



ภาควิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง สายอากาศคอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์

ผู้จัดทำ

1. นางสาว บัญจาลักษณ์ รกรากทอง รหัสประจำตัว 30.1153
2. นาย พงษ์ศักดิ์ พงษ์ษากร รหัสประจำตัว 30.1167

อาจารย์ที่ปรึกษา

( ผศ. สมพล โกศลวิตร )

# สายอากาศคอร์เนอร์รีเฟลกเตอร์

น.ส. ปัญาลักษณ์ รกรากทอง  
นาย พงษ์ศักดิ์ พงษ์ภากร  
อาจารย์ที่ปรึกษา  
ผศ. สมผล โกศลวิตร  
ปีการศึกษา 2533

## บทคัดย่อ

การเพิ่มคุณสมบัติของสายอากาศไดโพลสามารถทำได้  
ง่ายๆโดยเพิ่มแผ่นสะท้อนเข้าไปในระบบสายอากาศทำให้กำลังขยายสูงขึ้นและกำหนดทิศ  
ทางของสัญญาณได้ถ้าเปลี่ยนจากแผ่นสะท้อนแผ่นเรียบเป็นแผ่นสะท้อนที่ทำเป็นมุม จะ  
เรียกว่าสายอากาศ คอร์เนอร์รีเฟลกเตอร์ พลังงานที่ส่งออกทางด้านหน้าจะเพิ่มขึ้น  
สิ่งที่ได้จัดทำคือสายอากาศคอร์เนอร์รีเฟลกเตอร์เพื่อใช้รับสัญญาณโทรทัศน์เคลื่อนที่ในช่วง  
ความถี่ 479 ถึง 493.5 MHz โดยใช้สายอากาศไดโพลเป็นตัวแพร่กระจายคลื่น และ  
ใช้ท่ออลูมิเนียมประกอบเป็นแผ่นสะท้อน และ ได้ทำการทดสอบสายอากาศเพื่อเปรียบ  
เทียบกับทฤษฎี

# CORNER REFLECTOR ANTENNA

PANJALAK ROKRAKTHONG

PONGSAK PRUKSAKORN

ADVISER

SOMPOL GOSALWITCH

YEAR 1990

## ABSTRACT

The simple way to increase some properties of dipole antenna is to use reflector in antenna system. The results are higher gain and directivity. When the reflector formed to be corner, it can prohibit radiation in the back and side directions and has more energy in the forward direction. And it called corner reflector antenna. We made one corner reflector antenna to use to receive the mobile telephone signal in frequency range 479 to 493.5 MHz. Driven radiator is half wavelength dipole and reflector made of aluminium tubes. And we tested it to compare with the theory.

# สารบัญ

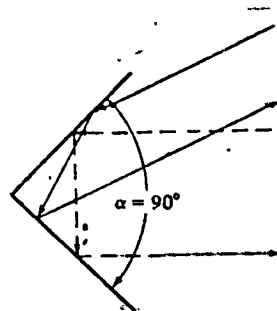
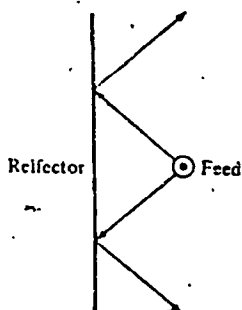
บทที่ 1	บทนำ	1
บทที่ 2	ทฤษฎี	3
	ผลของระยะห่างระหว่างเสาอากาศกับมุม (S)	
	สำหรับมุมต่างๆ	4
	การเลือกขนาดของแผ่นสะท้อน	7
	การวิเคราะห์แบบ Krauss	11
	การวิเคราะห์แบบ Balanis	15
บทที่ 3	การคำนวณและการสร้าง	19
บทที่ 4	ผลการทดลอง	20
	ผลการวัดค่า Return Loss	20
	ผลการวัดความแรงของสัญญาณ	21
บทที่ 5	สรุปและวิจารณ์	
	หนังสืออ้างอิง	25
	กิตติกรรมประกาศ	26

## บทที่ 1

## บทนำ

สายอากาศแบบรีเฟล็กเตอร์เป็นสายอากาศแบบหนึ่งที่ยอมรับใช้กันมากในงานด้านเรดาร์, โครงข่ายสื่อสารไมโครเวฟ, การสื่อสารผ่านดาวเทียม และด้านอื่นๆ สายอากาศแบบนี้มีโครงสร้างต่างกันหลายแบบ ที่นิยมใช้มี เพลนรีเฟล็กเตอร์ (Plane Reflector); คอเนอร์รีเฟล็กเตอร์ (Corner Reflector) และ เคิร์ฟรีเฟล็กเตอร์ (Curve Reflector); โดยเฉพาะที่เป็นโด่งพาราโบลอยด์ (Paraboloid)

เพลนรีเฟล็กเตอร์เป็นแบบแรกที่นำมาใช้เพื่อให้พลังงานไปในทิศทางที่ต้องการ โพลาริเซชัน (Polarization) ของแหล่งแพร่กระจายคลื่น (Radiating Source) และตำแหน่งที่วางห่างจากผิวสะท้อนจะเป็นตัวแปรที่ใช้ควบคุม คุณสมบัติการแพร่กระจาย (Pattern), อิมพีแดนซ์ (Impedance), ไดเรกทิวิตี (Directivity) ของระบบทั้งหมด ทฤษฎีอิมเมจถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะการแพร่กระจายคลื่น ขนาดของรีเฟล็กเตอร์ในอุดมคติต้องมีขนาดใหญ่มากๆ (ขนาดอนันต์) ในทางปฏิบัติจะใช้วัสดุนำไฟฟ้าที่มีเนื้อผิวขนาดใหญ่แทน และเพื่อทำให้พลังงานที่ส่งออกไปทางด้านหน้าเพิ่มขึ้นจากเพลนรีเฟล็กเตอร์ จึงเปลี่ยนแปลงรูปร่างเพื่อลดการกระจายคลื่นที่ไปด้านหลัง และด้านหลังโดยการใส่เพลนรีเฟล็กเตอร์ 2 อันมาติดกันทำเป็นมุม เรียกว่าคอเนอร์รีเฟล็กเตอร์ เนื่องจากการสร้างทำได้ง่ายจึงมีการนำมาประยุกต์ใช้กับงานต่างๆ มาก ถ้าเพลนรีเฟล็กเตอร์วางทำมุมกัน  $90^\circ$  องศา มันจะสะท้อนสัญญาณกลับออกไปตามทิศทางเดียวกับที่มันรับมา ตัวแปรที่ใช้ควบคุมคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นยังคงเดิมเหมือนเพลนรีเฟล็กเตอร์ ทฤษฎีอิมเมจยังคงถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศชนิดนี้จึงขอกล่าวถึงทฤษฎีอิมเมจ ตามลักษณะที่มีจุดประจุดวางหน้าแผ่นตัวนำขนาดอนันต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

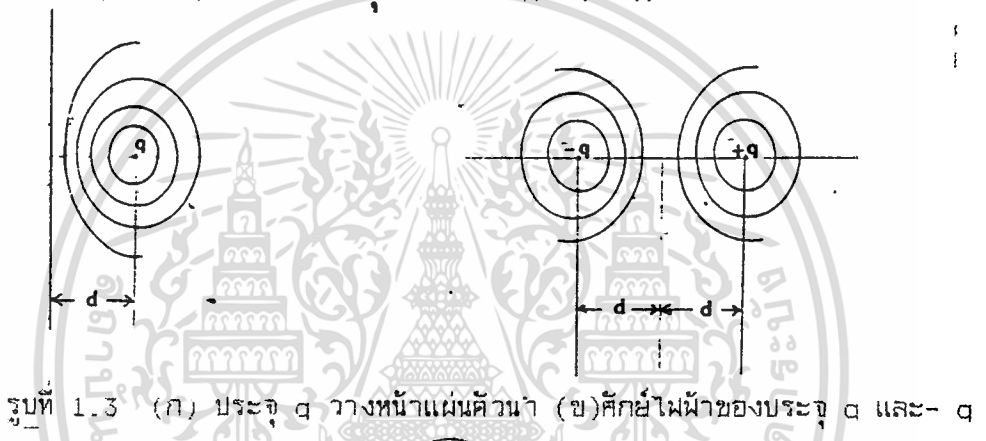
รูปที่ 1.1 ลักษณะการสะท้อนสัญญาณของเพลนรีเฟล็กเตอร์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และตัวอย่างองค์ประกอบของเอกสารทุกครั้งหากกรณาไปใช้

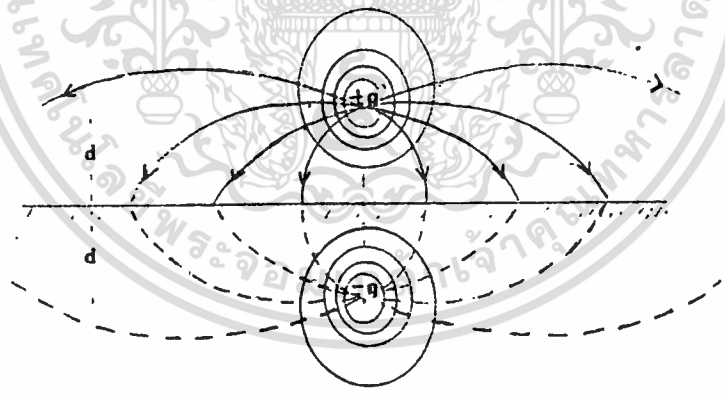
รูปที่ 1.2 ลักษณะการสะท้อนสัญญาณของรีเฟล็กเตอร์มุม  $90^\circ$  องศา

