

การสร้างเสอากาศทิว



๑๗  
๗๔๖๖  
๒๕๓๘

นางสาวทิพย์รัตน์ ศิลาร่ำ  
นางสาวอรกิติ แววคล้ายหงษ์

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....  
วัน,เดือน,ปี.....

.61255/454

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# CONSTRUCTION OF TV ANTENNAS



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the  
Requirement for the Degree of Bachelor of Science  
Department of Applied Physics  
Faculty of Science  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
1995

หัวข้อโครงการพิเศษ

การสร้างเสาศาอากาศทิว

โดย

นางสาวทิพย์รัตน์ ศิลาแร่

นางสาวอรกิติ แววล้ายหงษ์

ภาควิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้รับโครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง ของการศึกษาตาม  
หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

( รศ. สุรพล รักรวิชัย )

คณะกรรมการโครงการพิเศษ

ประธานกรรมการ

( ผศ. ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล )

กรรมการ

( ผศ. ดร. อารีย์ วิเชียรฉาย )

กรรมการ

( ผศ. วิชิต ศิริโชติ )

กรรมการ

( อาจารย์สุน จ่างประยูร )

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การสร้างเสาอากาศทีวี

โดย

นางสาวทิพย์รัตน์ ศิลาร่ำ

นางสาวอรุณี เวทค้ายหงษ์

ภาควิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล

ปีการศึกษา

2538

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ เป็นโครงการที่ทำทางด้านการสื่อสารโดยจะเกี่ยวข้องกับงานสายอากาศซึ่งเป็นส่วนสำคัญในระบบการรับส่งสัญญาณ ในที่นี้สายอากาศที่ออกแบบขึ้นจะนำมาใช้ในงานสายอากาศโทรทัศน์ ในย่านความถี่ VHF (very high frequency) โดยจะพิจารณาสายอากาศแบบรูป คือ Halo Antenna ซึ่งจะทำให้การศึกษาคุณลักษณะต่าง ๆ เพื่อที่จะทำการออกแบบและสร้างให้สามารถรับสัญญาณได้ชัดเจน โดยสายอากาศจะแยกรับสัญญาณในแต่ละช่อง คือ ช่อง 3, ช่อง 5, ช่อง 7, ช่อง 9 และช่อง 11 ตามความถี่ของแต่ละสถานีส่งออกอากาศ ในการวิเคราะห์สัญญาณที่รับได้ จะมีเครื่องมือที่ใช้ในการวัดความแรงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สายอากาศรับเข้ามา ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพการรับสัญญาณของสายอากาศที่สร้างขึ้น

Special Project Title	Construction of TV Antennas
Name	Miss. Thipparat Silarae Miss. Orakitt Waewklaihong
Special Project Advisor	Asst.Prof. Sirisak techathaweikul
Department	Applied Physics
Academic Year	1995

### Abstract

This special project is concerned with communication, particularly TV antennas. The TV antenna to be considered is a VHF Loop antenna, i.e. Halo antenna. The purpose of this study is to design, construct and test the Halo antennas with different receiving channels. These channels are channels 3, 5, 7, 9 and 11. It has been found that the performance and efficiency of the constructed Halo antennas are moderate and they can also be used for receiving purposes. In addition, more details will be discussed in the project report.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถเสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลต่าง ๆ

ดังนี้

พ่อแม่

ผู้ให้กำเนิดและอุปการะเลี้ยงดู

ผศ. ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล

ผู้ให้คำแนะนำและเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา

ครูบาอาจารย์

ผู้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ จนสำเร็จการศึกษา

อาจารย์วรวิทย์ สมหา

ผู้เอื้อเฟื้อเครื่องมือในการทดสอบสายอากาศ

ญาติ พี่น้อง และผองเพื่อน

ผู้ให้ความช่วยเหลือด้านต่าง ๆ

นักวิทยาศาสตร์ทุกท่าน

ผู้ที่คิดค้นทฤษฎีให้เราได้ศึกษา

ทบวงมหาวิทยาลัย

ผู้ให้ทุนสนับสนุนโครงการพิเศษ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

ผู้ให้จุดเริ่มต้นที่ดีแก่ชีวิต

เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอขอบคุณบุคคลเหล่านี้อย่างจริงใจ

นางสาวทิพย์รัตน์ ศิลาแแร่

นางสาวอรกิติ แวคคล้ายหงษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ

สารบัญรูปภาพ

สารบัญตาราง

บทที่ 1

บทนำ 1

วัตถุประสงค์ 1

ขอบข่ายการทำงาน 2

ประโยชน์ที่ได้รับ 2

บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการแพร่กระจายคลื่นและสายอากาศ

2.1 คลื่นวิทยุ 3

2.1.1 ชั้นบรรยากาศ 4

2.1.2 ชั้นไอโอโนสเฟียร์ 4

2.1.3 การแบ่งย่านความถี่ของคลื่นวิทยุ 5

2.2 การแพร่กระจายคลื่นวิทยุ ( Propagation of Radio Waves ) 5

2.2.1 คลื่นดิน 6

2.2.2 คลื่นฟ้า 7

2.2.3 ดาวเทียมสื่อสาร 8

2.3 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสายอากาศ 9

2.3.1 หลักการของสายอากาศ 9

2.3.2 คุณลักษณะของสายอากาศ 10

2.3.3 ปรากฏการณ์เอนด์เอฟเฟกต์ (End Effect) 11

2.3.4 โพลาร์ไรเซชันของคลื่นวิทยุ 12

2.3.5 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 12

2.3.6 อัตราขยาย และ ไดเรคตีวิตี 13

2.4 ข้อกำหนดของระบบสายอากาศทีวี 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
2.5 การแบ่งย่านความถี่ที่วี และการจัดช่องสัญญาณที่วี	14
2.6 สายอากาศแบบลวดตัวนำ	14
2.7 สายอากาศแบบลูป	15
2.7.1 Equivalence ของ small loop	15
2.7.2 การแพร่กระจายคลื่นหรือสนามระยะใกล้ของ Short Magnetic Dipole และ Small loop	16
2.7.3 Large Circular Loop Antenna	18
2.7.4 การแพร่กระจายค่าความต้านทานของลูป	20
2.7.5 ไดเรกทิวิตี้ของสายอากาศแบบลูปวงกลมกับ Uniform Current	21
2.8 สายอากาศไดโพล	22
2.9 สายอากาศแบบ Halo	24
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	
3.1 การสร้างสายอากาศแบบ Halo	25
3.2 Field Test	
3.2.1 หาอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ	26
3.2.2 เปรียบเทียบความคมชัดของสัญญาณกับสายอากาศชนิดอื่น ๆ	27
3.3 Property Test หรือ Lap Test	28
บทที่ 4 ผลการทดลอง	29
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	57
บรรณานุกรม	

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2-1 แสดงการกระจายของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์	4
รูปที่ 2-2 แสดงส่วนประกอบของคลื่นดิน	6
รูปที่ 2-3 แสดงการทำงานของคลื่นฟ้า	7
รูปที่ 2-4 แสดงระบบดาวเทียมสื่อสาร	8
รูปที่ 2-5 ความสัมพันธ์ระหว่างแฟคเตอร์ k กับ $\lambda/dia$	11
รูปที่ 2-6 แสดงรูปร่างของสายอากาศแบบลวดตัวนำ	15
รูปที่ 2-7 สายอากาศแบบลูบขนาดเล็ก และรูปสมมูลย์	15
รูปที่ 2-8 แสดง short magnetic dipole	17
รูปที่ 2-9 รูปแบบของสนามระยะไกลของ small loop	17
รูปที่ 2-10 ลูปในระนาบ X-Y	18
รูปที่ 2-11 ภาคตัดขวางของลูปในระนาบ X-Z	19
รูปที่ 2-12 แสดง $J_1(C_\lambda \sin \theta)$ เป็นฟังก์ชันของ $C_\lambda \sin \theta$	19
รูปที่ 2-13 รูปแบบของสนามระยะไกลของลูปของเส้นผ่านศูนย์กลางที่แตกต่างกัน	20
รูปที่ 2-14 ไดรากิวิตีตี้ของลูปวงกลมกับ uniform in - phase current ที่เป็นฟังก์ชันของ $C_\lambda$	22
รูปที่ 2-15 สายอากาศไดโพล	22
รูปที่ 2-16 รูปแบบการกระจายของค่ากระแสและโวลเตจบนสายอากาศไดโพล	23
รูปที่ 2-17 แสดงสายอากาศแบบ Halo	24
รูปที่ 3-1 แสดงรายละเอียดของสายอากาศแบบ Halo	26
รูปที่ 3-2 แสดงการทดสอบอิมพีแดนซ์จากสายอากาศเท่ากับ 300 โอห์ม	26
รูปที่ 3-3 แสดงการทดสอบอิมพีแดนซ์จากสายอากาศเท่ากับ 75 โอห์ม	27
รูปที่ 3-4 แสดงการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น	28
รูปที่ 4-1 แสดงสายอากาศแบบยาก็ 5 อีลีเมนต์	29
รูปที่ 4-2 แสดงการรับสัญญาณช่อง 5, ช่อง 7 และ ช่อง 9	30
รูปที่ 4-3 แสดงสายอากาศของบริษัท BETA model : SS 12 E	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
รูปที่ 4-4 แสดงการรับสัญญาณช่อง 5, ช่อง 7 และ ช่อง 9	31
รูปที่ 4-5 แสดงสายอากาศแบบรูป	32
รูปที่ 4-6 แสดงการรับสัญญาณช่อง 5, ช่อง 7 และ ช่อง 9	33
รูปที่ 4-7 แสดงสายอากาศแบบ Halo	34
รูปที่ 4-8 แสดงการรับสัญญาณช่อง 5, ช่อง 7 และ ช่อง 9	34



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 2-1 แสดงการแบ่งย่านความถี่และการนำไปใช้งาน	5
ตาราง 2-2 แสดงสภาพการนำและค่าคงที่ได้อิเล็กทรอนิกส์ต่อลักษณะผิวต่าง ๆ	6
ตาราง 2-3 แสดงมาตรฐาน CCIR ของทางยุโรป	14
ตาราง 3-1 แสดงความยาวที่คำนวณได้	25
ตาราง 4-1 แสดง radiation pattern ของสายอากาศแบบยาจิกที่ความถี่ 157.5 MHz	36
ตาราง 4-2 แสดง radiation pattern ของสายอากาศแบบ Halo ที่ความถี่ 157.5 MHz	39
ตาราง 4-3 แสดง radiation pattern ของสายอากาศแบบ Halo แยกรับช่อง 5 ที่ความถี่ 157.5 MHz	42
ตาราง 4-4 แสดง radiation pattern ของสายอากาศแบบ Halo แยกรับ ช่อง 5 ตามแนวตั้ง ที่ความถี่ 157.5 MHz	45
ตาราง 4-5 แสดง radiation pattern ของสายอากาศแบบ Halo แยกรับช่อง 7 ที่ความถี่ 157.5 MHz	48
ตาราง 4-6 แสดง radiation pattern ของสายอากาศแบบ Halo แยกรับช่อง 9 ที่ความถี่ 157.5 MHz	51
ตาราง 4-7 แสดง radiation pattern ของสายอากาศแบบรูปวงกลม ที่ความถี่ 157.5 MHz	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

การสื่อสารย่านความถี่วิทยุ (Radio Frequency, RF) ได้แบ่งย่านความถี่ที่ใช้งานในด้านต่างๆ ซึ่งในระบบทีวีจะใช้ความถี่ในย่าน VHF สายอากาศจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการสื่อสาร สายอากาศใช้เพื่อกระจายคลื่นวิทยุออกไปจากตัวมันทางด้านเครื่องส่ง และใช้ดักจับเอาคลื่นวิทยุเข้าสู่ตัวมันทางด้านเครื่องรับ สายอากาศสำหรับเครื่องรับโทรทัศน์มีลักษณะการทำงานดังต่อไปนี้

1. จะต้องรับสัญญาณที่ต้องการให้ได้แรงดันของสัญญาณสูงสุด หรือให้ความเข้มของสนามไฟฟ้าสูงสุด
2. จะต้องกำจัดสัญญาณรบกวนให้น้อยลง เช่น สัญญาณจากรถยนต์, เครื่องจักร, สัญญาณสะท้อนจากตึกสูงและสัญญาณรบกวนจากช่องข้างเคียง
3. ถ้าต้องการรับหลายช่องจะต้องปรับทิศทางของแต่ละช่อง ไปยังเสาอากาศเครื่องส่ง

ในการออกแบบสายอากาศจำเป็นต้องทราบถึงความถี่ที่ต้องการจะรับสัญญาณ เพื่อออกแบบสายอากาศให้มีขนาดพอที่จะรับคลื่นได้ตรงกับช่องความถี่ของสัญญาณ เมื่อสายอากาศรับสัญญาณแล้วจะส่งไปยังสายส่ง ซึ่งจะต้องมีค่าอิมพีแดนซ์แมตช์พอดีกับสายอากาศ

ปัจจุบันสายอากาศแบบต่าง ๆ ถูกนำมาใช้ในการรับสัญญาณทีวี สายอากาศทีวีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายจะเป็นสายอากาศแบบยาก็ - อุดะ ลอกเพอริออดิก หรือ สายอากาศไดโพล โดยที่สายอากาศแต่ละชนิดจะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน ซึ่งสายอากาศแบบที่กล่าวมานี้จะมีความยุ่งยากในการสร้าง และมีขนาดใหญ่

### วัตถุประสงค์

1. ศึกษาหลักการแพร่กระจายคลื่นและรับคลื่นของสายอากาศทีวี
2. ออกแบบสายอากาศทีวี ที่สามารถรับสัญญาณในย่าน VHF ช่อง 2 - 12
3. สร้างสายอากาศตามแบบที่ได้ออกแบบไว้
4. ทดสอบสายอากาศทีวี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ขอบข่ายการทำงาน

1. สร้างสายอากาศที่วีตามที่ได้ออกแบบไว้
2. ทดสอบสายอากาศที่สร้างขึ้น ซึ่งแยกเป็น field test และ lab test
3. เปรียบเทียบการรับสัญญาณจากสายอากาศที่สร้างขึ้น และจากสายอากาศที่มีขายอยู่ตามท้องตลาด

### ประโยชน์ที่ได้รับ

1. เข้าใจถึงระบบการแพร่กระจายคลื่น ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านอื่น ๆ ได้
2. สามารถออกแบบสายอากาศให้ตรงกับความต้องการรับสัญญาณ
3. นำสายอากาศที่ออกแบบไว้มาใช้งานจริง
4. สามารถนำความรู้ที่ได้เป็นพื้นฐานในการประยุกต์ใช้กับระบบการสื่อสารด้านอื่น ๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ความรู้ขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับการแพร่กระจายคลื่นและสายอากาศ

ความต้องการตั้งแต่อดีตของมนุษย์เราอย่างหนึ่งคือ การรวมกลุ่มกันเพื่อติดต่อระหว่างกันให้เกิดผลทั้งแง่ความบันเทิง ความสัมพันธ์ภาพ หรือ การค้าขาย ติดต่อซึ่งกันและกัน นับเป็นเหตุผลผลักดันให้เกิดความรู้หรือเทคโนโลยีด้านการสื่อสารขึ้น จนกระทั่งพัฒนาเป็นสื่อที่เราพบได้ในปัจจุบัน อาทิเช่น โทรทัศน์, วิทยุ เป็นต้น ระบบสื่อสารเหล่านี้จะเห็นได้ว่าจำเป็นต้องมีสายอากาศ เป็นปัจจัยสำคัญ ที่ทำให้การสื่อสารของระบบดีขึ้น

สายอากาศโทรทัศน์ที่ติดตั้งอยู่บนหลังคา หรือปล่องไฟ หรือเพดาน และที่หอคอยโลหะขนาดใหญ่ที่ใช้ตามสถานีวิทยุต่างก็เป็นรูปแบบของสายอากาศแบบธรรมดาที่เราสามารถเห็นกันทั่วไป วัตถุประสงค์ของสายอากาศคือเพื่อที่จะส่งหรือรับพลังงานความถี่วิทยุ ลักษณะสำคัญของสายอากาศเมื่อใช้เป็นตัวส่งคือ จะเปลี่ยนพลังงานที่ถูกสร้างโดยตัวส่งให้เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่ออกไป เมื่อนำสายอากาศมาใช้เป็นตัวรับ มันจะเปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่แพร่มาถึงให้เป็นพลังงานความถี่วิทยุที่สามารถใช้งานได้ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อถูกรับโดยสายอากาศที่เป็นตัวรับจะเหนี่ยวนำให้เกิดโวลเตจขึ้นตลอดความยาวของสายอากาศ ขนาดของโวลเตจที่เหนี่ยวนำขึ้นนี้ จะขึ้นอยู่กับความแรงของคลื่นที่แพร่มายังสายอากาศที่เป็นตัวรับ

#### 2.1 คลื่นวิทยุ

คลื่นวิทยุที่ถูกส่งออกไปใน space มีพลังงานของการแพร่กระจายเหมือนความร้อนหรือแสงใน free space คลื่นวิทยุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วแสง คือ 186,000 ไมล์ต่อวินาที ถ้าเป็นในตัวกลางอื่น ๆ เช่น อากาศ, น้ำ, หรือ สายส่ง (อาจเป็นลวดที่คู่ขนานกัน, สายโคแอกเซียล, อื่น ๆ ) คลื่นวิทยุจะมีความเร็วลดลง พลังงานความถี่วิทยุที่แผ่ออกมาจากสายอากาศที่เป็นตัวส่ง จะเคลื่อนที่ผ่าน space เหมือนเป็น moving-field wave เราจะพิจารณาว่าคลื่นเคลื่อนที่มาถึงสายอากาศที่เป็นตัวรับได้อย่างไร

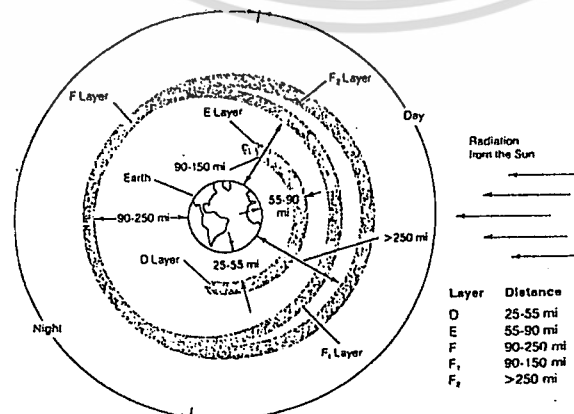
### 2.1.1 ชั้นบรรยากาศ

บนผิวโลกถูกห่อหุ้มด้วยชั้นบรรยากาศซึ่งไม่ได้มีขอบเขตที่แน่นอน มีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของอากาศและความสูง จากการสำรวจของนักวิทยาศาสตร์ พบที่จะแบ่งออกเป็นชั้น ๆ ได้ 3 ชั้น คือ โทรโปสเฟียร์ (troposphere) สตราโตสเฟียร์ (stratosphere) และไอโอโนสเฟียร์ (ionosphere)

