การพัฒนาย่านทดสอบสายอากาศแบบกระชับ สำหรับความถี่ 8 – 40 จิกะเฮิรทซ์(ปีที่ ๒)

โดย

ฉัตรชัย ไวยาพัฒนกร Ph.D. (London, QMC)
ทับทิม อ่างแก้ว D.Eng. (Osaka)

โครงการวิจัยเลขที่ 54G-EE-2543
ทุนงบประมาณแผ่นดินปี 2543

คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
กรุงเทพมหานคร
สิงหาคม 2550

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

ย่านทดสอบแบบกระชับเป็นวิธีการทดสอบสายอากาศที่จำลองการรับส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ย่านสนามไกล โดยอาศัยการดัดหน้าคลื่นของคลื่นทรงกลมจากตัวป้อนของย่านทดสอบให้เป็นคลื่นระนาบในบริเวณทดสอบ ปัญหาใหญ่นอกจากผลกระทบจากการเลี้ยวเบนที่ขอบซึ่งมีนัยสำคัญมากในช่วงความถี่ปฏิบัติการที่ต่ำก็คือ ปัญหาการผิดรูปของผิวตัวสะท้อนคลื่น ปัญหานี้ทำให้ความสามารถในการดัดหน้าคลื่นลดลง อันเนื่องมาจากความแปรปรวนของวัฏภาคของคลื่น ปัญหานี้เป็นตัวกำหนดขีดจำกัดบนของความถี่ปฏิบัติการของย่านทดสอบ

โครงการวิจัยฯ ในปีที่ ๒ นี้นำเสนอผลการศึกษาเกี่ยวกับการผิดรูปของผิวตัวสะท้อน และการศึกษาแนวทางลดผลกระทบจากการเลี้ยวเบนที่ขอบของตัวสะท้อน การศึกษาทั้งสองประเด็นกระทำโดยการจำลองสถานการณ์และการศึกษาเชิงทดลอง ระเบียบวิธีวิเคราะห์ที่ใช้ในการศึกษาด้วยการจำลองสถานการณ์คือ ทัศนศาสตร์เรขาคณิต และทฤษฎีการเลี้ยวเบนเชิงเรขาคณิต

การจำลองสถานการณ์การผิดรูปของผิวตัวสะท้อน กำหนดให้ตำแหน่งที่ผิดรูปของผิวตัวสะท้อนมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเฉพาะวัฏภาคของสนามตกกระทบที่สะท้อนไปสู่บริเวณทดสอบเท่านั้น การเกิดการผิดรูปกำหนดให้เป็นไปแบบเชิงสุ่มโดยมีการแจกแจงแบบปกติ ผลการจำลองสถานการณ์แสดงให้เห็นระลอกของภาพการแจกแจงวัฏภาคที่สูงขึ้นตามขนาดของการผิดรูป

การศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการผิดรูปของผิวตัวสะท้อน ทำโดยใช้แผ่นโลหะขนาดเล็กปิดที่ตำแหน่งบางตำแหน่งบนผิวตัวสะท้อนเพื่อให้เกิดการผิดรูปอย่างเจาะจง โดยไม่สร้างความเสียหายแก่ผิวตัวสะท้อน ภาพการแจกแจงวัฏภาคของสนามในบริเวณทดสอบที่ได้จากการกวาดวัดแสดงให้เห็นความเปลี่ยนแปลงของวัฏภาคอย่างเด่นชัด ณ ตำแหน่งที่ตรงกับตำแหน่งที่ปิดด้วยแผ่นโลหะขนาดเล็ก

ในการลดผลกระทบจากการเลี้ยวเบนที่ขอบของตัวสะท้อน ผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีปิดขอบตัวสะท้อนด้วยวัสดุดูดกลืนคลื่นสะท้อน วิธีนี้เป็นวิธีที่ประหยัดและทำได้ง่ายที่สุดอีกทั้งให้ผลที่น่าพอใจ ในการศึกษาโดยจำลองสถานการณ์กำหนดให้สนามที่ตกกระทบบริเวณขอบมีกำลังตกลงเท่ากับอัตราดูดกลืนของวัสดุดูดกลืนคลื่นที่ใช้ ผลการจำลองสถานการณ์แสดงให้เห็นว่าสามารถลดขนาดของระลอกในภาพการแจกแจงขนาดยอดได้ประมาณ ๑-๒ dB ความสามารถนี้ลดลงตามความถี่ที่เพิ่มขึ้น ผลการศึกษาเชิงทดลองก็ยืนยันในทำนองเดียวกัน

Abstract

Compact antenna test range is a technique for simulating antenna testing at far field distance by modifying the feed's sperical wave into planar wave in the test zone. One major proplem apart from the edge diffraction, which is of concern at low operating frequencies, is the reflector surface profile error. This proplem reduces the test range's capability in modifying the wavefront of the test zone field due to phase variation of the wave field. This dictates the upper operating frequency of the test range.

This second year project presents results from the study of the compact antenna test range reflector surface profile error and approach for reducing the reflector edge diffraction effects. The study of both proplems is carried out both by simulation and experiments. Both geometrical optics and geometrical theory of diffraction have been adopted as methods of analysis in simulation study.

In reflector surface profile error simulation, it is assumed that a certain position of the reflector surface error only affects the incident wave's phase change. The occurrence of surface error is assumed random with normal distribution. Results from simulation show a greater level of phase ripples as surface profile error is greater.

Experimental study of surface profile error has been carried out by attaching some small metallic tiles on certain positions of the reflector surface to produce intentional error on the surface without causing any true surface error. Phase distribution plots obtained from the test zone field probing show significant abrupt phase change at positions corresponding to positions of small metallic tiles attachment.

In reducing the range reflector edge diffraction effects, the use of absorber edge lining is adopted. This approach is economical and also easy to implement with satisfactory results. In edge treatment simulation by this approach the incident field on the edge is attenuated with certain level of prescribed attenuation in accordance with absorption rate of the available absorbers. Results from simulation show that the amplitude ripples of the test zone field can be reduced by 1-2 dB. This reduction will decrease as the frequency increases. Experimental results are in the same direction.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง **การพัฒนาย่านทดสอบสายอากาศแบบกระชับสำหรับความถี่ 8 – 40 จิกะเฮิรตซ์(ปีที่ ๒)** หากขาดกำลังกายและกำลังใจในการปฏิบัติหน้าที่ผู้ช่วยวิจัยของบุคคลผู้มีรายนามดังต่อไปนี้ ดร.ศุภเชษฐ์ เพิ่มพูนวัฒนาสุข นายสุรเชษฐ กอสิริขจร นายคทา สุวรรณวัฒน์ นายรชฎ ถาวรศิริ นายกุลธวัช ภูมิวงศ์พิทักษ์ และนายประเสริฐ จันวดี ทั้งหมดได้ร่วมกับผู้วิจัยผ่านอุปสรรคแปลก ๆ ตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งโครงการลุล่วง หลายท่านมีส่วนร่วมในช่วงต้นจนถึงตอนกลาง หลายท่านช่วยเข็ญจากช่วงกลางจนเกือบปลายทาง ประเสริฐ จันวดี นับเป็นไม้สุดท้ายที่ทำให้ทุกอย่างรวมเล่มเป็นรายงานฉบับนี้ได้

นอกจากท่านเหล่านี้แล้วยังต้องขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมสำรวจที่กรุณาอนุเคราะห์กล้อง Theodolite เพื่อใช้ตรวจวัดลักษณะพื้นผิวของตัวสะท้อน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ข

กิตติกรรมประกาศ ค

บทที่ ๑ บทนำ ๑

๑.๑ ปัญหาการผิดรูปของพื้นผิวตัวสะท้อน ๑

๑.๒ แนวทางในการลดผลกระทบจากการเลี้ยวเบนที่ขอบของตัวสะท้อน ๑

๑.๓ วิธีดำเนินการวิจัย ๒

๑.๔ เค้าโครงของรายงาน ๒

บทที่ ๒ การผิดรูปของผิวตัวสะท้อน ๓

๒.๑ การวิเคราะห์ผลกระทบเนื่องจากการผิดรูปของผิวตัวสะท้อน ๓

๒.๒ การจำลองสถานการณ์ เกี่ยวกับผลกระทบเนื่องจากการผิดรูปของผิวตัวสะท้อน ๔

๒.๓ การศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการผิดรูปของผิวตัวสะท้อน ๑๖

บทที่ ๓ การลดผลกระทบจากการเลี้ยวเบนที่ขอบตัวสะท้อน ๓๐

๓.๑ การลดผลกระทบจากการเลี้ยวเบนที่ขอบด้วยการปิดขอบด้วย
วัสดุดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ๓๐

๓.๒ การจำลองสถานการณ์ ๓๒

๓.๓ การศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการลดผลกระทบจากการเลี้ยวเบนที่ขอบ
ตัวสะท้อนด้วยการใช้วัสดุดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าปิดที่ขอบ ๔๓

บทที่ ๔ สรุปและข้อเสนอแนะ ๕๔

สรุป ๕๔

ปัญหาและอุปสรรค ๕๔

ข้อเสนอแนะ ๕๕

รายการอ้างอิง

ภาคผนวก

บทที่ ๑

บทนำ

การใช้ย่านทดสอบแบบกระชับเป็นวิธีการทดสอบสายอากาศที่จำลองการรับส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ย่านสนามไกล โดยอาศัยการดัดหน้าคลื่นของคลื่นทรงกลมจากตัวป้อนของย่านทดสอบให้เป็นคลื่นระนาบในบริเวณทดสอบ ปัญหาใหญ่นอกจากผลกระทบจากการเลี้ยวเบนที่ขอบซึ่งมีนัยสำคัญมากในช่วงความถี่ปฏิบัติการที่ต่ำก็คือ ปัญหาการผิดรูปของผิวตัวสะท้อนคลื่น ปัญหานี้ทำให้ความสามารถในการดัดหน้าคลื่นลดลง อันเนื่องมาจากความแปรปรวนของวัฏภาคของคลื่น ปัญหานี้เป็นตัวกำหนดขีดจำกัดบนของความถี่ปฏิบัติการของย่านทดสอบ

นอกจากการศึกษาปัญหาการผิดรูปของพื้นผิวตัวสะท้อนแล้ว โครงการฯ ในปีที่ ๒ นี้ยังนำเสนอแนวทางในการลดผลกระทบจากการเลี้ยวเบนที่ขอบของตัวสะท้อนอีกด้วย โดยเลือกใช้วิธีที่เหมาะสมกับงบประมาณที่ได้รับอนุมัติ

๑.๑ ปัญหาการผิดรูปของพื้นผิวตัวสะท้อน

การผิดรูปของผิวสะท้อนสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งจากกระบวนการสร้างตัวสะท้อน และจากความแปรปรวนของอุณหภูมิขณะปฏิบัติงาน เมื่อเกิดการผิดรูปขึ้นการสะท้อนจะไม่เป็นไปตามกฎการสะท้อนของ Snell ทำให้หน้าคลื่นที่สะท้อนจากพื้นผิวสะท้อนที่เป็นรูปพาราโบลอยด์ มีคุณภาพความเป็นหน้าคลื่นระนาบลดน้อยลง การใช้หน้าคลื่นเช่นนี้ในการวัดลักษณะสมบัติการแผ่พลังงานย่อมทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของผลการวัด ปัญหานี้แก้ไขได้ยากมากหรือไม่ได้เลย สิ่งที่ทำได้คือ การประเมินความรุนแรงของปัญหาเพื่อให้ทราบว่าสามารถใช้งานได้ภายใต้ข้อจำกัดใดบ้าง ปัญหาการผิดรูปของผิวตัวสะท้อนนี้มีนำเสนอโดยละเอียดในบทที่ ๒

๑.๒ แนวทางในการลดผลกระทบจากการเลี้ยวเบนที่ขอบของตัวสะท้อน

เป็นที่ทราบกันดีว่าการเลี้ยวเบนที่ขอบตัวสะท้อนเป็นผลให้รังสีเลี้ยวเบนส่วนหนึ่งรบกวนรังสีสะท้อนปกติในบริเวณทดสอบ ผลที่ปรากฏและสังเกตได้คือ ระลอกบนภาพการแจกแจงความเข้มสนามไฟฟ้า ระลอกนี้มีผลโดยตรงต่อความแม่นยำในการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานด้วยย่านทดสอบ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องลดหรือทำให้สนามเลี้ยวเบนจากขอบมาถึงบริเวณทดสอบน้อยลง การลดปริมาณสนามเลี้ยวเบนจากขอบสามารถทำได้อย่างน้อย ๓ วิธี ได้แก่ การปาดขอบ

ตัวสะท้อนเป็นรอยหยัก การม้วนขอบตัวสะท้อน และการปิดขอบตัวสะท้อนด้วยวัสดุดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า วิธีที่สามเป็นวิธีที่สิ้นเปลืองงบประมาณน้อยที่สุด และได้ผลน่าพอใจทีเดียว รายละเอียดของเรื่องนี้มีนำเสนอในบทที่ ๓

๑.๓ วิธีดำเนินการวิจัย

โครงการฯ ดำเนินงานโดยมีระเบียบวิธีในการปฏิบัติงานวิจัยดังนี้

1. รวบรวมความรู้โดยการศึกษาจากเอกสารต่างๆ
2. ศึกษาประเด็นปัญหาที่สนใจโดยการจำลองสถานการณ์
3. ศึกษาประเด็นปัญหาที่สนใจโดยการทดลองและเปรียบเทียบกับผลจากข้อ 2
4. สรุปผลที่ได้จากข้อ 2 และข้อ 3 แล้วนำมาปรับปรุงแก้ไขเพื่อเพิ่มขีดความสามารถของย่านทดสอบ

แผนการดำเนินงานปีที่ 2 ของโครงการฯ มีดังนี้

ก. วิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์โดยเน้นที่การศึกษาผลกระทบจากการผิดรูปของผิวตัวสะท้อน

ข. ศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับผลกระทบจากการผิดรูปของตัวสะท้อน

ค. วิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์โดยเน้นที่การศึกษาวิธีการลดผลกระทบจากการเลี้ยวเบนที่ขอบตัวสะท้อน

ง. ศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับวิธีการลดผลกระทบจากการเลี้ยวเบนที่ขอบตัวสะท้อน

จ. ปรับปรุงย่านทดสอบให้มีสมรรถนะดีขึ้นตามผลการศึกษาที่ได้จากข้อ ค. และข้อ ง.

ฉ. ประเมินสมรรถนะของย่านทดสอบและสรุปผลการวิจัยประจำปีที่ 2

๑.๔ เค้าโครงของรายงาน

เนื้อหาของรายงานนี้ประกอบด้วยผลจากการศึกษาด้วยการจำลองสถานการณ์ และการศึกษาเชิงทดลองของประเด็นหลักสองประเด็น คือ ผลกระทบเนื่องจากการผิดรูปของพื้นผิวตัวสะท้อนซึ่งนำเสนอในบทที่ ๒ และแนวทางในการลดผลกระทบจากการเลี้ยวเบนที่ขอบของตัวสะท้อน ซึ่งนำเสนอในบทที่ ๓ บทที่ ๔ สรุปผลการวิจัยพร้อมทั้งข้อเสนอแนะ

บทที่ ๒

การผิดรูปของผิวตัวสะท้อน

การผิดรูปของผิวตัวสะท้อนหมายถึง การที่ผิวสะท้อนมีความคลาดเคลื่อนไปจากผิวอุดมคติตามที่ได้ออกแบบหรือกำหนดลักษณะไว้ ผิวสะท้อนที่ใช้เป็นตัวสังเคราะห์คลื่นระนาบโดยทั่วไปมีพื้นผิวเรียบ เป็นโค้งพาราโบลอยด์ การผิดรูปของผิวสะท้อนมีผลต่อคุณภาพของหน้าคลื่นในบริเวณทดสอบ

การพิจารณาปัญหาการผิดรูปของผิวตัวสะท้อนที่มีผลต่อสมรรถนะของย่านทดสอบ ทำโดยให้ความคลาดเคลื่อนของผิวตัวสะท้อนมีผลทำให้วัฏภาคของคลื่นที่สะท้อนออกไปมีการเปลี่ยนแปลงเท่านั้น และไม่ทำให้ขนาดยอดหรือทิศทางของคลื่นเปลี่ยนแปลง [1] การวิเคราะห์ใช้ทัศนศาสตร์เรขาคณิต (Geometrical Optics: GO) งานวิจัยนี้จะสนใจเฉพาะการผิดรูปของผิวตัวสะท้อนเชิงสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติในการศึกษาเชิงตัวเลข ในการศึกษาเชิงทดลองจะกำหนดให้เกิดความผิดพลาด ณ ตำแหน่งบางตำแหน่งอย่างเจาะจงโดยไม่สร้างความเสียหายต่อผิวสะท้อนคลื่น

๒.๑ การวิเคราะห์ผลกระทบเนื่องจากการผิดรูปของผิวตัวสะท้อน

การศึกษาผลกระทบจากการผิดรูปของผิวตัวสะท้อน กระทำภายใต้ข้อสมมติว่าการผิดรูปที่ปรากฏทำให้ระยะทางทัศนศาสตร์ของคลื่นที่เคลื่อนจากสายอากาศป้อน และสะท้อนจากผิวสะท้อนรูปพาราโบลอยด์เดี่ยวอสมมาตรไปยังบริเวณทดสอบเปลี่ยนแปลงไปดังรูปที่ ๑ ซึ่งจะเป็นผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนวัฏภาค (δ) ตามสมการ (1) [1,2]

$$\delta = k_o \varepsilon \hat{n} \cdot (\hat{s}_r - \hat{s}_i) \tag{1}$$

$\hat{s}_i$ และ $\hat{s}_r$ คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยบ่งทิศทางของคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนตามลำดับ ε คือ ระยะผิดรูป k_o คือ ค่าคงตัวของการแพร่กระจายมีค่าเท่ากับ $2\pi/\lambda$ ผลตามสมการ (1) แสดงให้เห็นว่าความถี่ปฏิบัติการยิ่งสูงเท่าใด ผลกระทบจากการผิดรูปของผิวตัวสะท้อนก็ยิ่งมีมากขึ้นเท่านั้น สนามไฟฟ้าจากทัศนศาสตร์เรขาคณิตในบริเวณทดสอบเมื่อรวมผลกระทบจากปัญหาการผิดรูปของผิวตัวสะท้อนมีนิพจน์ดังสมการ (2)

$$\bar{E}_{TZ}(s) = [-\bar{E}_i(Q_R) + 2(\hat{n} \cdot \bar{E}_i(Q_R))\hat{n}] A(s) e^{-jk_o s} \; e^{j\delta} \tag{2}$$

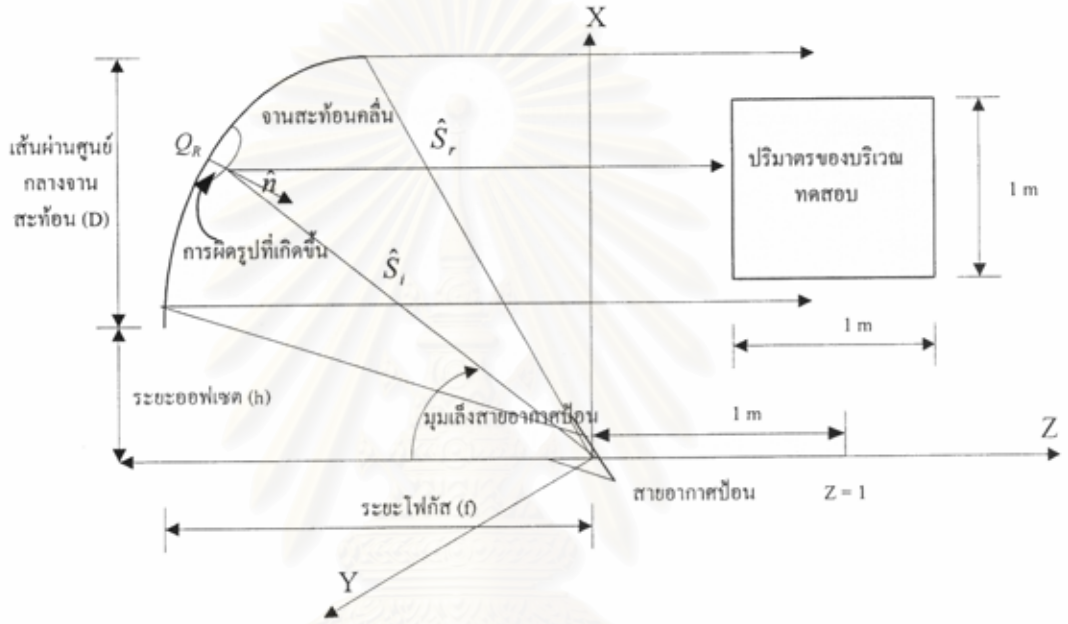
$\bar{E}_i(Q_R)$ คือ สนามจากสายอากาศป้อนกำลังคลื่นมายังตัวสะท้อน

Q_R คือ ตำแหน่งจุดสะท้อน

$\bar{E}_{TZ}(s)$ คือ สนามไฟฟ้าในบริเวณทดสอบ

$\hat{n}$ คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยที่ตั้งฉากกับพื้นผิวตัวสะท้อน

A(s) คือ ตัวประกอบการลดทอนในกรณีที่หน้าคลื่นเป็นคลื่นระนาบ A(s) = 1



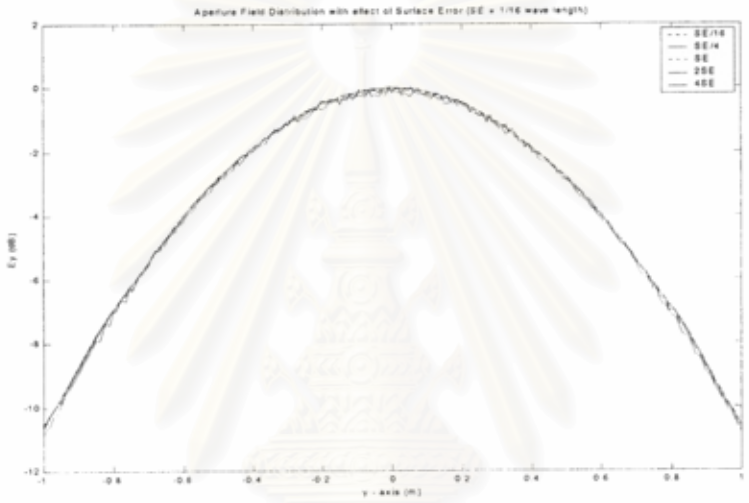
รูปที่ ๑ ย่านทดสอบแบบกระชับที่มีการผิดรูปของผิวตัวสะท้อน

โครงการ ฯ นี้ได้กำหนดให้ผิวตัวสะท้อนมีการผิดรูปในลักษณะเดียว คือ การผิดรูปเชิงสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติ เนื่องจากเป็นกรณีที่สอดคล้องกับความเป็นจริงมากกว่า การศึกษาการผิดรูปของผิวตัวสะท้อนจะกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนของผิวโดยอิงกับค่าความผิดพลาดเชิงวัฏภาคตามเกณฑ์ระยะสนามไกลของ Raleigh ซึ่งถือว่าความผิดพลาดเชิงวัฏภาคที่เทียบได้กับ $\frac{\lambda}{16}$ พอดีคือจุดเปลี่ยนจากหน้าคลื่นระนาบเป็นหน้าคลื่นอื่น

