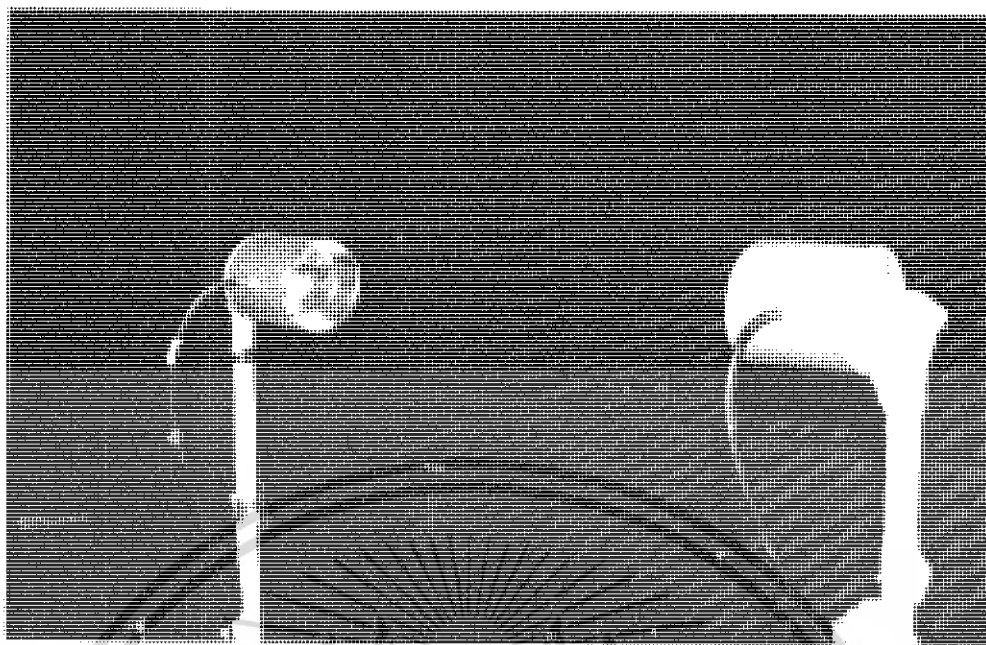
2. ต่อสายนำสัญญาณกับสายอากาศตัวส่งเข้ากับ Signal Generator Channel :Port 1 เพื่อเป็นตัวส่งสัญญาณ
3. ต่อสายนำสัญญาณกับสายอากาศตัวรับเข้ากับ Signal Generator Channel :Port 2 เพื่อเป็นตัวรับสัญญาณ
4. ทำการปรับสภาวะเครื่องเลือก MEAS (Measurement) เลือกที่ S12
5. ซึ่งระยะห่างของสายอากาศตัวส่งและตัวรับต้องมีระยะห่างไม่น้อยกว่า

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda}$$
 เมตร, $R \geq 16.6\text{mm}$
 โดยที่ R คือระยะห่างระหว่างสายอากาศรับกับสายอากาศส่ง
 D คือมิติค้ำนที่กว้างที่สุดของสายอากาศ
6. ทำการหมุนสายอากาศตัวรับหมุนทีละ 5 องศา จนครบ 360 องศาพร้อมทำการบันทึกผลที่ได้จากเครื่อง Network Analyzer
7. ทำการเปลี่ยนระนาบการวัด
8. นำค่าที่วัดได้จากการทดสอบสายอากาศแต่ละค่ามาทำการ Normalize แล้วนำไปทำการพล็อตกราฟ ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CST กับผลการทดลองที่ได้จากการวัด

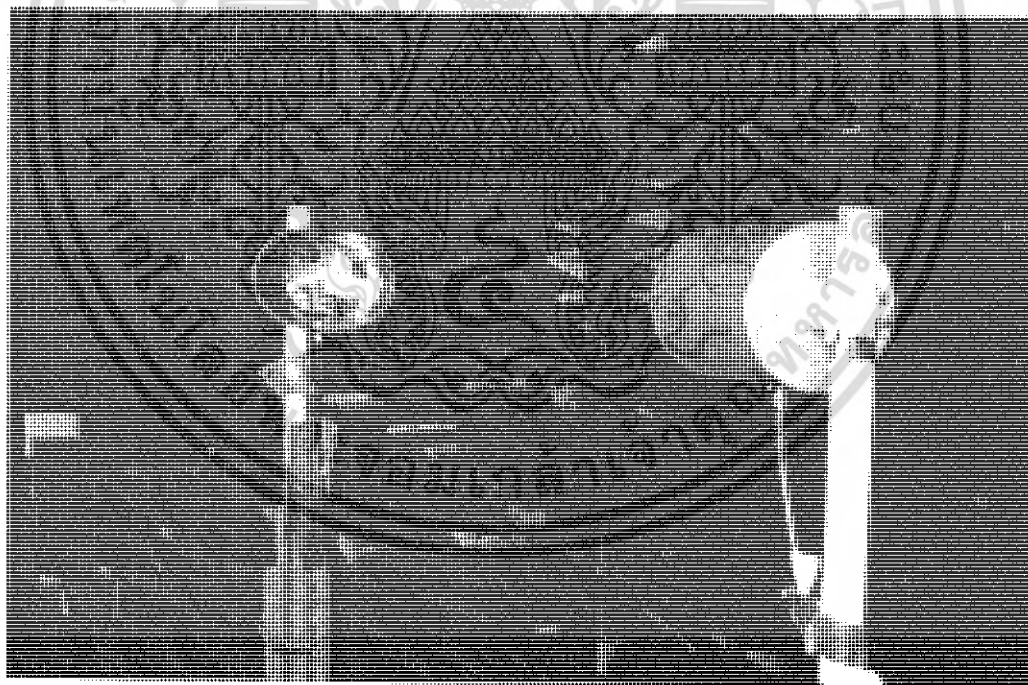


รูปที่ 4.6 วิธีการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ระบายสนามไฟฟ้า

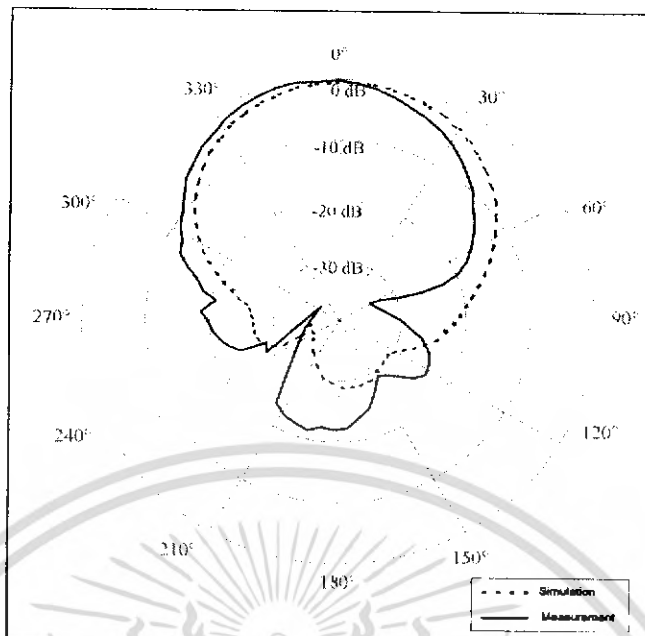


(ข) ระบายสนามแม่เหล็ก

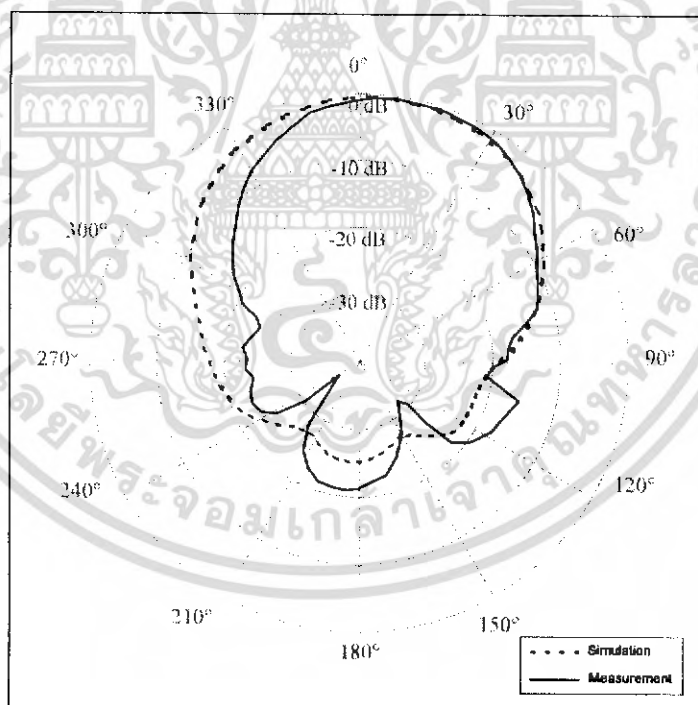
รูปที่ 4.7 แสดงการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบ

โครงข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ป้อนสัญญาณด้วยวงแหวนวงกลมรัศมี 36.5 mm ภายในห้องทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า



(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบโครงข่ายท้องถิ่น
ไร้สายที่ป้อนสัญญาณด้วยวงแหวนวงกลมรัศมี 36.5 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การวัดโพลาริเซชันของสายอากาศ

การวัดโพลาริเซชันเป็นการตรวจสอบว่า ทิศทางของสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงเมื่อคลื่นเดินทางโดยการมองตามหลังคลื่น ตรวจสอบจากการวัดว่าได้คลื่นที่มีโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น โพลาไรซ์แบบเชิงวงกลม โพลาไรซ์แบบเชิงวงรี การวัดโพลาริเซชันของคลื่นส่วนใหญ่จะเป็นการตรวจสอบอัตราส่วนของการโพลาไรเซชันนี้ ซึ่งจะเป็นพารามิเตอร์ตัวหนึ่งที่บ่งบอกคุณสมบัติของสายอากาศในเชิงการสร้างโพลาไรเซชัน

วิธีการวัดโพลาริเซชันของคลื่นนี้ จะทำได้โดยใช้สายอากาศที่รับคลื่นที่มีโพลาไรเซชันแบบเส้นตรง เช่น สายอากาศแบบไดโพล และสายอากาศแบบฮอร์นรูปพีระมิด การวัดโพลาริเซชันก็จะทำได้โดยนำสายอากาศดังกล่าวส่งคลื่นเคลื่อนที่เข้ามา แล้วหมุนสายอากาศนั้นรอบตัวเอง ขนาดของสนามไฟฟ้าที่วัดได้ที่มุมต่างๆ จะขึ้นอยู่กับโพลาริเซชันของคลื่น

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบการวัดโพลาริเซชันของสายอากาศ

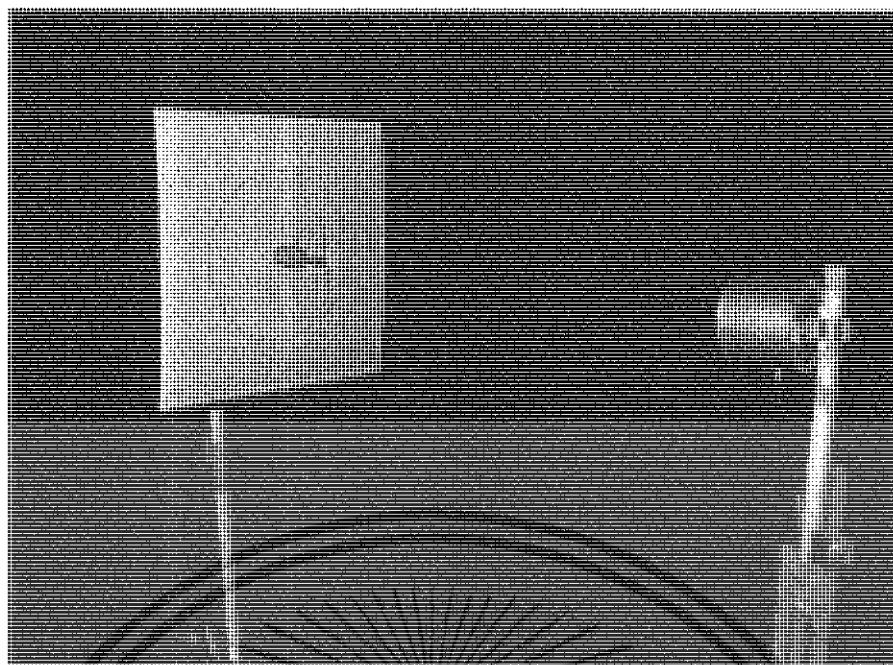
1. เครื่อง Network Analyzer
2. สายนำสัญญาณ
3. ขาดังสำหรับการติดตั้งสายอากาศ 2 ตัว
4. สายอากาศไดโพล แสดงในรูปที่ 4.9
5. สายอากาศที่ทำการออกแบบ

วิธีการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

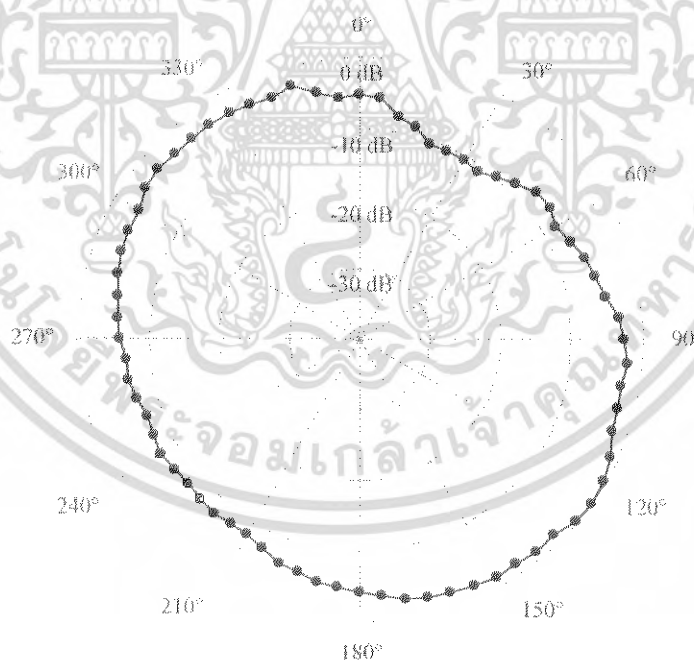
1. เครื่อง Network Analyzer ตั้งไว้ที่ความถี่ Center 2.45GHz
2. ต่อสายนำสัญญาณกับสายอากาศตัวไดโพลเข้ากับ Signal Generator Channel :Port 1 เพื่อเป็นตัว ส่งสัญญาณ
3. ต่อสายนำสัญญาณกับสายอากาศทิศทางเดียวตัวรับเข้ากับ Signal Generator Channel : Port 2 เพื่อเป็นตัวรับสัญญาณ
4. ทำการปรับสถานะเครื่องเลือก MEAS (Measurement) เลือกที่ S12
5. ซึ่งระยะห่างของสายอากาศตัวส่งและตัวรับต้องมีระยะห่าง ไม่น้อยกว่า

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda}$$
 เมตร โดยที่ D คือมิติที่กว้างที่สุดของสายอากาศ
6. ทำการหมุนสายอากาศส่ง โดยหมุนทีละ 5 องศา จนครบ 360 องศาพร้อมทำการบันทึกผลที่ได้จากเครื่อง Network Analyzer

ผลการทดสอบการวัดโพลาริเซชันของสายอากาศ จากรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่าโพลาริเซชันของสายอากาศ นั้นมีรูปแบบโพลาริเซชันเป็นวงรี



รูปที่ 4.11 แสดงการทดสอบการวัดโพลาไรเซชันของสายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ป้อนสัญญาณด้วยวงแหวนวงกลมรัศมี 36.5 mm ภายในห้องทดสอบ



รูปที่ 4.12 ผลการทดสอบการวัดโพลาไรเซชันของสายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ป้อนสัญญาณด้วยวงแหวนวงกลมรัศมี 36.5 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทดสอบหาอัตราขยายของสายอากาศ

สิ่งที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่สำคัญอย่างหนึ่งก็คือ อัตราการขยายของสายอากาศ การทดสอบหาอัตราการขยายของสายอากาศจะใช้สายอากาศทั้งตัวส่งและตัวรับที่มีการโพลาไรซ์ โครงสร้าง และคุณลักษณะที่เหมือนกันวางห่างกันด้วยระยะทาง (R) ที่มากกว่าหรือเท่ากับบริเวณสนามระยะไกล และใช้เครื่องเนทเวิร์คอะนาไลเซอร์ (Network Analyzer) เป็นตัวส่งและรับจ่ายสัญญาณที่ความถี่ 2.45GHz สัญญาณที่รับได้จากเครื่องเนทเวิร์คอะนาไลเซอร์มีค่าเท่ากับ $10 \log(P_r/P_t)$ จะนำมาใช้ในการคำนวณในสมการของฟรีส (Friis Transmission Equation) ดังนี้

$$G(t)_{dB_i} + G(r)_{dB_i} = p(r)_{dBm} - p(t)_{dBm} + l(t)_{dB} + l(r)_{dB} + l(s)_{dB} \quad (4.4)$$

$$l(s)_{dB} = 20 \log \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) \quad (4.5)$$

$$2G_{dB_i} = G(t)_{dB_i} + G(r)_{dB_i} \quad (4.6)$$

$$2G_{dB_i} = G(t)_{dB_i} + G(R)_{dB_i} \quad (4.7)$$

โดย $G(t)_{dB_i}$ คือ อัตราขยายของสายอากาศส่ง (dBi)
 $G(r)_{dB_i}$ คือ อัตราขยายของสายอากาศรับ (dBi)
 $p(t)_{dBm}$ คือ กำลังงานด้านส่ง (dBm)
 $p(r)_{dBm}$ คือ กำลังงานด้านรับ (dBm)
 $l(t)_{dB}$ คือ การสูญเสียจากสายนำสัญญาณที่ด้านส่ง (dB)
 $l(r)_{dB}$ คือ การสูญเสียจากสายนำสัญญาณที่ด้านรับ (dB)
 $l(s)_{dB}$ คือ การสูญเสียในช่องว่างอิสระ (Free space) จากระยะห่างระหว่างสายอากาศส่ง และสายอากาศรับมีหน่วยเป็น (dB) มีความสัมพันธ์ดังนี้

$$l(s)_{dB} = 20 \log \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) \quad (4.8)$$

R คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและรับที่มากกว่าหรือเท่ากับบริเวณ สนามระยะไกล (เมตร)

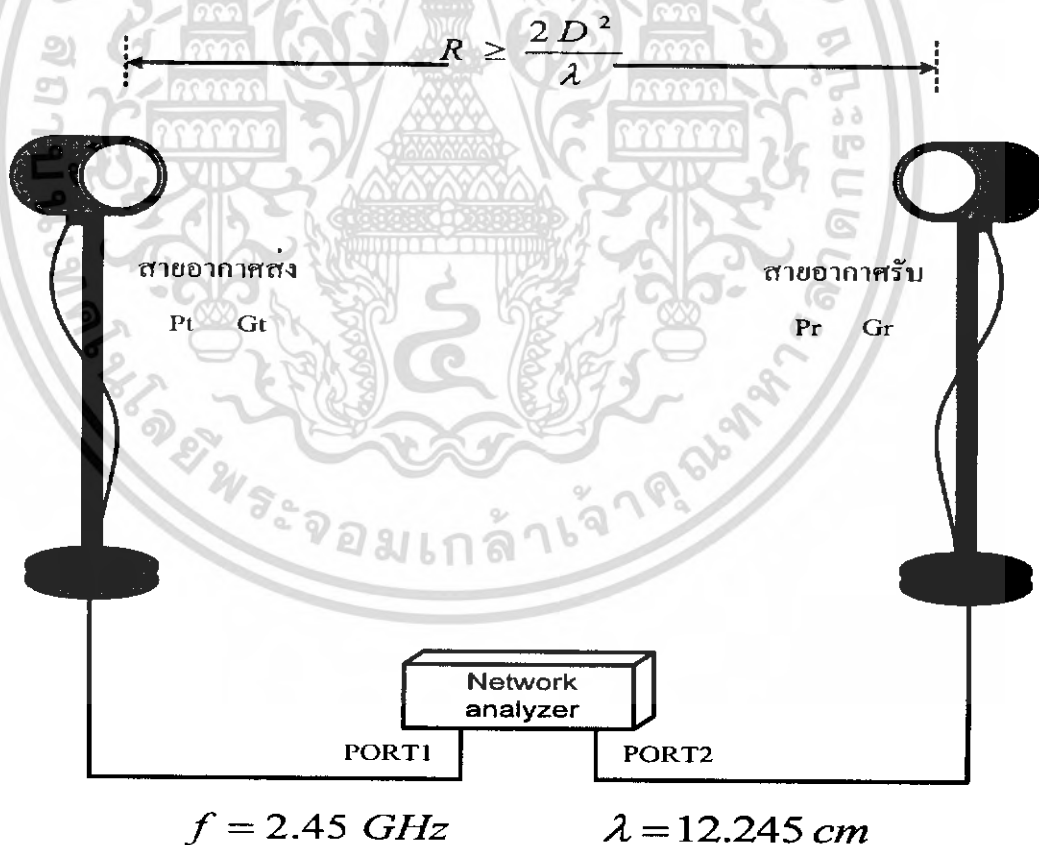
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบหาค่าอัตราขยายของสายอากาศ

1. เครื่อง Network Analyzer
2. สายนำสัญญาณ
3. สายอากาศทิศทางเดียวมีคุณสมบัติเหมือนกัน 2 ตัว
4. ขาดังสำหรับการติดตั้งสายอากาศ

วิธีการทดสอบหาค่าอัตราขยายของสายอากาศ

1. เครื่อง Network Analyzer ตั้งไว้ที่ความถี่ Center 2.45GHz
2. ต่อสายนำสัญญาณกับสายอากาศตัวส่งเข้ากับ Signal Generator Channel :Port 1 เพื่อเป็นตัวส่งสัญญาณ
3. ต่อสายนำสัญญาณกับสายอากาศตัวรับเข้ากับ Signal Generator Channel :Port 2 เพื่อเป็นตัวรับสัญญาณ
4. ซึ่งระยะห่างของสายอากาศตัวส่งและตัวรับต้องมีระยะห่างไม่น้อยกว่า

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda} \quad \text{เมตร}$$
5. ทำการ Short ปลายสาย จากนั้นกดปุ่ม MEAS (Measurement) เลือกที่ S12
6. กดปุ่ม CAL (Calibration) เลือกที่ Resposec แล้วเลือกที่ Thu เป็นการทำการ calibrate เครื่อง
7. ทำการอ่านค่าแล้วนำมาคำนวณหาค่าอัตราขยายตามสมการฟรีส