นักวิทยาศาสตร์ 2 คน ชื่อ ฮีวีไซด์ (Heaviside) ชาวอังกฤษ และเคนเนลลี (Kennelly) ชาวอเมริกัน ได้กล่าวว่าพื้นผิวโลกถูกล้อมรอบด้วยชั้นทางไฟฟ้า (electrical layer) ซึ่งกระทำตัวคล้ายกับเป็นตัวสะท้อน (reflector) และจะป้องกันไม่ให้คลื่นทะลุผ่านไปโดยการโค้งทิศทางของการเคลื่อนที่ของคลื่นมายังผิวโลก และยังประกอบด้วยก๊าซที่แตกตัว (ionized gas) ของชั้นบรรยากาศ แต่ชั้นที่ค้นพบอย่างแน่นอนและได้รับการศึกษาอย่างจริงจังคือ ชั้นไอโอโนสเฟียร์

### 2.1.2 ชั้นไอโอโนสเฟียร์

ก๊าซจำนวนมาก เช่น ออกซิเจน, ไนโตรเจน, ไฮโดรเจน และก๊าซฮีเลียม จะมีอยู่ใน atmosphere ที่อยู่เหนือพื้นผิวโลก ออกซิเจนและไนโตรเจนจะเป็นองค์ประกอบหลักจนถึงความสูง 50 ไมล์ ที่ความสูงมากกว่านั้นจะมีไฮโดรเจนและฮีเลียม การแผ่รังสีอุลตราไวโอเล็ต จากดวงอาทิตย์จะทำให้ก๊าซที่อยู่ในระดับสูงๆ เกิดการแตกตัวและทำให้เกิดอิออนบวกและอิออนลบ และอิเล็กตรอนอิสระ ดังแสดงในรูป 2-1 ก๊าซที่แตกตัวนี้จะมีภาระกระจายอยู่ในชั้นที่มีความหนาแน่นของอิออนที่แตกต่างกัน ในชั้นที่มีการแตกตัวของก๊าซ คลื่นที่แผ่ออกมาทั้งหมดจะมีการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงพุ่งออกไปจากโลก ส่วนของคลื่นที่แผ่ออกมาใน upper atmosphere จะถูกวัดโดยความหนาแน่นของอิออนที่กระจายอยู่ในชั้นนั้น ยิ่งมีความหนาแน่นมาก ยิ่งมีการสะท้อนเกิดขึ้นมาก



รูปที่ 2-1 แสดงการกระจายของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.3 การแบ่งย่านความถี่ของคลื่นวิทยุ

สามารถแบ่งได้เป็นช่วง ๆ ดังนี้

ตาราง 2-1 แสดงการแบ่งย่านความถี่และการนำไปใช้งาน

ย่านความถี่	ชื่อย่านความถี่	อักษรย่อ	การนำไปใช้งาน
30 - 300 Hz	Extremely - low frequency	ELF	-
300 - 3000 Hz	Voice frequency	VF	-
3 - 30 KHz	Very - low frequency	VLF	-
30 - 300 KHz	Low frequency	LF	ใช้เป็นคลื่นวิทยุแต่ส่งได้ไม่ไกล
300 - 3000 KHz	Medium frequency	MF	ส่งแบบ AM ที่มีระยะไกลกว่า LF
3 - 30 MHz	High frequency	HF	ใช้ในงานวิทยุคลื่นสั้น, วิทยุตำรวจ
30 - 300 MHz	Very - high frequency	VHF	ด้านโทรทัศน์, วิทยุ F.M., วิทยุราชการ
300 - 3000 MHz	Ultra - high frequency	UHF	ด้านโทรทัศน์ของต่างประเทศ, วิทยุ UHF ของหน่วยราชการ
3 - 30 GHz	Super - high frequency	SHF	งานสื่อสารย่านไมโครเวฟ
30 - 300 GHz	Extra - high frequency	EHF	-

## 2.2 การแพร่กระจายคลื่นวิทยุ (Propagation of Radio Waves)

ในระบบการแพร่กระจายคลื่นใด ๆ เมื่อพิจารณาที่สายอากาศด้านรับพบว่าวิธีการแพร่กระจายคลื่นมาถึง มีดังนี้

### 2.2.1 คลื่นดิน (Ground wave)

คลื่นดิน หรือ คลื่นผิวโลก (Surface wave) การเคลื่อนที่แบบคลื่นดิน หมายถึง การเคลื่อนที่ของคลื่นที่ไม่ต้องอาศัย การส่งสะท้อนจากชั้นไอโอโนสเฟียร์ คลื่นดิน เป็นคลื่นที่เดินทางตามผิวโค้งของโลกได้ ซึ่งเป็นผลมาจากตัวแปร 2 ค่า ด้วยกันคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สภาพการนำของพื้นดิน (Conductivity)
- ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของพื้นดิน (dielectric constant)

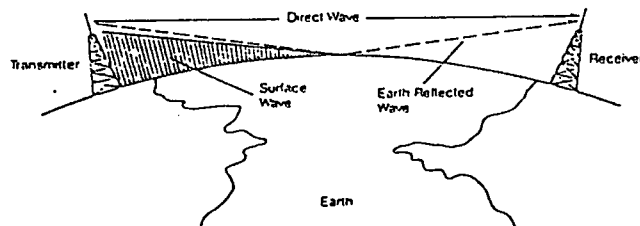
สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ค่านี้ มีดังนี้

ตารางที่ 2-2 แสดงสภาพการนำและค่าคงที่ไดอิเล็กตริกต่อลักษณะผิวต่าง ๆ

ลักษณะของผิว	สภาพการนำ	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก
น้ำทะเล	ดีมาก	80
แอ่งน้ำขนาดใหญ่	ดี	80
ดินแฉะ	ดี	30
พื้นที่แห้งแล้ง	เลว	7
ทะเลทราย	เลว	4
ป่า	เลวมาก	-

เห็นได้ว่าบริเวณที่เป็นพื้นน้ำ มีผลดีต่อการแพร่กระจายคลื่นดินเป็นอย่างมาก  
คลื่นดินมี 3 องค์ประกอบ คือ

1. คลื่นตรง (direct wave) เป็นคลื่นที่เคลื่อนที่จากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับโดยตรงจะถูกจำกัดโดยระยะทางในแนวราบหรือเส้นสายตา (line of sight) แต่สามารถเพิ่มระยะทางนี้ให้ไกลขึ้นได้โดย เพิ่มความสูงของสายอากาศเครื่องส่ง
2. คลื่นสะท้อน (reflected wave) เป็นคลื่นวิทยุที่เคลื่อนที่ถึงเครื่องรับ หลังจากสะท้อนจากพื้นดินหรือผิวทะเล
3. คลื่นตามผิวดิน (surface wave) อาจถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของคลื่นดิน ซึ่งมีผลมาจากสภาพการนำ (Conductivity) และ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (dielectric constant) ของพื้นดิน และสามารถเคลื่อนที่ไปตามความโค้งของโลกได้



รูปที่ 2-2 แสดงส่วนประกอบของคลื่นดิน

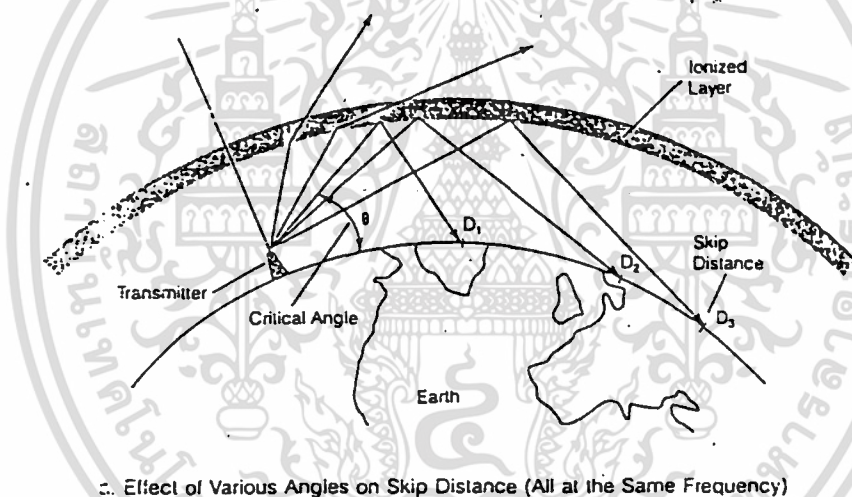
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ คลื่นตรง และคลื่นสะท้อน เราเรียกรวมกันว่า คลื่นอวกาศ งานรับ/ส่ง ในส่วนของคลื่นตรงต้องไม่มีสิ่งกีดขวางบังอยู่ เช่น ดึก, ภูเขา ป่า ฯลฯ

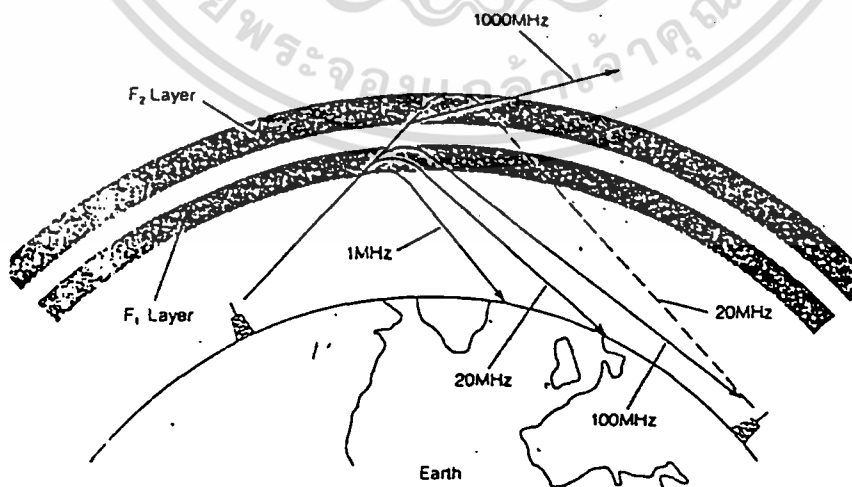
### 2.2.2 คลื่นฟ้า (Sky wave)

moving-field wave ที่แพร่ออกมาจากสายอากาศที่เป็นตัวส่งจะมีการเคลื่อนที่ไปใน space ในทุกทิศทาง คลื่นที่มีการแพร่ตรงไปยัง upper atmosphere จะเรียกว่า “คลื่นฟ้า” คลื่นฟ้าบางส่วนจะมีการสะท้อนกลับมายังโลก โดยชั้นของการไอออไนซ์ใน upper atmosphere ดังแสดงในรูป 2-3 ระยะทางจากตัวส่งไป จนถึงคลื่นที่สะท้อนกลับมายังโลก (skip distance) จะมีความมาก การสะท้อนของคลื่นฟ้าจะเกิดที่สัญญาณความถี่จาก 2-30 MHz จะเรียกว่า “คลื่นสั้น” ระยะการเดินทางของคลื่นฟ้า จะขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ประการ คือ

Radio Waves Entering Ionosphere at Various Angles and Various Frequencies



Effect of Various Angles on Skip Distance (All at the Same Frequency)



รูป 2-3 แสดงการทำงานของคลื่นฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

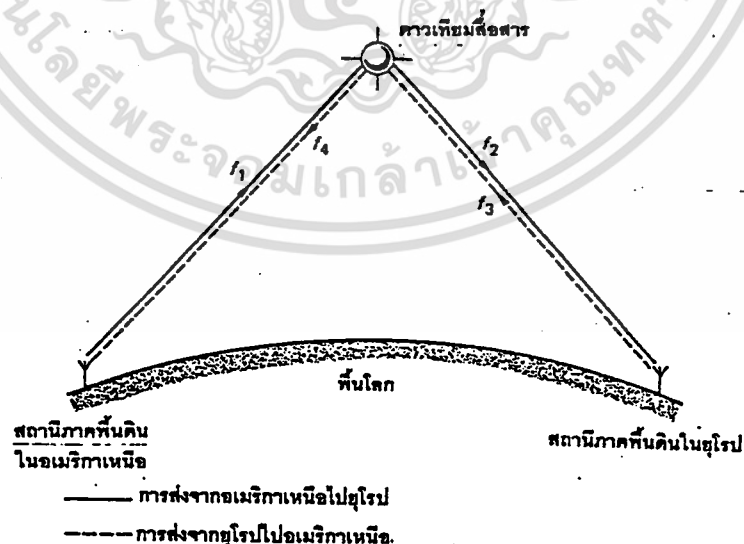
- มุมวิกฤต (Critical angle) คลื่นวิทยุจะตกกระทบที่มุมต่าง ๆ กันกับชั้นบรรยากาศ อาจจะถูกหักเหไปเลยโดยไม่มี การสะท้อนกลับก็ได้ ความถี่เท่ากันหรือน้อยกว่าความถี่วิกฤต คลื่นจะสะท้อนกลับมายังโลก แต่ความถี่ที่สูงกว่า ความถี่วิกฤตอาจจะสามารถสะท้อนกลับมายังผิวโลกได้ ถ้ามุมตกกระทบเหมาะสมเรียกมุมนี้ว่า มุมวิกฤต

- ความถี่วิกฤต สำหรับมุมตกกระทบที่อยู่ใกล้แนวตั้ง ความถี่จะผ่านชั้นบรรยากาศ แต่ที่มุน้อยกว่านี้จะทำให้คลื่นที่ความถี่นี้จะสะท้อนกลับมายังโลก แต่ระยะทางอาจไปได้ไม่ไกลเรียกว่า ระยะสคิป (Skip distance) ความสูงของชั้นไอออไนซ์จะมีผลอย่างมากกับ Skip distance ซึ่ง Skip distance นี้ยังมีการเปลี่ยนแปลงกับ ความถี่ของคลื่นที่ส่งอีกด้วย ผลทั้งหมดนี้ได้แสดงดังรูป 2-3 b เพราะว่าความสูงและความหนาแน่นของชั้นไอออไนซ์ในไอโอโนสเฟียร์จะขึ้นอยู่กับ การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ จึงมีความแตกต่างที่สำคัญระหว่างการส่งในเวลากลางวัน และกลางคืน และ skip

- ระยะทาง (distance)

### 2.2.3 ดาวเทียมสื่อสาร (Communication satellite)

มีการปล่อยดาวเทียมเข้าวงโคจรรอบโลก เพื่อรับคลื่นวิทยุ ทำการขยายสัญญาณ และส่งกลับมายังโลกด้วยความถี่คนละค่ากับตอนขาขึ้น ใช้สำหรับระบบสื่อสารโทรศัพท์ระหว่างประเทศ รวมถึงสัญญาณโทรทัศน์ด้วย



รูป 2-4 แสดงระบบดาวเทียมสื่อสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสายอากาศ

ในระบบสื่อสารวิทยุ หรือระบบกระจายเสียง และสัญญาณโทรทัศน์ มีหลักคล้ายกัน อยู่ คือ การมอดูเลตคลื่นพาหะเข้ากับสัญญาณเดิม เพื่อให้เกิดรูปแบบและสัญญาณที่เหมาะสมในการส่งไปในชั้นบรรยากาศได้ (ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า) โดยใช้สายอากาศส่ง และในการรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเราใช้สายอากาศรับ

สายอากาศมีหลายชนิดการเลือกใช้จึงต้องคำนึงถึงสิ่งต่าง ๆ ประกอบกัน เนื่องจากสายอากาศแต่ละชนิดได้รับการออกแบบมาแตกต่างกัน การเลือกใช้สายอากาศต้องคำนึงถึง

1. ความเข้มของสัญญาณประมาณเท่าไร เป็นข้อมูลให้รู้ว่าควรใช้ สายอากาศที่มีอัตราขยายเท่าไร
2. รูปแบบของการรับสัญญาณของสายอากาศของเครื่องรับควรเป็นลักษณะใด เพื่อให้รับสถานีได้มาก ถ้าอยู่ในบริเวณใจกลางกรุงเทพฯ ควรมี lobe มากเกือบรอบทิศทาง ถ้าอยู่ในบริเวณต่างจังหวัดแล้วควรมีทิศทางเดียว
3. ย้ำความถี่ที่เราต้องการจะรับ

### 2.3.1 หลักการของสายอากาศ

สายอากาศจัดเป็นวงจรไฟฟ้าแบบพิเศษได้ โดยเป็นวงจรที่ถูกออกแบบให้พลังงานส่วนใหญ่ (พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า) ของวงจรถูกแพร่ออกไป โดยที่ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่ออกจากลวดตัวนำ มีค่าขึ้นกับความยาวของลวดตัวนำด้วย แต่จะเป็นการระดมมากกว่าถ้าเราวัดในรูปกระแส นั่นคือความเข้มของสนามเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของกระแส ดังนั้น จึงต้องให้มีกระแสในขนาดมากเท่าที่เป็นไปได้ผ่านลวดตัวนำเพื่อให้เกิดกำลังส่งปริมาณมากขึ้น หรือทำให้มีการแพร่กระจายคลื่นมากที่สุด นั่นคือสายอากาศถูกเรโซแนนท์ ความแตกต่างที่เห็นได้ชัดระหว่าง สายอากาศส่งและสายอากาศรับในการใช้งานจริง ๆ คือ ค่ากำลังคลื่นที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศนั้นต่างกันมาก

ยกตัวอย่างเช่น สายอากาศส่งสามารถกระจายส่งกำลังคลื่นได้หลายร้อยกิโลวัตต์ ในขณะที่สายอากาศรับมีกำลังคลื่นเพียงไม่กี่มิลลิวัตต์ไหลวนอยู่

นอกจากนี้สายอากาศส่งต้องมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ แม้ชท์กับสายนำสัญญาณ เพื่อให้กำลังงานมากที่สุดผ่านเข้าสายอากาศ ส่วนในสายอากาศรับต้องมีอัตราขยายให้มากที่สุด (รวมทั้งค่าไดเรคทิวิตี)

### 2.3.2 คุณลักษณะของสายอากาศ

ความยาวคลื่น ถูกกำหนดเหมือนเป็นระยะทางการเดินทางไปภาย ใน 1 cycle (ไป-กลับ)

$$\text{ความยาวคลื่น (เมตร)} = \text{ความเร็ว (เมตร / วินาที)} / \text{ความถี่ (Hz)}$$

.ซึ่งใช้ประโยชน์ในการหาขนาดที่สั้นที่สุดของลวดตัวนำที่รีโซแนนซ์ที่ความถี่ใช้งาน โดยจะมีค่าเท่ากับความยาวที่เพียงพอให้สนามไฟฟ้าเดินทางจากปลายด้านหนึ่งไปยังปลาย อีกด้านหนึ่ง และกลับมาที่จุดเดิมภายในเวลา 1 cycle (ไป-กลับ)

