

## บทที่ 4

### การสร้างและทดสอบสายอากาศ

บทนี้กล่าวถึงการสร้างและทดสอบสายอากาศงานสะท้อนเดี่ยวด้วยตัวรูปต้นแบบ โดยอาศัยวิธีการสังเคราะห์พื้นผิวงานสะท้อนและพิจารณาเฉพาะการหาค่าเหมาะสมที่สุดของสมการพื้นผิวงานสะท้อนเพื่อจัดรูปลำคลื่นครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทย หลังจากได้สมการพื้นผิวที่ต้องการจึงจะคำนวณหาระบบพิกัดตำแหน่งของพื้นผิวงานสะท้อน เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการสร้างสายอากาศ สายอากาศงานสะท้อนเดี่ยวด้วยตัวรูปที่สร้างขึ้นได้นำมาทดสอบและเปรียบเทียบกับผลการคำนวณซึ่งใช้ทฤษฎีการเลี้ยวเบนเชิงกายภาพในการวิเคราะห์ วิธีทดสอบสายอากาศใช้ย่านทดสอบสายอากาศชนิดสนามใกล้เชิงระนาบ[15] เนื่องจากเหมาะสมกับการทดสอบสายอากาศที่มีขนาดใหญ่และสภาพเจาะจงทิศทางที่ดีตัวอย่างเช่นสายอากาศงานสะท้อน

### ผลการสังเคราะห์พื้นผิวงานสะท้อนจากกรรมวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุด

วิทยานิพนธ์นี้สังเคราะห์สายอากาศสำหรับพื้นที่ครอบคลุมรูปร่างประเทศไทยซึ่งมีลักษณะทางกายภาพดังรูป 3.7 โดยกำหนดให้ตำแหน่งดาวเทียมค้างฟ้าอยู่ที่ลองจิจูด 101 องศาตะวันออก ตำแหน่งมุมเงยของสายอากาศงานสะท้อนอยู่ที่ละติจูด 14 องศาเหนือ ลองจิจูด 101 องศาตะวันออก ตำแหน่งของจุดสังเกตทั้งหมดแสดงอยู่ในระบบพิกัดละติจูดและลองจิจูด ค่าปัจจัยต่างๆของระบบสายอากาศเป็นดังนี้

1.ความถี่ปฏิบัติการย่านแถบ C 4 GHz

2.สายอากาศป้อนกำลังคลื่นเป็นสายอากาศปากแตรรูปทรงพีระมิดโดยใช้วัสดุทองเหลืองซึ่งมีลักษณะทางกายภาพเป็นดังนี้  $a_1=0.12$  m.  $b_1=0.09$ m.  $\rho_1=0.091982$ m.  $\rho_2=0.12004$ m ดังรูป 2.2 และเป็นสายอากาศชนิดโพลาริเซชันเชิงเส้นตามแกน y แบบรูปการแผ่พลังงานในย่านสนามไกลที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี[9] ในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กแสดงดังรูป 4.1ก และ 4.1ข ภูมิภาคที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กแสดงดังรูป4.2ก และ 4.2ข แบบรูปการแผ่พลังงานและภูมิภาคในย่านสนามไกลที่ได้จากการ

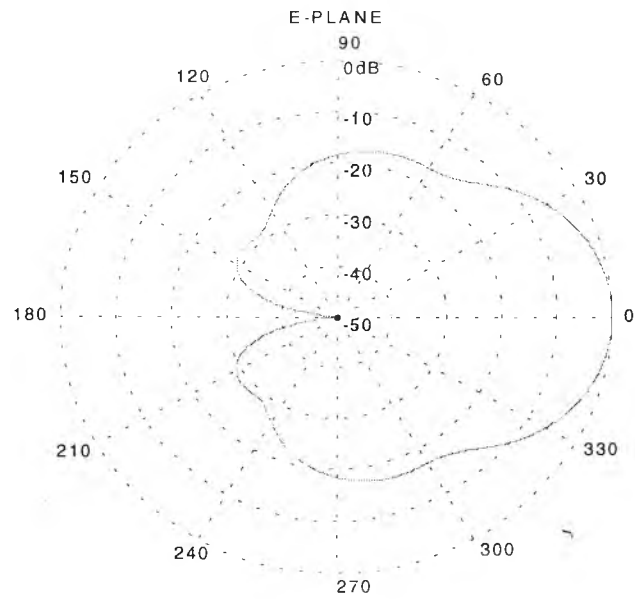
หมุนสายอากาศทดสอบในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กแสดงดังรูป 4.3 ก , 4.3ข และ 4.4ก , 4.4ข ตามลำดับ

3.สายอากาศงานสะท้อนเดี่ยวจัดรูปเป็นชนิดไม่สมมาตรที่ช่องเปิดเป็นวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง(D) 1.65 เมตร หรือ 22 เท่าของความยาวคลื่น

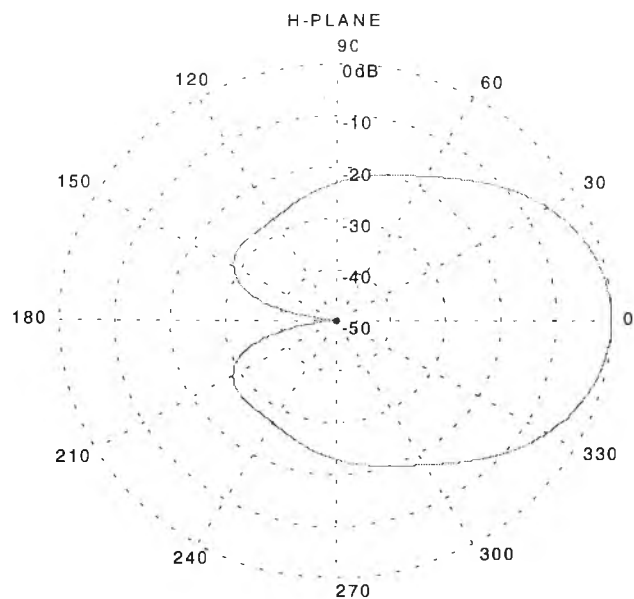
4.ระยะออฟเซต(h) 0.21 เมตร

5.ระยะโฟกัส(f) 1.485 เมตร

6.มุมเงี้ยวของสายอากาศป้อนกำลังคลื่น 38.3 องศา

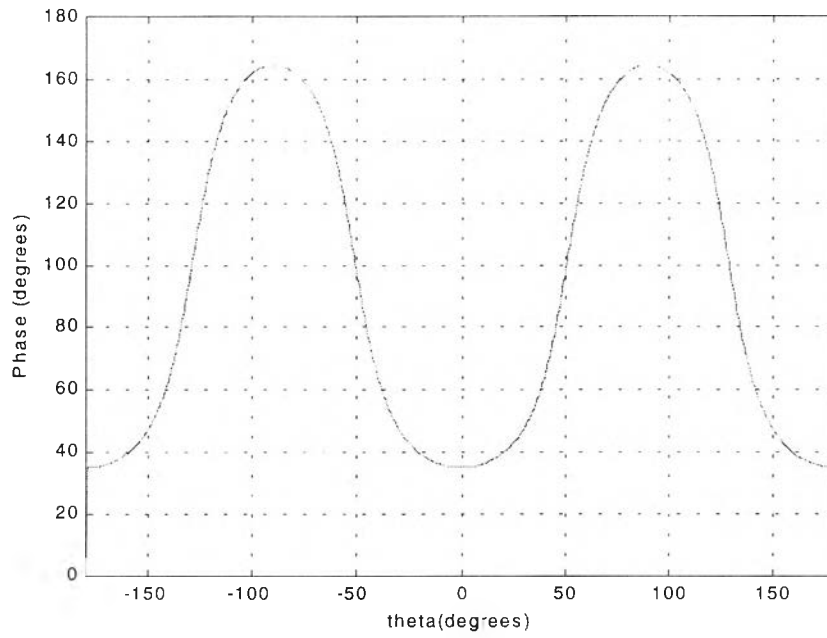


(ก) แบบรูปการแผ่พลังงานในย่านสนามไกลที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีในระนาบสนามไฟฟ้า

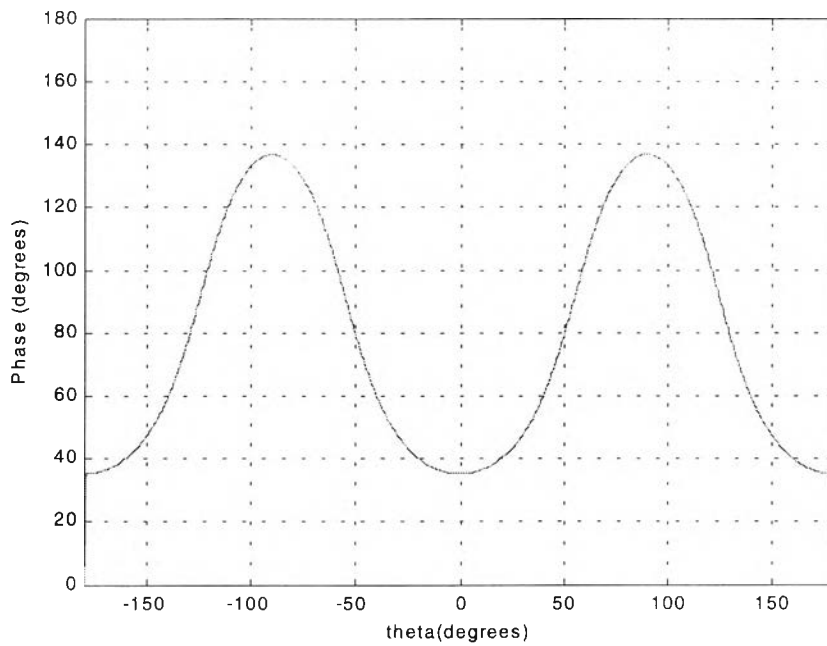


(ข) แบบรูปการแผ่พลังงานในย่านสนามไกลที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีในระนาบสนามแม่เหล็ก

รูป 4.1 แบบรูปการแผ่พลังงานในย่านสนามไกลที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีของสายอากาศปากแตรรูปทรงพีระมิด