รูปที่ 4.13 แสดงการทดสอบหาค่าอัตราขยายของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศทั้งสองตัวมีคุณลักษณะที่เหมือนกันทำให้อัตราขยายเป็น 2 เท่า และการสูญเสียของระบบจะมีเฉพาะการสูญเสียจากในช่องว่างอิสระ (Free space) เท่านั้น เพราะฉะนั้นจะได้สมการฟรีส (Friis Transmission Equation) ดังนี้

$$2G_{dB_i} = l(s)_{dB} + (\text{ค่าที่วัดได้จากเครื่องโครงข่าย})_{dB} \quad (4.9)$$

$$\text{เมื่อ} \quad 2G_{dB_i} = G(t)_{dB_i} + G(r)_{dB_i} \quad (4.10)$$

การทดสอบใช้ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและรับเท่ากับ (R) = 2 เมตร จะได้ค่าการสูญเสียในสูญญากาศ (Free space)

$$l(s)_{dB} = 20 \log \left(\frac{4\pi(2)}{0.12245} \right)$$

$$= 46.25 \text{ dB}$$

สัญญาณที่รับได้จากเครื่องเนทเวิร์คอะนาไลเซอร์มีค่าเท่ากับ -30.324 dB นำมาคำนวณเพื่อหาค่าอัตราการขยายตามสมการฟรีสตามสมการที่ 4.9

$$\therefore \text{ค่าอัตราการขยาย (Gain)} = 7.963 \text{ dB}$$

บทที่ 5

มาตรฐาน IEEE 802.11 การประเมินประสิทธิภาพและผลการทดสอบ

5.1 บทนำ

ในบทนี้จะเป็นการนำเสนอเกี่ยวกับมาตรฐาน IEEE 802.11 การประเมินประสิทธิภาพ และผลการทดสอบ สาเหตุที่มาตรฐานนี้ถูกใช้กันมากก็เนื่องจากการใช้คลื่นวิทยุที่มีกำลังส่งสูง สามารถใช้งานในที่ร่มได้ไกลถึง 100 เมตร และกลางแจ้งถึง 400 เมตรและมีความเร็วในการทำงานสูงถึง 11 - 54 Mbps ซึ่งเร็วพอที่จะนำมาใช้แทนระบบเครือข่ายแลนตัวเดิมได้ แต่เครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย หรือ WLAN (Wireless LAN) นี้มีด้วยกัน 3 มาตรฐานคือ a, b, g, ซึ่งแต่ละตัวมีวิธีการโมดูเลตสัญญาณต่างกัน และใช้ความถี่ต่างกัน จึงมีประสิทธิภาพต่างกันด้วย

5.2 มาตรฐาน IEEE 802.11

ในปี ค.ศ. 1997 ถือว่าเป็นจุดกำเนิดมาตรฐานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย หรือ เครือข่ายไวร์เลสแลน ทาง IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) หรือภาษาไทยเรียกว่า สถาบันวิศวกรรมาไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ได้กำหนดมาตรฐานแรกของเครือข่ายไวร์เลสแลนขึ้น โดยใช้ชื่อ IEEE802.11 จากนั้นได้มีการพัฒนามาตรฐานต่อยอดขึ้นไปในด้านประสิทธิภาพการทำงาน กลไกการส่งสัญญาณ ความเร็วสื่อสารข้อมูล ฯลฯ จนแตกแขนงออกมาเป็น 3 มาตรฐาน ได้แก่ IEEE802.11b, IEEE802.11a และ IEEE802.11g

มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้รับการตีพิมพ์ครั้งแรกในปี พ.ศ. 2540 โดย IEEE (The Institute of Electronic and Electrical Engineers) หรือภาษาไทยเรียกว่า สถาบันวิศวกรรมาไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งอุปกรณ์ตามมาตรฐานดังกล่าวจะมีความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 1 และ 2 Mbps ด้วยคลื่นอินฟราเรด (Infarred) หรือคลื่นวิทยุที่ความถี่ 2.4 GHz และมีกลไก WEP ซึ่งเป็นทางเลือกสำหรับสร้างความปลอดภัยให้กับเครือข่าย WLAN ได้ในระดับหนึ่ง เนื่องจากมาตรฐาน IEEE 802.11 เวอร์ชันแรกเริ่มมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ และไม่มีกรอบรับหลักการ Quality of Service (QoS) ซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาด อีกทั้งกลไกรักษาความปลอดภัยที่ใช้ยังมีช่องโหว่อยู่มาก IEEE จึงได้จัดตั้งคณะทำงาน (Task Group) ขึ้นมาหลายชุดด้วยกันเพื่อทำการปรับปรุงเพิ่มเติมมาตรฐานให้มีศักยภาพสูงขึ้น โดยคณะทำงานกลุ่มที่มีผลงานที่น่าสนใจและเป็นที่ยู้งักกันดีได้แก่ IEEE 802.11b, IEEE 802.11a, IEEE 802.11g

5.2.1 มาตรฐาน IEEE 802.11b

IEEE 802.11b ได้ตีพิมพ์มาตรฐานเพิ่มเติมเมื่อปี พ.ศ. 2542 ซึ่งเป็นที่ยู้งักกันดีและใช้งานกันอย่างแพร่หลายมากที่สุด มาตรฐาน IEEE 802.11b ใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า CCK (Complimentary Code Keying) ผสมกับ DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) เพื่อปรับปรุงความสามารถของอุปกรณ์สำหรับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดที่ 11 Mbps ผ่านคลื่นวิทยุความถี่ 2.4 GHz เป็นย่านความถี่ที่เรียกว่า ISM (Industrial Scientific and Medical) ซึ่งถูกจัดสรรไว้อย่างสากลสำหรับการใช้งานอย่างสาธารณะด้านวิทยาศาสตร์ อุตสาหกรรม และการแพทย์ โดยอุปกรณ์ที่ใช้ความถี่ย่านนี้ก็เช่น IEEE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

802.11, Bluetooth, โทรศัพท์ไร้สาย และเดาไมโครเวฟ ส่วนใหญ่แล้วอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะเป็นอุปกรณ์ตามมาตรฐาน IEEE 802.11b นี้และใช้เครื่องหมายการค้าที่รู้จักกันดีในนาม Wi-Fi ซึ่งเครื่องหมายการค้าดังกล่าวถูกกำหนดขึ้นโดยสมาคม WECA (Wireless Ethernet Compatability Alliance) โดยอุปกรณ์ที่ได้รับเครื่องหมายการค้าดังกล่าวได้ผ่านการตรวจสอบแล้วว่า เป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 802.11b และสามารถนำไปใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ยี่ห้ออื่นๆ ที่ได้รับเครื่องหมาย Wi-Fi ได้

5.2.2 มาตรฐาน IEEE 802.11a

IEEE 802.11a ได้ตีพิมพ์มาตรฐานเพิ่มเติมนี้เมื่อปี พ.ศ. 2542 มาตรฐาน IEEE 802.11a ใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) เพื่อปรับปรุงความสามารถของอุปกรณ์ให้รับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดที่ 54 Mbps แต่จะใช้คลื่นวิทยุที่มีความถี่ 5 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่สาธารณะสำหรับใช้งานในประเทศสหรัฐอเมริกาที่มีสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์อื่นน้อยกว่าในย่านความถี่ 2.4 GHz อย่างไรก็ตามข้อเสียหนึ่งของมาตรฐาน IEEE 802.11a ที่ใช้คลื่นวิทยุที่มีความถี่ 5 GHz ก็คือในบางประเทศย่านความถี่ดังกล่าวไม่สามารถนำมาใช้งานได้โดยสาธารณะ ตัวอย่างเช่น ประเทศไทยไม่อนุญาตให้มีการใช้งานอุปกรณ์ IEEE 802.11a เนื่องจากความถี่ย่าน 5 GHz ได้ถูกจัดสรรสำหรับกิจการอื่นอยู่ก่อนแล้ว นอกจากนี้ข้อเสียอีกอย่างหนึ่งของอุปกรณ์ IEEE 802.11a WLAN ก็คือรัศมีของสัญญาณมีขนาดค่อนข้างสั้น (ประมาณ 30 เมตร ซึ่งสั้นกว่ารัศมีสัญญาณของอุปกรณ์ IEEE 802.11b WLAN ที่มีขนาดประมาณ 100 เมตร สำหรับการใช้งานภายในอาคาร) อีกทั้งอุปกรณ์ IEEE 802.11a WLAN ยังมีราคาสูงกว่า IEEE 802.11b WLAN ด้วย ดังนั้นอุปกรณ์ IEEE 802.11a WLAN จึงได้รับความนิยมน้อยกว่า IEEE 802.11b WLAN มาก

5.2.3 มาตรฐาน IEEE 802.11g

IEEE 802.11g ได้ใช้นาเทคโนโลยี OFDM มาประยุกต์ใช้ในช่องสัญญาณวิทยุความถี่ 2.4 GHz ซึ่งอุปกรณ์ IEEE 802.11g WLAN มีความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงสุดที่ 54 Mbps ส่วนรัศมีสัญญาณของอุปกรณ์ IEEE 802.11g WLAN จะอยู่ระหว่างรัศมีสัญญาณของอุปกรณ์ IEEE 802.11a และ IEEE 802.11b เนื่องจากความถี่ 2.4 GHz เป็นย่านความถี่สาธารณะสากล อีกทั้งอุปกรณ์ IEEE 802.11g WLAN สามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ IEEE 802.11b WLAN ได้ (backward-compatible) ดังนั้นจึงมีแนวโน้มสูงกว่าอุปกรณ์ IEEE 802.11g WLAN จะได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย หากมีราคาไม่แพงจนเกินไปและน่าจะมาแทนที่ IEEE 802.11b ในที่สุด ตามแผนการแล้วมาตรฐาน IEEE 802.11g จะได้รับการตีพิมพ์ประมาณช่วงกลางปี พ.ศ. 2546

ตารางที่ 5.1 คุณสมบัติของเครือข่ายไร้สายมาตรฐานต่างๆ

คุณสมบัติ	IEEE802.11b	IEEE802.11a	IEEE802.11g
ความเร็วสื่อสารข้อมูลสูงสุด	11 Mbps	54 Mbps	55 Mbps
กลไกการส่งสัญญาณ	DSSS	OFDM	DSSS และ OFDM
ความเร็วสื่อสาร	1,2,5.5, 11 Mbps	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps	DSSS:1,2, 5.5, 11,Mbps OFDM:6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps
ช่วงความถี่ที่ใช้งาน	2.4-2.4835 GHz	5.15-5.35 GHz 5.425-5.675 GHz 5.725-5.875 GHz	2.4-2.4835 GHz
การ โมดูเลตสัญญาณ	DBPSK:1 Mbps DQPSK:2 Mbps CCK:5.5,11 Mbps	BPSK:6, 9 Mbps QPSK:12, 18 Mbps 16-QAM:24,36 Mbps 64-QAM:48,54 Mbps	DBPSK:1 Mbps DQPSK:2 Mbps CCK:5.5,11 Mbps OFDM:6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps
กลไกควบคุมการเข้าถึงตัวกลางสื่อสารข้อมูล (Media Access Control)	CSMA/CA	CSMA/CA	CSMA/CA
สามารถทำงานร่วมกับมาตรฐาน (Compatibility)	IEEE802.11b IEEE802.11g	IEEE802.11a	IEEE802.11b IEEE802.11g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 ค่า Throughput โดยประมาณของเครือข่ายไร้สาย

ระยะทาง(ฟุต)	IEEE802.11b	IEEE802.11a	IEEE802.11g
10	5.8 Mbps	24.7 Mbps	24.7 Mbps
50	5.8 Mbps	19.8 Mbps	24.7 Mbps
100	5.8 Mbps	12.4 Mbps	19.8 Mbps
150	5.8 Mbps	4.9 Mbps	12.4 Mbps
200	3.7 Mbps	0 Mbps	4.9 Mbps
250	1.6 Mbps	0 Mbps	1.6 Mbps
300	0.9 Mbps	0 Mbps	0.9 Mbps

5.3 ความเร็วในการรับ - ส่งข้อมูลกับความแรงของสัญญาณ

ความเร็วในการรับ - ส่งข้อมูลของเครือข่ายไร้สายนั้น จะแปรผันกับความแรงของสัญญาณ วิทยุ นั่นหมายความว่าเมื่อสัญญาณวิทยุมีความแรงก็จะส่งข้อมูลได้เร็ว แต่เมื่อสัญญาณวิทยุอ่อนแรงลงก็จะส่งข้อมูลได้ช้าลง ที่เป็นเช่นนี้เพราะระบบไร้สายจะเลือกวิธีการ โมดูเลตให้เหมาะสมกับความแรงของสัญญาณ ตามมาตรฐาน 802.11b จะมีความเร็วในการทำงาน 4 ระดับ 11, 5.5, 2 และ 1 Mbps และ 802.11 g จะมีความเร็วในการทำงาน 8 ระดับ คือ 54, 48, 36, 24, 11, 5.5, 2 และ 1 Mbps ตัวอย่างเช่น ในมาตรฐาน 802.11 b เมื่อเราอยู่ใกล้แอ็กเซสพอยน์ ก็จะมีสัญญาณวิทยุแรง ระบบก็จะใช้การ โมดูเลตแบบ CCK ทำให้มีความเร็วที่ 5.5-11 Mbps ต่อมาเราอยู่ห่างออกไปทำให้สัญญาณวิทยุอ่อนแรงลง ระบบก็จะเปลี่ยนการ โมดูเลตไปเป็นแบบ QPSK ซึ่งเป็นวิธีที่ทนทานต่อสัญญาณรบกวนมากกว่าแต่ความเร็วก็จะลดลงเหลือ 2 Mbps จนในที่สุดเมื่อเราอยู่ห่างออกไปอีก ก็จะเปลี่ยนวิธี โมดูเลตเป็นแบบ BPSK ซึ่งเป็นวิธีสุดท้ายที่มีความเร็วเพียง 1 Mbps เท่านั้น



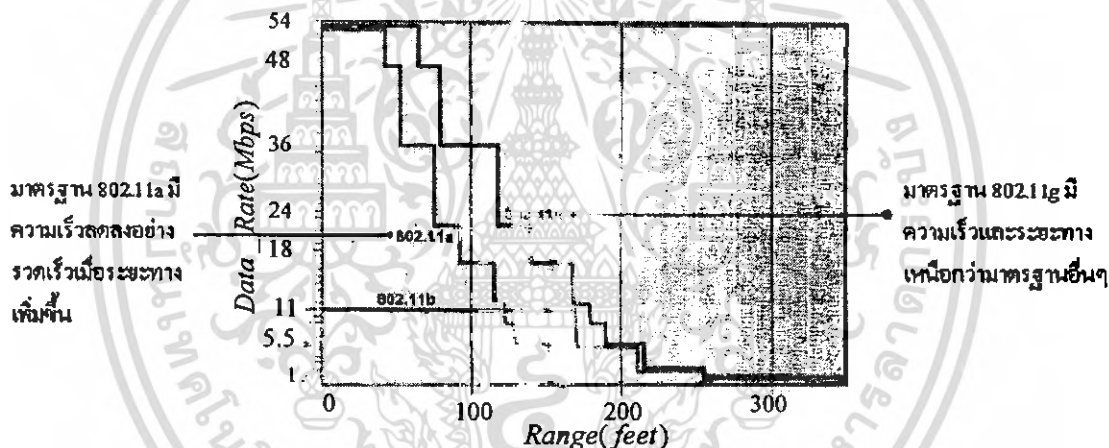
รูปที่ 5.1 ระยะทางที่มีผลกระทบเรื่องความเร็วในระบบไร้สาย 802.11b และ 802.11g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปข้างต้นจะเห็นว่าเมื่ออยู่ห่างจากแอ็กเซสพอยน์ไม่มาก มาตรฐาน 802.11g จะมีความเร็วสูงมากแต่เมื่อห่างออกไปก็จะมีความเร็วลดลงใกล้เคียงกับมาตรฐาน 802.11b ที่เป็นเช่นนี้เพราะมาตรฐาน 802.11 g ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อให้ทำงานร่วมกับอุปกรณ์มาตรฐาน 802.11b มาตรฐานตัวใหม่จึงสามารถใช้การโมดูเลตวิธีเดียวกับของ 802.11b โดยเมื่อไวร์เลสแลนการ์ดอยู่ใกล้กับแอ็กเซสพอยน์ก็จะใช้การโมดูเลตแบบ OFDM แบบใหม่ แต่เมื่ออยู่ห่างออกไปก็จะใช้การโมดูเลตแบบเดิมตามมาตรฐาน 802.11b นั่นก็เป็นสาเหตุว่าทำไมมาตรฐานทั้งสองถึงมีระยะเวลาการทำงานและความเร็วที่ใกล้เคียงกันเมื่อมีระยะห่างออกไป

5.4 ความเร็วในการรับ - ส่งข้อมูลกับระยะทางของระบบไวร์เลสแลนมาตรฐานต่างๆ

การปรับค่าความเร็วในการรับ-ส่งจะเป็นไปโดยอัตโนมัติ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตัวแอ็กเซสพอยน์และไวร์เลสแลนการ์ดที่จะตกลงกันตามค่าความแรงของสัญญาณ ซึ่งสามารถสังเกตได้จากเมื่ออุปกรณ์ไวร์เลสอยู่ห่างจากแอ็กเซสพอยน์ออกไปก็จะมี การเปลี่ยนวิธีการโมดูเลตทำให้ความเร็วลดลง ทำให้ความเร็วในการทำงานกับระยะทางมีรูปร่างเป็นขั้นบันได



รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความเร็วในการรับ - ส่งข้อมูลกับระยะทางของระบบไวร์เลสแลนตามมาตรฐานต่างๆ

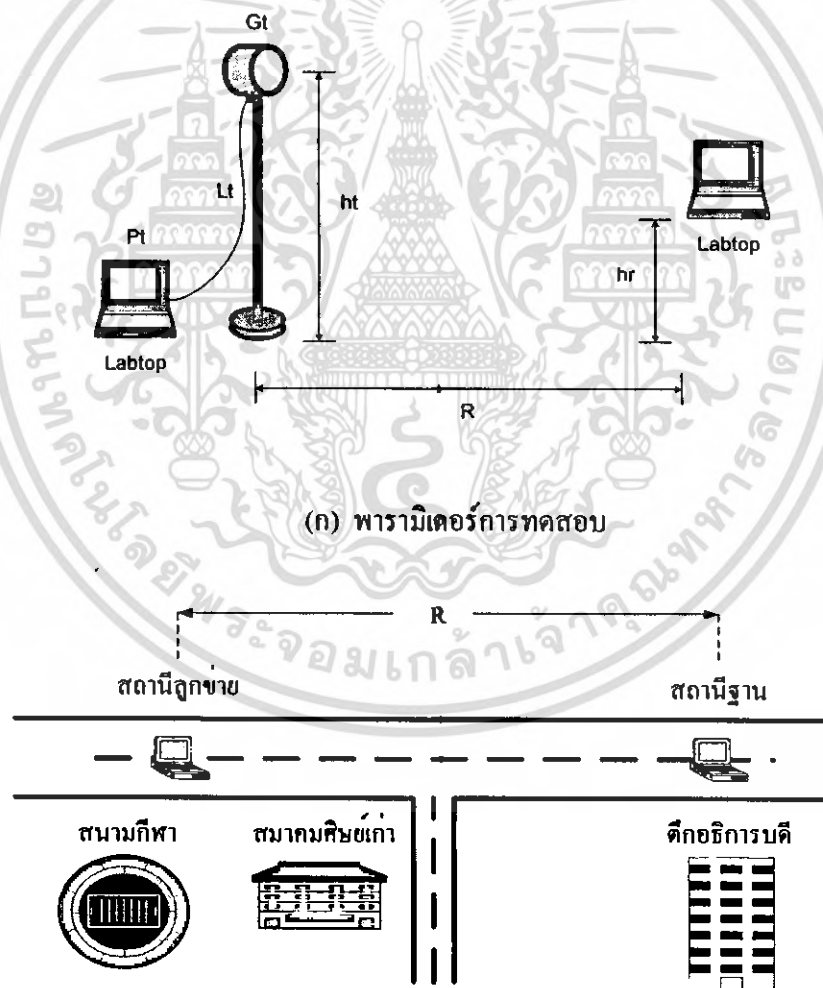
จากรูปที่ 5.2 จะเป็นกราฟที่แสดงความเร็วกับระยะทางในสภาพการทำงานในออฟฟิศ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเครือข่ายตามมาตรฐาน 802.11a จะมีความเร็วลดลงอย่างมากเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เพราะมาตรฐานนี้ใช้กำลังส่งที่ต่ำมาก และมีปัญหาเรื่องการลดทอนสัญญาณจากสิ่งกีดขวาง ต่างจากมาตรฐาน 802.11g ที่มีความเร็วลดลงแต่ก็สามารถใช้งานได้ระยะไกลกว่า ซึ่งถ้าหากเทียบกันระหว่างมาตรฐาน 802.11g และ 802.11b ทั้งสองจะมีความเร็วสุดท้ายที่ระยะทางใช้งานสูงสุดที่เท่ากัน

5.5 การทดสอบประสิทธิภาพ

ในการทดสอบสมมติให้ลูกข่ายทำหน้าที่แทนสถานีฐานด้านรับ เพื่อให้การทดสอบ ซึ่งการสื่อสารแบบจุดต่อหลายจุดในลักษณะการใช้งานกับคอมพิวเตอร์พกพาตามถนนหรือแนวทางเดินที่แคบ

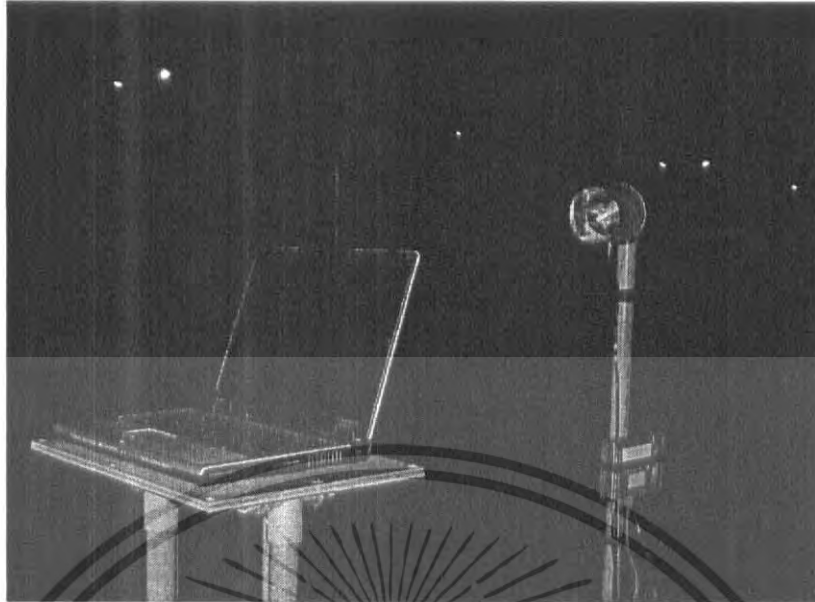
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คามแนวยาว คือแนวเส้นระดับสายตาระหว่าง เครื่องรับและเครื่องส่ง ดังนั้นจึงเลือกสถานที่ทดสอบที่มีการรบกวนน้อยเช่น การรบกวนจากยานพาหนะ การรบกวนจากเครือข่ายไร้สายอื่น และสถานที่สะดวกที่สุดในการใช้อุปกรณ์ จึงเลือกถนนหลังตึกอชิการบติเชื่อมไปยังสนามกีฬาสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เนื่องจากการรบกวนจากยานพาหนะน้อยและไม่มี การรบกวนจากระบบไร้สายระบบอื่น และถนนมีลักษณะเป็นเส้นตรงดังรูปที่ 5.3 (ข) ซึ่งระยะทางที่ยาว 1200 เมตรอุปกรณ์ทดสอบทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 5.3 (ก) ด้านสถานีฐานประกอบด้วยคอมพิวเตอร์แบบพกพาซึ่งติดตั้งโปรแกรมทดสอบ และเชื่อมต่อกับสถานีฐานด้วยโครงข่ายท้องถิ่น (LAN) สถานีฐานเชื่อมต่อกับสายอากาศทดสอบด้วยสายนำสัญญาณยาว 1 เมตร สายอากาศทดสอบติดตั้งบนขาตั้งมีความสูงจากพื้น 2 เมตร ทางด้านลูกข่ายประกอบด้วยคอมพิวเตอร์พกพาติดตั้งการ์ดโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายวางอยู่บนรถเข็นมีความสูงจากพื้น 1.5 เมตร ในการทดสอบเป็นแบบจุดไม่ต่อเนื่อง โดยแต่ละจุดห่างกัน 30 เมตร ตามความยาวถนน ในการทดสอบจะทำการทดสอบค่าวิสัยสามารถ มีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้