ตามรูป 3.๖ แผ่นตัวนำขนาดอนันต์วางตั้งฉากกับแกน X ผิวด้านหนึ่งขนานกับระนาบ  $X = 0$  ศักย์ไฟฟ้าที่ผิวตัวนำนี้เท่ากับศูนย์ (เงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดให้) และกำหนดให้จุดประจุ  $q$  วางอยู่บนแกน X ที่  $X = d$  จุดประจุ  $q$  จะเหนี่ยวนำให้เกิดประจุชนิดตรงกันข้ามกระจายบนผิวของตัวนำ ในรูป 3.๗ ถ้าที่จุด  $q'$  มีค่าประจุ  $-q$  วางอยู่บนแกน X ที่  $X = -d$  จะได้ผิวศักย์ไฟฟ้าเท่า (Equipotential Surface) หนึ่งระนาบ YZ ซึ่งเท่ากับศูนย์เหมือนตอนต้น จึงดูเหมือนว่าแผ่นตัวนำทำหน้าที่เป็นกระจกเงา และจุดประจุ  $-q$  เหมือนเป็นเงาของประจุ  $+q$  วางอยู่ที่ระยะห่างจากระนาบของกระจกเท่ากัน

$q' = -q$  เรียกว่าประจุเงา (Image Charge)



รูปที่ 1.3 (ก) ประจุ  $q$  วางหน้าแผ่นตัวนำ (ข) ศักย์ไฟฟ้าของประจุ  $q$  และ  $-q$



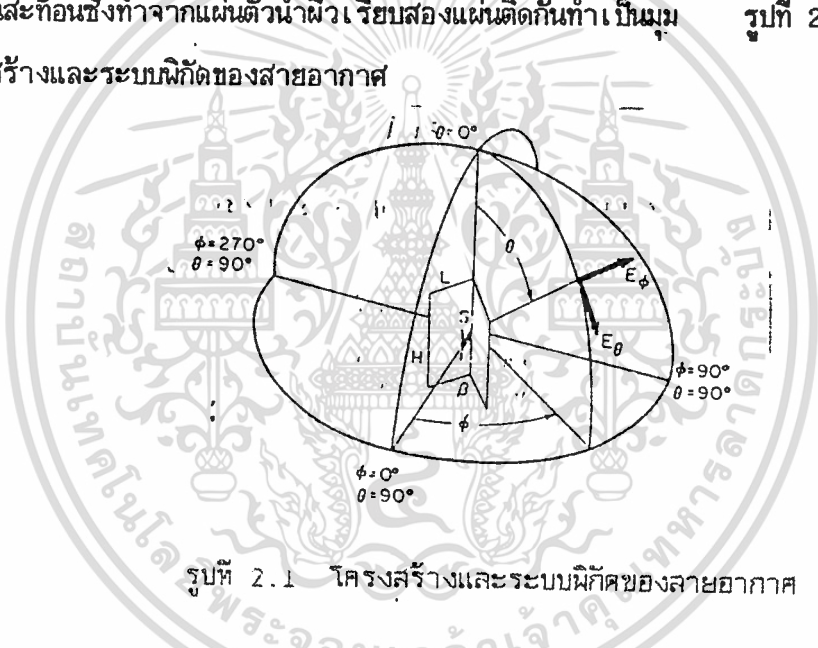
รูปที่ 1.4 สนามและผิวศักย์ไฟฟ้าเท่า

ในการคำนวณหาศักย์ไฟฟ้าหรือสนามไฟฟ้าทางด้านที่วางประจุเมื่อมีจุดประจุวางอยู่หน้าแผ่นตัวนำที่เป็นแผ่นเรียบหรือวางระหว่างแผ่นตัวนำที่ทึบมกันจะคำนวณหาศักย์ไฟฟ้าหรือสนามไฟฟ้าจากประจุเดิมและประจุเงาแทนการใช้สมการที่ยุ่งยาก

บทที่ 2

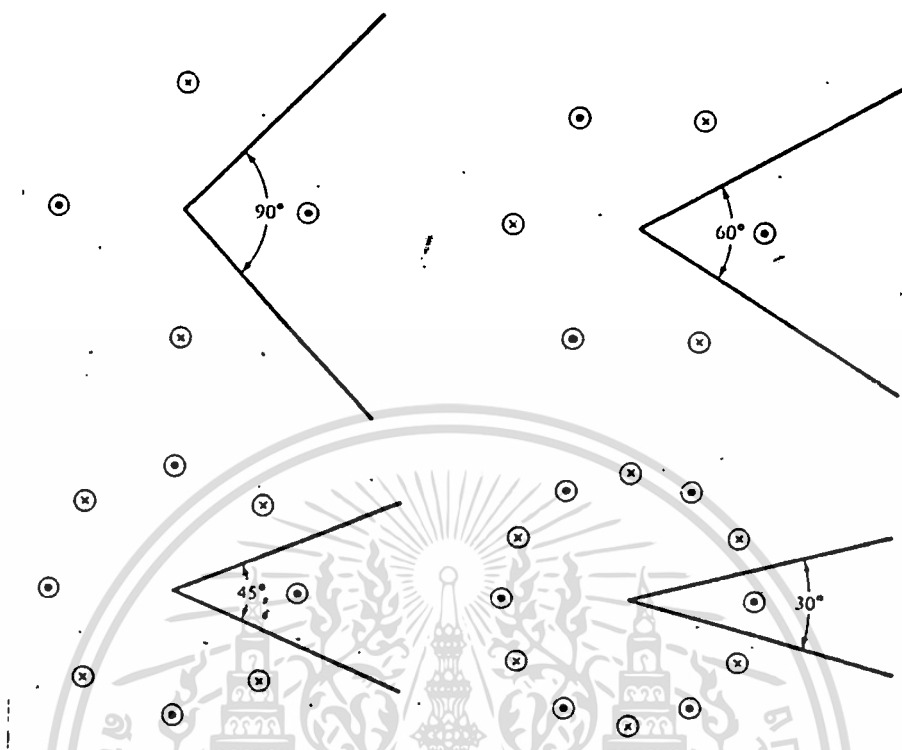
ทฤษฎีและหลักการ

สายอากาศแบบนี้ประกอบไปด้วยส่วนแพร่กระจายคลื่น ( driven radiator ) ซึ่งมักจะเป็นสายอากาศไดโพลที่มีความยาวครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น ( $\lambda / 2$ .) ติดอยู่กับแผ่นสะท้อนซึ่งทำจากแผ่นตัวนำผิวเรียบสองแผ่นติดกันทำเป็นมุม รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างและระบบนิกิตของสายอากาศ



รูปที่ 2.1 โครงสร้างและระบบนิกิตของสายอากาศ

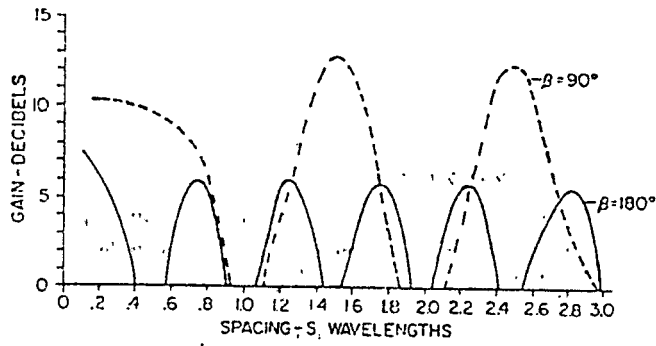
เมื่อมุมคือ  $180^\circ/n$  โดยที่  $n$  เป็นจำนวนจริงใดๆ ผลของแผ่นสะท้อนที่กระทำเป็นมุมสามารถอธิบายได้ตามทฤษฎีอิมเมจ (IMAGE) ตามทฤษฎีอิมเมจลักษณะที่จะให้ผลเช่นเดียวกับระบบที่มีสายอากาศรวมกับคอร์เนอร์รีเฟลกเตอร์ก็คือการเกิดสายอากาศเงาขึ้นจำนวนต่างๆกันแล้วแต่ค่าของมุมที่ใช้ สำหรับมุม 90 องศา จะเกิดสายอากาศเงา 3 ตำแหน่ง มุม 60 องศา มี 5 ตำแหน่ง มุม 45 องศา มี 7 ตำแหน่ง และมุม 30 องศา มี 11 ตำแหน่ง ตามรูป 2.2 สายอากาศรวมกับสายอากาศเงา จะสร้างสนามออกในทิศทางของปากตัวสะท้อน (reflector mouth) สนามที่สร้างขึ้นนี้จะเหมือนกับสนามที่สร้างขึ้นโดยระบบที่ประกอบไปด้วยสายอากาศและคอร์เนอร์รีเฟลกเตอร์



รูปที่ 2.2 คอร์เนอร์เฟล็กเตอร์และอิมเมจ สำหรับมุม 90, 60, 45, 30 องศา

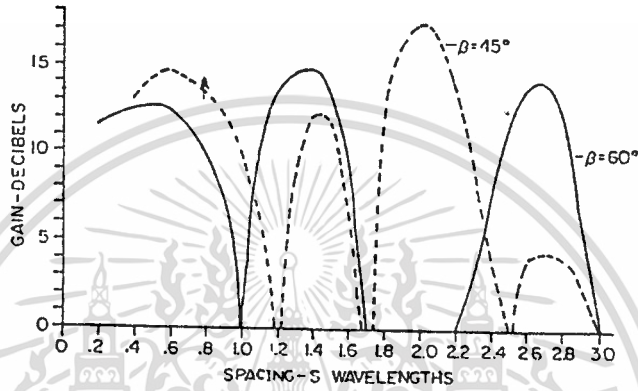
### ผลของระยะระหว่างสายอากาศกับมุม ( $\theta$ ) สำหรับค่ามุมต่างๆ