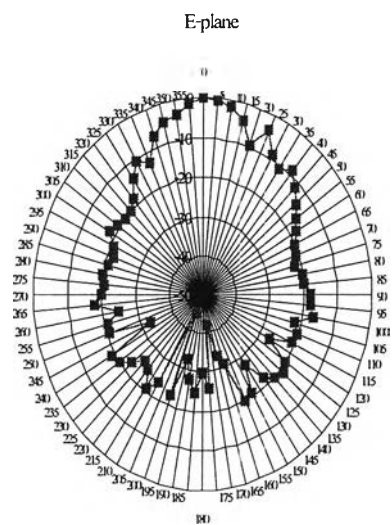


(ก) วัฏภาคที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีในระนาบสนามไฟฟ้า

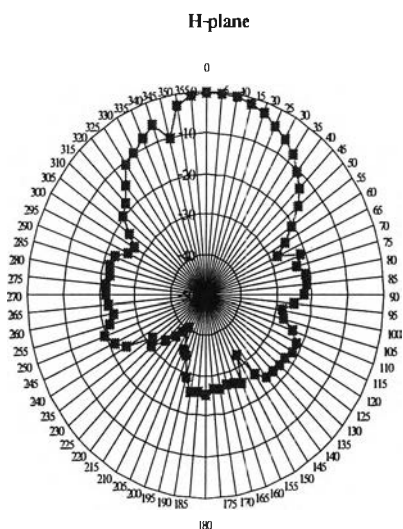


(ข) วัฏภาคที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีในระนาบสนามแม่เหล็ก

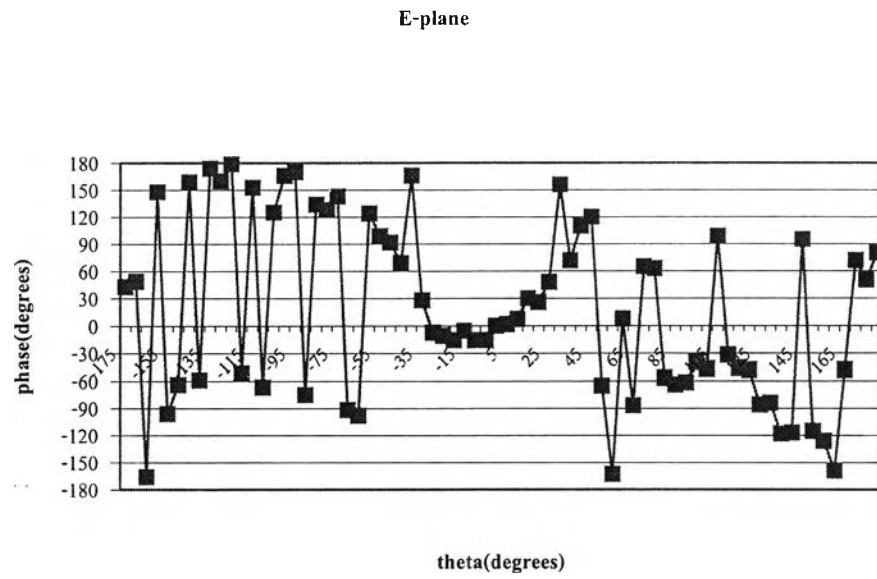
รูป 4.2 วัฏภาคที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี



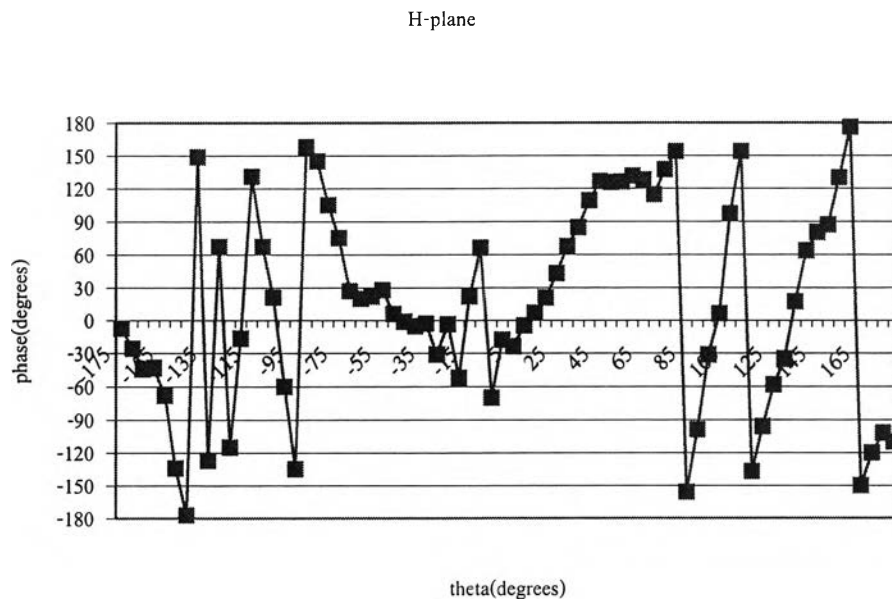
(ก) แบบรูปการแผ่พลังงานในย่านสนามไกลที่ได้จากการวัดในระนาบสนามไฟฟ้า



(ข) แบบรูปการแผ่พลังงานในย่านสนามไกลที่ได้จากการวัดในระนาบสนามแม่เหล็ก  
รูป 4.3 แบบรูปการแผ่พลังงานในย่านสนามไกลที่ได้จากการวัดของสายอากาศปากแตรรูปทรง  
พีระมิด



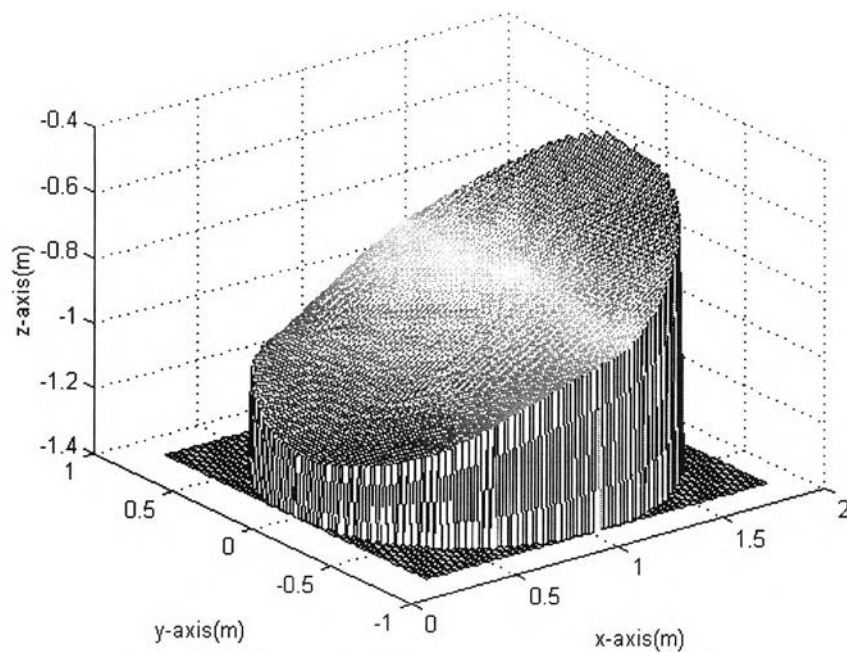
(ก) ภูมิภาคที่ได้จากการวัดในระนาบสนามไฟฟ้า



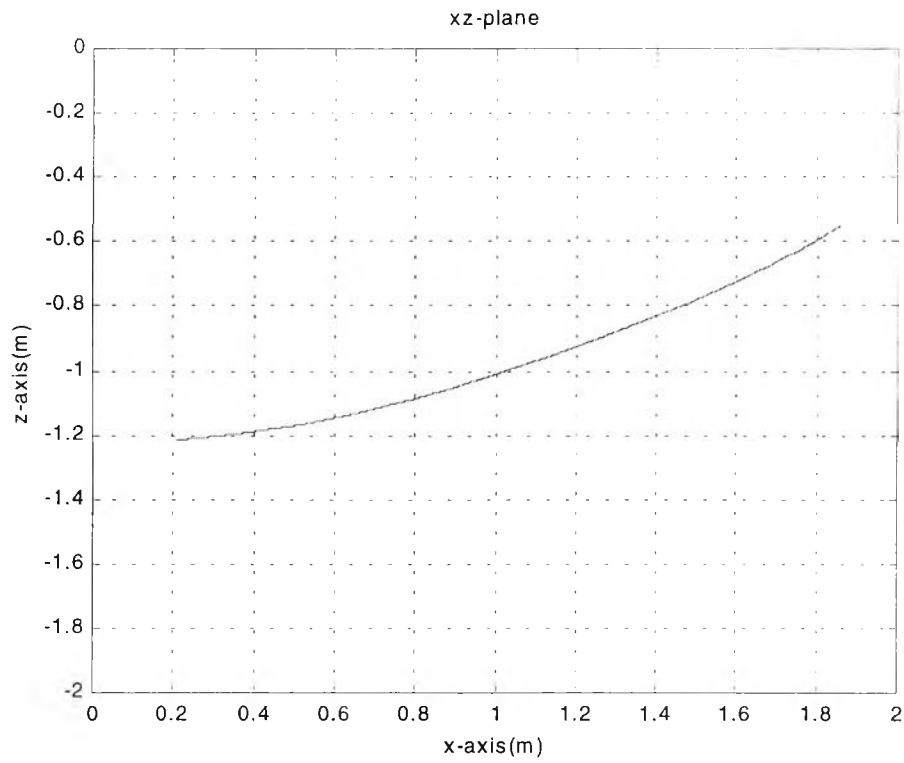
(ข) ภูมิภาคที่ได้จากการวัดในระนาบสนามแม่เหล็ก

