

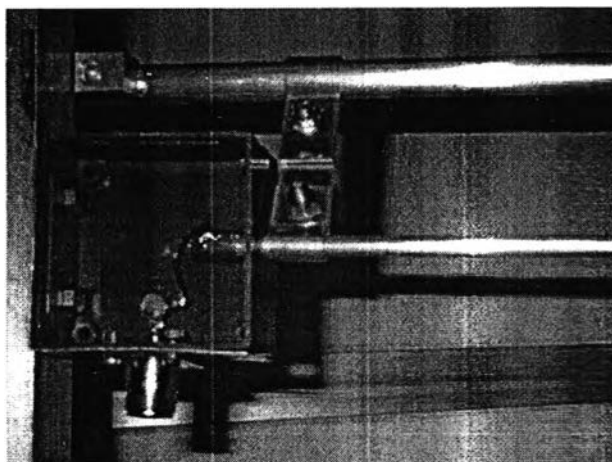
## บทที่ 4

### การสร้างและทดสอบสายอากาศ

สำหรับเนื้อหาของบทนี้จะกล่าวถึงการสร้างและการทดสอบสายอากาศที่ได้จากการออกแบบในบทที่ 3 ซึ่งเป็นสายอากาศที่ใช้สำหรับแต่ละเขตการควบคุม โดยจะกล่าวถึงวัสดุสำหรับการสร้างสายอากาศ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสายอากาศ พื้นที่ที่ใช้ในการทดสอบสายอากาศ ขั้นตอนในการทดสอบสายอากาศที่ออกแบบ การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศทางทฤษฎีกับผลการวัด และการนำผลของแบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้จากการวัดไปใช้งานในแต่ละสถานีของแต่ละเขตพื้นที่การควบคุม ในการสร้างสายอากาศที่ใช้สำหรับทดสอบ เพื่อเปรียบเทียบว่าผลการคำนวณทางทฤษฎีกับผลทางปฏิบัติจะให้ความถี่ที่ไม่มีการรบกวนจากการควบคุมจราจรทางอากาศ โดยจะเลือกสร้างสายอากาศที่ใช้ในการทดสอบที่ความถี่ 123.95 MHz เนื่องจากความถี่นี้เป็นความถี่ที่ใช้งานในเขตที่ 6 ซึ่งอยู่ทางตอนใต้ของประเทศไทย การทดสอบสายอากาศครั้งนี้ใช้พื้นที่สนามฟุตบอลบริเวณหน้าพระบรมรูปสองรัชกาล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### วัสดุสำหรับสร้างสายอากาศทดสอบ

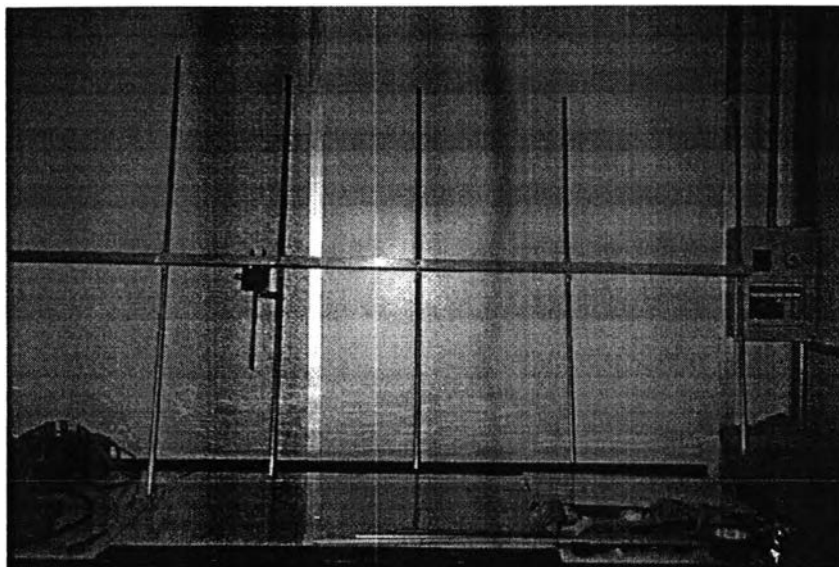
- 1) องค์กรประกอบของสายอากาศทำจาก ท่ออลูมิเนียมกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว มีความหนา 1 มม.
- 2) ท่อยึดองค์กรประกอบ (boom) ทำจากท่ออลูมิเนียมสี่เหลี่ยม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว มีความหนา 1 มม.
- 3) ฐานรององค์กรประกอบ (support element) ใช้สำหรับรององค์กรประกอบเพื่อความสะดวกในการยึดองค์กรประกอบกับท่อยึดองค์กรประกอบ ทำจากอลูมิเนียมแท่งกลึงโดยสามารถรองรับกันพอดีกับตัวองค์กรประกอบและท่อยึดองค์กรประกอบ
- 4) ตัวแมตซ์อิมพีแดนซ์ (matching) ใช้แบบแกมมา ( $\gamma$ ) เนื่องจากเหมาะสำหรับการปรับอิมพีแดนซ์ระหว่างสายอากาศและสายนำสัญญาณแบบไม่สมดุล การปรับค่าอิมพีแดนซ์จะใช้การปรับค่าคาปาซิแตนซ์ และอินดักแตนซ์ของตัวแมตซ์ซึ่งมีโครงสร้างดังรูป 4.1
- 4) หัวต่อสายนำสัญญาณแบบ N-type ทำหน้าที่ในการต่อสายนำสัญญาณกับตัวปรับแมตซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ



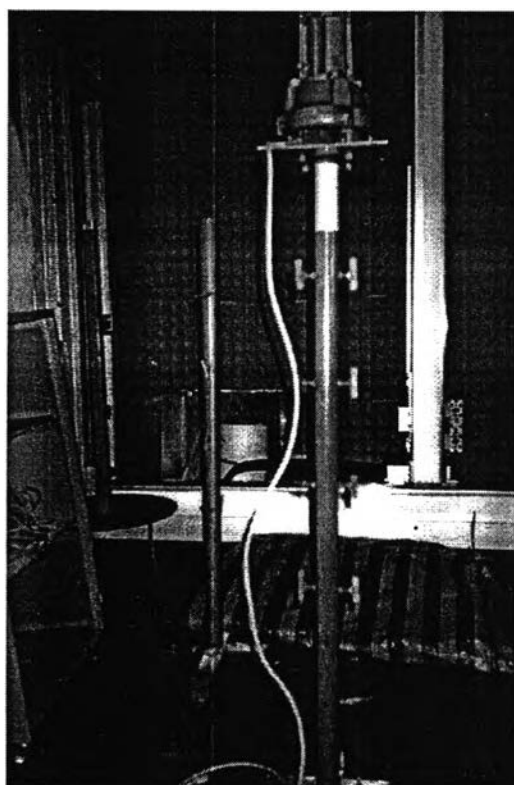
รูป 4.1 ตัวเมตรอิมพีแดนซ์แบบแกมมาเมตรซึ่งใช้กับ  
สายนำสัญญาณแบบไม่สมดุล

#### อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

- 1) สายอากาศยาจิก-อูตะ ที่ออกแบบในแต่ละเขต ดังแสดงในรูป 4.2 โดยสายอากาศที่สร้างขึ้นมาแต่ละตัวใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ออกแบบไว้ในบทที่ 3
- 2) เครื่องกำเนิดสัญญาณ รุ่น HP 8648C ของบริษัท Hewlett Packard ทำหน้าที่สร้างสัญญาณเพื่อป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศส่งในการทดสอบ
- 3) เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่าย รุ่น HP 8753C ของบริษัท Hewlett Packard ใช้ในการปรับตัวเมตรอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ใช้ทดสอบ
- 4) เครื่องวิเคราะห์แถบความถี่ รุ่น HP 85906 ของบริษัท Hewlett Packard ใช้ในการวัดระดับสัญญาณของสายอากาศทดสอบ
- 5) สายอากาศไดโพลมาตรฐาน ใช้สำหรับการทดสอบหาระยะสนามไกลที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบสายอากาศ
- 6) เสายึดสายอากาศที่สามารถปรับระดับความสูงของเสาได้ ซึ่งแสดงในรูป 4.3
- 7) ตัวหมุนสายอากาศทดสอบตามรูป 4.3
- 8) ตัวจับสายอากาศ ใช้สำหรับจับสายอากาศยึดติดกับเสายึดสายอากาศ
- 9) สายนำสัญญาณ
- 10) สายไฟฟ้า AC 220V



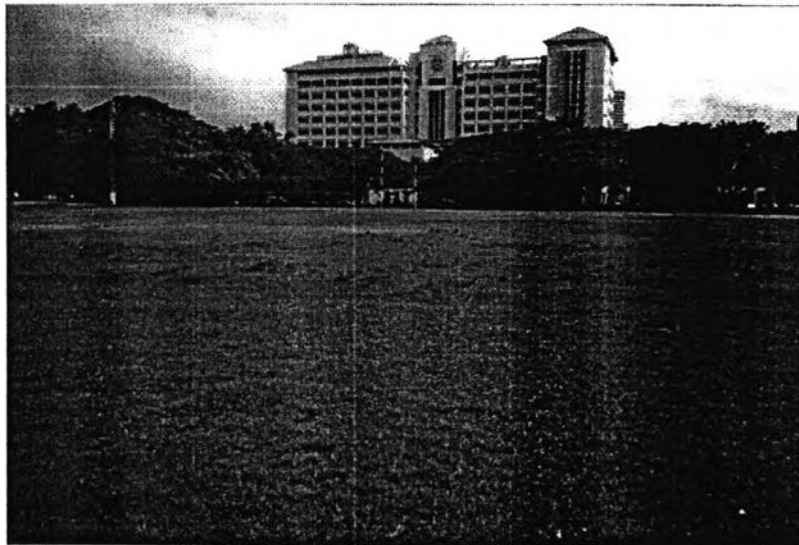
รูป 4.2 ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศยาก็-อุตะที่ใช้ทดสอบ



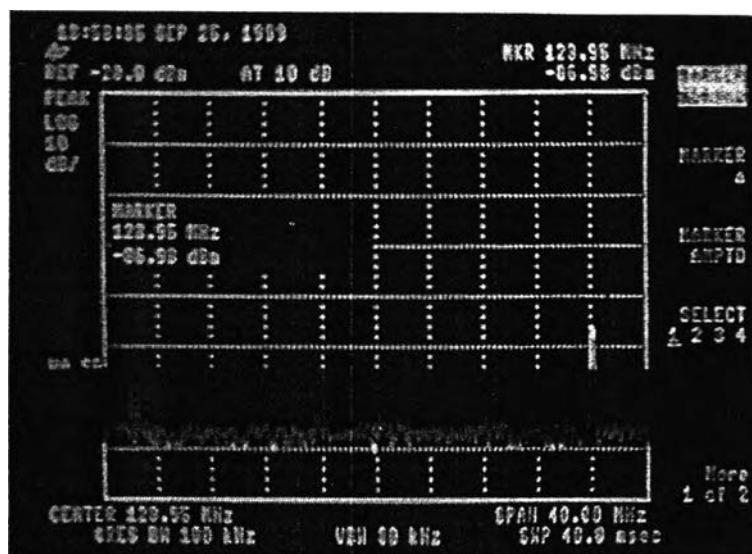
รูป 4.3 เสายึดสายอากาศที่สามารถปรับระดับความสูงได้  
และตัวหมุนสายอากาศทดสอบ

### พื้นที่ในการทดสอบสายอากาศ

สำหรับพื้นที่ที่ใช้ในการทดสอบสายอากาศในระยะสนามไกลจะต้องเป็นสถานที่กว้าง และไม่มีการรบกวนของคลื่นสัญญาณของความถี่ที่ทดสอบ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสำรวจแล้วปรากฏว่าบริเวณสนามฟุตบอลหน้าพระบรมรูปสองรัชกาลของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังแสดงในรูป 4.4 ได้ทำการวัดคลื่นสัญญาณความถี่ที่ทดสอบ 123.95 MHz. ด้วยเครื่องวิเคราะห์แถบความถี่ ปรากฏว่าไม่มีความถี่รบกวนในบริเวณที่ทดสอบสายอากาศดังแสดงในรูป 4.5 และไม่มีสิ่งที่ทำให้เกิดการสะท้อนจากสภาพแวดล้อมใกล้เคียง



รูป 4.4 พื้นที่ที่ใช้ในการทดสอบสายอากาศบริเวณสนามฟุตบอล  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

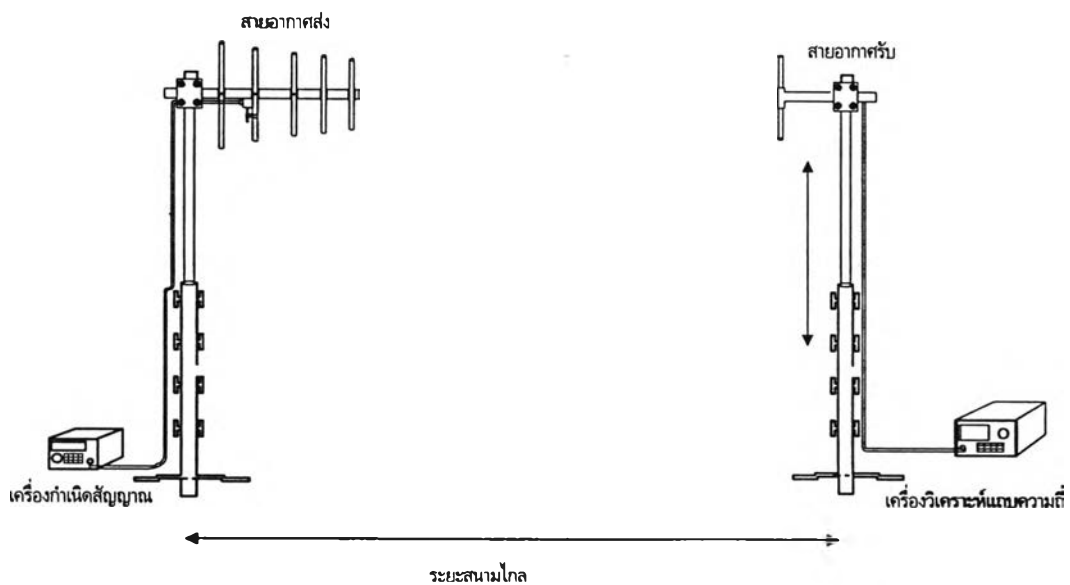


รูป 4.5 ผลการวัดความถี่ 123.95 MHz. ที่บริเวณทดสอบสายอากาศด้วยเครื่องวิเคราะห์แถบความถี่

