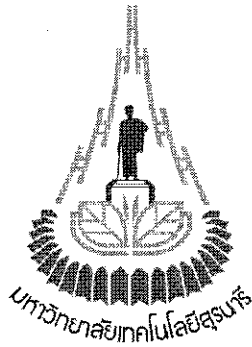




# CONTRIBUTION



สายอากาศแถวลำดับโดยใช้ อีลิเมนต์ขับและชี้ทิศแบบไดโพลโค้ง  
An Array Antenna using Curved-Dipole Driven and Director Element

โดย

นายชยาวุธ ภูยางตุม B4601739

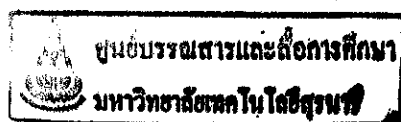
นายชาญวิทย์ ไชกบัณฑิต B4602033

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2549



โครงการงาน	สายอากาศแถวลำดับ โดยใช้ อีลิเมนต์ขับและชีทิสแบบไดโพลโค้ง An Array Antenna using Curved-Dipole Driven and Director Elements
จัดทำโดย	นายชชาวุธ ภูยางตุม นายชาญวิทย์ โชคบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรคค์
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
ภาคการศึกษาที่	3/ 2549

---

### บทคัดย่อ

สายอากาศส่งสัญญาณมีความจำเป็นอย่างมาก สำหรับการส่งสัญญาณโทรทัศน์ในปัจจุบัน ถ้าสามารถพัฒนาสายอากาศให้มีความสามารถในการส่งสัญญาณให้ครอบคลุมพื้นที่ได้มากขึ้น คือ มีลำคลื่นที่กว้างในระนาบแนวนอน และมีอัตราขยายที่เหมาะสม จะทำให้ประชาชนได้ใช้ประโยชน์จากข้อมูลข่าวสารได้มากขึ้น โครงการนี้จึงได้เสนอการออกแบบสายอากาศสำหรับการแผ่กระจายคลื่นโทรทัศน์ที่มีอีลิเมนต์ขับ (Driven Element) และอีลิเมนต์ชีทิส (Director Element) แบบไดโพลโค้ง โดยอาศัยโครงสร้างเดิมของสายอากาศแถวลำดับแบบยากิ-อูตะ (Yagi-Uda Antenna) โดยมีสมมติฐานว่า จะให้ลำคลื่นในแนวนอนที่กว้างกว่าสายอากาศแถวลำดับแบบยากิ-อูตะ ในการออกแบบได้กำหนดให้สายอากาศมีรูปแบบเป็นแถวลำดับจำนวน 3 อีลิเมนต์ และใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Super NEC ในการจำลองการทำงาน เมื่อได้ลักษณะตามที่กำหนดแล้วจึงสร้างสายอากาศต้นแบบขึ้นมาเพื่อทำการวัดทดสอบเปรียบเทียบกับผลที่ได้จาก โปรแกรมสำเร็จรูป

## กิตติกรรมประกาศ

การทำโครงการด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมนี้ ส่งผลให้คณะผู้จัดทำได้รับความรู้และประสบการณ์ต่างๆ มากมาย สำหรับตัวโครงการชิ้นนี้สำเร็จลงได้เพราะคณะผู้จัดทำโครงการได้รับความช่วยเหลือด้านต่างๆ จากบุคคลหลายฝ่ายดังต่อไปนี้

ผศ.ดร.รังสรรค์ วงศ์สวรรค์ สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาแนะนำในทุกๆด้าน รวมถึงการให้แนวคิด การดูแลเอาใจใส่ติดตามงาน แก่คณะผู้จัดทำมาโดยตลอด

อาจารย์ปิยภรณ์ กระจงนอก นักศึกษาระดับปริญญาเอก สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ที่ให้ความช่วยเหลือในการสร้างสายอากาศและแนะนำการใช้อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศ รวมถึงการเปิดห้องให้ทำงานด้วย

อาจารย์สมภพ พิมพล นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ที่ให้ความช่วยเหลือในการแนะนำการใช้โปรแกรม Super NEC เพื่อออกแบบสายอากาศ รวมถึงการแนะนำข้อมูลด้านทฤษฎีในการเขียนรายงาน

คุณประพล จาระตะคุ นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมและวิศวกรรมศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ฯ ที่ให้ความช่วยเหลือในการให้เบิกค่าใช้จ่ายการซื้ออุปกรณ์สร้างสายอากาศ รวมถึงการแนะนำการใช้อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศ

ขอขอบพระคุณท่านคณาจารย์และบุคลากร สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือแก่คณะผู้จัดทำมาโดยตลอด

คณะผู้จัดทำใคร่ขอขอบพระคุณทุกๆท่านที่ได้กล่าวไปแล้วไว้ ณ ที่นี้ สำหรับส่วนดีของโครงการชิ้นนี้ ขออุทิศให้แก่บิดามารดาและครูอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่คณะผู้จัดทำ ส่วนข้อผิดพลาดใด ๆ ที่เกิดขึ้นนั้นทางคณะผู้จัดทำโครงการใคร่ขออนุญาตไว้แต่เพียงผู้เดียว

นายชยาวุธ ภูยางตุม

นายชาญวิทย์ โชคบัณฑิต

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตการทำงาน	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
<b>บทที่ 2 สายอากาศแถวลำดับแบบยาแก-อูตะ</b>	3
2.1 ทฤษฎีและการทำงานของสายอากาศแถวลำดับแบบยาแก-อูตะ	3
2.2 การใช้ระเบียบวิธีโมเมนต์ในการหาสนามรวม	10
2.3 สรุป	13
<b>บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างสายอากาศ</b>	14
3.1 ขั้นตอนการออกแบบสายอากาศ	14
3.1.1 ทำการปรับค่าความยาวตัวขับสัญญาณ	14
3.1.2 ทำการปรับค่าความยาวตัวสะท้อนสัญญาณ	18
3.1.3 ทำการปรับค่าความยาวตัวชี้ทิศ	20
3.1.4 ทำการปรับลดค่าระยะห่างระหว่างตัวขับสัญญาณกับตัวชี้ทิศ	23
3.1.5 ทำการแมตช์สายอากาศแบบบาลัน (Balun - Matching)	26
3.2 ขั้นตอนการสร้างสายอากาศ	27
3.3 สรุป	29
<b>บทที่ 4 สรุปผลการทดลองและเปรียบเทียบผลการทดลองกับการออกแบบ</b>	30
4.1 ขั้นตอนการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศไดโพลโค้ง 3 อีลิเมนต์	30
4.1.1 ขั้นตอนการวัดค่า $S_{11}$ ของสายอากาศไดโพลโค้ง 3 อีลิเมนต์	30
4.1.2 ขั้นตอนการวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไดโพลโค้ง 3 อีลิเมนต์	31

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.3 การวัดความกว้างแถบของสายอากาศไดโพลโค้ง 3 อีลิเมนต์	33
4.2 ขั้นตอนการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศไดโพลตรง 3 อีลิเมนต์	34
4.2.1 ขั้นตอนการวัดค่า $S_{11}$ ของสายอากาศไดโพลตรง 3 อีลิเมนต์	34
4.2.2 ขั้นตอนการวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไดโพลตรง 3 อีลิเมนต์	35
4.2.3 ขั้นตอนการวัดค่าความกว้างแถบของสายอากาศไดโพลตรง 3 อีลิเมนต์	37
4.3 การวัดการลดทอนในสาย	38
4.4 การวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศ	39
4.5 การวัดอัตราขยายในสายอากาศ	42
4.6 สรุป	42
4.8 การวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศ	37
4.9 การวัดอัตราขยายในสายอากาศ	40
4.10 สรุป	41
<b>บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ</b>	44
5.1 บทสรุป	44
5.2 ข้อเสนอแนะ	44
ประวัติผู้เขียน	46
บรรณานุกรม	47

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมา

สำหรับคำนิยามของสายอากาศนั้นมีหลายคำนิยาม โดยจากWebster's Dictionary นิยามว่า “อุปกรณ์ที่ทำจากโลหะ (เป็นแท่งหรือเส้น) ใช้สำหรับแผ่กระจายคลื่น” จาก The IEEE Std-1983 นิยามว่า “วิธีการสำหรับแผ่กระจายคลื่น หรือรับคลื่นวิทยุ” และคำจำกัดความทั่วไป นิยามไว้ว่า “โครงสร้างรอยต่อระหว่างอวกาศว่างและอุปกรณ์นำคลื่น” สายอากาศมีด้วยกันหลายชนิดแบ่งตามลักษณะของสายอากาศ เช่นสายอากาศเส้นลวด (Wire Antenna) สายอากาศอะเพอร์เจอร์ (Aperture Antenna) สายอากาศไมโครสตริป (Micro strip Antenna) สายอากาศแถวลำดับ (Array Antenna) สายอากาศแบบตัวสะท้อน (Reflector Antenna) และสายอากาศแบบเลนส์ (Lens Antenna) เป็นต้น โดยโครงการนี้ได้นำเสนอสายอากาศแบบแถวลำดับ (Array Antenna) ที่มีลักษณะคล้ายกับสายอากาศยาเก-ฮูดะ แต่มีตัวขับสัญญาณที่มีลักษณะโค้ง โดยในการสื่อสารสายอากาศจะแผ่กระจายกำลังสนามแม่เหล็กไฟฟ้าออกไป สำหรับกลไกการทำงานในการแผ่กระจายกำลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้านั้นเกิดจากการที่ประจุมีอัตราเร่งที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดขึ้นจากสนามไฟฟ้าที่กระตุ้นเข้าไป หรืออาจเกิดจากการที่ประจุมีอัตราเร่งลดลงซึ่งเกิดขึ้นจากที่ค่าอิมพีแดนซ์ของเส้นลวดไม่ต่อเนื่อง หรือเกิดจากการโค้งงอของเส้นลวดก็ได้ สำหรับการอธิบายพฤติกรรมของสายอากาศตัวใดตัวหนึ่งนั้น จำเป็นต้องทราบคำนิยามของพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศเช่น แบบรูปการกระจายกำลังงานของสายอากาศ (Radiation Patten) อัตราขยายของสายอากาศ (Gain) ค่าอิมพีแดนซ์อินพุต (Input Impedance) ประสิทธิภาพลำคลื่น (Beam Efficiency) และยังมีพารามิเตอร์อีกมากที่จำเป็นต้องรู้ โดยค่าพารามิเตอร์ต่างๆจะบอกถึงลักษณะการแผ่กระจายคลื่นเป็นต้น

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีและออกแบบสายอากาศแบบแถวลำดับ โดยใช้ อีลิเมนต์ขับและซีทิสแบบไดโพลโค้ง
2. เพื่อศึกษาการใช้งาน โปรแกรมสำเร็จรูป Super NEC ในการออกแบบสายอากาศแบบแถวลำดับ โดยใช้ อีลิเมนต์ขับและซีทิสแบบไดโพลโค้ง
3. เพื่อสร้างสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ โดยใช้ อีลิเมนต์ขับและซีทิสแบบไดโพลโค้ง ที่มีการส่งคลื่นวิทยุที่มีการโพลาไรซ์ แบบเชิงเส้นแนวนอน

### 1.3 ขอบเขตการทำงาน

1. ศึกษาสายอากาศยาภิ-อูคะ ชนิด 3 อีลิเมนต์ ที่ใช้งานในปัจจุบัน
2. ศึกษาการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Super NEC เพื่อใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศทั้งแบบยาภิ-อูคะทั่วไป และสายอากาศแถวลำดับ โดยใช้ อีลิเมนต์ขับและซีทิสแบบไดโพลโค้ง ที่จำนวนอีลิเมนต์เท่ากัน
3. วิเคราะห์หาพารามิเตอร์ของสายอากาศต้นแบบของสายอากาศแถวลำดับ โดยใช้ อีลิเมนต์ขับและซีทิสแบบไดโพลโค้ง
4. สร้างสายอากาศต้นแบบ โดยกำหนดความถี่ใช้งานที่ 479.25 MHz (Ch.22)
5. วัดและเปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป Super NEC

### 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูล
2. เขียนโครงการและเสนอโครงการกับอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการงาน
3. ศึกษาการทำงานของโปรแกรม Super NEC
4. ออกแบบและวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศต้นแบบโดยใช้โปรแกรม Super NEC
5. สร้างสายอากาศต้นแบบแถวลำดับ โดยใช้ อีลิเมนต์ขับและซีทิสแบบไดโพลโค้ง
6. วัดทดสอบเพื่อหาพารามิเตอร์พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลการวัดกับผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการใช้โปรแกรม Super NEC และเปรียบเทียบผลการวัดที่ได้จากสายอากาศแบบยาภิ-อูคะ 3 อีลิเมนต์
7. สรุปผลการทดลองและเขียนรายงาน
8. นำเสนอโครงการงาน

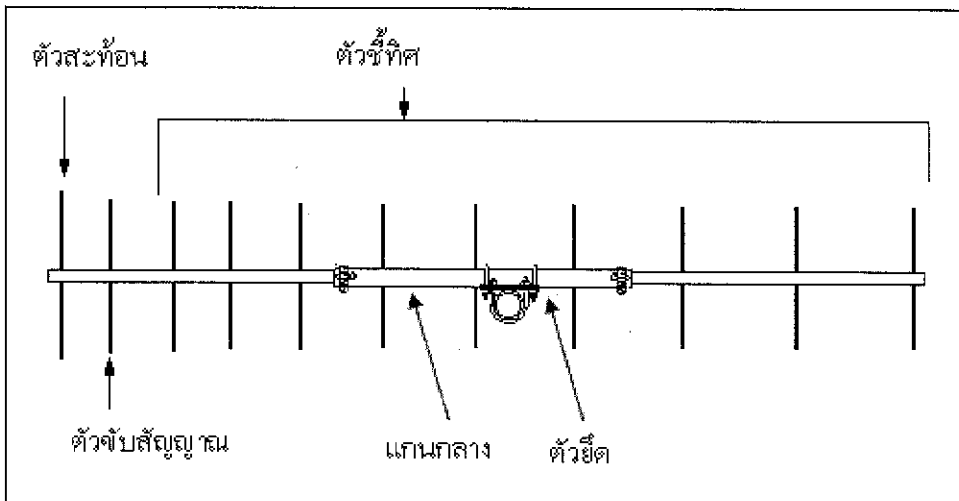


## บทที่ 2

### สายอากาศแถวลำดับแบบยากิ-อูตะ

สายอากาศแบบยากิ-อูตะ (Yagi-Uda Antenna) หรือเรียกว่าสายอากาศยากิ (Yagi Antenna) เป็นชื่อที่มาจากนักฟิสิกส์ชาวญี่ปุ่น 2 ท่านที่ประดิษฐ์ขึ้นและเป็นสายอากาศที่ได้รับความนิยมในอดีตถึงปัจจุบัน โดยสามารถพบเห็นเป็นประจำที่ใช้กันมากในการรับสัญญาณโทรทัศน์สถานีต่างๆ ที่ติดตั้งไว้บนหลังคาบ้าน โดยปกติแล้วจะใช้ในการรับส่งสัญญาณที่ความถี่ประมาณ 30 MHz-3 GHz (อยู่ช่วง VHF และ UHF) หรือที่ความยาวคลื่นประมาณ 10 เซนติเมตรถึง 10 เมตร สายอากาศยากิจะมีอีลิเมนต์เดียวเท่านั้นที่ต่อกับตัวส่งสัญญาณ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวขับสัญญาณ เรียกว่า (Driven Element) เป็นส่วนที่ปล่อยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic field) ส่วนอีลิเมนต์อื่นๆ (parasitic) จะทำหน้าที่เป็นตัวที่รับเอาพลังงานจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมาจากตัวขับ แล้วแผ่กระจายคลื่นออกมา โดยคลื่นที่แผ่ออกมาเมื่อรวมกันทุกๆ อีลิเมนต์ทำให้แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน (Radiation Pattern) จะไปในทิศทางเดียวกันทำให้มีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นแบบมีทิศทาง (Directional Pattern) เราจะรู้ได้อย่างไรว่าสายอากาศเป็นแบบมีทิศทาง ก็คือถ้าเป็นสายอากาศแบบมีทิศทางแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานจะมีทิศทางที่มุ่งเน้นไปในทิศทางที่แน่นอนทิศเดียวกัน โดยไม่มีการมุ่งเน้นไปทางทิศอื่น

#### 2.1 ทฤษฎีและการทำงานของสายอากาศแถวลำดับแบบยากิ-อูตะ

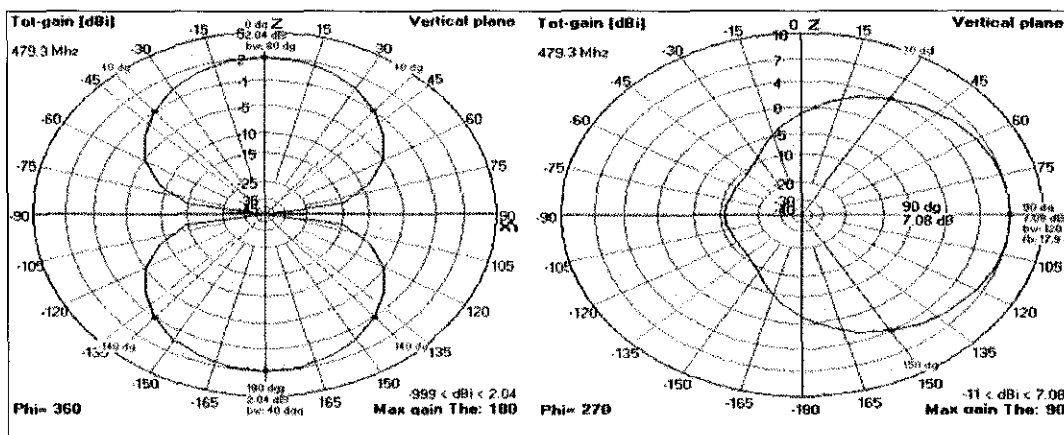


รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของสายอากาศยากิ-อูตะ (Yagi-Uda Antenna)

จาก รูปที่ 2.1 เป็นสายอากาศที่ใช้ในการรับส่งสัญญาณ โทรทัศน์ที่สามารถพบเห็นได้ทั่วไปตามหลังคาบ้าน เป็นสายอากาศที่มี 11 อีลิเมนต์มีจำนวนอีลิเมนต์สะท้อนกลับ (Reflector Element) 1 ตัว ตัวขับสัญญาณ (Driven Element) 1 ตัวและอีลิเมนต์ชี้ทิศทาง (Director Element) 9 ตัว และแกนกลาง (Boom) คือตัวที่ใช้ในการยึด อีลิเมนต์ต่างๆ ไว้ สายอากาศที่พบเห็นอาจมีจำนวนอีลิเมนต์ ที่มากหรือน้อยกว่าก็ได้ จะเห็นว่าสายอากาศยาภิประกอบด้วยโครงสร้างหลัก 3 ตัว ได้แก่ ตัวขับสัญญาณ ตัวสะท้อนกลับ และตัวชี้ทิศทาง โดยที่ตัวขับสัญญาณเพียงอีลิเมนต์เดียว

ในส่วนของตัวสะท้อนกลับ จะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่กีดขวางหรือสะท้อนการแผ่กระจายคลื่นที่พุ่งไปทางด้านหลังให้พุ่งกลับไปด้านหน้าแทน โดยจะมีขนาดยาวกว่าตัวขับสัญญาณประมาณ 5% ยังมีจำนวนอีลิเมนต์มาก ก็จะมีสะท้อนเพิ่มขึ้นหรือมีลักษณะเป็นแผ่นก็จะสะท้อนดีมากยิ่งขึ้น กับทั้งต้องวางในตำแหน่งระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากทั้งจำนวนอีลิเมนต์และระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์จะมีผลต่ออัตราขยายที่มากขึ้นหรือน้อยลง โดยที่จะกล่าวต่อไป