รูปที่ 5.3 การทดสอบประสิทธิภาพสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

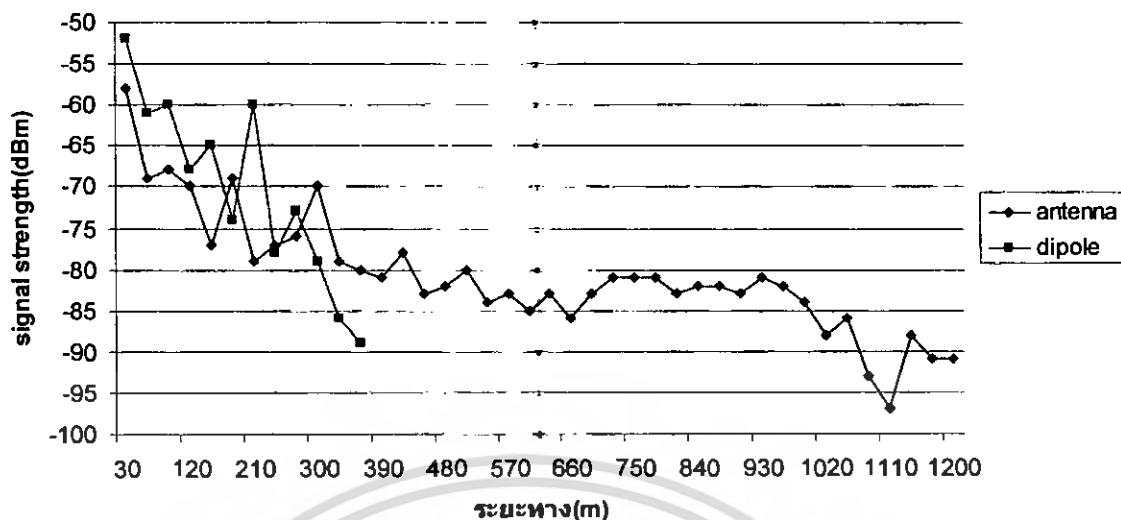


รูปที่ 5.4 การติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบด้านสถานีฐาน และด้านลูกข่าย

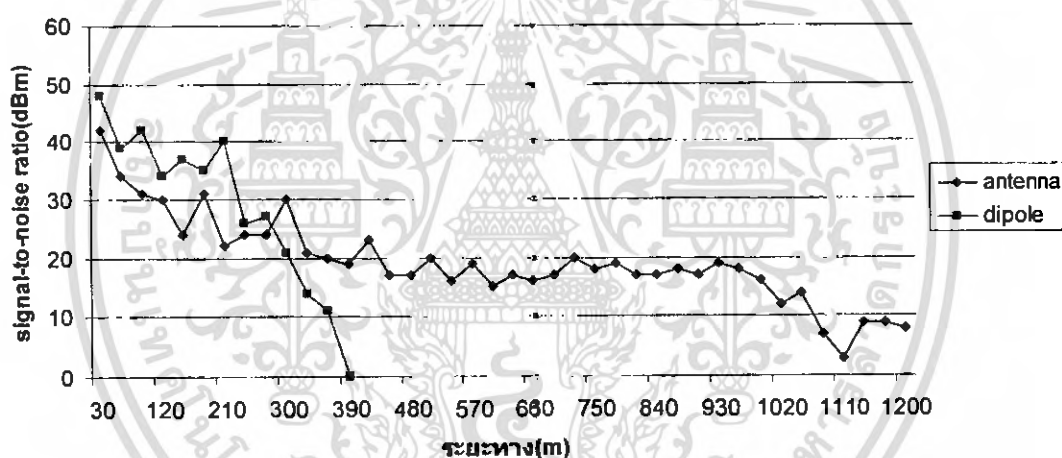
5.5.1 การทดสอบค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio)

อัตราความแรงของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนนั้น เป็นส่วนที่มีความสำคัญมากเพราะเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพของสัญญาณในระบบสื่อสารว่าดีเพียงใด เรื่องสำคัญที่ควรพิจารณาเมื่อทำการปฏิบัติการเกี่ยวกับสัญญาณที่มีกำลังอยู่ในระดับที่ต่ำ คือเราจะพบว่าสัญญาณรบกวนมักจะเข้ามามีอิทธิพลครอบงำสัญญาณนั้น การที่จะบอกว่าสัญญาณนั้นถูกรบกวนโดยสัญญาณรบกวนมากน้อยเท่าใดนั้นสิ่งที่ยกตัวอย่างหนึ่งก็คือ ใช้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนเป็นตัวช่วยบ่งชี้ถึงความแตกต่างระหว่างค่ากำลังของสัญญาณทั้งสองโดยใช้โปรแกรม netstumber ในการทดสอบ จากรูปที่ 5.5 จะเห็นว่าเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นความแรงของสัญญาณมีค่าลดลง เช่นเดียวกับค่าอัตราความแรงของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนในรูปที่ 5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 แสดงค่าความแรงของสัญญาณเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น



รูปที่ 5.6 แสดงค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น

5.5.2 การทดสอบระบบบริการและค่าวิสัยสามารถ

การทดสอบค่าวิสัยสามารถทำได้โดยใช้โปรแกรม Chariot ซึ่งขั้นตอนการทำทดสอบเริ่มจากลูกข่ายส่งไฟล์คำสั่ง (Scrip) ไปยังคอมพิวเตอร์ด้านสถานีฐาน เพื่อเตรียมความพร้อมของโปรแกรมทั้งด้านรับและด้านส่ง จากนั้นคอมพิวเตอร์ด้านส่งทำการส่งไฟล์ขนาด 10000 ไบต์ ผ่านสถานีฐานไปยังลูกข่าย แล้วทำการคำนวณค่าวิสัยสามารถ ในการทดสอบแต่ละครั้งทำการวัดและบันทึกผลที่ได้เปลี่ยนแปลงตามระยะทาง

สาเหตุที่ค่า Throughput ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน เนื่องจากในการรับ-ส่งสัญญาณของระบบไวร์เลสแลนนั้นจะใช้ความถี่เดียวกัน ซึ่งอุปกรณ์ทุกตัวไม่ว่าจะเป็นแอ็กเซสพอยน์ หรือการ์ดไวร์เลสแลนก็จะรับส่งข้อมูลที่ความถี่นี้ และจะต้องผลัดกันรับ-ส่งข้อมูลไม่สามารถส่งข้อมูลพร้อมกันได้ ไม่เช่นนั้นจะเกิดข้อมูลชนกันในอากาศ การส่งแบบนี้เรียกว่าวิธแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ (Half-Duplex Mode) คล้ายกับวิทยุเอกสาร์เป็นเอกสาร์ที่ส่งวนไวสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

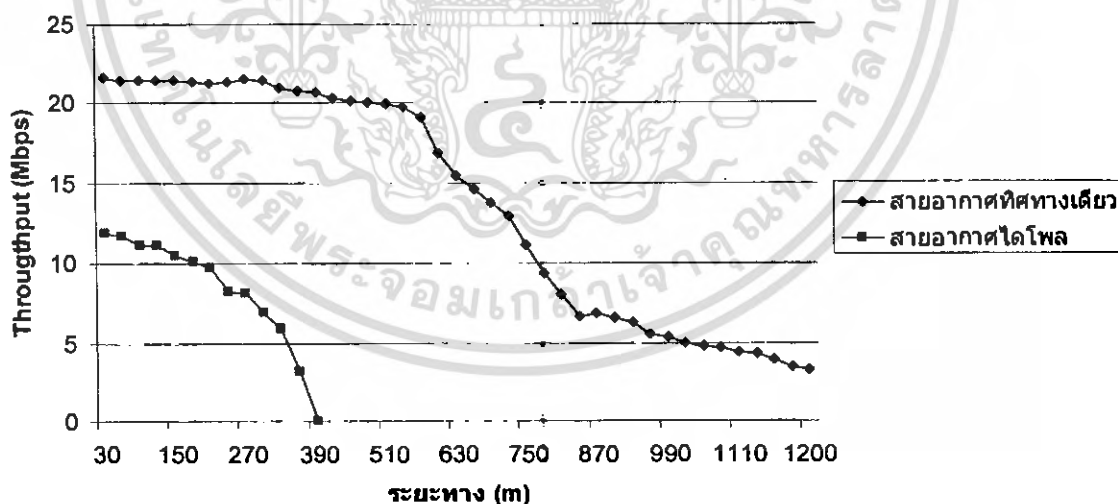
ตำรวจที่ผู้ส่งจะต้องกดปุ่มที่วิทยุเพื่อพูด เมื่อเราพูดก็จะไม่ได้ยินเสียงอะไร ดังนั้นอีกฝ่ายพูดอีกฝ่ายหนึ่งต้องฟัง

ระบบไวร์เลสแลนนั้นใช้ช่องสัญญาณเดียวทั้งรับและส่ง กว่าที่จะส่งได้ก็ต้องมีการร้องขอ และตอบกลับหลายครั้ง จึงทำให้ความเร็วของระบบไวร์เลสแลนที่แท้จริงจะต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้กว่าครึ่งหนึ่ง สำหรับมาตรฐานที่ใช้ทดสอบ คือ IEEE802.11g ระบุว่ามีความเร็ว 54 Mbps ความจริงความเร็วของระบบจะมีค่าประมาณ 24 - 27 Mbps

ในการเลือกระยะที่ทำการวัดนั้น ระยะแรกจะมีความสำคัญในการเลือกจะต้องทำการเลือกระยะที่บริเวณสนามระยะไกล (far-field) โดยที่ระยะนี้สนามจะมีการแพร่กระจายออกมาทั้งหมด โดยสายอากาศที่ทำการสร้างจะมีระยะของสนามระยะไกลที่

$$\text{Far Field Distance}(R) \geq \frac{2D^2}{\lambda} = \frac{2(0.10)^2}{0.12245} = 1.63m$$

ดังนั้นระยะเริ่มต้นจะต้องทำการวัดที่ระยะมากกว่าหรือเท่ากับ 1.63 เมตร สนามจึงจะมีการแพร่กระจายออกมาทั้งหมด ถ้าระยะน้อยกว่าระยะนี้สายอากาศจะมีการแพร่กระจายบางส่วนและสะสมพลังงานไว้บางส่วน ในการวัดค่าระยะแรกใช้ที่ระยะ 30 เมตร ซึ่งเป็นระยะของสนามระยะไกลสามารถเลือกที่ระยะอื่นก็ได้



รูปที่ 5.5 ผลการทดสอบค่าวิสัยสามารถของสายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย

การคำนวณค่า throughput ด้วยโปรแกรม Chariot สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$(\text{Bytes_Sent} + \text{Bytes_Received_By_Endpoint_1}) / ((\text{Throughput_Units}) * (\text{Measured_Time}))$$

โดยที่ Bytes_Sent คือ จำนวนไบต์ที่ทำการส่งที่ Endpoint_1 เท่ากับ 80,000,800 bits

Bytes_Received คือ จำนวนไบต์ที่ทำการรับที่ Endpoint_1 เท่ากับ 800 bits

Measured_Time คือ เวลาที่ใช้ในการรับ-ส่งข้อมูล (secs)

Throughput Units เท่ากับ 1,000,000 bytes per second

➔ การคำนวณค่า throughput ที่ระยะ 30 เมตร ใช้เวลาในการรับส่งข้อมูล 3.628 secs

$$\text{throughput} = \frac{(80,000,800)}{1,000,000 \times 3.628} = 22.05 \text{ Mbps}$$

➔ การคำนวณค่า throughput ที่ระยะ 630 เมตร ใช้เวลาในการรับส่งข้อมูล 5.508 secs

$$\text{throughput} = \frac{(80,000,800)}{1,000,000 \times 5.508} = 14.52 \text{ Mbps}$$

➔ การคำนวณค่า throughput ที่ระยะ 1,110 เมตร ใช้เวลาในการรับส่งข้อมูล 16.54 secs

$$\text{throughput} = \frac{(80,000,800)}{1,000,000 \times 16.594} = 4.83 \text{ Mbps}$$

จากตัวอย่างการคำนวณค่า throughput ทั้ง 3 ค่าจะพบว่าค่า throughput นั้นขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล ถ้าใช้เวลาในการรับ-ส่งข้อมูลน้อยค่า throughput ก็จะมีค่ามาก ในทางตรงข้ามถ้าใช้เวลาในการรับ-ส่งข้อมูลมากค่า throughput ก็จะมีค่าน้อย จากกราฟจะพบว่าที่ระยะทางไกลออกไปจะใช้เวลาในการรับ-ส่งข้อมูลเพิ่มมากขึ้นทำให้กราฟมีค่าลดลง

ผลการทดสอบรับสัญญาณจากสายอากาศโดยใช้โปรแกรม Chariot จากรูปที่ 5.5 จะเห็นได้ว่าสายอากาศทิศทางเดียวให้ค่าวิสัยสามารถสูงกว่าสายอากาศไดโพลตลอดระยะเวลาการทดสอบ เนื่องจากสายอากาศทิศทางเดียวมีค่าอัตราการขยายสูงกว่า และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแคบกว่า โดยที่สายอากาศไดโพลมีระยะบริการสูงสุดเท่ากับ 360 เมตร สำหรับสายอากาศทิศทางเดียวมีระยะบริการสูงสุดสามารถส่งสัญญาณได้ไกลถึง 1200 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6 วิจารณ์และสรุป

ปริญญาบัตรนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์ และออกแบบสายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย สายอากาศชนิดนี้ให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียว ซึ่งมีประโยชน์ในการประยุกต์ใช้สายอากาศสำหรับการสื่อสารแบบจุดต่อจุดหรือจุดต่อหลายจุด ซึ่งสายอากาศชนิดนี้มีลักษณะโครงสร้างไม่ซับซ้อน สามารถทำการออกแบบได้ง่าย และมีความแข็งแรง วัสดุที่ใช้สร้างหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาดราคาถูก โดยเฉพาะตัวสะท้อนคลื่นวัสดุที่ใช้คือกระเบื้องซึ่งเป็นวัสดุที่ไม่ใช้งานแล้วสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อีกไม่จำเป็นต้องซื้อหรือสั่งทำเป็นพิเศษ ช่วยเป็นการประหยัดต้นทุนการผลิตเนื่องจากไม่ต้องซื้อหรือสั่งทำขึ้นมานั่นเอง ดังนั้นการประยุกต์ใช้งานของสายอากาศชนิดนี้จึงเหมาะสำหรับการสื่อสารบริเวณพื้นที่ที่แคบตามแนวยาว เช่น รถไฟฟ้าใต้ดิน ทางด่วน อุโมงค์ ทางเดินระหว่างตึก เป็นต้น

สำหรับการพิจารณาคูณลักษณะของสายอากาศวงแหวนวงกลมที่ป้อนสัญญาณด้วยโพรบกระตุ้นวงแหวนวงกลมนั้น จะทำการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อคุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ คือ ค่ารัศมีของวงแหวนวงกลม (r_0) จะมีค่าความยาวของวงแหวนที่เหมาะสมกับค่าความยาวของวงแหวนเพียงค่าเดียวเท่านั้น โดยจะพิจารณาให้เกิดคลื่นที่ออกจากตัวสายอากาศมีเพียงรูปแบบของคลื่นหลักเท่านั้น โหมด TE_{11} โดยค่ารัศมีของท่อนำคลื่นวงกลมจะอยู่ในช่วง $0.293\lambda < r_0 < 0.486\lambda$

สำหรับการพิจารณาค่าตัวสะท้อนคลื่นและความยาวโพรบนั้นจะใช้โปรแกรม CST ในการวิเคราะห์ค่าที่จะทำให้มีการ โพลารไรซ์ของสายอากาศแบบวงกลม และในขณะที่เดียวกันก็ต้องมีค่าคุณลักษณะเชิงอิมพีแดนซ์อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เพราะฉะนั้นจะได้ค่าพารามิเตอร์ที่ให้ค่าการโพลารไรซ์เป็นแบบวงกลม ตัวป้อนสัญญาณวงแหวนวงกลมล้อมรอบโพรบเชิงเส้นไฟฟ้า มีค่ารัศมีของวงแหวนเท่ากับ 36.5 mm ค่าความยาวของวงแหวนวงกลมเท่ากับ 35 mm ค่าความยาวโพรบเท่ากับ 38 mm ตัวสะท้อนคลื่นเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 100 mm สูง 80 mm และระยะห่างระหว่างจุดป้อนสัญญาณกับตัวสะท้อนคลื่น 35 mm

ส่วนในบทที่ 4 จะกล่าวถึงการทดสอบสายอากาศในส่วนของการทดสอบสายอากาศจะทำการทดสอบ ได้ทำการทดสอบคุณลักษณะเชิงอิมพีแดนซ์ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น การโพลารไรซ์ของสายอากาศ และอัตราขยายของสายอากาศ ในบทที่ 5 จะกล่าวถึงมาตรฐาน และการประยุกต์ใช้งาน คือ มาตรฐานของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย หรือ WLAN (Wireless LAN) คือ มาตรฐาน IEEE802.11 สำหรับการประยุกต์ใช้งานจะทำการทดสอบ ค่าวิสัยสามารถของระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย โดยใช้สายอากาศทิศทางเดียวสำหรับระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายเป็นสายอากาศของสถานีฐาน

การทดสอบใช้งานจริงจากสายอากาศที่ทำการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศชนิดนี้ มีช่วงความถี่ที่ใช้งานอยู่ในช่วง Wireless LAN ตามมาตรฐาน IEEE 802.11b และ IEEE 802.11g ผลการทดสอบสายอากาศในระบบ Wireless LAN สามารถส่งสัญญาณ ได้ไกลถึง 1200 เมตร จากคุณสมบัติ

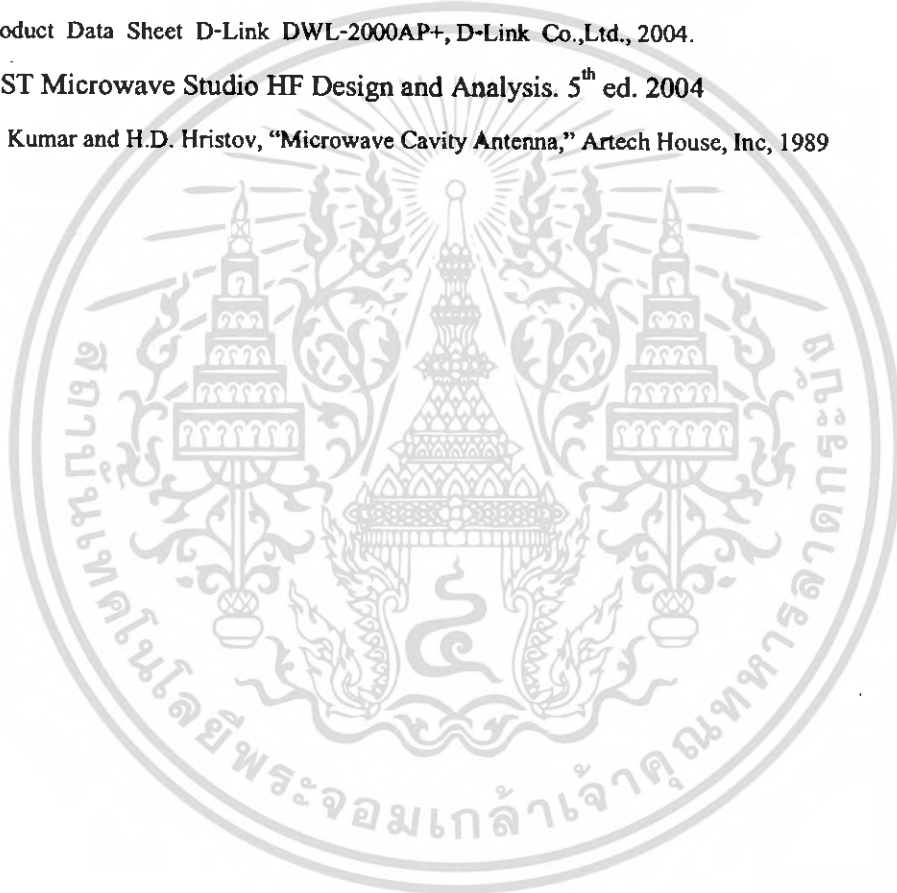
ในการรับส่งสัญญาณในระยะทางไกล จึงมีความเหมาะสมในการใช้งานเป็นสายอากาศสำหรับโครงข่าย
ท้องถิ่นไร้สายภายนอกอาคาร ใช้งานแบบจุดต่อจุดในระบบ Wireless LAN



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. ไมโนบ ไกรฤกษ์ “ทฤษฎีสายอากาศ”, สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ , พ.ศ.2541
2. บัณฑิต โรจน์อารยานนท์ “วิศวกรรมสายอากาศ”, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , พ.ศ.2536
3. ฉัตรชัย ไวยาพัฒน์กร “ การวิเคราะห์สายอากาศ ” สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , พ.ศ.2547
4. มงคล ทองสงคราม, “สนามแม่เหล็กไฟฟ้า”, พิมพ์ครั้งที่ 1, บริษัทรามการพิมพ์จำกัด, 2536
5. กมลลดา สุโกศล, จริญญา ตะภาทอง, จิรยุทธ มาลาวงษ์, “สายอากาศอัตรการขยายสูงทิศทางเดียว สำหรับระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายภายนอกอาคาร”, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2547
6. C.A. Balanis, “Antenna Theory Analysis and Design,” 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., 1997
7. Product Data Sheet D-Link DWL-2000AP+, D-Link Co., Ltd., 2004.
8. CST Microwave Studio HF Design and Analysis. 5th ed. 2004
9. A. Kumar and H.D. Hristov, “Microwave Cavity Antenna,” Artech House, Inc, 1989