ดังนั้นขนาดของลวดตัวนำที่เดินทางได้ระยะทางเท่ากับ  $\lambda$  ใน 1 cycle มีค่าเท่ากับ  $\lambda / 2$  พบว่าถ้าความเร็วที่เดินทางมีค่าเท่ากับ ความเร็วแสงซึ่งเป็นค่าคงที่แน่นอน ดังนั้นจึงมี ทางเลือก 2 วิธี คือ

1. ปรับค่าความถี่ให้เท่ากับความยาวของลวดตัวนำที่กำหนดออกมา
2. ปรับความยาวของลวดตัวนำให้เข้ากับความถี่ที่ใช้งาน ซึ่งในทางปฏิบัตินิยมใช้ กันมากกว่า ดังนั้นสูตรในการคำนวณหาขนาดความยาวของลวดตัวนำ คิดจากหาร 2 จาก สมการข้างต้น โดยที่ ความเร็วแสง  $\sim 299,800,000$  m/s

$$l = \frac{149.9}{f(\text{MHz})} \text{ เมตร}$$

$$= \frac{491.8}{f(\text{MHz})} \text{ ฟุต}$$

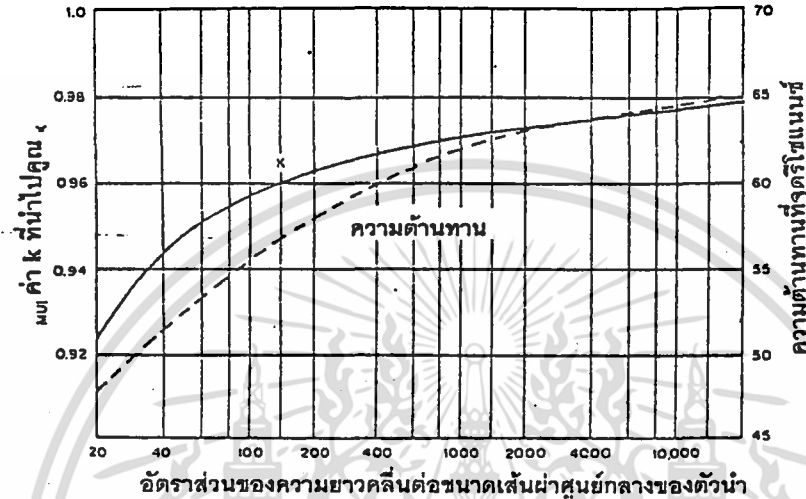
ในงานสายอากาศ เราพิจารณาความยาวของสายอากาศออกเป็น

1. ความยาวทางกายภาพ (ความยาวจริง ๆ)
2. ความยาวทางไฟฟ้า

โดยมีหลักอยู่ว่า เมื่อค่าความถี่ในการใช้งานเปลี่ยนไป ค่าความยาวทางกายภาพ ของสายอากาศจะไม่เปลี่ยนแต่ค่าความยาวไฟฟ้าจะเปลี่ยน

ในกรณีสายอากาศต้นเดียวกัน แต่นำไปใช้ในความถี่ที่ต่างกันในแต่ละความถี่จะ ให้ความยาวทางไฟฟ้าที่ต่างกันส่วนความยาวทางกายภาพคงที่ ในทางปฏิบัติพบว่า ความ ยาวจริงของสายอากาศ มีค่าน้อยกว่าความยาวทางไฟฟ้าอยู่เล็กน้อย แสดงว่าสายอากาศ แบบ Half wave จะมีค่าความยาวจริงไม่เท่ากับค่าครึ่งความยาวคลื่น ( $\lambda/2$ ) เพื่อให้สาย อากาศสามารถแพร่กระจายคลื่นได้ดีที่สุดหรือเกิดรีโซแนนซ์[ปรากฏการณ์เอนด์ เอฟเฟกต์ (End Effect)]

การหาค่าความยาวจริงของสายอากาศที่เกิดรีโซแนนซ์พอดี หาได้จากการนำค่า k ไปคูณกับความยาวทางไฟฟ้า โดยที่ k คือ อัตราส่วนของหนึ่งความยาวคลื่น (ในภาวะสูญญากาศ) ต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำ :  $\lambda/dia$



รูป 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแฟคเตอร์ k กับ  $\lambda/dia$   
 ดังนั้นสูตรคำนวณหาความยาวจริงของสายอากาศแบบ Half wave

$$\begin{aligned} \text{ความยาวจริง} &= \frac{5902 \times k}{f(MHz)} \quad \text{นิ้ว} \\ &= \frac{491.8 \times k}{f(MHz)} \quad \text{ฟุต} \end{aligned}$$

### 2.3.3 ปปรากฏการณ์เอนด์ เอฟเฟกต์ (End Effect)

มีอยู่กรณีหนึ่งที่น่าสนใจ คือ ในสายอากาศแบบลวดตัวนำ ถ้ามีการใช้ฉนวน เช่น ลูกยางกันน้ำ หรือจุกยางปิดที่ปลายทั้งสองข้างของลวดตัวนำ มีผลทำให้สายอากาศรีโซแนนซ์ที่ความถี่ต่ำกว่าความถี่ที่ใช้งานลงมาเล็กน้อย อาจทำให้อัตราขยายของสายอากาศต่ำกว่าที่ควรจะเป็น ทำให้บางครั้งผู้ใช้งานคิดว่าคำนวณความยาวของสายอากาศผิดไป

คำอธิบายของเรื่องนี้ คือ ฉนวนที่ใส่เข้าไปเป็นการเพิ่มค่าประจุไฟฟ้าปริมาณเล็กน้อยให้กับระบบ มีผลช่วยจูนสายอากาศให้รีโซแนนซ์ที่ความถี่ต่ำกว่าจากเดิม เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า เอนด์ เอฟเฟกต์ ซึ่งมีผลทำให้ค่ากระแสที่ปลายสายอากาศไม่ใกล้ศูนย์ (ในทางทฤษฎีต้องเท่ากับศูนย์) และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ความถี่สูงขึ้น จึงควรหลีกเลี่ยงการใช้ฉนวนในลักษณะนี้

### 2.3.4 โพลาริเซชันของคลื่นวิทยุ

โพลาริเซชันของคลื่นที่แพร่กระจายนั้น เป็นรูปแสดงคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายออกไป

โพลาริเซชันของสายอากาศในทิศทางใดทิศทางหนึ่งจะเป็นโพลาริเซชันของคลื่นที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศนั้น (เมื่อเป็นสายส่ง) หรือเป็นโพลาริเซชันของคลื่นที่มาตกกระทบสายอากาศนั้น จากทิศทางที่กำหนดให้

โพลาริเซชัน แบ่งออกเป็น

- โพลาริเซชันในแนวตั้ง
- โพลาริเซชันในแนวราบ

ทิศทางของสนามไฟฟ้า E จะกำหนดถึงโพลาริเซชันของสายอากาศ สายอากาศที่สร้างให้มี element สำหรับแผ่รังสีอยู่ในแนวตั้ง จะให้คลื่นไฟฟ้าในแนวตั้ง ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า “โพลาริเซชันในแนวตั้ง” ทำนองเดียวกับสายที่มี “โพลาริเซชันในแนวราบ” คลื่นที่โพลาริเซชันในแนวตั้งจะไม่ผลิตสัญญาณในสายอากาศที่มีโพลาริเซชันแนวราบ

การโพลาริเซชันในแนวราบจะเป็นมาตรฐานใน United States สำหรับทั้งสายอากาศ FM และ TV เนื่องจาก man - made noise เป็นโพลาริเซชันในแนวตั้ง ดังนั้นสายอากาศที่มีโพลาริเซชันในแนวราบจึงช่วยลดสัญญาณแทรกแซง จากแหล่งกำเนิดบางอย่าง

### 2.3.5 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ

การแพร่กระจายของกระแสและแรงดันไฟฟ้าในสายอากาศแบบ Halfwave กล่าวได้ว่าระดับแรงดันไฟฟ้ามีค่าน้อยที่สุด (เข้าใกล้ศูนย์) เนื่องจากว่าถ้าหากค่าแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับศูนย์แสดงถึง วงจรนั้นไม่มีค่าความต้านทานเลยแม้แต่น้อย นั่นคือจะไม่มีพลังงานแพร่กระจายมาจากสายอากาศได้ เพราะวงจรที่ไม่มีค่าความต้านทานอยู่ จะเป็นเพียงการส่งผ่านพลังงานเท่านั้น

สายอากาศเราสามารถเปรียบเป็นวงจรไฟฟ้าได้ที่มีคุณสมบัติ คือ ต้องใช้พลังงาน ดังนั้นกระแสที่ไหลอยู่ภายในสายอากาศควรถูกจ่ายด้วยระบบแรงดันไฟฟ้าค่าหนึ่ง

ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศอย่างง่าย คือ เท่ากับระดับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายผ่านขั้วต่อ หาค่าด้วยปริมาณกระแสที่ไหลผ่านขั้วเช่นกัน

$$\text{อิมพีแดนซ์} = \text{โวลเตจ} / \text{กระแส} \quad \text{ณ จุดที่เราวัด}$$

เมื่ออิมพีแดนซ์มีค่าน้อยที่สุดอาจกล่าวได้ว่า สายอากาศมีการรีโซแนนซ์ ที่ความถี่นั้น ภายใต้เงื่อนไขสำหรับความถี่รีโซแนนซ์ และสำหรับกำลังที่ให้กระแสในสายอากาศส่งจะมีค่ามากที่สุด อิมพีแดนซ์ของสายอากาศใด ๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงจากจุดถึงจุดตามความยาวของมัน อิมพีแดนซ์ที่ต่ำที่สุด จะเกิดขึ้นที่กระแสมีค่ามากที่สุด

### 2.3.6 อัตราขยาย และ โดเรคติวิตี

คุณสมบัติโดเรคติวิตี คือ คุณสมบัติที่สายอากาศทุกแบบจะมีคุณสมบัติในการแพร่กระจายพลังงานไปได้มากในบางทิศทาง (เมื่อเทียบกับทิศทางรอบสายอากาศ) จัดว่าสำคัญมากสำหรับการส่งสัญญาณไปยังทิศทางที่ต้องการ ให้มีขนาดมากกว่าทิศทางที่ไม่ต้องการ

อัตราขยายของสายอากาศ เป็นอัตราขยายของสายอากาศที่ใช้วัดคุณสมบัติโดเรคติวิตี และสามารถระบุถึงปริมาณการแพร่คลื่นว่ามีมากในทิศทางใด

อัตราขยายของสายอากาศรับ คือ อัตราส่วนระหว่างค่าความเข้มสนามของสายอากาศทดสอบกับสายอากาศอ้างอิง ณ จุดตั้งสายอากาศที่เดียวกัน โดยที่สายอากาศอ้างอิงมักเป็นแบบไดโพล ขนาด  $\lambda/2$  หรือแบบไอโซทรอปิก ซึ่งมีลักษณะพิเศษ คือ กระจายคลื่นได้รอบตัวทุกทิศในปริมาณเท่ากัน (ในความเป็นจริงเราไม่สามารถสร้างสายอากาศไอโซทรอปิกได้ มีใช้เฉพาะเป็นหลักการในงานสายอากาศเท่านั้น)

## 2.4 ข้อกำหนดของระบบสายอากาศทีวี

ในระบบสายอากาศทีวี ไม่ว่าจะมีความถี่ใหญ่หรือเล็ก ประกอบด้วยหลักการดังนี้

1. สายอากาศถูกออกแบบมาให้ทำงานได้ผลดี ตรงกับช่องความถี่ใน พื้นที่รับภาพนั้น ๆ ได้ รวมทั้งสายอากาศสามารถส่งสัญญาณทีวีที่รับเข้ามาให้กับเครื่อง รับทีวีให้ได้ภาพที่คมชัด นอกจากนี้ต้องรับสัญญาณได้ในทิศทางของสถานีส่งที่ต้องการเท่านั้น ไม่รับจากสถานีส่งอื่น ที่ตั้งอยู่ในทิศที่ไม่ต้องการ

2. อุปกรณ์ในการติดตั้ง และยึดจับสายอากาศควรมีแบบเป็นมาตรฐาน ใกล้เคียงกัน

3. สายนำสัญญาณจากสายอากาศไปยังเครื่องรับทีวี ไม่ควรมีการสูญเสียกำลังคลื่นมากเกินไป และจะไม่สร้างสัญญาณจากสายเองเข้าไปด้วย

4. ระบบกระจายสัญญาณทีวี ควรเข้ากับเครื่องรับทีวีได้โดยให้คุณภาพของสัญญาณที่รับเข้ามาได้ดีที่สุด

## 2.5 การแบ่งย่านความถี่ทีวี และการจัดช่องสัญญาณทีวี

ความถี่ของสัญญาณทีวีส่วนใหญ่ เราใช้ในย่านความถี่ VHF สำหรับประเทศไทยได้แบ่งสัญญาณตามระบบมาตรฐานของ CCIR (Committe Conculatif international des Radio Communication) ซึ่งมีอยู่ 5 ช่อง คือ ช่อง 3, ช่อง 5, ช่อง 7, ช่อง 9 และช่อง 11 ในแบบ 625 เส้น

ตาราง 2-3 แสดงมาตรฐาน CCIR ของทางยุโรป

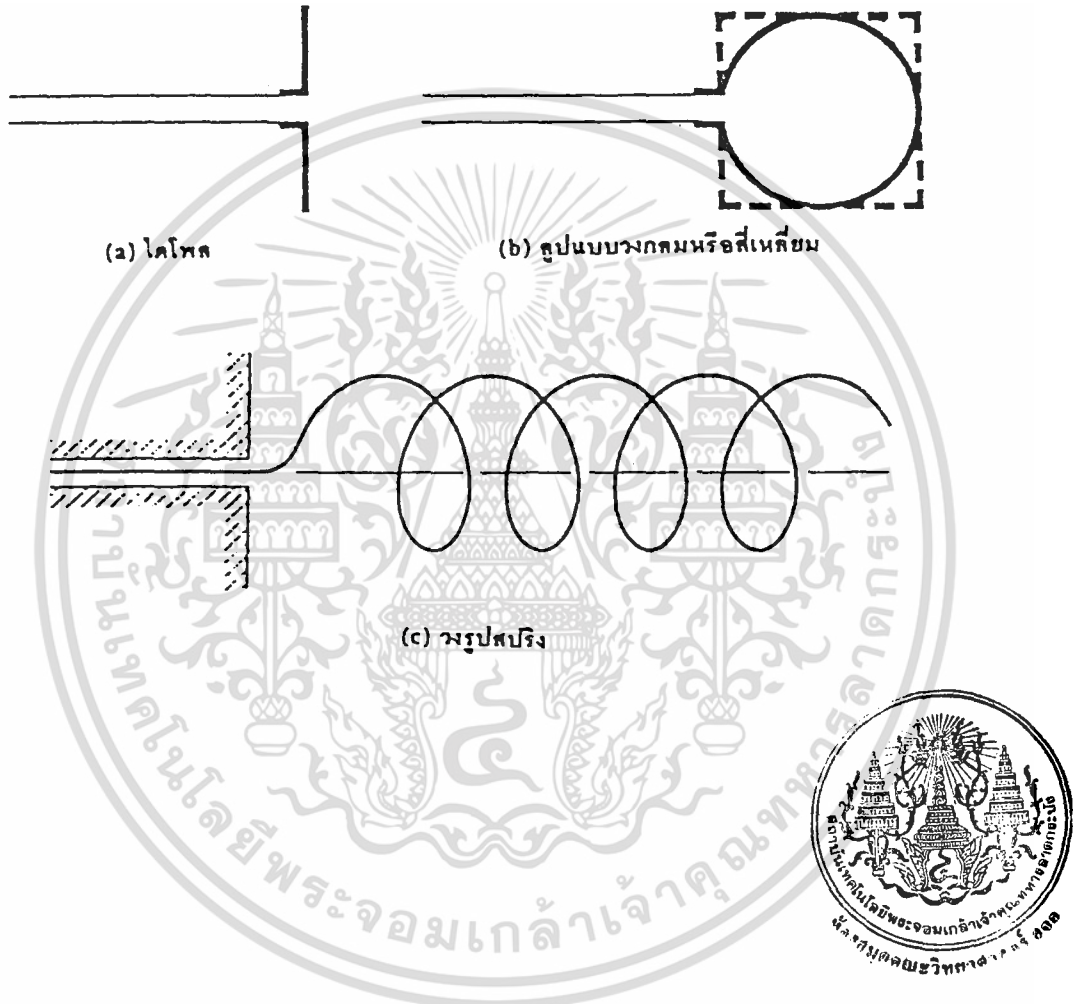
ย่านความถี่	ช่องสัญญาณ	ความถี่ (MHz)
ย่าน VHF - L	2	47-54
	3	54-61
	4	61-68
ย่าน VHF - H	5	174-181
	6	181-188
	7	188-195
	8	195-202
	9	202-209
	10	209-216
	11	216-223
	12	223-230

## 2.6 สายอากาศแบบลวดตัวนำ

สายอากาศแบบลวดตัวนำจัดเป็นสายอากาศที่เราคุ้นหน้าคุ้นตาเป็นอย่างยิ่ง มีใช้งานในทุกรูปแบบ อย่างเช่น บนรถยนต์, อาคาร, เรือ, เครื่องบิน, ยานอวกาศ และอื่น ๆ รูปร่างของสายอากาศแบบลวดตัวนำยังแยกย่อยได้อีกเช่น แบบเส้นตรง (ไดโพล), ลูป(วนเป็นรอบ) และแบบก้านหอย (คล้ายสปริง) ดังรูป 2-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศแบบลูป (Loop) ไม่จำเป็นต้องเป็นวงกลมอาจมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า, วงรี หรือลักษณะอื่น ส่วนลูปชนิดวงกลมนั้นจัดว่ามีใช้งานมากที่สุด เพราะง่ายในการสร้าง



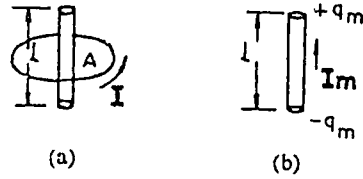
รูป 2-6 แสดงรูปร่างของสายอากาศแบบลวดตัวนำ

## 2.7 สายอากาศแบบลูป

### 2.7.1 Equivalence ของ small loop

Small loop ของพื้นที่  $A$  และกระแส  $I$  สามารถแทนด้วยรูปสมมูลย์ของไดโพลแม่เหล็ก ความยาว  $l$  และกระแสแม่เหล็ก  $I_m$  แสดงดังรูป 2-7 (a) และ (b) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2-7 สายอากาศแบบลูปขนาดเล็ก และ รูปสมมูลย์