ในส่วนที่อยู่ด้านหน้าตัวขับสัญญาณเรียกว่าตัวชี้ทิศทาง โดยการวางในแนวนานกับอีลิเมนต์อื่นๆจะมีขนาดสั้นกว่าตัวขับสัญญาณประมาณ 5% ในส่วนของอีลิเมนต์ชี้ทิศทาง จะช่วยในการรวมโฟกัสของการแผ่กระจายคลื่นเพื่อให้พุ่งไปทางด้านหน้า อย่างไรก็ตามทั้งตัวสะท้อนกลับและตัวชี้ทิศทาง สามารถลดการแผ่กระจายคลื่นไปทางด้านหลัง (Front-to-Back Ratio) ได้ประมาณ 25 ถึง 30 dB และเมื่อทำการเพิ่มจำนวนตัวชี้ทิศทาง ก็จะสามารถทำให้อัตราขยาย ไปทางด้านหน้าเพิ่มมากขึ้น โดยลักษณะของแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานดังนี้



(ก)

(ข)

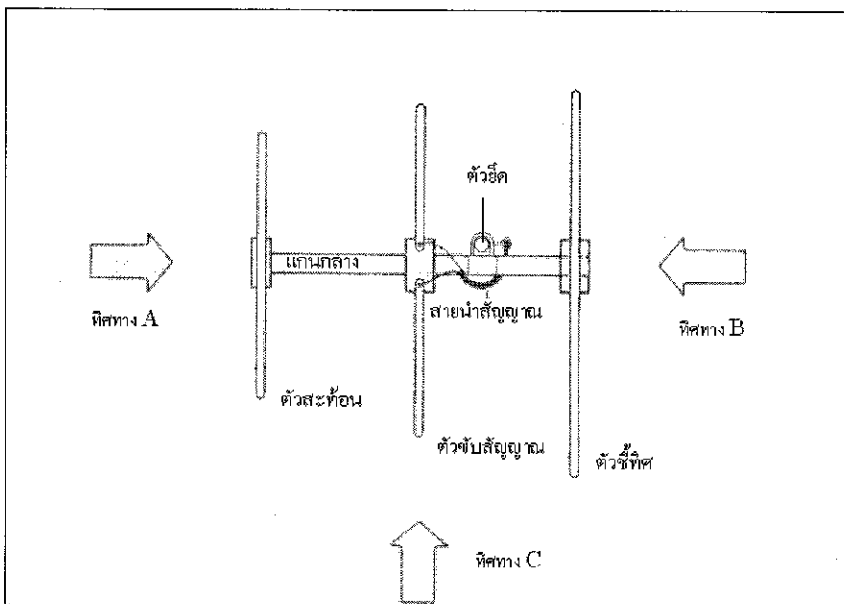
รูปที่ 2.2 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน (Radiation Pattern) ของสายอากาศ

(ก) แบบรอบตัวระนาบเดียว

(ข) แบบมีทิศทาง

จาก รูปที่ 2.2 รูปเป็นการเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน ที่เป็นแบบรอบตัว ระนาบเดียว (Omni-directional Pattern) รูปที่ 2.2 ก ของสายอากาศไดโพลธรรมดา กับสายอากาศยาคี ที่มีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน ที่เป็นแบบมีทิศทาง รูปที่ 2.2 ข เพื่อดูความแตกต่างของการ เพิ่มตัวสะท้อนกลับและตัวชี้ทิศเข้าไป

การทำงานของทั้ง 3 ส่วนสามารถอธิบายได้ตาม รูปที่ 2.3 เมื่อได้รับสัญญาณมาจากทิศทาง A เข้ามาปะทะทั้ง 3 อีลิเมนต์จะทำให้เกิดกระแสบนแต่ละอีลิเมนต์ และกระแสในแต่ละอีลิเมนต์จะทำให้เกิดการแผ่กระจายคลื่น แม้ว่ากระแสจะมีน้อย กระแสก็จะเหนี่ยวนำบนสายอากาศทำให้เกิด การแผ่กระจายคลื่นอีกครั้งที่ตัวชี้ทิศ และตัวสะท้อนกลับ และเมื่อมาถึงตัวจับสัญญาณ สัญญาณจะมี เฟสตรงกัน (In-Phase) คือทั้งการแผ่กระจายคลื่นจาก ตัวจับสัญญาณ และการแผ่กระจายคลื่นจาก ตัวชี้ทิศ และตัวสะท้อนกลับ ทำให้เกิดการเสริมกันของสัญญาณ แต่เมื่อได้รับสัญญาณมาจากทิศ ทาง B และ C จะเกิดขึ้นเหมือนกันทุกประการเว้นแต่สัญญาณที่มาถึงตัวจับสัญญาณ จะมีเฟสไม่ ตรงกัน (Out-of-Phase) ทำให้เกิดการหักล้างกันของสัญญาณ ซึ่งนำไปใช้ประโยชน์ในการวางระยะห่างและความยาวของทั้ง ตัวชี้ทิศ และตัวสะท้อนกลับ



รูปที่ 2.3 สายอากาศยาคี-อูเดะ ชนิด 3 อีลิเมนต์

จาก รูปที่ 2.3 รูปแสดงทิศการเข้ามาของสัญญาณในแต่ละทิศ เพื่อใช้ประกอบการอธิบาย การทำงานของระบบเมื่อสัญญาณเข้ามาในทิศต่างๆ

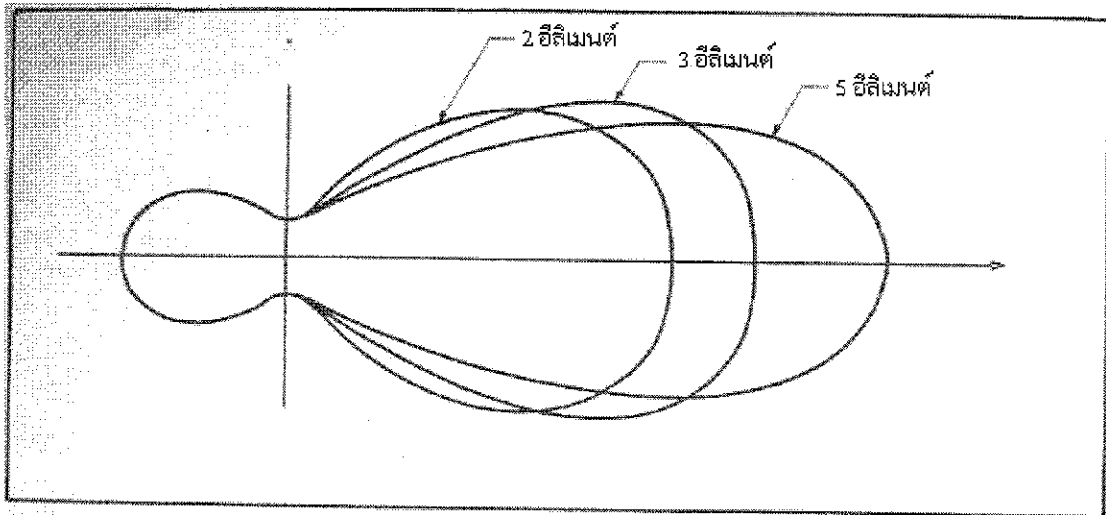
สายอากาศยาคี อาจมีตัวชี้ทิศ 1 อีลิเมนต์หรือมากกว่านั้น โดยขนาดจะมีขนาดด้านละ  $1/4 \lambda$  หรือรวมกันไม่เกิน  $1/2 \lambda$  โดยความยาวของตัวชี้ทิศนั้นจะมีขนาดสั้นลงทีละน้อย เพื่อช่วยในการ รวมโฟกัสของการแผ่กระจายคลื่นเพื่อให้พุ่งไปทางด้านหน้าตามที่กล่าวมาแล้ว เนื่องจากแต่ละอีลิ

แผนผังตัวชี้ทิศ มีขนาดที่ต่างกันน้อยมากทำให้มองเห็นทุกอิลิเมนต์ มีขนาดเท่ากันหมด โดยแต่ละอิลิเมนต์ไม่จำเป็นต้องวางในแนวระดับแนวราบที่เหมือนกัน แต่ต้องวางให้มีขนาดเท่ากันทั้งสองด้าน หรือสมมาตรกัน สายอากาศที่ทำเรียบร้อยแล้วแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน ที่ได้จะมีความกว้างของลำคลื่นที่แตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับจำนวนอิลิเมนต์ของตัวชี้ทิศ ระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์ของตัวชี้ทิศ แต่อย่างไรก็ตามอัตราขยายเป็นสัดส่วนกับความยาว และจำนวนของอิลิเมนต์

อัตราขยายของสายอากาศขึ้นอยู่กับจำนวนตัวชี้ทิศและตัวสะท้อนกลับหรือจำนวนอิลิเมนต์ของสายอากาศ จากข้อมูลที่มีผู้ศึกษาไว้แล้วได้ผลดังนี้ [5]

- จำนวน 2 อิลิเมนต์ มีอัตราขยาย Gain ประมาณ 3-4.5 dB (มีแต่ตัวชี้ทิศ)
- จำนวน 3 อิลิเมนต์ มีอัตราขยาย Gain ประมาณ 6-8 dB
- จำนวน 4 อิลิเมนต์ มีอัตราขยาย Gain ประมาณ 7-10 dB
- จำนวน 5 อิลิเมนต์ มีอัตราขยาย Gain ประมาณ 9-11 dB

เห็นได้ชัดเจนว่ายิ่งจำนวนอิลิเมนต์มากขึ้นเท่าใดมีอัตราขยาย ก็ยิ่งมากขึ้นเท่านั้นซึ่งก็เป็นไปตามหลักการของสายอากาศยาก็ แต่ในทางตรงกันข้ามยังมีอัตราขยายมากขึ้นเท่าใดความกว้างลำคลื่น ก็จะยิ่งแคบลงเรื่อยๆซึ่งจะแปรผันผกผันกับมีอัตราขยาย ดังรูปที่ 2.4

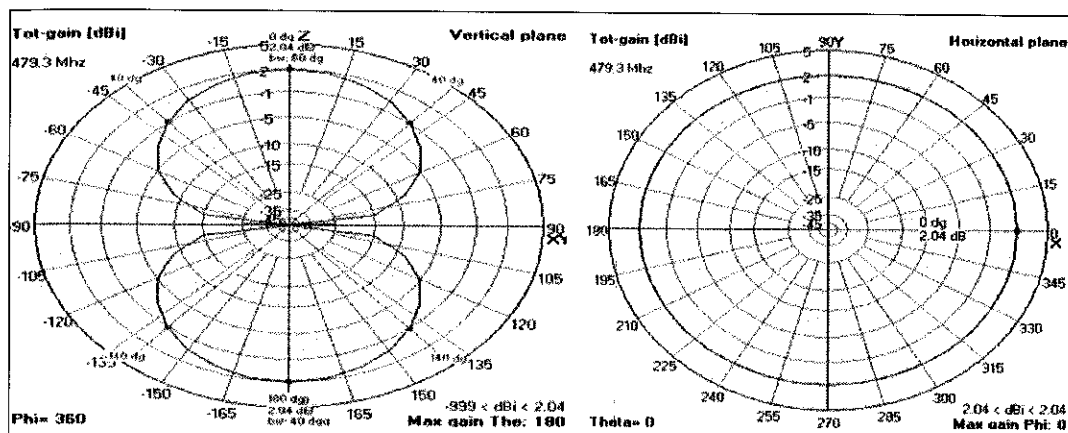


รูปที่ 2.4 เปรียบเทียบความกว้างลำคลื่นของสายอากาศยาก็ที่มีจำนวนอิลิเมนต์ต่างกัน

ลักษณะการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศยาก็ ที่มีจำนวนอิลิเมนต์ต่างกันสายอากาศที่มีจำนวนอิลิเมนต์น้อยกว่าจะมี ความกว้างลำคลื่นที่กว้างกว่าสายอากาศที่มีอิลิเมนต์มากแต่ในทางกลับกันสายอากาศที่มีจำนวนอิลิเมนต์มากกว่าจะมีอัตราขยายที่มากกว่าดัง รูปที่ 2.4

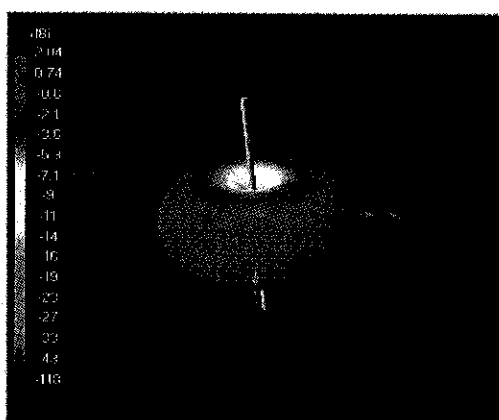
ผลของแต่ละอีลิเมนต์ที่ได้กล่าวมาในข้างต้นแสดงได้ดังนี้ เพื่อความเข้าใจที่มากขึ้น โดยแสดงให้เป็นรูปของแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน เพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างและหลักการหรือหน้าที่ของแต่ละอีลิเมนต์

โดยเริ่มจากสายอากาศไดโพลตัวเดียวที่ใช้เป็นตัวขับสัญญาณ มีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานดัง รูปที่ 2.5



(ก)

(ข)



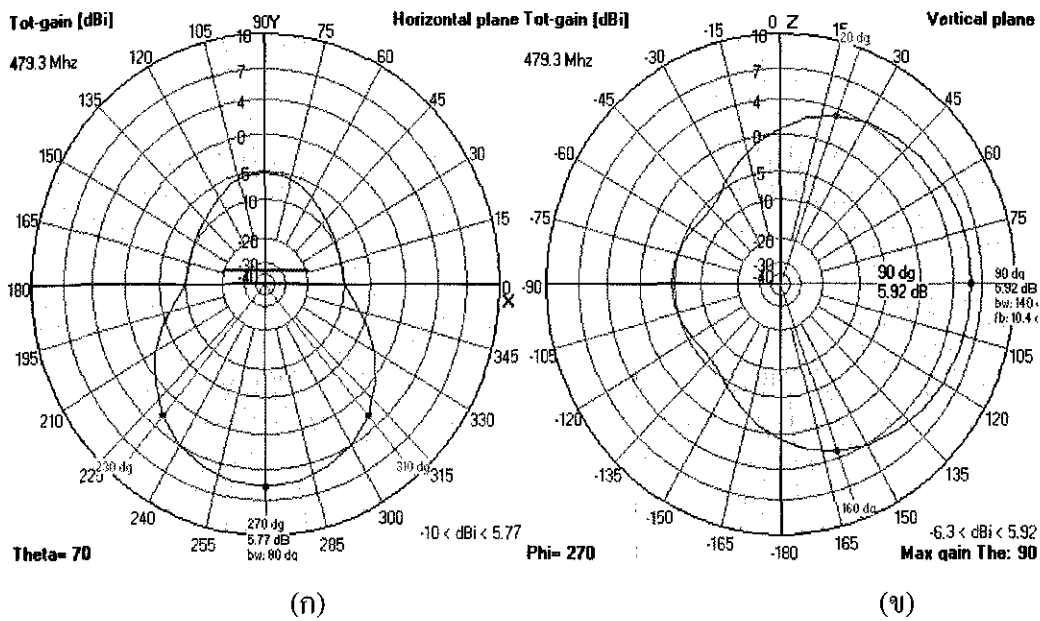
(ค)

รูปที่ 2.5 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของตัวขับสัญญาณ

- (ก) การแผ่กระจายกำลังงานในระนาบแนวตั้ง
- (ข) การแผ่กระจายกำลังงานในระนาบแนวนอน
- (ค) การแผ่กระจายกำลังงานแบบ 3 มิติ

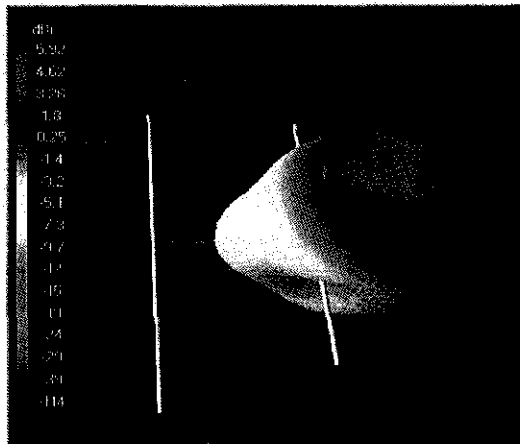
จาก รูปที่ 2.5 เป็นแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของ ตัวขับสัญญาณเพียงตัวเดียวโดยมีแบบรูปการแผ่กำลังงานแบบ รอบตัวระนาบเดียว (Omi directional Pattern) จะเห็นได้ว่าการแผ่กระจายไปในระนาบเดียวแต่ทุกทิศทาง ขนาดของตัวขับสัญญาณยาว 0.2566 เมตร

จากที่มีเพียงตัวขับสัญญาณตัวเดียวเราจะทำการเพิ่มตัวสะท้อนสัญญาณ เข้าไปอีกตัวแล้ว  
สังเกตการณ์ แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศ โดยแบบรูปที่ได้มีลักษณะ  
ดัง รูปที่ 2.6



(ก)

(ข)



(ค)

รูปที่ 2.6 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของตัวขับสัญญาณกับตัวสะท้อนสัญญาณ

(ก) การแผ่กระจายกำลังงานในระนาบแนวตั้ง

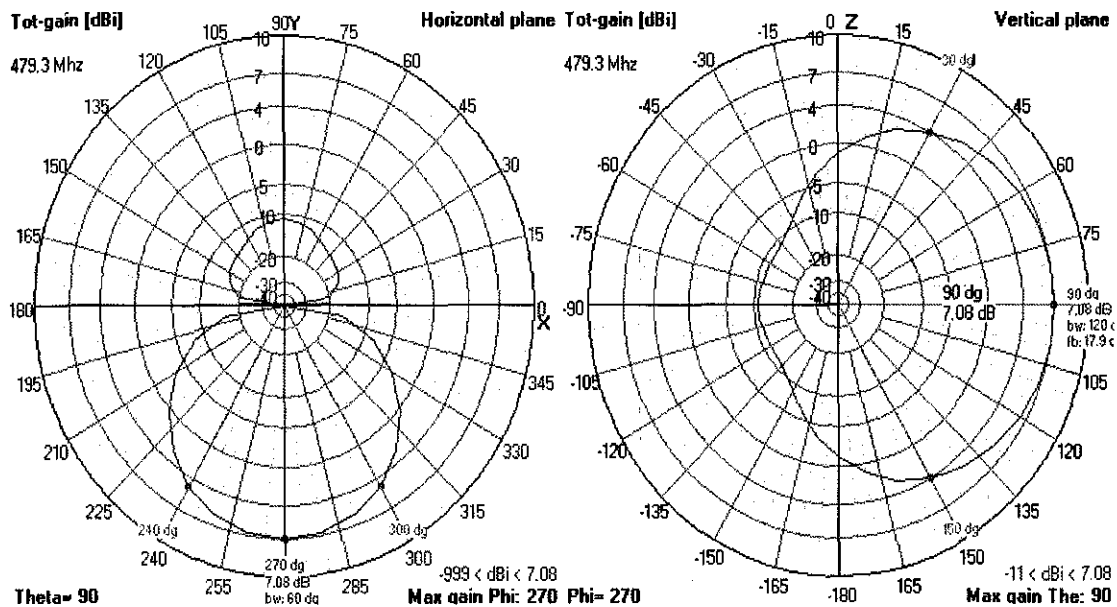
(ข) การแผ่กระจายกำลังงานในระนาบแนวนอน

(ค) การแผ่กระจายกำลังงานแบบ 3 มิติ

จาก รูปที่ 2.6 เป็นแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของ ตัวขับสัญญาณและตัวสะท้อน โดยมีแบบรูปการแผ่กระจายแบบมีทิศทาง Directional Pattern จะเห็นได้ว่าการแผ่กระจายไปในทิศทางเดียว ขนาดของตัวขับสัญญาณยาว 0.2566 เมตร ตัวสะท้อนยาว 0.3128 เมตร ระยะห่างระหว่าง