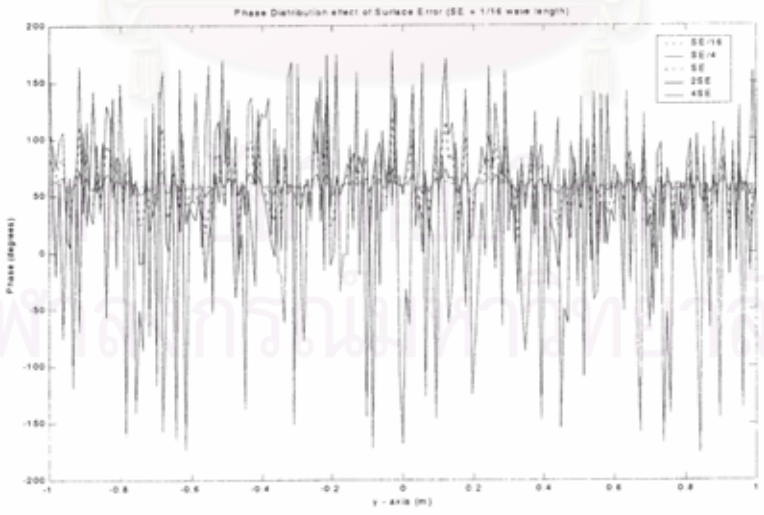
๒.๒ การจำลองสถานการณ์ เกี่ยวกับผลกระทบเนื่องจากการผิดรูปของผิวตัวสะท้อน

การจำลองสถานการณ์ทำ ณ ความถี่ 8, 10, 12.5, 20 และ 40 GHz โดยให้มีความแปรปรวนของการผิดรูปเป็นจำนวนเท่าของ $\lambda/16$ ($SE = \lambda/16$) และที่ระยะ z = 1 m ในการคำนวณนี้คิดผลกระทบเนื่องจากการเลี้ยวเบนที่ขอบด้วย ผลการคำนวณจำลองสถานการณ์ของบางกรณีมีแสดงในรูปที่ ๒ - รูปที่ ๖ ผลการคำนวณทั้งหมดมีสรุปไว้ในตารางที่ 1

ผลการคำนวณตามที่ปรากฏในรูปที่ ๒ - รูปที่ ๖ แสดงให้เห็นว่าขนาดของการผิดรูปของผิวสะท้อนคลื่นที่เพิ่มขึ้นเป็นเหตุให้วัฏภาคของหน้าคลื่นในบริเวณทดสอบแปรเปลี่ยนอย่างมากในทิศทางที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน ความแปรปรวนของวัฏภาคของสนามในบริเวณทดสอบไม่ปรากฏว่ามีทิศทางเพิ่มขึ้นตามความถี่ที่สูงขึ้น ระดับโพลาไรเซชันไขว้ก็ค่อนข้างคงตัว (ดังผลสรุปในตารางที่ 1) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากการกำหนดให้ความแปรปรวนของการผิดรูปอยู่ในพจน์ของความยาวคลื่น การผิดรูปจึงปรากฏคงตัวไม่แปรตามความถี่ในการคำนวณจำลองสถานการณ์ ความเปลี่ยนแปลงของวัฏภาคที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความถี่ จึงไม่ปรากฏว่ากระทบต่อการแจกแจงของวัฏภาคโดยรวม

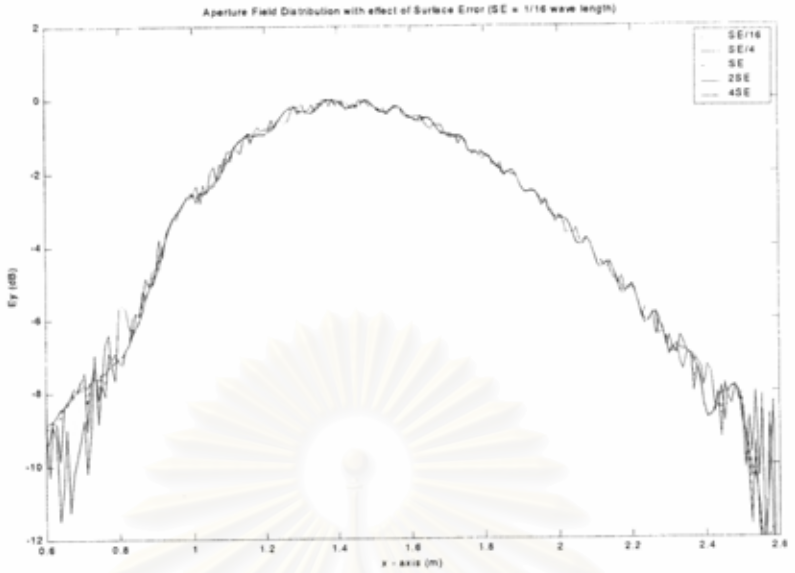


ก) การแจกแจงขนาดยอดตามแนวแกน y

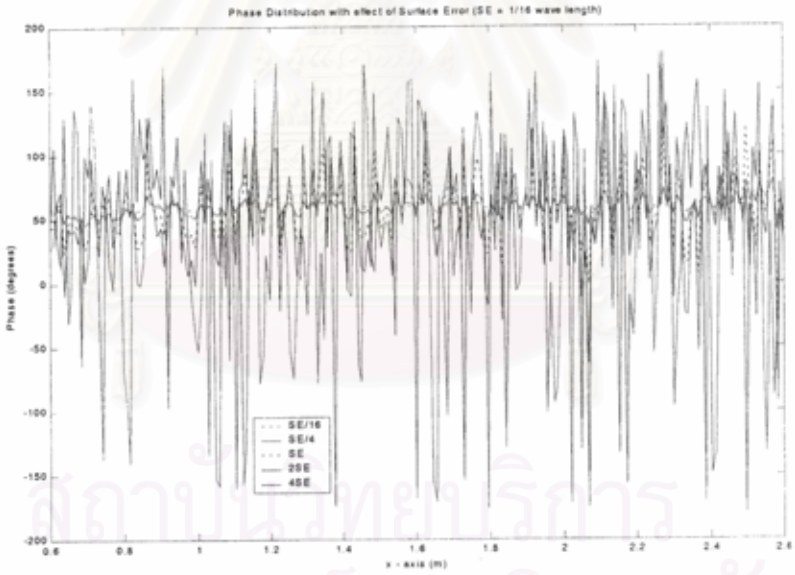


ข) การแจกแจงวัฏภาคตามแนวแกน y

รูปที่ ๒ การแจกแจงขนาดยอดและการแจกแจงวัฏภาคของสนามในบริเวณทดสอบที่ความถี่ 8 GHz



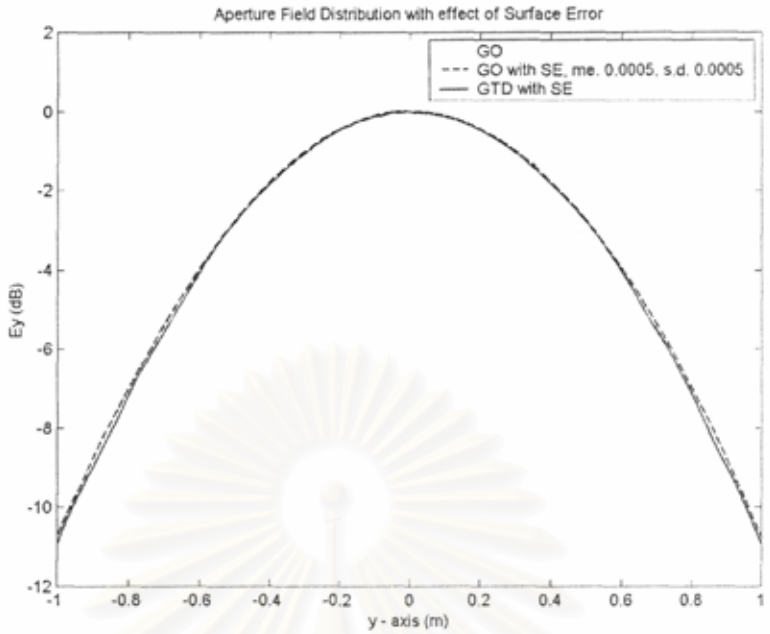
ค) การแจกแจงขนาดยอดตามแนวแกน x



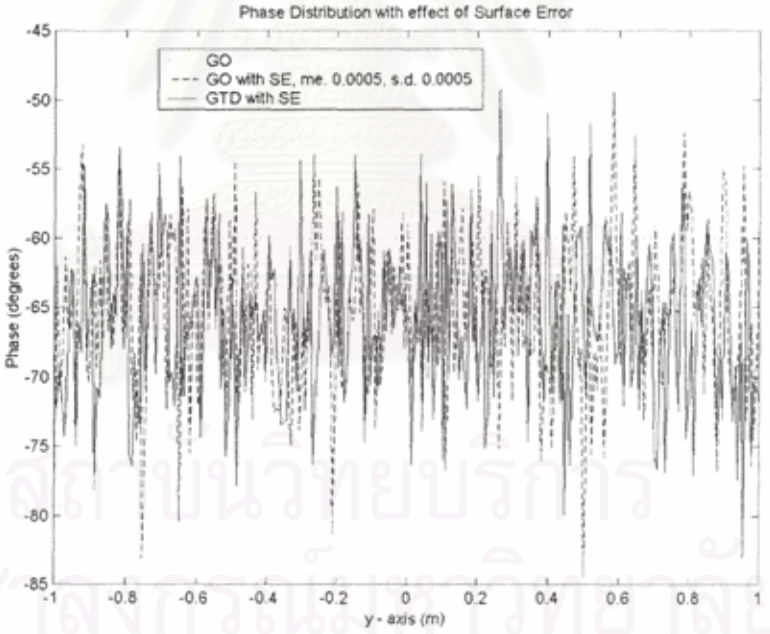
ง) การแจกแจงวัฏภาคตามแนวแกน x

รูปที่ ๒ การแจกแจงขนาดยอดและการแจกแจงวัฏภาคของสนามในบริเวณทดสอบที่ความถี่ 8 GHz (ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



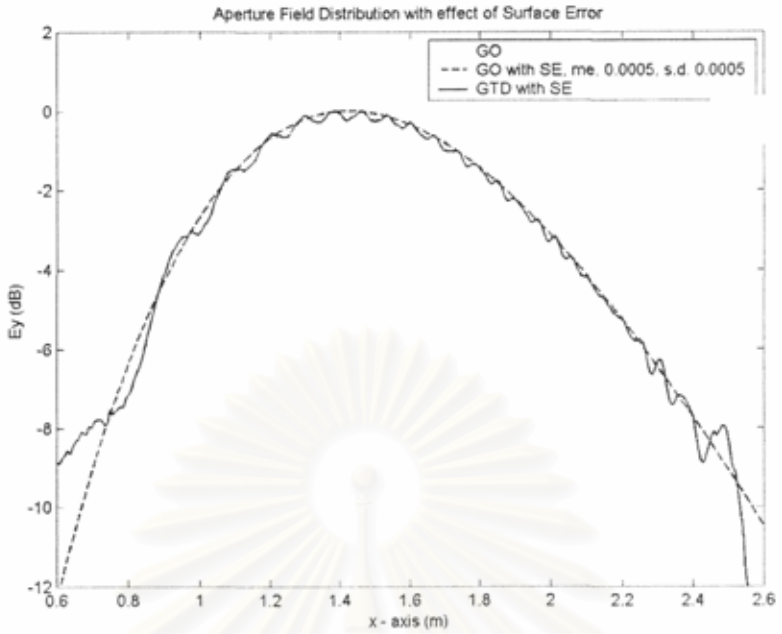
ก) การแจกแจงขนาดยอดตามแนวแกน y



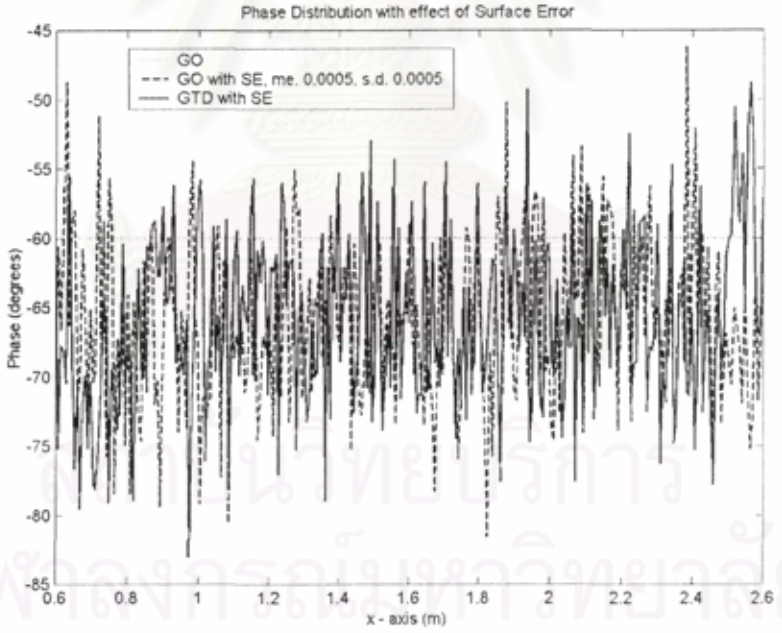
ข) การแจกแจงวัฏภาคตามแนวแกน y

รูปที่ ๓ การแจกแจงขนาดยอดและการแจกแจงวัฏภาคของสนามในบริเวณทดสอบ ที่ความถี่ 10 GHz

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

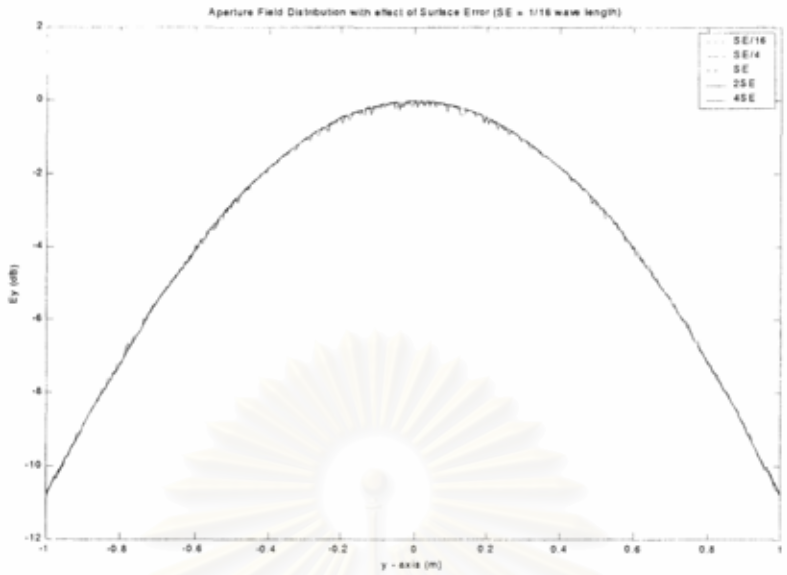


ค) การแจกแจงขนาดยอดตามแนวแกน x

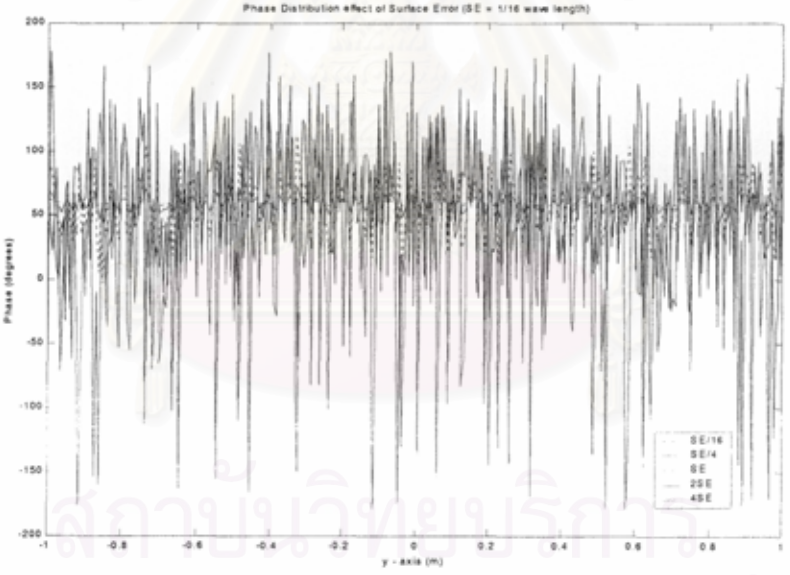


ง) การแจกแจงวัฏภาคตามแนวแกน x

รูปที่ ๓ การแจกแจงขนาดยอดและการแจกแจงวัฏภาคของสนามในบริเวณทดสอบ ที่ความถี่ 10 GHz (ต่อ)

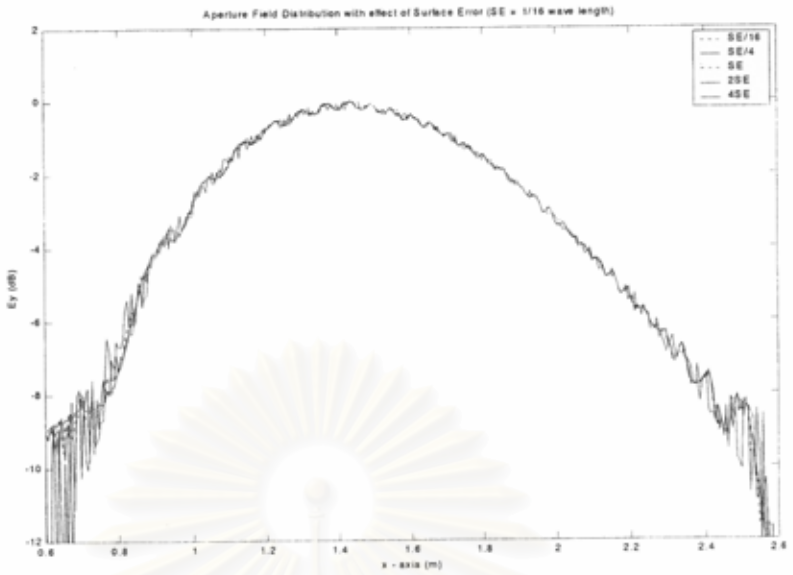


ก) การแจกแจงขนาดยอดตามแนวแกน y

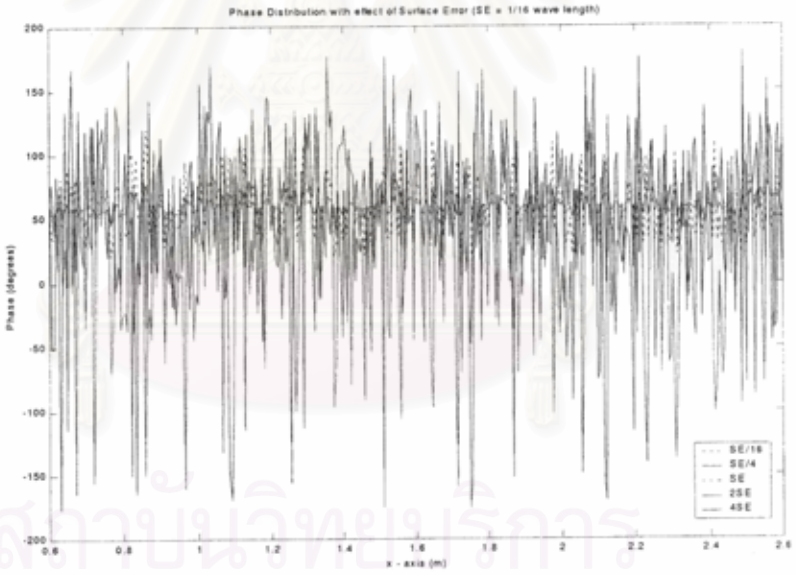


ข) การแจกแจงวัฏภาคตามแนวแกน y

รูปที่ ๔ การแจกแจงขนาดยอดและการแจกแจงวัฏภาคของสนามในบริเวณทดสอบ ที่ความถี่ 12.5 GHz



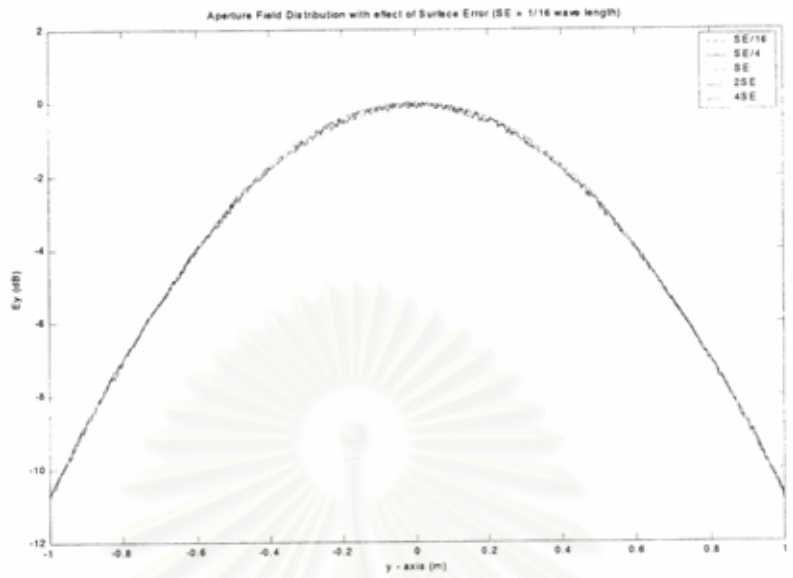
ค) การแจกแจงขนาดยอดตามแนวแกน x



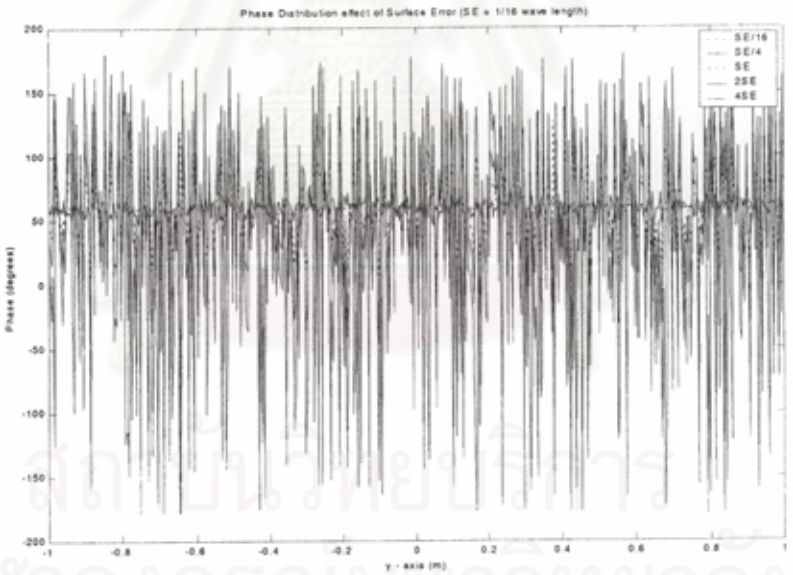
ง) การแจกแจงวัฏภาคตามแนวแกน x

รูปที่ ๔ การแจกแจงขนาดยอดและการแจกแจงวัฏภาคของสนามในบริเวณทดสอบ ที่ความถี่ 12.5 GHz (ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