ถ้า  $q_m$  คือขั้วที่แต่ละปลายดังแสดงในรูป 2-7 (b) เมื่อ  $q_m / c$  คือ โมเมนต์ของไดโพลแม่เหล็ก กระแสแม่เหล็ก  $I_m$  คือ

$$I_m = -\mu \frac{dq_m}{dt} \quad (2.1)$$

เมื่อ  $I_m = I_{m0} e^{j\omega t}$

อินทิเกรตสมการ 2.1 จะได้

$$q_m = -I_m / j\omega\mu \quad (2.2)$$

โมเมนต์แม่เหล็ก  $q_m l$  ของไดโพลแม่เหล็กกับแม่เหล็ก  $IA$  ของ small loop

$$q_m l = IA \quad (2.3)$$

จะได้

$$[I] = I_0 \exp\{j\omega(t - \frac{r}{c})\} \quad (2.4)$$

### 2.7.2 การแพร่กระจายคลื่นหรือสนามระยะไกลของ Short Magnetic Dipole และ Small loop

วิธีการหาสนามการแพร่กระจายคลื่นของ short magnetic dipole คือให้ short electric dipole เหมือนกับตอนที่ 2.7.1 กระแส  $I$  จะถูกแทนด้วย  $I_m$ ,  $E$  จะถูกแทนด้วย  $H$ , magnetic vector potential  $A$  ถูกแทนด้วย electric vector potential  $F$  จากรูป 2-8 electric vector potential :  $F$  กำหนดโดย

$$F = u_z \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{-l/2}^{l/2} \frac{[I_m]}{r} dz \quad (2-5)$$

ความต่างเฟสของกระแสที่เปลี่ยนไปของความยาว  $dz$  ตามไดโพลแม่เหล็กสามารถตัดทิ้งได้ ดังนั้น

$$F_z = \frac{\mu_0 I_{m0} \exp\{j\omega(t - r/c)\}}{4\pi r} \quad (2-6)$$

สนามไฟฟ้า  $E$  หาได้จาก

$$E = \frac{1}{\mu_0} \nabla \times F \quad (2-7)$$

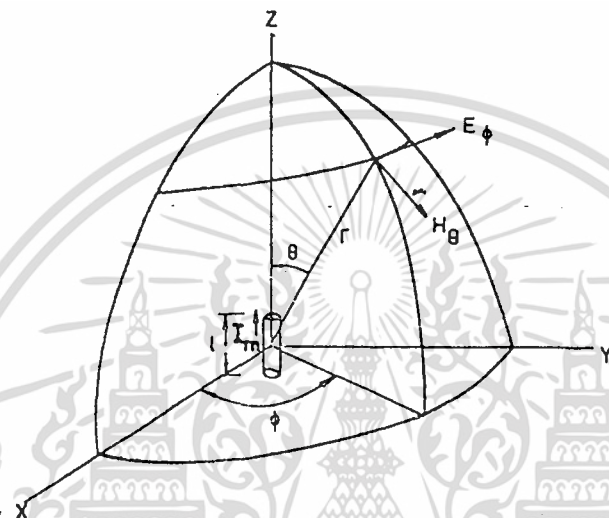
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้

$$E = u_\phi E_\phi = \frac{[I_m] l \sin \theta}{4\pi} \left( \frac{j\omega}{cr} + \frac{1}{r^2} \right) \quad (2-8)$$

สำหรับสนามการแพร่กระจายคลื่น

$$E_\phi = \frac{j[I_m] \sin \theta l}{2r \lambda} \quad (2-9)$$



รูป 2-8 แสดง short magnetic dipole

สมการ 2-9 คือสนามระยะไกลหรือการแพร่กระจายสนามไฟฟ้าของ short magnetic dipole ของความยาว  $l$  และ  $I_m$  การแพร่กระจายของสนามแม่เหล็กคือ

$$H_\theta = \frac{E_\phi}{\eta_0} = \frac{j[I_m] \sin \theta l}{240\pi r \lambda} \quad (2-10)$$

เมื่อ  $\eta_0 = (\mu_0 / \epsilon_0)^{1/2}$

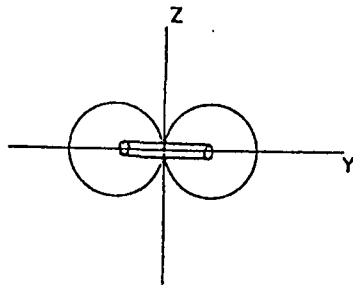
สำหรับรูปสมมูลย์ การแพร่กระจายคลื่นของ small loop กำหนดโดย

$$E_\phi = \frac{120\pi^2 [I] \sin \theta A}{r \lambda^2} \quad (2-11)$$

และ

$$H_\theta = \frac{\pi [I] \sin \theta A}{r \lambda^2} \quad (2-12)$$

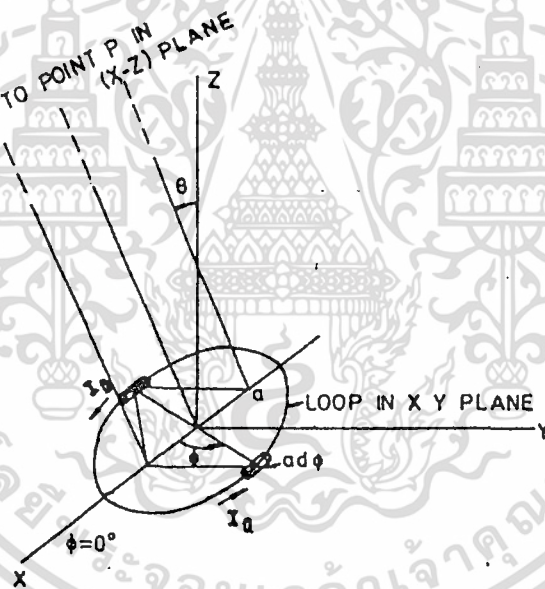
รูปแบบของสนามระยะไกลของ small loop แสดงดังรูป 2-9



รูป 2-9 รูปแบบของสนามระยะไกลของ small loop

2.7.3 large Circular Loop Antenna

การพิจารณา large circular loop ของรัศมี  $a$  กับรูปแบบกระแส in - phase ดังรูป 2-10 ในระนาบ X - Y แม้ว่าเงื่อนไขของรูปแบบกระแส in - phase จะได้มาจาก small loop สำหรับ large loop ซึ่งเส้นรอบรูปมากกว่าหรือเท่ากับ  $\lambda/4$  การเลื้อนของเฟสจะเกิดขึ้นรอบ ๆ periphery เพื่อจะได้รูปแบบกระแส in - phase บนลูป



รูป 2-10 ลูปในระนาบ X-Y

ภาคตัดขวางของลูปในระนาบ X - Z แสดงดังรูป 2-11 ในระนาบนี้  $\phi = 0^\circ$  และองค์ประกอบของกระแสโมเมนต์เนื่องจากไดโพลตัวเดียวคือ

$$[I]ad\phi \cos \phi \tag{2-13}$$

เมื่อ  $[I] = I_0 \exp\{j\omega(t - \frac{r}{c})\}$

เนื่องด้วยคู่ของเส้นผ่านศูนย์กลางที่ตรงข้ามกับไดโพล โมเมนต์  $dM$  คือ

$$dM = 2j[I]a d\phi \cos \phi \sin \frac{\phi}{2} \tag{2-14}$$

เมื่อ  $\phi = 2\beta a \cos \phi \sin \theta$

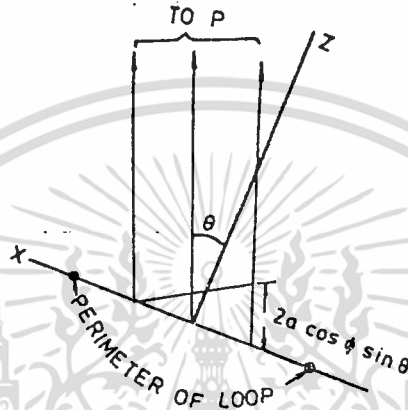
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ magnetic vector potential ในองค์ประกอบ  $\phi$ ,  $A_\phi$  ของ large loop คือ

$$A_\phi = \frac{j\mu_0[I]a}{2r} J_1(\beta a \sin \theta) \tag{2-15}$$

เมื่อ  $J_1$  คือเบสเซลฟังก์ชันลำดับที่หนึ่ง

สนามไฟฟ้าระยะไกลในองค์ประกอบ  $\phi$  กำหนดโดย



รูป 2-11 ภาคตัดขวางของลูปในระนาบ X-Z

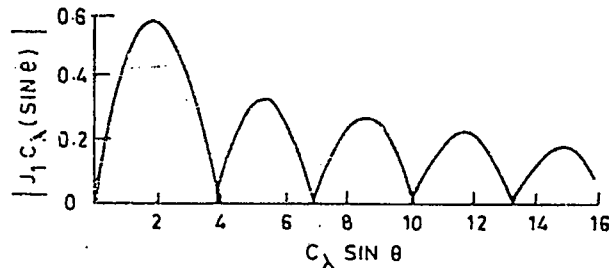
$$E_\phi = -j\omega A_\phi = \frac{60\pi\beta a [I]}{r} J_1(\beta a \sin \theta) \tag{2-16}$$

สนามแม่เหล็กที่ระยะอนันต์เฉพาะในองค์ประกอบ  $\theta$  กำหนดโดย

$$H_\theta = \frac{E_\phi}{\eta_0} = \frac{\beta a [I]}{2r} J_1(\beta a \sin \theta) \tag{2-17}$$

ถ้า  $C_\lambda = \frac{2\pi a}{\lambda} = \beta a$  เมื่อ  $E_\phi$  หรือ  $H_\theta$  เปลี่ยนไปตาม  $J_1(C_\lambda \sin \theta)$  และรูปแบบ

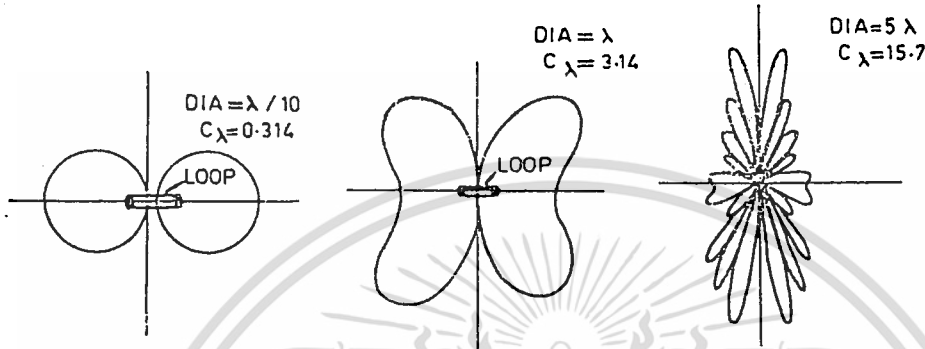
การแพร่กระจายคลื่นที่สนามระยะไกลก็แปรตาม  $C_\lambda \sin \theta$



รูป 2-12  $J_1(C_\lambda \sin \theta)$  เป็นฟังก์ชันของ  $C_\lambda \sin \theta$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะใช้ในการหารูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของ large loop รูปที่ 2-13 แสดงการแพร่กระจายคลื่นหรือรูปแบบของสนามระยะไกลของ loop ของเส้นผ่านศูนย์กลางที่แตกต่างกัน



รูป 2-13 รูปแบบของสนามระยะไกลของรูปของเส้นผ่านศูนย์กลางที่แตกต่างกัน

ในกรณีของ small loop ,  $J_1(C_\lambda \sin \theta)$  จะมีค่าน้อยมาก ดังนั้น  $x$  จะมีค่าน้อยมาก ใช้การประมาณ

$$J_1(x) = x / 2$$

สำหรับค่า  $x$  น้อย ๆ จากสมการ 2.16

$$E_\phi = \frac{60 \pi \beta a [I]}{2r} \beta a \sin \theta = \frac{120 \pi^2 [I] \sin \theta A}{r \lambda^2} \tag{2-18}$$

### 2.7.4 การแพร่กระจายค่าความต้านทานของรูป (Radiation Resistance of a Loop)

Radiation resistance  $R_r$  ของรูปจะกำหนดเหมือนกับสายอากาศเชิงเส้น

$$R_r = 2W / I_0^2 \tag{2-19}$$

เมื่อ  $W$  คือกำลังทั้งหมดในการแพร่กระจาย และ  $I_0$  คือ peak current ในรูป การแพร่กระจายความต้านทานจะเกิดขึ้นที่ขั้วอินพุทของรูป กำลังทั้งหมดในการแพร่กระจายคลื่นกำหนดโดย

$$W = \int P_r da \tag{2.20}$$

เมื่อ  $P_r$  = รัศมีของ poynting vector การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_r = \frac{1}{2} |H|^2 Z_0 \quad (2.21)$$

เมื่อ  $|H|$  คือค่าสัมบูรณ์ของสนามแม่เหล็กกระยะไกลและเท่ากับ  $|H_0|$  และ  $Z_0$  คือ intrinsic impedance ในอวกาศ ดังนั้น

$$W = 30\pi^2 (\beta a I_0)^2 \int J_1^2(\beta a \sin \theta) \sin \theta d\theta \quad (2.22)$$

สำหรับ small loop

$$W = 10\beta^4 A^2 I_0^2 \quad (2.23)$$

ดังนั้นการแพร่กระจายความต้านทาน  $R_r$  กำหนดโดย

$$R_r = \frac{2W}{I_0^2} = \frac{20\beta^4 A^2 I_0^2}{I_0^2} = 10\beta^4 A^2 \quad (2.24)$$

หรือ

$$R_r = 31,171 (A/\lambda^2)^2 = 197 C_\lambda^4 \quad \text{โอห์ม} \quad (2.25)$$

ในกรณีของ large loop

$$= 30\pi^2 \beta a I_0^2 \int_0^{2\beta a} J_2(y) dy \quad (2.26)$$

ดังนั้น

$$R_r = \frac{2W}{I_0^2} = 60\pi^2 C_\lambda^2 \int_0^{2C_\lambda} J_2(y) dy \quad \text{โอห์ม} \quad (2.27)$$

สำหรับ large loop

$$R_r = 60\pi^2 C_\lambda = 592 C_\lambda \quad (2.28)$$

### 2.7.5 โดแรกติวิตีของสายอากาศแบบลูปวงกลมกับ Uniform Current

โดแรกติวิตี  $D$  ของสายอากาศ กำหนดโดยอัตราส่วนระหว่างความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นมากที่สุดกับความเข้มของการกระจายคลื่นเฉลี่ย ความเข้มการแพร่กระจายคลื่น คือกำลังต่อหน่วยมุม สำหรับสายอากาศแบบลูปความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นมากที่สุดกำหนดโดย  $r^2 P_r$  และความเข้มการแพร่กระจายคลื่นเฉลี่ย  $W/4\pi$  ฉะนั้น  $D$  กำหนดโดย

$$D = \frac{2C_\lambda [J_1^2(C_\lambda \sin \theta)]_{\max}}{2C_\lambda \int_0^{2C_\lambda} J_2(y) dy} \quad (2.29)$$

สำหรับ small loop ( $C_\lambda < 1/3$ )

$$D = \left( \frac{3}{2} \sin^2 \theta \right)_{\max} = \frac{3}{2} \quad (2.30)$$

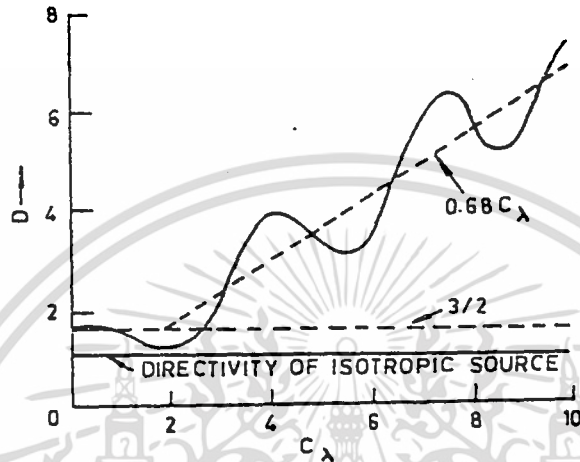
สำหรับ large loop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D = 2C_\lambda J_1^2(C_\lambda \sin \theta) \tag{2.31}$$

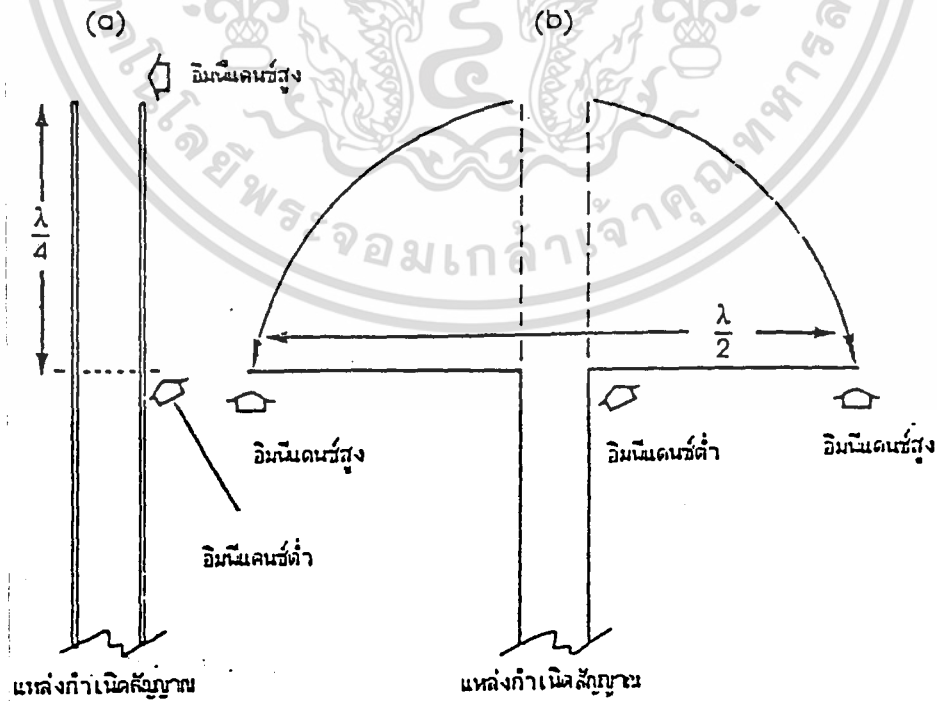
ในกรณีที่ลูปมี  $C_\lambda \geq 1.84$  ค่ามากที่สุดของ  $J_1(C_\lambda \sin \theta)$  คือ 0.582 ดังนั้น

$$D = 0.68C_\lambda \tag{2.32}$$



รูป 2-14 ไดเรกทิวิตี้ของลูปแบบวงกลมกับ uniform in-phase current ที่เป็นฟังก์ชันของ  $C_\lambda$