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

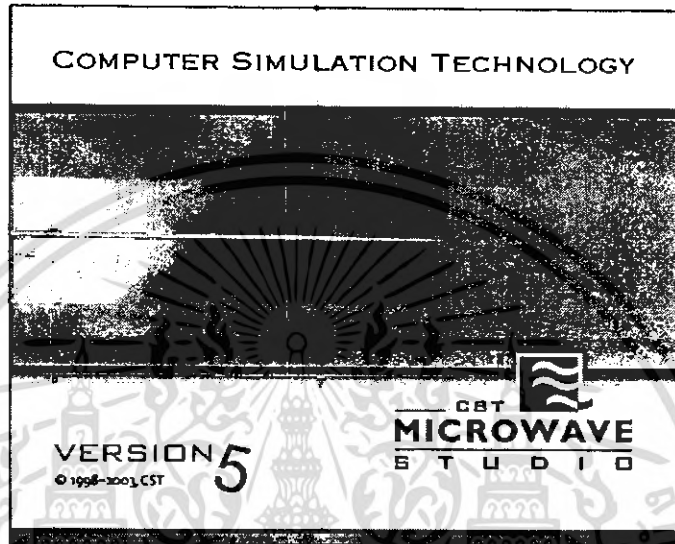


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

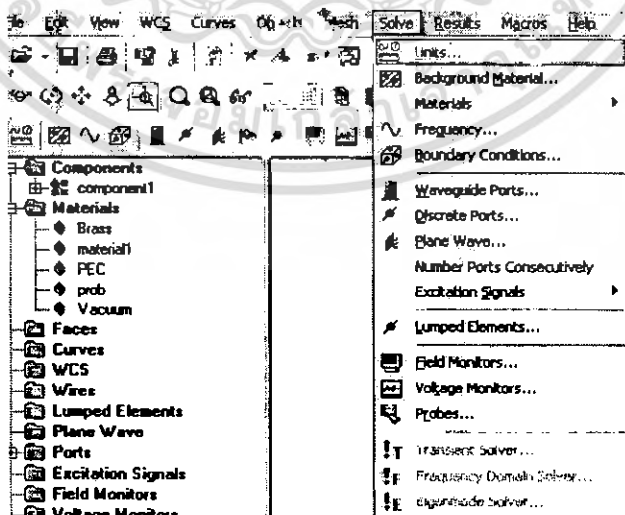
การใช้โปรแกรม CST ในการคำนวณและวิเคราะห์

1. วิธีการจำลองสาขาอากาศจากโปรแกรม CST



รูปที่ ก.1 โปรแกรม CST

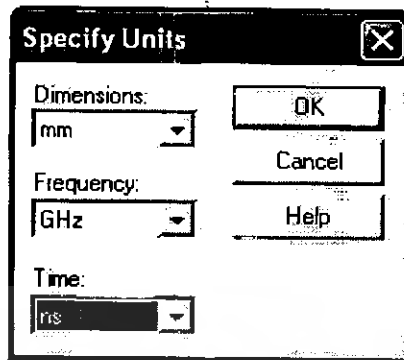
2. เริ่มต้นจากการกำหนดค่าหน่วยของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยคลิกที่ solve แล้วเลือก unit ตามรูปที่ ก.2



รูปที่ ก.2 วิธีการกำหนดหน่วยของพารามิเตอร์ต่างๆ

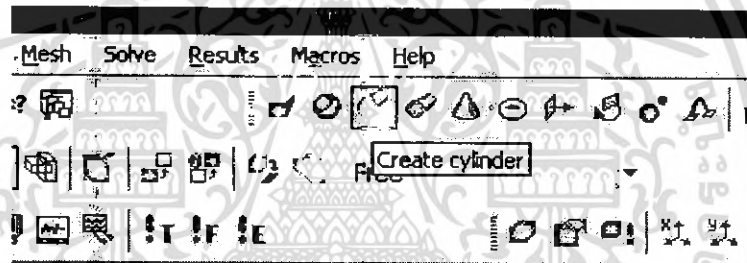
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จากนั้นจะมี Specify Units ให้กำหนดหน่วยของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ลงไป ตามรูปที่ ก.3



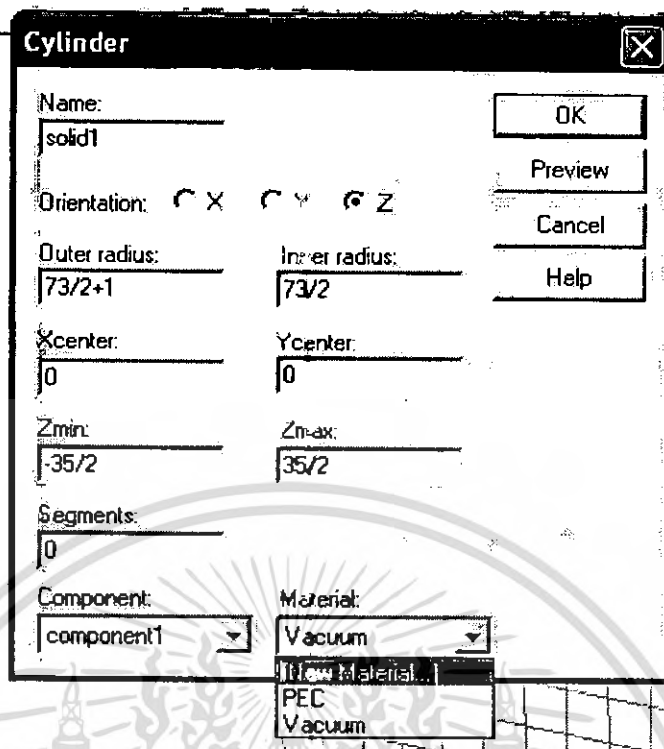
รูปที่ ก.3 การกำหนดหน่วยของพารามิเตอร์ต่างๆ

4. จำลองสายอากาศวงแหวนวงกลมโดยเริ่มจาก คลิกที่ Create cylinder ตามรูปที่ ก.4



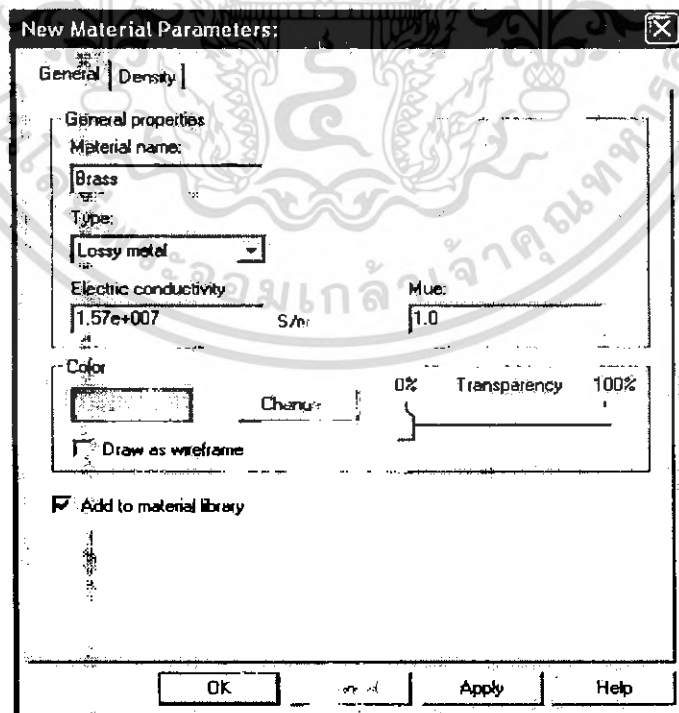
รูปที่ ก.4 การเลือกสร้างรูปทรงแบบทรงกระบอก

5. กด Esc จะมีหน้าต่างให้ใส่ค่าเพื่อที่จะกำหนดค่าขนาดต่างๆ ของวงแหวนวงกลมวงแหวนวงกลม โดยทำการกำหนดค่ารัศมีด้านนอก และด้านในของวงแหวน ค่าความยาวของวงแหวน โดยที่ความยาวของวงแหวนจะขนานตามแนวแกน z และเลือกชนิดของวัสดุที่ต้องการนำมาสร้าง โดยที่วัสดุที่เราต้องการสร้างก็คือ ทองแดง จะต้องเพิ่มเข้ามาเลือกที่ New Material ตามรูปที่ ก.5



รูปที่ ก.5 การกำหนดค่ารัศมีและความยาวของสายอากาศวงแหวนวงกลม

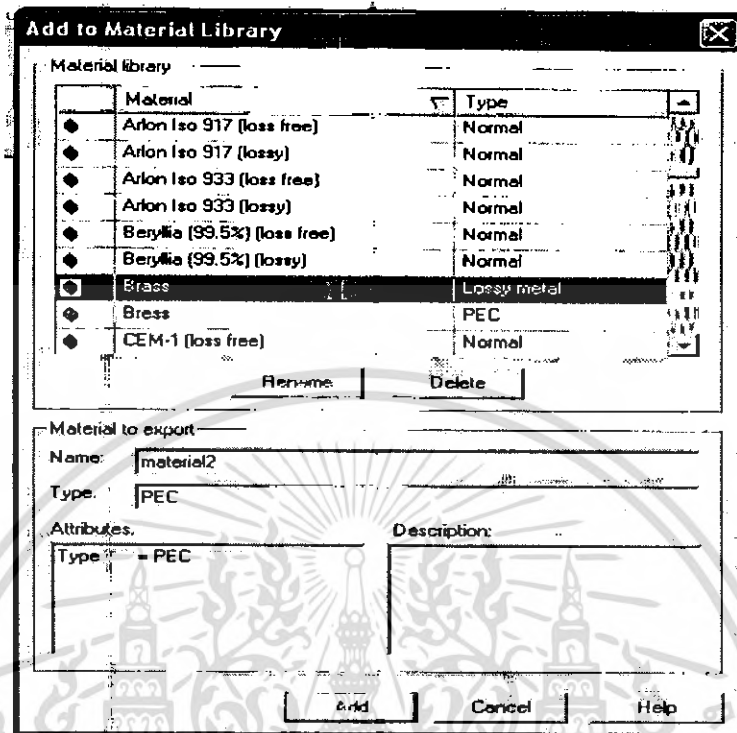
6. มีหน้าต่างเกิดขึ้นมา ดังรูปที่ ก.6 ให้เลือกที่ Add to material เพื่อทำการเลือกวัสดุ



รูปที่ ก.6 การที่จะเข้าไปเลือกวัสดุ

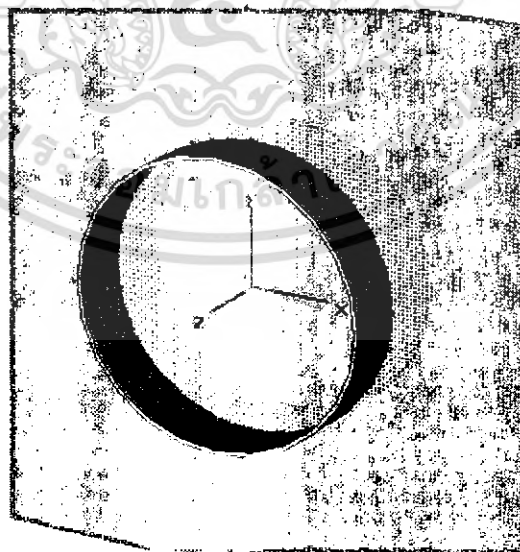
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. จะมีหน้าต่างแสดงวัสดุต่างๆ ขึ้นมา ดังรูปที่ ก.7 ทำการคลิกที่ Brass แล้วคลิก Add



รูปที่ ก.7 แสดงวัสดุต่างๆ

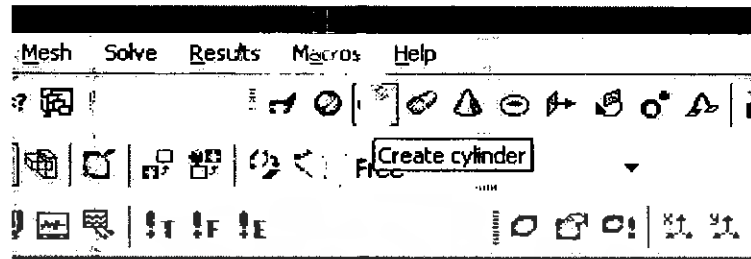
8. เสร็จแล้วก็จะได้วงแหวนวงกลม ตามรูปที่ ก.8



รูปที่ ก.8 วงแหวนวงกลม

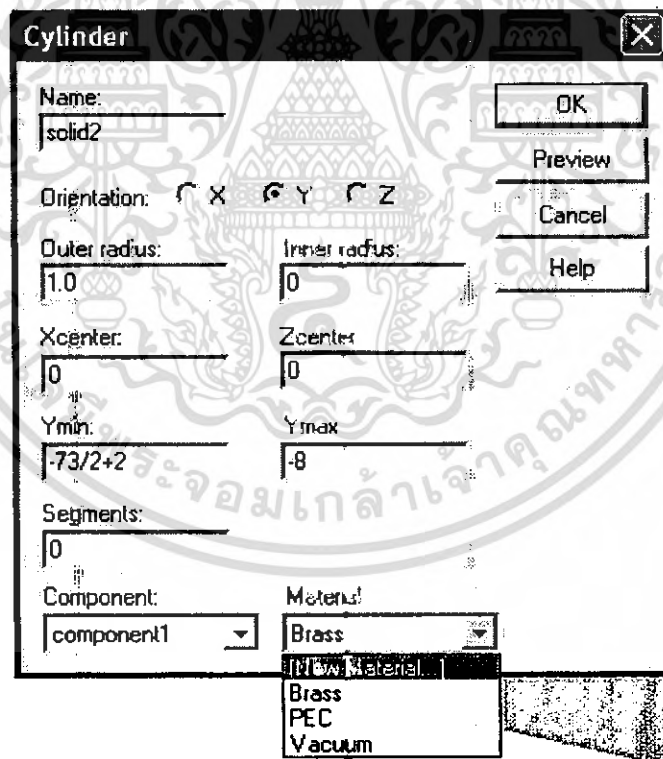
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ต่อไปจะสร้างโพรบก็จะทำเหมือนกับ การสร้างวงแหวนวงกลมเนื่องจากทั้งสองอย่างมี ลักษณะโครงสร้างที่เหมือนกันคือเป็นรูปทรงกระบอก แต่โพรบจะสร้างจากวัสดุที่เป็นทองแดง เริ่มจากคลิกที่ Create cylinder ตามรูปที่ ก.9



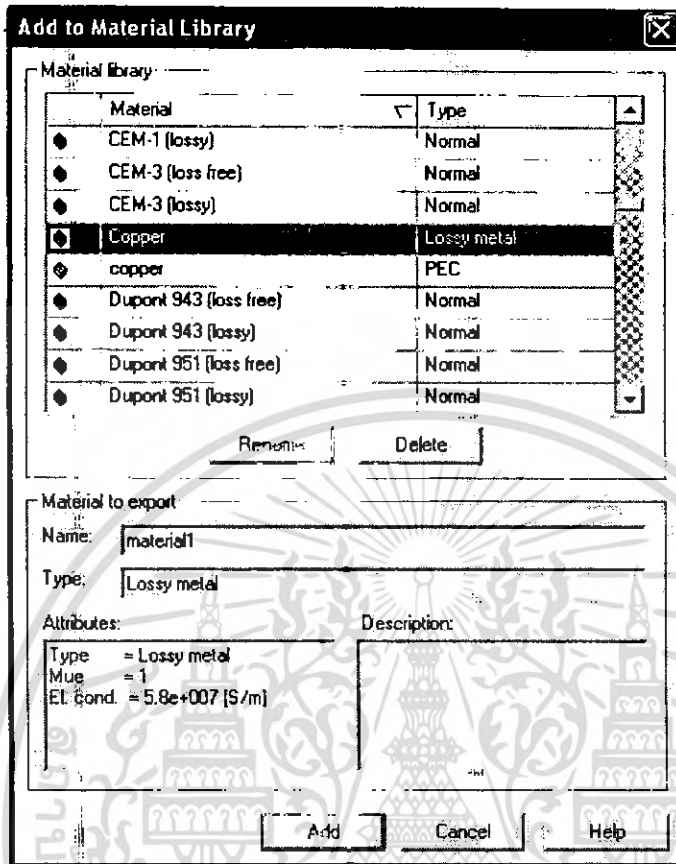
รูปที่ ก.9 การเลือกสร้างรูปทรงแบบทรงกระบอก

10. จากนั้นกำหนดรัศมีด้านนอก รัศมีด้านใน และความยาวของโพรบ โดยโพรบที่เรากำหนดให้ ขนานกับแกน y จากนั้นเลือกวัสดุที่ทำการจำลองโพรบตามรูปที่ ก.10



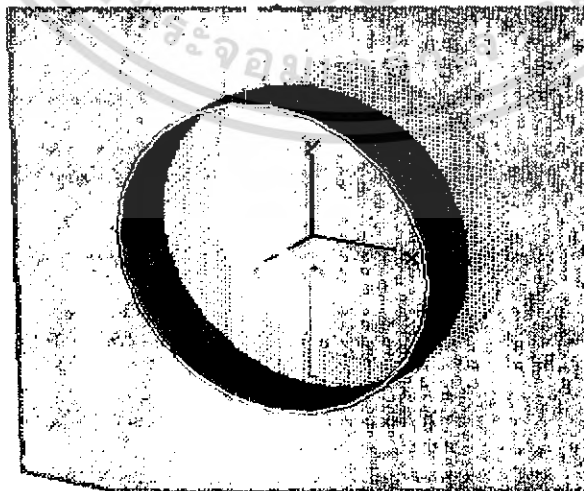
รูปที่ ก.10 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ให้กับโพรบ

11. เลือกค่าวัสดุที่จะใช้ในการจำลอง โพรบ โดยทำการเลือก Copper ตามรูปที่ ก.11



รูปที่ ก.11 การเลือกวัสดุที่ใช้ในการจำลองโพรบ

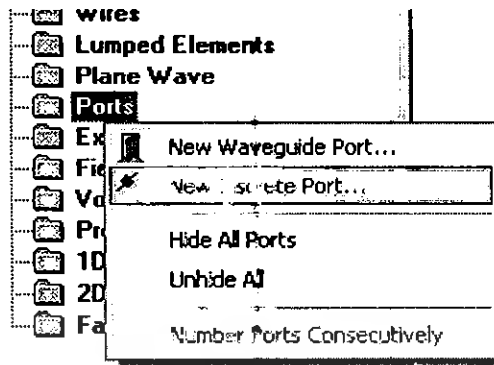
12. จะได้โพรบขึ้นมาตามรูปที่ ก.12



รูปที่ ก.12 โพรบที่ทำการจำลอง

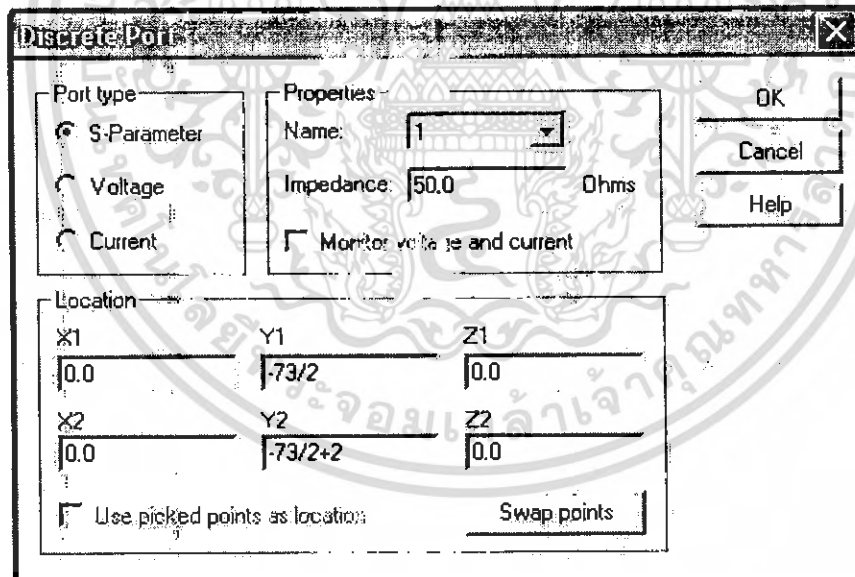
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. ทำการจำลอง Port ขึ้นมา คลิกขวาที่ Port จากนั้นเลือก New Discrete Port ตามรูปที่ ก.13



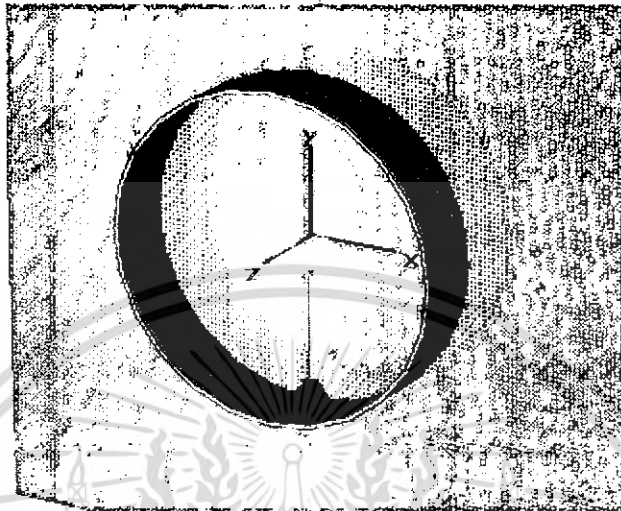
รูปที่ ก.13 การจำลอง Port

14. จะมีหน้าต่างเกิดขึ้นมา โดยใส่ค่าที่ตำแหน่งที่เชื่อมระหว่าง Port กับ วงแหวนวงกลม ตามรูปที่ ก.14



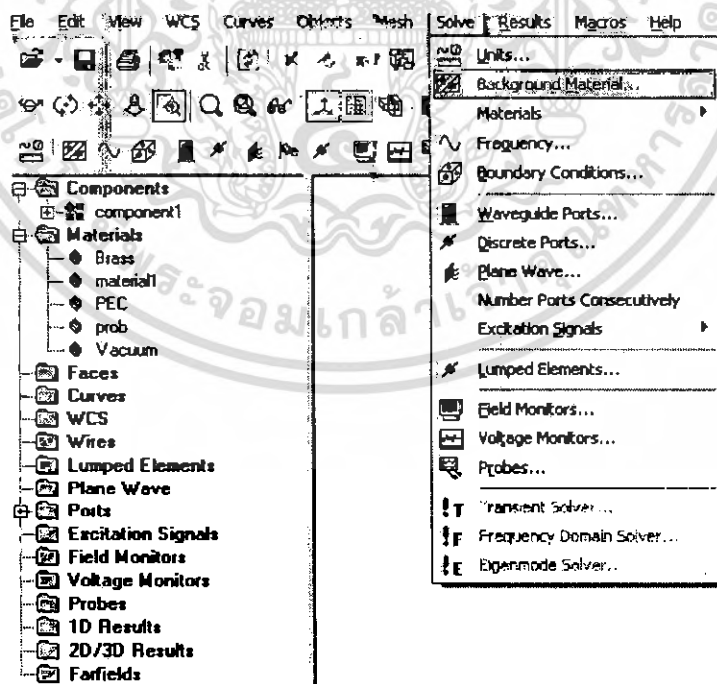
รูปที่ ก.14 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของ Port

15. จะมี Port เกิดขึ้นที่ตำแหน่งเชื่อมกันระหว่าง โพรบกับวงแหวนวงกลม ตามรูปที่ ก.15