ผลของสายอากาศที่ทำให้เป็นมุมที่สำคัญข้อหนึ่งก็คือ มันจะเพิ่มความเข้มของคลื่นที่แผ่ออกในทิศทางกึ่งกลางของมุม การเพิ่มความเข้มมากที่สุดอยู่ในแนวระนาบ H บริเวณที่สามารถวางไดโพลได้มีระยะกว้าง และเมื่อวางไดโพลห่างจากมุมเป็นระยะต่างๆ ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังขยาย (gain) กับระยะห่าง เป็นดังในรูปที่ 2.3 และ 2.4 ค่ากำลังขยายจะเพิ่มขึ้นจนสูงสุดและลดลงต่ำสุดสลับกันไปเรื่อยๆ ขอบเขตสำคัญที่มีกำหนดให้ใช้งานคือระยะที่เกิดกำลังขยายสูงสุดเป็นครั้งแรกและจะเรียกว่าเป็นการดำเนินในโหมดแรก (FIRST ORDER MODE) ถ้าทำให้แผ่นสะท้อนที่ทำเป็นมุมมีขนาดใหญ่พอที่จะใช้งานในช่วงที่เกิดกำลังขยายสูงสุดครั้งที่ 2 ได้ก็จะเกิดผลดียิ่งขึ้น โดยทั่วไปการดำเนินการที่โหมดสูงขึ้น รูปแบบการกระจายคลื่นทั้งในระนาบ H และระนาบ E จะมีความเข้มเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก



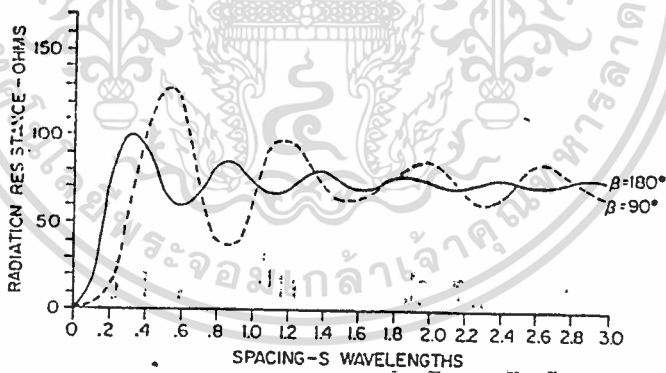
รูปที่ 2.3 ค่ากำลังขยายที่ระยะ S ต่างๆ ของมุม 180 และ 90 องศา

ในทิศทาง  $\theta = 0$  องศา,  $\theta = 90$  องศา



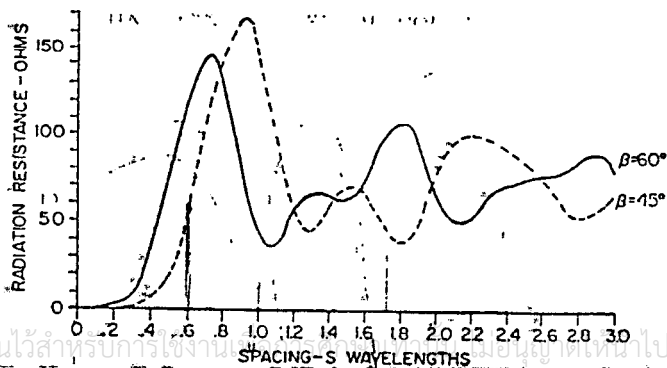
รูปที่ 2.4 ค่ากำลังขยายที่ระยะ S ต่างๆ ของมุม 60 และ 45 องศา

ในทิศทาง  $\theta = 0$  องศา,  $\theta = 90$  องศา



รูปที่ 2.5 ความต้านทานของการแผ่รังสีของ  $\lambda/2$  โดโพลที่ระยะ S ต่างๆ

สำหรับมุม 90 และ 180 องศา



รูปที่ 2.6 ความต้านทานของการแผ่รังสีของ  $\lambda/2$  โดโพลที่ระยะ S ต่างๆ

สำหรับมุม 45 และ 60 องศา

สำหรับระยะระหว่างสายอากาศกับมุมของแผ่นสะท้อน (S) แต่ละมุมจะมีอยู่ระยะหนึ่ง ที่ให้ผลดีที่สุด ถ้ากว้างเกินกว่าจะดำเนินการในโหมดแรก รูปแบบการกระจายคลื่นเดิมที่เป็นแบบมีทิศทางและมีโหนด(lobe)เดียว ก็จะกลายเป็นมีหลายโหนด(multi lobe) , กำลังขยายตกลงและขนาดที่ทำก็จะมีใหญ่ ในทางตรงกันข้ามถ้าระยะสั้น ความต้านทานของการแผ่รังสี (RADIATION RESISTANCE) ก็จะลดลงและก่อให้เกิดความต้านทานของการสูญเสีย (LOSS RESISTANCE) ซึ่งทำให้สูญเสียพลังงานจำนวนมาก และมีช่วงความถี่(BANDWIDTH)แคบ รูปที่ 2.5 และ 2.6 แสดงค่าความต้านทานของการแผ่รังสีที่ระยะห่าง S ต่างๆ

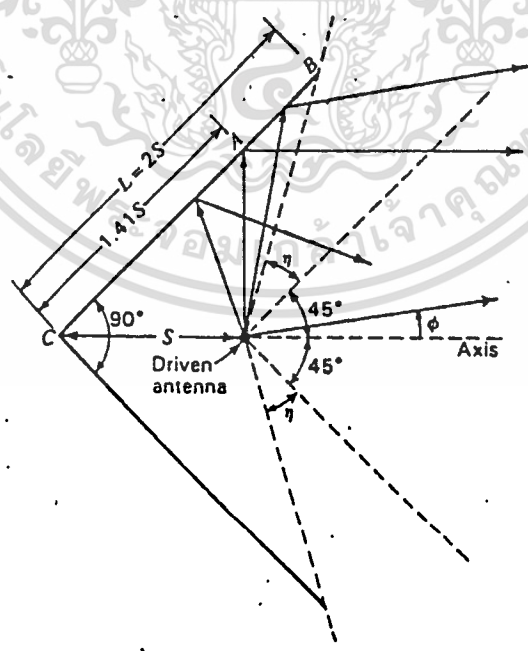
ถ้าระยะห่าง S มีค่าน้อยรูปแบบของการกระจายคลื่นจะประกอบด้วยโหนดหลัก (MAJOR LOBE) เพียงโหนดเดียว ถ้าจำกัดสายอากาศให้มีเฉพาะโหนดหลัก และไม่มีโหนดย่อย(MINOR LOBE) โดยทั่วไปจะให้ระยะ S ของแผ่นสะท้อนที่เป็นแผ่นเรียบ (180 องศา) กับที่ทำมุม 90 องศาอยู่ในช่วงดังนี้

S อยู่ในช่วง	0.1 - 0.3	สำหรับมุม	180 องศา
" "	0.25 - 0.7	" "	90 องศา

สำหรับมุม 60, 45, 30 องศา การมีหลายโหนด (multi lobe) จะเริ่มปรากฏเมื่อ S ประมาณ 0.95 , 2.0 , 2.5 ตามลำดับ

การเลือกขนาดของแผ่นสะท้อนที่ทำเป็นมุม (CORNER REFLECTOR)

โดยไม่ว่าคำนึงถึงผลของขอบ (EDGE EFFECT) ค่าที่เหมาะสมสำหรับความยาวแต่ละด้านสามารถพิจารณาได้ตามเหตุผลดังนี้ บริเวณที่สำคัญของแผ่นสะท้อน คือบริเวณที่ใกล้กับจุดที่คลื่นที่มาจากสายอากาศจะสะท้อนออกไปขนานกับแนวแกนตั้งในรูปที่ 2.7 ซึ่งเป็นแบบที่แผ่นสะท้อนทำมุม 90 องศา ที่จุด A ซึ่งอยู่ห่างจากมุม 1.41 S เมื่อ S คือระยะระหว่างสายอากาศและมุม ถ้าขนาดของแผ่นสะท้อนสุดที่จุด B ซึ่งมีความยาว 2S จากมุม (ให้ปลายของแผ่นสะท้อนต่างจากจุด A ประมาณ 0.6S) คลื่นที่สะท้อนจากแผ่นสะท้อนบริเวณที่เลขจุด B ออกไป จะเป็นคลื่นที่แพร่กระจายอยู่ในบริเวณเซคเตอร์ทุก และคลื่นที่สะท้อนจะออกไปในแนวที่ทำมุม  $\phi$  กับแกน (ดังรูป ; จะเห็นว่าคลื่นจะกระจายออกไปทางด้านนอก) ดังนั้นการที่แผ่นสะท้อนจะขาดส่วนที่เลขจาก B ไป จึงไม่ก่อให้เกิดผลมากมายเท่าไร จะมีผลเพียงเล็กน้อยกับอิมพีแดนซ์ (IMPEDANCE) ที่จุดป้อนสัญญาณเท่านั้น ผลอันเกิดจากการใช้ขนาดจำกัด (Finite Side) ที่น่าสังเกตคือรูปแบบการกระจายคลื่นที่วัดได้จะกว้างกว่าที่คำนวณสำหรับขนาดอนันต์ (Infinite Side) และ "รอยหยัก" (Null) จะไม่เกิดที่มุมเท่ากับ 45 องศา แต่จะเกิดในมุมที่กว้างกว่า ความยาวของแผ่นสะท้อนที่เท่ากับ 2 เท่าของระยะระหว่างสายอากาศกับมุม ( $L = 2S$ ) ถือเป็นค่าที่น้อยที่สุดในการใช้งานสำหรับแผ่นสะท้อนที่ทำมุมกัน 90 องศา