รูป 4.4 ภูมิภาคที่ได้จากการวัดของสายอากาศปากแตรรูปทรงพีระมิด

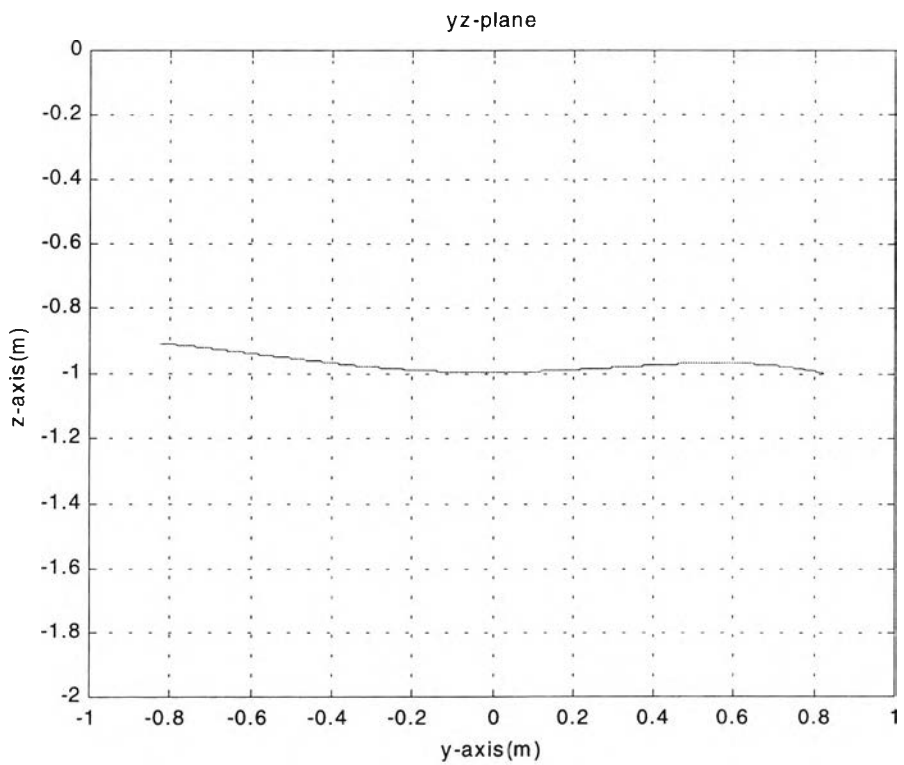
กำหนดให้สายอากาศงานสะท้อนสร้างลำคลื่นครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทยโดยอัตราขยายที่ต้องการมีค่า 28 dB ดังนั้นจึงต้องกำหนดตำแหน่งของจุดสังเกตต่างๆจากระบบสายอากาศลงบนแผนที่ประเทศไทยดังรูป 3.10 จากนั้นจึงสังเคราะห์พื้นผิวงานสะท้อนจากค่าปัจจัยแรกเริ่มซึ่งกำหนดให้พื้นผิวแรกเริ่มเป็นพื้นผิวพาราโบลอยด์ การประมาณรูปร่างพื้นผิวงานสะท้อนใช้แบบสมการพหุนามอันดับสามรวมกับฮาร์มอนิกฟูรีเยร์ตามสมการ (2.1) โดยมีจำนวนพจน์ฮาร์มอนิกฟูรีเยร์ทั้งหมด 25 พจน์ นำค่าปัจจัยอื่นๆของระบบสายอากาศไปคำนวณพื้นผิวงานสะท้อนตามกรรมวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุด จนกว่าจะได้พื้นผิวงานสะท้อนที่ต้องการ สายอากาศงานสะท้อนเดี่ยวตัดรูปที่สังเคราะห์ได้แสดงดังรูป 4.5 แบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชันร่วมแสดงดังรูป 4.10 ก จะเห็นได้ว่าลำคลื่นครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทยโดยมีค่าอัตราขยายในแนวโพลาริเซชันร่วมเป็น 28 dB ตรงตามค่าอัตราขยายที่ต้องการ ส่วนแบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชันไขว้แสดงดังรูป 4.11 ก จะเห็นได้ว่าอัตราขยายในแนวโพลาริเซชันไขว้มีค่าเป็น  $-1.01$  dB ต่ำกว่าอัตราขยายในแนวโพลาริเซชันร่วม 29 dB ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้



(ก) ภาพ 3 มิติของพื้นผิวสายอากาศงานสะท้อนเดี่ยวตัดรูปที่สังเคราะห์ได้รูป 4.5 สายอากาศงานสะท้อนเดี่ยวตัดรูปที่สังเคราะห์ได้



(จ) ภาพตัดพื้นผิวงานสะท้อนที่สังเคราะห์ได้ในระนาบ x-z



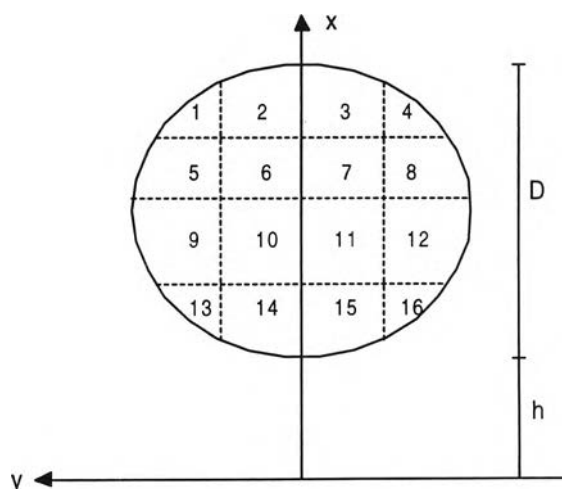
(ค) ภาพตัดพื้นผิวงานสะท้อนที่สังเคราะห์ได้ในระนาบ y-z

รูป 4.5(ต่อ) สายอากาศงานสะท้อนเดี่ยวตัดรูปที่สังเคราะห์ได้

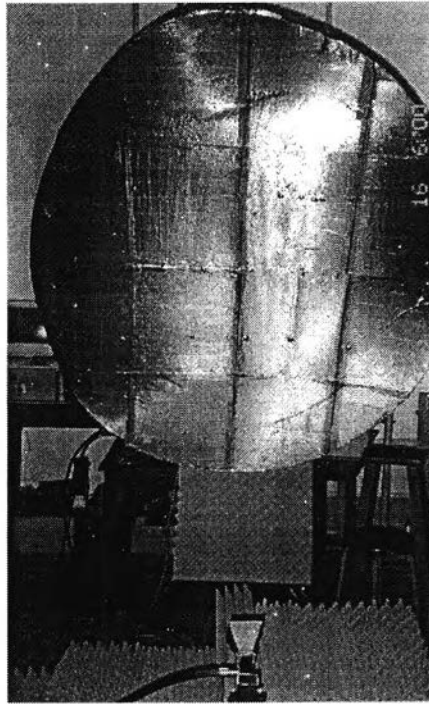


### การสร้างสายอากาศงานสะท้อนเดี่ยวคักรูป

ผลจากการสังเคราะห์พื้นผิวด้วยกรรมวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุด จะนำมาใช้ในการสร้างระบบพิกัดเพื่อบอกตำแหน่งของจุดแต่ละจุดบนพื้นผิวงานสะท้อน โดยมีจำนวนจุดตามแนวแกน  $x$  และแกน  $y$  แกนละ 352 จุดและมีระยะห่างระหว่างจุดเป็น 4.7 มิลลิเมตร (ประมาณหนึ่งส่วนสิบหกของความยาวคลื่น) ดังนั้นจึงมีจำนวนจุดพื้นผิวทั้งหมด 123,904 จุด หลังจากทราบพิกัดของจุดบนพื้นผิวงานสะท้อนแล้วจึงนำข้อมูลเหล่านี้ไปเป็นข้อมูลสำหรับการสร้าง โดยนำข้อมูลไปเขียนเป็นแบบร่างรูปสายอากาศคักรูปในภาคผนวก ง. หลังจากนั้นจึงนำแบบร่างที่ได้ไปเป็นข้อมูลสำหรับการกัดผิวต่อไป การสร้างพื้นผิวงานสะท้อนจะใช้ไม้แดงเป็นวัสดุสำหรับการกัดผิวโดยใช้เครื่องจักร CNC ที่สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรมซึ่งเป็นหน่วยงานภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เนื่องจากไม้แดงมีเนื้อไม้ที่แข็งและไม่ฉีกขาดง่ายจึงทนทานเพียงพอต่อการกัดผิวจากเครื่องจักร CNC ขนาดของงานสะท้อนมีขนาดใหญ่เกินกว่าเครื่องจักรจะสามารถกัดได้ ดังนั้นจึงแบ่งพื้นผิวงานสะท้อนออกเป็นชิ้นส่วนย่อย 16 ชิ้น แล้วกัดทีละชิ้นจนครบทุกชิ้น แล้วจึงนำชิ้นส่วนแต่ละชิ้นมาประกอบเข้ากันจนได้พื้นผิวงานสะท้อนทั้งหมดคักรูป 4.6 ส่วนผิวหน้าของผิวจะเคลือบด้วยแผ่นอะลูมิเนียมบางเพื่อให้สามารถสะท้อนคลื่นได้ เมื่อได้ส่วนของพื้นผิวงานสะท้อนแล้วจะนำมายึดกับตัวจับสายอากาศ และยึดกับก้านยึดสายอากาศป้อนกำลังคลื่น แล้วจึงจัดวางตำแหน่งของสายอากาศให้ถูกต้องตามระบบพิกัดสายอากาศ สายอากาศงานสะท้อนเดี่ยวคักรูปที่สร้างขึ้นแสดงดังรูป 4.7 รูป 4.8 ตัวจับยึดพื้นผิวสายอากาศและสายอากาศปากแตรรูปทรงพีระมิดที่สร้างขึ้นแสดงดังรูป 4.9



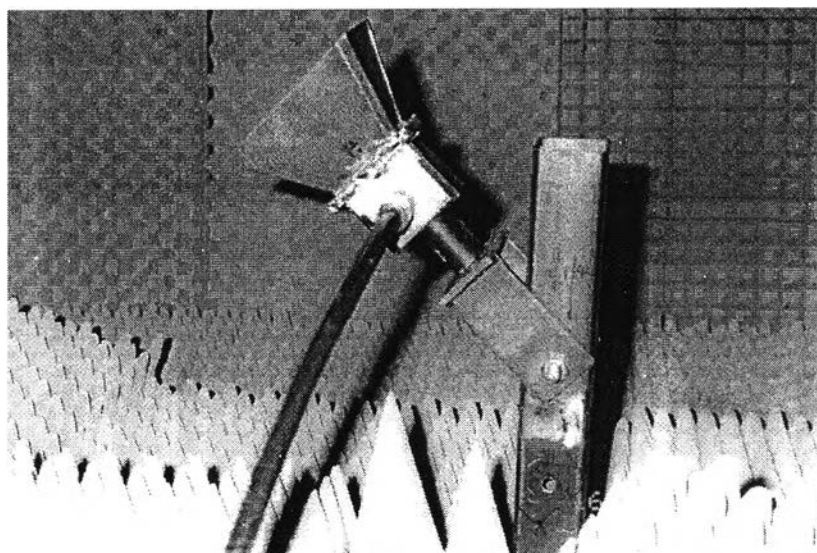
รูป 4.6 ส่วนประกอบแต่ละชิ้นส่วนของสายอากาศงานสะท้อนเดี่ยวคักรูป