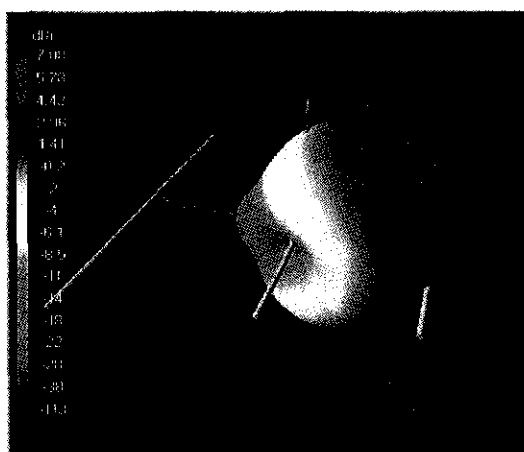
ทั้ง 2 อีลิเมนต์ 0.132 เมตร เมื่อทำการเพิ่มตัวสะท้อนเข้าไปแล้วทำให้แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานเกิดการสะท้อนไปทางด้านหน้ามากขึ้นและมีอัตราขยายที่มากขึ้นแต่ยังมี ความกว้างลำคลื่น ที่เท่าเดิม ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดข้างต้น

จากที่มี 2 อีลิเมนต์ข้างต้นเราทำการเพิ่ม ตัวชี้ทิศเข้าไปแล้วเกิดการแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศ โดยแบบรูปที่ได้มีลักษณะดัง รูปที่ 2.7



(ก)

(ข)



(ค)

รูปที่ 2.7 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของตัวจับสัญญาณกับตัวสะท้อนสัญญาณและตัวชี้ทิศ

- (ก) การแผ่กระจายกำลังงานในระนาบแนวตั้ง
- (ข) การแผ่กระจายกำลังงานในระนาบแนวนอน
- (ค) การแผ่กระจายกำลังงานแบบ 3 มิติ

จากรูปที่ 2.7 เป็นแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของตัวจับสัญญาณกับตัวสะท้อนและตัวชี้ทิศ โดยมีแบบรูปการแผ่กำลังงานแบบมีทิศทาง จะเห็นได้ว่าการแผ่กระจายไปในทิศทางเดียว ขนาดของตัวจับสัญญาณยาว 0.2566 เมตร ตัวสะท้อนยาว 0.3128 เมตร ระยะห่างระหว่างตัวจับสัญญาณกับตัวสะท้อนทั้ง 0.132 เมตร ตัวชี้ทิศยาว 0.24 เมตร ระยะห่างระหว่างตัวจับสัญญาณกับตัวชี้ทิศ 0.10 เมตร เมื่อทำการเพิ่มตัวชี้ทิศ เข้าไปแล้วทำให้แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานเกิดการพุ่งไปทางด้านหน้ามากขึ้นและมีอัตราขยายที่มากขึ้นและยังมี ความกว้างลำคลื่นที่แคบลง ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดข้างต้น

## 2.2 การใช้ระเบียบวิธีโมเมนต์ในการหาสนามรวม

สมการ การอินทิเกรตใช้วิธีแบบโมเมนต์ ซึ่งในการทดลองนั้นได้มีการวิเคราะห์สูตรของสายอากาศยาคิ-อูตะ ซึ่งสมการการอินทิเกรตใช้สำหรับการการแผ่ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยการจัดเรียงของแต่ละอิลิเมนต์ ทำให้การกระจายของกระแสมีความซับซ้อน รวมไปถึงอัตราเร็วเชิงมุม และแบบรูปการแผ่กระจายที่ตรงกันซึ่งหลักการแล้วมีการจำกัดจำนวนอิลิเมนต์ อย่างไรก็ตามในการคำนวณมีวัตถุประสงค์เพื่อให้สายอากาศมีการแมตซ์กัน ทำการประมาณค่าสมการการอินทิเกรต ในการวิเคราะห์จุดบนแกนของแต่ละอิลิเมนต์ ทำบนผิวหน้าทุกๆอิลิเมนต์ วิเคราะห์จำนวนจุดโดยมีเงื่อนไขว่าจะต้องแมตซ์

ทฤษฎีขั้นพื้นฐานของสมการอินทิเกรตสำหรับการกำเนิดสนามรวม แหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้าจะทำการแผ่กระจายกำลังงานในอากาศแบบไม่มีขอบเขต

$$\int_{-1/2}^{+1/2} I(z') \left[ \left( \frac{\partial^2}{\partial z'^2} + k^2 \right) \left( \frac{e^{-jkR}}{R} \right) \right] z' \quad j4\pi\omega E_0 E_z' \quad (2-1)$$

เมื่อ

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

เนื่องจาก

$$\frac{\partial^2}{\partial z'^2} \left( \frac{e^{-jkR}}{R} \right) = \frac{\partial^2}{\partial z'^2} \left( \frac{e^{-jkR}}{R} \right) \quad (2-3)$$

แทนค่าในสมการที่ (2-1) จะได้



$$\int_{-1/2}^{+1/2} I(z') \left[ \left( \frac{\partial^2}{\partial z'^2} \right) \left( \frac{e^{-jkR}}{R} \right) \right] \partial z' + k^2 \int_{-1/2}^{+1/2} I(z') \left( \frac{e^{-jkR}}{R} \right) \partial z' = j4\pi\omega E_0 E_z \quad (2-4)$$

หลังจากนั้นทำการรวม โดยการอินทิเกรตเทอมแรกของสมการ (2-4) โดยในส่วนของเทอมแรกทำการกำหนดค่าดังนี้

$$u = I(z') \quad (2-5)$$

$$\partial u = \partial I(z') \quad (2-5 ก)$$

และ

$$dv = \frac{\partial^2}{\partial z'^2} \left( \frac{e^{-jkR}}{R} \right) \partial z' \quad (2-6)$$

$$v = \frac{\partial}{\partial z'} \left( \frac{e^{-jkR}}{R} \right) \quad (2-6 ก)$$

เนื่องจากต้องการให้กระแสที่ปลายของสายหายไป จึงทำการกำหนดให้

$$I_z(z' = +\frac{1}{2}) = I_z(z' = -\frac{1}{2}) = 0$$

ทำให้ได้สมการดังต่อไปนี้

$$\int_{-1/2}^{+1/2} I(z') \frac{\partial^2}{\partial z'^2} \left( \frac{e^{-jkR}}{R} \right) \partial z' = - \int_{-1/2}^{+1/2} \left( \frac{e^{-jkR}}{R} \right) \partial z' [\partial I(z') / \partial z'] \quad (2-7)$$

กำหนดให้

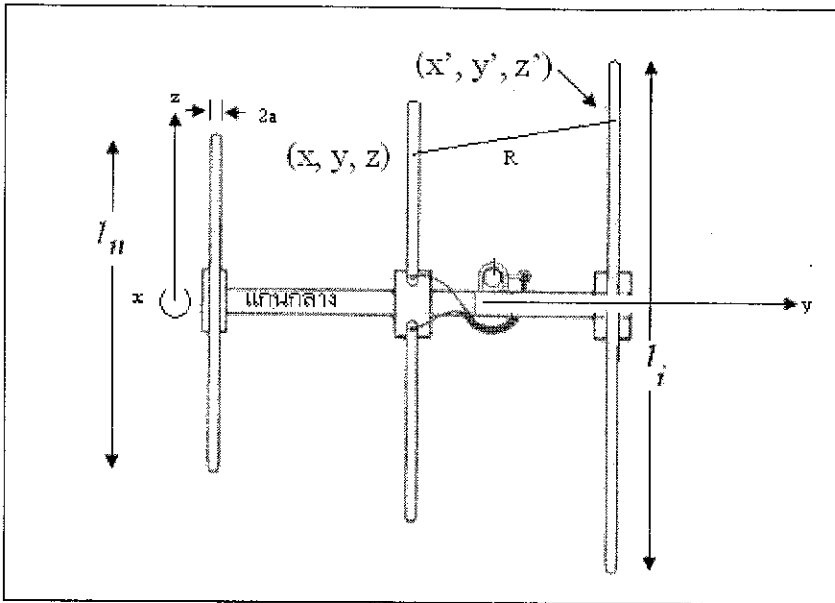
$$u = \frac{\partial I(z')}{\partial z'} \quad (2-8)$$

$$\partial u = \partial^2 \frac{(\partial I(z') \partial z')}{\partial z'^2} \quad (2-8 ก)$$

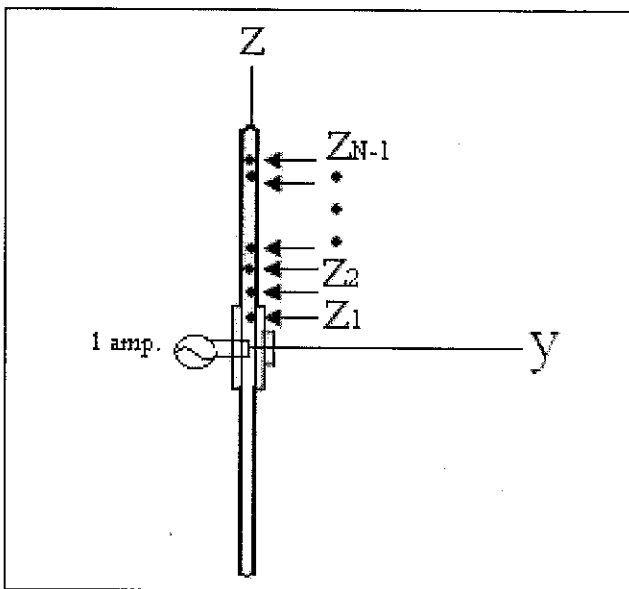
$$dv = \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{e^{-jkR}}{R} \right) \partial z' \quad (2-9)$$

จะได้

$$v = \left( \frac{e^{-jkR}}{R} \right) \quad (2-9 ก)$$



รูปที่ 2.8 การคำนวณการแบ่งระยะของแต่ละอีลิเมนต์



รูปที่ 2.9 การแบ่งตัวขับสัญญาณออกเป็นจุดๆ

จำนวน  $M$  ในโหมดของกระแสมีค่าที่เท่ากันในทุกๆอีลิเมนต์ ในการนำสมการอินทิเกรตมาประยุกต์เพื่อแก้ปัญหา โดยแต่ละอีลิเมนต์จะมีการแบ่งย่อยเป็นส่วน  $M$  ส่วน ในทุกๆอีลิเมนต์รวมไปถึงตัวขับสัญญาณในการแมตซ์จะทำตรงกลางของตัวขับสัญญาณ ซึ่งต้องการให้สนามไฟฟ้าในแกน  $Z$  หายไป ตรงจุดแมตซ์ กำหนดให้สนามไฟฟ้าในทิศ  $(Z=0); E_z(z=z_i=0)$  ตัวขับสัญญาณที่แมตซ์ต้องทำบนผิวของสายอากาศ และ ต้องการให้สนามไฟฟ้าในแกน  $Z$  หายไป ตรง

จุด  $M-1$  ทำให้เกิดสมการของ  $M-1$  เรียกว่าสมการ  $M_n$  ซึ่งอีลิเมนต์ตรงจุดป้อนสัญญาณจะทำให้เกิดกระแสที่ปกติ Normalized Current สำหรับทุกๆ โหมด  $M$  ตรงจุดป้อนแหล่งจ่าย ( $z' = 0$ )  $n=N$  จะทำให้ได้สมการกระแส  $I_{nm}$  ดังนี้

$$\sum_{m=1}^M I_{nm}(z' = 0) = 1 \quad (2-10)$$

## 2.3 สรุป

โดยสรุปแล้วการจัดเรียงสายอากาศวิทยิก-อูคะ สามารถสรุปส่วนที่สำคัญได้ 3 ส่วนคือ ตัวสะท้อนสัญญาณ ตัวขับสัญญาณ และการจัดเรียงตัวชี้ทิศ สามารถสรุปส่วนต่างๆ จากการทดลองได้ว่าความห่างของตัวสะท้อนมีผลเล็กน้อยต่ออัตราขยายไปข้างหน้า แต่มีผลมากต่ออัตราขยายไปข้างหลังรวมถึงถึงความต้านทานที่ป้อนเข้า ในการควบคุมพารามิเตอร์ของสายอากาศนั้นมีความสำคัญมากในการควบคุมไม่ให้ส่งผลต่ออัตราขยาย ระยะห่างของตัวป้อนสัญญาณและรัศมีมีผลน้อยต่ออัตราขยายไปข้างหน้าแต่มีผลมากต่ออัตราขยายไปข้างหลัง รวมถึงถึงความต้านทานที่ป้อนเข้าและขนาดของระยะห่างของตัวชี้ทิศ แต่มีผลมากต่ออัตราขยายไปข้างหน้าและอัตราขยายไปข้างหลัง รวมถึงถึงความต้านทานที่ป้อนเข้า

การทำสายอากาศสายอากาศวิทยิก-อูคะเป็นเรื่องที่ง่าย เพราะว่ามีน้ำหนักที่เบา ออกแบบง่าย ราคาถูก สามารถออกแบบให้มีจำนวนอีลิเมนต์น้อยๆ โดยทั่วไปใช้ 5 ถึง 6 อีลิเมนต์ แต่ในการออกแบบต้องวิเคราะห์หลายๆอีลิเมนต์ ซึ่งทำให้อัตราการส่งสัญญาณได้ไกล แต่เมื่อส่งได้ไกลก็ทำให้ความกว้างลำคลื่นนั้นแคบลงด้วย

## บทที่ 3

### การออกแบบและสร้างสายอากาศ

การจะสร้างสายอากาศนั้นมีความจำเป็นอย่างมากที่ต้องมีการออกแบบ การออกแบบนั้นทำเพื่อให้ได้สายอากาศที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ โดยอาศัยการประมวลผลของโปรแกรมสำเร็จรูปที่มีอยู่หลายโปรแกรมเช่น Super NEC , 4NEC2 , EZNEC , YSIM , YOLIN , MMPC เป็นต้น โปรแกรมเหล่านี้จะแสดงการทำงานของสายอากาศและบอกค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศทำให้ทราบถึงคุณสมบัติของสายอากาศนั้น ทำให้สามารถกำหนดคุณสมบัติของสายอากาศได้

#### 3.1 ขั้นตอนการออกแบบสายอากาศ

##### 3.1.1 ทำการปรับค่าความยาวตัวขับสัญญาณ

ขั้นตอนการออกแบบสายอากาศในขั้นนี้จะทำการออกแบบโดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Super NEC ในการออกแบบ การออกแบบต้องคำนึงถึงความถี่ (Frequency) ที่ต้องการใช้งานเพื่อคำนวณหาความยาวคลื่นที่ใช้ในการกำหนดความยาวตัวขับสัญญาณ (Driven Element) โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\lambda = \frac{V}{f} \quad (3-1)$$

โดยที่

$\lambda$  = ความยาวคลื่นหน่วยเป็นเมตร

$V$  = ความเร็วแสง (ประมาณ  $3 \times 10^8$  เมตร/วินาที)

$f$  = ความถี่ที่ใช้งานหน่วยเป็นเฮิร์ต

โดยความถี่ที่กำหนดในการออกแบบอยู่ 479.25 MHz เมื่อทำการคำนวณความยาวคลื่นแล้วได้ความยาวคลื่นเท่ากับ 62.60 เซ็นติเมตร โดยจะทำการออกแบบสายอากาศที่มีความยาวตัวขับสัญญาณ  $\lambda/2$  ที่ความยาวเท่ากับ 31.30 เซ็นติเมตร เนื่องจากตัวขับสัญญาณที่ต้องการออกแบบมีความโค้งจึงต้องทำการคำนวณหาความยาวของรัศมีที่เหมาะสมจากสมการ

$$L = 2\pi R \quad (3-2)$$

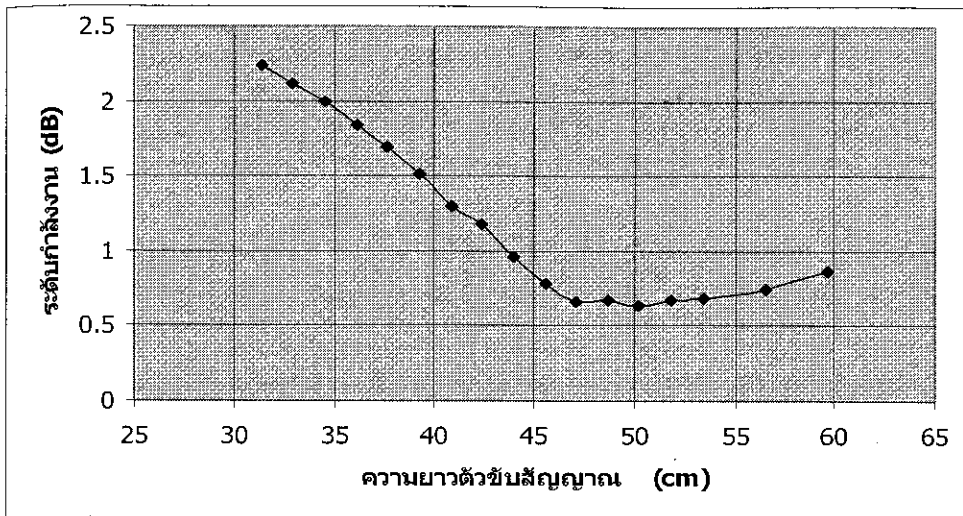
โดยที่

$L$  = ความยาวของตัวขั้วสัญญาณหน่วยเป็นเซ็นติเมตร

$R$  = รัศมีหน่วยเซ็นติเมตร

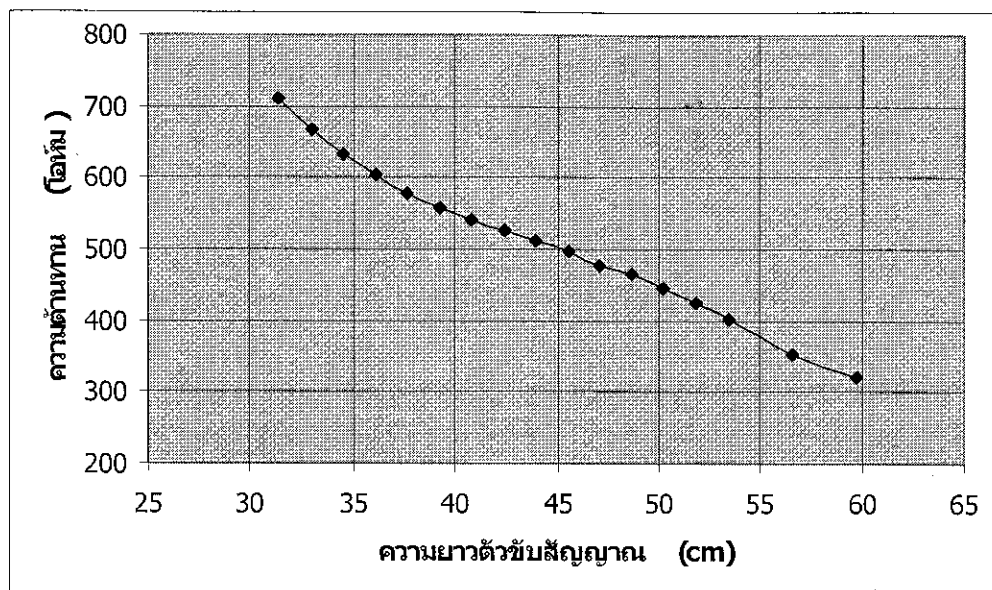
$\pi = 3.14$

โดยที่ต้องการขนาดของวงกลมที่ความยาวทั้งวงเท่ากับหรือใกล้เคียงความยาวคลื่นมากที่สุด จากการคำนวณได้รัศมีที่มีความยาวเท่ากับ 10 เซ็นติเมตร ซึ่งเส้นรอบวงจะได้ความยาวเท่ากับ ความยาวคลื่นพอดี และเมื่อทำการตัดครึ่งวงกลมจะได้ความยาวครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นพอดี โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยแต่ละส่วนจะมีความยาวเท่ากับ 31.30 เซ็นติเมตร เพื่อใช้ทำเป็นตัวขั้วสัญญาณกับตัวซีทิส และทำการลัดวงจรสายอากาศที่ต้องการจะทำการลัดวงจรที่ปลายของตัวขั้วสัญญาณเข้ากับตัวสะท้อนสัญญาณ เนื่องจากเราไม่ทราบความยาวของตัวสะท้อนสัญญาณจึงทำการกำหนดให้มีความยาวที่มากกว่ากว่าความยาวตัวขั้วสัญญาณพอสมควร เพื่อว่าอาจมีการลดขนาดความยาวในขั้นต่อไปได้ กำหนดให้ความยาวของตัวสะท้อนเท่ากับ 40 เซ็นติเมตร จากหลักการของสายอากาศความยาวของตัวขั้วสัญญาณนั้นกำหนดให้เป็นสายอากาศเชิงอุดมคติ คือเป็นเส้นลวดโลหะมีขนาดเล็กมากหรือรัศมีของเส้นลวดโลหะมีค่าน้อยมาก ดังนั้นจากการที่ทำการออกแบบโดยใช้ท่อทองแดงที่มีขนาดรัศมี 1 เซ็นติเมตร จึงต้องทำการหาความยาวของท่อทองแดงที่มีปริมาณพื้นที่เท่ากับเส้นลวดโลหะเชิงอุดมคติ จึงต้องลดขนาดของความยาวของท่อทองแดงที่ใช้ทำตัวขั้วสัญญาณที่ทำให้มีค่าอัตราขยายสูงสุดและกับมีค่ากระแสที่ปลายตัวขั้วสัญญาณ ใกล้เคียงศูนย์มากที่สุด และผลที่ได้มีดังนี้