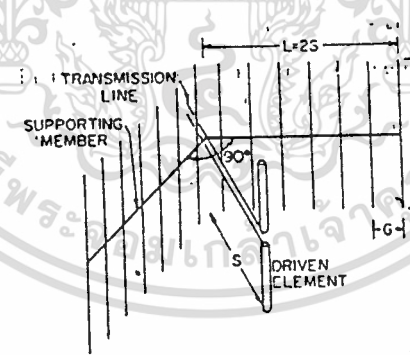


รูปที่ 2 - รูปแสดงขนาดของแผ่นสะท้อนและลักษณะการสะท้อนของสัญญาณของคอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์มุม 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับแผ่นสะท้อนที่ทำเป็นมุมที่แต่ละด้านมีขนาดอนันต์ กำลังขยายของสายอากาศจะเพิ่มขึ้น เมื่อมุมระหว่างแผ่นสะท้อน 2 แผ่นเล็กลง แต่สำหรับแผ่นสะท้อนที่ทำเป็นมุมที่มีขนาดจำกัด จะไม่เป็นตามนี้โดยตรง ถ้าต้องการให้ประสิทธิภาพคงเดิมมุมที่เล็กกว่าจะต้องเพิ่มระยะ S ขึ้น บริเวณที่สัญญาณจะสะท้อนออกไปในแนวขนานกับแกนของมุมที่เล็กกว่าจะเป็นระยะที่ไกลกว่า เช่นแผ่นสะท้อนที่ทำมุม 60 องศาบริเวณที่สัญญาณจะสะท้อนออกไปขนานกับแกน คือที่  $1.73S$  แต่แผ่นสะท้อนที่ทำมุม 90 องศาจะเป็นบริเวณ  $1.41S$  ดังนั้นถ้าจะเพิ่มกำลังขยายโดยใช้แผ่นสะท้อนที่ทำเป็นมุม 60 องศา ก็ต้องเพิ่มขนาดของแผ่นสะท้อนขึ้นให้ใหญ่กว่าเมื่อใช้แผ่นสะท้อนที่ทำเป็นมุม 90 องศาเมื่อออกแบบให้ใช้ที่ความถี่เดียวกัน

เพื่อลดการต้านลม (WIND RESISTANCE) ซึ่งเกิดกับแผ่นสะท้อนที่เป็นโลหะ จึงทำแผ่นสะท้อนให้มีลักษณะเป็นตะแกรงทำจากลวดหรือตัวนำวางขนานกันดังในรูปที่ 2.8 ตัวเชื่อมตัวนำแต่ละตัวเพื่อทำเป็นแผ่นสะท้อนจะเป็นตัวนำหรือฉนวนก็ได้ ติดตรงกึ่งกลางของตัวนำแต่ละตัว

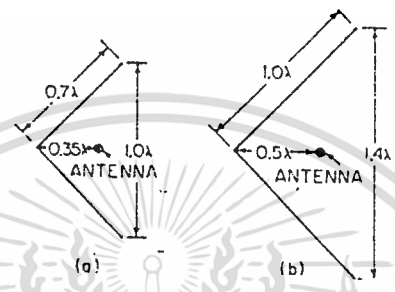


รูปที่ 2.8 แผ่นสะท้อนทำจากแท่งโลหะ

โดยทั่วไปนิยมให้ระยะห่างระหว่างตัวนำ (G) แต่ละตัวมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ  $0.1\lambda(\sqrt{8})$  ; KRAUS ) และถ้าป้อนสัญญาณให้แก่สายอากาศไดโพลที่มีความยาวครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น ( $\lambda/2$ ) ความยาวของตัวนำ ( H ) แต่ละตัวที่นำมาทำแผ่นสะท้อนจะมีค่าเท่ากับหรือมากกว่า  $0.6\lambda (\geq 0.7\lambda ; KRAUS)$  ถ้าความยาว H น้อยกว่า  $0.6\lambda$  คลื่นที่กระจายออกด้านข้างและด้านหลังจะเพิ่มขึ้นและกำลังขยายจะลดลง



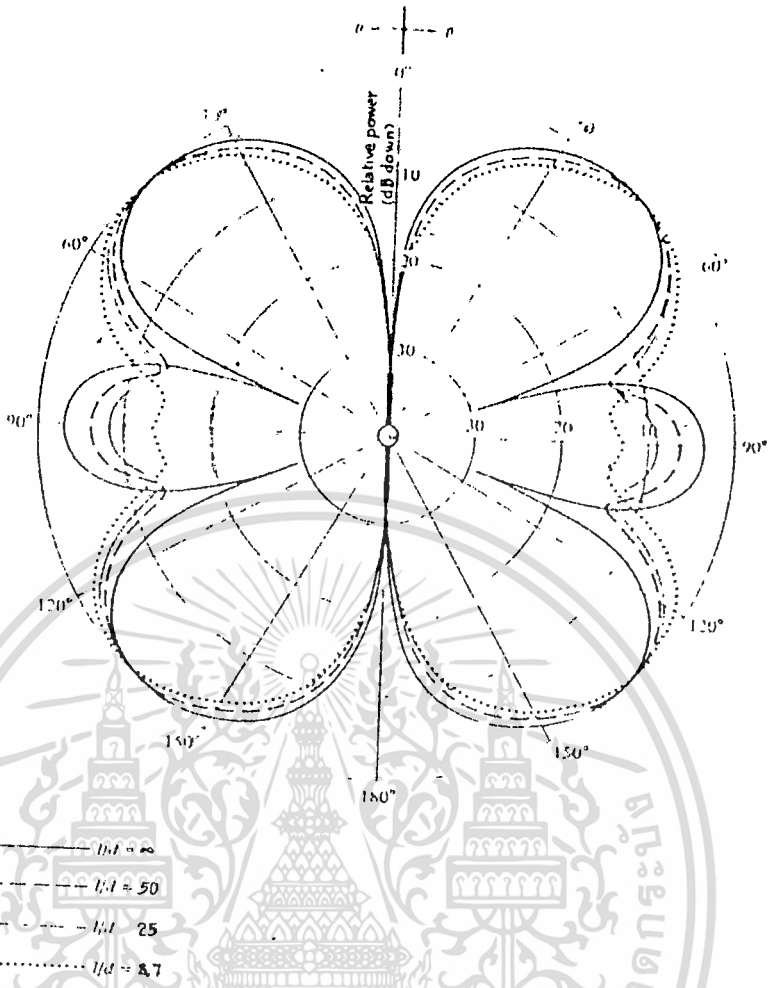
รูปที่ 2.9 เป็นรูปเปรียบเทียบของสายอากาศที่แผ่นสะท้อนทำเป็นมุมจาก 2 ตัว ทั้ง 2 ตัวเป็นการดำเนินการในโหมดแรก ถ้าขนาดของสายอากาศเมื่อทำตาม (b) ไม่ใหญ่เกินไป การทำตามขนาดใน (b) จะมีผลดีกว่าเพราะช่วงความถี่ จะกว้างกว่า แบบของสายอากาศที่มีผลต่อช่วงความถี่ ถ้าเป็นแบบทรงกระบอกอ้วนหรือแบบ ไบโคนิคอลลก็จะให้ช่วงความถี่ กว้างกว่าสายอากาศผอม



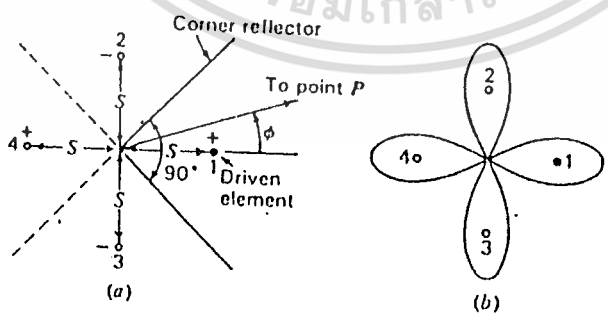
รูปที่ 2.9 รูปเปรียบเทียบของคอร์เนอร์เฟลคเคอร์ 2 ตัวที่ใช้ระยะ ๑ ต่างกัน

ถ้าเป็นไดโพลผอมคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นจะมีลักษณะแบนด์แคบ ( Narrow Band) วิธีที่ดีและยอมรับกันว่าสามารถขยายช่วงความถี่ใช้งาน ได้คือการลดอัตราส่วนของความยาวสายอากาศไดโพลต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ( $l/d$ ) เมื่อลดอัตราส่วน  $l/d$  โดยคงความยาวไว้ตามเดิมแล้วเพิ่มขนาดของ ไดโพล การเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไดโพลตามความถี่จะน้อยลง ดังนั้นจึงใช้ได้กับช่วงความถี่ที่กว้างขึ้น การเพิ่มความหนาของ ไดโพลขึ้น ไม่มีผลสำคัญต่อรูปแบบการรับส่งสัญญาณ รูปแบบยังคงใกล้เคียงกับไดโพลผอมแต่ความแรงของ โพลบย้อยจะลดลง และบริเวณที่รับส่งสัญญาณ ไม่ได้ก็จะ เปลี่ยน เป็นรับส่ง ได้ในระดับต่างๆแทน (รูป 2.10)

ในการวิเคราะห์แผ่นสะท้อนที่ทำเป็นมุม 90 องศาจะมี อิมเมจ 2,3,4 อยู่ตามตำแหน่งดังแสดงในรูป 1.1 สายอากาศ 1 ที่ถูกป้อนสัญญาณและอิมเมจทั้ง 3 จะมีความแรงของกระแส(magnitude)เท่ากัน เฟสของกระแสที่ 1 และ 4 ตรงกัน เฟสของกระแสที่ 2 และ 3 ตรงกันแต่ต่างจากที่ 1 180องศา แต่ละอีลีเมนต์ (element) ยาว  $\lambda/2$