รูป 4.7 สายอากาศงานสะท้อนเดี่ยวคักรูปที่สร้างขึ้น



รูป 4.8 ตัวจับยึดพื้นผิวสายอากาศ



รูป4.9 สายอากาศปากแตรรูปทรงพีระมิดที่สร้างขึ้น

#### การทดสอบและผล

ในการทดสอบระบบสายอากาศจะใช้ย่านทดสอบสายอากาศชนิดสนามใกล้เชิงระนาบ เนื่องจากการทดสอบสายอากาศวิธีนี้เหมาะสมกับสายอากาศที่มีสภาพเจาะจงทิศทางที่ดีโดยเฉพาะ ถ้าเป็นสายอากาศงานสะท้อนที่มีขนาดใหญ่ และมีข้อดีอีกคือประหยัดเนื้อที่ที่ใช้ทดสอบ เนื่องจากถ้าเป็นสายอากาศขนาดใหญ่การทดสอบโดยวิธีย่านสนามไกลจะใช้ขนาดพื้นที่ทดสอบใหญ่มาก ทำให้เกิดความไม่สะดวกในการทดสอบ ผลการทดสอบสายอากาศโดยวิธีนี้จะให้ความถูกต้องของลำคลื่นช่วงพูหลักและพูข้างแรกๆ เท่านั้นเนื่องจากระนาบกวาดวัดมีขนาดที่จำกัด ข้อจำกัดนี้ไม่มีผลต่องานวิจัยนี้ เนื่องจากในการสังเคราะห์พื้นผิวงานสะท้อนเพื่อให้ได้ลำคลื่นตามต้องการนั้น ได้สนใจช่วงพูหลักของลำคลื่นเท่านั้น รายละเอียดการทดสอบมีดังนี้

1. ในการวัดจะใช้หัววัดชนิดท่อนำคลื่นสี่เหลี่ยมปลายเปิดที่มีช่องเปิดวัดที่ขอบในเป็น 3 เซนติเมตร และ 6 เซนติเมตร ตามลำดับ (รุ่น WR 229)
2. ความถี่ปฏิบัติการ 4 GHz ซึ่งเมื่อคิดเป็นความยาวคลื่นเป็น 0.075 เมตร
3. สายอากาศป้อนกำลังคลื่นเป็นสายอากาศปากแตรรูปทรงพีระมิดทำจากทองเหลือง

4. สายอากาศงานสะท้อนเดี่ยวตัวรูปที่สร้างขึ้นแสดงดังรูป 4.7

5. การกวาดวัดค่า จะกวาดวัดค่าสนามไฟฟ้าที่ระยะ 1.47 เมตร จากระนาบหน้างานคิดเป็นระยะ  $z = 19.6\lambda$  โดยวัด 2 ครั้ง ครั้งแรกกำหนดให้ระยะห่างในการชักตัวอย่างเป็น 3.75 เซนติเมตร หรือ  $\frac{\lambda}{2}$  ครั้งที่ 2 กำหนดให้ระยะในการชักตัวอย่างเป็น 1.875 เซนติเมตร หรือ  $\frac{\lambda}{4}$  การกวาดวัดครั้งที่สองผู้วิจัยได้ติดตั้งชุดจุดขับเคลื่อนเพิ่มเติมที่ตำแหน่งก้านเหล็กสำหรับยึดสายอากาศปากแตรรูปทรงพีระมิด

6. ในการเก็บข้อมูลจะใช้เครื่องวิเคราะห์ข่ายวงจร ต่อกับคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งแผงวงจร GPIB เก็บข้อมูลที่ละสดมภ์(column) โดยวัด 2 ครั้ง ครั้งแรกวัดสดมภ์ละ 50 จุด ดังนั้นจำนวนจุดทั้งหมด 2500 จุด ครอบคลุมบริเวณกว้างและยาว 183.75 เซนติเมตร บนระนาบกวาดกวาดวัด ส่วนครั้งที่ 2 วัดสดมภ์ละ 100 จุด ดังนั้นจำนวนจุดทั้งหมด 10000 จุด ครอบคลุมบริเวณกว้างและยาว 183.75 เซนติเมตรบนระนาบกวาดกวาดวัด การเก็บข้อมูลจะทำได้โดยการกวาดวัดสนามไฟฟ้าบนระนาบกวาดวัดโดยจัดให้หัววัดวางตัวในแนวโพลาริเซชันตามแกน y และแกน x ของระบบสายอากาศ

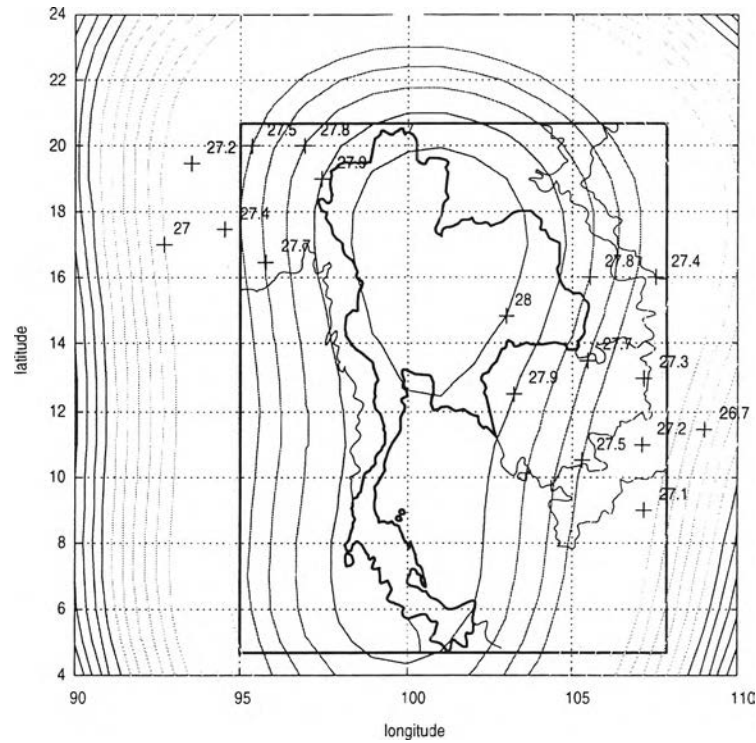
7. การจัดค่าปัจจัยของเครื่องวิเคราะห์ข่ายวงจรในการวัดใช้กำลังคลื่นเป็น 20 dBm ความกว้างแถบความถี่กลาง (IFBW) 100 Hz

8. การเก็บข้อมูลบนระนาบกวาดวัดแต่ละสดมภ์จะให้หัววัดเคลื่อนที่ลงมาอย่างต่อเนื่อง โดยการควบคุมการเคลื่อนที่ของหัววัดเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ

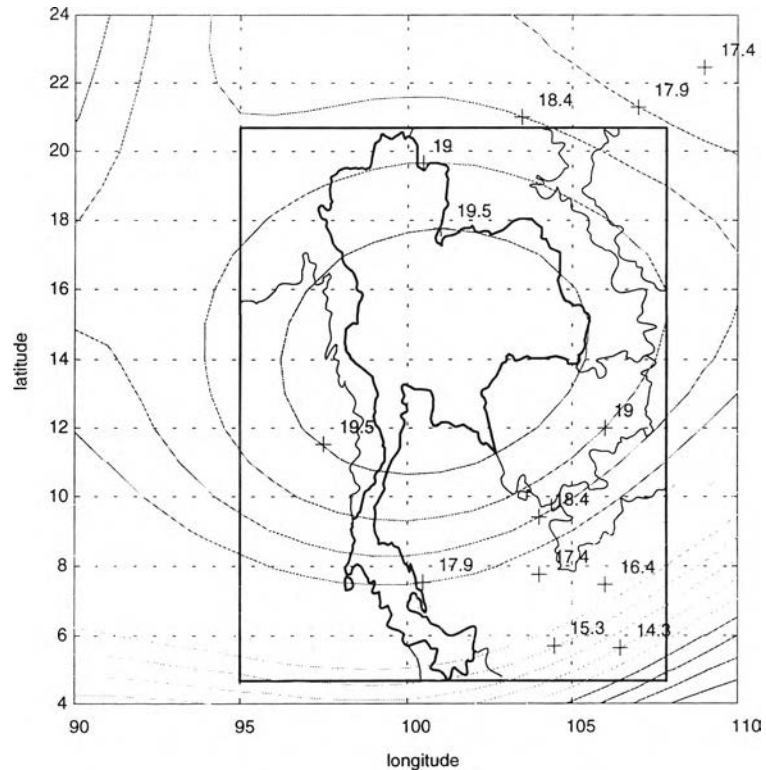
9. ความเชื่อถือได้ของแบบรูปการแผ่พลังงานย่านสนามไกลที่ได้จากการคำนวณข้อมูลสนามไฟฟ้าที่กวาดวัดค่าได้ สามารถมีได้จนถึงมุม  $\theta$  ค่าหนึ่งซึ่งมีค่าเท่ากับมุมที่ลากจากเส้นขอบของงานสะท้อนคลื่นไปจนถึงขอบนอกของบริเวณการกวาดวัดบนระนาบกวาดวัดทำกับแกน z มีค่าเป็น

$$\theta = \tan^{-1} \left[ \frac{(183.75 - 1.65) / 2}{1.47} \right] = 3.65 \text{ องศา}$$