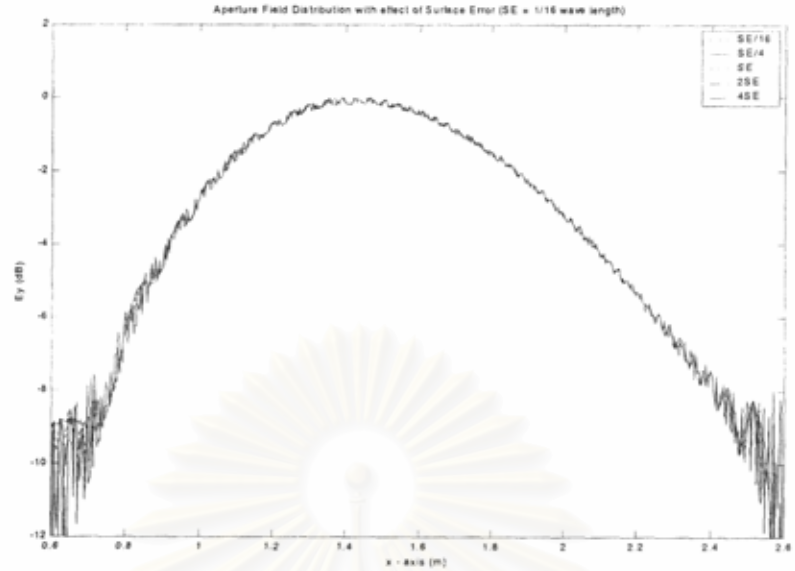
ก) การแจกแจงขนาดยอดตามแนวแกน y



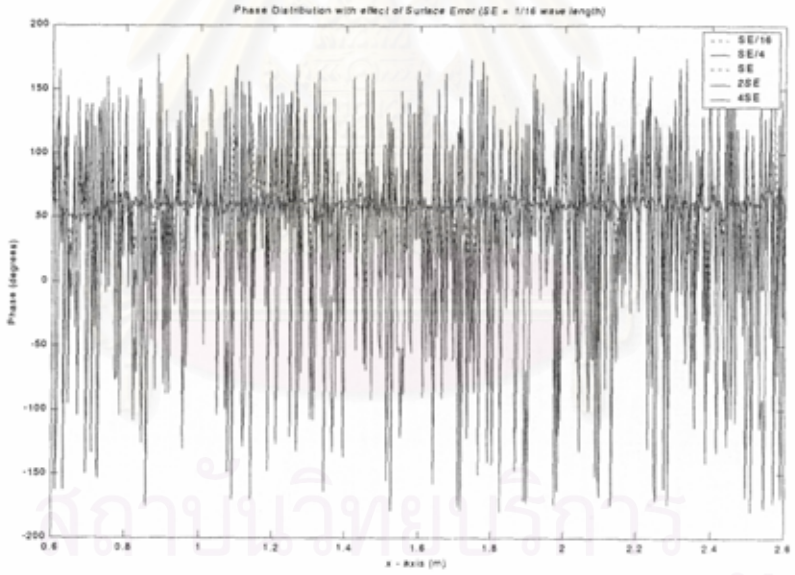
ข) การแจกแจงวัฏภาคตามแนวแกน y

รูปที่ ๕ การแจกแจงขนาดยอดและการแจกแจงวัฏภาคของสนามในบริเวณทดสอบ ที่ความถี่ 20 GHz

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



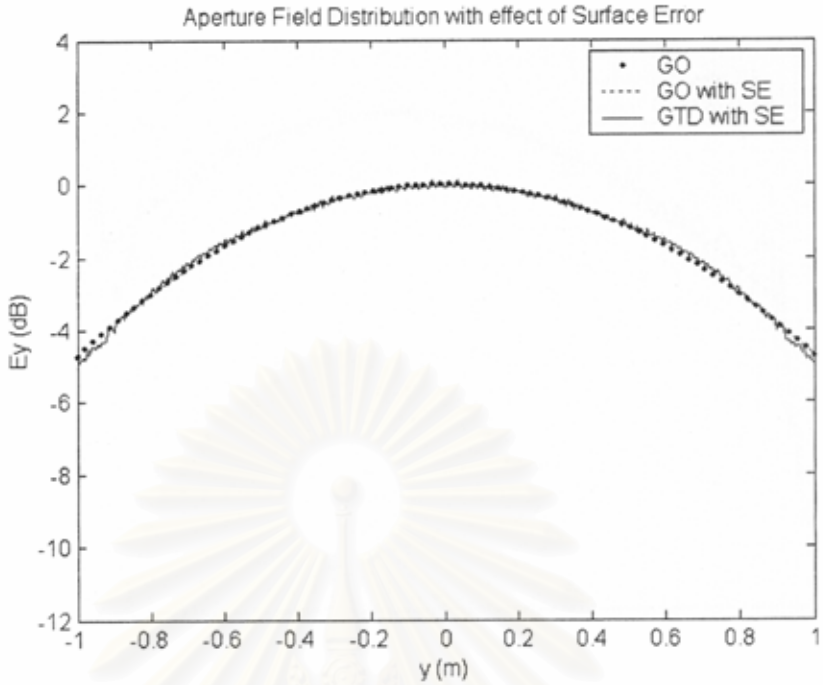
ค) การแจกแจงขนาดยอดตามแนวแกน x



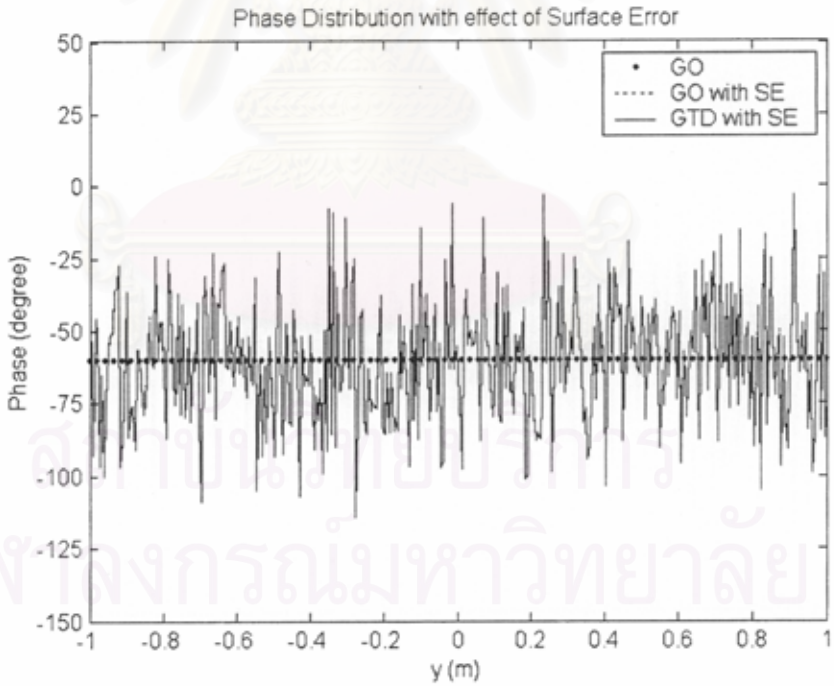
ง) การแจกแจงวัฏภาคตามแนวแกน x

รูปที่ ๕ การแจกแจงขนาดยอดและการแจกแจงวัฏภาคของสนามในบริเวณทดสอบ ที่ความถี่ 20 GHz (ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



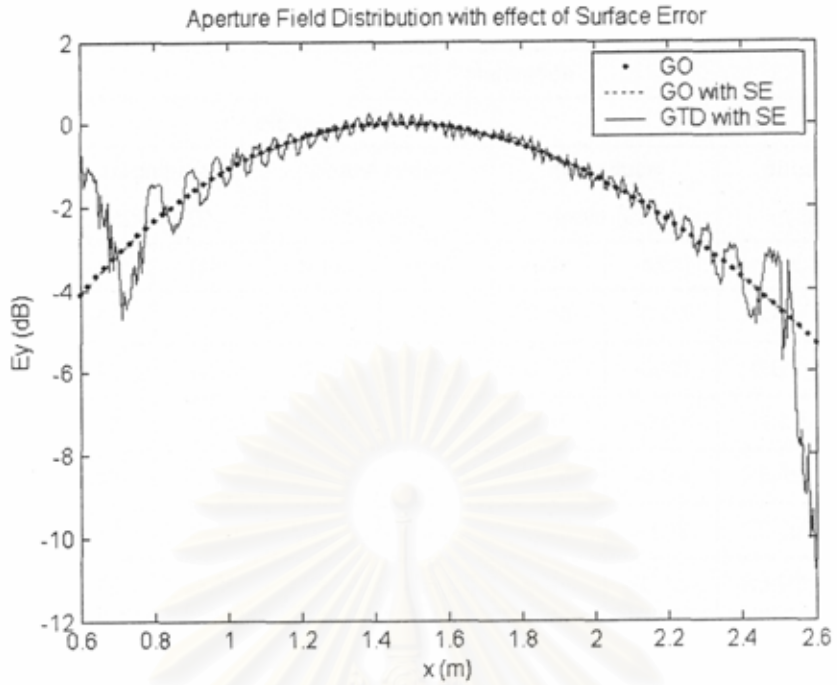
ก) การแจกแจงขนาดยอดตามแนวแกน y



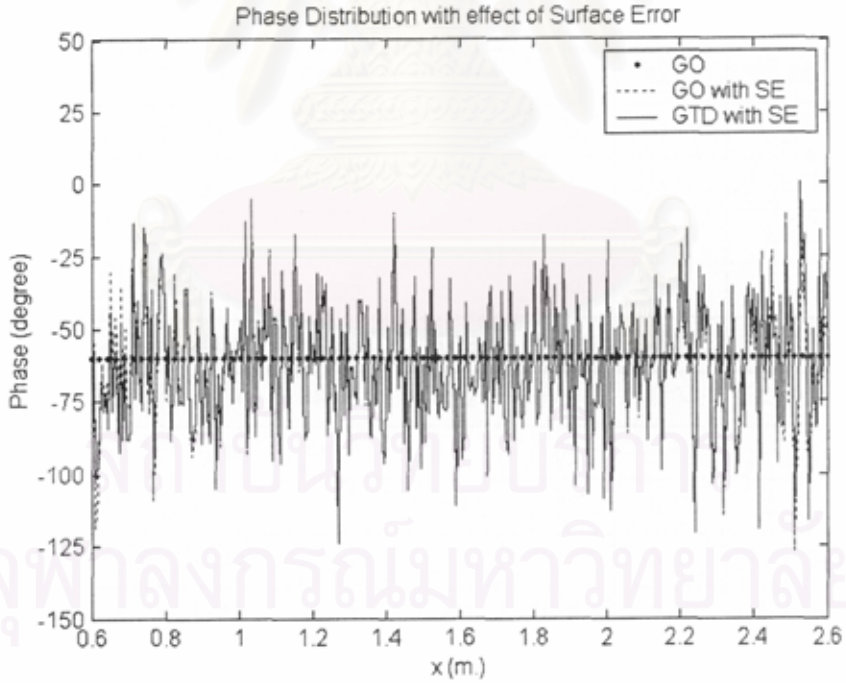
ข) การแจกแจงวัฏภาคตามแนวแกน y

รูปที่ ๖ การแจกแจงขนาดยอดและการแจกแจงวัฏภาคของสนามในบริเวณทดสอบ ที่ความถี่ 40 GHz

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ค) การแจกแจงขนาดยอดตามแนวแกน x



ง) การแจกแจงวัฏภาคตามแนวแกน x

รูปที่ ๖ การแจกแจงขนาดยอดและการแจกแจงวัฏภาคของสนามในบริเวณทดสอบ ที่ความถี่ 40 GHz (ต่อ)

ตารางที่ ๑ สรุปผลกระทบเนื่องจากการผิดรูปของผิวตัวสะท้อน

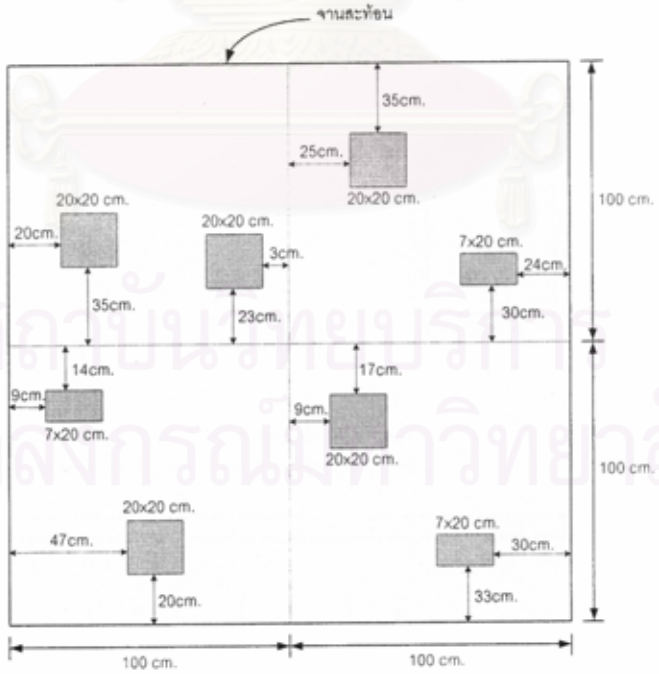
Freq. (GHz)	Surface Error $\left(SE=\frac{\lambda}{16}\right)$	Co Polarization								Cross Polarization Level (dB)
		x - plane				y - plane				
		magnitude ripple (dB)		phase ripple (degree)		magnitude ripple (dB)		phase ripple (degree)		
		max	min	max	min	max	min	max	min	
8	SE/16	0.43	-0.37	5.43	-3.25	0.15	-0.03	3.45	-3.42	-15.91
	SE/8	0.42	-0.37	8.08	-6.64	0.15	-0.03	6.66	-4.46	-15.91
	SE/4	0.43	-0.36	14.16	-12.73	0.16	-0.04	14.52	-12.12	-15.91
	SE/2	0.43	-0.37	34.15	-47.54	0.16	-0.04	28.99	-28.78	-15.95
	SE	0.42	-0.38	59.91	-75.86	0.15	-0.06	58.82	-58.13	-15.96
	2SE	0.40	-0.36	119.77	-239.68	0.08	-0.11	88.96	-116.53	-16.07
	4SE	0.41	-0.47	118.09	-235.99	0.01	-0.19	116.06	-235.68	-16.14
12.5	SE/16	0.42	-0.43	5.13	-3.55	0.00	-0.08	4.66	-3.58	-16.04
	SE/8	0.41	-0.43	7.88	-7.15	0.00	-0.08	8.90	-4.99	-16.04
	SE/4	0.42	-0.42	12.34	-8.97	0.00	-0.09	18.07	-13.35	-16.06
	SE/2	0.43	-0.43	31.88	-26.53	0.00	-0.10	34.46	-31.44	-16.10
	SE	0.43	-0.44	58.35	-43.86	0.00	-0.11	68.25	-63.28	-16.11
	2SE	0.47	-0.40	106.29	-176.79	0.00	-0.14	81.95	-120.74	-16.22
	4SE	0.35	-0.50	118.86	-237.79	0.01	-0.15	118.51	-236.35	-16.20
20	SE/16	0.43	-0.38	7.01	-4.14	0.09	-0.03	4.33	-3.54	-15.99
	SE/8	0.42	-0.38	12.03	-9.27	0.09	-0.03	8.53	-4.94	-15.98
	SE/4	0.43	-0.38	12.88	-15.08	0.09	-0.03	18.01	-14.69	-16.02
	SE/2	0.42	-0.37	48.25	-44.32	0.08	-0.04	33.86	-31.92	-16.01
	SE	0.41	-0.39	74.49	-73.76	0.05	-0.06	67.39	-64.60	-16.04
	2SE	0.45	-0.40	118.19	-232.38	0.02	-0.10	86.75	-238.47	-16.21
	4SE	0.39	-0.52	116.49	-239.86	0.01	-0.12	119.99	-237.54	-16.16
40	SE/16	0.44	-0.41	6.22	-4.63	0.19	-0.10	5.20	-4.39	-30.19
	SE/8	0.43	-0.41	9.68	-9.56	0.20	-0.10	11.84	-6.49	-30.19
	SE/4	0.44	-0.41	15.57	-15.08	0.20	-0.11	15.65	-14.17	-30.19
	SE/2	0.44	-0.41	40.06	-36.91	0.20	-0.12	35.85	-35.83	-30.20
	SE	0.44	-0.42	67.50	-64.36	0.20	-0.13	67.23	-72.36	-30.19
	2SE	0.44	-0.43	218.79	-119.17	0.20	-0.17	174.71	-115.93	-30.20
	4SE	0.42	-0.48	238.23	-119.16	0.19	-0.19	238.85	-117.85	-30.19

หมายเหตุ : magnitude ripple และ phase ripple ของการจำลองสถานการณ์แต่ละกรณีได้จากการเปรียบเทียบกับสนามหน้าจานที่ได้จากกรรมวิธีทัศนศาสตร์เรขาคณิต

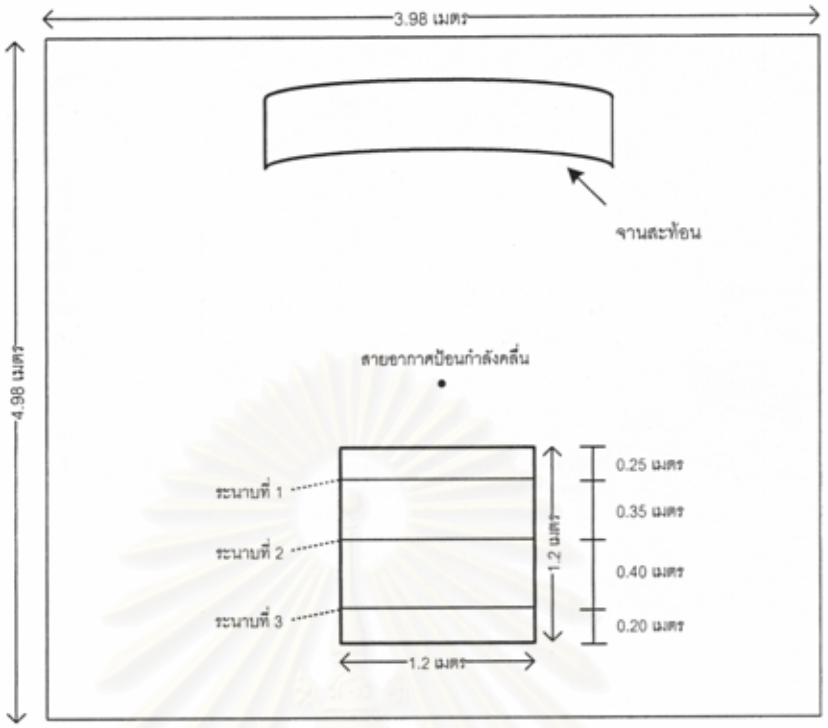
เมื่อพิจารณาตัวเลขสรุปที่ปรากฏในตารางที่ ๑ จะพบว่า ค่าความแปรปรวนของการผิดรูปของผิวตัวสะท้อนที่ยอมรับได้ที่ไม่เกิน $\lambda/16$ เป็นค่าที่ก่อให้เกิดระลอกในภาพการแจกแจงวัฏภาคอยู่ภายในกรอบ $\pm 15^\circ$ เกือบทั้งหมด ขนาดระลอกของภาพการแจกแจงวัฏภาคในกรอบดังกล่าวถือว่ายอมรับได้โดยทั่วไป ดังนั้นในทางปฏิบัติความแปรปรวนของการผิดรูปของผิวตัวสะท้อนจึงไม่ควรเกินกว่า $\lambda/16$ และควรยึดถือ λ ของความถี่ปฏิบัติการสูงสุดที่ต้องการ

๒.๓ การศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการผิดรูปของผิวตัวสะท้อน

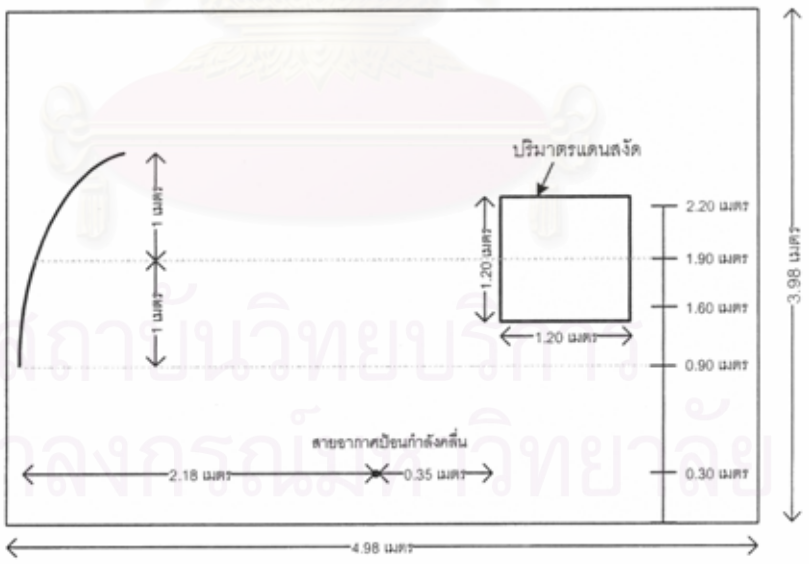
การศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการผิดรูปของผิวตัวสะท้อนทำโดยปิดแผ่นโลหะให้สูงขึ้นจากผิวปกติ ๕ mm. ณ ตำแหน่งต่างๆ ดังรูปที่ ๗ จากนั้นกวาดวัดเพื่อดูภาพการแจกแจงความเข้มสนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งต่างๆ ดังในรูปที่ ๘ และโดยมีผังแสดงระบบวัดดังในรูปที่ ๙ การกวาดวัดทำ ณ ความถี่ ๑๐ GHz และ๑๕.๕ GHz ทั้งนี้เนื่องจากโครงการในปีที่ ๒ นี้ ไม่มีงบประมาณสำหรับจัดซื้อวัสดุที่ความถี่สูงกว่านี้ ผลการกวาดวัดแสดงในรูปที่ ๑๐ – รูปที่ ๑๙



รูปที่ ๗ ตำแหน่งและขนาดบริเวณผิดพลาด (แผ่นโลหะ) ของผิวตัวสะท้อน
บริเวณแต่ละบริเวณสูงจากผิวตัวสะท้อน 5 mm.