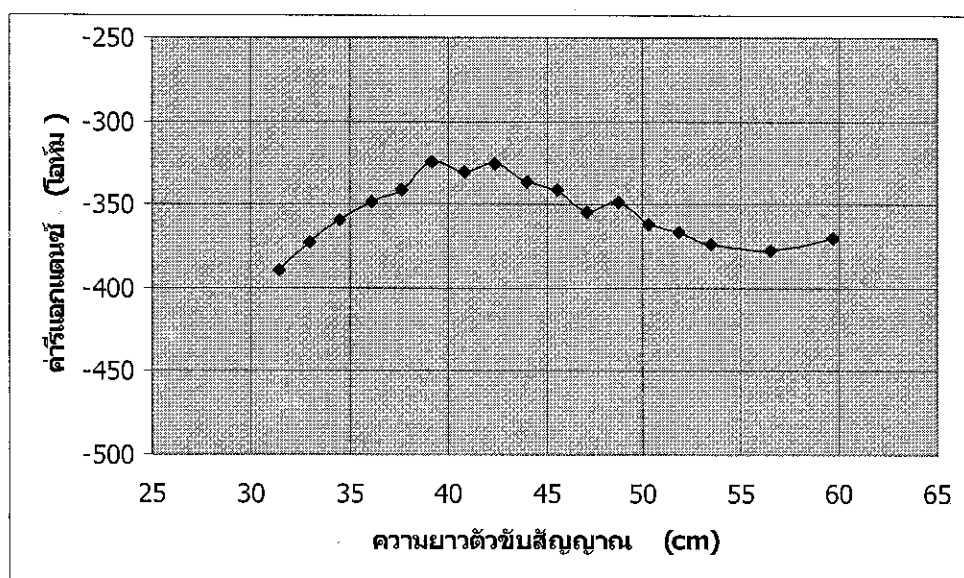


**รูปที่ 3.1** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวตัวขั้วสัญญาณกับระดับกำลังงานที่รับใน โหลบหลัก

จากกราฟ รูปที่ 3.1 เมื่อทำการลดความยาวของตัวขั้วสัญญาณลงเรื่อยๆ ค่าระดับกำลังงานที่รับได้ในโหลบหลักที่มากที่สุดอยู่ที่ความยาวประมาณ 31 เซ็นติเมตร ถึง 32 เซ็นติเมตร ซึ่งที่ความยาวช่วงนี้ค่ากระแสที่ปลายของตัวขั้วสัญญาณมีค่าประมาณ 0.15 แอมป์ ถึง 0.90 แอมป์ ซึ่งเข้าใกล้ศูนย์มากที่สุด อัตราขยายที่สูงและกระแสที่ปลายที่ใกล้เคียงศูนย์ยังบอกให้เราทราบว่าที่ความยาวนี้เป็นค่าที่มีปริมาณพื้นที่ใกล้เคียงเส้นลวด โลหะเชิงอุดมคติมากที่สุดด้วย นอกจากค่าระดับกำลังงานที่รับได้ในโหลบหลักแล้วยังต้องมีการพิจารณาถึงค่า อิมพีแดนซ์ (Impedance) กับค่าความกว้างลำคลื่น (Beamwidth) ที่มีความสัมพันธ์กับความยาวของตัวขั้วสัญญาณ โดยค่าที่ได้แสดงดัง รูปที่ 3.2 และ รูปที่ 3.3 ตามลำดับ

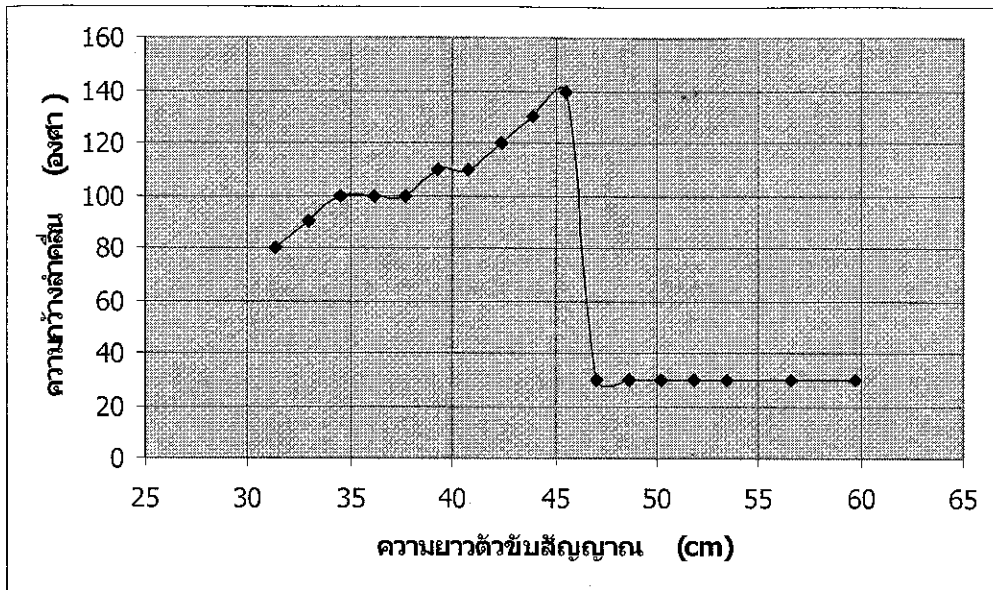


รูปที่ 3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวลำต้นกับจำนวนโหนด



รูปที่ 3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวลำต้นกับค่ารีแอกแตนต์

จากกราฟ รูปที่ 3.2 และ รูปที่ 3.3 เมื่อทำการพิจารณาความยาวของลำต้นที่พิจารณาจากค่าระดับกำลังงานที่รับได้ในโพลหลักก็จะทำให้ทราบค่าความดันทางที่ความยาวลำต้นนั้นๆทำให้เราทราบค่าความดันทางที่เหมาะสมได้โดยในขั้นตอนนี้ยังไม่ได้เน้นการพิจารณาค่าอิมพีแดนซ์ว่าต้องเท่ากับ 50 โอห์มหรือไม่



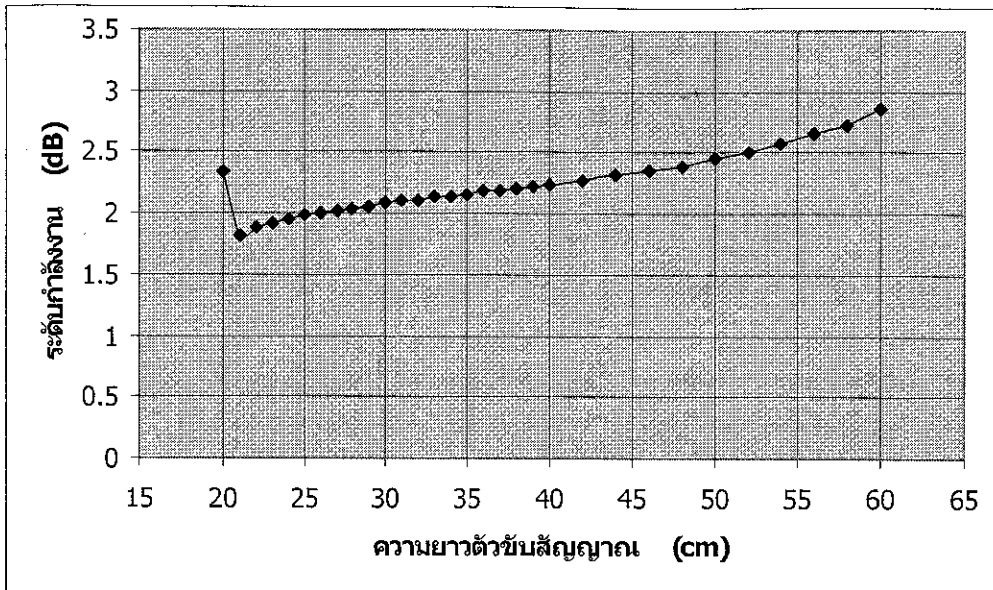
รูปที่ 3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวตัวขั้วสัญญาณกับความกว้างลำคลื่น

จากกราฟ รูปที่ 3.4 แสดงถึงความยาวของตัวขั้วสัญญาณที่มีผลต่อความกว้างลำคลื่น การพิจารณาในขั้นตอนนี้จะพิจารณาที่ความกว้างลำคลื่นกว้างๆ เพราะให้สามารถรับส่งสัญญาณได้ในมุมกว้างขึ้น เมื่อทำการพิจารณาค่าที่ได้ทั้งหมดรวมกันเพื่อพิจารณาค่าที่มีความเหมาะสมที่สุดและสอดคล้องกับความต้องการ ทำให้เราได้ค่าความยาวของตัวขั้วสัญญาณที่มีความยาว 31.42 เซนติเมตร ที่มีความเหมาะสมที่สุด โดยมีระดับกำลังงานที่รับได้ในโพลหลักเท่ากับ 2.4 dB กับมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ 712-j390 โอห์ม และความกว้างลำคลื่นเท่ากับ 80 องศา และมีกระแสที่ปลายน้อยที่สุด จากการพิจารณานั้นเน้นที่ค่าระดับกำลังงานที่รับได้ในโพลหลักซึ่งมีค่าที่สูงพอสมควรกับค่ากระแสที่ปลายตัวขั้วสัญญาณซึ่งมีค่าน้อยที่สุดและความกว้างลำคลื่นซึ่งมีความกว้างที่ไม่กว้างหรือแคบเกินไป

### 3.1.2 ทำการปรับค่าความยาวตัวสะท้อนสัญญาณ

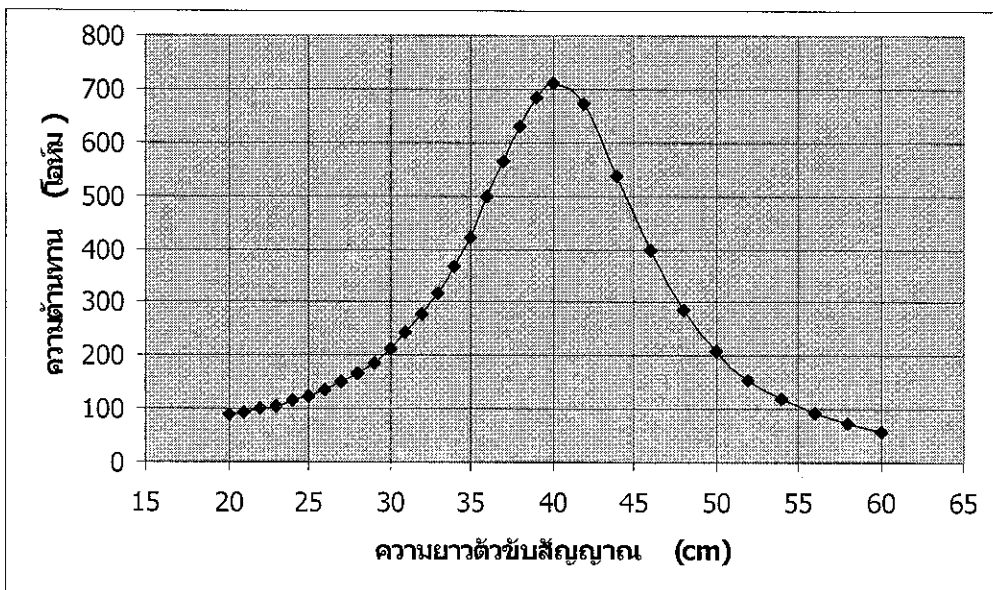
หลังจากที่ได้ค่าความยาวของตัวขั้วสัญญาณแล้วต้องทำการหาค่าความยาวตัวสะท้อนที่เหมาะสมกับความยาวของตัวขั้วสัญญาณที่เปลี่ยนไป โดยเราจะทำการปรับลดความยาวของตัวสะท้อนสัญญาณ โดยค่าที่ได้มีค่านี้อยู่



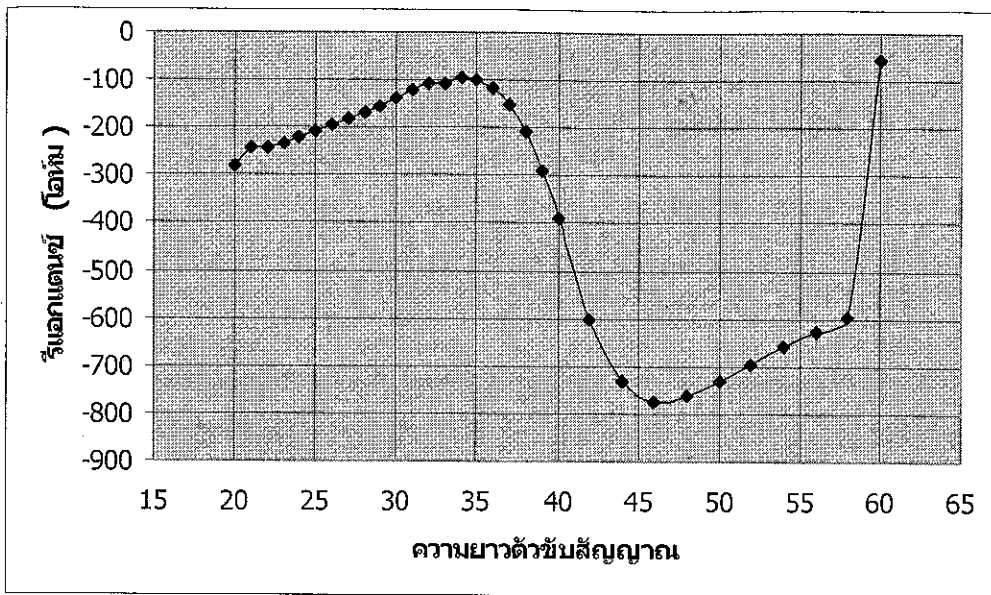


รูปที่ 3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวตัวขั้วสัญญาณกับระดับกำลังงานที่รับได้ในโหลปหลัก

กราฟ รูปที่ 3.5 แสดงให้เห็นถึงความยาวของตัวสะท้อนที่ยาวขึ้นทำให้ระดับกำลังงานที่รับได้ในโหลปหลักเพิ่มมากขึ้นแต่นำไปพิจารณาพร้อมกับค่าความกว้างลำคลื่นด้วย ช่วงที่เหมาะสมอยู่ที่ 30 เซนติเมตร อยู่ที่ค่า 2.08 dB เป็นต้นไป

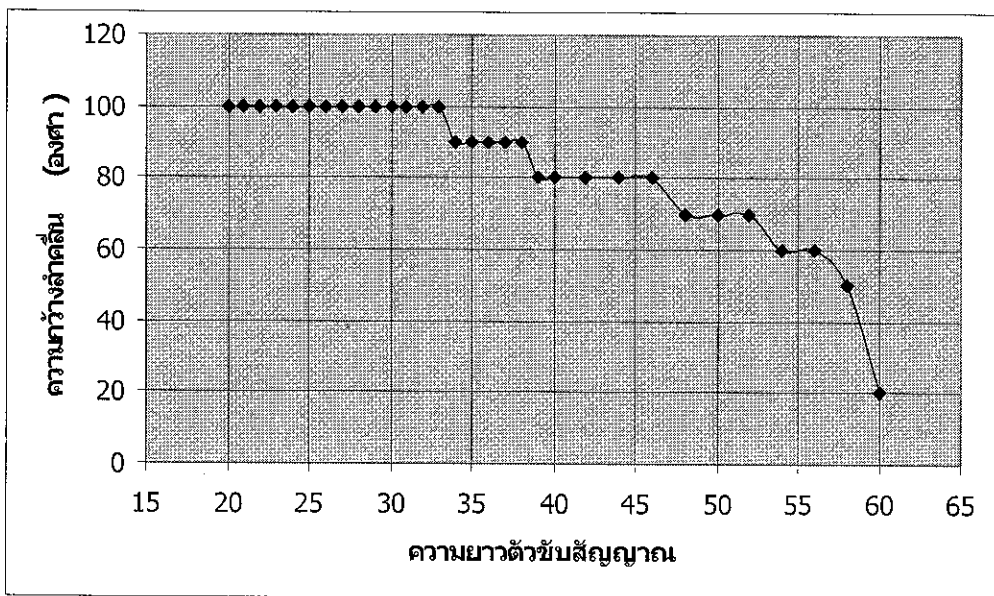


รูปที่ 3.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวตัวขั้วสัญญาณกับความต้านทาน



รูปที่ 3.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวตัวขั้วสัญญาณกับค่ารีแอกแตนซ์

จาก รูปที่ 3.6 และ รูปที่ 3.7 ค่าอิมพีแดนซ์ในขั้นตอนนี้จะเลือกค่าที่สามารถทำการแมตช์ได้ง่าย คือเป็นจำนวนเต็มเท่าของ 50 โอห์ม ช่วงที่เหมาะสมอยู่ที่ 32 เซ็นติเมตร ถึง 34 เซ็นติเมตร อยู่ที่ค่า 277-j110 โอห์ม ถึง 366-j96 โอห์ม