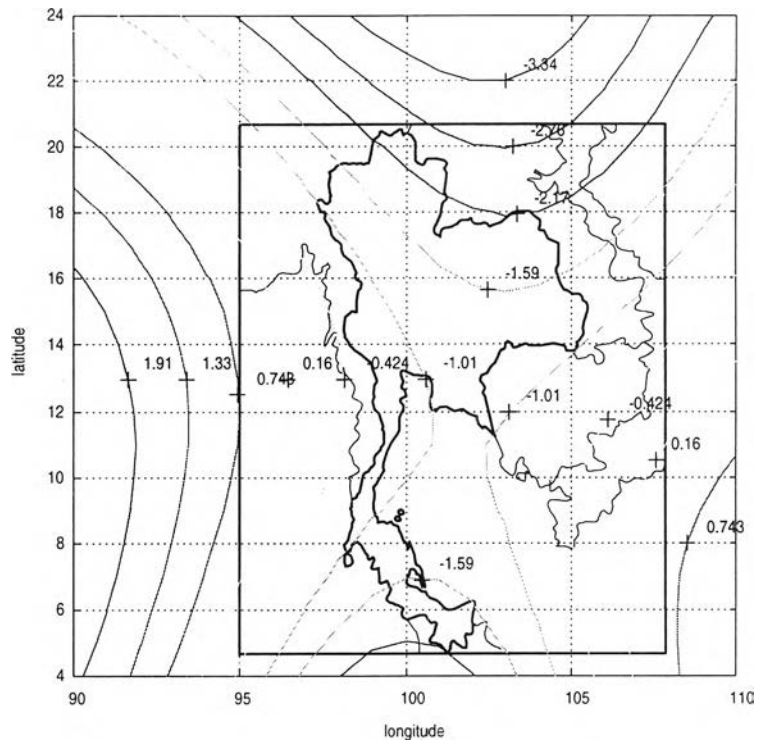
สายอากาศจานสะท้อนเดี่ยวตัวคู่รูปที่สังเคราะห์ได้แสดงดังรูป 4.5 แบบรูปการแผ่พลังงานที่คำนวณได้จากทฤษฎีการเลี้ยวเบนเชิงกายภาพในแนวโพลาริเซชันร่วม เปรียบเทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานย่านสนามไกลที่คำนวณได้จากข้อมูลสนามไฟฟ้าที่กวาดวัดค่าได้ในแนวโพลาริเซชันร่วมของกรณีแรกแสดงดังรูป 4.10 แบบรูปการแผ่พลังงานที่คำนวณได้จากทฤษฎีการเลี้ยวเบนเชิงกายภาพในแนวโพลาริเซชันไขว้ เปรียบเทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานย่านสนามไกลที่คำนวณได้จากข้อมูลสนามไฟฟ้าที่กวาดวัดค่าได้ในแนวโพลาริเซชันไขว้ของกรณีแรกแสดงดังรูป 4.11 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กที่ได้จากการวัด เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยใช้ทฤษฎีการเลี้ยวเบนเชิงกายภาพของกรณีแรกแสดงดังรูป 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ แบบรูปการแผ่พลังงานที่คำนวณได้จากทฤษฎีการเลี้ยวเบนเชิงกายภาพในแนวโพลาริเซชันร่วม เปรียบเทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานย่านสนามไกลที่คำนวณได้จากข้อมูลสนามไฟฟ้าที่กวาดวัดค่าได้ในแนวโพลาริเซชันร่วมของกรณีที่ 2 แสดงดังรูป 4.14 แบบรูปการแผ่พลังงานที่คำนวณได้จากทฤษฎีการเลี้ยวเบนเชิงกายภาพในแนวโพลาริเซชันไขว้ เปรียบเทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานย่านสนามไกลที่คำนวณได้จากข้อมูลสนามไฟฟ้าที่กวาดวัดค่าได้ในแนวโพลาริเซชันไขว้ของกรณีที่ 2 แสดงดังรูป 4.15 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กที่ได้จากการวัด เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยใช้ทฤษฎีการเลี้ยวเบนเชิงกายภาพของกรณีที่ 2 แสดงดังรูป 4.16 และ 4.17 ตามลำดับ



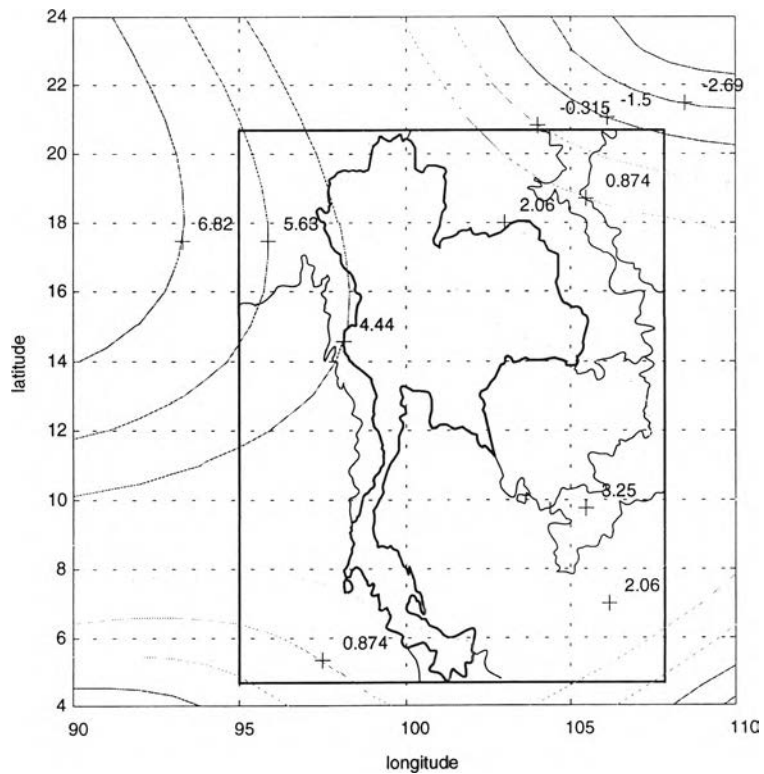
(ก) แบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชันร่วมของสายอากาศงานสะท้อนเดี่ยวตัดรูป



(ข) แบบรูปการแผ่พลังงานย่านสนามไกลที่ได้จากการวัดในแนวโพลาริเซชันร่วมรูป 4.10 เปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชันร่วมของสายอากาศงานสะท้อนเดี่ยวตัดรูปสำหรับการวัดครั้งแรก

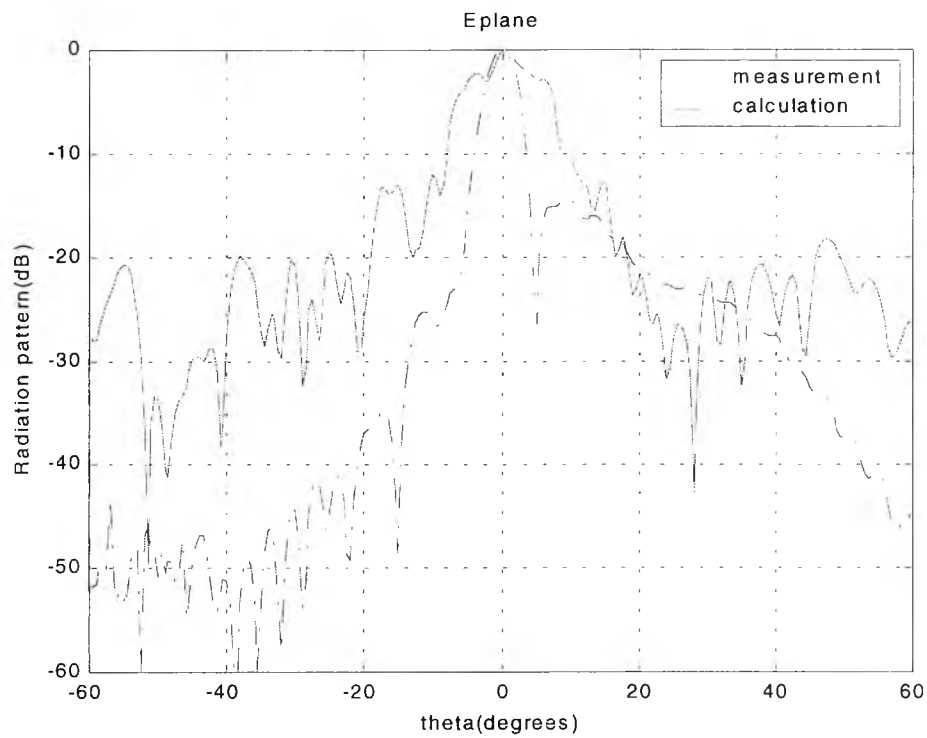


(ก) แบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชันไขว้ของสายอากาศงานสะท้อนเดี่ยวคักรูป

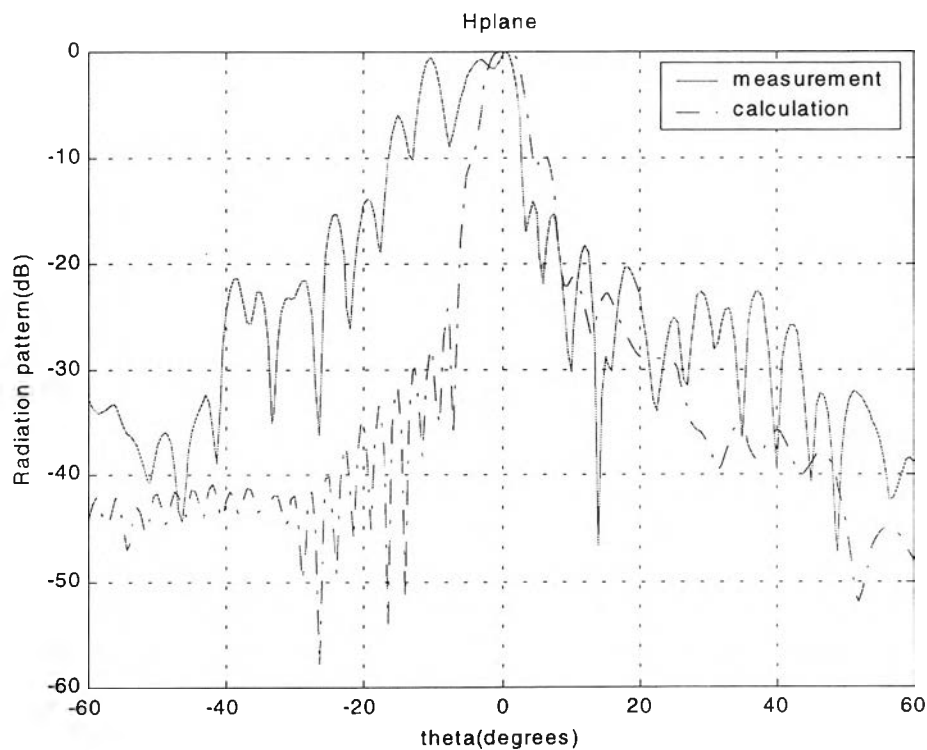


(ข) แบบรูปการแผ่พลังงานย่านสนามไกลที่ได้จากการวัดในแนวโพลาริเซชันไขว้

รูป 4.11 เปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชันไขว้ของสายอากาศงานสะท้อนเดี่ยวคักรูปสำหรับการวัดครั้งแรก