### การทดสอบสายอากาศที่ออกแบบ

การทดสอบสายอากาศจะต้องเป็นสนามไกลที่แท้จริง คือคลื่นที่มาตกกระทบสายอากาศรับจะต้องเป็นคลื่นระนาบ ดังนั้นจำเป็นจะต้องทำการหาระยะสนามไกลที่แท้จริง เพื่อผลการทดสอบสายอากาศที่แน่นอน โดยปกติสัญญาณที่เป็นคลื่นระนาบระดับการแกว่งของระลอกสัญญาณที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในระยะสนามไกลจะมีความแตกต่างกันน้อยมาก ดังนั้นในการตรวจสอบจะทำการวัดระดับสัญญาณที่มาถึงสายอากาศทดสอบเป็นระยะเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบแสดงดังรูป 4.6 เพื่อลดการสะท้อนของสัญญาณจากสภาพแวดล้อมสายอากาศที่เป็นตัวส่งจะต้องมีพู่หลักแคบ และมีพู่หลังต่ำ จึงเลือกใช้สายอากาศยาก็-อูเดเป็นสายอากาศส่ง โดยใช้สายอากาศไดโพลมาตรฐานเป็นสายอากาศรับ หลังจากนั้นจะทำการโพรบสัญญาณที่ระนาบห่างจากตัวสายอากาศส่งเป็นระยะ ๆ ค่าระดับสัญญาณที่รับได้เมื่อวางเสาอากาศรับและส่งห่างกัน 5λ แสดงดังตารางที่ 4.1 ระยะห่างระหว่างเสารับและส่ง 7.5λ ระดับสัญญาณที่วัดได้อยู่ในตารางที่ 4.2 และระยะที่ 10 λ ตามตารางที่ 4.3

จากการตรวจสอบพบว่าที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศ 5λ ยังมีการแกว่งเป็นระลอกของสัญญาณอยู่มาก แต่เมื่อทำการปรับระยะห่างออกเป็น 7.5λ และ 10λ จะมีการแกว่งของสัญญาณน้อยลง และพบว่าที่ความสูงของสายอากาศรับและส่ง 1.5λ มีการแกว่งของระดับสัญญาณต่ำมาก ซึ่งถือว่าหน้าคลื่นเป็นคลื่นระนาบจึงเป็นระยะสนามไกลสำหรับทดสอบสายอากาศได้ ในการทดสอบสายอากาศที่ออกแบบจะใช้ระยะ 10λ ความสูงของสายอากาศส่งและรับ 1.5 λ ระดับของสัญญาณส่งจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ 0 dBm



รูป 4.6 การหาระยะสนามไกลเพื่อทดสอบสายอากาศโดยการใช้สายอากาศส่งแบบยาก็-อูเด และสายอากาศรับแบบไดโพลซึ่งทำหน้าที่ในการโพรบวัดค่าสัญญาณ

ตาราง 4.1 ระดับสัญญาณของสายอากาศรับที่ระนาบ 5λ

ระยะห่าง/ความสูง	-1.5λ	-1λ	-0.5λ	0	0.5λ	1λ	1.5λ
0.5λ	-32.42	-31.37	-29.50	-31.00	-29.25	-29.80	-33.20
1λ	-29.45	-28.80	-28.34	-27.27	-28.14	-28.81	-29.49
1.5λ	-26.80	-26.15	-25.24	-25.00	-25.50	-26.00	-26.60

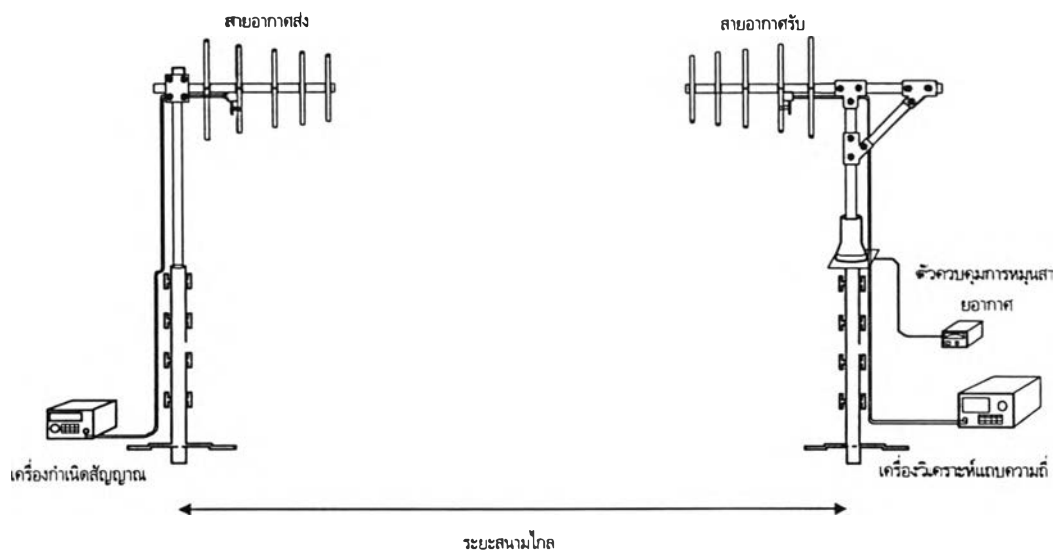
ตาราง 4.2 ระดับสัญญาณของสายอากาศรับที่ระนาบ 7.5λ

ระยะห่าง/ความสูง	-1.5λ	-1λ	-0.5λ	0	0.5λ	1λ	1.5λ
0.5λ	-35.17	-34.78	-34.30	-33.60	-34.26	-33.95	-34.20
1λ	-35.00	-35.65	-35.40	-34.60	-35.30	-35.60	-35.86
1.5λ	-31.42	-31.61	-31.42	-31.14	-31.50	-31.63	-31.95

ตาราง 4.3 ระดับสัญญาณของสายอากาศรับที่ระนาบ 10λ

ระยะห่าง/ความสูง	-1.5λ	-1λ	-0.5λ	0	0.5λ	1λ	1.5λ
0.5λ	-38.04	-37.63	-37.40	-35.80	-36.95	-37.10	-37.20
1λ	-38.12	-38.00	-38.26	-37.70	-38.02	-38.44	-38.85
1.5λ	-36.50	-36.40	-36.42	-36.20	-36.62	-36.70	-36.90

การทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติของสายอากาศ ขั้นตอนแรกจะทำการปรับตัวแมตซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศให้ได้ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Voltage Standing Wave Ratio: VSWR) ต่ำสุด โดยการปรับจะใช้สายอากาศและเครื่องวิเคราะห์ช่วยเป็นตัววัดอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศ ในการปรับแมตซ์ซึ่งจะขึ้นสายอากาศขึ้นในบ่อน้ำเพื่อลดผลกระทบของการสะท้อนจากพื้นดิน การวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศจะทำที่ระยะสนามไกลดังที่ได้ตรวจสอบในตอนแรก โดยงานวิจัยนี้เลือกระยะห่างระหว่างสายอากาศ 10λ ความสูงของเสาอากาศส่งและรับสูง 1.5λ ลักษณะของการวัดแสดงดังรูป 4.7 ในการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ทดสอบจะทำการหมุนตัวควบคุมสายอากาศรับไปที่ละ 10 องศาและวัดค่ากำลังที่รับได้จนครบ 360 องศา สำหรับการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานที่มีการปรับมุมยกของสายอากาศก็ทำในลักษณะเดียวกันแต่จะทำการปรับมุมยกของสายอากาศตามที่ออกแบบไว้ในแต่ละสถานีของแต่ละเซตการควบคุม