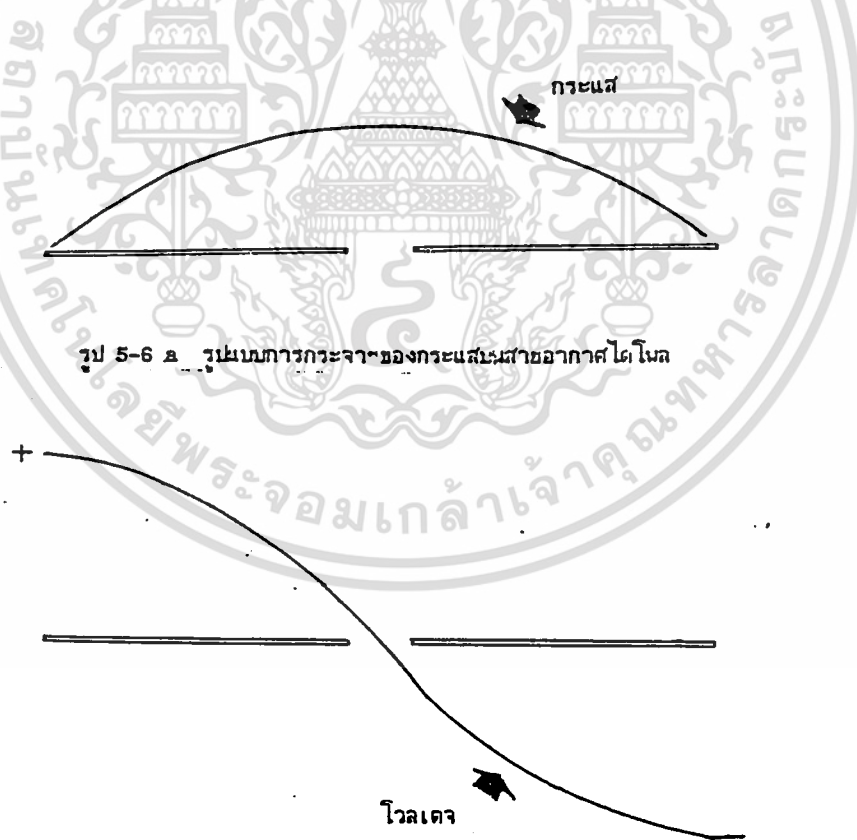
### 2.8 สายอากาศไดโพล



รูป 2-15 สายอากาศไดโพล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

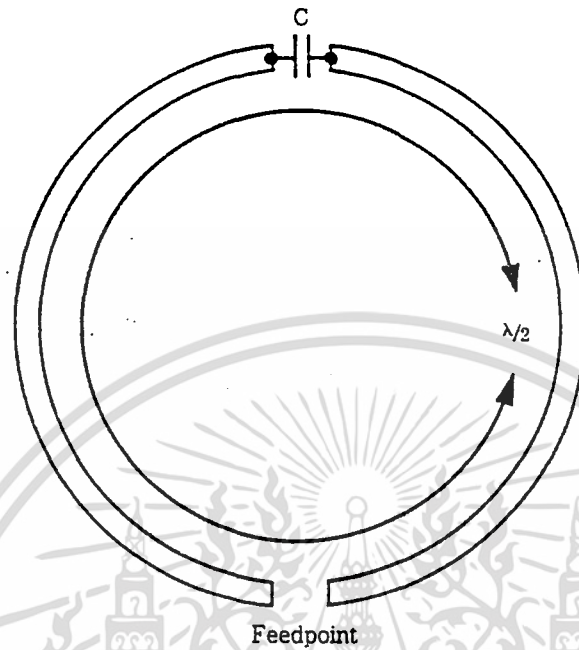
ถ้าเรามีสายส่งสัญญาณที่มีปลายข้างหนึ่งต่ออยู่กับแหล่งกำเนิด และมีปลายอีกข้างหนึ่งเปิดอยู่ ดังแสดงในรูป 2-15 (a) ที่ปลายด้านที่เปิดอยู่นี้ยอมมีค่าอิมพีแดนซ์ที่สูง ( $Z_R = \infty$ ) เราจะพบว่าถ้าเราทำการหาค่าของอิมพีแดนซ์ตามตำแหน่งต่าง ๆ บนสายส่งสัญญาณ โดยเริ่มจากปลายเปิดนี้ย้อนลงไปตามสายนั้น จะพบว่าค่าอิมพีแดนซ์ตามตำแหน่งต่าง ๆ นั้นค่อย ๆ ลดลง และจะมีค่าต่ำสุด ณ ตำแหน่งที่ห่างจากปลายเปิดนั้นเท่ากับ  $\lambda/4$  และเมื่อทำการแผ่สายทั้งสองออกจากกันดังแสดงในรูป 2-15 (b) จะสังเกตเห็นว่ามีกระแสไหลเข้าสู่สาย ณ ตำแหน่งตรงจุดต่อนี้ได้มากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากค่าอิมพีแดนซ์ของสาย ณ ตำแหน่งนี้มีค่าต่ำสุด ซึ่งอาจจะแปลความหมายในอีกนัยหนึ่งได้คือ จะมีพลังงานไหลเข้าในส่วนนี้ได้มากที่สุดและในทางกลับกัน เพราะจะไม่มีกระแสไหลออกไปจากปลายเปิดของสายส่งได้ ดังนั้นจึงทำให้โวลเตจที่เกิดขึ้นที่ปลายเปิดนี้มีค่าสูงสุด ความแรงของกระแสและโวลเตจตามจุดต่าง ๆ บนสายส่งที่ได้ทำการแผ่ออกไปแล้ว จะมีลักษณะรูปแบบดังแสดงในรูป 2-16



รูป 2-16 รูปแบบการกระจายของค่ากระแสและโวลเตจบนสายอากาศไดโพล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.9 สายอากาศแบบ Halo



รูป 2-17 แสดงสายอากาศแบบ Halo

Halo Antennas เป็นสายอากาศแบบลูปประเภทหนึ่งที่ใช้ในย่าน VHF ซึ่งมีพื้นฐานมาจาก Half - wavelength dipole โดยจะโค้งเป็นวงกลมที่มี conductor length เท่ากับ  $\lambda/2$  ที่มีจุดปลายของไดโพลจะแยกกันโดยตัวเก็บประจุ

## บทที่ 3

### ขั้นตอนการดำเนินงาน

#### 3.1 การสร้างสายอากาศแบบ Halo

1. หาขนาดความยาวของท่ออคูมิเนียมกลมกลวงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว คำนวณโดยใช้สูตร

$$L = \frac{5902 \times k}{f(\text{MHz})} \quad \text{นิ้ว}$$

$$= \frac{491.8 \times k}{f(\text{MHz})} \quad \text{ฟุต}$$

2. เมื่อได้ขนาดของความยาวของแต่ละช่องสัญญาณโทรทัศน์ ตัดท่ออคูมิเนียมตามความยาวที่คำนวณได้

3. โค้งอคูมิเนียมจากข้อ 2 ให้มีลักษณะเป็นวงกลม ตัดแยกวงอคูมิเนียมเป็น 2 ส่วน

4. นำตัวเก็บประจุมาทำการคัปปลิงตรงบริเวณช่องว่างระหว่างครึ่งวงกลม 2 ซีกนั้น สามารถคำนวณค่า C ของตัวเก็บประจุได้จาก

$$X_c = \frac{1}{2\pi fc}$$

โดยที่  $X_c$  คือ อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ

5. ส่วนช่องว่างระหว่างครึ่งวงกลม 2 ซีกอีกด้านหนึ่งนั้นเป็นจุด Feed ของสายอากาศ

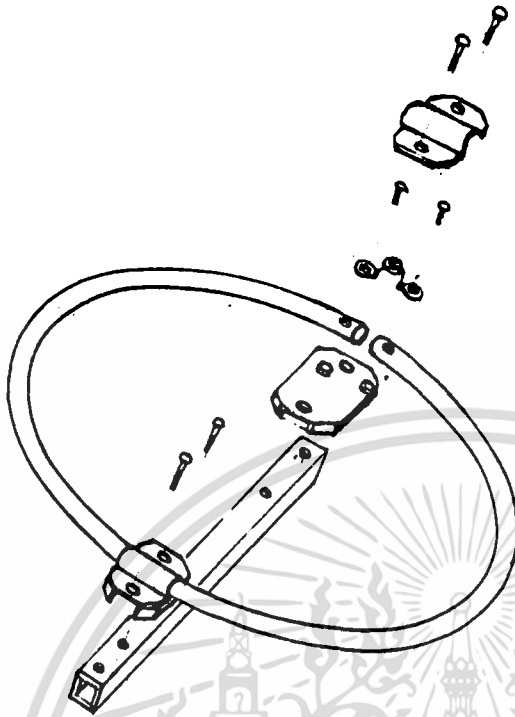
6. ใช้ท่ออคูมิเนียมสี่เหลี่ยมกลวงขนาด 3/4 นิ้ว เป็นตัวยึดระหว่างท่ออคูมิเนียมทั้งสอง โดยใช้พลาสติกชนิด ABS เป็นตัวคั่นระหว่างตัวสายอากาศและตัวยึด

7. ต่อสายนำสัญญาณจากจุด Feed ของสายอากาศ

ตาราง 3-1 แสดงความยาวที่คำนวณได้

ช่องสัญญาณ	ความถี่ (MHz)	ความถี่ที่ใช้ (MHz)	ความยาวคลื่น (m)	conductor length (m)	k	Physical length (m)
3	54-61	57.5	5.217	2.6	0.95	2.47
5	174-181	177.5	1.69	0.845	0.95	0.8027
7	187.5	187.5	1.6	0.8	0.95	0.76
9	202-209	205.5	1.46	0.73	0.95	0.69
11	216-223	219.5	1.36	0.68	0.95	0.645

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3-1 แสดงรายละเอียดของสายอากาศแบบ Halo

### 3.2 Field Test

#### 3.2.1 หาอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ

1. จากการคำนวณทางทฤษฎี จะได้อิมพีแดนซ์ของสายอากาศดังนี้

$$\text{จากสูตร } R_r = 60\pi^2 C_\lambda \int_0^{\pi/2} J_2^2(y) dy$$

ในกรณี large loop ;  $R_r = 3720 (a/\lambda) = 300$  โอห์ม

2. ทดสอบอิมพีแดนซ์ที่ feed point เท่ากับ 300 โอห์ม วัดจากสายอากาศ ดังรูป 3.2



รูป 3-2 แสดงการวัดอิมพีแดนซ์จากสายอากาศเท่ากับ 300 โอห์ม

สังเกตความคมชัดของสัญญาณในแต่ละช่อง

3. จากทฤษฎีหา  $R_r$  ของ free - standing half - wave dipole

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร} \quad R_r &= \frac{2P_r}{I_m^2} \\ &= 73.1 \quad \text{โอห์ม} \\ &\cong 75 \quad \text{โอห์ม} \end{aligned}$$

4. ทดสอบอิมพีแดนซ์ที่จุด feed point เท่ากับ 75 โอห์ม ดังรูป 3.3



รูป 3-3 แสดงการทดสอบอิมพีแดนซ์ที่จุดจากสายอากาศเท่ากับ 75 โอห์ม

สังเกตความคมชัดของสัญญาณในแต่ละช่องสัญญาณ

5. ทำการทดลองกับสายอากาศทั้งสองแบบ แล้วเปรียบเทียบความคมชัดของสัญญาณระหว่างสายอากาศ 2 แบบนี้

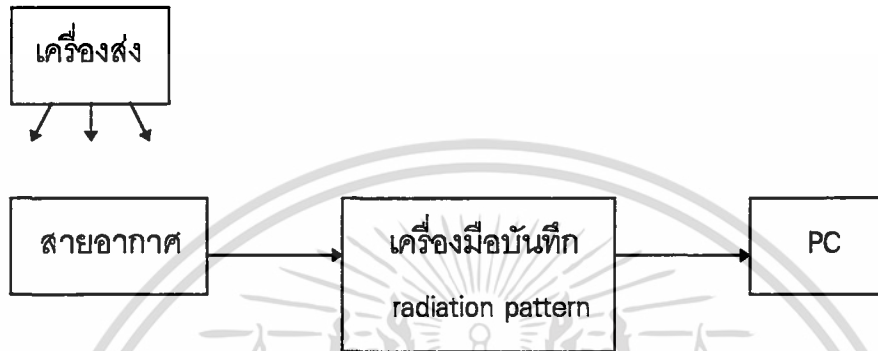
3.2.2 เปรียบเทียบความคมชัดของสัญญาณกับสายอากาศชนิดอื่นๆ

ต่อสายอากาศอ้างอิงเข้ากับเครื่องรับโทรทัศน์ สังเกตความคมชัดของสัญญาณที่รับได้ เปรียบเทียบกับสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศ Halo .

### 3.3 Property Test หรือ Lab Test

#### 3.3.1 วัด Radiation Pattern ( Antenna Pattern )

จัดเครื่องมือในการทดลองดังรูป 3.4



รูป 3.4 แสดงการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น

ในการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นนี้ ใช้เครื่องส่งคลื่นวิทยุเป็นตัวแพร่กระจายคลื่น สายอากาศจะต่อเข้ากับเครื่องมือบันทึกรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งมีมอเตอร์เป็นตัวหมุนสายอากาศให้หมุนครั้งละ 1 องศาแล้วเครื่องมือวัดจะทำการบันทึกผลที่ได้ แสดงผลทางคอมพิวเตอร์

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

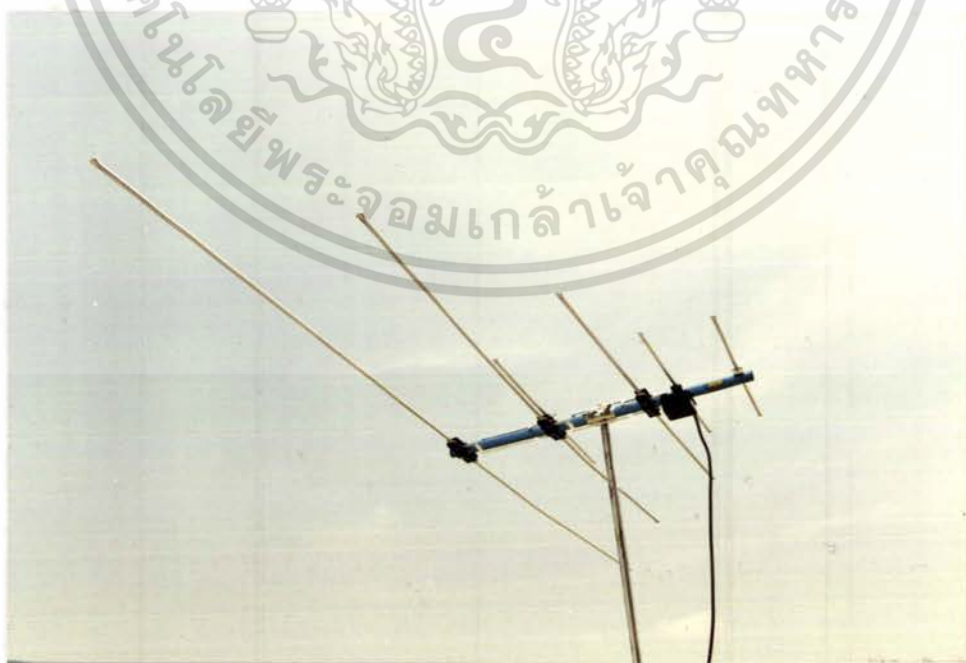
จากการทดลองได้แยกเป็น field test และ lab test ในส่วนของ field test เป็นการหาอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ เพื่อเปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้กับทฤษฎี ทำการทดลองที่บริเวณลานชั้นสอง อาคารคณะวิทยาศาสตร์ เวลาประมาณ 10.00 - 15.00 น. ได้ผลการทดลองดังนี้

1. ทดลองหาอิมพีแดนซ์ของสายอากาศเท่ากับ 300 โอห์ม โดยใช้สายทวินลีดชนิด 300 โอห์มจากสายอากาศ ต่อเข้า transformer matching 300 - 75 โอห์ม จากนั้นใช้สายนำสัญญาณโคแอกเชียล RG - 6 ชนิด 75 โอห์ม ต่อจาก transformer matching เข้าสู่เครื่องรับโทรทัศน์ พบว่าสัญญาณที่รับได้มีความคมชัด

2. ทดลองหาอิมพีแดนซ์ของสายอากาศเท่ากับ 75 โอห์ม โดยใช้สายนำสัญญาณโคแอกเชียล RG - 6 ชนิด 75 โอห์มต่อเข้าโดยตรงจากสายอากาศเข้าสู่เครื่องรับโทรทัศน์ พบว่าสัญญาณที่รับได้ไม่คมชัด

ผลการทดลองเมื่อนำสายอากาศชนิดต่างๆ เปรียบเทียบความสามารถในการรับสัญญาณกับสายอากาศที่ประดิษฐ์ขึ้น ได้ผลดังนี้

1. สายอากาศแบบยาก็ 5 อีลีเมนต์



รูป 4-1 แสดงสายอากาศแบบยาก็ 5 อีลีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

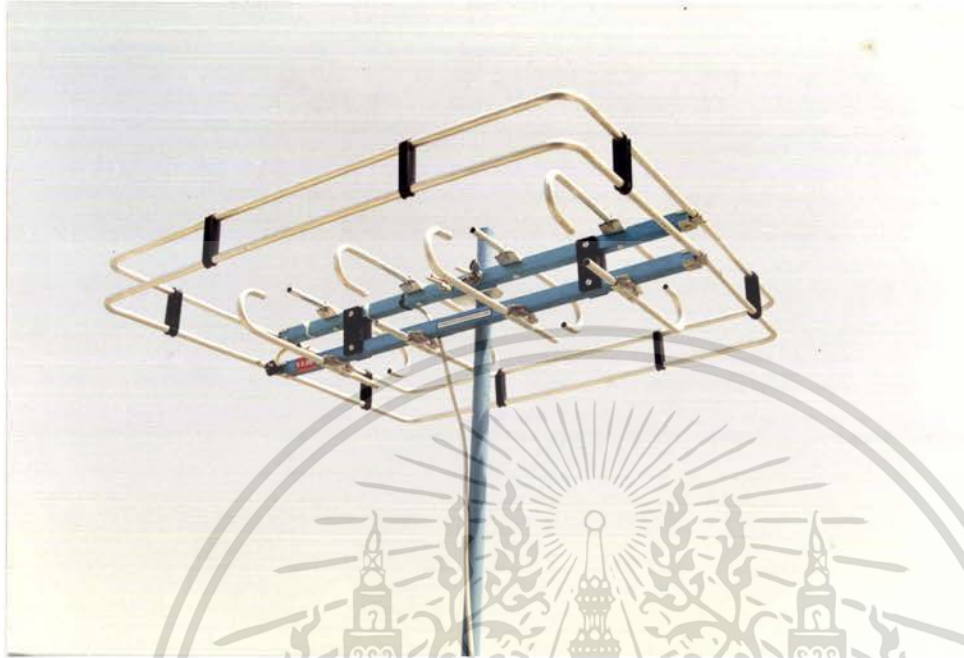
ผลจากการรับสัญญาณช่อง 5, 7, และ 9



รูป 4-2 แสดงการรับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
(a) ช่อง 5 (b) ช่อง 7 (c) ช่อง 9  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. สายอากาศของบริษัท BETA model: SS 12 E