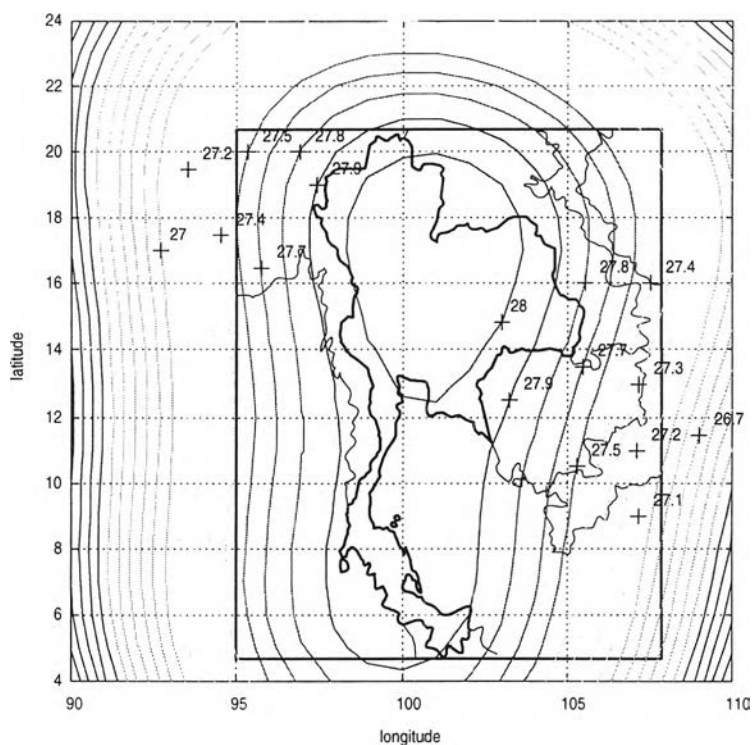


รูป 4.12 แบบรูปการแผ่พลังงานย่านสนามไกลในระนาบสนามไฟฟ้าที่ได้จากการวัดเปรียบเทียบกับ การคำนวณโดยใช้ทฤษฎีการเลี้ยวเบนเชิงกายภาพ(กรณีแรก)

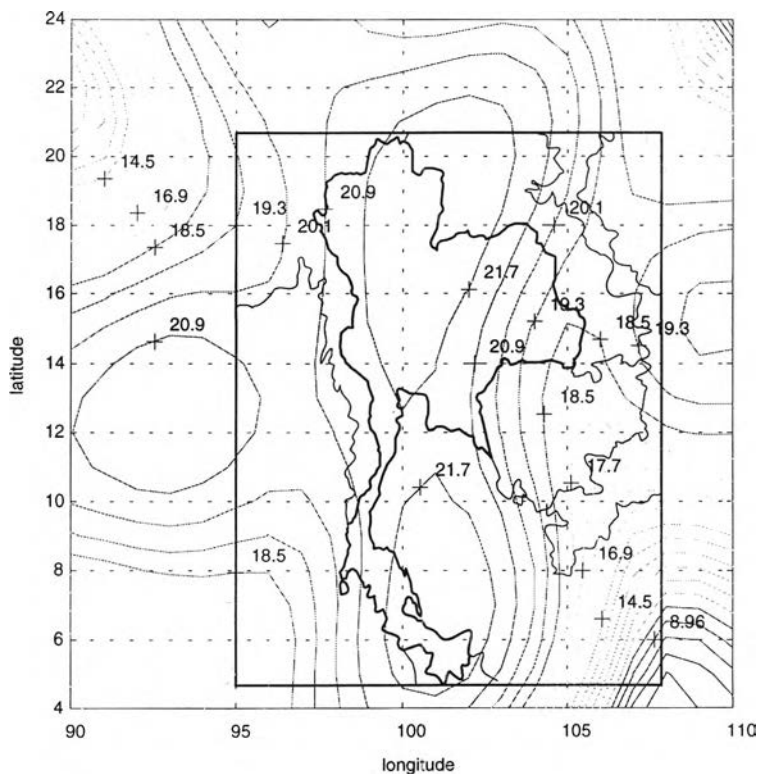


รูป 4.13 แบบรูปการแผ่พลังงานย่านสนามไกลในระนาบสนามแม่เหล็กที่ได้จากการวัดเปรียบเทียบกับ การคำนวณโดยใช้ทฤษฎีการเลี้ยวเบนเชิงกายภาพ(กรณีแรก)



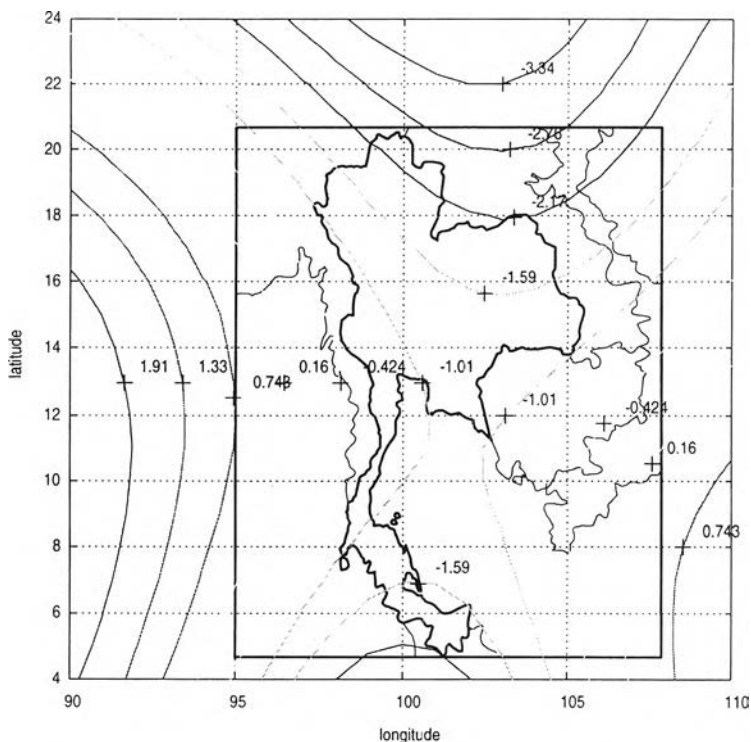


(ก) แบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโปลาไรเซชันร่วมของสายอากาศงานสะท้อนเดี่ยวคักรูป

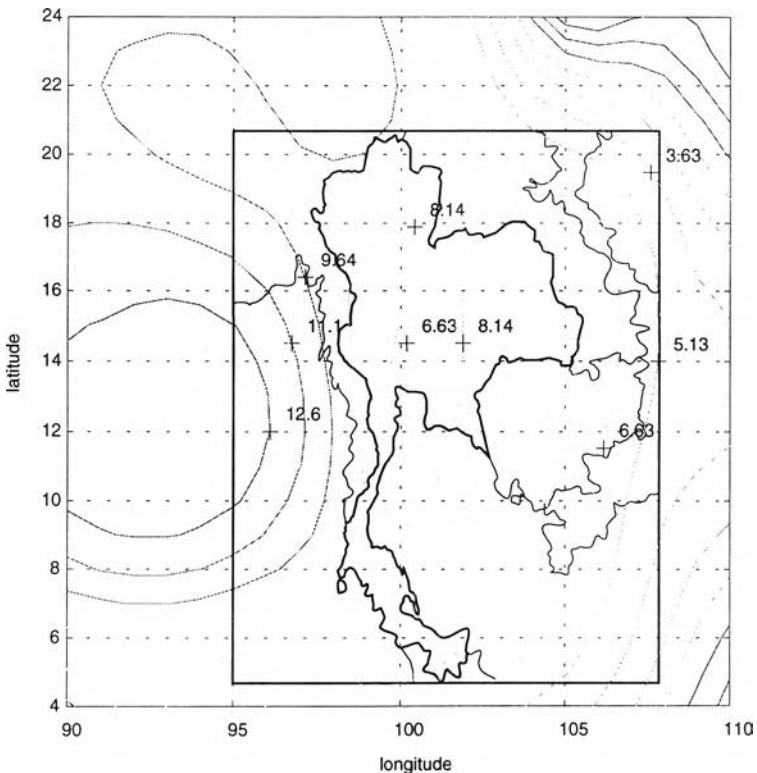


(ข) แบบรูปการแผ่พลังงานย่านสนามไกลที่ได้จากการวัดในแนวโปลาไรเซชันร่วม

รูป 4.14 เปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโปลาไรเซชันร่วมของสายอากาศงานสะท้อนเดี่ยวคักรูปสำหรับการวัดครั้งที่ 2