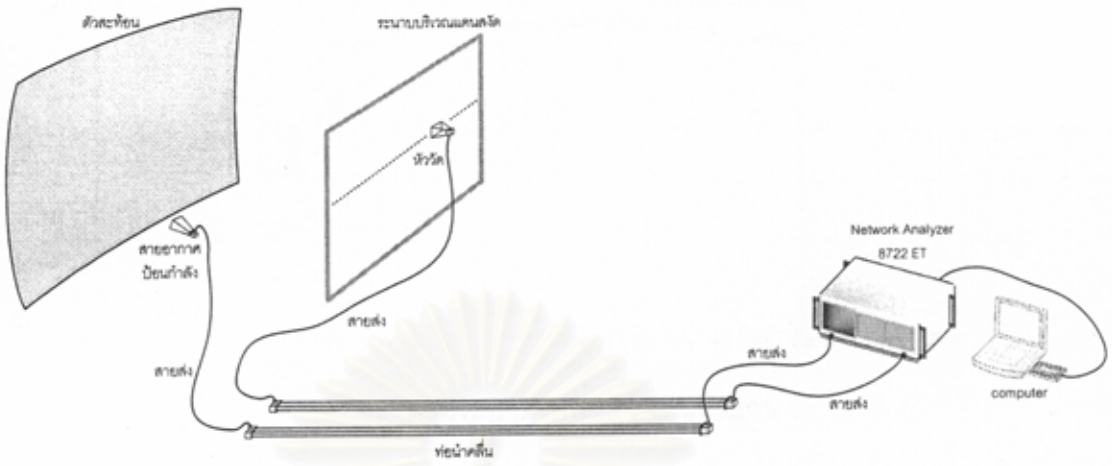
ก) มุมมองด้านบน



ข) มุมมองด้านข้าง

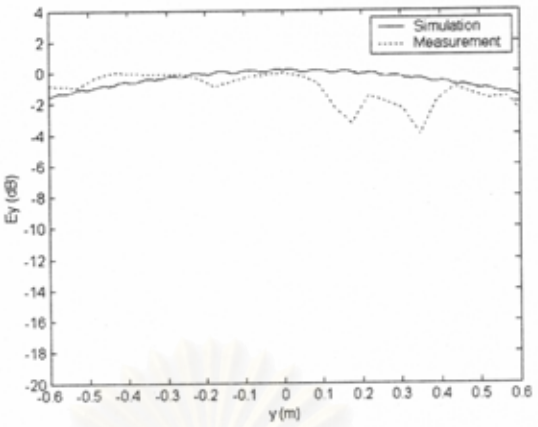
รูปที่ ๘ ตำแหน่งในการวัด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

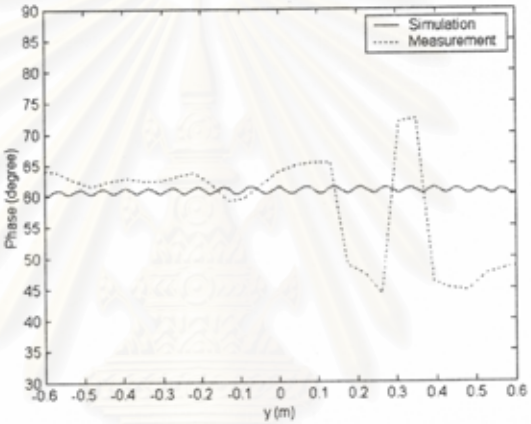


รูปที่ ๙ ผังระบบวัด

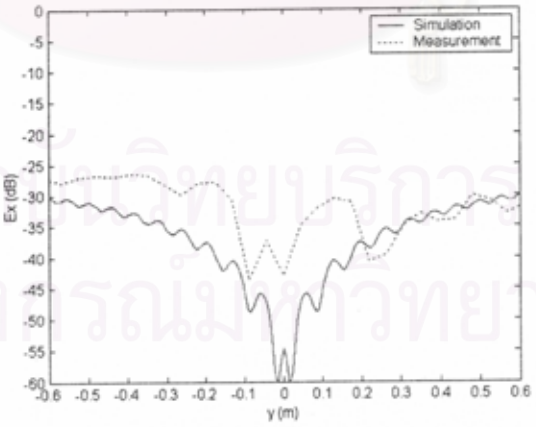
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) ขนาดของสนามไฟฟ้า Ey ในแนวแกน y



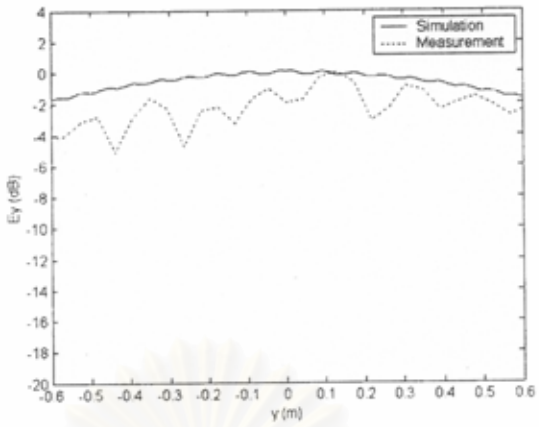
(ข) วัฏภาคของสนามไฟฟ้า Ey ในแนวแกน y



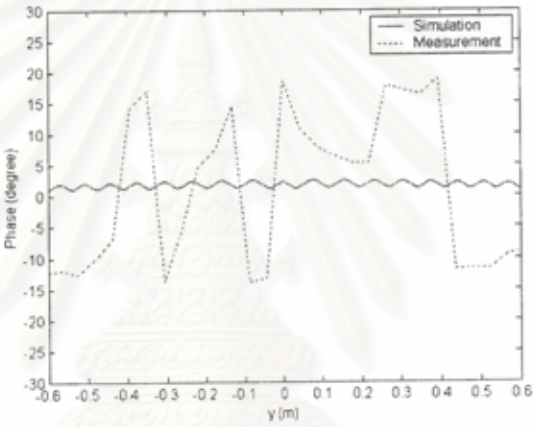
(ค) ขนาดของสนามไฟฟ้า Ex ในแนวแกน y

รูปที่ ๑๐ ค่าสนามตำแหน่งที่ 1 ระดับความสูง 1.9 เมตร ความถี่ 10 GHz

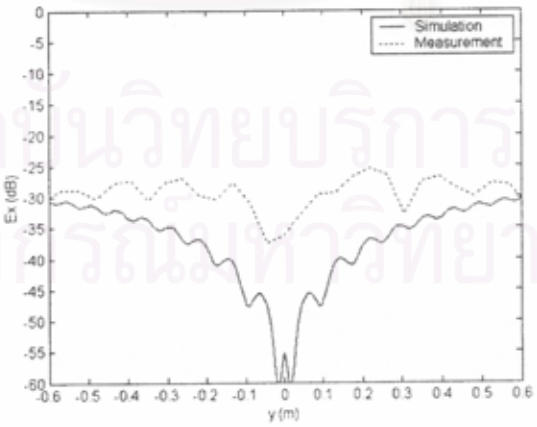
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) ขนาดของสนามไฟฟ้า Ey ในแนวแกน y



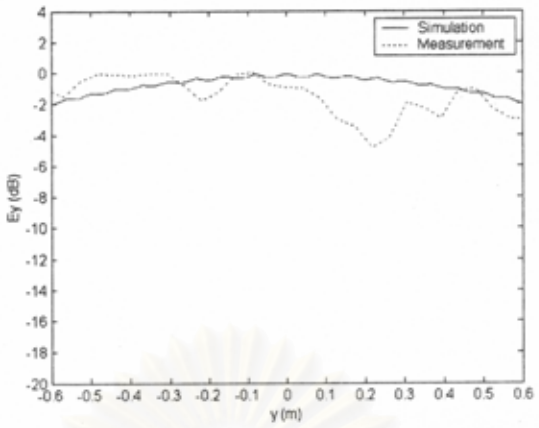
(ข) วัฏภาคของสนามไฟฟ้า Ey ในแนวแกน y



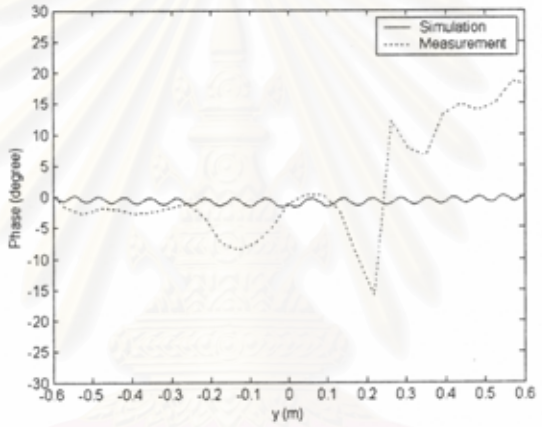
(ค) ขนาดของสนามไฟฟ้า Ex ในแนวแกน y

รูปที่ ๑๑ ค่าสนามตำแหน่งที่ 2 ระดับความสูง 1.6 เมตร ความถี่ 10 GHz

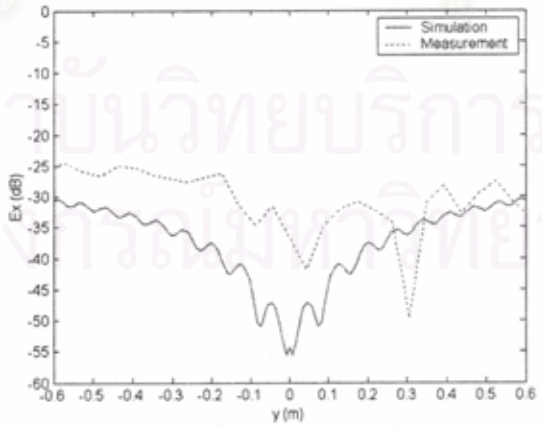
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) ขนาดของสนามไฟฟ้า Ey ในแนวแกน y



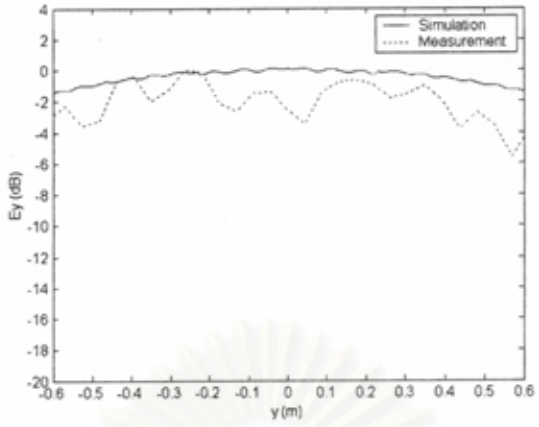
(ข) วัฏภาคของสนามไฟฟ้า Ey ในแนวแกน y



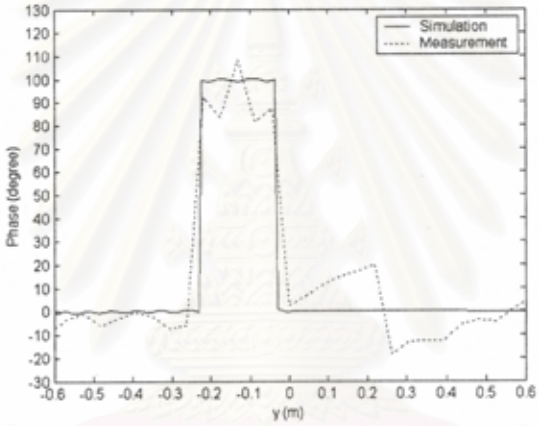
(ค) ขนาดของสนามไฟฟ้า Ex ในแนวแกน y

รูปที่ ๑๒ ค่าสนามตำแหน่งที่ 2 ระดับความสูง 1.9 เมตร ความถี่ 10 GHz

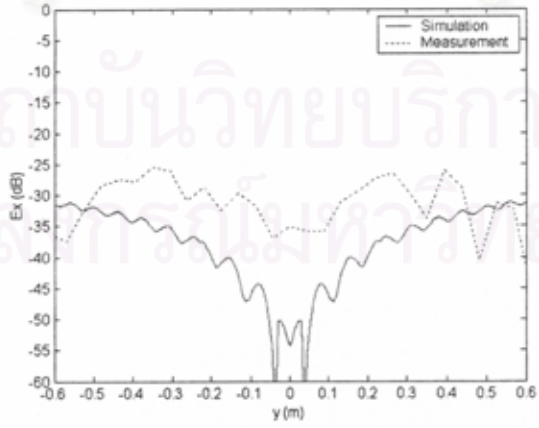
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) ขนาดของสนามไฟฟ้า Ey ในแนวแกน y



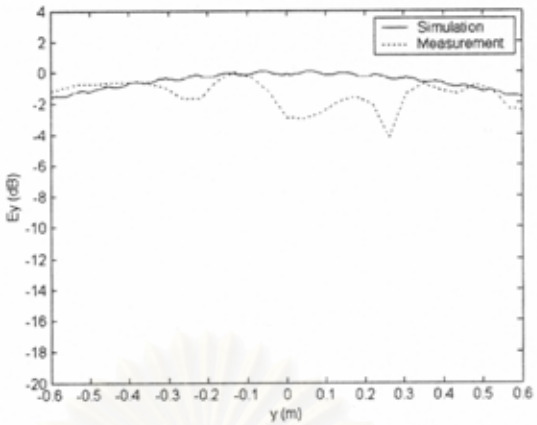
(ข) วัฏภาคของสนามไฟฟ้า Ey ในแนวแกน y



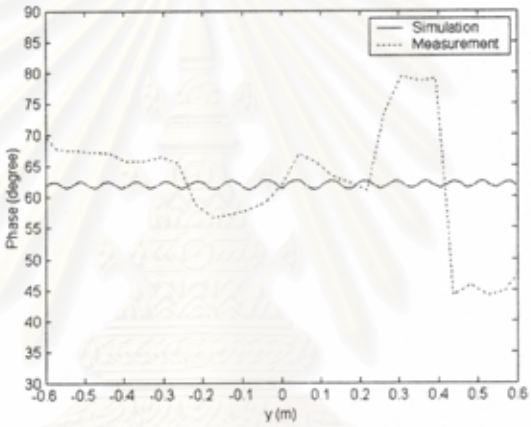
(ค) ขนาดของสนามไฟฟ้า Ex ในแนวแกน y

รูปที่ ๑๓ ค่าสนามตำแหน่งที่ 2 ระดับความสูง 2.2 เมตร ความถี่ 10 GHz

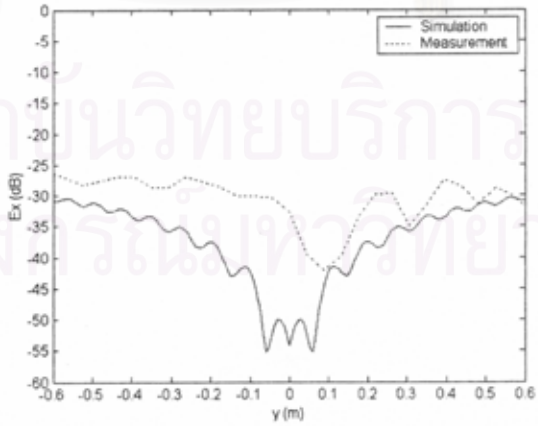
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) ขนาดของสนามไฟฟ้า Ey ในแนวแกน y



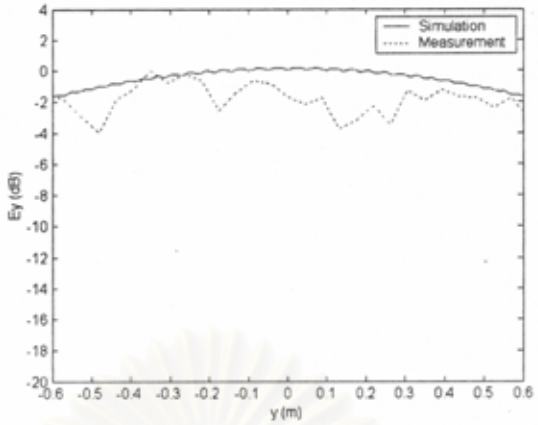
(ข) วัฏภาคของสนามไฟฟ้า Ey ในแนวแกน y



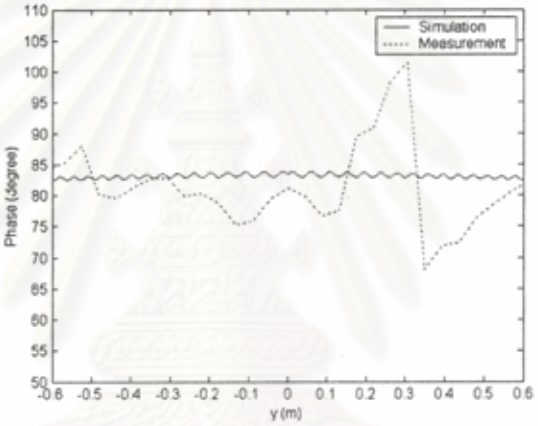
(ค) ขนาดของสนามไฟฟ้า Ex ในแนวแกน y

รูปที่ ๑๔ ค่าสนามตำแหน่งที่ 3 ระดับความสูง 1.9 เมตร ความถี่ 10 GHz

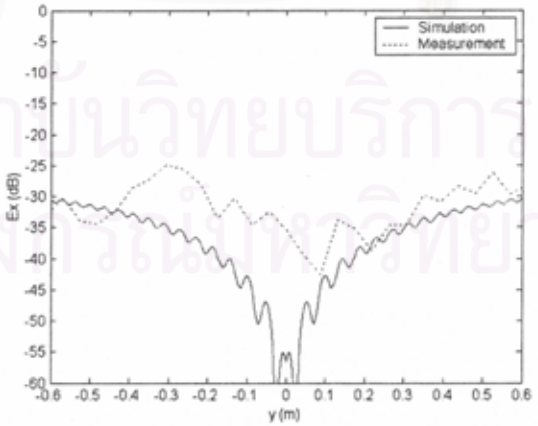
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) ขนาดของสนามไฟฟ้า Ey ในแนวแกน y



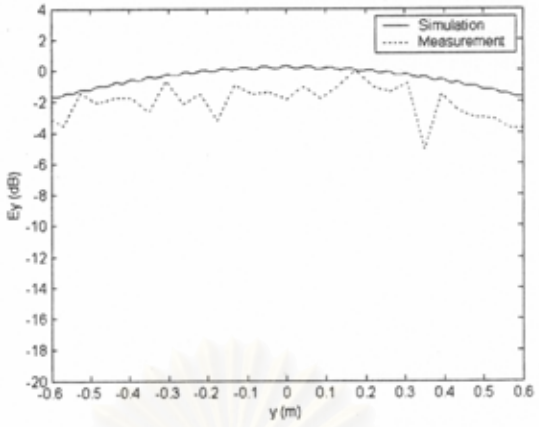
(ข) วัฏภาคของสนามไฟฟ้า Ey ในแนวแกน y



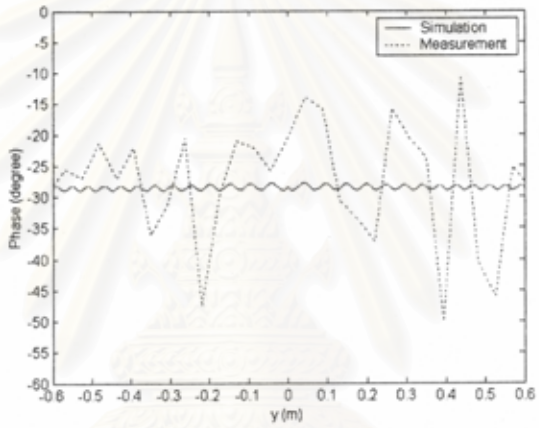
(ค) ขนาดของสนามไฟฟ้า Ex ในแนวแกน y

รูปที่ ๑๕ ค่าสนามตำแหน่งที่ 1 ระดับความสูง 1.9 เมตร ความถี่ 15.5 GHz

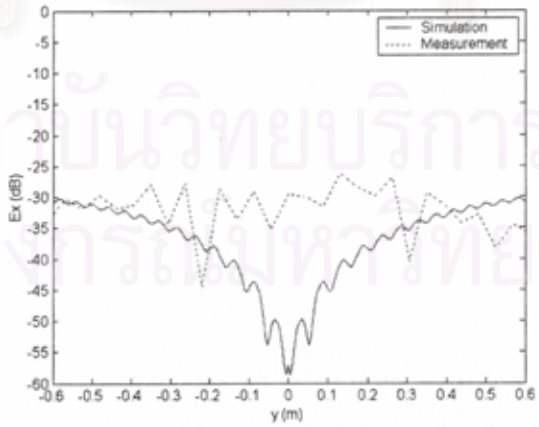
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) ขนาดของสนามไฟฟ้า Ey ในแนวแกน y



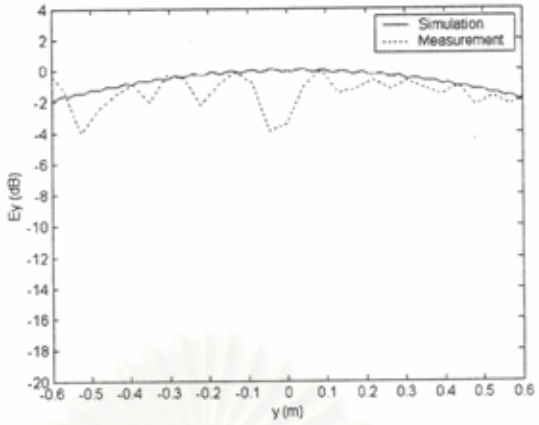
(ข) วัฏภาคของสนามไฟฟ้า Ey ในแนวแกน y



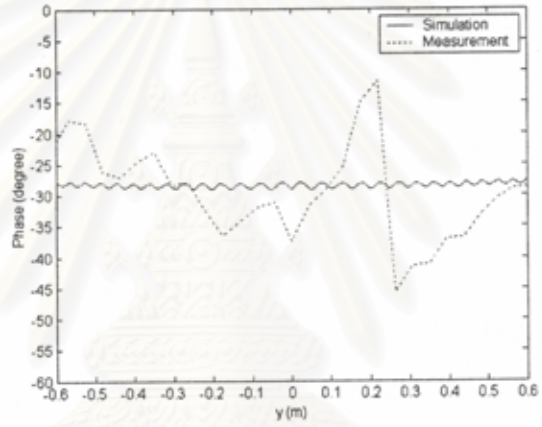
(ค) ขนาดของสนามไฟฟ้า Ex ในแนวแกน y

รูปที่ ๑๖ ค่าสนามตำแหน่งที่ 2 ระดับความสูง 1.6 เมตร ความถี่ 15.5 GHz

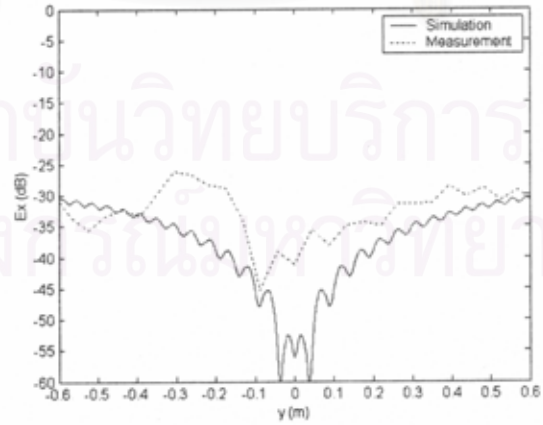
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) ขนาดของสนามไฟฟ้า Ey ในแนวแกน y



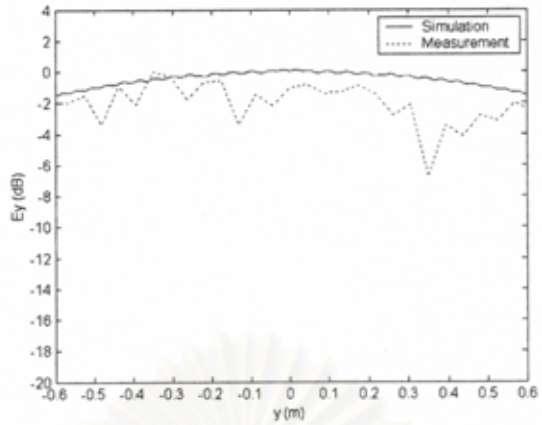
(ข) วัฏภาคของสนามไฟฟ้า Ey ในแนวแกน y



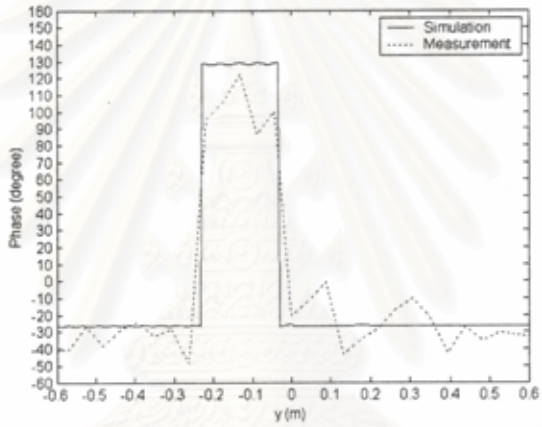
(ค) ขนาดของสนามไฟฟ้า Ex ในแนวแกน y

รูปที่ ๑๗ ค่าสนามตำแหน่งที่ 2 ระดับความสูง 1.9 เมตร ความถี่ 15.5 GHz

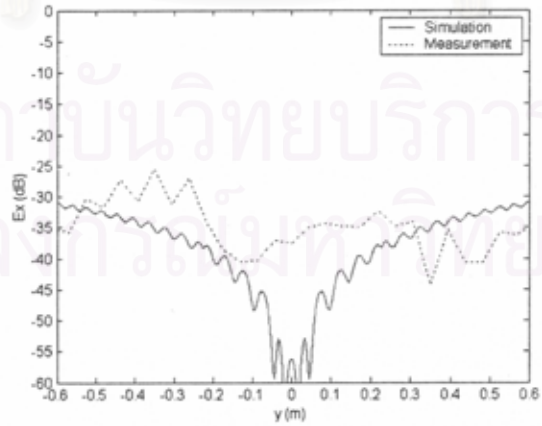
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) ขนาดของสนามไฟฟ้า Ey ในแนวแกน y