รูป 4-3 แสดงสายอากาศของบริษัท BETA model : SS 12 E

ผลจากการรับสัญญาณช่อง 5, 7 และ 9



(a)

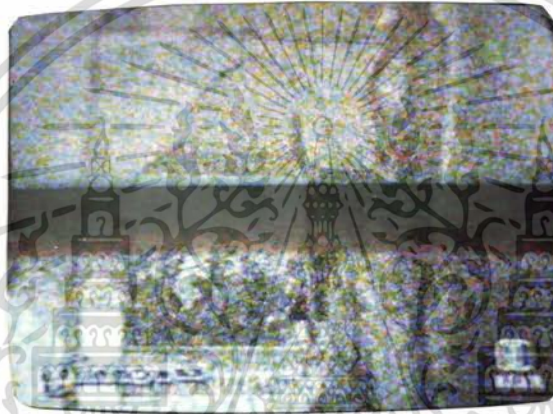
รูป 4-4 แสดงการรับสัญญาณ

(a) ช่อง 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b)



(c)

รูป 4-4 แสดงการจับสัญญาณ

(b) ช่อง 7

(c) ช่อง 9

### 3. สายอากาศแบบ loop วงกลม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูป 4-5 แสดงสายอากาศแบบลูป  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลที่ได้จากการรับสัญญาณช่อง 5, 7 และ 9



(a)



(b)



(c)

รูป 4-6 แสดงการรับสัญญาณ

(a) ช่อง 5      (b) ช่อง 7      (c) ช่อง 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4. สายอากาศแบบ Halo



รูป 4-7 แสดงสายอากาศแบบ Halo

ผลการรับสัญญาณช่อง 5, 7 และ 9



(a)

รูป 4-8 แสดงการรับสัญญาณ

(a) ช่อง 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b)



(c)

รูป 4-9 แสดงการรับสัญญาณ

(b) ช่อง 7

(c) ช่อง 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของ lab test ได้ทำการทดลองหารูปแบบการแพร่กระจายคลื่น โดยทำการทดลอง ณ ชั้น 3 อาคารคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ได้ผลการทดลองดังนี้

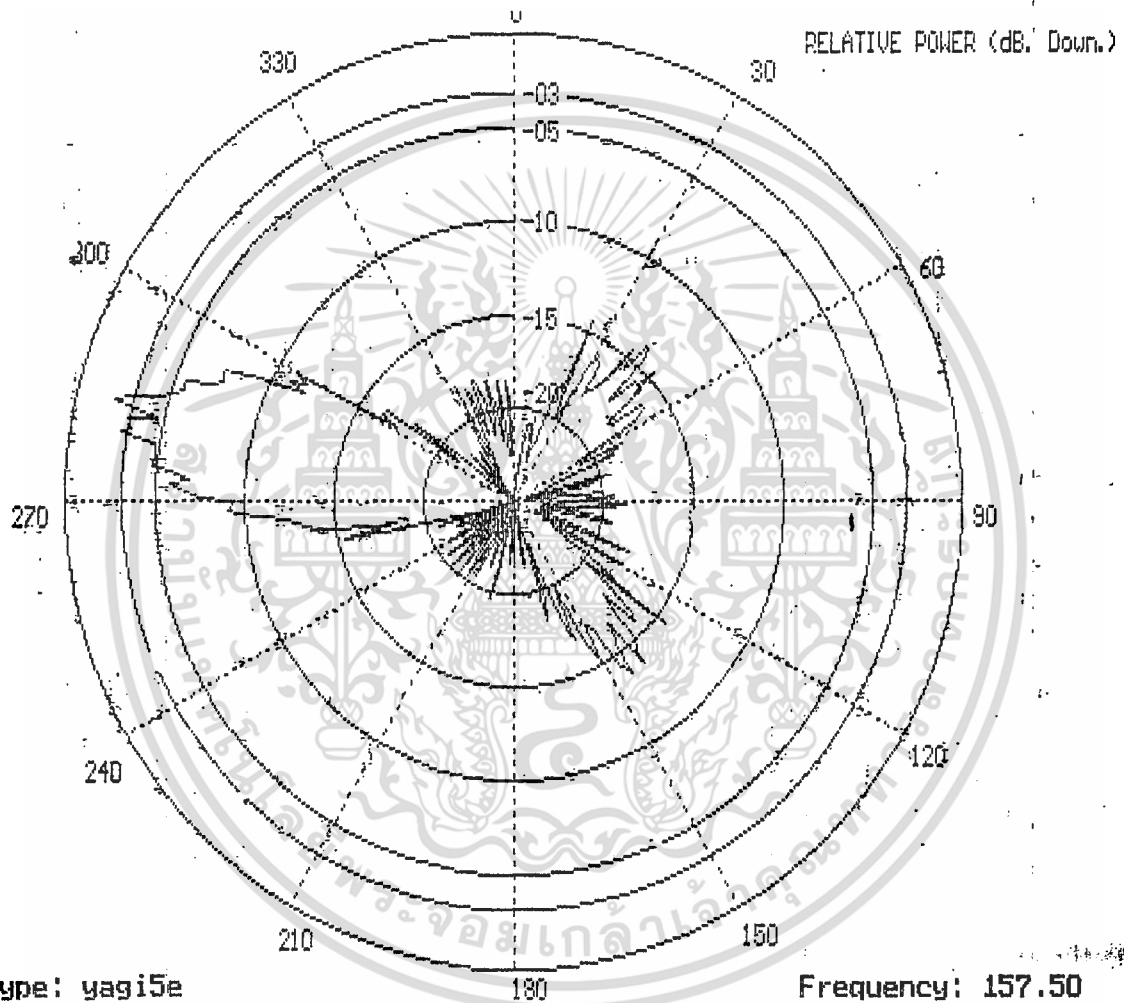
1. รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบยาก็ 5 ซีดีเมนต์

ผลการวัด radiation power ได้ผลการทดลองดังแสดงในตาราง 4-1

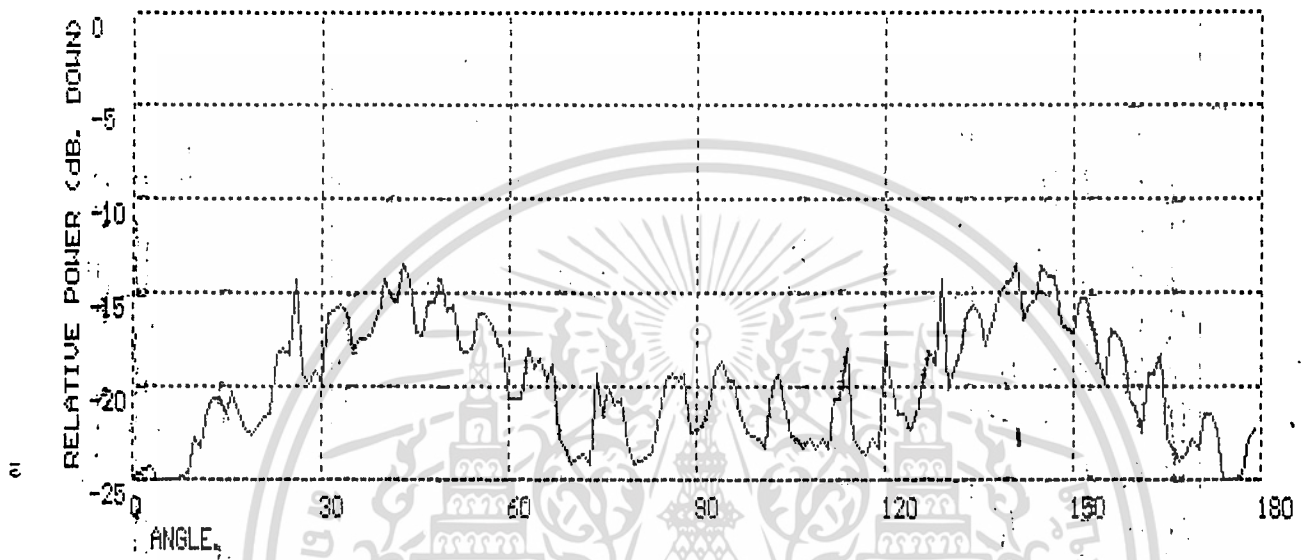
ตาราง 4-1 แสดง radiation pattern ของสายอากาศแบบยาก็ที่ความถี่ 157.5 MHz

degree (องศา)	power (dB)	degree (องศา)	power (dB)	degree (องศา)	power (dB)
0	-24	130	-20	260	-18
10	-22	140	-14	270	-9
20	-22	150	-17	280	-4
30	-19	160	-21	290	-5
40	-14	170	-23	300	-11
50	-16	180	-21	310	-19
60	-20	190	-25	320	-25
70	-24	200	-23	330	-23
80	-24	210	-22	340	-21
90	-22	220	-19	350	-21
100	-22	230	-24	360	-24
110	-22	240	-20		
120	-18	250			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Antenna Type: yagi5e

Frequency: 157.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

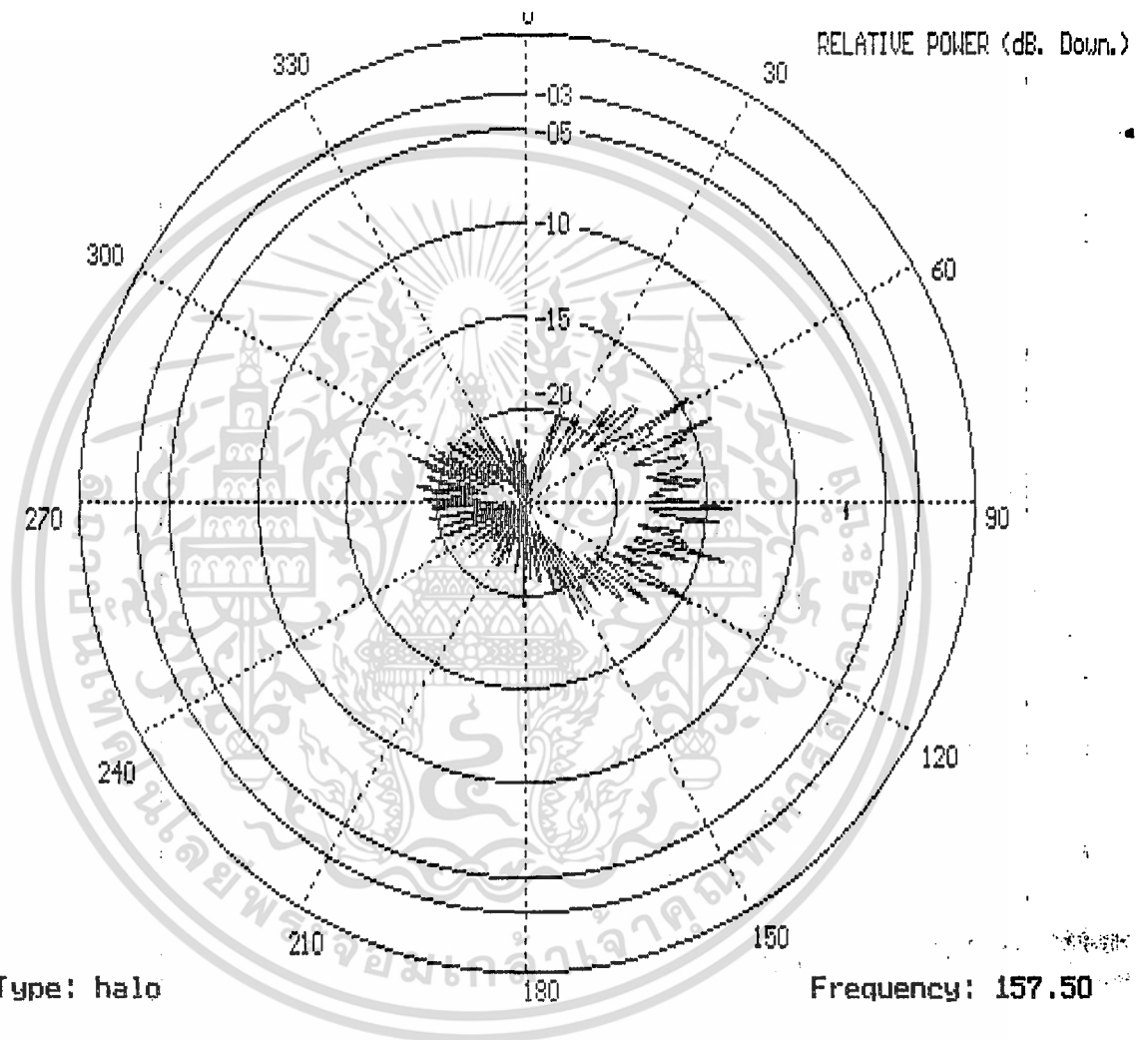
## 2. รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบ Halo

ผลการวัด radiation power ได้ผลการทดลองดังแสดงในตาราง 4-2

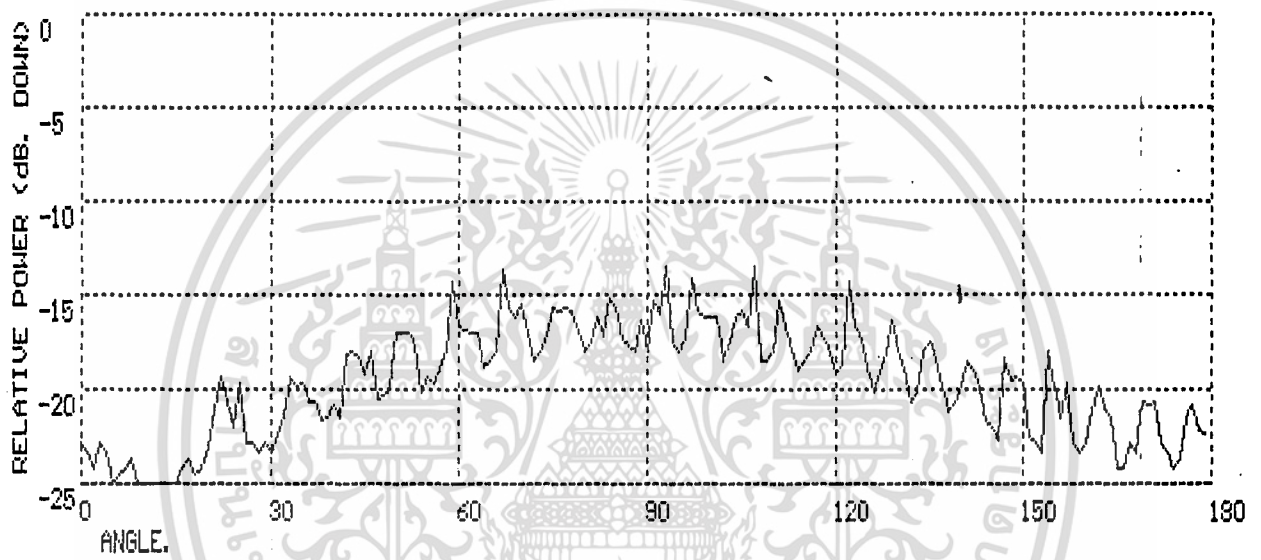
ตาราง 4-2 แสดง radiation pattern ของสายอากาศแบบ Halo ที่ความถี่ 157.5 MHz

degree (องศา)	power (dB)	degree (องศา)	power (dB)	degree (องศา)	power (dB)
0	-22	130	-18	260	-20
10	-25	140	-19	270	-21
20	-23	150	-19	280	-20
30	-23	160	-22	290	-19
40	-20	170	-20	300	-19
50	-17	180	-25	310	-22
60	-16	190	-21	320	-20
70	-15	200	-21	330	-24
80	-18	210	-25	340	-21
90	-18	220	-24	350	-25
100	-16	230	-23	360	-22
110	-18	240	-23		
120	-19	250			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Antenna Type: halo

Frequency: 157.50

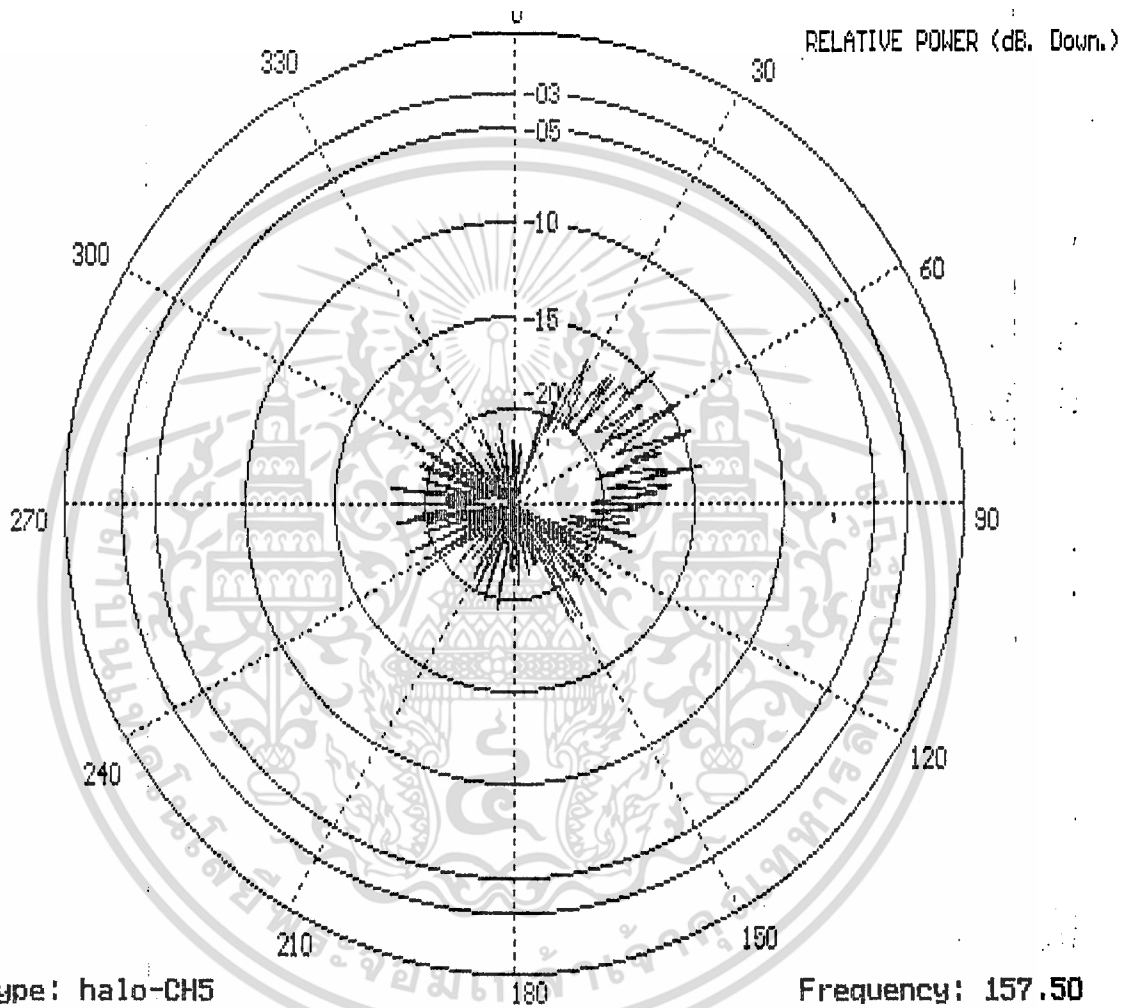
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบ Halo แยกเฉพาะรับช่อง 5  
ผลการวัด radiation power ได้ผลการทดลองดังแสดงในตาราง 4-3