รูป 4.7 การทดสอบสายอากาศที่ระยะสนามไกล

**ผลการวัดและคำนวณแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ**

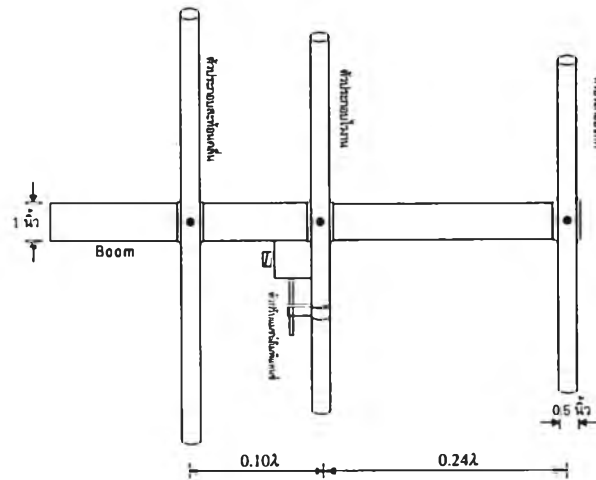
งานวิจัยนี้สร้างสายอากาศตามที่ได้ออกแบบสำหรับปฏิบัติงาน ณ สถานีควบคุมจากพื้นดินสู่อากาศ ในแต่ละเขตของการควบคุมการจราจรทางอากาศ โดยเลือกมาบางเขตการควบคุมเพื่อทำการทดสอบ ในที่นี้จะใช้เขตที่ 1,2,4 และ 7 โดยสายอากาศที่ทดสอบบางตัวสามารถใช้ร่วมกับสายอากาศเขตอื่นได้

- 1) สายอากาศยาก็-อูตะ 3 องค์ประกอบ (แบบที่ 1)

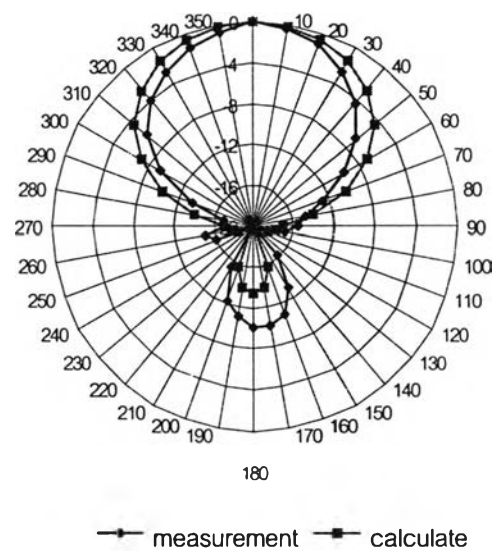
สำหรับสายอากาศตัวนี้จะใช้สำหรับสถานี MK ในเขตที่ 2 ค่าปัจจัยของสายอากาศในส่วนของความยาวและระยะห่างระหว่างองค์ประกอบแสดงดังตาราง 4.4 ซึ่งมีโครงสร้างของสายอากาศตามรูป 4.8 ผลการวัดและคำนวณทางทฤษฎีของแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแสดงอยู่ในรูป 4.9

ตาราง 4.4 ค่าปัจจัยของสายอากาศ 3 องค์ประกอบ (แบบที่ 1)

	ระยะห่าง	ความยาว
ตัวประกอบสะท้อนคลื่น	$-0.10\lambda$	$0.495\lambda$
ตัวประกอบไวงาน	0	$0.48\lambda$
ตัวประกอบชี้ทิศ	$0.24\lambda$	$0.45\lambda$



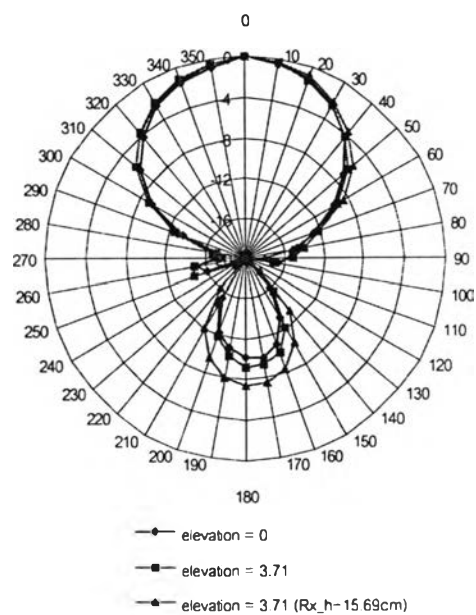
รูป 4.8 ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศยาภิ-อุตะ 3 องค์ประกอบ (แบบที่ 1)



รูป 4.9 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ 3 องค์ประกอบ  
ในระนาบ H (แบบที่ 1)

สำหรับการใช้งานสายอากาศในพื้นที่ควบคุมจะต้องมีการปรับมุมของสายอากาศ เพื่อให้ได้แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบที่ต้องการ ดังนั้นในการวัดจะต้องมีการปรับมุมของสายอากาศตามการคำนวณในบทที่ 3 ซึ่งแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศยาภิ-อุตะที่มีมุมยก (แบบที่ 1) แสดงดังรูป 4.10





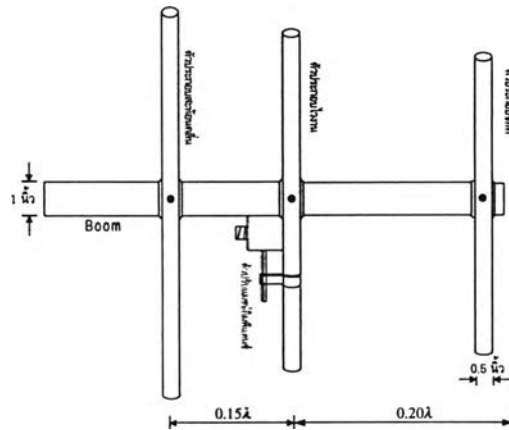
รูป 4.10 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศยาคิ-อุตะ 3 องค์ประกอบ  
ในระนาบตัดที่มีมุมยก (แบบที่ 1)

2) สายอากาศยาคิ-อุตะ 3 องค์ประกอบ (แบบที่ 2)

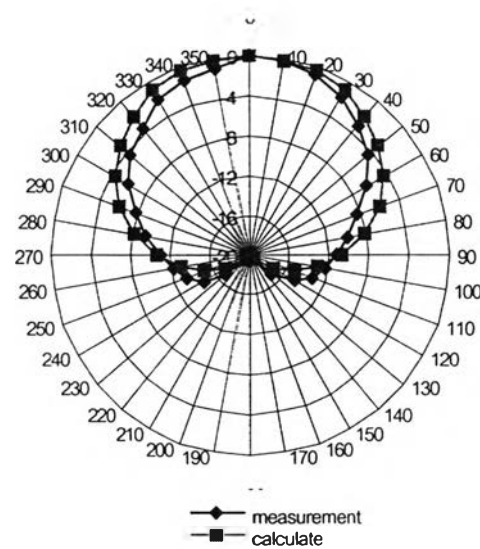
สำหรับค่าปัจจัยของสายอากาศแบบ 3 องค์ประกอบ (แบบที่ 2) เป็นดังแสดงในตารางที่ 4.5 มีการจัดระยะห่างระหว่างองค์ประกอบที่แตกต่างจากแบบที่ 1 สายอากาศตัวนี้เป็นสายอากาศที่ออกแบบสำหรับใช้ที่สถานี RCAG LP ของเขตที่ 7 ซึ่งมีโครงสร้างของสายอากาศตามรูป 4.11 ผลการวัดและการคำนวณแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบ H แสดงดังรูป 4.12 จะเห็นได้ว่าผลที่ได้จากการวัดและการคำนวณมีความใกล้เคียงกันมาก