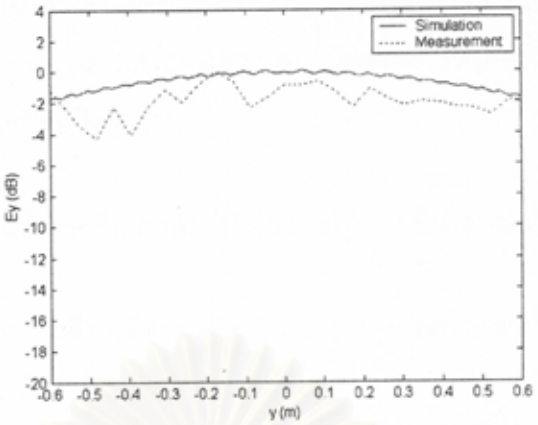
(ข) วัฏภาคของสนามไฟฟ้า Ey ในแนวแกน y



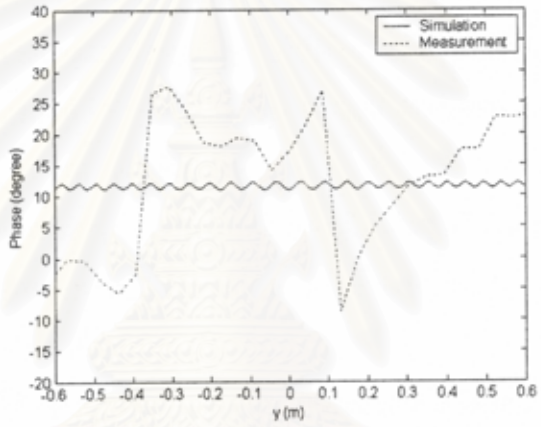
(ค) ขนาดของสนามไฟฟ้า Ex ในแนวแกน y

รูปที่ ๑๘ ค่าสนามตำแหน่งที่ 2 ระดับความสูง 2.2 เมตร ความถี่ 15.5 GHz

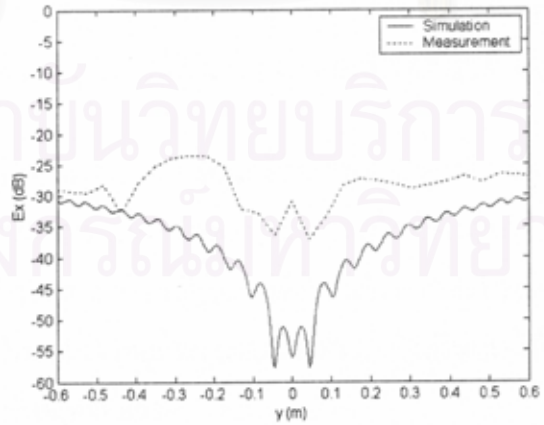
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) ขนาดของสนามไฟฟ้า Ey ในแนวแกน y



(ข) วัฏภาคของสนามไฟฟ้า Ey ในแนวแกน y



(ค) ขนาดของสนามไฟฟ้า Ex ในแนวแกน y

รูปที่ ๑๙ ค่าสนามตำแหน่งที่ 3 ระดับความสูง 1.9 เมตร ความถี่ 15.5 GHz

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพการแจกแจงขนาดยอดที่ได้จากการทดลองรูปที่ ๑๐ก ถึงรูปที่ ๑๙ก มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันกับผลการคำนวณพอสมควร ความแตกต่างที่เกิดขึ้นน่าจะเป็นผลจากความคลาดเคลื่อนของผิวตัวสะท้อนที่สร้างขึ้น

สิ่งที่น่าสนใจเป็นพิเศษ คือ ภาพการแจกแจงวัฏภาคซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

รูปที่ ๑๐ข มียอดสี่เหลี่ยมที่ตำแหน่ง y=0.2-0.4 m ซึ่งคาดว่าเป็นตำแหน่งที่ผิวตัวสะท้อนมีปัญหา

รูปที่ ๑๑ข ลักษณะที่เกิดขึ้นอาจเป็นเพราะแนวกวาดวัดพาดผ่านตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับบริเวณที่ผิวตัวสะท้อนมีการผิดรูป

รูปที่ ๑๒ข สิ่งที่ปรากฏตอนปลายของการกวาดวัด ณ ตำแหน่ง y=0.25-0.6 m อาจเป็นผลจากการเลี้ยวเบนที่ขอบของแผ่นโลหะที่ใช้เพื่อให้เกิดการผิดรูปอย่างเจาะจง

รูปที่ ๑๓ข ตำแหน่งที่เกิดยอดสี่เหลี่ยมพอดีกับตำแหน่งของแผ่นโลหะ และความสูงของยอดสอดคล้องกับความหนาของแผ่นโลหะด้วย

รูปที่ ๑๔ข ลักษณะของรูปนี้เป็นไปในทำนองเดียวกับรูปที่ ๑๒ข

รูปที่ ๑๕ข ลักษณะของรูปนี้เป็นไปในทำนองเดียวกับกันรูปที่ ๑๐ข ทว่าความเด่นชัดของปัญหาเป็นผลจากความถี่ที่สูงขึ้น

รูปที่ ๑๖ข สิ่งที่เกิดขึ้นน่าจะเป็นผลจากการที่แนวกวาดวัดพาดผ่านบริเวณที่ผิวตัวสะท้อนมีการผิดรูป

รูปที่ ๑๗ข มีลักษณะคล้ายรูปที่ ๑๔ข และรูปที่ ๑๒ข

รูปที่ ๑๘ข ผลที่ปรากฏในรูปนี้เป็นไปในทำนองเดียวกับรูปที่ ๑๓ข

รูปที่ ๑๙ข ผลที่ปรากฏในรูปนี้เป็นไปในทำนองเดียวกับรูปที่ ๑๕ข

โดยสรุปพบว่า ความคลาดเคลื่อนหรือการผิดรูปของผิวเป็นผลให้หน้าคลื่นในบริเวณทดสอบเบี่ยงเบนไปจากความเป็นหน้าคลื่นระนาบ (ดังผลในรูปที่ ๑๓ข และรูปที่ ๑๘ข) การเบี่ยงเบนดังกล่าวจะมากขึ้นตามความถี่ ในการศึกษาเชิงทดลองของโครงการนี้มีปัญหาเนื่องจากการผิดรูปของผิวอย่างไม่เจาะจงอยู่ด้วย (ภาคผนวก ก) จึงเป็นเหตุให้ความเป็นคลื่นระนาบของสนามในบริเวณทดสอบไม่ดีเท่าที่ควร

บทที่ ๓

การลดผลกระทบจากการเลี้ยวเบนที่ขอบตัวสะท้อน

เป็นที่ทราบกันดีว่าสนามจากการเลี้ยวเบนที่ขอบมีผลรบกวนสนามทัศนศาสตร์เรขาคณิตในบริเวณทดสอบ ทำให้เกิดระลอกในภาพการแจกแจงความเข้มสนาม อันนำมาซึ่งความไม่บริสุทธิ์ของหน้าคลื่นระนาบในบริเวณทดสอบ ซึ่งมีผลต่อความแม่นยำในการวัดลักษณะสมบัติการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ต้องการทดสอบ การลดปริมาณสนามเลี้ยวเบนจึงมีความจำเป็น เนื่องจากโครงการวิจัยนี้ได้ถูกตัดทอนงบประมาณลงเป็นจำนวนมาก จึงทำให้นำเสนอเกี่ยวกับแนวทางลดผลกระทบจากการเลี้ยวเบนที่ขอบตัวสะท้อนได้เพียงวิธีเดียวคือ การปิดขอบตัวสะท้อนด้วยวัสดุดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

๓.๑ การลดผลกระทบจากการเลี้ยวเบนที่ขอบด้วยการปิดขอบด้วยวัสดุดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ปี ค.ศ. 1977 Doren W. Hess and F.G. Willwerth [2] ได้พัฒนาขอบของตัวสะท้อนให้มีลักษณะเป็นรอยหยักแบบฟันปลา และวัดลักษณะการแจกแจงความเข้มของสนามในบริเวณทดสอบ ผลปรากฏว่า ภาพการแจกแจงความเข้มสนามที่ได้ราบเรียบขึ้น ขนาดของระลอกลดลง

ปี ค.ศ. 1987 Walter D. Burnside, Melvin C. Gilreath, Brain M. Kent and Giancarlo L. Clerici [3] ได้ออกแบบตัวสะท้อน โดยทำการม้วนพื้นผิวบริเวณขอบเข้าหาด้านหลังของตัวสะท้อน ซึ่งสามารถลดปัญหาจากการเลี้ยวเบนที่เกิดจากขอบได้

ต่อมาในปีเดียวกัน Carl W.I. Pistorius and Walter D. Burnside [4] ได้ออกแบบตัวสะท้อน โดยให้เส้นขอบของตัวสะท้อนมีลักษณะโค้งเว้าเข้าข้างใน (concave) และร่วมกับการม้วนขอบ พบว่าสามารถให้คุณภาพของหน้าคลื่นในบริเวณทดสอบที่ดีกว่ากรณีเส้นขอบโค้งออกข้างนอก (convex)

ปี ค.ศ. 1990 Inder J. Gupta, Kurt P. Ericksen and Walter D. Burnside [5] ได้พิจารณาในส่วนของการม้วนขอบในแต่ละลักษณะเส้นขอบของตัวสะท้อน เพื่อให้สามารถลดคลื่นที่กระเจิงจากบริเวณขอบให้เหลือน้อยที่สุด

ปี ค.ศ. 1991 Inder J. Gupta, David G. Brown, Walter D. Burnside and W. Lin [6] ได้แก้ไขปัญหาของสนามเลี้ยวเบนในกรณีระบบตัวสะท้อนคู่ โดยให้ขอบของตัวสะท้อนรองมี

ลักษณะเป็นรอยหยักแบบฟันปลา ปรากฏว่าสามารถลดระลอกของสนามในบริเวณทดสอบ ที่เกิดจากการเลี้ยวเบนจากขอบของตัวสะท้อนรองได้ จาก 2 dB เป็น 0.5 dB

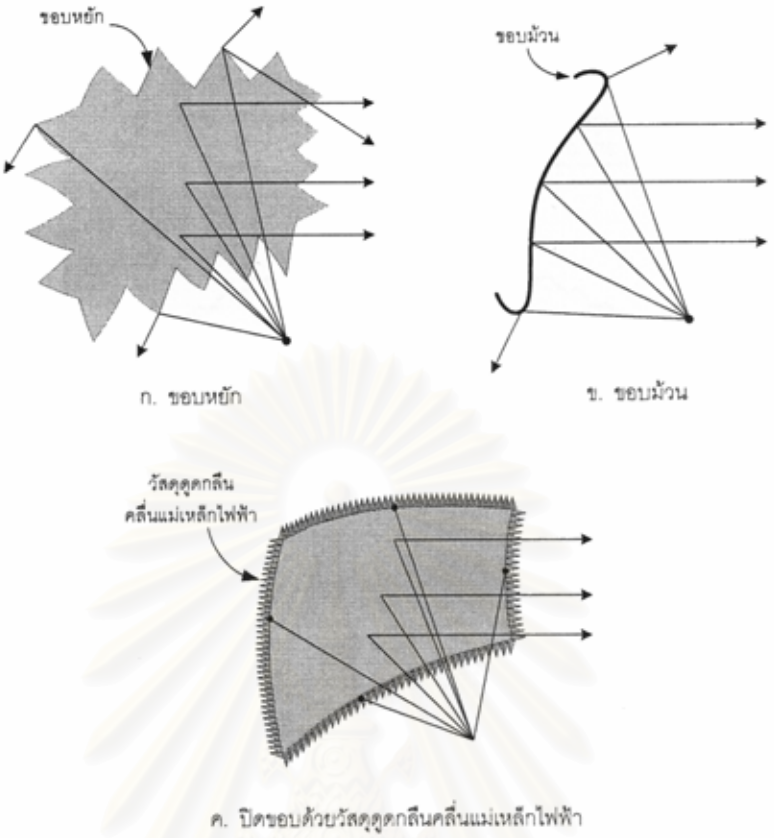
ปี ค.ศ. 1996 Teh-Hong Lee and Walter D. Burnside [7] ได้เปรียบเทียบคุณสมบัติของย่านทดสอบแบบกระชับ กรณีที่ใช้ตัวสะท้อนเป็นแบบม้วนขอบ กับกรณีที่ตัวสะท้อนเป็นรอยหยักแบบฟันปลา โดยพิจารณาที่ขนาดเท่ากัน ปรากฏว่ากรณีการม้วนขอบตัวสะท้อนจะให้คุณสมบัติที่ดีกว่า แต่จะมีค่าใช้จ่ายในการสร้างสูงกว่า

แนวคิดของการลดผลกระทบจากการเลี้ยวเบนที่ขอบมี ๓ แนวทางดังรูปที่ ๒๐ แนวทางแรก [7] (รูปที่ ๒๐ก) จะปาดขอบตัวสะท้อนให้เป็นรอยหยักเหมือนฟันเลื่อยขนาดใหญ่ แนวทางนี้สามารถลดปริมาณสนามเลี้ยวเบนจากขอบที่จะมาถึงบริเวณทดสอบได้ เนื่องจากสนามจะเลี้ยวเบนออกไปนอกบริเวณทดสอบมากกว่า ปัญหาที่ตามมานอกจากการสิ้นเปลืองวัสดุแล้วยังมีระดับของโพลาไรเซชันไขว้ที่เพิ่มมากขึ้น อันเป็นผลจากการที่ขอบหยักรบกวนความต่อเนื่องของการไหลของกระแสอย่างไม่สมมาตร

แนวทางที่สอง [8][9][10] (รูปที่ ๒๐ข) ทำโดยม้วนขอบตัวสะท้อนเพื่อให้สนามที่มาตกกระทบบริเวณขอบสะท้อน และ/หรือเลี้ยวเบนออกไปจากบริเวณทดสอบ วิธีนี้นอกจากสิ้นเปลืองวัสดุแล้ว ยังทำให้การสร้างตัวสะท้อนยากลำบากขึ้นกว่าปกติมาก การปิดขอบตัวสะท้อนด้วยวัสดุดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (รูปที่ ๒๐ค) ซึ่งเป็นแนวทางที่สามเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดและประหยัดที่สุด อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพพอสมควรทีเดียว

งานวิจัยนี้ใช้การปิดขอบของตัวสะท้อนคลื่นด้วยวัสดุดูดกลืนคลื่นเพื่อลดผลกระทบจากการเลี้ยวเบนที่ขอบ วิธีนี้ทำให้กำลังคลื่นตกกระทบที่ขอบส่วนหนึ่งถูกดูดกลืนไปทำให้เหลือกำลังคลื่นเลี้ยวเบนน้อยลง ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยไม่เลือกวิธีปาดขอบตัวสะท้อนคลื่นให้เป็นรอยหยักเนื่องจากเป็นวิธีที่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและสร้างปัญหาเรื่องระดับโพลาไรเซชันไขว้ [3]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

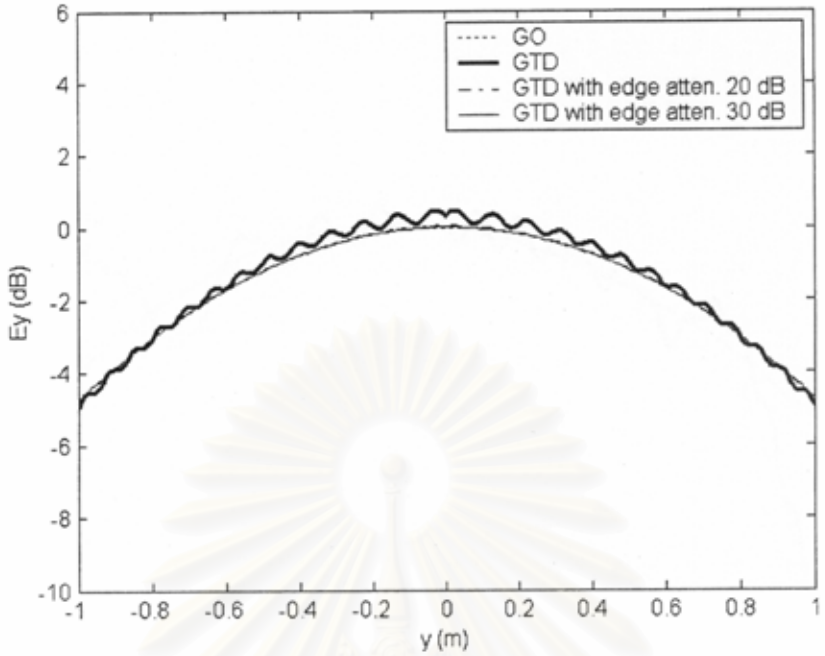


รูปที่ ๒๐ การลดผลกระทบจากการเลี้ยวเบนที่ขอบ

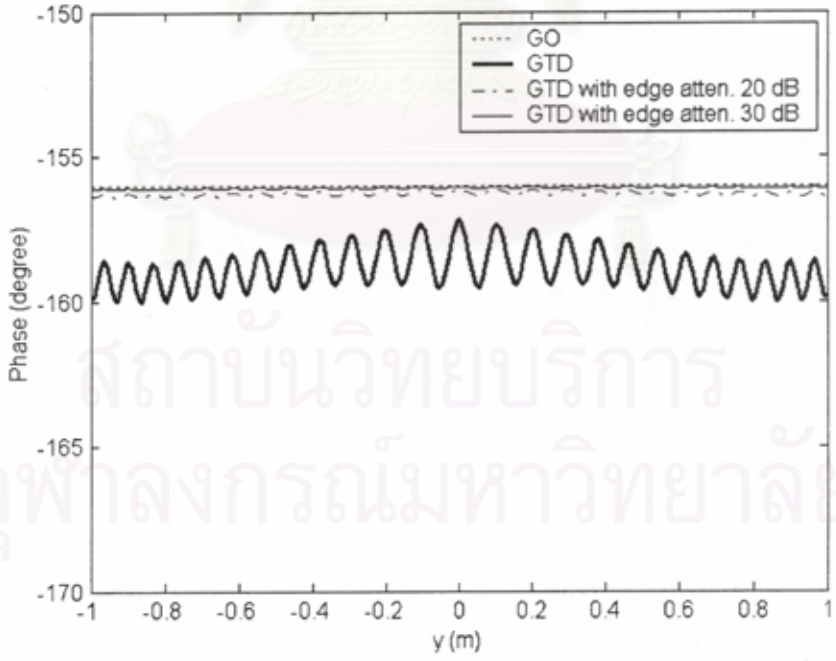
๓.๒ การจำลองสถานการณ์

การจำลองสถานการณ์ทำโดยลดกำลังคลื่นหรือความเข้มสนามตกกระทบที่ขอบ ตามอัตราการดูดกลืนคลื่นของวัสดุที่ใช้ กำหนดอัตราการดูดกลืนเป็น 30 dB และ 20 dB ซึ่งเป็นค่าที่เป็นไปได้ของวัสดุที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์

การจำลองสถานการณ์กระทำ ณ ความถี่ปฏิบัติการ 8 GHz 10 GHz 20 GHz 26 GHz และ 40 GHz สายอากาศป้อนชนิด $\cos^6$ ปัจจัยอื่นเหมือนการศึกษาผลกระทบจากการผิดรูปของผิวตัวสะท้อน ผลการคำนวณปรากฏในรูปที่ ๒๑ - รูปที่ ๒๕



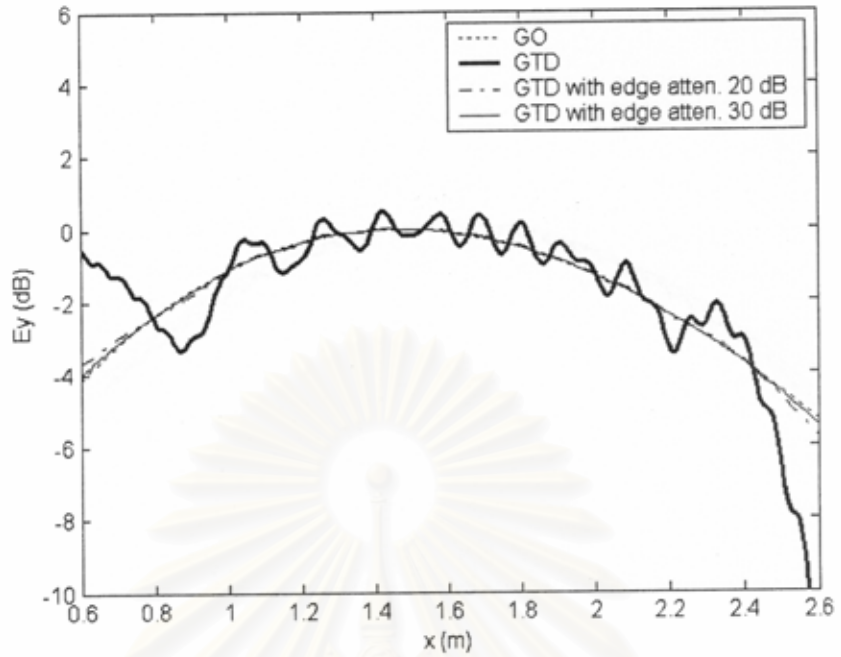
ก) การแจกแจงขนาดยอดตามแนวแกน y



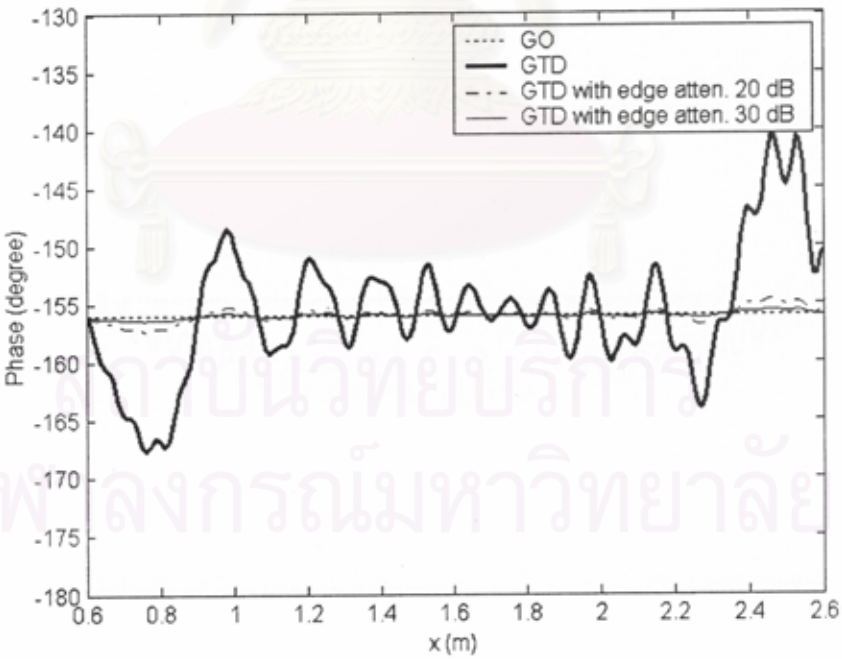
ข) การแจกแจงวัฏภาคตามแนวแกน y

รูปที่ ๒๑ ภาพแสดงการแจกแจงของสนามบริเวณทดสอบ ณ ความถี่ 8 GHz และห่างจากจุดโฟกัส 1 เมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