รูปที่ ก.15 แสดง Port ที่เกิดขึ้น

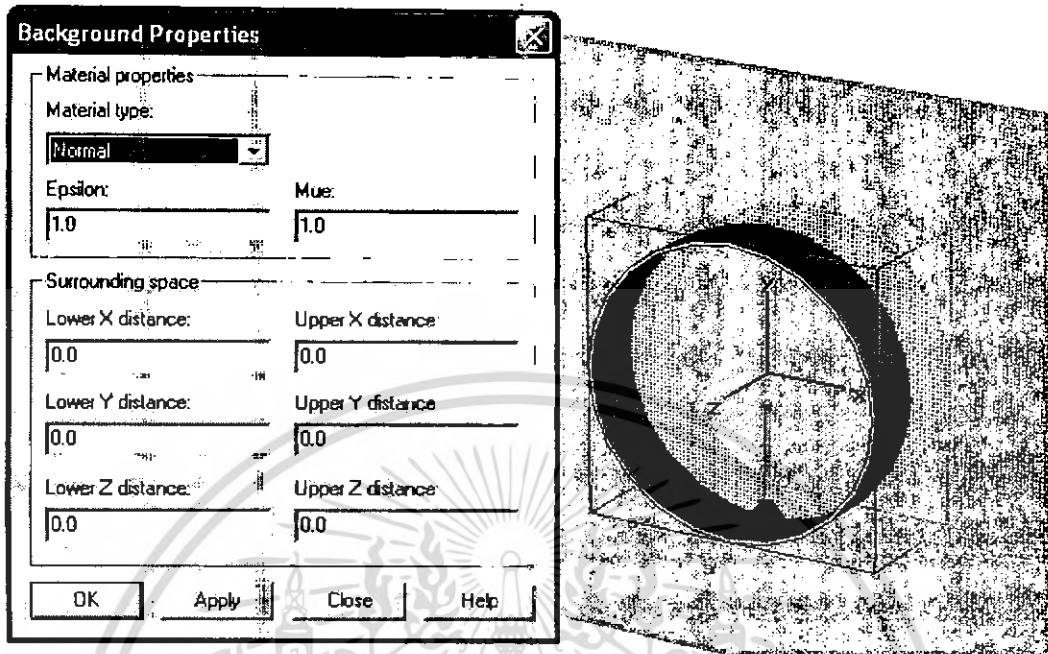
16. กำหนดค่า Background Material โดยคลิกเลือกตามรูป ก.16



รูปที่ ก.16 การเลือกกำหนดค่า Background Material

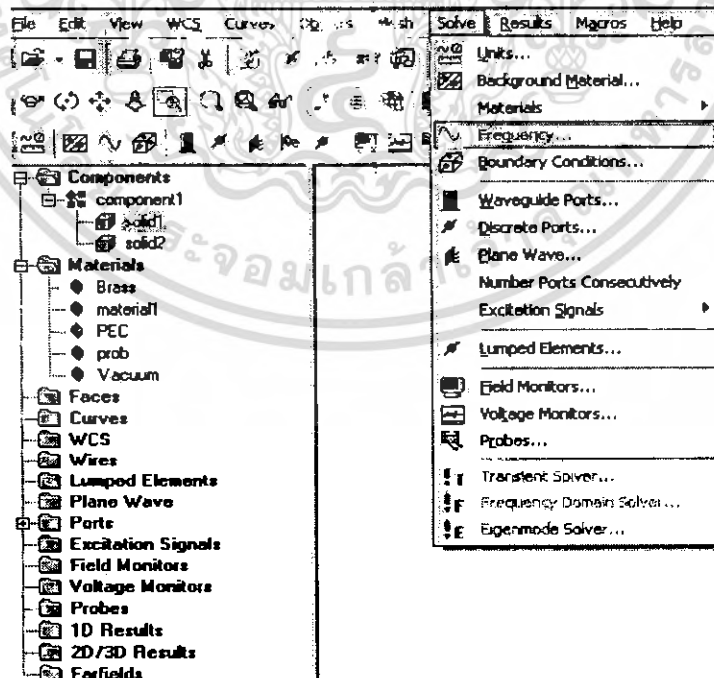
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17. จะมีหน้าต่างเกิดขึ้นมา ตามรูปที่ ก.17



รูปที่ ก.17 การกำหนดค่า Background Material

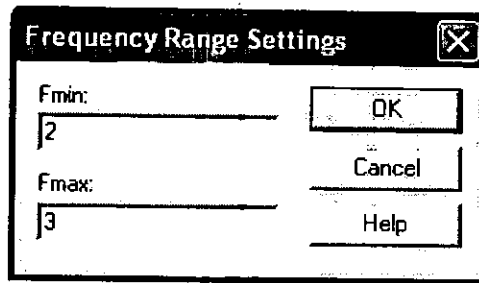
18. กำหนดค่าความถี่ ตามรูปที่ ก.18 คลิกที่ solve จากนั้นคลิกที่ Frequency



รูปที่ ก.18 การเลือกเพื่อจะกำหนดความถี่

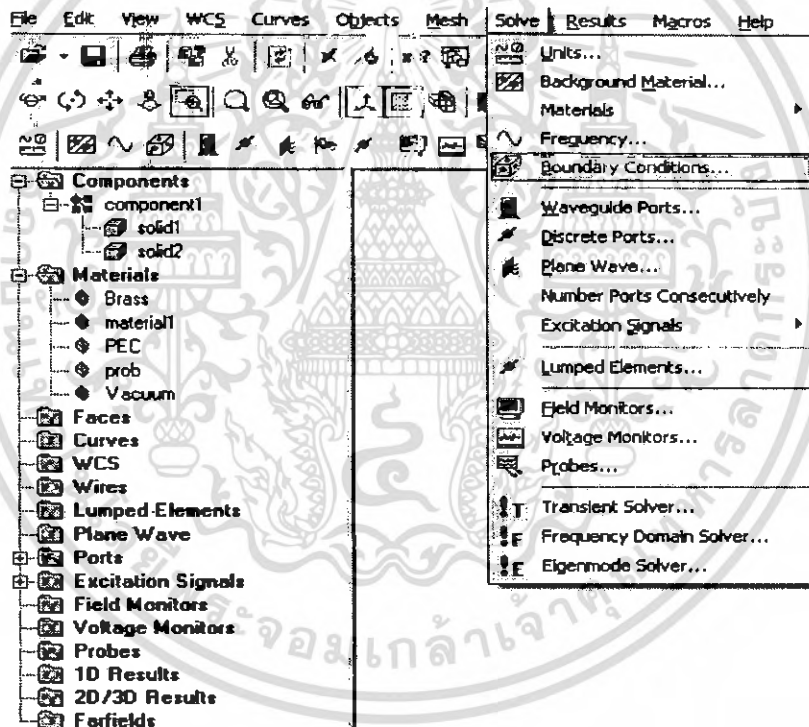
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19. กำหนดค่าความถี่น้อยที่สุดที่ 2 GHz ความถี่มากที่สุดที่ 3 GHz ตามรูปที่ ก.19



รูปที่ ก.19 การกำหนดค่าความถี่

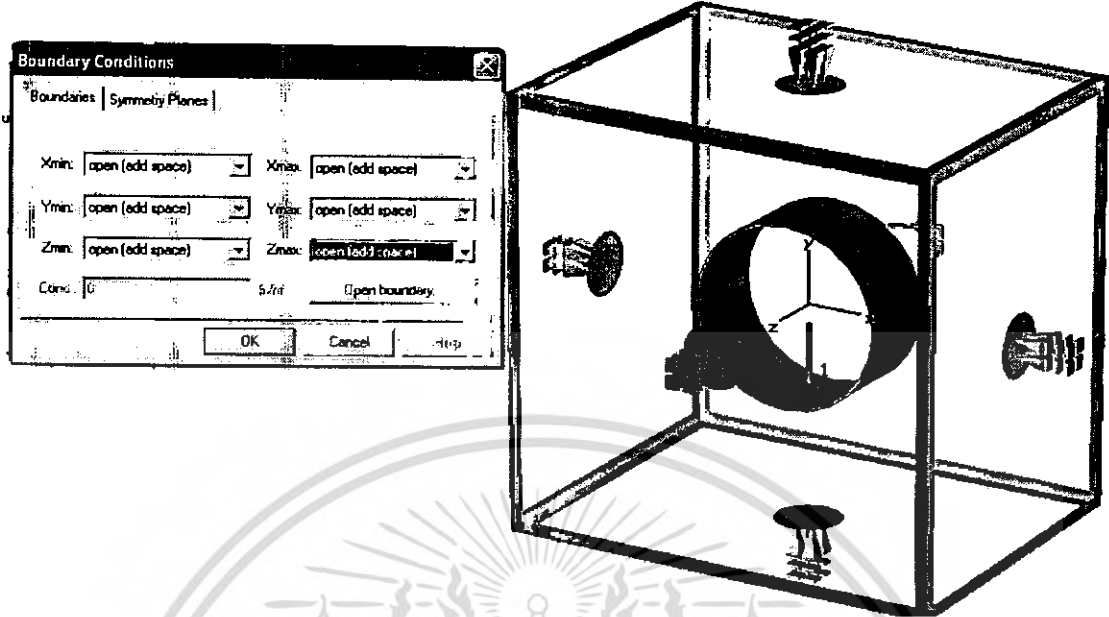
20. กำหนดค่า Boundary Condition ตามรูปที่ ก.20



รูปที่ ก.20 การเลือกที่จะกำหนดค่า Boundary Condition

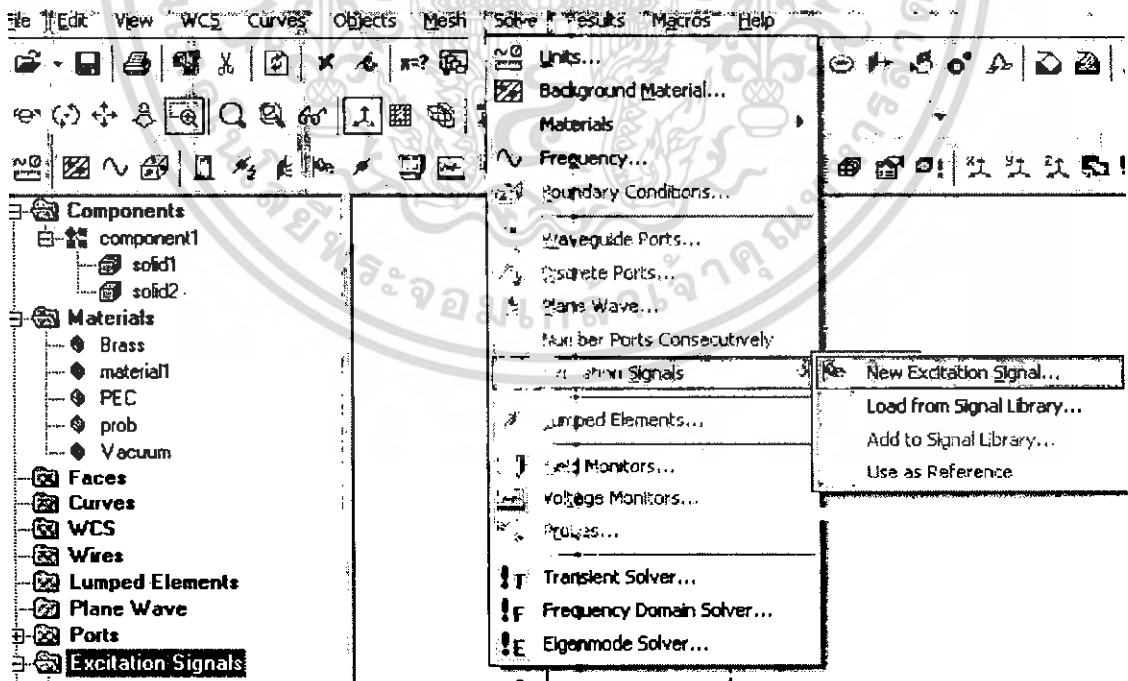
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

21. กำหนดค่า Boundary Condition ต่างๆ ตามรูปที่ ก.21



รูปที่ ก.21 การกำหนดค่า Boundary Condition

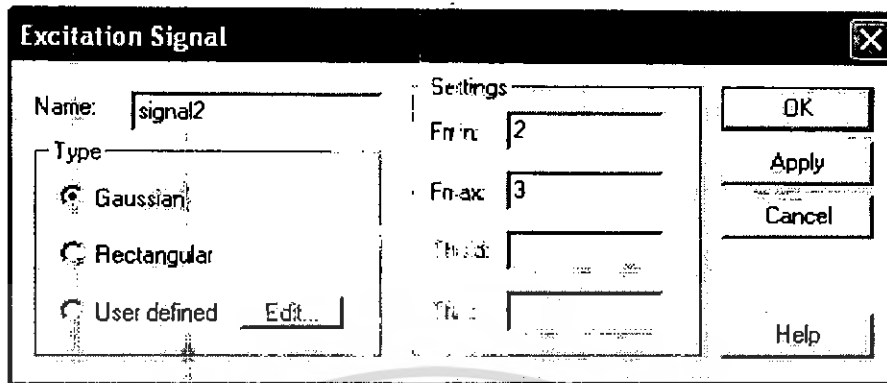
22. การเลือกกำหนดค่าสัญญาณ ตามรูปที่ ก.22



รูปที่ ก.22 การเลือกที่จะกำหนดค่าสัญญาณ

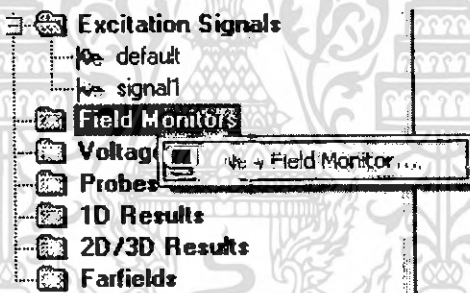
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

23. กำหนดค่าตามรูปที่ ก.23



รูปที่ ก.23 การกำหนดรูปแบบของสัญญาณ

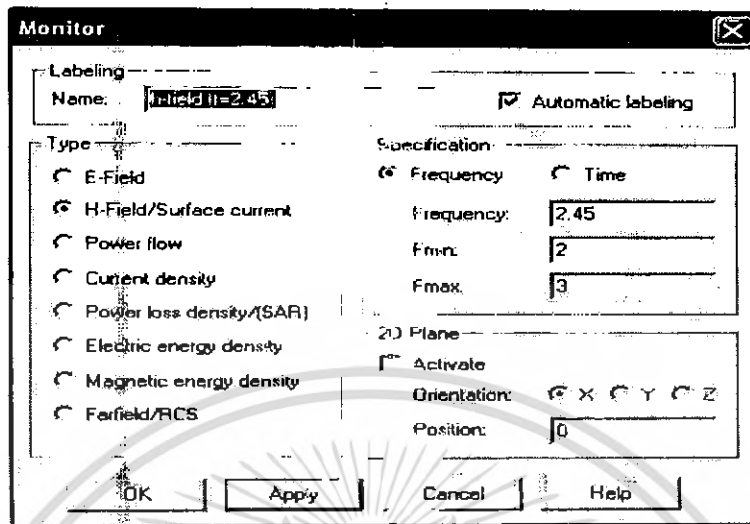
24. การเลือกกำหนดการ Field Monitors ดังรูปที่ ก.24



รูปที่ ก.24 การเลือกกำหนดการ Field

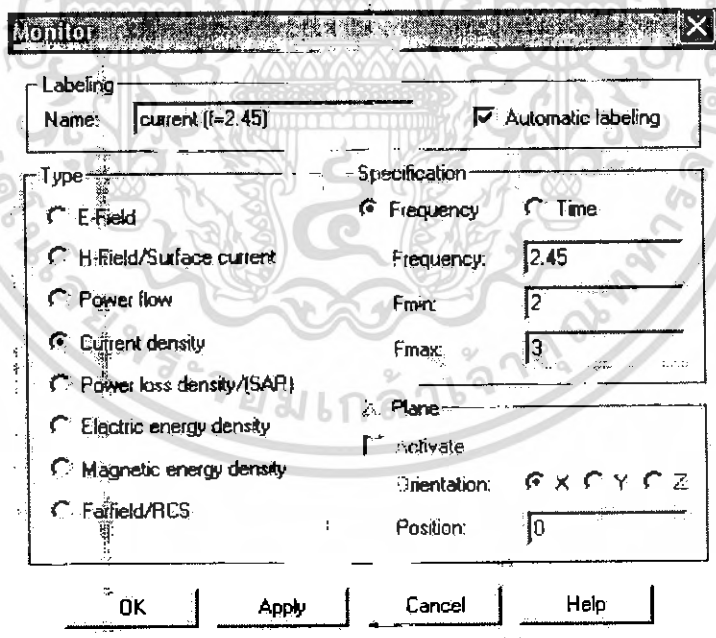
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

25. การกำหนดสนามแม่เหล็ก ดังรูปที่ ก.25



รูปที่ ก.25 การกำหนดค่าสนามแม่เหล็ก

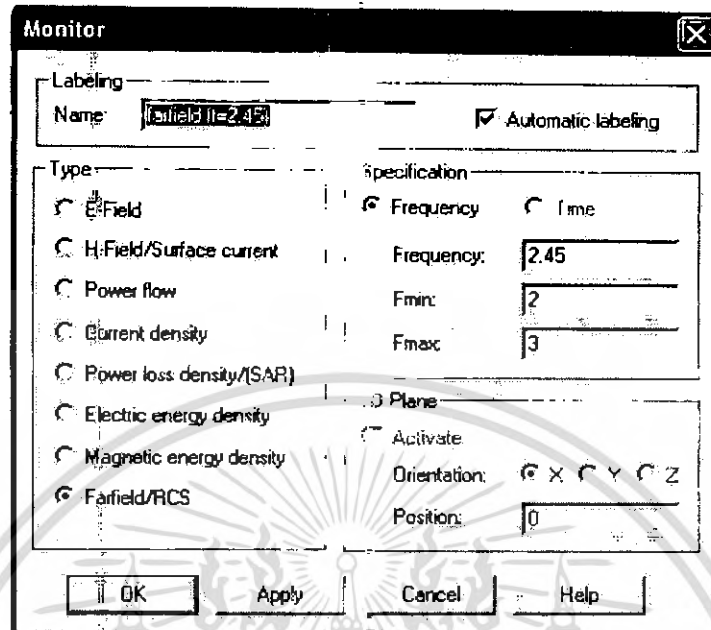
26. การกำหนดกระแส ดังรูปที่ ก.26



รูปที่ ก.26 การกำหนดค่า Current density

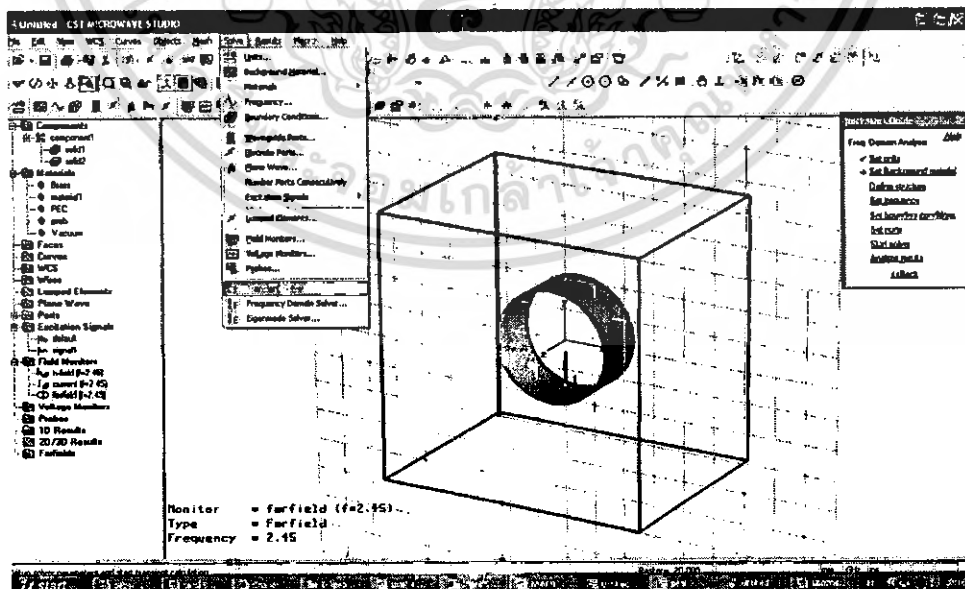
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

27. การกำหนดกระแส ดังรูปที่ ก.27



รูปที่ ก.27 การกำหนดค่าสนามระยะไกล

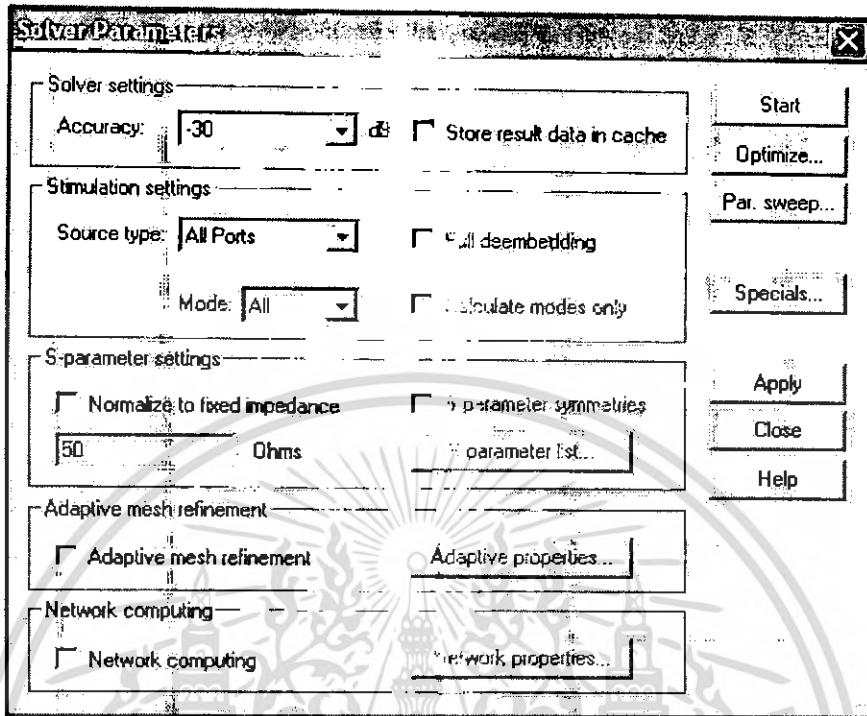
28. สุดท้ายก็จะเป็นการ Run program เพื่อผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลอง โดยคลิกที่ Solve แล้วคลิกที่ Transient Solve ตามรูปที่ ก.28



รูปที่ ก.28 แสดงวิธีการเลือกที่จะ Run program

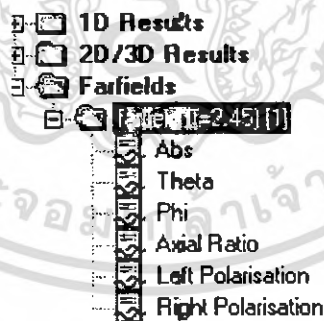
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

29. คลิกที่ Start จากนั้นเครื่องจะทำการ Run program จะใช้เวลาในการประมวลผลช่วงเวลาหนึ่ง