ตาราง 4.5 ค่าปัจจัยของสายอากาศ 3 องค์ประกอบ (แบบที่ 2)

	ระยะห่าง	ความยาว
ตัวประกอบสะท้อนคลื่น	$-0.15\lambda$	$0.495\lambda$
ตัวประกอบไวงาน	0	$0.48\lambda$
ตัวประกอบชี้ทิศ	$0.20\lambda$	$0.45\lambda$

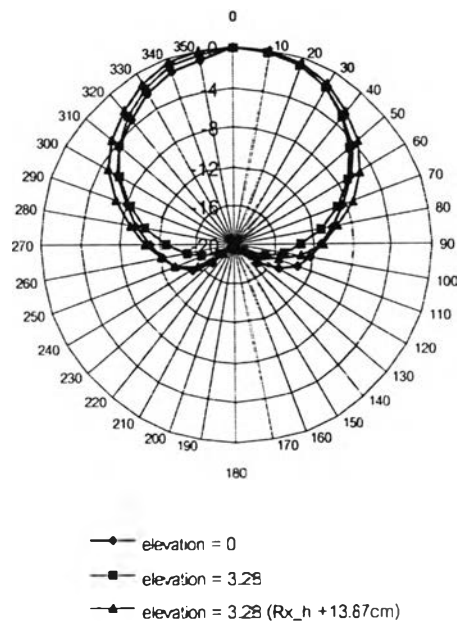


รูป 4.11 โครงสร้างของสายอากาศยาคี-อูตะ 3 องค์ประกอบ (แบบที่ 2)



รูป 4.12 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ 3 องค์ประกอบ  
ในระนาบ H (แบบที่ 2)

เมื่อวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่มีการปรับมุมยกแล้วเปรียบเทียบกับผลการวัดที่ไม่มีมุมยกปรากฏว่ามีความแตกต่างกันน้อยมาก ดังที่ได้แสดงดังรูป 4.13



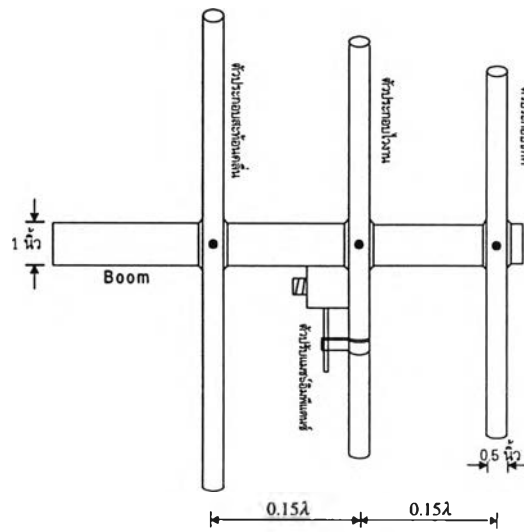
รูป 4.13 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศยาคิ-อุตะ 3 องค์ประกอบ  
ในระนาบตัดที่มีมุมยก (แบบที่ 2)

### 3) สายอากาศยาคิ-อุตะ 3 องค์ประกอบ (แบบที่ 3)

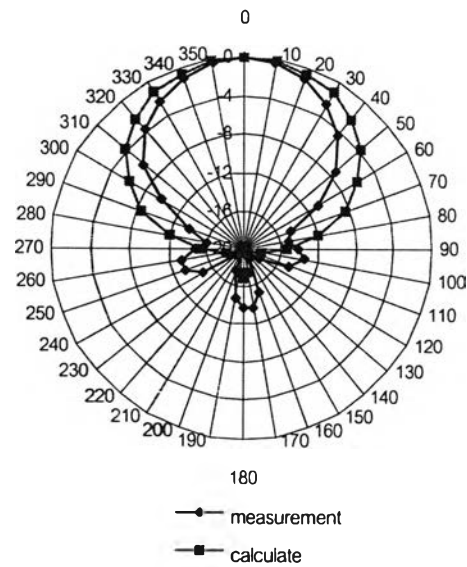
สำหรับสายอากาศ 3 องค์ประกอบแบบที่ 3 นี้ออกแบบเพื่อใช้ที่สถานี RCAG KN ของเขตที่ 7 ค่าปัจจัยของสายอากาศแสดงดังตาราง 4.6 ซึ่งแตกต่างแบบที่ 2 ที่ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบ ไวกานและตัวประกอบซีทิสเท่านั้น ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศแสดงดังรูปที่ 4.14 ผลที่ได้จากการคำนวณและการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแสดงดังรูป 4.15 จากผลการวัดจะเห็นได้พู่หลังของสายอากาศมีค่ามากกว่าการคำนวณ และมีลำคลื่นแคบกว่าการคำนวณอีกด้วย เมื่อมีการปรับมุมยกของสายอากาศจะได้ผลการวัดและการคำนวณแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศดังรูป 4.16

ตาราง 4.6 ค่าปัจจัยของสายอากาศ 3 องค์ประกอบ (แบบที่ 3)

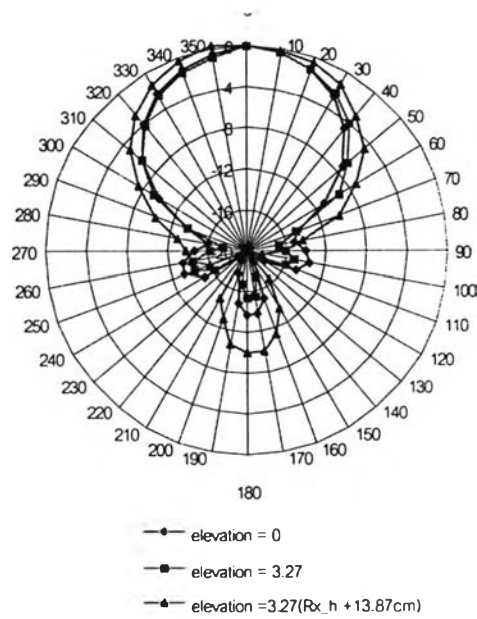
	ระยะห่าง	ความยาว
ตัวประกอบสะท้อนคลื่น	$-0.15\lambda$	$0.495\lambda$
ตัวประกอบไวกาน	0	$0.48\lambda$
ตัวประกอบซีทิส	$0.15\lambda$	$0.45\lambda$



รูป 4.14 โครงสร้างของสายอากาศยาคี-อูเด 3 องค์ประกอบ (แบบที่ 3)



รูป 4.15 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ 3 องค์ประกอบ  
ในระนาบ H (แบบที่ 3)



รูป 4.16 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศยาคี-อุดะ 3 องค์ประกอบ  
ในระนาบตัดที่มีมุมยก (แบบที่ 3)