รูปที่ 2.10 แพทเทิร์นการรับส่งสัญญาณของโคโพลาร์ฮอร์นระยะบอก  $3\lambda/2$



รูปที่ 2.11 คิมเมจและแพทเทิร์นของสายอากาศคอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์มุม 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่จุด P ซึ่งมีระยะห่างจากสายอากาศจำนวนมาก ความเข้มสนามจะเป็น

$$E(\theta) = 2KI_1 [\cos(S_r \cos \theta) - \cos(S_r \sin \theta)] \quad \text{----- (1)}$$

$I_1$  = กระแสในแต่ละอิลีเมนต์

$S_r$  = ระยะห่างของแต่ละอิลีเมนต์กับมุมมีหน่วยเป็น เรเดียน

$$= 2\pi(S/\lambda)$$

K = ค่าคงที่เกี่ยวกับระยะทาง D

emf  $V_1$  ที่ขั้วตรงกึ่งกลางของสายอากาศที่ถูกป้อนสัญญาณ

$$V_1 = I_1 Z_{11} + I_1 R_{1L} + I_1 Z_{14} + 2I_1 Z_{12} \quad \text{----- (2)}$$

$Z_{11}$  = อิมพีแดนซ์ในตัวเอง (self-impedance) ของส่วนแพร่กระจายคลื่น (driven element)

$Z_{12}$  = มีชวลอิมพีแดนซ์ (mutual impedance) ของอิลีเมนต์ 1 และ 2

$Z_{14}$  = มีชวลอิมพีแดนซ์ของอิลีเมนต์ 1 และ 4

$R_{1L}$  = ค่าเทียบเท่าความต้านทานของการสูญเสีย (loss resistance) ของส่วนแพร่กระจายคลื่น

ถ้า P คือกำลังส่งของสัญญาณที่ป้อนให้แก่ส่วนแพร่กระจายคลื่น ( กำลังของ อิมเมจ เท่ากับ P เหมือนกัน ) เราจะได้ว่า

$$I_1 = \sqrt{\frac{P}{R_{11} + R_{1L} + R_{14} - 2R_{12}}} \quad \text{----- (3)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า (3) --> (1)

$$E(\phi) = 2K \sqrt{\frac{P}{R_{11} + R_{1L} + R_{14} - 2R_{12}}} [\cos(S_r \cos\phi) - \cos(S_r \sin\phi)] \quad (4)$$

ค่าความเข้มสนามที่จุด P ที่ระยะ D จากส่วนแผ่กระจายคลื่น  $\lambda/2$  เมื่อ นำแผ่นสะท้อนออกจะเท่ากับ

$$E_{Hw}(\phi) = K \sqrt{\frac{P}{R_{11} + R_{1L}}} \quad (5)$$

นี่คือความสัมพันธ์ สำหรับความเข้มสนามสายอากาศไดโพลยาว  $\lambda/2$  ใน free space ซึ่งถูกป้อนด้วยสัญญาณกำลัง P และใช้เป็นตัวอ้างอิงที่เหมาะสมสำหรับเสาอากาศแผ่นสะท้อนที่ทำเป็นมุม โดยนำ (3) ไปหาร (4) จึงได้กำลังในความเข้มสนามของสายอากาศที่แผ่นสะท้อนเป็นมุมจากต่อสายอากาศ  $\lambda/2$  ใน free space ซึ่งมีกำลังสัญญาณเข้าเท่ากัน

$$(4)/(5) \quad G_f(\phi) = \frac{E(\phi)}{E_{Hw}(\phi)} = 2 \sqrt{\frac{R_{11} + R_{1L}}{R_{11} + R_{1L} + R_{14} - 2R_{12}}} [\cos(S_r \cos\phi) - \cos(S_r \sin\phi)] \quad (6)$$

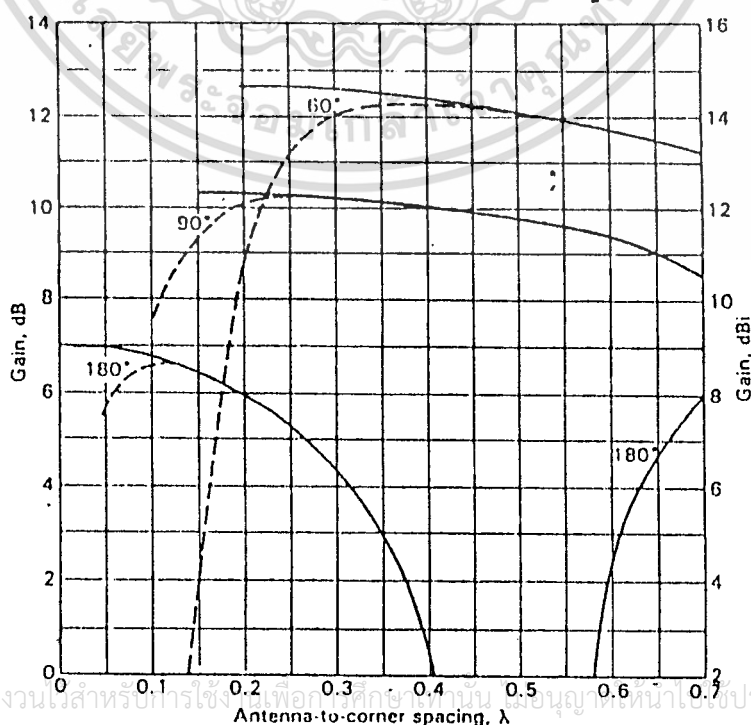
ส่วนที่อยู่ในวงเล็บเป็นแฟกเตอร์แพตเทิร์น (pattern factor) ส่วนที่อยู่ในเครื่องหมายรากที่สองเป็นคัปปลิงแฟกเตอร์ (coupling factor) รูปร่างของแฟกเตอร์เป็นฟังก์ชันของมุม และระยะระหว่างสายอากาศกับมุม S รูปแบบการกระจายคลื่นที่คำนวณจาก (6) จะมี 4 โทลบ ดังแสดงในรูป 2.11 อย่างไรก็ตามมีเพียงโทลบเดียวเท่านั้นที่เป็นจริง

กำลังขยายในความถี่สามของแผ่นสะท้อนที่ทำเป็นมุมที่มุมอื่นๆก็ทำได้โดยใช้วิธีเดียวกันโดยส่วนแพร่กระจายคลื่น คือ ไดโพลที่มีความยาว  $\lambda/2$  การวิเคราะห์แผ่นสะท้อนที่มุม 60 องศา ต้องการ 6 อีลีเมนต์ ประกอบด้วยส่วนที่เห็นเสาอากาศกับอีก 5 อิมเมจ สมการกำลังขยายของแพทเทิร์น ณ มุม 90, 60 องศา ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 รวมไปถึง "มุม" 180 องศา (แผ่นตรง) ด้วย

Gain-pattern formulas for corner reflector antennas		
Corner angle, deg	Number of elements in analysis	Gain in field intensity over $\lambda/2$ antenna in free space with same power input
180	2	$2 \sqrt{\frac{R_{11} + R_{1L}}{R_{11} + R_{1L} - R_{12}}} \sin(S, \cos \phi)$
90	4	$2 \sqrt{\frac{R_{11} + R_{1L}}{R_{11} + R_{1L} + R_{14} - 2R_{12}}}  [\cos(S, \cos \phi) - \cos(S, \sin \phi)] $
60	6	$2 \sqrt{\frac{R_{11} + R_{1L}}{R_{11} + R_{1L} + 2R_{14} - 2R_{12} - R_{16}}} \times  [\sin(S, \cos \phi) - \sin[S, \cos(60^\circ - \phi)] - \sin[S, \cos(60^\circ + \phi)]] $

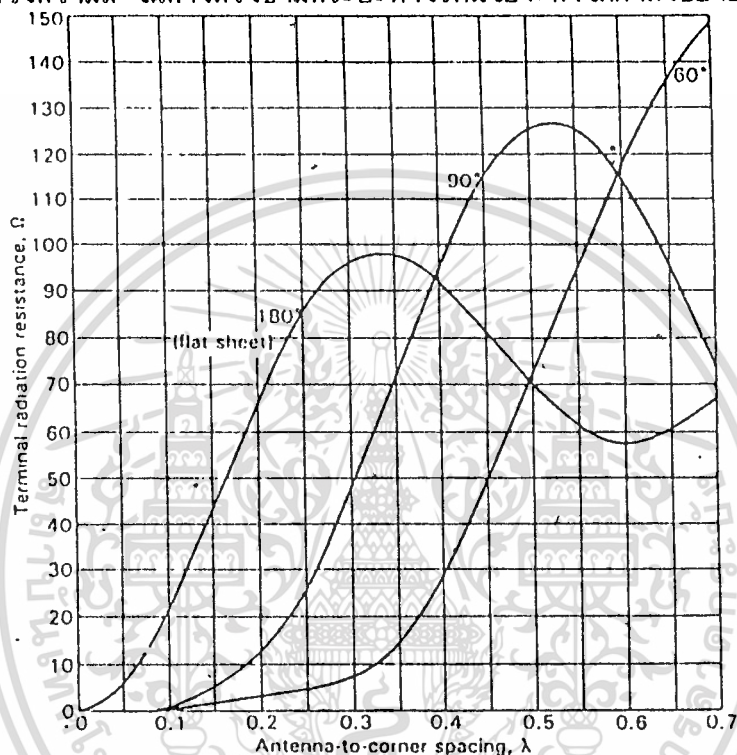
ตาราง 2.1 สมการกำลังขยายสำหรับเสาอากาศแบบมุม 180, 90 และ 60 องศา