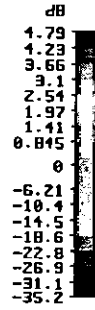
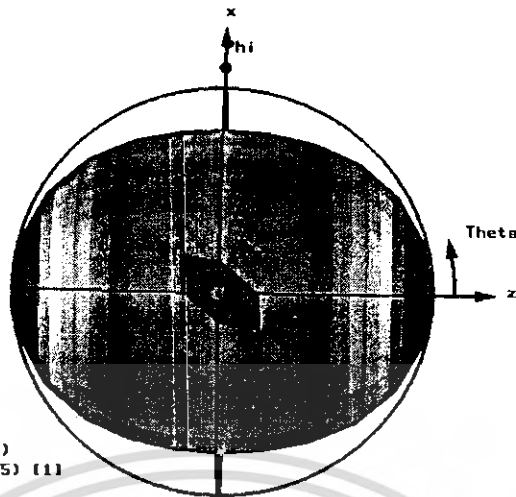
รูปที่ ก.29 แสดงวิธีการเลือกที่จะ Run program

30. เมื่อโปรแกรม Run เสร็จ จะมีผลเพิ่มขึ้นมาดังรูปที่ ก.30 คลิกที่ farfield



รูปที่ ก.30 แสดงผลขึ้นมาเมื่อ Run โปรแกรมเสร็จ

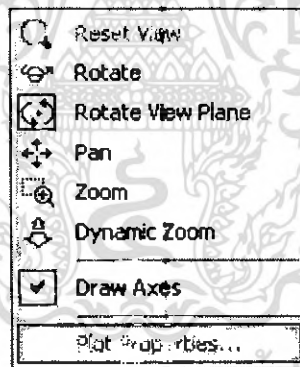
31. ผลการจำลองสายอากาศวงแหวนวงกลม จะเห็นว่ามี การแพร่กระจายคลื่นเป็น 2 ทิศทางตาม ด้านเปิดของวงแหวน ตามแนวแกน z และ -z ตามรูปที่ ก.31



Type = Farfield
 Approximation = enabled (kR >> 1)
 Monitor = farfield (f=2.425) [1]
 Component = Abs
 Output = Gain
 Frequency = 2.425
 Rad. effic. = 1.001
 Tot. effic. = 0.9789
 Gain = 4.789 dB

รูปที่ ก.31 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศวงแหวนวงกลม

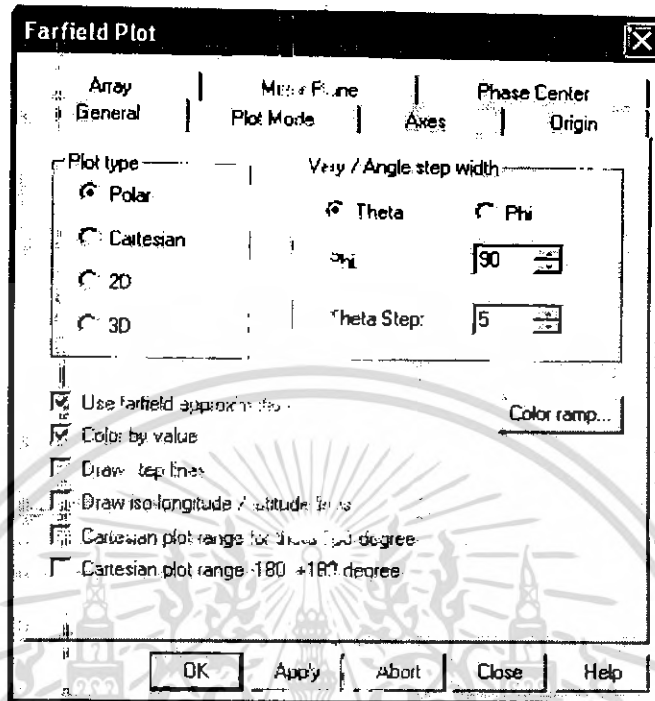
32. ดูผลการจำลองในพิกัดอื่นๆ คลิกขวา จากนั้นคลิกที่ Plot Properties ตามรูปที่ ก.32



รูปที่ ก.32 วิธีการการเลือกดูผลที่ระนาบอื่น

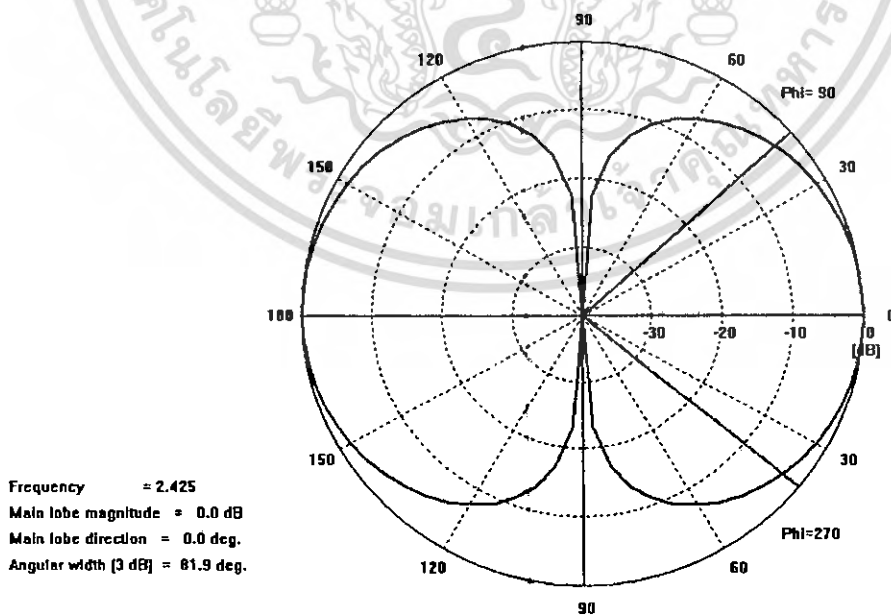
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

33. เลือกระนาบที่ต้องการดูผล ตามรูปที่ ก.33 คลิกพิคัด Polar



รูปที่ ก.33 แสดงระนาบต่างๆ

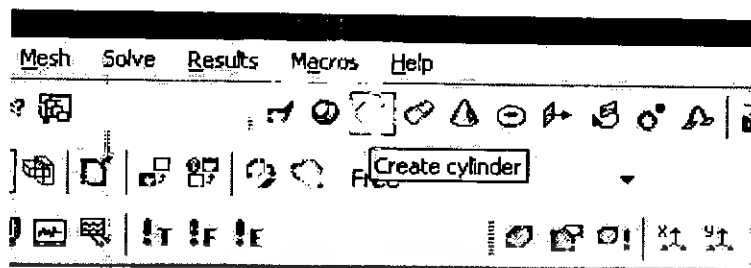
34. ผลแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในพิคัด Polar ตามรูปที่ ก.34



รูปที่ ก.34 แสดงผลแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในพิคัด Polar

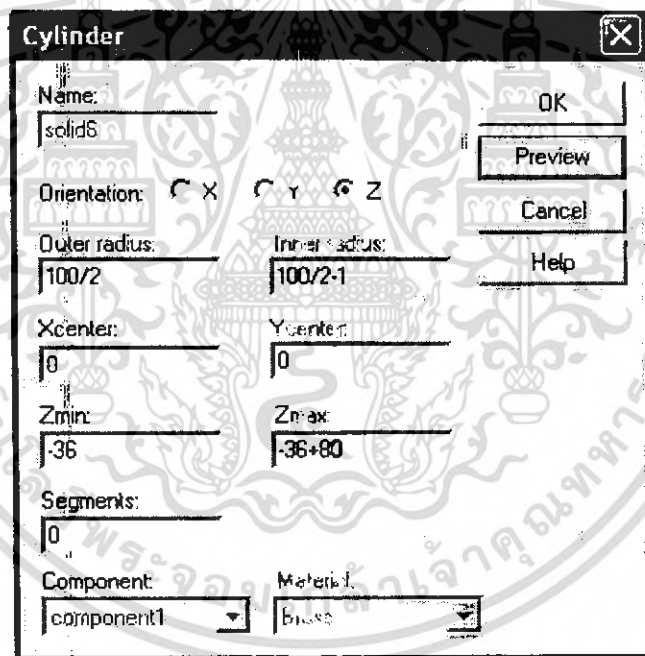
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

35. การจำลองตัวสะท้อนคลื่นเข้ากับสายอากาศวงกลมป้อนสัญญาณด้วยโปรแกรมเชิงเส้น
คลิก Create cylinder แล้วกด Esc เพื่อรูปการจำลองรูปทรงกระบอก



รูปที่ ก.35 การจำลองรูปทรงกระบอก

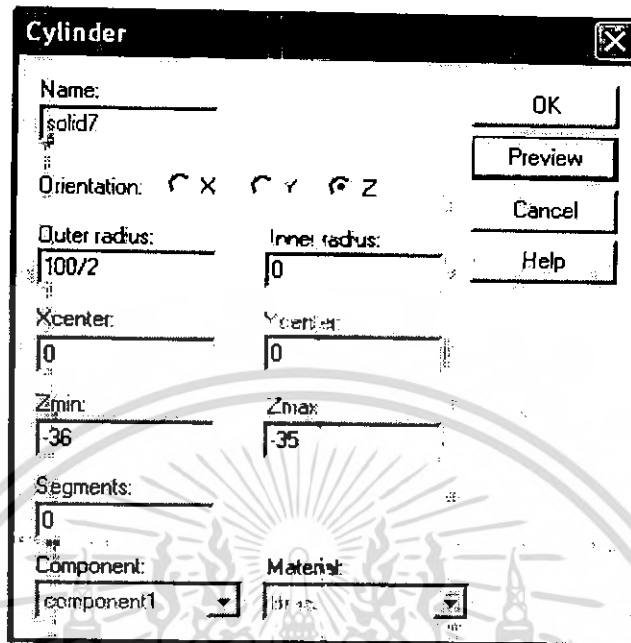
36. กำหนดค่าความสูงของตัวสะท้อนดังรูปที่ ก.36



รูปที่ ก.36 การกำหนดค่าความสูงของตัวสะท้อน

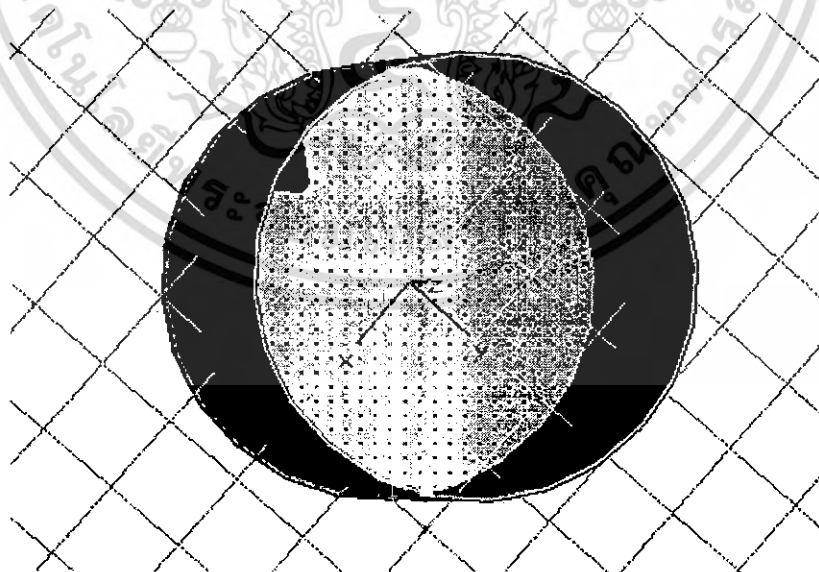
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

37. กำหนดฐานของตัวสะท้อน ตามรูปที่ ก.37



รูปที่ ก.37 การกำหนดค่าฐานของตัวสะท้อน

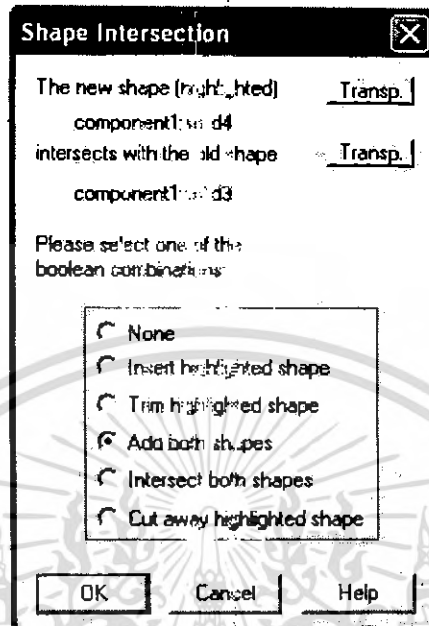
38. รูปของตัวสะท้อนทั้งส่วนความสูงและฐาน จะพบว่าทั้ง 2 ส่วนยังไม่ได้รวมเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ ก.38



รูปที่ ก.38 ตัวสะท้อนคลีน

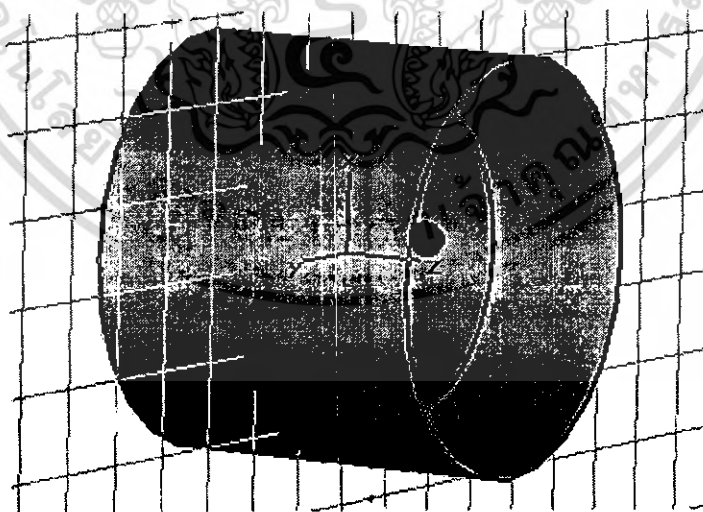
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

39.รวมความสูง และฐานของตัวสะท้อนเข้าด้วยกัน เลือก Add both shapes ตามรูปที่ ก.39



รูปที่ ก.39 การรวมวัตถุ 2 ชิ้นเข้าด้วยกัน

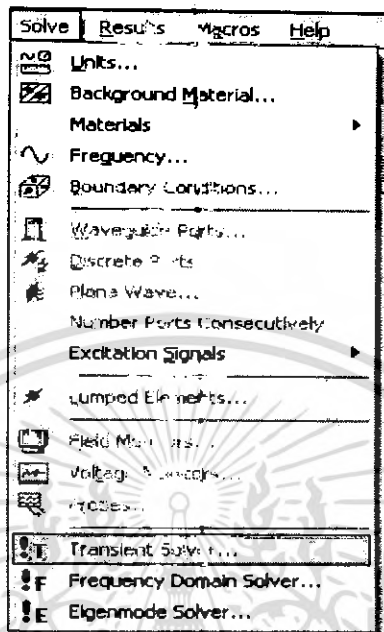
40. สายอากาศเมื่อความสูง และฐานของตัวสะท้อนรวมเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ ก.40



รูปที่ ก.40 สายอากาศสะท้อนคลื่นที่ป้อนสัญญาณด้วยวงแหวนวงกลม

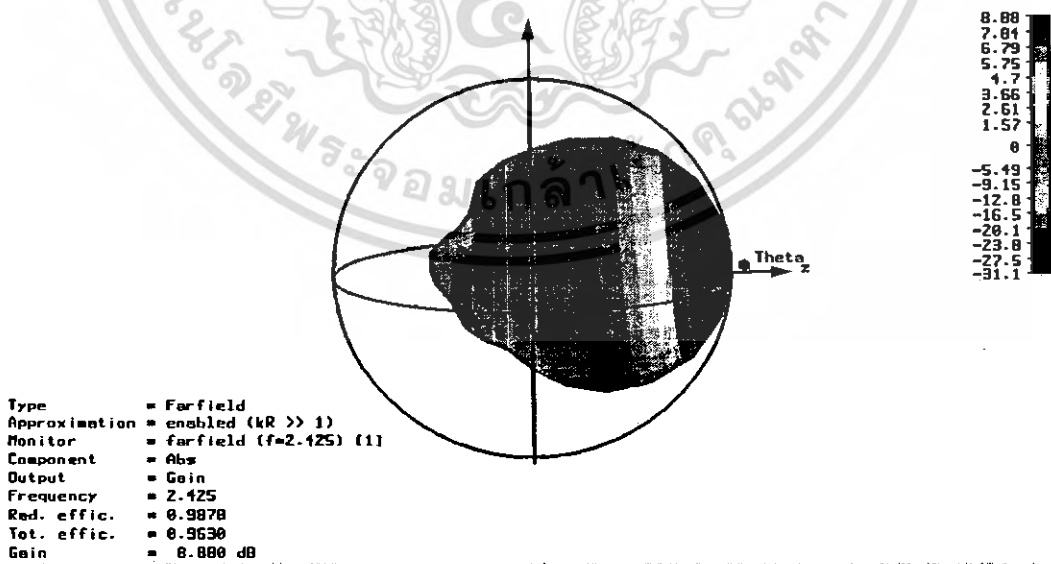
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

41. ทำการ Run โปรแกรมเพื่อดูผลการจำลอง ตามรูปที่ ก.41



รูปที่ ก.41 แสดงการ Run program

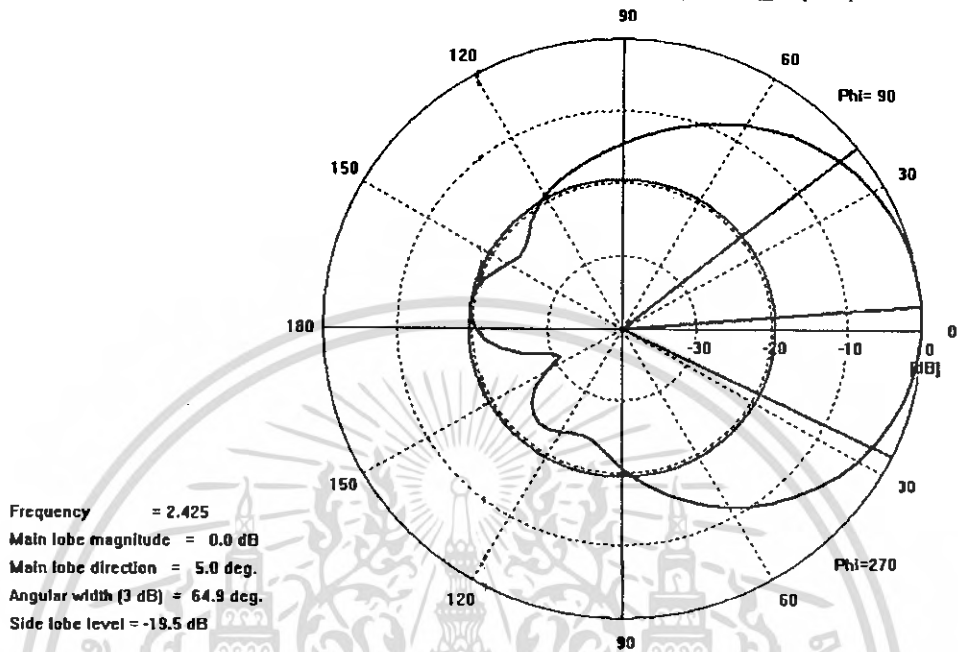
42. ผลการ Run program ในพิกัด 3 มิติ ตามรูปที่ ก.42 จะเห็นว่าสายอากาศมีการแพร่ทิศทางเดียว



รูปที่ ก.42 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศทิศทางเดียวในพิกัด 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

43. ผลการ Run program ในพิกัด Polar ตามรูปที่ ก.43



รูปที่ ก.43 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศทิศทางเดียวในระนาบ Polar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์แบบจำลองสุญญากาศ และแบบจำลองสองรังสี

แบบจำลองสุญญากาศ

แบบจำลองนี้ใช้ทำนายความเข้มของสัญญาณในกรณีที่ไม่มีวัตถุใดๆ ขวางกั้นการเดินทางของคลื่น โดยพิจารณาสัญญาณไซน์ที่ปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดแบบจุดซึ่งแพร่กระจายคลื่นในสุญญากาศ แหล่งกำเนิดนี้เรียกว่า “ตัวแพร่กระจายแบบไอโซทรอปิก (Isotropic radiator)” ถ้ากำหนดให้กำลังงานที่แพร่กระจายออกมาและระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแทนด้วย P_{rad} มีหน่วยเป็นวัตต์และ R มีหน่วยเป็นเมตร ตามลำดับ ดังนั้นขนาดของพอยน์ติงเวกเตอร์ของคลื่น (กำลังงานต่อพื้นที่หนึ่งหน่วย) เขียนได้ดังนี้

$$P_{fs} = \frac{P_{rad}}{4\pi R^2} \quad W/m^2 \quad (ข.1)$$

กรณีสายอากาศไม่ใช่ตัวแพร่กระจายแบบไอโซทรอปิกและระยะห่างมีค่ามากกว่าขนาดของสายอากาศ ดังนั้นสามารถแทน P_{rad} ด้วย $P_t G_t$ โดยที่

$$\begin{aligned} P_{rad} & \text{ คือ กำลังงานที่ขั้วต่อสายอากาศ} \\ G_t & \text{ คือ อัตราขยายสายอากาศส่ง} \end{aligned} \quad (ข.2)$$

ความเข้มสนามไฟฟ้าเขียนได้ดังนี้

$$E_{fs} = \sqrt{Z_{fs} P_{fs}} \quad (ข.3)$$

โดยที่ Z_{fs} คืออิมพีแดนซ์สุญญากาศซึ่ง

$$Z_{fs} = \sqrt{\mu_{fs} / \epsilon_{fs}} \approx 120\pi = 377\Omega \quad (ข.4)$$

เมื่อ μ_{fs} และ ϵ_{fs} คือค่าความซึมซาบแม่เหล็กและค่าสภาพยอมไฟฟ้า ตามลำดับในกรณีสุญญากาศ

เมื่อ μ_{fs} และ ϵ_{fs} คือค่าความซึมซาบแม่เหล็กและค่าสภาพยอมไฟฟ้า ตามลำดับในกรณีสูญญากาศ

$$\mu_{fs} = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m} \approx 4\pi \times 10^{-7} \text{ v-s/A.m} \quad (\text{ข.5})$$

$$\epsilon_{fs} \approx (10^{-9}/36\pi) \text{ F/m} = (10^{-9}/36\pi) \text{ A-S/V.m} \quad (\text{ข.6})$$

ความเข้มสนามไฟฟ้าในสูญญากาศสำหรับกรณีที่ไม่ใช้ตัวแพร่กระจายคลื่นไอโซทรอปิก เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$E_{fs} = \sqrt{120\pi \frac{P_t G_t}{4\pi R^2}} = \frac{\sqrt{30P_t G_t}}{R} \text{ V/m} \quad (\text{ข.7})$$

การแพร่กระจายคลื่นในสภาวะแวดล้อมใดๆ เมื่อ E_{rec} คือความเข้มสนามไฟฟ้า P_{rec} และ G_r คือกำลังงานรับที่สายอากาศ และ อัตราขยายสายอากาศรับ ตามลำดับ ดังนั้นค่ากำลังงานสูงสุดที่รับจากเครื่องรับโดยใช้ตัวแพร่กระจายคลื่นไอโซทรอปิก คือ

$$E_{fs} = \frac{\lambda^2}{4\pi} P_{rec} G_r = \frac{\lambda^2}{4\pi} \frac{E_{rec}}{Z_{fs}} G_r = \left(\frac{E_{rec} \lambda}{2\pi} \right)^2 \frac{G_r}{120} \quad (\text{ข.8})$$

