

การออกแบบและประเมินคุณสมบัติห้องทดสอบสายอากาศ

DESIGN AND EVALUATION OF ANECHOIC CHAMBER



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2546

ISBN 974-324-754-8

การออกแบบและประเมินคุณสมบัติห้องทดสอบสายอากาศ

DESIGN AND EVALUATION OF ANECHOIC CHAMBER



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

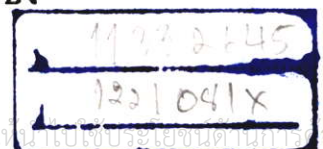
เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 48391

วัน, เดือน, ปี 12 4 2546

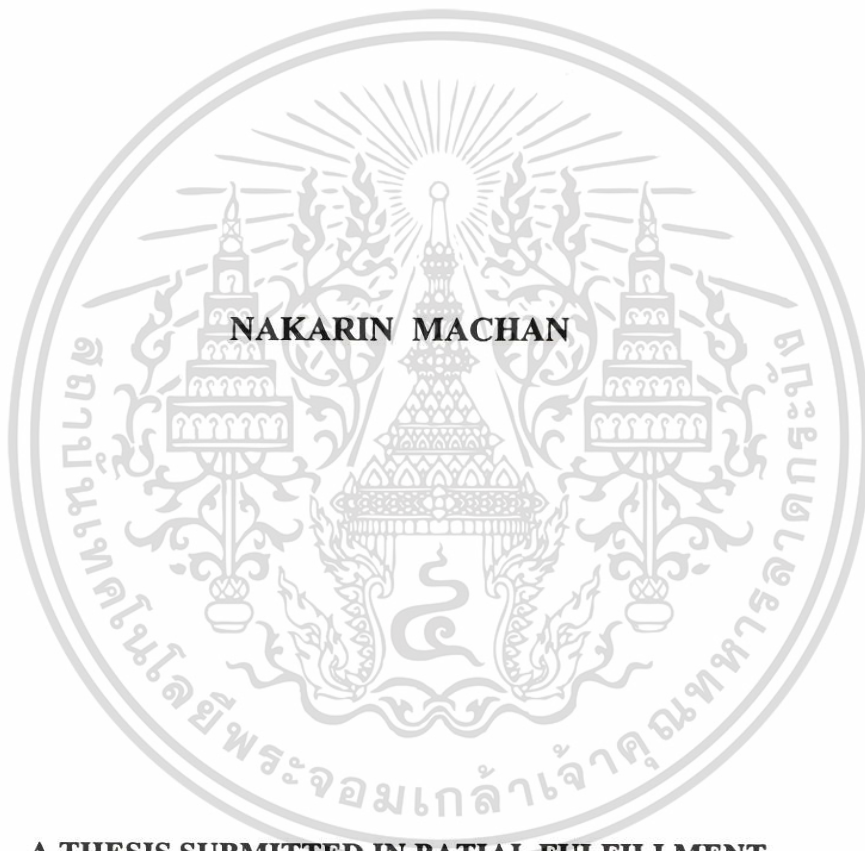
พ.ศ.2546

ISBN 974-324-754-8



ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND EVALUATION OF ANECHOIC CHAMBER



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2003

ISBN 974-324-754-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2003

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบและประเมินคุณสมบัติห้องทดสอบสายอากาศ
นักศึกษา	นายนครินทร์ มาจันทร์
รหัสประจำตัว	43061059
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2546
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. โมไนย ไกรฤกษ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการพัฒนาาระบบทดสอบสายอากาศ กล่าวคือ ออกแบบและประเมินคุณสมบัติของห้องทดสอบสายอากาศที่ย่านความถี่ 1.8-2.5 กิกะเฮิรตซ์ และ 11.5-13.5 กิกะเฮิรตซ์ จุดประสงค์เพื่อใช้เป็นเครื่องอำนวยความสะดวกในการทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานระยะไกลของสายอากาศขนาดเล็กที่ออกแบบมาในช่วงความถี่ดังกล่าว

เนื่องจากห้องทดสอบสายอากาศ มีส่วนประกอบหลักคือวัสดุคูคัพคลื่นไมโครเวฟ จึงพัฒนาวัสดุคูคัพคลื่นไมโครเวฟขึ้นมาตามหลักการพื้นฐานของชาลิสมูริสกรีน ซึ่งเป็นวัสดุคูคัพคลื่นชนิดเรโซแนนท์คูคัพคลื่นได้ดีที่มุมตกกระทบตั้งฉาก และความถี่ที่ออกแบบ

การประเมินคุณสมบัติของห้องทดสอบใช้วิธีอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันในอวกาศว่าง เพื่อหาค่าสภาพสะท้อนที่ตำแหน่งและความถี่ต่างๆ ในห้องทดสอบสายอากาศ พบว่าห้องทดสอบสายอากาศสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ออกแบบในย่าน 1.8-2.5 กิกะเฮิรตซ์ มีค่าสภาพสะท้อนโดยเฉลี่ยน้อยกว่า -25 dB ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 100-115.5 เซนติเมตร และห้องทดสอบสายอากาศรีขั้วที่ออกแบบในย่าน 11.5-13.5 กิกะเฮิรตซ์ มีค่าสภาพสะท้อนน้อยที่สุดคือ -42.27 dB ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 80 เซนติเมตร ดังนั้นห้องทดสอบสายอากาศที่ออกแบบมาทั้งสองห้องสองย่านความถี่ สามารถใช้ทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศได้ โดยที่ขนาดทางกายภาพของสายอากาศไม่เกิน 2λ และ 4λ ตามลำดับ

จากข้อจำกัดของวัสดุที่ใช้สร้างห้องทดสอบและวัสดุคูคัพคลื่น ทำให้ห้องทดสอบยังคงมีคลื่นสะท้อนที่เข้าสู่บริเวณทดสอบ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอกราฟชดเชยความผิดพลาดที่เกิดจากคลื่นสะท้อนไว้ด้วย

Thesis Title	Design and Evaluation of Anechoic Chamber
Student	Mr. Nakarin Machan
Student ID.	43061059
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2003
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Monai Krairiksh

ABSTRACT

This thesis presents the development of antenna measurement system. Design and evaluation of anechoic chamber at operating frequency range of 1.8-2.5 GHz and 11.5-13.5 GHz are proposed. The aim of this work is to provide facility in radiation pattern measurement for small antenna. Since the microwave absorber is developed on the basis of Salisbury screen absorber, it is resonant absorber that absorbs the normal incident wave at design frequency. Moreover, the anechoic chamber is evaluated by using Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) technique. The reflectivity of anechoic chamber at different positions in the anechoic chamber and for various frequencies of incident wave is evaluated. The average reflectivity at frequency range of 1.8-2.5 GHz is less than -25 dB when the distance between transmitting and receiving antennas is in the range of 100-115.5 cm. The minimum reflectivity at frequency range of 11.5-13.5 GHz is -42.27 dB at the distance between transmitting and receiving antennas is 80 cm. The designed anechoic chambers can be used for radiation pattern measurement for antenna of 2λ and 4λ in size at operating frequency ranges of 1.8-2.5 GHz and 11.5-13.5 GHz, respectively. However, it is found that the reflected wave can be found in quiet zone because of the limitation in microwave absorption of absorber. Therefore, the compensation curve for error due to reflected wave is given in this thesis as well.

กิตติกรรมประกาศ

คุณความดีอันเกิดจากวิทยานิพนธ์นี้ ขออุทิศแด่คุณชาย อำนวย สมภาร และคุณป้ากานดา กวา
ตระกูล และขอมอบให้กับบิดา มารดาของข้าพเจ้าผู้ให้โอกาส และสนับสนุนทางการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจากอาจารย์ที่
ปรึกษา รศ.ดร. โมไนย ไกรฤกษ์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการให้แนวคิด การดูแลติดตามงาน ชี้แนะข้อบก
พร่อง และฝึกฝนให้ข้าพเจ้ามีความสามารถในการทำงานวิจัยจนสามารถนำเสนองานเป็นที่ยอมรับได้

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.สมผล โกศลวิตร์ ดร.ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์ คุณไพศาล งามจรวยภรณ์
คุณดวงอาทิตย์ ศรีมูล คุณปภาณิศา แก้วสวัสดิ์ ผู้ที่ให้ความช่วยเหลือ และให้คำแนะนำทางด้านวิชาการที่
ดีเสมอมา

ขอขอบคุณ คุณอานัติ เหมือนชู ผู้ที่คอยช่วยเหลือด้านการทดสอบ และเครื่องควบคุม ตลอดจน
วิจัยนี้

ขอขอบคุณสมาชิกทุกคนในห้องปฏิบัติการสื่อสารไร้สาย (Wireless Communication
Laboratory) ที่ให้ความช่วยเหลือ เป็นทั้งพี่ เพื่อน และน้องๆ มีความสนุกสนาน เฮฮา ตลอดที่ข้าพเจ้า
ปฏิบัติงานในห้องวิจัยนี้

ขอขอบคุณมูลนิธิเพื่อการศึกษาคอมพิวเตอร์และการสื่อสาร และบริษัทเอเซียคาร์บอนอินคัสตรี
จำกัด ที่ให้ความช่วยเหลือเรื่องทุน และอุปกรณ์ (กระดาษคาร์บอน) ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลงด้วยดี

ขอขอบคุณเป็นพิเศษ ว่าที่ ร.ต.หญิงยุวดี กวาตระกูล ผู้คอยเป็นกำลังใจยิ่ง และช่วยเหลือสนับสนุน
ทุกๆเรื่องในการศึกษาตลอดปริญญาโทของข้าพเจ้า

นกรินทร์ มาจันทร์

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.4 โพลาริเซชัน.....	18
2.5 สรุป.....	23
บทที่ 3 การออกแบบระยะทดสอบสายอากาศ.....	24
3.1 กล่าวนำ.....	24
3.2 เกณฑ์การออกแบบระยะทดสอบสายอากาศ.....	24
3.2.1 การเชื่อมต่อร่วมของสนามแม่เหล็กไฟฟ้ารีแอกทีฟ.....	24
3.2.2 การเชื่อมต่อร่วมของการแผ่พลังงานกลับ.....	25
3.2.3 ความเร็วของแอมพลิจูดตามขวาง.....	25
3.2.4 ความเร็วของแอมพลิจูดตามยาว.....	25
3.2.5 ความเร็วเฟส.....	26
3.2.6 การเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งเนื่องจากการสะท้อน.....	27
3.2.7 การแทรกสอดจากแหล่งกำเนิดอื่นๆ นอกเหนือจากแหล่งกำเนิดของระยะทดสอบ.....	27
3.3 ระยะทดสอบกลางแจ้ง.....	27
3.3.1 ระยะทดสอบสะท้อนพื้น.....	28
3.3.2 ระยะทดสอบขั้วระดับ.....	28
3.3.3 ระยะทดสอบเฉียงเรดาร์.....	29
3.4 ระยะทดสอบในร่ม.....	30
3.4.1 ห้องทดสอบสี่เหลี่ยมผืนผ้า.....	31
3.4.2 ห้องทดสอบรีซ.....	34
3.5 สรุป.....	36
บทที่ 4 การประเมินระยะทดสอบสายอากาศ.....	37
4.1 กล่าวนำ.....	37
4.2 การประเมินสนามคกกระทบที่บริเวณทดสอบ.....	37
4.2.1 การวิเคราะห์การแทรกสอดของคลื่น.....	40
4.3 วิธีอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันในอวกาศว่าง.....	43
4.4 สรุป.....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 การออกแบบและประเมินคุณสมบัติห้องทดสอบสายอากาศที่ย่านความถี่ 2 กิกะเฮิรตซ์....48	
5.1 กล่าวนำ.....48	
5.2 การออกแบบวัสดุคูดซับคลื่นชนิดซาลิสบูรีสกรีน.....48	
5.2.1 หลักการพื้นฐาน.....48	
5.2.2 คลื่นตกกระทบตั้งฉากบนระนาบหลายชั้นของวัสดุไดอิเล็กตริก.....50	
5.2.3 ซาลิสบูรีสกรีน.....53	
5.3 การออกแบบห้องทดสอบสายอากาศ.....57	
5.4 การประเมินคุณสมบัติ.....60	
5.5 ผลการทดลอง.....63	
5.6 สรุป.....72	
บทที่ 6 การออกแบบและประเมินคุณสมบัติห้องทดสอบสายอากาศที่ย่านความถี่12 กิกะเฮิรตซ์...73	
6.1 กล่าวนำ.....73	
6.2 การออกแบบห้องทดสอบสายอากาศแบบเร็ว.....76	
6.3 การประเมินคุณสมบัติ.....78	
6.3.1 การกำหนดเงื่อนไขในการประเมินคุณสมบัติ ด้วยวิธีอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันในอวกาศว่าง.....80	
6.4 ผลการทดลอง.....83	
6.5 สรุป.....104	
บทที่ 7 สรุปและข้อเสนอแนะ.....106	
เอกสารอ้างอิง.....109	
ภาคผนวก.....111	
ประวัติผู้เขียน.....114	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
5.1 การออกแบบวัสดุค้ำยันคานาติสบูรีสกรีนที่ความถี่ 2.15 กิกะเฮิรตซ์.....	55
5.2 ตารางค่าสภาพสะท้อนที่ความถี่ และระยะห่างระหว่างสายอากาศค่าต่างๆ.....	67
5.3 ค่าชดเชยที่ความถี่ 1.8-2.4 กิกะเฮิรตซ์.....	70
6.1 เงื่อนไขการออกแบบวัสดุค้ำยันคานาติสบูรีสกรีน.....	74
6.2 แสดงอัตราการสูญเสียที่ความถี่ 12.5 กิกะเฮิรตซ์เมื่อปล่อยคลื่น ไปตกกระทบ ตั้งฉากกับวัสดุค้ำยันคานาติสบูรีสกรีนไมโครเวฟ.....	76
6.3 ค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้คำนวณหาค่าสภาพสะท้อน.....	100



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงรูปทรงทางเรขาคณิตของโคโพลที่มีความยาว l สำหรับประมาณสนามระยะไกล.....	5
2.2 แสดงบริเวณสนามของสายอากาศ.....	8
2.3 ระบบพิกัดทรงกลม.....	9
2.4 การตัดแบบรูปบนพิกัดทรงกลม.....	11
2.5 ระบบสายอากาศสองตัวที่ขึ้นกับนิยามการส่งผ่านของฟรีส.....	15
2.6 ลักษณะการกวาดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้า.....	18
2.7 โพลาริซั่วงรีบนพิกัดทรงกลมและนิยามการ โพลาริซั.....	19
2.8 ระบบทดสอบ โพลาริซัและแบบรูปโพลาริซั.....	21
2.9 แบบรูปโพลาริซัวงกลมของสายอากาศทดสอบ.....	22
3.1 หน้าเฟสทรงกลมที่ตกกระทบลงบนระนาบอะเปอร์เจอร์.....	26
3.2 โครงสร้างของระยะทดสอบสะท้อนพื้น.....	29
3.3 โครงสร้างของระยะทดสอบยกระดับ.....	29
3.4 ระยะทดสอบเฉียงเรดาร์.....	30
3.5 ห้องทดสอบสายอากาศสี่เหลี่ยมผืนผ้า.....	31
3.6 วัสดุดูดซับคลื่นที่วางไว้หลังแผ่น โลหะบาง.....	33
3.7 ห้องทดสอบเรียว.....	34
3.8 เปรียบเทียบห้องทดสอบกับบริเวณคลื่นสะท้อนเงากระจก.....	35
4.1 ภาพตัดตามยาวของห้องทดสอบสายอากาศ.....	38
4.2 นิยามของคลื่นสะท้อนเสมือน.....	40
4.3 ส่วนโค้งการแทรกสอดนิยามโดย $I = R - P$	41
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของคลื่นสะท้อน ต่อคลื่นทางตรง $\frac{E_R}{E_D}$ (dB).....	43
4.5 วิธีอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันในอวกาศว่าง.....	44
4.6 แบบรูปการแทรกสอด.....	45
4.7 ภาพเสมือนการกวาดของแบบรูป.....	46
5.1 ลำดับชั้นของแผ่นความต้านทานที่ถูกกั้นโดยวัสดุไดอิเล็กตริก.....	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
5.2 โครงสร้างชาติสิบุรีศรีกรีน.....	53
5.3 ขนาดที่ใช้งานของวัสดุคูดซับกั้นชาติสิบุรีศรีกรีน.....	56
5.4 การสร้างวัสดุคูดซับคลื่นชาติสิบุรีศรีกรีน.....	56
5.5 การจัดการทดลองเพื่อหาคุณสมบัติของวัสดุคูดซับคลื่น.....	57
5.6 อัตราการสูญเสียเนื่องจากการส่งผ่านวัสดุคูดซับคลื่นชาติสิบุรีศรีกรีน.....	58
5.7 ขนาดห้องทดสอบสายอากาศและพื้นที่หน้าตัด.....	59
5.8 การแพร่กระจายคลื่น (ก) ห้องทดสอบขนาดใหญ่ (ข) ห้องทดสอบขนาดเล็ก.....	60
5.9 การลากเส้นเชิงเรขาคณิตสำหรับห้องทดสอบสี่เหลี่ยมผืนผ้า.....	61
5.10 แบบรูปการแทรกสอดปรับมุมสายอากาศทดสอบ 58 องศา ที่ระยะห่างสายอากาศ 100.0 ซม. ความถี่ 1.7 กิกะเฮิรตซ์.....	63
5.11 แบบรูปการแทรกสอดปรับมุมสายอากาศทดสอบ 60 องศา ที่ระยะห่างสายอากาศ 102.5 ซม. ความถี่ 1.8 กิกะเฮิรตซ์.....	63
5.12 แบบรูปการแทรกสอดปรับมุมสายอากาศทดสอบ 62 องศา ที่ระยะห่างสายอากาศ 104.5 ซม. ความถี่ 1.9 กิกะเฮิรตซ์.....	64
5.13 แบบรูปการแทรกสอดปรับมุมสายอากาศทดสอบ 58 องศา ที่ระยะห่างสายอากาศ 105.5 ซม. ความถี่ 2.0 กิกะเฮิรตซ์.....	64
5.14 แบบรูปการแทรกสอดปรับมุมสายอากาศทดสอบ 60 องศา ที่ระยะห่างสายอากาศ 107.5 ซม. ความถี่ 2.1 กิกะเฮิรตซ์.....	64
5.15 แบบรูปการแทรกสอดปรับมุมสายอากาศทดสอบ 62 องศา ที่ระยะห่างสายอากาศ 110.5 ซม. ความถี่ 2.15 กิกะเฮิรตซ์.....	65
5.16 แบบรูปการแทรกสอดปรับมุมสายอากาศทดสอบ 58 องศา ที่ระยะห่างสายอากาศ 112.5 ซม. ความถี่ 2.2 กิกะเฮิรตซ์.....	65
5.17 แบบรูปการแทรกสอดปรับมุมสายอากาศทดสอบ 60 องศา ที่ระยะห่างสายอากาศ 115.5 ซม. ความถี่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์.....	65
5.18 แบบรูปการแทรกสอดปรับมุมสายอากาศทดสอบ 62 องศา ที่ระยะห่างสายอากาศ 110.5 ซม. ความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์.....	66
5.19 แบบรูปการแทรกสอดปรับมุมสายอากาศทดสอบ 58 องศา ที่ระยะห่างสายอากาศ 107.5 ซม. ความถี่ 2.5 กิกะเฮิรตซ์.....	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
5.20 ค่าสภาพสะท้อนในฟังก์ชันของระยะห่างระหว่างสายอากาศ.....	67
5.21 กราฟชดเชยที่มุม และความถี่ค่าต่างๆ.....	69
5.22 เปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานสายอากาศ ที่ความถี่ 1.80 กิกะเฮิรตซ์.....	71
5.23 เปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานสายอากาศ ที่ความถี่ 1.90 กิกะเฮิรตซ์.....	71
5.24 ค่าประสิทธิผลการชี้ลัดทางไฟฟ้า.....	72
6.1 ขนาดที่ใช้งานของวัสดุดูดซับคลื่นชนิดซาลิสบูรีสกรีน.....	74
6.2 แสดงอัตราการสูญเสียเนื่องจากการส่งผ่านที่ความถี่ต่างๆ.....	75
6.3 การวางตำแหน่งสายอากาศส่งในห้องทดสอบเร็ว.....	76
6.4 ขนาดห้องทดสอบสายอากาศเร็ว.....	78
6.5 ภาพถ่ายด้านหน้าและด้านข้างของห้องทดสอบสายอากาศเร็ว.....	78
6.6 การจัดการทดลอง.....	80
6.7 การลากเส้นเชิงเรขาคณิต.....	82
6.8 แบบรูปการแทรกสอดของคลื่นที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 73 ซม. (ก) มุม $\theta = 40$ องศา (ข) มุม $\theta = 50$ องศา (ค) มุม $\theta = 60$ องศา.....	83
6.9 แบบรูปการแทรกสอดของคลื่นที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 74 ซม. (ก) มุม $\theta = 40$ องศา (ข) มุม $\theta = 50$ องศา (ค) มุม $\theta = 60$ องศา.....	84
6.10 แบบรูปการแทรกสอดของคลื่นที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 75 ซม. (ก) มุม $\theta = 40$ องศา (ข) มุม $\theta = 50$ องศา (ค) มุม $\theta = 60$ องศา.....	85
6.11 แบบรูปการแทรกสอดของคลื่นที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 76 ซม. (ก) มุม $\theta = 40$ องศา (ข) มุม $\theta = 50$ องศา (ค) มุม $\theta = 60$ องศา.....	86
6.12 แบบรูปการแทรกสอดของคลื่นที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 77 ซม. (ก) มุม $\theta = 40$ องศา (ข) มุม $\theta = 50$ องศา (ค) มุม $\theta = 60$ องศา.....	87
6.13 แบบรูปการแทรกสอดของคลื่นที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 78 ซม. (ก) มุม $\theta = 40$ องศา (ข) มุม $\theta = 50$ องศา (ค) มุม $\theta = 60$ องศา.....	88
6.14 แบบรูปการแทรกสอดของคลื่นที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 79 ซม. (ก) มุม $\theta = 40$ องศา (ข) มุม $\theta = 50$ องศา (ค) มุม $\theta = 60$ องศา.....	89
6.15 แบบรูปการแทรกสอดของคลื่นที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 80 ซม. (ก) มุม $\theta = 40$ องศา (ข) มุม $\theta = 50$ องศา (ค) มุม $\theta = 60$ องศา.....	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
6.16 แบบรูปการแทรกสอดของคลื่นที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 81 ซม. (ก) มุม $\theta = 40$ องศา (ข) มุม $\theta = 50$ องศา (ค) มุม $\theta = 60$ องศา.....	91
6.17 แบบรูปการแทรกสอดของคลื่นที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 82 ซม. (ก) มุม $\theta = 40$ องศา (ข) มุม $\theta = 50$ องศา (ค) มุม $\theta = 60$ องศา.....	92
6.18 แบบรูปการแทรกสอดของคลื่นที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 83 ซม. (ก) มุม $\theta = 40$ องศา (ข) มุม $\theta = 50$ องศา (ค) มุม $\theta = 60$ องศา.....	93
6.19 แบบรูปการแทรกสอดของคลื่นที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 84 ซม. (ก) มุม $\theta = 40$ องศา (ข) มุม $\theta = 50$ องศา (ค) มุม $\theta = 60$ องศา.....	94
6.20 แบบรูปการแทรกสอดของคลื่นที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 85 ซม. (ก) มุม $\theta = 40$ องศา (ข) มุม $\theta = 50$ องศา (ค) มุม $\theta = 60$ องศา.....	95
6.21 แบบรูปการแทรกสอดของคลื่นที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 86 ซม. (ก) มุม $\theta = 40$ องศา (ข) มุม $\theta = 50$ องศา (ค) มุม $\theta = 60$ องศา.....	96
6.22 แบบรูปการแทรกสอดของคลื่นที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 87 ซม. (ก) มุม $\theta = 40$ องศา (ข) มุม $\theta = 50$ องศา (ค) มุม $\theta = 60$ องศา.....	97
6.23 แบบรูปการแทรกสอดของคลื่นที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 88 ซม. (ก) มุม $\theta = 40$ องศา (ข) มุม $\theta = 50$ องศา (ค) มุม $\theta = 60$ องศา.....	98
6.24 แบบรูปการแทรกสอดของคลื่นที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 89 ซม. (ก) มุม $\theta = 40$ องศา (ข) มุม $\theta = 50$ องศา (ค) มุม $\theta = 60$ องศา.....	99
6.25 ค่าสภาพสะท้อนในฟังก์ชันของระยะห่างระหว่างสายอากาศ.....	101
6.26 ค่าสภาพสะท้อนในฟังก์ชันของมุม θ (ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 80 ซม.).....	101
6.27 กราฟขีดเขตความผิดพลาด (ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 80 ซม. และความถี่ใช้งาน 12.5 กิโลเฮิร์ตซ์).....	102
6.28 การเปรียบเทียบแบบรูปสายอากาศระหว่างผลที่ยังไม่ชัดเจน กับผลที่ชัดเจนแล้วเทียบกับผลคำนวณ.....	103
6.29 ค่าประสิทธิภาพการซิงเกิ้ลทางไฟฟ้า.....	104
7.1 แผนภาพระบบการทำงาน.....	108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันวิวัฒนาการทางการติดต่อสื่อสารได้เจริญรุดหน้าไปอย่างรวดเร็ว มีการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้ในงานต่างๆเพื่อก่อให้เกิดประโยชน์ และความสะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้นในการติดต่อสื่อสารกัน สำหรับระบบสื่อสารไร้สายที่นิยมใช้กันในปัจจุบันมีหลายชนิด เช่น ระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม ระบบไมโครเวฟ วิทยุ โทรศัพท์เคลื่อนที่ และอื่นๆ ฯลฯ ซึ่งระบบที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้ คงปฏิเสธไม่ได้ว่า มีอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของระบบการรับส่งสัญญาณข้อมูลต่างๆที่จำเป็นต่อการใช้งาน นั่นคือ สายอากาศ ซึ่งถือได้ว่าเป็นอุปกรณ์พื้นฐานของการติดต่อสื่อสารไร้สายทุกชนิด

ในการที่จะนำสายอากาศใดๆ ไปใช้ในงานต่างๆ มีความจำเป็นจะต้องทราบถึงคุณสมบัติของสายอากาศที่จะนำไปใช้งานนั้นๆเสียก่อน คุณสมบัติของสายอากาศขั้นพื้นฐานได้แก่แบบรูปการแผ่พลังงานระยะไกลของสายอากาศ ดังนั้นเพื่อที่จะได้มาซึ่งความถูกต้องของคุณสมบัติของสายอากาศ นอกจากการออกแบบคำนวณทางทฤษฎีที่ถูกต้องแล้ว การทดสอบสายอากาศที่มีความถูกต้อง และแม่นยำ ก็เป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง

และในปัจจุบันการทดสอบสายอากาศมีความนิยมกระทำภายในระยะทดสอบในร่ม หรือห้องทดสอบสายอากาศ เนื่องจากสามารถป้องกันสภาพแวดล้อมจากภายนอกที่ไม่สามารถควบคุมได้ และเป็นสาเหตุให้เกิดความผิดพลาดในการทดสอบสายอากาศที่ระยะทดสอบกลางแจ้ง อย่างเช่น สภาพภูมิอากาศ ภูมิประเทศ และการแทรกสอดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ฯลฯ

แต่เนื่องจากห้องทดสอบสายอากาศที่มีอยู่ในเชิงพาณิชย์ โดยทั่วไปแล้วจะออกแบบมาให้ใช้งานได้ในช่วงความถี่กว้าง ดังนั้นห้องทดสอบจึงมีขนาดใหญ่ และทำให้ราคาแพงอย่างมากๆตามไปด้วย

ด้วยเหตุนี้จึงเป็นข้อจำกัดในการศึกษาวิจัยสำหรับองค์กรต่างๆที่มีความสนใจเกี่ยวกับสายอากาศแต่ประสบปัญหาขาดแคลนงบประมาณ

ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอ การพัฒนาห้องทดสอบสายอากาศขนาดเล็กที่ใช้ต้นทุนต่ำ โดยมีนัยสำคัญคือ ออกแบบ สร้าง และประเมินคุณสมบัติห้องทดสอบสายอากาศขนาดเล็กเพื่อให้สามารถใช้งานได้ในความถี่ที่ต้องการ และขนาดของสายอากาศในการทดสอบที่จำกัด

และเนื่องจากว่าห้องปฏิบัติการสื่อสารไร้สายที่ผู้วิจัยได้ปฏิบัติงานอยู่ ได้มีการศึกษา วิจัยในเรื่องของระบบสื่อสารไร้สายในยุคที่สาม ที่กำหนดให้ใช้งานในช่วงความถี่ 2 กิกะเฮิรตซ์ และ

นอกจากนั้นยังได้ศึกษาวิจัยเรื่องของสายอากาศขนาดเล็กที่ใช้เป็นตัวป้อนสัญญาณ (Feeder) สำหรับระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมที่แถบความถี่ เค-ยู จะอยู่ในช่วง 12 กิกะเฮิรตซ์

ดังนั้นเพื่อให้เกิดความสอดคล้อง และให้เกิดประโยชน์สูงสุดกับงานที่ทำอยู่ภายในห้องปฏิบัติการสื่อสารไร้สาย วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอ “การออกแบบและประเมินคุณสมบัติห้องทดสอบสายอากาศ” โดยแยกเป็นสองช่วงความถี่ กล่าวคือ อยู่ในช่วง 1.8-2.5 กิกะเฮิรตซ์ และ 11.5-13.5 กิกะเฮิรตซ์ ตามลำดับ เพื่อที่จะพัฒนาให้เป็นสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับการทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ออกแบบมาในช่วงความถี่ดังกล่าว

นอกจากนั้น วัสดุคูดซ์บัคคลื่นไมโครเวฟที่เป็นส่วนประกอบหลักในการออกแบบ สร้าง และประเมินห้องทดสอบสายอากาศขนาดเล็กที่ใช้ต้นทุนต่ำนี้ ได้ถูกพัฒนา และสร้างขึ้นมาจากตามหลักการพื้นฐานของ “ซาลิสบูรี สกรีน”

และเนื่องจากห้องทดสอบสายอากาศที่ได้พัฒนาขึ้นมานี้มีข้อจำกัดทางวัสดุที่ใช้สร้าง และวัสดุคูดซ์บัคคลื่นชนิดซาลิสบูรีสกรีนที่ใช้เป็นองค์ประกอบหลัก มีข้อจำกัดในการคูดซ์บัคคลื่นที่เฉพาะความถี่ และมุมที่ตกกระทบ (กล่าวคือ คูดซ์บัคคลื่น ได้ดีเฉพาะความถี่กลางที่ออกแบบ และมุมของคลื่นระนาบที่ตกกระทบตั้งฉาก) ด้วยเหตุนี้จึงไม่สามารถจำลองห้องทดสอบสายอากาศให้อยู่ในสภาพที่ไม่มีคลื่นสะท้อนภายในบริเวณทดสอบที่สมบูรณ์ได้ ทำให้ยังคงมีคลื่นสะท้อนที่เข้าสู่บริเวณทดสอบแม้ว่าจะมีปริมาณน้อยแต่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอแผนภาพกราฟชดเชยความผิดพลาดที่เกิดขึ้นภายในบริเวณทดสอบไว้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย

การทดสอบหาแบบรูปการแผ่พลังงานระยะไกลของสายอากาศที่กระทำภายในห้องทดสอบสายอากาศ เป็นวิธีที่ให้ผลการทดสอบที่มีความถูกต้องแม่นยำมากกว่าการทดสอบที่ระยะทดสอบกลางแจ้ง เนื่องจากสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมต่างๆที่มีผลต่อระบบการทดสอบได้ และเพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายสำหรับองค์กรต่างๆที่ทำวิจัยเกี่ยวกับสายอากาศที่จะต้องไปจัดซื้อจัดหาห้องทดสอบสายอากาศที่มีจำหน่ายอยู่โดยทั่วไปและมีสนนราคาที่สูงลิบลัว วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอการพัฒนาห้องทดสอบสายอากาศขนาดเล็กที่ใช้ต้นทุนต่ำโดยใช้งานได้ดีเฉพาะช่วงความถี่ที่กำหนด กล่าวคือมีวัตถุประสงค์ดังนี้

- 1) ออกแบบ สร้าง และประเมินคุณสมบัติห้องทดสอบสายอากาศ ที่ย่านความถี่ 1.8-2.5 กิกะเฮิรตซ์
- 2) ออกแบบ สร้าง และประเมินคุณสมบัติห้องทดสอบสายอากาศ ที่ย่านความถี่ 11.5-13.5 กิกะเฮิรตซ์

ในการเลือกออกแบบห้องทดสอบสายอากาศที่ย่านความถี่ดังกล่าวเพื่อให้เกิดความสอดคล้อง และเกิดประโยชน์สูงสุดต่อการศึกษาวิจัยสายอากาศภายในห้องปฏิบัติการสื่อสารไร้สายที่ผู้เขียนได้

ศึกษาวิจัยอยู่ในปัจจุบัน สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 โครงประกอบวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 7 บท โดยบทที่ 1 เป็นบทนำ กล่าวถึงเหตุผลที่จะต้องพัฒนาห้องทดสอบสายอากาศขนาดเล็กที่ย่านความถี่ 12 กิกะเฮิร์ตซ์ และ 2 กิกะเฮิร์ตซ์ เพื่อใช้เป็นสิ่งอำนวยความสะดวกในการทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศขนาดเล็กที่ออกแบบมาในช่วงความถี่ดังกล่าว

บทที่ 2 กล่าวถึงหลักการพื้นฐานของการทดสอบสายอากาศ โดยเริ่มจากทฤษฎีการแบ่งบริเวณสนาม เพื่อกำหนดบริเวณการแผ่พลังงานของสายอากาศ ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้อ้างอิงกฎเกณฑ์ของการแพร่กระจายคลื่นในสนามระยะไกล และได้อธิบายถึงระบบพิกัดของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นระยะไกล และอธิบายทฤษฎีการทดสอบคุณลักษณะต่างๆของการแผ่พลังงานของสายอากาศ เช่น แบบรูปการแผ่พลังงาน อัตราขยาย สภาพเจาะจงทิศทาง โพลาริเซชัน ฯลฯ

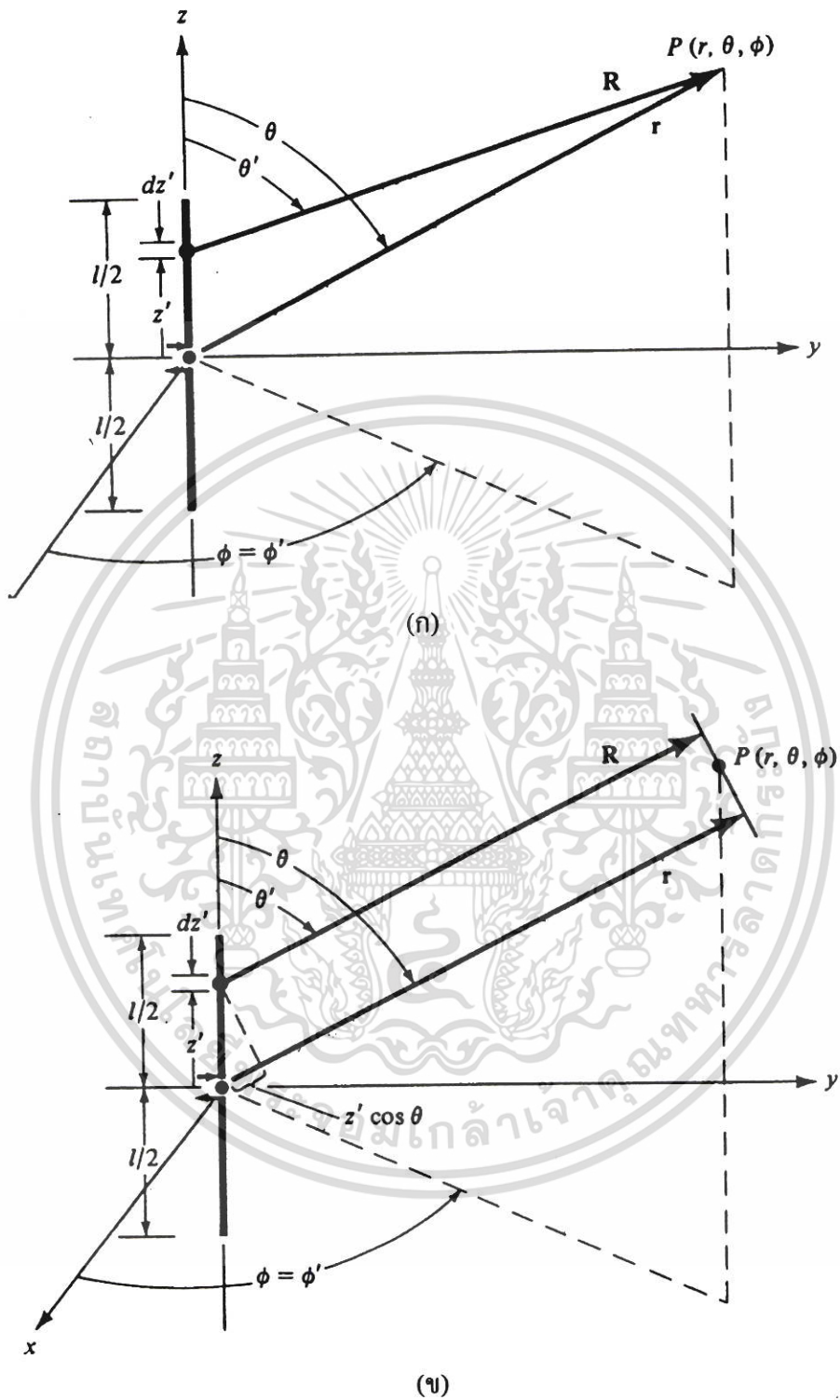
บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบระยะทดสอบสายอากาศ ประกอบด้วย เกณฑ์ในการออกแบบระยะทดสอบสายอากาศ การออกแบบห้องทดสอบสายอากาศแบบเรียว และการออกแบบห้องทดสอบสายอากาศแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

บทที่ 4 กล่าวถึงการประเมินระยะทดสอบสายอากาศ โดยมีการประเมินสนามตกกระทบที่บริเวณทดสอบ และการประเมินห้องทดสอบสายอากาศด้วยวิธีอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันในอวกาศว่าง

บทที่ 5 การออกแบบ และประเมินคุณสมบัติของห้องทดสอบสายอากาศที่ย่านความถี่ 1.8-2.5 กิกะเฮิร์ตซ์ โดยได้ออกแบบวัสดุคูดซ์บคลื่นชนิดซาลิสบูร์สกรีน ที่ใช้จัดวางภายในห้องทดสอบขนาดเล็กแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า และประเมินคุณสมบัติเพื่อหาค่าสภาพสะท้อนที่แต่ละตำแหน่งภายในห้องทดสอบ นอกจากนี้ยังมีกราฟแสดงความผิดพลาดของการทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่กระทำภายในห้องทดสอบสายอากาศ

บทที่ 6 การออกแบบ และประเมินคุณสมบัติของห้องทดสอบสายอากาศที่ย่านความถี่ 11.5-13.5 กิกะเฮิร์ตซ์ โดยได้ออกแบบวัสดุคูดซ์บคลื่นชนิดซาลิสบูร์สกรีน ที่ใช้จัดวางภายในห้องทดสอบขนาดเล็กแบบเรียว และประเมินคุณสมบัติด้วยวิธีอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันในอวกาศว่าง เพื่อหาค่าสภาพสะท้อนที่แต่ละตำแหน่งภายในห้องทดสอบ และมีกราฟแสดงความผิดพลาด

บทที่ 7 สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ รวบรวมปัญหา และข้อผิดพลาดต่างๆที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลอง เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาห้องทดสอบสายอากาศต่อไป



ภาพที่ 2.1 แสดงรูปทรงทางเรขาคณิตของไดโพลที่มีความยาว l สำหรับประมาณสนามระยะไกล
 (ก) โครงสร้างสายอากาศไดโพลขนาดจำกัด (ข) การจัดโครงสร้างสำหรับประมาณ
 สนามระยะไกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้สมการ

$$A(x, y, z) = \frac{\mu}{4\pi c} \int I_e(x', y', z') \frac{e^{-jkR}}{R} dl' \quad (2.1ก)$$

โดยที่

$$R = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2} \quad (2.1ข)$$

ซึ่ง R เป็นระยะทางจากจุดใดๆบนแหล่งกำเนิดไปสู่จุดสังเกต

ในการพิจารณาสายอากาศไดโพลที่มีขนาดเล็กมากมีความยาวเท่ากับ l ซึ่งวางที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางในระบบพิกัดทรงกลมตามแนวแกน z ดังแสดงตามภาพที่ 2.1ก จึงสามารถสมมุติให้ $x' = y' = 0$ ดังนั้นสามารถเขียนสมการ (2.1ข) ใหม่ ได้ดังนี้

$$R = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2} = \sqrt{x^2 + y^2 + (z-z')^2} \quad (2.2)$$

เมื่อกระจายสมการ (2.2) จะได้

$$R = \sqrt{(x^2 + y^2 + z^2) + (-2zz' + z'^2)} = \sqrt{r^2 + (-2rz' \cos \theta + z'^2)} \quad (2.3ก)$$

โดยที่

$$r^2 = x^2 + y^2 + z^2 \quad (2.3ข)$$

$$z = r \cos \theta \quad (2.3ค)$$

โดยใช้การกระจายสมการแบบไบนอมิเอลในสมการ (2.3ก) สามารถเขียนได้ใหม่ในรูปอนุกรมดังนี้

$$R = r - z' \cos \theta + \frac{1}{r} \left(\frac{z'^2}{2} \sin^2 \theta \right) + \frac{1}{r^2} \left(\frac{z'^3}{2} \cos \theta \sin^2 \theta \right) + \dots \quad (2.4)$$

สำหรับเทอมลำดับที่สูงขึ้นไปจะมีค่าน้อยลงเรื่อยๆเนื่องจาก $r \gg z'$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นขอบเขตสนามระยะไกลสามารถหาได้โดยการประมาณค่า R ในสมการ (2.4) เมื่อ $r \gg z'$ ทำให้คิดเฉพาะเทอมที่ 1 และ 2 ได้ดังนี้

$$R \approx r - z' \cos \theta \quad (2.5)$$

สำหรับเทอมที่ 3 จะมีค่าสูงสุดเมื่อ $\theta = \pi/2$ โดยมีค่าเท่ากับ

$$\frac{1}{r} \left(\frac{z'^2}{2} \sin^2 \theta \right)_{\max} = \frac{z'^2}{2r} \quad (2.6)$$

จาก $\theta = \pi/2$ จะทำให้เทอมที่ 4 และเทอมลำดับที่สูงขึ้นไปของสมการ (2.4) หายไป ดังนั้นการประมาณค่าในสมการ (2.4) ด้วย (2.5) จะเกิดค่าความผิดพลาดสูงสุด (Maximum Error) ดังแสดงในสมการ (2.6)

สำหรับสายอากาศทั่วไป ที่มีขนาดที่ยาวกว่าความยาวคลื่นมากๆ ($l \gg \lambda$) จะกำหนดให้มีค่าความผิดพลาดทางเฟสสูงสุด (Maximum Total Phase Error) น้อยกว่าหรือเท่ากับ $\pi/8$ เรเดียน ดังนั้นสมการ (2.6) จะได้ค่าความผิดพลาดทางเฟสสูงสุดดังสมการ

$$\frac{k(z')^2}{2r} \leq \frac{\pi}{8} \quad (2.7)$$

โดยที่ $-\frac{l}{2} \leq z' \leq \frac{l}{2}$
ดังนั้นจะได้

$$r \geq 2 \left(\frac{l^2}{\lambda} \right) \quad (2.8)$$

จากสมการ (2.8) ระยะทางจากจุดสังเกต r ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ $2l^2/\lambda$ เมื่อ l เป็นขนาดของโครงสร้างสายอากาศที่ใหญ่ที่สุด ซึ่งจะให้ค่าความผิดพลาดทางเฟสสูงสุดไม่เกิน $\pi/8$ เรเดียน

การประมาณขอบเขตสนามระยะไกลสรุปได้ดังนี้

ในเทอมของเฟส คัดจาก $R \approx r - z' \cos \theta$

ในเทอมของขนาด คัดจาก $R \approx r$

โดยค่า r หาได้จากสมการ (2.8) ในกรณี $R \approx r - z' \cos \theta$ เมื่อ θ เป็นมุมที่วัดจากแนวแกน z ดังนั้นรัศมีของเวกเตอร์ R และ r จะขนานกัน ดังแสดงตามภาพที่ 2.1 ข

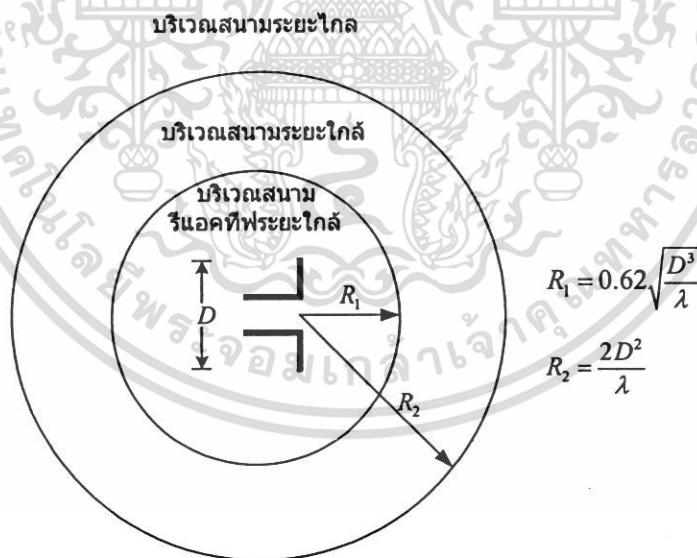
สำหรับสายอากาศแบบอื่นต่างๆ ไปนั้น ขนาดของสายอากาศที่ใหญ่ที่สุด (Maximum Dimension) จะแทนด้วย D ดังนั้นสมการที่ (2.8) เขียนใหม่ได้ดังนี้

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda} \quad (2.9)$$

2.2.2 บริเวณสนามการแพร่กระจายคลื่นในอากาศ

จากที่กล่าวถึงการแบ่งขอบเขตบริเวณสนามมาแล้วข้างต้น สามารถแบ่งพื้นที่รอบๆ สายอากาศออกได้เป็น 3 บริเวณ [1,2] แสดงดังภาพที่ (2.2) ได้ดังต่อไปนี้

บริเวณสนามรีแอคทีฟระยะใกล้ (Reactive Near-Field Region) เป็นบริเวณสนามที่อยู่รอบๆ ใกล้ตัวสายอากาศมากที่สุด ซึ่งบริเวณนี้พลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อระยะห่างจากสายอากาศเพิ่มขึ้น จึงแทบจะไม่มี การแพร่กระจายคลื่นเกิดขึ้นบริเวณนี้ สำหรับสายอากาศทั่วไปขอบเขตของบริเวณนี้จะกำหนดไว้ที่ระยะ $R < 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$ จากพื้นผิวของสายอากาศ

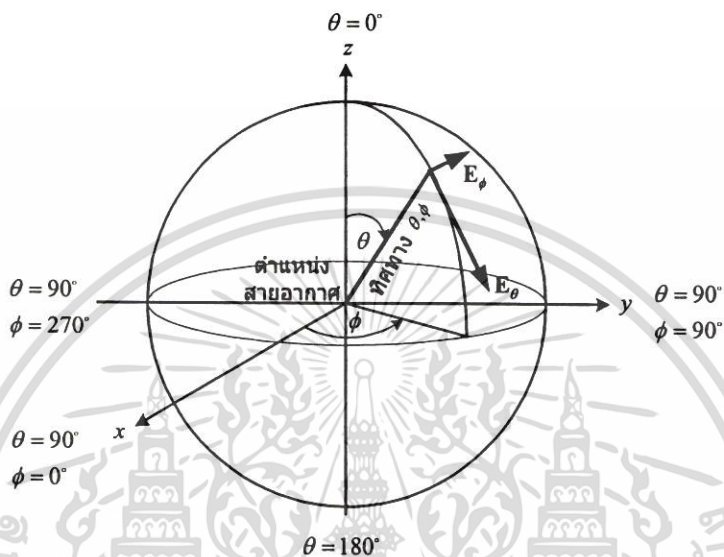


ภาพที่ 2.2 แสดงบริเวณสนามของสายอากาศ

บริเวณสนามระยะใกล้ (Near-Field Region) เป็นบริเวณสนามที่มีการแพร่กระจายคลื่นซึ่งมีขอบเขตอยู่ช่วงระหว่างระยะ $(0.62\sqrt{D^3/\lambda}) \leq R < (2D^2/\lambda)$

บริเวณสนามระยะไกล (Far-Field Region) เป็นบริเวณสนามที่มีการแจกแจงเชิงมุมไม่ขึ้นกับระยะทางจากสายอากาศ ดังนั้นส่วนมากจึงใช้บริเวณนี้ทดสอบสายอากาศโดยมีระยะทดสอบเริ่มจาก $R \geq (2D^2 / \lambda)$ เรื่อยไปจนถึงระยะอนันต์ (Infinity)

2.3 ระบบพิกัดของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น



ภาพที่ 2.3 ระบบพิกัดทรงกลม

แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเป็นการอธิบายถึง การกระจายตำแหน่งของปริมาณที่กำหนดคุณลักษณะของสนามไฟฟ้าหลายๆปริมาณซึ่งถูกกระตุ้นด้วยสายอากาศ ปริมาณเหล่านี้ประกอบด้วย ความหนาแน่นของกำลังงานฟลักซ์ ความแรงของสนามไฟฟ้า ความเข้มของการแผ่พลังงาน สภาพเจาะจงทิศทาง อัตราขยาย เฟส และ โพลาริเซชัน การทดสอบคุณลักษณะแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ ต้องการทราบถึงการกระจายตำแหน่งของปริมาณที่แผ่อกในทุกๆ ทิศทาง ดังนั้นจึงต้องมีระบบพิกัดทรงกลมมาตรฐานเพื่อใช้อ้างอิงในการทดสอบสายอากาศดังแสดงในภาพที่ 2.3

ในระบบพิกัดทรงกลม กำหนดสายอากาศที่จะทำการทดสอบวางที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของทรงกลม และปริมาณต่างๆที่ทดสอบอยู่ที่ผิวทรงกลม ดังนั้นระยะรัศมี R หรือ ระยะห่างจากสายอากาศทดสอบมีค่าคงที่ ดังนั้นคุณลักษณะต่างๆของการแผ่พลังงานจะอยู่ในฟังก์ชันของมุม θ และมุม ϕ เพื่อเปลี่ยนแปลงทิศทางของแบบรูปเท่านั้น

2.3.1 การตัดแบบรูป

จากที่กล่าวในหัวข้อที่ผ่านมาแล้วว่า แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศคือ การกระจายตำแหน่งของปริมาณที่กำหนดคุณลักษณะสนามไฟฟ้าหลายๆปริมาณ ประกอบด้วย ความหนาแน่น

ของกำลังงานปลั๊กซ์ ความแรงของสนามไฟฟ้า ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น สภาพเจาะจงทิศทาง อัตรายาย เฟส และโพลาไรเซชัน

ซึ่งในทางปฏิบัติไม่สามารถทดสอบปริมาณเหล่านี้ที่ทุกๆจุดในสเปซ แต่จะต้องสุ่มทดสอบ บริเวณที่พื้นผิวทดสอบที่ถูกกำหนดไว้อย่างเหมาะสม

พื้นผิวทดสอบที่กำหนดโดยทั่วไป ได้แก่ พื้นผิวระนาบ พื้นผิวทรงกระบอก และพื้นผิวทรงกลม ดังนั้นทุกๆส่วนที่อยู่บนพื้นผิวทดสอบจะเรียกว่า การตัดแบบรูป (Pattern Cuts) และการกระจายของปริมาณต่างๆของสนามไฟฟ้าที่อยู่บนการตัดแบบรูปเรียกว่า แบบรูปการแผ่พลังงาน (Radiation Pattern)

โดยทั่วไปแล้วในทางปฏิบัติการพิจารณาการตัดแบบรูปจะใช้ระบบพิกัดร่วมกันกับพื้นผิวทดสอบ