ในตารางที่ได้สูตรในตาราง 2.1 นั้น เราถือว่าแผ่นสะท้อนเป็นตัวเก็บที่สมบูรณ์และมีขนาดใหญ่มาก โค้งความสัมพันธ์ของกำลังขยายกับระยะห่างแสดงด้วยรูป 2.12



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ขอสงวนสิทธิ์ในนโยบายที่หน้าเว็บไซต์ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 รูปที่ 2.12 โค้งกำลังขยายตามระยะ S ในทิศทาง  $\phi = 0$  องศา เห็นเห็นแสดงเมื่อก

กำลังขยายที่ให้อยู่ในทิศ  $\phi = 0$  เส้นโค้ง 2 เส้นแสดงถึงแต่ละมุม เส้นทับแสดงถึงการไม่มี ความสูญเสียในท่อนที่เส้นประแสดงถึงกรณีที่ว่าค่าความสูญเสียมีค่าเท่ากับ 1 Ohm จะเห็นได้ชัดว่า การใช้งานที่ระยะสั้นเกินไปเป็นสิ่งที่ไม่ควรหลีกเลี่ยง (ในงานที่ต้องการประสิทธิภาพ) การใช้งานระยะสั้นยังเป็นสิ่งที่ควรพิจารณาเนื่องจากความแคบของช่วงความถี่ ในทางตรงข้ามที่ระยะห่างเกินไปจะทำให้กำลังขยายลดลง



รูปที่ 2.13 ความต้านทานของการแผ่รังสีที่ขั้วโคโพล

ค่าความต้านทานที่ขั้วของโคโพลหาได้โดยการเอา  $I_1$  ไปหารสมการ(2) คิดเฉพาะส่วนที่เป็นจำนวนจริง

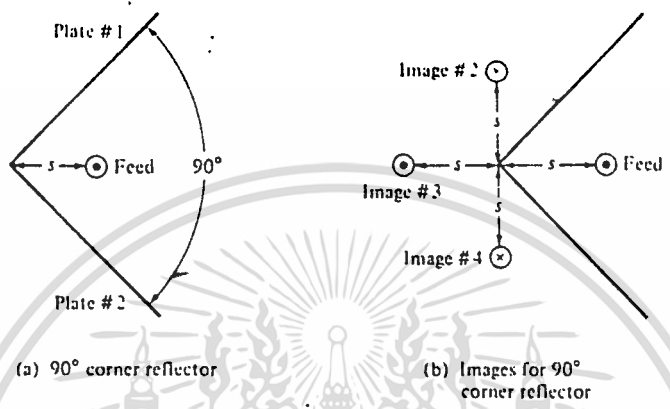
$$R_T = R_{11} + R_{1L} + R_{14} + 2R_{12}$$

ถ้า  $R_{1L} = 0$  ค่า  $R_T$  จะเป็น  $R$  ทั้งหมด ความเปลี่ยนแปลงของค่า  $R_T$  ขึ้นอยู่กับระยะ  $S$  ดังใน รูป 2.13 ที่มุมเท่ากับ 90 องศา และระยะ  $S$  เท่ากับ  $0.35\lambda$  ค่าความต้านทานที่ขั้วของโคโพลมีค่าเท่ากับความต้านทานโคโพลที่ยาวครึ่งของความยาวคลื่นเมื่ออยู่ในอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์สายอากาศคอร์เนอร์รีเฟลกเตอร์ตามแบบของ Balanis

สายอากาศที่มีแผ่นสะท้อนทำมุม 90 องศา จะมี image ดังแสดงในรูป 14



รูปที่ 2.14 สายอากาศคอร์เนอร์รีเฟลกเตอร์มุม 90 องศาและอิมเมจ

สนามรวมของระบบสามารถหาได้โดยการรวมส่วนของ feed กับของ image จะ

ได้

$$E(r, \theta, \phi) = E_1(r_1, \theta_1, \phi) + E_2(r_2, \theta, \phi) + E_3(r_3, \theta, \phi) + E_4(r_4, \theta, \phi) \text{ ---- (1)}$$

ใน far-zone

$$E(r, \theta, \phi) = f(\theta, \phi) e^{-jk r_1} / r_1 - f(\theta, \phi) e^{-jk r_2} / r_2 + f(\theta, \phi) e^{-jk r_3} / r_3 - f(\theta, \phi) e^{-jk r_4} / r_4$$

$$E(r, \theta, \phi) = [ e^{-jk a \cos \psi_1} - e^{-jk a \cos \psi_2} + e^{-jk a \cos \psi_3} - e^{-jk a \cos \psi_4} ] f(\theta, \phi) e^{-jk r} / r \text{ ---- (2)}$$

โดยที่

$$\cos \psi_1 = a_x a_r = \sin \theta \cos \phi \text{ ---- (2a)}$$

$$\cos \psi_2 = a_y a_r = \sin \theta \sin \phi \text{ ---- (2b)}$$

$$\cos \psi_3 = -a_x a_r = -\sin \theta \cos \phi \text{ ---- (2c)}$$

$$\cos \psi_4 = -a_y a_r = -\sin \theta \sin \phi \text{ ---- (2d)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า 2a และ 2b ลงในสมการ (2) จะได้

$$E(r, \theta, \phi) = 2[\cos(kr \sin \theta \cos \phi) - \cos(kr \sin \theta \sin \phi)] f(\theta, \phi) e^{-jkz} / r \quad \text{--- (3)}$$

โดยที่

$$0 \leq \phi \leq \alpha/2, \quad 0 \leq \theta \leq \pi, \quad 2\pi - \alpha/2 \leq \phi \leq 2\pi \quad \text{----- (3a)}$$

สนามที่แพร่กระจายโดยอิลิเมนต์เดี่ยวในอากาศ

$$E_o = f(\theta, \phi) e^{-jkz} / r \quad \text{----- (4)}$$

$$E/E_o = AF(\theta, \phi) = 2[\cos(kr \sin \theta \cos \phi) - \cos(kr \sin \theta \sin \phi)] \quad \text{----- (5)}$$

สมการที่ 5 นอกจากจะบอกอัตราส่วนของสนามรวมต่อสนามของอิลิเมนต์เดี่ยวแล้วยังเป็นค่าอาร์เรย์แฟคเตอร์ (array factor) ของระบบแผ่นสะท้อนทั้งหมดในระนาบอะซิมุท ( $\theta = \pi/2$ ) สมการ 5 ลดรูปเป็น

$$E/E_o = AF(\theta = \pi/2, \phi) = 2[\cos(kr \cos \phi) - \cos(kr \sin \phi)] \quad \text{----- (6)}$$

อาร์เรย์แฟคเตอร์สำหรับแผ่นสะท้อนที่ทำมุม 60, 90, 45 และ 30 องศา จะเป็นดังนี้

$$\alpha = 60 ; \quad AF(\theta, \phi) = 4 \sin(X/2) [\cos(X/2) - \cos(\sqrt{3}Y/2)] \quad \text{--- (7)}$$

$$\alpha = 45 ; \quad AF(\theta, \phi) = 2 [\cos(X) + \cos(Y) - 2 \cos(X/\sqrt{2}) \cos(Y/\sqrt{2})] \quad \text{--- (8)}$$

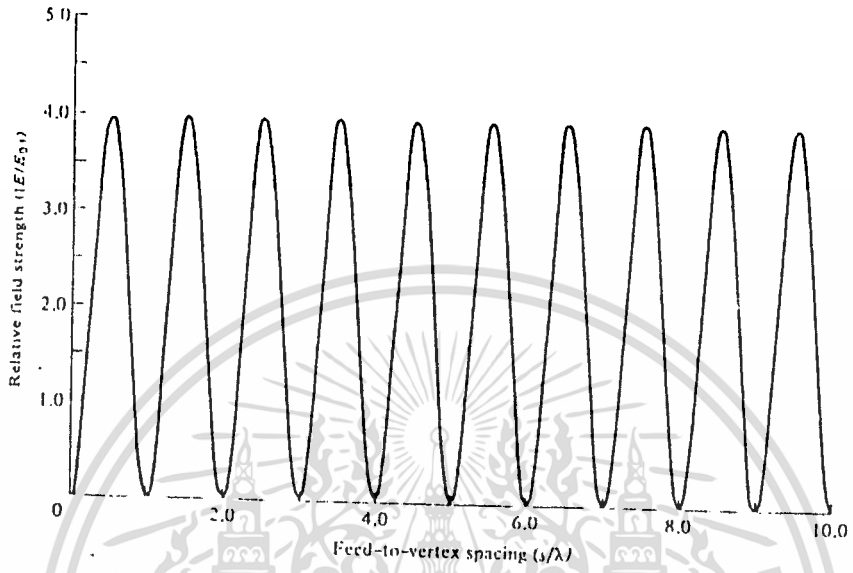
$$\alpha = 30 ; \quad AF(\theta, \phi) = 2 [\cos(X) - 2 \cos(\sqrt{3}X/2) \cos(Y/2) - \cos(Y) + 2 \cos(X/2) \cos(\sqrt{3}Y/2)] \quad \text{--- (9)}$$

โดยที่

$$X = kr \sin \theta \cos \phi \quad Y = kr \sin \theta \sin \phi$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์ของคุณสมบัติสำหรับแผ่นสะท้อนที่ทำเป็นมุม ก็คือความแรงของสนามไปตาม  
 แกนสมมาตร (  $\theta = 90^\circ$  ,  $\phi = 0^\circ$  ) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ  $S/\lambda$  (  $0 \leq S \leq 10$  )  
 สำหรับมุม  $90^\circ$  ดังแสดงไว้ในรูป 2.15