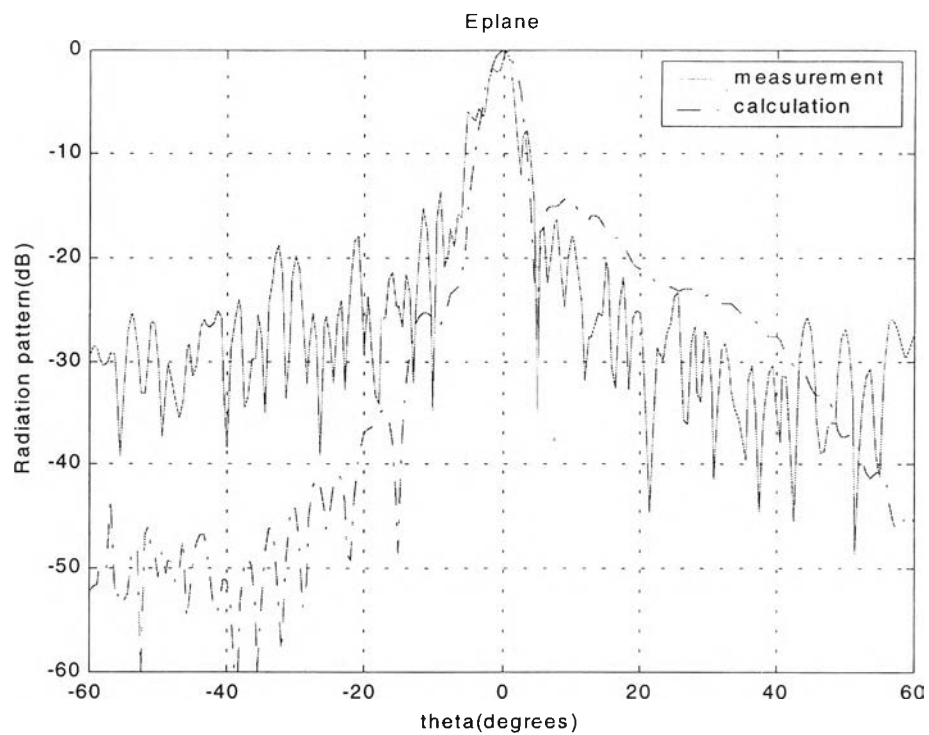


(ก) แบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชัน ไขว้ของสายอากาศงานสะท้อนเดี่ยวคักรูป

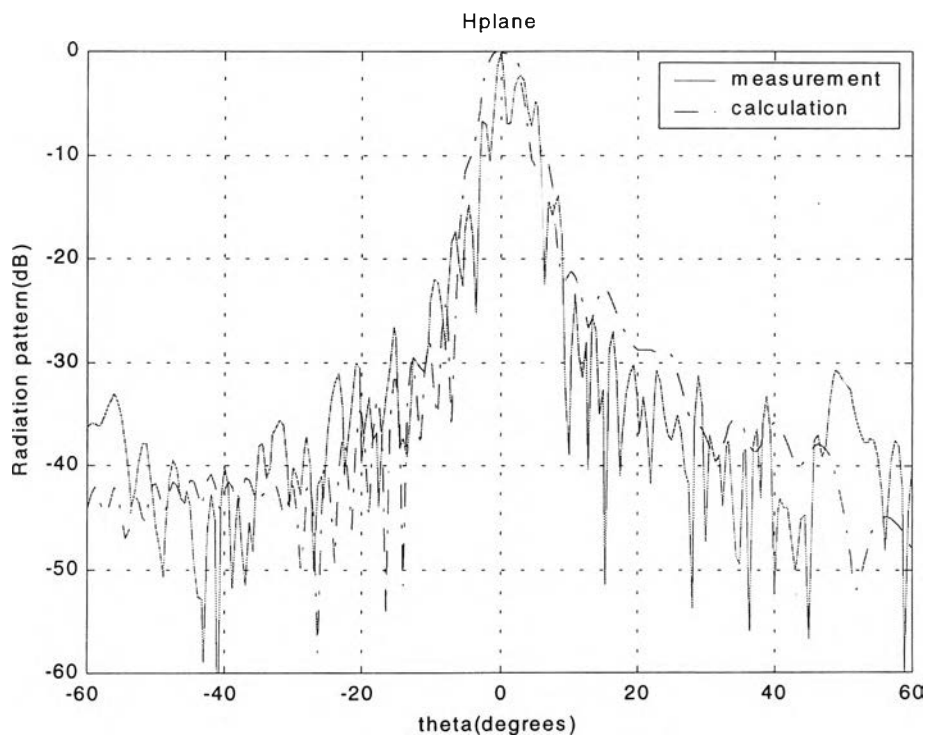


(ข) แบบรูปการแผ่พลังงานย่านสนามไกลที่ได้จากการวัดในแนวโพลาริเซชัน ไขว้

รูป 4.15 เปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชัน ไขว้ของสายอากาศงานสะท้อนเดี่ยวคักรูปสำหรับการวัดครั้งที่ 2



รูป 4.16 แบบรูปการแผ่พลังงานย่านสนามไกลในระนาบสนามไฟฟ้าที่ได้จากการวัดเปรียบเทียบกับ การคำนวณ โดยใช้ทฤษฎีการเลี้ยวเบนเชิงกายภาพ(กรณีที่ 2)



รูป 4.17 แบบรูปการแผ่พลังงานย่านสนามไกลในระนาบสนามแม่เหล็กที่ได้จากการวัดเปรียบเทียบกับ การคำนวณ โดยใช้ทฤษฎีการเลี้ยวเบนเชิงกายภาพ(กรณีที่ 2)

### เปรียบเทียบผลการวัดและผลการสังเคราะห์

การวัดสายอากาศโดยใช้ย่านทดสอบสายอากาศชนิดสนามใกล้เชิงระนาบได้ทำทั้งสิ้น 2 ครั้ง การวัดครั้งแรกกำหนดให้ใช้ระยะห่างในการชักตัวอย่างเป็น  $\frac{\lambda}{2}$  หรือ 3.75 เซนติเมตร ผลการวัดแสดงดังรูป 4.10-4.13 การวัดครั้งที่ 2 กำหนดให้ใช้ระยะในการชักตัวอย่างเป็น  $\frac{\lambda}{4}$  หรือ 1.875 เซนติเมตร ผลการวัดเป็นดังรูป 4.14 – 4.17 ซึ่งแสดงแบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชันร่วมและในแนวโพลาริเซชันไขว้ที่คำนวณได้ ถ้าคลื่นที่ครอบคลุมประเทศไทยมีค่าอัตราขยายในแนวโพลาริเซชันร่วม 28 dB ซึ่งเป็นค่าตามที่กำหนดไว้ ส่วนอัตราขยายในแนวโพลาริเซชันไขว้มีค่า -2 dB ต่ำกว่าอัตราขยายในแนวโพลาริเซชันร่วม 30 dB จึงเป็นค่าที่ยอมรับได้

### การวัดครั้งแรก

แบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชันร่วมที่วัดได้แสดงดังรูป 4.10 อัตราขยายในแนวโพลาริเซชันร่วมในบริเวณประเทศไทยมีค่า 19 dB ยกเว้นพื้นที่บริเวณภาคใต้ตอนล่างมีค่า 16 dB เมื่อเปรียบเทียบกับผลการคำนวณจะเห็นได้ว่าเกิดความแตกต่าง และค่าอัตราขยายในบริเวณประเทศไทยที่วัดได้ลดลงจากผลการคำนวณ 8.5 dB แบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชันไขว้ที่ได้จากการวัดแสดงดังรูป 4.11 ค่าอัตราขยายในแนวโพลาริเซชันไขว้มีค่า 4 dB ซึ่งต่ำกว่าอัตราขยายในแนวโพลาริเซชันร่วม 15 dB จึงเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ

แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่ได้จากการวัดเปรียบเทียบกับการคำนวณแสดงดังรูป 4.13 และ 4.13 จะเห็นได้ว่าช่วงตั้งแต่มุม  $\theta > 0$  ซึ่งเป็นช่วงพูข้างด้านขวาของทั้งสองระนาบ ผลการวัดจะสอดคล้องกับผลการคำนวณ แต่ช่วงมุม  $\theta < 0$  ซึ่งเป็นช่วงพูข้างทางด้านซ้าย ขนาดของแบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้จากการวัดในระนาบสนามแม่เหล็กมีค่ามากกว่าขนาดของแบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้จากการคำนวณเป็นอย่างมาก ทั้งนี้มีผลกระทบมาจากสิ่งแวดล้อมภายในห้องทดสอบ ทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นไปยังหัววัด ช่วงตำแหน่งทางพูข้างด้านซ้ายของแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กจะตรงกับตำแหน่งการกวาดวัดด้านล่างของจานสายอากาศ ดังนั้นในการวัดครั้งที่ 2 ผู้วิจัยจึงติดตั้งชุดดูดซับคลื่นเพิ่มเติมตรงบริเวณก้านโลหะที่ใช้ยึดสายอากาศปากแตรรูปทรงพีระมิดดังรูป 4.9 เพื่อลดการสะท้อนของคลื่นจากก้านโลหะมายังหัววัด

## การวัดครั้งที่ 2

แบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชันร่วมที่วัดได้แสดงดังรูป 4.14 อัตราขยายของระบบสายอากาศในแนวโพลาริเซชันร่วมที่บริเวณประเทศไทยมีค่า 21.7 dB เมื่อเปรียบเทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชันร่วมที่คำนวณได้ จะเห็นได้ว่าจะสอดคล้องกันยกเว้นในส่วนของด้านข้างพื้นที่ประเทศไทยบริเวณพื้นที่ประเทศเมียนมาจะเกิดความเพี้ยนของแบบรูปการแผ่พลังงานขึ้นโดยอัตราขยายยังมีค่าสูง อัตราขยายในแนวโพลาริเซชันร่วมที่ประเทศไทยที่วัดได้ลดลงจากผลการคำนวณ 6 dB แบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชันไขว้ที่ได้จากการวัดแสดงดังรูป 4.15 อัตราขยายในแนวโพลาริเซชันไขว้มีค่า 8 dB ซึ่งต่ำกว่าอัตราขยายในแนวโพลาริเซชันร่วม 15.7 dB จึงเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ

แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กที่ได้จากวัดเปรียบเทียบกับผลการคำนวณแสดงดังรูป 4.16 และ 4.17 ผลการวัดใกล้เคียงกับผลการคำนวณมากขึ้นทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและในระนาบสนามแม่เหล็ก เมื่อเปรียบเทียบกับผลการวัดครั้งแรก การวัดครั้งที่ 2 จะให้ผลการวัดที่ดีกว่า โดยเฉพาะขนาดของแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กที่วัดได้ในช่วงพูข้างทางด้านซ้ายลดต่ำลงมากกว่าผลการวัดครั้งแรกและใกล้เคียงกับผลการคำนวณมากขึ้น เมื่อพิจารณาแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าที่วัดได้ช่วงบริเวณพูข้างทางด้านซ้ายจะเห็นได้ว่ายังมีค่าสูงอยู่ เนื่องจากการเกิดการสะท้อนของคลื่นภายในห้องทดสอบ โดยเฉพาะส่วนของเพดานด้านบน ผู้วิจัยไม่ได้ติดตั้งดูดซับคลื่นเพิ่มเติมเนื่องจากมีจำนวนไม่เพียงพอ