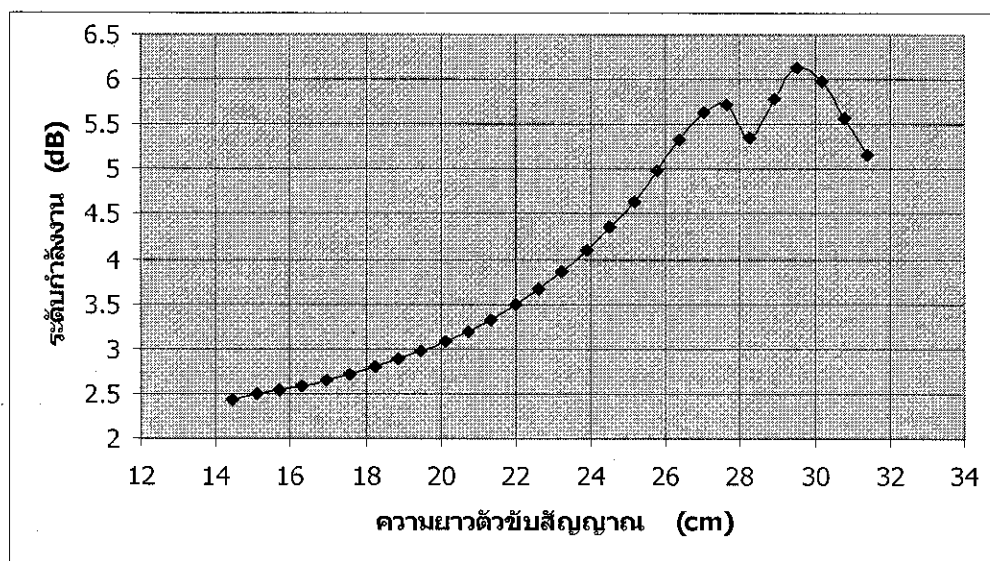


รูปที่ 3.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวตัวขั้วสัญญาณกับความกว้างลำคลื่น

จากรูปที่ 3.8 จะพิจารณาถึงความกว้างของลำคลื่นที่มีความกว้างมากๆ ไว้ก่อน ช่วงที่เหมาะสมอยู่ที่ 20 เซนติเมตร ถึง 33 เซนติเมตร อยู่ที่ค่า 100 องศา. การข้อมูลทั้งหมดสามารถนำมาพิจารณาหาความยาวของตัวสะท้อนสัญญาณที่เหมาะสมที่สุดได้ โดยเริ่มพิจารณาจากช่วงความถี่ที่เข้าใกล้จำนวนเต็มเท่าของ 50 โอห์ม เช่น 100,150,200,250,300 โอห์ม เป็นต้น(สำหรับการแมตซ์จะได้กล่าวในขั้นตอนการแมตซ์ต่อไป)แล้วพิจารณาช่วงความถี่ต่างๆที่มีระดับกำลังงานที่รับได้ในโพลหลักสูงและที่ระดับกำลังงานที่รับได้ในโพลหลักนั้นต้องมีความกว้างลำคลื่นเหมาะสม เมื่อพิจารณาตามขั้นตอนทั้งหมดแล้วความยาวที่ได้เท่ากับ 33.00 เซนติเมตร โดยที่ความยาวนี้มีค่าระดับกำลังงานที่รับได้ในโพลหลักเท่ากับ 2.13 dB กับมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ  $318 - j110$  โอห์ม และมีความกว้างสัญญาณเท่ากับ 100 องศา

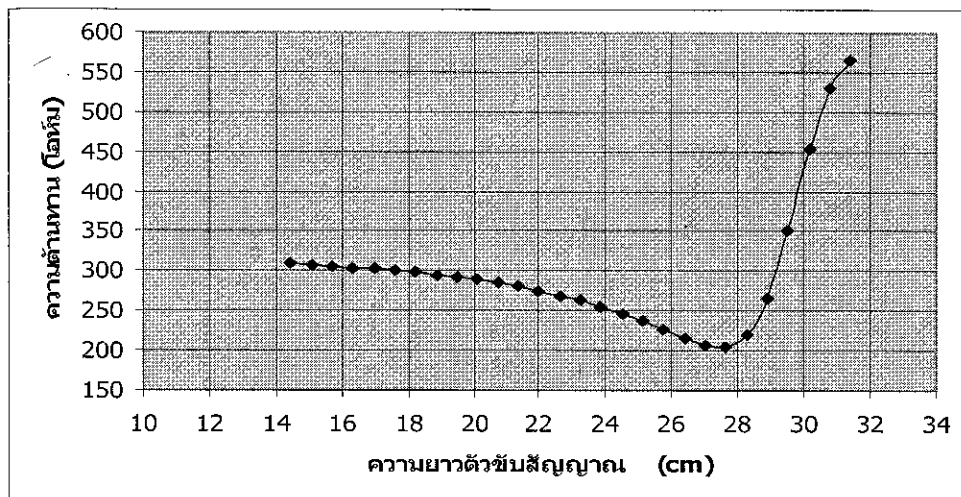
### 3.1.3 ทำการปรับค่าความยาวตัวชี้ทิศ

หลังจากที่ได้ความยาวของทั้งตัวขับสัญญาณและตัวสะท้อนสัญญาณแล้ว ในขั้นนี้จะทำการจะทำการหาความยาวของตัวชี้ทิศโดยทำการกำหนดค่าระยะห่างระหว่างตัวขับสัญญาณกับตัวชี้ทิศไว้ที่ 10 เซนติเมตร โดยจะทำการปรับเพิ่มลดระยะห่างในภายหลัง แล้วจะทำการหาความยาวของตัวชี้ทิศที่เหมาะสม โดยทำการปรับลดค่าความยาวของตัวชี้ทิศ โดยค่าที่ได้สามารถแสดงเป็นกราฟได้ดัง รูปที่ 3.9

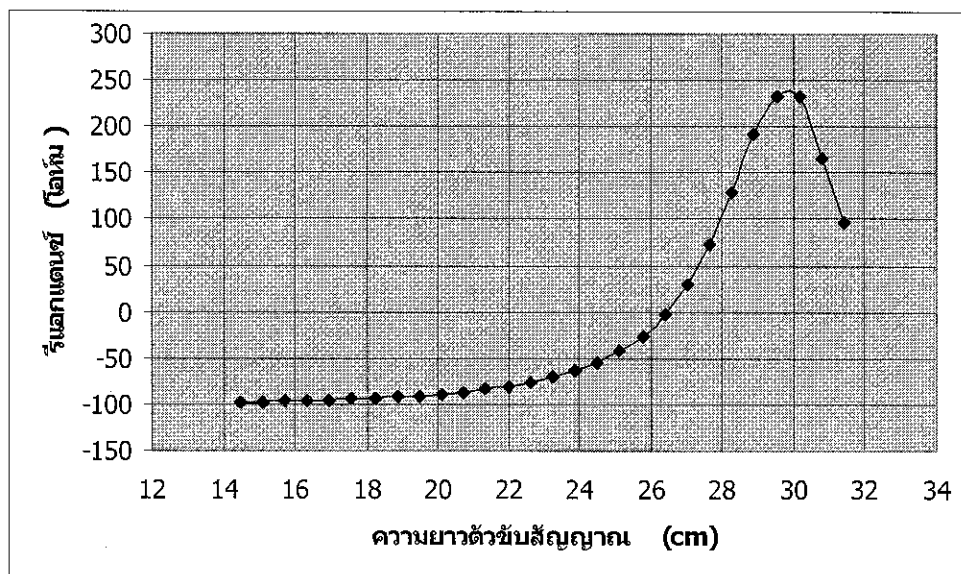


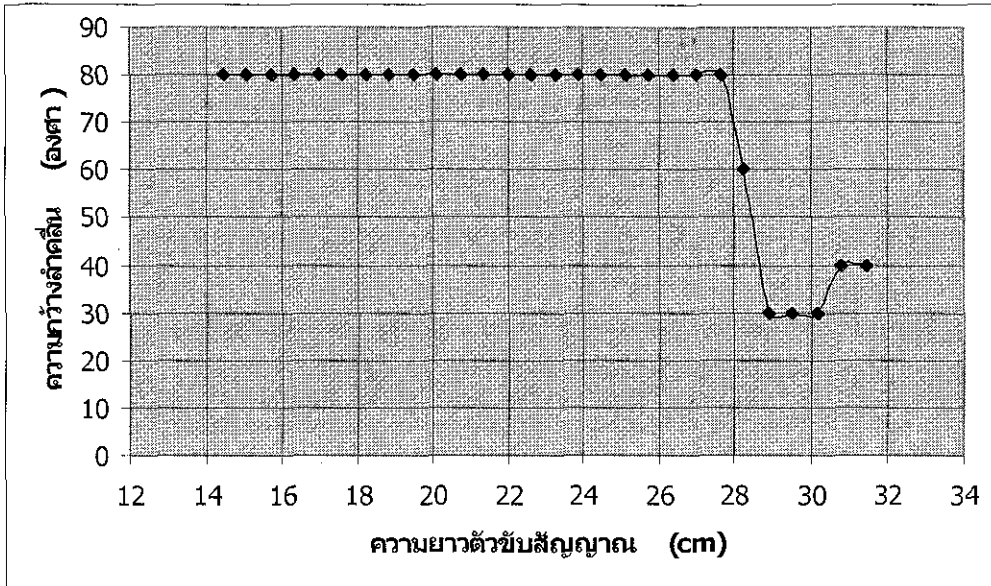
รูปที่ 3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวตัวขับสัญญาณกับระดับกำลังงานที่รับได้ในโพลหลัก

จาก รูปที่ 3.9 ระดับกำลังงานที่รับได้ในโพลพลักที่สูงอยู่ที่ช่วง 26 เซ็นติเมตร ถึง 31 เซ็นติเมตร อยู่ที่ค่า 5.33 dB ถึง 5.15 dB อย่างไรก็ตามจะต้องพิจารณาความกว้างค่าคลื่นประกอบกันด้วย



รูปที่ 3.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวตัวขั้วสัญญาณกับความต้านทาน



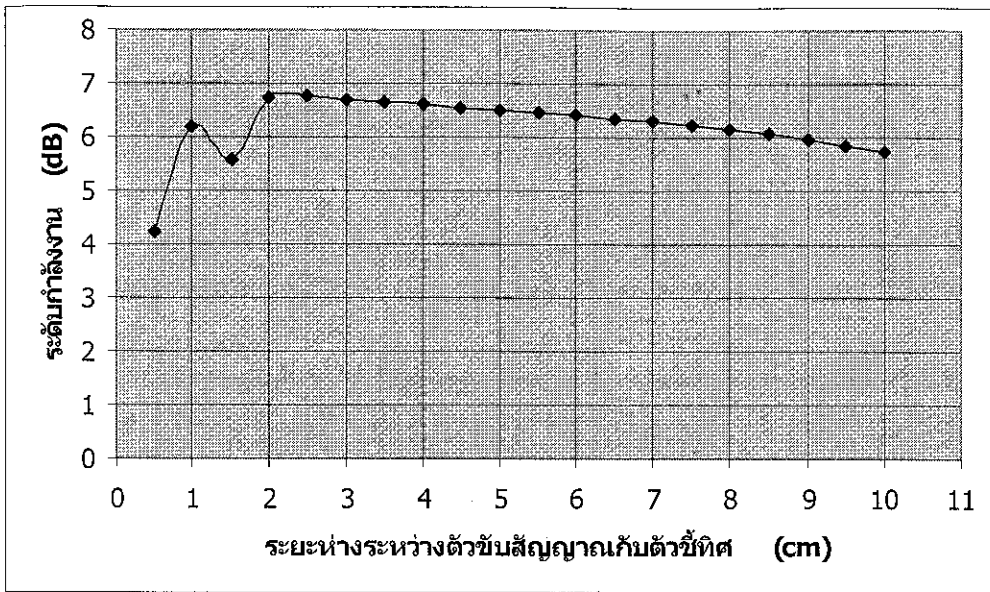


รูปที่ 3.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวตัวขั้วสัญญาณกับความกว้างลำคลื่น

จากรูปที่ 3.12 เมื่อพิจารณาร่วมกับอัตราขยายแล้วช่วงที่เหมาะสมอยู่ที่ 26 เซ็นติเมตร ถึง 28 เซ็นติเมตร อยู่ที่ค่า 80 องศา หลังจากทำการปรับลดค่าความยาวของตัวขั้วที่คืบเมื่อนำค่าที่ได้มาพิจารณาเพื่อหาความยาวที่เหมาะสมโดยทำการพิจารณาค่าระดับกำลังงานที่รับได้ในโพลหลักที่เหมาะสมกับมีความกว้างลำคลื่นที่เหมาะสมและมีอิมพีแดนซ์ที่เหมาะสมแล้วค่าความยาวของตัวขั้วที่คืบที่เหมาะสมที่สุดมีค่าเท่ากับ 27.65 เซ็นติเมตร โดยมีค่าระดับกำลังงานที่รับได้ในโพลหลักเท่ากับ 5.73 dB กับมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ  $205 - j73$  โอห์ม และมีความกว้างสัญญาณเท่ากับ 80 องศา

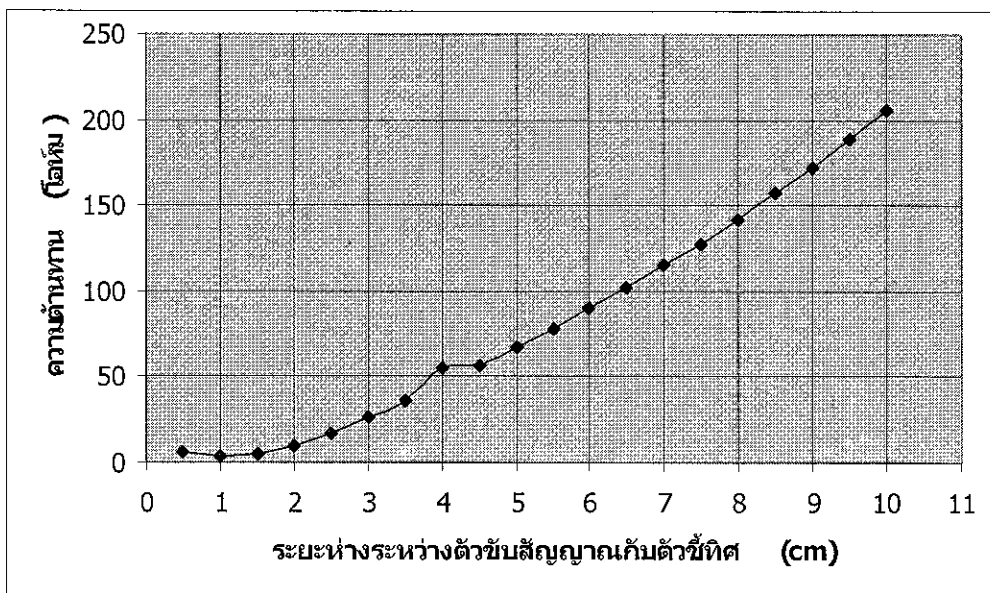
### 3.1.4 ทำการปรับลดค่าระยะห่างระหว่างตัวขั้วสัญญาณกับตัวขั้วที่คืบ

เมื่อได้ค่าความยาวของตัวขั้วที่คืบแล้วจะทำการปรับระยะห่างระหว่างตัวขั้วสัญญาณกับตัวขั้วที่คืบ เพื่อทำการหาระยะห่างที่ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์มีค่าเข้าใกล้ 50 โอห์ม มากที่สุดเพื่อต่อการแมตช์โดยใช้บาลันต่อไป โดยค่าที่ได้มีดังนี้

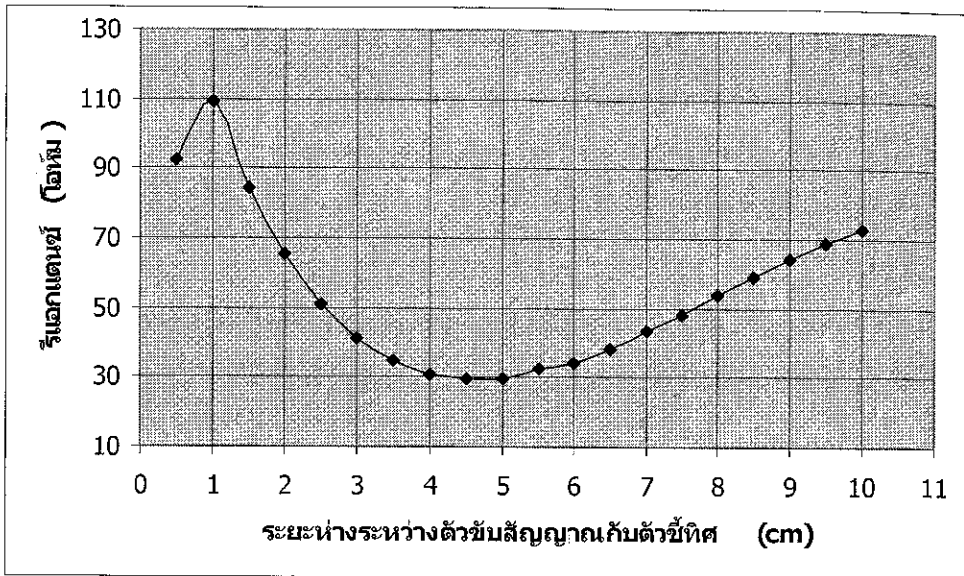


รูปที่ 3.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างตัวขั้วสัญญาณกับตัวชี้ทิศกับระดับกำลังงานที่รับได้ในโพลหลัก

จากรูปที่ 3.13 ระดับกำลังงานที่รับได้ในโพลหลักมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักเมื่อปรับระยะห่างระหว่างตัวขั้วสัญญาณกับตัวชี้ทิศ ช่วงที่เหมาะสมที่สุด 2 เซ็นติเมตร ถึง 8.5 เซ็นติเมตร อยู่ที่ค่า 6 dB ถึง 7 dB

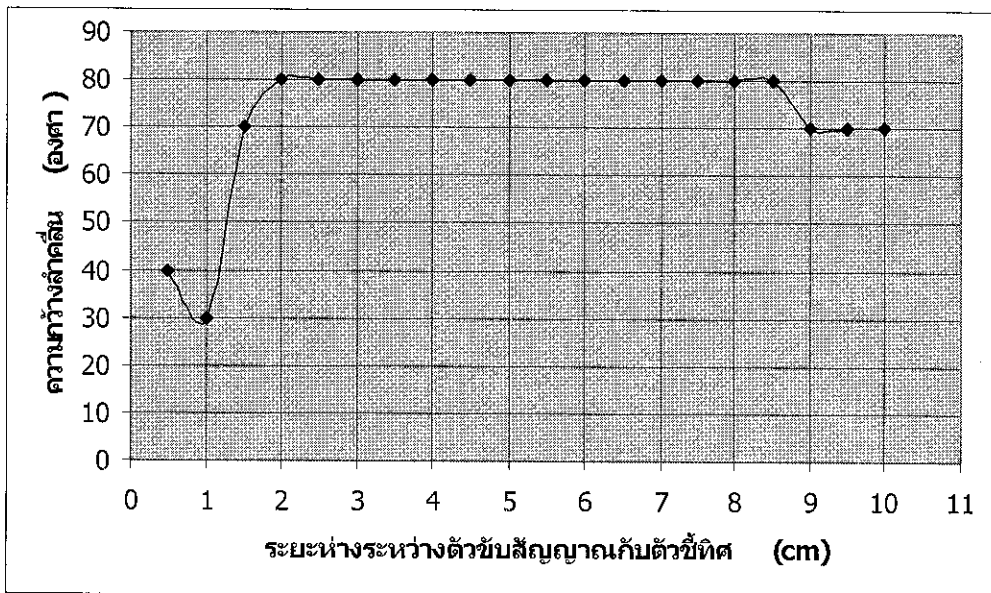


รูปที่ 3.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างตัวขั้วสัญญาณกับตัวชี้ทิศกับความต้านทาน