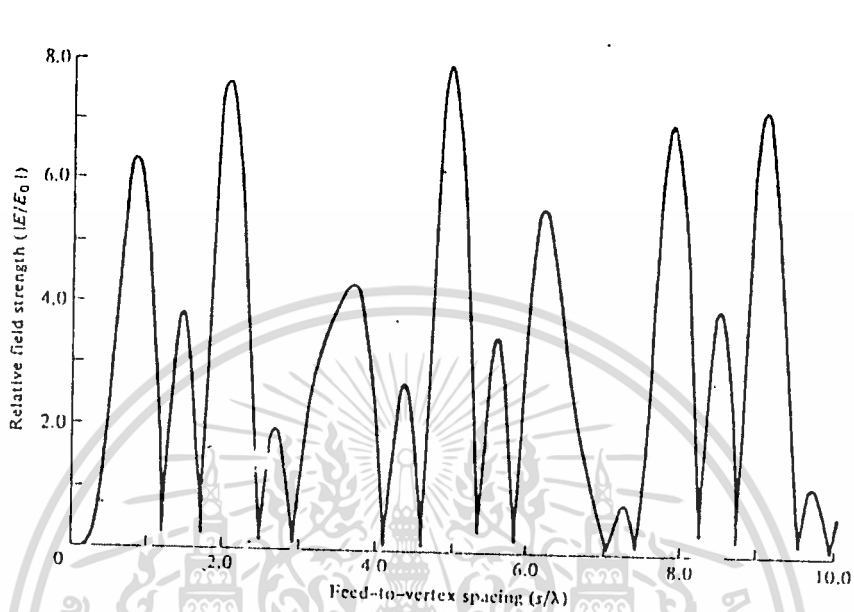
รูปที่ 2.15  $|E/E_0|$  ที่ระยะ  $s/\lambda$  ของแกนสะท้อนมุม  $90^\circ$  องศา

ยอดของค่าความแรงสนามที่เกิดขึ้นครั้งแรกเมื่อ  $S/\lambda = 0.5$  และมีค่าเท่ากับ 4 ค่า  
 ของสนามมี การซ้ำกันในช่วงคาบหนึ่ง ( periodic ) คาบของมุม  $90^\circ$  องศา  $\Delta S/\lambda =$   
 $1.0$  คาบ (  $\Delta S/\lambda$  ) ของความแรงสนามที่ถูกระบุไว้ ( normalized ) แล้วสำหรับ  
 แผ่นสะท้อนต่างกัน ดังนี้

Period ( $\Delta S/\lambda$ )	ReFlector Angle ( $\alpha$ -Degress )
1.0	90
2.0	60
16.69	45
30.00	30

ตาราง 2.2 คาบความแรงของสนามที่ถูกระบุไว้แล้วสำหรับสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้เงื่อนไขการใช้งาน ห้ามมิให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16  $|E/E_0|$  ที่ระยะ  $r$  ของแผ่นสี่เหลี่ยมมุม 45 องศา

ความเป็นช่วงคาบของมุม 90 องศา แสดงได้ในรูป 2.15 สำหรับรูป 2.16 เป็นของมุม 45 องศา แต่ไม่สามารถแสดงช่วงคาบได้เพราะว่าความยาวมากเกินไป

## การคำนวณและการสร้าง

3.1 การสร้างแผ่นสะท้อน/มุม 90 องศา

3.1.1 ความถี่ 479-493.5 MHz ;  $\lambda_{max} = 62.42$ ,  $\lambda_{min} = 60.7$ ,

$\lambda_{เฉลี่ย} = 61.68$  cm.

3.1.2 พิจารณาระยะห่างระหว่างไดโพลและมุมที่เหมาะสมจากรูป 3 (บทที่ 2)

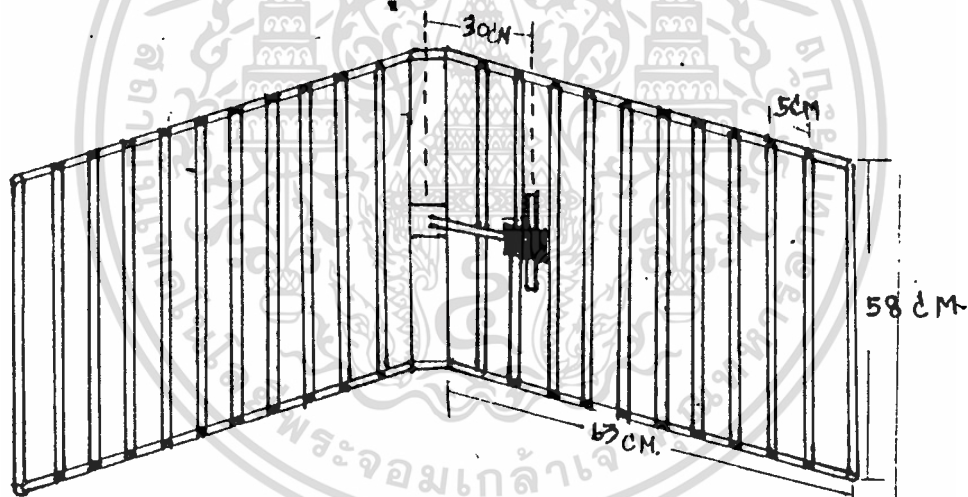
เลือกจุดที่ให้กำลังขวยสูงสุดในการดำเนินการโหมดแรก เลือกระยะ  $S = 0.5\lambda =$

30.84cm.

3.1.3 ความยาวแผ่นสะท้อนแต่ละด้าน  $\gg 2S \gg 63$  cm.

3.1.4 ความกว้างแผ่นสะท้อนแต่ละด้าน  $\gg 0.7\lambda \gg 44$  cm.

3.1.5 ระยะห่างระหว่างท่อลุมิเนียม  $\leq 0.1\lambda \leq 6$  cm.



รูปที่ 3.1 ขนาดและลักษณะของสายอากาศสายเคเบิล เนอร์รี เฟลทเคเบิลที่ทำการสร้าง

3.2 ไดโพลใช้ท่อลุมิเนียมกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 cm. ยาว 27.5 cm.

บทที่ 4

ผลการทดลอง

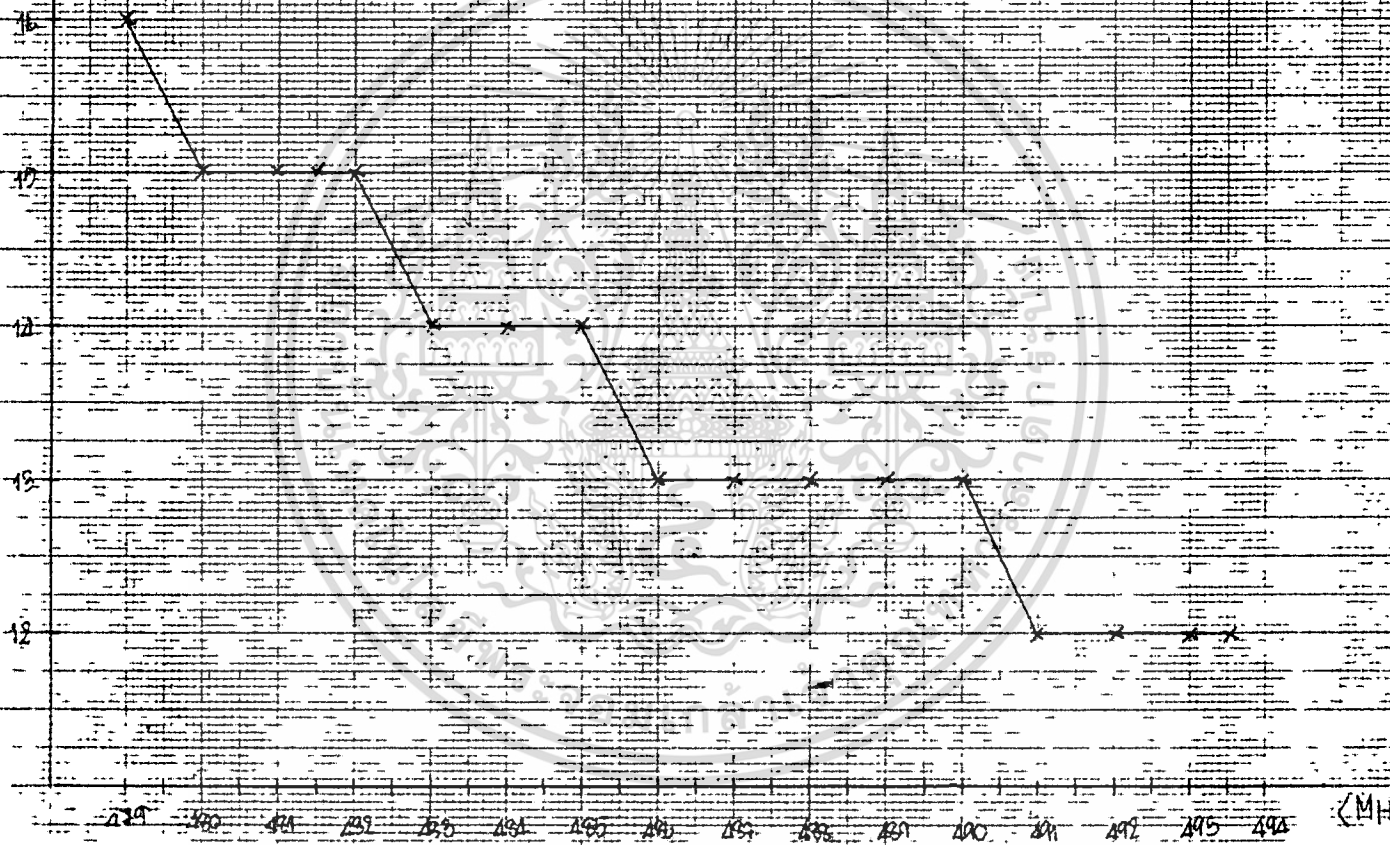
4.1 ผลการวัดค่า Return loss เมื่อทำการส่งที่ความถี่ตั้งแต่ 479-493.5 MHz