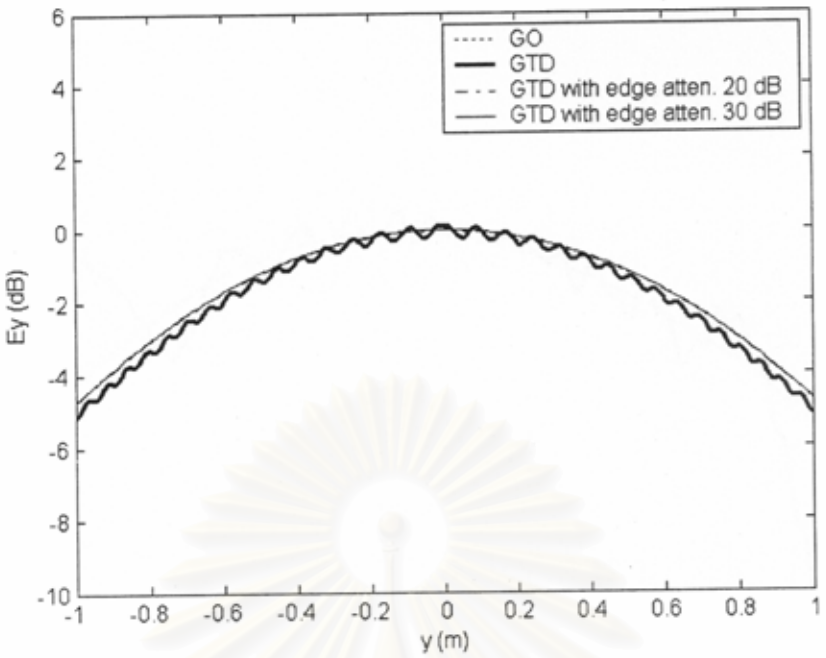


ค) การแจกแจงขนาดยอดตามแนวแกน x

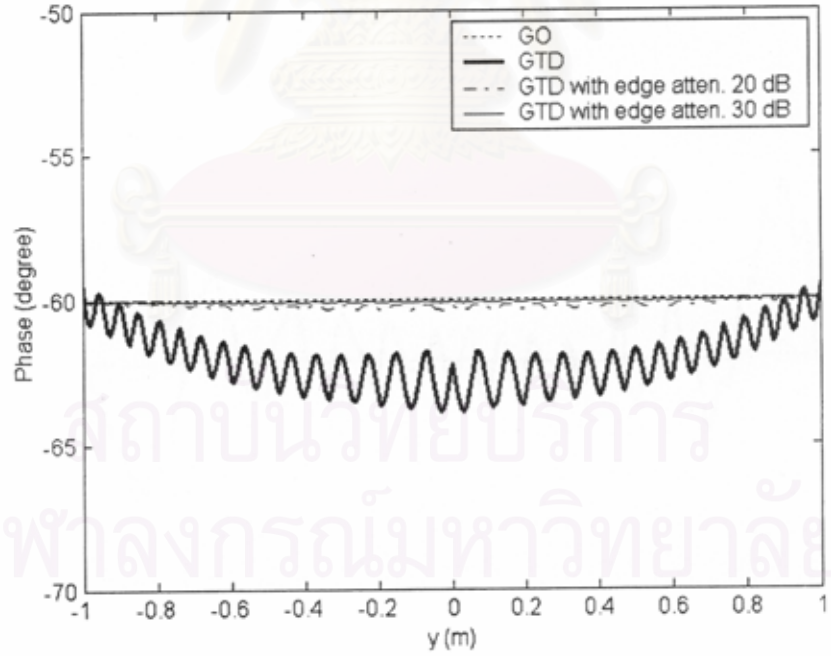


ง) การแจกแจงวัฏภาคตามแนวแกน x

รูปที่ ๒๑ ภาพแสดงการแจกแจงของสนามบริเวณทดสอบ ณ ความถี่ 8 GHz และห่างจากจุดโฟกัส 1 เมตร (ต่อ)



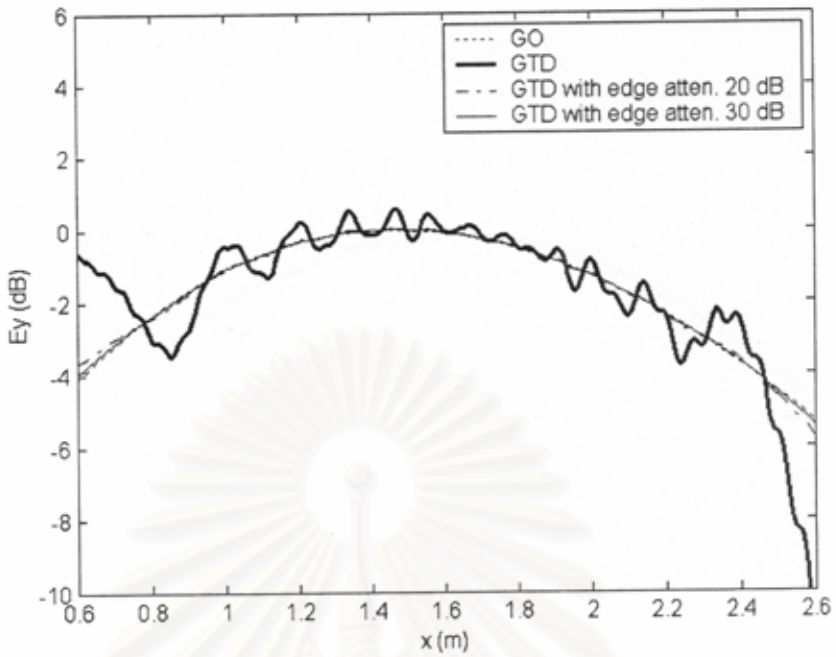
ก) การแจกแจงขนาดยอดตามแนวแกน y



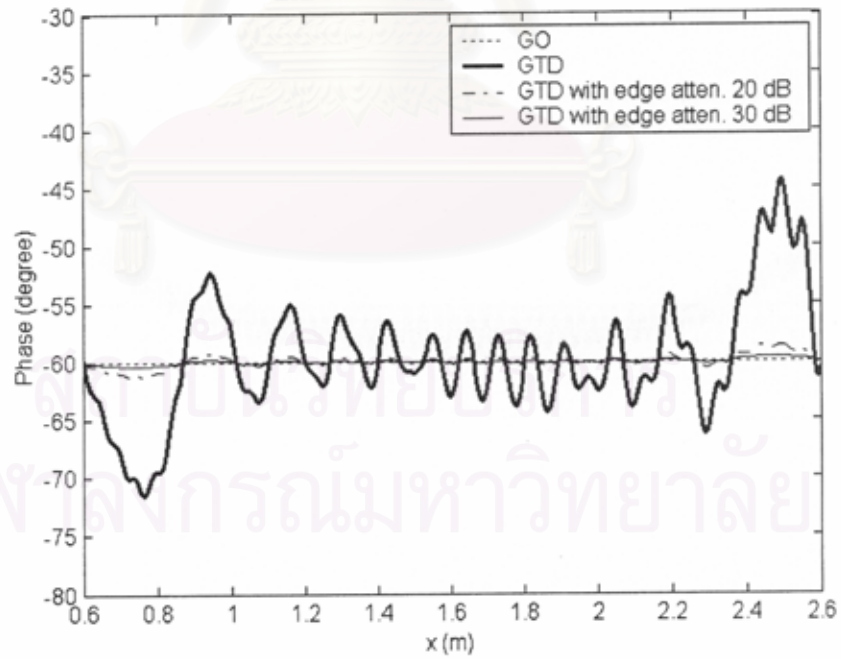
ข) การแจกแจงวัฏภาคตามแนวแกน y

รูปที่ ๒๒ ภาพแสดงการแจกแจงของสนามบริเวณทดสอบ ณ ความถี่ 10 GHz และห่างจากจุดโฟกัส 1 เมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

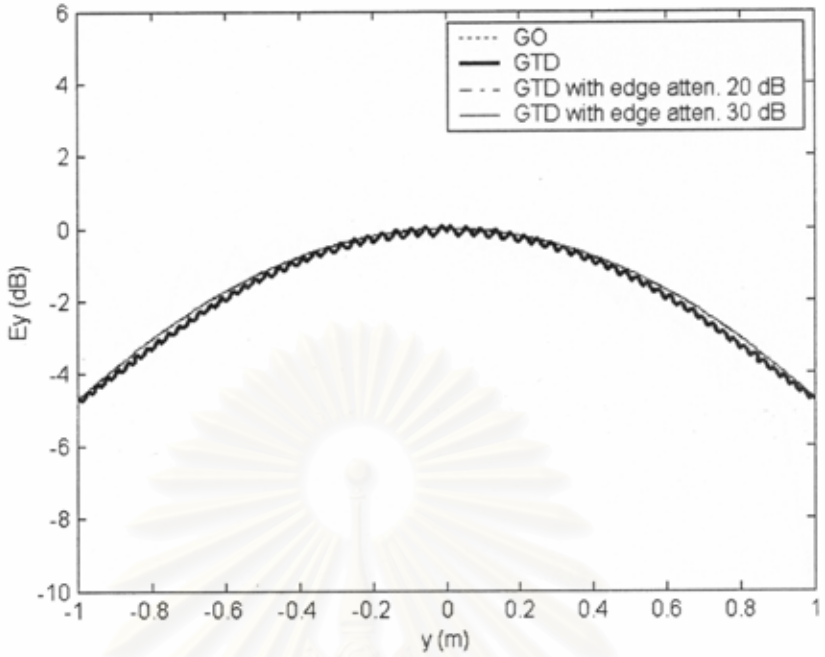


ค) การแจกแจงขนาดยอดตามแนวแกน x

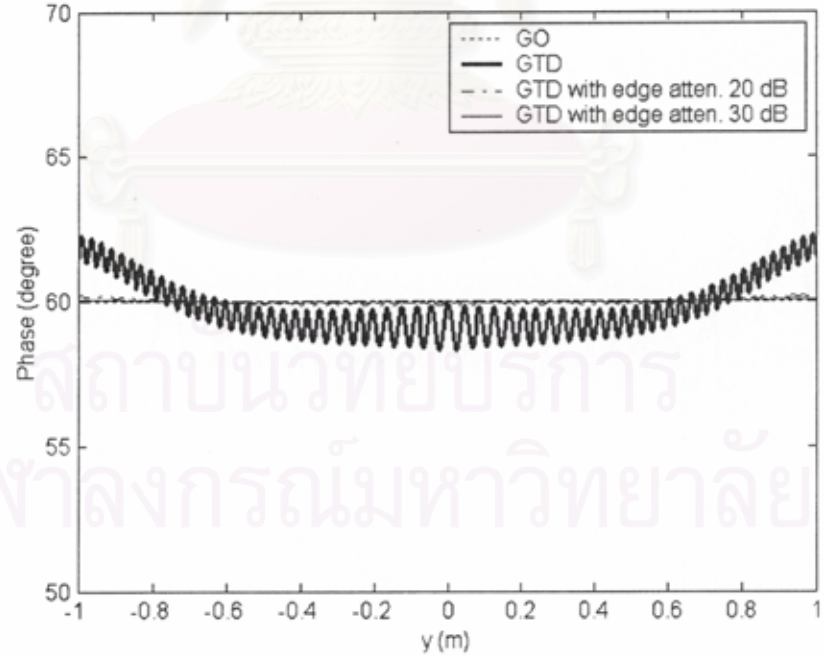


ง) การแจกแจงวัฏภาคตามแนวแกน x

รูปที่ ๒๒ ภาพแสดงการแจกแจงของสนามบริเวณทดสอบ ณ ความถี่ 10 GHz และห่างจากจุดโฟกัส 1 เมตร (ต่อ)



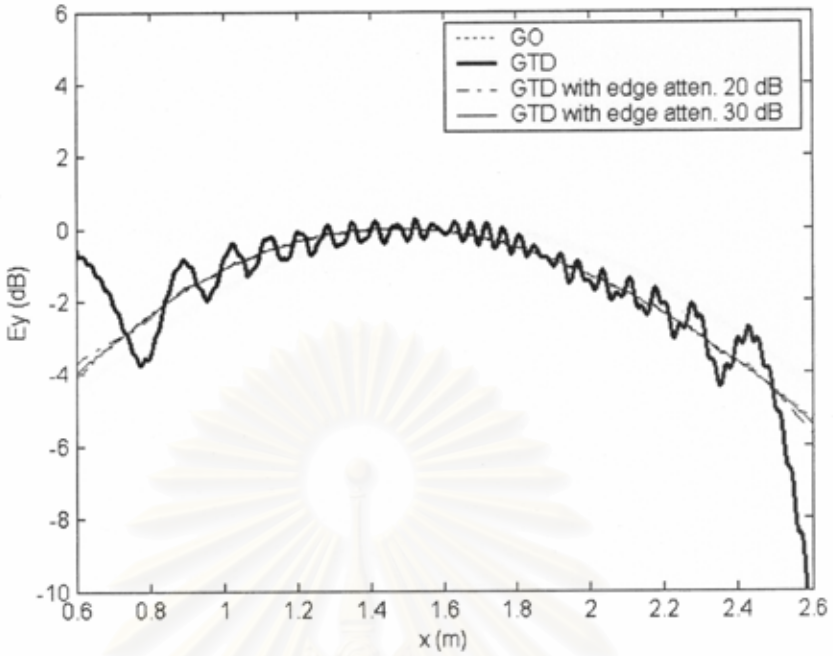
ก) การแจกแจงขนาดยอดตามแนวแกน y



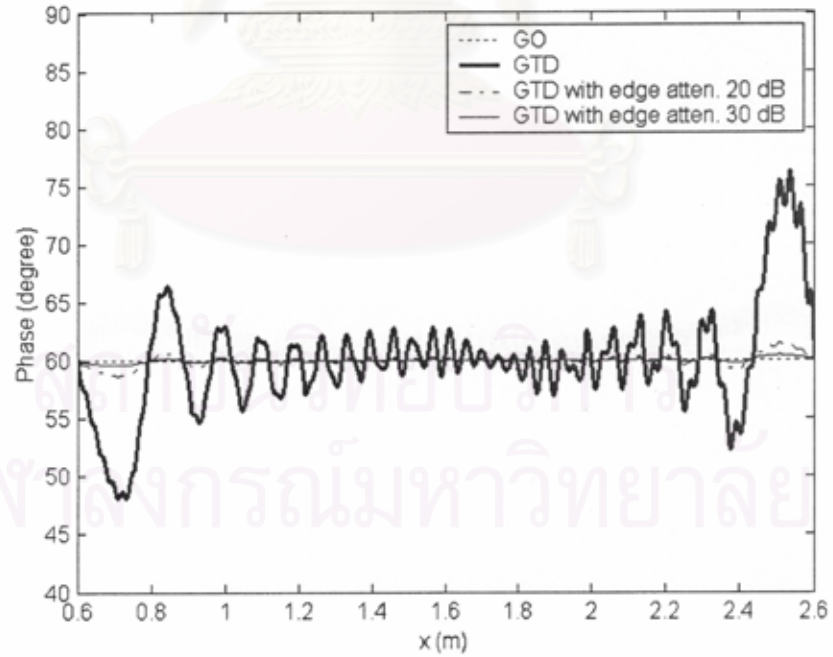
ข) การแจกแจงวัฏภาคตามแนวแกน y

รูปที่ ๒๓ ภาพแสดงการแจกแจงของสนามบริเวณทดสอบ ณ ความถี่ 20 GHz และห่างจากจุดโฟกัส 1 เมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

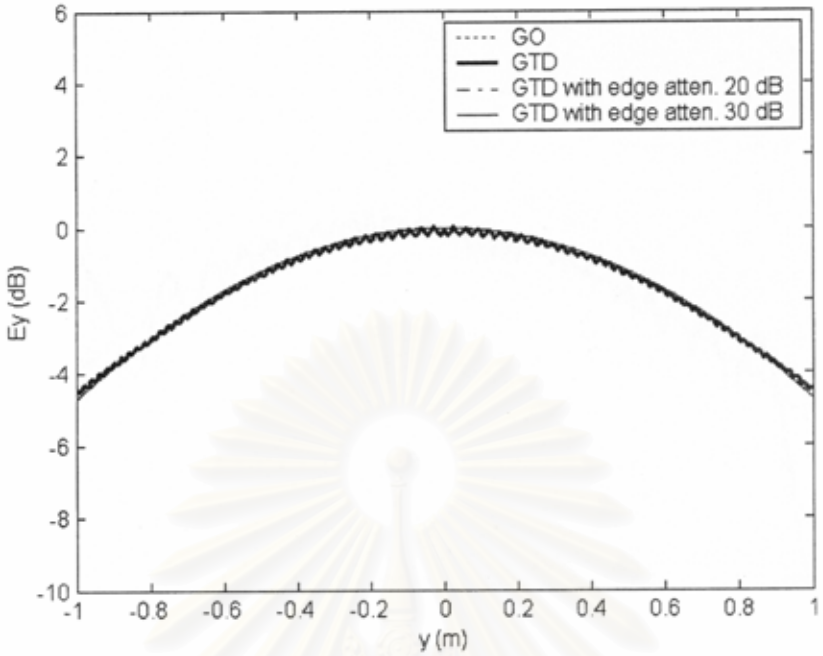


ค) การแจกแจงขนาดยอดตามแนวแกน x

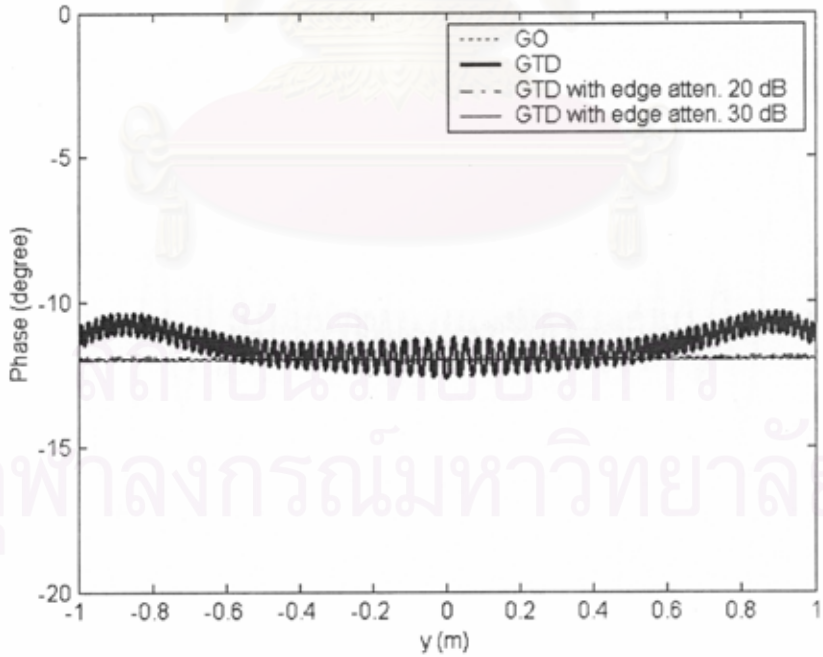


ง) การแจกแจงวัฏภาคตามแนวแกน x

รูปที่ ๒๓ ภาพแสดงการแจกแจงของสนามบริเวณทดสอบ ณ ความถี่ 20 GHz และห่างจากจุดโฟกัส 1 เมตร (ต่อ)



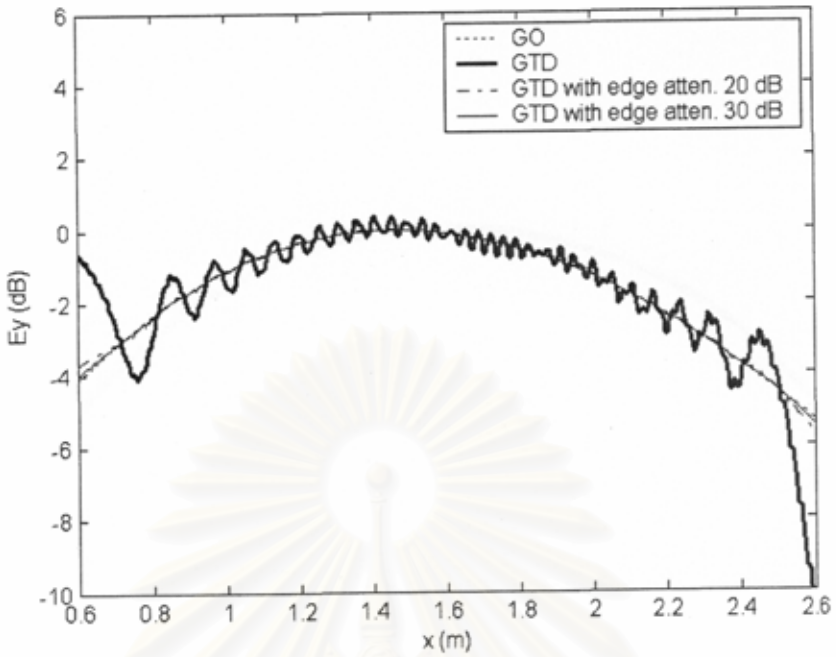
ก) การแจกแจงขนาดยอดตามแนวแกน y



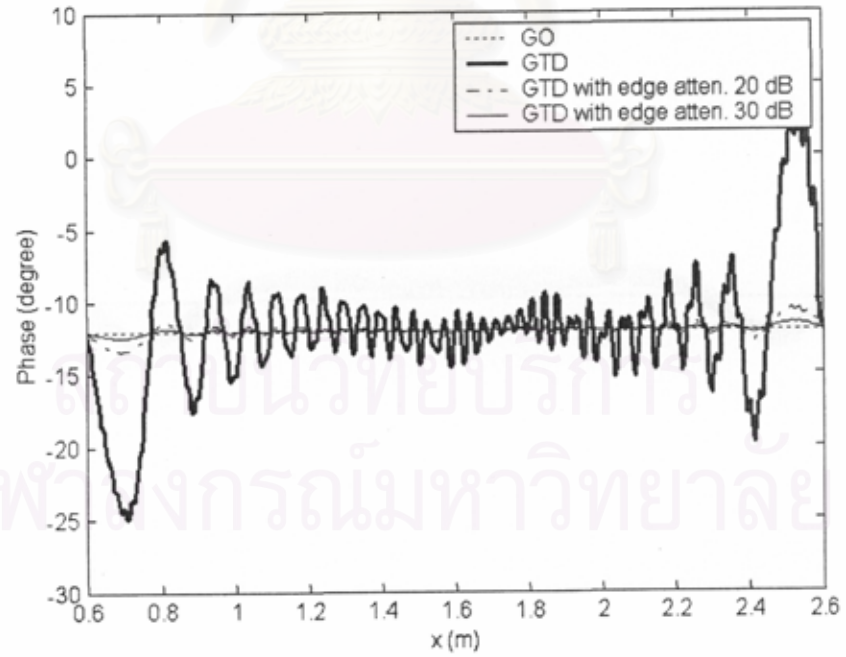
ข) การแจกแจงวัฏภาคตามแนวแกน y

รูปที่ ๒๔ ภาพแสดงการแจกแจงของสนามบริเวณทดสอบ ณ ความถี่ 26 GHz และห่างจากจุดโฟกัส 1 เมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