อัตราส่วนระหว่างกำลังงานรับ และส่ง คือ

$$\frac{P_r}{P_t} = \left(\frac{E_{rec} \lambda}{2\pi} \right)^2 \frac{G_r}{120} \frac{(E_{fs} R)^2}{30G_t} \quad (\text{ข.9})$$

$$= \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 G_r G_t \left(\frac{E_{rec}}{E_{fs}} \right) \quad (\text{กรณีทั่วไป})$$

$$= \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 G_r G_t \quad (\text{กรณีสูญญากาศ})$$

จากสมการที่ (ข.9) แสดงความสัมพันธ์ และความแตกต่างความเข้มสนามไฟฟ้ารับ ระหว่างกรณีทั่วไป และแบบสูญญากาศ โดยสมการความสูญเสียการแพร่กระจายคลื่นคือ

$$\text{ความสูญเสียการแพร่กระจายคลื่น} = -10 \log \left(\frac{P_r}{P_t} \frac{1}{G_r G_t} \right) \quad (\text{ข.10})$$

$$= 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 20 \log_{10} \left(\frac{E_{fs}}{E_{rec}} \right) \quad (\text{ข.11})$$

$$= L_{fs} + L_{nfs} \quad (\text{ข.12})$$

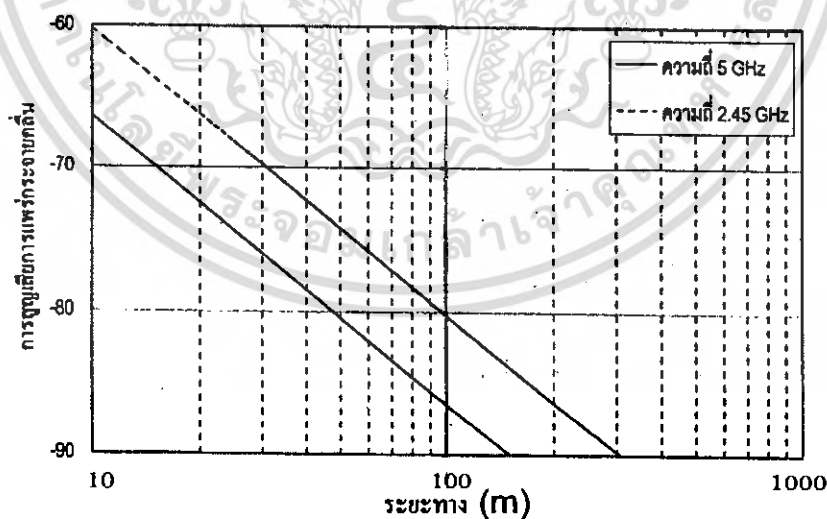
โดยที่ L_{nfs} คือ ความสูญเสียในสถานะที่ไม่ใช่สุญญากาศ ซึ่งความสูญเสียการแพร่กระจายคลื่นในกรณีสุญญากาศสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$L_{fs} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi 1,000 R_{km}}{299.8 / f_{MHz}} \right) \quad (\text{ข.13})$$

$$= 32.45 \text{ dB} + 20 \log_{10} (R_{km} f_{MHz}) \quad (\text{ข.14})$$

$$= 36.58 \text{ dB} + 20 \log_{10} (R_{km} f_{MHz}) \quad (\text{ข.15})$$

ความสูญเสียการแพร่กระจายคลื่นจากสมการที่ (ข.13) ความถี่ใช้งานมีค่าเท่ากับ 2.45 GHz และ 5 GHz แสดงดังรูปที่ ข.1 ซึ่งพบว่าเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นสิบเท่าแล้วความสูญเสียการแพร่กระจายจะเพิ่มขึ้น 20 dB ถ้าระยะทางเท่ากันแต่ความถี่ใช้งานมีค่าต่างกันแล้ว ความสูญเสียการแพร่กระจายคลื่นจะไม่เท่ากัน โดยความถี่สูงกว่าจะมีความสูญเสียมากกว่า



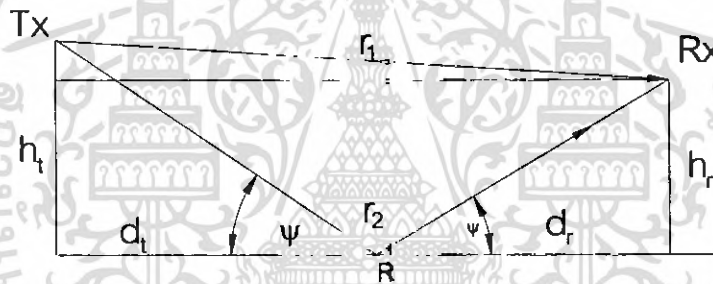
รูปที่ ข.1 การสูญเสียการแพร่กระจายคลื่นของแบบจำลองสุญญากาศที่ความถี่ 2.45 GHz และ 5 GHz

แบบจำลองสองรังสี

การสื่อสารแบบจุดต่อจุดในสภาวะแวดล้อมมีเส้นทางการมองเห็นระดับสายตา (LOS) ดังรูปที่ ข.2 เคลื่อนเดินทางตามเส้นทางตรง (r_1) และเส้นทางสะท้อน (r_2) จากสายอากาศส่งไปยังสายอากาศรับ ความแตกต่างระหว่าง r_1 และ r_2 เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$r_2 - r_1 = \sqrt{(h_t + h_r)^2 + R^2} - \sqrt{(h_t - h_r)^2 + R^2} \approx R \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{h_t + h_r}{R} \right)^2 \right] - R \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{h_t - h_r}{R} \right)^2 \right] \quad (ข.16)$$

$$= \frac{2h_t h_r}{R}$$



รูปที่ ข.2 แบบจำลองสองรังสี

ความแตกต่างของเส้นทางเดินคลื่นทำให้เกิดความต่างเฟส เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\Delta = \frac{4\pi h_t h_r}{\lambda R} = 1.3343 \times 10^{-5} \frac{f_{MHz} h_t h_r}{R_{Km}} \quad (ข.17)$$

โดยที่ความสูงของสายอากาศมีหน่วยเป็นเมตร(m) มุมสะท้อน ψ มีค่าเท่ากับ

$$\tan \psi = \frac{h_t}{R_t} = h_t \div \frac{h_t R}{h_t + h_r} = \frac{h_t + h_r}{R} \quad (ข.18)$$

ในการสื่อสารย่าน VHF และ UHF สามารถยกเว้นบางสัญญาณที่สะท้อนแล้วมีผลกระทบน้อย ดังนั้นขนาดสนามไฟฟ้าที่สายอากาศรับสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_{rec} = E_{direct} + E_{reflection} = E_{direct} [1 + \eta e^{j\Delta}] \quad (ข.19)$$

อัตราส่วนกำลังสองของสนามไฟฟ้ารับ และส่ง คือ

$$\left| \frac{E_{rec}}{E_{direct}} \right|^2 \approx |1 + \eta e^{j\Delta}|^2 = 1 + |\eta|^2 + 2|\eta| \cos(\Delta + \xi) \quad (ข.20)$$

โดยที่ η คือ สัมประสิทธิ์เชิงซ้อนการสะท้อนและมีความสัมพันธ์กับมุมสะท้อน ψ คือ

$$\eta = \frac{\sin \psi - Z}{\sin \psi + Z} = |\eta| e^{j\xi} \quad (ข.21)$$

อิมพีแดนซ์พื้นดินมีความสัมพันธ์กับค่า ϵ_g ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกพื้นดิน มีความสัมพันธ์ดังนี้ (สำหรับกรณี โพลาริซแนตติ้ง) (ข.22)

$$Z = \sqrt{\epsilon_g - \cos^2 \psi} \approx \sqrt{\epsilon_g - 1} \quad (ข.22)$$

$$Z = \sqrt{\epsilon_g - \cos^2 \psi} / \epsilon_g \approx \sqrt{\epsilon_g - 1} / \epsilon_g \quad (สำหรับกรณี โพลาริซแนวอน) \quad (ข.23)$$

ค่าของ ϵ_g มีความสัมพันธ์กับค่าสภาพยอมไฟฟ้าของสูญญากาศ (ϵ_0) ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ (ϵ) และค่าความนำของพื้นดิน (σ) ดังนี้

$$\epsilon_g = \epsilon - j \frac{\sigma}{2\pi f \epsilon_0} = \epsilon - 1.796 \times 10^4 \frac{j\sigma}{f_{MHz}} \quad (ข.24)$$

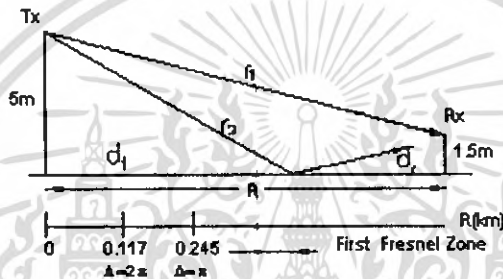
เนื่องจากผิวโลกมีค่า $\sigma = 0.005 \text{ S/m}$ และ $\epsilon = 15$ ได้

$$\epsilon_g = 15 - j90 / f_{MHz} \quad (ข.25)$$

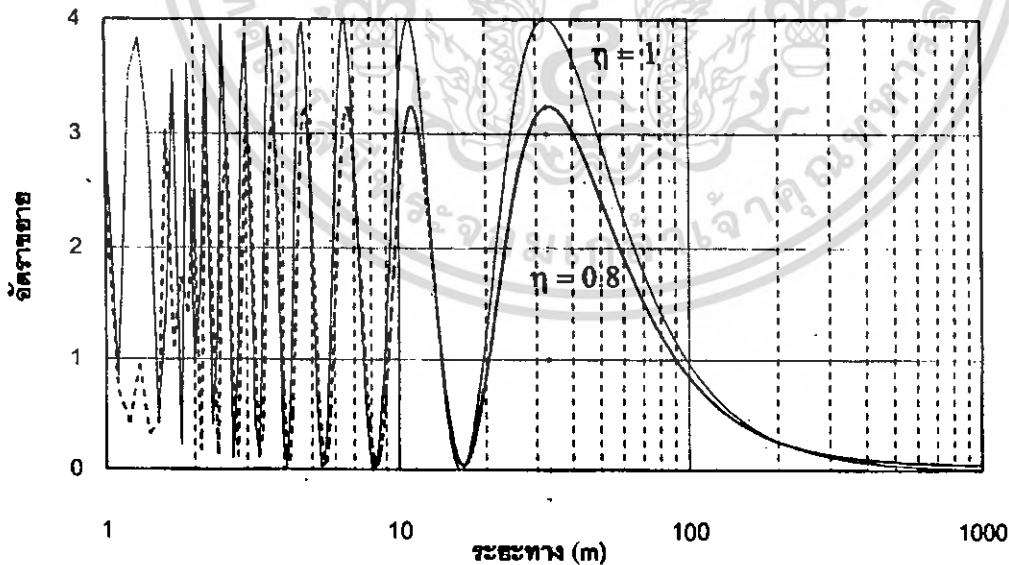
ที่ความถี่ 2.45 GHz ค่า Z เท่ากับ $3.42 \angle -0.075$ และ $0.25 \angle -0.065$ กรณีที่เป็นการโพลาริซแนตติ้ง และการโพลาริซแนวอน ตามลำดับ ดังนั้นมุมสะท้อนจะมีค่าน้อยมาก $\eta \approx -1$ ดังนั้นเขียนสมการที่ (ข.20) ใหม่ได้ดังนี้

$$\left| \frac{E_{rec}}{E_{fs}} \right|^2 \approx 2(1 - \cos \Delta) = 4 \sin^2 \left(\frac{\Delta}{2} \right) = 4 \sin^2 \left(\frac{2\pi h_t h_r}{\lambda R} \right) \quad (\text{ข.26})$$

จากสมการที่ (ข.25) แสดงว่าการแพร่กระจายคลื่นในสภาวะแวดล้อมมีเส้นทางการเดินแนวสายตา และพื้นมีลักษณะราบเรียบจะมีกำลังงานเพิ่มขึ้น 6 dB เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะสูญญากาศ โดยที่ $\Delta/2$ มีค่าเท่ากับ $\pi/2$ คูณกับจำนวนเต็มคี่แล้ว $\sin(\Delta/2) = \pm 1$ ถ้า $\Delta/2$ มีค่าเท่ากับ π คูณกับจำนวนเต็มแล้ว $\sin(\Delta/2) = 0$ การเปลี่ยนแปลงของมุมขึ้นอยู่กับความสูงของสายอากาศ และระยะห่าง



รูปที่ ข.3 ตัวอย่างแบบจำลองสองรังสี เมื่อ $f = 2.45 \text{ GHz}$



รูปที่ ข.4 อัตราขยายเมื่อเปรียบเทียบกับความสูญเสียการแพร่กระจายคลื่นในสูญญากาศ เมื่อ $h_t = 5 \text{ m}$ $h_r = 1.5 \text{ m}$ $f = 2.45 \text{ GHz}$

ถ้าสายอากาศสถานีฐานสูง 5 m สายอากาศลูกข่ายสูง 1.5 m และความถี่ 2.45 GHz จะได้ $\Delta = 245\pi/R_{km}$ ถ้า $R < 0.245 km$ แล้ว ดังนั้นสมการที่ ข.25 $\Delta/2$ มีค่ามากกว่า $\pi/2$ ทำให้เกิดอัตราขยายออสซิลเลต ขณะที่ระยะห่างระหว่างลูกข่าย และสถานีฐานเพิ่มมากขึ้น ถ้า $R > 0.245 km$ แล้วมุม $\Delta/2$ มีค่าน้อยกว่า $\pi/2$ เสมอ ทำให้อัตราสูญเสียไม่เกิดการออสซิลเลตเมื่อระยะห่างระหว่างลูกข่าย และสถานีฐานเพิ่มขึ้น จากรูปที่ ข.4 การเกิดออสซิลเลตน้อยลงถ้าขนาดของ η มีค่าน้อยกว่าหนึ่งระยะห่างที่ทำให้ $\Delta = n\pi$ หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$R_n = 4h_t h_r / n\lambda \quad (\text{ข.27})$$

ถ้า $R > d_1 = 4h_t h_r / \lambda$ แล้ว $\Delta/2 < \pi/2$ และไม่เกิดการออสซิลเลตในสมการที่ ข.25 ดังนั้นกำลังงานรับลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างลูกข่าย และสถานีฐานเพิ่มขึ้นเสมอ สำหรับตำแหน่งที่ทำให้ $\Delta < n\pi$ มีความสัมพันธ์กับลำดับ n ของเขตเฟรสเนล (Fresnel Zone) เมื่อ $R > d_1$ ทำให้เกิดเขตเฟรสเนลลำดับแรกกรณีที่ $R > d_1 \square 12h_t h_r / \lambda$ ทำให้ $\Delta/2 < \pi/6$ และ $\sin(\Delta/2) < 0.5$ กำลังงานรับในสภาวะมีเส้นทางเดินแนวสายตาจะน้อยกว่าสภาวะสูญญากาศเสมอ ดังนั้นฟังก์ชันไซน์ในสมการที่ (ข.26) สามารถเขียนเป็นสมการใหม่ได้ดังนี้

$$\left| \frac{E_{rec}}{E_{fs}} \right|^2 \approx \left(\frac{4\pi h_t h_r}{\lambda R} \right)^2, R > d' \quad (\text{ข.28})$$

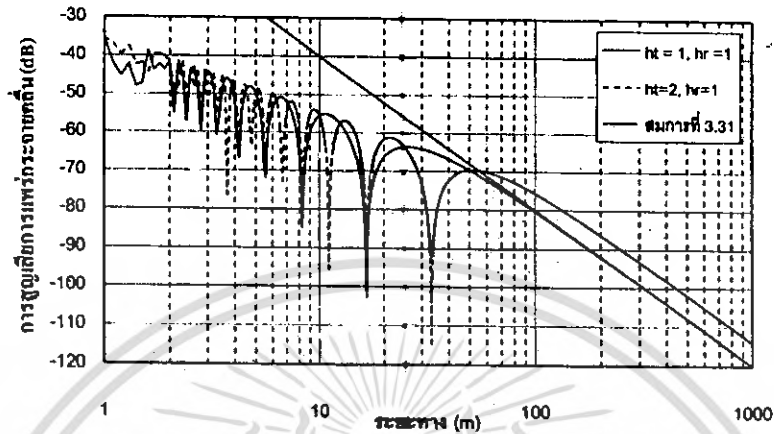
อัตราขยายสำหรับเส้นทางเดินในสมการที่ (ข.26) คูณด้วยอัตราสูญเสียสูญญากาศ

$$\begin{aligned} \frac{P_r}{P_t} &= 4 \sin^2 \left(\frac{2\pi h_t h_r}{\lambda R} \right) \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \\ &\approx 4 \left(\frac{2\pi h_t h_r}{\lambda R} \right)^2 \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 = \frac{(h_t h_r)^2}{R^4}, R > d' \end{aligned} \quad (\text{ข.29})$$

จากสมการที่ (ข.30) แสดงให้เห็นว่ากำลังงานลดลงด้วยอัตราขยายกำลังสี่ เมื่อระยะ $R > d'$ ความสูญเสียการแพร่กระจายคลื่นในภาวะมีเส้นทางเดินแนวสายตา สามารถเขียนในหน่วย dB ได้ดังนี้

$$L_{los} = 10 \log_{10} \left[\frac{(h_t h_r)^2}{R^4} \right] = 120 + 40 \log_{10} R_{km} - 20 \log_{10} (h_{tm} h_{rm}) \quad (\text{ข.30})$$

โดยที่ R_{km} คือ ระยะทางมีหน่วยเป็นกิโลเมตร h_m และ h_{rm} คือความสูงสายอากาศด้านส่งและด้านรับ มีหน่วยเป็นเมตร ถ้าพิจารณาค่าพารามิเตอร์เดียวกับรูปที่ ข.2 อัตราขยายในสมการที่ ข.29 เขียนกราฟได้ ดังรูปที่ ข.5 ภายในรูปแสดงเขตเฟรสเนลลำดับที่ 1 และที่ 2 รวมถึงผลกระทบเมื่อค่า η เปลี่ยนแปลง

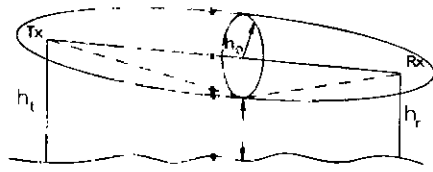


รูปที่ ข.5 การสูญเสียเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นของแบบจำลองสองรังสี

โดยปกติเขตเฟรสเนลลำดับที่ 1 กำหนดโดยปริมาณวงรีซึ่งมีจุดสะท้อนที่ทำให้เส้นทางเดินตรง และเส้นทางสะท้อนมีค่าแตกต่างกันน้อยกว่าครึ่งของความยาวคลื่น ซึ่งแสดงในรูปที่ (ข.6) รัศมีของ h_0 ของเขตเฟรสเนลลำดับที่ 1 ที่ตำแหน่งเส้นทางเดิน R ที่ตำแหน่ง d_i และ d_r คือระยะห่างของเครื่องส่ง และเครื่องรับ ตามลำดับ เขียนสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \lambda/2 &= \text{เส้นทางสะท้อน} - R \\
 &= \text{ระยะห่างจากจุดสะท้อนถึงเครื่องส่ง} + \text{ระยะห่างจากจุดสะท้อนถึงเครื่องรับ} - R \\
 &= \sqrt{d_i^2 + h_0^2} + \sqrt{d_r^2 + h_0^2} - R \\
 &= d_i \left[1 + \frac{h_0^2}{2d_i^2} + \dots \right] + d_r \left[1 + \frac{h_0^2}{2d_r^2} + \dots \right] - (d_i + d_r) \\
 &\approx \frac{h_0^2}{2} \frac{d_i + d_r}{d_i d_r} \Rightarrow h_0 (m) = \sqrt{\frac{\lambda d_i d_r}{d}} = 548 \sqrt{\frac{d_{ikm} d_{rkm}}{d_{km} f_{MHz}}} \quad (ข.31)
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.6 เขตเฟรสเนล

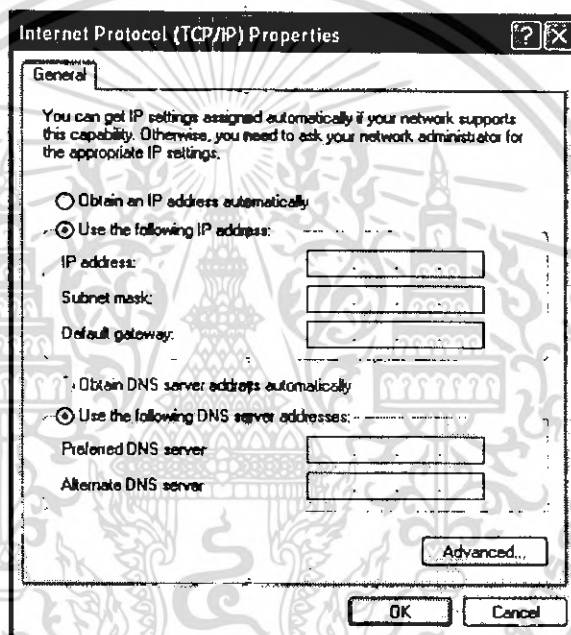


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีการติดตั้งระบบ Wireless

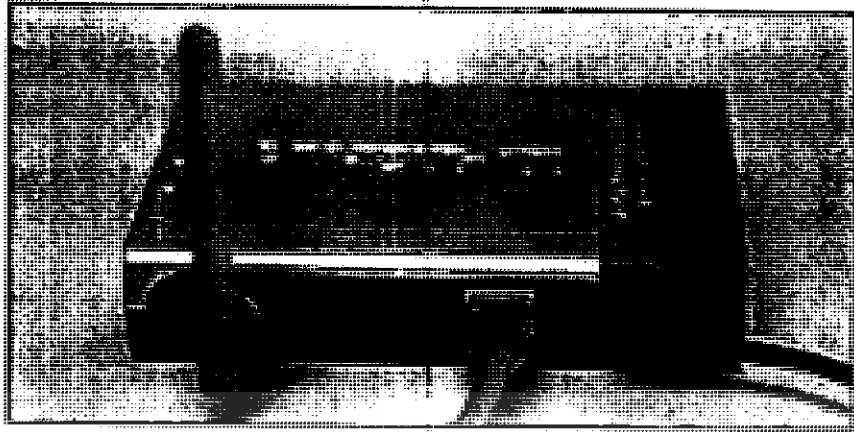
การ Setup เพื่อการเชื่อมต่อเข้าระบบ Wireless ซึ่งระบบที่นำไปใช้ในการทดสอบใช้งาน เป็นการสร้างระบบของ Wireless ไว้ซึ่งต้องทำการ Setup IP address และ Subnet mask ทั้งเครื่องของตัวรับและตัวส่งซึ่งทั้งสองจะต้อง Setup IP address และ Subnet mask ที่เป็นค่าเดียวกับตัว Access Point (ซึ่งค่าทั่วไปของ Access Point ของ D-Link DWL-2100AP ที่ใช้ IP address คือ 192.168.0.50) IP address เมื่อใช้ค่าที่ Setup ใหม่ 161.246.18.50 Subnet mask :255.255.255.0 เพื่อจะทำให้คอมพิวเตอร์ทั้งตัวส่ง และตัวรับสามารถเชื่อมต่อผ่านระบบ Wireless ได้