พื้นผิวทดสอบระนาบ และพื้นผิวทดสอบทรงกระบอก มีความเหมาะสมที่จะใช้อ้างอิงในการทดสอบสายอากาศระยะใกล้ [3] ในขณะที่พื้นผิวทดสอบทรงกลมมีความเหมาะสมที่ใช้อ้างอิงในการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นระยะไกลของสายอากาศ ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงได้เน้นในรายละเอียดของพื้นผิวทดสอบทรงกลม

พื้นผิวทรงกลมที่มีความเหมาะสมสำหรับการทดสอบ การแพร่กระจายคลื่นระยะไกลของสายอากาศ คือ ทรงกลมการแผ่พลังงานของสายอากาศ และตำแหน่งของจุดของทรงกลมการแผ่พลังงานจะถูกกำหนดในเทอมของพิกัดมุม θ และมุม ϕ ของระบบพิกัดทรงกลมมาตรฐาน ที่มีจุดกำเนิดที่จุดศูนย์กลางของทรงกลม

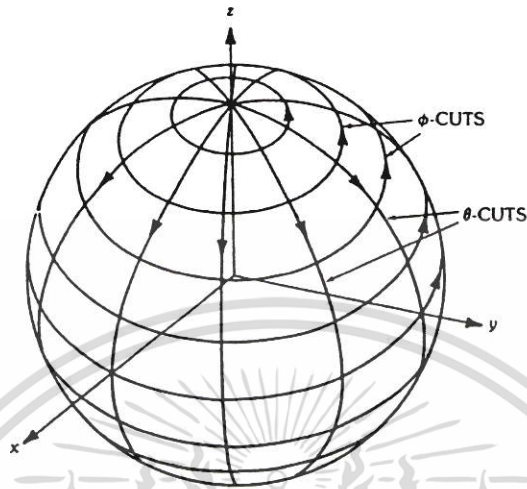
ดังนั้น การตัดแบบรูป บนระบบพิกัดทรงกลมมีมาตรฐานอยู่สองแบบ แบบแรก เมื่อกำหนดมุม θ และเปลี่ยนแปลงมุม ϕ เรียกว่าการตัดแบบกรวย (Conical Cut) หรือ ϕ -cut อีกแบบหนึ่งคือ กำหนดมุม ϕ และเปลี่ยนแปลงมุม θ เรียกว่าการตัดแบบวงกลม (Great Circle Cut) หรือ θ -cut ซึ่งทั้งสองแบบแสดงไว้ในภาพที่ 2.4

2.4 การทดสอบคุณลักษณะต่างๆของการแผ่พลังงาน

การทดสอบสายอากาศเพื่อให้ทราบถึงคุณลักษณะของการแผ่พลังงานเป็นสิ่งสำคัญ สายอากาศบางกรณีอาจต้องการทดสอบเพียงแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบพื้นฐานตามที่กล่าวมาแล้ว หรืออาจจะทดสอบอัตรายายของสายอากาศเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามจำเป็นที่จะต้องทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานร่วมขั้ว (Copolars radiation pattern) หรือในบางครั้งต้องการที่จะทดสอบคุณสมบัติโพลาไรเซชันของสายอากาศ รวมถึงแบบรูปของขนาด และแบบรูปเฟส ในการแผ่พลังงานด้วย ส่วนมากแล้วในระบบสื่อสารต้องการทราบอัตรายายของสายอากาศที่ใช้ในระบบนั้นๆ และทำให้ทราบถึงสภาพเจาะจงทิศทางด้วย ดังนั้นประสิทธิภาพในการแผ่พลังงานสามารถหาได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนของอัตราขยายต่อสภาพเจาะงทศทาง ซึ่งปริมาณทั้งหมดที่กล่าวมานี้จะได้อธิบายรายละเอียดต่อไป



ภาพที่ 2.4 การตัดแบบรูปบนพิกัดทรงกลม

2.4.1 ขนาดและเฟสของแบบรูปการแผ่พลังงาน

แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่สมบูรณ์นั้น จะต้องพิจารณาทั้งขนาดและเฟสของสนามแพร่กระจายที่มีองค์ประกอบของโพลาไรซ์ที่ตั้งฉากกัน นิยามของขนาดของแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ คือ ผลรวมทางเวกเตอร์ของสององค์ประกอบของสนามไฟฟ้าที่มีโพลาไรเซชันตั้งฉากกัน (E_θ, E_ϕ) ส่วนเฟสของการแผ่พลังงานสนามไฟฟ้าในทิศทางของเวกเตอร์หนึ่งหน่วย \hat{u} (E_u) ซึ่งถูกกำหนดเป็น $\psi(\theta, \phi)$ ดังนั้นสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\vec{E}_u(r, \theta, \phi) = E(\theta, \phi) e^{j\psi(\theta, \phi)} \frac{e^{-jkr}}{r} \hat{u} \quad (2.10)$$

โดยที่

\hat{u} คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วย

$E(\theta, \phi)$ คือ การเปลี่ยนแปลงของขนาด

$\psi(\theta, \phi)$ คือ การเปลี่ยนแปลงของเฟส

(r, θ, ϕ) คือ ระบบพิกัดทรงกลม ณ จุดสังเกต

สำหรับสายอากาศที่มีโพลาไรเซชันเส้นตรง เวกเตอร์หนึ่งหน่วย (\hat{u}) จะเป็นจำนวนจริง หรืออาจจะเป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วยในทิศมุม θ (\hat{a}_θ) หรือในทิศมุม ϕ (\hat{a}_ϕ) สำหรับโพลาไรซ์แบบวงรี หรือวงกลม เวกเตอร์หนึ่งหน่วย (\hat{u}) จะเป็นจำนวนเชิงซ้อน [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2.12) ตัวแปร $\bar{\Phi}_1(\theta', \phi') = 1$ อย่างไรก็ตาม การนอร์มัลไลซ์ความเข้มของการแผ่พลังงาน $\bar{\Phi}_1(\theta, \phi)$ และ $\bar{\Phi}_2(\theta, \phi)$ จะเท่ากับแบบรูปการแผ่พลังงานสัมพัทธ์ที่วัดได้

ถ้าทำการทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน โดยกำหนดการตัดแบบรูปเป็นแบบ ϕ -cut และเปลี่ยนแปลงมุม ($0 \leq \theta \leq \pi$) ไป $\frac{\pi}{M}$ เรเดียน ดังนั้นสภาพเจาะจงทิศทางจะเป็น

$$D_1(\theta', \phi') = \frac{4M}{\sum_{i=1}^M \left\{ \int_0^{2\pi} [\bar{\Phi}_1(\theta_i, \phi_j) + \bar{\Phi}_2(\theta_i, \phi_j)] d\phi \right\} \sin \theta_i} \quad (2.15)$$

$$D_2(\theta', \phi') = \frac{4M\bar{\Phi}_2(\theta', \phi')}{\sum_{i=1}^M \left\{ \int_0^{2\pi} [\bar{\Phi}_1(\theta_i, \phi_j) + \bar{\Phi}_2(\theta_i, \phi_j)] d\phi \right\} \sin \theta_i} \quad (2.16)$$

โดยที่ $\theta_i = i\pi/M$ เรเดียน

และถ้าทำการทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน โดยกำหนดการตัดแบบรูปเป็นแบบ θ -cut และเปลี่ยนแปลงมุม ($0 \leq \phi \leq 2\pi$) ไป $\frac{2\pi}{N}$ เรเดียน ดังนั้นสภาพเจาะจงทิศทางจะเป็น

$$D_1(\theta', \phi') = \frac{2N}{\sum_{j=1}^N \int_0^\pi [\bar{\Phi}_1(\theta_i, \phi_j) + \bar{\Phi}_2(\theta_i, \phi_j)] \sin \theta d\theta} \quad (2.17)$$

$$D_2(\theta', \phi') = \frac{2N\bar{\Phi}_2(\theta', \phi')}{\sum_{j=1}^N \int_0^\pi [\bar{\Phi}_1(\theta_i, \phi_j) + \bar{\Phi}_2(\theta_i, \phi_j)] \sin \theta d\theta} \quad (2.18)$$

ซึ่งสมการที่กล่าวมาสามารถคำนวณเชิงตัวเลขได้ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ [2] สำหรับกรณีสายอากาศที่มีแบบรูปการแผ่พลังงานเป็นลำคลื่นรูปปลายคินสอ (Pencil-beam antenna) สามารถประมาณค่าสภาพเจาะจงทิศทางจาก แบบรูประนาบพื้นฐาน (Principle-plane pattern) ซึ่งเป็นสัดส่วนผกผันกับความกว้างลำคลื่น โดยความกว้างลำคลื่นคือ องค์กรประกอบของความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (Half Power Beam Width) หรือเขียนย่อว่า HPBW สององค์กรประกอบคือ θ_{HP} และ ϕ_{HP} ดังนั้นการประมาณค่าสภาพเจาะจงทิศทางสามารถแสดงเป็นสมการได้ว่า

$$D_m(\theta', \phi') = \frac{K}{\theta_{HP}\phi_{HP}} \quad (2.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยค่า K ถูกกำหนดอยู่ในช่วง 25,000 ถึง 41,253 แต่โดยส่วนมากแล้วจะใช้ค่า K เท่ากับ 32,400 ซึ่งเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้ในการประมาณค่าสภาพเงาของทิศทาง

2.4.3 อัตราขยาย

อัตราขยายเป็นปริมาณที่สำคัญที่จะบอกถึงคุณภาพในการแผ่พลังงานของสายอากาศ การทดสอบอัตราขยายแบ่งเป็น วิธีทดสอบแบบอัตราขยายสัมบูรณ์ (Absolute Gain Measurement) และวิธีทดสอบแบบอัตราขยายถ่ายโอน (Gain-Transfer Measurement) หรือเรียกว่า อัตราขยายเปรียบเทียบ (Gain-Comparison) [1] วิธีอัตราขยายสัมบูรณ์ไม่จำเป็นต้องทราบอัตราขยายของสายอากาศที่ใช้ในระบบทดสอบมาก่อน แต่วิธีทดสอบแบบอัตราขยายถ่ายโอนจะต้องมีสายอากาศมาตรฐานที่ทราบค่าอัตราขยายที่แน่นอนเพื่อใช้เปรียบเทียบกับสายอากาศที่ต้องการทดสอบ

โดยทั่วไปแล้ว วิธีอัตราขยายสัมบูรณ์ใช้ในการปรับเทียบเพื่อหาค่าอัตราขยายมาตรฐาน ส่วนวิธีอัตราขยายถ่ายโอนใช้เพื่อหาค่าอัตราขยายของสายอากาศทดสอบ

2.4.3.1 อัตราขยายสัมบูรณ์

การทดสอบอัตราขยายสัมบูรณ์ขึ้นอยู่กับพื้นฐานของนิยามการส่งผ่านของฟรีส (Friis Transmission Formula) ที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศ พิจารณาจากสายอากาศสองตัวส่ง และ รับ โดยมีระยะห่าง R ดังแสดงในภาพที่ 2.5

จากภาพ กำลังที่ถูกรับได้จากสายอากาศ B คือ P_R กำหนดโดยนิยามการส่งผ่านของฟรีส เป็น

$$P_R = P_0 G_A G_B \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 q_B p \quad (2.20)$$

โดยที่

G_A และ G_B คือ อัตราขยายของสายอากาศ A และ B

P_0 คือ กำลังที่สายอากาศ A รับได้จากเครื่องส่ง

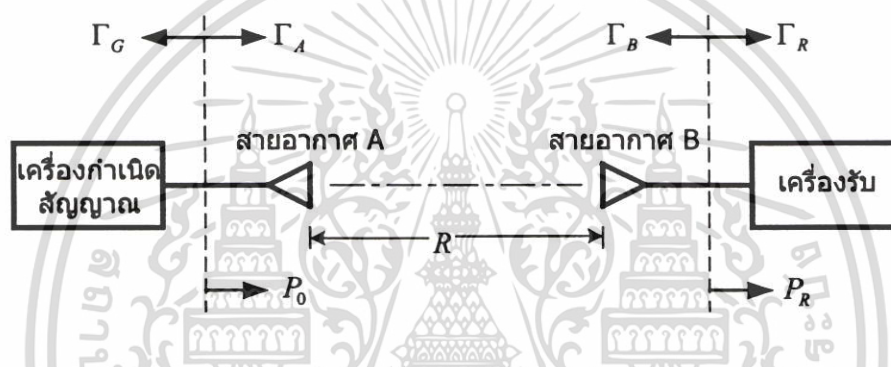
q_B คือ ตัวประกอบการไม่แมตซ์ของอิมพีแดนซ์ (Impedance mismatch factor) โดยประเมินที่ระนาบอ้างอิงระหว่างสายอากาศ B กับ โหลด

p คือ ประสิทธิภาพการโพลาไรซ์ หรือ เรียกว่า ตัวประกอบเข้าคู่ของการโพลาไรซ์ ซึ่งสมการ (2.20) ตั้งอยู่ในสมมุติฐานที่ว่าสนามไฟฟ้าที่เดินทางจากอะเพอร์เจอร์สายอากาศ B โดยระยะห่าง R อยู่ในระบะการแพร่กระจายคลื่นระยะไกล และอยู่ในเงื่อนไขสภาวะอวกาศว่าง และตัวประกอบการไม่แมตซ์ของอิมพีแดนซ์ กำหนดโดย

$$q_B = \frac{(1-|\Gamma_B|^2)(1-|\Gamma_L|^2)}{|1-\Gamma_B\Gamma_L|^2} \quad (2.21)$$

ตัวแปร Γ_B และ Γ_L คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศ B และ โหลด ตามลำดับ โดย ประเมินที่ระนาบอ้างอิงเดียวกัน ดังนั้นต้องทราบขนาด และเฟส ของ Γ_B และ Γ_L เพื่อใช้หาค่า q_B

ในกรณีการทดสอบสายอากาศภายใต้เงื่อนไขการจัดวางระยะทดสอบที่สมบูรณ์ เช่นภายในห้องทดสอบสายอากาศ สามารถที่จะสมมุติได้ว่า ไม่มีผลการเปลี่ยนแปลงโพลาริเซชัน ในกรณีเช่นนี้ประสิทธิภาพโพลาริเซชัน p สามารถคำนวณได้จากโพลาริเซชันของสายอากาศทั้งสองตัว [1] ค่าของ p สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามโพลาริเซชันของสายอากาศ



ภาพที่ 2.5 ระบบสายอากาศสองตัวที่ขึ้นกับนิยามการส่งผ่านของฟรีส

กำลังที่สายอากาศ A รับผิดชอบได้ (P_0) ไม่สามารถวัดโดยตรงได้ ถ้าวัดความสามารถในการจ่ายกำลังของเครื่องกำเนิด P_A โดยมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$P_0 = P_A q_A \quad (2.22)$$

โดยที่

$$q_A = \frac{(1-|\Gamma_G|^2)(1-|\Gamma_A|^2)}{|1-\Gamma_G\Gamma_A|^2} \quad (2.23)$$

ตัวแปร Γ_G และ Γ_A คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนของเครื่องกำเนิด และสายอากาศ A

ถ้าเครื่องมือวัดเข้าคู่กัน (Match) กับสายส่ง ดังนั้นไม่ต้องมีจูนเนอร์ที่ใช้ปรับการเข้าคู่กันกับเครื่องกำเนิด ในการวัดในเงื่อนไขนี้เรียกว่าการเข้าคู่กันของกำลังในสาย (Line-matched power) P_M ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_0 = P_M q'_A \quad (2.24)$$

โดยที่

$$q'_A = \frac{1 - |\Gamma_A|^2}{|1 - \Gamma_A \Gamma_G|^2} \quad (2.25)$$

ในกรณีที่เครื่องกำเนิดเข้าคู่กับสายส่ง ตัวประกอบการไม่แมตช์ของอิมพีแดนซ์ จะกลายมาเป็น

$$q'_A = 1 - |\Gamma_A|^2 \quad (2.26)$$

ดังนั้น

$$P_0 = P_A q'_A \quad (2.27)$$

ตัวแปร P_A เรียกว่า กำลังงานตกกระทบที่สายอากาศ

ดังนั้นสมการที่ (2.22) เมื่อคิดโดยรวมทุกเงื่อนไข นิยามการส่งผ่านของฟรีจะสามารถเขียนในเทอมของกำลังที่มีได้ (Available power) เป็น

$$P_R = P_A G_A G_B \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 q_A q_B p \quad (2.28)$$

2.4.3.1.1 การทดสอบอัตรายายสัมบูรณ์โดยใช้สายอากาศสองตัว

อ้างอิงจากสมการที่ (2.28) เมื่อต้องการที่จะอธิบายให้อยู่ในรูปของลอการิทึม จะเขียนได้ว่า

$$(G_A)_{dB} + (G_B)_{dB} = 20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right) - 10 \log \left(\frac{P_A}{P_R} \right) - 10 \log C \quad (2.29)$$

โดยที่

$$C = q_A q_B p \quad (2.30)$$

เมื่อพิจารณาตัวแปร C คือ ปัจจัยการปรับค่า (Correction factor) ซึ่งได้มาจากการวัดปริมาณ Γ_G , Γ_A , Γ_B , Γ_R และ p ซึ่งปริมาณเหล่านี้อาจเกิดค่าความผิดพลาดเนื่องจากการวัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีถ้าทราบอัตราขยายของสายอากาศแล้วหนึ่งตัว อัตราขยายของสายอากาศตัวที่เหลือสามารถวัดได้จาก λ , R , C , P_A และ P_R แต่ถ้าไม่ทราบอัตราขยายของสายอากาศทั้งสองตัว แต่มีเงื่อนไข $G_A = G_B$ ดังนั้นอัตราขยายของสายอากาศทั้งสองตัวหาได้จาก

$$G_A = G_B = \frac{1}{2} \left[20 \log \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) - 10 \log \left(\frac{P_A}{P_R} \right) - 10 \log C \right] \quad (2.31)$$

วิธีการนี้ใช้ได้เฉพาะสายอากาศสองตัวที่มีคุณสมบัติที่เหมือนกันทุกประการเท่านั้น

2.4.3.1.2 การทดสอบอัตราขยายสัมบูรณ์โดยใช้สายอากาศสามตัว

ในกรณีที่สายอากาศมีคุณสมบัติที่ไม่เหมือนกันทุกประการ แม้จะต่างกันเพียงเล็กน้อยก็ตาม หรือ ไม่ทราบอัตราขยายของสายอากาศตัวใดตัวหนึ่งมาก่อน ดังนั้นวิธีการทดสอบอัตราขยายสัมบูรณ์โดยใช้สายอากาศสองตัวจึงไม่สามารถกระทำ ได้ ด้วยเหตุนี้จึงมีวิธีการทดสอบอัตราขยายสัมบูรณ์โดยใช้สายอากาศสามตัว เพื่อที่จะใช้หาค่าอัตราขยายของสายอากาศตัวใดตัวหนึ่ง ขั้นตอนก็คือทำการทดสอบอัตราขยายของสายอากาศทั้งสามตัว โดยกระทำทีละคู่แล้วนำผลลัพธ์ที่เป็นไปได้มารวมกัน ซึ่งอธิบายเป็นสมการได้ดังนี้

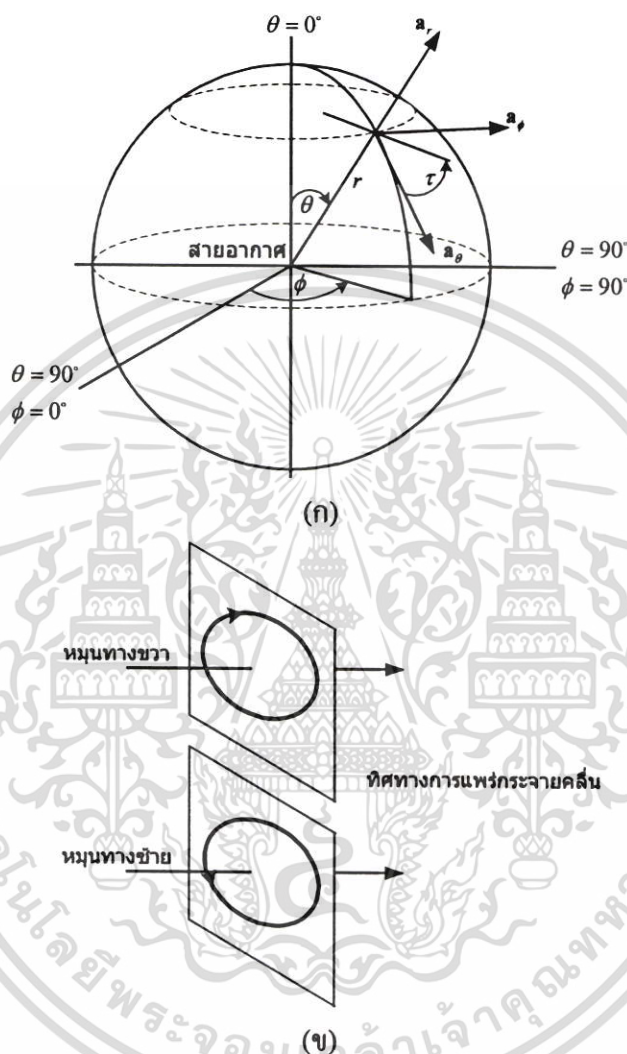
$$\begin{aligned} (G_A)_{dB} + (G_B)_{dB} &= 20 \log \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) - \left[10 \log \left(\frac{P_A}{P_R} \right) + 10 \log C \right]_{AB} \\ (G_A)_{dB} + (G_C)_{dB} &= 20 \log \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) - \left[10 \log \left(\frac{P_A}{P_R} \right) + 10 \log C \right]_{AC} \\ (G_B)_{dB} + (G_C)_{dB} &= 20 \log \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) - \left[10 \log \left(\frac{P_A}{P_R} \right) + 10 \log C \right]_{BC} \end{aligned} \quad (2.32)$$

โดยที่ ตัวแปรที่ห้อย $_{AB, AC, BC}$ แสดงถึง การกำหนดคู่กันของสายอากาศที่ทำการทดสอบ ดังนั้นผลเฉลยของสมการเหล่านี้สามารถหาอัตราขยายของสายอากาศทั้งหมดได้

2.4.3.2 อัตราขยายถ่ายโอน หรือ อัตราขยายเปรียบเทียบ

วิธีทดสอบอัตราขยายของสายอากาศแบบอัตราขยายถ่ายโอน หรือ อัตราขยายเปรียบเทียบ ต้องการสายอากาศมาตรฐานที่ทราบอัตราขยายแน่นอน เพื่อใช้เปรียบเทียบกับสายอากาศทดสอบ รูปแบบการเปรียบเทียบกล่าวได้ว่า การทดสอบอัตราขยายของสายอากาศมาตรฐานจะถูกแทนที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายออกไป ที่อธิบายทิศทางและขนาดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าซึ่งแปรผันตามเวลา รูปแสดงโพลาริเซชันจะแสดงการกวาดของยอดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ ณ ตำแหน่งสังเกตคงที่ โดยการสังเกตจะมองตามหลังคลื่นที่เดินทางไป แสดงได้ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.7 (ก) โพลาริเซชันวงรีบนพิกัดทรงกลม (ข) นัยของการโพลาริเซชัน

สำหรับโพลาริเซชันของสายอากาศในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง จะเป็นโพลาริเซชันของคลื่นที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศนั้น (เมื่อเป็นสายอากาศส่ง) หรือเป็นโพลาริเซชันของคลื่นที่มาตกกระทบสายอากาศนั้น จากทิศทางที่กำหนดให้ ซึ่งเมื่อสายอากาศรับคลื่นแล้วจะมีกำลังงานที่เข้าของสายอากาศมากที่สุด ถ้าไม่กำหนดทิศทางมาให้จะหมายถึงทิศทางที่สายอากาศมีอัตราขยายมากที่สุด ดังนั้น โพลาริเซชันของสายอากาศในทิศทางที่ต่างกัน จะแตกต่างกัน [4] ในทำนองเดียวกันโพลาริเซชันยังอาจนิยามได้ว่า “การสังเกตสนามแม่เหล็กไฟฟ้าชั่วขณะหนึ่งที่ถูกแพร่กระจายโดยสายอากาศในระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางรัศมี” ดังแสดงในภาพที่ 2.7 (ก) ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งที่พบจะมีลักษณะเป็นวงรี โดยอ้างอิงจากระบบพิกัดทรงกลมที่ใช้อ้างอิงในการทดสอบสายอากาศ โพลาริเซชันวงรีที่เกิดจากองค์ประกอบที่ตั้งฉากกันของสนามไฟฟ้า E_θ และ E_ϕ และมีทิศทางการหมุน หรือเรียกว่า นัยของการโพลาริเซชัน (Sense of polarization)

การสังเกตนัยของการโพลาริเซชันไปตามทิศทางการแพร่กระจาย (ดูจากภาพที่ 2.8 (ข)) โดยทั่วไปแล้วการกำหนดคุณสมบัติการโพลาริเซชันของสายอากาศ จะพิจารณาจาก อัตราส่วนตามแกน (Axial Ratio (AR)) นัยของการโพลาริเซชัน (ตามเข็มนาฬิกา (CW) หรือ ทวนเข็มนาฬิกา (CCW) หมุนทางขวา (RH) หรือ หมุนทางซ้าย (LH)) และ มุมก้มเงย (Tilt angle (τ))

โดยมุมก้มเงย เป็นตัวแปรที่ใช้สำหรับบอกถึงการปรับตำแหน่งของวงรี และมุมก้มเงยนี้จะถูกวัดในทิศตามเข็มนาฬิกา เทียบจาก ทิศทางอ้างอิง สามารถดูได้จากภาพที่ 2.7 (ก) นั่นคือ τ ถูกวัดในทิศตามเข็มนาฬิกา เทียบกับ เวกเตอร์ \hat{a}_θ โดยที่คลื่นเคลื่อนที่ในทิศที่พุ่งออกจากรัศมี

ข้อควรคำนึงในทางปฏิบัติ คุณสมบัติการโพลาริเซชันของสายอากาศในโหมครีบ ถ้ามุมก้มเงยของคลื่นตกกระทบบนผิวการเข้าคู่กันของโพลาริเซชันกับสายอากาศรับคือ τ_m จะมีความสัมพันธ์กับมุมก้มเงย τ_r ของคลื่นที่ถูกส่งออกจากสายอากาศเดียวกัน โดยมีความสัมพันธ์

$$\tau_r = 180^\circ - \tau_m \quad (2.34)$$

แต่ถ้าในกรณีที่มี สายอากาศในโหมครีบมีโพลาริเซชันต่างไปจากโพลาริเซชันของคลื่นตกกระทบบนผิวการเข้าคู่กันของโพลาริเซชัน (Polarization loss factor (PLF)) จะถูกนำมาพิจารณาสำหรับการไม่เข้าคู่กันจากการสูญเสียของการโพลาริเซชัน

โพลาริเซชันของคลื่น หรือ ของสายอากาศ สามารถที่จะอธิบายให้เข้าใจได้จาก “ทรงกลมปวงกาเร” (Poincare Sphere) [5] โดยแต่ละการโพลาริเซชันจะอยู่ที่แต่ละตำแหน่ง หรือ ไม่ซ้ำตำแหน่งกันบนผิวทรงกลม ถ้าสมมุติ พิจารณาสองตำแหน่งบนทรงกลมปวงกาเร โดยตำแหน่งหนึ่งถูกนิยามเป็นโพลาริเซชันของคลื่นตกกระทบบนผิว และอีกตำแหน่งหนึ่งคือโพลาริเซชันของสายอากาศรับ ดังนั้น ความต่างของมุมของสองตำแหน่งนั้นสามารถใช้ในการหาการสูญเสียการโพลาริเซชัน ซึ่งขั้นตอนในการหาดำแหน่งการโพลาริเซชัน สามารถศึกษารายละเอียดได้จากเอกสารอ้างอิง [1, 3]

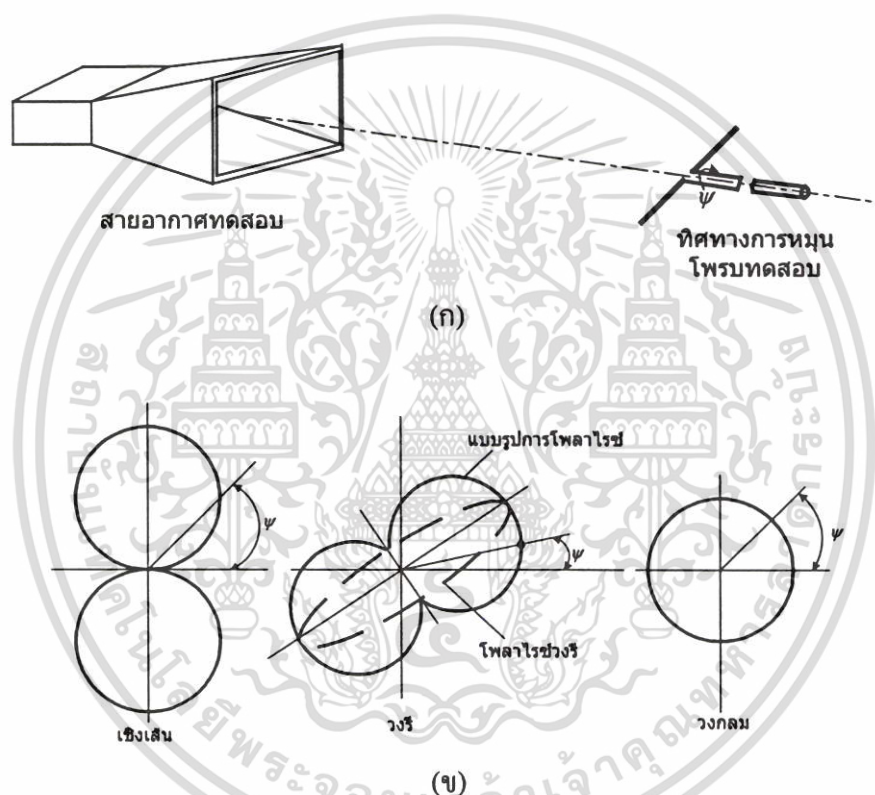
ในทางปฏิบัติ เป็นการยากที่จะออกแบบสายอากาศที่สามารถให้สถานะการโพลาริเซชันได้เหมือนกันในทุกๆ ส่วนของแบบรูปสายอากาศนั้น ในการอธิบายที่สมบูรณ์ได้นั้นต้องการจำนวนของการทดสอบในทุกๆ ส่วนของแบบรูปสายอากาศ ดังนั้นจำนวนของการทดสอบอธิบายได้ด้วยรายละเอียดของมุมโพลาริเซชันที่ต้องการ ดังนั้นวิธีการที่จะทดสอบสถานะการโพลาริเซชันของสายอากาศ สามารถแบ่งได้ 3 กรณีดังนี้

1) วิธีให้ผลข้อมูลการโพลาริเซชันเฉพาะที่ โดยการอ้างอิงจากทรงกลมปวงกาเร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) วิธีให้ผลข้อมูลการโพลาไรซ์ที่สมบูรณ์ แต่ต้องการ การโพลาไรซ์มาตรฐานเพื่อใช้เปรียบเทียบ หรือเรียกวิธีนี้ว่า วิธีการเปรียบเทียบโพลาไรเซชัน
- 3) วิธีให้ผลข้อมูลการโพลาไรซ์ที่สมบูรณ์ โดยไม่ต้องการ การโพลาไรซ์มาตรฐาน หรือไม่ต้องทราบการโพลาไรซ์มาก่อน เรียกวิธีนี้ว่า การโพลาไรซ์ด้วยวิธีสมบูรณ์

การที่จะเลือกวิธีต่าง ๆ นั้นขึ้นกับปัจจัยดังต่อไปนี้ ชนิดของสายอากาศทดสอบ ความผิดพลาดที่ยอมรับได้ เวลา และความเหมาะสมของระยะทดสอบสายอากาศ ในการอธิบายการโพลาไรซ์ของสายอากาศที่สมบูรณ์นั้นไม่เพียงแต่การโพลาไรซ์วงรี (อัตราส่วนตามแกน และ มุมก้มเงย) เท่านั้นแต่นัยของการโพลาไรซ์ก็เป็นสิ่งจำเป็นด้วย



ภาพที่ 2.8 (ก) ระบบทดสอบโพลาไรเซชัน (ข) แบบรูปโพลาไรเซชัน

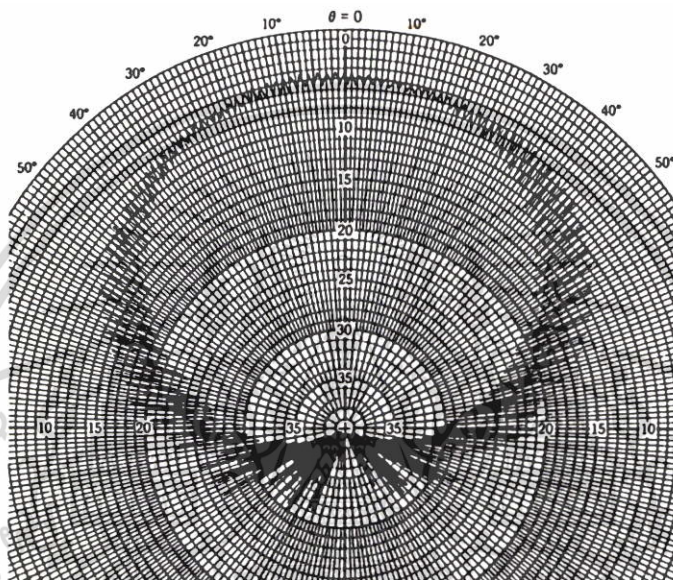
ในวิทยานิพนธ์นี้จะอธิบายวิธีการหาโพลาไรซ์ของสายอากาศ โดยการหาโพลาไรซ์วงรีที่ประกอบด้วย อัตราส่วนตามแกน มุมก้มเงย แต่จะไม่รวมนัยของการโพลาไรซ์ ซึ่งรายละเอียดเพิ่มเติมศึกษาได้จากเอกสารอ้างอิง [1]

เพื่อที่จะกำหนดแบบรูปในการทดสอบ สายอากาศทดสอบสามารถที่จะใช้ได้ทั้งในกรณีของโหมดส่งและโหมดรับ แต่ทั่วไปแล้ว ใช้เฉพาะเป็นเพียงโหมดส่งก็เพียงพอแล้ว โดยวิธีดังกล่าวนี้จะต้องการสายอากาศที่มีโพลาไรซ์เชิงเส้น (ในที่นี้จะใช้สายอากาศโคโพล) และมีโพรบเป็นตัวรับสัญญาณ โดยวางให้ระนาบอยู่ในทิศทางการโพลาไรซ์ที่ต้องการ การจัดวางระบบทดสอบนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้แสดงไว้ในภาพที่ 2.8(ก) โดยที่สายอากาศโคโพลจะหมุนภายในระนาบของการโพลาไรซ์ ซึ่งจะตั้งฉากกับทิศทางการเดินทางของคลื่นตกกระทบ และสัญญาณที่รับได้จากโพรบจะถูกบันทึกไว้

ถ้าสายอากาศทดสอบเป็นโพลาไรซ์เชิงเส้น การตอบสนองของแรงดันเอาต์พุตจะเป็นสัดส่วนกับ $\sin\psi$ (ซึ่งคือ แบบรูปสนามระยะไกลของโคโพลขนาดเล็กมากๆ) แบบรูปจะมีลักษณะเป็นรูปเลขแปด ดังแสดงในภาพที่ 2.8(ข) โดยที่ ψ คือมุมในการหมุนของโพรบที่เทียบกับทิศทางอ้างอิง



ภาพที่ 2.9 แบบรูปโพลาไรซ์วงกลมของสายอากาศทดสอบ (อ้างอิงจาก [E. S. Gillespie, "Measurement of Antenna Radiation Characteristics on Far-Field Ranges," in Antenna Handbook (Y. T. Lo & S. W. Lee, eds.), 1988, Van Nostrand Reinhold Co., Inc.])

สำหรับสายอากาศทดสอบที่มีโพลาไรซ์วงรี นัลล์ของรูปเลขแปดจะเกิดขึ้น และ ส่วนโค้งของโพลาไรซ์มีลักษณะคล้ายคัมเบล (Dumbbell) (โดยทั่วไปแล้วจะอ้างอิงถึงแบบรูปการโพลาไรซ์) ดังแสดงในภาพที่ 2.8 (ข) โดยที่เส้นประจะแสดงโพลาไรซ์วงรี กล่าวคือ โพลาไรซ์วงรีจะมีเส้นสัมผัสกับแบบรูปโพลาไรซ์ และ โพลาไรซ์วงรีจะใช้กำหนดรูปแบบหาอัตราส่วนตามแกน และ มุมก้มเงยของสายอากาศทดสอบ

แบบรูปโพลาไรซ์จะเป็นวงกลมดังแสดงในภาพที่ 2.8 (ข) เมื่อสายอากาศทดสอบมีโพลาไรซ์วงกลม หมายถึง โพลาไรซ์วงกลมจะต้องเกิดขึ้นในทุกๆจุดของแบบรูปสายอากาศ โดยทั่วไปแล้วจะกำหนดรูปแบบที่จำนวนของจุดที่มากเพียงพอที่จะอธิบายถึงการโพลาไรซ์ของสาย

อากาศที่โหลบหลัก และ โหลบย่อย ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในบางกรณีต้องการที่จะทราบถึงโพลาริเซชันตลอดทั้งระนาบ โดยที่ส่วนของอัตราส่วนตามแกนของสถานะการโพลาริเซชันสามารถที่จะทดสอบได้ โดยการจัดวางระบบทดสอบในภาพที่ 2.8 (ก) โดยใช้โพลบเป็นตัวส่ง และใช้สายอากาศทดสอบเป็นตัวรับ โดยทำการหมุนสายอากาศทดสอบในระนาบที่ต้องการ การทดสอบด้วยวิธีนี้จะไม่สามารถบอกถึงสถานะของมุมกัมเมกซ์ และนัยของการโพลาริเซชันได้ ในการที่จะอธิบายถึงแบบรูปการโพลาริเซชันที่ต้องการ อัตราการหมุนของโพรบ(ในที่นี้ใช้สายอากาศโคโพล) จะต้องมากกว่าอัตราการหมุนของสายอากาศทดสอบที่ ณ ตำแหน่งทิศทางของสายอากาศทดสอบหยุดชั่วขณะหนึ่ง ก่อนที่สายอากาศทดสอบจะหมุนไปในทิศทางอื่น

ดังนั้นเมื่อขั้นตอนในการทดสอบที่กล่าวมานี้กระทำครบคลุมระนาบทั้งหมด แบบรูปที่ได้จากการบันทึก จะแสดงได้ดังภาพที่ 2.9 และจะแสดงถึงแบบรูปอัตราส่วนตามแกน จากภาพจะอธิบายแบบรูปอัตราส่วนตามแกนได้จากบริเวณขอบใน และ ขอบนอกของภาพที่ 2.9 กล่าวคือ ทุกมุมที่กำหนดอัตราส่วนของขอบนอกและขอบใน จะแสดงอัตราส่วนตามแกน ถ้าแบบรูปถูกบันทึกในหน่วยเดซิเบล อัตราส่วนตามแกนคือ ผลต่างของขอบนอก กับ ขอบในของแบบรูป (ในหน่วยเดซิเบล)

ถ้าในกรณี ผลต่างเป็น 0 dB หมายความว่า เป็นโพลาริเซชันวงกลม เนื่องจากอัตราส่วนตามแกนเท่ากัน ดังนั้นจากภาพที่ 2.9 แสดงว่า โพลาริเซชันของสายอากาศทดสอบชนิดนี้ใกล้เคียงกับโพลาริเซชันวงกลม เนื่องจากอัตราส่วนตามแกนต่างกันเพียงเล็กน้อย

2.5 สรุป

ในบทนี้ได้อธิบายถึง หลักการพื้นฐานของการทดสอบสายอากาศ โดยประกอบด้วย การแบ่งขอบเขตบริเวณสนาม ซึ่งการทดสอบสายอากาศที่กระทำในวิทยานิพนธ์นี้ อ้างอิงจากการแพร่กระจายของสนามระยะไกล โดยมีความสัมพันธ์ $\left(R \geq \frac{2D^2}{\lambda} \right)$

และได้กล่าวถึงระบบพิกัดที่ใช้ในการทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ นั่นคือระบบพิกัดทรงกลม แต่เนื่องจากการแพร่กระจายสนามระยะไกลไม่ขึ้นกับฟังก์ชันของระยะทาง ดังนั้นตัวแปรของสนามไฟฟ้าที่มีผลกระทบต่อการแพร่กระจายคลื่นของสนามระยะไกลจะมีเพียง (E_θ) และ (E_ϕ) เท่านั้น

นอกจากนั้นได้อธิบายถึง การทดสอบคุณสมบัติต่างๆของการแผ่พลังงาน ประกอบด้วย ขนาด และ เฟส ของแบบรูปการแผ่พลังงาน อัตราขยาย สภาพเจาะจงทิศทาง และ โพลาริเซชัน

โดยเนื้อหาในบทนี้ จะเป็นพื้นฐานที่ใช้สำหรับทดสอบสายอากาศ เพื่อที่จะนำไปประยุกต์ในบทต่อไป

บทที่ 3

การออกแบบระยะทดสอบสายอากาศ

3.1 กล่าวนำ

การทดสอบและการประเมินคุณสมบัติของสายอากาศจะถูกกระทำภายในระยะทดสอบสายอากาศ กล่าวคือ ระยะทดสอบสายอากาศเป็นสถานที่อำนวยความสะดวกในการทดสอบสายอากาศและโดยทั่วไปแล้วถูกแบ่งออกเป็นสองชนิดได้แก่ ระยะทดสอบกลางแจ้ง และระยะทดสอบในร่ม ซึ่งระยะทดสอบทั้งสองแบบจะมีข้อจำกัดที่แตกต่างกัน นั่นคือ ระยะทดสอบกลางแจ้งจะไม่สามารถป้องกัน ควบคุมเงื่อนไขของสภาพแวดล้อมภายนอกได้ เช่น สภาพภูมิประเทศ หรือ ภูมิอากาศ เป็นต้น ส่วนระยะทดสอบในร่มจะมีข้อจำกัดเกี่ยวกับระยะห่างของสายอากาศ เนื่องจากคุณสมบัติของสายอากาศบางชนิดจะถูกทดสอบในโหมดการรับ และต้องการกฎเกณฑ์ของการทดสอบสายอากาศระยะไกล (Far-field criteria) และสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มาจากกระแทบสายอากาศทดสอบควรจะเป็นคลื่นระนาบสม่ำเสมอ (Uniform plane wave) ดังนั้นเพื่อที่จะกำหนดความเหมาะสมของเงื่อนไขดังกล่าวนี้การกำหนดระยะห่างของสายอากาศที่ทำการทดสอบจะต้องมากเพียงพอ ด้วยเหตุนี้จึงเป็นข้อจำกัดสำหรับระยะทดสอบในร่มนั่นเอง

ในบทนี้จะอธิบายถึงกฎเกณฑ์ต่างๆที่ใช้ออกแบบระยะทดสอบสายอากาศ ระยะทดสอบกลางแจ้ง ซึ่งประกอบด้วยระยะทดสอบสะท้อนพื้น (Reflection range) ระยะทดสอบยกระดับ (Elevate range) และระยะทดสอบเฉียงเรดาร์ (Slant range) เพียงพื้นฐานเท่านั้น ส่วนระยะทดสอบในร่ม นั่นคือ ห้องทดสอบสายอากาศ (Anechoic chamber) จะได้กล่าวโดยละเอียดเพื่อใช้ในการออกแบบ และประเมินคุณสมบัติในบทต่อไป

3.2 เกณฑ์การออกแบบระยะทดสอบสายอากาศ

เมื่อทำการทดสอบสายอากาศในเงื่อนไขของสนามระยะไกล และสายอากาศทดสอบกำหนดให้เป็น โหมดรับ ดังนั้นคลื่นที่ตกกระทบสายอากาศทดสอบควรจะเป็นคลื่นระนาบสม่ำเสมอ ดังนั้นการออกแบบระยะทดสอบสายอากาศจะต้องออกแบบให้ได้ใกล้เคียงกับคลื่นระนาบสม่ำเสมอที่บริเวณทดสอบให้ได้มากที่สุด และเพื่อที่จะออกแบบให้ได้ความแม่นยำ หรือมีความผิดพลาดน้อยที่สุด ดังนั้นควรพิจารณาเกณฑ์ต่างๆดังต่อไปนี้ ([5], pp. 14.1-14.41)

3.2.1 การเชื่อมต่อร่วมของสนามแม่เหล็กไฟฟ้ารีแอคทีฟ (Reactive field coupling)

ระยะห่างของสายอากาศส่งและสายอากาศทดสอบ (S) จะต้องห่างเพียงพอที่จะไม่เกิดผลเอกสกรีทีบของสนามแม่เหล็กไฟฟ้ารีแอคทีฟที่บริเวณทดสอบ โดยปัญหานี้ค่อนข้างที่จะพบในการการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานที่ความถี่ต่ำของสายอากาศเล็กทางไฟฟ้า จากสมการของไดโพลสนามไฟฟ้าแบบเฮิร์ตซ์ (Hertzian electric dipole) [3] จะแสดงอัตราส่วนของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อสนามที่แพร่กระจายได้เป็น $\lambda/2\pi S$ นั่นคืออัตราส่วนนี้จะเท่ากับ -36 dB ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 10λ และนี่คือเกณฑ์พื้นฐานที่ยอมรับโดยทั่วกันว่า

$$S \geq 10\lambda \quad (3.1)$$

สมการที่ (3.1) นี้เป็นกฎเกณฑ์สำหรับระยะทดสอบสายอากาศเพื่อที่จะลดค่าการเชื่อมต่อของสนามแม่เหล็กไฟฟ้ารีแอกทีฟซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับโดยทั่วไป

3.2.2 การเชื่อมต่อร่วมของการแผ่พลังงานกลับ (Reradiative coupling)

การเชื่อมต่อร่วมแบบนี้เกิดเนื่องจากส่วนของกำลังงานที่ถูกรับได้โดยสายอากาศทดสอบจะแผ่พลังงานย้อนกลับไปยังสายอากาศส่ง ในส่วนของกำลังงานย้อนกลับเมื่อสายอากาศส่งได้รับก็จะส่งกำลังงานย้อนกลับมาที่สายอากาศทดสอบอีกครั้งหนึ่ง ดังนั้นการสะท้อนกลับไปมาหลายๆ ครั้งนั้นจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการวัดระดับของโวลทิจ โดยทั่วไปแล้วระดับของสัญญาณย้อนกลับจากสายอากาศทดสอบไปถึงสายอากาศส่งได้น้อยกว่า 45 dB ถือว่าสามารถยอมรับได้ ([5], pp. 14.3-14.5)

3.2.3 ความเร็วของแอมพลิจูดตามขวาง (Transverses amplitude taper)

ความเร็วของแอมพลิจูดของสนามตกกระทบเป็นผลให้เกิดความผิดพลาดในการวัดแบบรูปของสายอากาศ ผลกระทบนี้ประเมินค่าได้จากการจำแนกออกของความเร็วของแอมพลิจูดเหนือบริเวณอะเพอร์เจอร์ของสายอากาศทดสอบในที่อยู่ในโหมครีบ นั่นคือจะเหมือนกับความเร็วของแอมพลิจูดที่ถูกกระตุ้นด้วยสายอากาศส่ง ในกรณีของสายอากาศไมโครเวฟที่มีอะเพอร์เจอร์วงกลมทั่วไป ([5], pp. 14.11-14.13) ที่มีความเร็วของแอมพลิจูดที่สมมาตรกันที่ระดับ 0.5 dB จะทำให้เกิดการลดลงของอัตราขยาย 0.15 dB แต่ถ้าความเร็วของแอมพลิจูดเป็น 0.25 dB จะทำให้เกิดการลดลงของอัตราขยาย 0.10 dB ตามลำดับ ซึ่งหมายความว่า ถ้าความเร็วของแอมพลิจูดมีมากจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการทดสอบอัตราขยายของสายอากาศมากตามไปด้วย

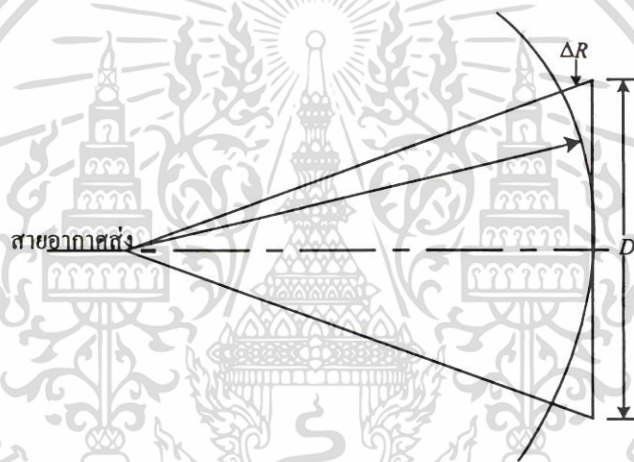
3.2.4 ความเร็วของแอมพลิจูดตามยาว (Longitudinal amplitude taper)

ความเร็วของแอมพลิจูดตามยาวจะมีผลกระทบคล้ายกับความเร็วของแอมพลิจูดตามขวาง แต่อย่างไรก็ตามสำหรับสายอากาศชนิดอะเพอร์เจอร์ที่มีโวลทิจลูกแรกใกล้เคียงกับมุม 90 องศาของโวลทิจหลักจะเกิดผลกระทบที่บริเวณนี้ และผลกระทบจะเกิดมากเมื่อสายอากาศเป็นแบบ

แถวลำดับแบบเอนด์ไฟร์อัตราขยายสูงเป็นสายอากาศทดสอบ ในกรณีนี้บริเวณโหลบหลักและภายในโหลบข้างจะเกิดผลกระทบ ถ้าความยาวของระยะทดสอบน้อยกว่าสิบเท่าของความยาวสายอากาศ (ในกรณีนี้คือความกว้างของอะเพอร์เจอร์) จะเกิดความเร็วของแอมพลิจูดตามยาวน้อยกว่า 1 dB ซึ่งรายละเอียดเพิ่มเติมได้จาก ([5], pp. 14.11-14.13)

3.2.5 ความเร็วเฟส (Phase taper)

ในการทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ ส่วนมากจะพิจารณาความไวในการเปลี่ยนแปลงเฟสของคลื่นที่ตกกระทบบนอะเพอร์เจอร์มากกว่าที่จะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด ดังนั้นความเร็วของเฟสที่คร่อมอะเพอร์เจอร์สายอากาศทดสอบ จึงเป็นปัจจัยหลักในการเลือกระยะห่าง (S) ระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศทดสอบ



ภาพที่ 3.1 หน้าเฟสทรงกลมที่ตกกระทบลงบนระนาบอะเพอร์เจอร์

ในเอกสารอ้างอิง ([5], pp. 14.5-14.7) ได้อธิบายถึงสายอากาศส่งที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของอะเพอร์เจอร์ D เมตร หน้าเฟสเหนือบริเวณโหลบหลักที่บริเวณระดับอย่างน้อย 0.5 dB จะถูกประมาณเป็นทรงกลมที่ระยะห่างของระยะทดสอบที่ D^2 / λ โดยที่ λ คือ ความยาวคลื่นมีหน่วยเป็นเมตร หมายความว่า การเปลี่ยนแปลงเฟสเหนืออะเพอร์เจอร์ในกรณีที่ไม่มีสัญญาณสะท้อนจะสามารถหาได้จากความยาวของระยะทดสอบ S ซึ่งอธิบายด้วยภาพที่ 3.1 จากภาพการเปลี่ยนแปลงเฟสที่คร่อมอะเพอร์เจอร์ของสายอากาศทดสอบหาได้จาก

$$\Delta\Psi = \frac{\pi D^2}{4\lambda S} \quad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กฎเกณฑ์ที่ใช้โดยทั่วไปในการกำหนดการเปลี่ยนแปลงเฟสคือมากที่สุดคือไม่เกิน $\pi/8$ เรเดียน ดังนั้นจากข้อกำหนดนี้สามารถกำหนดความยาวของระยะทดสอบได้จาก

$$S \geq \frac{2D^2}{\lambda} \quad (3.3)$$

โดยสมการนี้เป็นกฎเกณฑ์เบื้องต้นแต่ก็เป็นที่ยอมรับ โดยทั่วกัน

3.2.6 การเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งเนื่องจากการสะท้อน (Spatial variation caused by reflection)

การสะท้อนของสัญญาณที่แพร่กระจายจากสายอากาศส่งด้วยพื้นผิวของระยะทดสอบ ใกล้กับวัตถุ หรือ ใกล้กับตัวหมุนสายอากาศ ซึ่งเข้าสู่บริเวณทดสอบจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดการผิดเพี้ยนของสนามตกกระทบที่บริเวณสายอากาศทดสอบ ผลลัพธ์นี้จะทำให้เกิดความผิดพลาดในการทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ ในกรณีที่ออกแบบระยะทดสอบกลางแจ้งควรจะกำหนดบริเวณพื้นของระยะทดสอบให้โล่ง กล่าวคือ หลีกเลี่ยงจากวัตถุที่จะทำให้เกิดการสะท้อนและการสะท้อนที่เกิดจากตัวหมุนสายอากาศแก้ไขได้โดยใช้วัสดุดูดซับคลื่นมาวางกันไว้ที่บริเวณสะท้อน ซึ่งปรากฏการณ์ที่เกิดการสะท้อนจากบริเวณพื้นของระยะทดสอบจะสามารถแก้ไขได้จากการออกแบบระยะทดสอบที่เหมาะสม ซึ่งจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

3.2.7 การแทรกสอดจากแหล่งกำเนิดอื่นๆ นอกเหนือจากแหล่งกำเนิดของระยะทดสอบ (Interference from sources other than the range source)

สัญญาณแทรกสอดจากภายนอกสามารถทำให้เกิดความผิดพลาดในการทดสอบแบบรูปสายอากาศ ถ้าสัญญาณจากภายนอกนั้นถูกบันทึกรวมเข้าไปกับสัญญาณที่ต้องการ ซึ่งการแก้ไขสามารถทำได้โดยใช้เครื่องบันทึกสัญญาณที่เหมาะสม อย่างเช่น เครื่องรับแบนด์วิดธ์แคบ จะสามารถกำจัดสัญญาณที่อยู่ภายนอกแบนด์วิดธ์ของสายอากาศได้ ในขณะที่เครื่องตรวจจบบรรณาไม่สามารถทำได้ และการกำจัดสัญญาณแทรกสอดจากภายนอกอีกวิธีหนึ่งคือ การทดสอบโดยการใช่วิธีโดเมนทางเวลา (Time domain) นั้นเอง

3.3 ระยะทดสอบกลางแจ้ง (Outdoor ranges)

ระยะทดสอบกลางแจ้งแบ่งได้เป็นสามชนิดได้แก่ ระยะทดสอบสะท้อนพื้น ระยะทดสอบยกระดับ และ ระยะทดสอบเฉียงเรดาร์ ซึ่งการออกแบบระยะทดสอบกลางแจ้งจะได้อธิบายโดยพื้นฐานดังต่อไปนี้

3.3.1 ระยะทดสอบสะท้อนพื้น

การออกแบบระยะทดสอบสะท้อนพื้นตามเอกสารอ้างอิง [6] สามารถกำหนดคลื่นแทรกสอดที่ไปเสริมกับคลื่นทางตรง ณ บริเวณทดสอบ หรือที่เรียกว่าบริเวณ ไร้คลื่นสะท้อน (Quiet zone) ซึ่งการออกแบบวิธีนี้จะต้องขึ้นกับตำแหน่งการสะท้อนแบบเงากระจก (Specular reflection) จากพื้น โดยแสดงไว้ในภาพที่ 3.2 โดยสัญญาณที่สะท้อนนี้จะไปเสริมกับคลื่นทางตรงนั่นเอง โดยทั่วไปแล้วการพิจารณาค้นตกกระทบจะพิจารณาเป็นคลื่นระนาบสม่ำเสมอที่มีระดับความเร็วของแอมพลิจูดน้อยๆ และมีความสมมาตรกันทั้งด้านส่งและรับ ซึ่งที่กล่าวมาจะกระทำได้จากการปรับความสูงของสายอากาศส่ง ในขณะที่สายอากาศทดสอบคงที่ ซึ่งระยะทดสอบนี้เหมาะสำหรับการทดสอบแบบรูปของสายอากาศที่มีความกว้างขนาดใหญ่ และขนาดกลางที่ถูกใช้งานที่ย่านความถี่ ยู-เอช-เอฟ (UHF) สูงขึ้นไปถึงความถี่ประมาณ 16 กิกะเฮิรตซ์

3.3.2 ระยะทดสอบยกกระดาน

ระยะทดสอบยกกระดานคือการจำลองเงื่อนไขสภาวะอวกาศว่าง โดยการเลือกความยาวของระยะทดสอบ ความสูงของสายอากาศส่งและสายอากาศทดสอบ และการเลือกคุณลักษณะการกระจายคลื่นของสายอากาศส่ง ระยะทดสอบประเภทนี้ทั่วไปแล้วจะออกแบบมาเพื่อทำงานเหนือบริเวณพื้นที่เรียบ โดยจะวางตำแหน่งของสายอากาศไว้ที่สูงๆจากพื้นดิน เช่น บริเวณหลังคา ภูเขา หรือยอดตึกที่อยู่ระหว่างกัน และระยะทดสอบนี้ส่วนมากแล้วจะใช้ทดสอบสายอากาศที่มีโครงสร้างใหญ่ และในภาพที่ 3.3 จะแสดงโครงสร้างของระยะทดสอบยกกระดาน เนื่องจากระยะทดสอบนี้เป็นระยะทดสอบกลางแจ้ง ดังนั้นการป้องกันหรือการลดการแพร่กระจายของคลื่นจากสิ่งแวดล้อมภายนอกจะต้องพิจารณา [1] ซึ่งพอจะสรุปได้ดังนี้

- 1) ควรคำนึงถึงสภาพเงาบังทิศทางและไหลบ่าของสายอากาศส่ง
- 2) ระยะแนวสายตา (Line of sight) ระหว่างสายอากาศส่ง และ สายอากาศทดสอบ ไม่ควรมีสสิ่งกีดขวาง
- 3) บริเวณโดยรอบที่จะทำให้เกิดคลื่นสะท้อนกลับหรือสิ่งกีดขวางโดยรอบควรเคลื่อนย้ายออกไป
- 4) ควรเลือกใช้เครื่องรับสัญญาณที่สามารถแยกแยะสัญญาณที่ต้องการและสัญญาณที่มาจากการสะท้อนได้

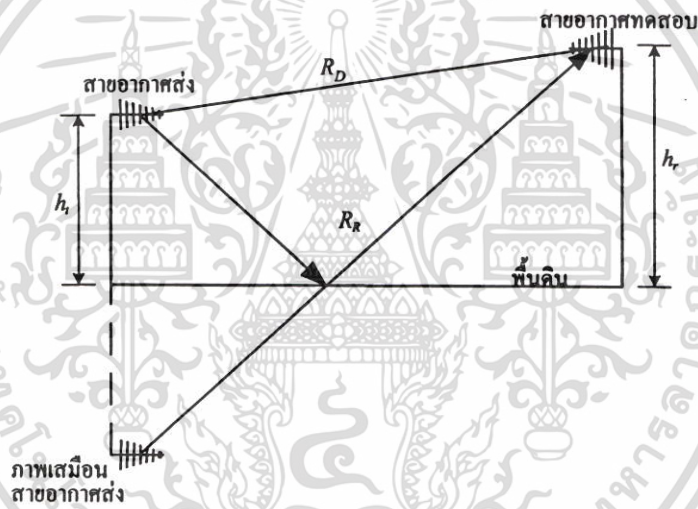
ในบางกรณี เช่น การทดสอบที่บริเวณภูเขาหรือยอดเขาซึ่งจะเกิดปัญหาคือ บริเวณพื้นผิวของระยะทดสอบจะไม่เรียบ ซึ่งทำให้ยากต่อการกำหนดตำแหน่งการสะท้อนแบบเงากระจกจากพื้นดิน ซึ่งปัญหานี้อาจแก้ไขได้จาก การเขียนสเกลโครงร่างแนวตั้งของระยะทดสอบ โดยทั่วไปแล้วข้อมูลจะได้อาจมาจากการสำรวจทางธรณีวิทยา โดยแผนที่จะแสดงคอนทัวร์ (Contour) ของทางภาคพื้นดิน [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

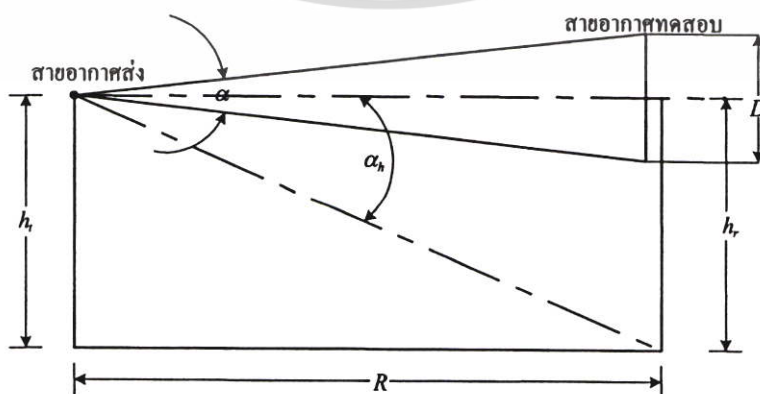
ซึ่งข้อมูลนี้จะใช้สำหรับการกำหนดตำแหน่งสะท้อนแบบเงากระจก เพื่อหาระดับกำลังงานสะท้อนที่เข้าสู่สายอากาศทดสอบ

3.3.3 ระยะทดสอบเฉียงเรดาร์

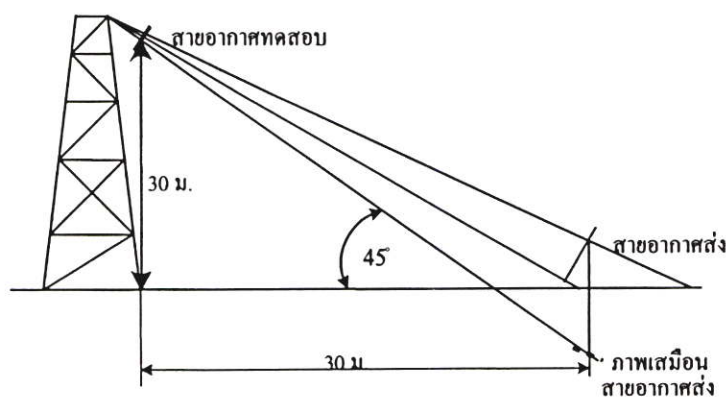
ระยะทดสอบเฉียงเรดาร์ [8] ถูกออกแบบมาสำหรับกรณีที่ สายอากาศทดสอบถูกกำหนดตำแหน่งให้วางไว้ที่ตึกสูงๆ โดยไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ในขณะที่สายอากาศส่งวางใกล้กับพื้นดิน โดยแสดงไว้ในภาพที่ 3.4 โดยที่ สายอากาศส่งจะต้องวางตำแหน่งให้มีทิศทางของแบบรูปสูงสุดในในการกระจายคลื่นในอากาศ และปรับตำแหน่งให้โหลบหลักชี้ไปยังศูนย์กลางของสายอากาศทดสอบ โดยนัลล์แรกของสายอากาศส่งจะชี้ไปยังตำแหน่งสะท้อนแบบเงากระจก เพื่อกำจัดสัญญาณสะท้อน โดยระยะทดสอบเฉียงเรดาร์นี้จะมีผลกระทบมากกว่าระยะทดสอบขระดับเพื่อการใช้งานในบริเวณพื้นที่น้อยๆ ได้ดีกว่านั่นเอง



ภาพที่ 3.2 โครงสร้างของระยะทดสอบสะท้อนพื้น



เอกสารภาพที่ 3.3 โครงสร้างของระยะทดสอบขระดับรศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.4 ระยะทดสอบเฉียงเรดาร์

3.4 ระยะทดสอบในร่ม

ในปัจจุบันการประยุกต์ใช้งานทางด้านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้เพิ่มจำนวนมากขึ้น ดังนั้นการทดสอบมาตรฐาน และ คุณสมบัติของอุปกรณ์ที่กระจาย หรือ รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (ในที่นี้จะพิจารณาว่าเป็นสายอากาศ) จึงเป็นสิ่งจำเป็น ด้วยเหตุนี้ความต้องการระยะทดสอบในร่มประเภทต่างๆ จึงเพิ่มจำนวนมากขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้โดยเนื่องจากเงื่อนไขของสภาพแวดล้อม เช่น การแปรปรวนของอากาศ และการแทรกสอดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถส่งผลกระทบต่อ การทดสอบสายอากาศ ที่กระทำภายในระยะทดสอบกลางแจ้ง ดังนั้น จึงนำไปสู่การพัฒนา ระยะทดสอบในร่ม หรือ ห้องทดสอบสายอากาศ โดยมีวัสดุคูดซับคลื่นไมโครเวฟ เป็นส่วนประกอบหลักนั่นเอง

อาจกล่าวได้ว่า ห้องที่ถูกวางเรียงรายเต็มไปด้วยวัสดุคูดซับคลื่นไมโครเวฟ ถูกเรียกว่า ห้องไร้คลื่นสะท้อน หรือ ห้องทดสอบสายอากาศ โดยทั่วไปแล้วห้องทดสอบนี้จะถูกชิลด์ (Shield) ทางไฟฟ้าเพื่อป้องกันการแทรกสอดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอก ดังนั้น วัตถุประสงค์ของห้องทดสอบสายอากาศ คือ ภายในห้องเป็นการจำลองสภาวะอวกาศว่างไร้คลื่นสะท้อน ที่กระทำระหว่างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับสายอากาศ โดยอยู่ภายในสภาวะแวดล้อมที่สามารถควบคุมได้ และป้องกันการแทรกสอดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอกห้อง

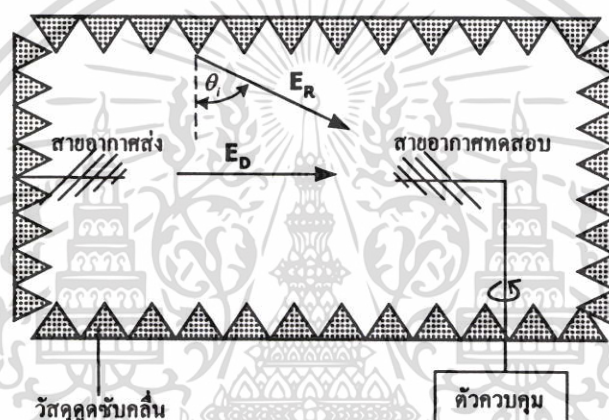
การออกแบบห้องทดสอบสายอากาศ เพื่อใช้สำหรับการทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ โดยรูปร่างพื้นฐานแล้วจะมีอยู่สองรูปแบบคือ ห้องทดสอบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular anechoic chamber) และห้องทดสอบเรียว (Tapered anechoic chamber) ซึ่งการออกแบบห้องทดสอบ จะต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขของกฎเกณฑ์ การทดสอบสายอากาศระยะไกล (ตามที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.2) และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่กระทำภายในห้องทดสอบควรจะเป็นคลื่นระนาบสม่ำเสมอ ดังนั้นห้องทดสอบสายอากาศจึงมีความต้องการเพิ่มมากยิ่งขึ้นในอนาคต เพราะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความกระตือรือร้น และสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อ การทดสอบ ได้มากกว่าระยะ ทดสอบกลางแจ้ง ทำให้ได้รับความถูกต้อง แม่นยำในการทดสอบสายอากาศยิ่งขึ้นด้วย

3.4.1 ห้องทดสอบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ในช่วงปลายทศวรรษที่ 1950 นักวิจัยได้ให้ความสนใจเกี่ยวกับการหาวิธีควบคุมคลื่น สะท้อนทั้งในระยะทดสอบกลางแจ้ง และ ระยะทดสอบในร่ม ในกรณีของระยะทดสอบในร่ม (ห้องทดสอบสายอากาศ) การลดระดับของคลื่นสะท้อนนั้นสามารถทำได้โดย การวางวัสดุดูดซับ คลื่นที่บริเวณผนัง พื้น และเพดานของห้องสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังนั้นห้องทดสอบสายอากาศห้องแรกจึง มีรูปลักษณะเป็น ห้องสี่เหลี่ยมผืนผ้านั่นเอง



ภาพที่ 3.5 ห้องทดสอบสายอากาศสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ในภาพที่ 3.5 แสดงลักษณะของห้องทดสอบสายอากาศสี่เหลี่ยมผืนผ้า ในการทดสอบแบบ รูปของสายอากาศ หรือ อัตรายชาย ควรมีการจัดวางตำแหน่งต่างๆของสายอากาศภายในห้อง ทดสอบดังนี้ สายอากาศส่งควรจะเป็นสายอากาศที่มีทิศทาง (Directional antenna) โดยทั่วไปแล้วจะ วางอยู่ใกล้กับบริเวณกึ่งกลางของผนังห้องทดสอบด้านหนึ่ง และ ปรับทิศทางให้ชี้ตรงไปทาง แนว แกนตามยาว ของห้องทดสอบ และสายอากาศทดสอบ (AUT) จะถูกวางตำแหน่งไว้ที่ผนังอีกด้าน หนึ่งตามแนวแกนตามยาวของห้องทดสอบ และมีระยะห่างจากสายอากาศส่งคือ S ดังนั้นการจัด วางสายอากาศลักษณะนี้จะทำให้เกิดคลื่นทางตรงจากสายอากาศส่ง E_D และคลื่นที่สะท้อนจากผิว ของห้องทดสอบ ถึงแม้ว่าห้องทดสอบสายอากาศจะถูกวางเต็ม ไปด้วยวัสดุดูดซับคลื่น แต่ยังคงมี คลื่นสะท้อนจากผิวของห้องทดสอบเกิดขึ้น ซึ่งคลื่นสะท้อนที่เกิดขึ้นนี้คือ E_R

โดยทั่วไปแล้วการออกแบบห้องทดสอบสายอากาศสี่เหลี่ยมผืนผ้า คลื่นทางตรงควรจะเป็น คลื่นระนาบสม่ำเสมอ และกฎเกณฑ์ของการออกแบบระยะทดสอบในการแพร่กระจายสนามระยะ

ไกล (ตามหัวข้อที่ 3.2) และระดับสัญญาณของคลื่นสะท้อนต้องต่ำกว่าคลื่นทางตรงในระดับที่ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไกล (ตามหัวข้อที่ 3.2) และระดับสัญญาณของคลื่นสะท้อนต้องต่ำกว่าคลื่นทางตรงในระดับที่กำหนดไว้ภายในบริเวณทดสอบ หรือ อาจเรียกว่าบริเวณ ไร้คลื่นสะท้อน (Quiet zone) คือ บริเวณรอบๆที่วางสายอากาศทดสอบ ดังนั้น ความยาวของห้องทดสอบสายอากาศควรจะขึ้นกับความสัมพันธ์ของ $S > (2D^2 / \lambda)$ ด้วย โดยที่ D คือ ขนาดของสายอากาศทดสอบ และ λ คือ ความยาวคลื่น

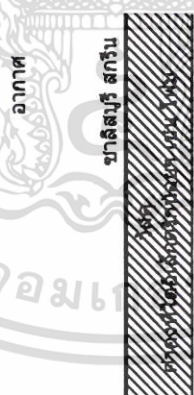
ในทางปฏิบัติแล้ว ระยะความยาว ความกว้าง และความสูง ของห้องทดสอบจะต้องมีขอบเขตจำกัด โดยในระยะที่จำกัดนี้จะเป็นอัตราส่วน D^2 / λ ของสายอากาศซึ่งสามารถถูกทดสอบได้โดยใช้วิธีการที่มีอยู่แล้วโดยทั่วไป และเมื่อต้องการระดับสัญญาณของคลื่นสะท้อนที่ต่ำ ด้วยความต้องการนี้จะส่งผลกระทบต่อขนาดโดยรวมของห้องทดสอบสายอากาศอีกเช่นกัน ดังนั้น ความกว้าง และความสูงของห้องทดสอบสายอากาศ ควรจะออกแบบให้คลื่นระนาบสมมาตรที่เดินทางมาตกกระทบผิวของห้องทดสอบด้วยมุมตกกระทบ θ , โดยวัดเทียบกับแกนแนวยาวของห้องทดสอบ จะต้องมีค่าน้อยกว่า 70 องศา เนื่องจาก มุมตกกระทบที่กว้างขึ้นจะเป็นสาเหตุให้เกิดการสะท้อนเงากระเจกจากวัสดุคูชัคคลื่นที่มากขึ้นด้วย

ในการกำหนดระยะความยาวของห้องทดสอบสายอากาศ ควรจะคำนึงถึง ตำแหน่งการวางของสายอากาศทดสอบ โดยทั่วไปแล้วควรวางที่ระยะห่างจากยอดของวัสดุคูชัคคลื่นที่ผนังด้านหลัง และห่างเป็นระยะทางครึ่งหนึ่งระหว่างยอดของวัสดุคูชัคคลื่นที่ผนังด้านข้าง ซึ่งการวางตำแหน่งของสายอากาศทดสอบลักษณะนี้ จะช่วยลดผลกระทบของคลื่นสะท้อนจากผนังด้านหลังที่เข้าสู่สายอากาศทดสอบ ดังนั้นเงื่อนไขดังกล่าวจะนำไปสู่กฎเกณฑ์การหาอัตราส่วนของความยาวต่อ ความกว้าง ของห้องทดสอบสายอากาศเป็น 2 ต่อ 1 แต่อัตราส่วนนี้อาจจะทำให้เกิดการสะท้อนแบบเงากระเจกที่มากขึ้นได้ และเพื่อจะลดการสะท้อนแบบเงากระเจกจากผิวของห้องทดสอบและยืนยันเงื่อนไขของการทดสอบการแพร่กระจายคลื่นระยะไกล ดังนั้นอัตราส่วนของความยาวต่อ ความกว้างของห้องทดสอบสายอากาศจะเพิ่มขึ้นเป็น 3 ต่อ 1

สิ่งจำเป็นในการพิจารณาเพื่อออกแบบห้องทดสอบสายอากาศ นั่นคือ สัญญาณสะท้อนที่เกิดขึ้น โดยไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ โดยจะสะท้อนแบบเงากระเจกจากวัสดุคูชัคคลื่น การสะท้อนเงากระเจกที่เกิดขึ้นบริเวณผิวตามแนวยาวของห้องทดสอบสามารถลดทอนได้ โดยการเลือกใช้สายอากาศที่กระทำภายในห้องทดสอบเป็นสายอากาศแบบมีทิศทาง เพื่อว่าการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโดยโหลบลักจะ ไม่ไปมีผลต่อบริเวณสะท้อนเงากระเจกนั้น แต่อย่างไรก็ตามการแพร่กระจายคลื่นบางส่วน อย่างเช่น โหลบข้าง อาจจะทำให้เกิดคลื่นสะท้อนได้เช่นกัน ในการที่จะลดปัญหานี้ อาจจะใช้วัสดุคูชัคคลื่นชนิด บัฟเฟอร์ (Buffer) หรือชนิด เวกจ์ (Wedges) วางไว้ที่บริเวณที่มีผลกระทบ ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน

ในการออกแบบโดยใช้ทฤษฎีของแสง มาใช้ในการออกแบบเพื่อที่จะกำหนดบริเวณไร้อากาศ เช่น กำหนดขอบเขตของบริเวณไร้อากาศ กำหนดตำแหน่งการวางสายอากาศทดสอบ ซึ่งจะได้กล่าวในบทที่ 5 และ 6 ต่อไป

ในส่วนของวัสดุดูดซับคลื่น ในปัจจุบันได้ถูกพัฒนาให้สามารถทำงานได้ในย่านความถี่ตั้งแต่ 100 เมกะเฮิร์ตซ์ สูงขึ้นไปจนถึง 100 กิกะเฮิร์ตซ์ ที่ย่านความถี่ต่ำ สัมประสิทธิ์การสะท้อนที่สามารถยอมรับได้จะอยู่ที่ระดับ -40 dB (ในกรณีที่คลื่นตกกระทบตั้งฉากกับวัสดุดูดซับคลื่น) และที่มุมตกกระทบ 60 องศา สัมประสิทธิ์การสะท้อนจะเพิ่มขึ้นอยู่ที่ระดับ -25 dB เนื่องจากเป็นคุณสมบัติของวัสดุดูดซับคลื่นเอง ในกรณีของวัสดุดูดซับคลื่นในอุดมคติ ความต้านทานของตัวมันเองควรจะเท่ากับ ความต้านทานของอากาศ ณ ที่บริเวณรอยต่อของอากาศกับวัสดุดูดซับคลื่น และเพื่อที่จะเปลี่ยนกำลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ไปเป็นกำลังงานความร้อน วัสดุทางแม่เหล็ก และ วัสดุทางไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างวัสดุดูดซับคลื่น ควรจะมีการสูญเสียในตัววัสดุนั้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงความต้านทานควรจะเปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอที่รอยต่อระหว่างสายอากาศกับผิวของวัสดุดูดซับคลื่น ถึงแผ่น โลหะบางที่โดยปกติแล้วจะนำวัสดุดูดซับคลื่น ไปวางไว้ ดังแสดงในภาพที่ 3.6 ส่วนมากวัสดุดูดซับคลื่นจะมีการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานในลักษณะเรียว (Taper) เนื่องจากโครงสร้างทางกายภาพของวัสดุดูดซับคลื่นเอง เช่น วัสดุดูดซับคลื่นรูปทรงพีรามิด (Pyramidal absorber) หรือวัสดุดูดซับคลื่นที่ประกอบด้วยชั้นความต้านทานหลายๆชั้น หรือ เรียกว่า ซาลิสบิวรี สกรีน (Salisbury Screen Absorber)



ภาพที่ 3.6 วัสดุดูดซับคลื่นที่วางไว้หลังแผ่นโลหะบาง

วัสดุดูดซับคลื่นที่มีคุณภาพสูงควรจะมีการเข้าคู่กันของความต้านทานที่สม่ำเสมอตลอดทั้งย่านความถี่ที่สามารถใช้งานได้ และควรจะสามารถดูดซับคลื่นได้ดีทั้งในกรณีที่มีมุมตกกระทบกว้างๆ โดยในปัจจุบันนี้ โฟมชนิดโพลียูรีเทน (Polyurethane foam) ที่ถูกผสมด้วยคาร์บอน ถูกนำมาใช้สร้างวัสดุดูดซับคลื่นคุณภาพสูง โดยมีขนาดเพียงไม่กี่เมตรเท่านั้น และวัสดุดูดซับคลื่นชนิด

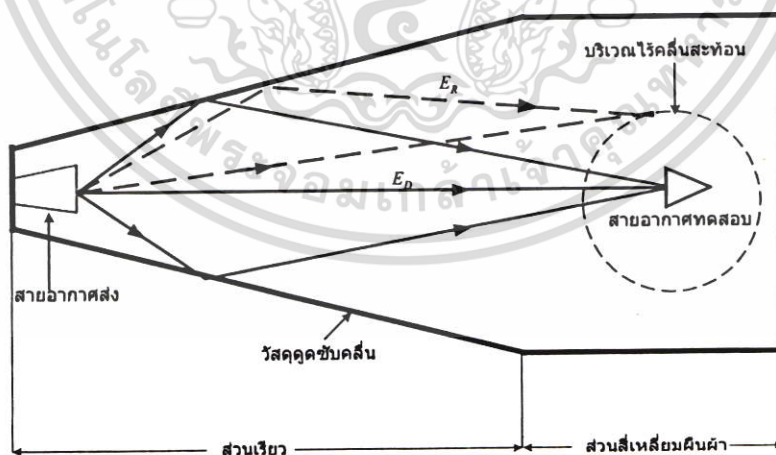
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟอร์ไรต์บาง (Thin ferrite) ก็นำมาใช้ประโยชน์เช่นเดียวกัน แต่จะมีราคาค่อนข้างสูงกว่า และไวต่อความถี่มากกว่าแบบแรก

การออกแบบห้องทดสอบสายอากาศ ตัวแปรที่สำคัญที่ควรคำนึงถึงได้แก่ ย่านความถี่ในการทำงาน ขนาดทางกายภาพของห้องทดสอบสายอากาศ ระดับของสัมประสิทธิ์การสะท้อน ค่าประสิทธิผลการชีลด์ห้องทดสอบ และความสามารถในการดูดซับกำลังงานของวัสดุดูดซับคลื่น ซึ่งตัวแปรเหล่านี้ควรมีข้อกำหนดที่แน่นอนในการออกแบบห้องทดสอบสายอากาศ เพื่อให้ประเมินคุณสมบัติของห้องทดสอบ ซึ่งข้อกำหนดในการออกแบบ และการประเมินคุณสมบัติจะได้อธิบายในบทที่ 5 และ 6 ต่อไป และห้องทดสอบสายอากาศถูกนำมาใช้ประโยชน์ได้ในทางที่หลากหลายไม่เฉพาะทดสอบคุณสมบัติการแผ่พลังงานของสายอากาศเท่านั้น อย่างเช่น การทดสอบการกระเจิงของคลื่น (Scattering) การศึกษาการแพร่กระจายคลื่น (Propagation) และการทดสอบสัญญาณรบกวน (Noise) แต่ในวิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวถึง การทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ สภาพเจาะงทศทาง อัตราขยาย และ โพลาริเซชันของสายอากาศ

3.4.2 ห้องทดสอบเรียวยาว

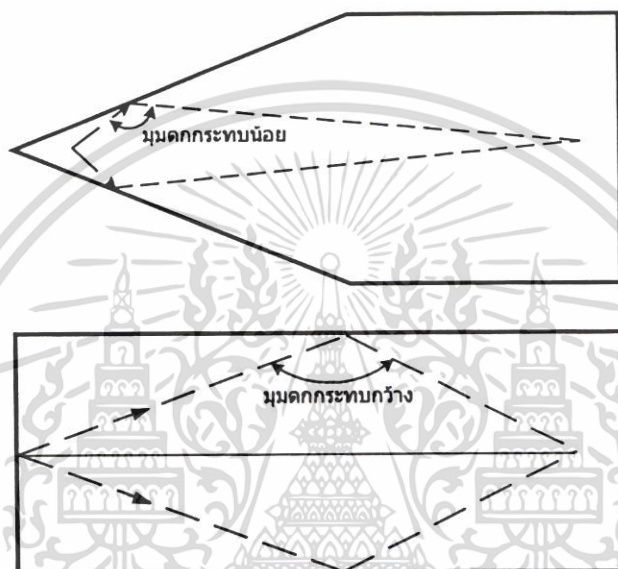
ในกรณีที่มีความผิดพลาดเพิ่มขึ้นในการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศภายในห้องทดสอบสี่เหลี่ยมผืนผ้า เนื่องมาจากปริมาณของคลื่นสะท้อนมีมากยิ่งขึ้น โดยตำแหน่งการสะท้อนเงาจะเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้มีปริมาณของคลื่นที่สะท้อนเข้าสู่สายอากาศทดสอบมากยิ่งขึ้น และยากต่อการควบคุมปริมาณของคลื่นสะท้อนเหล่านี้โดยการใช้สายอากาศที่มีทิศทาง



ภาพที่ 3.7 ห้องทดสอบเรียวยาว

ซึ่งปัญหาดังกล่าวนี้จะถูกแก้ไขได้โดยโครงสร้างของห้องทดสอบสายอากาศแบบเรียวยาว ซึ่งได้มีการสร้างขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1960 ในภาพที่ 3.7 แสดงโครงสร้างของห้องทดสอบเรียวยาวซึ่งจะเอกลำโพงเป็นเยื่อสำหรับส่งคลื่นสำหรับการศึกษาแทนนั้น ไม่น่าเชื่อที่เห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบด้วยส่วนเรียว และส่วนในการทดสอบที่ยังคงเป็นที่เหลี่ยมผืนผ้า ที่ซึ่งบริเวณ ไร้คลื่นสะท้อนจะอยู่ส่วนนี้ ในส่วนปลายที่มียอดเรียวจะเป็นที่วางตำแหน่งของสายอากาศส่ง และสายอากาศทดสอบจะถูกลวงไว้ที่ส่วนทดสอบที่เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยความยาวของส่วนเรียวจะประมาณสองเท่าของความยาวของส่วนทดสอบ และความกว้างหน้าตัดของส่วนทดสอบจะใกล้เคียงกับความยาวของส่วนทดสอบเอง ดังนั้นอัตราส่วนของความยาวส่วนเรียวต่อความยาวของส่วนทดสอบจะเป็น 2 ต่อ 1



ภาพที่ 3.8 เปรียบเทียบห้องทดสอบ กับ บริเวณคลื่นสะท้อนเงากระจก

การเปรียบเทียบ โหมดการทำงานระหว่างห้องทดสอบเรียว และห้องทดสอบสี่เหลี่ยมผืนผ้า อาจอธิบายได้จากภาพที่ 3.8 โดยจะกำหนดให้คลื่นที่แพร่กระจายอยู่ในห้องทดสอบทั้งสองแบบอยู่ในเงื่อนไขการแพร่กระจายคลื่นระยะไกล ในอวกาศว่างอย่างสมบูรณ์ จากภาพจะแสดงคลื่นสะท้อนที่เกิดจากห้องทดสอบสี่เหลี่ยมผืนผ้าจะเกิดขึ้นมาก โดยในภาพจะแสดงการสะท้อนที่เกิดขึ้นจากตำแหน่งสะท้อนเงากระจก และการกระจายของหน้าคลื่นจากจุดกำเนิดเป็นไปอย่างสมบูรณ์ในเงื่อนไขอวกาศว่าง ดังนั้นผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นภายในห้องทดสอบสี่เหลี่ยมผืนผ้าจะเกิดการแทรกสอดของคลื่น ซึ่งอาจจะเสริมหรือหักล้างกัน ระหว่างคลื่นทางตรง และคลื่นสะท้อน ในส่วนของห้องทดสอบเรียวคลื่นสะท้อนที่ผิวตามแนวแกนยาวของห้องทดสอบจะมีน้อย เนื่องจากโครงสร้างที่เรียวของห้องทดสอบ ถ้าสมมุติให้พิจารณาสายอากาศส่งเป็นจุดกำเนิด (Point source) วางที่ยอดปลายเรียวของห้องทดสอบ ในกรณีนี้จะไม่เกิดภาพของคลื่นสะท้อนจากผิวตามแนวแกนยาวของห้องทดสอบเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ในทางปฏิบัติ สายอากาศส่งอาจจะเป็นสายอากาศปากแตร (Horn Antenna) ดังนั้นจึงเกิดการสูญเสียหรือเกิดคลื่นสะท้อนที่บริเวณผนังเกิดขึ้น ดังนั้นมุมในการตกกระทบของคลื่น θ สำหรับการสะท้อนเงากระจกที่บริเวณผนังตามแนวแกนยาวของห้องทดสอบของลำคลื่นที่มาจากตำแหน่งศูนย์กลางของอะเพอร์เจอร์ ที่โดยปกติแล้วจะน้อยกว่า 45 องศา ดังนั้นด้วยเหตุผลที่กล่าวมานี้ จะทำให้เกิดการสะท้อนเงากระจกที่บริเวณผิวตามแนวยาวของห้องทดสอบเร็วจะน้อยกว่าห้องทดสอบสี่เหลี่ยมผืนผ้า นั่นเอง โดยมุมตกกระทบที่ยอมรับได้ของห้องทดสอบเร็วอาจมากถึง 70 องศา และเพื่อกำหนดความเหมาะสมในการทดสอบสายอากาศภายในห้องทดสอบเร็ว สิ่งสำคัญที่จะต้องพิจารณาคือ การหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการวางสายอากาศส่ง [9] และอาจจะใช้ทฤษฎีของแสงมาใช้ในการกำหนดตำแหน่งของสายอากาศส่ง และสายอากาศทดสอบ โดยจะอธิบายรายละเอียดในบทที่ 5 ต่อไป

ดังนั้นห้องทดสอบเร็วจะสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ถูกกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับห้องทดสอบสี่เหลี่ยมผืนผ้า เนื่องจากต้องการวัสดุดูดซับคลื่นจำนวนน้อยกว่าในการติดตั้งภายในห้องทดสอบ ในขณะที่ห้องทดสอบแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าต้องการวัสดุดูดซับคลื่นคุณภาพสูง และปริมาณมากนั่นเอง

3.5 สรุป

ในบทนี้ได้อธิบายถึง การออกแบบระบบทดสอบสายอากาศ ในลำดับแรก จะต้องทราบถึงเกณฑ์ หรือ ข้อกำหนดในการออกแบบระบบทดสอบสายอากาศก่อน ซึ่งนับว่าสำคัญได้กล่าวถึง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่กระทำระหว่างสายอากาศ และอุปกรณ์ที่แพร่กระจาย หรือ รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (ในที่นี้ คือ สายอากาศทดสอบ) ซึ่งควรจะเป็นคลื่นระนาบสม่ำเสมอ และ ระบบทดสอบต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขของ การแพร่กระจายคลื่นในสนามระยะไกล

โดยที่ระบบทดสอบสายอากาศ แบ่งเป็น ระบบทดสอบกลางแจ้ง และระบบทดสอบในร่ม ระบบทดสอบกลางแจ้ง ประกอบด้วย ระบบทดสอบสะท้อนพื้น ระบบทดสอบขบกระดืบ และ ระบบทดสอบเฉียงเรดาร์

ส่วนระบบทดสอบในร่ม (ในวิทยานิพนธ์นี้ คือ ห้องทดสอบสายอากาศ) แบ่งออกเป็นสองรูปแบบ ได้แก่ ห้องทดสอบสี่เหลี่ยมผืนผ้า และ ห้องทดสอบเร็ว

นัยสำคัญของห้องทดสอบสายอากาศ คือ ข้างในห้องเป็นการจำลองการทดสอบในสภาวะอวกาศว่างที่ไร้คลื่นสะท้อน และ ภายนอกห้องมีการชิลด์ทางไฟฟ้า เพื่อป้องกันคลื่นแทรกสอดจากสิ่งแวดล้อมภายนอก

ดังนั้น รายละเอียดของข้อกำหนดต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบห้องทดสอบสายอากาศ จะได้นำไปประยุกต์ในบทที่ 5 และ 6 ต่อไป

บทที่ 4

การประเมินระยะทดสอบสายอากาศ

4.1 กล่าวนำ

ในการออกแบบระยะทดสอบสนามระยะไกลของสายอากาศ (Far-field Test Range) จะมีวัตถุประสงค์เพื่อการกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีลักษณะเป็นคลื่นระนาบสม่ำเสมอ โดยเสมือนว่าคลื่นระนาบสม่ำเสมอเหล่านี้จะฉาย (Illuminate) ไปที่บริเวณทดสอบสายอากาศ

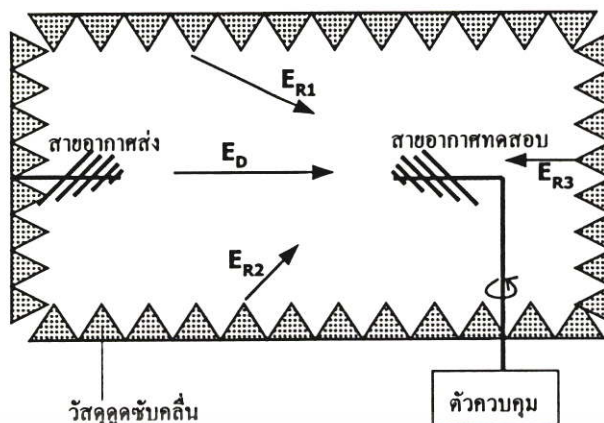
มีเหตุผลหลักอยู่สองประการที่ทำให้เกิดความผิดพลาดในระยะทดสอบสนามระยะไกลของสายอากาศ ประการแรกเนื่องจากสนามไฟฟ้าที่มาตรการขอบบริเวณทดสอบไม่ได้มีลักษณะเป็นคลื่นระนาบสม่ำเสมอ เนื่องจากการออกแบบระยะทดสอบสายอากาศไม่อาจเป็นไปตามเกณฑ์ในการออกแบบ (ตามที่ได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อ 3.2) และ ประการที่สอง เกิดความผิดพลาดเนื่องจากคลื่นสะท้อนที่เกิดขึ้นภายในระยะทดสอบ ซึ่งปัญหาความผิดพลาดอันเนื่องมาจากคลื่นสะท้อนนี้จะเป็นปัญหาหลักที่จะได้อธิบายในบทนี้ต่อไป

ในกรณีของระยะทดสอบกลางแจ้ง โดยทั่วไปแล้วจำนวนของสิ่งกีดขวางที่เป็นสาเหตุให้เกิดการสะท้อนมีจำนวนที่สามารถจำกัดได้ เช่น พื้นดิน ดิน หรือ สิ่งปลูกสร้างที่ใกล้เคียง หรืออาจเป็น อุปกรณ์ที่ใช้วางสายอากาศ ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นสิ่งที่เห็นได้แน่ชัดว่าเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการสะท้อนได้ ฉะนั้นจึงไม่ใช่เรื่องยากเกินไปในการหาทางป้องกัน

ในกรณีของระยะทดสอบในร่ม (ในที่นี้คือ ห้องทดสอบสายอากาศ) การประเมินค่าความผิดพลาดจากการสะท้อนของคลื่นนั้น เป็นเรื่องยาก เนื่องจากการสะท้อนที่เกิดขึ้นทุกทิศทางจะตกกระทบลงบนสายอากาศทดสอบ ดังนั้น การประเมินหาค่าความผิดพลาดของห้องทดสอบสายอากาศจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจและได้รับความสนใจอย่างมาก ดังนั้น การประเมินระยะทดสอบสายอากาศในบทนี้ จึงมุ่งประเด็นไปที่ การประเมินคุณสมบัติของห้องทดสอบสายอากาศเป็นหลัก แต่อย่างไรก็ตาม ขั้นตอน และ วิธีการในการประเมินระยะทดสอบกลางแจ้งผู้ที่สนใจสามารถศึกษารายละเอียดได้จากเอกสารอ้างอิง [1]

4.2 การประเมินสนามตกกระทบที่บริเวณทดสอบ

ในการที่จะอธิบายถึง การทดสอบเพื่อหาค่า “สภาพสะท้อน” (Reflectivity Level) โดยอ้างอิงจากภาพที่ 4.1 โดยในภาพเป็นการจัดการทดลองเพื่อที่จะอธิบายถึง ความหมายของค่าสภาพสะท้อน



ภาพที่ 4.1 ภาพตัดตามยาวของห้องทดสอบสายอากาศ

จากภาพ สายอากาศตัวส่งจะวางไว้ใกล้กับส่วนท้ายของผนังของห้องทดสอบ และ โลบลหลักชี้ตรงไปในทิศทางตามแกนของห้องทดสอบ ส่วนสายอากาศตัวรับวางไว้ที่บริเวณแกนกลางของห้องทดสอบ และมีระยะห่างที่เหมาะสมจากสายอากาศตัวส่ง

ในการทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศทั่วไป สายอากาศตัวรับสามารถที่จะหมุนไปได้โดยรอบ ในการประเมินห้องทดสอบสายอากาศ จะใช้สายอากาศที่มีอัตราขยายมาตรฐาน เป็นตัวส่ง และ ตัวรับ โดยสายอากาศทั้งคู่สามารถสลับตำแหน่งกันได้ และ ในการทดสอบหาค่าสภาพสะท้อน อุปกรณ์สำหรับวางสายอากาศสามารถเคลื่อนที่ได้ เช่น กรณีในภาพที่ 4.1 การเคลื่อนที่ของสายอากาศทดสอบด้วยการใช้รางล้อเลื่อน โดยตำแหน่งของรางอยู่ที่ช่องว่างบริเวณพื้นของห้องทดสอบได้วัสดุดูดซับคลื่น สายอากาศตัวรับสามารถที่จะเคลื่อนที่ไปในทิศทางตามแนวแกนยาว และ แนวขวางได้ และ ตำแหน่งของสายอากาศสามารถปรับความสูง ขึ้น หรือ ลงได้ นอกจากนี้ สายอากาศตัวรับ (สายอากาศทดสอบ) สามารถหมุนไปได้โดยรอบทิศทาง ด้วยการจับเคลื่อนที่ของมอเตอร์ตัวหมุนที่วางอยู่บนรางเลื่อนนั่นเอง

เมื่อสายอากาศตัวส่งทำการแพร่กระจายคลื่นออกไปเสมือนว่าสายอากาศตัวส่งฉายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าให้ไปอยู่ที่จุดทุกจุดภายในห้องทดสอบสายอากาศ กล่าวคือ มีทั้งคลื่นทางตรงที่มาจากสายอากาศตัวส่ง และ คลื่นที่มาจากการสะท้อนของผิวทุกด้านของห้องทดสอบสายอากาศ เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ E_D และ E_R ตามลำดับโดยที่คลื่นสะท้อนอาจจะรวมถึงการสะท้อนจากวัตถุต่างๆในห้องทดสอบ เช่น เฟรมของอุปกรณ์ที่ใช้เลื่อนสายอากาศทดสอบ

ในส่วนของคลื่นทางตรง จะขึ้นกับ คุณสมบัติในการแผ่พลังงานของสายอากาศตัวส่ง และ ระยะห่างระหว่างสายอากาศ ในขณะที่คลื่นสะท้อน จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างซับซ้อน ที่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของจุดที่จะพิจารณา หรือ จุดสังเกต โดยที่การเปลี่ยนแปลงของคลื่นสะท้อน เกิดจากการสะท้อนทุกจุดภายในห้องทดสอบ และ วัตถุที่อยู่ในห้องทดสอบเป็นสาเหตุทำให้เกิดการกระเจิงของคลื่นในทุกทิศทาง

สังเกตคลื่นสะท้อน สามเส้นทาง ในภาพที่ 4.1 โดยคลื่นสะท้อนเหล่านี้เป็นการสมมุติ เส้นทางการสะท้อนหลักๆมีผลต่อความผิดพลาดของการทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเพียงเท่านั้น นั่นคือ สะท้อนจากผนังทั้งสองด้านของห้องทดสอบ และ สะท้อนจากผนังด้านท้ายของห้องทดสอบ ถูกแทนด้วยสัญลักษณ์ E_{R1} E_{R2} และ E_{R3} ตามลำดับ ดังนั้น ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ประเมินเพื่อป้องกันความผิดพลาดเนื่องจากปัญหาที่ซับซ้อน จากการกระเจิงของคลื่นภายในห้องทดสอบ และ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากการแทรกสอดของคลื่นทางตรง และ คลื่นสะท้อน นั้นเอง

เนื่องจากความซับซ้อนของคลื่นสะท้อน ดังนั้น การหาค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นทั้งหมดนั้นจะต้องใช้ระยะเวลาที่นานมาก และยากต่อการที่จะทำได้ ดังนั้นการทดลองเพื่อหาความผิดพลาดนี้ควรจะเลือกตำแหน่งของจุดที่จะพิจารณาอย่างเพียงพอเท่านั้น กล่าวคือ ในการเลือกจำนวนของจุดที่จะพิจารณา หรือ จำนวนของจุดสังเกต ควรจะพอเพียงที่จะเป็นไปได้ว่า สามารถที่จะอธิบายปรากฏการณ์การแทรกสอดของคลื่นทางตรง E_D และ คลื่นสะท้อน E_R ว่ามีการเสริม (In-Phase) หรือ หักล้างกัน (Out-of-Phase) กันอย่างไร ที่ภายในบริเวณไร้คลื่นสะท้อน (Quiet zone) หรือ บริเวณทดสอบที่ได้กำหนดขอบเขตไว้เรียบร้อยแล้ว

ในการทดสอบหาความเข้มสนามไฟฟ้าของคลื่นสะท้อน ที่จุดสังเกตที่กำหนดไว้ภายในบริเวณทดสอบ สิ่งหนึ่งที่ต้องพิจารณาคือ อัตราส่วนของความเข้มสนามไฟฟ้าของคลื่นสะท้อน ต่อความเข้มสนามไฟฟ้าของคลื่นทางตรง โดยอัตราส่วนนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงไปแบบ จุด-ต่อ-จุด ที่ทำการสังเกต ทั้งนี้ เนื่องจากความซับซ้อนของคลื่นสะท้อนเอง ดังนั้นจึงเป็นเรื่องยากที่จะอธิบายปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแบบ จุด-ต่อ-จุด นี้ให้เห็นภาพได้ทั้งหมดเนื่องจากต้องการเวลาที่มากมาย

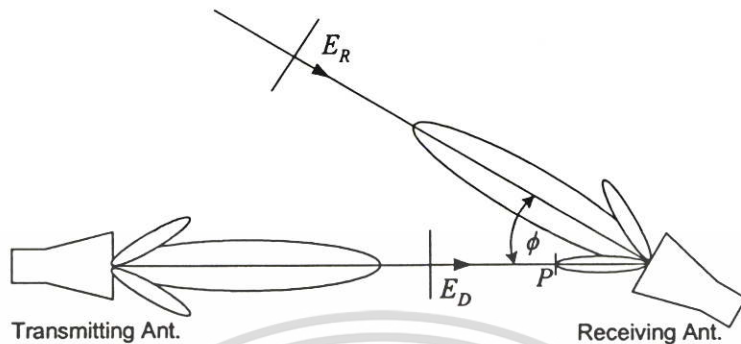
ในการหาขนาดของคลื่นสะท้อน ไม่สามารถหาได้จากการจัดตั้งการทดลองโดยทั่วไปที่ใช้สำหรับการหาแบบรูปของสายอากาศ เนื่องจากคลื่นสะท้อน คือ ผลรวมทางเวกเตอร์ขององค์ประกอบคลื่นหลายๆองค์ประกอบที่มาจากหลายๆส่วนภายในห้องทดสอบสายอากาศ

เพื่อที่จะอธิบายถึงความซับซ้อนของคลื่นสะท้อนที่เกิดขึ้นนี้ ซึ่งจะมีผลกระทบต่อ การทดสอบค่าสภาพสะท้อน ให้พิจารณาภาพที่ 4.2 เป็นการอธิบายให้เข้าใจอย่างง่ายๆ โดยสมมุติให้มีคลื่นสะท้อนที่เข้ามาในทิศทางเดียวเท่านั้น คือ E_R และคลื่นทางตรง คือ E_D โดยทิศทางในการแพร่กระจายของคลื่นสะท้อนอยู่ในแนวแกนของสายอากาศตัวรับ และทำมุม ϕ เทียบกับ ทิศทางการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศตัวส่ง

เมื่อสายอากาศตัวรับมีการเคลื่อนที่ อัตราส่วนของ E_R และ E_D จะหาได้จาก การแทรกสอดแบบเสริม หรือ แบบหักล้างของคลื่นทั้งสองในระหว่างการเคลื่อนที่ แต่อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติคลื่นสะท้อนที่เข้ามาไม่ได้มีเพียงส่วนเดียว ดังนั้นจึงไม่ใช่ขนาดของคลื่นสะท้อนทั้งหมดที่ทำได้ ซึ่งเมื่อพิจารณาภาพที่ 4.2 อีกครั้งหนึ่ง จะเห็นว่า เมื่อคลื่นสะท้อน E_R มีการแพร่กระจายที่ไม่ได้อยู่

ในแนวแกนของสายอากาศตัวรับ จะเกิดปัญหาขึ้น ซึ่งปัญหานี้อธิบายได้จาก การสังเกตการกระจายการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของคลื่นทางตรง และแต่ละเส้นทางของคลื่นสะท้อน ต่อ คลื่นที่สามารถตรวจจับ ได้ทั้งหมด ทั้งนี้ จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของแบบรูป และ โพลาริเซชันของสายอากาศตัวรับ



ภาพที่ 4.2 นิยามของคลื่นสะท้อนเสมือน

4.2.1 การวิเคราะห์การแทรกสอดของคลื่น

ค่าสภาพสะท้อน (Re fl) อาจนิยามในหน่วยของ เดซิเบล (dB) ได้จาก อัตราส่วน ระหว่าง E_R และ E_D (ตามภาพที่ 4.2) นั่นคือ

$$\text{Re fl} = 20 \log \frac{E_R}{E_D} \quad (4.1)$$

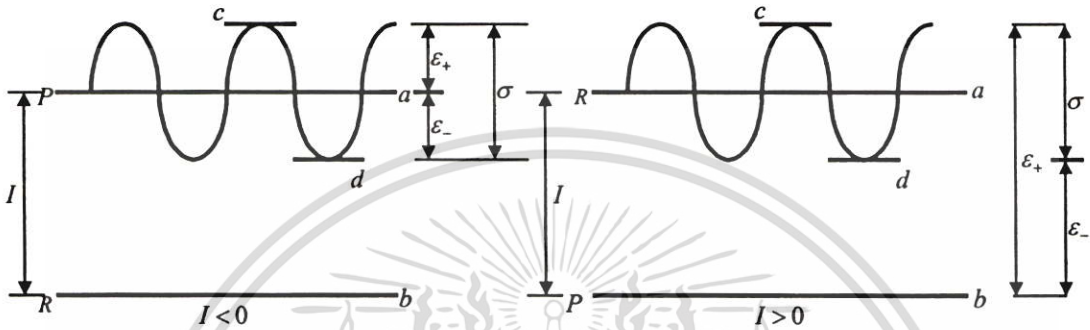
ถ้าสายอากาศทดสอบ (สายอากาศตัวรับ) เคลื่อนที่การแทรกสอดแบบเสริม (In-phase) และแบบหักล้าง (Out-of-phase) ระหว่าง E_R และ E_D ที่บันทึกได้นั้นจะมีลักษณะเหมือนกับคลื่นนิ่ง (Standing Wave)