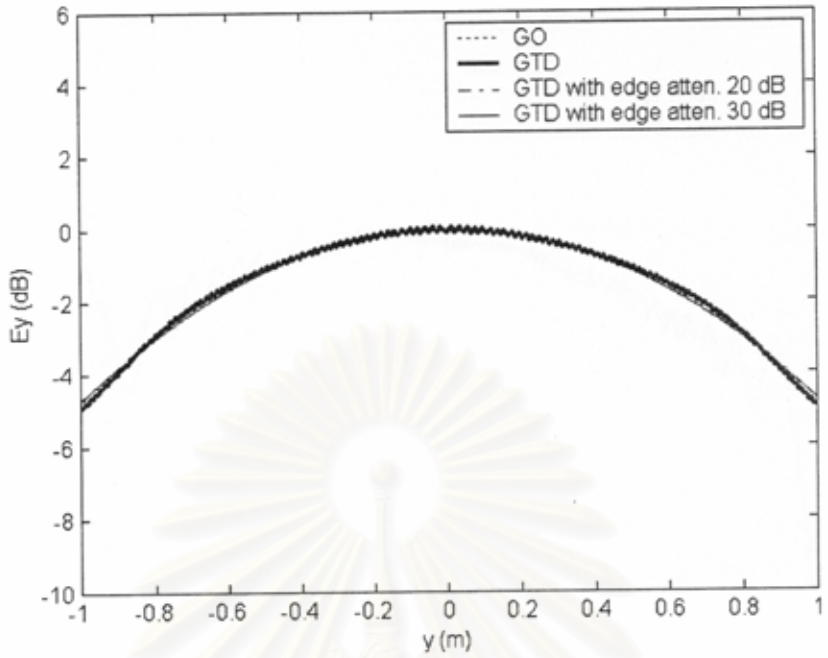


ค) การแจกแจงขนาดยอดตามแนวแกน x

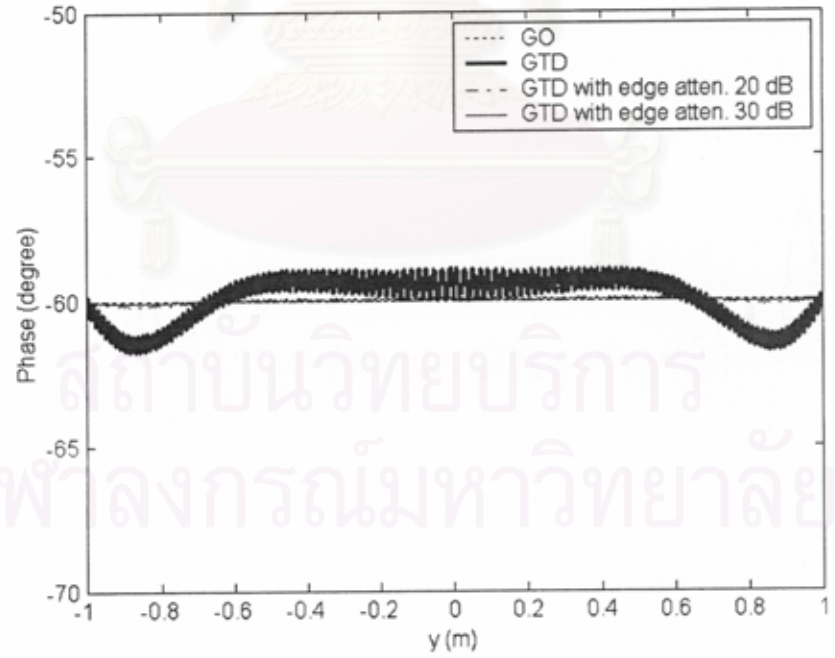


ง) การแจกแจงวัฏภาคตามแนวแกน x

รูปที่ ๒๔ ภาพแสดงการแจกแจงของสนามบริเวณทดสอบ ณ ความถี่ 26 GHz และห่างจากจุดโฟกัส 1 เมตร (ต่อ)



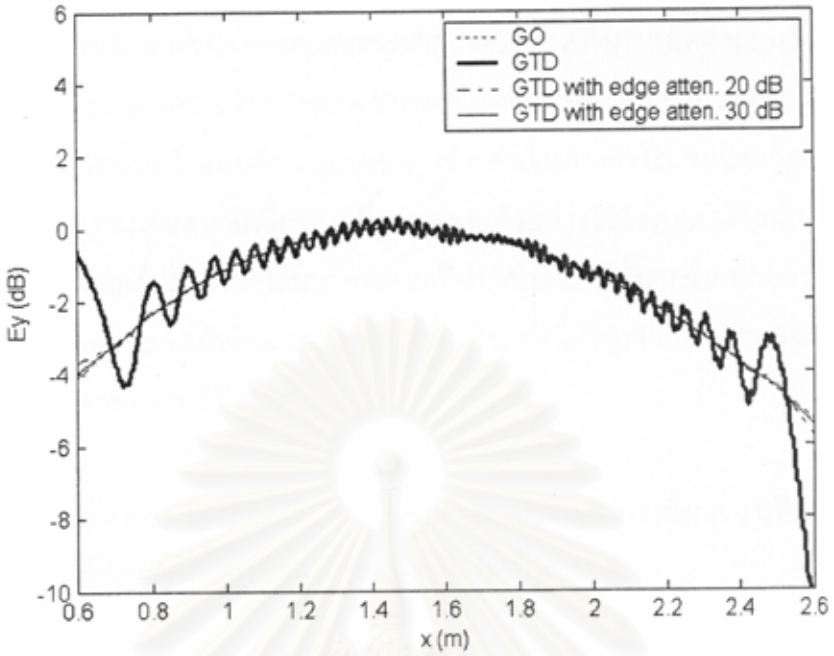
ก) การแจกแจงขนาดยอดตามแนวแกน y



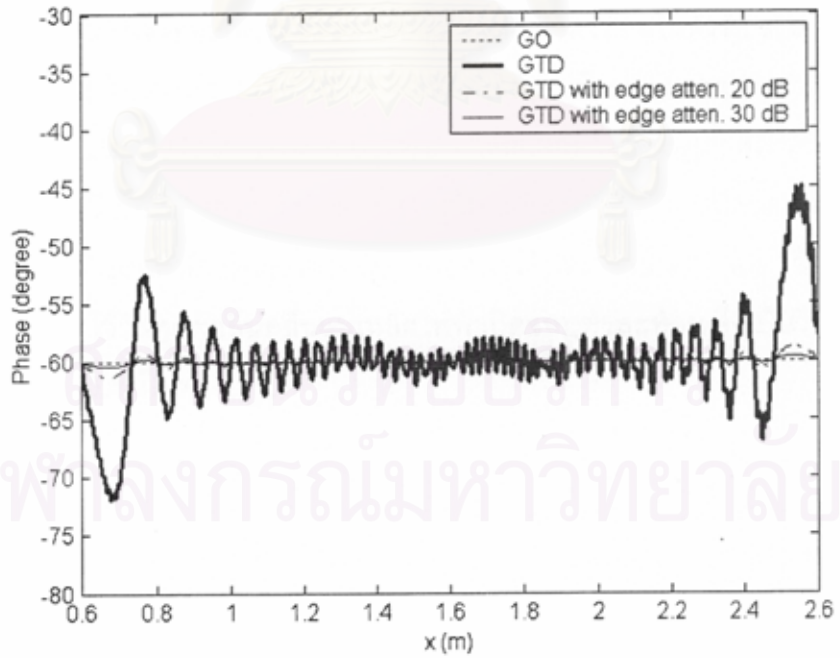
ข) การแจกแจงวัฏภาคตามแนวแกน y

รูปที่ ๒๕ ภาพแสดงการแจกแจงของสนามบริเวณทดสอบ ณ ความถี่ 40 GHz และห่างจากจุดโฟกัส 1 เมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ค) การแจกแจงขนาดยอดตามแนวแกน x



ง) การแจกแจงวัฏภาคตามแนวแกน x

รูปที่ ๒๕ ภาพแสดงการแจกแจงของสนามบริเวณทดสอบ ณ ความถี่ 40 GHz และห่างจากจุดโฟกัส 1 เมตร (ต่อ)

ผลในรูปที่ ๒๑ – รูปที่ ๒๕ แสดงให้เห็นความเปลี่ยนแปลงในทางลดลงของระลอกที่ปรากฏบนภาพการแจกแจงขนาดยอดและการแจกแจงวัฏภาคทั้งภาพตัดตามแนวแกน x และแกน y ส่วนภาพตัดตามแนวแกน y เฉพาะภาพการแจกแจงขนาดยอดจะสังเกตความเปลี่ยนแปลงได้ค่อนข้างยาก แต่จะพบความเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนในภาพการแจกแจงวัฏภาค การลดลงดังกล่าวแสดงว่าความเข้มสนามเลี้ยวเบนที่ขอบลดลงด้วยการใช้วัสดุดูดกลืนคลื่นปิดบริเวณขอบ เมื่ออัตราการดูดกลืนคลื่นสูงยิ่งทำให้ขนาดระลอกที่ปรากฏลดลงได้มากขึ้น นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าการลดลงของระลอกจะลดน้อยลงตามความถี่ที่สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสัดส่วนของปริมาณสนามเลี้ยวเบนจะลดลงตามความถี่ที่สูงขึ้น

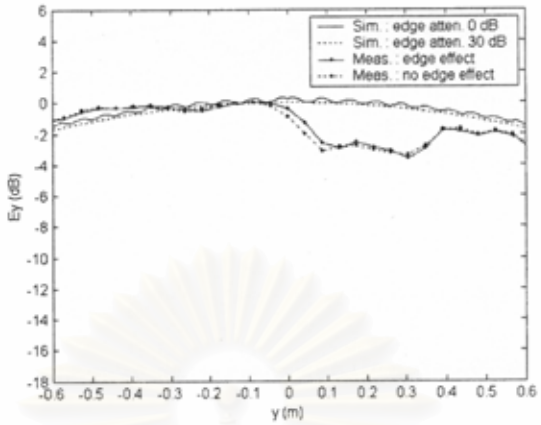
๓.๓ การศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการลดผลกระทบจากการเลี้ยวเบนที่ขอบตัวสะท้อนด้วยการใช้วัสดุดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าปิดที่ขอบ

การศึกษาเชิงทดลองนี้ทำโดยปิดขอบทั้งสี่ของตัวสะท้อนด้วยวัสดุดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีอัตราการลดทอน ๓๐ dB แล้วกวาดวัดภาพการแจกแจงความเข้มสนาม ณ ความถี่ ๑๐ GHz และ ๑๕.๕ GHz โดยตำแหน่งการกวาดวัดและผังระบบวัดเป็นดังรูปที่ ๘ และรูปที่ ๙ ในบทที่ ๒ ผลการศึกษาเชิงทดลองแสดงในรูปที่ ๒๖ ถึงรูปที่ ๓๕ การจัดเตรียมการวัดเหมือนกรณีการศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการผิดรูปของผิวตัวสะท้อนในหัวข้อ ๒.๓

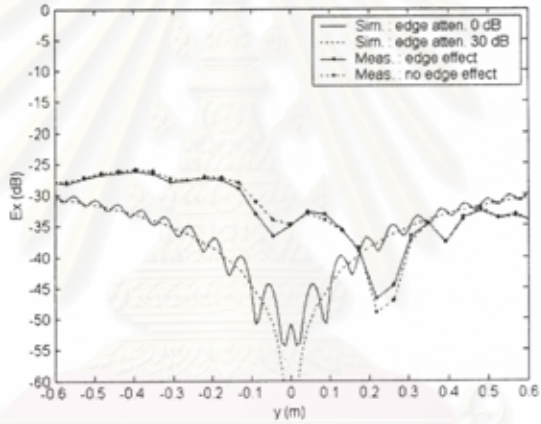
การทดลองในช่วงความถี่ ๑๐ GHz (รูปที่ ๒๖ ถึงรูปที่ ๓๐) และช่วงความถี่ ๑๕.๕ GHz (รูปที่ ๓๑ ถึงรูปที่ ๓๕) ให้ผลใกล้เคียงกันในแง่ของความแตกต่างของวัฏภาคระหว่างกรณีปิดขอบและไม่ปิดขอบ ทั้งนี้เนื่องจากความถี่ทั้งสองความถี่ไม่แตกต่างกันนัก การปิดขอบด้วยวัสดุดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีผลให้การแกว่งของวัฏภาคลดลงได้ประมาณ ๓° - ๑๐° ซึ่งถือว่าน่าพอใจทีเดียว ดังนั้นการใช้วัสดุดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าปิดขอบตัวสะท้อน จึงเป็นวิธีการที่ง่ายและน่าจะนำไปใช้ประโยชน์ในทางปฏิบัติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

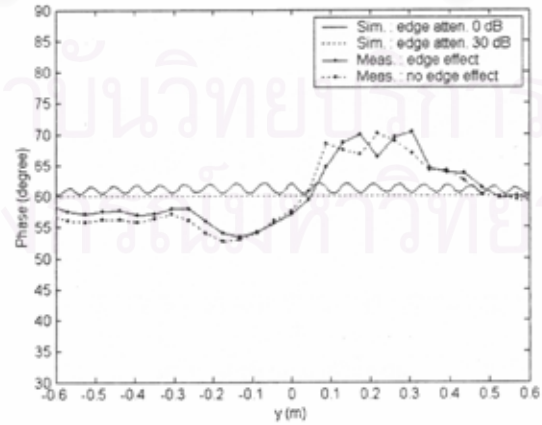
ความถี่ ๑๐ GHz



ก) การแจกแจงขนาดยอดของโพลาไรเซชันร่วม

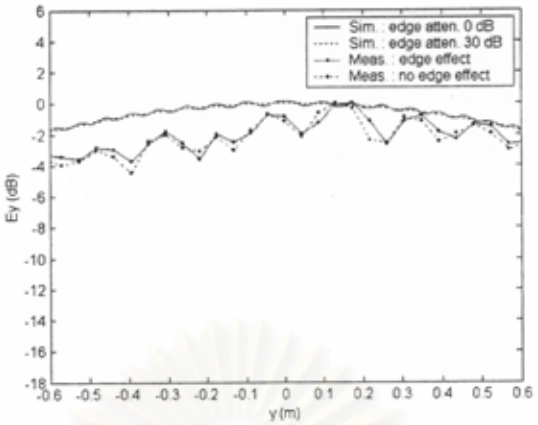


ข) การแจกแจงขนาดยอดของโพลาไรเซชันไขว้

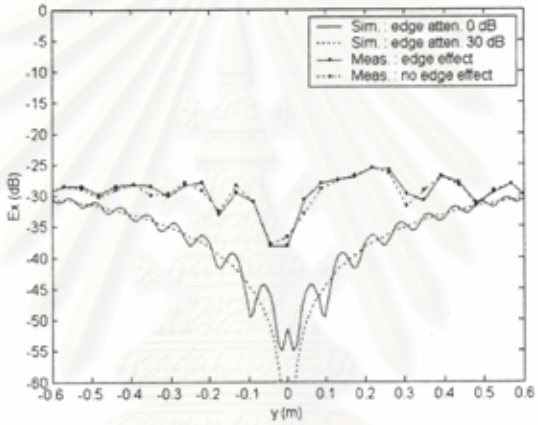


ค) การแจกแจงวัฏภาค

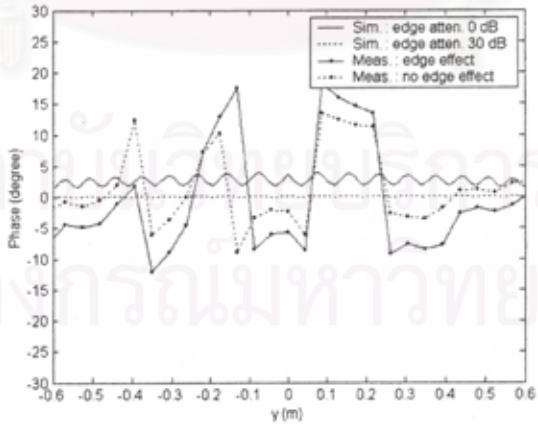
รูปที่ ๒๖ การแจกแจงขนาดยอดและวัฏภาค ณ ระนาบ 1 ความสูง 190 cm.



ก) การแจกแจงขนาดยอดของโพลาไรเซชันร่วม

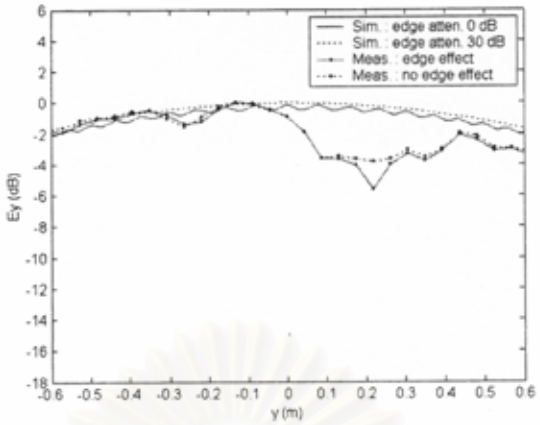


ข) การแจกแจงขนาดยอดของโพลาไรเซชันไขว้

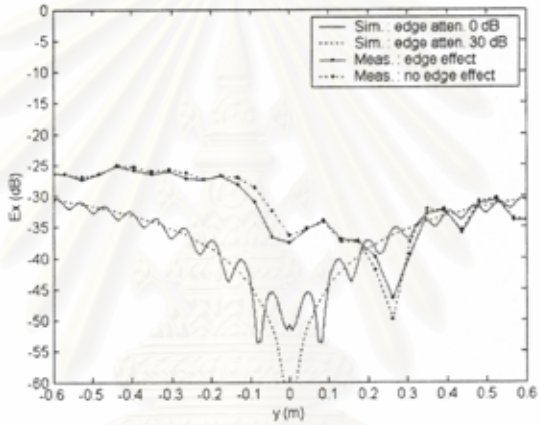


ค) การแจกแจงวัฏภาค

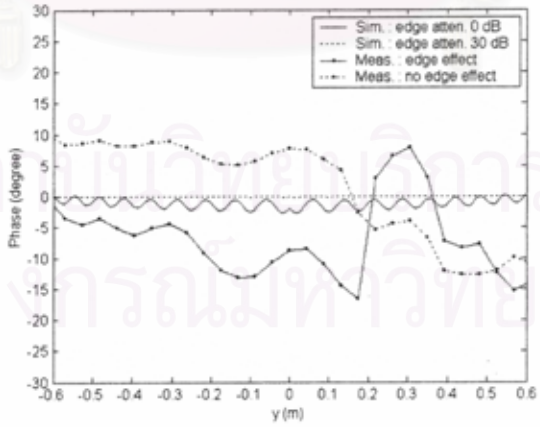
รูปที่ ๒๗ การแจกแจงขนาดยอดและวัฏภาค ณ ระนาบ 2 ความสูง 160 cm.



ก) การแจกแจงขนาดยอดของโพลาไรเซชันร่วม



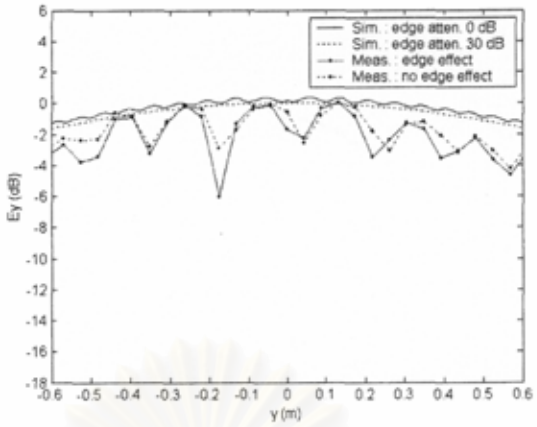
ข) การแจกแจงขนาดยอดของโพลาไรเซชันไขว้



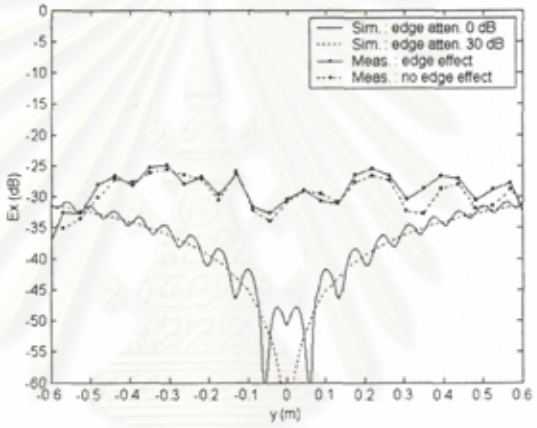
ค) การแจกแจงวัฏภาค

รูปที่ ๒๘ การแจกแจงขนาดยอดและวัฏภาค ณ ระนาบ 2 ความสูง 190 cm.

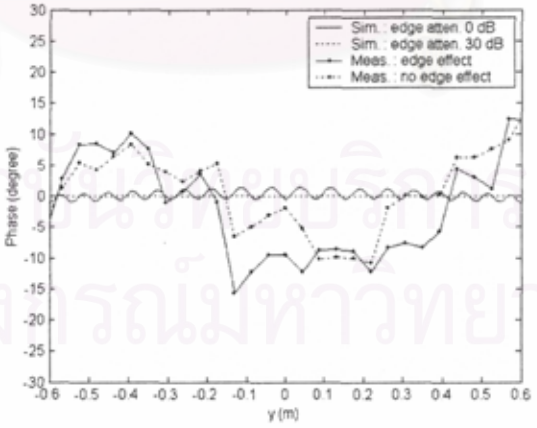
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก) การแจกแจงขนาดยอดของโพลาไรเซชันร่วม



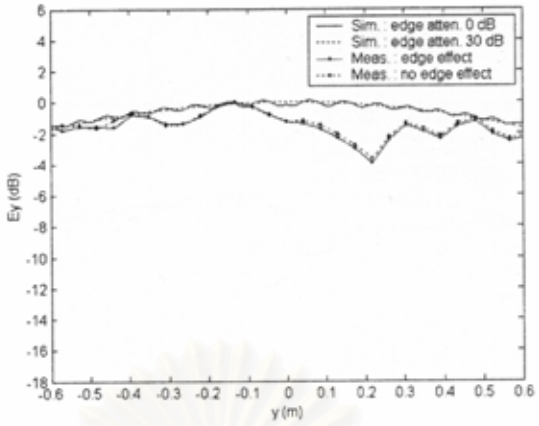
ข) การแจกแจงขนาดยอดของโพลาไรเซชันไขว้



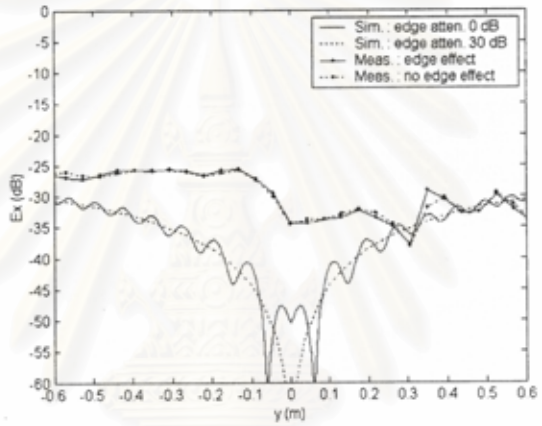
ค) การแจกแจงวัฏภาค

รูปที่ ๒๙ การแจกแจงขนาดยอดและวัฏภาค ณ ระนาบ 2 ความสูง 220 cm.