จากการวัดทั้ง 2 ครั้งจะเห็นได้ว่าการวัดครั้งที่ 2 ซึ่งใช้ระยะห่างในการชักตัวอย่างเป็น  $\frac{\lambda}{4}$  ให้ผลดีกว่าการวัดครั้งแรกซึ่งใช้ระยะชักตัวอย่างเป็น  $\frac{\lambda}{2}$  เนื่องจากการที่พื้นผิวงานสะท้อนถูกจัดรูปจะทำให้วิฤภาคของคลื่นที่สะท้อนออกมามีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากตามตำแหน่งของระนาบกวาดวัดที่เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นการเลือกใช้ระยะชักตัวอย่างในการวัดที่ละเอียดขึ้น จะทำให้การเก็บข้อมูลมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น เช่นเดียวกับผลการคำนวณถ้าใช้ระยะชักตัวอย่างบนพื้นผิวงานสะท้อนที่แคบขึ้น จะทำให้การแบ่งจำนวนจุดสะท้อนเกิดความละเอียดมากขึ้นดังนั้นเมื่อนำจำนวนจุดสะท้อนเหล่านี้ไปคำนวณแบบรูปการแผ่พลังงานจะได้ผลการคำนวณที่ถูกต้องมากขึ้น

### สาเหตุที่ทำให้ผลการวัดแตกต่างกับผลการคำนวณ

1. อัตราขยายในแนวโพลาริเซชันรวมจากการวัดครั้งแรกมีค่า 19 dB และจากการวัดครั้งที่ 2 มีค่า 21.7 dB อัตราขยายที่ต้องการมีค่า 28 dB จะเห็นได้ว่าการวัดครั้งที่สองซึ่งใช้ระยะชักตัวอย่างละเอียดกว่าการวัดครั้งแรกจะทำให้อัตราขยายที่วัดได้มีค่าสูงขึ้น ดังนั้นถ้าวัดโดยใช้ระยะชักตัวอย่างที่ละเอียดมากขึ้นจะทำให้อัตราขยายจากการวัดใกล้เคียงกับอัตราขยายที่ต้องการมากขึ้น จากการวัดครั้งที่ 2 อัตราขยายจากการวัดมีค่าต่ำกว่าอัตราขยายที่ต้องการประมาณ 6.3 dB ซึ่งเกิดจากความสูญเสียของระบบสายอากาศ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ทดลองวัดอัตราส่วนคลื่นแรงดันของระบบสายอากาศมีค่าเป็น 1.36 เมื่อคิดเป็นความสูญเสียมีค่าเป็น 0.1 dB ส่วนความสูญเสียอื่นๆที่เกิดขึ้นได้แก่ ความสูญเสียในสายส่งซึ่งมีค่าจากการวัดเป็น 5 dB ความสูญเสียในหัววัดซึ่งมีค่าจากการวัดเป็น 0.2 dB เป็นต้น จึงคิดเป็นความสูญเสียที่วัดได้ทั้งหมด 5.3 dB ส่วนความสูญเสียที่เหลืออีก 1 dB สามารถชดเชยได้จากการวัดสายอากาศโดยใช้ระยะชักตัวอย่างที่ละเอียดมากขึ้น ดังนั้นเมื่อชดเชยความสูญเสียของระบบสายอากาศแล้วจะได้แบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชันรวมเป็น ดังรูป 4.18

#### 2. ความผิดพลาดของตำแหน่งสายอากาศ ได้แก่

2.1 สายอากาศงานสะท้อนเดี่ยวตัวรูปที่สร้างขึ้นมาเกิดจากการประกอบพื้นผิวย่อยจำนวน 16 ชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน ความผิดพลาดของตำแหน่งจากการประกอบพื้นผิวทำให้ตำแหน่งบนพื้นผิวสายอากาศเปลี่ยนแปลงไป

2.2 สายอากาศงานสะท้อนเดี่ยวตัวรูปสร้างขึ้นมาจากวัสดุที่เป็นไม้แดง โครงสร้างทางกายภาพของไม้แดงจะเกิดการยืดหดเมื่อสภาพอากาศมีการเปลี่ยนแปลงจึงมีผลทำให้เกิดความผิดพลาดของตำแหน่งพื้นผิวงานสะท้อน

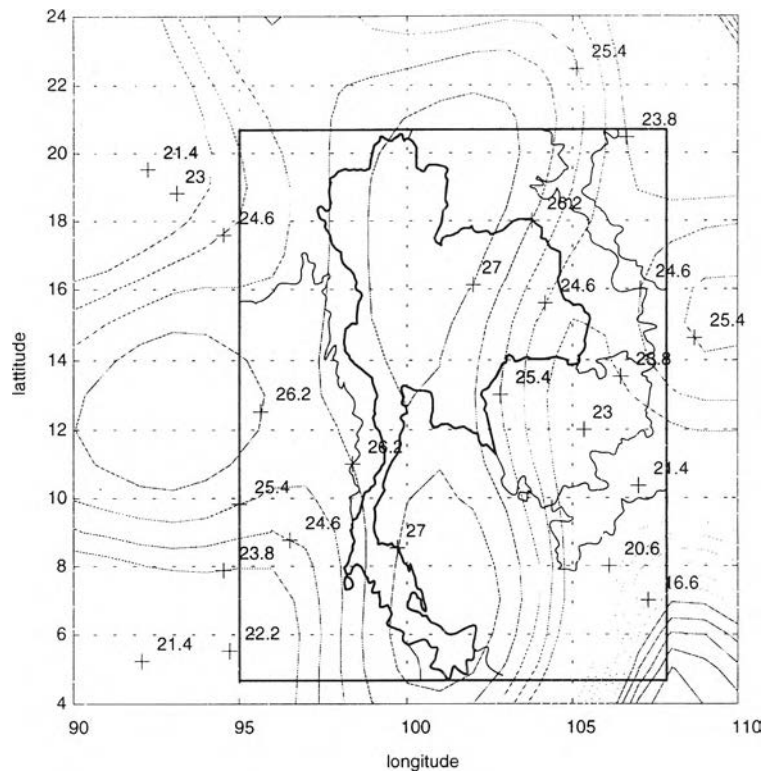
2.3 ความผิดพลาดจากการจัดวางตำแหน่งงานสะท้อนและสายอากาศป้อนกำลังคลื่น จะทำให้เกิดการเลื่อนเชิงตำแหน่งของแบบรูปการแผ่พลังงาน

## 2.4 ความผิดพลาดจากสายอากาศป้อนกำลังคลื่น

2.4.1 การวัดครั้งแรกอัตราขยายในแนวโพลาริเซชันไขว้มีค่า 4 dB ต่ำกว่าอัตราขยายในแนวโพลาริเซชันร่วม 15 dB และการวัดครั้งที่ 2 อัตราขยายในแนวโพลาริเซชันไขว้มีค่า 8 dB ต่ำกว่าอัตราขยายในแนวโพลาริเซชันร่วม 15.7 dB ค่าความแตกต่างของอัตราขยายของสายอากาศในแนวโพลาริเซชันร่วมและในแนวโพลาริเซชันไขว้จากการวัดทั้ง 2 ครั้ง ยังมีค่าค่อนข้างต่ำ ซึ่งจะมีผลกระทบต่อการรบกวนของลำคลื่นในกรณีมีผู้ใช้งานที่ใช้คลื่นความถี่ตรงกันแต่ต่างโพลาริเซชัน เนื่องจากผลการคำนวณได้สมมติให้สายอากาศป้อนเป็นสายอากาศชนิดโพลาริเซชัน  $y$  เท่านั้น แต่สายอากาศปากแตรรูปทรงพีระมิดที่สร้างมาไม่เป็นอุดมคติกล่าวคือคลื่นที่ออกมาจากสายอากาศประกอบด้วยโพลาริเซชันของคลื่นทั้งแกน  $x$  และ แกน  $y$  โพลาริเซชันของคลื่นทางแกน  $x$  ที่เกิดขึ้นจึงทำให้อัตราขยายในแนวโพลาริเซชันไขว้สูงกว่าผลการคำนวณ

2.4.2 เมื่อพิจารณาสายอากาศปากแตรรูปทรงพีระมิดในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กทั้งขนาดและภูมิภาคที่คำนวณได้ดังรูป 4.1 และ 4.2 เปรียบเทียบกับผลการวัดแบบสนามไกลดังรูป 4.3 และ 4.4 จะเห็นได้ว่า ช่วงมุมตั้งแต่  $-60$  องศา ถึง  $60$  องศา ซึ่งเป็นช่วงของพูหลัก ขนาดของแบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้จากการวัดและการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนที่ตำแหน่งมุมอื่นๆ จะต่างกับผลการคำนวณ เนื่องจากผลกระทบของสภาพแวดล้อมขณะวัดสายอากาศ เมื่อพิจารณาในส่วนของภูมิภาค ภูมิภาคที่ได้จากการวัดแตกต่างกับผลจากการคำนวณ เนื่องจากผลกระทบจากสภาพแวดล้อมขณะวัดสายอากาศ ความผิดพลาดของแบบรูปการแผ่พลังงานทั้งขนาดและภูมิภาคของสายอากาศปากแตรรูปทรงพีระมิดที่สร้างขึ้นจะมีผลทำให้ผลการวัดสายอากาศงานสะท้อนเดี่ยวดังรูปแตกต่างจากผลการคำนวณ ซึ่งอาจจะแก้ไขโดยใช้ผลการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศปากแตรรูปทรงพีระมิดที่สร้างขึ้นเป็นข้อมูลสำหรับการคำนวณ การสังเคราะห์พื้นผิวงานสะท้อนแทนการใช้ผลการคำนวณแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศปากแตรรูปทรงพีระมิด จะทำให้ผลการวัดสายอากาศงานสะท้อนเดี่ยวดังรูปมีความถูกต้องมากขึ้น

3. ปัญหาเนื่องจากวัสดุดูดซับคลื่นไม่เพียงพอ ทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นภายในห้องทดสอบ ผลการวัดจึงเกิดความผิดพลาด



รูป 4.18 แบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซนชันร่วมของสายอากาศงานสะท้อนเดี่ยวด้รูป  
(กรณีขีดเซยความสูญเสี่ยแล้ว)