ในการวิเคราะห์แบบรูปการแทรกสอด (Interference Curve) สิ่งที่ต้องพิจารณา คือ สัญญาณคลื่นทางตรงที่รับได้จะมีระดับของแบบรูป คือ P ซึ่งขึ้นกับมุมที่กำหนดไว้ คือ ϕ ดังนั้น เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์จะเขียนความสัมพันธ์ได้เป็น

$$E_R = E_D 10^{\text{Re fl}/20} \quad (4.2)$$

สมการนี้หมายความว่า สนามไฟฟ้าที่ถูกรับได้ทั้งหมดจะสามารถถูกพิจารณาว่าเป็น ผลรวมของ คลื่นทางตรง และ คลื่นสะท้อน ตามความสัมพันธ์นี้ $E_D 10^{P/20}$ และ $E_D 10^{\text{Re fl}/20}$ ซึ่งผลรวมนี้ จะพิจารณาความต่างเฟส ระหว่าง E_R และ E_D ไว้ด้วย

โดยที่ผ่านมาไม่ทราบว่าจะระดับของสัญญาณ P หรือ $Re\ f_l$ ที่มากกว่ากัน กล่าวคือ ไม่อาจทราบได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของการแทรกสอดอยู่บนระดับสัญญาณ P หรือ $Re\ f_l$ ซึ่งในการพิจารณาเงื่อนไขดังกล่าวนี้อธิบายได้จากภาพที่ 4.3 เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจจะกำหนดระยะห่างของการแทรกสอดระหว่างระดับของสัญญาณ P และ $Re\ f_l$ เป็น I ดังนั้นนิยามของระยะห่าง $Re\ f_l$ และ P คือ $I = Re\ f_l - P$ หรือในความหมายเดียวกัน $I = E_R - E_D$ (dB)



ภาพที่ 4.3 ส่วนโค้งการแทรกสอดนิยามโดย $I = Re\ f_l - P$

กำหนดให้ตัวแปร a แสดงถึงค่าที่มากกว่า ระหว่าง P และ $Re\ f_l$ และตัวแปร b แสดงถึงค่าที่น้อยกว่า

และกำหนดให้ตัวแปร c (dB) และ d (dB) คือ สัญญาณที่รับได้เมื่อ E_D และ E_R มีการแทรกสอดกันแบบเสริม และ หักล้างกัน ตามลำดับ

จากภาพที่ 4.3 ตัวแปร c (dB) และ d (dB) จะหมายถึง ระดับของแบบรูปการแทรกสอดที่มากที่สุด และ น้อยที่สุด ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อทำการนอร์มัลไลซ์ให้โหนดหลักอยู่ที่ระดับ 0 dB จะได้ความสัมพันธ์

$$\begin{aligned} c &= 20\log(10^{a/20} + 10^{b/20}) \\ d &= 20\log(10^{a/20} - 10^{b/20}) \end{aligned} \quad (4.3)$$

เมื่อตัวแปร P คือ ระดับของแบบรูปที่ถูกต้อง (พิจารณาที่ระดับสัญญาณ P) และ กำหนดให้ ค่าความผิดพลาดแทรกสอดแบบเสริม (In-phase error) คือ $c - P$ และ ค่าความผิดพลาดแทรกสอดแบบหักล้าง (Out-of-phase error) คือ $d - P$ เมื่อทั้งสองกรณีนี้ถูกแทนด้วยตัวแปร ϵ_+ และ ϵ_- ตามลำดับ

และกำหนดให้ตัวแปร σ คือ ระยะห่างระหว่าง ϵ_+ และ ϵ_- หรือในความหมายเดียวกัน คือ ระยะ $c-d$ กล่าวคือ ตัวแปร σ หมายความว่า ระยะการเปลี่ยนแปลง จุดต่อ-จุด ที่มากที่สุดของแบบรูปการแทรกสอด ซึ่งจะกำหนดโดยสมการ

$$\sigma = 20 \log \frac{1 + \text{anti log}(I/20)}{\pm 1 \mp \text{anti log}(I/20)} \quad (4.4)$$

โดยที่เครื่องหมาย +, - ที่อยู่ด้านบน และ ล่าง แสดงถึง ค่าของตัวแปร I ที่เป็น ลบ และ บวก ตามลำดับ เมื่อนำสมการที่ (4.4) มาหาความสัมพันธ์กับอัตราส่วนของคลื่นสะท้อน ต่อ คลื่นทางตรง และกำหนดให้ ระดับของสัญญาณคลื่นทางตรง มากกว่า ระดับสัญญาณคลื่นสะท้อน ดัง นั้นจะสามารถเขียนสมการใหม่ได้ว่า

$$\frac{E_R}{E_D} (\text{dB}) = 20 \log \left[\frac{-1 + \text{anti log}(\sigma/20)}{1 + \text{anti log}(\sigma/20)} \right] \quad (4.5)$$

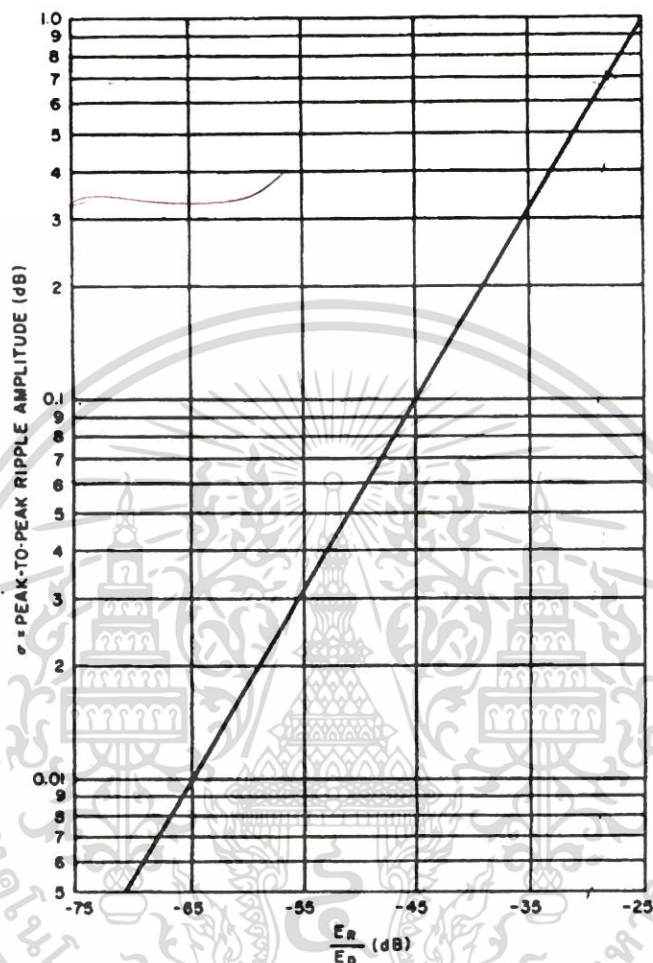
และเมื่อนำสมการที่ (4.5) มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของ อัตราส่วนของคลื่นสะท้อน ต่อ คลื่นทางตรง $\frac{E_R}{E_D} (\text{dB})$ กับ ค่าผิดพลาดสูงสุดของส่วนโค้งแทรกสอด σ ดังแสดงใน ภาพที่ 4.4

จากนิยามของการวิเคราะห์การแทรกสอดของคลื่นที่ผ่านมา สามารถที่จะสรุปได้ว่า ระดับสัญญาณของแบบรูป P ขึ้นอยู่กับมุมที่กำหนด คือ ϕ สามารถที่จะทราบได้จากการทดลองวัดแบบรูป ณ มุมที่กำหนดให้ นั้น และตัวแปร c (dB) และ d (dB) สามารถที่จะหาได้จากการทดลองหาแบบรูปการแทรกสอดระหว่างคลื่นทางตรง และ คลื่นสะท้อน ได้เช่นเดียวกัน

เนื่องจากการวิเคราะห์ขึ้นอยู่กับข้อมูลพื้นฐานของการแทรกสอดของคลื่นทางตรง และ คลื่นสะท้อน ดังนั้นวิธีการที่จะ ได้มาซึ่งข้อมูลของการแทรกสอดจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องพิจารณา และวิธีการที่มีความเหมาะสมนี้ จะอ้างถึงวิธีที่เรียกว่า “อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันในอวกาศว่าง” (Free-space Voltage Standing Wave Ratio technique) ซึ่งจะได้อธิบายรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

จากสมการ (4.1-4.5) เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์เพื่อหาค่าสภาพสะท้อน ($Re \Gamma$) ให้อยู่ใน ฟังก์ชันของการเปลี่ยนแปลงสูงสุดแบบ จุดต่อ-จุด ของแบบรูปการแทรกสอด (σ) ระหว่างคลื่นทางตรง (E_D) และคลื่นสะท้อน (E_R) กับ ระดับสัญญาณของแบบรูป (P) ที่ขึ้นอยู่กับมุมที่กำหนด (ϕ) คือ (a) จะสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ว่า

$$Re fl = a + 20 \log \left[\frac{-1 + \text{anti log}(\sigma / 20)}{1 + \text{anti log}(\sigma / 20)} \right] \quad (4.6)$$



ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ อัตราส่วนของคลื่นสะท้อน ต่อ คลื่นทางตรง $\frac{E_R}{E_D}$ (dB)

กับ ค่าผิดพลาดสูงสุดของส่วน โค้งแทรกสอด σ (อ้างอิงจาก [IEEE Standard Test Procedures for Antennas, IEEE Std 149-1979, published by IEEE, Inc., 1979.])

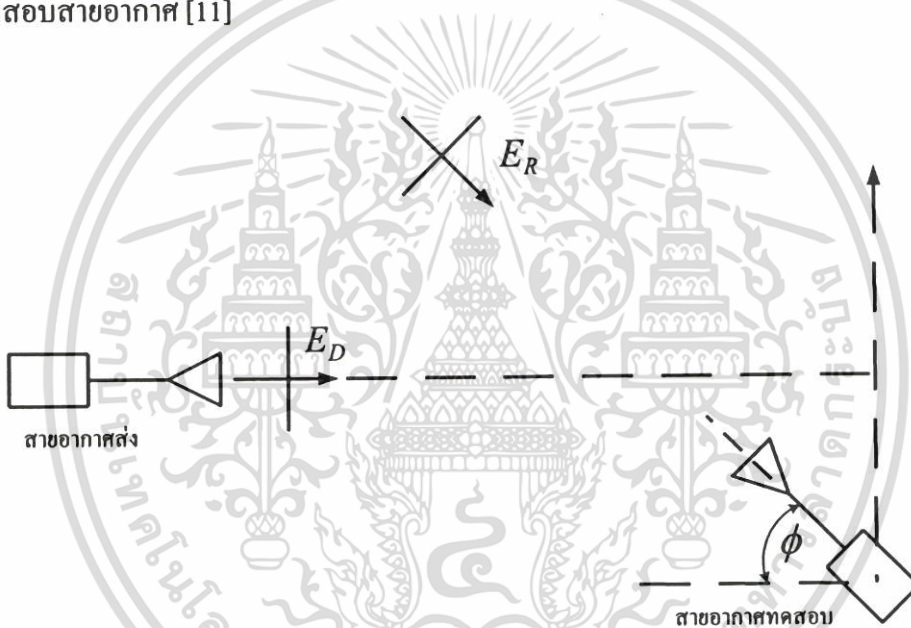
4.3 วิธีอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันในอวกาศว่าง

จากหัวข้อที่ผ่านมาได้กล่าวถึงพื้นฐานของการประเมินสนามตกกระทบ และการวิเคราะห์แบบรูปการแทรกสอดของคลื่น ซึ่งมีนัยสำคัญ กล่าวคือ เมื่อสายอากาศตัวส่งได้เริ่มแพร่กระจายคลื่นออกไป ทำให้ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นมีทั้งคลื่นทางตรง E_D และคลื่นสะท้อน E_R กระจายอยู่ที่ทุกตำแหน่งภายในห้องทดสอบสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยคลื่นสะท้อนนี้ทำให้เกิดความผิดพลาดในการทดสอบสายอากาศ ดังนั้นจึงต้องหาวิธีประเมินความผิดพลาดนี้

ในการทดลองหาความผิดพลาดที่เกิดจากคลื่นสะท้อนนั้น ควรจะกระทำภายใต้จำนวนจุดการสังเกตที่พอเพียง นั่นคือ จะต้องอธิบายได้ถึงปรากฏการณ์ของการแทรกสอดของคลื่นทั้งแบบเสริมกัน และ แบบหักล้างกัน ที่ทุกๆจุดสังเกตภายในขอบเขตที่กำหนดไว้อย่างเหมาะสมในห้องทดสอบสายอากาศ ขอบเขตที่กำหนดไว้อย่างเหมาะสมนี้เรียกว่า บริเวณไร้คลื่นสะท้อน โดยการกำหนดขอบเขตนี้ ขึ้นกับ ความเหมาะสมของคลื่นระนาบสม่ำเสมอที่ตกกระทบบนบริเวณทดสอบ อาจจะใช้วิธีการลากเส้นรังสี (จะได้กล่าวในบทต่อไป) ในการกำหนดขอบเขตนี้ และ ประสิทธิภาพของขอบเขตบริเวณไร้คลื่นสะท้อนนี้ จะขึ้นกับขนาดของคลื่นสะท้อนที่เกิดจากผนังทุกด้านของห้องทดสอบสายอากาศ [11]



ภาพที่ 4.5 วิธีอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันในอวกาศว่าง

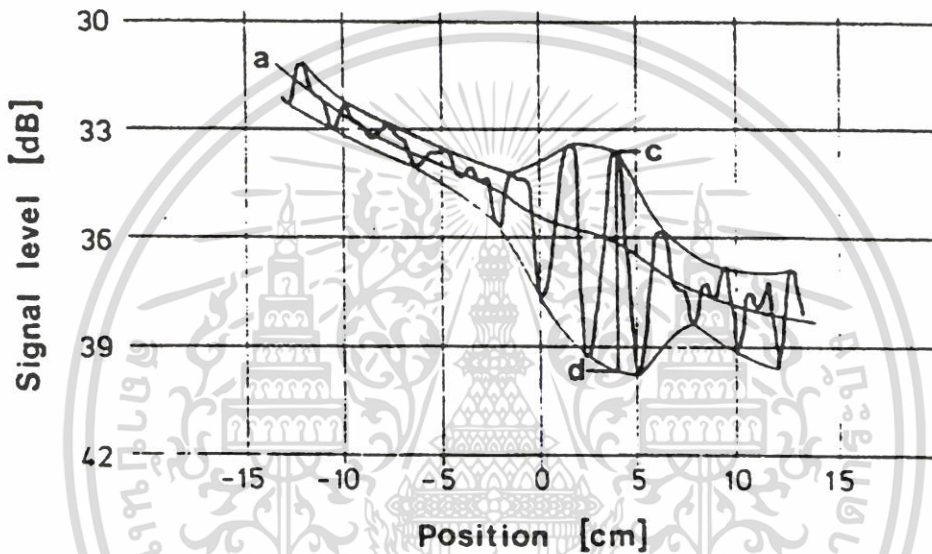
เนื่องจากความถูกต้องของข้อมูลของความผิดพลาด ที่จะนำมาวิเคราะห์นั้น เป็นสิ่งที่จะต้องพิจารณา ดังนั้น วิธีการที่เหมาะสมที่จะได้มาซึ่งข้อมูลของการแทรกสอดของคลื่นที่ถูกต้อง เรียกว่า “วิธีอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันในอวกาศว่าง” (Free-space VSWR technique) การจัดระบบทดสอบของวิธีนี้อธิบายได้จากภาพที่ 4.5

จากภาพ กำหนดให้คลื่นสะท้อนที่เข้าเพียงทางเดียวเท่านั้น และมีขนาดเป็น E_R ส่วนคลื่นทางตรงมีขนาดเป็น E_D และกำหนด ทิศทางในการแพร่กระจายของคลื่นสะท้อนเข้าสู่สายอากาศตัวรับที่ทำมุม ϕ กับสายอากาศตัวส่ง

เมื่อสายอากาศตัวรับเคลื่อนที่อย่างสม่ำเสมอไปตามแนวเส้นตัดขวาง ดังนั้นการแทรกสอดของคลื่นระหว่าง คลื่นทางตรง E_D และคลื่นสะท้อน E_R จะเกิดขึ้นระหว่างการเคลื่อนที่ และจะบันทึกผลของสัญญาณการแทรกสอดนั้นไว้ที่เครื่องบันทึกสัญญาณ

แบบรูปการแทรกสอดที่ได้รับในแต่ละครั้ง จะรักษาค่าแอมพลิจูด ϕ ของสายอากาศตัวรับไปตลอดการบันทึกในหนึ่งครั้ง และปรับทิศทางของมุม ϕ ในการบันทึกในครั้งต่อไป

แบบรูปการแทรกสอด (Interference Curve) ที่บันทึกได้จะมีลักษณะเหมือนกับ คลื่นนิ่ง (Sanding Wave) ดังแสดงในภาพที่ 4.6 (จากเอกสารอ้างอิงที่ [12])

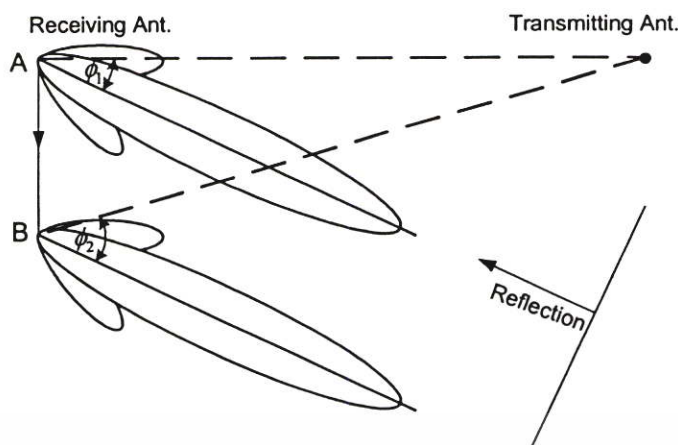


ภาพที่ 4.6 แบบรูปการแทรกสอด (อ้างอิงจาก [J. Apple-Hansen, "Reflectivity level of radio anechoic chamber," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. AP-21, no. 4, pp. 490-498, July 1973.])

จากภาพ จะเกิดการแกว่ง (Oscillate) เนื่องจาก การเปลี่ยนแปลงของคลื่นสะท้อนซ้อนทับ (Superimpose) บนคลื่นทางตรง การเปลี่ยนแปลงของแบบรูปการแทรกสอดมีข้อสังเกตอยู่ 2 กรณี คือ

- 1) เปลี่ยนแปลงการแกว่งของแอมพลิจูด เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงที่ซับซ้อนของคลื่นสะท้อนเทียบกับตำแหน่งของจุดสังเกต
- 2) ระดับค่าเฉลี่ยของแบบรูปการแทรกสอด (a) จะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งกรณีนี้เกิดจาก สายอากาศตัวรับเคลื่อนที่ไปตามแนวเส้นตัดขวางที่ตั้งฉากกับแนวแกนของสายอากาศตัวส่ง (อธิบายให้เข้าใจอย่างง่าย ดูในภาพที่ 4.7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.7 ภาพเสมือนการกวาดของแบบรูป

จากภาพอธิบายได้ว่า เมื่อพยายามที่จะรักษาระดับกำลังงานของคลื่นสะท้อนให้คงที่ในระหว่างการเคลื่อนที่ของสายอากาศตัวรับ ดังนั้นระดับของคลื่นที่ตกกระทบจากคลื่นทางตรงจะมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการกวาดของแบบรูปสายอากาศนั่นเอง

พิจารณาแบบรูปการแทรกสอดในภาพที่ 4.6 และ อ้างอิงจากภาพที่ 4.3 มีพื้นฐานในการพิจารณาดังนี้ กำหนดให้ ระดับของแบบรูปของสายอากาศ (P) เป็นไปตามค่าเฉลี่ยของแบบรูปการแทรกสอด (a) (พิจารณาภาพทางซ้ายของภาพที่ 4.3) และ ระดับของแบบรูปของสายอากาศ (P) ขึ้นอยู่กับมุม ϕ และ แบบรูปการแทรกสอดจะถูกบันทึกได้โดยปรับทิศทางของสายอากาศตัวรับตามทิศมุม ϕ นี้เช่นกัน

เพื่อที่จะประเมินห้องทดสอบสายอากาศ จากการพิจารณาแบบรูปการแทรกสอดที่บันทึกได้นี้ จะพิจารณาจาก ขอบ (Envelope) ของแบบรูปการแทรกสอด กล่าวคือ ขอบบนเป็นเส้นที่ลากต่อเนื่องไปกับค่าที่มากที่สุด แทนด้วยตัวแปร c (dB) ส่วนขอบล่างจะลากเส้นต่อเนื่องไปกับค่าที่น้อยกว่า แทนด้วยตัวแปร d (dB) (หมายถึงเกิดการแทรกสอดแบบเสริม และ หักล้าง ตามสมการที่ (4.3) นั่นเอง) ด้วยการลากเส้นเบาๆ ดังแสดงในภาพที่ 4.6 และจากภาพ สังเกตการเปลี่ยนแปลงสูงสุดระหว่าง จุด-ต่อ-จุด ในทำนองเดียวกันจะหมายถึง ค่าความผิดพลาดสูงสุดที่เกิดขึ้น σ หรือ จากภาพคือ ผลต่างของ $(c-d)$ และสามารถที่จะนำตัวแปรเหล่านี้เพื่อไปหาค่าสภาพสะท้อน (Reflectivity level) ในสมการที่ (4.6) เพื่อบอกถึงคุณสมบัติของห้องทดสอบสายอากาศ

ในกรณีที่ปรับทิศทางมุม ϕ บางมุม และ บางตำแหน่งของจุดสังเกต แบบรูปการแทรกสอดจะมีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งกรณีนี้อาจจะละทิ้งข้อมูลในการพิจารณาแบบรูปการแทรกสอด ณ. มุม หรือ ที่ตำแหน่งดังกล่าว ซึ่งเมื่อเกิดกรณีนี้ขึ้นมา จะหมายความว่า แบบรูป P จะมีความหมายสองนัย กล่าวคือ อาจจะเป็นค่าของระดับสัญญาณ (a) หรือ (b) ซึ่งอาจหาค่าตอบได้จากวิธีการอื่นๆ ซึ่งสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากเอกสารอ้างอิง [12]

4.4 สรุป

ในบทนี้ได้อธิบายถึง การประเมินระยะทดสอบสายอากาศ และเน้นประเด็นไปที่ ระยะทดสอบในร่ม นั่นคือ ห้องทดสอบสายอากาศ ส่วนวิธีการที่ใช้ประเมิน คือ วิธีอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันในอวกาศว่าง โดยมีนัยสำคัญคือ จากแบบรูปการแทรกสอดของคลื่นทางตรง และ คลื่นสะท้อน นำมาวิเคราะห์ เพื่อหาค่าของตัวเลขคุณค่า (Figure of merit) ในที่นี้คือ ค่าสภาพสะท้อน เพื่อบอกถึงคุณสมบัติของห้องทดสอบสายอากาศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การออกแบบและประเมินคุณสมบัติห้องทดสอบสายอากาศที่ย่าน ความถี่ 1.8-2.5 กิกะเฮิรตซ์

5.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันการสื่อสารไร้สายในยุคที่สามได้มีการประยุกต์ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย และมีสายอากาศเป็นอุปกรณ์หลักที่สำคัญยิ่งในระบบ สายอากาศขนาดเล็กได้รับความสนใจอย่างมากจากนักวิจัย เนื่องจากมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ไม่ต้านลม สะดวกในการติดตั้งใช้งาน ทำให้สามารถทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานระยะไกลของสายอากาศภายในห้องทดสอบสายอากาศขนาดเล็กได้ ดังนั้นห้องทดสอบสายอากาศที่ใช้สำหรับทดสอบสายอากาศขนาดเล็กนี้จึงเป็นสิ่งที่จะต้องทำเป็นเช่นกัน ด้วยเหตุนี้จึงเป็นสิ่งจูงใจให้เกิดการพัฒนาห้องทดสอบสายอากาศขนาดเล็กที่ออกแบบมาเพื่อใช้งานในย่านความถี่ของการสื่อสารไร้สายในยุคที่สามที่ย่าน 1.8-2.5 กิกะเฮิรตซ์ จุดประสงค์เพื่อใช้เป็นเครื่องมืออำนวยความสะดวกในการทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานระยะไกลของสายอากาศขนาดเล็กที่ออกแบบมาในย่านความถี่ดังกล่าว

5.2 การออกแบบวัสดุฉนวนคลื่นชนิด ซาลิสบูริสกรีน

5.2.1 หลักการพื้นฐาน

วัสดุฉนวนคลื่นมีสาระสำคัญ กล่าวคือ จะดูดซับพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผ่านวัสดุ นั้น ดังนั้นวัสดุจะมีดัชนีหักเหที่เป็นจำนวนเชิงซ้อน ซึ่งองค์ประกอบของจำนวนเชิงซ้อนจะแสดงถึงการสูญเสียที่เกิดขึ้น โดยการสูญเสียนี้อาจเปลี่ยนรูปไปเป็นความร้อน ซึ่งในช่วงความถี่ไมโครเวฟการสูญเสียจะเกิดขึ้นเนื่องจากผลของระดับ โมเลกุล และอะตอมของวัสดุนั้นๆ

แต่อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติ การสูญเสียที่เกิดขึ้นกับวัสดุฉนวนคลื่นทางไฟฟ้า มีสาเหตุหลักมาจากค่าสภาพความนำจำกัดของวัสดุ [13]

โดยทั่วไปแล้วการสูญเสียจะพิจารณาได้จากค่าสภาพยอม (ϵ) และความซาบซึมได้ (μ) ของวัสดุ ในการอธิบายสภาพยอมเชิงซ้อน และความซาบซึมได้เชิงซ้อน จะอธิบายได้ด้วย สภาพยอมสัมพัทธ์ (ϵ_r) และความซาบซึมได้สัมพัทธ์ (μ_r) ซึ่งจะถูกทำให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกันด้วยค่า สภาพยอม (ϵ_0) และความซาบซึมได้ (μ_0) ในอากาศ

ซึ่งสัญลักษณ์เชิงซ้อนสำหรับ ϵ_r และ μ_r กำหนดโดย

$$\begin{aligned}\varepsilon_r &= \varepsilon_r' + j\varepsilon_r'' \\ \mu_r &= \mu_r' + j\mu_r''\end{aligned}\quad (5.1)$$

โดยที่ส่วนจริง (พลังงานสะสม) ที่แสดงด้วยสัญลักษณ์ ε_r' และส่วนจินตภาพ (การสูญเสีย) แสดงด้วยสัญลักษณ์ ε_r''

เนื่องจาก สภาพนำ (σ) ของวัสดุคูดซับคลื่นทางไฟฟ้าเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดกลไกของการสูญเสีย โดยสามารถที่จะอธิบายผลของค่าสภาพนำในเทอมของ ε_r'' และจะมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\varepsilon_r'' = \frac{\sigma}{\omega\varepsilon_0} \quad (5.2)$$

โดยที่ ω คือ ความถี่เชิงมุม
ถ้าอธิบายความสัมพันธ์ในรูปเชิงขั้ว จะได้ว่า

$$\begin{aligned}\varepsilon_r &= |\varepsilon_r| e^{j\delta} \\ \mu_r &= |\mu_r| e^{j\delta_m}\end{aligned}\quad (5.3)$$

โดยที่สัญลักษณ์ δ และ δ_m คือ แทนเงนคการสูญเสียทางไฟฟ้า และทางแม่เหล็กตามลำดับ และสามารถนิยามได้โดย

$$\begin{aligned}\tan \delta &= \frac{\varepsilon_r''}{\varepsilon_r'} \\ \tan \delta_m &= \frac{\mu_r''}{\mu_r'}\end{aligned}\quad (5.4)$$

เนื่องจากดัชนีหักเห n คือ อัตราส่วนของเลขคลื่นที่แพร่กระจายอยู่ในวัสดุต่อเลขคลื่นในอากาศ และมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างของสภาพยอม และความซาบซึ่ม ได้สัมพันธ์ ดังต่อไปนี้

$$n = \frac{k}{k_0} = \sqrt{\mu_r \varepsilon_r} \quad (5.5)$$

โดยที่ k คือเลขคลื่นในวัสดุ และ $k_0 = \omega\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}$ คือเลขคลื่นในอากาศ ในทำนองเดียวกัน μ_r และ ε_r จะสามารถนิยาม อินทรีนซิกอิมพีแดนซ์ Z ของวัสดุได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z = Z_0 \sqrt{\mu_r / \epsilon_r} \quad (5.6)$$

โดยที่ Z_0 คือ อิมพีแดนซ์ของอากาศ เท่ากับ 120π หรือประมาณ 377Ω

อินทรีนซิกอิมพีแดนซ์ คือค่าของอิมพีแดนซ์ที่พิจารณาจากคลื่นตกกระทบตั้งฉากบนระนาบขนาดใหญ่ของวัสดุ

ในทางปฏิบัติจะเป็นระนาบของชั้น ไดอิเล็กตริก ซึ่งที่ด้านหลังจะเป็นระนาบตัวนำสมบูรณ์ สำหรับกรณีโลหะแผ่นบางที่ถูกปิดทับด้วยชั้นของวัสดุไดอิเล็กตริก การนอร์มัลไลซ์อิมพีแดนซ์ทางเข้า η ในกรณีคลื่นตกกระทบตั้งฉาก สามารถกำหนดได้โดย

$$\eta = \sqrt{\mu_r / \epsilon_r} \tanh(-jk_0 d \sqrt{\mu_r / \epsilon_r}) \quad (5.7)$$

โดยที่ d คือ ความหนาของชั้น ไดอิเล็กตริก และนอร์มัลไลซ์อิมพีแดนซ์สามารถใช้หาสัมประสิทธิ์การสะท้อน $\text{Re } \Gamma$ ดังมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{Re } \Gamma = \frac{\eta - 1}{\eta + 1} \quad (5.8)$$

โดยที่ $\text{Re } \Gamma$ จะคล้ายกับ η เนื่องจากเป็นจำนวนเชิงซ้อน แต่จะมีขนาดอยู่ระหว่าง 0 และ 1 โดยทั่วไปแล้ว การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การสะท้อนจะไม่พิจารณามุมเฟส จะพิจารณาเฉพาะขนาด $|\text{Re } \Gamma|$ ดังนั้น กำลังการสะท้อน ในหน่วยเดซิเบล คือ

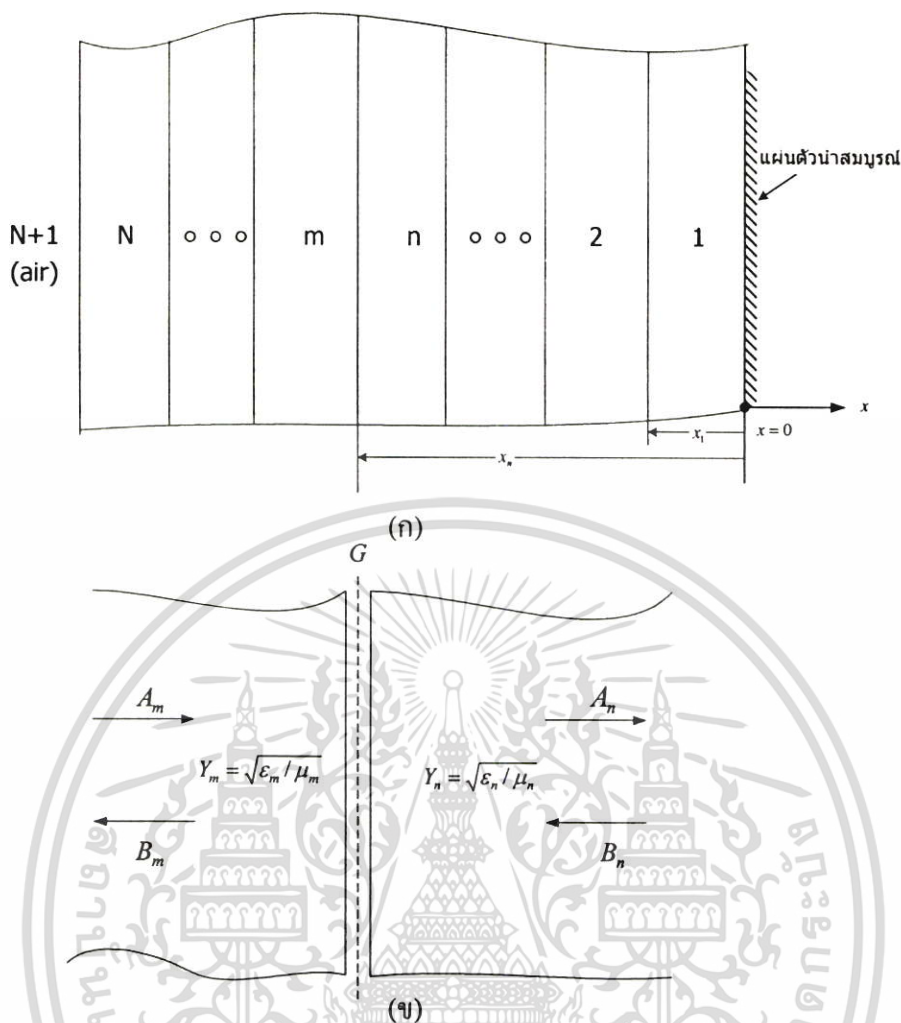
$$|\text{Re } \Gamma| \text{ (dB)} = 20 \log_{10} |\text{Re } \Gamma| \quad (5.9)$$

เนื่องจาก ในการวิเคราะห์ที่กล่าวมาข้างต้น เทอมของสัมประสิทธิ์การสะท้อน และ ค่าสภาพสะท้อนจะมีความหมายทำนองเดียวกัน สามารถใช้แทนกันได้

ดังนั้น วัตถุประสงค์ในการออกแบบวัสดุคูดซับคลื่น เพื่อที่สามารถผลิตวัสดุ ให้มีค่า $|\text{Re } \Gamma|$ น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ในขณะที่ ช่วงความถี่จะต้องกว้างเท่าที่จะทำได้เช่นกัน

5.2.2 คลื่นตกกระทบตั้งฉากบนระนาบหลายชั้นของวัสดุไดอิเล็กตริก

การพิจารณาการสะท้อนของคลื่นระนาบที่ตกกระทบตั้งฉากบนระนาบอนันต์ที่มีหลายชั้น จะเป็นปัญหาที่มีความเกี่ยวเนื่องโดยตรงกับการอธิบายเงื่อนไขขอบเขตจากสมการของแมกเวลล์ เพื่อที่จะให้ได้ผลลัพธ์สนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กในแต่ละชั้นของไดอิเล็กตริก [13]



ภาพที่ 5.1 (ก) ลำดับชั้นของแผ่นความต้านทานที่ถูกกั้นโดยวัสดุไดอิเล็กตริก (ข) แผ่นความต้านทานบางถูกประกบด้วยวัสดุไดอิเล็กตริก

จะพิจารณาจาก โครงร่างพื้นฐานของจำนวนชั้นที่จำกัดของวัสดุไดอิเล็กตริก ซึ่งด้านหลังวางไว้ด้วยแผ่นโลหะบาง ดังแสดงในภาพที่ 5.1 (ก) ซึ่งคุณสมบัติของไดอิเล็กตริกในแต่ละชั้นอาจเหมือนกัน หรือแตกต่างกันก็ได้

สมมติให้ แผ่นความต้านทานมีความบางมากถูกประกบด้วยชั้นของวัสดุ ดังแสดงในรูปที่ 6.1 (ข) ซึ่งแผ่นความต้านทานบางจะมีค่าความต้านทานในรูปของ โอห์ม ต่อ พื้นที่ หรือ อาจพิจารณาในรูปของความนำตามความสัมพันธ์ $G = R^{-1}$

สำหรับกรณีแผ่นความต้านทานที่มีอิมพีแดนซ์เชิงซ้อน ดังนั้น ค่าความต้านทาน R จะถูกแทนด้วย อิมพีแดนซ์ Z และค่าความนำ G จะถูกแทนด้วย แอดมิตแดนซ์ Y

การที่จะอธิบายให้เข้าใจอย่างง่าย จะกำหนดสัญลักษณ์ของตัวแปรต่างๆในการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้ ตัวแปร G จะหมายถึง แอดมิตแดนซ์ของแผ่นความต้านทานบาง เพื่อให้เกิดความแตก

เอกสารต่างจาก อินทรีนซิกแอดมิตแดนซ์ของชั้นไดอิเล็กตริก ซึ่งแทนด้วยตัวแปร Y นำไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์การกระเจิง คือ สมมุติฐานในรูปของสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กที่อยู่ในชั้นไดอิเล็กตริกที่ประกบแต่ละด้านของแผ่นความต้านทาน และการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างแผ่นความต้านทาน ซึ่งจะแสดงสัมประสิทธิ์ของสนามที่หนึ่งด้านของแผ่นความต้านทาน และสัมพันธ์กับสนามที่อยู่อีกด้านหนึ่ง

เนื่องจากจำนวนชั้นที่แสดงในภาพที่ 5.1 (ก) จะออกจากระนาบด้านหลัง ซึ่งทำให้ตัวแปร x เพิ่มขึ้นทางซ้ายมือ ดังนั้นคลื่นระนาบที่เคลื่อนที่ไปทางด้านบวกจะสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์ B ดังแสดงในภาพที่ 5.1 (ข)

ดังนั้น โครงสร้างของสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กในชั้นที่กำหนดจะนิยามโดย

$$E = Ae^{-jkx} + B^{jkx} \quad (5.10)$$

$$H = Y(Ae^{-jkx} - B^{jkx}) \quad (5.11)$$

โดยที่ A และ B คือ แอมพลิจูดของการแพร่กระจายคลื่นไปทางด้านหน้า และย้อนกลับตามลำดับ และ Y คือ อินทรีนซิกแอดมิตแตนซ์ของชั้นไดอิเล็กตริก การพิจารณาเงื่อนไขขอบเขต ณ บริเวณรอยต่อ ดังนี้

$$\begin{aligned} GE^+ &= GE^- = J \\ H^+ - H^- &= J \end{aligned} \quad (5.12)$$

เครื่องหมาย $^+$ และ $^-$ แสดงถึงสนามบนด้านตรงข้ามของแผ่นความต้านทาน และ J คือ กระแสไหลที่บริเวณผิวของแผ่นความต้านทาน

ถ้าใช้นิยามของเงื่อนไขขอบเขตในสมการที่ (5.12) พิจารณาสมการที่ (5.10) และ (5.11) เพื่อที่จะแยกสองตัวกลาง ดังนั้นสามารถที่จะอธิบายได้ว่า

$$A_m e^{-jk_m x_n} + B_m e^{jk_m x_n} = A_n e^{-jk_n x_n} + B_n e^{jk_n x_n} \quad (5.13)$$

$$Y_m (A_m e^{-jk_m x_n} - B_m e^{jk_m x_n}) = (G + Y_n) A_n e^{-jk_n x_n} + (G - Y_n) B_n e^{jk_n x_n} \quad (5.14)$$

จากสมการนี้ สามารถใช้เพื่อหาสัมประสิทธิ์ A_m และ B_m ในเทอมของ A_n และ B_n ได้ ดังนี้

$$A_m = \frac{e^{jk_m x_n}}{2Y_m} \left[A_n(Y_m + Y_n + G)e^{-jk_n x_n} + B_n(Y_m - Y_n + G)e^{jk_n x_n} \right] \quad (5.15)$$

$$B_m = \frac{e^{-jk_m x_n}}{2Y_m} \left[A_n(Y_m - Y_n - G)e^{-jk_n x_n} + B_n(Y_m + Y_n - G)e^{jk_n x_n} \right] \quad (5.16)$$

ขั้นตอนในการพิจารณาเริ่มด้วยการกำหนดค่าของ A_1 และ B_1 นั่นคือค่าสัมประสิทธิ์ของสนามในชั้นแรก ซึ่งจะอยู่ใกล้กับแผ่นโลหะ

กรณีการวางแผ่นโลหะไว้ด้านหลัง กำหนดให้สนามไฟฟ้าทั้งหมดหายไปบนแผ่นความต้านทาน ดังนั้นสมการที่ (5.10) ที่ตำแหน่ง $x=0$ จะได้ว่า $B_1 = -A_1$ และเมื่อกำหนดให้ $A_1 = 1$ ดังนั้น $B_1 = -1$ ซึ่งสามารถพิสูจน์เงื่อนไขข้างต้น

ถ้าในกรณีที่ไม่มีแผ่นโลหะวางด้านหลัง (แทนที่แผ่นโลหะด้วยอากาศว่าง) นั้นหมายความว่า จะไม่มีคลื่นที่เดินทางมาทางด้านซ้าย ดังนั้น $B_1 = 0$ ที่ $x=0$

ขั้นต่อไปเปลี่ยนรูปความสัมพันธ์ของสมการที่ (5.15) และ (5.16) มาใช้ที่ขอบเขตของรอยต่อชั้นแรกที่ $x = x_1$ และจะคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ A_2 และ B_2 และจะทำซ้ำลำดับไปจนกระทั่งถึงชั้น $N+1$ ซึ่งภายนอกชั้นนี้เป็นอากาศ

เนื่องจากเริ่มต้นด้วย สถานะแรกด้วยการใช้ค่า A_1 และ B_1 และผลลัพธ์สุดท้ายจะเป็น A_{N+1} และ B_{N+1} จะทำให้เกิดค่าความผิดพลาดขึ้นระหว่างชั้นของไดอิเล็กตริก

ถ้ากำหนดไม่ให้เกิดการสูญเสียออกจากโครงสร้างของชั้นไดอิเล็กตริก และคลื่นตกกระทบมีแอมพลิจูดเป็นหนึ่งหน่วย และคลื่นสะท้อนมีแอมพลิจูดเป็น $\text{Re } fl$ (สำหรับสัมประสิทธิ์การสะท้อน) ดังนั้นทุกๆค่าสัมประสิทธิ์นอร์มัลไลซ์ความถูกต้องเทียบกับ A_{N+1} และเนื่องจากการนอร์มัลไลซ์ครั้งที่ ดังนั้นสัมประสิทธิ์การสะท้อน R ซึ่งสัมพันธ์กับโครงสร้างที่ง่ายที่สุด จะสามารถนิยามได้ว่า

$$\text{Re } fl = \frac{B_{N+1}}{A_{N+1}} \quad (5.17)$$

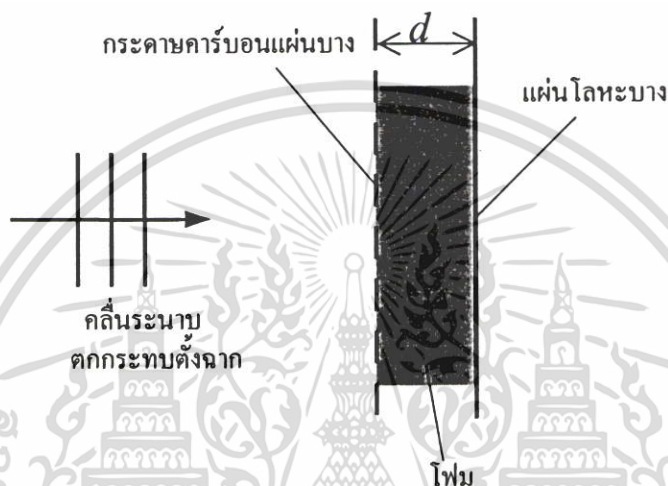
5.2.3 ซาลิสบูรีสกรีน

วัสดุดูดซับคลื่นที่มีมายาวนาน และมีโครงสร้างที่ง่ายที่สุด นั่นคือ วัสดุดูดซับคลื่น “ซาลิสบูรีสกรีน” [13]

ซาลิสบูรีสกรีน คือ วัสดุดูดซับคลื่นชนิดเรโซแนนซ์ (กล่าวคือ ดูดซับคลื่นได้ดีเฉพาะความถี่ที่ออกแบบ) ถูกสร้างขึ้น โดยการวางแผ่นความต้านทานบนวัสดุที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกต่ำ ซึ่งทำหน้าที่เป็นช่องว่าง โดยที่ด้านหลังวางด้วยแผ่นโลหะที่ทำหน้าที่เป็นแผ่นตัวนำสมบูรณ์ [13] การคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[14] โครงสร้างของซาลิสบูรีสกรีน แสดงดังภาพที่ 5.2 และวิธีการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของซาลิสบูรีสกรีน จะกำหนดให้ แผ่นความต้านทานมีความบางมาก มีค่าความนำเป็น G โดยถูกนอร์มัลไลซ์เทียบกับอากาศ และวางห่างจากแผ่นโลหะด้วยระยะ d

โดยทั่วไปแล้วจะใช้โฟม ทำหน้าที่เป็นชั้น ไดอิเล็กตริก ที่กั้นระหว่างแผ่นความต้านทานกับแผ่นโลหะ ดังนั้นค่าคงที่ไดอิเล็กตริกจะอยู่ในช่วง 1.03 ถึง 1.1 และเพื่อวิเคราะห์อย่างง่าย การนอร์มัลไลซ์สภาพยอมของชั้นไดอิเล็กตริก (โฟม) จะกำหนดให้เท่ากับอากาศ ดังนั้น $\epsilon_r = 1$



ภาพที่ 5.2 โครงสร้างซาลิสบูรีสกรีน

พิจารณาสมการที่ (5.17) สัมประสิทธิ์การสะท้อนของวัสดุไดอิเล็กตริกหลายชั้น จะมีค่าเป็นศูนย์ ต่อเมื่อ B_{N+1} ถูกทำให้มีค่าเป็นศูนย์

และในกรณีของซาลิสบูรีสกรีน แทนเงื่อนไขต่างๆที่กำหนดไว้ข้างต้นลงในสมการที่ (5.16) จะได้

$$B_{N+1} = B_2 = \frac{e^{-jkd}}{2} \left[-Ge^{-jkd} - (2-G)e^{jkd} \right] \quad (5.18)$$

โดยที่กำหนดให้ $Y_1 = Y_2 = 1$ (อากาศ) และ $k_2 = k_0 = \frac{2\pi}{\lambda}$ (เลขคลื่นในอากาศ)

ขนาดของ $B_2 = 0$ ก็ต่อเมื่อค่าในเครื่องหมายวงเล็บเท่ากับศูนย์ นั่นหมายความว่าขนาดของสมการเอ็กซ์โพเนนเชียลสองค่าในวงเล็บจะต้องเท่ากันและเฟสต้องตรงข้ามกัน ดังนั้นการเท่ากันของแอมพลิจูดจะต้องบังคับให้ค่า G เท่ากับ 1 หรือในทำนองเดียวกันค่าความต้านทานของแผ่นความต้านทานบางโดยไม่ทำกรนอร์มัลไลซ์ คือ 377 โอห์มต่อพื้นที่ ดังนั้นในกรณีนี้สมการที่ (5.18) จะกลายเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$B_2 = -e^{-jkd} \frac{e^{jkd} + e^{-jkd}}{2} = -e^{-jkd} \cos \frac{2\pi d}{\lambda} \quad (5.19)$$

โดยเงื่อนไข เมื่อต้องการให้ $B_2 = 0$ ดังนั้น $\cos(2\pi d/\lambda)$ จะต้องเท่ากับศูนย์ ซึ่งจะหมายถึง

$$\frac{2d}{\lambda} = \frac{\pi}{2} + n\pi, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

หรือ

$$d = \frac{\lambda}{4} + \frac{n\lambda}{2}, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (5.20)$$

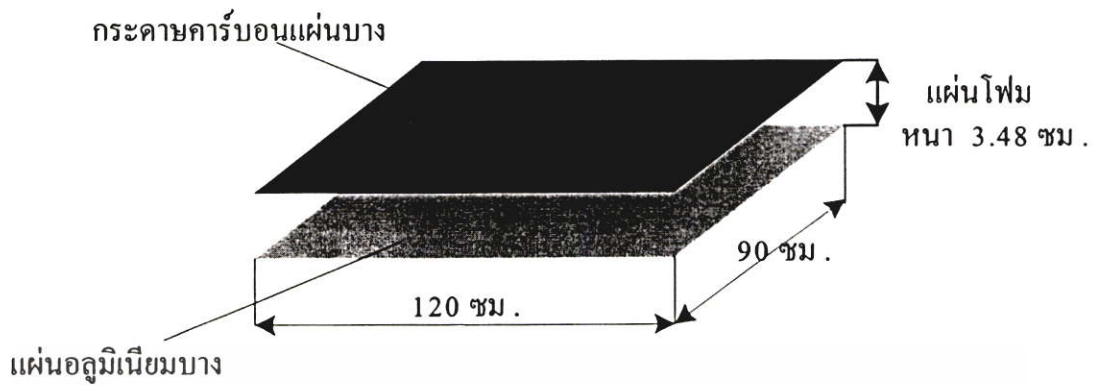
ดังนั้น สำหรับค่าสภาพสะท้อนจะเท่ากับศูนย์ต่อเมื่อแผ่นความต้านทานหรือซาลิสบูรีสกรีนต้องการ 377 โอห์มต่อพื้นที่ และการวางตำแหน่งของแผ่นความต้านทานจะต้องวางไว้ด้านหน้าของแผ่น โลหะหรือแผ่นตัวนำสมบูรณ์ด้วยระยะ $\frac{1}{4}$ หรือเพิ่มขึ้นไปเป็นตัวเลขจำนวนคี่ $(\frac{1}{4}, \frac{3}{4}, \frac{5}{4}, \dots)$ ของความยาวคลื่น (λ) นั่นเอง

เมื่อพิจารณาเงื่อนไขในสมการที่ (5.20) ในบทนี้จึงได้ออกแบบ และสร้างวัสดุคูดซ์คลื่นชนิดซาลิสบูรีสกรีน ดังมีเงื่อนไขในการออกแบบดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 การออกแบบวัสดุคูดซ์คลื่น ซาลิสบูรีสกรีน

ความถี่กลางในการออกแบบ	2.15 กิกะเฮิร์ตซ์
ระยะห่างระหว่างแผ่นความต้านทานกับแผ่นตัวนำ (d)	$d = \frac{\lambda}{4} = \frac{\left(\frac{3 \times 10^8}{2.15 \times 10^9} \right)}{4} = 3.48$ เซนติเมตร
แผ่นความต้านทาน (ซาลิสบูรี สกรีน)	กระดาษคาร์บอนแผ่นบาง $\epsilon_r = 3, \mu_r = 1, \tan \delta = 8 \times 10^{-3}$ $\sigma = 3 \times 10^4 \text{ S/m}$
วัสดุไดอิเล็กตริก ที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกต่ำ	โฟม $\epsilon_r = 1.03, \mu_r = 1, \tan \delta = 1 \times 10^{-4}$
แผ่นตัวนำสมบูรณ์	แผ่นอลูมิเนียมบาง $\sigma = 3.96 \times 10^7 \text{ S/m}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



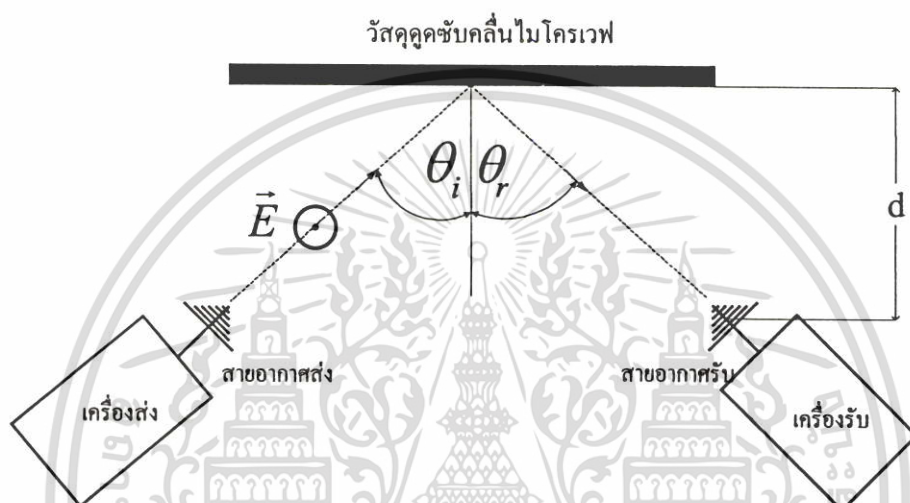
ภาพที่ 5.3 ขนาดที่ใช้งานของวัสดุคูดซ์บกลื่นชนิดชาลิสบูรีสกรีน



ภาพที่ 5.4 การสร้างวัสดุคูดซ์บกลื่นชนิดชาลิสบูรีสกรีนแผ่นบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุดูดซับคลื่นซาลิสบูริสกริน ทำได้โดยการหาสัมประสิทธิ์การสะท้อน ด้วยการวัดการสูญเสียเนื่องจากการส่งผ่าน (S_{21}) ของวัสดุดูดซับคลื่นเทียบกับแผ่นตัวนำสมบูรณ์ (แผ่นโลหะ) กล่าวคือ ปล่อยคลื่นระนาบสม่ำเสมอไปตกกระทบลงบนแผ่นซาลิสบูริสกริน และจากนั้นแทนที่ด้วยแผ่นโลหะ แล้วเปรียบเทียบค่าของแอมพลิจูดของสัญญาณที่รับได้ ดังนั้นจะสามารถทราบได้ว่าวัสดุดูดซับคลื่นที่ออกแบบ สามารถดูดซับคลื่นได้ดีเพียงใดเมื่อเทียบกับแผ่นโลหะ ดังแสดงในภาพที่ 5.5



ภาพที่ 5.5 การจัดการทดลองเพื่อหาคูสมบัตินของวัสดุดูดซับคลื่น

ดังนั้นจากวัสดุดูดซับคลื่นไม่โคโรเวฟ ชนิดซาลิสบูริสกรินที่ออกแบบ ปล่อยคลื่นระนาบให้ตกกระทบกับวัสดุดูดซับคลื่น ผลการวัดการสูญเสียเนื่องจากการส่งผ่าน (S_{21}) เมื่อปล่อยคลื่นระนาบสม่ำเสมอมาตกกระทบตั้งฉากลงบนวัสดุดูดซับคลื่นไม่โคโรเวฟ ชนิดซาลิสบูริสกรินบางมาก และสามารถดูดซับคลื่นที่ความถี่ออกแบบ 2.15 กิกะเฮิรตซ์ ได้ -28 dB (เทียบกับโลหะ) แสดงได้ดังภาพที่ 5.6

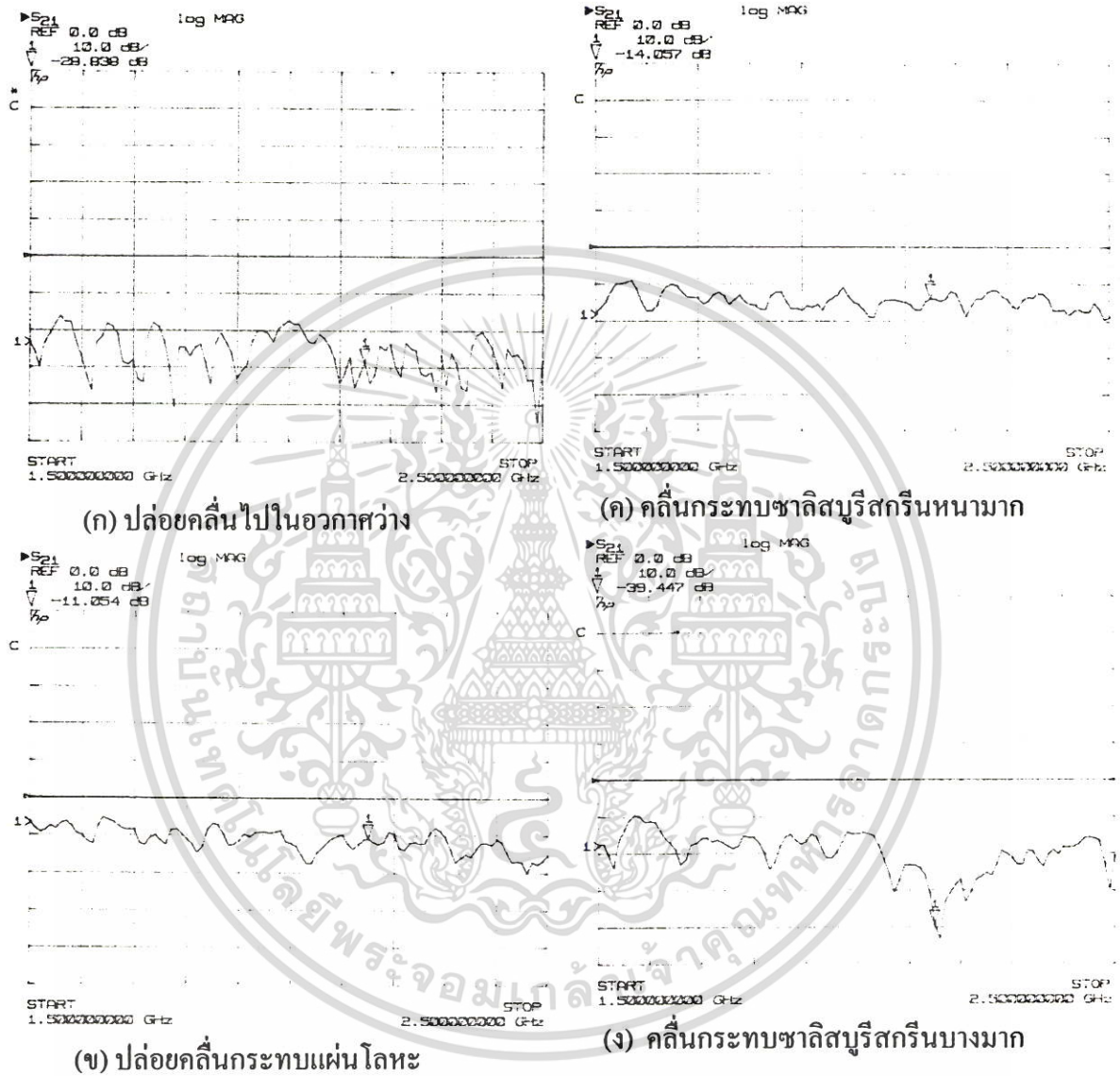
5.3 การออกแบบห้องทดสอบสายอากาศ

จากที่ได้อธิบายในบทที่ผ่านมาแล้วว่า หลักการสำคัญของห้องทดสอบสายอากาศคือ การจำลองสภาวะอวกาศว่าง (Free space) ในบริเวณที่จำกัด

สภาวะอวกาศว่าง กล่าวคือ จะไม่เกิดคลื่นสะท้อน และความเข้มของสนามไฟฟ้าจะแปรผกผันกับระยะทางระหว่างสายอากาศ

ในการที่จะออกแบบให้ห้องทดสอบสายอากาศอยู่ในสภาวะอวกาศว่าง สิ่งแรกที่จะต้องพิจารณา คือ ขนาดทางกายภาพของห้องทดสอบจะต้องมีขนาดใหญ่มากเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นการดำเนินการใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของความถี่ที่ใช้งาน และสิ่งต่อมาที่จะต้องพิจารณาคือ วัสดุดูดซับคลื่นที่ใช้ภายในห้องทดสอบ จะต้องสามารถดูดซับคลื่นได้ทุกย่านความถี่ที่ใช้งาน ทุกๆมุมตกกระทบ และทุกการโพลาไรซ์ของ คลื่นตกกระทบ ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นการยากมากที่จะปฏิบัติได้จริง



ภาพที่ 5.6 อัตราการสูญเสียเนื่องจากการส่งผ่านของวัสดุดูดซับคลื่นซาลิสบูรีสกรีน

ในบทนี้ได้ออกแบบ สร้างห้องทดสอบสายอากาศขนาดเล็ก ที่ย่านความถี่ 1.8 ถึง 2.5 กิกะเฮิรตซ์ โดยภายในบุด้วยวัสดุดูดซับคลื่นชนิดซาลิสบูรีสกรีน

ในภาพที่ 5.7 แสดงขนาดทางกายภาพของห้องทดสอบสายอากาศ เมื่อขนาดของห้อง ทดสอบมีขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่นมากๆ และถ้าวัสดุดูดซับคลื่นเป็นไปตามอุดมคติ ห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

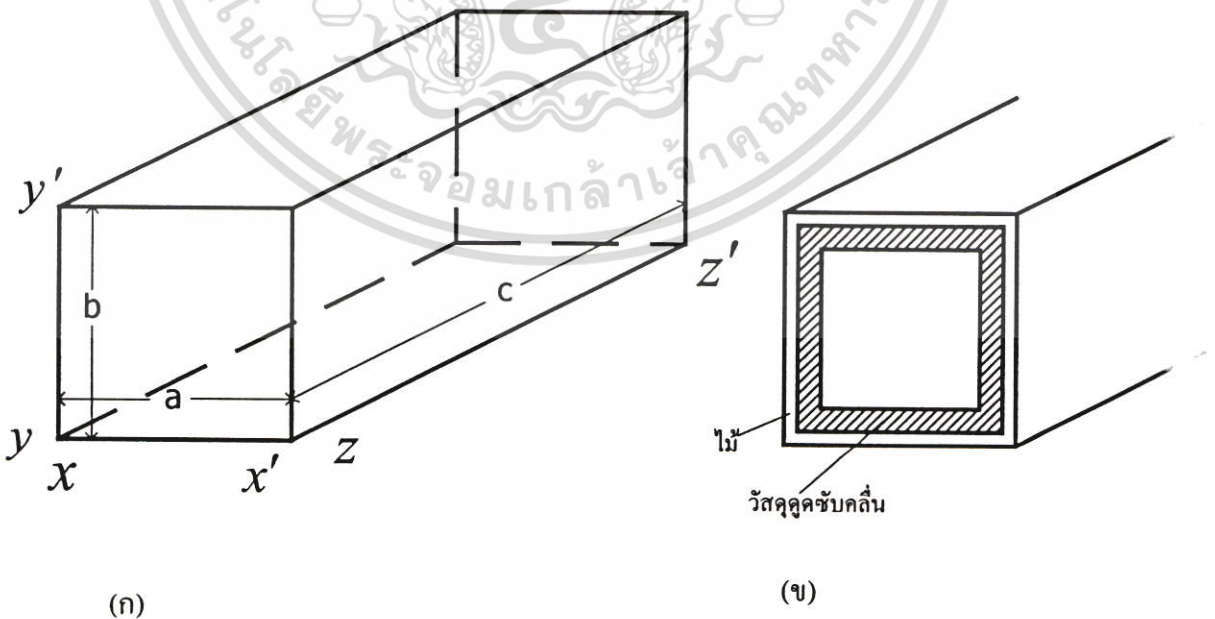
ทดสอบสายอากาศจะสามารถใช้งานได้ในทิศทาง $x-x'$ หรือ $z-z'$ และการกระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในห้องทดสอบจะเป็นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลแสดงดังภาพที่ 5.8 (ก)

แต่ในกรณีที่ห้องทดสอบที่ทำการออกแบบมีขนาดของพื้นที่หน้าตัด ($a \times b$) มีขนาดเท่ากับความยาวคลื่น หรือมากกว่าเพียงเล็กน้อย ($a = b = (1 \sim 2)\lambda$, $c > a$) ดังนั้นห้องทดสอบสายอากาศจะสามารถใช้งานได้เพียงด้านเดียวเท่านั้นคือ $z-z'$ และการกระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเป็นไปตามภาพที่ 5.8 (ข)

ในกรณีที่ความยาวของห้องทดสอบไม่เพียงพอและวัสดุดูดซับคลื่นมีคุณสมบัติที่จำกัดคือใช้งานได้ดีเฉพาะความถี่ที่ออกแบบ และมุมตกกระทบบางมุม การกระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าภายในห้องทดสอบจะเป็นไปตามเส้นประในภาพที่ 5.8 (ข) ในกรณีเช่นนี้ไม่จำเป็นจะต้องใช้วัสดุดูดซับคลื่นที่มีความสมบูรณ์ที่สุด กล่าวคือมีคุณสมบัติการสะท้อนที่คลื่นระนาบตกกระทบตั้งฉากกับวัสดุดูดซับคลื่นนั้น เนื่องจากว่าห้องทดสอบสายอากาศขนาดเล็กนี้ไม่สามารถทำให้คลื่นที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศเป็นคลื่นระนาบอย่างแท้จริงได้

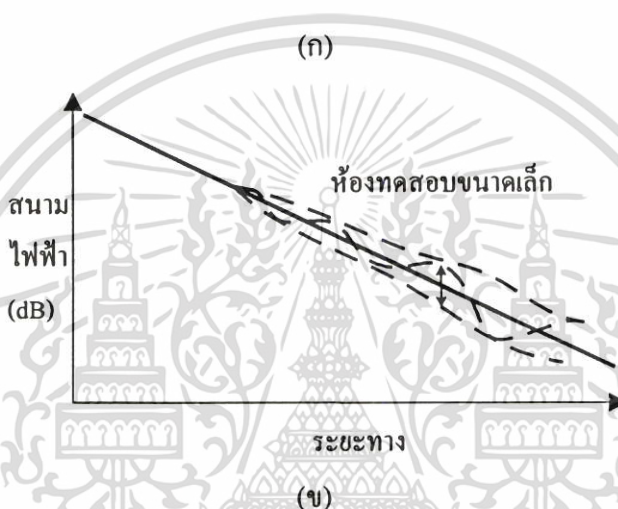
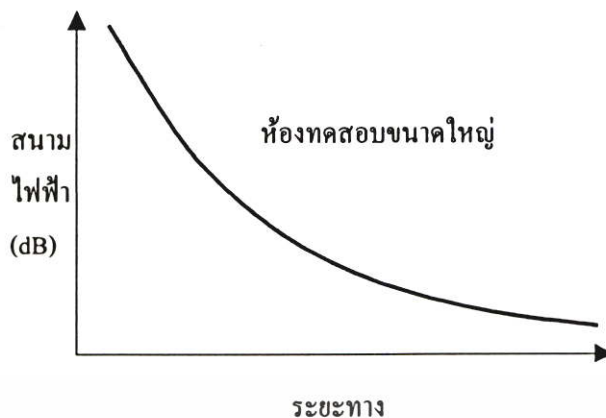
แต่ห้องทดสอบสายอากาศควรจะถูกออกแบบมาเพื่อให้อัตราส่วนของคลื่นนิ่ง (Standing wave) ที่บริเวณทดสอบ (ตำแหน่งที่วางสายอากาศทดสอบ) หรือเรียกว่าค่าสภาพสะท้อน (Reflectivity level) ควรจะให้มีความต่ำกว่าระดับที่สามารถยอมรับได้

ขนาดของห้องทดสอบที่ออกแบบในบทนี้คือ ($a \times b \times c$) เท่ากับ 1.2 ม. \times 1.2 ม. \times 2.2 ม. ตามลำดับ



ภาพที่ 5.7 (ก) ขนาดของห้องทดสอบสายอากาศ (ข) พื้นที่หน้าตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.8 การแพร่กระจายคลื่น (ก) ห้องทดสอบขนาดใหญ่ (ข) ห้องทดสอบขนาดเล็ก

5.4 การประเมินคุณสมบัติ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการประเมินคุณสมบัติของห้องทดสอบสายอากาศด้วยวิธีอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันในอวกาศว่าง (Free space VSWR method) เพื่อหาค่าสภาพสะท้อนที่ตำแหน่งต่างๆภายในห้องทดสอบสายอากาศ โดยกระทำที่ความถี่ 1.8 ถึง 2.5 กิกะเฮิรตซ์ ทั้งนี้เพื่อใช้ทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศขนาดเล็กที่ออกแบบมาในช่วงความถี่ดังกล่าว

จากที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 4 (หัวข้อที่ 4.3) ในการประเมินคุณสมบัติสายอากาศด้วยวิธีอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันในอวกาศว่าง มีนัยสำคัญคือ เพื่อหาแบบรูปการแทรกสอดของคลื่นทางตรง (E_D) และคลื่นสะท้อน (E_R) และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาค่าสภาพสะท้อน ($Re \Gamma$) (Reflectivity Level) ตามความสัมพันธ์

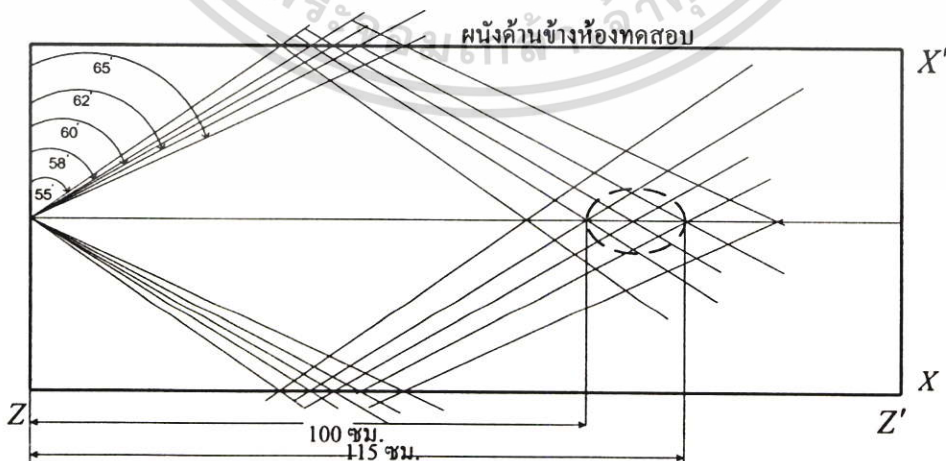
$$Re \Gamma = 20 \log \frac{E_R}{E_D} \quad (5.21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อที่จะได้มาซึ่งค่าสภาพสะท้อนที่ถูกต้อง จะต้องมีกรวางเงื่อนไขในการทดลองที่เหมาะสม และเพียงพอ กล่าวคือ จำนวนจุดที่ทดสอบภายในบริเวณทดสอบที่กำหนดไว้อย่างชัดเจน (บริเวณไร้มืดสะท้อน) จะต้องเพียงพอที่จะให้เกิดปรากฏการณ์การแทรกสอดของคลื่นแบบเสริมและหักล้างกัน

เงื่อนไขในการทดลอง

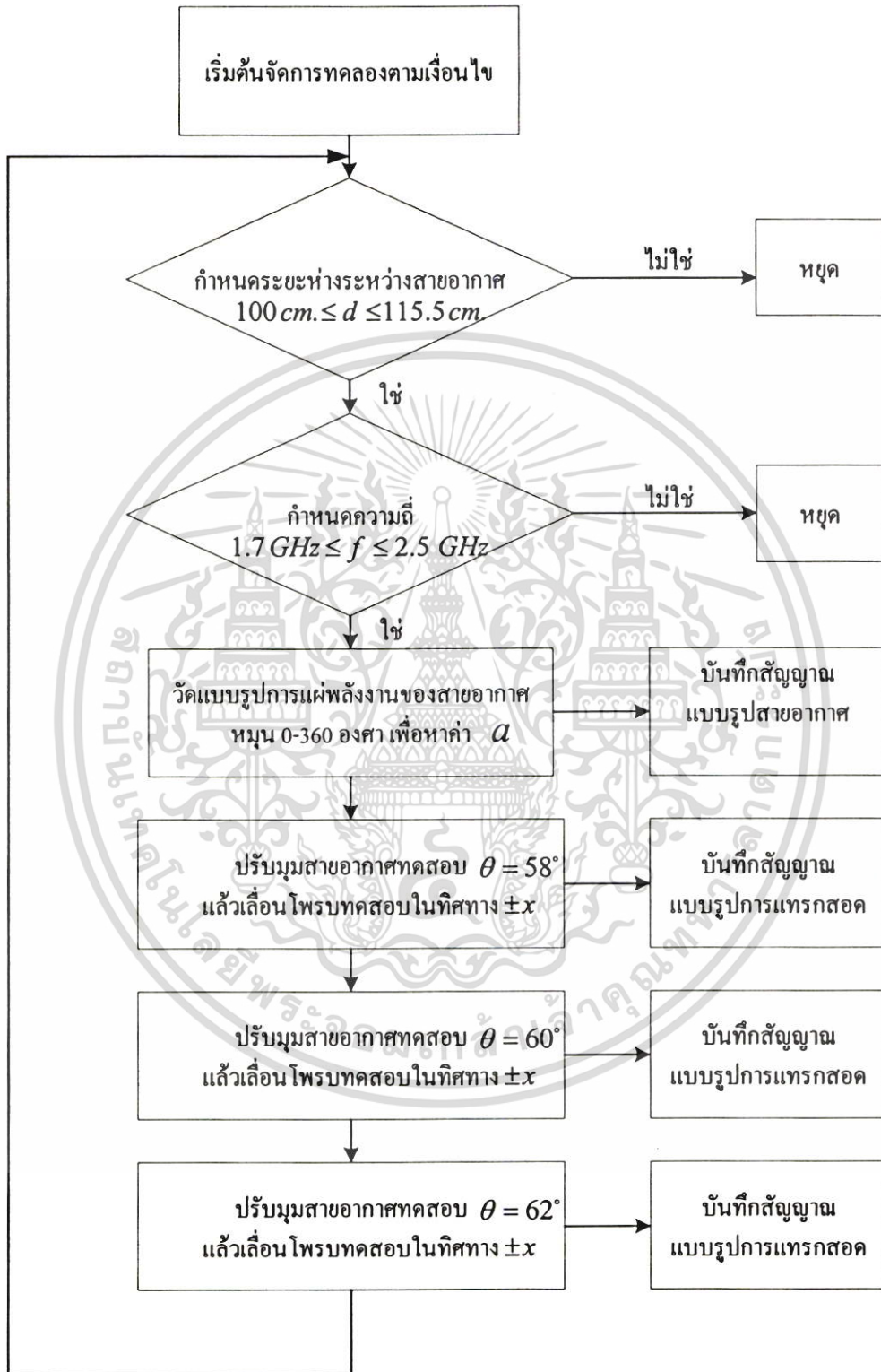
- 1) กำหนดความถี่ในการทดลองที่ 1.7, 1.8, 1.9, 2.0, 2.1, 2.15, 2.2, 2.3, 2.4, และ 2.5 กิกะเฮิร์ตซ์
- 2) สายอากาศส่งเป็นชนิด ล็อกพีรีออดิก (Log Periodic Antenna)
- 3) สายอากาศทดสอบเป็น ล็อกพีรีออดิก (Log Periodic Antenna)
- 4) กำหนดให้สายอากาศทดสอบทำมุม θ ในระนาบมุมทิศ (Azimuth) โดยมีการเปลี่ยนแปลงจาก 58 60 และ 62 องศา (กำหนดตามหลักการ การลากเส้นเชิงเรขาคณิต รูปภาพประกอบได้จากภาพที่ 5.9)
- 5) ระยะห่างของสายอากาศส่ง และสายอากาศทดสอบเปลี่ยนแปลงระหว่าง 100 ซม. ถึง 115.5 ซม. (ซึ่งอยู่ในกฎเกณฑ์การแพร่กระจายคลื่นระยะไกลของสายอากาศ ($R \geq \frac{2D^2}{\lambda}$) โดยมีการเปลี่ยนตำแหน่งของสายอากาศทดสอบไปในทิศทาง $z-z'$ (ตามภาพที่ 5.7 (ก))
- 6) กำหนดการเคลื่อนที่ (การกวาด) ของสายอากาศทดสอบไปในทิศทางแกน $x-x'$ (ตามภาพที่ 5.7 (ก) โดยเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องครั้งละ 0.5 ซม.
- 7) กำหนดให้สายอากาศส่งต่อกับ พอร์ทที่ 1 และสายอากาศทดสอบต่อกับ พอร์ทที่ 2 ของเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย HP 8530A โดยจะทำการวัดการสูญเสียเนื่องจากการส่งผ่าน (S_{21}) โดยที่ด้านส่งมีกำลังงาน 0 dBm และจะบันทึกสัญญาณที่ได้จากด้านรับในหน่วย dB เช่นกัน



ภาพที่ 5.9 การลากเส้นเชิงเรขาคณิตสำหรับห้องทดสอบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

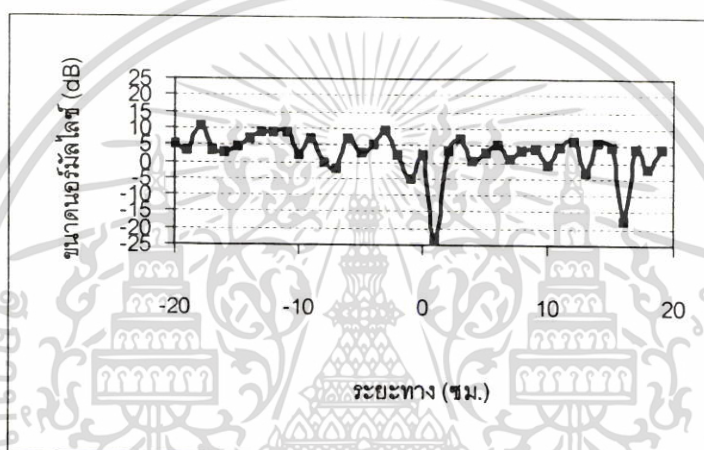


ขั้นตอนการประเมินคุณสมบัติห้องทดสอบแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

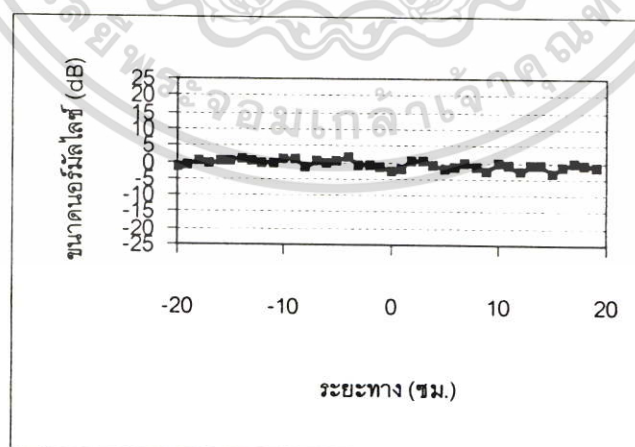
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 ผลการทดลอง

เนื่องจากผลการทดลองคือ การวัดแบบรูปการแทรกสอดของคลื่น โดยกระทำที่ความถี่ 1.8 1.9 2.0 2.1 2.15 2.2 2.3 2.4 และ 2.5 กิกะเฮิรตซ์ และปรับมุมการกวาดของสายอากาศทดสอบที่มุม 58 60 และ 62 องศา ตามลำดับ และเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างสายอากาศที่ระยะ 100 102.5 104.5 105.5 107.5 110.5 112.5 และ 115.5 ซม. ตามลำดับ ดังนั้นแบบรูปการแทรกสอดของคลื่นที่ทดลองได้จะมีมากถึง 240 แบบรูป ดังนั้นในที่นี้จึงได้แสดงตัวอย่างของแบบรูปการแทรกสอดเพียง บางตัวอย่างเท่านั้น ดังนี้

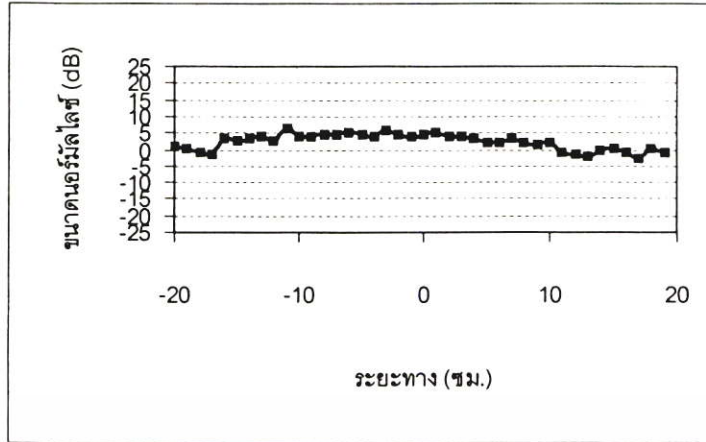


ภาพที่ 5.10 แบบรูปการแทรกสอด ปรับมุมสายอากาศทดสอบ 58 องศา ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 100.0 ซม. ความถี่ 1.7 กิกะเฮิรตซ์

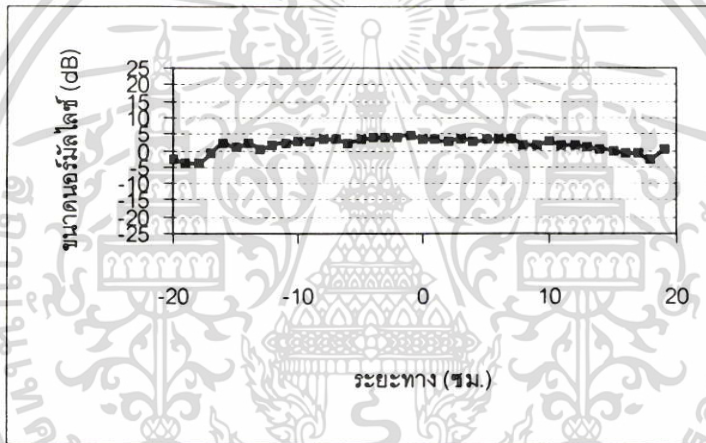


ภาพที่ 5.11 แบบรูปการแทรกสอด ปรับมุมสายอากาศทดสอบ 60 องศา ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 102.5 ซม. ความถี่ 1.8 กิกะเฮิรตซ์

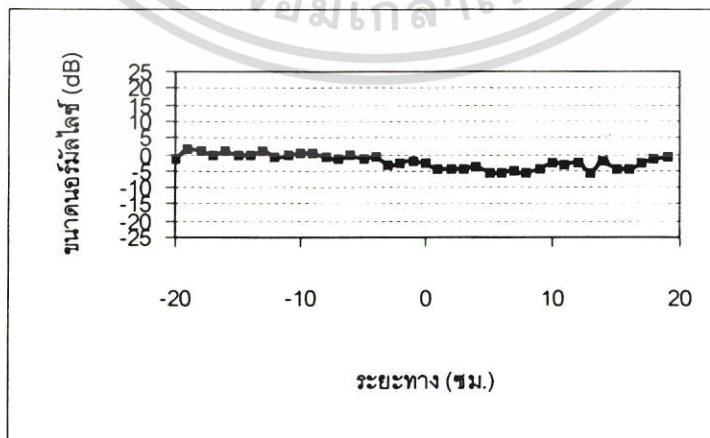
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.12 แบบรูปการแทรกสอด ปรับมุมสายอากาศทดสอบ 62 องศา ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 104.5 ซม. ความถี่ 1.9 กิโลเฮิร์ตซ์

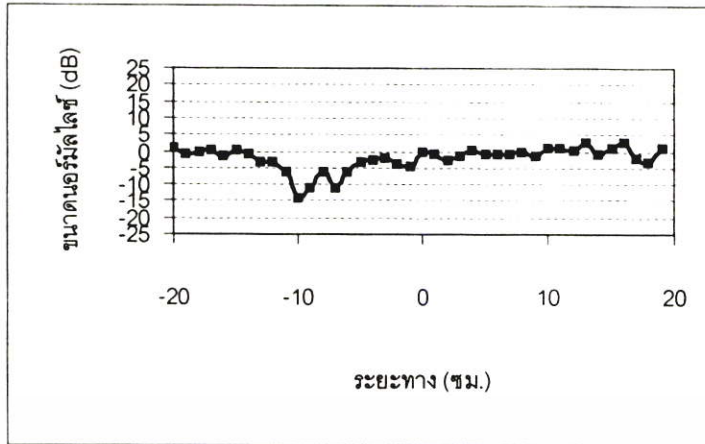


ภาพที่ 5.13 แบบรูปการแทรกสอด ปรับมุมสายอากาศทดสอบ 58 องศา ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 105.5 ซม. ความถี่ 2.0 กิโลเฮิร์ตซ์

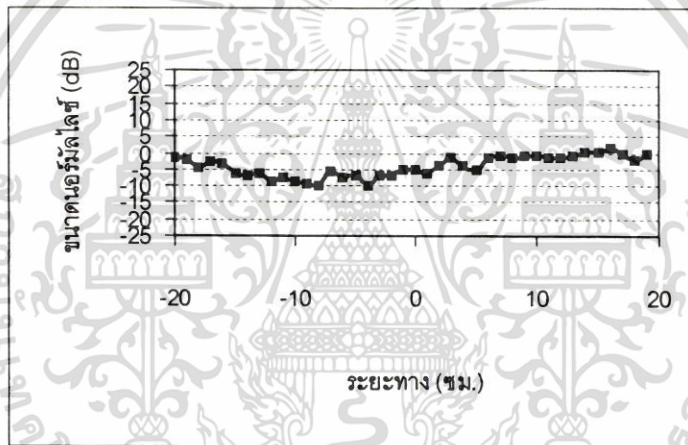


ภาพที่ 5.14 แบบรูปการแทรกสอด ปรับมุมสายอากาศทดสอบ 60 องศา ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 107.5 ซม. ความถี่ 2.1 กิโลเฮิร์ตซ์

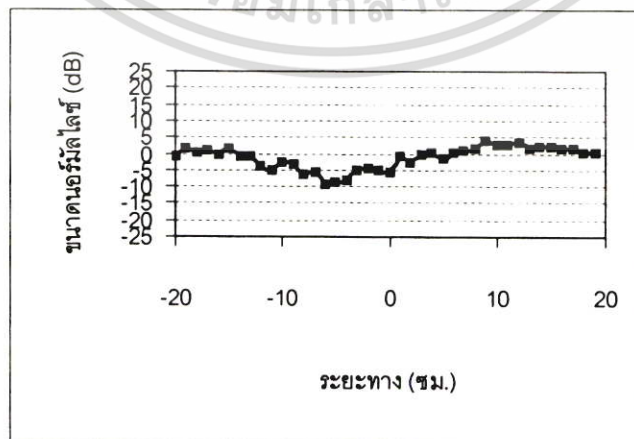
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.15 แบบรูปการแทรกสอด ปรับมุมสายอากาศทดสอบ 62 องศา ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 110.5 ซม. ความถี่ 2.15 กิกะเฮิรตซ์

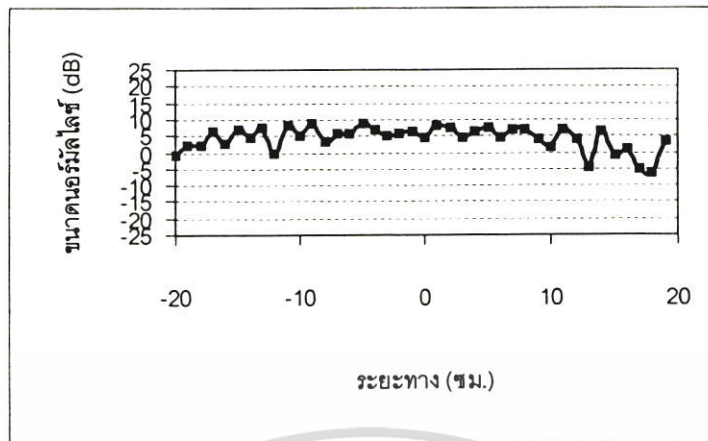


ภาพที่ 5.16 แบบรูปการแทรกสอด ปรับมุมสายอากาศทดสอบ 58 องศา ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 112.5 ซม. ความถี่ 2.2 กิกะเฮิรตซ์

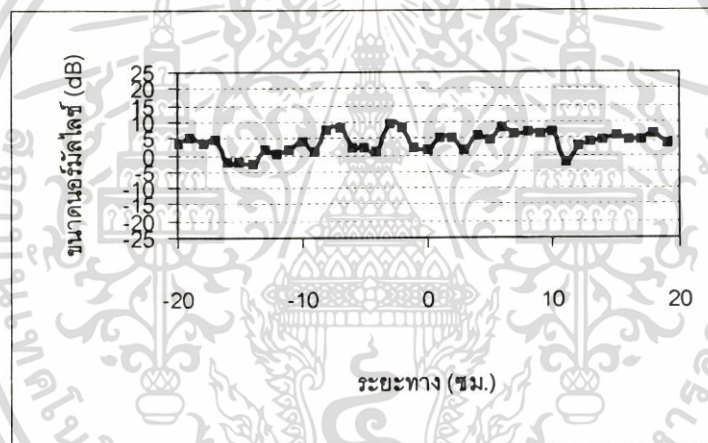


ภาพที่ 5.17 แบบรูปการแทรกสอด ปรับมุมสายอากาศทดสอบ 60 องศา ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 115.5 ซม. ความถี่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



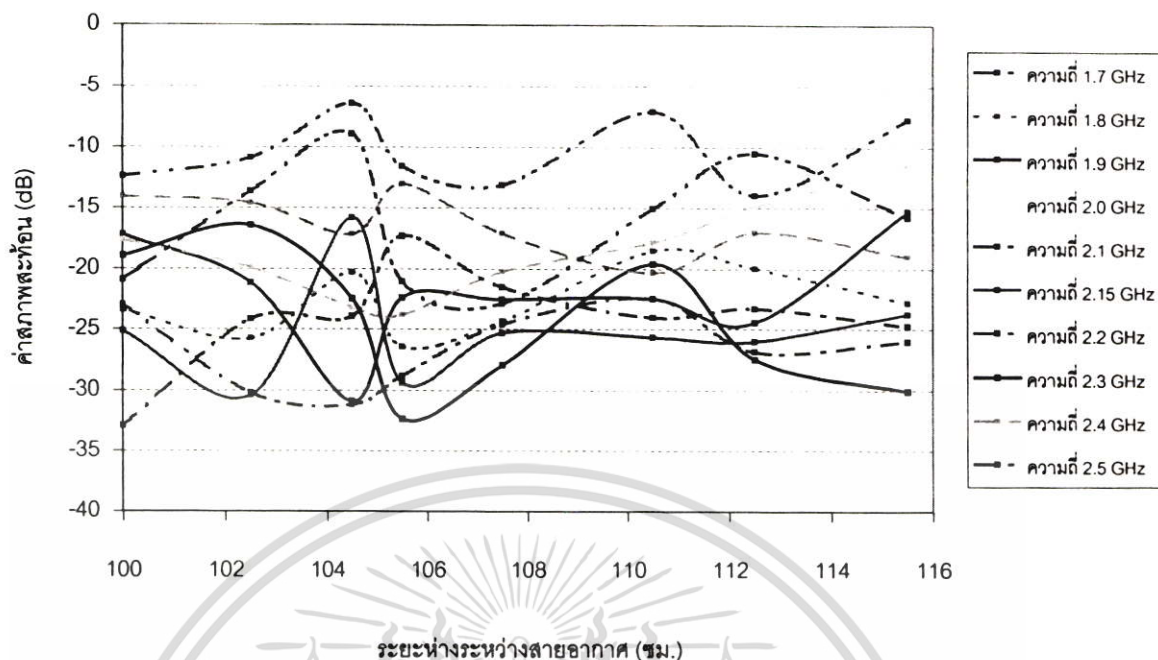
ภาพที่ 5.18 แบบรูปการแทรกสอด ปรับมุมสายอากาศทดสอบ 62 องศา ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 110.5 ซม. ความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์



ภาพที่ 5.19 แบบรูปการแทรกสอด ปรับมุมสายอากาศทดสอบ 58 องศา ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 107.5 ซม. ความถี่ 2.5 กิกะเฮิรตซ์

เมื่อนำแบบรูปการแทรกสอดทั้งหมดมาวิเคราะห์ตามหลักการที่อธิบายในบทที่ 4 หัวข้อที่ 4.2.1 (การวิเคราะห์การแทรกสอดของคลื่น) เพื่อหาค่าสภาพสะท้อนที่ตำแหน่งต่างๆภายในห้องทดสอบสายอากาศ โดยกำหนดระยะห่างระหว่างสายอากาศส่ง กับสายอากาศทดสอบอยู่ในช่วง 100 102.5 104.5 105.5 107.5 110.5 112.5 และ 115.5 เซนติเมตร ตามลำดับ และเปลี่ยนแปลงความถี่ในการทดสอบจาก 1.7 1.8 1.9 2.0 2.1 2.15 2.2 2.3 2.4 และ 2.5 กิกะเฮิรตซ์ กำหนดให้ปรับมุมของสายอากาศทดสอบไปที่มุม 58 60 และ 62 องศา ผลการวิเคราะห์ตามเงื่อนไขดังกล่าวจะแสดงผลได้ดังภาพที่ 5.20 จากภาพแกนนอนเป็นระยะห่างระหว่างสายอากาศ (ชม.) แกนตั้งเป็นระดับค่าสภาพสะท้อน (dB) โดยแสดงทุกความถี่ทดสอบ (1.7-2.5 กิกะเฮิรตซ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.20 ค่าสภาพสะท้อนในฟังก์ชันของระยะห่างระหว่างสายอากาศ

จากกราฟค่าสภาพสะท้อนด้านบน เพื่อที่จะอธิบายให้เข้าใจง่ายขึ้น จึงนำมาเขียนเป็นตาราง โดยที่แนวตั้งเป็นระยะห่างระหว่างสายอากาศ และแนวนอนเป็นความถี่ ดังนี้

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าสภาพสะท้อนที่ความถี่ และระยะห่างระหว่างสายอากาศค่าต่างๆ

Refl (dB)	Frequency (GHz)									
d (cm.)	1.7	1.8	1.9	2	2.1	2.15	2.2	2.3	2.4	2.5
100	-12.42	-23.42	-17.23	-17.66	-32.94	-25.15	-22.99	-18.95	-14.08	-20.91
102.5	-10.9	-25.78	-21.17	-19.92	-24.19	-30.42	-30.22	-16.48	-14.6	-13.64
104.5	-6.41	-20.31	-30.92	-23.25	-23.95	-15.84	-31.19	-22.52	-17.19	-8.94
105.5	-11.59	-26.45	-22.43	-23.83	-17.33	-29.39	-28.83	-32.41	-13.06	-21.07
107.5	-13.12	-24.34	-22.56	-20.25	-21.53	-25.33	-24.63	-27.95	-17.12	-22.89
110.5	-7.09	-18.55	-22.52	-17.85	-24.05	-25.69	-22.5	-19.63	-20.34	-15.09
112.5	-13.97	-19.97	-24.47	-14.9	-23.3	-26.02	-26.85	-27.5	-17.05	-10.54
115.5	-7.75	-22.82	-15.33	-11.58	-24.76	-23.76	-21.01	-30.1	-19.03	-15.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถสรุป โดยแบ่งเป็นแต่ละกรณีดังนี้

- 1) ที่ความถี่ 1.7 กิโลเฮิร์ตซ์ ค่าสภาพสะท้อนที่ต่ำที่สุดเท่ากับ -13.97 dB ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 112.5 ซม. และขนาดทางกายภาพของสายอากาศทดสอบไม่เกิน 2λ
- 2) ที่ความถี่ 1.8 กิโลเฮิร์ตซ์ ค่าสภาพสะท้อนที่ต่ำที่สุดเท่ากับ -26.45 dB ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 105.5 ซม. และขนาดทางกายภาพของสายอากาศทดสอบไม่เกิน 2λ
- 3) ที่ความถี่ 1.9 กิโลเฮิร์ตซ์ ค่าสภาพสะท้อนที่ต่ำที่สุดเท่ากับ -30.92 dB ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 104.5 ซม. และขนาดทางกายภาพของสายอากาศทดสอบไม่เกิน 2λ
- 4) ที่ความถี่ 2.0 กิโลเฮิร์ตซ์ ค่าสภาพสะท้อนที่ต่ำที่สุดเท่ากับ -23.83 dB ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 105.5 ซม. และขนาดทางกายภาพของสายอากาศทดสอบไม่เกิน 2λ
- 5) ที่ความถี่ 2.1 กิโลเฮิร์ตซ์ ค่าสภาพสะท้อนที่ต่ำที่สุดเท่ากับ -32.94 dB ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 100.0 ซม. และขนาดทางกายภาพของสายอากาศทดสอบไม่เกิน 2λ
- 6) ที่ความถี่ 2.15 กิโลเฮิร์ตซ์ ค่าสภาพสะท้อนที่ต่ำที่สุดเท่ากับ -30.42 dB ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 102.5 ซม. และขนาดทางกายภาพของสายอากาศทดสอบไม่เกิน 2λ
- 7) ที่ความถี่ 2.2 กิโลเฮิร์ตซ์ ค่าสภาพสะท้อนที่ต่ำที่สุดเท่ากับ -31.19 dB ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 104.5 ซม. และขนาดทางกายภาพของสายอากาศทดสอบไม่เกิน 2λ
- 8) ที่ความถี่ 2.3 กิโลเฮิร์ตซ์ ค่าสภาพสะท้อนที่ต่ำที่สุดเท่ากับ -32.41 dB ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 105.5 ซม. และขนาดทางกายภาพของสายอากาศทดสอบไม่เกิน 2λ
- 9) ที่ความถี่ 2.4 กิโลเฮิร์ตซ์ ค่าสภาพสะท้อนที่ต่ำที่สุดเท่ากับ -20.34 dB ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 110.5 ซม. และขนาดทางกายภาพของสายอากาศทดสอบไม่เกิน 2λ
- 10) ที่ความถี่ 2.5 กิโลเฮิร์ตซ์ ค่าสภาพสะท้อนที่ต่ำที่สุดเท่ากับ -22.89 dB ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 107.5 ซม. และขนาดทางกายภาพของสายอากาศทดสอบไม่เกิน 2λ

จากผลที่ได้เมื่อวิเคราะห์ที่ความถี่ 1.7 ถึง 2.5 กิโลเฮิร์ตซ์ เพื่อหากราฟขีดเซกความผิดพลาดโดยอาศัยนิยามพื้นฐานของแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ (P) หมายถึงระดับสัญญาณที่สามารถรับได้โดยเป็นการรวมกันของคลื่นทางตรง และคลื่นสะท้อน เขียนเป็นสมการได้ว่า

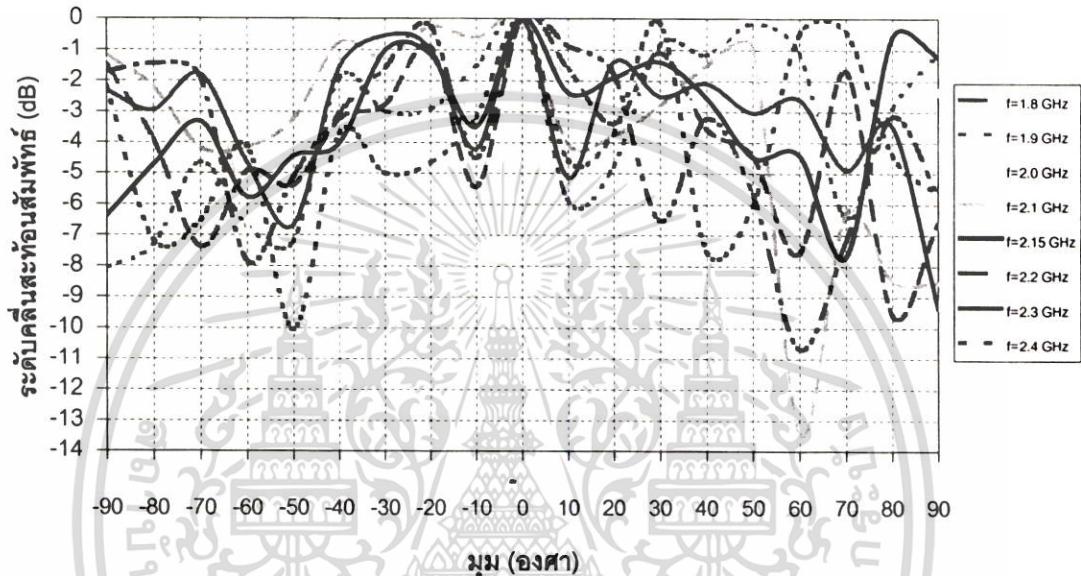
$$P(\text{dB}) = E_R(\text{dB}) + E_D(\text{dB}) \quad (5.22)$$

และนิยามของค่าสภาพสะท้อนคือ ระดับของสัญญาณที่แตกต่างกันระหว่างคลื่นสะท้อน และคลื่นทางตรง เขียนเป็นสมการได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Re\ fl(dB) = E_R(dB) - E_D(dB) \quad (5.23)$$

ถ้าพิจารณาสมการที่ (5.22) เมื่อต้องการทราบค่าที่ถูกต้องของแบบรูปสายอากาศ จะต้องชดเชยด้วยการลบระดับของคลื่นสะท้อนออกจากทุกๆมุมในการทดสอบ โดยระดับของคลื่นสะท้อนสัมพันธ์หาได้จากกรณอร์มัลไลซ์กราฟค่าสภาพสะท้อนในฟังก์ชันของมุม ที่แต่ละความถี่ ดังนี้



ภาพที่ 5.21 แสดงกราฟชดเชยที่มุม และความถี่ต่างๆ

เพื่อที่จะอธิบายกราฟชดเชยให้เข้าใจง่ายขึ้น จึงได้แสดงความสัมพันธ์ของค่าชดเชย ที่มุม และความถี่ค่าต่างๆดังตารางที่ 5.3

จากกราฟชดเชยความผิดพลาดที่มุม และความถี่ต่างๆ จะแสดงผลการชดเชยเปรียบเทียบกับแบบรูปสายอากาศที่วัดได้ และจากการคำนวณ ที่ความถี่ 1.80 และ 1.90 กิกะเฮิรตซ์ โดยใช้สายอากาศส่งเป็น ล็อกพีรีออดิก และสายอากาศทดสอบเป็น แพทช์ (Patch Antenna) ผลการเปรียบเทียบแสดงดังภาพที่ 5.22 และ 5.23 ตามลำดับ

จากผลการเปรียบเทียบพบว่าแบบรูปของสายอากาศที่วัดได้จะใกล้เคียงกับการคำนวณ โดยมีค่าเฉลี่ยผิดพลาดที่ความถี่ 1.8 และ 1.9 กิกะเฮิรตซ์ เป็น 3.28 dB และ 1.56 dB ตามลำดับ แสดงว่าห้องทดสอบสายอากาศสามารถใช้งานได้ดีโดยไม่ต้องชดเชยในบางความถี่ และแบบรูปสายอากาศที่ชดเชยแล้วแตกต่างจากแบบรูปที่วัด และคำนวณได้ เนื่องจากสายอากาศที่ใช้ทดสอบเป็น คนละชนิดกับสายอากาศที่ใช้ในการประเมินคุณสมบัติของห้องทดสอบสายอากาศ ดังนั้นแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ได้จากการชดเชยจึงผิดเพี้ยนไป

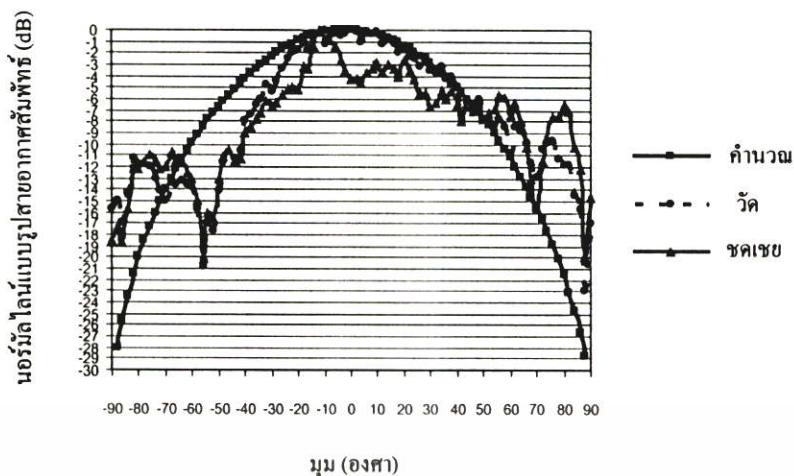
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวทช. อนุญาตให้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนั้นยังแสดงผลการทดสอบค่าประสิทธิภาพการชีลด์ทางไฟฟ้า (Shield Effectiveness) ของห้องทดสอบสายอากาศ กล่าวคือ เป็นค่าที่บ่งบอกความสามารถของห้องทดสอบสายอากาศว่าสามารถป้องกันการแทรกสอดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอกที่แต่ละความถี่ได้ดีเพียงใด (ทฤษฎีในการทดสอบดูได้จากภาคผนวก ก) และผลการทดสอบเป็นดังภาพที่ 5.24

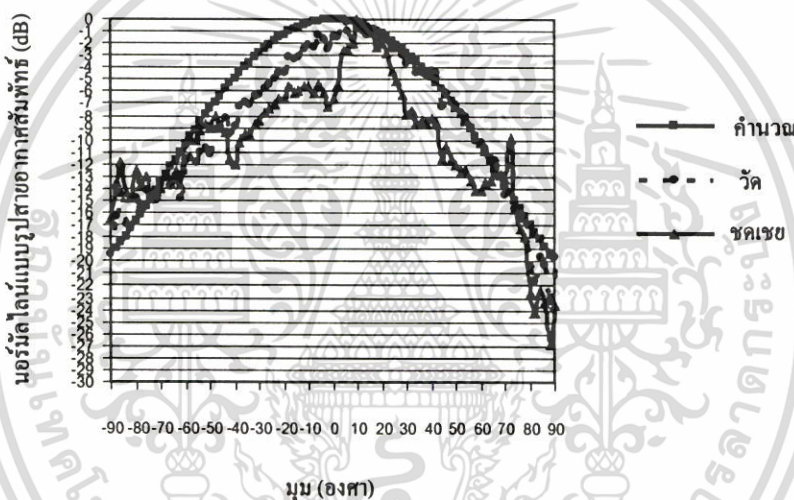
ตารางที่ 5.3 ค่าชดเชยที่ความถี่ 1.8-2.4 กิกะเฮิรตซ์

มุม (องศา)	ระดับคลื่นสะท้อนสัมพัทธ์ (dB) ที่ความถี่ 1.8GHz - 2.4GHz							
	1.8	1.9	2	2.1	2.15	2.2	2.3	2.4
-90	-1.48	-8.07	-1.30	-1.15	-6.39	-1.72	-2.32	-2.19
-80	-3.90	-7.33	-2.30	-2.21	-4.73	-1.45	-2.95	-7.17
-70	-7.38	-4.65	-0.32	-4.16	-3.33	-1.91	-1.80	-6.52
-60	-4.95	-6.71	-6.65	-4.15	-5.77	-7.86	-4.65	-4.11
-50	-5.40	-7.21	-8.99	-3.26	-4.46	-5.13	-6.68	-10.05
-40	-3.25	-1.92	-3.86	-0.76	-4.04	-3.05	-1.58	-3.72
-30	-2.78	-2.99	-5.76	-1.29	-1.03	-1.58	-0.56	-5.00
-20	-0.91	-2.92	-2.65	-0.26	-1.16	-0.24	-0.98	-4.67
-10	-5.44	-1.55	-2.65	-0.61	-3.49	-4.51	-4.23	-3.19
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	-1.59	-5.89	-1.80	-4.04	-2.39	-0.87	-5.14	-4.58
20	-3.39	-4.76	-0.19	-3.79	-1.91	-1.77	-1.41	-3.71
30	-1.11	-0.84	-3.46	-2.81	-1.40	-6.53	-2.51	-0.14
40	-3.55	-1.16	-1.61	-1.51	-2.55	-3.23	-2.09	-7.54
50	-4.45	-0.16	-0.02	-0.95	-4.48	-5.67	-3.04	-6.06
60	-7.59	-1.10	-4.11	-13.42	-4.43	-10.68	-2.61	-0.50
70	-1.68	-6.41	-0.35	-6.29	-7.70	-7.19	-4.89	-0.41
80	-9.56	-2.90	-6.82	-8.46	-0.60	-3.17	-3.46	-4.39
90	-6.63	-1.11	-2.30	-8.55	-1.22	-5.68	-9.34	-5.65

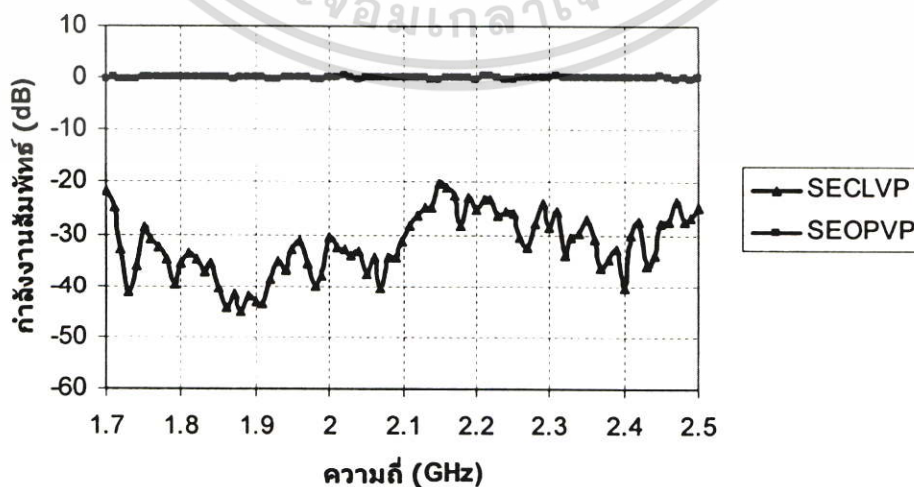
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



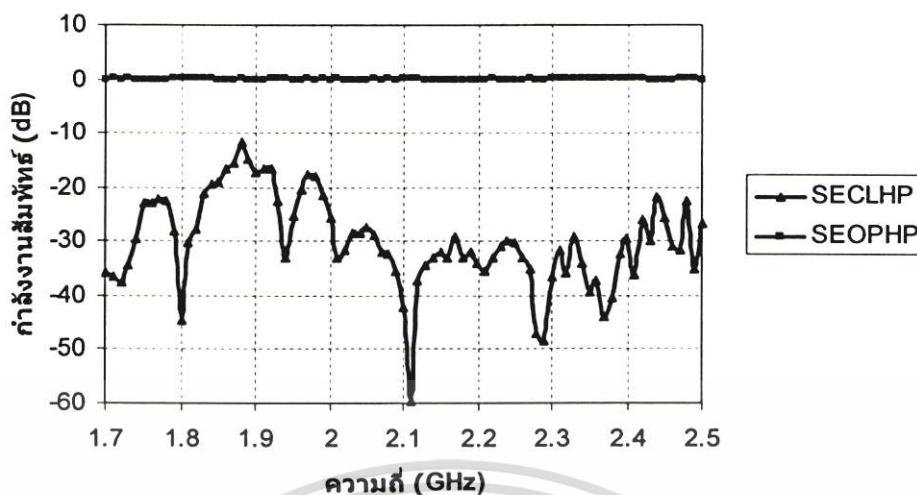
ภาพที่ 5.22 การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานสายอากาศ ที่ความถี่ 1.80 กิกะเฮิรตซ์



ภาพที่ 5.23 การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานสายอากาศ ที่ความถี่ 1.90 กิกะเฮิรตซ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

ภาพที่ 5.24 ค่าประสิทธิภาพการซิงค์ทางไฟฟ้า (ก) กำหนดโพลาริเซชันแนวตั้ง (ข) กำหนดโพลาริเซชันแนวนอน

5.6 สรุป

ในบทนี้กล่าวถึง การออกแบบและประเมินคุณสมบัติห้องทดสอบสายอากาศที่ย่านความถี่ 1.8-2.5 กิกะเฮิร์ตซ์ โดยแบ่งเป็นสามส่วนดังนี้ ส่วนแรกออกแบบ และสร้างวัสดุดูดซับคลื่นชนิดซาลิสนูริสกรีน และทดสอบ ปรากฏว่าสามารถดูดซับคลื่นที่มุมตกกระทบตั้งฉาก -27 dB (เทียบกับแผ่นโลหะ) ที่ความถี่ออกแบบ 2.15 กิกะเฮิร์ตซ์

ส่วนที่สอง ออกแบบ และสร้างห้องทดสอบสายอากาศขนาดเล็ก มีขนาด กว้าง ขาว สูง เป็น 1.2 ม. \times 1.2 ม. \times 2.2 ม. ตามลำดับ และภายในห้องทดสอบจะบุด้วยวัสดุดูดซับคลื่น

ส่วนที่สาม ประเมินคุณสมบัติของห้องทดสอบ ด้วยวิธีอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันในอวกาศว่างที่ความถี่ 1.7 1.8 1.9 2.0 2.1 2.15 2.2 2.3 2.4 และ 2.5 กิกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งแต่ละความถี่จะมีค่าสภาพสะท้อน และระยะห่างระหว่างสายอากาศที่เหมาะสม แตกต่างกันไป (ดูได้จากตารางที่ 5.2) และขนาดทางกายภาพที่ใหญ่ที่สุดของสายอากาศทดสอบจะต้องไม่เกิน 2λ

บทที่ 6

การออกแบบและประเมินคุณสมบัติห้องทดสอบสายอากาศที่ย่าน ความถี่ 11.5-13.5 กิกะเฮิรตซ์

6.1 กล่าวนำ

ในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมที่ใช้งานในแถบความถี่ เค-ยู (Ku-band) อยู่ที่ย่าน 11.5-13.5 กิกะเฮิรตซ์ สายอากาศขนาดเล็กที่ใช้เป็นตัวป้อน (Feeder) ในระบบมีความสำคัญ ดังนั้นเพื่อต้องการทราบถึงคุณสมบัติแบบรูปการแผ่พลังงานนอกจากการคำนวณอย่างแม่นยำแล้ว ยังจะต้องมีการทดสอบที่ถูกต้อง ด้วยเหตุผลนี้ ห้องทดสอบสายอากาศที่ใช้สำหรับทดสอบสายอากาศขนาดเล็กนี้จึงเป็นสิ่งจำเป็น

ในบทนี้จึงได้พัฒนาห้องทดสอบสายอากาศขนาดเล็กขึ้นมา โดยมีนัยสำคัญคือ ออกแบบและประเมินห้องทดสอบสายอากาศที่ย่านความถี่ 11.5-13.5 กิกะเฮิรตซ์

เนื่องจากห้องทดสอบสายอากาศ ภายในห้องจะต้องบุด้วยวัสดุดูดซับคลื่นเพื่อป้องกันการสะท้อนของคลื่น วัสดุดูดซับคลื่นที่ใช้สำหรับห้องทดสอบขนาดเล็กนี้ได้พัฒนาขึ้นมาเอง โดยใช้หลักการพื้นฐานที่เรียกว่า ซาลิสบูรี สกรีน (Salisbury Screen) ซึ่งคุณสมบัติของวัสดุดูดซับคลื่นชนิดนี้ จะไวต่อความถี่ มีแบนวิธแคบ และ ดูดซับคลื่นได้ดีเฉพาะมุมตกกระทบที่ตั้งฉาก ซึ่งทั้งหมดเป็นข้อจำกัดของวัสดุดูดซับคลื่นชนิด ซาลิสบูรี สกรีน แต่ข้อดีคือ สร้างง่าย น้ำหนักเบา และราคาถูก

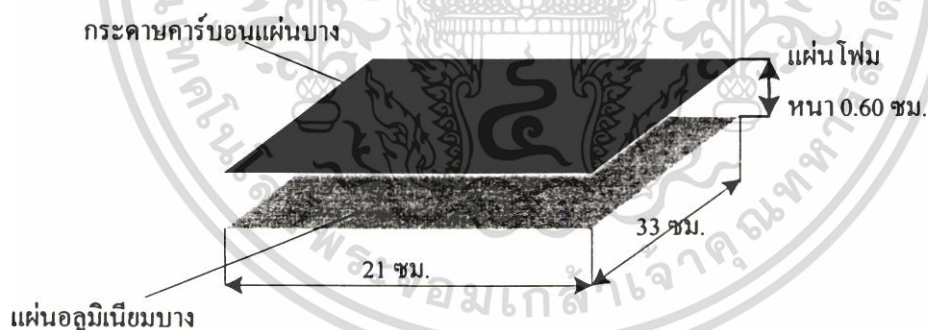
แต่อย่างไรก็ตาม แม้จะมีคลื่นสะท้อนในบางมุมที่เกิดขึ้นภายในห้องทดสอบ และเพื่อที่จะลดปริมาณของคลื่นสะท้อน จึงได้ออกแบบห้องทดสอบสายอากาศให้มีลักษณะเป็น ห้องทดสอบเรียว (Tapered Anechoic Chamber) เพื่อลดปรากฏการณ์การแทรกสอดของคลื่นในบริเวณทดสอบให้น้อยลง (ดูรายละเอียดได้จากบทที่ 3) และนอกจากนั้น ยังได้มีการชดเชยผลความผิดพลาดที่เกิดจากคลื่นสะท้อนภายในห้องทดสอบเรียว ไว้ด้วย

ในวิทยานิพนธ์นี้ จะออกแบบ และสร้างวัสดุดูดซับคลื่นชนิดซาลิสบูรีสกรีน (ดูรายละเอียดในบทที่ 5) โดยการวางแผนตัวนำสมบูรณวางไว้หลังแผ่นความต้านทานเป็นระยะเศษหนึ่งส่วนสี่เท่าของความยาวคลื่นของความถี่ที่ใช้งาน ในการออกแบบจะใช้กระดาษคาร์บอนแผ่นบางเป็นแผ่นความต้านทาน และใช้แผ่นอลูมิเนียมบางเป็นแผ่นตัวนำ วางแผ่นอลูมิเนียมไว้หลังกระดาษคาร์บอนเป็นระยะ 0.6 เซนติเมตร (เนื่องจากความถี่ที่ใช้งานเท่ากับ 12.5 กิกะเฮิรตซ์ ดังนั้นเศษหนึ่งส่วนสี่เท่าของความยาวคลื่นมีค่าเท่ากับ 0.60 เซนติเมตร) ช่องว่างระหว่างกระดาษคาร์บอนกับแผ่นอลูมิเนียมจะใช้โฟม เนื่องจากโฟมเป็นสารไดอิเล็กตริกที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกต่ำใกล้เคียงกับอากาศ

ด้านหน้าของกระดาษคาร์บอนยึคด้วยโฟมอีกหนึ่งชั้น เพื่อให้โครงสร้างคงรูปร่างอยู่ได้ ดังมีเงื่อนไขดังตารางที่ 6.1 และมีโครงสร้างดังภาพที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 เงื่อนไขการออกแบบวัสดุอุดซับคลื่น ซาลิสบุรีสกรีน

ความถี่กลางในการออกแบบ	12.5 กิกะเฮิรตซ์
ระยะห่างระหว่างแผ่นความต้านทานกับแผ่นตัวนำ (d)	$d = \frac{\lambda}{4} = \frac{\left(\frac{3 \times 10^8}{12.5 \times 10^9}\right)}{4} = 0.6 \text{ เซนติเมตร}$
แผ่นความต้านทาน (ซาลิสบุรี สกรีน)	กระดาษคาร์บอนแผ่นบาง $\epsilon_r' = 3, \mu_r = 1, \tan \delta = 8 \times 10^{-3}$ $\sigma = 3 \times 10^4 \text{ S/m}$
วัสดุไดอิเล็กตริก ที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกค่า	โฟม $\epsilon_r = 1.03, \mu_r = 1, \tan \delta = 1 \times 10^{-4}$
แผ่นตัวนำสมบูรณ์	แผ่นอลูมิเนียมบาง $\sigma = 3.96 \times 10^7 \text{ S/m}$



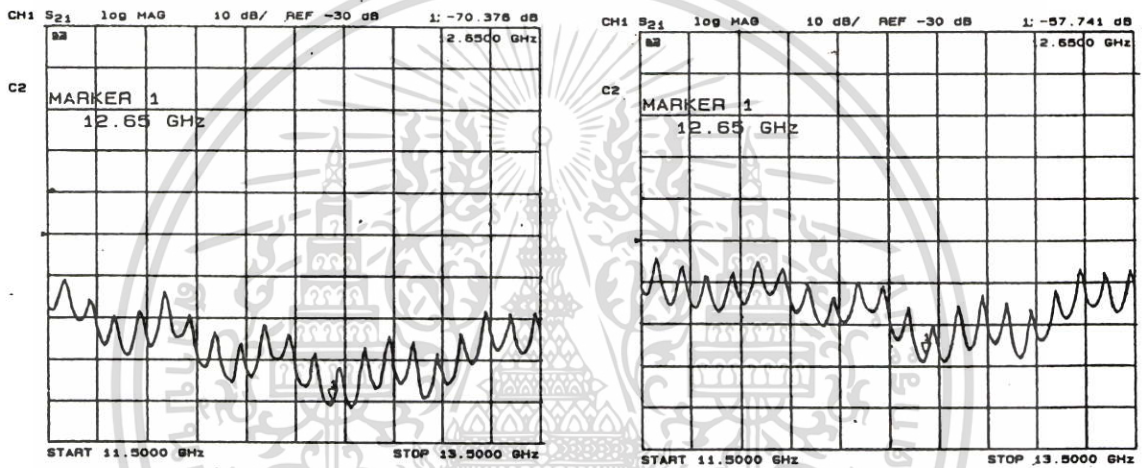
ภาพที่ 6.1 ขนาดที่ใช้งานของวัสดุอุดซับคลื่นชนิดซาลิสบุรีสกรีน

การทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุอุดซับคลื่นซาลิสบุรีสกรีน ทำได้โดยการหาค่าสภาพสะท้อนด้วยการวัดการสูญเสียเนื่องจากการส่งผ่าน (S_{21}) ของวัสดุอุดซับคลื่นเทียบกับแผ่นตัวนำสมบูรณ์ (แผ่นโลหะ) กล่าวคือ ทำการปล่อยคลื่นระนาบสมมาตรไปตกกระทบบนแผ่นซาลิสบุรีสกรีน และจากนั้นแทนที่ด้วยแผ่นโลหะ แล้วเปรียบเทียบค่าของแอมพลิจูดของสัญญาณที่ได้รับได้ ดังนั้นจะสามารถทราบได้ว่าวัสดุอุดซับคลื่นที่ออกแบบ สามารถดูดซับคลื่นได้ดีเพียงใดเมื่อเทียบกับแผ่นโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

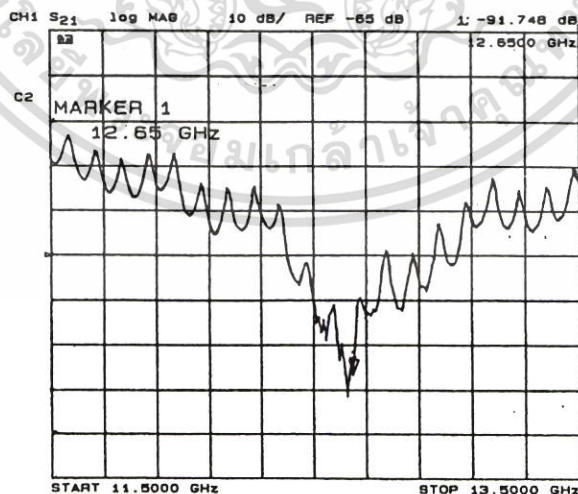
ดังนั้นจากวัสดุคูดซ์บคลื่นไมโครเวฟชนิดซาลิสบูรีสกรินที่ออกแบบ ทำการปล่อยคลื่น ระบายให้ตกกระทบตั้งฉากกับรอยต่อ วัดอัตราการสูญเสียเนื่องจากการส่งผ่าน ได้ -74.93 เดซิเบล ลักษณะของกราฟจะดังลงที่ความถี่ที่ออกแบบอย่างเห็นได้ชัดเจน แสดงว่าที่ความถี่นี้ วัสดุคูดซ์บคลื่นไมโครเวฟสามารถคูดซ์บคลื่นได้ดีที่สุด และเมื่อปล่อยคลื่นตกกระทบแผ่น โลหะวัดอัตราการสูญเสียเนื่องจากการส่งผ่าน ได้ -57.74 เดซิเบล แสดงว่าวัสดุคูดซ์บคลื่นไมโครเวฟที่ออกแบบ สามารถคูดซ์บคลื่นได้ -17 เดซิเบล (ใช้โลหะเป็นตัวอ้างอิง)

ผลการวัดการสูญเสียเนื่องจากการส่งผ่าน (S_{21}) เมื่อทำการปล่อยคลื่นระบายสม่ำเสมอ ตกกระทบลงบนวัสดุคูดซ์บคลื่นไมโครเวฟ ชนิดซาลิสบูรีสกริน แสดงได้ดังภาพที่ 6.2



(ก) ปล่อยคลื่นไปในอวกาศว่าง

(ข) ปล่อยคลื่นกระทบแผ่นโลหะ



(ค) ปล่อยคลื่นกระทบซาลิสบูรีสกรินบาง

ภาพที่ 6.2 แสดงอัตราการสูญเสียเนื่องจากการส่งผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

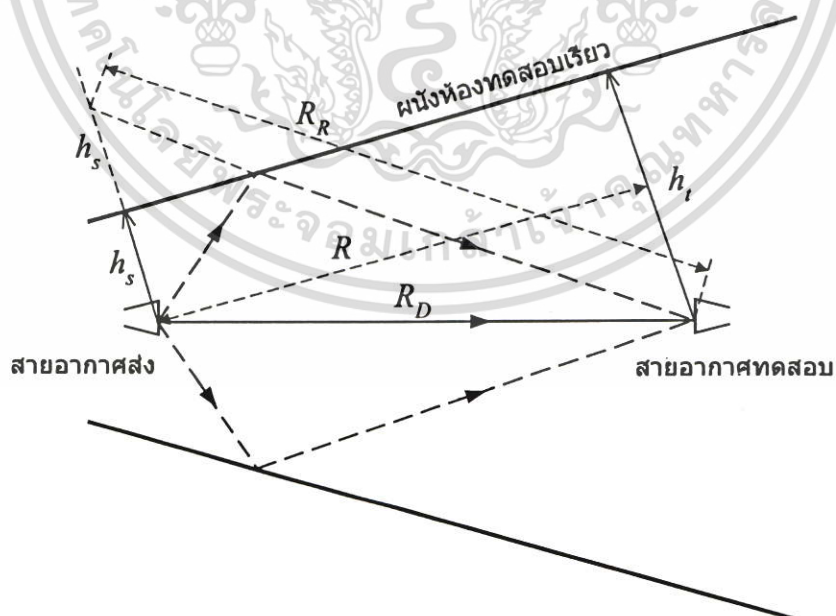
ตารางที่ 6.2 แสดงอัตราการใช้สายอากาศที่ความถี่ 12.5 กิกะเฮิรตซ์ เมื่อปล่อยคลื่น ไปตกกระทบตั้งฉาก กับวัสดุคูดซ์คลื่นไมโครเวฟ

แผ่นที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	เฉลี่ย
S_{21} (dB)	-91	-81	-77	-70	-71	-85	-67	-70	-68	-73	-75	-82	-70	-70	-74	-74.93

6.2 การออกแบบห้องทดสอบสายอากาศแบบเรียว

จากที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 (หัวข้อ 3.4.2) ว่าจากโครงสร้างของห้องทดสอบเรียวจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยของขนาดและเฟสของแบบรูปการแทรกสอดระหว่างคลื่นทางตรงและคลื่นสะท้อนที่ทุกๆจุดภายในบริเวณทดสอบ ซึ่งแบบรูปการแทรกสอดนี้เป็นปริมาณเวกเตอร์ที่รวมกันของคลื่นทางตรงและคลื่นสะท้อน โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของแบบรูปการแทรกสอดเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับระยะทดสอบกลางแจ้ง หรือ เมื่อเปรียบเทียบกับห้องทดสอบสายอากาศสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของแบบรูปการแทรกสอดที่ค่อนข้างจะราบเรียบนี้จะมีความเหมาะสมในการทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ เนื่องจากจะเกิดความผิดพลาดในการทดสอบที่น้อยกว่านั่นเอง

สาระสำคัญในการออกแบบกล่าวคือ พิจารณาการวางตำแหน่งของสายอากาศส่ง จะสามารถประมาณได้จากการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีเชิงเรขาคณิตดังแสดงในภาพที่ 6.3



ภาพที่ 6.3 การวางตำแหน่งสายอากาศส่งในห้องทดสอบเรียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพการเปลี่ยนแปลงของเส้นทางระหว่างคลื่นสะท้อนและคลื่นทางตรง นั่นคือ R_D และ R_R ตามลำดับ โดยความสูงของสายอากาศส่งและสายอากาศทดสอบวัดจากตำแหน่งที่ตั้งฉากกับระนาบอ้างอิง (ในกรณีนี้ระนาบอ้างอิงคือ ผนังด้านข้างของห้องทดสอบ) แทนด้วย h_s และ h_t ตามลำดับ ถ้ากำหนดให้ R คือ ระยะความยาวระหว่างผนังกับตำแหน่งที่ตั้งฉาก จะสามารถแสดงความสัมพันธ์เชิงเรขาคณิตได้ดังนี้

$$R_D^2 = (h_t - h_s)^2 + R^2 \quad (6.1)$$

$$R_R^2 = (h_t + h_s)^2 + R^2 \quad (6.2)$$

หรือ

$$R_R^2 - R_D^2 = 4h_t h_s \quad (6.3)$$

ซึ่งถ้ากำหนดให้ความยาวส่วนคลื่นสะท้อน (R_R) และความยาวส่วนคลื่นทางตรง (R_D) มากประมาณสองเท่าของระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศทดสอบ (R) จะเขียนสมการ (6.3) ใหม่ได้เป็น

$$2R(R_R - R_D) = 4h_t h_s \quad (6.4)$$

ถ้ากำหนดให้ การเปลี่ยนเฟสเป็น 180° ที่ส่วนของการสะท้อน ดังนั้น $(R_R - R_D)$ จะเท่ากับ $\frac{\lambda}{2}$ สำหรับเงื่อนไขเฟสเดียวกันระหว่างคลื่นทางตรงและคลื่นสะท้อนที่ตำแหน่งการวางสายอากาศทดสอบ ดังนั้นจะได้ว่า

$$h_s \approx \frac{\lambda R}{4h_t} \quad (6.5)$$

การออกแบบ

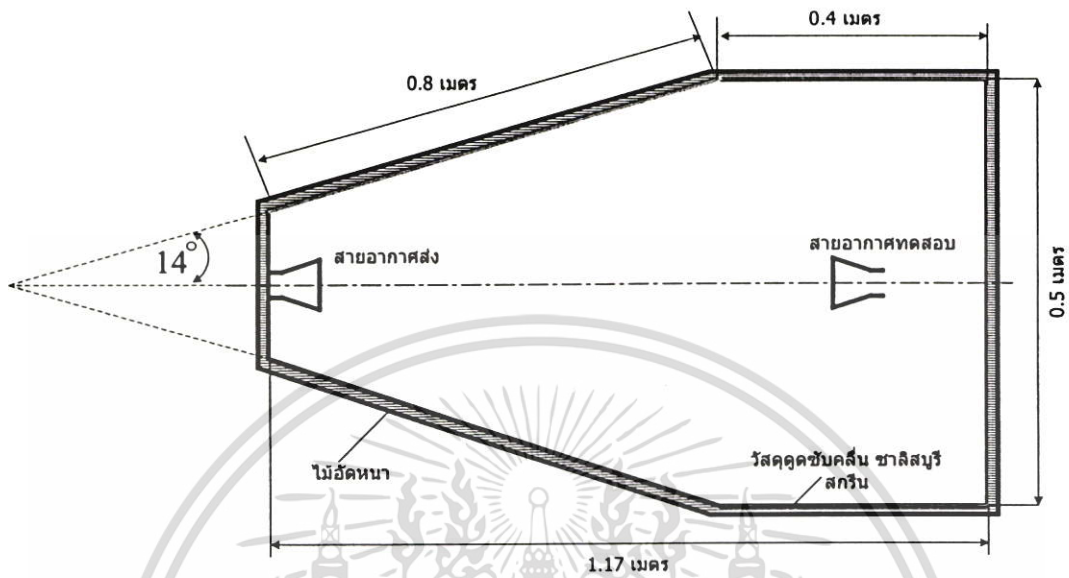
ในการออกแบบห้องทดสอบสายอากาศเรียวนิววิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะออกแบบให้เป็นห้องทดสอบขนาดเล็กโดยใช้ต้นทุนในการสร้างที่ต่ำ เพื่อประโยชน์ในการใช้ทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศขนาดเล็กที่มีขนาดทางกายภาพมากกว่า 4λ ที่ความถี่ 12.5 กิกะเฮิร์ตซ์ [15]

ดังนั้นวัสดุชั้นนอกที่ใช้เป็น โครงสร้างของห้องทดสอบจะทำด้วยไม้อัด และภายในห้องจะบุด้วยวัสดุดูดซับคลื่นชนิดซิงโครสกรีน และตำแหน่งที่ติดตั้งสายอากาศส่งได้ออกแบบตามหลักการในสมการที่ (6.1) ถึง (6.5) และระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศทดสอบจะต้องอยู่ในกฎเกณฑ์ของการแพร่กระจายสนามไฟฟ้าระยะไกล คือ $R \geq \frac{2D^2}{\lambda}$ โดยที่ D คือขนาดทางกายภาพที่มากที่สุดของสายอากาศ

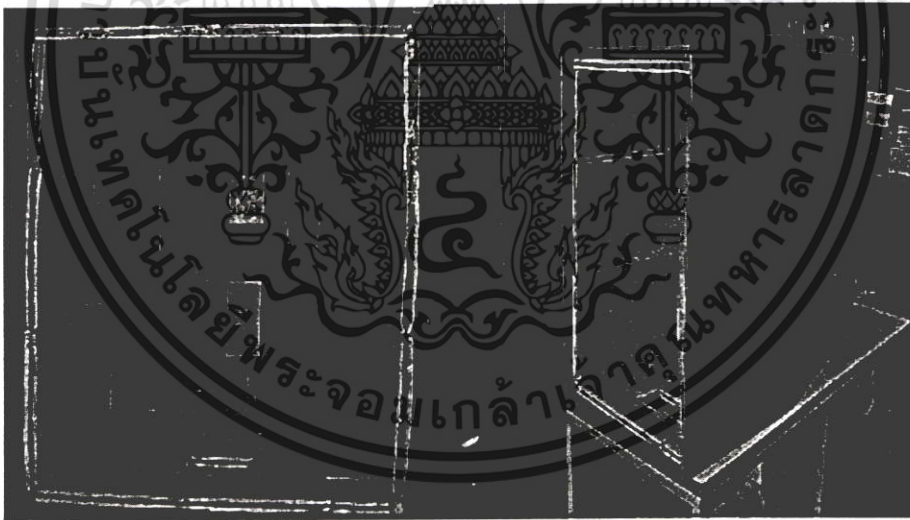
ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้ได้ออกแบบ สร้างห้องทดสอบสายอากาศขนาดเล็กที่มีลักษณะเรียวยาว

ที่ด้านปลายโดยมีขนาด กว้าง×ยาว×สูง เป็น $0.5 \times 1.17 \times 0.66$ เมตร ตามลำดับ โดยที่ส่วนปลายเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียวของห้องทดสอบ (บริเวณที่วางสายอากาศส่ง) จะทำมุม 14 องศา เมื่อเทียบกับเส้นแกนกลางของห้องทดสอบ ดังแสดงในภาพที่ 6.4 ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 6.4 ขนาดของห้องทดสอบสายอากาศเรียว



(ก)

(ข)

ภาพที่ 6.5 (ก) ภาพถ่ายด้านหน้า และ (ข) ภาพถ่ายด้านข้างของห้องทดสอบสายอากาศแบบเรียว

6.3 การประเมินคุณสมบัติ

ในปัจจุบันความก้าวหน้าทางการศึกษาด้านสายอากาศ และการแพร่กระจายคลื่น ได้มีการทดสอบคุณสมบัติภายในห้องทดสอบ นับตั้งแต่ได้มีการสร้างห้องไร้คลื่นสะท้อน (Anechoic Chamber) หรือเรียกได้ว่า ห้องทดสอบสายอากาศ ในต้น ค.ศ. 1950 ข้อดีของห้องทดสอบสายอากาศเป็นเอกลักษณ์ที่สร้างขึ้นมาเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออยู่ใต้เห็นไปใช้ประโยชน์ในการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศคือ ใช้ทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของอุปกรณ์ (สายอากาศ) โดยสามารถควบคุมสิ่งแวดล้อมต่างๆ ได้ เช่น สภาพภูมิอากาศ และสามารถป้องกันสัญญาณรบกวนจากภายนอกได้

นับตั้งแต่ได้สร้างห้องทดสอบครั้งแรกขึ้นมา ได้มีการศึกษาหาวิธีที่จะทราบถึงคุณสมบัติของห้อง โดยหาตัวเลขคุณค่า (Figure of Merit) ซึ่งตัวเลขนี้จะเป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพของห้องทดสอบ หรือความแม่นยำของห้องในการที่จะใช้ทดสอบอุปกรณ์ต่างๆ โดยทั่วไปแล้วมีการยอมรับในการทดสอบหลายวิธีที่จะใช้หาตัวเลขคุณค่า

ในวิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวถึงตัวเลขคุณค่าที่บ่งชี้คุณสมบัติของห้องทดสอบสายอากาศ สำหรับทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ ตัวเลขคุณค่า ก็คือ ค่าสภาพสะท้อน (Reflectivity Level) ซึ่งจะชี้ถึงความผิดพลาดในการบันทึกระดับของแบบรูปสายอากาศ เนื่องจากการสะท้อนที่เกิดขึ้นจากผนัง พื้น และเพดานของห้องทดสอบสายอากาศ เป็นที่ทราบกันดีว่าห้องทดสอบสายอากาศสามารถสร้างได้หลากหลายรูปแบบ และสายอากาศที่ใช้มีคุณสมบัติในการแพร่กระจายคลื่นที่หลากหลายเช่นกัน ดังนั้นจึงไม่มีทางเป็นไปได้ที่จะหาค่าสภาพสะท้อนเพียงค่าเดียวที่จะสามารถชี้คุณสมบัติของห้องทดสอบสายอากาศได้ทุกๆกรณี เนื่องจากความซับซ้อนของแต่ละปัญหาแต่ละวิธีสำหรับการหาค่าสภาพสะท้อนจะได้นำมาเสนอแนะ และจะกล่าวถึงงานบางอย่างที่ได้ศึกษามาก่อนหน้านี้ Hiatt et al. [16] ได้สำรวจวิธีการสำคัญที่ใช้ประเมิน (Evaluation) ห้องทดสอบสายอากาศ อยู่ระหว่างยุค 10ปีแรกของห้องไร้คลื่นสะท้อน และเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป มีอยู่ 2 วิธีคือ วิธีเปรียบเทียบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Antenna Pattern Comparison) และวิธีอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันในอวกาศว่าง (Free Space Voltage Standing Wave Ratio) และทั้งสองวิธีนี้ให้ผลที่ใกล้เคียงกัน [16], [17] หลังจากนั้น Rethmeyer และ Price [18] ได้เปรียบเทียบทั้งสองวิธี พบว่าวิธีอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันในอวกาศว่างให้ผลที่แม่นยำมากกว่า และมีความซับซ้อนในการวิเคราะห์น้อยกว่า และต่อมา Kummer และ Villeneuve [19] ได้เปรียบเทียบทั้งสองวิธีและอธิบายผลที่ไม่สอดคล้องกันไว้ด้วย Hiatt et al. [16] ใช้วิธีเปรียบเทียบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นหาค่าสภาพสะท้อนในฟังก์ชันของวัสดุดูดซับคลื่นที่จำลองในห้องทดสอบ พบว่ามีความสอดคล้องกันเพียงเล็กน้อยระหว่างค่าสภาพสะท้อน และระดับของวัสดุดูดซับคลื่น เพื่ออธิบายให้ชัดเจนยิ่งขึ้น Clarke และ Breithaupt [20] ใช้วิธีอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันในอวกาศว่าง ประเมินห้องทดสอบ พบว่าผลของค่าสภาพสะท้อนขึ้นอยู่กับ อัตราขยาย (Gain) ของสายอากาศ จากนั้น Hollmann [21] สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างของห้องทดสอบ โดยแนะนำให้ใช้โพรบด้วยสายอากาศแบบรอบทิศทาง

เนื่องจากเมื่อเปรียบเทียบข้อดี และข้อเสียของงานต่างๆก่อนหน้านี้ ทำให้ทราบว่า การประเมินคุณสมบัติของห้องทดสอบสายอากาศ ด้วยวิธีอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันเป็นวิธีที่เหมาะสม และมีผลที่น่าเชื่อถือได้ และมีวิธีการที่ไม่ซับซ้อนมากเกินไป ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอ

เอกสารการประเมินคุณสมบัติของห้องทดสอบสายอากาศด้วยวิธีอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันในอวกาศ (ราคา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

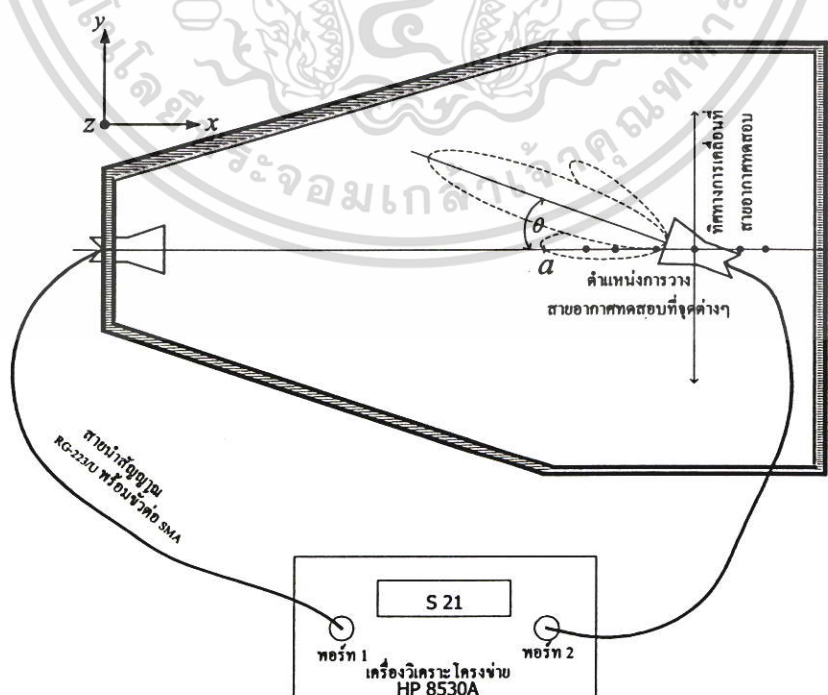
ว่าง (Free space VSWR method) เพื่อหาค่าสภาพสะท้อนที่ตำแหน่งต่างๆภายในห้องทดสอบสายอากาศ โดยกระทำที่ความถี่ 12.5 กิกะเฮิรตซ์ ทั้งนี้เพื่อใช้ทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศขนาดเล็กที่ออกแบบมาในช่วงความถี่ดังกล่าว และได้แสดงความสัมพันธ์ของค่าสภาพสะท้อนในฟังก์ชันของระยะห่างระหว่างสายอากาศไว้ด้วย

6.3.1 การกำหนดเงื่อนไขในการประเมินคุณสมบัติด้วยวิธีอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันในอวกาศว่าง

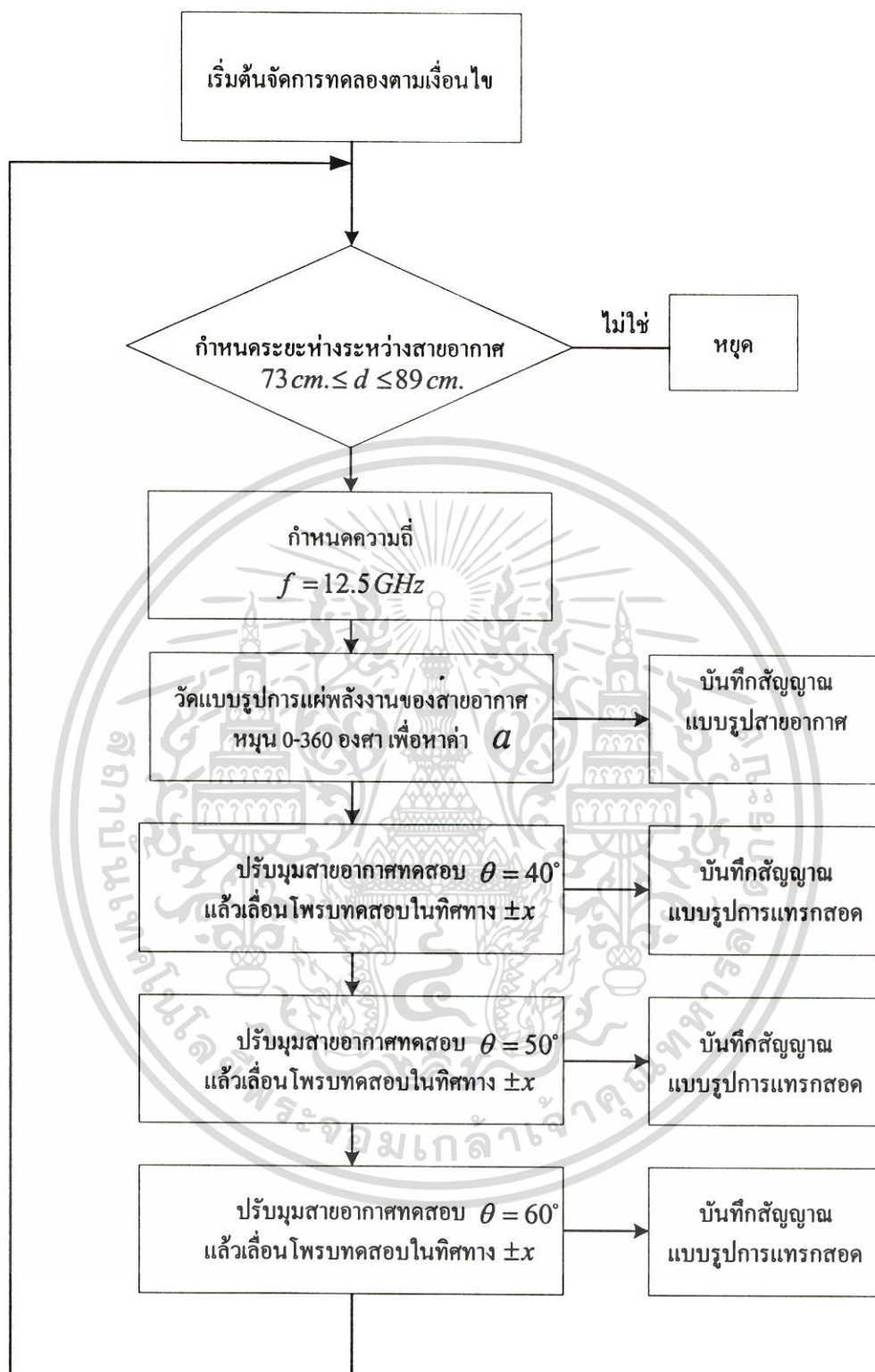
จากที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 4 (หัวข้อที่ 4.3) ในการประเมินคุณสมบัติสายอากาศด้วยวิธีอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันในอวกาศว่าง มีนัยสำคัญคือ เพื่อหาแบบรูปการแทรกสอดของคลื่นทางตรง (E_D) และคลื่นสะท้อน (E_R) และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาค่าสภาพสะท้อน ($Re \Gamma$) (Reflectivity Level) ตามความสัมพันธ์

$$Re \Gamma = 20 \log \frac{E_R}{E_D} \quad (6.6)$$

เพื่อที่จะได้มาซึ่งค่าสภาพสะท้อนที่ถูกต้อง จะต้องมีการวางเงื่อนไขในการทดลองอย่างเหมาะสม และเพียงพอ กล่าวคือ จำนวนจุดที่ทดสอบภายในบริเวณทดสอบที่กำหนดไว้อย่างชัดเจน (บริเวณไร้คลื่นสะท้อน) จะต้องเพียงพอที่จะให้เกิดปรากฏการณ์การแทรกสอดของคลื่นแบบเสริมและหักล้างกัน และเพื่อยืนยันเงื่อนไขดังกล่าวในบทนี้ได้กำหนดเงื่อนไขในการทดลองซึ่งอธิบายได้จากภาพที่ 6.6 ดังนี้



เอกสารภาพที่ 6.6 การจัดการทดลองวิธีอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันในอวกาศว่าง ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



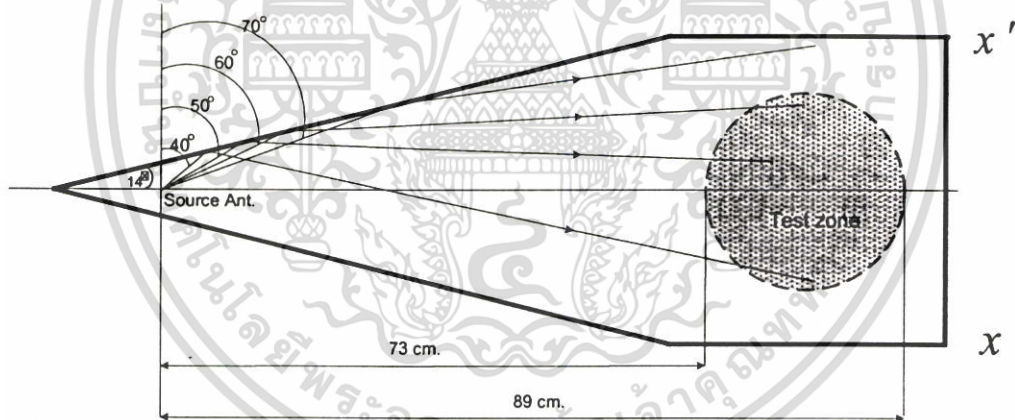
ขั้นตอนการประเมินคุณสมบัติห้องทดสอบแบบเรียลไทม์

เงื่อนไขในการทดลอง

1) กำหนดความถี่ในการทดลองที่ 12.5 กิกะเฮิร์ตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) สายอากาศส่งเป็นชนิด คอรัวเกต ฮอ์น (Corrugated Horn Antenna) มีอัตราขยาย 15 dBi
 - 3) สายอากาศทดสอบเป็น โพรบ (Open-Ended Waveguide)
 - 4) กำหนดให้สายอากาศทดสอบทำมุม θ ในระนาบมุมทิศ (Azimuth) โดยมีการเปลี่ยนแปลงจาก 40 50 60 และ 70 องศา (กำหนดตามหลักการ การลากเส้นเชิงเรขาคณิต ที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.4.2) คูภาพประกอบได้จากภาพที่ 6.7
 - 5) ระยะห่างของสายอากาศส่ง และสายอากาศทดสอบเปลี่ยนแปลงระหว่าง 73 ซม. ถึง 89 ซม.(ซึ่งอยู่ในกฎเกณฑ์การแพร่กระจายคลื่นระยะไกลของสายอากาศ ($R \geq \frac{2D^2}{\lambda}$) โดยมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของสายอากาศทดสอบไปในทิศทาง $\pm x$ ครั้งละ 1 ซม.ต่อหนึ่งระนาบการกวาด
 - 6) กำหนดการเคลื่อนที่ (การกวาด) ของสายอากาศทดสอบ (โพรบ) ไปในทิศทางแกน $\pm y$ โดยอ้างอิงจากตำแหน่ง $y = 0$ ไปข้างละ 15 ซม. โดยเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องทีละ 1 ซม.
- กำหนดให้สายอากาศส่งต่อกับ พอร์ตที่ 1 และสายอากาศทดสอบต่อกับ พอร์ตที่ 2 ของเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย HP 8530A โดยจะทำการวัดการสูญเสียเนื่องจากการส่งผ่าน (S_{21}) โดยที่ด้านส่งมีกำลังงาน 0 dBm และจะบันทึกสัญญาณที่ได้จากด้านรับในหน่วย dB เช่นกัน



ภาพที่ 6.7 การลากเส้นเชิงเรขาคณิต

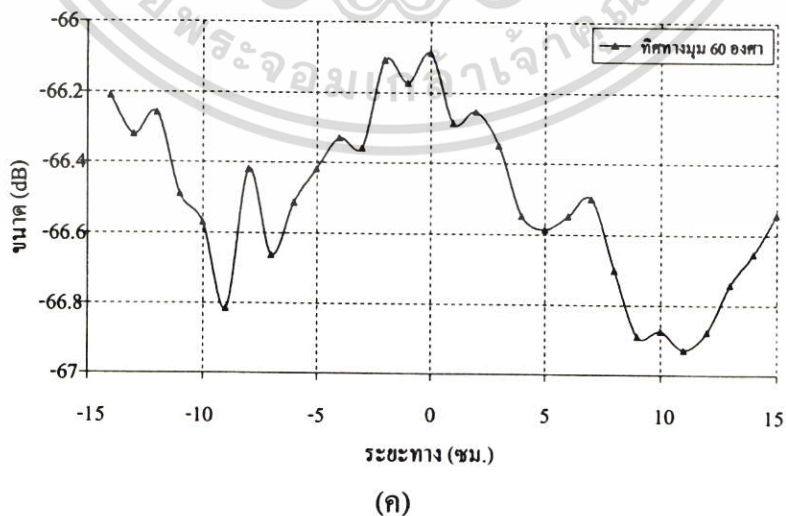
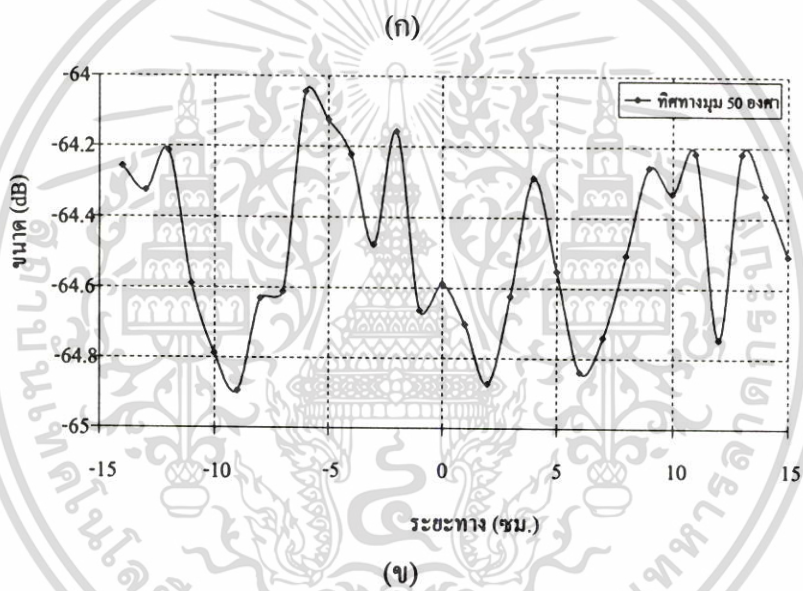
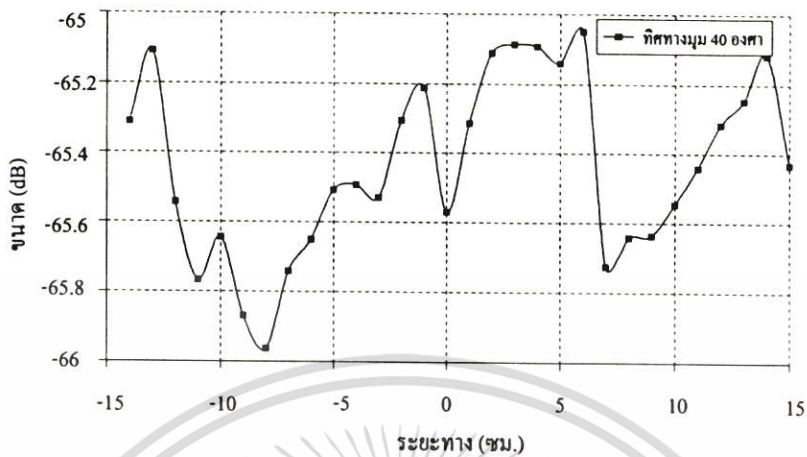
จากขั้นตอนของการทดลอง จะได้ผลของสัญญาณแบบรูปการแทรกสอดที่บันทึกได้ทีละระยะ x ต่างๆ (หมายถึง ระยะห่างระหว่างสายอากาศ) โดยที่ ระยะ x หนึ่งค่าจะได้แบบรูปการแทรกสอดที่แบบรูปนั้นคือที่มุม θ เท่ากับ 40 50 60 และ 70 องศา ตามลำดับ จากนั้นนำแบบรูปการแทรกสอดของคลื่นทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าสภาพสะท้อน ($Re\ f_l$) (ตามหลักการที่ได้อธิบายไว้แล้วในบทที่ 4 หัวข้อ 4.2.1) ซึ่งอาศัยความสัมพันธ์

$$Re\ f_l = a + 20 \log \left[\frac{-1 + \text{anti log}(\sigma / 20)}{1 + \text{anti log}(\sigma / 20)} \right] \quad (6.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

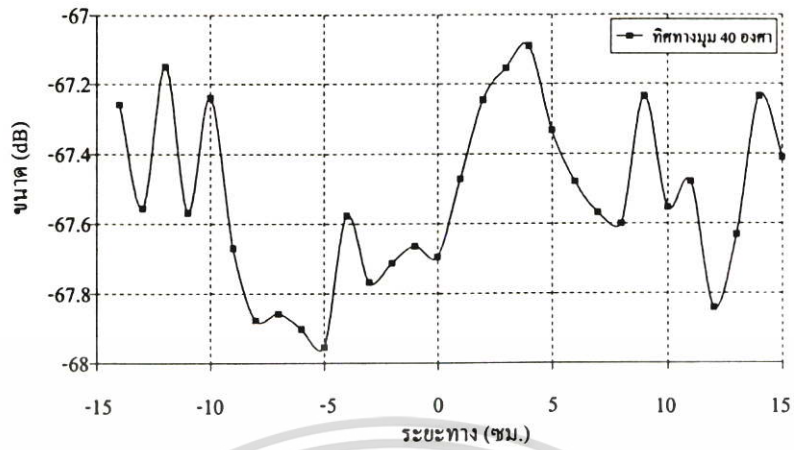
6.4 ผลการทดลอง

จากขั้นตอนการทดลอง (ภาพที่ 6.6) จะได้แบบรูปการแทรกสอดดังต่อไปนี้

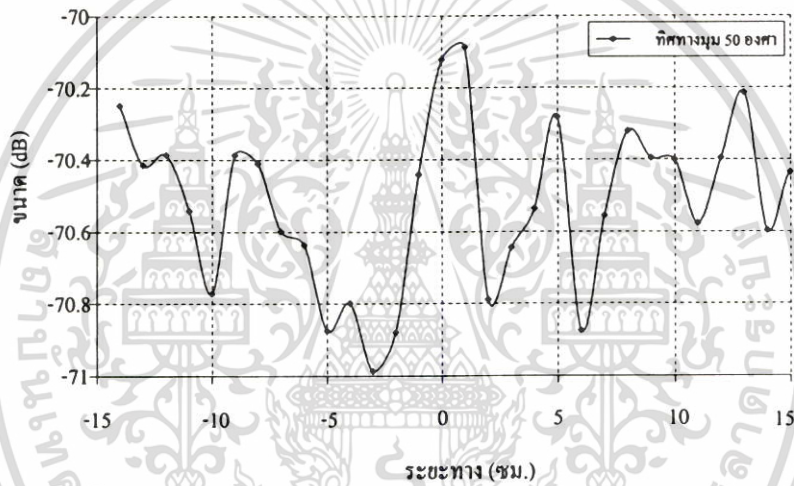


ภาพที่ 6.8 แบบรูปการแทรกสอดของคลื่น ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 73 ซม. (ก) มุม $\theta = 40$ องศา (ข) มุม $\theta = 50$ องศา และ (ค) มุม $\theta = 60$ องศา

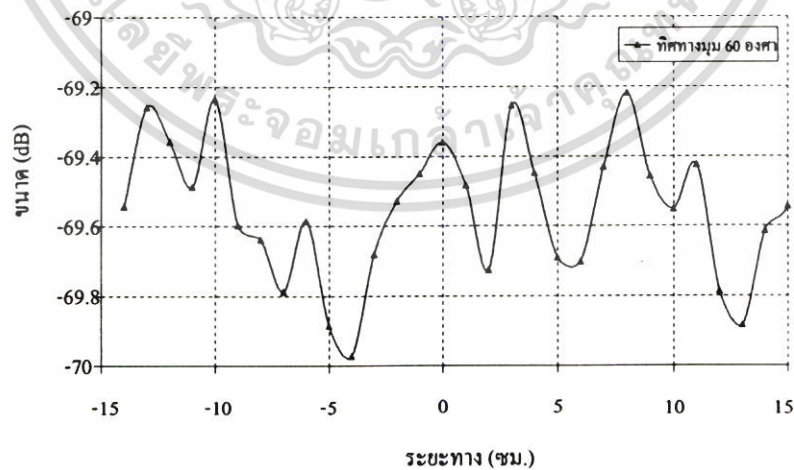
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

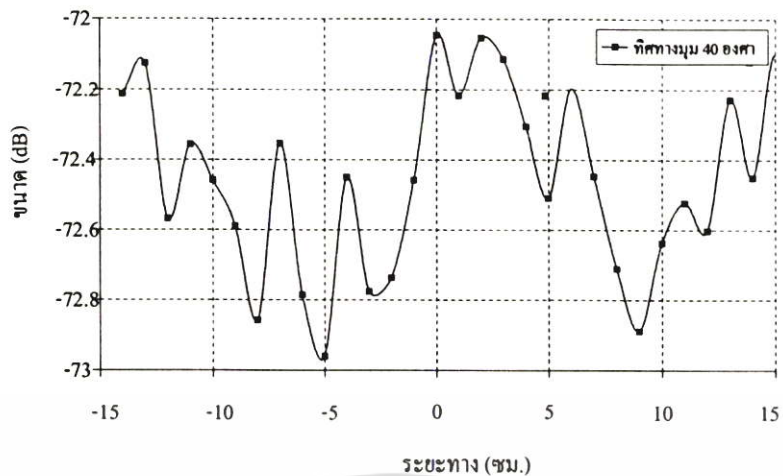


(ค)

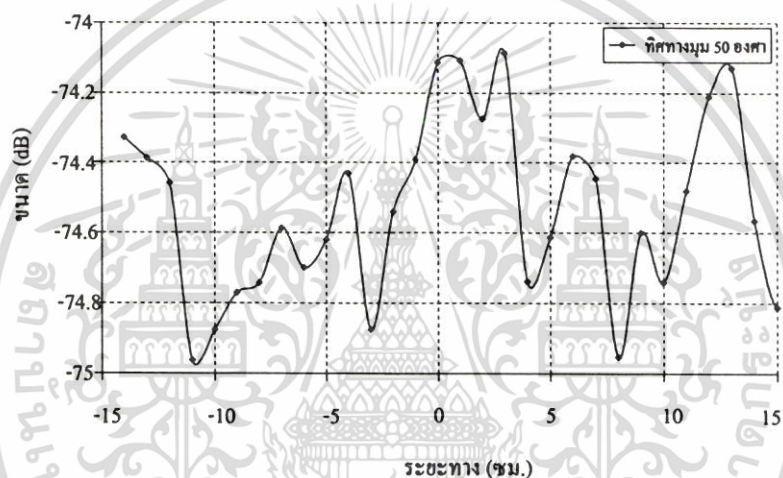
ภาพที่ 6.9 แบบรูปการแทรกสอดของคลื่น ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 74 ซม. (ก) มุม $\theta=40$

องศา (ข) มุม $\theta=50$ องศา และ (ค) มุม $\theta=60$ องศา

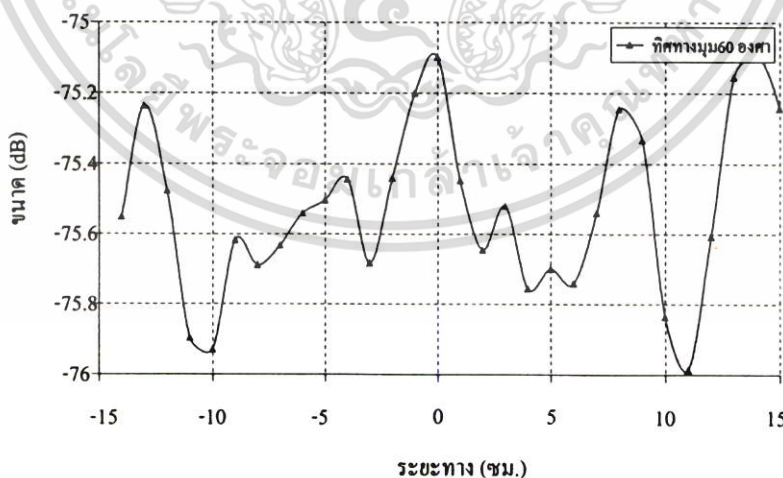
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ทางเว็บไซต์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

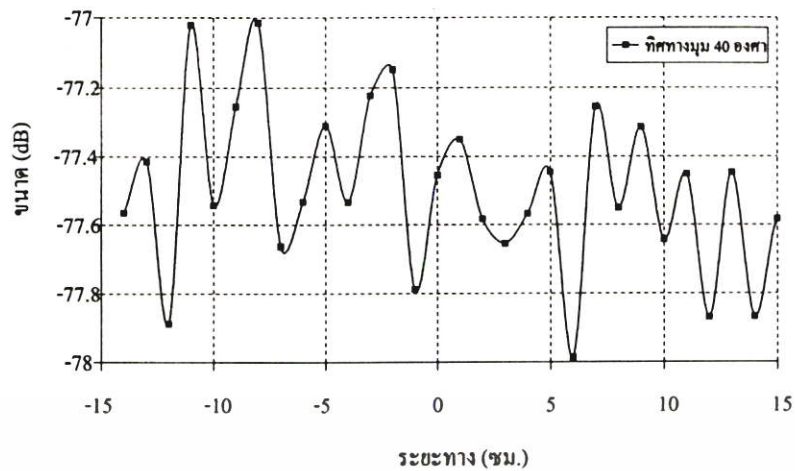


(ค)

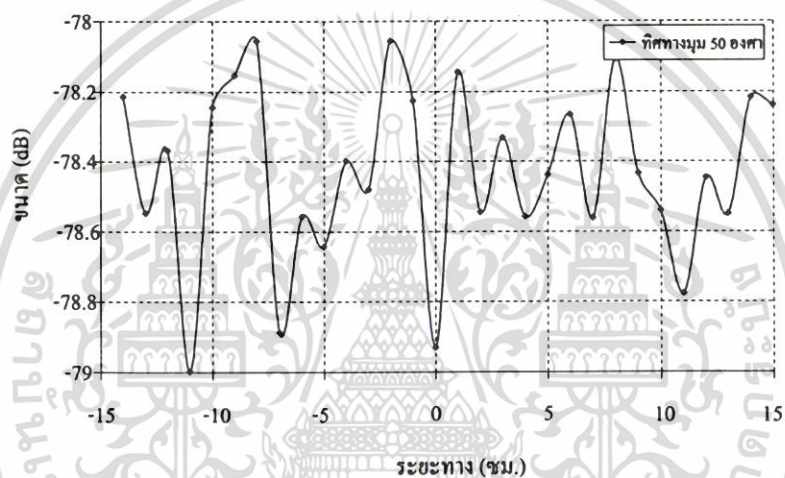
ภาพที่ 6.10 แบบรูปการแทรกสอดของคลื่น ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 75 ซม. (ก) มุม $\theta = 40$

องศา (ข) มุม $\theta = 50$ องศา และ (ค) มุม $\theta = 60$ องศา

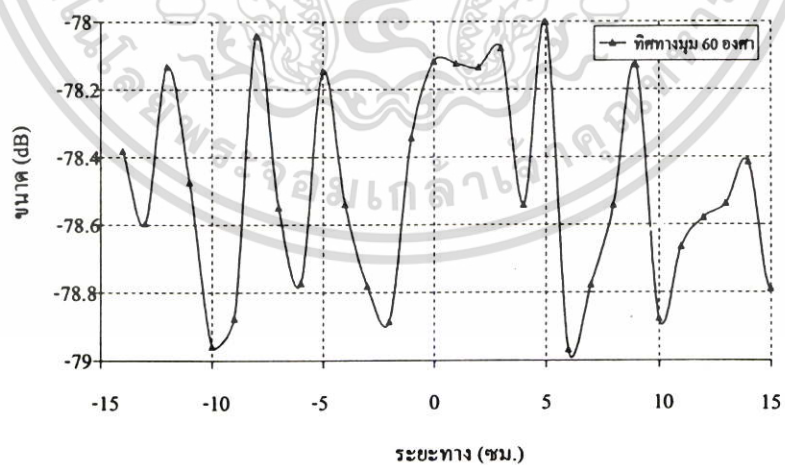
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



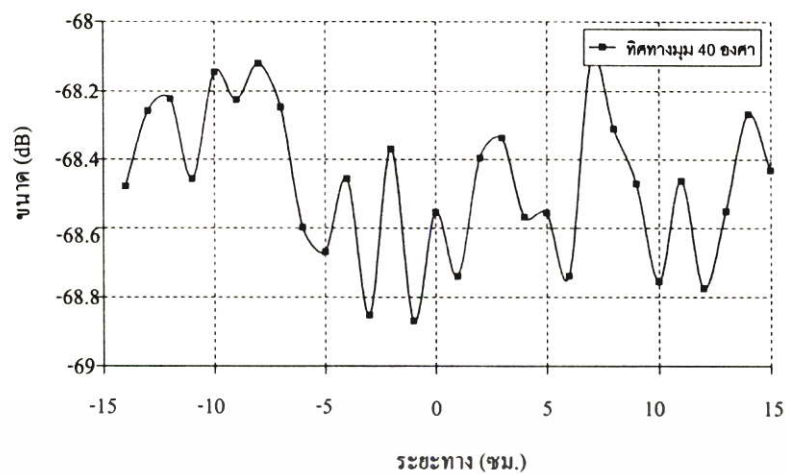
(ข)



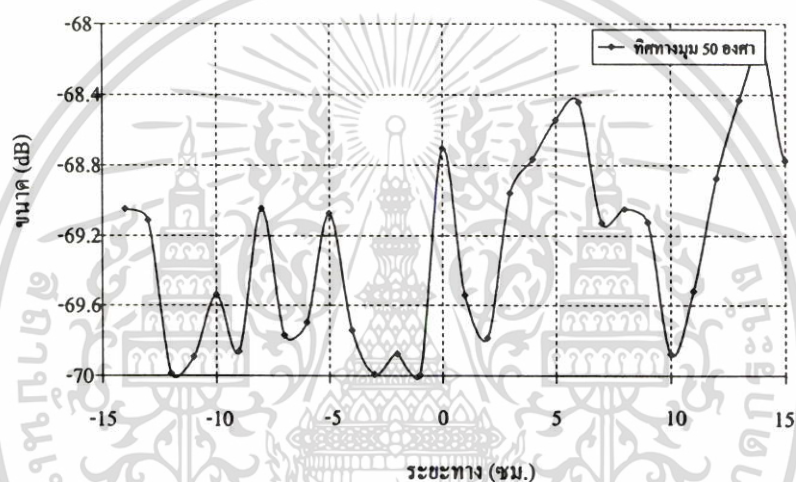
(ค)

ภาพที่ 6.11 แบบรูปการแทรกสอดของคลื่น ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 76 ซม. (ก) มุม $\theta = 40$ องศา (ข) มุม $\theta = 50$ องศา และ (ค) มุม $\theta = 60$ องศา

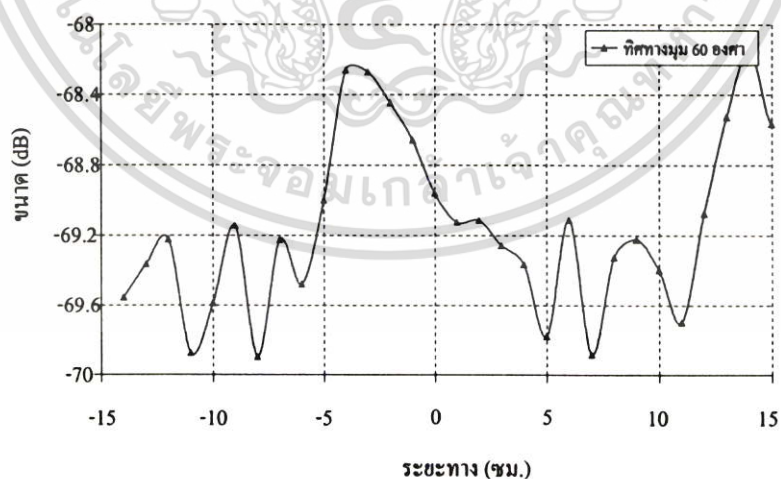
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

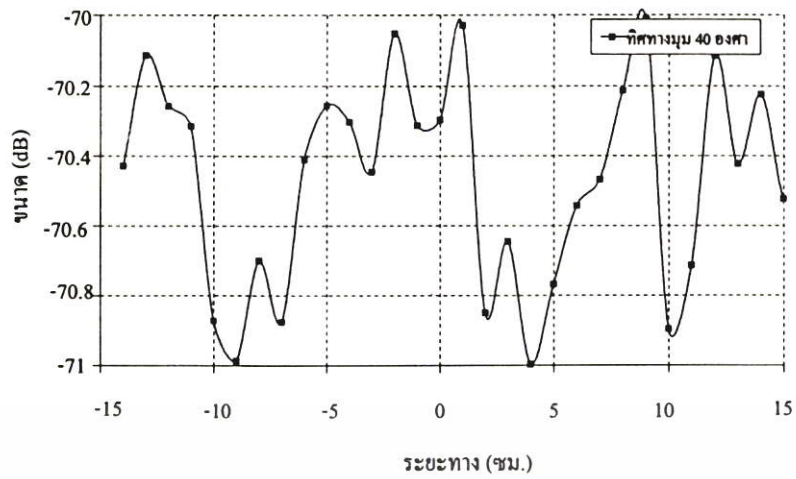


(ค)

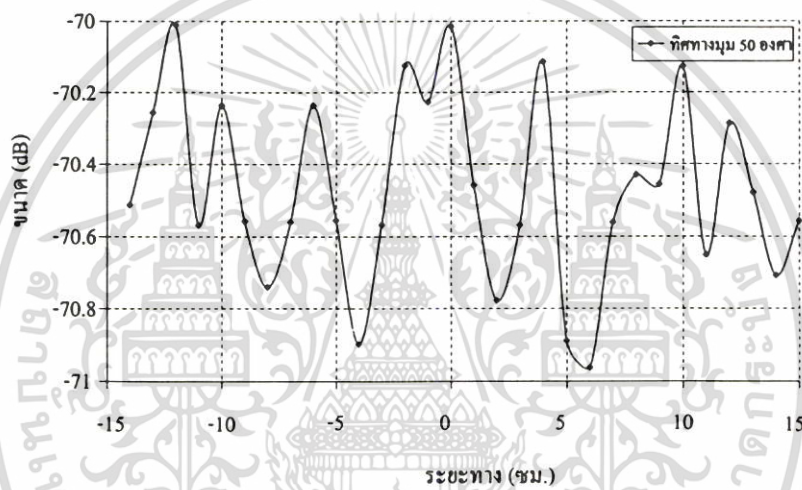
ภาพที่ 6.12 แบบรูปการแทรกสอดของคลื่น ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 77 ซม. (ก) มุม $\theta = 40$

องศา (ข) มุม $\theta = 50$ องศา และ (ค) มุม $\theta = 60$ องศา

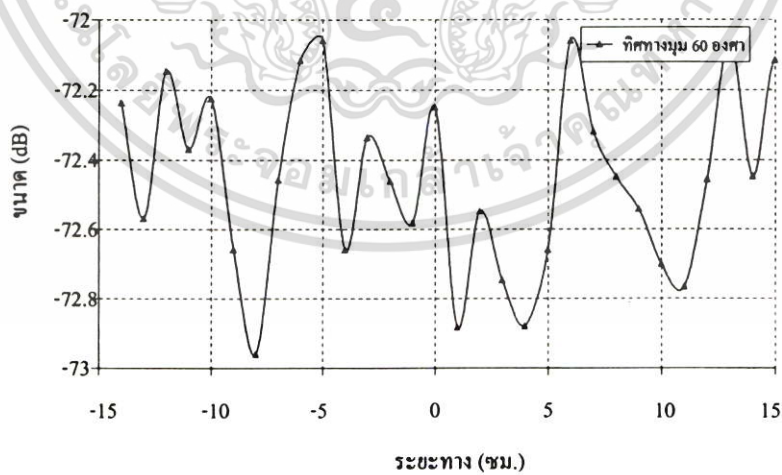
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

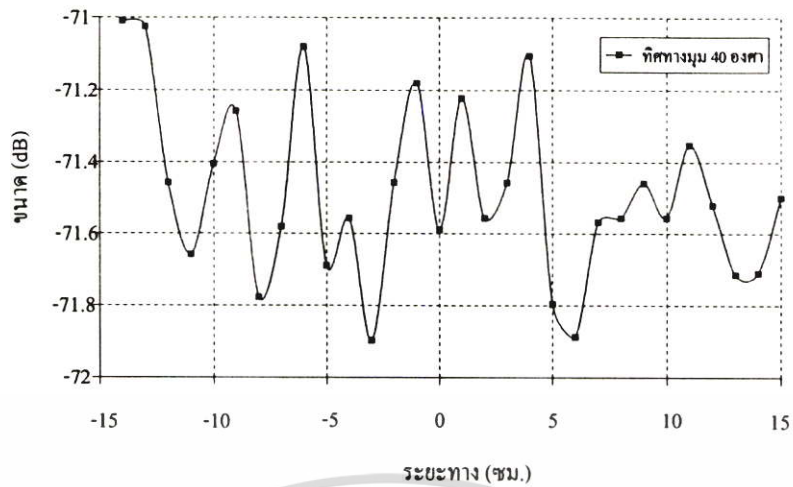


(ค)

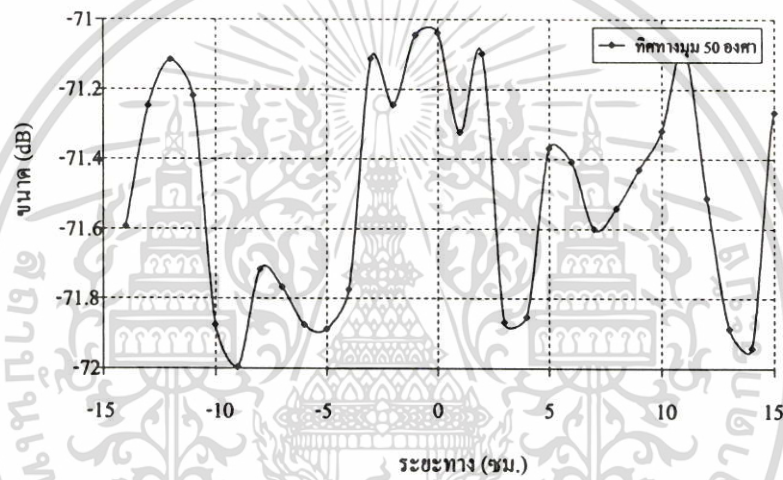
ภาพที่ 6.13 แบบรูปการแทรกสอดของคลื่น ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 78 ซม. (ก) มุม $\theta = 40$

องศา (ข) มุม $\theta = 50$ องศา และ (ค) มุม $\theta = 60$ องศา

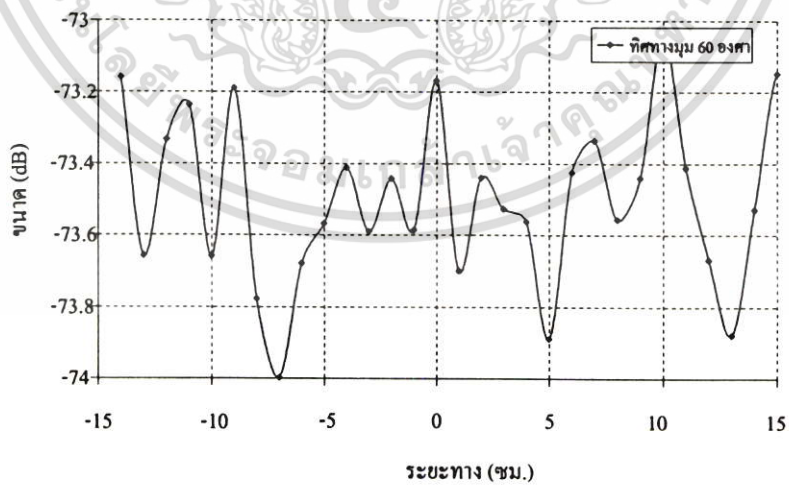
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

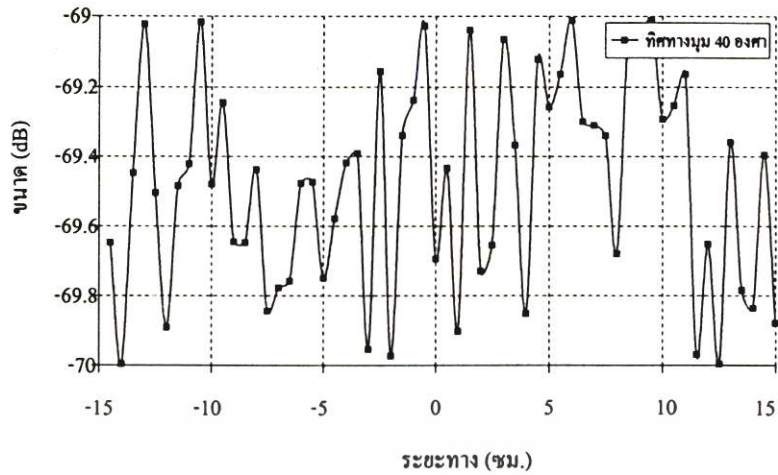


(ค)

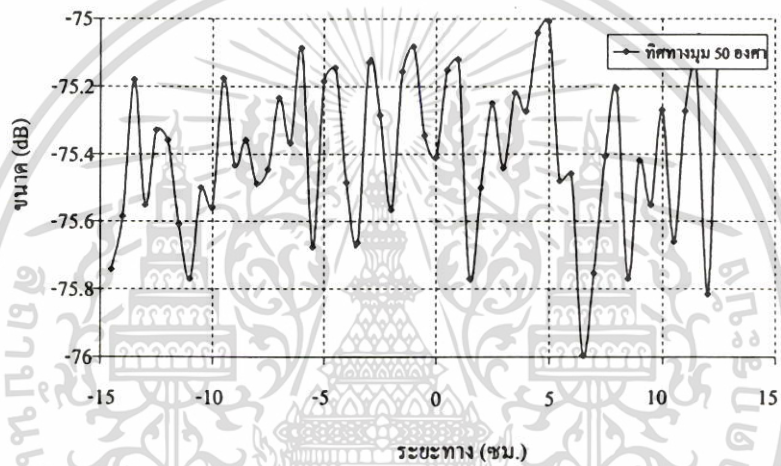
ภาพที่ 6.14 แบบรูปการแทรกสอดของคลื่น ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 79 ซม. (ก) มุม $\theta=40$

องศา (ข) มุม $\theta=50$ องศา และ (ค) มุม $\theta=60$ องศา

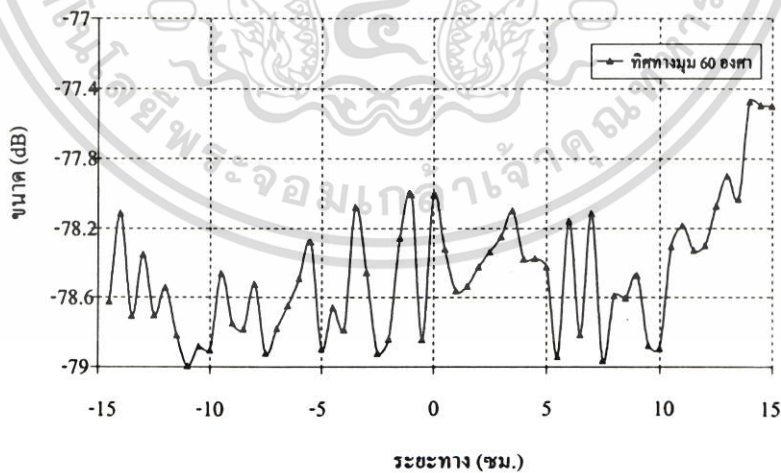
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



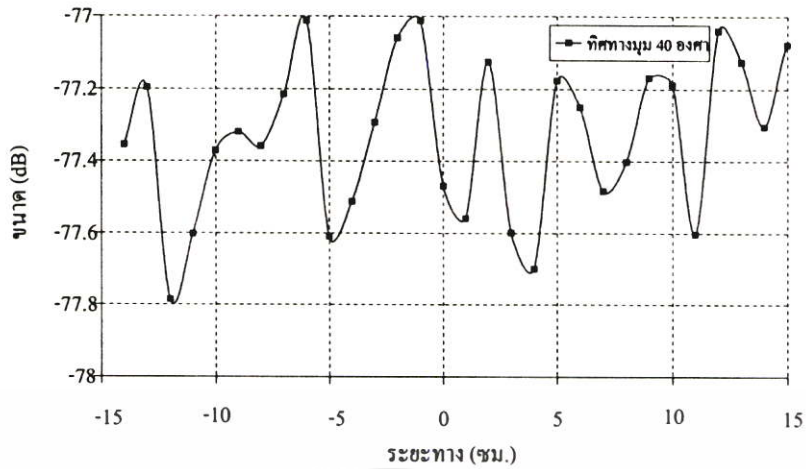
(ข)



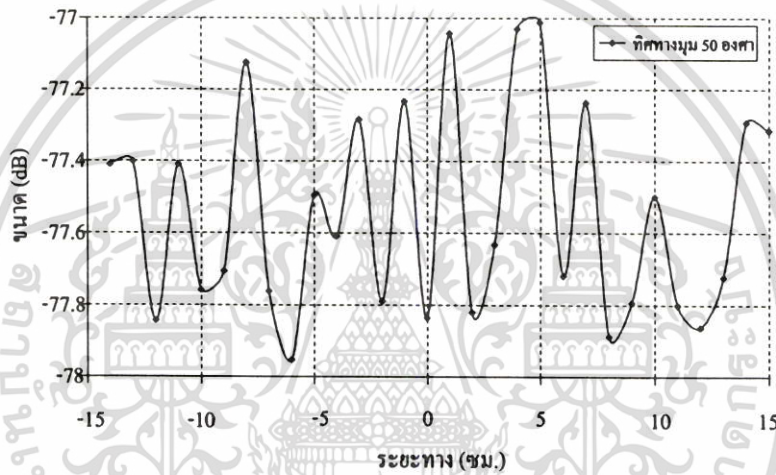
(ค)

ภาพที่ 6.15 แบบรูปการแทรกสอดของคลื่น ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 80 ซม. (ก) มุม $\theta = 40$ องศา (ข) มุม $\theta = 50$ องศา และ (ค) มุม $\theta = 60$ องศา

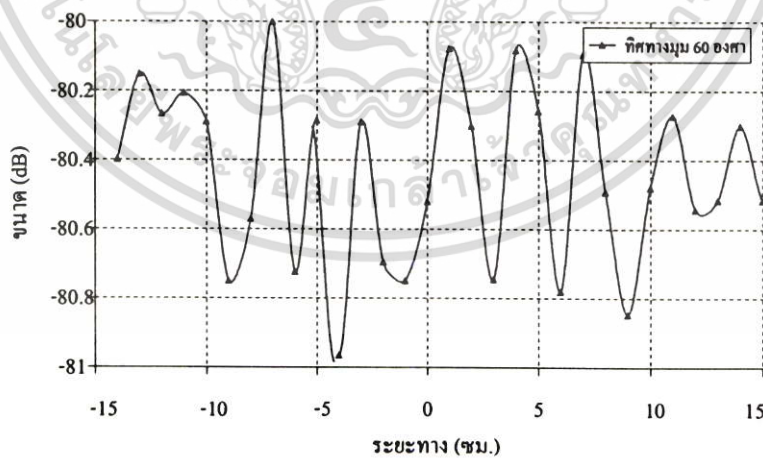
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



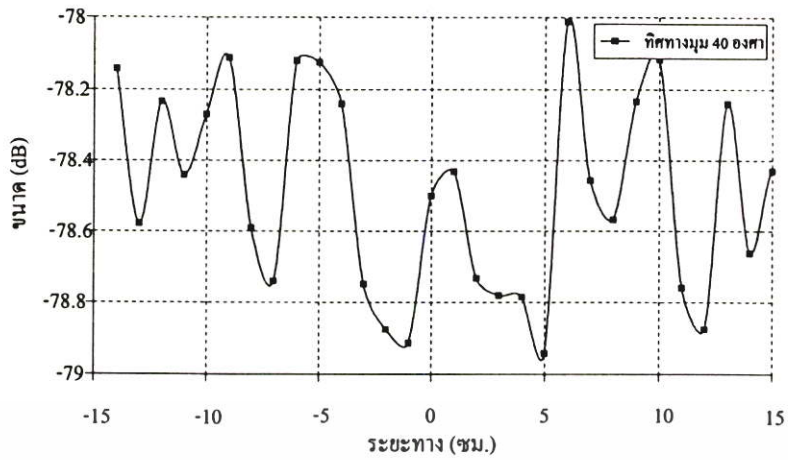
(ข)



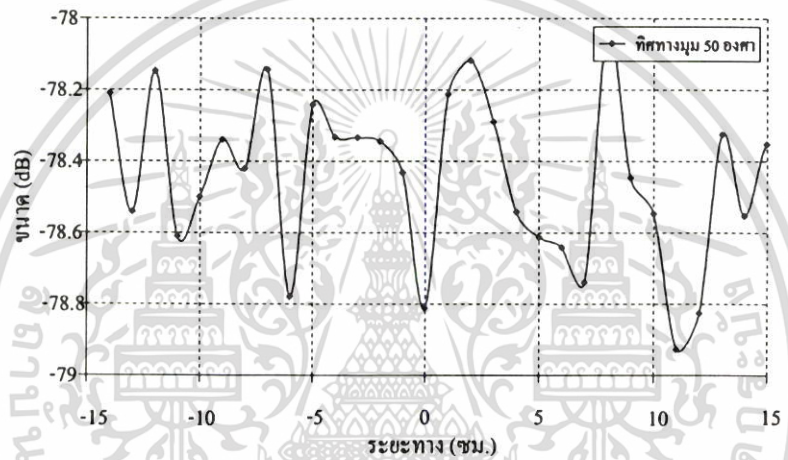
(ค)

ภาพที่ 6.16 แบบรูปการแทรกสอดของคลื่น ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 81 ซม. (ก) มุม $\theta = 40$ องศา (ข) มุม $\theta = 50$ องศา และ (ค) มุม $\theta = 60$ องศา

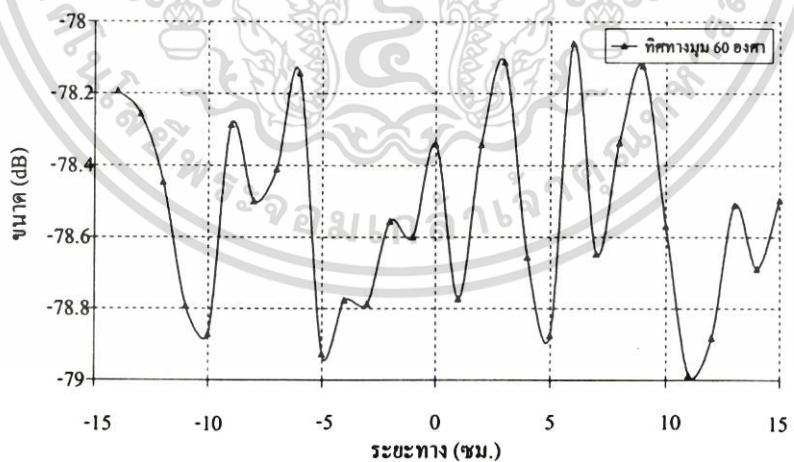
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



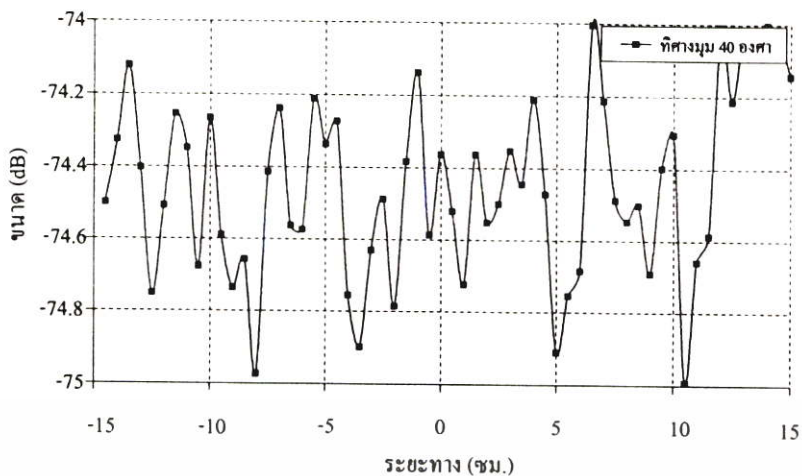
(ข)



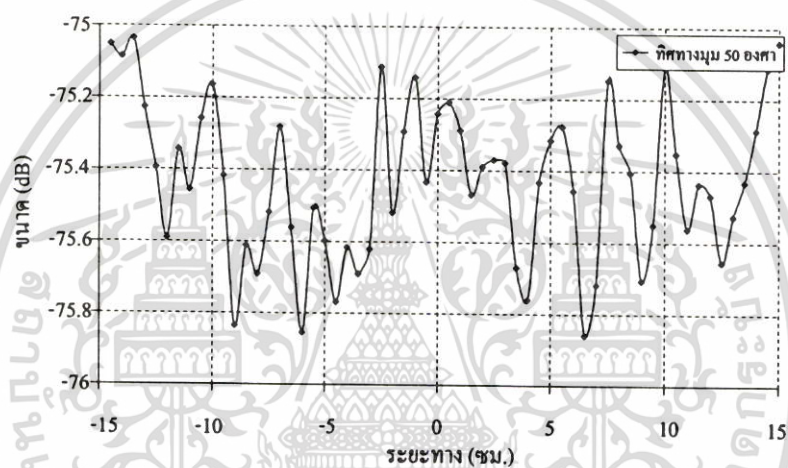
(ค)

ภาพที่ 6.17 แบบรูปการแทรกสอดของคลื่น ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 82 ซม. (ก) มุม $\theta = 40$ องศา (ข) มุม $\theta = 50$ องศา และ (ค) มุม $\theta = 60$ องศา

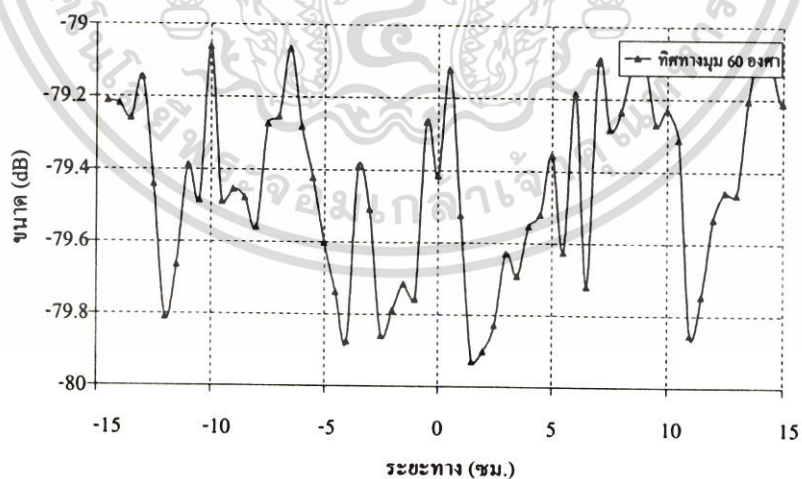
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



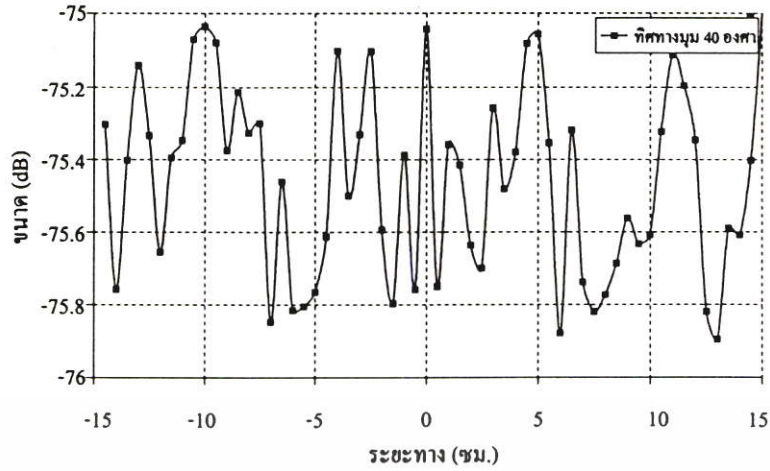
(ข)



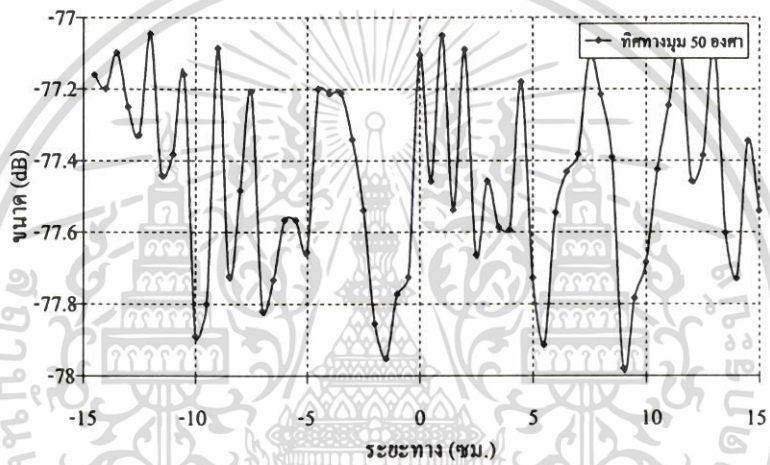
(ค)

ภาพที่ 6.18 แบบรูปการแทรกสอดของคลื่น ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 83 ซม. (ก) มุม $\theta = 40$ องศา (ข) มุม $\theta = 50$ องศา และ (ค) มุม $\theta = 60$ องศา

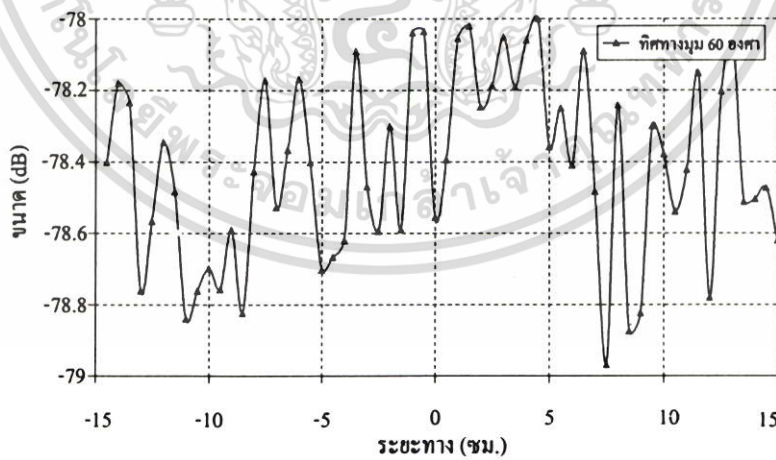
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



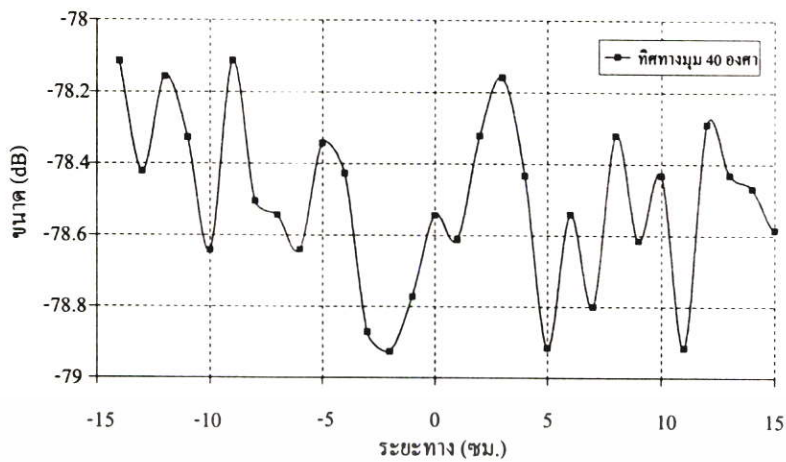
(ข)



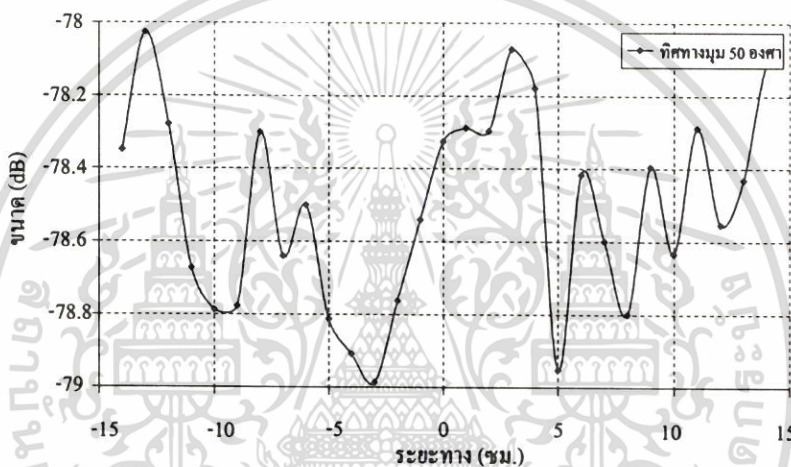
(ค)

ภาพที่ 6.19 แบบรูปการแทรกสอดของคลื่น ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 84 ซม. (ก) มุม $\theta = 40$ องศา (ข) มุม $\theta = 50$ องศา และ (ค) มุม $\theta = 60$ องศา

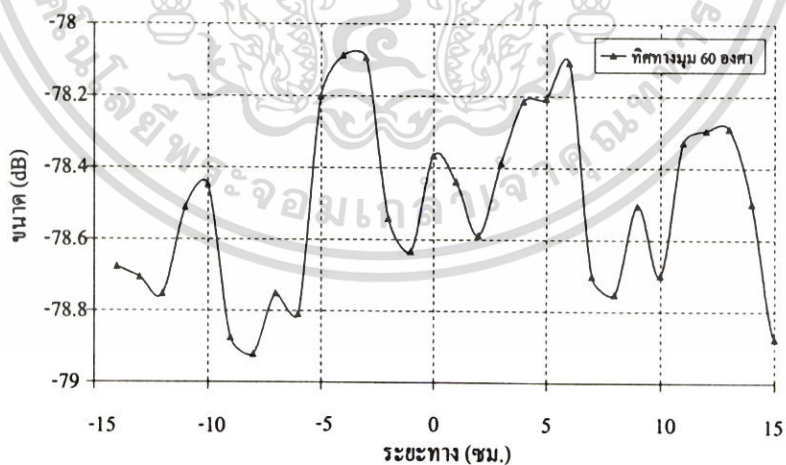
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



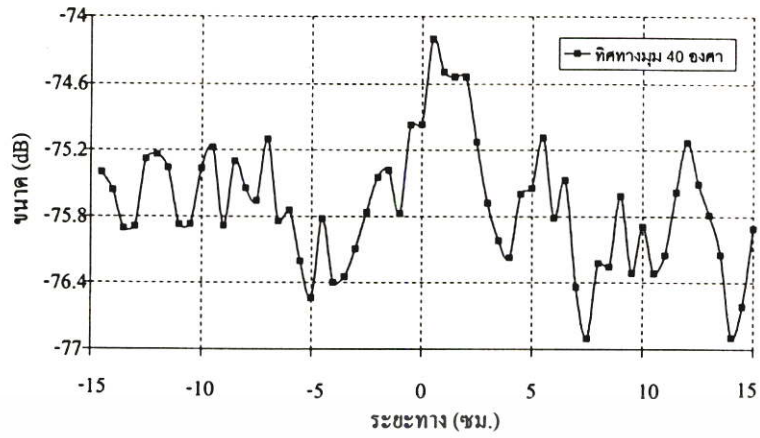
(ข)



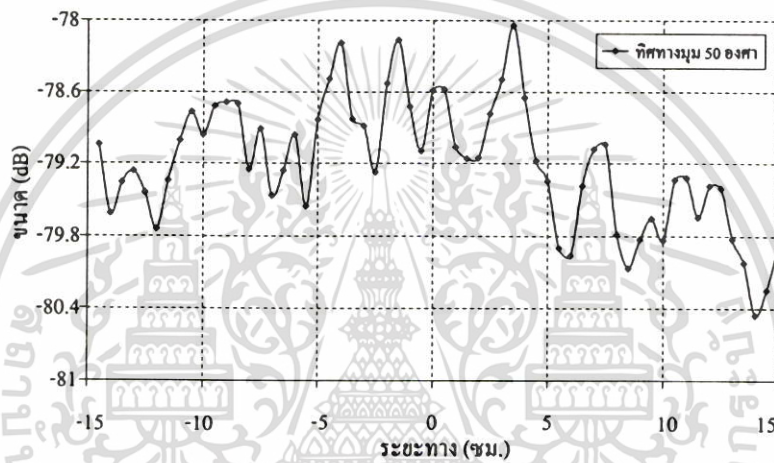
(ค)

ภาพที่ 6.20 แบบรูปการแทรกสอดของคลื่น ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 85 ซม. (ก) มุม $\theta = 40$ องศา (ข) มุม $\theta = 50$ องศา และ (ค) มุม $\theta = 60$ องศา

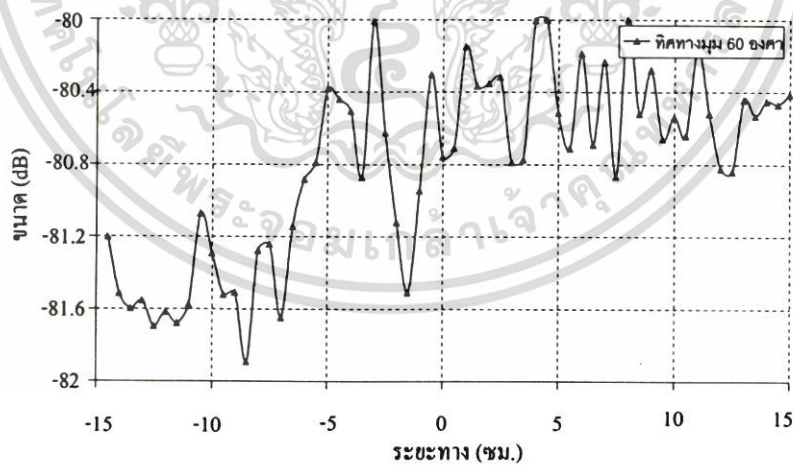
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



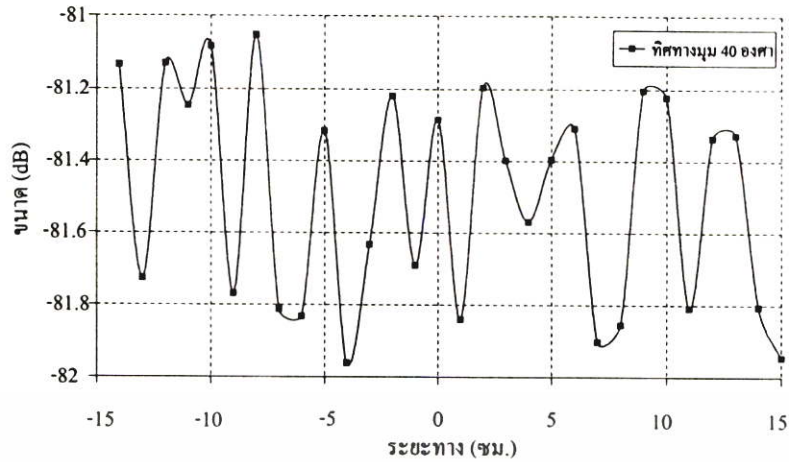
(ข)



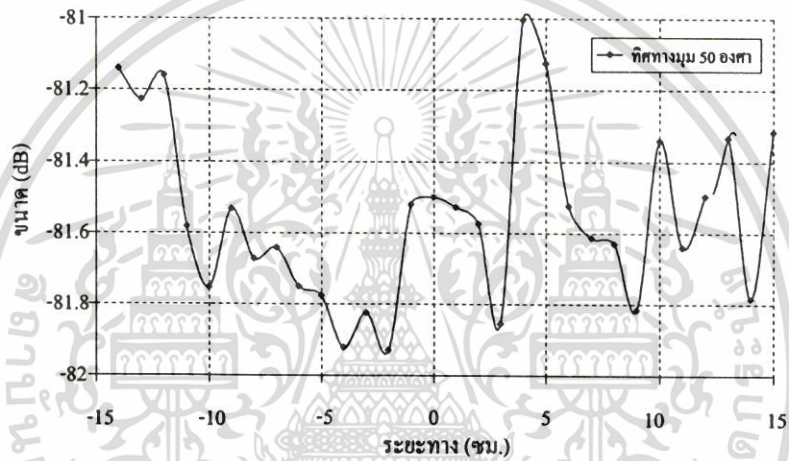
(ค)

ภาพที่ 6.21 แบบรูปการแทรกสอดของคลื่น ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 86 ซม. (ก) มุม $\theta = 40$ องศา (ข) มุม $\theta = 50$ องศา และ (ค) มุม $\theta = 60$ องศา