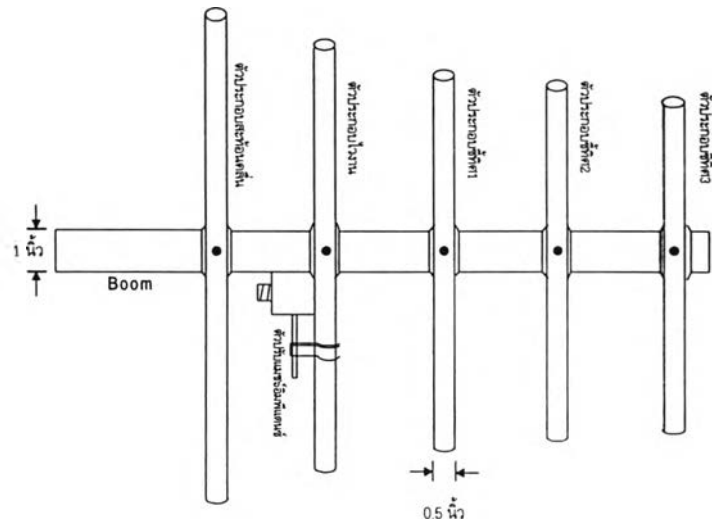
4) สายอากาศยาคี-อุดะ 5 องค์ประกอบ (แบบที่ 1)

สำหรับสายอากาศตัวนี้ได้ออกแบบเพื่อใช้งานที่สถานี MK ของเขตที่ 1 และสถานี RCAG LP ของเขตที่ 7 ค่าปัจจัยของสายอากาศที่ออกแบบแสดงดังตาราง 4.7 และสายอากาศมีโครงสร้างดังรูป 4.17 ผลที่ได้จากการวัดและคำนวณแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแสดงดังรูป 4.18 โดยผลที่ได้จากการวัดมีความกว้างลำคลื่นแคบกว่าการคำนวณ

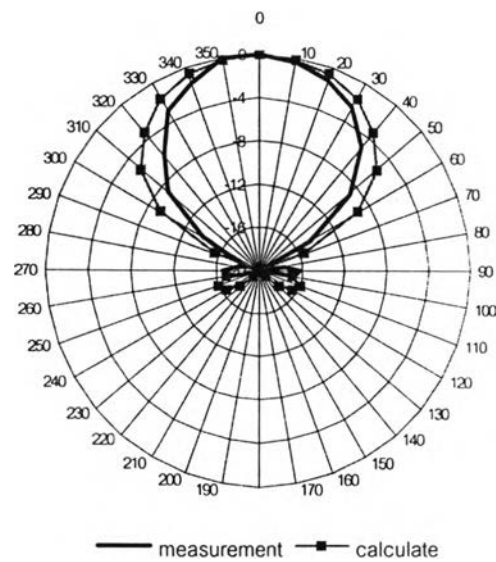
ตาราง 4.7 ค่าปัจจัยของสายอากาศ 5 องค์ประกอบ (แบบที่ 1)

	ระยะห่าง	ความยาว
ตัวประกอบสะท้อนคลื่น	-0.126λ	0.51λ
ตัวประกอบไวงาน	0	0.47λ
ตัวประกอบชี้ทิศตัวที่ 1	0.155λ	0.45λ
ตัวประกอบชี้ทิศตัวที่ 2	0.33λ	0.43λ
ตัวประกอบชี้ทิศตัวที่ 3	0.53λ	0.41λ

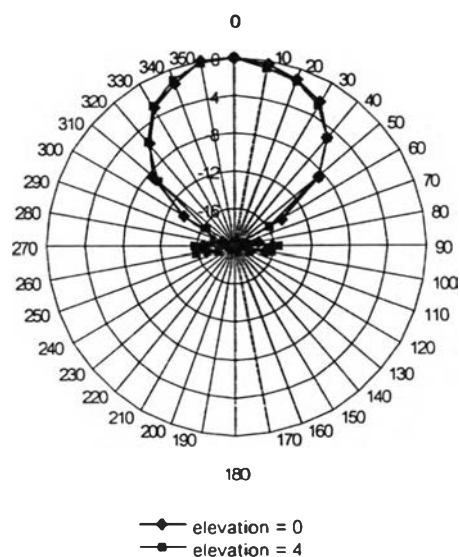
เมื่อทำการปรับมุมยกของสายอากาศ และทำการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ ซึ่งแสดงดังรูป 4.19 จะเห็นได้ว่าผลที่ได้จากการวัดที่มีการปรับมุมยกและไม่ปรับมุมยกของสายอากาศมีความแตกต่างกันน้อยมาก



รูป 4.17 โครงสร้างของสายอากาศยาคี-อูดะ 5 องค์ประกอบ (แบบที่ 1)



รูป 4.18 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ 5 องค์ประกอบ ในระนาบ H (แบบที่ 1)



รูป 4.19 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศยาคี-อูเดะ 5 องค์ประกอบ  
ในระนาบตัดที่มีมุมยก (แบบที่ 1)

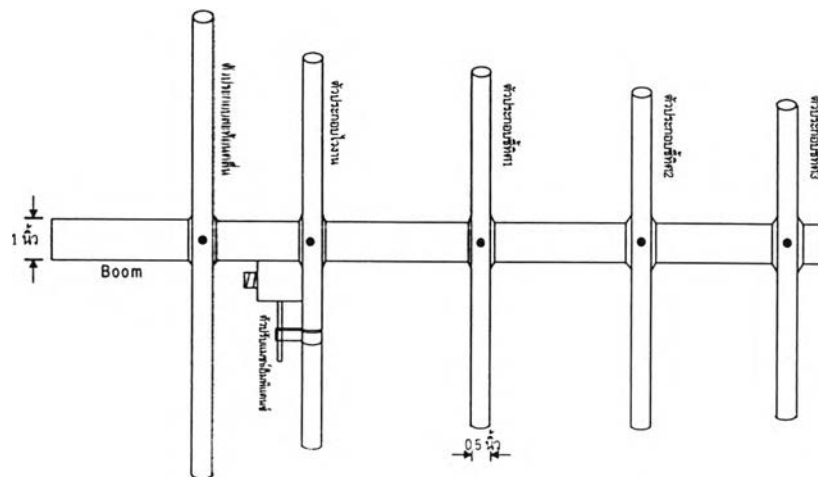
5) สายอากาศยาคี-อูเดะ 5 องค์ประกอบ (แบบที่ 2)

ค่าปัจจัยของสายอากาศแบบ 5 องค์ประกอบ (แบบที่ 2) แสดงดังตาราง 4.8 ซึ่งมีการจัดระยะห่างระหว่างองค์ประกอบและความยาวขององค์ประกอบแตกต่างกับแบบที่ 1 ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศดังรูป 4.20 สายอากาศตัวนี้เป็นสายอากาศที่ออกแบบสำหรับใช้ที่สถานี RCAG KT,UB ของเขตที่ 2 สถานี MK,RCAG NS ของเขตที่ 4 และสถานี RCAG DOI ของเขตที่ 7 ผลการวัดและการคำนวณแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแสดงดังรูป 4.21 จะเห็นว่าผลที่ได้จากการวัดและการคำนวณมีความแตกต่างกันเล็กน้อยที่ความกว้างลำคลื่นของแบบรูปการแผ่พลังงาน

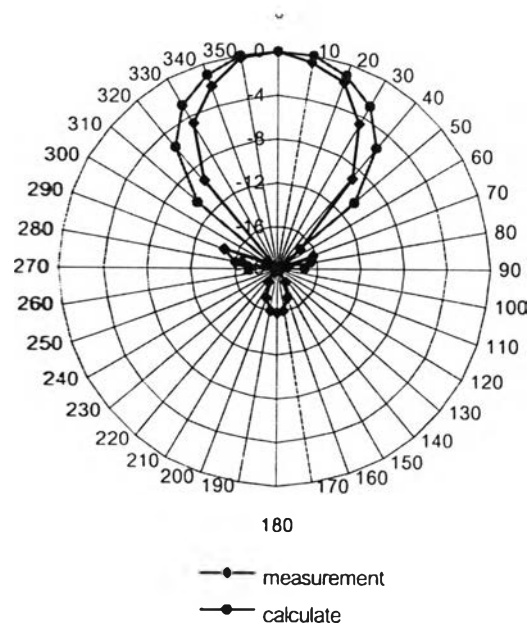
ตาราง 4.8 ค่าปัจจัยของสายอากาศ 5 องค์ประกอบ (แบบที่ 2)

	ระยะห่าง	ความยาว
ตัวประกอบสะท้อนคลื่น	$-0.12\lambda$	$0.495\lambda$
ตัวประกอบไวงาน	0	$0.47\lambda$
ตัวประกอบชีทิตตัวที่ 1	$0.24\lambda$	$0.45\lambda$
ตัวประกอบชีทิตตัวที่ 2	$0.62\lambda$	$0.43\lambda$
ตัวประกอบชีทิตตัวที่ 3	$0.92\lambda$	$0.41\lambda$

เมื่อทำการปรับมุมยกของสายอากาศ และทำการวัดแบบรูปการแผ่พลังงาน ดังแสดงในรูป 4.22 จะเห็นได้ว่าผลที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่ปรับมุมยกมีความแตกต่างกันน้อยมาก

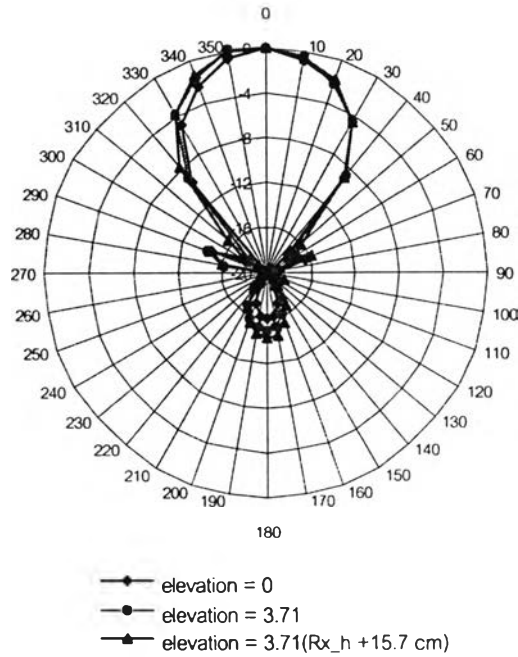


รูป 4.20 โครงสร้างของสายอากาศยาคิ-อูตะ 5 องค์ประกอบ (แบบที่ 2)



รูป 4.21 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ 5 องค์ประกอบ  
ในระนาบ H (แบบที่ 2)





รูป 4.22 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศยาก็-อูดะ 5 องค์ประกอบ  
ในระนาบตัดที่มีมุมยก (แบบที่ 2)

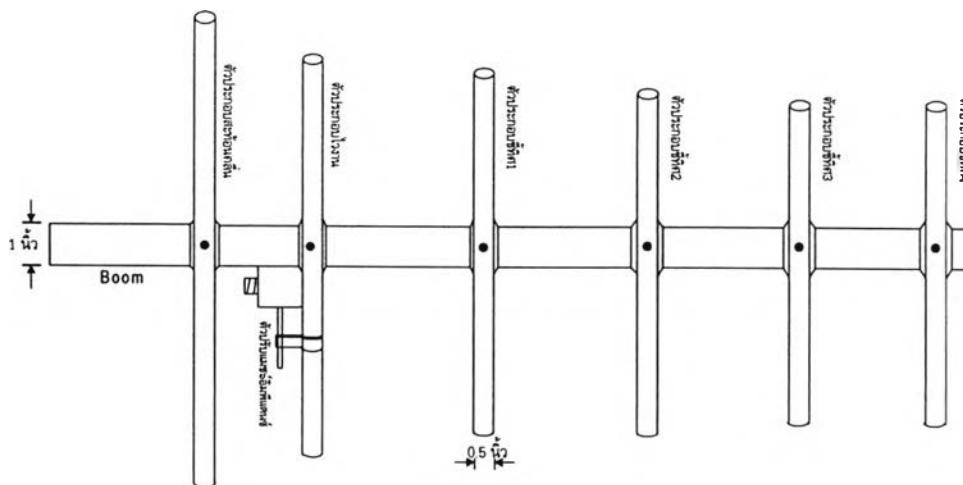
6) สายอากาศยาก็-อูดะ 6 องค์ประกอบ

สำหรับสายอากาศแบบ 6 องค์ประกอบมีค่าปัจจัยดังตาราง 4.9 สายอากาศตัวนี้เป็นสายอากาศที่ออกแบบสำหรับใช้ที่สถานี RCAG KM ของเขตที่ 1 สถานี RCAG KN,UB ของ เขตที่ 2 และสถานี RCAG KN ของเขตที่ 7 มีลักษณะโครงสร้างของสายอากาศดังรูป 4.23 ผลการวัดและการคำนวณแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแสดงดังรูป 4.24 ผลพบว่าแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ได้จากการวัดมีพหุหลักแคบกว่าการคำนวณและมีระดับสัญญาณพหุข้างและหลังมากกว่าด้วย

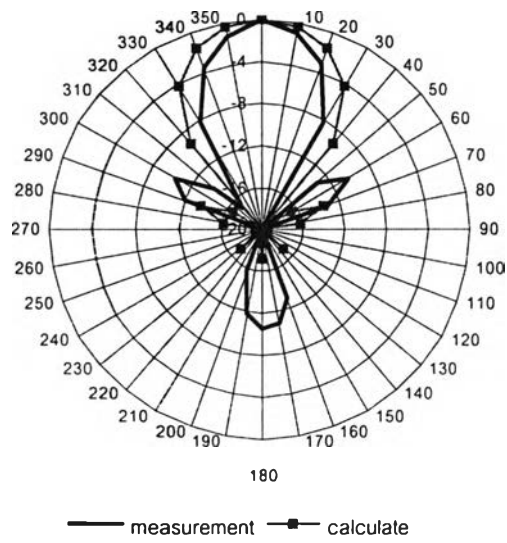
เมื่อทำการปรับมุมยกของสายอากาศตามที่ออกแบบไว้ในแต่ละพื้นที่การควบคุม ผลที่ได้จะมีความแตกต่างกับสายอากาศที่ไม่ได้ปรับมุมยกดังแสดงในรูป 4.25

ตาราง 4.9 ค่าปัจจัยของสายอากาศ 6 องค์ประกอบ

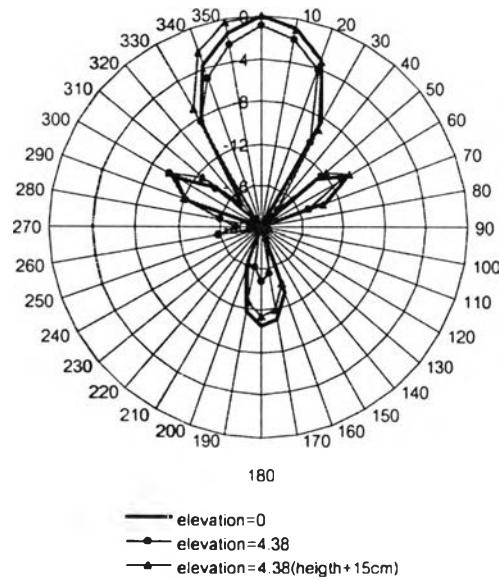
	ระยะห่าง	ความยาว
ตัวประกอบสะท้อนคลื่น	$-0.12\lambda$	$0.495\lambda$
ตัวประกอบไวงาน	0	$0.47\lambda$
ตัวประกอบชี้ทิศทางที่ 1	$0.28\lambda$	$0.45\lambda$
ตัวประกอบชี้ทิศทางที่ 2	$0.62\lambda$	$0.445\lambda$
ตัวประกอบชี้ทิศทางที่ 3	$0.92\lambda$	$0.42\lambda$
ตัวประกอบชี้ทิศทางที่ 4	$1.13\lambda$	$0.42\lambda$