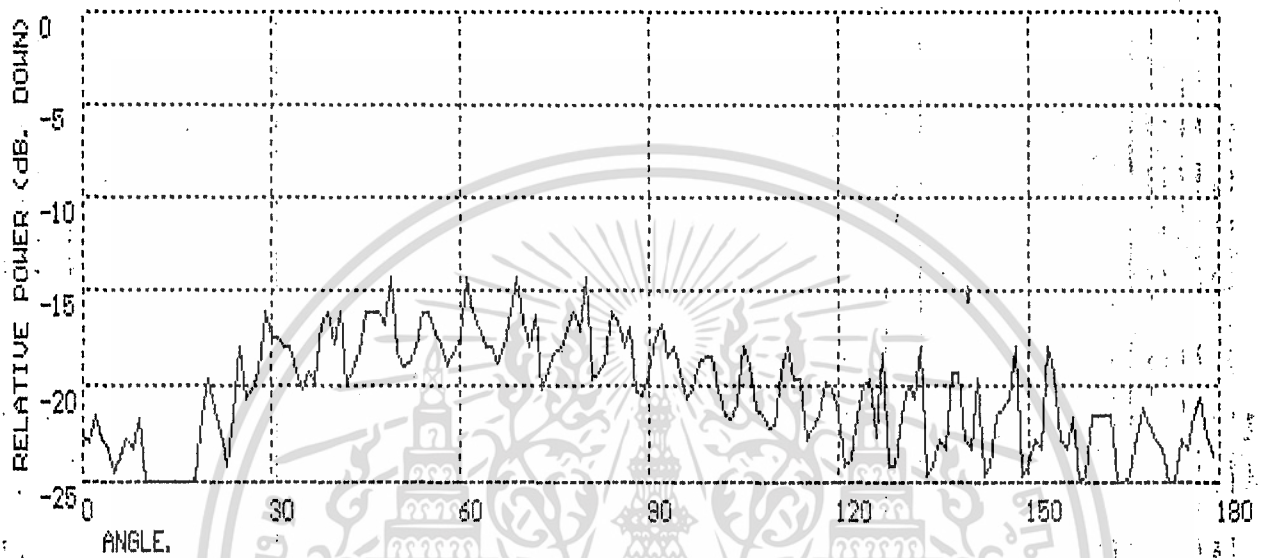
ตาราง 4-3 แสดง radiation pattern ของสายอากาศแบบ Halo ที่ความถี่ 157.5 MHz

degree (องศา)	power (dB)	degree (องศา)	power (dB)	degree (องศา)	power (dB)
0	-22	130	-21	260	-21
10	-25	140	-22	270	-22
20	-19	150	-24	280	-20
30	-17	160	-21	290	-23
40	-17	170	-22	300	-21
50	-18	180	-25	310	-24
60	-17	190	-24	320	-23
70	-16	200	-19	330	-25
80	-14	210	-25	340	-22
90	-19	220	-21	350	-20
100	-18	230	-23	360	-22
110	-22	240	-19		
120	-21	250	-25		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Antenna Type: halo-CH5

Frequency: 157.50

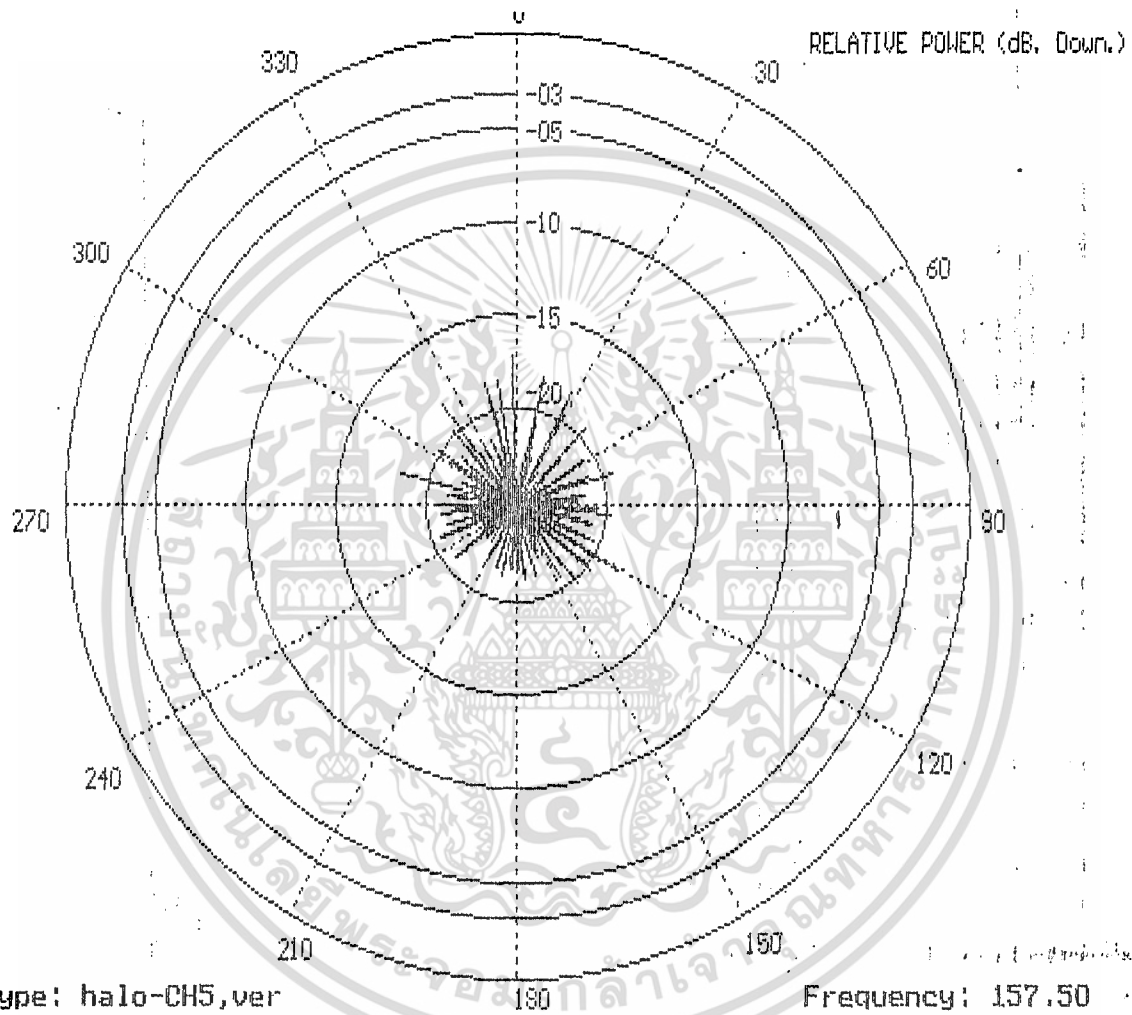
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบ Halo แยกเฉพาะรับช่อง 5 ในแนวตั้ง ผลการวัด radiation power ได้ผลการทดลองดังแสดงในตาราง 4-4

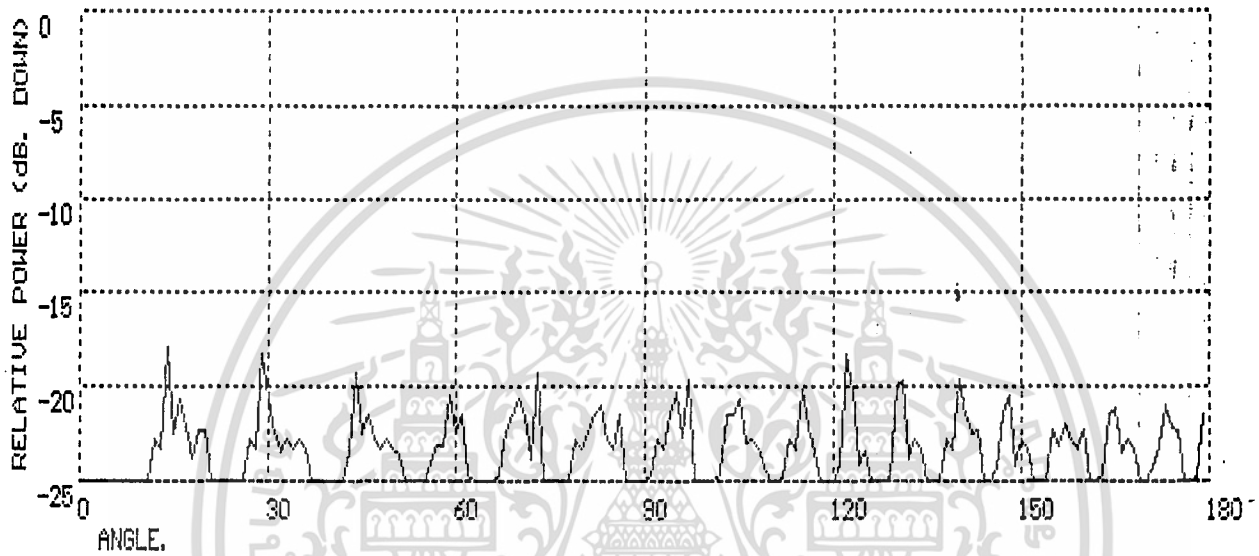
ตาราง 4-4 แสดง radiation pattern ของสายอากาศแบบ Halo ที่ความถี่ 157.5 MHz

degree (องศา)	power (dB)	degree (องศา)	power (dB)	degree (องศา)	power (dB)
0	-25	130	-20	260	-24
10	-25	140	-19	270	-22
20	-22	150	-22	280	-21
30	-20	160	-22	290	-25
40	-25	170	-25	300	-22
50	-23	180	-21	310	-21
60	-22	190	-25	320	-25
70	-20	200	-21	330	-21
80	-23	210	-22	340	-22
90	-25	220	-23	350	-25
100	-25	230	-25	360	-25
110	-25	240	-22		
120	-25	250	-23		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Antenna Type: halo-CH5,ver

Frequency: 157.50

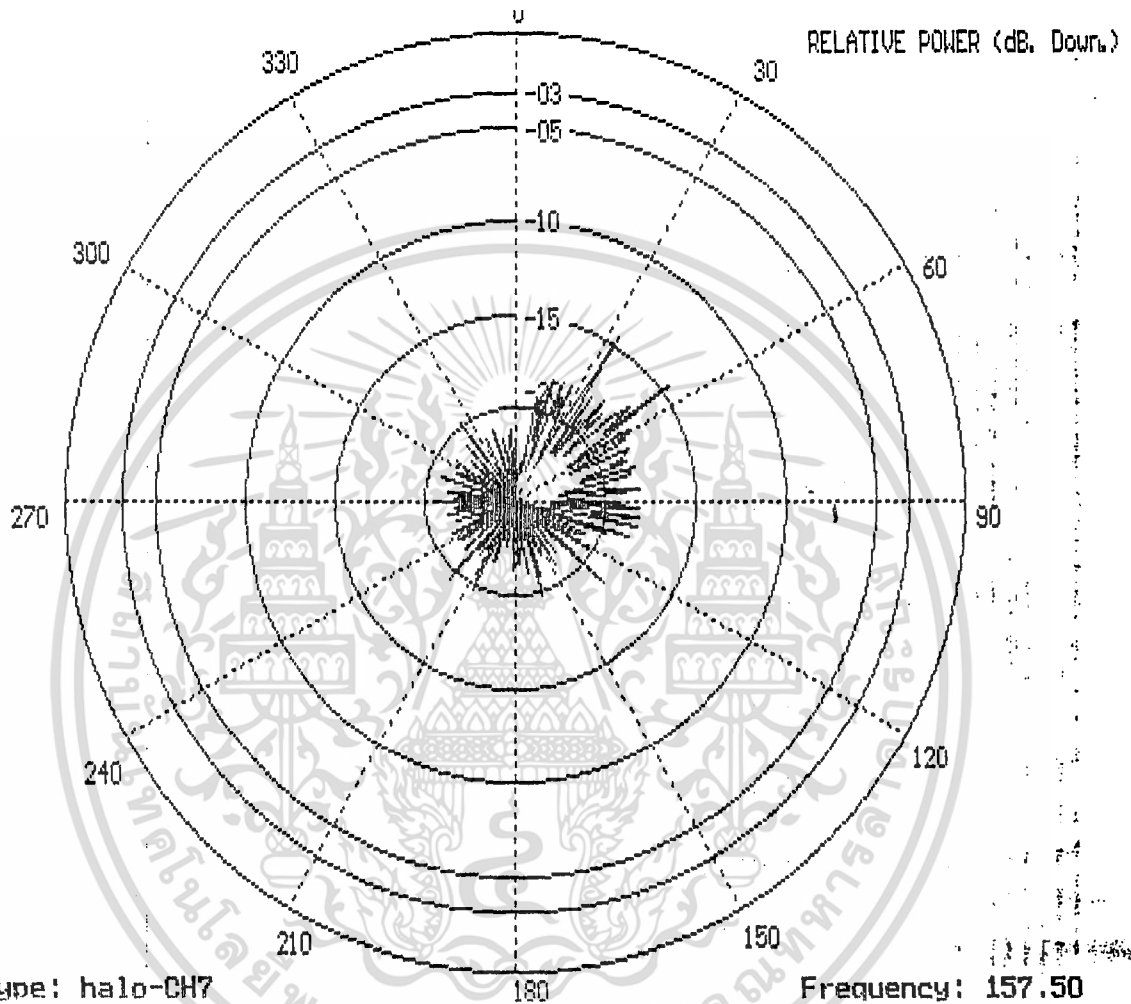
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบ Halo แยกเฉพาะรับช่อง 7  
ผลการวัด radiation power ได้ผลการทดลองดังแสดงในตาราง 4-5

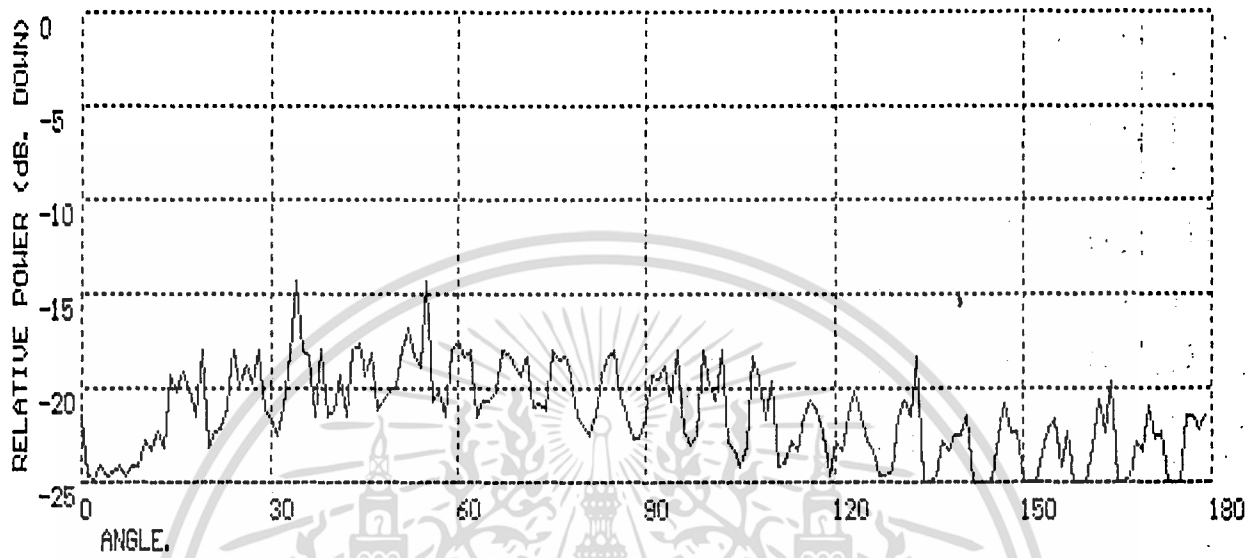
ตาราง 4-5 แสดง radiation pattern ของสายอากาศแบบ Halo ที่ความถี่ 157.5 MHz

degree (องศา)	power (dB)	degree (องศา)	power (dB)	degree (องศา)	power (dB)
0	-21	130	-21	260	-22
10	-22	140	-22	270	-25
20	-23	150	-25	280	-23
30	-21	160	-25	290	-24
40	-21	170	-21	300	-25
50	-19	180	-25	310	-23
60	-17	190	-25	320	-24
70	-19	200	-23	330	-25
80	-22	210	-22	340	-25
90	-21	220	-25	350	-22
100	-19	230	-21	360	-21
110	-19	240	-23		
120	-22	250	-22		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Antenna Type: halo-CH7