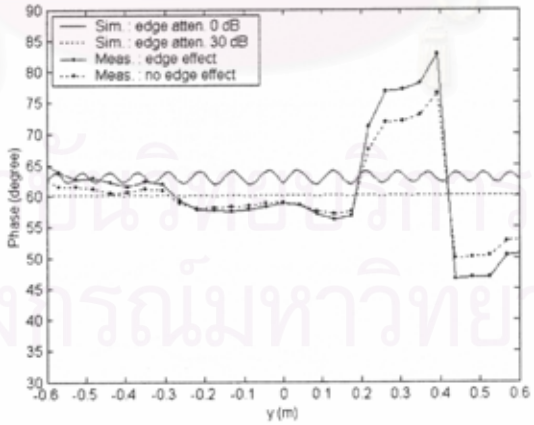
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก) การแจกแจงขนาดยอดของโพลาไรเซชันร่วม



ข) การแจกแจงขนาดยอดของโพลาไรเซชันไขว้

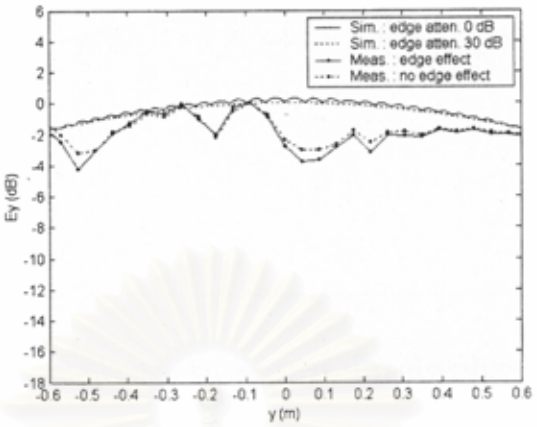


ค) การแจกแจงวัฏภาค

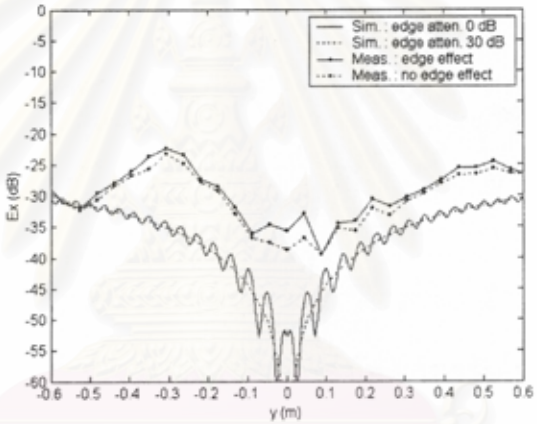
รูปที่ ๓๐ การแจกแจงขนาดยอดและวัฏภาค ณ ระนาบ 3 ความสูง 190 cm.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

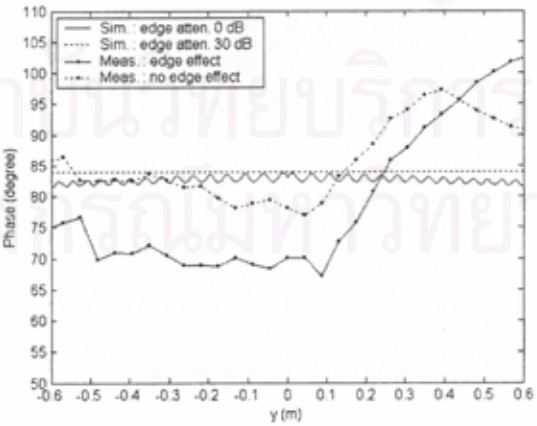
ความถี่ ๑๕.๕ GHz



ก) การแจกแจงขนาดยอดของโพลาไรเซชันร่วม

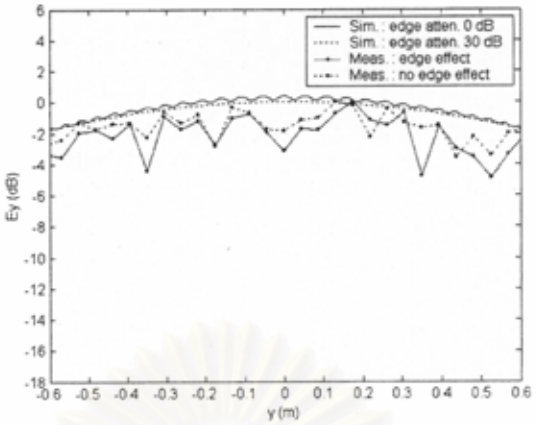


ข) การแจกแจงขนาดยอดของโพลาไรเซชันไขว้

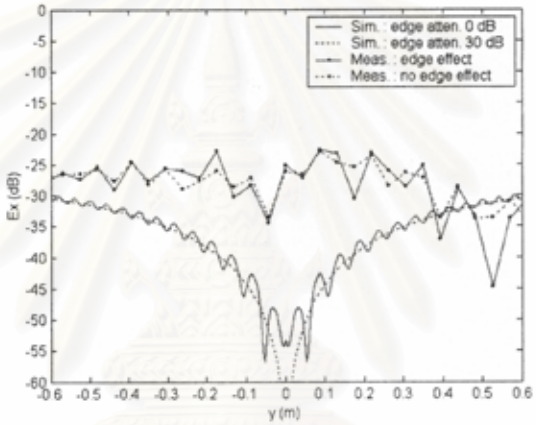


ค) การแจกแจงวัฏภาค

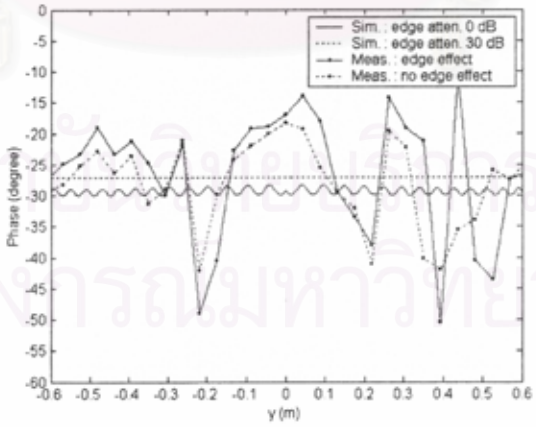
รูปที่ ๓๑ การแจกแจงขนาดยอดและวัฏภาค ณ ระนาบ 1 ความสูง 190 cm.



ก) การแจกแจงขนาดยอดของโพลาไรเซชันร่วม

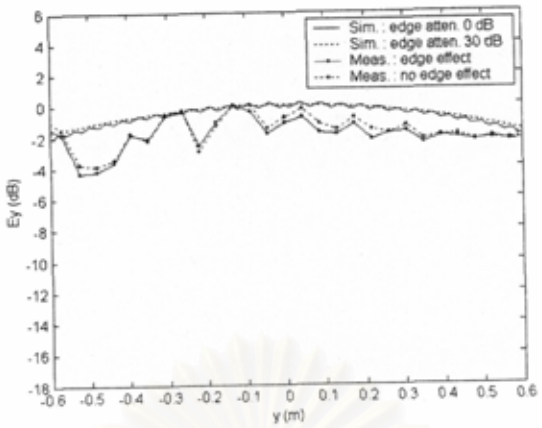


ข) การแจกแจงขนาดยอดของโพลาไรเซชันไขว้

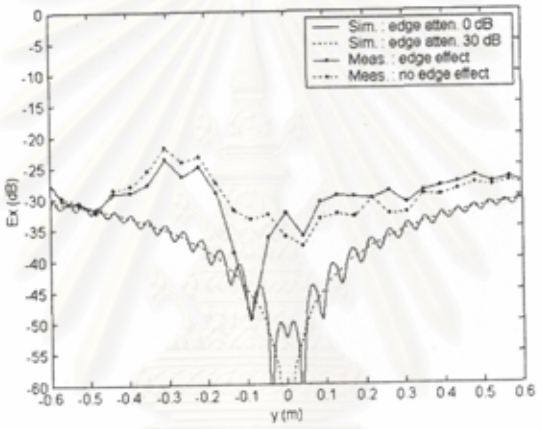


ค) การแจกแจงวัฏภาค

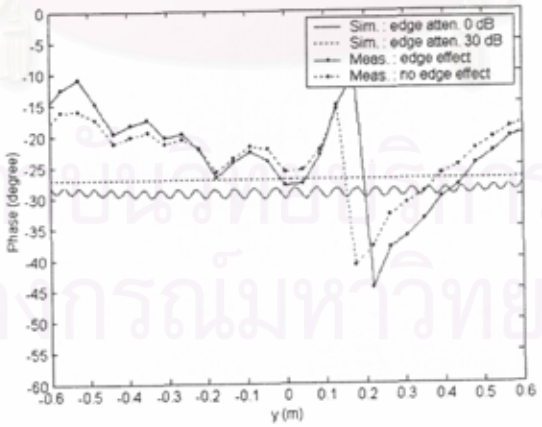
รูปที่ ๓๒ การแจกแจงขนาดยอดและวัฏภาค ณ ระนาบ 2 ความสูง 160 cm.



ก) การแจกแจงขนาดยอดของโพลาไรเซชันร่วม

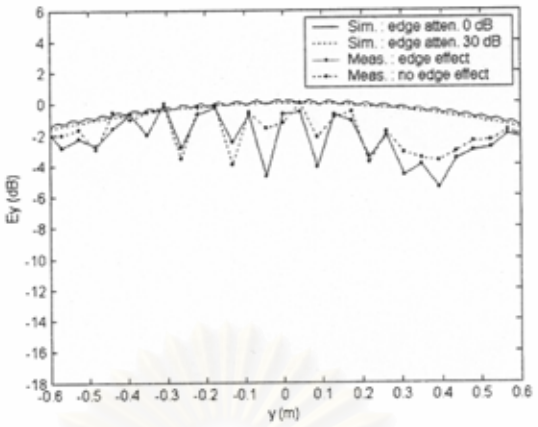


ข) การแจกแจงขนาดยอดของโพลาไรเซชันไขว้

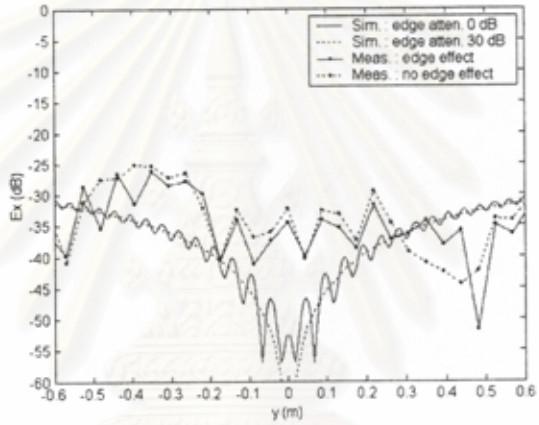


ค) การแจกแจงวัฏภาค

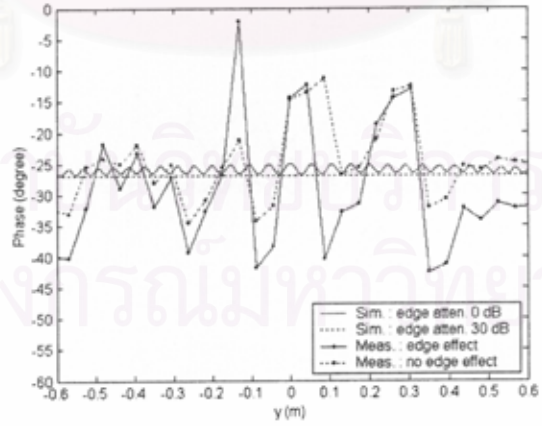
รูปที่ ๓๓ การแจกแจงขนาดยอดและวัฏภาค ณ ระนาบ 2 ความสูง 190 cm.



ก) การแจกแจงขนาดยอดของโพลาไรเซชันร่วม

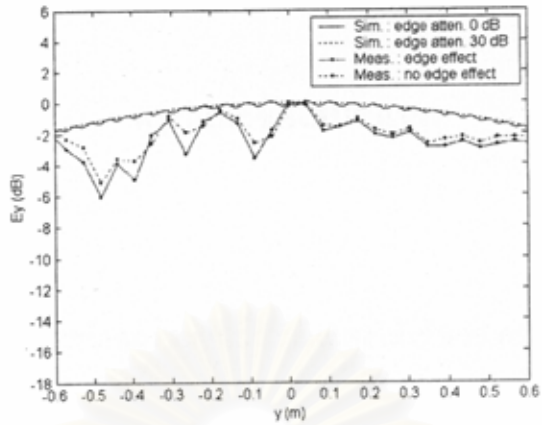


ข) การแจกแจงขนาดยอดของโพลาไรเซชันไขว้

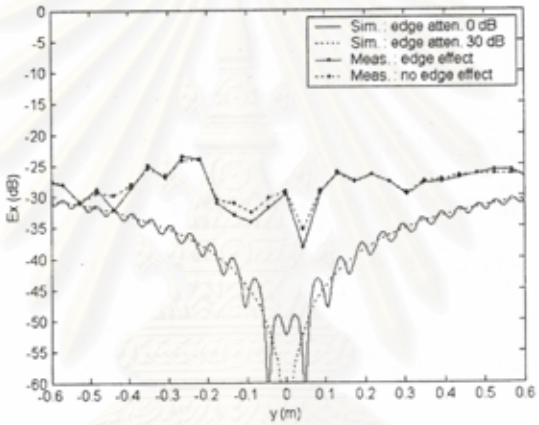


ค) การแจกแจงวัฏภาค

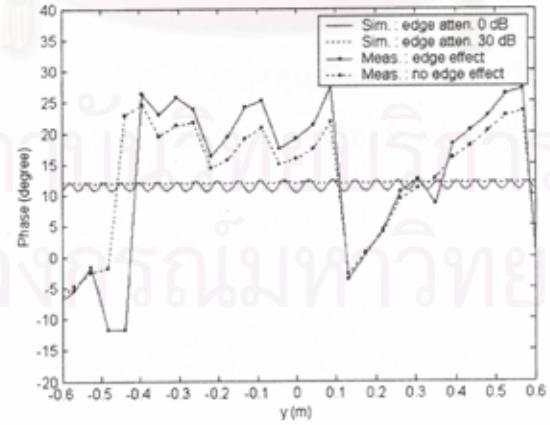
รูปที่ ๓๔ การแจกแจงขนาดยอดและวัฏภาค ณ ระนาบ 2 ความสูง 220 cm.



ก) การแจกแจงขนาดยอดของโพลาไรเซชันร่วม



ข) การแจกแจงขนาดยอดของโพลาไรเซชันไขว้



ค) การแจกแจงวัฏภาค

รูปที่ ๓๕ การแจกแจงขนาดยอดและวัฏภาค ณ ระนาบ 3 ความสูง 190 cm.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ ๔

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ผลการศึกษาโดยการจำลองสถานการณ์แสดงให้เห็นว่า ความเป็นหน้าคลื่นระนาบในบริเวณทดสอบจะเลวลงเมื่อมีความคลาดเคลื่อนของผิวสะท้อนเพิ่มขึ้น ผลกระทบจากการผิดรูปสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนในภาพการแจกแจงวัฏภาคของสนาม การแปรค่าของวัฏภาคจะมีขนาดที่แปรผันโดยตรงกับขนาดการผิดรูป ณ ตำแหน่งที่เกิดการผิดรูป การศึกษาเชิงทดลองก็เห็นผลในลักษณะเดียวกัน

นอกจากนี้ยังพบอีกว่าการใช้วัสดุดูดกลืนคลื่นปิดขอบของตัวสะท้อนสามารถช่วยลดผลกระทบของการเลี้ยวเบนที่ขอบได้ ทั้งนี้สังเกตได้จากขนาดระลอกบนภาพการแจกแจงขนาดยอดและภาพการแจกแจงวัฏภาคที่ลดลง การลดลงจะเด่นชัดในภาพการแจกแจงวัฏภาค ขนาดการแปรค่าของวัฏภาคลดลงได้ประมาณ ๓° - ๑๐°

โครงการนี้มิอาจนำเสนอผลการวัดหรือผลการทดลองครอบคลุมถึงความถี่ ๔๐ GHz ได้ เนื่องจากข้อจำกัดด้านงบประมาณ งบประมาณที่ได้รับเกือบทั้งหมดเป็นค่าครุภัณฑ์หลัก มีเงินอีกเพียงเล็กน้อยที่ใช้จ่ายค่าตอบแทนผู้ช่วยนักวิจัย ค่าวัสดุและค่าใช้สอยต่าง ๆ ผลการคำนวณจำลองสถานการณ์ที่ได้นำเสนอไว้อย่างครอบคลุมเป็นสิ่งที่สามารถชี้แนวโน้มของปรากฏการณ์ได้อย่างดี ทั้งนี้เพราะผลการคำนวณที่ได้มีความสอดคล้องกับผลการวัดหรือผลการทดลองในระดับน่าพอใจ

ปัญหาและอุปสรรค

ก. โครงการนี้มีความล่าช้าอย่างมากอันเป็นผลสืบเนื่องจากความล่าช้าของโครงการในปีแรก ปัญหาลูกโซ่นี้ทำให้ต้องใช้เวลาในการแก้ไขพอสมควร

ข. ตัวสะท้อนที่สร้างขึ้นมีคุณภาพผิวไม่ดีเพียงพอ ทำให้ต้องแปลความหมายผลการศึกษาเชิงทดลองให้เหมาะสม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อเสนอแนะ

ควรสร้างตัวสะท้อนใหม่ให้มีคุณภาพผิวที่ดีขึ้น หรือหาวิธีชดเชยการผิดรูปของตัวสะท้อนที่ใช้อยู่เพื่อให้สนามในบริเวณทดสอบมีความเป็นคลื่นระนาบที่ดีขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Yahya Rahmat-Samii, "An Efficient Computational Method for Characterizing the effects of Random Surface Errors on the Average Power Pattern of Reflectors", IEEE Trans. Ant. Prop., Vol. , AP-31, No.1, January 1983, pp. 92-98

[2] H. Ling, Y. T. Lo, and Y. Rahmat-Samii, "Reflector Sidelobe Degradation Due to Random Surface Errors", IEEE Trans. Ant. Prop., Vol., AP-34, No. 2, February 1986, pp. 164-172

[3] C.G.Parini, M.Philippakis," Use of quiet zone prediction in the design of compact antenna test ranges", IEE Proc.-Microw Antennas Propag., Vol. 143, No.3,June 1996, pp.193

[4] Burnside W.D, Gilreath M.C., Kent B.M. and Clerici G.L., "Curved Edge Modification of Compact Range Reflector," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. AP-35, No. 2, February, 1987, pp. 176-182.

[5] Pistorius C.W.L. and Burnside W.D., "An Improved Main Reflector Design for Compact Range Applications," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. AP-35, No. 3, March, 1987, pp. 342-347.

[6] Lee T.H., and and Burnside W.D., "Performance Trade-off Between Serrated Edge and Blended Rolled Edge Compact Range Reflectors," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. AP-44, No. 8, August, 1996, pp.87-96.

[7] Hess D.W. and Willwerth F.G., "Compact Range Improvements and Performance at 30 GHz," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. AP-S Session 9, June, 1977, pp. 264-267.

[8] Burnside W.D, Gilreath M.C., Kent B.M. and Clerici G.L., "Curved Edge Modification of Compact Range Reflector," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. AP-35, No. 2, February, 1987, pp. 176-182.

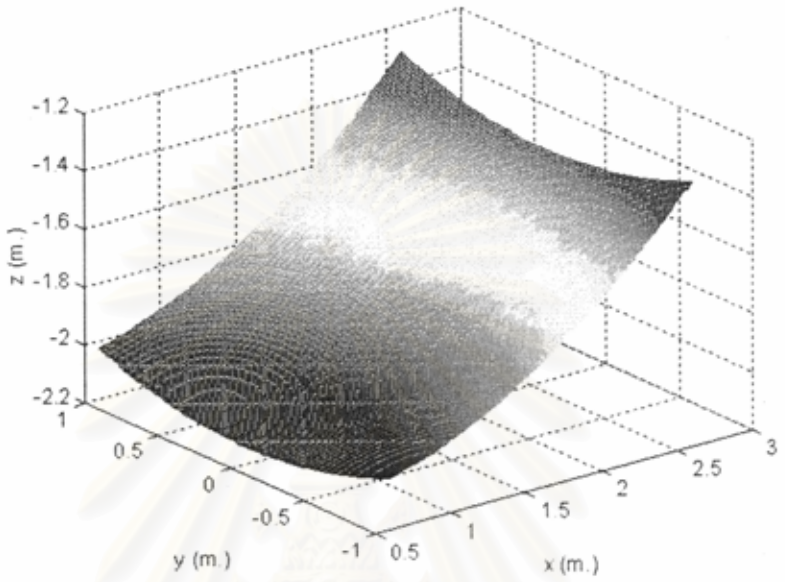
[9] Pistorius C.W.L. and Burnside W.D., "An Improved Main Reflector Design for Compact Range Applications," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. AP-35, No. 3, March, 1987, pp. 342-347.

[10] Gupta I.J., Ericksen K.P. and Burnside W.D., "A Method to Design Blended Rolled Edges for Compact Range Reflectors," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 38, No. 6, June, 1990, pp. 853-861.

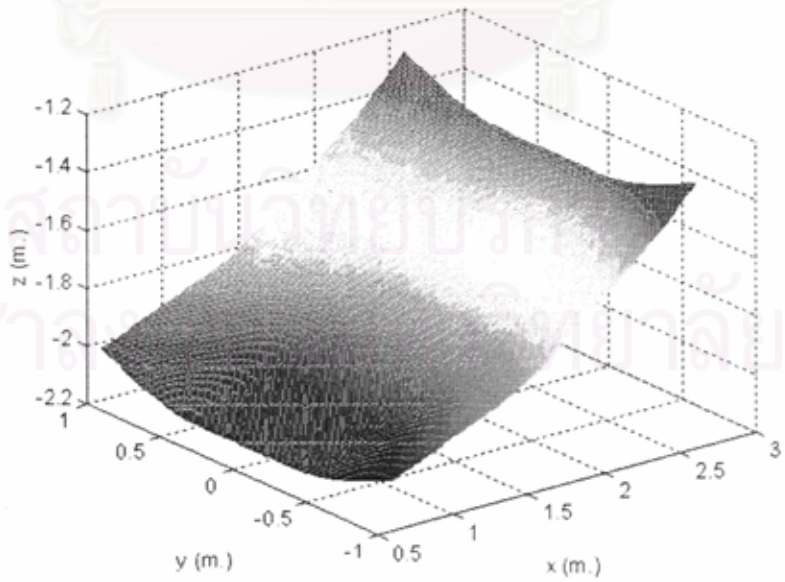
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

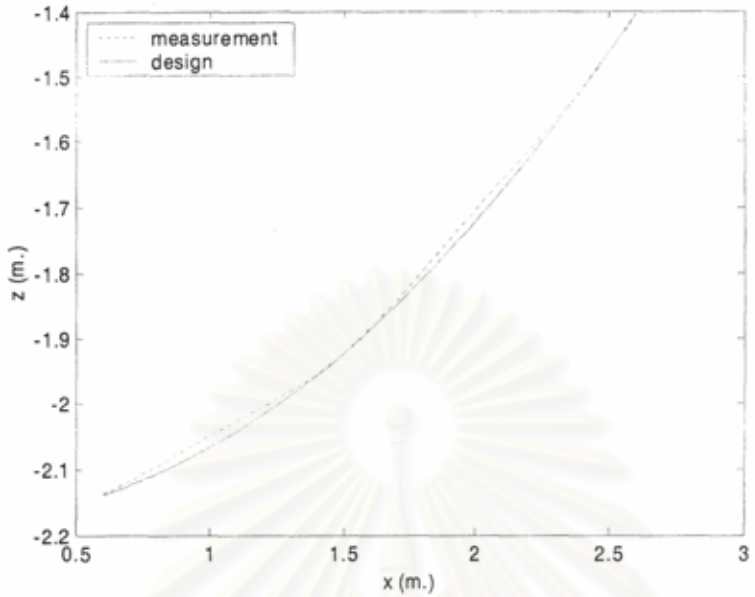
ผลการตรวจวัดผิวตัวสะท้อน



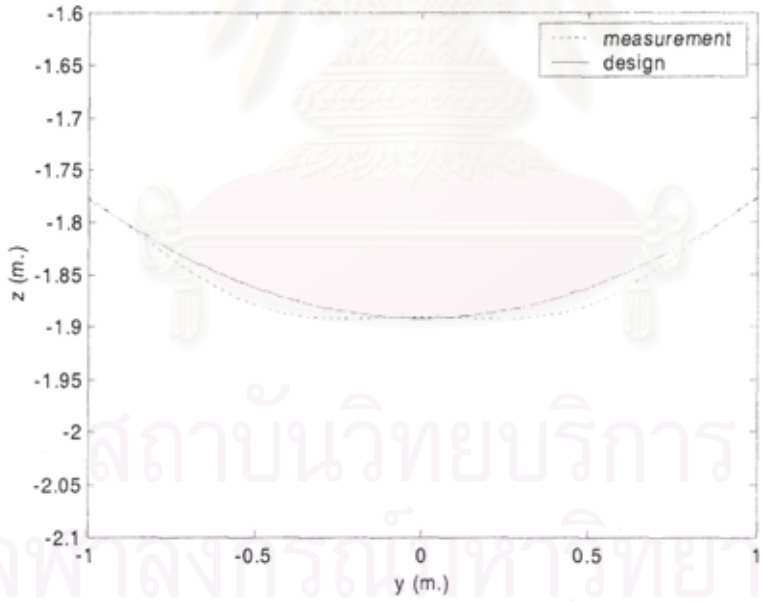
รูปที่ ก.1 ภาพด้านข้างของตัวสังเคราะห์คลื่นระนาบจากการออกแบบ



รูปที่ ก.2 ภาพด้านข้างของตัวสังเคราะห์คลื่นระนาบจากการสร้าง



รูปที่ ก.3 ภาพตัดตามแนวตั้งของตัวสังเคราะห์คลื่นระนาบ



รูปที่ ก.4 ภาพตัดตามแนวนอนของตัวสังเคราะห์คลื่นระนาบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย