

ขีดจำกัดเชิงสมรรถนะและการประยุกต์ที่เป็นไปได้ของสายอากาศงานสะท้อนชนิดผิวสะท้อน
ปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อย



นายกุลธวัช ภูมิวงศ์พิทักษ์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

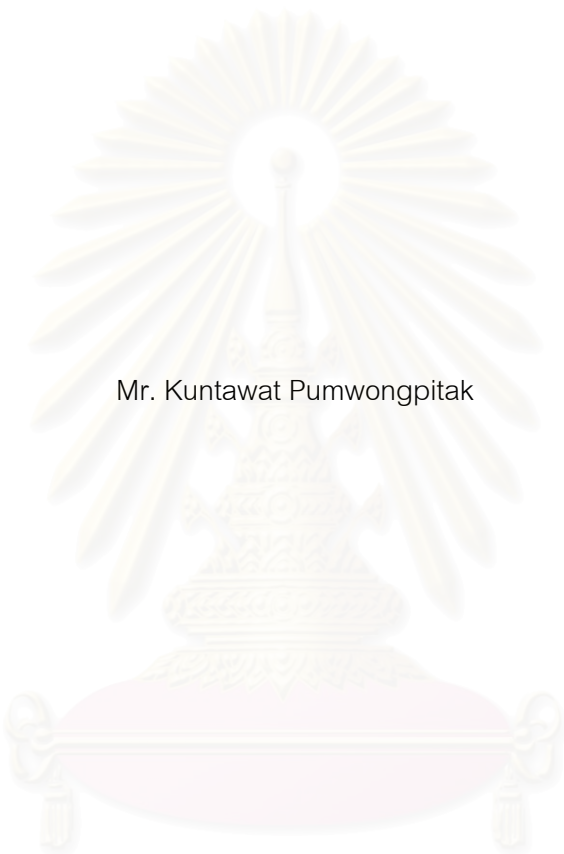
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-4873-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PERFORMANCE LIMITATIONS AND POSSIBLE APPLICATIONS OF THE MULTI-TILE
RECONFIGURABLE REFLECTOR ANTENNA



Mr. Kuntawat Pumwongpitak

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

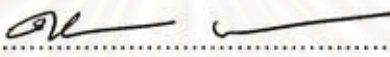
Chulalongkorn University

Academic Year 2005

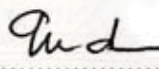
ISBN 974-17-4873-6


หัวข้อวิทยานิพนธ์ ชีตจำกัดเชิงสมรณะและการประยุกต์ที่เป็นไปได้ของสายอากาศจาน
สะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อย
โดย นายกุลธวัช ภูมิงค์พิทักษ์
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย ไวยยาพัฒน์กร

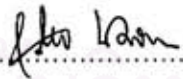
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


..... คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทัตติม อ่างแก้ว)

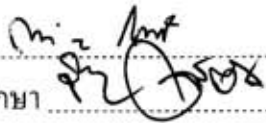


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย ไวยยาพัฒน์กร)


..... กรรมการ
(อาจารย์ สุวิทย์ นาคพิระยุทธ)


..... กรรมการ
(อาจารย์ จักรพันธ์ แซ่ลี)

กุลธวัช ภูมิวงศ์พิทักษ์ : ชีตจำกัดเชิงสมรรถนะและการประยุกต์ที่เป็นไปได้ของสายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อย (PERFORMANCE LIMITATIONS AND POSSIBLE APPLICATIONS OF THE MULTI-TILE RECONFIGURABLE REFLECTOR ANTENNA) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ฉัตรชัย ไวยภาพฒนกร, 107 หน้า, ISBN 974-17-4873-6.

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่สามมีความต้องการสายอากาศที่สามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบของลำคลื่นโดยการเลื่อนไปของลำคลื่นตามผู้ใช้งาน การเพิ่มหรือลดพื้นที่ครอบคลุมโดยการปรับความกว้างลำคลื่นกำลังเพื่อรองรับปริมาณผู้ใช้งานที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงของเขตบริการย่อยข้างเคียง ระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมและข่ายเชื่อมโยงด้วยไมโครเวฟก็มีความต้องการสายอากาศที่มีความสามารถดังกล่าวเช่นกัน สายอากาศชนิดหนึ่งที่มีขีดความสามารถดังกล่าวก็คือ สายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อย งานวิจัยนี้ศึกษาขีดจำกัดเชิงสมรรถนะของสายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อย เพื่อใช้ในการออกแบบสำหรับการประยุกต์ใช้งานต่างๆ เช่นสายอากาศสถานีฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมและข่ายเชื่อมโยงไมโครเวฟภาคพื้นดิน งานวิจัยนี้ดำเนินไปโดยใช้การจำลองสถานการณ์และการทดลอง ผลการวิจัยที่ความถี่ปฏิบัติการ 2GHz พบว่าค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อยที่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานคือ ใช้สายอากาศที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เมตร (ขนาดของแผ่นย่อยแต่ละแผ่นเท่ากับ 0.125 เมตร) ใช้จำนวนแผ่นย่อย 19 แผ่น การจัดเรียงพื้นผิวดั้งเดิมเป็นรูปพาราโบลอยด์ที่มีค่า F/D เท่ากับ 0.35 จะให้สมรรถนะของสายอากาศดีกว่ากรณีที่จัดเรียงพื้นผิวดั้งเดิมแบบแบนราบโดยพิจารณาจากพื้นที่ครอบคลุมที่มีบริเวณกว้างกว่าและความสามารถของสายอากาศในการปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงาน ด้านการประยุกต์ใช้งานเป็นสายอากาศสถานีฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่พบว่าสายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อยสามารถปรับเปลี่ยนพื้นที่ครอบคลุมในบริเวณที่ศึกษาได้โดยสามารถลดจุดบอดที่เกิดขึ้นหรือปรับรูปร่างของพื้นที่ครอบคลุมเพื่อรองรับการใช้งานในกรณีต่างๆ ที่จำลองสถานการณ์ขึ้นมาได้ ส่วนการประยุกต์ใช้งานในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมและข่ายเชื่อมโยงภาคพื้นดินซึ่งมีความต้องการปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานโดยการเลื่อนไปของลำคลื่นเพียงเล็กน้อยเพื่อชดเชยผลกระทบของชั้นบรรยากาศ ผลจากการวิจัยพบว่าสายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อยสามารถเลื่อนลำคลื่นไปยังทิศทางที่ต้องการได้

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต 
 สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 
 ปีการศึกษา 2548

4570221421 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: RECONFIGURABLE REFLECTOR ANTENNA/ MULTI-TILE RECONFIGURABLE REFLECTOR ANTENNA/ PATTERN SYNTHESIS/ BASE STATION ANTENNA

KUNTAWAT PUMWONGPITAK: PERFORMANCE LIMITATIONS AND POSSIBLE APPLICATIONS OF THE MULTI-TILE RECONFIGURABLE REFLECTOR ANTENNA.

THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. CHATCHAI WAIYAPATTANAKORN, Ph.D., 107 pp. ISBN 974-17-4873-6.

In the third generation mobile phone, there is a need for high performance antenna for supporting greater demand from greater number of users that will also require beam shifting capability of the antenna. Satellite communication and microwave terrestrial link also require antennas of similar capability. One type of antennas capable of such operation is the multi-tile reconfigurable reflector antenna. This thesis studies limitations of the multi-tile reconfigurable reflector antenna for applications such as mobile base station antenna, satellite communication and microwave terrestrial link. Both simulation and experiments have been carried out in this study. Results at 2 GHz show that, the optimum parameters of the multi-tile reconfigurable reflector antenna are diameter of 1 meter (0.125 meter in size of each panel) and the number of panels are 19. The antenna with initial parabolic surface, and F/D value 0.35, has higher performance than that with initial flat surface in terms of larger coverage area and coverage reconfigurability. In mobile base station application, the beam shape of the multi-tile reconfigurable reflector antenna can be adjusted to change coverage area which can also eliminate blind spot. For satellite communication and microwave link applications there is need to change beam direction by a few degrees for compensating effects of atmospheric changes. This is achievable as is evidenced from both simulation and experimental results.

Department.....Electrical Engineering..... Student's signature

Field of study.....Electrical Engineering..... Advisor's signature

Academic year2005.....

K. T. Pum
C. Waiya

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย ไวยापัทฒนกร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนทุนบางส่วนในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ ดร.ศุภเชษฐ์ เพิ่มพูนวัฒนาสุข ดร.ธีรศักดิ์ อนันตกุล ที่กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์แก่งานวิจัยนี้และขอขอบคุณ คุณณัฐพงศ์ คุวัฒนา คุณอัคราภรณ์ เนตรนิล คุณคทา สุวรรณวัฒน์ คุณรชฎ ถาวรศิริ และคุณประเสริฐ จันวดี ที่ให้คำปรึกษาและสละเวลาให้ความช่วยเหลือในการทดลองงานวิจัยสำเร็จด้วยดี และขอขอบคุณ เพื่อน ๆ ทุกคนทั้งที่อยู่ในศูนย์เชี่ยวชาญเทคโนโลยีระบบโทรคมนาคมและที่อื่น ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจ

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดาและญาติ ๆ ทุกคนที่ช่วยสนับสนุนด้านการเรียนและเป็นกำลังใจเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	5
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	6
1.4 คำนิยามที่ใช้ในการวิจัย.....	6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2 ขีดจำกัดเชิงสมรรถนะของสายอากาศจานสะท้อน	
ชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อย.....	8
ความนำ.....	8
2.1 ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์สายอากาศจานสะท้อนเดี่ยว	
แบบปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อย.....	9
2.2 อัตราขยายและประสิทธิภาพต่างๆ.....	14
2.3 ขีดจำกัดเชิงสมรรถนะของสายอากาศ.....	16
2.3.1 ขนาดของสายอากาศโดยการเปลี่ยนขนาดของแผ่นย่อย.....	17
2.3.2 ผลของรูปร่างเริ่มต้นของผิวสะท้อน.....	24
2.3.3 ผลของจำนวนแผ่นย่อย.....	28
2.4 ผลของอัตราขยาย.....	32
2.5 ผลของช่องว่างระหว่างแผ่นย่อย.....	37
2.6 การลดความซับซ้อนทางกล.....	39
สรุป.....	42
บทที่ 3 การประยุกต์ใช้งาน.....	43
ความนำ.....	43

3.1 การประยุกต์ใช้งานเป็นสายอากาศสถานีฐานของโทรศัพท์เคลื่อนที่.....	43
3.2 การประยุกต์ใช้งานเป็นสายอากาศสถานีฐานในระบบจำลองการ แพร่กระจายคลื่นวิทยุสำหรับการสื่อสารเคลื่อนที่ในเขตเมือง.....	57
3.3 การประยุกต์ใช้งานในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมและ ข่ายเชื่อมโยงภาคพื้นดิน.....	64
สรุป.....	67
บทที่ 4 การทดสอบสายอากาศ.....	69
ความนำ.....	69
4.1 การทดสอบในย่านทดสอบสนามใกล้เชิงระนาบ.....	69
4.2 เปรียบเทียบผลการวัดกับผลการวิเคราะห์.....	74
4.3 การทดสอบในกรณีที่เป็นสายอากาศสถานีฐาน.....	76
สรุป.....	86
บทที่ 5 สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	87
สรุปงานวิจัย.....	87
ข้อเสนอแนะ.....	91
รายการอ้างอิง.....	92
ภาคผนวก.....	95
ภาคผนวก ก.....	96
ภาคผนวก ข.....	99
ภาคผนวก ค.....	102
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	107

สารบัญตาราง

ณ

ตารางที่	หน้า
2.1	อัตราขยายแนวโพลาริเซชันร่วมที่ใช้ศึกษาผลของค่าพารามิเตอร์หลัก..... 17
2.2	ค่าเริ่มต้นขนาดของสายอากาศ..... 17
2.3	อัตราขยายและประสิทธิภาพต่างๆ เมื่อแปรเปลี่ยนขนาดของสายอากาศ..... 22
2.4	อัตราขยายและประสิทธิภาพต่างๆ เมื่อแปรเปลี่ยนรูปร่างเริ่มต้นของพื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้..... 28
2.5	อัตราขยายและประสิทธิภาพต่างๆ เมื่อแปรเปลี่ยนขนาดและจำนวนของแผ่นย้อย..... 32
2.6	อัตราขยายแนวโพลาริเซชันร่วมที่ใช้ศึกษาผลของอัตราขยาย..... 33
2.7	อัตราขยายและประสิทธิภาพต่างๆ เมื่อแปรเปลี่ยนค่าอัตราขยายกรณีเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์..... 35
2.8	อัตราขยายและประสิทธิภาพต่างๆ เมื่อแปรเปลี่ยนค่าอัตราขยายกรณีจัดเรียงแบบแบนราบ..... 37
2.9	อัตราขยายและประสิทธิภาพต่างๆ เมื่อแปรเปลี่ยนช่องว่างระหว่างแผ่นย้อยแต่ละแผ่น..... 39
2.10	ค่าปัจจัยที่ใช้ศึกษาการลดความซับซ้อนทางกล..... 40
3.1	ค่าปัจจัยของสายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจาก แผ่นย้อยที่ใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนพื้นที่ครอบคลุม..... 46
3.2	อัตราขยายและประสิทธิภาพต่างๆ จากกรณีใช้งานเป็นสายอากาศสถานีฐาน..... 48
3.3	เปอร์เซ็นต์พื้นที่ครอบคลุมของอัตราขยายในกรณีการศึกษา..... 56
3.4	พารามิเตอร์และฐานข้อมูลการศึกษา..... 59
3.5	กรณีต่างๆที่ใช้คำนวณในการศึกษาการเปลี่ยนพื้นที่ครอบคลุม..... 59
3.6	อัตราขยายและประสิทธิภาพต่างๆ เมื่อแปรเปลี่ยนรูปร่างเริ่มต้น ของพื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้..... 67
4.1	กรณีศึกษาในการทดสอบสายอากาศ..... 74
4.2	กรณีที่ทดสอบสายอากาศเมื่อใช้เป็นสายอากาศสถานีฐาน..... 80

สารบัญญรูป

ญ

รูปที่	หน้า
1.1	การเติบโตของผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่..... 1
2.1	โครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศชนิดจานสะท้อนแบบปรับรูปลักษณะได้โดยใช้แผ่นย้อย... 8
2.2	พื้นผิวสายอากาศจานสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้9 (ก) กรณีเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ (ข) กรณีเข้ารูปแบบแบนราบ
2.3	ขั้นตอนการวิเคราะห์สายอากาศชนิดจานสะท้อนแบบปรับรูปลักษณะได้โดยใช้แผ่นย้อย..... 9
2.4	ทฤษฎีของความสมมูลทางทัศนศาสตร์กายภาพ..... 10
2.5	ส่วนประกอบของการปรับแผ่นย้อยด้วยมอเตอร์แบบขั้น..... 12
2.6	ต้นแบบของชุดควบคุมทางกลสำหรับปรับแผ่นย้อย..... 13 (ก) ต้นแบบของชุดควบคุมแผ่นย้อย (ข) ระบบควบคุมการหมุนรอบแกนทิศ (ค) ระบบควบคุมการหมุนรอบแกนยก
2.7	การประยุกต์ระเบียบวิธีทำให้เหมาะที่สุดในการสังเคราะห์แบบรูปการแผ่พลังงาน..... 14
2.8	แบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชันร่วมกรณีเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ ที่ขนาดต่างกัน 18 (ก) ไม่ปรับพื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้ (ข) เลื่อนลำคลื่นไป 0 องศา (ค) เลื่อนลำคลื่นไป 10 องศา
2.9	แบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชันไขว้กรณีเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ ที่ขนาดต่างกัน 19 (ก) ไม่ปรับพื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้ (ข) เลื่อนลำคลื่นไป 0 องศา (ค) เลื่อนลำคลื่นไป 10 องศา
2.10	แบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชันร่วมกรณีเข้ารูปเป็นรูปแบบแบนราบ ที่ขนาดต่างกัน 20 (ก) ไม่ปรับพื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้ (ข) เลื่อนลำคลื่นไป 0 องศา (ค) เลื่อนลำคลื่นไป 10 องศา

รูปที่	หน้า
2.11 แบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชันไขว้กรณีเข้ารูปเป็น รูปแบบแบนราบที่ขนาดต่างกัน	21
(ก) ไม่ปรับพื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้	
(ข) เลื่อนลำคลื่นไป 0 องศา	
(ค) เลื่อนลำคลื่นไป 10 องศา	
2.12 รูปร่างของสายอากาศทั้ง 4 กรณีเมื่อเลื่อนลำคลื่นไปที่มุม 0 องศา สำหรับรูปร่างเริ่มต้นของพื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้รูปแบบต่างๆ.....	25
(ก) จัดเรียงแบบแบนราบ	
(ข) เข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ที่มีค่า $F/D = 0.25$	
(ค) เข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ที่มีค่า $F/D = 0.35$	
(ง) เข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ที่มีค่า $F/D = 0.60$	
2.13 แบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชันร่วมเมื่อเลื่อนลำคลื่นไปที่มุม 0 องศา สำหรับรูปร่างเริ่มต้นของพื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้รูปแบบต่างๆ.....	26
(ก) องค์ประกอบแนวโพลาไรเซชันร่วม (ข) องค์ประกอบแนวโพลาไรเซชันไขว้	
2.14 รูปร่างของสายอากาศทั้ง 4 กรณีเมื่อเลื่อนลำคลื่นไปที่มุม 10 องศา สำหรับรูปร่างเริ่มต้นของพื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้รูปแบบต่างๆ.....	26
(ก) จัดเรียงแบบแบนราบ	
(ข) เข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ที่มีค่า $F/D = 0.25$	
(ค) เข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ที่มีค่า $F/D = 0.35$	
(ง) เข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ที่มีค่า $F/D = 0.60$	
2.15 แบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชันร่วมเมื่อเลื่อนลำคลื่นไปที่มุม 0 องศา สำหรับรูปร่างเริ่มต้นของพื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้รูปแบบต่างๆ.....	27
(ก) องค์ประกอบแนวโพลาไรเซชันร่วม (ข) องค์ประกอบแนวโพลาไรเซชันไขว้	
2.16 รูปแบบของสายอากาศชนิดจานสะท้อนแบบปรับรูปลักษณะได้ โดยใช้แผ่นย้อยที่วิเคราะห์.....	29
(ก) ขนาดของด้านเท่ากับ 0.125 เมตร จำนวน 19 แผ่น	
(ข) ขนาดของด้านเท่ากับ 0.1 เมตร จำนวน 37 แผ่น	
(ค) ขนาดของด้านเท่ากับ 0.07143 เมตร จำนวน 61 แผ่น	

รูปที่	หน้า
2.17 แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อเล็อนล้าคล้่นไปที่มุม 0 องศา สำหรับขนาดและจำนวนของแผ่นย้อยค่าต่างๆ (กรณีเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์)	30
(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม (ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้	
2.18 แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อเล็อนล้าคล้่นไปที่มุม 0 องศา สำหรับขนาดและจำนวนของแผ่นย้อยค่าต่างๆ (กรณีจัดเรียงแบบแบนราบ)	30
(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม (ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้	
2.19 รูปแบบของสายอากาศชนิดจานสะท้อนแบบปรับรูปลักษณะได้โดยใช้แผ่นย้อย เมื่อเล็อนล้าคล้่นไปที่ 0 องศา.....	31
(ก) ขนาดของด้านเท่ากับ 0.125 เมตร จำนวน 19 แผ่น	
(ข) ขนาดของด้านเท่ากับ 0.1 เมตร จำนวน 37 แผ่น	
(ค) ขนาดของด้านเท่ากับ 0.07143 เมตร จำนวน 61 แผ่น	
2.20 แบบรูปการแผ่พลังงานกรณีเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ที่อัตราขยายต่างกัน เล็อนล้าคล้่นไปที่ 0 องศา (1-6)	33
(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม (ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้	
2.21 แบบรูปการแผ่พลังงานกรณีเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ที่อัตราขยายต่างกัน เล็อนล้าคล้่นไปที่ 0 องศา (7-12)	34
(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม (ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้	
2.22 แบบรูปการแผ่พลังงานกรณีเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ที่อัตราขยายต่างกัน เล็อนล้าคล้่นไปที่ 0 องศา (13-18)	34
(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม (ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้	
2.23 แบบรูปการแผ่พลังงานกรณีเข้ารูปเป็นรูปแบบแบนราบที่อัตราขยายต่างกัน เล็อนล้าคล้่นไปที่ 0 องศา (1-6)	35
(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม (ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้	
2.24 แบบรูปการแผ่พลังงานกรณีเข้ารูปเป็นรูปแบบแบนราบที่อัตราขยายต่างกัน เล็อนล้าคล้่นไปที่ 0 องศา (7-12)	36
(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม (ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้	
2.25 แบบรูปการแผ่พลังงานกรณีเข้ารูปเป็นรูปแบบแบนราบที่อัตราขยายต่างกัน เล็อนล้าคล้่นไปที่ 0 องศา (13-18)	36
(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม (ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้	

รูปที่	หน้า
2.26	แบบรูปการแผ่พลังงานในเมื่อเดือนลำคเลื่อนไปที่มุม 0 องศา สำหรับช่องว่างระหว่างแผ่นย่อยแต่ละแผ่นค่าต่างๆ กรณีจัดเรียงในลักษณะแบนราบ..... 38
	(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม (ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้
2.27	แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อเดือนลำคเลื่อนไปที่มุม 0 องศา สำหรับช่องว่างระหว่างแผ่นย่อยแต่ละแผ่นค่าต่างๆ แบบที่เกิดจากการเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์..... 38
	(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม (ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้
2.28	แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อเดือนลำคเลื่อนไปที่มุม 0 องศาในกรณีที่ 1.....40
	(ก) กรณีเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ (ข)กรณีจัดเรียงในลักษณะแบนราบ
2.29	แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อเดือนลำคเลื่อนไปที่มุม 10 องศาในกรณีที่ 2.....41
	(ก) กรณีเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ (ข)กรณีจัดเรียงในลักษณะแบนราบ
2.30	แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อเดือนลำคเลื่อนไปที่มุม 0 องศาในกรณีที่ 3.....41
	(ก) กรณีเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ (ข)กรณีจัดเรียงในลักษณะแบนราบ
2.31	แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อเดือนลำคเลื่อนไปที่มุม 0 องศาในกรณีที่ 4.....41
	(ก) กรณีเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ (ข)กรณีจัดเรียงในลักษณะแบนราบ
3.1	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่เป็นสายอากาศสถานีฐาน..... 44
3.2	รูป 3.2 แบบรูปการแผ่พลังงานสายอากาศแก่ง..... 44
3.3	แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อปรับเปลี่ยนลำคเลื่อนจากกลุ่มที่ 1..... 46
	(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม (ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้
3.4	แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อปรับเปลี่ยนลำคเลื่อนจากกลุ่มที่ 2.....47
	(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม (ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้
3.5	แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อปรับเปลี่ยนลำคเลื่อนจากกลุ่มที่ 3..... 47
	(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม (ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้
3.6	แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อปรับเปลี่ยนลำคเลื่อนจากกลุ่มที่ 4..... 47
	(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม (ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้
3.7	แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อปรับเปลี่ยนลำคเลื่อนจากกลุ่มที่ 5.....48
	(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม (ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้
3.8	พิกัดสายอากาศที่ใช้ศึกษา..... 50
3.9	พื้นที่ครอบคลุมของสายอากาศกรณีี่เข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์กรณีี่ 1.....51
	(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม (ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้

รูปที่	หน้า	
3.24	บริเวณศึกษาภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....	58
3.25	แผนภาพพื้นที่ครอบคลุมจากการคำนวณกรณีที่ 1.....	60
3.26	แผนภาพพื้นที่ครอบคลุมจากการคำนวณกรณีที่ 2.....	60
3.27	แผนภาพพื้นที่ครอบคลุมจากการคำนวณกรณีที่ 3.....	60
3.28	แผนภาพพื้นที่ครอบคลุมจากการคำนวณกรณีที่ 4.....	61
3.29	แผนภาพพื้นที่ครอบคลุมจากการคำนวณกรณีที่ 5.....	61
3.30	แผนภาพพื้นที่ครอบคลุมจากการคำนวณกรณีที่ 6.....	61
3.31	แผนภาพพื้นที่ครอบคลุมจากการคำนวณกรณีที่ 7.....	62
3.32	แผนภาพพื้นที่ครอบคลุมจากการคำนวณกรณีที่ 8.....	62
3.33	แผนภาพพื้นที่ครอบคลุมจากการคำนวณกรณีที่ 9.....	62
3.34	แผนภาพพื้นที่ครอบคลุมจากการคำนวณกรณีที่ 10.....	63
3.35	แผนภาพพื้นที่ครอบคลุมจากการคำนวณกรณีที่ 11.....	63
3.36	ระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมและสายเชื่อมโยงภาคพื้นดิน.....	65
3.37	แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อเดือนลำคลื่นไปที่มุม 0 องศา.....	65
3.38	แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อเดือนลำคลื่นไปที่มุม 3 องศา.....	65
3.39	แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อเดือนลำคลื่นไปที่มุม -3 องศา.....	66
3.40	แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อเดือนลำคลื่นไปที่มุม 5 องศา.....	66
3.41	แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อเดือนลำคลื่นไปที่มุม -5 องศา.....	66
4.1	ต้นแบบของสายอากาศจันสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ ที่ประกอบจากแผ่นย่อยที่นำมาทดสอบ.....	70
	(ก) กรณีจัดเรียงแบบแบนราบ (ข) กรณีจัดเรียงเป็นรูปพาราโบลาอยด์	
4.2	สายอากาศที่นำคลื่นสี่เหลี่ยมปลายเปิดเป็นสายอากาศป้อนกำลังคลื่น.....	70
4.3	แบบรูปขนาดในแนวโพลาริเซชันร่วมของสายอากาศที่นำคลื่นสี่เหลี่ยมปลายเปิด.....	71
	(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า (ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก	
4.4	แบบรูปวิถีภาคในแนวโพลาริเซชันร่วมของสายอากาศที่นำคลื่นสี่เหลี่ยมปลายเปิด.....	71
	(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า (ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก	
4.5	สภาพภายในห้องทดสอบและระนาบกวาดวัดของการทดสอบสายอากาศ ย่านสนามใกล้เชิงระนาบ.....	72
4.6	ระบบพิกัดของสายอากาศทดสอบและระยะต่างๆ ในการติดตั้ง.....	73

รูปที่	หน้า
4.19 เปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลการทดลองในกรณีที่ 2.....	82
(ก) ผลการคำนวณ	(ข) ผลการทดลอง
4.20 เปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลการทดลองในกรณีที่ 3.....	82
(ก) ผลการคำนวณ	(ข) ผลการทดลอง
4.21 เปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลการทดลองในกรณีที่ 4.....	83
(ก) ผลการคำนวณ	(ข) ผลการทดลอง
4.22 เปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลการทดลองในกรณีที่ 5.....	84
(ก) ผลการคำนวณ	(ข) ผลการทดลอง
4.23 เปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลการทดลองในกรณีที่ 6.....	84
(ก) ผลการคำนวณ	(ข) ผลการทดลอง
5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายกับขนาดของสายอากาศ เมื่อปรับจำนวนชั้นของแผ่นย่อย.....	89
5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างลำครึ่งกำลังกับ ขนาดของสายอากาศเมื่อปรับจำนวนชั้นของแผ่นย่อย.....	89
5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายกับขนาดของสายอากาศ เมื่อเปลี่ยนรูปร่างเริ่มต้นของสายอากาศ.....	90
5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างลำครึ่งกำลังกับขนาดของสายอากาศ เมื่อเปลี่ยนรูปร่างเริ่มต้นของสายอากาศ.....	90
ก.1 ขั้นตอนการคำนวณสนามไฟฟ้าแบบกึ่งสามมิติ.....	96
ก.2 แนวรังสีในระนาบตั้งฉาก.....	97
(1) แนวรังสีเดี่ยวเบน	(2) แนวรังสีตรงและรังสีสะท้อน
ก.3 ระนาบเอียงและแนวตัดกับพื้นผิวสะท้อน.....	97
ก.4 เส้นทางเชื่อมระหว่างสายอากาศส่งมายังจุดขอบและจากจุดขอบไปยังสายอากาศรับ.....	98
ข.1 ระนาบกวาดวัด.....	99
ข.2 ความเสถียรในระบบการวัดด้านล่างซ้าย.....	100
(ก) การแกว่งทางขนาด	(ข) การแกว่งทางภูมิภาค
ข.3 ความเสถียรในระบบการวัดตรงกลางซ้าย.....	100
(ก) การแกว่งทางขนาด	(ข) การแกว่งทางภูมิภาค

รูปที่	หน้า
ข.4 ความเสถียรในระบบการวัดด้านบนซ้าย.....	100
(ก) การแกว่งทางขนาด	(ข) การแกว่งทางวิภาค
ข.5 ความเสถียรในระบบการวัดด้านล่างขวา.....	101
(ก) การแกว่งทางขนาด	(ข) การแกว่งทางวิภาค
ข.6 ความเสถียรในระบบการวัดตรงกลางขวา.....	101
(ก) การแกว่งทางขนาด	(ข) การแกว่งทางวิภาค
ข.7 ความเสถียรในระบบการวัดด้านบนขวา.....	101
(ก) การแกว่งทางขนาด	(ข) การแกว่งทางวิภาค
ค.1 บริเวณทดสอบ.....	102
ค.2 ต้นไม้ที่ใช้ในแบบจำลอง.....	103
ค.3 สถานีฐาน และสถานีเคลื่อนที่ที่ใช้ทดลองภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์.....	104
(ก) สถานีฐาน	(ข) สถานีเคลื่อนที่
ค.4 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศชั่วคราว.....	105
ค.5 ตำแหน่งรับของสถานีเคลื่อนที่.....	106

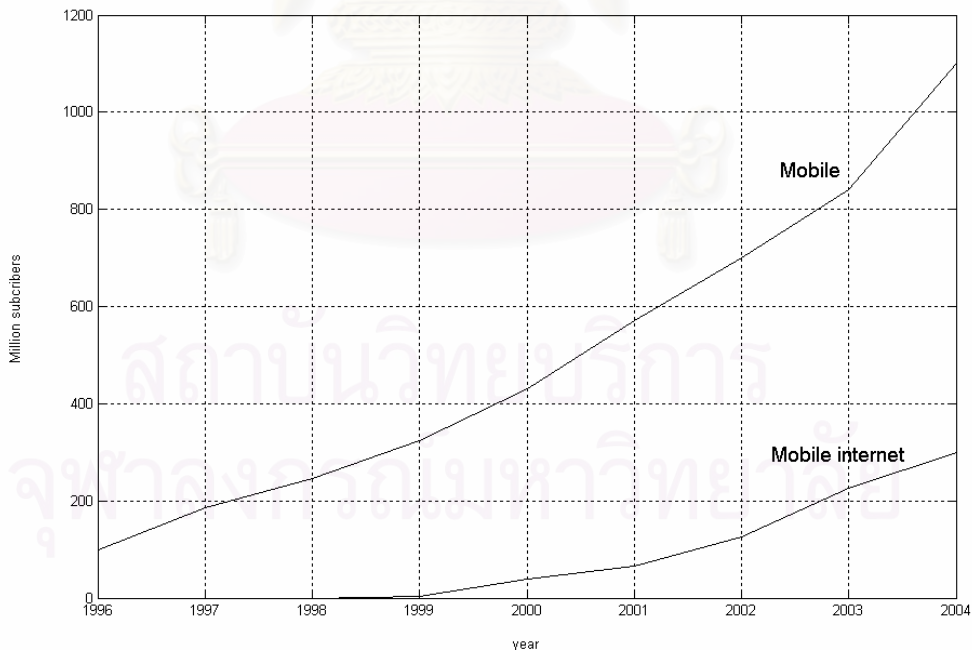
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การสร้างแบบรูปการแผ่พลังงานแบบจัดลำคลื่นที่ปรับเปลี่ยนได้ (reconfigurable shaped beams) และการสร้างตำแหน่งศูนย์ (nulls synthesis) ของสายอากาศสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ ได้อย่างหลากหลาย เช่น การใช้งานเป็นสายอากาศสถานีฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ การสื่อสารผ่านดาวเทียม เป็นต้น การใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ในปัจจุบันได้มีการออกแบบให้ใช้งานได้หลากหลายทั้งการพูดคุยสนทนา การส่งข้อมูลภาพ การใช้งานอินเทอร์เน็ตผ่านโทรศัพท์มือถือ เป็นต้น ทำให้ความต้องการแถบความถี่เพิ่มมากขึ้นเป็นเหตุให้ระบบต้องมีคุณภาพสูง

ปัจจุบันมีผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วโดยสามารถแบ่งประเภทการใช้งานใช้งานออกเป็น 2 ประเภทคือการใช้งานโทรศัพท์มือถือปกติและการใช้งานอินเทอร์เน็ตผ่านโทรศัพท์มือถือดังรูป 1.1 จะเห็นได้ว่าในปัจจุบันมีปริมาณผู้ใช้งานอินเทอร์เน็ตผ่านโทรศัพท์มือถือเพิ่มขึ้นอย่างมากกว่าในปี ค.ศ.2000 ถึง 300 ล้านคน [1]



รูป 1.1 การเติบโตของผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ [1]

เพื่อรองรับการใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งคาดว่าจะเพิ่มขึ้นอย่างมากในอนาคตจึงได้มีการพัฒนามาตรฐานใหม่สำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่คือ ไอเอ็มที 2000 (IMT-2000) หรือ ระบบยุคที่ 3 (third generation) [2], [3] โดยกำหนดให้มี อัตราการส่งข้อมูลได้รวดเร็วขึ้น ขนาดของแถบความถี่มากขึ้น สามารถปรับเปลี่ยนระบบได้ตามต้องการ ดังนั้นจะต้องออกแบบสายอากาศที่ใช้ให้มีความกว้างลำคลื่นที่แคบกว่าสายอากาศที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ทำให้มีแถบความถี่ต่อหนึ่งเฮลต์เพิ่มมากขึ้นเพื่อรองรับการใช้งานประเภทสื่อผสม (multimedia)

สายอากาศที่มีความสามารถในการปรับเปลี่ยนรูปลักษณะของลำคลื่นมีอยู่หลายชนิด เช่น สายอากาศแก่ง (smart antenna) และสายอากาศชนิดจานสะท้อนที่สามารถปรับพื้นผิวของจานสะท้อน (reconfigurable reflector antenna) สายอากาศแถวลำดับเชิงวิภาค (phased array antenna) เป็นต้น

สายอากาศแก่ง สามารถปรับเปลี่ยนลำคลื่นได้โดยการใช้สายอากาศแบบแถวลำดับและระบบโครงข่ายสร้างลำคลื่น (beam-forming network, BFN) ที่ซับซ้อนโดยการควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ [4] ซึ่งประกอบไปด้วย ตัวแบ่งกำลัง และตัวปรับเลื่อนวิภาค (phase shifter) ตัวขยายกำลัง (power amplifiers) องค์ประกอบแม่พลังงานคลื่น และที่ด้านออกของระบบโครงข่ายสร้างลำคลื่น วิธีการดังกล่าวนี้มีข้อเสีย เนื่องจากในระบบโครงข่ายสร้างลำคลื่นมีปัญหาในเรื่องของความร้อนที่เกิดขึ้นจากตัวขยายกำลัง จึงต้องมีระบบควบคุมการกระจายของพลังงานความร้อนซึ่งมีราคาสูงมาก นอกจากวิธีการนี้แล้ว สายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นยอ [5],[6],[7] และใช้สายอากาศป้อนกำลังคลื่นที่มีสมรรถนะสูงเพียงตัวเดียว หรือจำนวนไม่กี่ตัวมาแทนระบบโครงข่ายสร้างลำคลื่นที่ซับซ้อน เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการปรับเปลี่ยนลำคลื่น ประโยชน์ของวิธีนี้คือสามารถประหยัดพลังงานที่จ่ายให้แก่ระบบเนื่องจากผลของการใช้ระบบควบคุมทางกล

ในงานวิจัย [5], [6], [7] ได้เสนอวิธีวิเคราะห์สายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นยอ พบว่าแผ่นยอรูปหกเหลี่ยมด้านเท่ามีระดับโพลาริเซชันไขว้ต่ำที่สุด และศึกษาค่าปัจจัยหลักของการออกแบบสายอากาศชนิดนี้พบว่ากรณีพื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้จัดเรียงในลักษณะแบนราบ ความสูงของสายอากาศป้อนกำลังคลื่น (h) ที่เหมาะสมมีค่าประมาณ 1.1 ถึง 1.2 เท่าของรัศมีของสายอากาศ ในกรณีพื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้เกิดจากการเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์โดยประมาณ การแปรค่าระยะจากจุดโฟกัสไปตามแนวแกน z_{sh} ของสายอากาศป้อนกำลังคลื่นที่เหมาะสมมีค่าประมาณ $1.1r_{max}-f$ ถึง $2r_{max}-f$ ระดับโพลาริเซชันไขว้มากที่สุดมีระดับต่ำมากในระนาบสังเกตนั้นเมื่อรูปร่างของพื้นผิวสะท้อนที่

ปรับปรุงลักษณะได้จัดเรียงในลักษณะแบบราบ และระดับโพลาริเซชันไขว้มากที่สุดมีระดับยกสูงขึ้น เมื่อพื้นผิวสะท้อนที่ปรับปรุงลักษณะได้เข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ที่มีค่า F/D มากขึ้น

พัฒนาการของสายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับปรุงลักษณะได้มีดังนี้

P.J.B. Clarricoats และ H. Zhou [8] ได้กล่าวถึงการออกแบบและการตรวจสอบแบบจำลองทางกล การวิเคราะห์หัตถิทธิพลของข้อบังคับทางกล และความคลาดเคลื่อนที่มีต่อสมรรถนะของสายอากาศชนิดจานสะท้อนที่ปรับปรุงลักษณะได้โดยใช้โครงตาข่าย การควบคุมด้วยจุดควบคุมทางกล ทำให้เกิดการเว้าเป็นรูปหมอน (pillowing) โดยขนาดความสูงของรูปหมอนขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างจุดควบคุมและขนาดของปุ่มควบคุม ผลกระทบจากการเว้าเป็นรูปหมอนนี้ทำให้เกิดการสูญเสียของอัตราขยาย และมีพูเกรตติง (grating lobes) การลดหรือกำจัดผลกระทบนี้ทำได้โดยการเพิ่มความเหนียวของการโค้งงอ (bending stiffness) ของโครงตาข่าย ซึ่งดูได้จากค่าอัตราส่วนของค่าคงที่ความแข็งเกร็ง (rigid constant) กับค่าคงที่ความยืดหยุ่น (elastic constant) หรือ D/E การสูญเสียของอัตราขยายและระดับพูเกรตติงลดลงเมื่ออัตราส่วน D/E เพิ่มขึ้นหรือลดจำนวนจุดควบคุมลงโดยใช้ปุ่มควบคุมที่มีขนาดใหญ่ขึ้น การเลือกจุดควบคุมควรเลือกให้ระยะห่างระหว่างจุดควบคุม (2A) ที่ทำให้เกิดพูเกรตติงภายนอกบริเวณครอบคลุมบนโลก พูเกรตติงอันดับหนึ่งเกิดขึ้นที่มุมประมาณ $\phi = \lambda/2A$ สำหรับความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของจุดควบคุมส่งผลต่อพูหลักและระดับพูเกรตติงเล็กน้อย ความคลาดเคลื่อนมากที่สุด (± 4.5 มิลลิเมตร) ทำให้พูข้างอันดับสองสูงขึ้นไป 6 dB

P.J.B. Clarricoats, A.D. Monk และ H. Zhou [9] ได้เสนอรูปแบบใหม่ของสายอากาศชนิดจานสะท้อนที่ปรับปรุงลักษณะได้โดยใช้โครงตาข่ายสำหรับประยุกต์ใช้งานกับยานอวกาศ โดยใช้การปรับปรุงลักษณะของพื้นผิวร่วมกับการกระตุ้นด้วยสายอากาศแถวลำดับจำนวนน้อยเพื่อให้มีความยืดหยุ่นต่อการสร้างบริเวณครอบคลุมมากที่สุด เมื่อพื้นผิวสะท้อนปรับปรุงลักษณะได้เป็นรูปพาราโบลอยด์ สามารถสร้างลำคลื่นแตกต่างกัน 19 ลำคลื่นในบริเวณต่างๆ ได้ด้วยการกระตุ้นอย่างอิสระจากกันของสายอากาศป้อนกำลังคลื่นจำนวน 19 ตัวผลของการควบกำลังคลื่นร่วม (mutual coupling) ระหว่างสายอากาศป้อนกำลังคลื่นเกิดขึ้นอย่างเบาบาง และการถดถอยของการเลือนลำคลื่นเกิดขึ้นเล็กน้อย แม้ว่าการเลือนลำคลื่นเกิดขึ้นในมุมมองที่ไกลออกไป

R.C. Brown [10] ได้เสนอแนวทางอีกแนวหนึ่งในการทำให้พื้นผิวสะท้อนมีความยืดหยุ่นเพื่อที่จะสร้างลำคลื่นครอบคลุมโดยหลีกเลี่ยงปัญหาบางประการที่เกิดขึ้นจากการใช้การปรับปรุงลักษณะโดยโครงตาข่าย เช่น ปราบกฎ-การณัรูปหมอน สายอากาศต้นแบบที่เสนอขึ้นประกอบด้วยแผ่นย้อยจำนวน 69 แผ่น ข้อได้เปรียบของการใช้แผ่นย้อยคือ ขอบของสายอากาศไม่จำเป็นต้องยึดตายตัว การยึดตายตัวทำให้การสังเคราะห์แบบรูปการแผ่พลังงานบางรูปแบบทำได้

ยาก เมื่อนำสายอากาศต้นแบบมาสังเคราะห์แบบรูปครอบคลุม 2 รูปแบบให้ครอบคลุมอเมริกา และแคนาดาจากวงโคจรค้างฟ้าที่ 307 และ 359 องศาตะวันออก โดยใช้แผ่นย่อยขนาด 3 เท่าของความยาวคลื่นทำให้เกิดพูเกรตติงอยู่นอกบริเวณครอบคลุมบนโลก อัตราขยายต่ำสุดที่สังเคราะห์ได้ต่ำกว่าที่ตั้งเป้าไว้ 2-3 dB

W.H. Theunissen, H.T. Yoon, W.D. Burnside และ G.N. Washington [11] ได้เสนอวิธีการสังเคราะห์ลำคลื่นครอบคลุมที่ปรับรูปลักษณะได้ของสายอากาศชนิดจานสะท้อนคู่ โดยใช้การปรับพื้นผิวทางกลตามการกำหนดพื้นผิวด้วยการพรรณนาองค์ประกอบขนาดจำกัด (finite-element description) การปรับพื้นผิวทางกลนี้ควบคุมโดยใช้เพียโซอิเล็กทริกแอกทิเวเตอร์ (piezoelectric actuators) ประกอบอยู่ทางด้านหลังของพื้นผิวจานสะท้อนรองที่ตำแหน่งการแบ่งเป็นองค์ประกอบที่ยึดหยุ่นได้ โดยที่พื้นผิวสะท้อนหลักไม่สามารถปรับรูปลักษณะได้ พื้นผิวจานสะท้อนรองเป็นพื้นผิวที่ปรับรูปลักษณะได้เพื่อให้ได้บริเวณครอบคลุมที่ต้องการ การศึกษานี้ได้พิจารณาผลกระทบของคุณสมบัติทางกลของจานสะท้อนรอง จำนวน และตำแหน่งการวางของแอกทิเวเตอร์

มีการนำ สายอากาศหลายชนิดมาใช้งานเพื่อเป็นสายอากาศสำหรับสถานีฐาน ดังนี้

W.Sadowski และ C.Peixeiro [12] ใช้สายอากาศไมโครสติปขนาด 2×2 องศา ประกอบเป็นสายอากาศสำหรับสถานีฐานโดยวาง แผ่นห่างกัน 12 เซนติเมตร ทำงานที่ความถี่ 1800 MHz ได้อัตราขยาย 10 dBi และความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง ในระนาบตั้ง 35° ในระนาบระดับ 61°

B.Johannisson [13] ได้ใช้สายอากาศเก่งเป็นสายอากาศสำหรับสถานีฐาน โดยสายอากาศเก่งที่ใช้มีจำนวนองค์ประกอบเท่ากับ 12×6 องศาประกอบ เพื่อเพิ่มความจุของระบบให้มากขึ้น โดยใช้งานแบบ สองโพลาริเซชัน ที่ความถี่ 1800 MHz ได้อัตราขยาย 22 dBi ที่ความถี่ 900 MHz ได้อัตราขยาย 16.5 dBi

J.R. Bergmann, F.J.V.Hasselmann, L.C.P.Pereira และ M.G. Castello Branco [14] ได้เปรียบเทียบการใช้งานของสายอากาศจานสะท้อนแบบออฟเซตพาราโบลอยด์และสายอากาศแบบแถวลำดับ โดยผลการทดลองพบว่าสายอากาศจานสะท้อนแบบออฟเซตพาราโบลอยด์ ให้พื้นที่ครอบคลุมได้ดีกว่า

W.H. Theunissen และ W.D. Burnside [15] ใช้พื้นที่ครอบคลุมแบบวงรอบ (contour) มาออกแบบพื้นที่ครอบคลุมสำหรับสายอากาศสถานีฐานโดยใช้สายอากาศจานสะท้อนแบบออฟเซตพาราโบลอยด์ เพื่อแก้ปัญหาบางประการของสายอากาศสถานีฐานโดยทั่วไป คือ ปัญหาการลดทอนจาก ดึก และ โครงสร้างต่างๆ ทำให้ประสิทธิภาพของสายอากาศลดลงไม่เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ การแก้ปัญหาดังกล่าวนี้ทำได้โดยเพิ่มสายอากาศเพื่อชดเชยผลกระทบจากดึกใน

บริเวณที่ขาดหายไปของสัญญาณ แต่ก็ยังมีข้อเสียคือเกิดการทับซ้อนกันของพื้นที่ครอบคลุมข้างเคียง ดังนั้นจึงมีความต้องการลักษณะพิเศษของพื้นที่ครอบคลุม โดยการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลอยด์ เพื่อให้ได้พื้นที่ครอบคลุมตามต้องการและลดปัญหาการทับซ้อนกันของพื้นที่ครอบคลุมข้างเคียง

R.B. Hwang, Y.J. Chang และ Ming-lu Lai [16] ออกแบบสายอากาศสำหรับสถานีฐาน โดยสามารถปรับมุมก้มเงยของสายอากาศเพื่อลดการรบกวนกันของเซลล์ข้างเคียง และเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ โดยใช้การเลื่อนแผ่นสายอากาศไมโครสตีปขึ้นเพื่อให้สามารถปรับมุมของลำคลื่นได้

จะเห็นได้จากงานวิจัยดังกล่าวข้างต้นว่าความต้องการความสามารถของสายอากาศมีเพิ่มมากขึ้น ทำให้ต้องมีการพัฒนาสายอากาศเพื่อเพิ่มความสามารถในการปรับเปลี่ยนลำคลื่น การเลื่อนลำคลื่น การออกแบบสายอากาศเพื่อรองรับปริมาณการใช้งานที่จะเพิ่มมากขึ้นในอนาคต งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้สายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อย มาเพื่อรองรับปัญหาดังกล่าว

งานวิจัยนี้ศึกษาขีดจำกัดเชิงสมรรถนะและการประยุกต์ที่เป็นไปได้ของสายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อย โดยการประยุกต์ใช้งานส่วนใหญ่ นั้นจะเน้นหนักไปทางด้านการประยุกต์ใช้งานเป็นสายอากาศสำหรับสถานีฐาน และ ศึกษาค่าขีดจำกัดเชิงสมรรถนะของสายอากาศ โดยจะพิจารณา ค่าของ ขนาดของสายอากาศ จำนวนแผ่นย่อยที่ใช้ และรูปแบบการจัดเรียงแผ่นย่อย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาสมรรถนะในการสร้างลำคลื่นแบบต่างๆ ของสายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อย เช่น การสร้างตำแหน่งศูนย์ การสร้างลำคลื่นแบบจัดลำคลื่น
2. ศึกษาขีดจำกัดเชิงสมรรถนะของสายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อย
3. ศึกษาความเป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้งานลักษณะต่างๆ เช่น การประยุกต์ใช้งานเป็นสายอากาศสถานีฐานระบบสื่อสารเคลื่อนที่และการประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม และข่ายเชื่อมโยงภาคพื้นดิน
4. สร้างและทดสอบสายอากาศต้นแบบ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาขีดจำกัดและสมรรถนะของสายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อย
2. ศึกษาความเป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้งานลักษณะต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้งานเป็นสายอากาศสถานีฐานระบบสื่อสารเคลื่อนที่
3. ออกแบบสร้างสายอากาศต้นแบบและทดสอบเพื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ทางทฤษฎี

1.4 คำนิยามที่ใช้ในการวิจัย

ภาษาไทย

สายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อย
สายอากาศชนิดจานสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้ การสังเคราะห์แบบรูปการแผ่พลังงาน สายอากาศ
สถานีฐาน

ภาษาอังกฤษ

Multi-tile Reconfigurable Reflector Antenna ,Reconfigurable Reflector Antenna,
Pattern Synthesis, Base Station Antenna

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สายอากาศต้นแบบที่มีลักษณะสมบัติของการแผ่พลังงานตามต้องการและมีความซับซ้อนทางกลไม่สูง
2. แนวทางออกแบบสายอากาศจานสะท้อนชนิดปรับรูปลักษณะผิวสะท้อนได้โดยใช้แผ่นย่อยเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในกรณีต่างๆได้
3. แนวทางออกแบบสายอากาศสำหรับสถานีฐาน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์สายอากาศ
2. ศึกษาค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศ และผลกระทบต่างๆ ที่มีต่อสมรรถนะของสายอากาศ
3. ศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้งานลักษณะต่างๆ
4. ออกแบบและสร้างสายอากาศต้นแบบ
5. ทดสอบสายอากาศต้นแบบที่สร้างขึ้นเพื่อเปรียบเทียบกับผลวิเคราะห์ทางทฤษฎี
6. สรุปงานวิจัยและเขียนวิทยานิพนธ์

ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกัน โดยบทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมา และมูลเหตุจูงใจในการทำวิทยานิพนธ์ วัตถุประสงค์ของการวิจัย ขอบเขตของการวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และวิธีดำเนินการวิจัย บทที่ 2 กล่าวถึง การพิจารณาขีดจำกัดเชิงสมรรถนะของสายอากาศ รูปร่างเริ่มต้นของการจัดเรียงแผ่นย่อย ผลของขนาดและจำนวนแผ่นย่อย ในบทที่ 3 กล่าวถึงการประยุกต์ใช้งานสายอากาศสำหรับสถานีฐาน ความต้องการสำหรับสายอากาศสถานีฐาน และการประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ ที่เป็นไปได้ บทที่ 4 กล่าวถึงรายละเอียดของการทดสอบสายอากาศ และเปรียบเทียบผลการวัดกับผลการวิเคราะห์ และบทที่ 5 เป็นส่วนของการสรุปและข้อเสนอแนะ



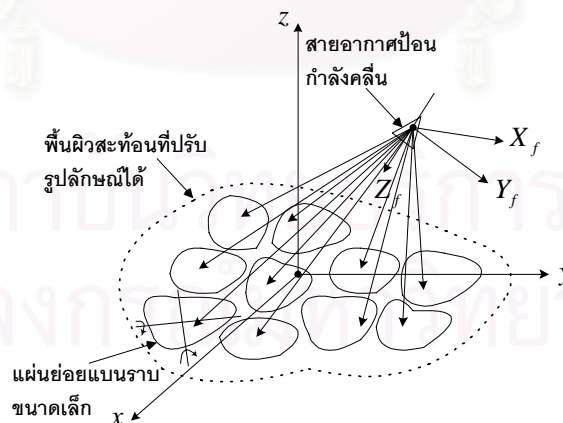
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ขีดจำกัดเชิงสมรรถนะของสายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะ ได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อย

ความนำ

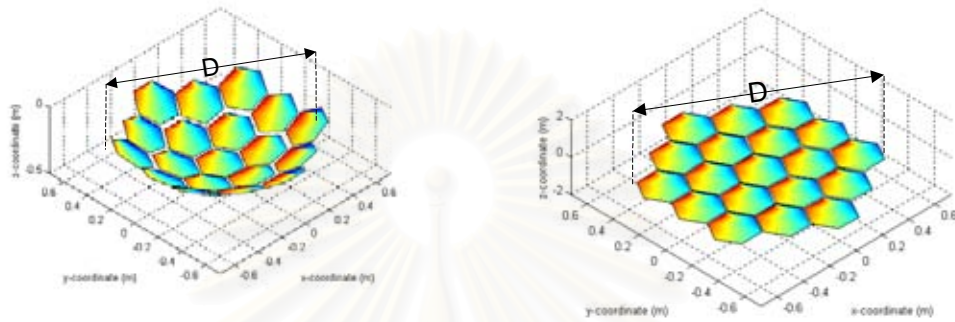
สายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อย เป็นสายอากาศที่มีโครงสร้างเช่นเดียวกับสายอากาศจานสะท้อน โดยสายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อย เกิดจากการนำแผ่นย่อยหลายแผ่นมาจัดเรียงเข้ารูปกันเป็นสายอากาศดังรูป 2.1 สายอากาศชนิดนี้สามารถจัดเรียงโครงสร้างได้หลายรูปแบบเช่นจัดเรียงเป็นสายอากาศชนิดจานสะท้อนรูปหักมุมแบบปรับรูปลักษณะได้ที่ สายอากาศจานสะท้อนเดี่ยวแบบปรับรูปลักษณะได้ที่ [7] หรือเป็นสายอากาศจานสะท้อนคู่แบบปรับรูปลักษณะได้ที่ [11] ความสามารถของสายอากาศชนิดนี้คือ สามารถสร้างลำคลื่นแบบจัดรูป การเลื่อนลำคลื่น การสร้างตำแหน่งศูนย์ จากการปรับพื้นผิวโดยการปรับแผ่นย่อย ลักษณะดังกล่าวทำให้ขีดจำกัดความสามารถจึงขึ้นอยู่กับ ขนาดของสายอากาศโดยการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของขนาดแผ่นย่อยที่จัดเรียง จำนวนของแผ่นย่อย ช่องว่างระหว่างแผ่นย่อย และ รูปแบบการจัดเรียงแผ่นย่อย งานวิจัยนี้ใช้สายอากาศจานสะท้อนเดี่ยวแบบปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อยที่มีรูปร่างเริ่มต้นของผิวสะท้อน 2 แบบ คือ แบบจัดเรียงแผ่นย่อยให้เข้ารูปแบบแบนราบ และ แบบจัดเรียงแผ่นย่อยให้เข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ (กรณีที่ใช้แผ่นย่อย 19 แผ่น) ดังรูป 2.2



รูป 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศชนิดจานสะท้อนแบบปรับรูปลักษณะได้ที่โดยใช้แผ่นย่อย

การหาค่าขีดจำกัดเชิงสมรรถนะของสายอากาศจานสะท้อนแบบปรับรูปลักษณะได้ที่โดยใช้แผ่นย่อยคือ ค่าปัจจัยต่างๆที่ทำให้สมรรถนะของสายอากาศมีค่าไม่เพิ่มขึ้นหลายประการตามลักษณะโครงสร้างของสายอากาศเช่น ขนาดของสายอากาศ ขนาดและจำนวนของแผ่นย่อย รูปร่าง

เริ่มต้นของสายอากาศ เป็นต้น โดยการหาค่าขีดจำกัดนั้นจะช่วยให้สามารถออกแบบสายอากาศ เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานด้านต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม งานวิจัยนี้ศึกษาหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้งาน ในสถานีฐานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ข่ายเชื่อมโยงด้วยวิทยุภาคพื้นดิน โดยจะเน้นหนักไปทางด้าน การประยุกต์ใช้งานสำหรับสถานีฐานของโทรศัพท์เคลื่อนที่



(ก) กรณีเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์

(ข) กรณีเข้ารูปแบบแบนราบ

รูป 2.2 พื้นผิวสายอากาศจานสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้

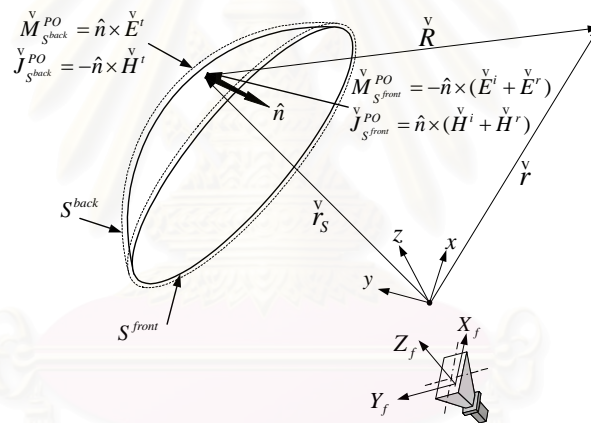
2.1 ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์สายอากาศจานสะท้อนเดี่ยวแบบปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อย

สายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อยมีโครงสร้างพื้นฐานเช่นเดียวกับสายอากาศจานสะท้อน จึงสามารถใช้ระเบียบวิธีวิเคราะห์ย่านความถี่สูง คือกรรมวิธีทัศนศาสตร์กายภาพ (physical optics) ร่วมกับ ทฤษฎีการเลี้ยวเบนเชิงกายภาพ (physical theory of diffraction) [5] เพื่อหาลักษณะการแผ่พลังงานของสายอากาศ ดังขั้นตอนตามรูป 2.3



รูป 2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์สายอากาศชนิดจานสะท้อนแบบปรับรูปลักษณะได้โดยใช้แผ่นย่อย

กรรมวิธีทัศนศาสตร์กายภาพเป็นหนึ่งในกรรมวิธีอันความถี่สูงที่ใช้หาสนามกระเจิงจากพื้นผิว โดยมีข้อสมมุติที่ว่าไม่มีกระแสเกิดขึ้นในบริเวณเงา (shadow region) หรือบริเวณที่ไม่มี การ สาดส่อง และกระแสส่วนย่อยเล็กๆ ที่กระจายบนบริเวณของการสาดส่อง (lit region) ของพื้นผิวนั้น เหมือนกับเป็นกระแสที่เกิดจากการกระตุ้นของสนามตกกระทบที่มีลักษณะเป็นคลื่นระนาบบน ระนาบสัมผัสขนาดอนันต์ของส่วนย่อยเล็กๆ ดังนั้นกระแสเหนี่ยวนำบนพื้นผิวจึงประมาณได้ตาม แนวคิดเชิงทัศนศาสตร์เรขาคณิต เมื่อใช้หลักการสนามสมมูล สนามกระเจิงหาได้จากปริพันธ์ของ แหล่งความหนาแน่นกระแสสมมูลซึ่งก่อกำเนิดสนามกระเจิงปริมาณจำกัดในทุกๆ ที่ รวมทั้งใน บริเวณขอบเขตสะท้อน ขอบเขตเงาและบริเวณจุดตัดแต่ละ กรรมวิธีทัศนศาสตร์กายภาพมีพื้นฐาน บนทฤษฎีของความสมมูลทางทัศนศาสตร์กายภาพ (theory of PO equivalence) ที่เป็นการขยาย แนวคิดของหลักการสมมูลออกไป อาศัยทฤษฎีของความสมมูลทางทัศนศาสตร์กายภาพ สามารถ กำหนดพื้นผิวเสมือนที่ครอบคลุมแหล่งกำเนิดอย่างสมบูรณ์ขึ้นได้ดังรูป 2.4



รูป 2.4 ทฤษฎีของความสมมูลทางทัศนศาสตร์กายภาพ

พิจารณารูป 2.4 ถ้าพื้นผิวที่เป็นแหล่งกำเนิดเป็นตัวนำไฟฟ้าสมบูรณ์ สนามไฟฟ้าและ สนามแม่เหล็กส่งผ่านในบริเวณเงาเป็นศูนย์ทำให้ไม่เกิดความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและความ หนาแน่นกระแสแม่เหล็ก และเนื่องจากสนามไฟฟ้าองค์ประกอบสัมผัสกับพื้นผิวในบริเวณสาดส่อง เป็นศูนย์ทำให้ไม่เกิดความหนาแน่นกระแสแม่เหล็ก คงเหลือแต่เพียงความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า บนบริเวณสาดส่อง ดังนั้นการประมาณกระแสเชิงทัศนศาสตร์กายภาพเป็นไปดังสมการ 2.1 โดยที่ \hat{n}_{rot}^e คือเวกเตอร์หนึ่งหน่วยพุ่งออกจากพื้นผิวแผ่นย่อยที่ e , \mathbf{H}^{feed} คือสนามแม่เหล็กจาก สายอากาศป้อน

$$\mathbf{J}_e^{PO}(\mathbf{r}_{S^e}) = 2\hat{n}_{rot}^e \times \mathbf{H}^{feed}(\mathbf{r}_{S^e}) \quad (2.1)$$

สนามเนื่องจากกรรณวิถีทัศนศาสตร์กายภาพคือสนามที่แผ่พลังงานจากแหล่งกระแสสมมูลบนแผ่นย่อยทุกๆแผ่นไปยังจุดสังเกต \vec{r}_{s_e} ดังสมการ 2.2

$$E^{PO}(\vec{r}) \stackrel{r \rightarrow \infty}{\cong} -j\omega\mu \frac{e^{-jkr}}{2\pi r} (\vec{I} - \hat{r}\hat{r}).$$

$$\sum_{e=1}^M \sum_{g=1}^{N_e} \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \frac{\hat{n}_{rot}^e \times \vec{H}^{feed}(\vec{r}_{s_e}) e^{jk\hat{r} \cdot \vec{r}_{s_e}}}{|\hat{n}_{rot}^e \cdot \hat{z}|} \left| J\left(\frac{x, y}{u_g, v_g}\right) \right| \left| J\left(\frac{u_g, v_g}{r_g, s_g}\right) \right| dr_g ds_g \quad (2.2)$$

โดยที่ $J(\bullet)$ คือจาโคเบียนของการแปลง

กรรณวิถีทัศนศาสตร์กายภาพมีความแม่นยำในการทำนายแบบรูปการแผ่พลังงานในบริเวณลำคลื่นหลัก แต่ประสิทธิภาพจะลดลงในการทำนายแบบรูปการแผ่พลังงานในบริเวณที่ห่างไกลออกไปจากลำคลื่นหลักและโพลาริเซชันไขว้ที่เกิดขึ้น เนื่องจากกระแสทัศนศาสตร์กายภาพมีค่าไม่ถูกต้องนักใกล้ๆ ขอบที่มีปรากฏการณ์เลี้ยวเบนเกิดขึ้น หนึ่งในกรรณวิถีที่สามารถทำนายสนามที่มุมห่างไกลออกไปจากลำคลื่นหลักและโพลาริเซชันไขว้ที่เกิดขึ้นเนื่องจากปรากฏการณ์เลี้ยวเบนที่ขอบคือ ทฤษฎีการเลี้ยวเบนเชิงเรขาคณิต

ทฤษฎีการเลี้ยวเบนเชิงกายภาพ มีแนวคิดว่าสนามกระเจิงแสดงอยู่ในรูปของผลรวมของสนามกระเจิงจากกรรณวิถีทัศนศาสตร์กายภาพและสนามไม่ต่อเนื่องที่ขอบ (fringe field) ที่เป็นผลมาจากการเลี้ยวเบนที่เกิดขึ้นที่ขอบดังสมการ (2.3)

$$\vec{E}^{PTD}(\vec{r}) = \vec{E}^{PO}(\vec{r}) + \vec{E}^{FW}(\vec{r}) \quad (2.3)$$

สนามเนื่องจากการเลี้ยวเบนจะใช้ทฤษฎีการเลี้ยวเบนเชิงกายภาพในรูปแบบมิตาเอลลิ มาหาค่าสนามไม่ต่อเนื่องที่บริเวณขอบของแผ่นย่อยแต่ละแผ่น โดยสนามเนื่องจากกระแสไม่ต่อเนื่องที่ขอบที่แผ่พลังงานจากขอบแผ่นย่อยที่ e เป็นดังสมการ 2.4

$$\vec{E}_e^{FW}(\vec{r}) = jk \sum_{m=1}^{N_e} \int_0^{l_{e,m}} \left[Z_o I_{e,m}^{FW} \hat{s}_{e,m} \times (\hat{s}_{e,m} \times \hat{e}_{e,m}) + M_{e,m}^{FW} \hat{s}_{e,m} \times \hat{e}_{e,m} \right] \frac{e^{-jks_{e,m}}}{4\pi s_{e,m}} dy_{edge,m}^e \quad (2.4)$$

โดยที่ $I_{e,m}^{FW} = I_{e,m}^T - I_{e,m}^{PO}$ และ $M_{e,m}^{FW} = M_{e,m}^T - M_{e,m}^{PO}$,

$$I_{e,m}^T = \frac{2j\mathbf{H}^{\text{feed}} \cdot \hat{e}_{e,m} \mu_{e,m} \cot \beta'_{e,m} - \cot \beta_{e,m} \cos \phi_{e,m}}{k \sin \beta'_{e,m} \cos \phi_{e,m} + \mu_{e,m}} \frac{\sqrt{2} \cos\left(\frac{\phi'_{e,m}}{2}\right)}{\sqrt{1-\mu_{e,m}}} +$$

$$\frac{2jY_0 \mathbf{E}^{\text{feed}} \cdot \hat{e}_{e,m} \sqrt{2} \sin\left(\frac{\phi'_{e,m}}{2}\right)}{k \sin^2 \beta'_{e,m} \cos \phi'_{e,m} + \mu_{e,m}} \sqrt{1-\mu_{e,m}}$$

$$I_{e,m}^{PO} = \frac{2j\mathbf{H}^{\text{feed}} \cdot \hat{e}_{e,m} \cot \beta'_{e,m} \cos \phi'_{e,m} + \cot \beta_{e,m} \cos \phi_{e,m}}{k \sin \beta'_{e,m} \cos \phi_{e,m} + \mu_{e,m}} +$$

$$\frac{2jY_0 \mathbf{E}^{\text{feed}} \cdot \hat{e}_{e,m} \sin \phi'_{e,m}}{k \sin^2 \beta'_{e,m} \cos \phi'_{e,m} + \mu_{e,m}}$$

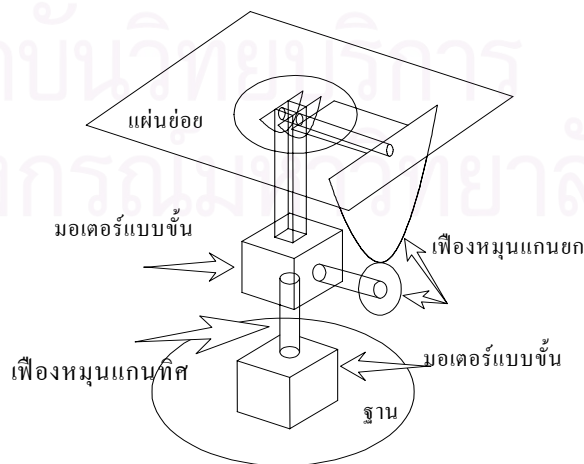
$$M_{e,m}^T = -\frac{2jZ_0 \mathbf{H}^{\text{feed}} \cdot \hat{e}_{e,m} \sin \phi_{e,m}}{k \sin \beta'_{e,m} \sin \beta_{e,m} \cos \phi_{e,m} + \mu_{e,m}} \frac{\sqrt{2} \cos\left(\frac{\phi'_{e,m}}{2}\right)}{\sqrt{1-\mu_{e,m}}}$$

$$M_{e,m}^{PO} = -\frac{2jZ_0 \mathbf{H}^{\text{feed}} \cdot \hat{e}_{e,m} \sin \phi_{e,m}}{k \sin \beta'_{e,m} \sin \beta_{e,m} \cos \phi_{e,m} + \mu_{e,m}} UD$$

$$\mu_{e,m} = \frac{\sin \beta_{e,m} \cos \phi_{e,m} + \cot \beta'_{e,m} (\cos \beta_{e,m} - \cos \beta'_{e,m})}{\sin \beta'_{e,m}}$$

$$UD = U(\pi - \phi'_{e,m}) - U(\phi'_{e,m} - \pi)$$

กรรมวิธีในการปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อน ปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อย สามารถทำได้โดยการปรับพื้นผิว ในที่นี้จะใช้มอเตอร์แบบ ขึ้นมาปรับพื้นผิวของแผ่นย่อยด้วยวิธีทางกล โดยใช้การหมุนซึ่งสามารถปรับได้ในสองแกนคือ แกน ยก และแกนทิส ดังรูป 2.5 และรูป 2.6



รูป 2.5 ส่วนประกอบของการปรับแผ่นย่อยด้วยมอเตอร์แบบขึ้น



(ก) ต้นแบบของชุดควบคุมแผ่นย่อย



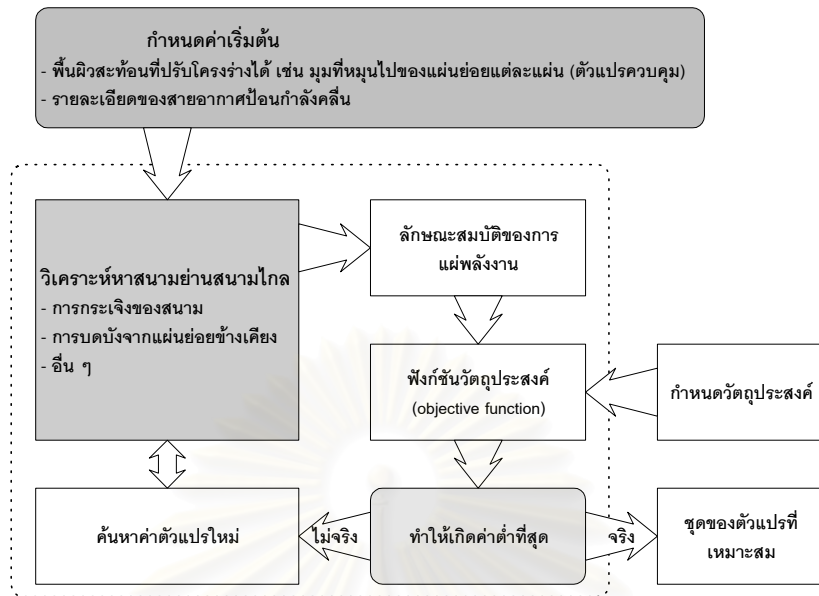
(ข) ระบบควบคุมการหมุนรอบแกนทิส



(ค) ระบบควบคุมการหมุนรอบแกนยก

รูป 2.6 ต้นแบบของชุดควบคุมทางกลสำหรับปรับแผ่นย่อย

เนื่องจากการปรับเปลี่ยนพื้นผิวของแผ่นย่อยเพื่อ สร้างลำคลื่นแบบจัดรูป การเลื่อนลำคลื่น หรือการสร้างตำแหน่งศูนย์ ไม่สามารถหาผลเฉลยอย่างง่ายได้ ดังนั้นเพื่อให้บรรลุจุดประสงค์ จำเป็นต้องประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีทำให้เหมาะสมที่สุดดังรูป 2.7 โดยกำหนดให้มุมที่หมุนรอบแกนยก และแกนทิสของแผ่นย่อยแต่ละแผ่นเป็นตัวแปรควบคุมของการทำให้เหมาะสมที่สุด ค่าเริ่มต้นของตัวแปรควบคุมนี้เป็นค่าปัจจัยสำคัญที่ทำให้จำนวนครั้งของการวนซ้ำเข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมที่สุดน้อยลง อย่างไรก็ตาม การหาค่าเริ่มต้นที่เหมาะสมกับปัญหานั้นๆ ทำได้ยาก



รูป 2.7 การประยุกต์ระเบียบวิธีทำให้เหมาะที่สุดในการสังเคราะห์แบบรูปการแผ่พลังงาน

ตามขั้นตอนในรูป 2.7 เมื่อกำหนดค่าเริ่มต้นแล้ว การวนซ้ำเกิดขึ้นภายในกรอบเส้นประโดยลักษณะสมบัติของการแผ่พลังงานที่ต้องการสามารถหาได้จากกรรมวิธีวิเคราะห์ ค่าลักษณะสมบัติของการแผ่พลังงานที่คำนวณได้จะนำมาเปรียบเทียบกับค่าลักษณะสมบัติของการแผ่พลังงานที่กำหนดไว้ ผลต่างที่ได้จะกำหนดเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (objective function) ซึ่งต้องทำให้มีค่าต่ำที่สุด การวนซ้ำจะยุติเมื่อผลลัพธ์ของการเปรียบเทียบมีค่าน้อยในที่นี่ใช้ประมาณ 10^{-4}

2.2 อัตราขยายและประสิทธิภาพต่างๆ

อัตราขยายของสายอากาศเป็นค่าลักษณะสมบัติสำคัญในการออกแบบสายอากาศ เนื่องจากบ่งบอกถึงความสามารถของการรวบรวมพลังงานให้แพร่กระจายไปในทิศทางต่างๆ ได้มากน้อยเพียงใด อัตราขยายของสายอากาศสามารถหาได้จากอัตราส่วนของความหนาแน่นของกำลังคลื่นที่แผ่พลังงานในทิศทางใดๆ เทียบกับความหนาแน่นของกำลังคลื่นจากแหล่งกำเนิดคลื่นแบบจุดเสมอค่า (isotropic point source) ที่ป้อนกำลังด้วยกำลังงานเดียวกันกับที่ป้อนให้สายอากาศ ดังนั้นอัตราขยายของสายอากาศกำหนดได้ดังสมการ (2.5)

$$G(\theta, \phi) = \frac{P_{rad}(\theta, \phi)}{P_m / (4\pi)} = 4\pi \frac{P_{rad}(\theta, \phi)}{P_m} \quad (2.5)$$

โดยที่ P_{rad} คือความหนาแน่นของกำลังคลื่นที่แผ่พลังงานในทิศทางใดๆ (θ, ϕ) มีหน่วยเป็น วัตต์ต่อสเตอเรเดียน และ P_m คือกำลังที่ป้อนให้สายอากาศมีหน่วยเป็น วัตต์

อัตราขยายของสายอากาศสามารถเขียนอยู่ในองค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วมและโพลาริเซชันไขว้ได้เป็น

$$G_{cp}(\theta, \phi) = 4\pi \frac{P_{cp}(\theta, \phi)}{P_{in}} = 4\pi \frac{r^2 |E_{cp}(\theta, \phi)|^2}{2Z_o P_{in}} \quad (2.6)$$

$$G_{xp}(\theta, \phi) = 4\pi \frac{P_{xp}(\theta, \phi)}{P_{in}} = 4\pi \frac{r^2 |E_{xp}(\theta, \phi)|^2}{2Z_o P_{in}} \quad (2.7)$$

ค่าคุณลักษณะอื่นๆ นอกเหนือจากอัตราขยายของสายอากาศพิจารณาจากการสูญเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนของการแผ่พลังงาน สายอากาศชนิดงานสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้โดยใช้แผ่นย่อยประกอบด้วย สายอากาศป้อนกำลังคลื่น และพื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้ ถ้าสมมติให้กำลังที่ป้อนให้กับสายอากาศป้อนกำลังคลื่นเป็น P_{in} ดังนั้นกำลังทั้งหมดที่แผ่พลังงานออกไปจากสายอากาศป้อนกำลังคลื่นเป็น

$$\begin{aligned} P_T &= \eta_f P_{in} = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \left[\int_0^{2\pi} \int_0^\pi (\vec{E}_{feed} \times \vec{H}_{feed}^*) \cdot \hat{r}_f r_f^2 \sin\theta_f d\theta_f d\phi_f \right] \\ &= \frac{1}{2Z_o} \int_0^{2\pi} \int_0^\pi |\vec{E}_{feed}|^2 r_f^2 \sin\theta_f d\theta_f d\phi_f \end{aligned} \quad (2.8)$$

โดยที่ η_f คือประสิทธิภาพการแผ่พลังงาน (radiation efficiency) ของสายอากาศป้อนกำลังคลื่น

โดยปกติแล้วกำลังทั้งหมดแพร่กระจายออกมาในทุกทิศทางรอบสายอากาศป้อนกำลังคลื่น แต่มีกำลังเพียงบางทิศทางที่สามารถรับได้บนพื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้ เนื่องจากมีกำลังบางส่วนเกิดการล้นจากพื้นผิวสะท้อน หรือเกิดการรั่วไปตามช่องว่างระหว่างแผ่นย่อย และเกิดการบดบังจากแผ่นย่อยล้อมรอบ ดังนั้นกำลังที่รับได้จริงๆ บนพื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้ (P_r) สามารถหาได้ดังสมการ

$$P_r = \eta_s P_T = - \sum_{e=1}^M \frac{1}{2} \operatorname{Re} \left[\int_{S^e} (\vec{E}^{feed} \times \vec{H}^{feed*}) \cdot \hat{n}_{rot}^e dS^e \right] \quad (2.9)$$

โดยที่ η_s คือประสิทธิภาพของการล้นช่องเปิด

สมการ (2.9) สามารถเขียนอยู่ในรูปที่คำนวณได้กรณีของสายอากาศงานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อยดังนี้

$$P_r = - \frac{1}{2} \sum_{e=1}^M \sum_{g=1}^{N_e} \operatorname{Re} \left[\int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \frac{(\vec{E}^{feed*} \times \vec{H}^{feed*}) \cdot \hat{n}_{rot}^e}{|\hat{n}_{rot}^e \cdot \hat{z}|} \left| J \left(\frac{x, y}{u_g, v_g} \right) \right| \left| J \left(\frac{u_g, v_g}{r_g, s_g} \right) \right| dr_g ds_g \right] \quad (2.10)$$

ประสิทธิภาพช่องเปิด (aperture efficiency, η_A) สามารถหาได้จากอัตราส่วนของความหนาแน่นของกำลังคลื่นในแนวโพลาริเซชันร่วมมากที่สุดต่อสเตอเรเดียน ($P_{cp}(\theta, \phi)|_{\max}$) กับความหนาแน่นของกำลังคลื่นตามแนวแกนของสายอากาศที่เกิดจากสนามไฟฟ้าบนระนาบช่องเปิดที่มีการกระจายอย่างคงที่ทั้งองค์ประกอบทางขนาดและวิภาค และมีโพลาริเซชันเพียงในแนวโพลาริเซชันร่วม (P_u) ด้วยกำลังที่เท่ากันดังสมการ

$$\eta_A = \frac{P_{cp}(\theta, \phi)|_{\max}}{P_u(\theta = 0^\circ, \phi = 0^\circ)} \quad (2.11)$$

โดย $P_u(\theta = 0^\circ, \phi = 0^\circ)$ เขียนได้ดังนี้

$$P_u(\theta = 0^\circ, \phi = 0^\circ) = \frac{k^2}{4\pi^2} P_A S_A \quad (2.12)$$

ในทางทฤษฎีระนาบช่องเปิดสามารถวางไว้ใกล้กับช่องเปิดของสายอากาศมากที่สุดเพื่อที่จะรับกำลังที่แผ่พลังงานจากพื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้ทั้งหมด ดังนั้นขนาดของระนาบช่องเปิดจึงเท่ากับขนาดช่องเปิดของสายอากาศ สำหรับกรณีช่องเปิดของสายอากาศเป็นวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ D ประสิทธิภาพของสายอากาศเป็น

$$\eta = G_{cp}^{\max}(\theta, \phi) \frac{\lambda^2}{4\pi} \frac{4}{\pi D^2} = G_{cp}^{\max}(\theta, \phi) \left(\frac{\lambda}{\pi D} \right)^2 \quad (2.13)$$

2.3 ขีดจำกัดเชิงสมรรถนะของสายอากาศ

ขีดจำกัดเชิงสมรรถนะของสายอากาศคือค่าปัจจัยต่างๆ ตามโครงสร้างของสายอากาศ ที่ทำให้สมรรถนะของสายอากาศมีค่าไม่เพิ่มขึ้น สำหรับสายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย้อย นั้นจะมีปัจจัยหลักอยู่ 3 ประการคือ รูปร่างเริ่มต้นของผิวสะท้อน ขนาดของสายอากาศโดยการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของขนาดแผ่นย้อย และจำนวนของแผ่นย้อย ในหัวข้อนี้จะศึกษาถึงค่าที่เหมาะสมสำหรับปัจจัยหลักในการออกแบบสายอากาศเพื่อที่จะให้มีสมรรถนะเหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้งาน โดยกำหนดให้อัตราขยายแนวโพลาริเซชันร่วมที่ต้องการและตำแหน่งของสายอากาศบ่อนกำลังคลื่นเป็นดังตาราง 2.1 โดยค่าของมุมที่กำหนดจะเป็นไปในทิศทางที่ต้องการเลื่อนลำคลื่นให้ได้ค่าของอัตราขยายตามที่ต้องการไว้เช่นเมื่อต้องการเลื่อนลำคลื่นไปที่ 0 องศา จะกำหนดทิศทางไว้ที่มุม -1 องศา มุม 0 องศาและมุม 1 องศาและกำหนดอัตราขยายให้เป็น 17 dB, 18 dB และ 17 dB ตามลำดับโดย h คือความสูงของสายอากาศบ่อนกำลังคลื่น z_{shf} คือการแปรค่าระยะจากจุดไฟกัสไปตามแนวแกน (z_{shf}) และ r_{\max} คือรัศมีของสายอากาศ

ตาราง 2.1 อัตราขยายแนวโพลาริเซชันร่วมที่ใช้ศึกษาผลของค่าพารามิเตอร์หลัก

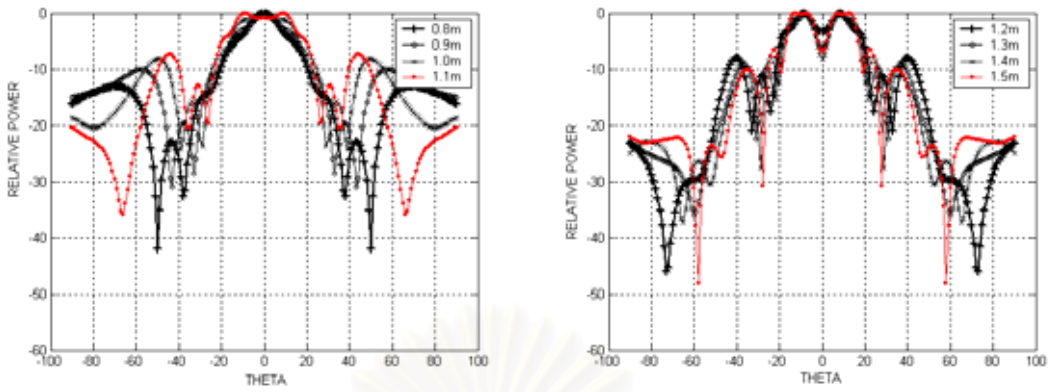
กรณี	มุม (องศา)	อัตราขยายแนวโพลาริเซชันร่วมที่ต้องการ (dB)	ค่า h เริ่มต้น (เมตร)	ค่า z_{shf} เริ่มต้น (เมตร)
ลำคลื่นเริ่มต้นที่ 0 องศา	[-1 0 1]	[17 18 17]	$h = 1.2 r_{max}$	$z_{shf} = 1.1 r_{max} - f$

2.3.1 ขนาดของสายอากาศโดยการเปลี่ยนขนาดของแผ่นย่อย

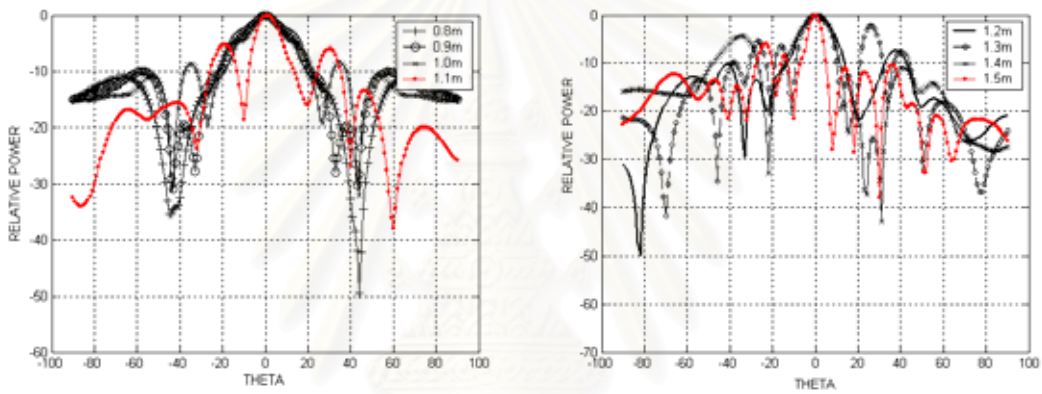
สายอากาศงานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อยนั้นมีโครงสร้างเช่นเดียวกับสายอากาศงานสะท้อนเดี่ยวพาราโบลอยด์ การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของขนาดสายอากาศ จะส่งผลต่อสมรรถนะของสายอากาศ โดยในหัวข้อนี้จะใช้สายอากาศงานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อย ที่มีจำนวนแผ่นย่อย 19 แผ่น และเปลี่ยนค่าของขนาดของแผ่นย่อยจะทำให้ขนาดของสายอากาศงานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อยมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลง ซึ่งในที่นี้วิเคราะห์ผลของการเปลี่ยนแปลงขนาดตั้งแต่ 0.8 ถึง 1.5 เมตร ดังตาราง 2.2 โดยศึกษาจากสายอากาศงานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อย ที่มีผิวสะท้อนแบบที่จัดเรียงในลักษณะแบนราบ และแบบที่เกิดจากการเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ ค่า F/D เท่ากับ 0.35 กำหนดปัจจัยอื่นดังนี้ ความถี่ปฏิบัติการ 2 GHz จำนวนแผ่นย่อย 19 แผ่น ไม่รวมผลของช่องว่างระหว่างแผ่นย่อย ในที่นี้ได้คำนวณผลในกรณีที่ไม่ปรับพื้นผิวสะท้อน กรณีเลื่อนลำคลื่นไปที่มุม 0 และ กรณีเลื่อนลำคลื่นไปที่มุม 10 องศา ดังแสดงในรูป 2.8, รูป 2.9, รูป 2.10 และรูป 2.11 ผลการคำนวณอัตราขยายและประสิทธิภาพต่างๆ เป็นไปดังตาราง 2.3

ตาราง 2.2 ค่าเริ่มต้นขนาดของสายอากาศ

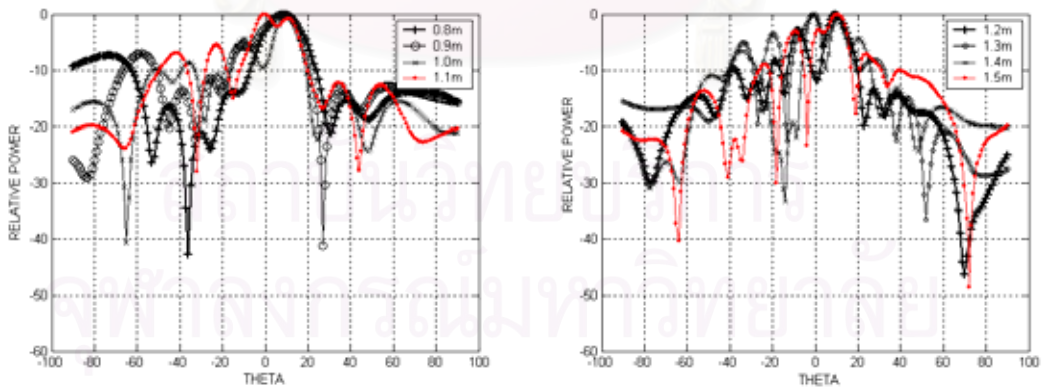
ขนาดของสายอากาศ(เมตร)	ขนาดแผ่นย่อย (เมตร)	จำนวนชิ้น (แผ่น)
0.8	0.1	19
0.9	0.1125	19
1.0	0.125	19
1.1	0.1375	19
1.2	0.15	19
1.3	0.1625	19
1.4	0.175	19
1.5	0.1875	19



(ก) ไม่ปรับพื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้

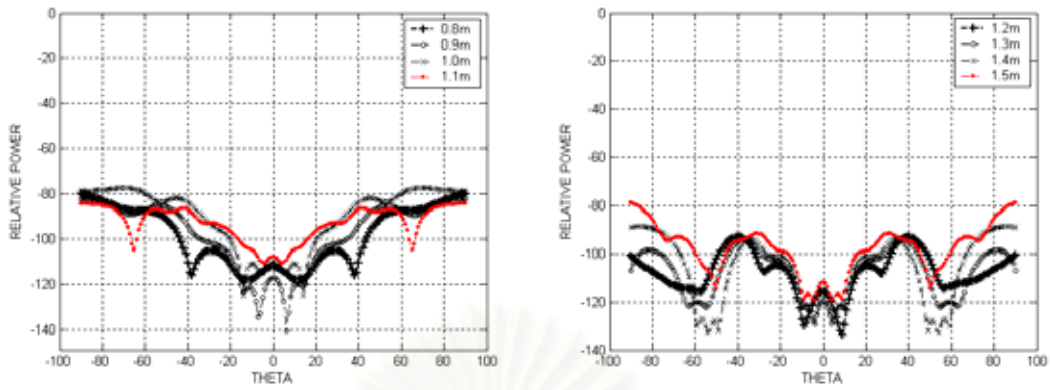


(ข) เลื่อนลำคลื่นไป 0 องศา

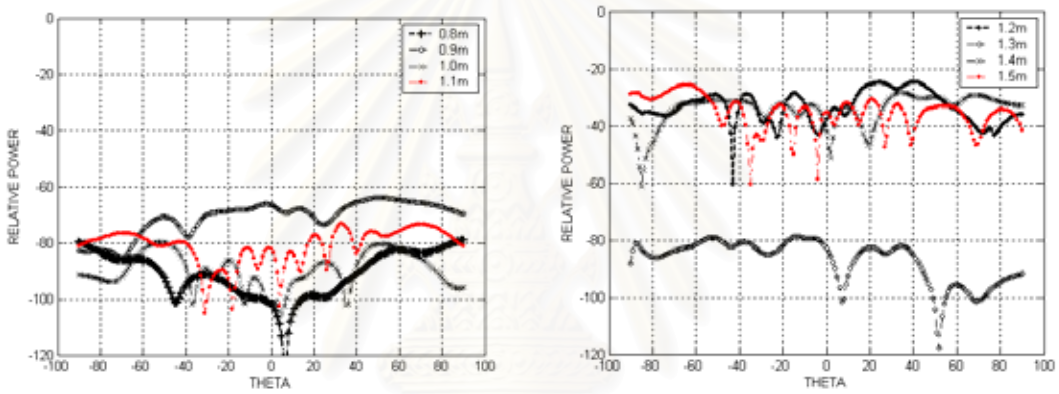


(ค) เลื่อนลำคลื่นไป 10 องศา

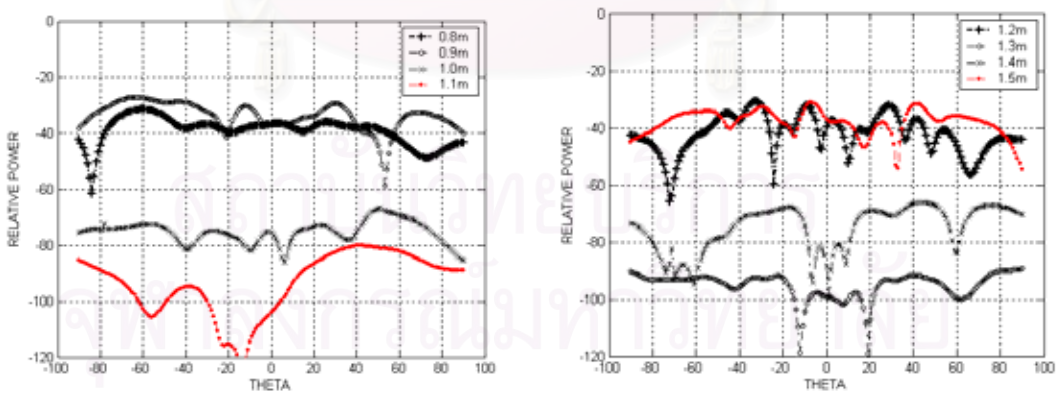
รูป 2.8 แบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชันร่วมกรณีเข้ารูปเป็น
รูปพาราโบลอยด์ที่ขนาดต่างกัน



(ก) ไม่ปรับพื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้

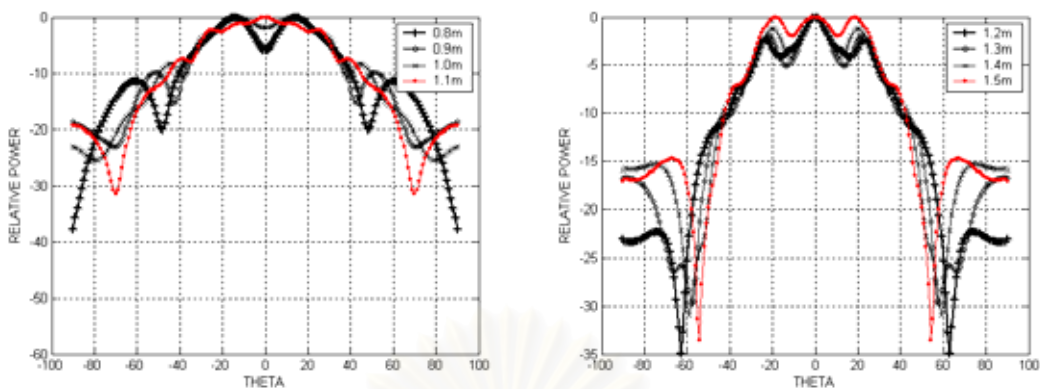


(ข) เลื่อนลำคลื่นไป 0 องศา

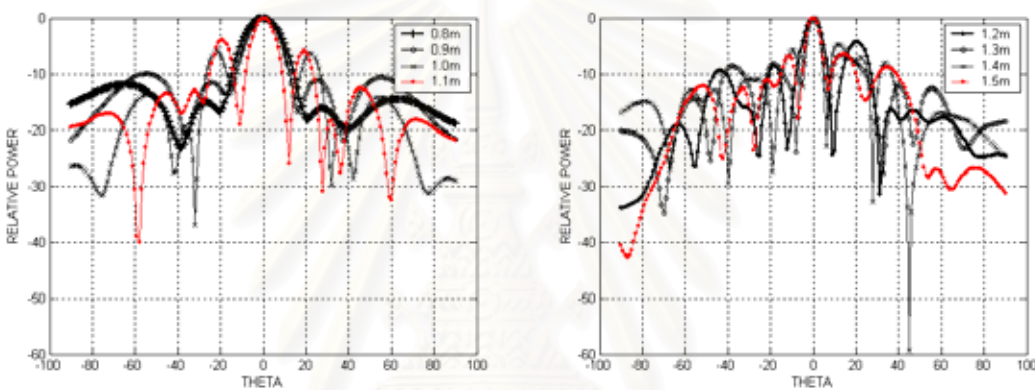


(ค) เลื่อนลำคลื่นไป 10 องศา

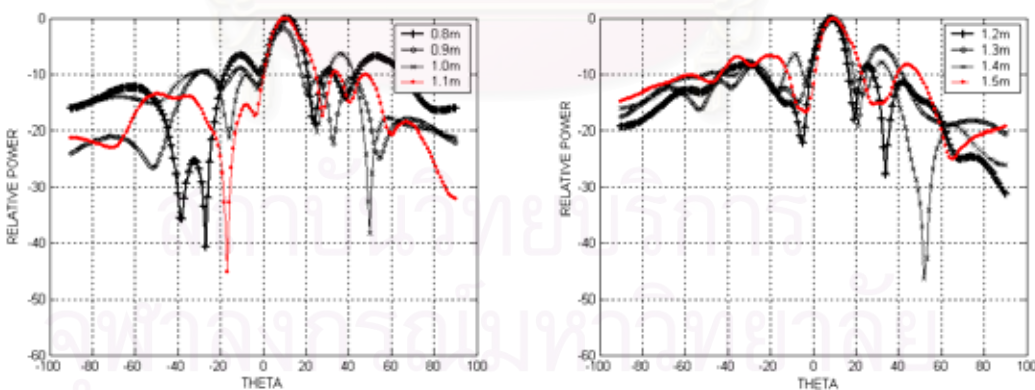
รูป 2.9 แบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชันไซร์ครนีย์เข้ารูปเป็น
รูปพาราโบลอยด์ที่ขนาดต่างกัน



(ก) ไม่ปรับพื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้

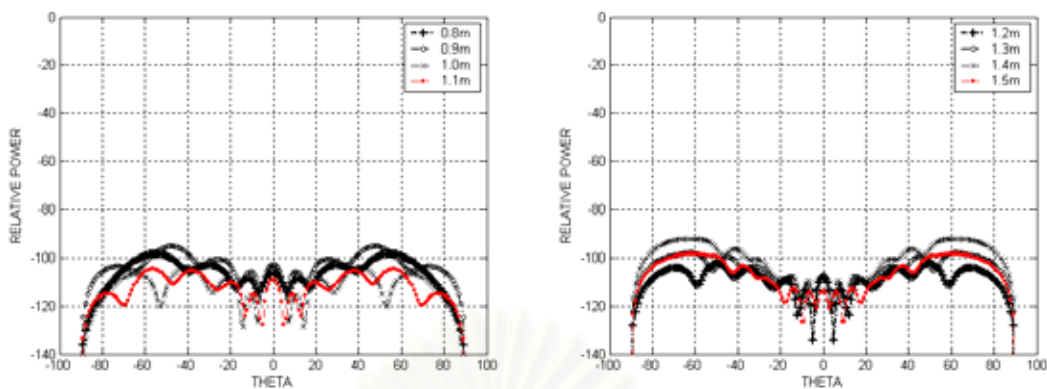


(ข) เลื่อนลำคลื่นไป 0 องศา

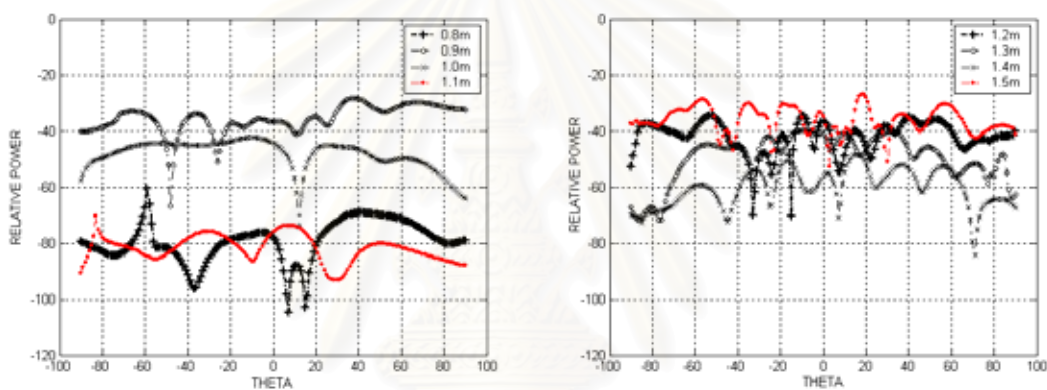


(ค) เลื่อนลำคลื่นไป 10 องศา

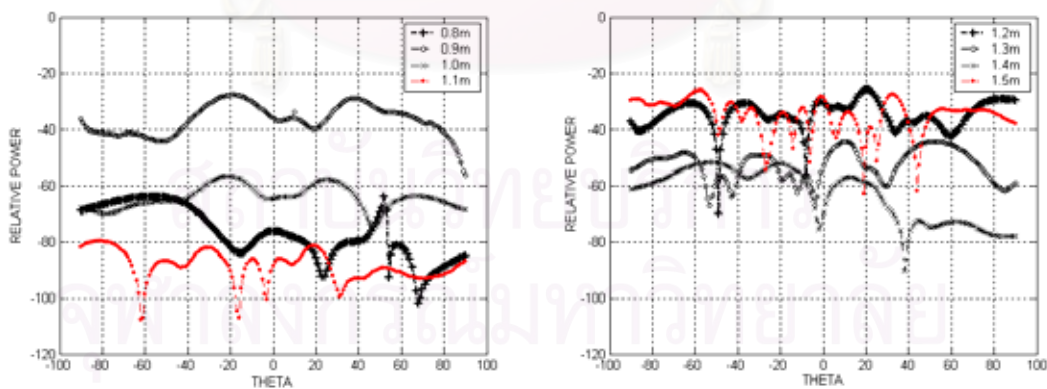
รูป 2.10 แบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชันร่วมกรณีเข้ารูปเป็น
รูปแบบแบนราบที่ขนาดต่างกัน



(ก) ไม่ปรับพื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้



(ข) เลื่อนลำคลื่นไป 0 องศา



(ค) เลื่อนลำคลื่นไป 10 องศา

รูป 2.11 แบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชันไซร์กัลดรีเข้ารูปเป็นรูปแบบแบนราบที่ขนาดต่างกัน

ตาราง 2.3 อัตราขยายและประสิทธิภาพต่างๆ เมื่อแปรเปลี่ยนขนาดของสายอากาศ

พื้นผิวจัดเรียงเป็นรูปพาราโบลอยด์		ลักษณะสมบัติต่างๆ ของสายอากาศ					
กรณี	ขนาด (เมตร)	G_{cp}^{steer} (dB)	G_{xp}^{steer} (dB)	P_r (วัตต์)	η_s (%)	η_A (%)	η (%)
ก) ไม่ปรับพื้นผิว	0.8	17.82	-62.18	1.394×10^{-3}	83.69	25.76	21.56
	0.9	17.27	-64.66	1.394×10^{-3}	83.69	17.95	15.02
	1.0	16.28	-61.06	1.394×10^{-3}	83.69	11.56	9.69
	1.1	15.63	-68.69	1.394×10^{-3}	83.69	8.10	6.90
	1.2	15.97	-76.97	1.394×10^{-3}	83.69	7.30	6.26
	1.3	16.13	-77.81	1.394×10^{-3}	83.69	6.42	5.44
	1.4	16.01	-72.67	1.394×10^{-3}	83.69	5.35	4.64
	1.5	15.65	-63.10	1.394×10^{-3}	83.69	4.45	3.72
ข) เลื่อนลำคลื่นไป 0 องศา	0.8	17.09	-61.93	1.401×10^{-3}	84.35	21.60	18.22
	0.9	17.30	-46.73	1.390×10^{-3}	83.42	18.14	15.13
	1.0	17.05	-62.76	1.364×10^{-3}	81.63	14.17	11.57
	1.1	17.41	-55.90	1.387×10^{-3}	83.24	12.48	10.39
	1.2	17.06	-7.64	1.460×10^{-3}	87.63	9.19	8.06
	1.3	17.15	-61.58	1.437×10^{-3}	86.26	8.12	7.00
	1.4	17.16	-11.06	1.507×10^{-3}	90.47	6.70	6.06
	1.5	17.38	-8.31	1.137×10^{-3}	68.26	8.12	5.54
ค) เลื่อนลำคลื่นไป 10 องศา	0.8	17.19	-14.32	1.330×10^{-3}	79.82	23.41	18.69
	0.9	17.29	-9.75	1.359×10^{-3}	81.55	18.51	15.09
	1.0	17.14	-49.76	1.327×10^{-3}	79.66	14.82	11.81
	1.1	18.15	-62.15	1.432×10^{-3}	85.96	14.34	13.32
	1.2	17.32	-13.35	1.313×10^{-3}	78.82	10.85	8.56
	1.3	17.91	-71.46	1.423×10^{-3}	85.39	9.77	8.34
	1.4	18.72	-47.46	1.462×10^{-3}	87.77	9.87	8.66
	1.5	17.24	-13.95	1.303×10^{-3}	78.23	6.87	5.37

หมายเหตุ G_{cp}^{steer} คืออัตราขยายแนวโพลาริเซชันร่วมในทิศทางเลื่อนลำคลื่น

G_{xp}^{steer} คืออัตราขยายแนวโพลาริเซชันไขว้ในทิศทางเลื่อนลำคลื่น

η_s คือประสิทธิภาพของการล้นช่องเปิด

η_A คือประสิทธิภาพช่องเปิด, η คือประสิทธิภาพสายอากาศ

ตาราง 2.3 อัตราขยายและประสิทธิภาพต่างๆ เมื่อแปรเปลี่ยนขนาดของสายอากาศ (ต่อ)

พื้นผิวจัดเรียงในลักษณะแบนราบ		ลักษณะสมบัติต่างๆ ของสายอากาศ					
กรณี	ขนาด (เมตร)	G_{cp}^{steer} (dB)	G_{xp}^{steer} (dB)	P_r (วัตต์)	η_s (%)	η_A (%)	η (%)
ก) ไม่ปรับพื้นผิว	0.8	11.37	-86.94	1.207×10^{-3}	72.41	6.74	4.88
	0.9	11.26	-84.00	1.207×10^{-3}	72.41	5.20	3.76
	1.0	10.69	-92.99	1.207×10^{-3}	72.41	3.69	2.67
	1.1	10.92	-93.80	1.207×10^{-3}	72.41	3.22	2.33
	1.2	11.91	-90.40	1.207×10^{-3}	72.41	3.40	2.46
	1.3	12.05	-85.75	1.207×10^{-3}	72.41	2.98	2.16
	1.4	11.53	-80.78	1.207×10^{-3}	72.41	2.29	1.66
	1.5	10.61	-87.69	1.207×10^{-3}	72.41	1.61	1.17
ข) เลื่อนลำคลื่นไป 0 องศา	0.8	17.01	-43.53	1.062×10^{-3}	63.76	28.10	17.91
	0.9	16.29	-11.90	1.113×10^{-3}	67.83	17.69	12.00
	1.0	17.20	-25.13	1.177×10^{-3}	70.62	16.94	11.97
	1.1	17.19	-53.12	1.118×10^{-3}	70.72	13.96	9.88
	1.2	17.18	-17.49	1.200×10^{-3}	72.01	11.48	8.27
	1.3	17.27	-22.42	1.195×10^{-3}	71.73	10.04	7.20
	1.4	17.64	-30.45	1.226×10^{-3}	73.58	9.20	6.77
	1.5	17.31	-9.49	1.227×10^{-3}	73.67	7.40	5.45
ค) เลื่อนลำคลื่นไป 10 องศา	0.8	16.74	-47.13	1.113×10^{-3}	66.82	25.21	16.85
	0.9	17.99	-9.66	1.172×10^{-3}	70.52	25.13	17.72
	1.0	17.21	-39.39	1.143×10^{-3}	68.62	17.52	12.02
	1.1	16.79	-66.73	1.148×10^{-3}	68.92	13.07	9.01
	1.2	16.35	-9.57	1.094×10^{-3}	65.64	10.42	6.84
	1.3	17.10	-27.11	1.142×10^{-3}	68.58	10.09	6.92
	1.4	16.94	-42.90	1.176×10^{-3}	70.56	8.16	5.76
	1.5	15.70	-14.66	1.152×10^{-3}	69.16	5.45	3.77

ผลการคำนวณพบว่าค่าอัตราขยายของสายอากาศจวนสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะนี้ได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อย กรณีเข้ารูปเป็นแบบพาราโบลอยด์ ดังรูป 2.8 รูป 2.9 และ ตาราง 2.3 ในกรณีไม่ปรับพื้นผิวสะท้อนพบว่าเมื่อขนาดของสายอากาศเพิ่มมากขึ้นประสิทธิภาพของสายอากาศลดลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการเพิ่มขนาดของสายอากาศจวนสะท้อนได้เลื่อนสายอากาศป้อนกำลังคลื่นออกจากจุดโฟกัสมากกว่าในกรณีที่มีขนาดน้อยกว่าทำให้การรวมกำลังงานไปที่ 0

องศาที่มีค่าลดลงดังเห็นได้จากรูป 2.8 ก กำลังคลื่นที่คำนวณได้มีค่าลดลงและกำลังคลื่นนั้นจะออกไปในทิศทางอื่น ในกรณีเลื่อนลำคลื่นไปตำแหน่งเชิงมุมที่ 0 และตำแหน่งเชิงมุมที่ 10 องศา ดังรูป 2.18 (ข) และ (ค) ประสิทธิภาพของสายอากาศลดลงเมื่อเพิ่มขนาดของสายอากาศเนื่องจากประสิทธิภาพของสายอากาศจะพิจารณาตามขนาดของสายอากาศดังสมการ 2.13 คือเมื่อขนาดเพิ่มขึ้น อัตราขยายควรจะเพิ่มขึ้นแต่ในที่นี้ค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ถูกกำหนดไว้ให้มีค่าอัตราขยายในแนวโพลาริเซชันร่วมเท่ากับ 18 dB ทำให้ประสิทธิภาพของสายอากาศลดลงกำลังคลื่นจะถูกส่งผ่านไป ในทิศทางอื่นระดับพู่ข้างสูงจึงขึ้นและส่งผลมากขึ้นเมื่อขนาดเพิ่มขึ้นและในกรณีเลื่อนลำคลื่นไป 10 องศา พบว่าการเลื่อนลำคลื่นไม่ดีเท่าที่ควรยังมีกำลังคลื่นไปยังบริเวณตำแหน่งเชิงมุมที่ 0 องศาอยู่ และจะเห็นได้ชัดเมื่อขนาดของสายอากาศเพิ่มมากขึ้นที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากสายอากาศเมื่อมีขนาดใหญ่ขึ้นการรวมกำลังงานไปที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ 0 องศาจะมีค่ามากทำให้การเลื่อนไปของลำคลื่นยังคงเหลือกำลังงานที่บริเวณตำแหน่งเชิงมุมที่ 0 องศา จากรูป 2.10 การเพิ่มหรือลดขนาดไม่ส่งผลโดยตรงต่อระดับโพลาริเซชันไขว้ ทั้งนี้ระดับโพลาริเซชันไขว้ที่เกิดขึ้นเนื่องจากความไม่สมมาตรทางภูมิภาคจากการปรับพื้นผิวงานสะท้อน และผลของช่องว่างที่เกิดขึ้นเมื่อปรับผิวงานสะท้อน

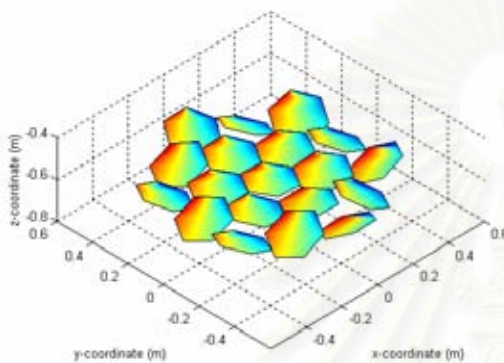
ในกรณีจัดเรียงแบบแบนราบพบว่าเป็นไปเช่นเดียวกับกรณีเข้ารูปร่างเป็นแบบพาราโบลอยด์คือเมื่อขนาดเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพของสายอากาศลดลง ดังรูป 2.11 รูป 2.12 และตาราง 2.3 เมื่อเลื่อนลำคลื่นไป 0 องศา การเพิ่มขนาดทำให้พู่ข้างมีค่าเพิ่มมากขึ้นในกรณี เลื่อนลำคลื่นไป 10 องศาพบว่ากรณีเข้ารูปร่างแบบแบนราบสามารถให้ลำคลื่นได้ดีกว่าแบบพาราโบลอยด์สังเกตเห็นได้จากระดับพู่ข้างที่มีระดับน้อยดังรูป 2.10 (ค) และรูป 2.12 (ค) และเมื่อขนาดมีค่าน้อยกว่า 1.0 เมตร พบว่าการเลื่อนลำคลื่นใช้เวลาในกระบวนการทำระเบียบวิธีทำให้เหมาะที่สุดนานและไม่สามารถเลื่อนลำคลื่นได้เท่าที่ควรเนื่องจากกรณีที่มีขนาดของสายอากาศมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับ λ ทำให้การเลื่อนลำคลื่นไปในทิศทางอื่นทำได้ยากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

2.3.2 ผลของรูปร่างเริ่มต้นของผิวสะท้อน

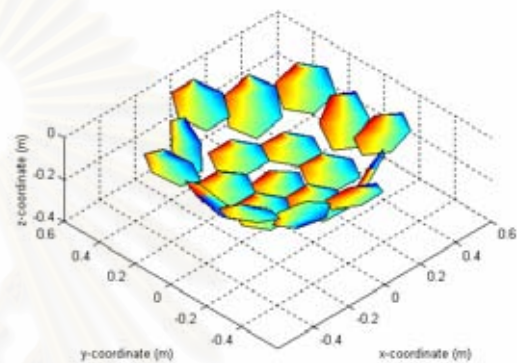
สายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อยสามารถเข้ารูปร่างได้หลายรูปแบบ เช่น รูปร่างเริ่มต้นแบบแบนราบหรือรูปร่างเริ่มต้นแบบพาราโบลอยด์ที่มีค่า F/D ต่างกัน ในที่นี้จะพิจารณารูปร่างเริ่มต้นของสายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อย 4 แบบ คือ รูปแบบที่จัดเรียงในลักษณะแบนราบ รูปแบบที่เกิดจากการเข้ารูปร่างเป็นรูปพาราโบลอยด์ ค่า F/D เท่ากับ 0.25 รูปแบบที่เกิดจากการเข้ารูปร่างเป็นรูปพาราโบลอยด์ ค่า F/D เท่ากับ 0.35 และ รูปแบบที่เกิดจากการเข้ารูปร่างเป็นรูปพาราโบลอยด์ ค่า F/D เท่ากับ 0.60

โดยกำหนดปัจจัยอื่นๆ ดังนี้ ความถี่ปฏิบัติการ 2 GHz จำนวนแผ่นย่อย 19 แผ่น ไม่รวมผลของช่องว่างระหว่างแผ่นย่อย เลื่อนลำคลื่นไป 0 องศา และ 10 องศา

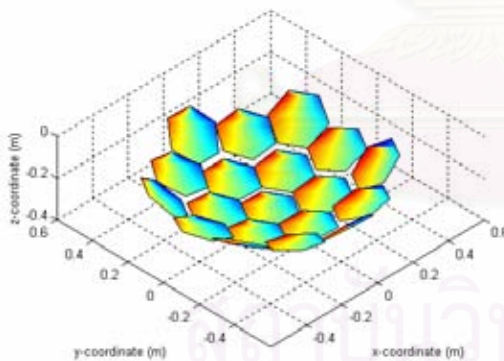
รูปร่างของสายอากาศทั้งสี่กรณีเมื่อเลื่อนลำคลื่นไปที่มุม 0 องศาและเลื่อนลำคลื่นไปที่มุม 10 องศา เป็นไปดังรูป 2.12 และ รูป 2.14 ตามลำดับ รูป 2.13 และรูป 2.15 แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานของทั้งสองกรณีตามลำดับ



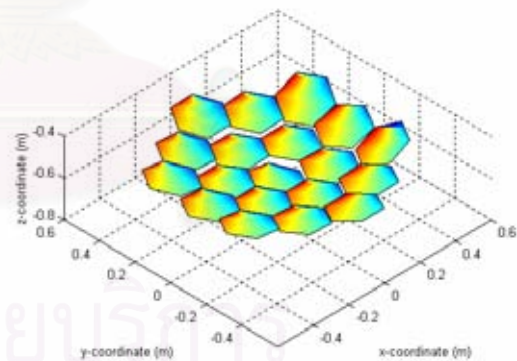
(ก) จัดเรียงแบบแบนราบ



(ข) เข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ที่มีค่า $F/D = 0.25$



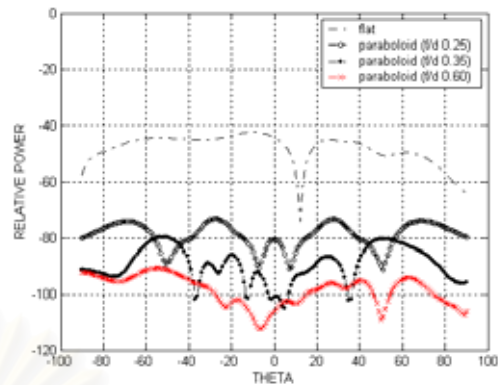
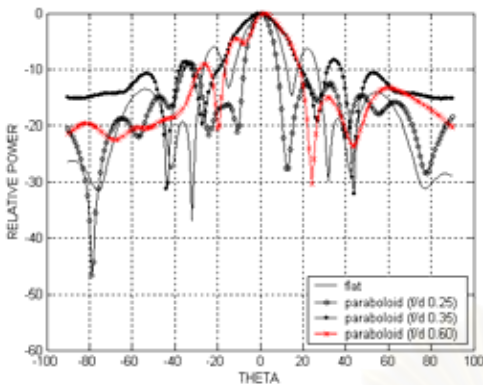
(ค) เข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ที่มีค่า $F/D = 0.35$



(ง) เข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ที่มีค่า $F/D = 0.60$

รูป 2.12 รูปร่างของสายอากาศทั้ง 4 กรณีเมื่อเลื่อนลำคลื่นไปที่มุม 0 องศา

สำหรับรูปร่างเริ่มต้นของพื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้รูปแบบต่างๆ

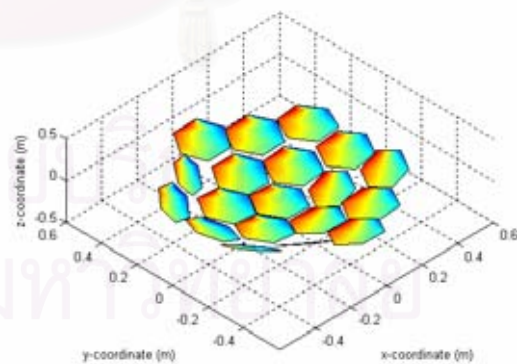
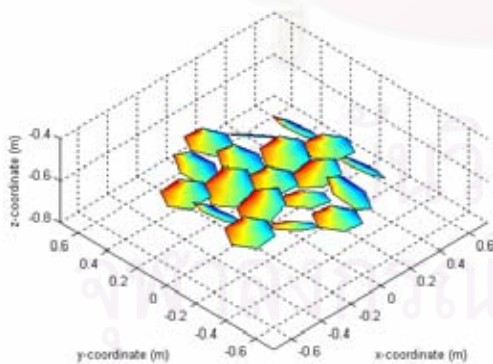


(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม

(ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้

รูป 2.13 แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อเลื่อนลำคลื่นไปที่มุม 0 องศา สำหรับรูปร่างเริ่มต้นของพื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้รูปแบบต่างๆ

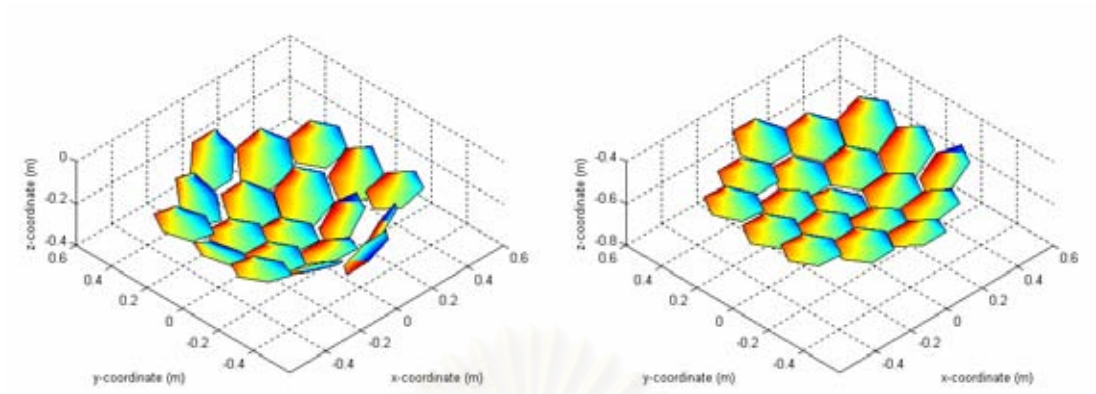
พิจารณาผลการจำลองสถานการณ์ดังแสดงในรูป 2.12 รูป 2.13 และตาราง 2.4 พบว่ารูปร่างเริ่มต้นของพื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้ทั้งสี่รูปแบบที่ใช้ศึกษาผลของรูปร่างเริ่มต้นไม่ได้ส่งผลกระทบต่อระดับโพลาริเซชันไขว้ แต่มีผลต่อความสามารถในการเลื่อนลำคลื่นได้แตกต่างกัน รูป 2.13 (ก) แสดงให้เห็นว่าการเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ที่มีค่า F/D เท่ากับ 0.25 ได้ความกว้างลำคลื่นแคบที่สุด และในกรณีของการเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ที่มีค่า F/D เท่ากับ 0.60 แบบรูปการแผ่พลังงานเกิดการบิดเบี้ยวไปดังรูป 2.13 (ข) เนื่องจากช่องว่างที่เกิดขึ้นดังรูป 2.12 (ง)



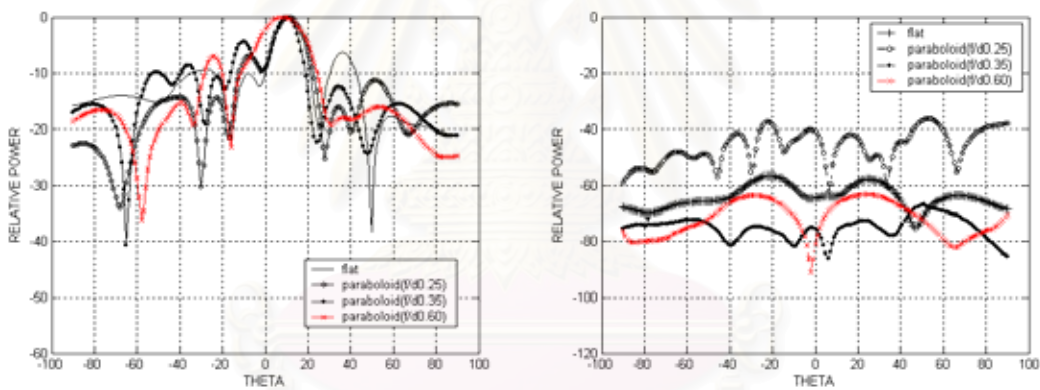
(ก) จัดเรียงแบบแบนราบ

(ข) เข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ที่มีค่า $F/D = 0.25$

รูป 2.14 รูปร่างของสายอากาศทั้ง 4 กรณีเมื่อเลื่อนลำคลื่นไปที่มุม 10 องศา สำหรับรูปร่างเริ่มต้นของพื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้รูปแบบต่างๆ



(ค) เข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ที่มีค่า $F/D = 0.35$ (ง) เข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ที่มีค่า $F/D = 0.60$
 รูป 2.14 รูปร่างของสายอากาศทั้ง 4 กรณีเมื่อเลื่อนลำคลื่นไปที่มุม 10 องศา
 สำหรับรูปร่างเริ่มต้นของพื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้รูปแบบต่างๆ (ต่อ)



(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม (ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้

รูป 2.15 แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อเลื่อนลำคลื่นไปที่มุม 0 องศา สำหรับรูปร่างเริ่มต้นของพื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้รูปแบบต่างๆ

อัตราขยายและประสิทธิภาพต่างๆ เมื่อแปรเปลี่ยนรูปร่างเริ่มต้นของพื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้แสดงไว้ในตาราง 2.4

ตาราง 2.4 อัตราขยายและประสิทธิภาพต่างๆ เมื่อแปรเปลี่ยนรูปร่างเริ่มต้นของพื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้

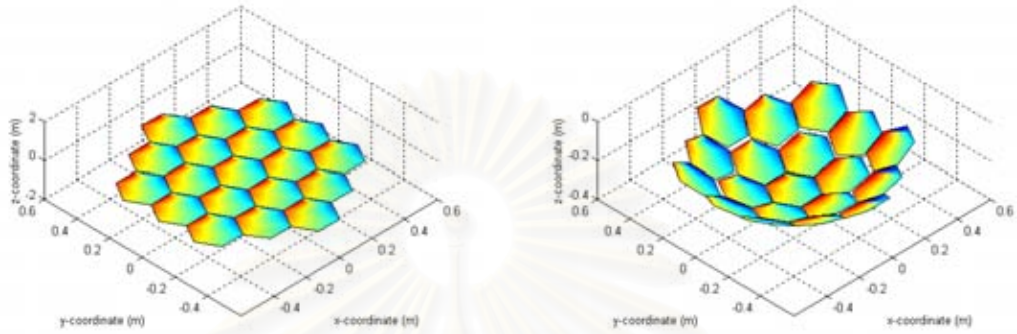
ผลของรูปร่างเริ่มต้นของพื้นผิวสะท้อน		ลักษณะสมบัติต่างๆ ของสายอากาศ					
กรณี	รูปร่างเริ่มต้น	G_{cp}^{steer} (dB)	G_{xp}^{steer} (dB)	P_r (วัตต์)	η_s (%)	η_A (%)	η (%)
เลื่อนลำคลื่น ไป 0 องศา	แบนราบ	17.20	-25.13	1.117×10^{-3}	70.62	16.94	11.97
	พาราโบลอยด์						
	f/D = 0.25	17.18	-56.06	1.057×10^{-3}	63.45	18.76	11.90
	f/D = 0.35	17.05	-62.76	1.360×10^{-3}	81.63	14.17	11.57
	f/D = 0.60	17.75	-73.10	1.455×10^{-3}	87.31	15.57	13.06
เลื่อนลำคลื่น ไป 10 องศา	แบนราบ	17.21	-39.39	1.143×10^{-3}	68.62	12.16	8.34
	พาราโบลอยด์						
	f/D = 0.25	17.26	-18.97	1.418×10^{-3}	85.09	14.26	12.13
	f/D = 0.35	17.14	-49.70	1.327×10^{-3}	79.66	14.82	11.81
	f/D = 0.60	17.25	-45.99	1.508×10^{-3}	90.53	13.39	12.13

เมื่อพิจารณารูป 2.12 , รูป 2.13 และตาราง 2.4 พบว่าสามารถเลื่อนลำคลื่นไป 10 องศา แต่ในกรณีของการเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ที่มีค่า F/D เท่ากับ 0.60 พบว่า การเลื่อนลำคลื่นนั้นไม่สามารถเลื่อนลำคลื่นของแนวตั้งหลักไปยังตำแหน่งเชิงมุม 10 องศาได้เท่าที่ควร เนื่องจากในกรณีที่มีค่า F/D เท่ากับ 0.6 พื้นผิวมีการปรับตัวไปในทิศทางเลื่อนลำคลื่นแต่ยังมีแผ่นย่อยบางแผ่นยังอยู่ที่เดิมดังรูป 2.12 (ง) ทำให้เกิดกำลังคลื่นที่บริเวณตำแหน่งเชิงมุมที่ 0 องศา

2.3.3 ผลของจำนวนแผ่นย่อย

การเพิ่มความสามารถในการปรับรูปลักษณะได้ของสายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อยสามารถทำได้โดยเพิ่มจำนวนแผ่นย่อยให้มากขึ้น โดยกำหนดให้สายอากาศมีขนาดคงเดิมคือ 1.0 เมตร ทำให้ขนาดของแผ่นย่อยแต่ละแผ่นย่อยเล็กลง เมื่อสายอากาศจานสะท้อนมีจำนวนแผ่นย่อยเพิ่มขึ้นทำให้มีความสามารถเปลี่ยนแปลงทิศทางของ สนามไฟฟ้าตกกระทบจากสายอากาศป้อนกำลังได้มากขึ้น เนื่องจากสายอากาศจานสะท้อนสามารถปรับรูปลักษณะได้หลายรูปลักษณะเพิ่มมากขึ้น งานวิจัยนี้ศึกษาผลของจำนวนแผ่นย่อย โดยวิเคราะห์สายอากาศพื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้ ซึ่งผิวสะท้อนดังกล่าวมีลักษณะแบนราบและเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ที่มีค่า F/D เท่ากับ 0.35 ทั้งนี้กำหนดให้ค่าพารามิเตอร์อื่นๆ คงเดิมคือ ขนาดพื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เมตร สายอากาศชนิดโคไซน์กำลังสองเป็นสายอากาศป้อนกำลังคลื่นและแผ่นย่อยแต่ละแผ่นเป็นรูปหกเหลี่ยมด้านเท่า แต่ขนาดและจำนวนของแผ่นย่อยจะแตกต่างกัน เพื่อให้เห็นผลของขนาดและจำนวนของแผ่นย่อยของสายอากาศข้างต้น ในที่นี้ได้เปรียบ

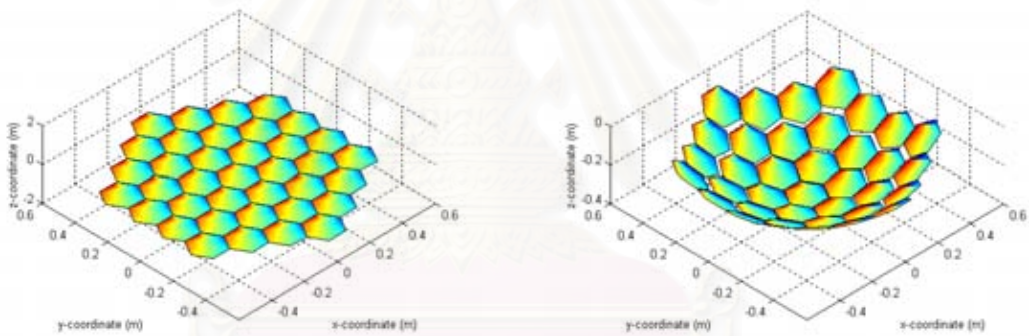
เทียบผลของขนาดและจำนวนของแผ่นย่อยรูปหกเหลี่ยมด้านเท่าในสามกรณีคือ กรณีแรกประกอบด้วยแผ่นย่อยรูปหกเหลี่ยมที่มีขนาดของด้านเท่ากับ 0.125 เมตร จำนวน 19 แผ่น กรณีที่สองประกอบด้วยแผ่นย่อยรูปหกเหลี่ยมที่มีขนาดของด้านเท่ากับ 0.1 เมตร จำนวน 37 แผ่นและประกอบด้วยแผ่นย่อยรูปหกเหลี่ยมที่มีขนาดของด้านเท่ากับ 0.07143 เมตร จำนวน 61 แผ่นดังรูป 2.16



กรณีเข้ารูปแบบแบนราบ

กรณีเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์

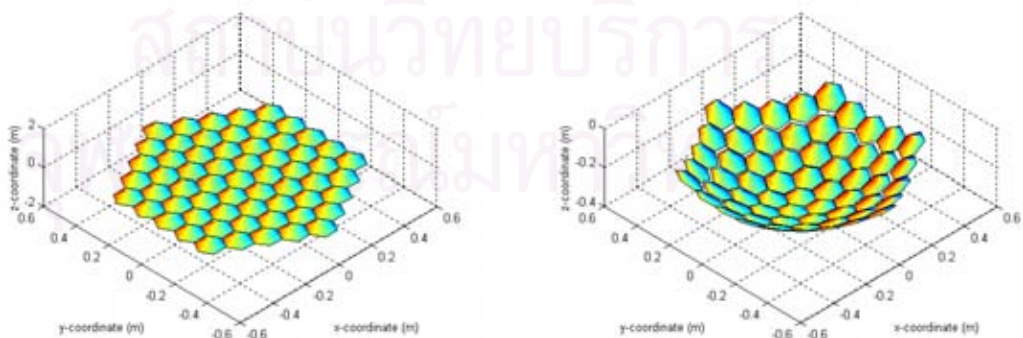
(ก) ขนาดของแผ่นย่อยเท่ากับ 0.125 เมตร จำนวน 19 แผ่น



กรณีเข้ารูปแบบแบนราบ

กรณีเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์

(ข) ขนาดของแผ่นย่อยเท่ากับ 0.1 เมตร จำนวน 37 แผ่น



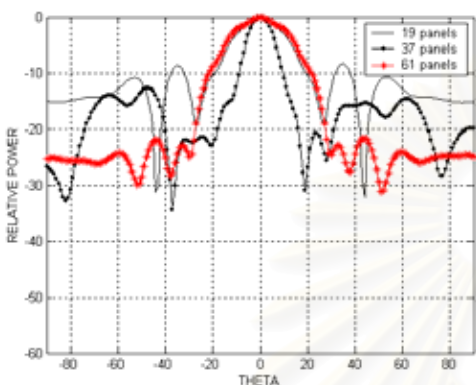
กรณีเข้ารูปแบบแบนราบ

กรณีเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์

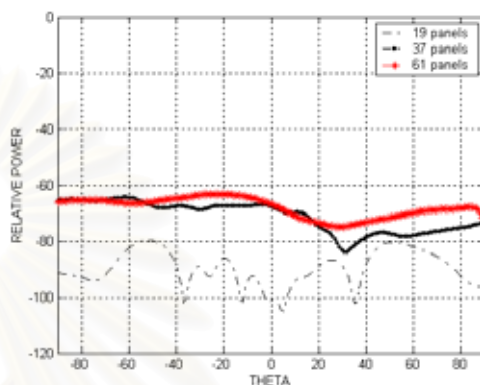
(ค) ขนาดของแผ่นย่อยเท่ากับ 0.07143 เมตร จำนวน 61 แผ่น

รูป 2.16 รูปแบบของสายอากาศชนิดจานสะท้อนแบบปรับรูปลักษณะได้โดยใช้แผ่นย่อยที่วิเคราะห์

รูป 2.17 แสดงการเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานในกรณีเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์เมื่อเลื่อนลำคลื่นไปที่มุม 0 องศา และ รูป 2.18 แสดงการเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานในกรณีจัดเรียงแบบแบนราบเมื่อเลื่อนลำคลื่นไปที่มุม 0 องศา ผลของการจัดเรียงของแผ่นย่อยในกรณีเข้ารูปทั้งสองกรณีเป็นไปดังรูป 2.19



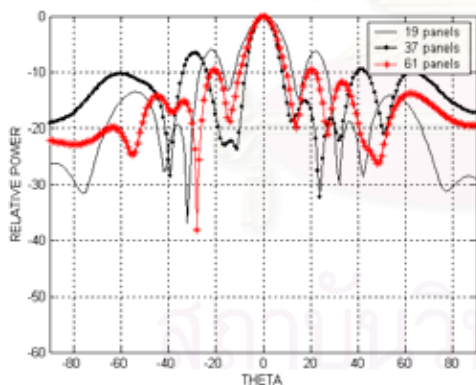
(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม



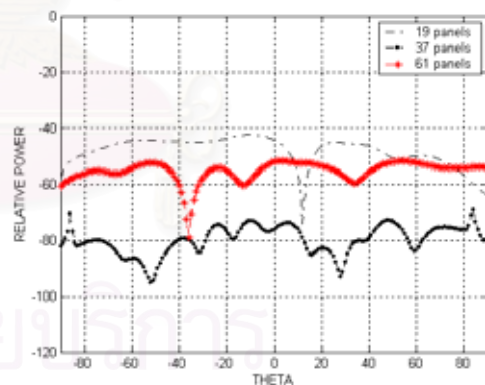
(ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้

รูป 2.17 แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อเลื่อนลำคลื่นไปที่มุม 0 องศา

สำหรับขนาดและจำนวนของแผ่นย่อยค่าต่างๆ (กรณีเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์)



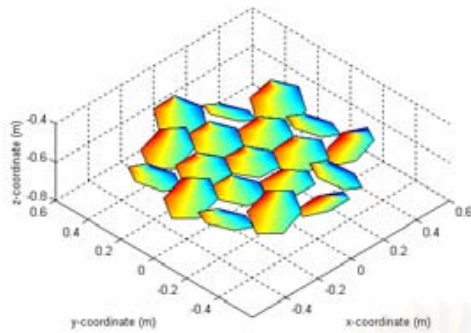
(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม



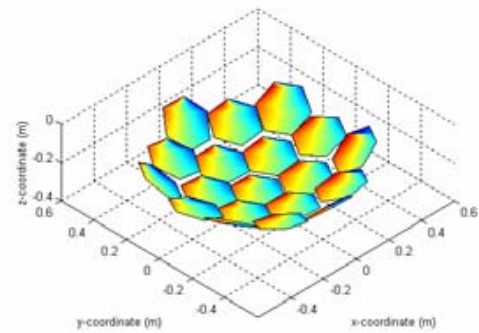
(ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้

รูป 2.18 แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อเลื่อนลำคลื่นไปที่มุม 0 องศา

สำหรับขนาดและจำนวนของแผ่นย่อยค่าต่างๆ (กรณีจัดเรียงแบบแบนราบ)

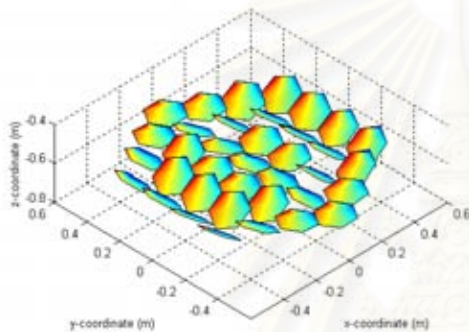


กรณีใช้รูปแบบแบนราบ

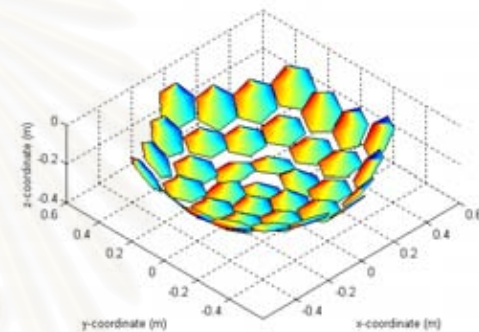


กรณีใช้รูปเป็นรูปพาราโบลอยด์

(ก) ขนาดของแผ่นย่อยเท่ากับ 0.125 เมตร จำนวน 19 แผ่น

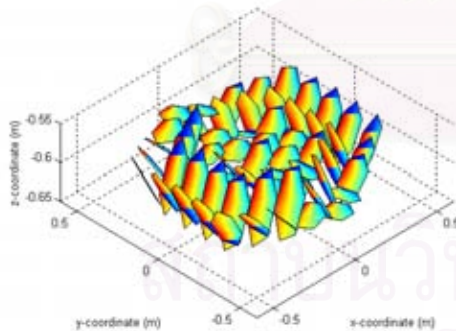


กรณีใช้รูปแบบแบนราบ

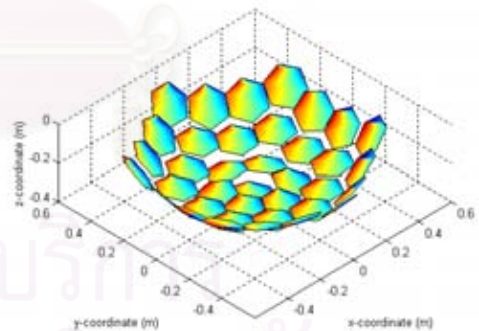


กรณีใช้รูปเป็นรูปพาราโบลอยด์

(ข) ขนาดของแผ่นย่อยเท่ากับ 0.1 เมตร จำนวน 37 แผ่น



กรณีใช้รูปแบบแบนราบ



กรณีใช้รูปเป็นรูปพาราโบลอยด์

(ค) ขนาดของแผ่นย่อยเท่ากับ 0.07143 เมตร จำนวน 61 แผ่น

รูป 2.19 รูปแบบของสายอากาศชนิดจานสะท้อนแบบปรับรูปลักษณะได้โดยใช้แผ่นย่อย
เมื่อเลื่อนลำคลื่นไปที่ 0 องศา

เมื่อใช้แผ่นย่อยที่มีขนาดและจำนวนต่างกัน สามารถให้ผลการจำลองสถานการณ์ได้ตามตาราง 2.5 กรณีใช้รูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ ดังรูป 2.17 ถึง 2.19 พบว่าเมื่อขนาดของแผ่นย่อยลดลงและมีจำนวนแผ่นย่อยเพิ่มขึ้นทำให้ระดับโวลตาไรเซชันไขว้มีค่าเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มจำนวน

แผ่นย่อยเป็นการเพิ่มความสามารถในการปรับตัวของพื้นผิว ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างแผ่นย่อยเพิ่มมากขึ้นและผลของการเลี้ยวเบนที่ขอบของแผ่นย่อยที่เพิ่มขึ้น ในกรณีจัดเรียงแบบแบนราบการเพิ่มของจำนวนของแผ่นย่อยไม่ได้แสดงให้เห็นผลอย่างชัดเจนของระดับโพลาไรเซชันไขว้ ที่เป็นเช่นนี้เพราะการจัดเรียงแผ่นย่อยแต่ละแผ่นมีการปรับตัวของพื้นผิวมาก ดังรูป 2.16 (ข) และ (ค) ในกรณีจัดเรียงแบบแบนราบ ทำให้มีการชดเชยค่าของระดับโพลาไรเซชันไขว้จากการปรับตัวของแผ่นย่อย แต่จะเกิดการล้นของช่องเปิดเพิ่มมากขึ้นดังตาราง 2.5

ตาราง 2.5 อัตราขยายและประสิทธิภาพต่างๆ เมื่อแปรเปลี่ยนขนาดและจำนวนของแผ่นย่อย

พื้นผิวจัดเรียงเป็นรูปพาราโบลอยด์		ลักษณะสมบัติต่างๆ ของสายอากาศ					
กรณี	ขนาดและจำนวนของแผ่นย่อย	G_{cp}^{steer} (dB)	G_{xp}^{steer} (dB)	P_r (วัตต์)	η_s (%)	η_A (%)	η (%)
เลื่อนลำ	0.125 เมตร 19 แผ่น	17.05	-62.76	1.360×10^{-3}	81.63	14.17	11.57
คลื่นไป	0.100 เมตร 37 แผ่น	17.15	-47.37	1.366×10^{-3}	81.98	14.43	11.83
0 องศา	0.07143 เมตร 61 แผ่น	17.06	-46.13	1.395×10^{-3}	83.72	13.84	11.58

พื้นผิวจัดเรียงในลักษณะแบนราบ		ลักษณะสมบัติต่างๆ ของสายอากาศ					
กรณี	ขนาดและจำนวนของแผ่นย่อย	G_{cp}^{steer} (dB)	G_{xp}^{steer} (dB)	P_r (วัตต์)	η_s (%)	η_A (%)	η (%)
เลื่อนลำ	0.125 เมตร 19 แผ่น	17.20	-25.13	1.117×10^{-3}	70.62	16.94	11.97
คลื่นไป	0.100 เมตร 37 แผ่น	17.19	-52.11	1.118×10^{-3}	70.73	16.89	11.95
0 องศา	0.07143 เมตร 61 แผ่น	17.13	-34.59	1.109×10^{-3}	66.56	17.69	11.77

2.4 ผลของอัตราขยาย

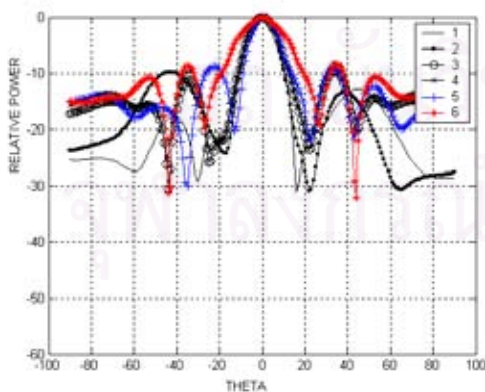
การกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในระเบียบวิธีทำให้เหมาะสมที่สุดสามารถกำหนดค่าของอัตราขยายเพื่อให้ได้แบบรูปการแผ่พลังงานตามต้องการ ทั้งนี้การกำหนดค่าของอัตราขยายดังกล่าวอาจจะไม่ให้ผลของค่าตอบตามที่กำหนดไว้ ถ้าค่าของอัตราขยายมีค่ามากแสดงว่าสายอากาศมีการป้อนกำลังงานไปในทิศทางที่กำหนดได้มากจะทำให้ความกว้างของลำคลื่นมีค่าลดลงในทางกลับกันถ้ากำหนดค่าของอัตราขยายมีค่าน้อยแสดงว่าสายอากาศมีการป้อนกำลังงานไปในทิศทางที่กำหนดลดลงและจะไปปรากฏอยู่ในทิศทางอื่นแทนทำให้ความกว้างของลำคลื่นมีค่ามากขึ้นในที่นี้ศึกษาการเพิ่มค่าหรือลดค่าของอัตราขยายที่จะส่งผลกระทบต่อความกว้างของลำคลื่นและการกำหนดค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นไปดังตาราง 2.6 เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจะใช้สายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อยที่จัดเรียงในลักษณะ

แบนราบและแบบที่เกิดจากการเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ที่มีค่า F/D เท่ากับ 0.35 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.0 เมตร และกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์อื่นๆ มีค่าคงเดิมคือ ความถี่ปฏิบัติการ 2 GHz จำนวน 19 แผ่น เลื่อนลำคลื่นไปที่ 0 องศา

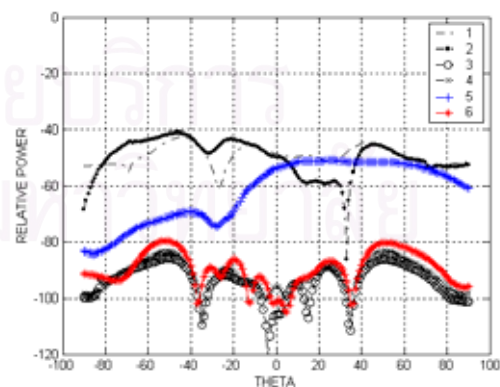
ตาราง 2.6 อัตราขยายแนวโพลาริเซชันร่วมที่ใช้ศึกษาผลของอัตราขยาย

กรณีที่	อัตราขยายแนวโพลาริเซชันร่วมที่ต้องการ (dB)	กรณีที่	อัตราขยายแนวโพลาริเซชันร่วมที่ต้องการ (dB)
1	[22 23 22]	2	[21 22 21]
3	[20 21 20]	4	[19 20 19]
5	[18 19 18]	6	[17 18 17]
7	[22.5 23 22.5]	8	[21.5 22 21.5]
9	[20.5 21 20.5]	10	[19.5 20 19.5]
11	[18.5 19 18.5]	12	[17.5 18 17.5]
13	[22.8 23 22.8]	14	[21.8 22 21.8]
15	[20.8 21 20.8]	16	[19.8 20 19.8]
17	[18.8 19 18.8]	18	[17.8 18 17.8]

รูป 2.18 ถึง รูป 2.20 แสดงการเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานในกรณีเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์เมื่อเปลี่ยนผลของอัตราขยาย

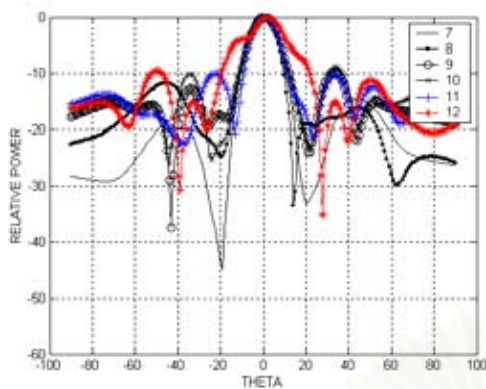


(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม

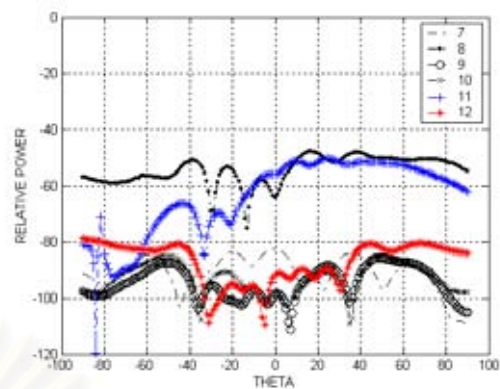


(ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้

รูป 2.20 แบบรูปการแผ่พลังงานกรณีเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ที่อัตราขยายต่างกัน เลื่อนลำคลื่นไปที่ 0 องศา (1-6)

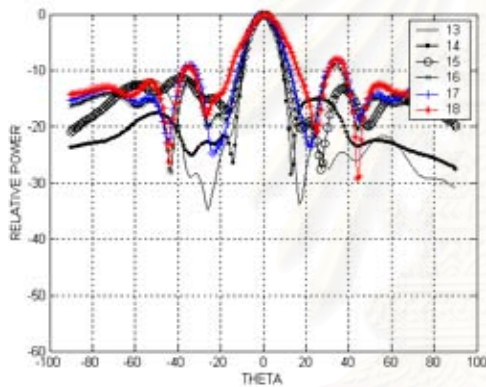


(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม

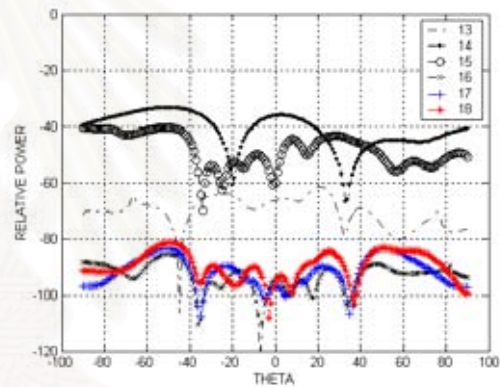


(ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้

รูป 2.21 แบบรูปการแผ่พลังงานกรณีเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ที่อัตราขยายต่างกัน
เลื่อนลำคลื่นไปที่ 0 องศา (7-12)



(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม



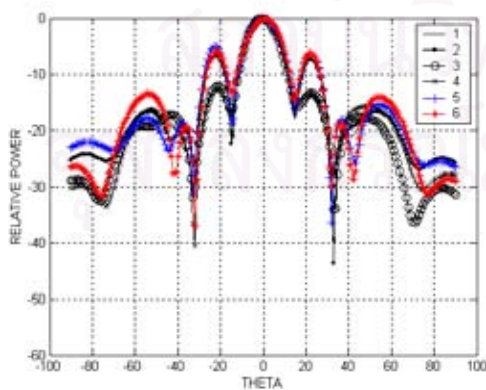
(ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้

รูป 2.22 แบบรูปการแผ่พลังงานกรณีเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ที่อัตราขยายต่างกัน
เลื่อนลำคลื่นไปที่ 0 องศา (13-18)

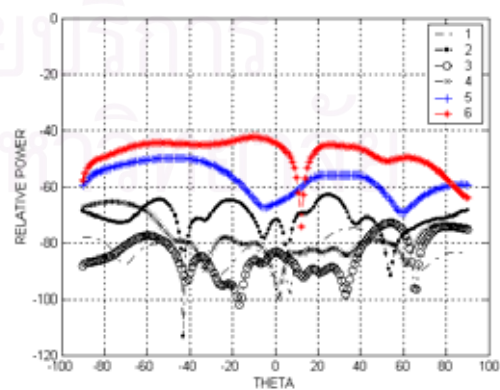
กรณีเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ดังรูป 2.18 ถึง 2.20 และตาราง 2.7 พบว่าเมื่อกำหนดค่าของอัตราขยายมากขึ้นทำให้ระดับโพลาริเซชันไขว้มีค่าเพิ่มมากขึ้น ดังกรณี 1, 2, 8, 13 และ 14 เนื่องจากการกำหนดอัตราขยายที่เพิ่มขึ้นทำให้แผ่นย่อยปรับตัวไปในทิศทางของตำแหน่งเชิงมุม 0 องศาเพื่อให้ได้อัตราขยายตามที่กำหนดและเกิดช่องว่างขึ้นมาก จากรูป 2.18 ถึง 2.20 พบว่าการลดค่าของอัตราขยายจะให้ความกว้างลำคลื่นเพิ่มขึ้นเนื่องจากการลดค่าอัตราขยายทำให้สายอากาศมีการรวมกำลังคลื่นไปในทิศทางที่เราต้องการลดลงกำลังคลื่นจึงไปปรากฏที่ตำแหน่งอื่นแทนจึงได้ความกว้างลำคลื่นที่เพิ่มขึ้น ค่าของอัตราขยายในแนวเล็งหลักที่เหมาะสมมีค่าตั้งแต่ 21 dB ลงไป และเมื่อค่าของอัตราขยายที่ตั้งไว้ห่างจากแนวเล็งหลัก 1 องศา มีค่าลดลงตั้งแต่ 0.2 dB พบว่าค่าอัตราขยายในแนวเล็งหลักที่เหมาะสมมีค่าตั้งแต่ 20 dB ลงไป

ตาราง 2.7 อัตราขยายและประสิทธิภาพต่างๆ เมื่อแปรเปลี่ยนค่าอัตราขยายกรณีเข้าสู่รูปเป็นรูปพาราโบลอยด์

พื้นผิวจัดเรียงเป็นรูปพาราโบลอยด์		ลักษณะสมบัติต่างๆ ของสายอากาศ					
กรณี	กรณีที่	G_{cp}^{steer} (dB)	G_{xp}^{steer} (dB)	P_r (วัตต์)	η_s (%)	η_A (%)	η (%)
เลื่อนลำคลื่น ไปที่ 0 องศา	1	22.10	-20.61	1.562×10^{-3}	93.75	39.49	37.02
	2	21.11	-20.23	1.549×10^{-3}	92.98	31.71	29.48
	3	20.08	-65.70	1.434×10^{-3}	86.07	26.99	23.23
	4	19.07	-64.40	1.419×10^{-3}	85.15	21.65	18.44
	5	18.31	-32.78	1.392×10^{-3}	83.53	18.51	15.46
	6	17.05	-62.76	1.360×10^{-3}	81.63	14.17	11.57
	7	22.59	-59.96	1.560×10^{-3}	93.63	44.22	41.14
	8	21.62	-26.38	1.546×10^{-3}	92.18	35.70	33.14
	9	20.66	-65.05	1.446×10^{-3}	86.78	30.59	26.54
	10	19.58	-65.25	1.426×10^{-3}	85.60	24.20	20.17
	11	18.71	-31.72	1.436×10^{-3}	84.06	20.18	16.96
	12	18.13	-60.74	1.402×10^{-3}	84.16	17.61	14.82
	13	22.90	-38.61	1.514×10^{-3}	90.86	49.00	44.52
	14	21.89	-11.51	1.545×10^{-3}	92.75	36.80	35.05
	15	20.91	-19.46	1.469×10^{-3}	88.15	31.90	28.12
	16	19.97	-65.44	1.433×10^{-3}	86.03	26.31	22.64
	17	18.88	-64.47	1.416×10^{-3}	85.00	20.75	17.63
	18	18.05	-63.45	1.383×10^{-3}	82.99	17.55	14.57



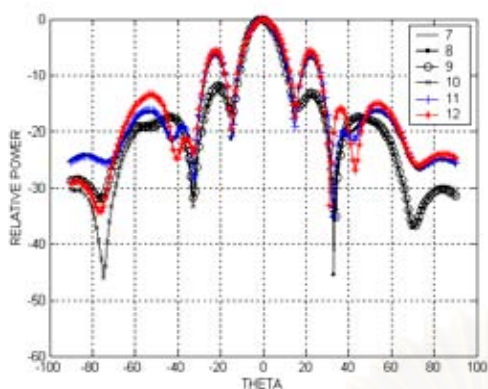
(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม



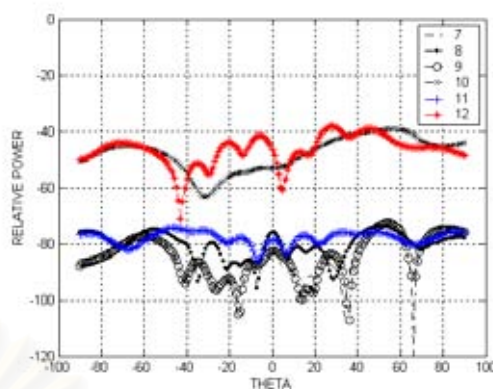
(ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้

รูป 2.23 แบบรูปการแผ่พลังงานกรณีเข้าสู่รูปเป็นรูปแบบแบนราบที่อัตราขยายต่างกัน

เลื่อนลำคลื่นไปที่ 0 องศา (1-6)

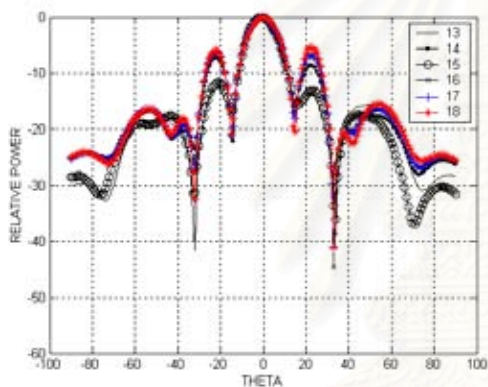


(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม

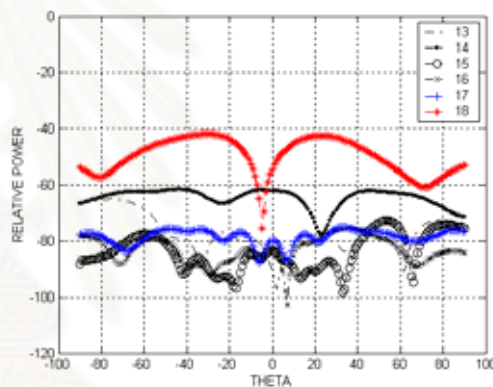


(ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้

รูป 2.24 แบบรูปการแผ่พลังงานกรณีเข้าสู่รูปแบบแบนราบที่อัตราขยายต่างกัน
เลื่อนลําคลื่นไปที่ 0 องศา (7-12)



(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม



(ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้

รูป 2.25 แบบรูปการแผ่พลังงานกรณีเข้าสู่รูปแบบแบนราบที่อัตราขยายต่างกัน
เลื่อนลําคลื่นไปที่ 0 องศา (13-18)

กรณีจัดเรียงแบบแบนราบดังรูป 2.21 ถึง 2.23 และตาราง 2.8 พบว่าเมื่อกำหนดค่าของอัตราขยายมากขึ้นสายอากาศที่มีพื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้ที่มีผิวสะท้อนแบนราบไม่สามารถให้อัตราขยายตามที่กำหนดไว้ในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้ เมื่อพิจารณาตาราง 2.8 พบว่าค่าของอัตราขยายในแนวโพลาริเซชันร่วมมีค่าไม่เกิน 18.1 dB โพลาริเซชันไขว้ที่เกิดขึ้น ไม่สามารถบ่งบอกได้ชัดเจนเนื่องจากการจัดเรียงแบบแบนราบนั้นระดับโพลาริเซชันไขว้ที่เกิดขึ้น ขึ้นอยู่กับการปรับตัวของพื้นผิวสะท้อนว่าเกิดความไม่ต่อเนื่องของกระแสที่บริเวณขอบและผลของช่องว่างที่เกิดขึ้น

ตาราง 2.8 อัตราขยายและประสิทธิภาพต่างๆ เมื่อแปรเปลี่ยนค่าอัตราขยายกรณีจัดเรียงแบบแบนราบ

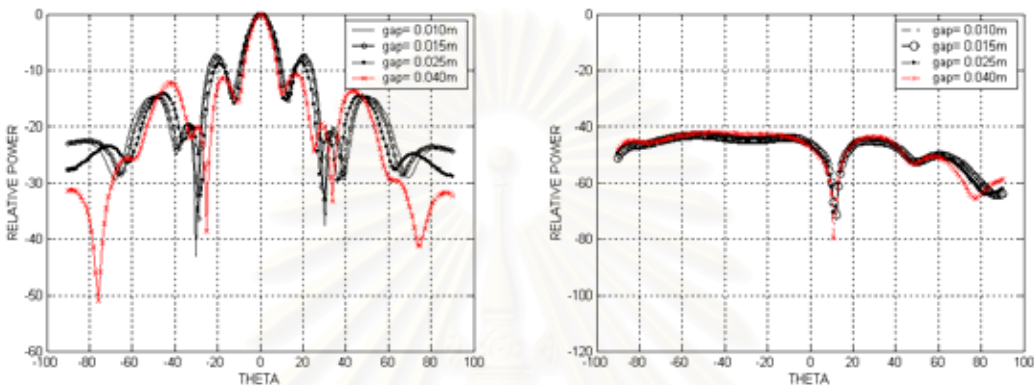
พื้นผิวจัดเรียงในลักษณะแบนราบ		ลักษณะสมบัติต่างๆ ของสายอากาศ					
กรณี	กรณีที	G_{cp}^{steer} (dB)	G_{xp}^{steer} (dB)	P_r (วัตต์)	η_s (%)	η_A (%)	η (%)
เลื่อนลำคลื่น ไปที่ 0 องศา	1	17.99	-56.73	1.188×10^{-3}	71.31	20.12	14.35
	2	18.01	-44.92	1.189×10^{-3}	71.38	20.23	14.44
	3	18.01	-54.79	1.181×10^{-3}	70.87	20.35	14.42
	4	18.05	-47.42	1.116×10^{-3}	66.97	21.77	14.58
	5	17.87	-32.03	1.183×10^{-3}	71.03	19.66	13.96
	6	17.20	-25.13	1.177×10^{-3}	70.62	16.94	11.97
	7	18.02	-55.09	1.181×10^{-3}	70.89	20.42	14.48
	8	18.00	-55.81	1.188×10^{-3}	71.34	20.19	14.40
	9	18.02	-54.48	1.181×10^{-3}	70.89	20.40	14.46
	10	17.97	-21.24	1.169×10^{-3}	70.19	20.38	14.30
	11	17.96	-56.38	1.187×10^{-3}	71.27	20.03	14.28
	12	17.58	-20.63	1.189×10^{-3}	71.35	18.34	13.09
	13	18.05	-47.19	1.111×10^{-3}	66.91	21.78	14.57
	14	18.11	-43.63	1.190×10^{-3}	71.42	20.67	14.76
	15	18.02	-54.72	1.181×10^{-3}	70.89	20.43	14.48
	16	18.01	-57.42	1.189×10^{-3}	71.34	20.20	14.41
	17	17.98	-57.23	1.188×10^{-3}	71.31	20.10	14.33
	18	17.87	-24.12	1.187×10^{-3}	71.26	19.61	13.97

2.5 ผลของช่องว่างระหว่างแผ่นย่อย

สายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อย ใช้แผ่นย่อยในการจัดเรียงเข้ารูปเป็นรูปสายอากาศ การเข้ารูปดังกล่าวในความเป็นจริงแล้วไม่สามารถเข้ารูปให้ชิดกันสนิทได้ทำให้มีช่องว่างระหว่างแผ่นเกิดขึ้น ช่องว่างที่เกิดขึ้นทำให้เกิดกระแสไม่ต่อเนื่องและการสูญเสียกำลังงานไปในช่องว่าง ในหัวข้อนี้จะศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นของช่องว่างระหว่างแผ่นย่อย โดยศึกษาจากสายอากาศที่มีพื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้จัดเรียงในลักษณะแบนราบ และแบบที่เกิดจากการเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ที่มีค่า F/D เท่ากับ 0.35 กำหนดให้ค่าพารามิเตอร์อื่นๆ มีค่าคงเดิม คือ ขนาดพื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.0 เมตร ใช้สายอากาศชนิดโคไซน์กำลังสองเป็นสายอากาศป้อนกำลังคลื่น

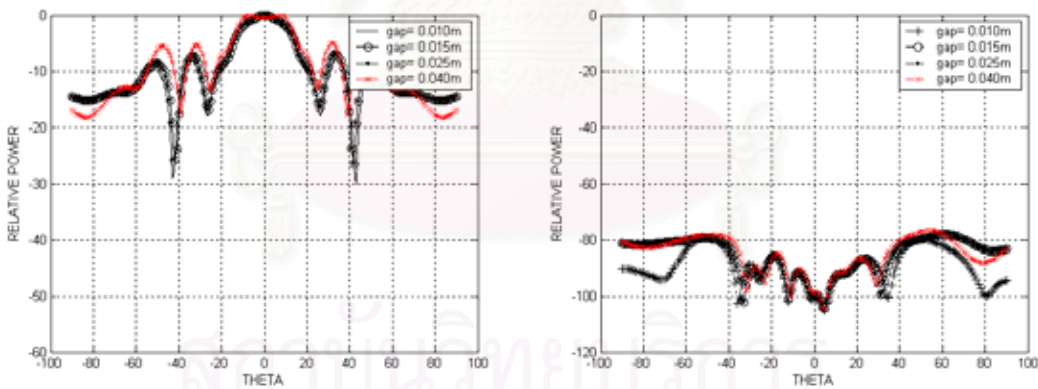
เพื่อให้เห็นผลของช่องว่างระหว่างแผ่นย่อยแต่ละแผ่นของสายอากาศข้างต้น ในที่นี้ได้เปรียบเทียบผลของช่องว่างระหว่างแผ่นย่อยแต่ละแผ่นในสี่กรณี คือ ช่องว่างระหว่างแผ่นย่อยแต่ละแผ่นเท่ากับ 0.01 เมตร, 0.015 เมตร, 0.025 เมตร และ 0.04 เมตร

ผลของช่องว่างระหว่างแผ่นย่อยแต่ละแผ่นในสี่กรณีข้างต้นเมื่อเลื่อนลำคลื่นไปที่มุม 0 องศา เป็นดังรูป 2.24 และ 2.25 ตามลำดับ



(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม (ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้

รูป 2.26 แบบรูปการแผ่พลังงานในเมื่อเลื่อนลำคลื่นไปที่มุม 0 องศา สำหรับช่องว่างระหว่างแผ่นย่อยแต่ละแผ่นค่าต่างๆ กรณีจัดเรียงในลักษณะแบนราบ



(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม (ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้

รูป 2.27 แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อเลื่อนลำคลื่นไปที่มุม 0 องศา สำหรับช่องว่างระหว่างแผ่นย่อยแต่ละแผ่นค่าต่างๆ แบบที่เกิดจากการเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์

พิจารณารูป 2.24 รูป 2.25 และตาราง 2.9 จะเห็นว่าขนาดของช่องว่างระหว่างแผ่นย่อยแต่ละแผ่นส่งผลกระทบต่อระดับโพลาริเซชันไขว้เมื่อขนาดของช่องว่างเพิ่มมากขึ้นทำให้ระดับโพลาริเซชันไขว้มีค่าสูงชันทั้งในกรณีจัดเรียงแบบแบนราบและกรณีเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ ดังตาราง 2.9

และเมื่อช่องว่างระหว่างแผ่นเพิ่มมากกว่า 0.015 เมตร ในกรณีเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์จะส่งผลกระทบต่อแบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชันร่วมโดยตำแหน่งศูนย์ตื้นขึ้นและพูข้างมีระดับยกสูงขึ้นดังรูป 2.25 (ก) ในกรณีจัดเรียงแบบแบนราบไม่ได้ส่งผลกระทบต่อแบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชันร่วมและโพลาริเซชันไขว้มากนัก ถ้าช่องว่างมีค่ามากกว่า 0.025 เมตร ระดับความลึกของตำแหน่งศูนย์จะตื้นขึ้น แบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชันร่วมเกิดการบิดเบี้ยวไปอย่างมาก และกำลังงานที่รับได้จะมีค่าลดลงเมื่อขนาดของช่องว่างเพิ่มมากขึ้น ดังตาราง 2.9

ตาราง 2.9 อัตราขยายและประสิทธิภาพต่างๆ เมื่อแปรเปลี่ยนขนาด

ช่องว่างระหว่างแผ่นย่อยแต่ละแผ่น

พื้นผิวจัดเรียงในลักษณะแบนราบ		ลักษณะสมบัติต่างๆ ของสายอากาศ					
กรณี	gap_{panel} (เมตร)	G_{cp}^{steer} (dB)	G_{xp}^{steer} (dB)	P_r (วัตต์)	η_s (%)	η_A (%)	η (%)
เลื่อนลำคลื่น ไป 0 องศา	0.010	17.92	-25.55	1.114×10^{-3}	66.87	21.14	14.13
	0.015	18.16	-24.95	1.084×10^{-3}	65.07	22.96	14.94
	0.025	18.38	-24.17	1.027×10^{-3}	61.61	25.51	15.72
	0.040	18.09	-23.95	0.987×10^{-3}	56.81	25.90	14.71

พื้นผิวจัดเรียงเป็นรูปพาราโบลอยด์		ลักษณะสมบัติต่างๆ ของสายอากาศ					
กรณี	gap_{panel} (เมตร)	G_{cp}^{steer} (dB)	G_{xp}^{steer} (dB)	P_r (วัตต์)	η_s (%)	η_A (%)	η (%)
เลื่อนลำคลื่น ไป 0 องศา	0.010	17.54	-62.51	1.271×10^{-3}	76.26	10.72	8.18
	0.015	16.93	-59.75	1.188×10^{-3}	73.68	9.20	6.78
	0.025	16.40	-25.13	1.117×10^{-3}	70.62	8.94	5.97
	0.040	16.19	-43.31	1.045×10^{-3}	68.73	7.27	5.00

2.6 การลดความซับซ้อนทางกล

การปรับพื้นผิวของสายอากาศเพื่อที่จะให้ได้รูปลักษณะของสายอากาศ ใช้วิธีการปรับมอเตอร์ทั้งสองแกนดังที่กล่าวไว้แล้วข้างต้นทำให้เกิดความยุ่งยากในการติดตั้งสายอากาศ และการควบคุมการปรับพื้นผิว ในที่นี้จะศึกษาการลดความซับซ้อนทางกลหรือก็คือการลดจำนวนมอเตอร์ที่ใช้ปรับพื้นผิว โดยจะวิเคราะห์จากสายอากาศที่มีการปรับพื้นผิวหลาย ๆ กรณี แล้วสังเกตค่ามุมที่ใช้ในการปรับพื้นผิวถ้ามีค่าน้อยกว่า 5 องศาจะไม่ปรับแผ่นนั้น และวิเคราะห์ถึงผลที่เปลี่ยนแปลงไปของ

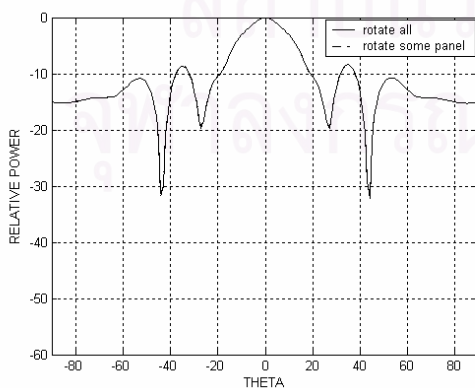
สายอากาศเมื่อไม่ปรับแผ่นย่อยนั้นๆ โดยใช้ค่าเริ่มต้นของสายอากาศคือ ขนาดสายอากาศที่ปรับรูปลักษณะได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.0 เมตร พื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้จัดเรียงในลักษณะแบนราบ และแบบที่เกิดจากการเข้ารูปร่างเป็นรูปพาราโบลอยด์ที่มีค่า F/D เท่ากับ 0.35 ใช้สายอากาศชนิดโคไซน์กำลังสองเป็นสายอากาศป้อนกำลังคลื่น ความถี่ปฏิบัติการ 2 GHz

การศึกษาลดความซับซ้อนทางกลกำหนดค่าปัจจัยดังตาราง 2.10 โดยกรณีแรกเลื่อนลำคลื่นไป 0 องศา กรณีที่ 2 เป็นการเลื่อนลำคลื่นไป 10 องศา กรณี 3 เป็นการเพิ่มขึ้นของอัตราขยายเท่ากับ 22 dB กรณีที่ 4 เป็นการปรับเปลี่ยรูปร่างของลำคลื่น การศึกษานี้จะวิเคราะห์ทั้งสองกรณีของรูปร่างเริ่มต้น

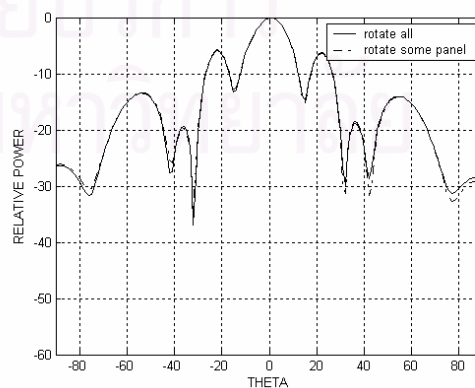
ตาราง 2.10 ค่าปัจจัยที่ใช้ศึกษาลดความซับซ้อนทางกล

กรณีที่	มุมของสายอากาศ	อัตราขยาย
1	[-1 0 1]	[17 18 17]
2	[9 10 11]	[17 18 17]
3	[-1 0 1]	[21 22 21]
4	[-1 0 1 6]	[17 18 17 15]

ผลการลดความซับซ้อนทางกลในสี่กรณีข้างต้นเป็นดังรูป 2.28 และ 2.31 ตามลำดับในที่นี้จะแสดงถึงผลที่เปลี่ยนไปของโพลาริเซชันรวมเนื่องจากผลกระทบที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยมากในแนวโพลาริเซชันไขว้ กรณีที่เกิดจากการเข้ารูปร่างเป็นรูปพาราโบลอยด์จากการคำนวณจะไม่ปรับแกนทิศในตำแหน่งของแผ่นย่อยที่ 2, 8, 13, 16 และ 18 และแกนยกในตำแหน่งแผ่นย่อยที่ 10 ในกรณีจัดเรียงในลักษณะแบนราบ จะไม่ปรับแกนทิศในตำแหน่งของแผ่นย่อยที่ 2, 10 และ 18 และแกนยกในตำแหน่งของแผ่นย่อยที่ 10

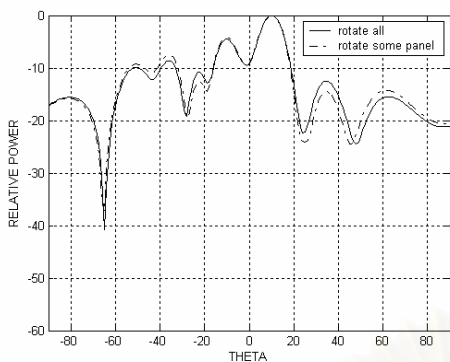


(ก) กรณีเข้ารูปร่างเป็นรูปพาราโบลอยด์

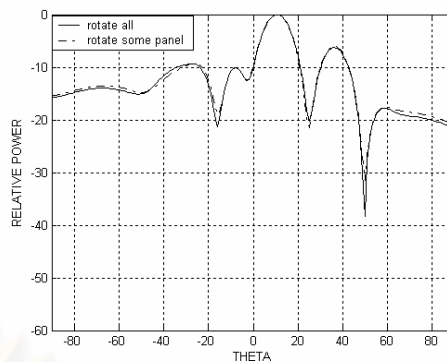


(ข) กรณีจัดเรียงในลักษณะแบนราบ

รูป 2.28 แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อเลื่อนลำคลื่นไปที่มุม 0 องศาในกรณีที่ 1

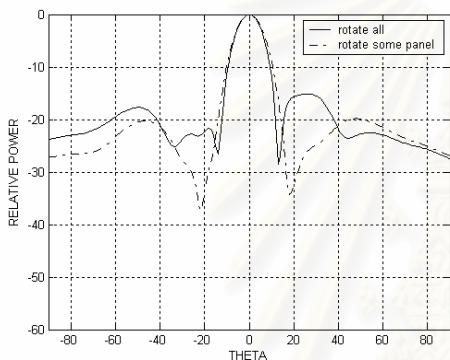


(ก) กรณีเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์

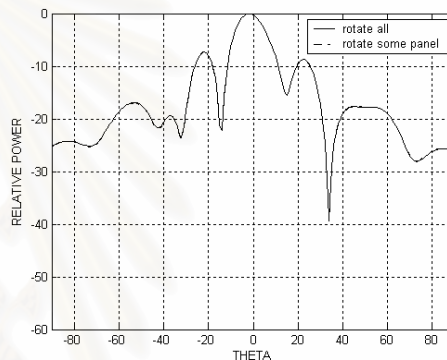


(ข) กรณีจัดเรียงในลักษณะแบนราบ

รูป 2.29 แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อเลื่อนลำคลื่นไปที่มุม 10 องศาในกรณีที่ 2

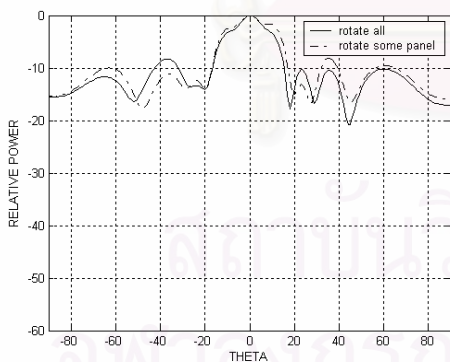


(ก) กรณีเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์

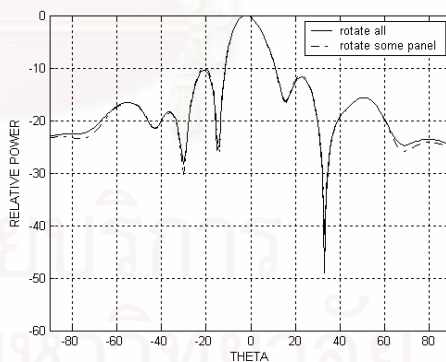


(ข) กรณีจัดเรียงในลักษณะแบนราบ

รูป 2.30 แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อเลื่อนลำคลื่นไปที่มุม 0 องศาในกรณีที่ 3



(ก) กรณีเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์



(ข) กรณีจัดเรียงในลักษณะแบนราบ

รูป 2.31 แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อเลื่อนลำคลื่นไปที่มุม 0 องศาในกรณีที่ 4

พิจารณาผลการคำนวณพบว่ากรณีไม่ปรับแผ่นย่อยบางแผ่นสามารถให้แบบรูปการแผ่พลังงานที่มีค่าใกล้เคียงกับแบบรูปการแผ่พลังงานในกรณีปรับแผ่นย่อยทุกแผ่น แต่ผลของการไม่ปรับแผ่นย่อยนั้นจะทำให้ตำแหน่งศูนย์ตื้นขึ้นดังรูป 2.30 และรูป 2.31 ในบางกรณีพบว่าแบบรูปการแผ่พลังงานระดับพูข้างผิดเพี้ยนไปอย่างมากดังรูป 2.29

สรุป

การศึกษาขีดจำกัดเชิงสมรรถนะของสายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ทีประกอบจากแผ่นย่อยพบว่าในกรณีไม่ปรับพื้นผิวสะท้อนเมื่อขนาดของสายอากาศเพิ่มมากขึ้นประสิทธิภาพของสายอากาศลดลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการเพิ่มขนาดของสายอากาศได้เลื่อนสายอากาศป้อนกำลังคลื่นออกจากจุดโฟกัสมากกว่าในกรณีที่มีขนาดมีค่าน้อยกว่า ทำให้การรวมกำลังงานไปที่ 0 องศาลดลงและออกไปในทิศทางอื่นแทน ในกรณีเลื่อนลำคลื่นไปยังตำแหน่งเชิงมุมที่ 0 องศา และ 10 องศา พบว่าประสิทธิภาพของสายอากาศก็ลดลงเช่นกัน เนื่องจากประสิทธิภาพของสายอากาศจะพิจารณาตามขนาดของสายอากาศ แต่ในที่นี้กำหนดค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ให้มีค่าอัตราขยายในแนวโพลาริเซชันร่วมเท่ากับ 18 dB ทำให้กำลังงานจะออกไปในทิศทางอื่น ระดับของพู่ข้างจึงมีค่าเพิ่มมากขึ้น ในกรณีเลื่อนลำคลื่นไป 10 องศาพบว่ากรณีเข้ารูปร่างแบบแบนราบสามารถให้ลำคลื่นได้ดีกว่าแบบพาราโบลอยด์ เนื่องจากกรณีที่จัดเรียงเป็นรูปพาราโบลอยด์เมื่อสายอากาศมีขนาดใหญ่ขึ้นการรวมกำลังงานไปที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ 0 องศาจะมีค่ามากทำให้การเลื่อนไปของลำคลื่นยังคงเหลือกำลังงานที่บริเวณตำแหน่งเชิงมุมที่ 0 องศาทำให้ระดับพู่ข้างสูงกว่าในกรณีจัดเรียงแบบแบนราบค่าของขนาดที่เหมาะสมคือ 1.0 เมตร

รูปร่างเริ่มต้นของสายอากาศนั้นในกรณีของการเข้ารูปร่างเป็นรูปพาราโบลอยด์ที่มีค่า F/D เท่ากับ 0.60 พบว่า การเลื่อนลำคลื่นนั้นไม่สามารถเลื่อนลำคลื่นของแนวเล็งหลักไปยังตำแหน่งเชิงมุม 10 องศาได้เท่าที่ควรกรณีของการเข้ารูปร่างเป็นรูปพาราโบลอยด์ที่มีค่า F/D เท่ากับ 0.25 ค่าของโพลาริเซชันร่วมมีค่าสูงกว่ากรณีของการเข้ารูปร่างเป็นรูปพาราโบลอยด์ที่มีค่า F/D เท่ากับ 0.35

เมื่อเพิ่มจำนวนแผ่นย่อยพบว่า จำนวนแผ่นย่อยมากขึ้นและขนาดของแผ่นย่อยลดลง ทำให้พื้นผิวมีความสามารถในการปรับเปลี่ยนรูปลักษณะเพิ่มมากขึ้น ในกรณีจัดเรียงแบบพาราโบลอยด์ พบว่าเมื่อเกิดการปรับพื้นผิวที่มากขึ้นช่องว่างระหว่างพื้นผิวเพิ่มมากขึ้นและเกิดการเลี้ยวเบนที่ขอบมากขึ้นทำให้ระดับโพลาริเซชันไขว้มีค่าสูงขึ้น ในกรณีการจัดเรียงแบบแบนราบเมื่อเพิ่มจำนวนแผ่นย่อยมากขึ้นและขนาดของแผ่นย่อยลดลง ไม่ได้ให้ข้อสรุปเดียวกันเนื่องจากช่องว่างที่เกิดขึ้นในการจัดเรียงแบบแบนราบถูกชดเชยจากการปรับตัวของแผ่นย่อยแผ่นอื่น

อัตราขยายที่เหมาะสมมีค่าอยู่ระหว่าง 21-18 dB ในกรณีจัดเรียงแบบพาราโบลอยด์ และในกรณีจัดเรียงแบบแบนราบค่าของอัตราขยายที่เหมาะสมเท่ากับ 18 dB

ผลของช่องว่างระหว่างแผ่นย่อยในกรณีจัดเรียงแบบพาราโบลอยด์ ผลของช่องว่างจะส่งผลกระทบต่อโพลาริเซชันร่วมและระดับโพลาริเซชันไขว้ เมื่อขนาดของช่องว่างมีค่าเกิน 0.015 เมตร กรณีจัดเรียงแบบแบนราบผลกระทบดังกล่าวมีค่าน้อย แต่ถ้าช่องว่างมีค่ามากกว่า 0.025 เมตรระดับความลึกของตำแหน่งศูนย์จะตื้นขึ้น แบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชันร่วมเกิดการผิดเพี้ยนไปอย่างมาก

บทที่ 3

การประยุกต์ใช้งาน

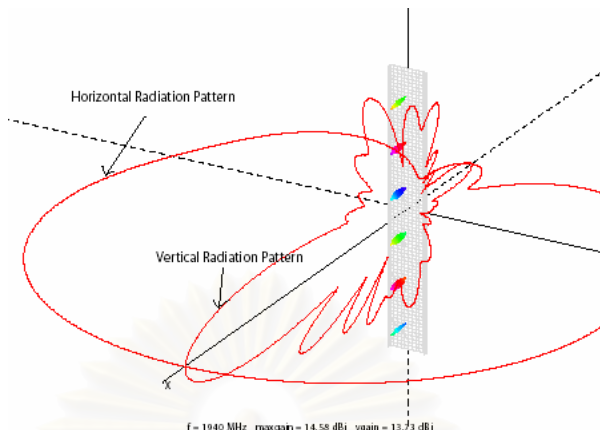
ความนำ

ปริมาณการใช้งานที่เพิ่มมากขึ้นในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ทำให้เกิดความต้องการของระบบเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งในระบบยุคที่สามมีความมีความต้องการสายอากาศที่สามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบของลำคลื่นโดยการเลื่อนไปของลำคลื่นตามผู้ใช้งาน การเพิ่มหรือลดพื้นที่ครอบคลุมโดยการปรับความกว้างลำคลื่นกำลังเพื่อรองรับปริมาณผู้ใช้งานที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงของเขตบริการย่อยข้างเคียง ดังนั้นการออกแบบเขตบริการย่อยให้ครอบคลุมพื้นที่บริการได้อย่างทั่วถึงจึงมีความต้องการการปรับเปลี่ยนทิศทางลำคลื่นของสายอากาศมากกว่า 1 ทิศทาง เช่น ปรับมุมก้มเงยของสายอากาศเพื่อรองรับการใช้งานในตึกสูงในตอนกลางวันและบนถนนในตอนเย็น การขาดเซกเมนต์ที่เกิดขึ้นในระบบสื่อสารเคลื่อนที่ การรองรับปริมาณผู้ใช้ที่หนาแน่นของเซลล์ข้างเคียง เป็นต้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ศึกษาความสามารถในการเปลี่ยนพื้นที่ครอบคลุมของสายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อย

ระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมและชายเชื่อมโยงภาคพื้นดิน มักประสบปัญหาจากสภาวะอากาศที่เปลี่ยนแปลงทำให้ปริมาณไอน้ำในบรรยากาศมีการเปลี่ยนแปลง ปริมาณไอน้ำที่มีมากทำให้เกิดการลดทอนอย่างมาก งานวิจัย [17], [18] พบว่าการเลื่อนหรือปรับมุมของลำคลื่นสามารถช่วยให้คุณภาพของระบบดีขึ้น โดยดูจากค่าความผิดพลาดบิตที่ลดลง โดยในงานวิจัยดังกล่าวได้เลื่อนลำคลื่นไป 1 องศาถึง 5 องศาจากแนวตั้งหลักพบว่าค่าความผิดพลาดบิตลดลงเมื่อเทียบกับกรณีไม่เลื่อนลำคลื่นและมีผลกระทบจากชั้นบรรยากาศ จึงเกิดความต้องการทางด้านการปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงาน ในที่นี้ศึกษาการประยุกต์ใช้งานโดยใช้สายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อย

3.1 การประยุกต์ใช้งานเป็นสายอากาศสถานีฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

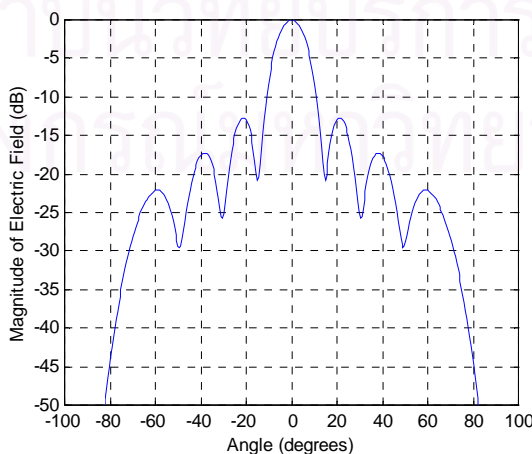
การออกแบบสายอากาศสำหรับสถานีฐานในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นในปัจจุบันจะออกแบบให้มีการกระจายคลื่นทุกทิศทางดังรูป 3.1 ปัจจัยหลักในการออกแบบคือปริมาณผู้ใช้งานและการเขตบริการย่อย ส่วนใหญ่จะใช้สายอากาศแบบแถวลำดับเป็นสายอากาศสำหรับสถานีฐานทำให้ในระนาบแนวระดับของแบบรูปการแผ่พลังงานมีการกระจายกำลังคลื่นทุกทิศทาง และอัตราขยายเท่ากับ 12 dB ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบแนวระดับเท่ากับ 65 องศา และในระนาบแนวตั้ง 35 องศา



รูป 3.1 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่เป็นสายอากาศสถานีฐาน [1]

ในระบบยุคที่ 3 มีปริมาณผู้ใช้งานซึ่งคาดว่าจะเพิ่มมากขึ้น โดยกำหนดให้มีอัตราการส่งข้อมูลได้รวดเร็วขึ้น ขนาดของแถบความถี่มากขึ้น ความต้องการของสายอากาศที่สามารถปรับเปลี่ยนรูปร่างของลำคลื่นได้ โดยการเลื่อนไปของลำคลื่นตามผู้ใช้งาน การเพิ่มหรือลดพื้นที่ครอบคลุมโดยการปรับความกว้างลำคลื่นกำลังเพื่อรองรับปริมาณผู้ใช้งานที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงของเซตบริการย่อยข้างเคียง ซึ่งในระบบยุคที่สามนั้นจะใช้สายอากาศแก่งเป็นสายอากาศสถานีฐาน โดยสายอากาศแก่งจะใช้สายอากาศแถวลำดับเชิงระนาบ (planar array antenna) เป็นสายอากาศป้อนกำลังคลื่น งานวิจัย [19] ได้ออกแบบให้มีความสามารถในการปรับเปลี่ยนลำคลื่นได้โดยใช้องค์ประกอบแถวลำดับเท่ากับ 8x8 องค์ประกอบ ร่วมกับระบบโครงข่ายสร้างลำคลื่น ในการสร้างลำคลื่น อัตราขยายที่ได้เท่ากับ 15 dB ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบแนวระดับเท่ากับ 14 องศา และ ในระนาบแนวตั้ง 25 องศา [19] แบบรูปการแผ่พลังงานเป็นไปดังรูป

3.2



รูป 3.2 แบบรูปการแผ่พลังงานสายอากาศแก่ง

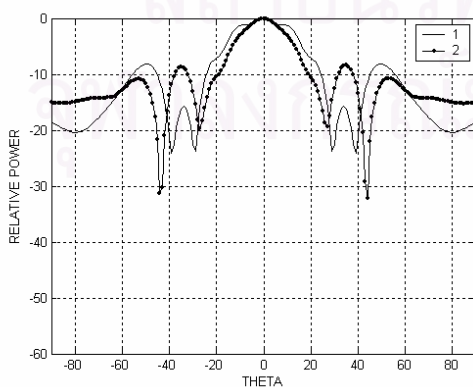
ในโครงข่ายสร้างลำคลื่นนั้นมีความซับซ้อนในแง่การควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ และมีปัญหาในเรื่องของความร้อนที่เกิดขึ้นจากตัวขยายกำลัง ดังนั้นจึงต้องมีระบบควบคุมการกระจายของพลังงานความร้อนซึ่งมีราคาสูงมาก วิทยานิพนธ์นี้จะใช้สายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อยมาประยุกต์ใช้งานเป็นสายอากาศสถานีฐาน โดยศึกษาการปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานเพื่อสังเกตการเปลี่ยนพื้นที่ครอบคลุมซึ่งออกแบบคุณลักษณะพื้นฐานให้ใกล้เคียงกับสายอากาศแก่ง ค่าปัจจัยเริ่มต้นของสายอากาศ คือ ขนาดพื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เมตร โดยใช้ขนาดของแผ่นย่อยแต่ละแผ่นเท่ากับ 0.125 เมตร และใช้จำนวนแผ่นย่อย 19 แผ่น มาประกอบเข้ารูปกัน ทำงานที่ความถี่ปฏิบัติการ 2 GHz สายอากาศที่ใช้เข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์มีค่า F/D เท่ากับ 0.35 และจัดเรียงผิวสะท้อนเป็นแบบแบนราบ เหตุผลที่เลือกใช้สายอากาศเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1 เมตร เนื่องจากผลการศึกษาพบว่าขนาดดังกล่าวให้ความกว้างลำคลื่นกำลังมากที่สุดเพื่อที่จะให้พื้นที่ครอบคลุมมากตามไปด้วย หากขนาดน้อยกว่านี้พบว่าการปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานนั้นทำได้ยาก สำหรับสาเหตุที่ใช้จำนวนแผ่นย่อย 19 แผ่น เนื่องจากผลการศึกษาในบทที่ 2 พบว่าการเพิ่มจำนวนแผ่นย่อยไม่ได้ช่วยในการปรับเปลี่ยนลำคลื่น ทั้งยังเพิ่มระดับโพลาริเซชันไขว้และเกิดการสูญเสียกำลังงานเพิ่มมากขึ้น

การศึกษาการเปลี่ยนพื้นที่ครอบคลุมจะศึกษาค่าปัจจัยที่ใช้ในการปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อย ดังตาราง 3.1 โดยกรณีต่างๆ นั้นได้จำลองสถานการณ์ต่างๆ ที่มีผู้ใช้งานแตกต่างกัน โดยสามารถแบ่งค่าปัจจัยต่างๆ ได้เป็น 5 กลุ่มคือกลุ่มที่ 1 ในกรณีปกติดังกรณีที่ 1 ที่ไม่มีการปรับพื้นผิวของจานสะท้อน กรณีที่ 2 ปรับพื้นผิวสะท้อนให้ได้ลำคลื่นที่ศูนย์กลาง กลุ่มที่ 2 เป็นกรณีที่ปรับแบบรูปการแผ่พลังงานสร้างตำแหน่งศูนย์และเพิ่มความกว้างของลำคลื่นดังกรณีที่ 3 ถึงกรณีที่ 5 โดยในกรณีที่ 3 และกรณีที่ 5 เป็นกรณีที่มีผู้ใช้งานเพิ่มมากขึ้นทางด้านตำแหน่งเชิงมุมที่ -10 องศาและ -15 องศาตามลำดับ กลุ่มที่ 3 จะเป็นกรณีการเพิ่มอัตราขยายเพื่อศึกษาพื้นที่ครอบคลุมดังกรณีที่ 6 ถึงกรณีที่ 8 กลุ่มที่ 4 เป็นกรณีที่ปรับค่าของลำคลื่นให้มีความกว้างของลำคลื่นเพิ่มมากขึ้นเพื่อรองรับปริมาณผู้ใช้งานที่เพิ่มขึ้นดังกรณีที่ 9 ถึงกรณีที่ 11 และกลุ่มสุดท้าย กลุ่มที่ 5 จะเป็นกรณีที่พื้นผิวเริ่มต้นจัดเรียงแบบแบนราบโดยจะจำลองสถานการณ์ของผู้ใช้งานที่มีลักษณะเช่นเดียวกับกรณีที่เกิดจากการเข้ารูปเป็นสายอากาศพาราโบลอยด์เพื่อเปรียบเทียบบนกรณีที่ 12 ถึงกรณีที่ 15

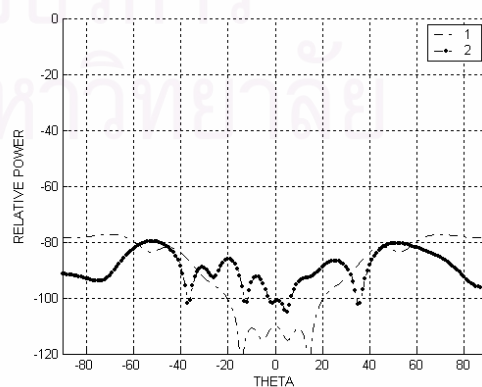
ตาราง 3.1 ค่าปัจจัยของสายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อยที่ใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนพื้นที่ครอบคลุม

กรณีที่	รูปร่างเริ่มต้น	มุมของสายอากาศ	อัตราขยาย
1	พาราโบลอยด์	ไม่ปรับแผ่นย่อย	-
2	พาราโบลอยด์	$[-1 \ 0 \ 1]$	$[17 \ 18 \ 17]$
3	พาราโบลอยด์	$[-10 \ -1 \ 0 \ 1 \ 20]$	$[14 \ 17 \ 18 \ 17 \ 0]$
4	พาราโบลอยด์	$[-1 \ 0 \ 1 \ 20]$	$[17 \ 18 \ 17 \ 0]$
5	พาราโบลอยด์	$[-15 \ 0 \ 1 \ 20]$	$[14 \ 17 \ 18 \ 0]$
6	พาราโบลอยด์	$[-1 \ 0 \ 1 \ 12]$	$[18 \ 19 \ 18 \ 15]$
7	พาราโบลอยด์	$[-1 \ 0 \ 1 \ 10]$	$[19 \ 20 \ 19 \ 0]$
8	พาราโบลอยด์	$[-1 \ 0 \ 1]$	$[20.8 \ 21 \ 20.8]$
9	พาราโบลอยด์	$[-12 \ -1 \ 0 \ 1]$	$[15 \ 17 \ 18 \ 17]$
10	พาราโบลอยด์	$[-6 \ -1 \ 0 \ 1]$	$[14 \ 18 \ 19 \ 18]$
11	พาราโบลอยด์	$[-10 \ -1 \ 0 \ 1]$	$[15 \ 17 \ 18 \ 17]$
12	แบนราบ	$[-1 \ 0 \ 1]$	$[17 \ 18 \ 17]$
13	แบนราบ	$[-1 \ 0 \ 1 \ 6]$	$[17 \ 18 \ 17 \ 14]$
14	แบนราบ	$[-12 \ -1 \ 0 \ 1]$	$[15 \ 17 \ 18 \ 17]$
15	แบนราบ	$[-15 \ -1 \ 0 \ 1]$	$[14 \ 17 \ 18 \ 17]$

ผลการคำนวณแบบรูปการแผ่พลังงานเป็นไปดังรูป 3.3 ถึงรูป 3.7 อัตราขยายและประสิทธิภาพต่างๆ เป็นไปดังตาราง 3.2

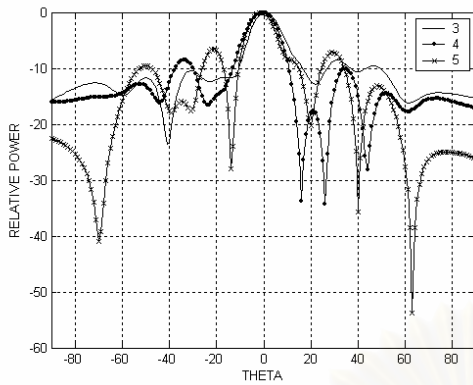


(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม

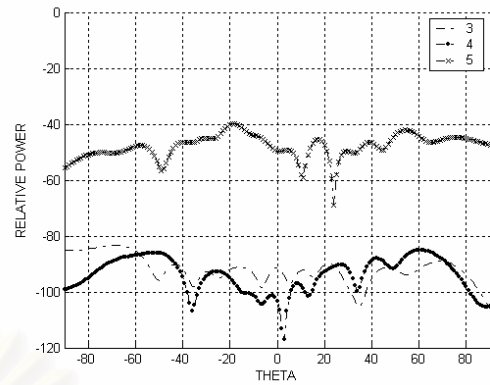


(ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้

รูป 3.3 แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อปรับเปลี่ยนลำดับจากกลุ่มที่ 1

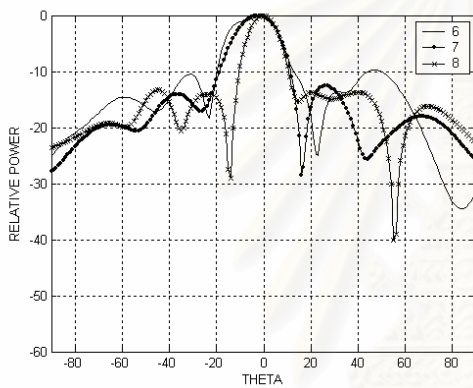


(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม

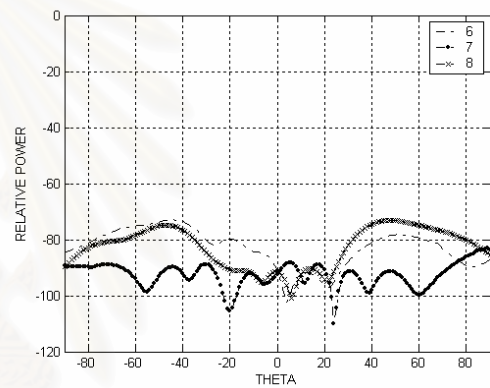


(ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้

รูป 3.4 แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อปรับเปลี่ยนลำดับจากกลุ่มที่ 2

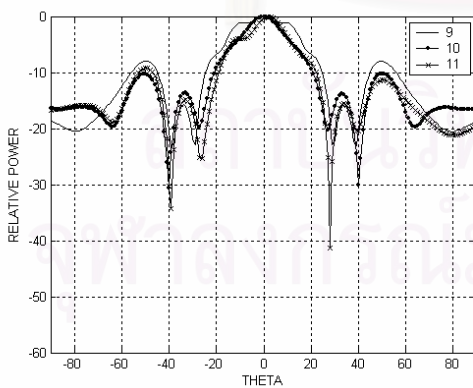


(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม

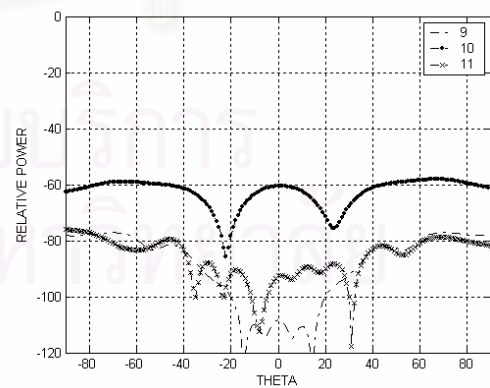


(ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้

รูป 3.5 แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อปรับเปลี่ยนลำดับจากกลุ่มที่ 3

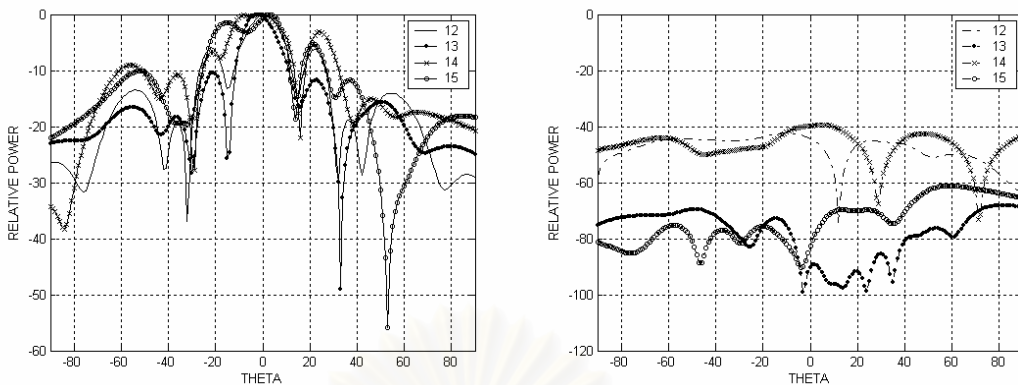


(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม



(ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้

รูป 3.6 แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อปรับเปลี่ยนลำดับจากกลุ่มที่ 4



(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม

(ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้

รูป 3.7 แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อปรับเปลี่ยนลำคลื่นจากกลุ่มที่ 5

ตาราง 3.2 อัตราขยายและประสิทธิภาพต่างๆ จากกรณีใช้งานเป็นสายอากาศสถานีฐาน

พื้นผิวจัดเรียงเป็นรูปพาราโบลาไฮเพอร์โบลอยด์		ลักษณะสมบัติต่างๆ ของสายอากาศ					
กรณี	กรณีที	G_{cp}^{steer} (dB)	G_{xp}^{steer} (dB)	P_r (วัตต์)	η_s (%)	η_A (%)	η (%)
เลื่อนลำคลื่นไปที่ 0 องศา	1	16.28	-61.06	1.394×10^{-3}	83.69	11.56	9.69
	2	17.05	-62.76	1.360×10^{-3}	81.63	14.17	11.57
	3	18.71	-64.64	1.457×10^{-3}	87.45	19.71	16.97
	4	18.76	-65.28	1.421×10^{-3}	85.27	25.32	21.59
	5	17.45	-21.37	1.436×10^{-3}	86.18	14.71	12.68
	6	19.01	-53.95	1.477×10^{-3}	88.64	20.52	18.19
	7	20.10	-61.94	1.449×10^{-3}	86.95	26.85	23.34
	8	21.05	-57.40	1.485×10^{-3}	89.09	32.59	29.04
	9	17.85	-40.29	1.386×10^{-3}	83.19	16.74	13.92
	10	17.76	-61.20	1.393×10^{-3}	83.63	15.86	13.26
	11	18.13	-57.93	1.406×10^{-3}	84.40	14.83	17.57
	12	17.20	-25.13	1.177×10^{-3}	70.62	16.94	11.94
	13	16.06	-66.26	1.126×10^{-3}	67.61	13.67	9.24
	14	15.80	-23.65	1.169×10^{-3}	70.18	12.36	8.67
	15	16.32	-44.82	1.161×10^{-3}	69.66	14.05	9.78

กลุ่มที่ 1 ผลการคำนวณเป็นไปดังรูป 3.3 จะเห็นได้ว่าแบบรูปการแผ่พลังงานในกรณีที่ 1 ไม่ปรับพื้นผิวของสายอากาศมีรูปแบบของลำคลื่นกว้างกว่าในกรณีที่ 2 อยู่เล็กน้อย แต่จะเห็นได้จาก

ตาราง 3.2 ว่าอัตราขยายของกรณีที่ไม่ปรับพื้นผิวของสายอากาศมีค่าน้อยกว่าในกรณีที่ 2 ที่สร้างลำคลื่นไปที่ 0 องศา

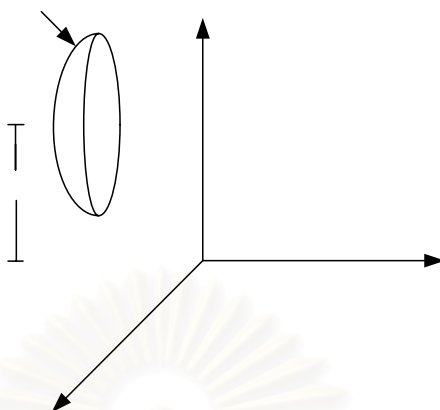
กลุ่มที่ 2 เป็นกรณีที่มีการปรับแบบรูปการแผ่พลังงานไปในทิศทางเพิ่มความกว้างของลำคลื่นและสร้างตำแหน่งศูนย์ดังรูป 3.4 พบว่าการสร้างตำแหน่งศูนย์สามารถทำได้แต่แบบรูปการแผ่พลังงานจะมีความกว้างลดลง เนื่องจากการสร้างตำแหน่งศูนย์จะเป็นการบีบรวมกำลังงานไปในทิศทางอื่นที่ไม่ใช่ตำแหน่งสร้างตำแหน่งศูนย์ดังจะเห็นได้จากตาราง 3.2 ในกรณีที่ 3 ถึงกรณีที่ 5 ว่าค่าของอัตราขยายในแนวโพลาริเซชันร่วมมีค่าสูงขึ้น

กลุ่มที่ 3 เป็นกรณีที่เพิ่มอัตราขยาย จะเห็นได้จากรูป 3.5 ว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราขยายส่งผลต่อรูปร่างของลำคลื่นทำให้รูปร่างของลำคลื่นมีความกว้างลดลง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอัตราขยายทำให้กำลังงานถูกรวมไปในทิศทางที่ต้องการของการสร้างลำคลื่นมาก กำลังงานที่ไปในทิศทางอื่นจะมีค่าลดลง

กลุ่มที่ 4 เป็นกรณีที่เพิ่มความกว้างของลำคลื่น ผลการคำนวณเป็นไปดังรูป 3.6 พบว่าการเพิ่มความกว้างของลำคลื่นสามารถทำได้และค่าของอัตราขยายมีค่าเพิ่มมากขึ้นดังตาราง 3.2 กรณีที่ 9 ถึงกรณีที่ 11

กลุ่มที่ 5 เป็นกรณีที่พื้นผิวเริ่มต้นเกิดจากการจัดเรียงแบบแบนราบ ผลการคำนวณเป็นไปดังรูป 3.7 พบว่าในกรณีเลื่อนลำคลื่นไปที่ 0 องศา ความกว้างของลำคลื่นจะน้อยกว่าในกรณีที่พื้นผิวเริ่มต้นเกิดจากการจัดเรียงพื้นผิวเป็นรูปพาราโบลอยด์ที่เลื่อนลำคลื่นไปที่ 0 องศา ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากกรณีที่พื้นผิวจัดเรียงแบบแบนราบการสร้างลำคลื่นจะเกิดการปรับตัวของพื้นผิวมากทำให้เกิดช่องว่างระหว่างแผ่นทำให้กำลังคลื่นที่ได้รับมีค่าน้อยดังตาราง 3.2 กรณีที่ 12 ถึงกรณีที่ 15 และการปรับแบบรูปการแผ่พลังงานสามารถทำได้แต่ค่าของอัตราขยายจะลดลงด้วยเนื่องจากการสูญเสียกำลังงานดังที่กล่าวมาแล้ว