Frequency: 157.50

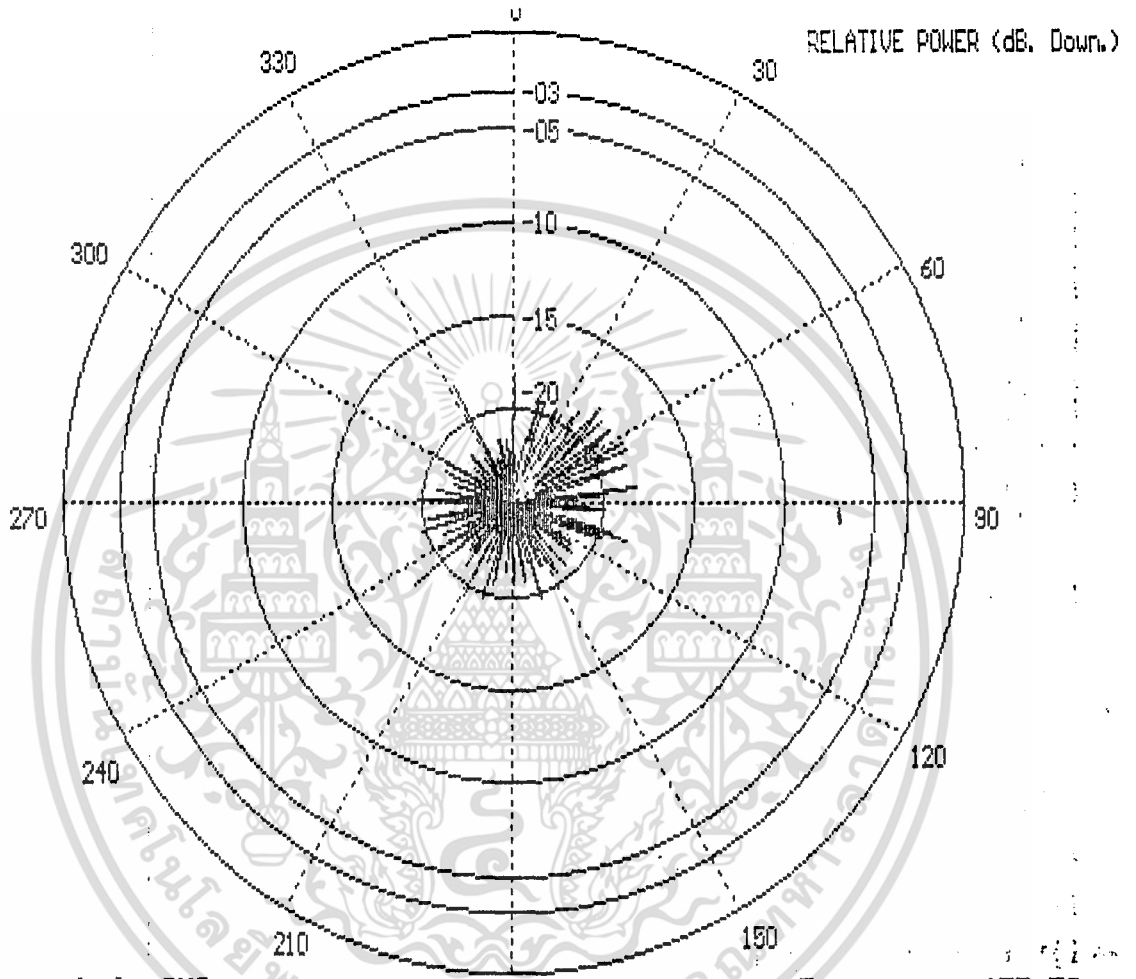
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบ Halo แยกเฉพาะรับช่อง 9  
ผลการวัด radiation power ได้ผลการทดลองดังแสดงในตาราง 4-6

ตาราง 4-6 แสดง radiation pattern ของสายอากาศแบบ Halo ที่ความถี่ 157.5 MHz

degree (องศา)	power (dB)	degree (องศา)	power (dB)	degree (องศา)	power (dB)
0	-21	130	-20	260	-20
10	-24	140	-22	270	-25
20	-19	150	-25	280	-23
30	-20	160	-25	290	-21
40	-20	170	-23	300	-25
50	-22	180	-21	310	-24
60	-22	190	-23	320	-21
70	-23	200	-25	330	-25
80	-24	210	-19	340	-22
90	-24	220	-24	350	-22
100	-23	230	-25	360	-21
110	-22	240	-23		
120	-24	250	-25		

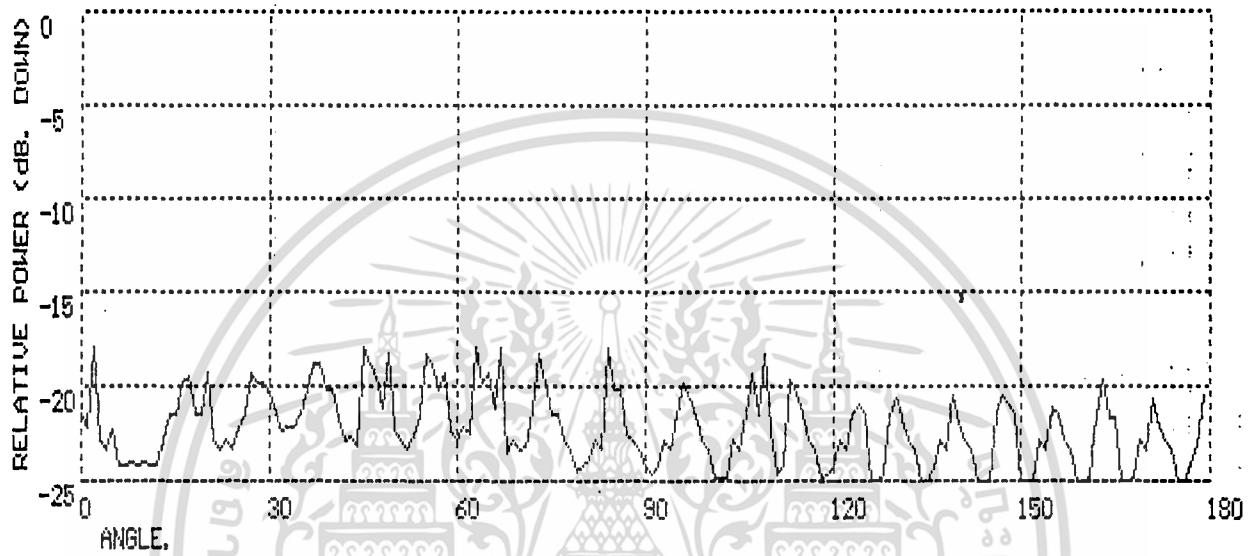
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Antenna Type: halo-CH9

Frequency: 157.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Antenna Type: halo-CH9

Frequency: 157.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

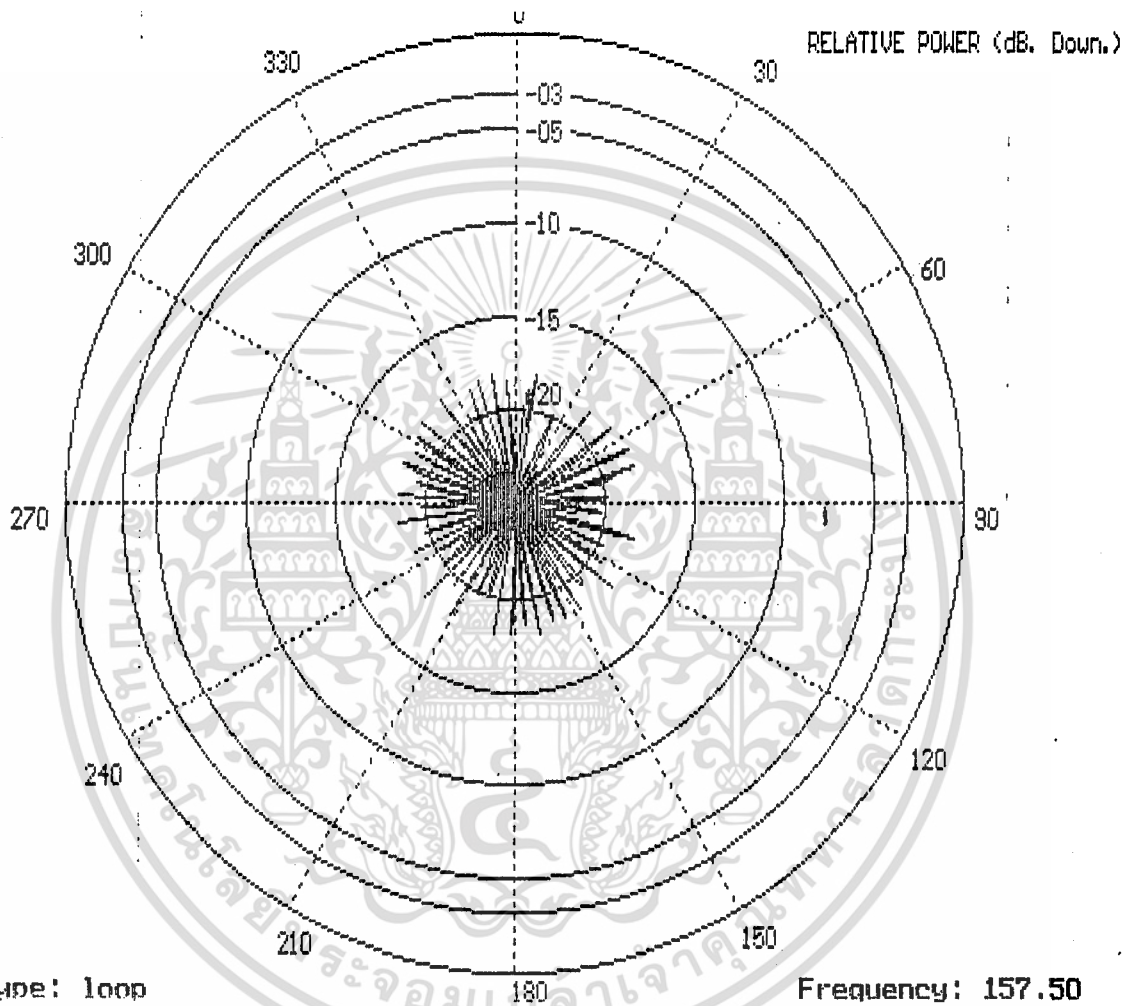
## 7. รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบลูปวงกลม

ผลการวัด radiation power ได้ผลการทดลองดังแสดงในตาราง 4-7

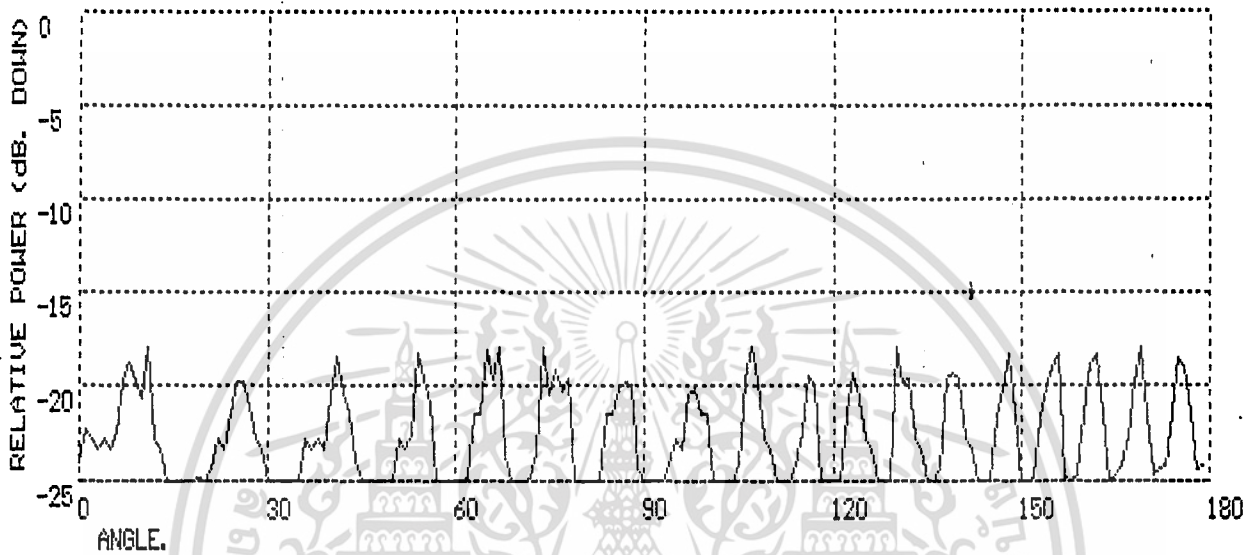
ตาราง 4-7 แสดง radiation pattern ของสายอากาศแบบลูปวงกลม ที่ความถี่ 157.5 MHz

degree (องศา)	power (dB)	degree (องศา)	power (dB)	degree (องศา)	power (dB)
0	-24	130	-18	260	-21
10	-20	140	-19	270	-22
20	-25	150	-25	280	-25
30	-25	160	-21	290	-18
40	-20	170	-21	300	-25
50	-25	180	-22	310	-23
60	-25	190	-22	320	-25
70	-25	200	-21	330	-20
80	-25	210	-24	340	-25
90	-25	220	-19	350	-18
100	-21	230	-25	360	-24
110	-23	240	-21		
120	-25	250	-25		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Antenna Type: loop

Frequency: 157.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและแนวทางการพัฒนา

สำหรับโครงการพิเศษ การสร้างสายอากาศโทรทัศน์ ( Construction of T.V. Antennas ) ที่สำเร็จสมบูรณ์แล้ว จะได้สายอากาศชนิดที่มีคุณสมบัติสามารถรับสัญญาณโทรทัศน์ที่มีความถี่ในย่าน VHF ( Very High Frequency ) ได้ จากผลการทดลองวัดรูปแบบของการแพร่กระจายคลื่น ( Pattern ) พบว่าสามารถทำให้เราทราบถึงการแพร่กระจายไปได้มากในบางทิศทาง ( Directivity ) ดังแสดงไว้ในผลการทดลอง จากรูปพบว่า Pattern ของสายอากาศที่ได้มีค่า Gain ต่ำ ทำให้มีการแพร่กระจายคลื่นไปได้ไม่ไกลนัก ทำให้การรับภาพ ณ ตำแหน่งพื้นที่ที่อยู่ไกลจากสถานีส่งสัญญาณมาก ๆ ไม่คมชัดเท่ากับบริเวณที่อยู่ใกล้ ๆ สถานีส่งสัญญาณ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า สายอากาศที่ประดิษฐ์ขึ้นมีความสมบูรณ์ไม่ดีเท่าที่ควร แต่ก็ยังเป็นแนวทางพื้นฐานในการปรับปรุงและพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

โครงการนี้ สามารถที่จะนำไปพัฒนาเพื่อเพิ่มความสามารถในการทำงานได้มากขึ้นดังต่อไปนี้

1. การเพิ่มจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ช่วยปรับระดับสัญญาณให้ดีขึ้น

การเพิ่มจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ช่วยปรับระดับสัญญาณให้ดีขึ้น เป็นการช่วยลดสัญญาณรบกวนอันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมได้ ตัวอย่างของอุปกรณ์ประเภทนี้ คือ ฟิลเตอร์ ( ตัวกรองสัญญาณ ) , บูลสเตอร์ ( ตัวขยายสัญญาณ ) เป็นต้น

2. ตำแหน่งของการทดสอบหารูปแบบของการแพร่กระจายคลื่น ( Pattern )

ในการทดสอบหารูปแบบของการแพร่กระจายคลื่น ( Pattern ) ควรกระทำ ณ บริเวณที่เป็นที่โล่งไม่มีสิ่งกีดขวางที่จะทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่น เพื่อจะได้รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น ( Pattern ) ที่สมบูรณ์

3. อุปกรณ์ที่ใช้ใน Lab Test

จากประสบการณ์การทำโครงการพิเศษชิ้นนี้ พบว่า ยังมีความไม่พร้อมในด้านอุปกรณ์ที่ใช้ใน Lab Test เช่น อุปกรณ์การวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ เป็นต้น

ดังนั้น ควรที่จะจัดหาอุปกรณ์เพื่อใช้ในการทดลองในห้องทดลอง ( Lab Test ) ให้พร้อมก่อนที่จะทำการทดลอง เพื่อให้การทดลองดำเนินไปอย่างไม่ติดขัด

#### 4. ตำแหน่งของการทดสอบภาคสนาม ( Field Test )

ควรทำในบริเวณที่โล่งแจ้งไม่มีสิ่งกีดขวางทางเดินของคน เช่น อาคารสูง เพื่อไม่ให้เกิดสัญญาณรบกวน ตัวอย่าง เช่น การเกิดภาพซ้อน , การเกิดสโนว์ เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

รศ.ยี่น ภูสุวรรณ และ สุทธิ จันทรัตน์วงศ์, เทคนิคการออกแบบและติดตั้งสายอากาศโทร  
ทัศน์ - เอฟเอ็ม, บริษัทซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, หจก.นำอักษรการพิมพ์, 2521  
วสันต์ อชาเดโชพล และ Advanced Engineering Group, สายอากาศและเทคนิคการติดตั้ง,  
หจก. สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์

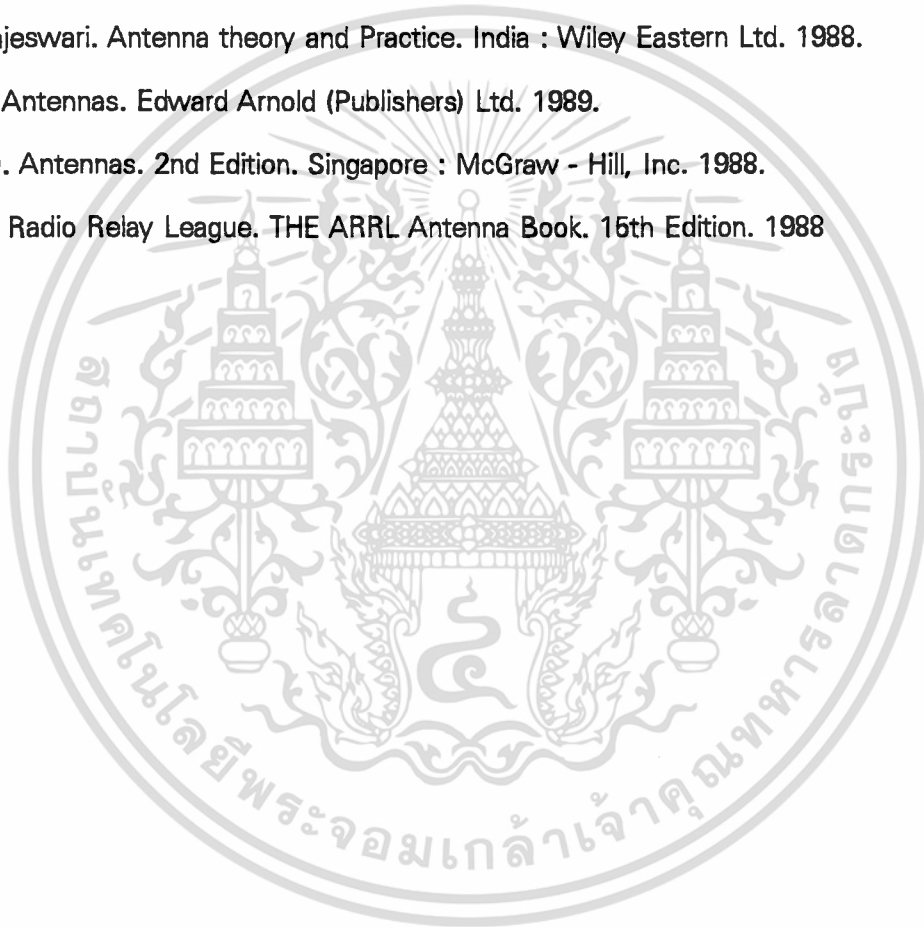
Carr, Joseph J. Practical Antenna Handbook. 2nd Edition. U.S.A. : Tab Book. 1994.

Chatterjee, Rajeswari. Antenna theory and Practice. India : Wiley Eastern Ltd. 1988.

F.R. Conner. Antennas. Edward Arnold (Publishers) Ltd. 1989.

Karus, John D. Antennas. 2nd Edition. Singapore : McGraw - Hill, Inc. 1988.

The American Radio Relay League. THE ARRL Antenna Book. 15th Edition. 1988



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้