รูป 4.23 โครงสร้างของสายอากาศยาเกิ-อูดะ 6 องค์ประกอบ



รูป 4.24 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ 6 องค์ประกอบ  
ในระนาบ H



รูป 4.25 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศยาก็-อุตตะ 6 องค์ประกอบ  
ในระนาบตัดที่มีมุมยก

### ผลการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศและพื้นที่ควบคุมการจราจรทางอากาศ

เนื่องจากแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ออกแบบจะต้องสามารถใช้ได้กับพื้นที่การควบคุมการจราจรทางอากาศของแต่ละเขต ดังนั้นจะต้องนำไปวางลงบนพื้นที่จริง จากที่กล่าวไว้ตอนแรกว่าสามารถใช้สายอากาศบางตัวที่ออกแบบมากกว่า 1 สถานี ซึ่งสามารถแยกออกเป็นส่วน ๆ ได้ดังนี้

#### 1) ผลการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเขตที่ 1

การควบคุมการจราจรทางอากาศของเขตที่ 1 ประกอบด้วยสถานีวิทยุภาคพื้นดินสู่อากาศ 2 สถานี คือ MK และสถานี RCAG KM โดยที่สถานี MK ใช้สายอากาศยาคิ-อุตะ 5 องค์กรออกแบบที่ 1 สถานี RCAG KM ใช้สายอากาศยาคิ-อุตะ 6 องค์กรประกอบ เมื่อวางแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ได้จากการวัดลงในพื้นที่การควบคุมมีความใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูป 4.26 แม้ว่าจะมีส่วนของพูข้างและพูหลังมากกว่าที่กำหนดบ้างแต่ไม่มีผลกระทบที่นำวิตกกังวล



----- แบบรูปการแผ่พลังงานที่กำหนด  
 - - - - - แบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัด

รูป 4.26 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ได้จากการวัด และการกำหนดจากพื้นที่ควบคุมของเขตที่ 1

## 2) ผลการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเขตที่ 2

พื้นที่การควบคุมของเขตที่ 2 ประกอบด้วยสถานีวิทยุภาคพื้นดินสู่อากาศ 4 สถานีคือ สถานี MK สถานี RCAG KT, KN และ UB สถานี MK ใช้สายอากาศยาภิ-อุตะ (แบบที่ 1) สถานี RCAG KT ใช้สายอากาศ 5 องค์ประกอบ(แบบที่ 2) สถานี RCAG KN ใช้สายอากาศยาภิ-อุตะ 6 องค์ประกอบ ส่วนสถานี RCAG UB ใช้สายอากาศ 2 ตัว คือทางทิศตะวันตกใช้สายอากาศยาภิ-อุตะ 5 องค์ประกอบ (แบบที่ 2) ทางทิศตะวันออกใช้สายอากาศแบบ 6 องค์ประกอบ จากผลที่ได้จากการวัดตามรูป 4.27 เมื่อเทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานที่กำหนด แม้ว่าบางสถานีมีพหุหลักแคบกว่าแต่ก็ยอมรับได้ เพราะแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศยังครอบคลุมเส้นทางการบินอยู่



รูป 4.27 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ได้จากการวัด  
และการกำหนดจากพื้นที่ควบคุมของเขตที่ 2

## 3) ผลการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเขตที่ 4

การควบคุมการจราจรของเขตที่ 4 ประกอบด้วยสถานีวิทยุภาคพื้นดินสู่อากาศ 3 สถานีคือ MK สถานี RCAG NS และสถานี RCAG KM โดยที่สถานี MK สถานี RCAG NS (สายอากาศ 2 ตัว) ใช้สายอากาศยาภิ-อุตะ 5 องค์ประกอบ(แบบที่ 2) สถานี RCAG KN ใช้สายอากาศยาภิ-อุตะ 6 องค์ประกอบ เมื่อนำแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ได้จากการวัดลงในพื้นที่การควบคุมดังรูป 4.28 ผลที่ได้พบว่าแบบรูปการแผ่พลังงานจากกรวัดและการกำหนดในพื้นที่ควบคุมมีความใกล้เคียงกัน



รูป 4.28 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ได้จากการวัด  
 และการกำหนดจากพื้นที่ควบคุมของเขตที่ 4

4) ผลการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเขตที่ 7

การควบคุมการจราจรทางอากาศของเขตที่ 7 ประกอบด้วยสถานีควบคุมภาคพื้นดินสู่อากาศ 3 สถานีคือ สถานี RCAG LP ใช้สายอากาศ 2 ตัว ทางทิศตะวันตกใช้สายอากาศยาภิ-อุดะ 5 องค์กรประกอบ (แบบที่ 1) ทางทิศตะวันออกใช้สายอากาศ 3 องค์กรประกอบ (แบบที่ 3) สถานี RCAG DOI ใช้สายอากาศ ยาภิ-อุดะ 5 องค์กรประกอบแบบที่ 2 และสถานี RCAG KN ใช้สายอากาศ 3 องค์กรประกอบ (แบบที่ 3) จากผลของการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อเทียบกับการกำหนดในพื้นที่ควบคุมดังรูป 4.29 ผลที่ได้จากการวัดมีความใกล้เคียงกับการคำนวณ แต่มีความแตกต่างกันเล็กน้อยที่สถานี RCAG KN ที่พู่หน้า พู่ข้าง และพู่หลังสูงกว่าที่กำหนดแต่สามารถยอมรับได้



รูป 4.29 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ได้จากการวัด  
 และการกำหนดจากพื้นที่ควบคุมของเขตที่ 7

## สรุป

จากการสร้างและทดสอบสายอากาศยาก็-อูตะ สำหรับการควบคุมการจราจรทางอากาศ ขั้นตอนแรก จะสร้างสายอากาศตามทีออกแบบไว้สำหรับของแต่ละสถานีในแต่ละเขตพื้นที่การควบคุม สำหรับการทดสอบสายอากาศจะตรวจวัดหาระยะสนามไกลที่แท้จริงเพื่อการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ โดยวัดสัญญาณที่ตกกระทบสายอากาศรับ จากการตรวจวัดระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและรับประมาณ 7.5λ-10λ มีการแกว่งของระลอกสัญญาณมีน้อยมากจึงถือว่าหน้าคลื่นเป็นคลื่นระนาบ ดังนั้นระยะเป็นการทดสอบสายอากาศระยะสนามไกล โดยงานวิจัยนี้เลือกระยะห่างระหว่างสายอากาศ 10λ ผลที่ได้จากการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเมื่อเปรียบเทียบกับผลการคำนวณทางทฤษฎีความแตกต่างที่ขนาดของความกว้างลำคลื่น โดยผลจากการวัดมีความกว้างลำคลื่นแคบกว่า แต่อย่างไรก็ตามเมื่อนำผลที่ได้จากการวัดไปวางลงในพื้นที่การควบคุมพบว่าแบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดและการกำหนดมีความใกล้เคียงกัน และสามารถครอบคลุมเส้นทางการบินในแต่ละเขต