ในการศึกษาการเปลี่ยนพื้นที่ครอบคลุมโดยแสดงในลักษณะที่เป็นแบบรูปการแผ่พลังงานเชิงมุม ไม่ได้แสดงให้เห็นการปรับเปลี่ยนพื้นที่ครอบคลุมมากนักในที่นี่จะแสดงให้เห็นถึงพื้นที่ครอบคลุมในลักษณะที่เป็นการกระจายของสนามบนพื้นที่ครอบคลุมที่กำหนด โดยใช้ขนาด 1 ตารางกิโลเมตรและมีพิกัดการตั้งสายอากาศคือ (25,0,0) ในระบบพิกัดฉากแสดงได้ดังรูป 3.8 การศึกษาการเปลี่ยนไปของพื้นที่ครอบคลุมจะพิจารณาในกรณีที่แบบของอากาศว่างคือไม่รวมผลของสิ่งแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้อง คิดเพียงคลื่นที่มาจากสายอากาศส่งยังจุดต่างๆ บนพื้นที่ที่ศึกษาเท่านั้น

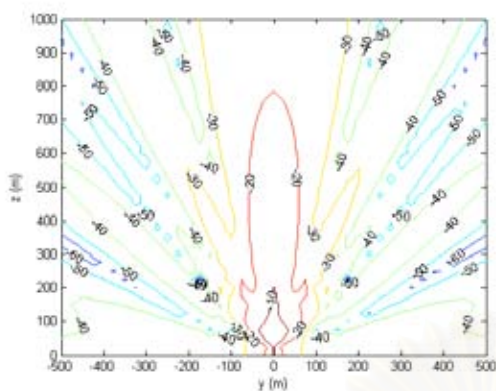


สายอากาศจานสะท้อน
ที่ปรับรูปลักษณะได้

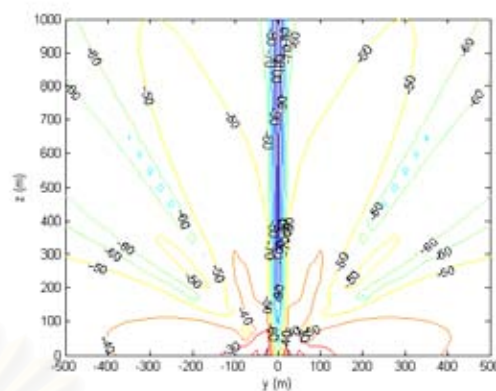
รูป 3.8 พิกัดสายอากาศที่ใช้ศึกษา

ผลการคำนวณการปรับเปลี่ยนพื้นที่ครอบคลุมของสายอากาศเป็นไปดังรูป 3.9 ถึงรูป 3.23 โดยในรูป 3.9 (ก) ถึงรูป 3.23 (ก) จะเป็นองค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม และรูป 3.9 (ข) ถึงรูป 3.23 (ข) จะเป็นองค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้ เนื่องจากรูป 3.9 ถึงรูป 3.23 ไม่สามารถบ่งบอกการกระจายกำลังคลื่นบนบริเวณที่ศึกษาอย่างเด่นชัด ในที่นี่จะใช้ค่าการกระจายตัวของกำลังคลื่นในรูปร้อยละของการกระจายกำลังคลื่นในช่วงต่างๆ ค่าของร้อยละที่ใช้นี้จะเทียบกับจุดที่ใช้คำนวณทั้งหมด 1681 จุด ดังสมการ 3.1 ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นช่วงของอัตราขยายดังนี้ช่วงที่ 1 อัตราขยายระหว่าง 0 dB ถึง -20 dB , ช่วงที่ 2 อัตราขยายระหว่าง -20 dB ถึง -30 dB , ช่วงที่ 3 อัตราขยายระหว่าง -30 dB ถึง -40 dB, ช่วงที่ 4 อัตราขยายระหว่าง -40 dB ถึง -50 dB , ช่วงที่ 5 อัตราขยายระหว่าง -50 dB ถึง -60 dB , ช่วงที่ 6 อัตราขยายระหว่าง -60 dB ถึง -70dB และช่วงที่ 7 อัตราขยายระหว่าง -70 dB ถึง -80 dB โดยจะแสดงร้อยละการกระจายตัวของกำลังคลื่นในองค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วมเท่านั้น เนื่องจากค่าของระดับโพลาริเซชันไขว้มีระดับต่ำ ดังตาราง 3.3

$$\text{Coverage}(\%) = \frac{\text{number of gain Interval number}}{1681} * 100 \quad (3.1)$$

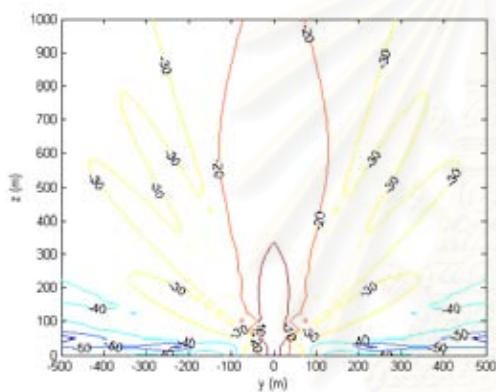


(ก) องค์ประกอบแนวโพลาไรเซชันร่วม

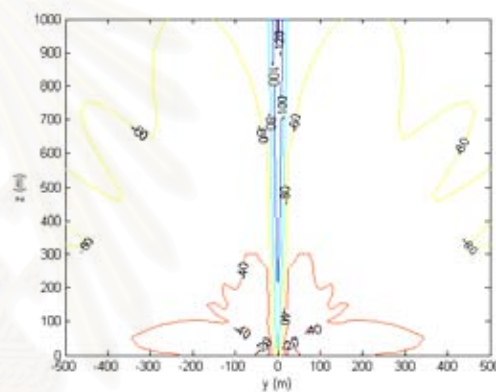


(ข) องค์ประกอบแนวโพลาไรเซชันไขว้

รูป 3.9 พื้นที่ครอบคลุมของสายอากาศกรณีที่เข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์กรณีที่ 1

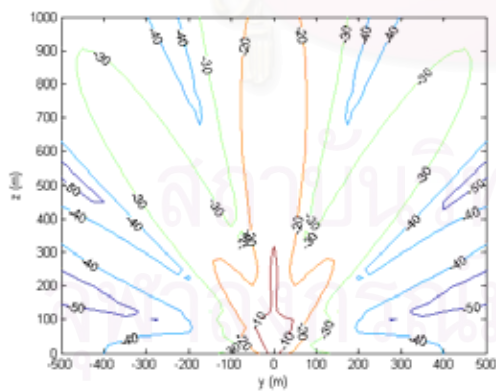


(ก) องค์ประกอบแนวโพลาไรเซชันร่วม

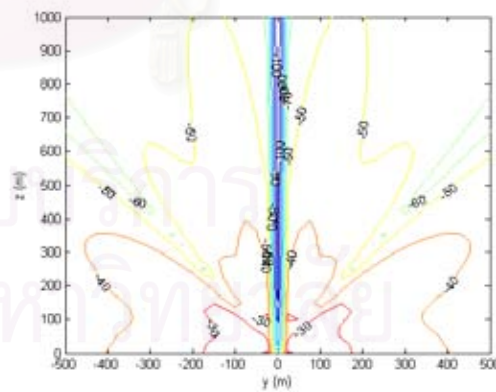


(ข) องค์ประกอบแนวโพลาไรเซชันไขว้

รูป 3.10 พื้นที่ครอบคลุมของสายอากาศกรณีที่เข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์กรณีที่ 2

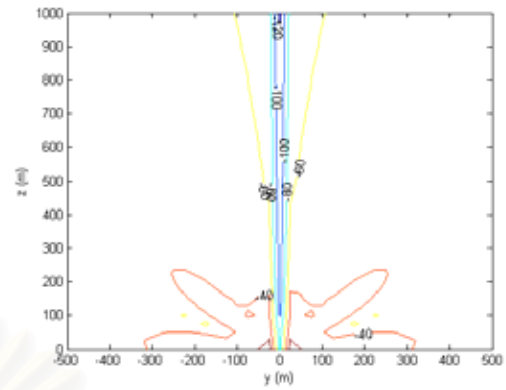
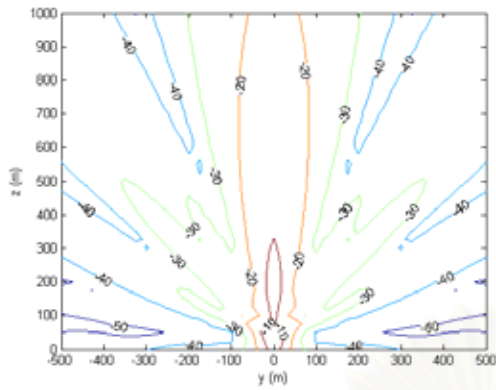


(ก) องค์ประกอบแนวโพลาไรเซชันร่วม



(ข) องค์ประกอบแนวโพลาไรเซชันไขว้

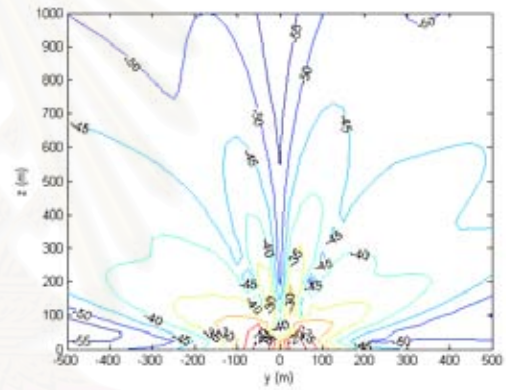
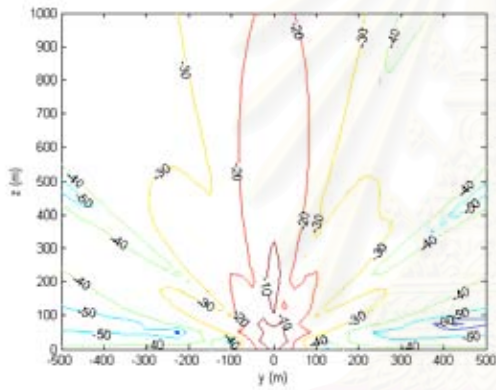
รูป 3.11 พื้นที่ครอบคลุมของสายอากาศกรณีที่เข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์กรณีที่ 3



(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม

(ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้

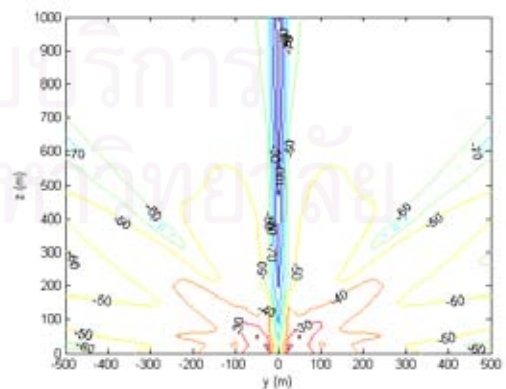
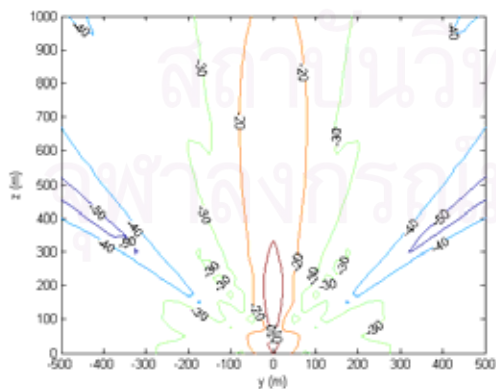
รูป 3.12 พื้นที่ครอบคลุมของสายอากาศกรณีที่เข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์กรณีที่ 4



(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม

(ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้

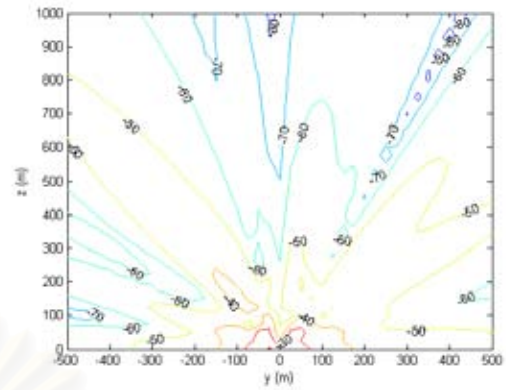
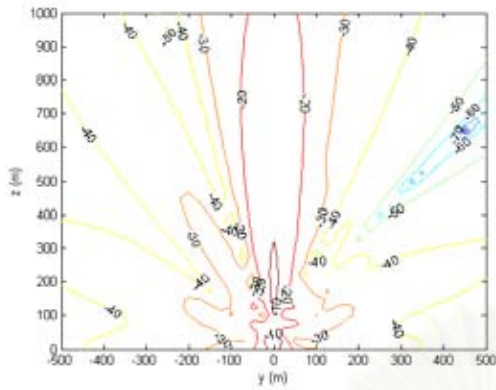
รูป 3.13 พื้นที่ครอบคลุมของสายอากาศกรณีที่เข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์กรณีที่ 5



(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม

(ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้

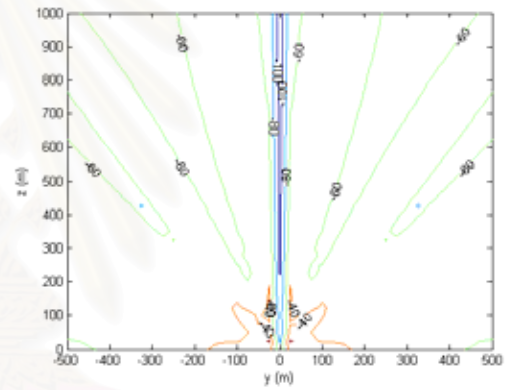
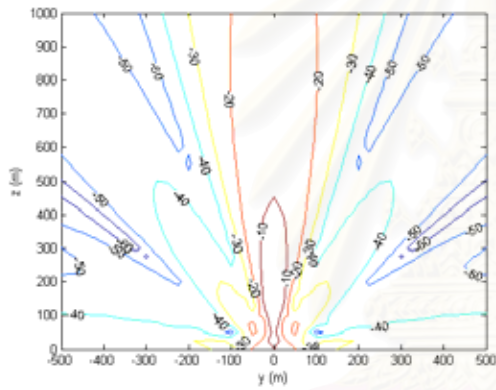
รูป 3.14 พื้นที่ครอบคลุมของสายอากาศกรณีที่เข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์กรณีที่ 6



(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม

(ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้

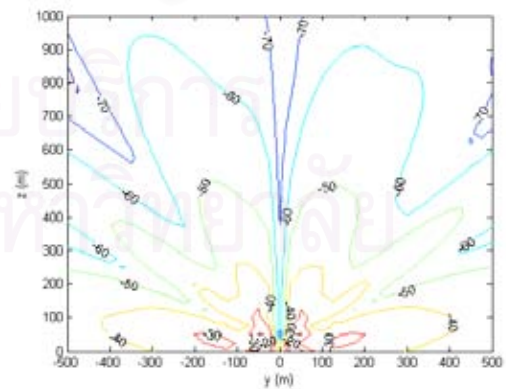
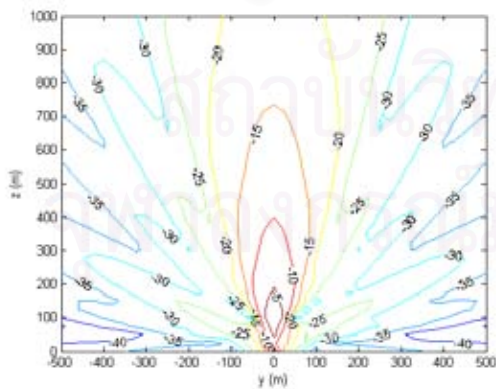
รูป 3.15 พื้นที่ครอบคลุมของสายอากาศกรณีที่เข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์กรณีที่ 7



(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม

(ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้

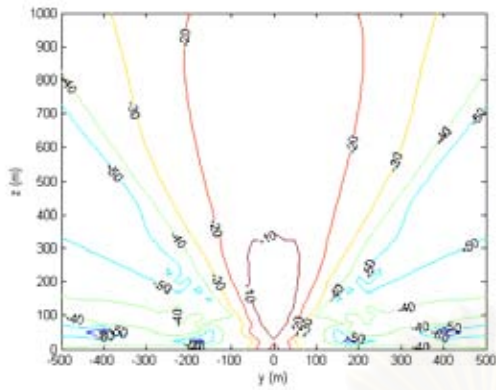
รูป 3.16 พื้นที่ครอบคลุมของสายอากาศกรณีที่เข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์กรณีที่ 8



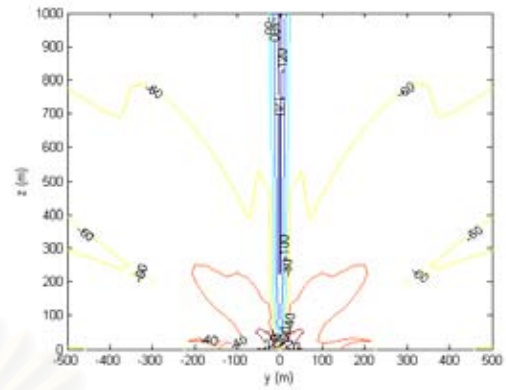
(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม

(ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้

รูป 3.17 พื้นที่ครอบคลุมของสายอากาศกรณีที่เข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์กรณีที่ 9

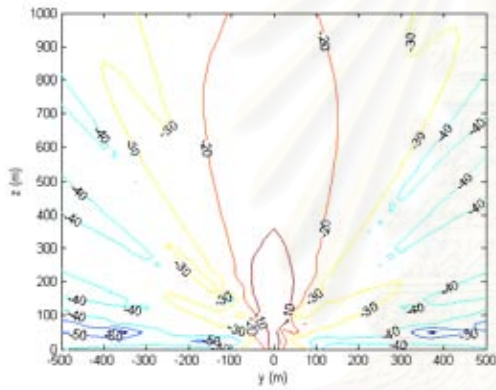


(ก) องค์ประกอบแนวโพลาไรเซชันร่วม

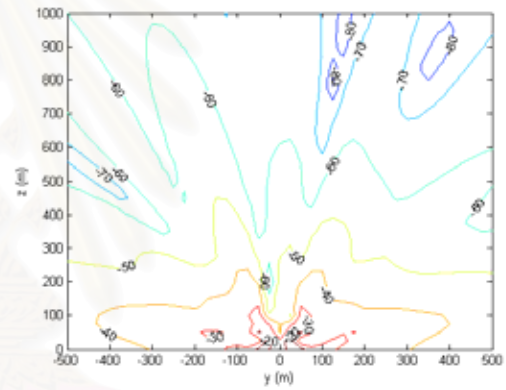


(ข) องค์ประกอบแนวโพลาไรเซชันไขว้

รูป 3.18 พื้นที่ครอบคลุมของสายอากาศกรณีที่เข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์กรณีที่ 10

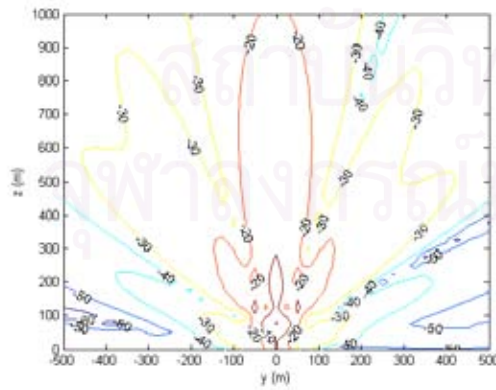


(ก) องค์ประกอบแนวโพลาไรเซชันร่วม

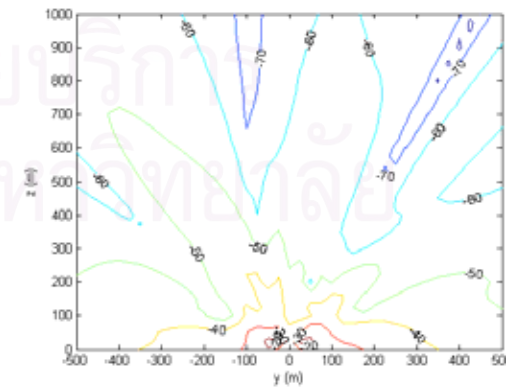


(ข) องค์ประกอบแนวโพลาไรเซชันไขว้

รูป 3.19 พื้นที่ครอบคลุมของสายอากาศกรณีที่เข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์กรณีที่ 11

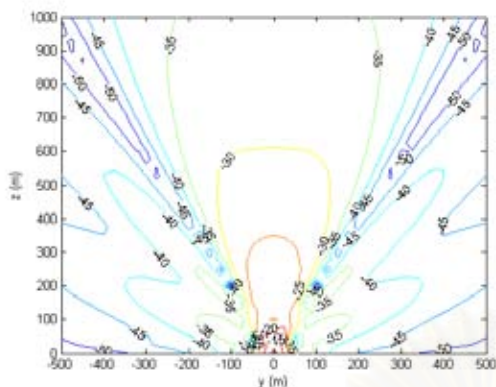


(ก) องค์ประกอบแนวโพลาไรเซชันร่วม

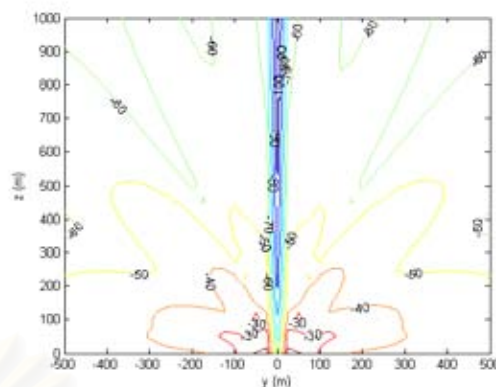


(ข) องค์ประกอบแนวโพลาไรเซชันไขว้

รูป 3.20 พื้นที่ครอบคลุมของสายอากาศกรณีที่จัดเรียงแบบแบนราบกรณีที่ 12

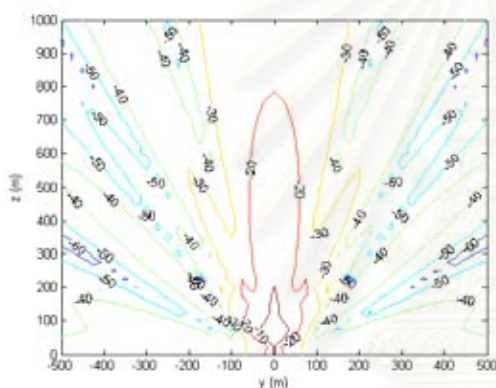


(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม

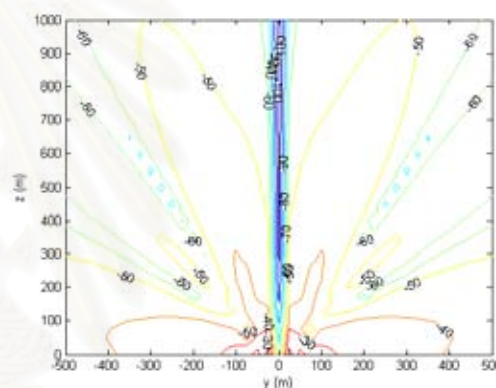


(ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้

รูป 3.21 พื้นที่ครอบคลุมของสายอากาศกรณีการจัดเรียงแบบแบนราบกรณีที่ 13

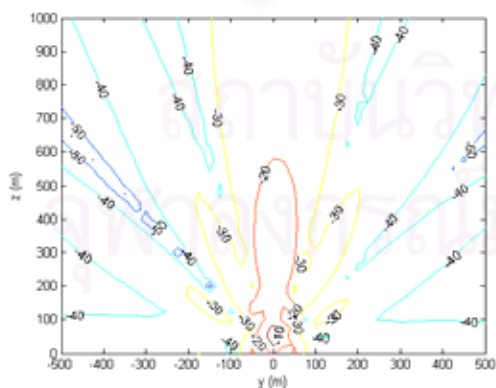


(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม

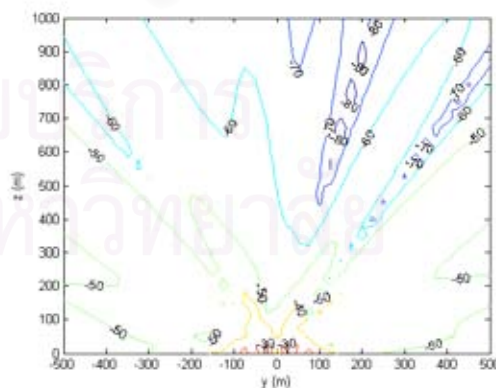


(ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้

รูป 3.22 พื้นที่ครอบคลุมของสายอากาศกรณีการจัดเรียงแบบแบนราบกรณีที่ 14



(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม



(ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้

รูป 3.23 พื้นที่ครอบคลุมของสายอากาศกรณีการจัดเรียงแบบแบนราบกรณีที่ 15

ตาราง 3.3 ร้อยละพื้นที่ครอบคลุมของอัตราขยายในกรณีการศึกษา

อัตราขยาย ระหว่าง (dB)	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 3	ช่วงที่ 4	ช่วงที่ 5	ช่วงที่ 6	ช่วงที่ 7
	0 ถึง -20	-20 ถึง -30	-30 ถึง -40	-40 ถึง -50	-50 ถึง -60	-60 ถึง -70	-70 ถึง -80
กรณีที่ 1	16.06	25.28	20.11	19.39	17.97	0.95	0.12
กรณีที่ 2	18.62	30.58	44.85	3.81	1.78	0.36	0
กรณีที่ 3	14.69	28.49	37.00	16.06	3.75	0	0
กรณีที่ 4	13.38	20.58	46.40	17.73	1.90	0	0
กรณีที่ 5	14.40	23.62	49.55	8.92	3.15	0.30	0.06
กรณีที่ 6	12.55	20.23	58.30	7.20	1.73	0	0
กรณีที่ 7	11.24	14.04	40.33	29.92	3.21	0.89	0.30
กรณีที่ 8	15.65	9.88	19.45	42.59	10.95	1.49	0
กรณีที่ 9	22.78	34.48	41.34	1.49	0	0	0
กรณีที่ 10	29.45	17.97	21.30	15.88	14.93	0.36	0.12
กรณีที่ 11	22.61	27.66	37.54	11.01	1.01	0.18	0
กรณีที่ 12	15.11	34.03	32.96	13.62	3.69	0.59	0
กรณีที่ 13	0.48	11.12	43.66	39.08	5.65	0	0
กรณีที่ 14	8.09	17.79	37.36	24.39	10.17	1.55	0.12
กรณีที่ 15	4.52	20.70	52.11	20.82	1.55	0.30	0

เมื่อพิจารณารูป 3.9 ในกรณีไม่รับพื้นผิวของสายอากาศ (กรณีที่ 1) และรูป 3.10 กรณีเลื่อนลำคลื่นไป 0 องศา (กรณีที่ 2) พบว่าขนาดร้อยละของพื้นที่ครอบคลุมในกรณีที่ 1 จะมีค่าน้อยกว่ากรณีที่ 2 ดังตาราง 3.3 โดยในกรณีที่ 2 จะมีค่ามากที่สุดในช่วงอัตราขยายระหว่าง -30 dB ถึง -40 dB ถึง 44.85% แต่กรณีที่ 1 จะมีค่าอยู่ระหว่างช่วงที่ 1 ถึงช่วงที่ 5 ใกล้เคียงกัน

กรณีที่ 3 ถึงกรณีที่ 5 เป็นการเพิ่มพื้นที่ครอบคลุมและการสร้างตำแหน่งศูนย์ ผลการคำนวณเป็นดังรูป 3.11 ถึงรูป 3.13 จะเห็นได้ว่ากำลังคลื่นที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าแบบที่เลื่อนลำคลื่นไป 0 องศาเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากการสร้างตำแหน่งศูนย์ทำให้ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังมีค่าลดลงพื้นที่ครอบคลุมของสายอากาศจะมีค่าลดลงด้วยดังตาราง 3.3 ค่ากำลังคลื่นที่คำนวณได้โดยเฉลี่ยแล้วมีค่าน้อยกว่าในกรณีที่เลื่อนลำคลื่นไป 0 องศาเท่านั้น

จะเห็นได้จากรูป 3.14 ถึง รูป 3.16 (กรณีที่ 6 ถึงกรณีที่ 8) ว่าเมื่อกำหนดให้อัตราขยายเพิ่มมากขึ้น พื้นที่ครอบคลุมของสายอากาศจะลดลงโดยสังเกตจากค่าของกำลังคลื่นบนพื้นที่ที่ศึกษา กำลังคลื่นที่มีค่า 0 dB ถึง -20 dB และ -20 dB ถึง -30 dB จะแคบกว่ากรณีที่ 2 และกำลังคลื่นที่มีค่าต่ำกว่า -30 dB ถึง -40 dB จะกระจายอยู่เป็นบริเวณกว้างดังตาราง 3.3 โดยในกรณีที่ 8 กำลังคลื่นที่คำนวณได้มีค่าอยู่ในช่วง -40 dB ถึง -50 dB มากถึง 42.59% ดังรูป 3.16 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากสายอากาศมีสภาพเจาะทิศทางมากขึ้น ทำให้ความกว้างครึ่งกำลังคลื่นลดลง

จะเห็นได้จากรูป 3.17 ถึงรูป 3.19 (กรณีที่ 9 ถึงกรณีที่ 11) ว่าพื้นที่ครอบคลุมของสายอากาศมีค่าเพิ่มมากขึ้นกว่าในกรณีที่ 2 โดยในกรณีที่ 5 ค่ากำลังคลื่นที่คำนวณได้ส่วนใหญ่มีค่ามากกว่า -35 dB ดังตาราง 3.3 ส่วนในกรณีที่ 10 และกรณีที่ 11 การเพิ่มของพื้นที่ครอบคลุมไม่สามารถเห็นได้อย่างชัดเจน ซึ่งในกรณีที่ 10 จากตาราง 3.3 ค่าของการกระจายกำลังคลื่นไปในช่วงที่ 1 ถึงช่วงที่ 5 โดยในแต่ละช่วงใกล้เคียงกันมีค่ามากที่สุดอยู่ที่ช่วงอัตราขยายระหว่าง 0 dB ถึง -20 dB อยู่ 29.45% ส่วนในกรณีที่ 11 ค่าของกำลังคลื่นที่คำนวณได้มีค่าใกล้เคียงกับกรณีที่ 2

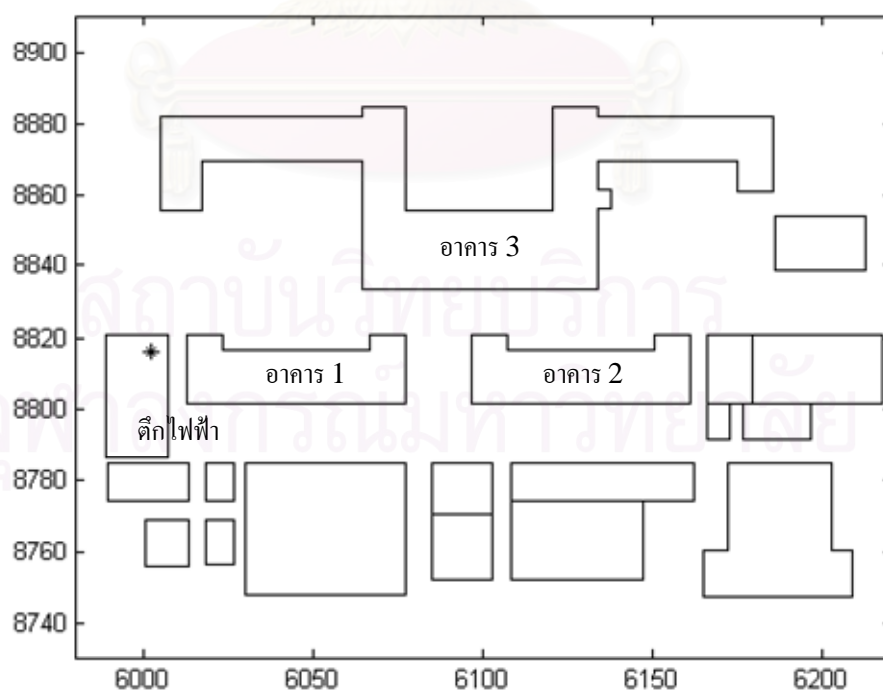
รูป 3.20 ถึงรูป 3.23 (กรณีที่ 12 ถึง กรณีที่ 15) เป็นกรณีที่พื้นผิวตั้งต้นเกิดจากการจัดเรียงแบบแบนราบจะเห็นได้ว่าพื้นที่ครอบคลุมที่คำนวณได้จะมีค่าน้อยกว่ากรณีที่พื้นผิวเริ่มต้นจัดเรียงเป็นรูปพาราโบลอยด์ โดยจากตาราง 3.3 ในกรณีที่ 13 ถึงกรณีที่ 15 เป็นการเพิ่มพื้นที่ครอบคลุมพบว่ากำลังคลื่นที่คำนวณได้มีค่าอยู่ในช่วงที่ 3 และช่วงที่ 4 มากที่สุดและในกรณีที่ 12 เมื่อเลื่อนลำคลื่นไปที่ 0 องศา พบว่ากำลังคลื่นที่มีขนาด -30 dB ถึง -40 dB มีค่าใกล้เคียงกับกรณีที่เกิดจากการเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ แต่กำลังคลื่นที่มีขนาด 0 dB ถึง -20 dB จะมีขนาดของพื้นที่ครอบคลุมน้อยกว่า

3.2 การประยุกต์ใช้งานเป็นสายอากาศสถานีฐานในแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นวิทยุสำหรับการสื่อสารเคลื่อนที่ในเขตเมือง

การศึกษาการประยุกต์ใช้งานเป็นสายอากาศสถานีฐานในหัวข้อที่แล้วจะเห็นการเปลี่ยนพื้นที่ครอบคลุมแบบไม่มีสิ่งกีดขวาง ในหัวข้อนี้จะศึกษาสภาพการใช้งานจริงในกรณีที่มีอาคารและสิ่งแวดลอมเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยใช้แบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นวิทยุสำหรับการสื่อสารเคลื่อนที่ในเขตเมือง [20] มาศึกษาการเปลี่ยนพื้นที่ครอบคลุมเมื่อปรับแบบรูปการแผ่พลังงาน ซึ่งเป็นแบบจำลองเชิงรังสี ที่ใช้กรรมวิธีทัศนศาสตร์เรขาคณิต และทฤษฎีการเลี้ยวเบนเชิงเอกรูปมาอธิบายพฤติกรรมของคลื่นที่ความถี่สูง กรรมวิธีทัศนศาสตร์เรขาคณิตใช้อธิบายการสะท้อนและการส่งผ่านพลังงานของคลื่นที่เดินทางจากสถานีฐานไปยังสถานีเคลื่อนที่ที่ตำแหน่งต่าง ๆ และบอกถึงการเคลื่อนที่ของคลื่นในตัวกลางเอกพันธ์ว่า เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ในตัวกลางมีการลดทอน

อย่างไรหรือเมื่อมีการตกกระทบผนังหน้าคลื่นมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร การเคลื่อนที่ของคลื่นเป็นไปตามหลักการของแฟร์มาต์และหลักการอนุรักษ์พลังงาน ทฤษฎีการเลี้ยวเบนเชิงเอกรูปใช้อธิบายการเลี้ยวเบนที่ขอบและยอดอาคาร โดยสนามที่สถานีเคลื่อนที่รับได้เป็นผลรวมสนามของรังสีทุกรังสีที่เดินทางจากสถานีฐานมาถึงสถานีเคลื่อนที่ในระนาบแนวตั้ง ระนาบเอียง และรังสีเลี้ยวเบนที่ขอบมุมอาคาร ซึ่งระนาบแนวตั้งจะมีรังสีที่พิจารณาคือ รังสีตรงที่เดินทางจากสถานีฐานไปยังสถานีเคลื่อนที่ รังสีสะท้อนพื้นดินก่อนถึงสถานีเคลื่อนที่ และรังสีที่เกิดจากการเลี้ยวเบนหลายครั้งที่ขอบยอดอาคาร ในระนาบเอียงจะพิจารณารังสีที่เกิดจากการสะท้อนหลายครั้ง รายละเอียดเกี่ยวกับกลไกการแพร่กระจายคลื่นที่พิจารณาในแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ [20] มีกล่าวไว้ในภาคผนวก ก.

การศึกษาการปรับเปลี่ยนพื้นที่ครอบคลุมเมื่อปรับแบบรูปการแผ่พลังงานใช้พื้นที่ภายในบริเวณคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังรูป 3.24 โดยตั้งสายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อยไว้บนดาตฟ้าอาคารวิศวกรรมไฟฟ้า ในการศึกษาจะไม่เลื่อนตำแหน่งของสายอากาศ และมีค่าลักษณะสมบัติที่ใช้คำนวณดังตาราง 3.4



รูป 3.24 บริเวณศึกษาภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 3.4 พารามิเตอร์และฐานข้อมูลการศึกษา

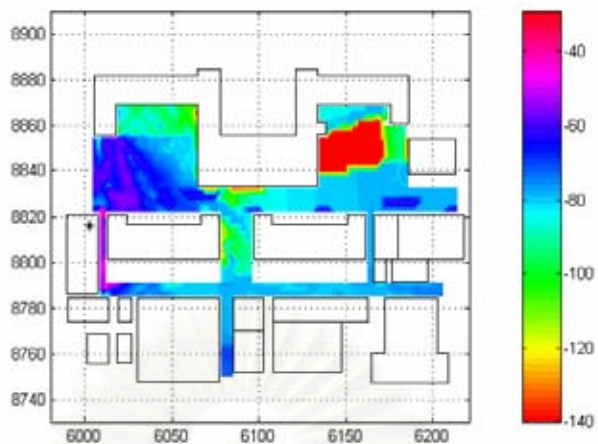
ภูมิภาค(อาคาร)	บริเวณภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังรูป 3.24
ความถี่ปฏิบัติการ	2 GHz
สายอากาศส่ง	สายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย้อย ความสูง 25 เมตร กำลังส่ง 0 dBm
สายอากาศรับ	สายอากาศขั้วคู่ โพลาริเซชันแนวตั้ง ความสูง 1.46 เมตร อัตราขยาย 2.15 dBi
ชนิดรังสี	รังสีตรง รังสีสะท้อนพื้น รังสีสะท้อนผนังอันดับต่าง ๆ รังสีเลี้ยวเบนที่สันยอดอาคาร และการเลี้ยวเบนที่ขอบแนวตั้งของผนังอาคาร

ค่าปัจจัยต่างๆ ที่ใช้ศึกษาการปรับเปลี่ยนพื้นที่ครอบคลุมของสายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย้อยเป็นไปดังตาราง 3.5 โดยมุมของสายอากาศคือ มุมของลำคลื่นที่จะใช้ศึกษาและกำหนดอัตราขยายตามมุมต่างๆเรียงลำดับกันไป

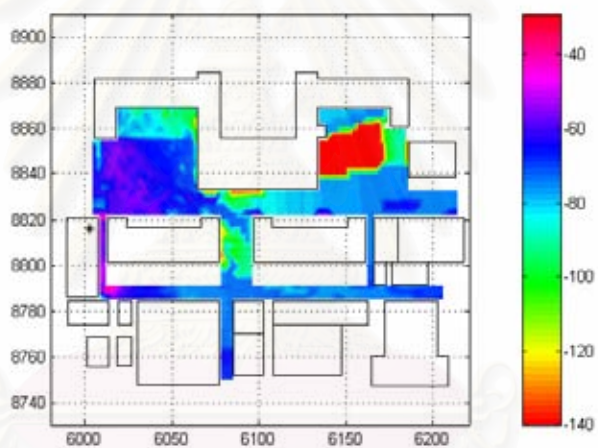
ตาราง 3.5 กรณีต่าง ๆ ที่ใช้คำนวณในการศึกษาการเปลี่ยนพื้นที่ครอบคลุม

กรณีที่	รูปร่างเริ่มต้น	มุมของสายอากาศ	อัตราขยาย
1	พาราโบลอยด์	ไม่ปรับพื้นผิว	-
2	พาราโบลอยด์	[-1 0 1]	[17 18 17]
3	พาราโบลอยด์	[-10 -1 0 1 20]	[14 17 18 17 0]
4	พาราโบลอยด์	[-1 0 1 20]	[17 18 17 0]
5	พาราโบลอยด์	[-12 -1 0 1]	[15 17 18 17]
6	พาราโบลอยด์	[-6 -1 0 1]	[14 18 19 18]
7	พาราโบลอยด์	[-1 0 1]	[18 19 18]
8	พาราโบลอยด์	[-1 0 1]	[19 20 19]
9	พาราโบลอยด์	[-1 0 1]	[20.8 21 20.8]
10	แบนราบ	[-1 0 1]	[17 18 17]
11	แบนราบ	[-6 0 1]	[17 18 17]

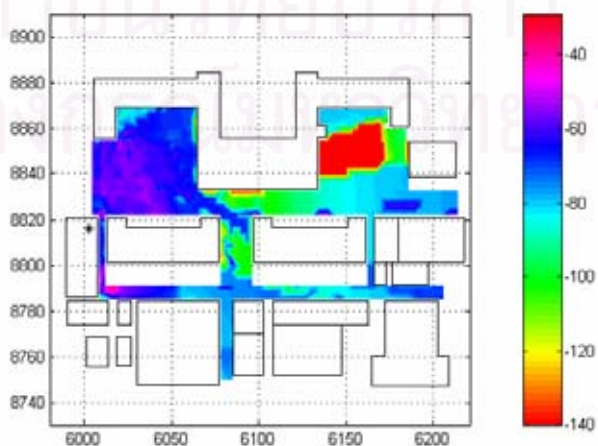
ผลการคำนวณเมื่อใช้แบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นวิทยุสำหรับการสื่อสารเคลื่อนที่ในเขตเมืองเป็นไปดังรูป 3.25 ถึงรูป 3.35



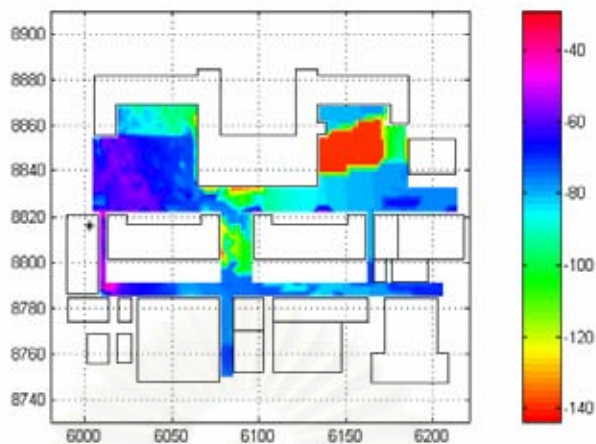
รูป 3.25 แผนภาพพื้นที่ครอบคลุมจากการคำนวณกรณีที่ 1



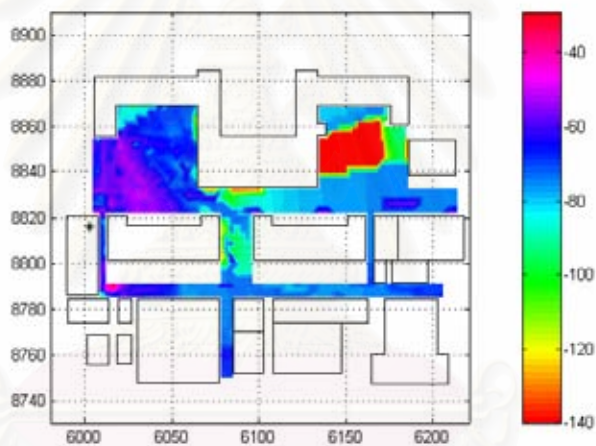
รูป 3.26 แผนภาพพื้นที่ครอบคลุมจากการคำนวณกรณีที่ 2



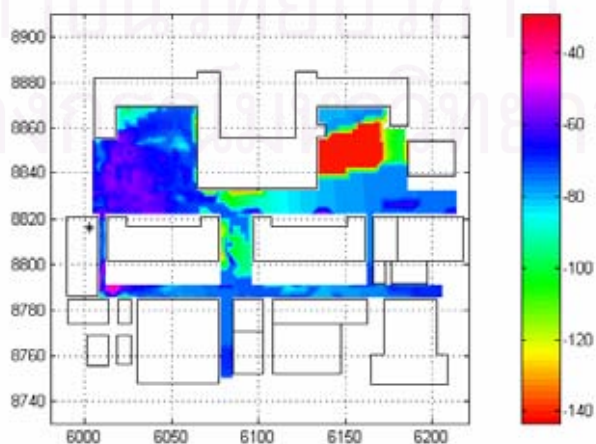
รูป 3.27 แผนภาพพื้นที่ครอบคลุมจากการคำนวณกรณีที่ 3



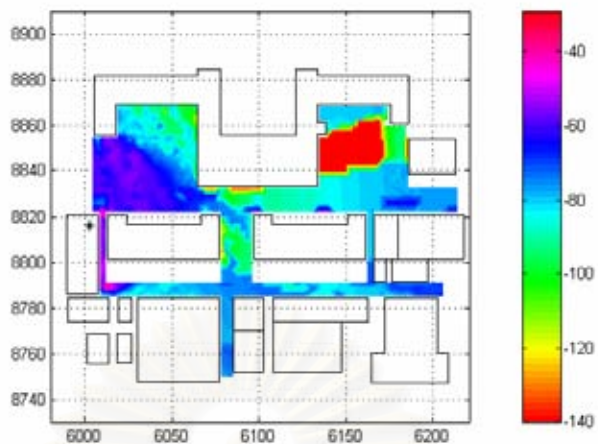
รูป 3.28 แผนภาพพื้นที่ครอบคลุมจากการคำนวณกรณีที่ 4



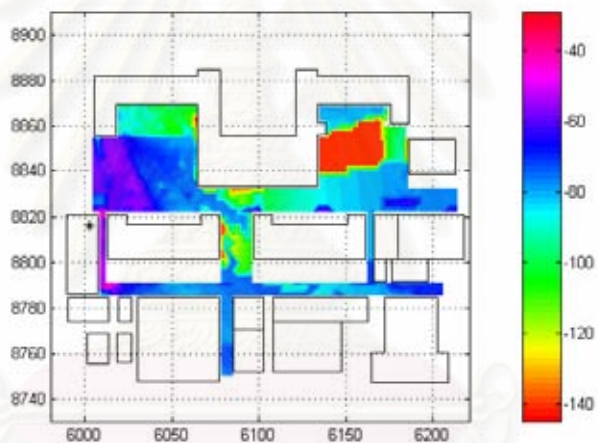
รูป 3.29 แผนภาพพื้นที่ครอบคลุมจากการคำนวณกรณีที่ 5



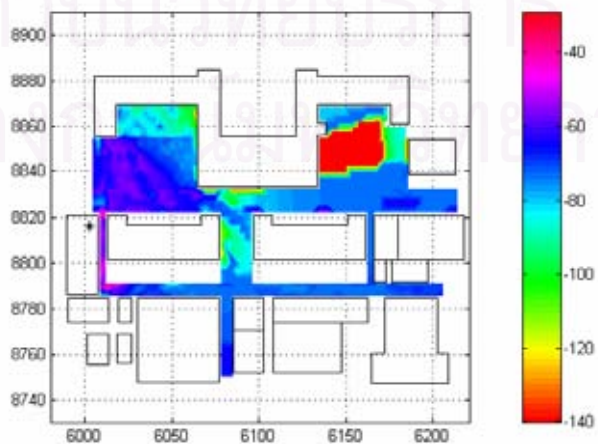
รูป 3.30 แผนภาพพื้นที่ครอบคลุมจากการคำนวณกรณีที่ 6



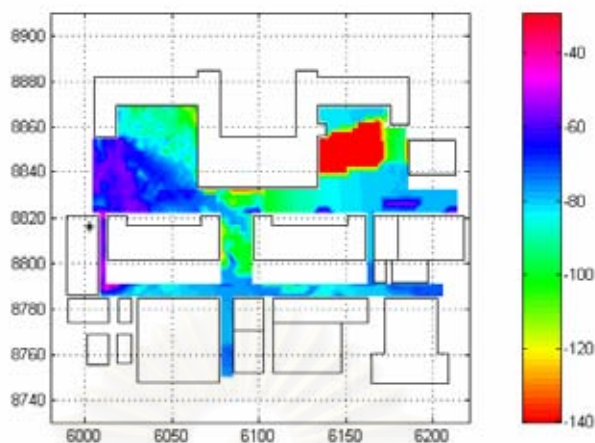
รูป 3.31 แผนภาพพื้นที่ครอบคลุมจากการคำนวณกรณีที่ 7



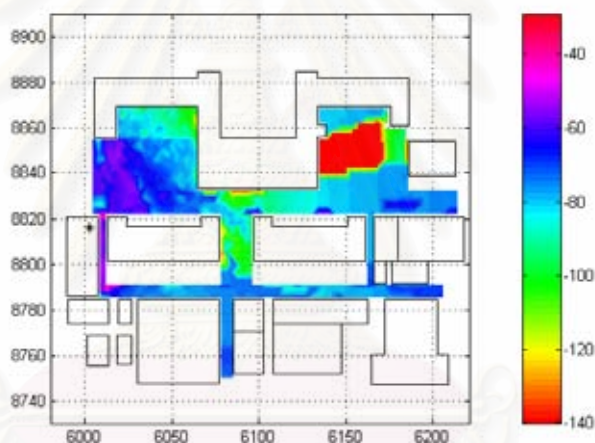
รูป 3.32 แผนภาพพื้นที่ครอบคลุมจากการคำนวณกรณีที่ 8



รูป 3.33 แผนภาพพื้นที่ครอบคลุมจากการคำนวณกรณีที่ 9



รูป 3.34 แผนภาพพื้นที่ครอบคลุมจากการคำนวณกรณีที่ 10



รูป 3.35 แผนภาพพื้นที่ครอบคลุมจากการคำนวณกรณีที่ 11

กรณีที่ 1 เมื่อไม่ปรับพื้นผิวโดยใช้พื้นผิวเริ่มต้นเป็นรูปพาราโบลอยด์ผลการคำนวณเป็นไปดังรูป 3.25 จะเห็นได้ว่ากำลังคลื่นที่ได้รับในกรณีที่ 1 น้อยกว่ากำลังคลื่นที่ได้รับในกรณีที่ 2 ดังรูป 3.26 ทั้งที่แบบรูปการแผ่พลังงานมีความใกล้เคียงกันที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากอัตราขยายของกรณีที่ 1 น้อยกว่าอัตราขยายในกรณีที่ 2

จะเห็นได้จากรูป 3.27 (กรณีที่ 3) ว่าค่าของกำลังคลื่นบริเวณด้านในของอาคาร 3 ฝั่งซ้ายมีค่ากำลังคลื่นเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากในกรณีที่ 3 มีการปรับเพิ่มกำลังคลื่นในทิศทางดังกล่าวต่างจากรูป 3.28 (กรณีที่ 4) ที่มีการปรับตัวเพียงทิศเดียว ทำให้กำลังคลื่นที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่า

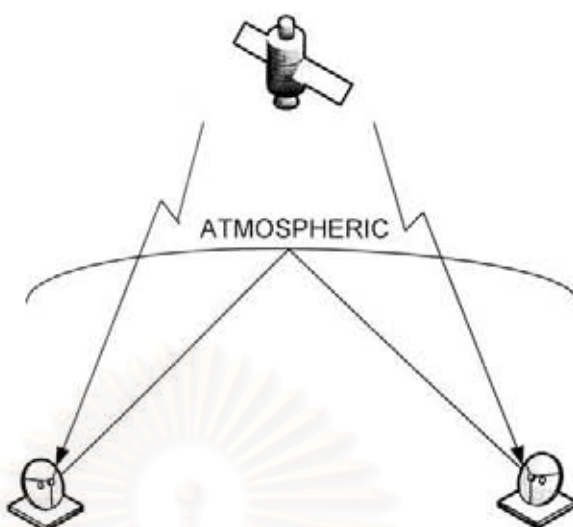
เมื่อเพิ่มความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในกรณีที่ 5 และกรณีที่ 6 พบว่าการกระจายตัวของกำลังคลื่นมีค่าเพิ่มมากขึ้น จะเห็นได้จากรูป 3.30 บริเวณด้านในของอาคาร 3 ฝั่งซ้ายและบริเวณสนามหน้าอาคาร 3 มีกำลังคลื่นเพิ่มมากกว่าในกรณีที่ 2

กรณีที่ 7 ถึงกรณีที่ 9 เป็นกรณีที่เพิ่มค่าอัตราขยายให้มีค่ามากขึ้น ผลการคำนวณเป็นดังรูป 3.31 ถึงรูป 3.33 กำลังคลื่นที่ได้จากการคำนวณมีค่าต่ำกว่าในกรณีที่ 2 เนื่องจากเมื่อเพิ่มค่าอัตราขยายทำให้ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังมีค่าน้อยกว่าในกรณีที่ 2 ดังเห็นได้จากบริเวณด้านในของอาคาร 3 ฝั่งซ้ายและบริเวณด้านหน้าของอาคาร 2 ไปทางทิศตะวันออก กำลังคลื่นที่คำนวณได้มีค่าต่ำกว่ากรณีที่ 2

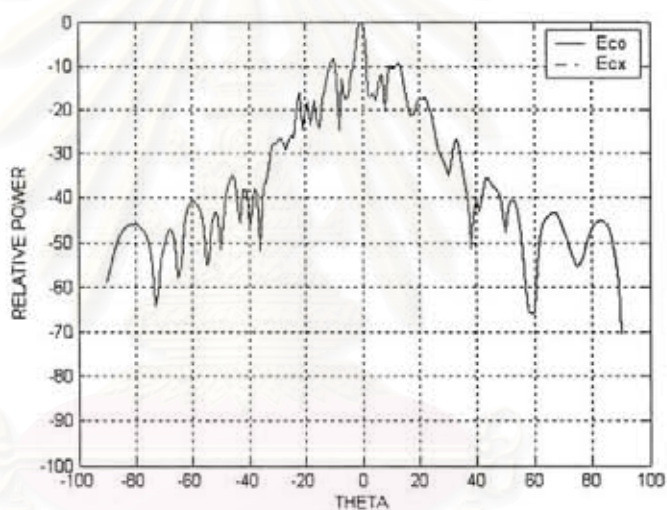
รูป 3.34 และรูป 3.35 (กรณีที่ 10 และกรณีที่ 11) แสดงผลในกรณีจัดเรียงแบบแบนราบ ค่าของกำลังคลื่นที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าในกรณีที่ 2 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังมีค่าน้อยกว่ากรณีที่เกิดจากการเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ และในกรณีที่ 11 ผลการคำนวณพบว่าในกรณีจัดเรียงแบบแบนราบไม่สามารถเพิ่มพื้นที่ครอบคลุมได้เช่นเดียวกับกรณีที่เกิดจากการเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ แต่สามารถเพิ่มพื้นที่ครอบคลุมได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังรูป 3.35

3.3 การประยุกต์ใช้งานในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมและในข่ายเชื่อมโยงภาคพื้นดิน

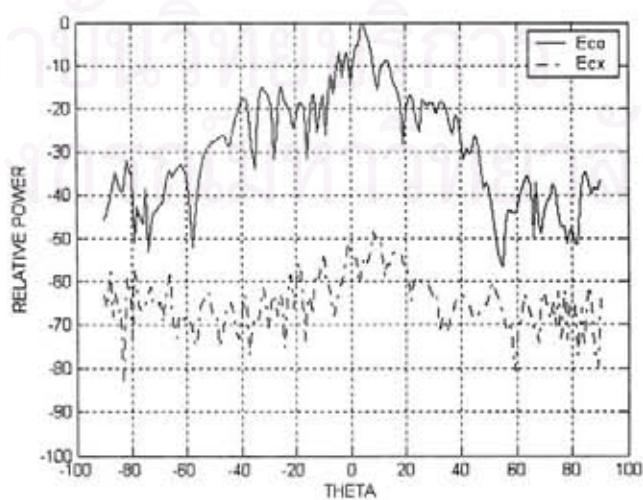
ในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมและข่ายเชื่อมโยงภาคพื้นดินใช้หลักการส่งคลื่นผ่านชั้นบรรยากาศจากภาคส่งไปยังภาครับดังรูป 3.36 ในชั้นบรรยากาศมักมีการเปลี่ยนแปลง เช่น เกิดฝนตกเกิดหิมะ ทำให้ปริมาณไอน้ำในตัวกลางที่ส่งผ่านเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย งานวิจัย [17],[18] พบว่าการส่งข้อมูลระหว่างภาคส่งและภาครับเมื่อเกิดปัญหาดังกล่าวจะเกิดการลดทอนอย่างมาก ทำให้ภาคส่งหรือภาครับต้องปรับเปลี่ยนทิศทางของลำคลื่นเพื่อชดเชยผลกระทบที่เกิดขึ้น การเลือนลำคลื่นไป 1 ถึง 5 องศาจะทำให้ค่าความผิดพลาดบิดลดลง ดังนั้นการประยุกต์ใช้งานสายอากาศสายอากาศจันสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อย จะศึกษาการเลือนลำคลื่นไป 0 องศา, 3 องศา, -3 องศา, 5 องศา และ -5 องศาเพื่อที่จะนำมาประยุกต์ใช้งานกับสถานการณ์ดังกล่าว โดยใช้ค่าเริ่มต้นของสายอากาศคือ ขนาดพื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.0 เมตร ใช้แผ่นย่อย 19 แผ่น ขนาดของแผ่นย่อย 0.125 เมตร เข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ ค่า F/D เท่ากับ 0.35 ใช้งานที่ความถี่ 10 GHz จากการคำนวณจะได้แบบรูปการแผ่พลังงานเป็นไปดังรูป 3.37 ถึงรูป 3.41 และค่าของประสิทธิภาพดังตาราง 3.6



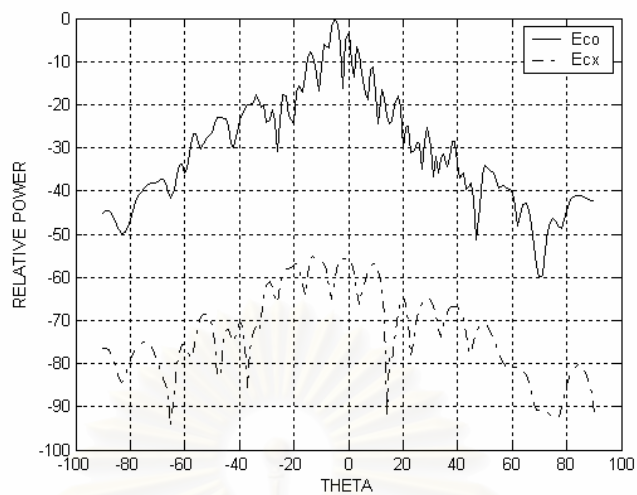
รูป 3.36 ระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมและข่ายเชื่อมต่อโยงภาคพื้นดิน



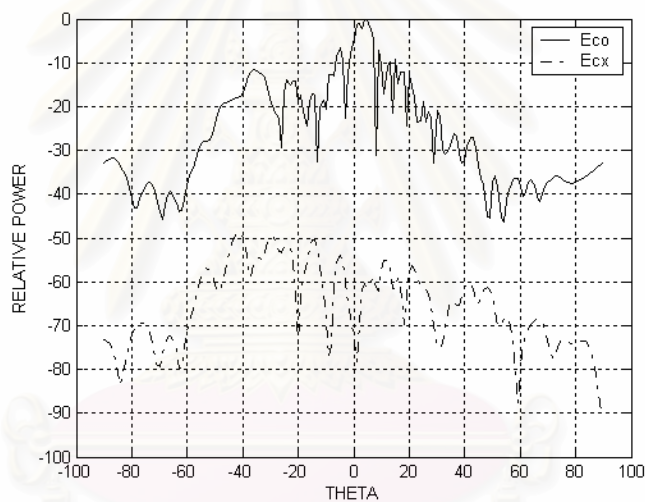
รูป 3.37 แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อเลื่อนลำคลื่นไปที่มุม 0 องศา



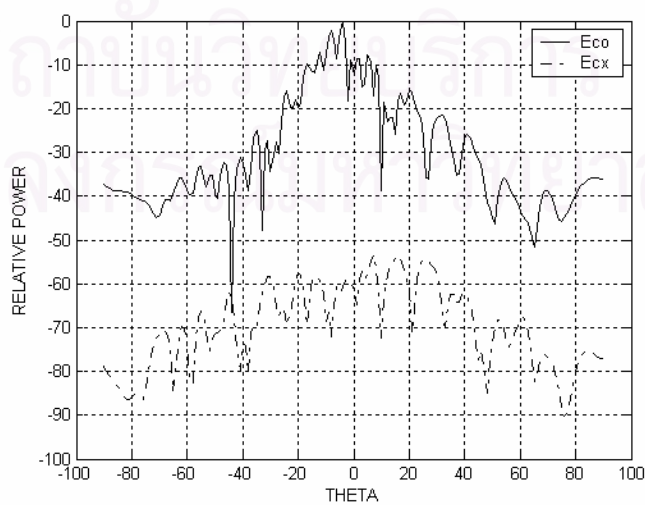
รูป 3.38 แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อเลื่อนลำคลื่นไปที่มุม 3 องศา



รูป 3.39 แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อเลื่อนลำคลื่นไปที่มุม -3 องศา



รูป 3.40 แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อเลื่อนลำคลื่นไปที่มุม 5 องศา



รูป 3.41 แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อเลื่อนลำคลื่นไปที่มุม -5 องศา

ตาราง 3.6 อัตราขยายและประสิทธิภาพต่างๆ เมื่อแปรเปลี่ยนรูปร่างเริ่มต้นของพื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้

ผลของรูปร่างเริ่มต้นของพื้นผิวสะท้อน	ลักษณะสมบัติต่างๆ ของสายอากาศ					
	กรณี	G_{cp}^{steer} (dB)	G_{xp}^{steer} (dB)	P_r (วัตต์)	η_s (%)	η_A (%)
เลื่อนลำคลื่นไป 0 องศา	35.76	-69.035	1.484×10^{-3}	89.07	38.57	34.36
เลื่อนลำคลื่นไป 3 องศา	34.39	-17.01	1.378×10^{-3}	82.74	30.33	25.10
เลื่อนลำคลื่นไป -3 องศา	34.49	-21.14	1.448×10^{-3}	86.90	29.57	25.70
เลื่อนลำคลื่นไป 5 องศา	34.10	-16.96	1.372×10^{-3}	82.33	28.50	23.46
เลื่อนลำคลื่นไป -5 องศา	34.23	-20.04	1.425×10^{-3}	85.50	28.27	24.18

จะเห็นได้จากรูป 3.37 ถึงรูป 3.41 ว่าแบบรูปการแผ่พลังงานที่คำนวณได้นั้นสามารถเลื่อนลำคลื่นได้ตามที่กำหนด โดยในรูป 3.37 ระดับโพลาริเซชันไขว้ไม่ได้แสดงไว้เนื่องจากมีค่าต่ำกว่า -100 dB ในกรณีที่เลื่อนลำคลื่นระดับโพลาริเซชันรวมต่างจากระดับโพลาริเซชันไขว้มากที่สุดประมาณ 50 dB จากรูป 3.38 ถึงรูป 3.41 ระดับโพลาริเซชันไขว้ที่สูงขึ้นเนื่องจากในการเลื่อนลำคลื่นมีการปรับพื้นผิวทำให้เกิดความไม่สมมาตรของสนามที่ตกกระทบจึงทำให้ค่าของสนามในแนวโพลาริเซชันไขว้ยังเหลืออยู่ ค่าของโพลาริเซชันไขว้มากที่สุดมีค่า -16.96 dB ต่ำกว่าอัตราขยายแนวโพลาริเซชันรวมมากที่สุด 51.06 dB ซึ่งอยู่ในวิสัยที่นำมาใช้งานสื่อสารดาวเทียมได้ตามข้อกำหนดของ ITU-R

จะเห็นจากตาราง 3.6 ว่าการเลื่อนลำคลื่นนั้นจะมีระดับโพลาริเซชันรวมลดลงเนื่องจากในการเลื่อนลำคลื่นแผ่นย่อยมีการปรับตัวมากทำให้เกิดช่องว่างระหว่างแผ่นมากขึ้น จึงเกิดการสูญเสียพลังงานบางส่วนไป กำลังงานที่รับได้มีค่าลดลงทำให้ประสิทธิภาพมีค่าลดลงด้วย

สรุป

การประยุกต์ใช้งานสายอากาศสายอากาศงานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อยในสถานะฐานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ในกรณีที่แสดงผลเป็นพื้นที่ครอบคลุมแบบอวกาศว่างจะเห็นว่าสามารถปรับเปลี่ยนพื้นที่ครอบคลุมได้ในกรณีต่างๆ โดยในกรณีเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ที่มีค่า F/D เท่ากับ 0.35 พบว่าสามารถให้พื้นที่ครอบคลุมได้ดีกว่ากรณีที่จัดเรียงแบบแบนราบ เนื่องจากความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังมากกว่า กรณีที่เพิ่มค่าของอัตราขยายจะได้กำลังคลื่นที่บริเวณที่ศึกษามีค่าลดลงเช่นเดียวกันกับในกรณีที่สร้างตำแหน่งศูนย์ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากการเพิ่มอัตราขยายจะเป็นการรวมกำลังคลื่นที่ได้รับไปยังทิศทางที่ต้องการมากที่สุด ใน

กรณีที่ตั้งตำแหน่งศูนย์กำลังคลื่นที่อยู่ในทิศทางที่ตั้งตำแหน่งศูนย์ลดลงแต่จะเพิ่มในทิศทางอื่นแทน

ในกรณีที่ใช้แบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นวิทยุสำหรับการสื่อสารเคลื่อนที่ในเขตเมือง ผลการคำนวณสามารถเพิ่มหรือลดพื้นที่ครอบคลุมได้จากการปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานให้ผลเช่นเดียวกันกับในอวกาศว่าง โดยในกรณีที่เข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ที่มีค่า F/D เท่ากับ 0.35 พบว่าสามารถให้พื้นที่ครอบคลุมได้ดีกว่ากรณีการจัดเรียงแบบแบนราบ

ในการประยุกต์ใช้งานสายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อยในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมและข่ายเชื่อมโยงภาคพื้นดินสามารถเลื่อนลำคลื่นไปได้ -5 องศาถึง 5 องศาในทิศทางที่กำหนดเพื่อชดเชยผลกระทบของชั้นบรรยากาศได้ดังรูป 3.37 ถึงรูป 3.41 อัตราขยายในแนวโพลาริเซชันไขว้ต่างจากแนวโพลาริเซชันร่วมมากที่สุด 51.06 dB ซึ่งสามารถนำไปใช้งานในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมได้ตามข้อกำหนดของ ITU-R



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

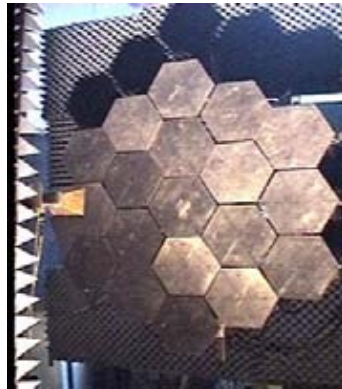
การทดสอบสายอากาศ

ความนำ

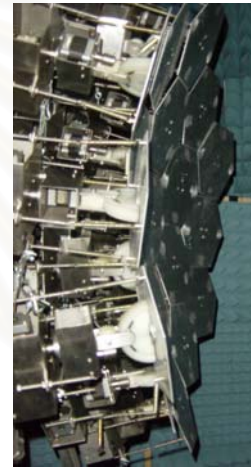
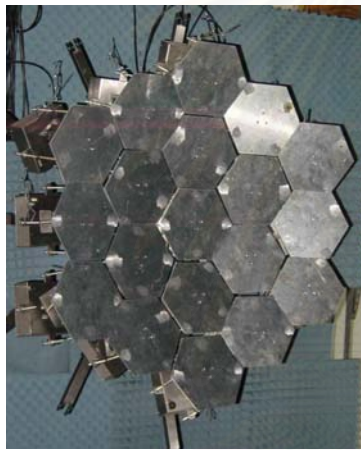
ในบทนี้กล่าวถึงการทดสอบสายอากาศจันสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อย และทดสอบการประยุกต์ใช้เป็นสายอากาศสถานีฐาน การทดสอบสายอากาศต้นแบบในที่นี้ทำในย่านทดสอบสายอากาศชนิดสนามใกล้เชิงระนาบ การทดสอบด้วยวิธีการนี้อาจไม่สามารถทำให้เห็นรายละเอียดบนแบบรูปการแผ่พลังงานที่มุมมองศาใกล้ๆ ได้ แต่จะได้รายละเอียดบริเวณพหุหลักในช่วง ± 21.5 องศา ซึ่งถือว่าสามารถใช้ในการทดสอบสายอากาศในวิทยานิพนธ์นี้ได้ เนื่องจากบริเวณพหุหลักของสายอากาศอยู่ในบริเวณองศาครอบคลุมดังกล่าว และการทดสอบการประยุกต์ใช้งานเป็นสายอากาศสถานีฐาน จะทดสอบเปรียบเทียบความสามารถการปรับเปลี่ยนพื้นที่ครอบคลุมในกรณีต่าง ๆ ในบริเวณคณะวิศวกรรมศาสตร์

4.1 การทดสอบในย่านทดสอบสนามใกล้เชิงระนาบ

ต้นแบบของสายอากาศจันสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อยที่นำมาทดสอบทำงานที่ความถี่ปฏิบัติการ 2 GHz และจัดเรียงให้พื้นผิวสะท้อนเริ่มต้นที่ปรับรูปลักษณะได้เป็นแบบแบนราบและแบบพาราโบลอยด์ที่มีค่า F/D เท่ากับ 0.35 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1 เมตร พื้นผิวสะท้อนเริ่มต้นที่ปรับรูปลักษณะได้นี้ประกอบด้วยแผ่นย่อยอะลูมิเนียมรูปหกเหลี่ยมด้านเท่าที่มีความยาวแต่ละด้านเท่ากับ 12.5 เซนติเมตร จำนวน 19 แผ่น และจัดวางให้ศูนย์กลางวัฏภาค (phase center) ของสายอากาศบ่อนกำลังคลื่นอยู่เหนือขึ้นไปจากจุดกึ่งกลางของพื้นผิวสะท้อนเริ่มต้นที่ปรับรูปลักษณะได้เป็นระยะ 60 เซนติเมตรในกรณีจัดเรียงแบบแบนราบและ 55 เซนติเมตรในกรณีจัดเรียงเป็นรูปพาราโบลอยด์ ดังรูป 4.1 ใช้สายอากาศท่อนำคลื่นสี่เหลี่ยมปลายเปิด ดังรูป 4.2 เป็นสายอากาศบ่อนกำลังคลื่น สายอากาศท่อนำคลื่นสี่เหลี่ยมปลายเปิดที่ใช้ทำด้วยทองเหลืองที่มีขนาดช่องเปิดเป็น 0.053 เมตร x 0.112 เมตร ดังรูป 4.2 แบบรูปการแผ่พลังงานย่านสนามใกล้ของสายอากาศบ่อนกำลังคลื่นจากการทดสอบในย่านสนามใกล้และจากการคำนวณทางทฤษฎี บนระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กเป็นดังรูป 4.3 และรูป 4.4

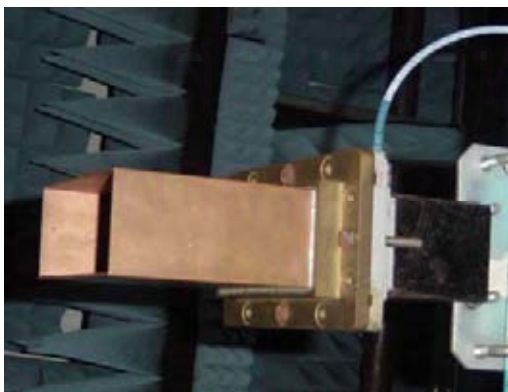


(ก) กรณีจัดเรียงแบบแบนราบ



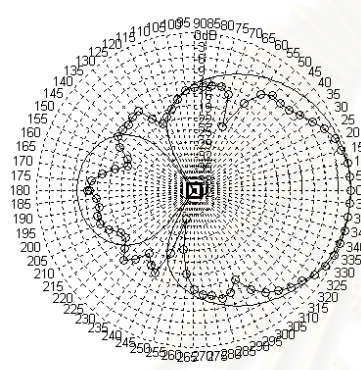
(ข) กรณีจัดเรียงเป็นรูปพาราโบลอยด์

รูป 4.1 ต้นแบบของสายอากาศงานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับ
รูปลักษณะที่ได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อยที่นำมาทดสอบ

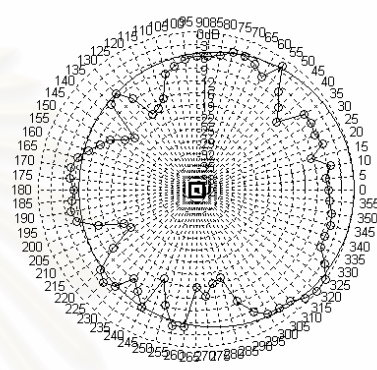


รูป 4.2 สายอากาศท่อนำคลื่นสี่เหลี่ยมปลายเปิดเป็นสายอากาศป้อนกำลังคลื่น

จะเห็นจากรูป 4.3 และรูป 4.4 ว่าแบบรูปการแผ่พลังงานย่านสนามไกลขององค์ประกอบ
 แนวโพลาริเซชันร่วมและขององค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้ของสายอากาศท่อนำคลื่น
 สี่เหลี่ยมปลายเปิด จากการวัดสอดคล้องกับผลการคำนวณ อย่างไรก็ตามค่าของวิฏภาคเกิดการ
 แกว่งตัวไม่เป็นไปตามผลการคำนวณนัก ทั้งนี้อาจเกิดจากผลกระทบของการเลี้ยวเบนที่ขอบของ
 ช่องเปิดและสภาพแวดล้อมขณะวัดทำให้ค่าของวิฏภาคเกิดการแกว่งตัวผิดไปจากผลการคำนวณ



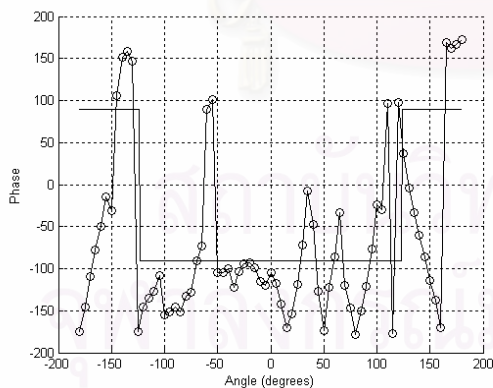
(ก) ระบายสนามไฟฟ้า



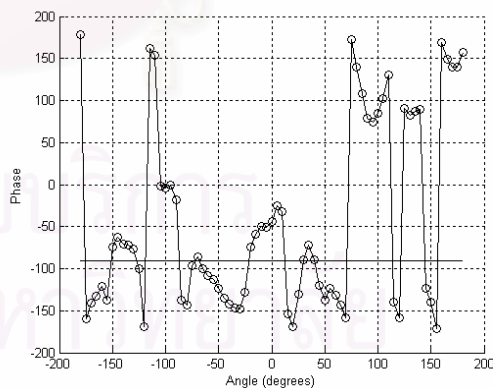
(ข) ระบายสนามแม่เหล็ก

รูป 4.3 แบบรูปขนาดในแนวโพลาริเซชันร่วมของสายอากาศท่อนำคลื่นสี่เหลี่ยมปลายเปิด

—○— ผลการวัด ————— ผลคำนวณทางทฤษฎี



(ก) ระบายสนามไฟฟ้า



(ข) ระบายสนามแม่เหล็ก

รูป 4.4 แบบรูปวิฏภาคในแนวโพลาริเซชันร่วมของสายอากาศท่อนำคลื่นสี่เหลี่ยมปลายเปิด

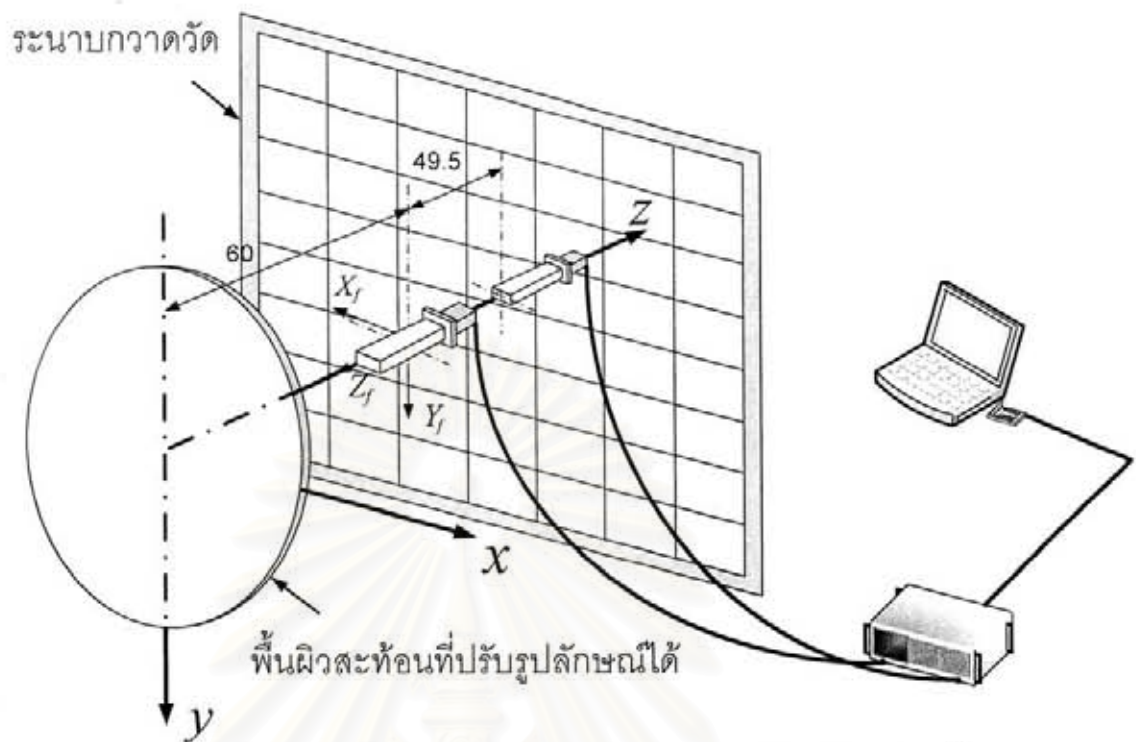
—○— ผลการวัด ————— ผลคำนวณทางทฤษฎี

ย่านทดสอบสายอากาศสนามใกล้เชิงระนาบที่ใช้ในที่นี้นั้นมีขนาดของระนาบกวาดวัดเท่ากับ 196.875 เซนติเมตร x 196.875 เซนติเมตร ภายในห้องทดสอบติดตั้งเสาอากาศเคลื่อนที่เคลื่อนที่ดังรูป 4.5 และใช้เครื่องวิเคราะห์ข่ายวงจร (network analyzer) รุ่น HP8722ET เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านแผงวงจร GPIB ซึ่งจะเก็บข้อมูลที่ละสดมภ์ (column) โดยใช้คอมพิวเตอร์เชื่อมต่อกับวงจรนับเพื่อควบคุมมอเตอร์ที่ติดกับหัววัดแบบกึ่งอัตโนมัติ ตำแหน่งของการติดตั้งสายอากาศต้นแบบในระบบการวัดเป็นดังรูป 4.6 กำหนดให้ระยะชักตัวอย่างเป็น 3.75 เซนติเมตร ($\lambda/4$) ซึ่งจะได้จำนวนจุดข้อมูลทั้งหมดเป็น 54 จุด x 54 จุด (เวลาที่ใช้วัดหนึ่งระนาบ ประมาณ 5 ชั่วโมง) และติดตั้งสายอากาศทดสอบให้ระยะห่างจากศูนย์กลางภูมิภาคของสายอากาศป้อนกำลังคลื่นมายังช่องเปิดของหัววัดเท่ากับ 49.5 เซนติเมตร (3.3λ) ระยะห่างจากพื้นผิวเริ่มต้นที่ปรับรูปลักษณะได้มายังช่องเปิดของหัววัดเท่ากับ 109.5 เซนติเมตร (7.3λ)



รูป 4.5 สภาพภายในห้องทดสอบและระนาบกวาดวัดของ
การทดสอบสายอากาศย่านสนามใกล้เชิงระนาบ

สถาบันวิจัยดาราศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 4.6 ระบบพิกัดของสายอากาศทดสอบและระยะต่างๆ ในการติดตั้ง

ค่าพารามิเตอร์ของเครื่องวิเคราะห์ข่ายวงจรในการทดสอบเป็นดังนี้

1. ความถี่ปฏิบัติการ 2 GHz คิดเป็นความยาวคลื่น 0.15 เมตร
2. ความสูญเสียที่เกิดในระบบการวัดแบ่งได้เป็น ความสูญเสียที่เกิดในสายส่งมีค่าเป็น 5.93 dB (รวมความสูญเสียในข้อต่อแล้ว)
3. การกำหนดค่าปัจจัยของเครื่องวิเคราะห์ข่ายวงจรในการทดสอบเป็นดังนี้

กำลังส่ง	-5 dBm
ความกว้างแถบความถี่ (IF Bandwidth)	300 Hz
ตัวประกอบค่าเฉลี่ย (avg. factor)	8
จำนวนจุด (number of point)	51

4. ตำแหน่งเชิงมุมที่เชื่อถือได้ของแบบรูปการแผ่พลังงานย่านสนามไกลที่ได้จากการคำนวณข้อมูลสนามไฟฟ้าบนระนาบกวาดวัด ซึ่งมีค่าเท่ากับมุมที่ลากจากเส้นขอบของสายอากาศต้นแบบไปถึงขอบนอกของระนาบการกวาดวัดทำกับแกน z ดังรูป 4.6 มีค่าเป็นดังนี้

$$\theta_{cov} = \tan^{-1}\left(\frac{98.44 - 55}{109.5}\right) = 21.64^\circ \quad (4.1)$$

4.2 เปรียบเทียบผลการวัดกับผลการวิเคราะห์

การทดสอบสายอากาศในบ่อนี้ได้ทดสอบสมรรถนะของการปรับเปลี่ยนลำคลื่นของสายอากาศ และการเลื่อนลำคลื่นในกรณีต่าง ๆ ดังตาราง 4.1 โดยในกรณีจัดเรียงแบบแบนราบนั้นได้ทดสอบ การเลื่อนลำคลื่นไปที่ 0 องศา การปรับแบบรูปการแผ่พลังงานที่ 0 องศา การปรับเปลี่ยนลำคลื่นในกรณีที่ 2 และ 3 และเลื่อนลำคลื่นไปที่ 10 องศา ในกรณีที่เข้ารูปเป็นรูปพาราโบลาจะวัดแบบรูปการแผ่พลังงานย่านสนามไกลในกรณีที่ไม่มีกรปรับพื้นผิวเริ่มต้นที่ปรับรูปลักษณะได้ จากนั้นวัดแบบรูปการแผ่พลังงานย่านสนามไกลในกรณีที่ปรับพื้นผิวเริ่มต้นที่ปรับรูปลักษณะได้ให้เลื่อนลำคลื่นไปที่มุม 0 และ 10 องศา และการปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานในกรณีเลื่อนลำคลื่นไปที่ 0 องศา