ความถี่ (MHz)	Return loss
479	16
480	15
481	15
481.5	15
482	15
483	14
484	14
485	14
486	13
487	13
488	13
489	13
490	13
491	12
492	12
493	12
493.5	12

ตาราง 4.1 ตารางแสดงค่า Return Loss เมื่อวัดที่ความถี่ 479 - 493.5 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RETURN LOSS <math>\langle dB \rangle</math>



รูปที่ 3.1. กราฟแสดงค่า RETURN LOSS ต่อความถี่

4.2 ผลการทดลองวัดความแรงของสัญญาณ (Field Strength) ที่รับได้เมื่อหมุนเสาอากาศให้มุมต่างๆ

มุม	ความแรงของสนาม	ค่านอร์มัลไลซ์
0	52	0
10	48	- 4
20	43	- 9
30	34	-18
40	34	-18
50	35	-17
60	35	-17
70	32	-20
80	32	-20
90	30	-22
100	30	-22
110	30	-22
120	30	-22
130	24	-28
140	24	-28
150	32	-20
160	35	-17
170	25	-27

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่าความแรงของสนามและค่าที่นอร์มัลไลซ์แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มุม	ความแรงของสนาม	ค่าแอมพลิจูด
180	25	-27
190	25	-27
200	30	-22
210	30	-22
220	30	-22
230	29	-23
240	35	-17
250	37	-15
260	40	-12
270	39	-13
280	40	-12
290	40	-12
300	43	- 9
310	47	- 5
320	49	- 3
330	48	- 4
340	52	0
350	51	- 1
360	52	0

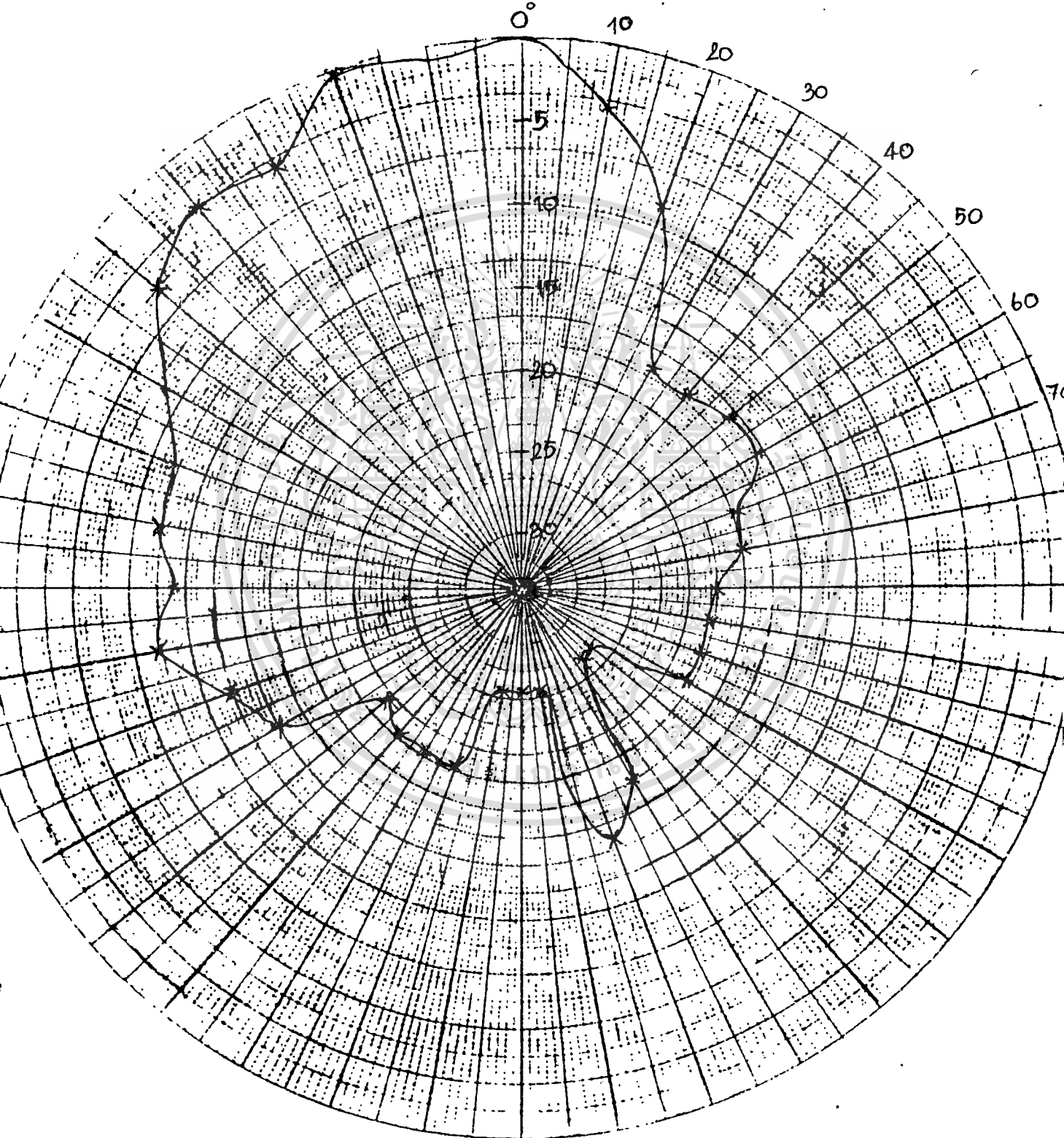
ตาราง 4.2 ตารางแสดงค่าความแรงของสนามและค่าที่ผูกกันครีโกลไลท์แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATION ENGINEERING

ANTENNA TYPE CORNER REFLECTOR ANTENNA DATE ... 29/3/34 .....

FREQUENCY .... 430 MHz ..... PLANE OF PATTERN HORIZONTAL  
E PLANE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลในเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปี 4.2

## บทที่ 5

## วิเคราะห์และสรุป

ค่ารีเทิร์นลอสที่ได้ทำการทดลองวัดจะนำไปใช้หา SWR เพื่อดูประสิทธิภาพการทำงานของสายอากาศที่สร้างขึ้น โดยนำค่ารีเทิร์นลอสไปหา  $P$  ก่อน โดย  $P = 10^{-RL/20}$

$$RL = 16 \text{ dB} \quad P = 0.1585$$

$$RL = 12 \text{ dB} \quad P = 0.2512$$

จากนั้นหา SWR จากค่า  $P$  โดย  $SWR = (1 + P) / (1 - P)$

$$P = 0.1585 \quad SWR = 1.38$$

$$P = 0.2512 \quad SWR = 1.67$$

ดังนั้น SWR จะอยู่ในช่วง 1.38-1.67

ผลที่ได้จากการวัดความแรงของสนามเมื่อใช้สายอากาศรับสัญญาณที่มุมต่างๆ นำมาลงในโพลาร์พล็อตได้ผลเป็นดังรูปที่ 5.1 ผลที่ได้ใกล้เคียงกับทางทฤษฎี สัญญาณที่ได้ทางด้านหลังแผ่นสะท้อนต่ำกว่าสัญญาณทางด้านหน้า 10 dB ขึ้นไป คือสัญญาณทางด้านหน้าแรงกว่าทางด้านอื่นอย่างน้อย 3.2 เท่า Front to Back Ratio เท่ากับ 27 dB ดังนั้นสัญญาณที่มุม 0 องศาแรงกว่าทางมุม 180 องศา 22.4 เท่า

$$\text{Half Power Beamwidth} = 35 \text{ องศา}$$

$$\text{Gain} = 8 \text{ dBd}$$

จากผลการวิเคราะห์ทั้งหมดสรุปว่าสามารถใช้สายอากาศนี้ในช่วงความถี่ที่ต้องการคือ 479-493.5 MHz ได้

หนังสืออ้างอิง

เอกสารที่เป็นหนังสือภาษาไทยและภาษาอังกฤษ จัดเรียงลำดับดังนี้

1. ผศ.ดร. ประสาท สืบคำ : "ไฟฟ้าและแม่เหล็ก" หน้า 86-88 , กิ่งจันทร์  
การพิมพ์, กทม.,
2. รศ. สีน ภู่วรรณ, สุกี จันทรทัศวงศ์ : "เทคนิคการออกแบบและติดตั้ง สาย  
อากาศโทรทัศน์-FM" หน้า 78-79 , น้าอักษร การพิมพ์, กทม., 2522
3. CONSTANTIN A. BALANIS : "ANTENNA THEORY ANALYSIS AND  
DESIGN "P.332-340 , JOHN WILLEY AND SONS
4. JOHN D. KRAUSS : "ANTENNAS" P.549-558 , MCGRAW-HILL  
BOOK COMPANY, NEW YORK
5. EDWARD F. HARRIS : "CORNER-REFLECTOR ANTENNAS" ,  
ANTENNA HANDBOOK CHAPTER 11

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ อาจารย์ สมผล โกศลวิทร์ ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้  
แนะนำและช่วยเหลือจนกระทั่งชิ้นงานและวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ และขอขอบคุณ  
เพื่อนๆที่มีส่วนช่วยเหลือในโครงการนี้ทุกคน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้