รูปที่ ก.1 การ Setup IP address และ Subnet mask

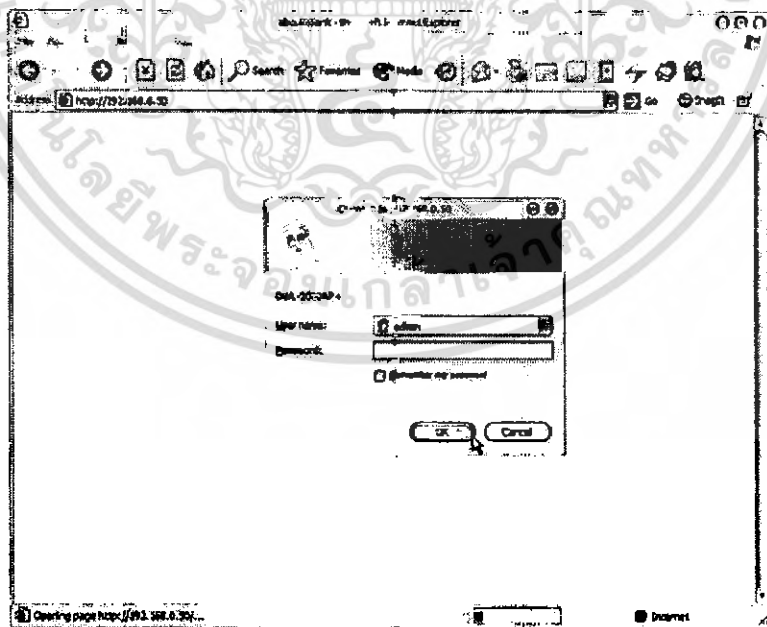
ซึ่งต่อไปจะเป็นการ Setup เพื่อการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ชิ้นต่างๆ โดยการใช้ Setup Wizard ของ D-Link DWL-2100AP เป็นอีกทางหนึ่งที่ไม่ต้องลง Software ซึ่งจะเป็นการ Setup ที่เครื่องตัวส่งที่ติดต่อกับตัว Access Point ด้วยสาย LAN สำหรับการ Setup มีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการเสียบสาย Power เข้ากับตัว Wireless Access Point พร้อมทั้งเสียบสาย LAN เพื่อการเชื่อมต่อระหว่าง Wireless Access Point กับเครื่องคอมพิวเตอร์



รูปที่ ก.2 การติดตั้งตัว Wireless Access Point

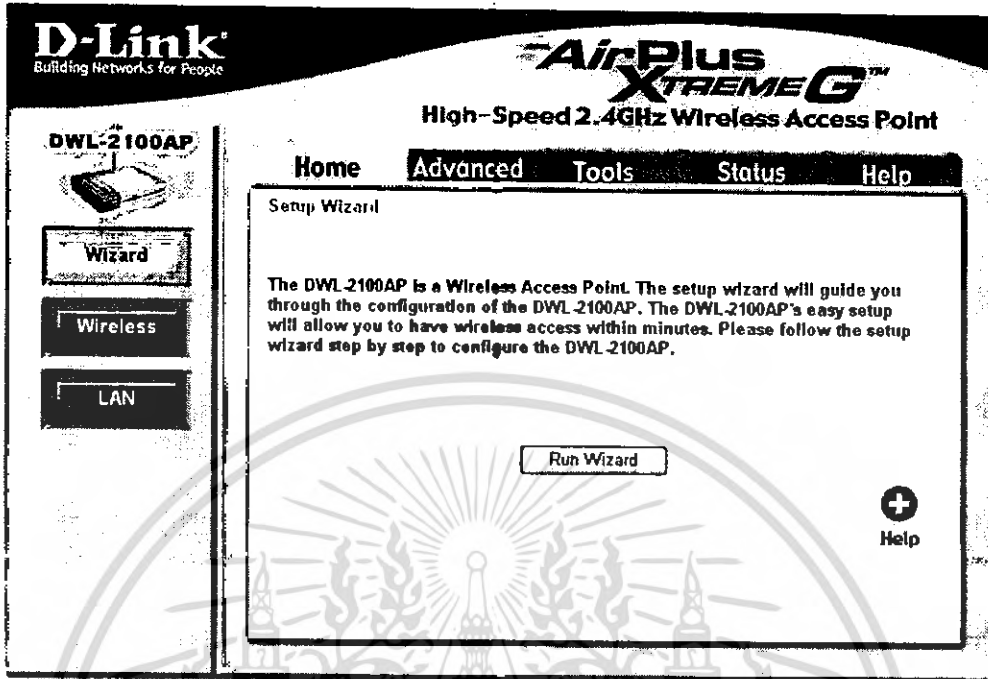
2. เมื่อติดตั้งเรียบร้อยแล้ว จึงทำการตั้งค่าตัว Wireless Access Point ขึ้นแรกให้เปิด Web Browser ขึ้นมา ไปที่ Microsoft Internet Explorer จากนั้นก็พิมพ์ 192.168.0.50 (IP Address ของ Wireless Access Point) ไปที่ช่อง Address ตามรูปแล้วก็กด Enter หลังจากนั้นก็จะมี Windows เล็กๆ โผล่ขึ้นมาถาม User name และ password สำหรับ Wireless Access Point ของ D-Link ที่เพิ่งแกะกล่องออกมา จะตั้งค่า User name เป็น admin แต่ไม่มี password ที่นี้ก็ป้อน admin ไปในช่อง User name แล้วก็คลิกปุ่ม OK ถ้ามีการ set IP มาแล้วต้องทำการกด reset แซ่ไว้ประมาณ 3 วินาทีสังเกตที่ไฟจะดับแล้วจะติดอีกครั้งแสดงว่าทำการ reset เรียบร้อยแล้ว แล้วเริ่มทำใหม่ตามข้อ 2 อีกครั้ง



รูปที่ ก.3 การตั้งค่าตัว Wireless Access Point

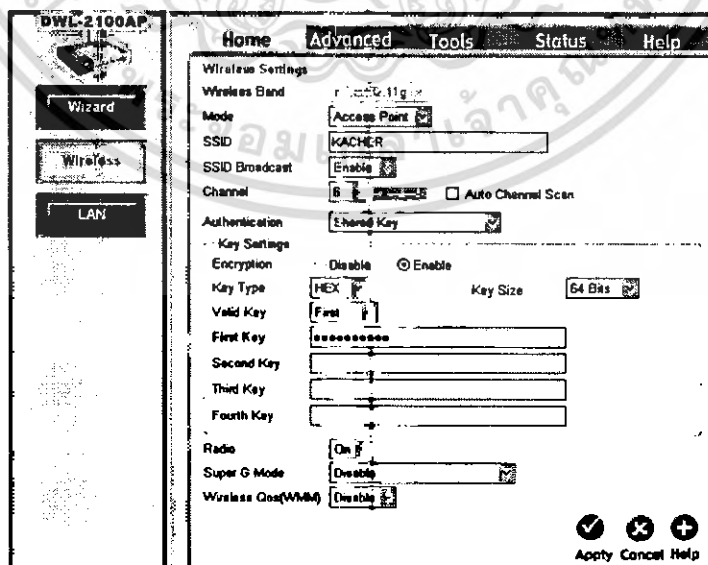
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เริ่มทำการ Setup ขั้นแรกให้คลิกที่ Setup Wireless



รูปที่ ก.4 การ Setup Wireless ของ Wireless Access Point

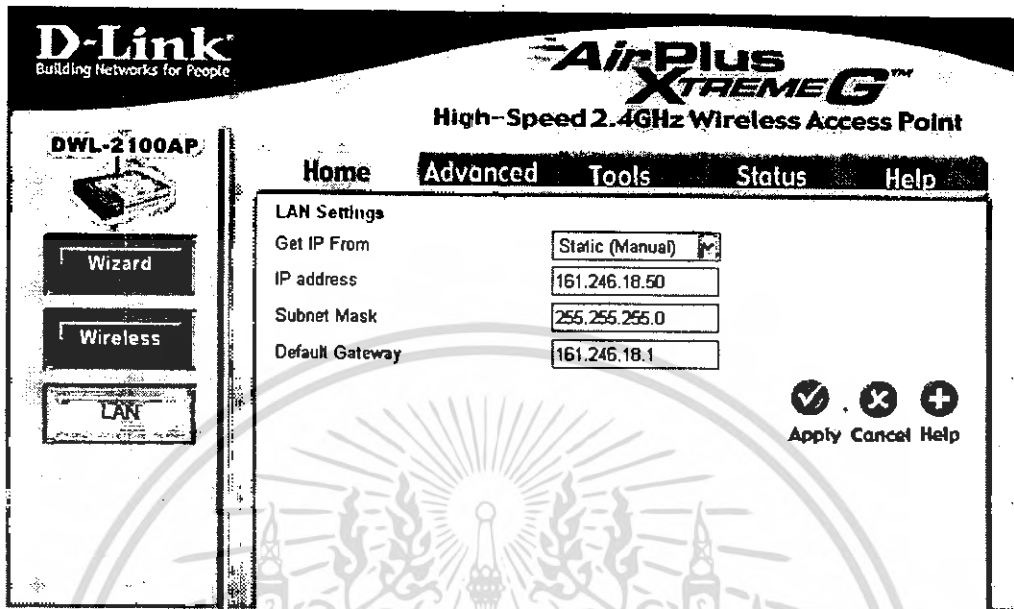
4. หน้าจอ Setup Wireless จะบอกว่า อย่างน้อยควรที่จะผ่าน 4 ขั้นตอนในการ Setup คือ เปลี่ยนการตั้งชื่อ SSID (ซึ่งจะเป็นชื่อของระบบ Wireless) และ Channel, Authentication (setup ตามรูปเพื่อป้องกันเครื่องอื่นเข้ามาใช้ในระบบเดียวกัน), ตั้งการเข้ารหัสข้อมูล, Password หลังจากนั้นก็ กด Apply



รูปที่ ก.5 แสดงขั้นตอนในการ Setup ของ Wireless Access Point

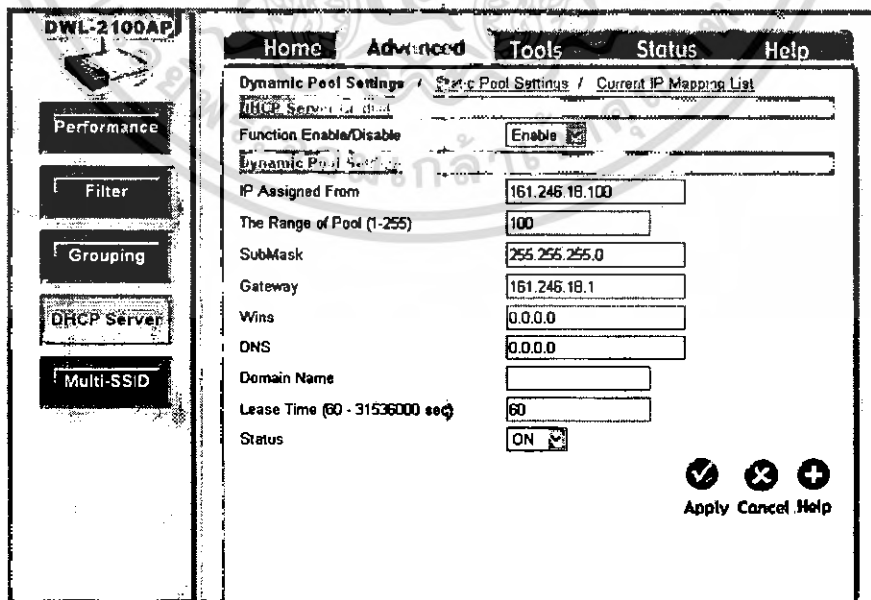
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. หน้าจอ LAN จะเป็นการ Setup เพื่อเปลี่ยนค่าของ IP address และ Subnet mask ของ Wireless Access Point หลังจากนั้นก็ กด Apply



รูปที่ ก.6 แสดงขั้นตอนในการ Setup LAN ของ Wireless Access Point

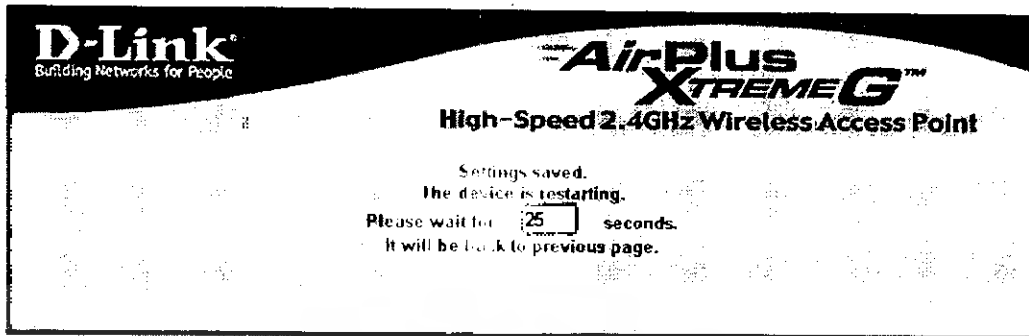
6. หน้าจอ DHCP จะเป็นส่วนที่ใช้ในการ Setup เพื่อให้ในการขอใช้งานระบบ Wireless ว่ามีจำนวนเครื่องในการใช้งานในระบบเท่าไร (ถ้าไม่มีระบบ Wireless ระบบอื่นอยู่ใกล้ไม่ต้อง Setup) เพื่อเป็นการป้องกันเครื่องอื่นเข้ามาในระบบ หลังจากนั้นก็ กด Apply



รูปที่ ก.7 แสดงขั้นตอนในการ Setup DHCP ของ Wireless Access Point

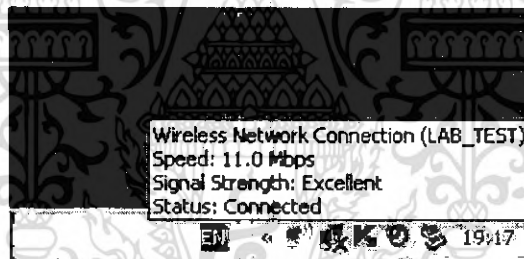
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่อนผู้จัดทำเห็นประโยชน์ด้านการศึกษา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.กด Apply



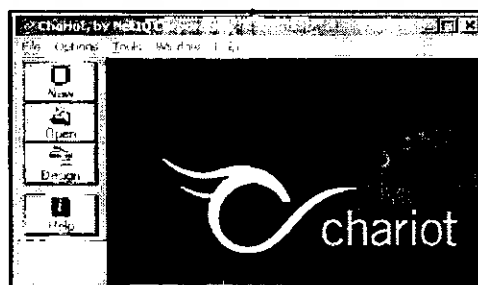
รูปที่ ก.8 แสดงขั้นตอนในการ Setup ของ Wireless Access Point

8. การ Setup ตัวเครื่องลูกข่าย โดยใช้เครื่อง Notebook เป็นตัวทดลองในการรับสัญญาณข้อมูล โดยต่อเข้ากับอุปกรณ์ Wireless LAN จากรูป ก.9 พบว่าทางมุมขวาล่างของหน้าจอจะเห็นรูปจอซ้อนกันสองจอ ซึ่งเป็นไอคอนของ Wireless LAN และของ LAN แบบมีสาย ซึ่งจะแสดง Wireless Network Connection สามารถใช้งานได้แล้ว



รูปที่ ก.9 แสดงหน้าจอของตัวเครื่องลูกข่ายโดยใช้เครื่อง Notebook ระบบเชื่อมต่อสมบูรณ์

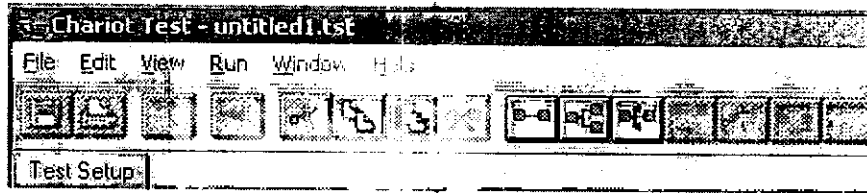
9. การใช้งานโปรแกรม Chariot จะเป็นโปรแกรมที่จำลองการรับ-ส่งข้อมูล เมื่อทำการลงโปรแกรม NetQ จะสามารถเรียกใช้งานโปรแกรม Chariot ได้ กดที่ new จะแสดงหน้าต่างดังรูปที่ ก.10



รูปที่ ก.10 แสดงหน้าต่างใช้งานโปรแกรม Chariot

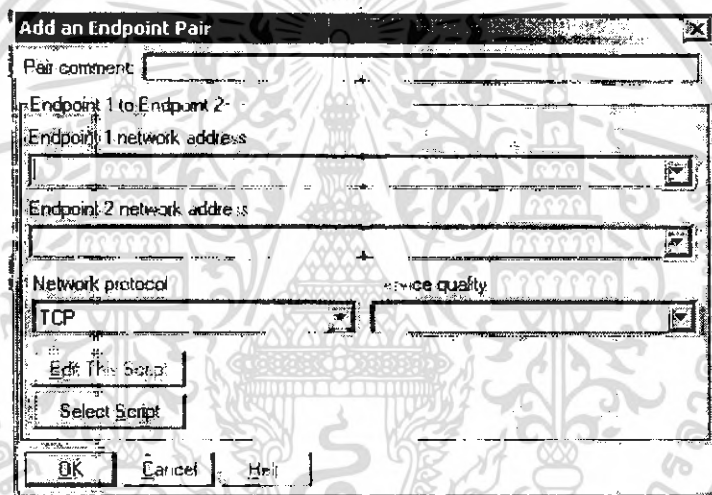
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. กด  จะแสดงหน้าต่างดังรูปที่ ค.12.




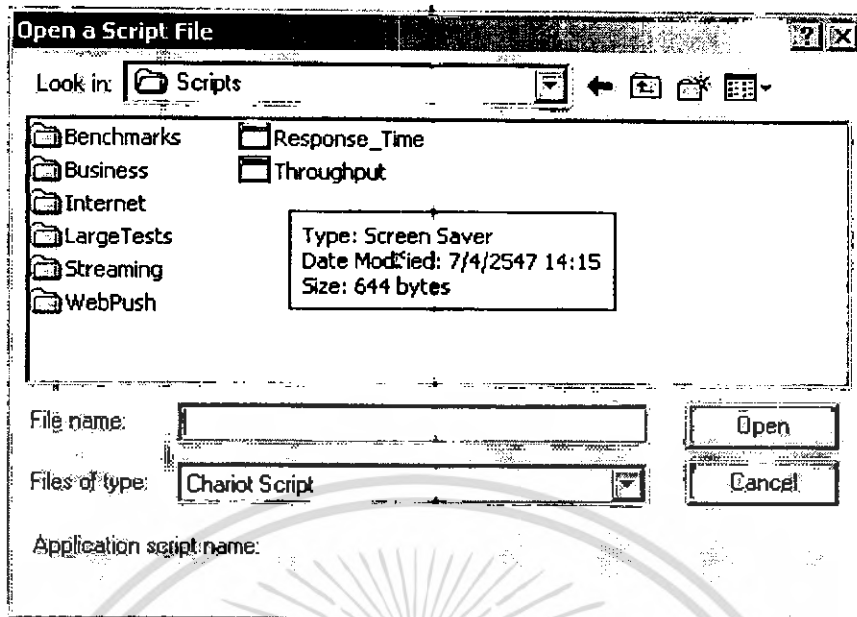
รูปที่ ค.11 แสดงหน้าต่างใช้งานโปรแกรม Chariot

11. การ Set Endpoint 1 ซึ่งจะเป็นค่า IP Address ของเครื่องคอมพิวเตอร์ตัวรับและ Set Endpoint ซึ่งจะเป็นค่า IP Address ของเครื่องคอมพิวเตอร์ตัวส่ง หลังจากนั้นกด Select Script



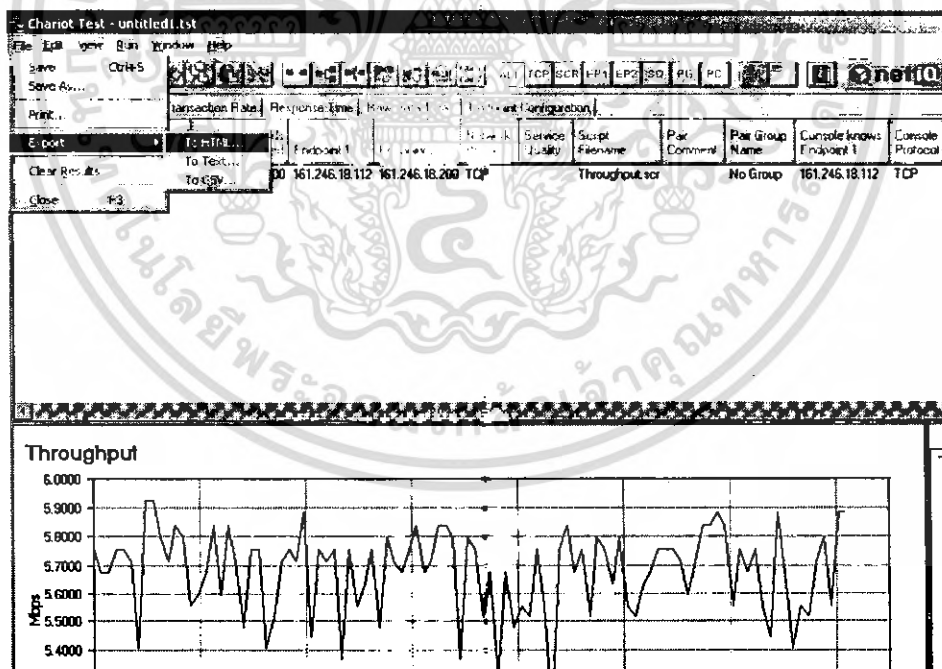
รูปที่ ค.12 แสดงหน้าต่างใช้งานโปรแกรม Chariot การ Set Endpoint

12. เมื่อกด Select Script จะแสดงหน้าต่างดังรูปที่ ค.12 จากนั้นกดที่  Throughput จะแสดงหน้าต่างดังรูปที่ ค.13



รูปที่ ก.13 แสดงหน้าต่างใช้งานโปรแกรม Chariot ของ Throughput

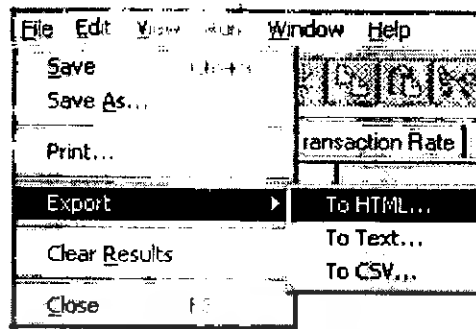
13. เมื่อกด Select Script อีกครั้ง แล้วกด RUN จะแสดงค่าของ Throughput



รูปที่ ก.14 แสดงหน้าต่าง แสดงค่าของ Throughput

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. จะทำการ save โดยไปที่ Export To HTML



รูปที่ ค.15 การ save ที่ Export To HTML

15.การดูค่า Throughput จะต้องไปที่ Program Files ไปที่ NetIQ ไปที่ Chariot ดูค่าที่ icon Internet Explorer



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้