รูปที่ 3.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างตัวขั้วสัญญาณกับตัวชี้ทิศกับค่ารีแอกแตนซ์

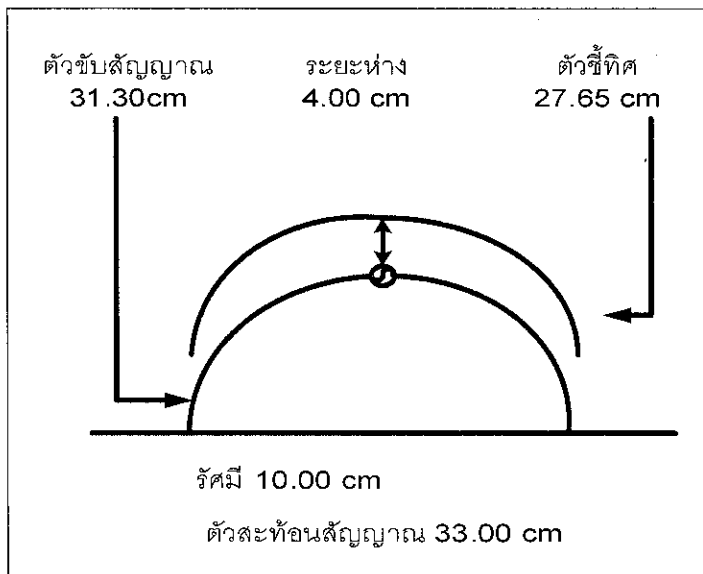
จากรูปที่ 3.14 และ รูปที่ 3.15 ช่วงที่ค่าอิมพีแดนซ์เข้าใกล้ 50 โอห์ม มากที่สุดอยู่ที่ช่วง 3.5 เซ็นติเมตร ถึง 4.5 เซ็นติเมตร โดยมีค่าอยู่ที่  $35.8 + j34.8$  โอห์ม ถึง  $56.2 + j29.5$  โอห์ม



รูปที่ 3.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างตัวขั้วสัญญาณกับตัวชี้ทิศกับความกว้างลำคลื่น

จาก รูปที่ 3.16 ช่วงความกว้างลำคลื่นที่เหมาะสมอยู่ที่ช่วง 2 เซ็นติเมตร ถึง 8.5 เซ็นติเมตร อยู่ที่ค่า 80 องศา หลังจากทำการปรับลดระยะห่างระหว่างตัวจับกับตัวชี้ทิศเพื่อหาค่าระยะห่างที่เหมาะสมที่สุดและเมื่อทำการพิจารณาถึงค่าอิมพีแดนซ์ที่ต้องการแล้วระยะห่างที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 4 เซ็นติเมตร โดยมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ  $54.8 + j31.0$  โอห์ม ระดับกำลังงานที่รับได้ในโพลหลักเท่ากับ 6.60 dB และมีความกว้างสัญญาณเท่ากับ 80 องศา ซึ่งจากค่าอิมพีแดนซ์ที่ได้จะนำไปทำการแมตช์แบบบาลัน โดยแมตช์แบบ 1:1 ในขั้นต่อไป

การออกแบบสายอากาศความยาวของทุกตัวเท่ากับขนาดที่ออกแบบไว้ คือความยาวของตัวจับสัญญาณเท่ากับ 31.42 เซ็นติเมตร ( $0.5\lambda$ ) ความยาวของตัวสะท้อนสัญญาณเท่ากับ 33.00 เซ็นติเมตร ( $0.53\lambda$ ) ความยาวของตัวชี้ทิศเท่ากับ 27.65 เซ็นติเมตร ( $0.44\lambda$ ) ระยะห่างระหว่างตัวจับสัญญาณกับตัวชี้ทิศเท่ากับ 4.00 เซ็นติเมตร ( $0.06\lambda$ ) ดัง รูปที่ 3.17



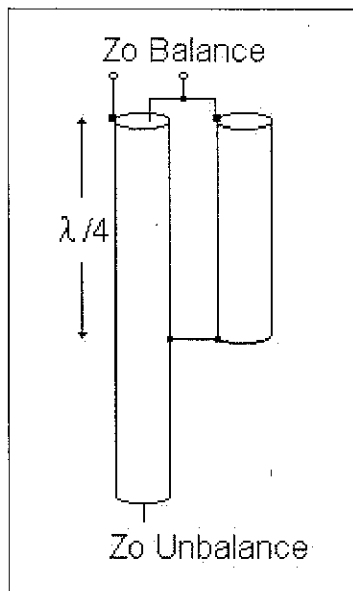
รูปที่ 3.17 โครงสร้างสายอากาศ

### 3.1.5 การแมตช์สายอากาศแบบบาลัน (Balun - Matching)

การแมตช์มีหลายแบบเช่นการแมตช์แบบสตับ (Stub - Matching) การแมตช์แบบที (T - Match) แมตช์แกมมา (Gamma - Match) แต่ในที่นี้จะใช้การแมตช์แบบบาลันซึ่งบาลันทำหน้าที่ในการแปลงสายนำสัญญาณแบบสมดุลย์ (Balance) เป็นสัญญาณแบบไม่สมดุลย์ (Unbalance) ในที่นี้จะทำการแปลงสายอากาศไดโพลที่เป็นแบบสมดุลย์ ให้สามารถเข้ากับสายนำสัญญาณที่เป็นแบบไม่สมดุลย์ ถ้าไม่ทำการแปลงจากสายอากาศไดโพลโดยบาลันแล้วจะทำให้กระแสที่ตัวจับสัญญาณ



ไม่เท่ากัน การทำงานของบาลันคือการทำให้กระแสที่ด้านนอกของส่วนที่เป็นชิลด์ (Shield) ของสายนำสัญญาณหมดไปทำให้ทำงานแบบสมดุลย์ โดยที่กระแสที่ตัวบาลันจะมี (Magnitude) เท่ากันกับกระแสที่ด้านนอกของส่วนที่เป็นชิลด์ (Shield) ของสายนำสัญญาณแต่มีเฟสตรงข้ามกันทำให้หักล้างกันพอดี ทำให้กระแสที่ด้านนอกของส่วนที่เป็นชิลด์ (Shield) ของสายนำสัญญาณหมดไป



รูปที่ 3.18 บาลันแบบควอเตอร์เวฟโคแอกเซียล 1:1

จากรูปที่ความยาวของบาลัน  $\lambda/4$  ต้องทำการคูณความยาวของบาลันด้วยค่าคุณลักษณะของสายในที่นี่ใช้สายโฟมคูณด้วย 0.79 ความยาวทั้งหมดจึงเท่ากับ

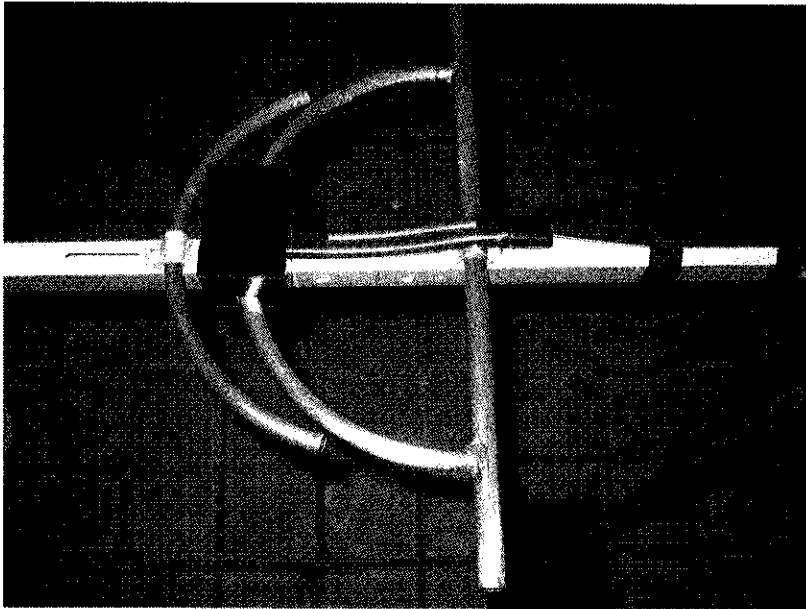
$$\text{ความยาวบาลัน} = \left(\frac{\lambda}{4}\right) \times 0.79 \quad (3-3)$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้} &= \left(\frac{62.60}{4}\right) \times 0.79 \\ &= 12.36 \text{ เซ็นติเมตร} \end{aligned}$$

### 3.2 ขั้นตอนการสร้างสายอากาศ

การสร้างสายอากาศจะใช้ท่อทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1 เซ็นติเมตร มีความยาวเท่ากับ 62.60 เซ็นติเมตร แล้วนำมาตัด โค้งการคำนวณ ได้รัศมีที่มีความยาวเท่ากับ 10 เซ็นติเมตร และเมื่อทำการตัดครึ่งวงกลมจะได้ความยาวเท่ากับความยาวคลื่นพอดีโดยแบ่งลวดทองแดงออกเป็น 2 ส่วนโดยแต่ละส่วนจะมีความยาวเท่ากับ 31.30 เซ็นติเมตร เพื่อใช้ทำเป็นตัวขับสัญญาณกับตัวซีทิส และท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1.20 เซ็นติเมตร ความยาวเท่ากับ 33.00 เซ็นติเมตร เพื่อใช้ทำตัวสะท้อนสัญญาณ คัดความยาวของทุกตัวเท่ากับขนาดที่ออกแบบไว้ คือ

ความยาวของตัวขั้วสัญญาณเท่ากับ 31.30 เซ็นติเมตร ( $0.5\lambda$ ) ความยาวของตัวสะท้อนสัญญาณเท่ากับ 33.00 เซ็นติเมตร ( $0.53\lambda$ ) ความยาวของตัวชี้ทิศเท่ากับ 25.50 เซ็นติเมตร ( $0.41\lambda$ ) ต่างจากการออกแบบไว้ที่ความยาว 27.65 เซ็นติเมตร เท่ากับ 7.77 เปอร์เซ็น ระยะห่างระหว่างตัวขั้วสัญญาณกับตัวชี้ทิศเท่ากับ 4.00 เซ็นติเมตร ( $0.06\lambda$ ) ดังรูปที่ 3.19

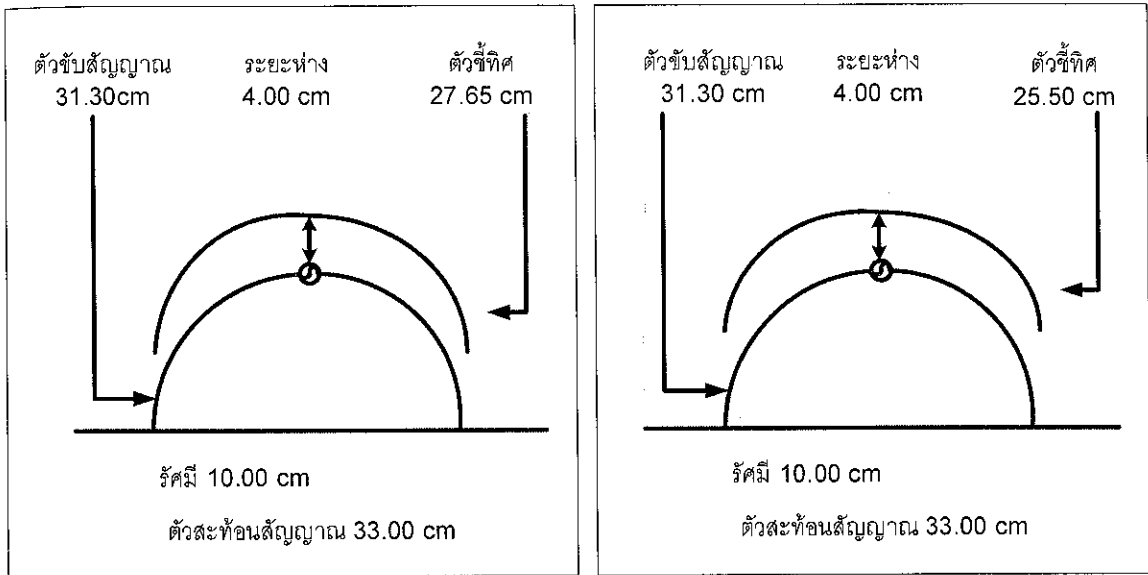


รูปที่ 3.19 โครงสร้างสายอากาศที่สร้างเสร็จแล้ว

จากนั้นทำการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ กับเครื่องมือวิเคราะห์โครงสร้าง (Network Analyzer)

### 3.3 สรุป

จากการใช้โปรแกรม Super NEC ในการออกแบบกับการสร้างสายอากาศโดยการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ กับเครื่องมือวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) เพื่อหาความยาวของแต่ละอิลิเมนต์ ระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์ที่ทำให้ได้ความกว้างของลำคลื่นที่กว้างและมีระดับกำลังงานที่รับได้ในโพลหลักที่เหมาะสมมีความแตกต่างกันเพียงความยาวของตัวชี้ทิศเท่านั้น สามารถเปรียบเทียบกันได้ดังรูปที่ 3.20



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.20 แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบด้วย Super NEC กับการสร้าง

สายอากาศโดยการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ กับเครื่องมือวิเคราะห์โครงข่าย

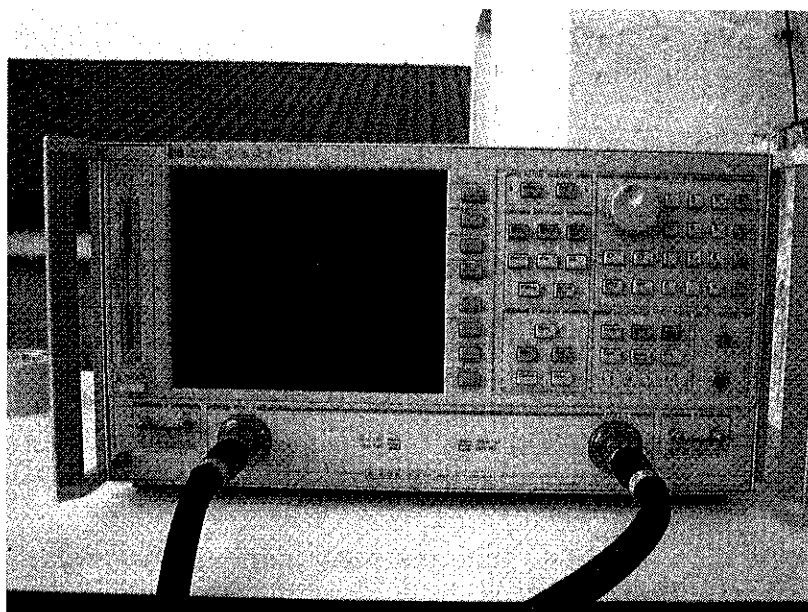
(ก) ออกแบบด้วย Super NEC

(ข) การสร้างสายอากาศโดยการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ กับเครื่องมือวิเคราะห์โครงข่าย

## บทที่ 4

### สรุปผลการทดลองและเปรียบเทียบผลการทดลองกับการออกแบบ

หลังจากได้สร้างสายอากาศต้นแบบดังแสดงในบทที่ 3 แล้วในบทนี้จะกล่าวถึงการนำสายอากาศมาวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆและนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป Super NEC เพื่อหาค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างผลที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป Super NEC และผลที่วัดได้ด้วยเครื่องมือวัด โดยการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆจะใช้เครื่องมือวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) ยี่ห้อ Hewlett Packard รุ่น 8722D ในการวัด ดังแสดงในรูปที่ 4.1



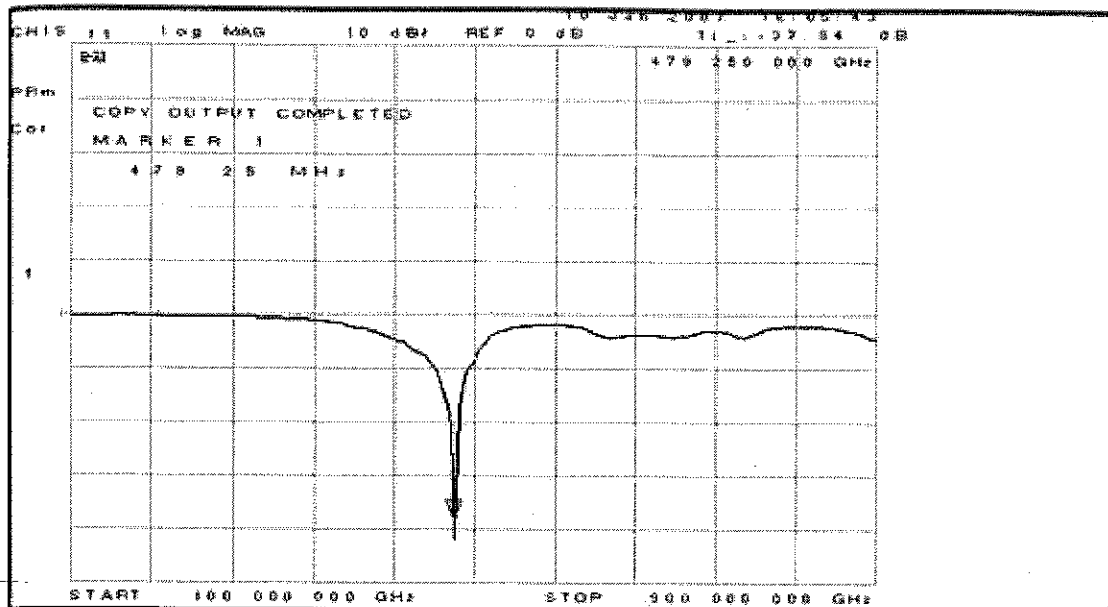
รูปที่ 4.1 เครื่องมือวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer)

#### 4.1 ขั้นตอนการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศไดโพลโค้ง 3 อีลิเมนต์

##### 4.1.1 ขั้นตอนการวัดค่า $S_{11}$ ของสายอากาศไดโพลโค้ง 3 อีลิเมนต์

ทำการ Calibrate เครื่องมือวิเคราะห์โครงข่าย ที่ความถี่ตั้งแต่ 100 MHz ถึง 900 MHz เลือกคำสั่ง Save เพื่อจะได้ไม่ต้องทำ Calibrate เครื่องใหม่ เมื่อต้องการใช้งานภายหลังต่อสายอากาศไดโพลตรง 3 อีลิเมนต์เข้าที่ Port 1 ของเครื่องมือวิเคราะห์โครงข่าย ทำการวัด  $S_{11}$  เลือก Format แบบ

Log Mag ผลการวัดค่า  $S_{11}$  ของ สายอากาศไดโพลโค้ง 3 อีลิเมนต์ ดังรูปที่ 4.2

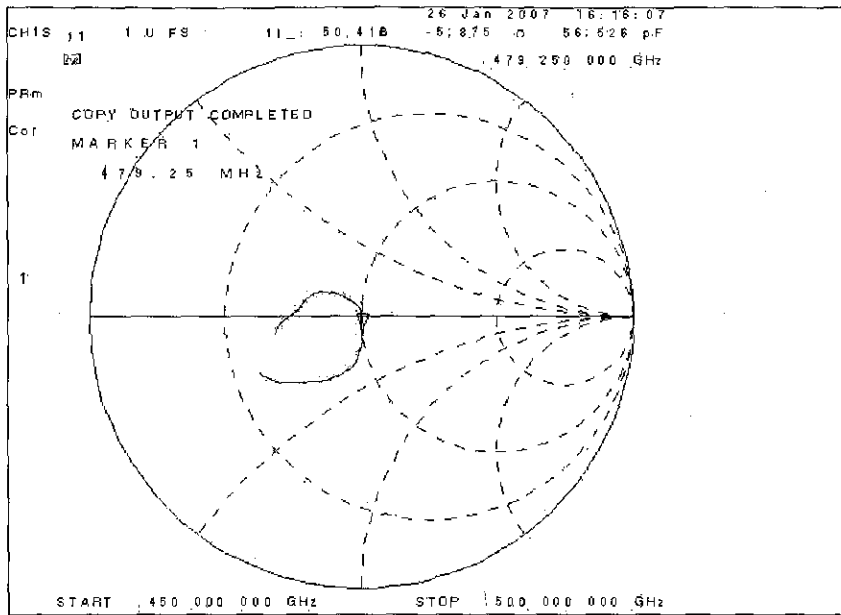


รูปที่ 4.2 ค่า  $S_{11}$  ของสายอากาศไดโพลโค้ง 3 อีลิเมนต์

จากรูปที่ 4.2 เป็นการวัดค่า  $S_{11}$  โดยที่ความถี่ 479.25 MHz มีค่าเท่ากับ -37.04 dB การวัดในลักษณะนี้คือการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (Reflection Coefficient) ของสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวนถ้าค่า  $S_{11}$  ต่ำสุดก็แสดงว่าช่วงความถี่นั้นสามารถส่งและรับสัญญาณได้ดี สัญญาณที่จะสามารถนำไปใช้งานได้ต้องมีค่า  $S_{11}$  ต่ำกว่า -15 dB เป็นต้นไป

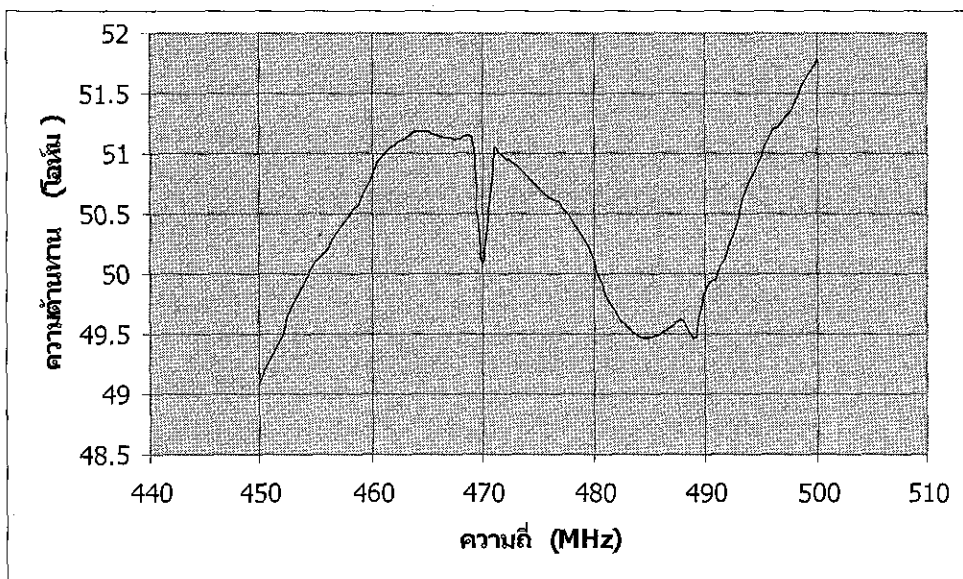
#### 4.1.2 ขั้นตอนการวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไดโพลโค้ง 3 อีลิเมนต์

ทำการ Calibrate เครื่องมือวิเคราะห์โครงข่ายที่ความถี่ตั้งแต่ 450 MHz ถึง 500 MHz เลือก Format แบบ Smith Chart ผลการวัดค่าอิมพีแดนซ์ สายอากาศไดโพลโค้ง 3 อีลิเมนต์ ดังรูปที่ 4.3

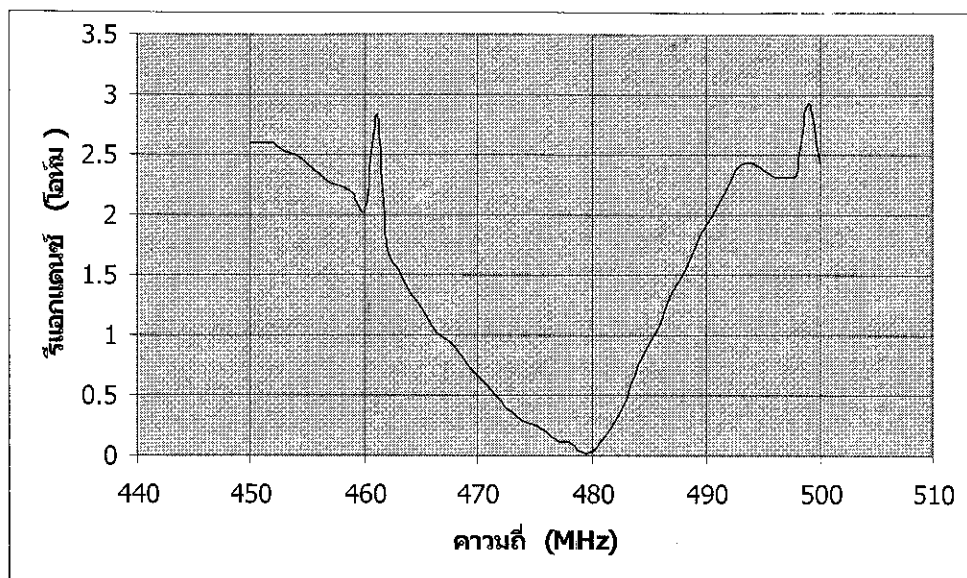


รูปที่ 4.3 Smith chart ของสายอากาศไดโพลโค้ง 3 อีลิเมนต์

จากรูปที่ 4.3 ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไดโพลโค้ง 3 อีลิเมนต์ที่ผ่านการแมตช์แล้วมีค่าประมาณ  $50.41 - j5.87 \Omega$  ซึ่งสามารถใช้ได้กับสายนำสัญญาณ 50 โอห์ม ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเท่ากับ 0.004 และค่า SWR มีค่าเท่ากับ 1 : 1.008 โดยค่าอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ต่างๆสามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 4.4 และ รูปที่ 4.5 ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับความถี่



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคาร์รีแอกแตนซ์กับความถี่

จากรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าที่ความถี่ 479.25 MHz ค่าอิมพีแดนซ์จะมีค่าเข้าใกล้ 50 โอห์ม อันเนื่องมาจากการแมตช์แบบบาลันนั่นเอง

#### 4.1.3 การวัดความกว้างแถบของสายอากาศไดโพลโค้ง 3 อีลิเมนต์

ความกว้างแถบของสายอากาศ หมายถึงช่วงความถี่ที่สายอากาศสามารถทำงานได้ดี โดยสายอากาศจะพิจารณาความกว้างแถบของสายอากาศอยู่ที่ -10 dB ในโหมดของ LOG MAG

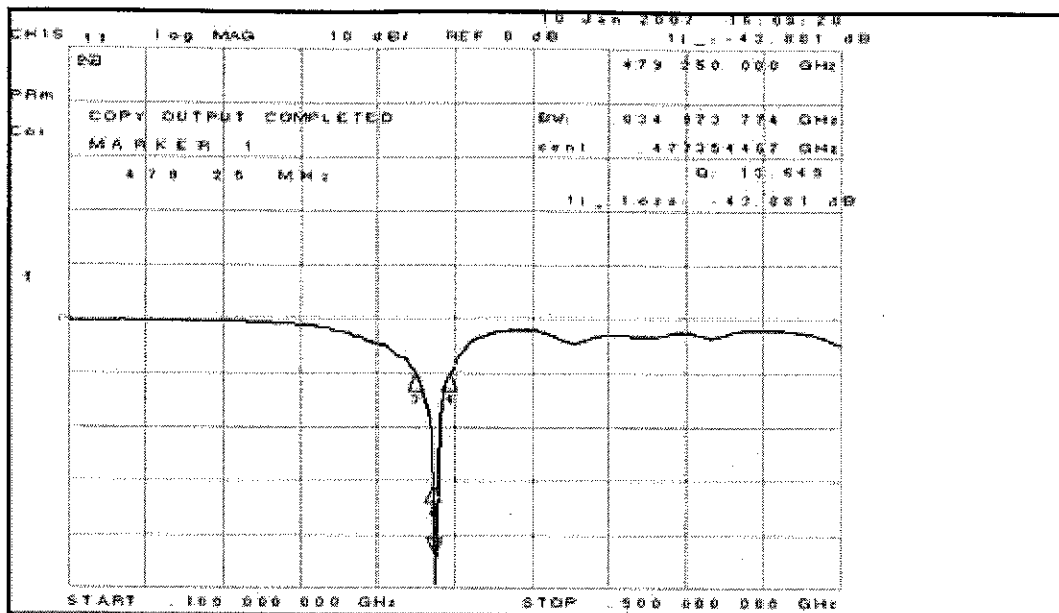
เลือกคำสั่ง Format และเลือก LOG MAG

เลือกคำสั่ง Marker Fctn และเลือก MKR SEARCH [OFF]

เลือก WIDTH VALUE เพื่อป้อน -10 dB

เลือก WIDTH ON เพื่อดูค่า

ผลการวัดความกว้างแถบสายอากาศไดโพลโค้ง 3 อีลิเมนต์ ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ความกว้างแถบของสายอากาศไดโพลโค้ง 3 อีลิเมนต์

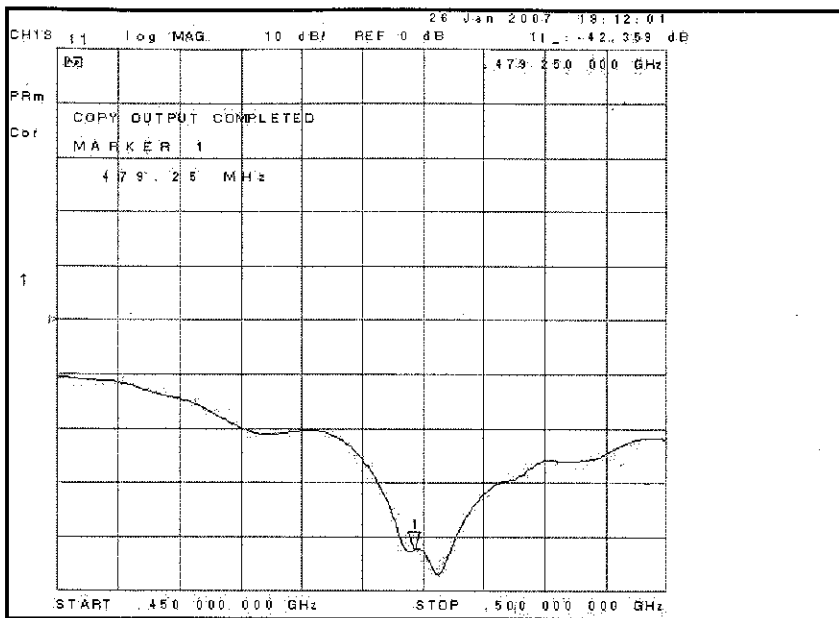
จาก รูปที่ 4.6 ความกว้างแถบของสายอากาศไดโพลโค้ง 3 อีลิเมนต์มีค่าเท่ากับ 34.97 MHz โดยจุดศูนย์กลางอยู่ที่ 477.35 MHz ความกว้างความถี่ของสายอากาศแสดงถึงช่วงความถี่ที่สามารถใช้งานได้คือช่วงความถี่ที่อยู่ในช่วงที่สายอากาศรับและส่งสัญญาณได้

## 4.2 ขั้นตอนการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศไดโพลตรง 3 อีลิเมนต์

### 4.2.1 ขั้นตอนการวัดค่า $S_{11}$ ของสายอากาศไดโพลตรง 3 อีลิเมนต์

ทำการ Calibrate เครื่องมือวิเคราะห์โครงข่ายที่ความถี่ตั้งแต่ 450 MHz ถึง 500 MHz แล้ว ทำเหมือนขั้นตอนที่ 4.1.1 ผลการวัดค่า  $S_{11}$  ของ สายอากาศไดโพลตรง 3 อีลิเมนต์ ดังรูปที่ 4.7



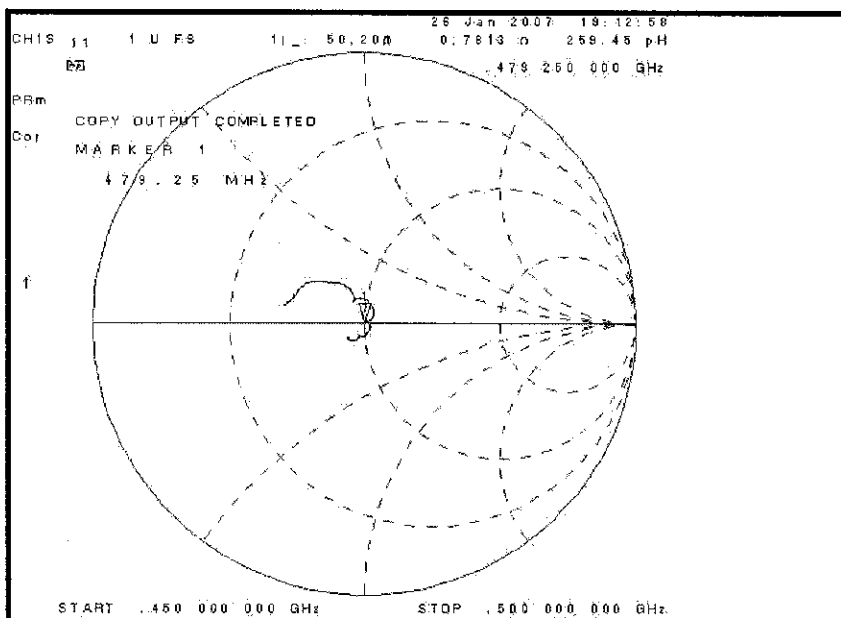


รูปที่ 4.7 ค่า  $S_{11}$  ของสายอากาศไดโพลตรง 3 อีลิเมนต์

จากรูปที่ 4.7 เป็นการวัดค่า  $S_{11}$  โดยที่ความถี่ 479.25 MHz มีค่าเท่ากับ -42.359 dB

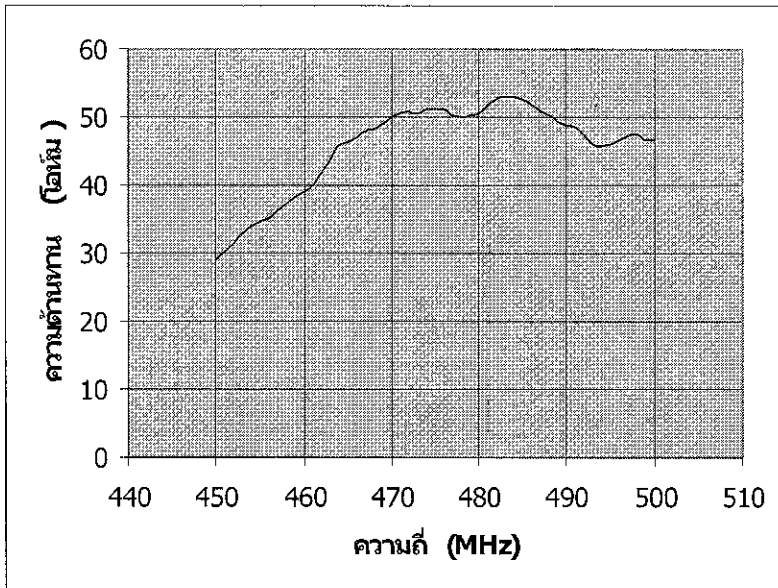
#### 4.2.2 ขั้นตอนการวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไดโพลตรง 3 อีลิเมนต์

เลือก Format แบบ Smith Chart ผลการวัดค่าอิมพีแดนซ์สายอากาศไดโพลตรง 3 อีลิเมนต์

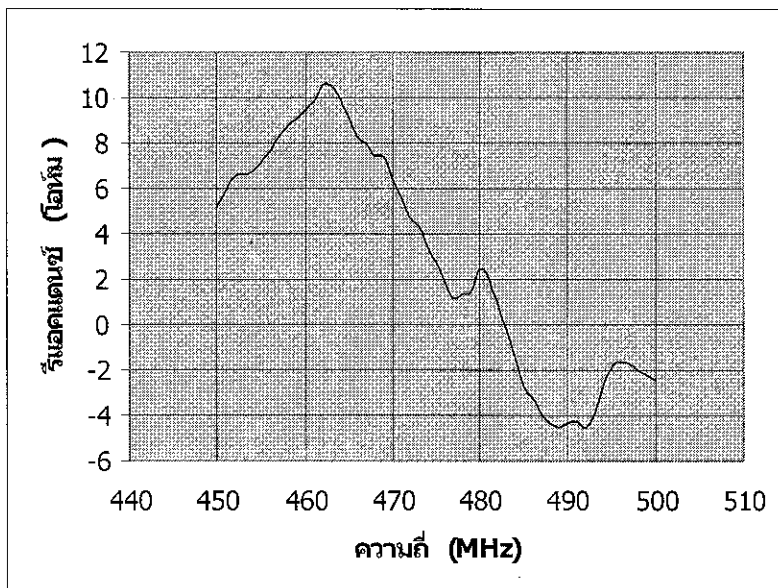


รูปที่ 4.8 Smith chart ของสายอากาศไดโพลตรง 3 อีลิเมนต์

จากรูปที่ 4.8 ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไดโพลตรง 3 อีลิเมนต์ ที่ผ่านการแมตช์แบบบาลันแล้วมีค่าประมาณ  $50.20 + j0.78$  โอห์ม ซึ่งสามารถใช้ได้กับสายนำสัญญาณ 50 โอห์ม ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเท่ากับ 0.0019 และค่า SWR มีค่าเท่ากับ 1 : 1.004 โดยค่าอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ต่างๆสามารถแสดงดังรูปที่ 4.9 และ รูปที่ 4.10 ตามลำดับ



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับความถี่

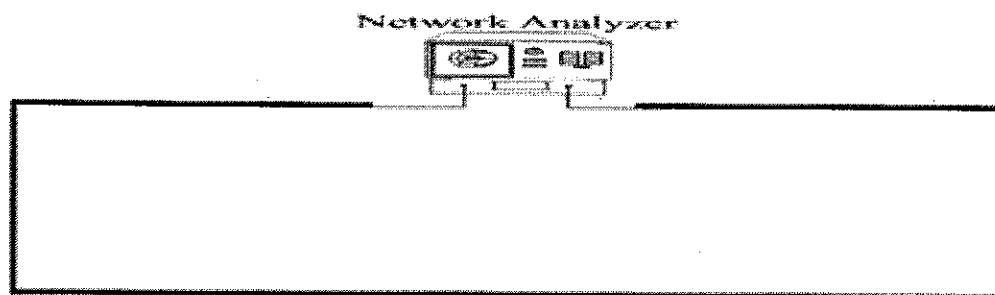


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ารีแอกแตนซ์กับความถี่



### 4.3 การวัดการลดทอนในสาย

การวัดการลดทอนในสายโดยการต่ออุปกรณ์ต่างๆ ได้ดัง รูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แผนภาพแสดงการต่ออุปกรณ์ในการวัดการลดทอนในสาย

เมื่อทำการต่ออุปกรณ์ตามรูปที่ 4.12 แล้วทำการการ Calibrate เครื่อง Network Analyzer ดังนี้

เข้า Menu เลือก CW Freq ตั้งความถี่ 479.25 MHz

กดปุ่ม Cal

เลือก CALIBRATE MENU

เลือก RESPONSE

เลือก THRU

จากสมการ

$$\text{Loss( Attention )} = P_i - P_r \quad (4.1)$$

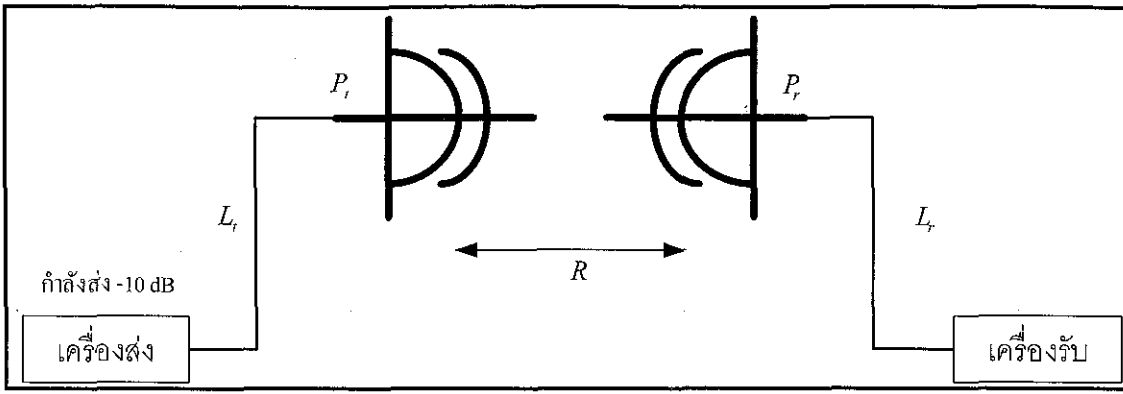
โดยที่

$P_i$  = กำลังที่ใช้ในการส่งหน่วยเป็น dB

$P_r$  = กำลังที่รับได้หน่วยเป็น dB

Loss( Attention ) = การลดทอนในสายหน่วยเป็น dB

จากสมการที่ (4.1) สามารถคำนวณค่าการลดทอนในสายได้ ดังแผนภาพที่ 4.13



รูปที่ 4.13 แผนภาพแสดงการต่ออุปกรณ์ในการวัดค่าการส่งสัญญาณของไดโพลโค้ง 3 อีลิเมนต์

กำลังที่ส่งออกจากเครื่องส่งมีค่าเท่ากับ -10 dB

$L_t$  = การสูญเสียในสายที่ภาคส่งเท่ากับ 0.27 dB

$L_r$  = การสูญเสียในสายที่ภาครับเท่ากับ 3.47 dB

ดังนั้น  $P_t =$  กำลังส่ง -  $L_t$

$$P_r = \text{กำลังรับ} + L_r$$

#### 4.4 การวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศ

เป็นการวัดค่าการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศจะอาศัยทฤษฎีรีซิโปรซิตีโดยทำการวัดที่บริเวณสนามระยะไกล (Far-Field Region) ซึ่งสามารถคำนวณจากสมการ

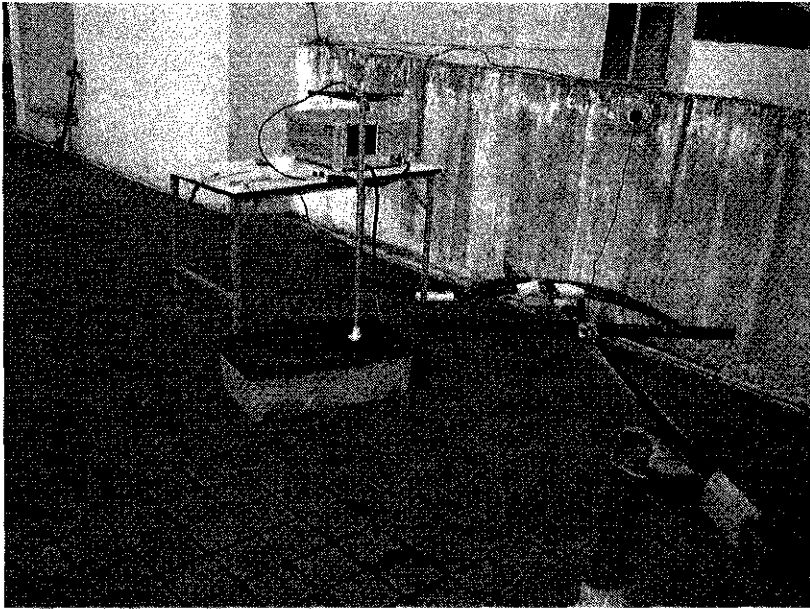
$$R > \frac{2D^2}{\lambda} \quad (4.2)$$

เมื่อ  $R$  คือ ระยะของสนามระยะไกลหน่วยเป็นเมตร

$D$  คือ ความยาวสูงสุดของสายอากาศหน่วยเป็นเมตร

$\lambda$  คือ ความยาวคลื่นของสายอากาศหน่วยเป็นเมตร

จากสมการที่ (4.2) ค่าสนามระยะไกลที่คำนวณได้เท่ากับ 30 เซนติเมตรเป็นต้นไป โดยในการวัดค่าการแผ่กระจายกำลังงานสายอากาศใช้ระยะห่างเท่ากับ 2 เมตร ต่ออุปกรณ์ดังรูปที่ 4.14

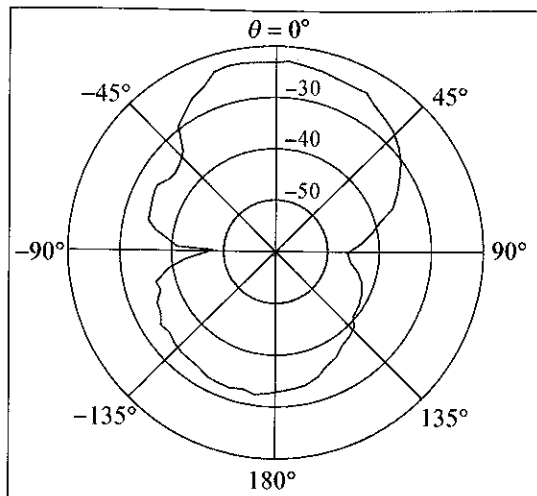


**รูปที่ 4.14** แผนภาพแสดงการต่ออุปกรณ์ในการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน  
ของสายอากาศ

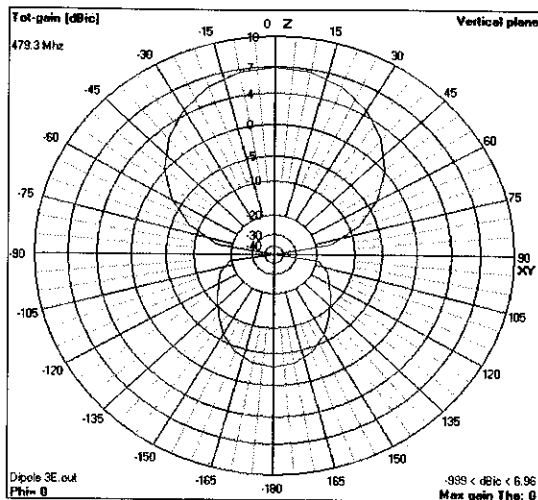
ขั้นตอนการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน

1. Recall state จากเครื่อง Network Analyzer ที่จัดเก็บไว้
2. ทำการจ่ายเพาเวอร์ โดยเลือกคำสั่ง Menu
3. เลือกคำสั่ง POWER และคำสั่ง POWER RANGES
4. เลือก RANGE -20 TO -5 ป้อนค่า -10 dB
5. เลือกคำสั่ง CW FREQ ป้อนค่า 479.25 MHz ทำการวัดค่า  $S_{21}$  จากเครื่อง Network Analyzer เพื่อนำมาพล็อตแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน
6. โดยการบันทึกค่ากำลังงานที่รับได้ในแต่ละมุมจนครบ 360 องศา

ผลการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่วัดได้แสดงดังรูปที่ 4.15



(ก)

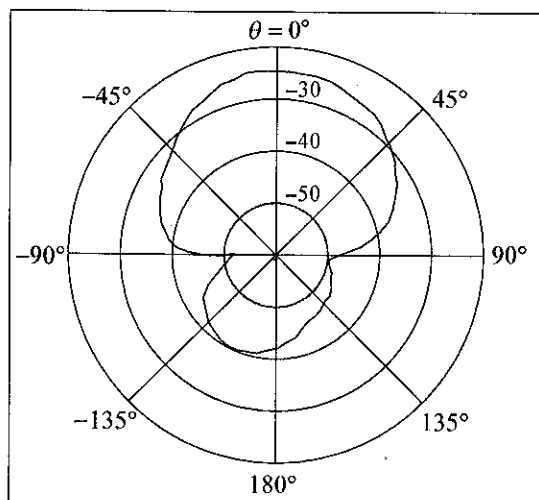


(ข)

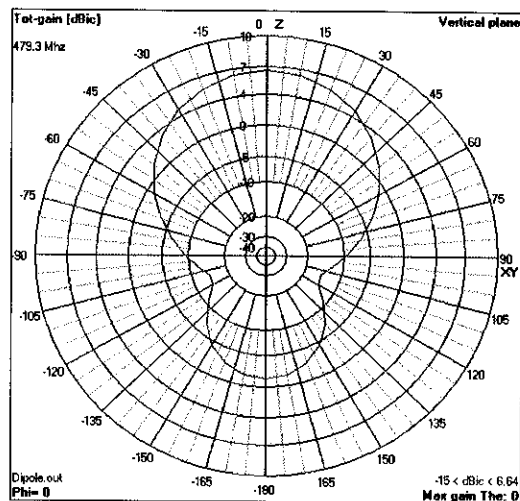
รูปที่ 4.15 แผนภาพแสดงแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานสายอากาศไดโพลตรง 3 อีลิเมนต์

(ก) แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานจากผลการทดลอง

(ข) แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานจากโปรแกรมสำเร็จรูป Super NEC



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.16 แผนภาพแสดงแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานสายอากาศไดโพลโค้ง 3 อีลิเมนต์

(ก) แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานจากผลการทดลอง

(ข) ) แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานจากโปรแกรมสำเร็จรูป Super NEC

## 4.5 การวัดอัตราขยายในสายอากาศ

การวัดอัตราขยายในสายอากาศโดยการต่ออุปกรณ์ต่างๆ ได้ดัง รูปที่ 4.13 กำลังที่ใช้ในการส่งเท่ากับ -10 dB ระยะห่างระหว่างสายอากาศภาคส่งกับสายอากาศภาครับเท่ากับ 2.00 เมตร อัตราขยายในสายอากาศสามารถคำนวณได้

จากสมการ

$$P_r = P_t G_t G_r \left[ \frac{\lambda}{4\pi R} \right]^2 \quad (4.3)$$

จาก  $G_t = G_r = G_{ir}^2$  ตามทฤษฎีรีซิโพรซิตี

$$P_r = P_t G_{ir}^2 \left[ \frac{\lambda}{4\pi R} \right]^2 \quad (4.4)$$

$P_t$  = กำลังที่ใช้ในการส่งหน่วยเป็น dB

$P_r$  = กำลังที่รับได้หน่วยเป็น dB

$G_t = G_r$  = อัตราขยายหน่วยเป็น dB

$\lambda$  = ความยาวคลื่นหน่วยเป็นเมตร

$R$  = ระยะห่างระหว่างสายอากาศภาคส่งกับสายอากาศภาครับหน่วยเป็นเมตร

โดยอัตราขยายที่ได้จะเป็นอัตราขยายจริง (Absolute Gain) ของสายอากาศ (ในทิศทางที่กำหนดให้) คืออัตราส่วนของความเข้มของการแผ่กระจายของกำลังงานในทิศทางที่กำหนดให้ต่อความเข้มของการแผ่กระจายของกำลังงานที่ได้รับเข้ามา ผลการคำนวณที่ได้มีค่าดังนี้

อัตราขยายของไดโพลโค้ง 3 อีลิเมนต์มีค่าเท่ากับ 4.32 dB

อัตราขยายของไดโพลตรง 3 อีลิเมนต์มีค่าเท่ากับ 4.39 dB

## 4.6 สรุป

ผลของการวัดโดยใช้เครื่อง Network Analyzer อัตราขยายของสายอากาศสายอากาศไดโพลตรงกับสายอากาศไดโพลโค้งต่างกัน 0.07 dB หรือ 0.984 dB<sub>a</sub> ผลจากการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Super NEC กับผลของการวัดโดยใช้เครื่อง Network Analyzer สามารถแสดงดังตารางข้างล่าง



ตารางเปรียบเทียบระหว่างสายอากาศไดโพลตรงกับสายอากาศไดโพลโค้ง

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ	สายอากาศไดโพลตรง 3 อีลิเมนต์		สายอากาศไดโพลโค้ง 3 อีลิเมนต์	
	Super NEC	คำนวณ	Super NEC	คำนวณ
กำลังที่ส่ง $P_t$ (dB)	0	-10.27	0	-10.27
กำลังที่รับได้ $P_r$ (dB)	6.98	-23.03	6.64	-23.63
การสูญเสียในสาย $L_t$ (dB)	-	0.27	-	0.27
การสูญเสียในสาย $L_r$ (dB)	-	3.47	-	3.47
อัตราขยาย (dB) สายอากาศ	-	4.39	-	4.32
อิมพีแดนซ์ (โอห์ม)	23.10 - j56.60	50.20 + j0.78	35.80 + j34.80	50.41 - j5.88
ความกว้างลำคลื่น (องศา)	67.00	65.00	76.00	80.00
ความกว้างแถบ (MHz)	79.00	63	17.00	34.97
Front-to-Back Ratio (dB)	9.79	8.20	7.78	10.00

## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 บทสรุป

โครงการฉบับนี้เป็นการนำเสนอสายอากาศสำหรับการแพร่กระจายคลื่นโทรทัศน์ที่มีอิลิเมนต์ขับและอิลิเมนต์ชี้ทิศแบบไดโพลโค้ง โดยอาศัยโครงสร้างเดิมของสายอากาศแถวลำดับแบบยากิ-อูตะ โดยมีสมมติฐานว่าจะให้ลำคลื่นในแนวนอนที่กว้างกว่าสายอากาศแถวลำดับแบบยากิ-อูตะ ในการออกแบบได้กำหนดให้สายอากาศมีรูปแบบเป็นแถวลำดับจำนวน 3 อิลิเมนต์ ซึ่งสายอากาศจะต้องมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน มีความแข็งแรง รองรับกำลังงานสูง และต้นทุนต่ำ

ในเชิงทฤษฎีได้นำโปรแกรม Super NEC เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ โดยโครงสร้างของสายอากาศได้ถูกแทนด้วยเส้นลวดขนาดเล็ก และโปรแกรม Super NEC นี้สามารถใช้ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศ ได้แก่ กระแสเหนี่ยวนำ ประจุสนามไฟฟ้า ประจุสนามแม่เหล็กทั้งระยะใกล้และระยะไกล อิมพีแดนซ์ ระดับกำลังงานที่รับได้ในโหลปหลัก สภาพเจาะจงทิศทาง และการใช้กำลังงาน

การวิเคราะห์คุณลักษณะที่เหมาะสมของสายอากาศแถวลำดับ โดยใช้ อิลิเมนต์ขับและอิลิเมนต์ชี้ทิศแบบไดโพลโค้งในโครงการฉบับนี้ได้ทำการวิเคราะห์อิมพีแดนซ์ด้านเข้า ความกว้างแถบ แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน อัตราส่วนคลื่นนิ่ง การโพลาไรซ์ และระดับกำลังงานที่รับได้ในโหลปหลัก ซึ่งทำให้มีความรู้ความเข้าใจถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศ โดยบทที่ 4 ได้แสดงผลการทดสอบอิมพีแดนซ์ด้านเข้า ความกว้างแถบ แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน อัตราส่วนคลื่นนิ่ง การโพลาไรซ์ และระดับกำลังงานที่รับได้ในโหลปหลักของสายอากาศที่ได้ออกแบบและสร้าง พบว่าผลการทดสอบเป็นที่ยอมรับได้ คือใกล้เคียงตามทฤษฎี และตามความต้องการของสายอากาศที่จะใช้งานจริง ไม่ว่าจะเป็นแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน ความกว้างแถบ และโพลาไรซ์ อย่างไรก็ตามมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้างในค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับสายอากาศแถวลำดับ โดยใช้ อิลิเมนต์ขับและอิลิเมนต์ชี้ทิศแบบไดโพลโค้งที่ได้ทำการทดสอบนี้ มีความคลาดเคลื่อน ไปจากผลที่คำนวณได้จาก โปรแกรม Super NEC อยู่พอสมควร ทั้งนี้เป็นผลจากสภาพแวดล้อมและอุปกรณ์ในการทดสอบ และจากการออกแบบเอง สำหรับกรณีแรก การทดสอบสายอากาศที่ดีนั้น ควรจะหาพื้นที่โล่งและกว้างพอสมควร เพื่อลดปัญหาการบังหรือสะท้อนของคลื่นระหว่างสายอากาศภาคส่ง และภาครับ รวมถึงเพื่อสะดวกในการหมุน โครงสร้างของสายอากาศในการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน และสายอากาศที่จะนำมาเป็นสาย

อากาศภาคส่งต้องมีความถี่เรโซแนนซ์เท่ากับความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศที่ทำการทดสอบ เพื่อให้สายอากาศทั้งสองตัวทำงานได้ดีที่สุดที่ความถี่เดียวกัน เพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ถูกต้องมากที่สุด สำหรับกรณีที่สอง สายอากาศแฉวลำดับโดยใช้โอลิเมนต์จับและโอลิเมนต์จี้ทิสแบบไดโพลโค้งไดโพลที่ได้ออกแบบในโครงการฉบับนี้ เนื่องจากในส่วนของการทำงานด้วยโปรแกรมไม่มีส่วนของบาลันแต่เมื่อทำการสร้างสายอากาศต้นแบบที่นำมาวัดทดสอบจำเป็นต้องมีบาลันเพื่อประโยชน์ในการแปลงสายนำสัญญาณแบบไม่สมดุลย์ให้เข้ากับสายอากาศแบบสมดุลย์และเป็นการแปลงค่าอิมพีแดนซ์ให้เข้าใกล้ 50 โอห์มให้ที่จะสามารถใช้กับสายนำสัญญาณ 50 โอห์มได้ ความยาวของตัวจี้ทิสมีผลต่อความถี่ในการส่ง รวมถึงระยะห่างระหว่างโอลิเมนต์จับและตัวจี้ทิสมีผลต่อค่าอิมพีแดนซ์ด้วย

## ประวัติผู้เขียน

นายชาญวิทย์ โชคบัณฑิต เกิดเมื่อวันที่ 9 ธันวาคม พ.ศ. 2527 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลผานกเค้า อำเภอภูกระดึง จังหวัดเลย สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนภูกระดึงวิทยาคม อำเภอภูกระดึง จังหวัดเลย เมื่อปี พ.ศ. 2546 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

นายชยาวุธ ภูยางคคุม เกิดเมื่อวันที่ 29 มิถุนายน พ.ศ. 2527 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลวิศิษฐ์ อำเภอบึงกาฬ จังหวัดหนองคาย สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนบึงกาฬ อำเภอบึงกาฬ จังหวัดหนองคาย เมื่อปี พ.ศ. 2546 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## บรรณานุกรม

- [1] ผศ.ดร.รังสรรค์ วงศ์สวรรค์, Antenna Engineering, from <http://sut.ac.th/e-text/antennas>, 2004
- [2] A. Bruce Carlson, Communication Systems 3<sup>rd</sup> Edition, McGraw-Hill, Inc. pp. 276, 1986
- [3] Constantine A. Balanis, Antenna Theory Analysis and Design 2<sup>nd</sup> Edition, John Wiley & Sons, INC. 1982
- [4] NEC-2 User's Guide, from <http://www.traveller.com/~richesop/nec>
- [5] [www.monsterfm.com/engineering/antcalc.htm](http://www.monsterfm.com/engineering/antcalc.htm)
- [6] <http://radiothailand.prd.go.th/chonburi/chonburi/chonburi8.php>