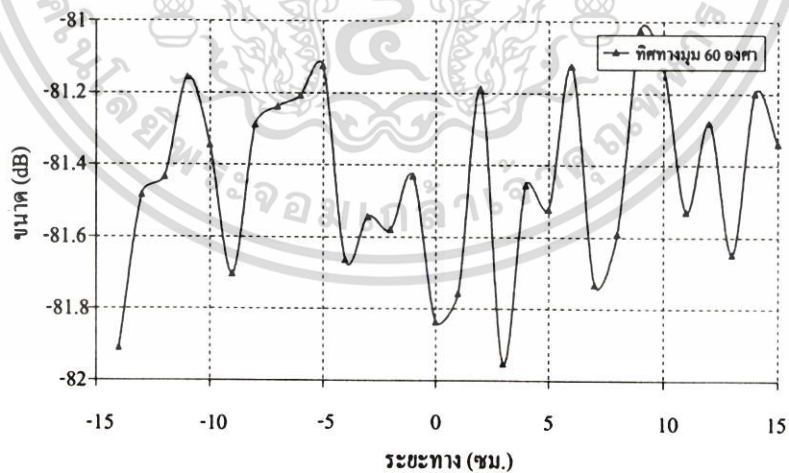
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



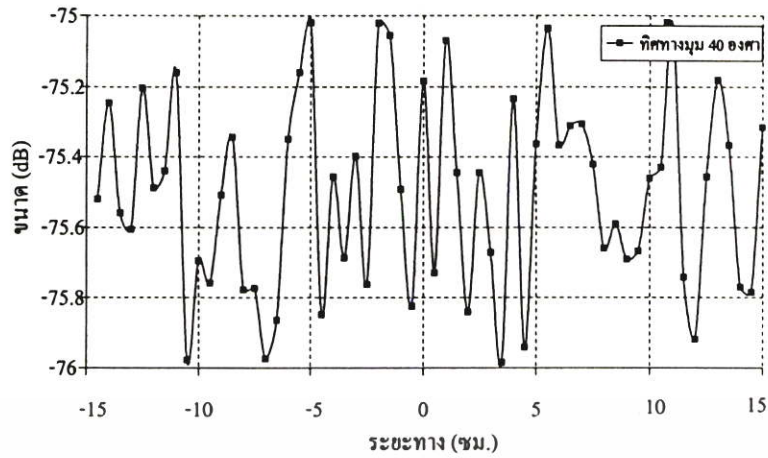
(ข)



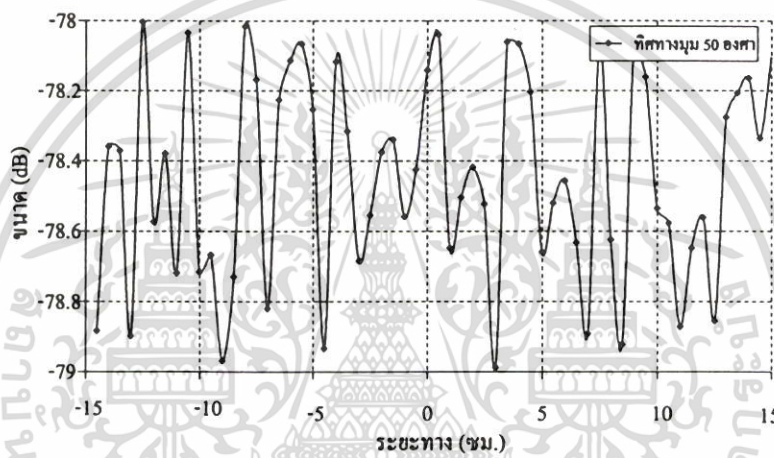
(ค)

ภาพที่ 6.22 แบบรูปการแทรกสอดของคลื่น ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 87 ซม. (ก) มุม $\theta = 40$ องศา (ข) มุม $\theta = 50$ องศา และ (ค) มุม $\theta = 60$ องศา

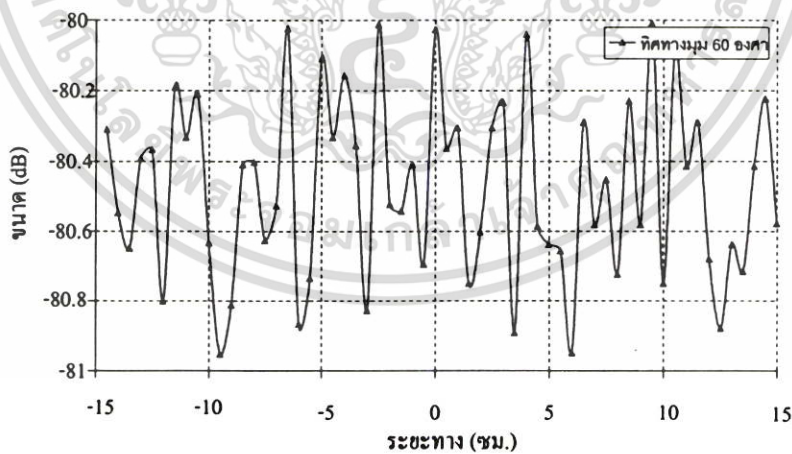
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



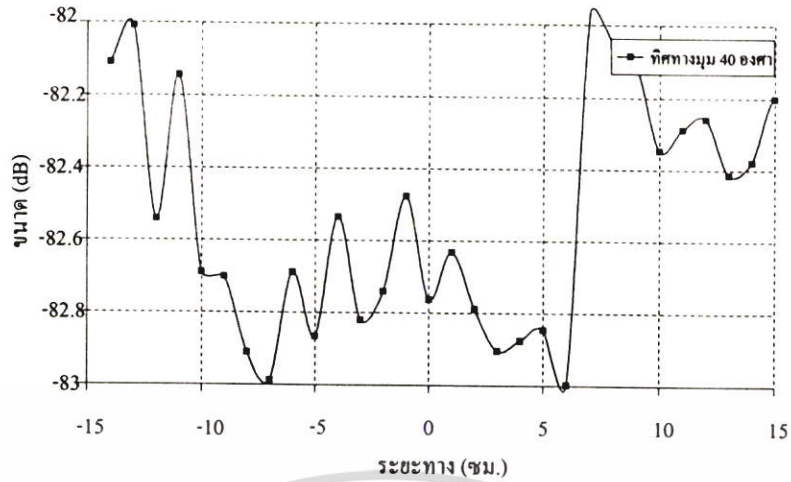
(ข)



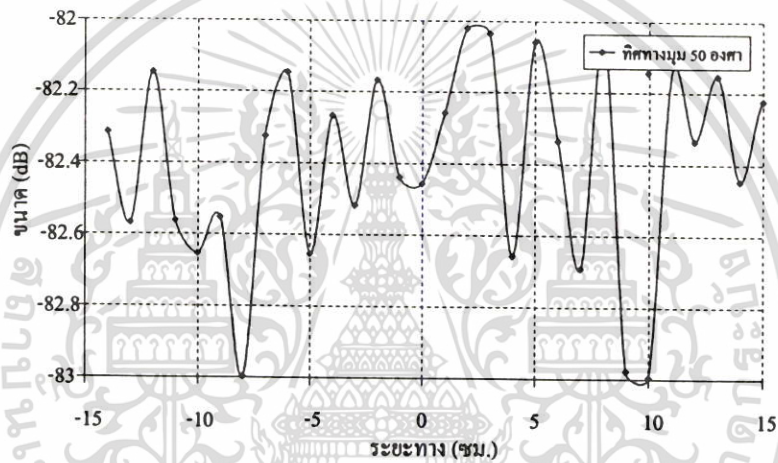
(ค)

ภาพที่ 6.23 แบบรูปการแทรกสอดของคลื่น ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 88 ซม. (ก) มุม $\theta = 40$ องศา (ข) มุม $\theta = 50$ องศา และ (ค) มุม $\theta = 60$ องศา

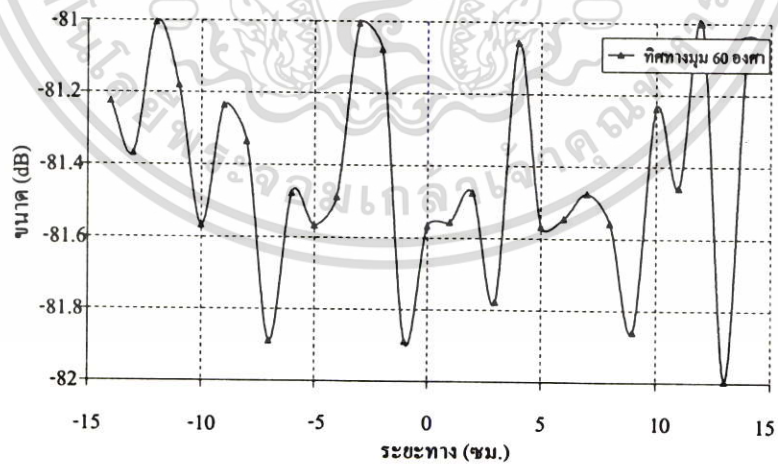
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



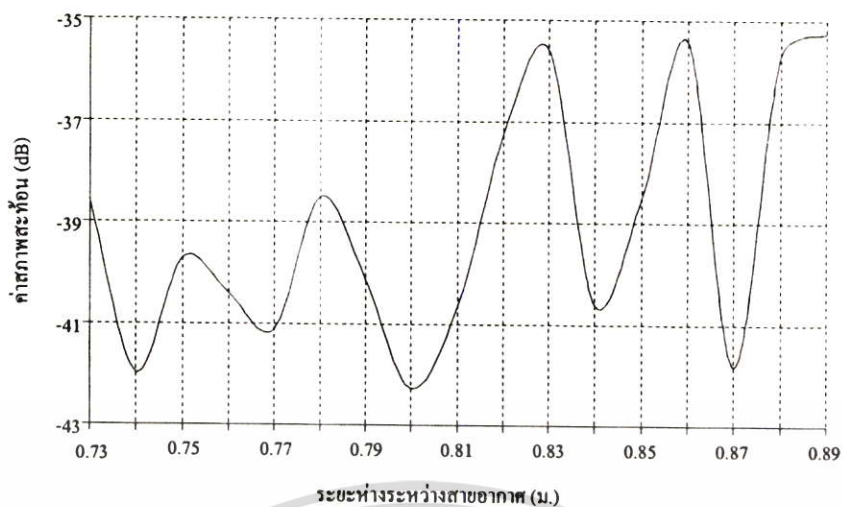
(ค)

ภาพที่ 6.24 แบบรูปการแทรกสอดของคลื่น ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 89 ซม. (ก) มุม $\theta = 40$ องศา (ข) มุม $\theta = 50$ องศา และ (ค) มุม $\theta = 60$ องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.3 ค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้คำนวณหาค่าสภาพสะท้อน

d(cm)	ϕ	a (dB)	σ (dB)	$\frac{E_R}{E_D}$ (dB)	Refl (dB)
73	40	-10.371	0.676	-28.202	-38.573
	50	-11.186	0.629	-28.833	-40.019
	60	-14.687	0.567	-29.728	-44.416
74	40	-14.548	0.431	-32.109	-46.657
	50	-24.805	0.744	-27.366	-52.172
	60	-14.103	0.703	-27.863	-41.965
75	40	-12.871	0.511	-30.631	-43.502
	50	-13.511	0.797	-26.777	-40.289
	60	-11.186	0.652	-28.516	-39.702
76	40	-15.123	0.867	-26.044	-41.167
	50	-18.576	1.041	-24.455	-43.031
	60	-20.136	0.831	-26.411	-46.547
77	40	-12.478	0.628	-28.841	-41.320
	50	-17.962	0.785	-26.902	-44.864
	60	-18.512	1.290	-22.601	-41.113
78	40	-12.639	0.884	-25.875	-38.514
	50	-15.315	0.926	-25.472	-40.787
	60	-19.568	0.774	-27.028	-46.596
79	40	-18.570	0.692	-27.999	-46.569
	50	-17.953	0.714	-27.731	-45.684
	60	-13.081	0.771	-27.061	-40.143
80	40	-20.743	0.863	-26.084	-46.827
	50	-13.967	0.585	-29.450	-43.417
	60	-18.701	1.153	-23.573	-42.274
81	40	-11.372	0.597	-29.281	-40.653
	50	-16.259	0.812	-26.613	-42.872
	60	-23.706	0.793	-26.817	-50.523
82	40	-11.845	0.931	-25.426	-37.271
	50	-15.534	0.803	-26.707	-42.241
	60	-18.114	0.710	-27.777	-45.891
83	40	-6.886	0.571	-29.667	-36.553
	50	-9.485	0.860	-26.117	-35.602
	60	-15.579	0.621	-28.939	-44.517
84	40	-12.905	0.716	-27.704	-40.609
	50	-22.671	0.705	-27.843	-50.513
	60	-18.241	0.731	-27.524	-45.765
85	40	-13.115	0.627	-28.855	-41.970
	50	-17.771	0.510	-30.641	-48.412
	60	-11.498	0.775	-27.017	-38.515
86	40	-10.379	0.972	-25.053	-35.432
	50	-15.396	0.452	-31.689	-47.086
	60	-24.290	0.749	-27.313	-51.602
87	40	-14.652	0.761	-27.175	-41.827
	50	-13.903	0.188	-39.316	-53.219
	60	-21.820	0.851	-26.205	-48.025

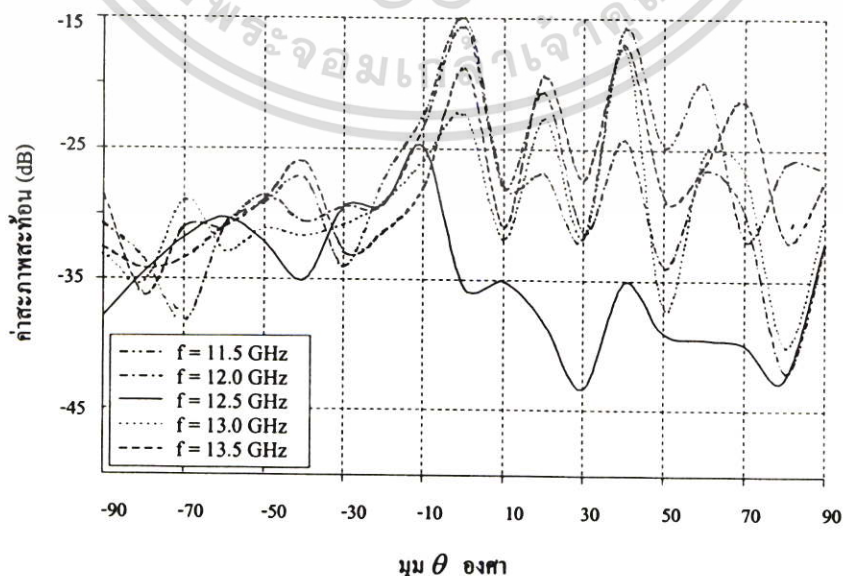


ภาพที่ 6.25 ค่าสภาพสะท้อนในฟังก์ชันของระยะห่างระหว่างสายอากาศ

จากผลการทดลอง และการวิเคราะห์พบว่า ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 80 เซนติเมตร จะมีค่าสภาพสะท้อน (Re fl) ที่ต่ำที่สุดคือ -42.274 dB นั้นหมายความว่า การทดสอบแบบรูปสายอากาศจะทำการทดสอบที่ระยะดังกล่าวนี้ภายในห้องทดสอบเร็ว

ดังที่กล่าวไว้แล้ว แม้ว่าจะมีระดับของค่าสภาพสะท้อนที่ต่ำแต่ในบางมุมก็อาจจะมีคลื่นสะท้อนที่สามารถเข้ามาบรรจบทำให้เกิดความผิดพลาดในระบบทดสอบ ดังนั้นจึงได้มีการหาวิธีลดผลของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนี้ โดยการหาค่าสภาพสะท้อนที่ทุกๆมุมของสายอากาศทดสอบ (โพรบ) โดยกำหนดระยะห่างระหว่างสายอากาศให้คงที่เท่ากับ 80 เซนติเมตร และทำการเปลี่ยนความถี่ในการทดสอบตั้งแต่ 11.5 12.0 12.5 13.0 และ 13.5 กิกะเฮิรตซ์

จากการทดลองผลของค่าสภาพสะท้อนที่ความถี่ต่างๆ แสดงดังภาพที่ 6.26



ภาพที่ 6.26 ค่าสภาพสะท้อนในฟังก์ชันของมุม θ (ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 80 ซม.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

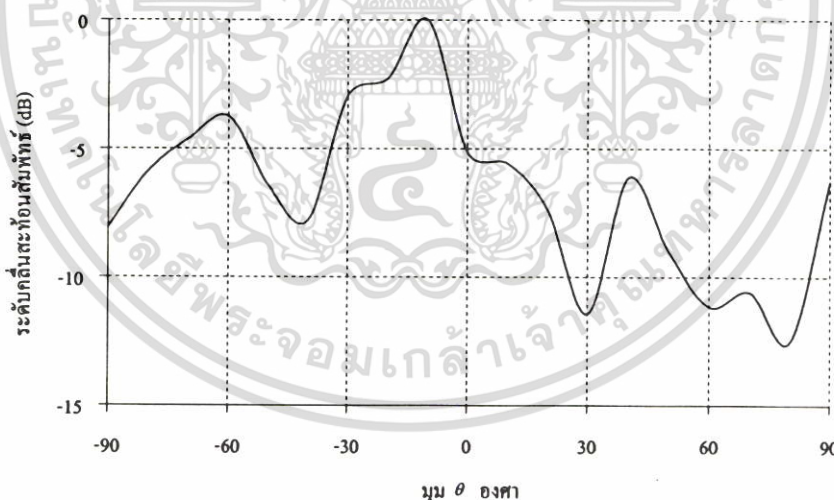
จากผลที่ได้เมื่อวิเคราะห์ที่ความถี่ 12.5 กิกะเฮิร์ตซ์ เพื่อหากราฟชดเชยความผิดพลาด โดยอาศัยนิยามพื้นฐานของแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ (P) หมายถึงระดับสัญญาณที่สามารถรับได้โดยเป็นการรวมกันของคลื่นทางตรง และคลื่นสะท้อน เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$P(dB) = E_R(dB) + E_D(dB) \quad (6.8)$$

และนิยามของค่าสภาพสะท้อนคือ ระดับของสัญญาณที่แตกต่างกันระหว่างคลื่นสะท้อน และคลื่นทางตรง เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$Refl(dB) = E_R(dB) - E_D(dB) \quad (6.9)$$

ถ้าพิจารณาสมการที่ (6.8) เมื่อต้องการทราบค่าที่ถูกต้องของแบบรูปสายอากาศ จะต้องชดเชยด้วยการลบระดับของคลื่นสะท้อนออกจากทุกๆมุมในการทดสอบ โดยระดับของคลื่นสะท้อนสัมพันธ์หาได้จากสมการที่ (6.9) ด้วยการนอร์มัลไลซ์กราฟที่ 6.26 ที่ความถี่ทดสอบ (12.5 กิกะเฮิร์ตซ์) ดังนั้นจะได้กราฟสำหรับชดเชยความผิดพลาดดังแสดงในภาพที่ 6.27



ภาพที่ 6.27 กราฟชดเชยความผิดพลาด (ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 80 ซม. และความถี่ใช้งาน 12.5 กิกะเฮิร์ตซ์)

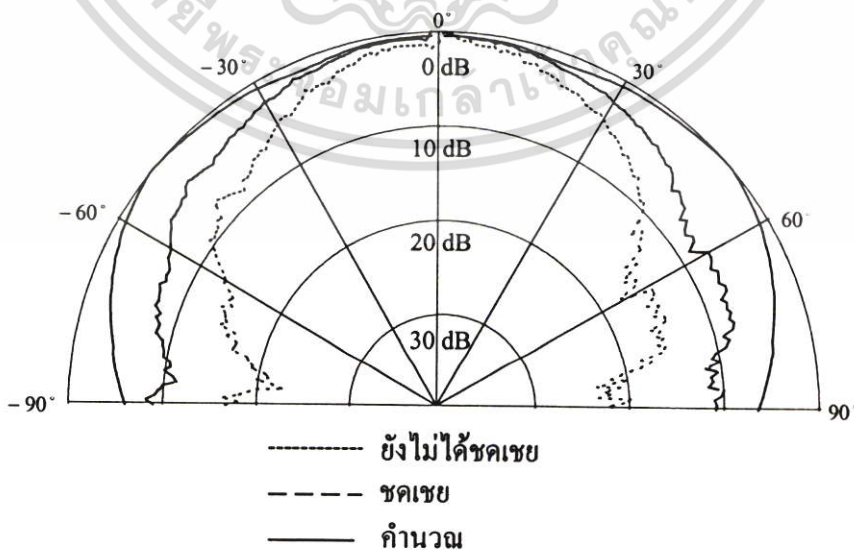
เพื่อยืนยันประสิทธิภาพผลของกราฟชดเชยความผิดพลาด จึงได้ทำการวัดแบบรูปสายอากาศ โดยเปรียบเทียบระหว่างค่าของแบบรูปที่ยังไม่ได้ชดเชย กับค่าของแบบรูปที่ถูกชดเชยด้วยกราฟที่ 6.27 ซึ่งทั้งสองกรณีจะเทียบความถูกต้องกับแบบรูปของสายอากาศจากการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงื่อนไขในการทดลอง ใช้สายอากาศส่งชนิด คอร์รูเกต ฮอรั่น มีอัตราขยาย 15 dBi และสายอากาศที่ใช้ทดสอบเป็นชนิดร่องป้อนด้วยโพรง (Cavity-backed slot) [22] โดยเจาะร่องยาว $\frac{\lambda}{2}$ มีระนาบกราวด์ $2.375\lambda \times 2.375\lambda$ ที่ความถี่ออกแบบ 12.5 กิกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งผลการเปรียบเทียบแสดงดังภาพที่ 6.28

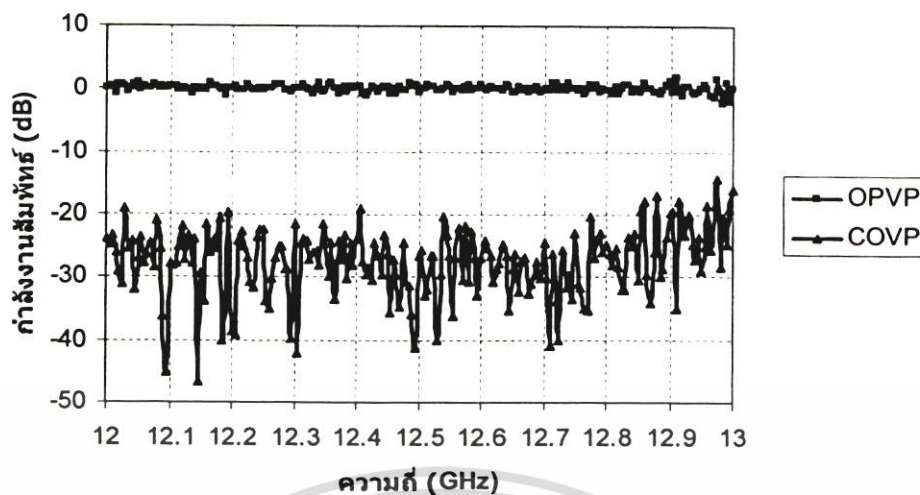
จากผลการเปรียบเทียบพบว่า แบบรูปสายอากาศที่ยังไม่ได้ชดเชยจะเกิดความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 4.23 dB ในขณะที่เมื่อชดเชยความผิดพลาดแล้วความผิดพลาดเฉลี่ยจะลดลงเท่ากับ 1.71 dB แสดงว่า เมื่อชดเชยความผิดพลาดด้วยกราฟชดเชยที่มุมต่างๆแล้ว ผลของแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ทำการวัดภายในห้องทดสอบสายอากาศเร็วจะมีความถูกต้องมากขึ้นเมื่อเทียบกับผลการคำนวณ

นอกจากนั้นยังแสดงผลการทดสอบค่าประสิทธิภาพการชิลด์ทางไฟฟ้า (Shield Effectiveness) ของห้องทดสอบสายอากาศ กล่าวคือ เป็นค่าที่บ่งบอกความสามารถของห้องทดสอบสายอากาศว่าสามารถป้องกันการแทรกสอดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอกที่แต่ละความถี่ได้ดีเพียงใด (ทฤษฎีในการทดสอบคู่ได้จากภาคผนวก ก) และผลการทดสอบเป็นดังภาพที่ 6.29 จากภาพ (6.29) แขนงอนเป็นความถี่ทดสอบ (12-13 กิกะเฮิร์ตซ์) และแกนตั้งเป็นระดับกำลังงานสัมพัทธ์ (dB) โดยที่ OPVP คือ กรณีเปิดประตูห้องทดสอบ และสายอากาศส่ง และสายอากาศทดสอบมีโพลาริเซชันแนวตั้งเหมือนกัน ในทำนองเดียวกัน OPHP คือ กรณีเปิดประตูห้องทดสอบ และสายอากาศส่ง และสายอากาศทดสอบมีโพลาริเซชันแนวนอนเหมือนกัน ส่วน COVP คือ กรณีปิดประตูห้องทดสอบ และสายอากาศส่ง และสายอากาศทดสอบมีโพลาริเซชันแนวตั้งเหมือนกัน และ COHP คือ กรณีปิดประตูห้องทดสอบ และสายอากาศส่ง และสายอากาศทดสอบมีโพลาริเซชันแนวนอนเหมือนกัน

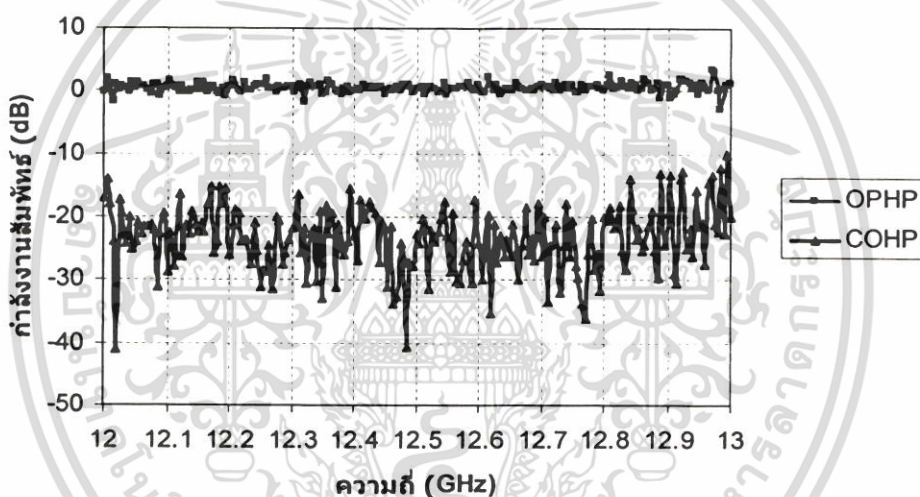


ภาพที่ 6.28 การเปรียบเทียบแบบรูปสายอากาศระหว่างผลที่ยังไม่ชดเชย กับ ผลที่ชดเชยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เกี่ยวกับผลการคำนวณ ซึ่งงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

ภาพที่ 6.29 ค่าประสิทธิภาพการชดเชยทางไฟฟ้า (ก) กำหนดโพลาริเซชันแนวตั้ง (ข) กำหนดโพลาริเซชันแนวนอน

6.5 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึง การออกแบบ และประเมินคุณสมบัติห้องทดสอบสายอากาศที่ย่านความถี่ 11.5-13.5 กิกะเฮิรตซ์ โดยได้แบ่งเป็นส่วนๆ ดังนี้ ส่วนแรกคือ การออกแบบวัสดุดูดซับคลื่นชนิด ซาลิสบูริสกรีน ซึ่งจากวัสดุดูดซับคลื่นไมโครเวฟที่ได้ออกแบบมานี้สามารถดูดซับคลื่นได้ -17 dB (เมื่อเทียบกับโลหะ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่สอง เป็นการออกแบบและสร้างห้องทดสอบสายอากาศแบบเรียว ซึ่งเป็นห้องทดสอบขนาดเล็ก (0.5 ม. × 1.17 ม. × 0.66 ม.) เพื่อใช้ทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศขนาดเล็ก โดยที่ภายในห้องทดสอบเรียวนั้นจะบุด้วยวัสดุดูดซับคลื่นชนิดซาลิสบูรีสกรีน ที่ได้ออกแบบมาก่อนหน้านี้แล้วนั่นเอง

และส่วนสุดท้าย เป็นการประเมินคุณสมบัติห้องทดสอบสายอากาศ ด้วยวิธีอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันในอวกาศว่าง และพบว่าที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศทดสอบที่ระยะ 80 ซม. จะได้ค่าสภาพสะท้อนที่ต่ำที่สุดเท่ากับ -42.274 dB ที่ความถี่ 12.5 กิกะเฮิรตซ์ และที่จุดนี้จะเป็นจุดที่ใช้วางสายอากาศที่จะทำการทดสอบภายในห้องทดสอบเรียวขนาดเล็กนี้ และนอกจากนั้นยังได้เสนอกราฟชดเชยความผิดพลาดเนื่องจากคลื่นสะท้อนที่เกิดขึ้นไว้ด้วย และผลการชดเชยพบว่ามีความใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการคำนวณมากกว่าผลที่ยังไม่ได้ทำการชดเชย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุป และข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบและประเมินคุณสมบัติห้องทดสอบสายอากาศ โดยกระทำที่สองย่านความถี่คือ 1.8-2.5 กิกะเฮิรตซ์ และ 11.5-13.5 กิกะเฮิรตซ์ เพื่อให้สามารถทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศขนาดเล็กที่ออกแบบมาในย่านความถี่ดังกล่าว

ห้องทดสอบสายอากาศที่ได้ออกแบบ และสร้างขึ้นมามีส่วนประกอบหลักที่สำคัญคือ วัสดุคูคัพคลื่น ไมโครเวฟใช้ติดตั้งภายในห้องทดสอบสายอากาศ ซึ่งวัสดุคูคัพคลื่นได้พัฒนา และสร้างขึ้นเองตามหลักการพื้นฐานของ ซาลิสกูรีสกริน โดยเป็นวัสดุคูคัพคลื่นชนิดเรโซแนนซ์ กล่าวคือ สามารถคูคัพคลื่นได้ดีเฉพาะความถี่ที่ออกแบบ

และการประเมินคุณสมบัติของห้องทดสอบด้วยวิธีอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันในอวกาศว่าง เพื่อหาค่าสภาพสะท้อนที่เกิดขึ้นภายในบริเวณทดสอบ ซึ่งการกำหนดบริเวณทดสอบจะ กำหนดตามเทคนิคการลากเส้นเชิงเรขาคณิต โดยอาศัยหลักการของมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน ดังอธิบายไว้ในบทที่ 5 และ 6 และระยะห่างระหว่างสายอากาศอ้างอิงตามกฎการแผ่พลังงานระยะไกลของสายอากาศคือ $S \geq \frac{2D^2}{\lambda}$ โดยที่ S (ม.) คือระยะห่างระหว่างสายอากาศ D (ม.) คือขนาดทางกายภาพที่มากที่สุดของสายอากาศ และ λ (ม.) คือความยาวคลื่นของความถี่ที่ใช้งาน

แต่อย่างไรก็ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าการพัฒนาห้องทดสอบสายอากาศในวิทยานิพนธ์นี้มีข้อจำกัดของวัสดุที่ใช้สร้าง และวัสดุคูคัพคลื่นที่ใช้เป็นองค์ประกอบหลัก ดังนั้นห้องทดสอบสายอากาศยังคงมีคลื่นสะท้อนที่เกิดขึ้นและเข้าสู่บริเวณทดสอบ ทำให้เกิดความผิดพลาดในการทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานระยะไกลของสายอากาศ

ด้วยเหตุนี้ วิทยานิพนธ์จึงนำเสนอกราฟชดเชยความผิดพลาดที่เกิดขึ้นที่ความถี่ต่างๆไว้ด้วย ดังนั้นจึงต้องสรุปแยกออกเป็นแต่ละกรณีดังนี้

1) ออกแบบ และประเมินคุณสมบัติห้องทดสอบสายอากาศที่ย่าน 1.8-2.5 กิกะเฮิรตซ์ ห้องทดสอบขนาดเล็กแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้านี้จะมีขนาด กว้าง ยาว สูง เป็น 1.2 ม. × 1.2 ม. × 2.2 ม. ตามลำดับ สามารถใช้งานได้ตั้งแต่ความถี่ 1.7 ถึง 2.5 กิกะเฮิรตซ์ โดยมีกราฟชดเชยความผิดพลาดของแบบรูปการแผ่พลังงานที่ความถี่ 1.8 1.9 2.0 2.1 2.15 2.2 2.3 และ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ โดยแต่ละความถี่จะมีระยะห่างระหว่างสายอากาศที่เหมาะสมแตกต่างกัน และมีค่าสภาพสะท้อนที่แตกต่างกันไป ดังนี้

1.1) ที่ความถี่ 1.7 กิกะเฮิรตซ์ ค่าสภาพสะท้อนที่ต่ำที่สุดเท่ากับ -13.976 dB ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 112.5 ซม. และขนาดทางกายภาพของสายอากาศทดสอบไม่เกิน 2λ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

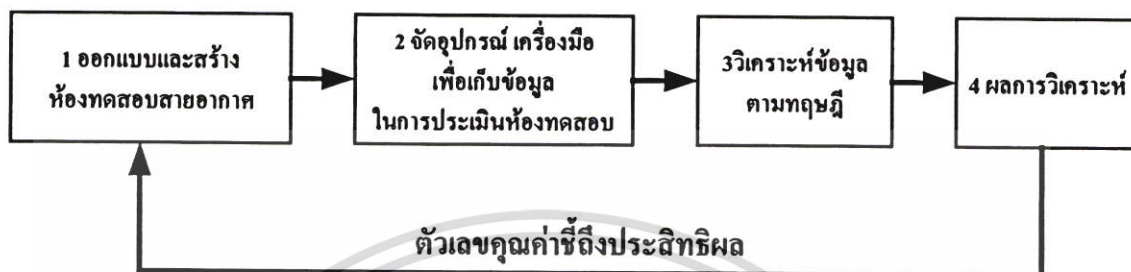
- 1.2) ที่ความถี่ 1.8 กิกะเฮิรตซ์ ค่าสภาพสะท้อนที่ต่ำที่สุดเท่ากับ -26.453 dB ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 105.5 ซม. และขนาดทางกายภาพของสายอากาศทดสอบไม่เกิน 2λ
- 1.3) ที่ความถี่ 1.9 กิกะเฮิรตซ์ ค่าสภาพสะท้อนที่ต่ำที่สุดเท่ากับ -30.922 dB ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 104.5 ซม. และขนาดทางกายภาพของสายอากาศทดสอบไม่เกิน 2λ
- 1.4) ที่ความถี่ 2.0 กิกะเฮิรตซ์ ค่าสภาพสะท้อนที่ต่ำที่สุดเท่ากับ -23.838 dB ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 105.5 ซม. และขนาดทางกายภาพของสายอากาศทดสอบไม่เกิน 2λ
- 1.5) ที่ความถี่ 2.1 กิกะเฮิรตซ์ ค่าสภาพสะท้อนที่ต่ำที่สุดเท่ากับ -32.949 dB ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 100.0 ซม. และขนาดทางกายภาพของสายอากาศทดสอบไม่เกิน 2λ
- 1.6) ที่ความถี่ 2.15 กิกะเฮิรตซ์ ค่าสภาพสะท้อนที่ต่ำที่สุดเท่ากับ -30.421 dB ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 102.5 ซม. และขนาดทางกายภาพของสายอากาศทดสอบไม่เกิน 2λ
- 1.7) ที่ความถี่ 2.2 กิกะเฮิรตซ์ ค่าสภาพสะท้อนที่ต่ำที่สุดเท่ากับ -31.190 dB ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 104.5 ซม. และขนาดทางกายภาพของสายอากาศทดสอบไม่เกิน 2λ
- 1.8) ที่ความถี่ 2.3 กิกะเฮิรตซ์ ค่าสภาพสะท้อนที่ต่ำที่สุดเท่ากับ -32.419 dB ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 105.5 ซม. และขนาดทางกายภาพของสายอากาศทดสอบไม่เกิน 2λ
- 1.9) ที่ความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ค่าสภาพสะท้อนที่ต่ำที่สุดเท่ากับ -20.345 dB ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 110.5 ซม. และขนาดทางกายภาพของสายอากาศทดสอบไม่เกิน 2λ
- 1.10) ที่ความถี่ 2.5 กิกะเฮิรตซ์ ค่าสภาพสะท้อนที่ต่ำที่สุดเท่ากับ -22.892 dB ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 107.5 ซม. และขนาดทางกายภาพของสายอากาศทดสอบไม่เกิน 2λ

2) ออกแบบ และประเมินคุณสมบัติห้องทดสอบสายอากาศที่ย่าน 11.5-13.5 กิกะเฮิรตซ์ การออกแบบห้องทดสอบสายอากาศเป็นห้องทดสอบขนาดเล็กแบบเรียวมีขนาด กว้าง ยาว สูง เป็น (0.5 ม. × 1.17 ม. × 0.66 ม.) ตามภาพที่ 5.9 และ 5.10 สามารถทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน ระยะไกลของสายอากาศขนาดเล็กได้ดี และมีกราฟสำหรับชดเชยความผิดพลาดที่ความถี่ 11.5 12.0 12.5 13.0 และ 13.5 กิกะเฮิรตซ์ ตามลำดับ ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 80 ซม. สายอากาศทดสอบมีขนาดทางกายภาพมากที่สุดไม่เกิน 4λ และมีค่าสภาพสะท้อนต่ำที่สุดเท่ากับ -42.274 dB ที่ความถี่ 12.5 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่ง ณ ตำแหน่งนี้จะตำแหน่งที่วางสายอากาศทดสอบ

ด้วยข้อสรุปทั้งหมดนี้ทำให้วิทยานิพนธ์นี้บรรลุตามวัตถุประสงค์ และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานระยะไกลของสายอากาศขนาดเล็ก ได้จริง

ข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นงานวิจัยในลักษณะเก็บข้อมูลจากการทดลอง แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์ และผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะเป็นตัวเลขคุณค่า (สภาพสะท้อน) ที่ชี้ถึงประสิทธิภาพของห้องทดสอบสายอากาศที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นมาว่าจะดีเพียงใด ดังแผนภาพนี้



ภาพที่ 7.1 แผนระบบการทำงาน

จากแผนภาพจะเป็นระบบปิด สามารถควบคุมได้ทุกขั้นตอนและมีความสำคัญทุกขั้นตอน จากประสบการณ์ ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ พบว่าขั้นตอนที่มีความยุ่งยากอย่างมากคือขั้นตอน 1 และ 2 ในขั้นตอนแรกคือการออกแบบ และสร้างห้องทดสอบจะพบปัญหาที่การสร้างห้องทดสอบเนื่องจากวัสดุ และความแน่นของเครื่องมือที่ใช้สร้าง ส่วนในขั้นตอนที่สอง คือ การจัดอุปกรณ์ และเครื่องมือ เพื่อเก็บข้อมูล เพื่อใช้ประเมินคุณสมบัติห้องทดสอบ อุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของสายอากาศจะต้องให้มีตำแหน่งที่แม่นยำ และเพียงพอ และการปรับมุมของสายอากาศทดสอบจะต้องแม่นยำด้วย ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะต้องระมัดระวังอย่างยิ่ง เพราะถ้าการเก็บผลการทดลองที่ไม่ดีจะส่งผลถึงตัวเลขคุณค่าที่บ่งชี้ประสิทธิภาพของห้องทดสอบสายอากาศจะไม่ถูกต้องตามไปด้วย ทำให้การทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่กระทำภายในห้องทดสอบเกิดผลที่ผิดพลาด แม้ว่าจะมีกราฟชดเชยก็ตาม เพราะผลของกราฟชดเชยก็ได้มาจากข้อมูลในการทดลองเช่นกัน

และข้อเสียอีกประการหนึ่งคือ การเก็บผลการทดลองจะใช้เวลานานมากเนื่องจากต้องเก็บผลทุกจุดในระนาบ (x, y) แม้ว่าจะกำหนดความสูงของสายอากาศส่ง และสายอากาศทดสอบให้คงที่ก็ตาม

ดังนั้นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลควรจะเป็นแบบอัตโนมัติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อความถูกต้อง แม่นยำ และรวดเร็ว ในการบันทึกผลการทดลอง ซึ่งจะส่งผลให้ได้ตัวเลขคุณค่าที่แม่นยำนั่นเอง

ซึ่งผู้วิจัยเสนอแนะว่าในการพัฒนาห้องทดสอบสายอากาศในอนาคตต่อไป อาจจะใช้วิธีโดเมนเชิงเวลา (Time Domain) เพื่อหาค่าตำแหน่งในการสะท้อนคลื่นมีแน่นอน และอาจจะใช้ร่วมกับเทคนิคอื่นๆที่มีความแม่นยำ และรวดเร็ว ซึ่งจะต้องมีการนำมาประยุกต์ใช้ และพัฒนาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] *IEEE Standard Test Procedures for Antennas*, IEEE Std 149-1979, published by IEEE, Inc., 1979.
- [2] C. A. Balanis, “**Antenna Theory Analysis and Design**,” John Wiley & Sons, Inc., New York, 1997.
- [3] E. S. Gillespie, “**Measurement of Antenna Radiation Characteristics on Far-Field Ranges**,” Chapter 32 in *Antenna Handbook* (Y. T. Lo and S. W. Lee, eds.), pp. 32-1 to 32-91, New York, Van Nostrand Reinhold Co., Inc., 1988.
- [4] โมไนย ไกรฤกษ์, “**ทฤษฎีสายอากาศ**,” สำนักพิมพ์ ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, พ.ศ. 2535.
- [5] J. S. Hollis, T. J. Lyon, and L. Clayton, Jr., **Microwave Antenna Measurement**, Scientific-Atlanta, Inc., Atlanta, Georgia, July 1970.
- [6] L. H. Hemming and R. A. Heaton, “**Antenna gain Calibration on a Ground Reflection Range**,” *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. AP-21, No. 4, pp. 532-537, July 1973.
- [7] A. W. Moeller, “**The Effect of Ground Reflections on Antenna Test Range Measurements**,” *Microwave Journal*, Vol. 9, pp. 47-54, March 1966.
- [8] P. W. Arnold, “**The ‘Slant’ Antenna Range**,” *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. AP-14, No. 5, pp. 658-659, September 1966.
- [9] H. E. King, F. I. Shimabukuro, and J. L. Wong, “**Characteristics of Tapered Anechoic Chamber**,” *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. AP-15, pp. 488-490, May 1967.
- [10] H. G. Booker, V. H. Rumsey, G. A. Deschamps, M. I. Kales, and J. I. Bonhert, “**Techniques for Handling Elliptically Polarized Waves with Special Reference to Antennas**,” *Proc. IRE*, Vol. 39, pp. 533-552, May 1951.
- [11] A. W. Rudge, K. Milne, A. D. Olver, and P. Knigh, **The Handbook of Antenna Design volume 1**, Peter Peregrinus, London, UK, pp. 668-689, 1982.
- [12] J. Apple-Hansen, “**Reflectivity level of radio anechoic chamber**,” *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. AP-21, no. 4, pp. 490-498, July 1973.
- [13] G. T. Ruch, D. E. Rarrick, W. D. Stuart and C. D. Krickbaum, “**Radar Cross Section Handbook**,” vol. II . New York: Plenum, 1970, ch. 8.
- [14] B. Chambers, “**Opimum design of a Salisbury screen radar absorber**,” *Electron. Lett.*, Vol. AP-30, no.16, pp. 1353-1354, 1994.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

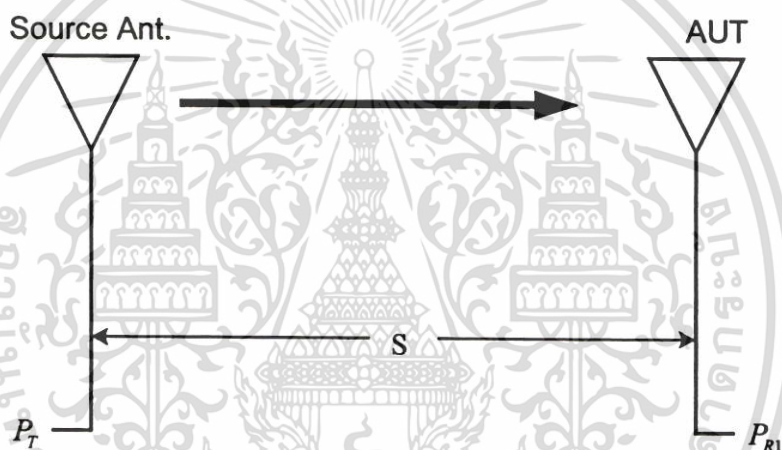
- [15] N. Machan, P. Inthogn, A. Mearnchu, and M. Krairiksh, "Development of a Low Cost Anechoic Chamber," pp. 35-39, ICEMC 2002 Conference, Bangkok, Thailand, 2002.
- [16] R. E. Hiatt, E. F. Knott, and T. B. A. Senior, "A study of VHF absorbers and anechoic room," Radiation Lab., Univ. Michigan, Tech. Rep. 5391-1-F, Feb. 1963.
- [17] R. R. Bowman, "Prevalent methods for evaluating anechoic chamber: some basic limitations," presented at 1966 Measurement Seminar, Session III, Lecture 3 of High Frequency and Microwave Field Strength Precision NBS Rep. 9229.
- [18] B. D. Rethmeyer, and W. A. Price, "Procurement and evaluation of anechoic chambers," U. S. Naval Avionics Facility, Indianapolis, Ind., Tech. Rep. 403, July 1964.
- [19] W. H. Kummer, and A. T. Villeneuve, "Experimental evaluation of anechoic chamber," in 1965 IEEE G-AP Int. *Symp. Prog. And Dig.*, pp. 301-306.
- [20] B. Clarke, and R. Breithaupt, "Test measurements on a 13 ft. × 9.8 ft. × 7.5 ft. microwave anechoic chamber," Communication Res. Cent., Nat. Space Telecommun. Lab., CRC Tech. Note 633, Aug. 1971.
- [21] H. Hollman, "Design and tunction of anechoic funnel and rectangular chambers for antenna tests," *Fernmeldetech. Z. der Deutschen Bundespost*, A 454 TBr 13, Nov. 1971.
- [22] T. Lertwiryaprapa, Analysis of Radiation and Impedance Characteristics of the Anenna using the Slot on Rectangular Cavity, Master Thesis, King Mongut's Institute of Technology Ladkrabang, 2002.

ภาคผนวก ก

ทฤษฎีการทดสอบค่าประสิทธิภาพการชีลด์ (Shielding Effectiveness Measurement Theory)

วิธีการทั่วไปที่ใช้หาค่าประสิทธิภาพการชีลด์ โดยใช้เทคนิคสายอากาศสองตัว ดังแสดงในภาพ

ที่ ผ.1



ภาพที่ ผ.1 การกระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างสายอากาศ

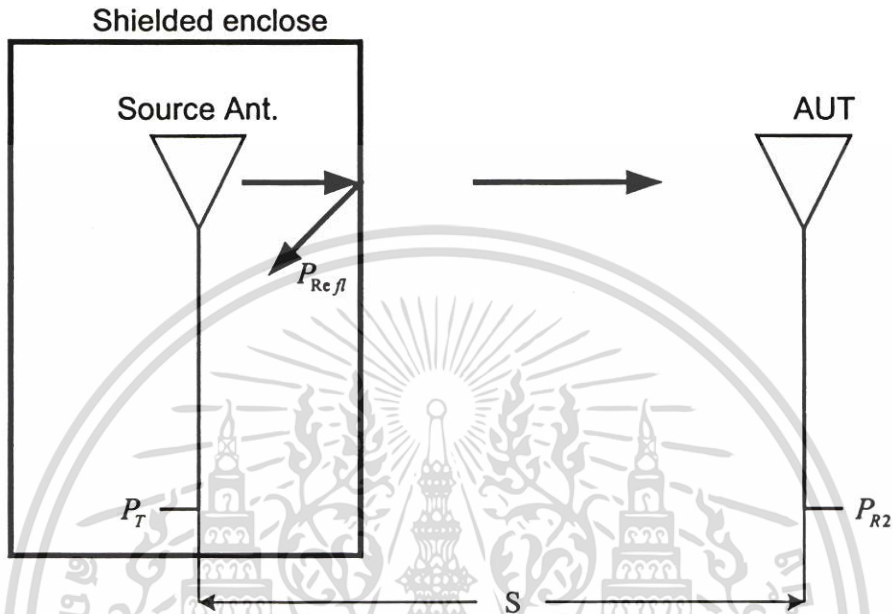
กำหนดให้สายอากาศสองตัววางห่างกันด้วยระยะทาง S กำลังงานที่รับได้โดยสายอากาศรับอธิบายโดย สมการการส่งผ่านของฟรีส ถ้า $S = \frac{2D^2}{\lambda}$ จะเป็นการแผ่พลังงานในสนามระยะไกล โดยที่ D คือขนาดทางกายภาพที่ใหญ่ที่สุดของสายอากาศ

เมื่อกำหนดให้อิมพีแดนซ์ของเครื่องส่งแมตซ์กับอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ และสายอากาศสองตัวมีโพลาริเซชันที่แมตซ์กันด้วย ดังนั้นสมการการส่งผ่านของฟรีสสามารถเขียนได้เป็น

$$P_{R1} = P_T \cdot [G_T(\theta_T, \phi_T)] \cdot [G_R(\theta_R, \phi_R)] \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi S^2} \quad (\text{ผ.1})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นกำหนดให้สายอากาศหนึ่งตัว (ส่ง หรือ รับก็ได้) วางอยู่ในห้องชิลด์ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (ห้องทดสอบสายอากาศ) ดังภาพที่ ผ.2



ภาพที่ ผ.2 การกระจายคลื่นระหว่างสายอากาศโดยให้สายอากาศตัวหนึ่งวางภายในห้องทดสอบสายอากาศ

กำหนดให้ ไม่พิจารณาอิทธิพลของวัสดุดูดซับคลื่นภายในห้องทดสอบสายอากาศ (การสูญเสียเนื่องจากการดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า)

ดังนั้นกำลังงานที่รับได้ด้วยสายอากาศรับ P_{R2} จะแตกต่างจาก P_{R1} ด้วยค่าของ P_{Ref} จากนิยามดังกล่าวสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้เป็น

$$P_{R2} = (P_T - P_{Ref}) \cdot [G_T(\theta_T, \phi_T)] \cdot [G_R(\theta_R, \phi_R)] \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi S^2} \quad (\text{ผ.2})$$

ดังนั้นตัวเลขคุณค่าที่ใช้อธิบายค่าประสิทธิภาพการชิลด์ (SE) จะได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$SE(\text{dB}) = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{R1}}{P_{R2}} \right) \quad (\text{ผ.3})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าคิดในเทอมของแรงดันจะได้เป็น

$$SE(\text{dB}) = 20 \log_{10} \left(\frac{E_{R1}}{E_{R2}} \right) \quad (\text{ผ.4})$$

ข้อควรระวัง

วิธีนี้จะกำหนดโดยการเปรียบเทียบค่าสูงสุดของ P หรือ E ที่มุม และโพลาริเซชันที่กำหนดไว้อย่างแน่นอน ซึ่งไม่ใช่การแผ่พลังงานทั้งหมด

ดังนั้นถ้าค่าสูงสุด (อัตราขยาย) ของสายอากาศภายในห้องทดสอบ (ห้องชิลด์) ไม่สามารถวัดค่าได้หรือถ้าโพลาริเซชันของสายอากาศเลื่อน (Shift) ไปจะทำให้เกิดความผิดพลาดของกำลังงานที่วัดได้

ดังนั้นด้วยวิธีนี้จึงมีความเป็นไปได้ว่าจะให้ผลต่อการทดสอบค่าประสิทธิภาพการชิลด์ทางไฟฟ้าเมื่อจัดการทดลองที่ไม่เหมาะสม



ประวัติผู้เขียน

นายนครินทร์ มาจันทร์ เกิดเมื่อวันที่ 17 มิถุนายน พ.ศ. 2519 ที่จังหวัดขอนแก่น สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม ศูนย์กลางสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล เมื่อปี พ.ศ. 2542

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

N. Machan, P. Inthogn, A. Mearnchu, and M. Krairiksh, "Development of a Low Cost Anechoic Chamber," pp. 35-39, ICEMC 2002 Conference, Bangkok, Thailand, 2002.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้