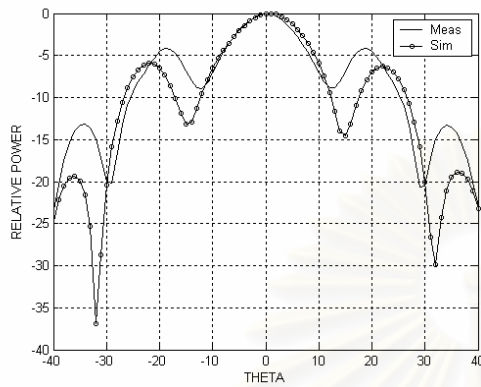
ตาราง 4.1 กรณีศึกษาในการทดสอบสายอากาศ

กรณี	รูปร่างเริ่มต้น	มุมของสายอากาศ	อัตราขยาย
1	แบนราบ	[-1 0 1]	[17 18 17]
2	แบนราบ	[-1 0 6]	[17 18 17]
3	แบนราบ	[-1 0 1]	[20 21 20]
4	แบนราบ	10	[17 18 17]
5	พาราโบลา	ไม่ปรับแผ่ย่อย	-
6	พาราโบลา	0	[17 18 17]
7	พาราโบลา	10	[17 18 17]
8	พาราโบลา	[-1 0 1 20]	[17 18 17 0]

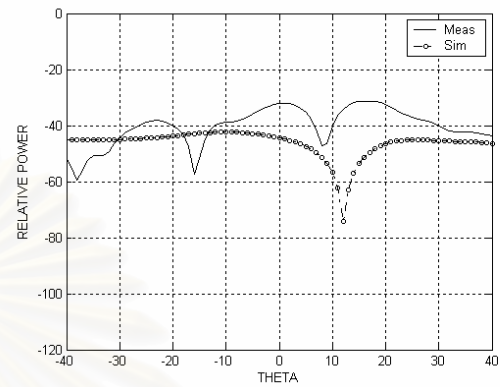
รูป 4.7 ถึง 4.14 เปรียบเทียบผลการวัดโดยรวมผลกระทบจากการเลี้ยวเบนที่ขอบของแผ่นย่อยแต่ละแผ่น การบดบังคลื่นจากแผ่นย่อยล้อมรอบ และการบดบังคลื่นจากสายอากาศป้อนกำลังคลื่น โดยไม่ได้คำนึงผลกระทบจากการเลี้ยวเบนที่ขอบของสายอากาศป้อนกำลังคลื่นและการกระเจิงจากโครงสร้างยึดสายอากาศป้อนกำลังคลื่น

การเปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลการทดลองจะเปรียบเทียบในบริเวณที่มีค่าความน่าเชื่อถือได้ของผลการวัดคือช่วง ± 22 องศา แต่จะแสดงผลของการวัดที่คำนวณได้ในช่วง ± 40

องศา เพื่อให้เห็นถึงแนวโน้มต่อไปของแบบรูปการตรวจสอบหาความเสถียรของระบบการวัดที่ตั้งแสดงในภาคผนวก ค. ซึ่งสนามมีการแกว่งตัวไม่เกิน 1 dB และวัฏภาคมีการแกว่งตัวไม่เกิน 5 องศา

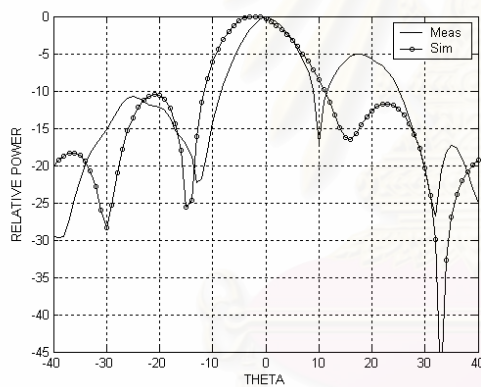


(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม

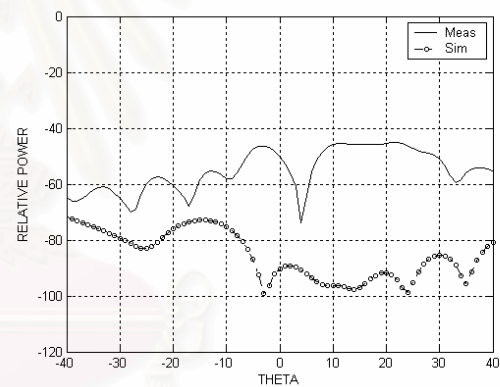


(ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้

รูป 4.7 เปรียบเทียบผลการวัดกับผลการวิเคราะห์ของแบบรูปการแผ่พลังงานย่านสนามไกลในกรณีที่ 1

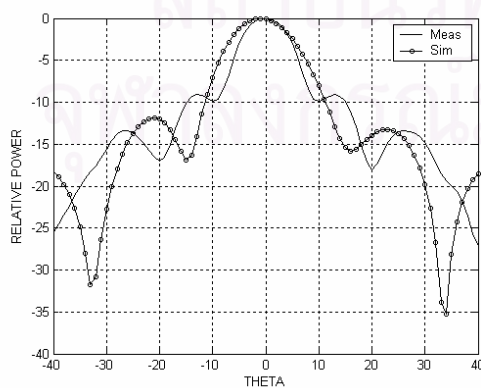


(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม

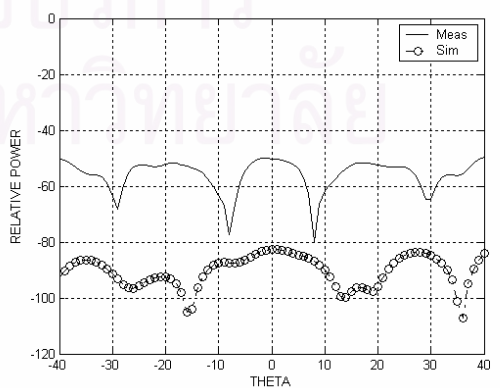


(ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้

รูป 4.8 เปรียบเทียบผลการวัดกับผลการวิเคราะห์ของแบบรูปการแผ่พลังงานย่านสนามไกลในกรณีที่ 2

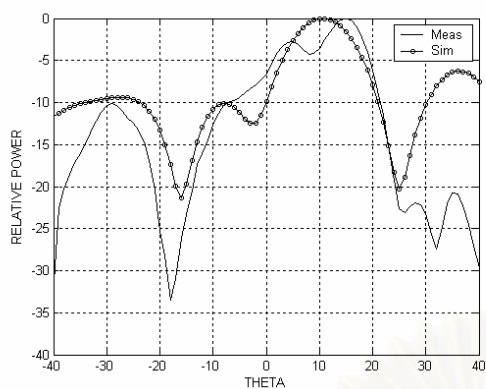


(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม

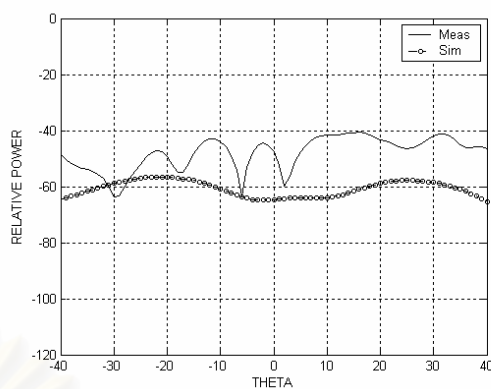


(ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้

รูป 4.9 เปรียบเทียบผลการวัดกับผลการวิเคราะห์ของแบบรูปการแผ่พลังงานย่านสนามไกลในกรณีที่ 3

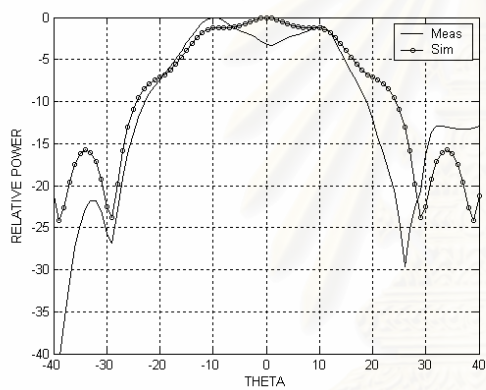


(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม

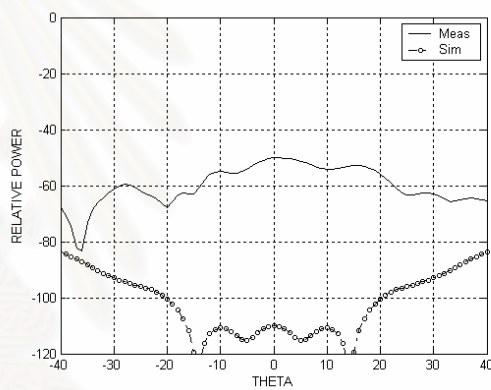


(ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้

รูป 4.10 เปรียบเทียบผลการวัดกับผลการวิเคราะห์ของแบบรูปการแผ่พลังงานย่านสนามไกลในกรณีที่ 4

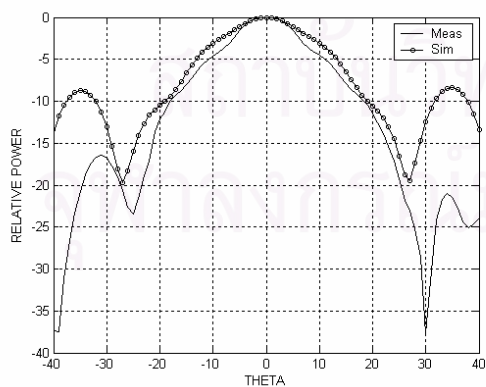


(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม

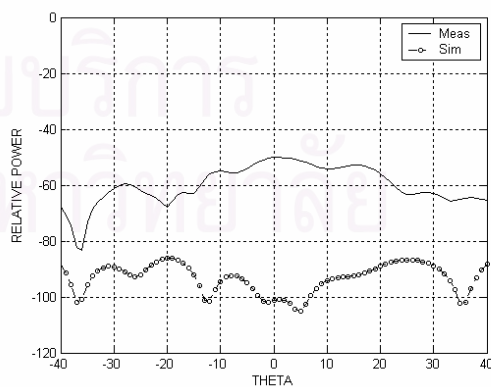


(ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้

รูป 4.11 เปรียบเทียบผลการวัดกับผลการวิเคราะห์ของแบบรูปการแผ่พลังงานย่านสนามไกลในกรณีที่ 5

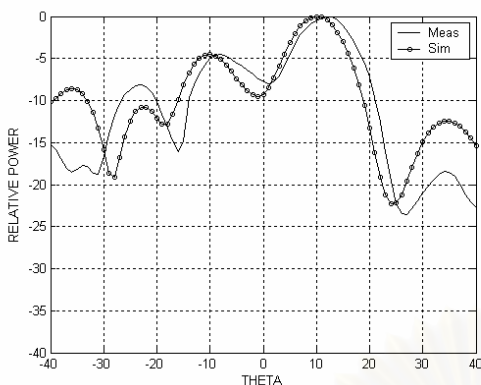


(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม

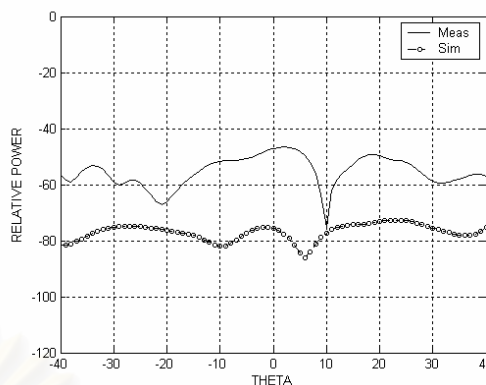


(ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้

รูป 4.12 เปรียบเทียบผลการวัดกับผลการวิเคราะห์ของแบบรูปการแผ่พลังงานย่านสนามไกลในกรณีที่ 6

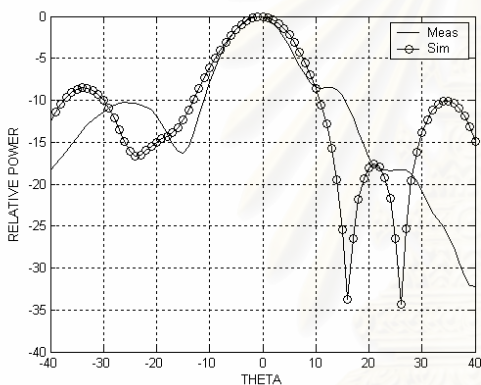


(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม

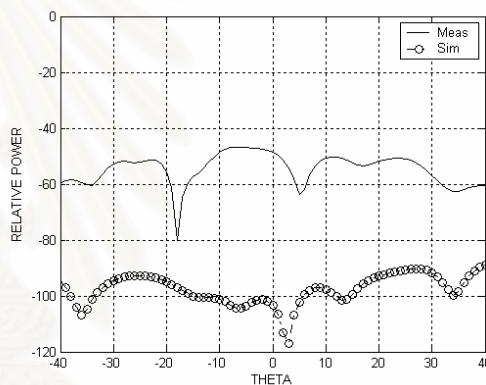


(ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้

รูป 4.13 เปรียบเทียบผลการวัดกับผลการวิเคราะห์ของแบบรูปการแผ่พลังงานย่านสนามไกลในกรณีที่ 7



(ก) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันร่วม



(ข) องค์ประกอบแนวโพลาริเซชันไขว้

รูป 4.14 เปรียบเทียบผลการวัดกับผลการวิเคราะห์ของแบบรูปการแผ่พลังงานย่านสนามไกลในกรณีที่ 8

จะเห็นจากรูป 4.7 (ก) ถึง รูป 4.14 (ก) ว่า แบบรูปการแผ่พลังงานย่านสนามไกลในแนวโพลาริเซชันร่วมที่ได้จากการวัดมีความใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์เป็นอย่างดี ในบริเวณพหุหลักและพหุข้างซึ่งเป็นมุมที่เชื่อถือได้ของย่านทดสอบและเมื่ออยู่นอกช่วงข้อมูลที่เชื่อถือได้ของย่านทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานย่านสนามไกลเริ่มผิดเพี้ยนไปจากผลการคำนวณ แบบรูปการแผ่พลังงานย่านสนามไกลที่วัดได้ในรูป 4.8 (ก), รูป 4.10 (ก) และรูป 4.13 (ก) มีผลแตกต่างจากผลการคำนวณโดยเลื่อนไปทางขวาอาจเกิดจากการติดตั้งสายอากาศบ่อนกำลังคลื่นไม่ได้อยู่ตำแหน่งกึ่งกลางของพื้นผิวสะท้อนที่ปรับรูปลักษณะได้

ระดับพหุข้างที่สูงขึ้นหรือต่ำกว่าผลการคำนวณอาจเกิดจากความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของหัววัดทำให้ไม่ได้ข้อมูลที่ต้องการในการสุ่มตัวอย่าง และอาจเกิดจากความไม่แน่นอนของวงจรรับคลื่นที่ ทำให้ขณะวัดสัญญาณหัววัดไม่ได้หยุดเคลื่อนที่ทำให้การเก็บข้อมูลอาจผิดเพี้ยนไป

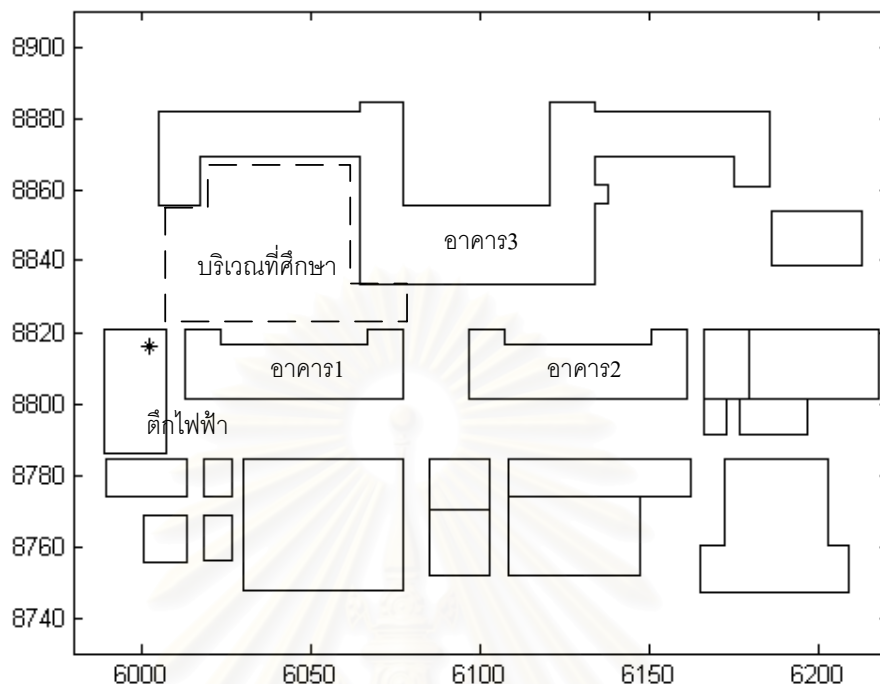
ระดับพู่ข้างที่สูงขึ้นในรูป 4.8 (ก) และรูป 4.14 (ก) อาจเกิดจากบริเวณดังกล่าวมีผลกระทบจากการสะท้อนที่บริเวณผนังห้องมากทำให้แบบรูปการแผ่พลังงานในช่วง θ มากกว่า 10 องศา มีค่าสูงขึ้น

ระดับโพลาริเซชันไขว้ที่สูงขึ้นดังรูป 4.7 (ข) ถึงรูป 4.14 (ข) จะเห็นว่ามียกระดับสูงกว่าผลการคำนวณและพบว่าระดับโพลาริเซชันที่วัดได้มีค่าอยู่ที่ประมาณ -60 dB เนื่องจากสายอากาศป้อนกำลังคลื่นที่ใช้ในการคำนวณจะสมมติให้เป็นสายอากาศชนิดโพลาริเซชันแนวแกน x แต่สายอากาศที่ใช้ในการทดลองนั้นไม่เป็นอุดมคติทำให้คลื่นที่แพร่กระจายออกมาประกอบด้วยสนามที่มีโพลาริเซชันทั้งในแนวแกน x และแนวแกน y จึงทำให้ระดับโพลาริเซชันไขว้ที่มาจากสายอากาศจันสะท้อนมีค่าเพิ่มขึ้น และในบริเวณ θ เท่ากับ 0 องศาจะเห็นว่าระดับโพลาริเซชันไขว้มีค่าสูงกว่าผลการคำนวณเป็นอย่างมาก ซึ่งอาจเกิดจากพู่หลังของสายอากาศป้อนกำลังคลื่นทำให้ช่วงบริเวณใกล้ ๆ 0 องศา ผลการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชันไขว้ผิดเพี้ยนไป

4.3 การทดสอบในกรณีที่เป็นสายอากาศสถานีฐาน

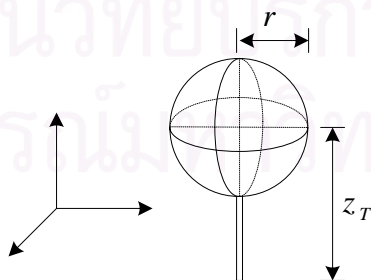
การทดสอบในกรณีที่ใช้เป็นสายอากาศสถานีฐานทำโดยติดตั้งสายอากาศไว้บนอาคารวิศวกรรมไฟฟ้าและวัดค่ากำลังคลื่นที่รับได้ตามจุดต่างๆ ในบริเวณคณะวิศวกรรมศาสตร์ ดังรูป 4.15 การทดสอบนี้ทำเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ครอบคลุมของสายอากาศโดยการวัดกำลังคลื่นที่แผ่กระจายไปยังบริเวณต่าง ๆ ในบริเวณที่ศึกษา เนื่องจากบริเวณที่ศึกษามีต้นไม้กีดขวางทำให้การวัดค่าสัญญาณไม่สอดคล้องกับผลการคำนวณในบทที่ 3 ในที่นี้จะใช้ฐานข้อมูลต้นไม้ใน [20] ร่วมกับผลการคำนวณจากบทที่ 3 เพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

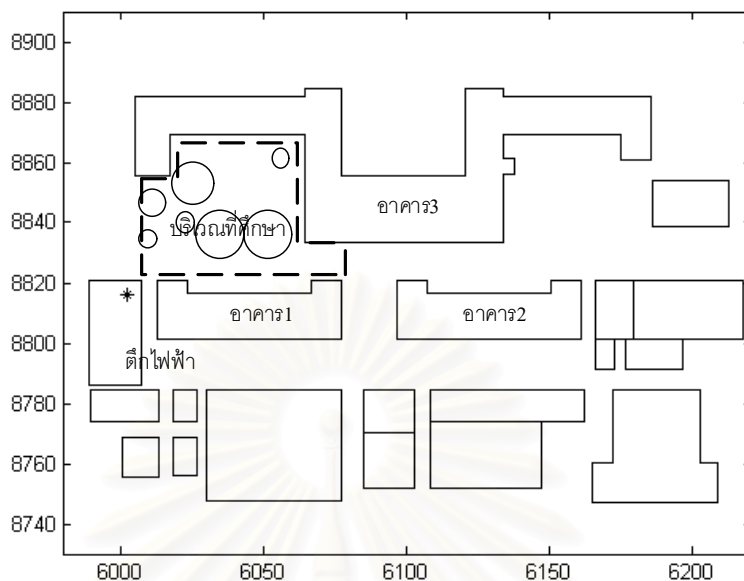


รูป 4.15 บริเวณที่ศึกษาภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์

ฐานข้อมูลต้นไม้จะจำลองให้ต้นไม้มีลำต้นเป็นท่อทรงกระบอกขนาดเล็กและมีพุ่มไม้เป็นทรงกลมมีรัศมี r เมตร ความสูงจากพื้นถึงกลางพุ่มไม้เท่ากับ z_T เมตร ดังรูป 4.16 มีอัตราการลดทอนคลื่น $a = e^{-\alpha d}$ เท่า เมื่อ α คือสัมประสิทธิ์การลดทอนของสนามไฟฟ้าเมื่อคลื่นเดินทางผ่านพุ่มไม้ $\alpha = 1.8718 \text{ Np/m}$ กำหนดให้มีค่าเท่ากันทุกต้น และ d คือระยะทางที่คลื่นเดินทางในพุ่มไม้ ในบริเวณที่ศึกษาได้สร้างแผนภูมิต้นไม้ในแบบจำลองดังรูป 4.17



รูป 4.16 การจำลองต้นไม้ในแบบจำลอง



○ คือแบบจำลองต้นไม้

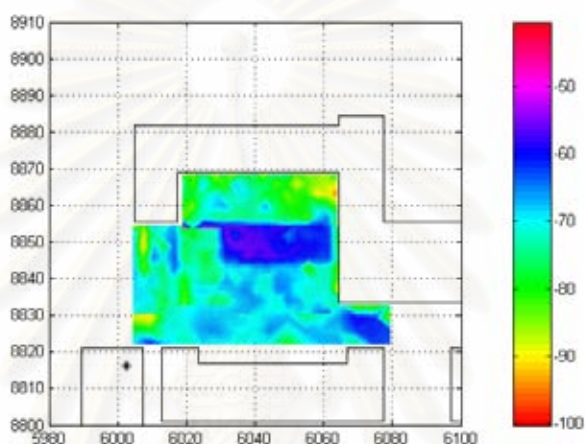
รูป 4.17 บริเวณที่ศึกษาภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์เมื่อเพิ่มฐานข้อมูลต้นไม้

การทดสอบเมื่อใช้เป็นสายอากาศสถานีฐานได้เลือกกรณีทีวิเคราะห์จากบทที่ 3 มาทดสอบโดยเลือกบางกรณีเพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ครอบคลุมของสายอากาศ โดยใช้สายอากาศชนิดจานสะท้อนแบบปรับรูปลักษณะได้ที่ใช้แผ่นยอยที่มีพื้นผิวเริ่มต้นแบบแบนราบและจัดเรียงให้พื้นผิวสะท้อนเริ่มต้นเป็นรูปเป็นพาราโบลอยด์ที่มีค่า F/D เท่ากับ 0.35 กรณีต่างๆ ดังแสดงใน ตาราง 4.2 รายละเอียดการทดลองดังภาคผนวก ค.

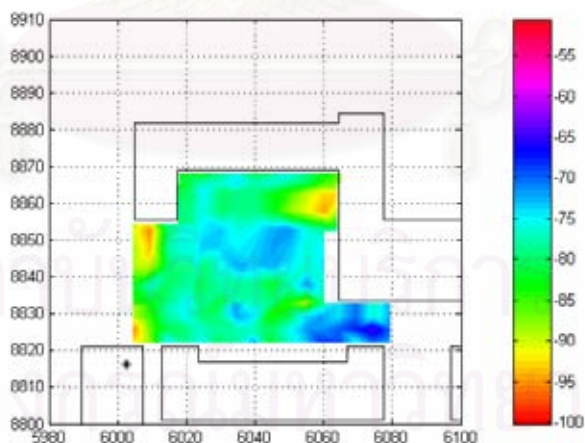
ตาราง 4.2 กรณีที่ทดสอบสายอากาศเมื่อใช้เป็นสายอากาศสถานีฐาน

กรณีที่	รูปร่างเริ่มต้น	มุมของสายอากาศ	อัตราขยาย
1	พาราโบลอยด์	$[-1 \ 0 \ 1]$	$[17 \ 18 \ 17]$
2	พาราโบลอยด์	$[-1 \ 0 \ 12]$	$[18 \ 19 \ 15]$
3	พาราโบลอยด์	$[-12 \ -1 \ 0 \ 1]$	$[15 \ 17 \ 18 \ 17]$
4	พาราโบลอยด์	$[-10 \ -1 \ 0 \ 1 \ 20]$	$[14 \ 17 \ 18 \ 17 \ 0]$
5	แบนราบ	$[-1 \ 0 \ 1]$	$[17 \ 18 \ 17]$
6	แบนราบ	$[-1 \ 0 \ 6]$	$[17 \ 18 \ 17]$

ผลการคำนวณได้รวมการจำลองต้นไม้ในแบบจำลองรวมกับผลการคำนวณในบทที่ 3 ดังรูป 4.18 (ก) ถึงรูป 4.23 (ก) ผลการวัดเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองได้รับค่าที่มากที่สุดของแถบสีของผลวัดในทุกกรณีโดยปรับต่างจากผลการคำนวณลง 10 dB เนื่องจากกำลังคลื่นที่รับได้จากการทดลองมีระดับต่ำกว่าผลการคำนวณและค่าของกำลังคลื่นของผลการทดลองมีค่าต่างกันไม่มากนักทำให้เมื่อใช้ค่าของแถบสีที่เท่ากันกับผลการคำนวณจะไม่สามารถบ่งบอกถึงความต่างกันของกำลังคลื่นได้ในแถบสีที่กำหนดดังรูป 4.18 (ข) ถึงรูป 4.23 (ข)

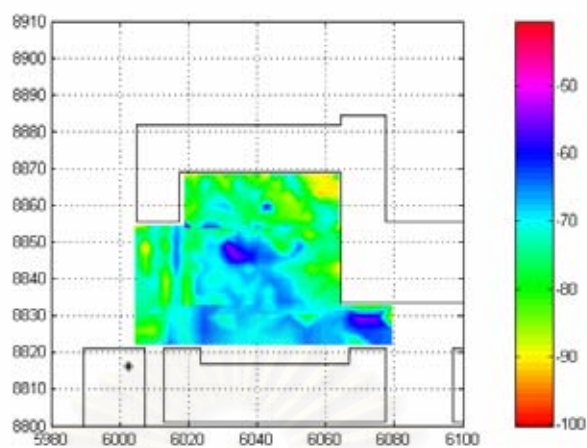


(ก) ผลการคำนวณ

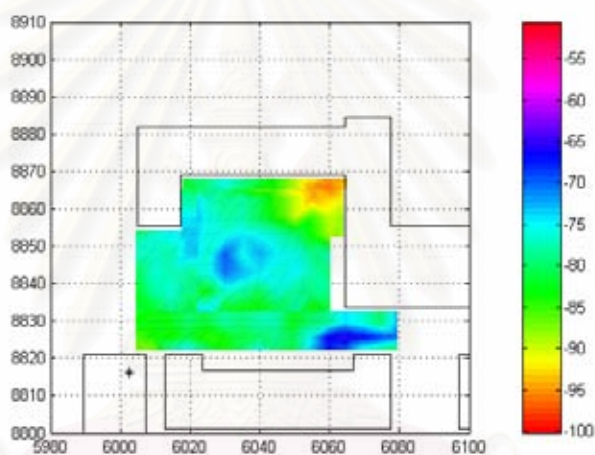


(ข) ผลการทดลอง

รูป 4.18 เปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลการทดลองในกรณีที่ 1

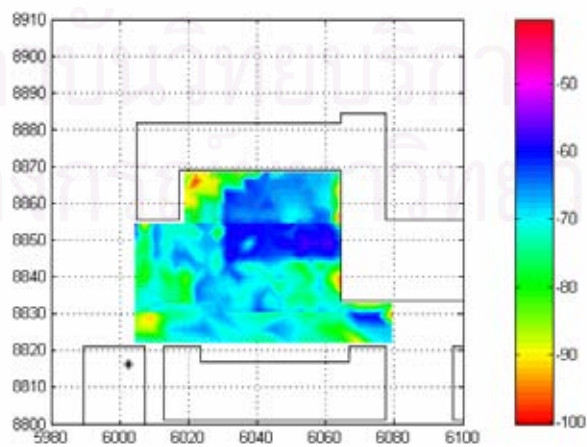


(ก) ผลการคำนวณ



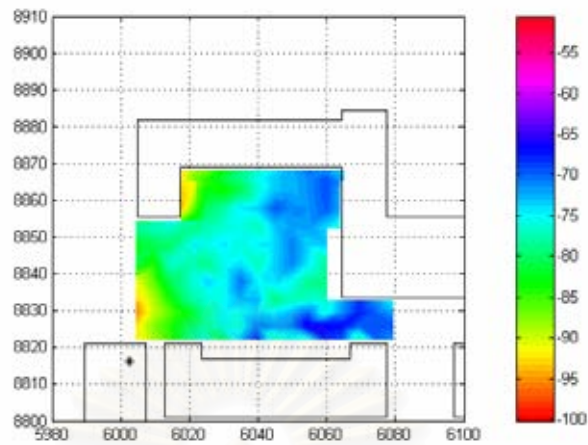
(ข) ผลการทดลอง

รูป 4.19 เปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลการทดลองในกรณีที่ 2



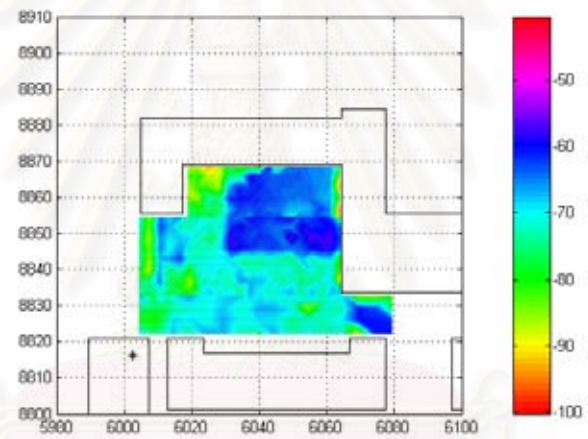
(ก) ผลการคำนวณ

รูป 4.20 เปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลการทดลองในกรณีที่ 3

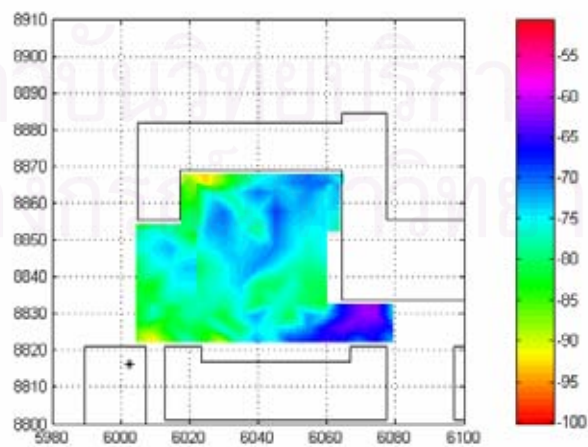


(ข) ผลการทดลอง

รูป 4.20 เปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลการทดลองในกรณีที่ 3 (ต่อ)

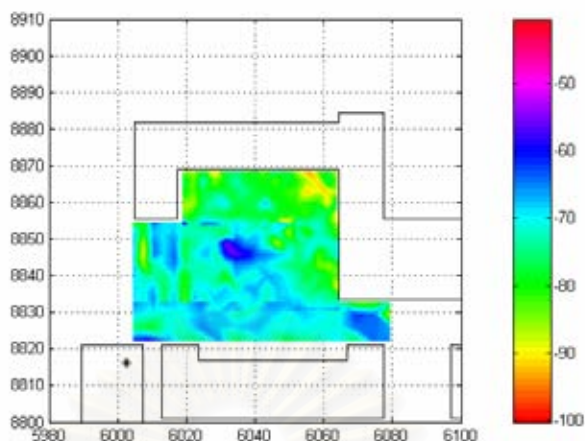


(ก) ผลการคำนวณ

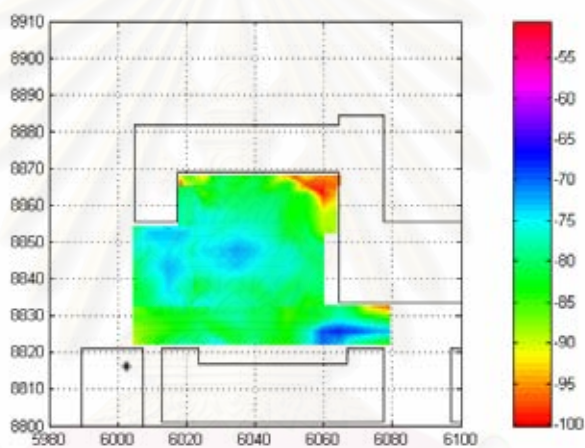


(ข) ผลการทดลอง

รูป 4.21 เปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลการทดลองในกรณีที่ 4

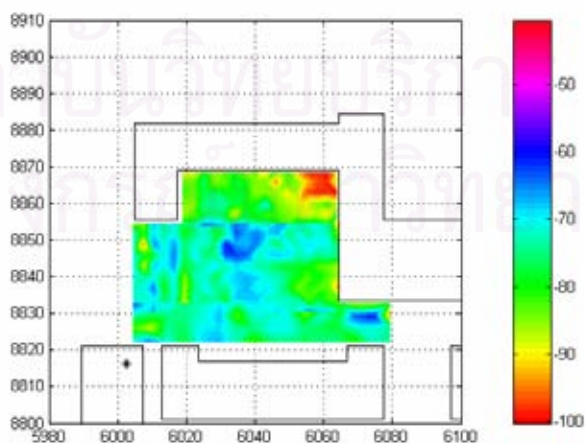


(ก) ผลการคำนวณ



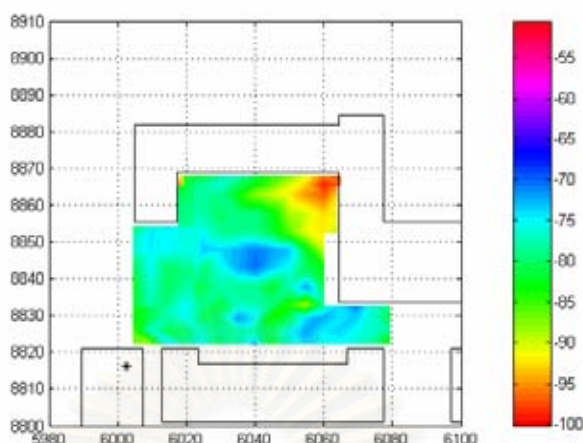
(ข) ผลการทดลอง

รูป 4.22 เปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลการทดลองในกรณีนี้ที่ 5



(ก) ผลการคำนวณ

รูป 4.23 เปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลการทดลองในกรณีนี้ที่ 6



(ข) ผลการทดลอง

รูป 4.23 เปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลการทดลองในกรณีที่ 6 (ต่อ)

จะเห็นจากรูป 4.18 ถึง รูป 4.23 ว่าผลการทดลองเปลี่ยนแปลงไปในแนวโน้มเดียวกันกับผลการคำนวณ แต่พบว่าค่าสัญญาณที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าผลการคำนวณ เนื่องจากในแบบจำลองพิจารณาสิ่งกีดขวางที่เป็นอาคารผิวเรียบ ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างผลการคำนวณและผลการทดลอง นอกจากนี้การจำลองต้นไม้เข้าไปในแบบจำลองได้ใช้การจำลองเป็นทรงกลมเนื่องจากต้นไม้สูงใหญ่ทำให้ไม่สามารถวัดค่ารัศมีที่ถูกต้องได้ผลดังรูป 4.18 , รูป 4.19, รูป 4.22 และรูป 4.23 จะไม่ได้ค่าที่สอดคล้องกับผลการคำนวณ แต่พบว่าผลในรูป 4.20, และรูป 4.21 ค่าที่วัดได้ในบริเวณถนนหน้าอาคาร 2 ไม่เป็นในแนวทางเดียวกันกับรูป 4.18, รูป 4.19 และรูป 4.22 เนื่องจากบริเวณกึ่งกลางอาคาร 1 ไปทางด้านอาคาร 2 ที่ทดลองมีรถจอดอยู่หนาแน่นอาจทำให้ค่าสัญญาณที่รับได้มีค่าสูงกว่าผลการคำนวณ และในการทดลองต้นไม้มีการเคลื่อนไหวเนื่องจากลมทำให้ค่าที่วัดได้ผิดไปจากผลการคำนวณ

จุดบอดที่เกิดขึ้นด้านขวาของอาคาร 3 ในการทดลองจะมีบริเวณกว้างกว่าผลการคำนวณ เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีต้นไม้กีดขวางอยู่ในบริเวณอื่นๆ ที่เกิดจุดบอดเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับผลการคำนวณ

สายอากาศจันสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อยสามารถชดเชยจุดบอดที่เกิดขึ้นในกรณีที่ 1 โดยการปรับแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในกรณีที่ 3 และกรณีที่ 4 ดังรูป 4.20 และ รูป 4.21 ในกรณีที่ 2 พบว่าจุดบอดมีขนาดใหญ่ขึ้นเนื่องจากการปรับแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศปรับไปในทิศทางตรงข้ามกับจุดบอดที่เกิดขึ้น ในกรณีที่ 5 และกรณีที่ 6 พบว่า เมื่อจัดเรียงในลักษณะแบนราบค่าที่วัดได้มีกำลังต่ำเนื่องจากความกว้างลำคลื่นครั้งกำลังมีค่าต่ำกว่า แบบที่เกิดจากการเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์

สรุป

ผลการทดสอบสายอากาศพบว่าสายอากาศจางสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ ที่ประกอบจากแผ่นย่อย ที่ทดสอบในย่านสนามใกล้เชิงระนาบ สามารถสร้างรูปแบบของลำคลื่นได้ตามที่กำหนดไว้ทั้งในกรณีปรับเปลี่ยนรูปร่างของลำคลื่นและการเลื่อนลำคลื่น สายอากาศที่จัดเรียงในลักษณะแบนราบและที่เกิดจากการเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ ให้ผลที่มีแนวโน้มเป็นไปได้ในทางเดียวกันกับผลการคำนวณ ผลที่คลาดเคลื่อนอาจเกิดจากการเลื่อนเชิงตำแหน่งของสายอากาศป้อนกำลังคลื่น ผลของมอเตอร์แบบขั้นและวงจรรัน แต่ระดับโพลาริเซชันไขว้มีระดับสูงขึ้นจากผลการคำนวณเนื่องจากพหุหลังของสายอากาศป้อนและความไม่อุดมคติของสายอากาศป้อนกำลังคลื่น

การทดสอบในกรณีที่ใช้เป็นสายอากาศสถานีฐานพบว่าสายอากาศจางสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อย สามารถปรับเปลี่ยนพื้นที่ครอบคลุมในบริเวณที่ศึกษาได้ โดยจะเห็นได้ว่าจุดบอดที่เกิดในกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 ดังรูป 4.18 และรูป 4.19 สามารถลดลงโดยการปรับรูปร่างของลำคลื่นดังกรณีที่ 3 และกรณีที่ 4 ดังรูป 4.20 และรูป 4.21 กรณีรูปร่างเริ่มต้นของสายอากาศจากผลการทดลองพบว่าสายอากาศที่เกิดจากการเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์สามรถให้พื้นที่ครอบคลุมได้ดีกว่าในกรณีที่จัดเรียงแบบแบนราบ ทั้งนี้ผลการวัดที่ได้นั้นมีค่าแตกต่างจากผลการคำนวณ ผลที่แตกต่างนั้นเกิดจากแบบจำลองที่คิดพื้นผิวอาคารเป็นพื้นผิวเรียบและยานพาหนะที่จอดอยู่และสัญจรไปมาในบริเวณที่ศึกษาขณะทำการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปงานวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาขีดจำกัดเชิงสมรรถนะและการประยุกต์ใช้งานที่เป็นไปได้ของสายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นยอ โดยศึกษาค่าปัจจัยต่างๆ ที่ใช้ในสายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นยอ เพื่อใช้ในการออกแบบสำหรับการประยุกต์ใช้งานโดยจะเน้นหนักไปทางด้านการประยุกต์ใช้งานสำหรับสถานีฐานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งศึกษาจากขนาดของสายอากาศโดยการปรับเปลี่ยนขนาดของแผ่นยอ จำนวนของแผ่นยอ รูปร่างเริ่มต้นของสายอากาศ และค่าของอัตราขยายที่กำหนดในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และแนวทางการออกแบบสายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นยอในการประยุกต์ใช้งานสำหรับสายอากาศสถานีฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

การศึกษาค่าขีดจำกัดในกรณีใช้งานเป็นสายอากาศสถานีฐานพบว่า เมื่อขนาดสายอากาศเพิ่มมากขึ้นประสิทธิภาพของสายอากาศลดลงเนื่องจากความต้องการของความกว้างลำคลื่นทำให้จำเป็นต้องกำหนดอัตราขยายไว้ต่ำ ค่าที่เหมาะสมของขนาดสายอากาศที่สามารถให้ความกว้างลำคลื่นมากที่สุดและยังมีประสิทธิภาพในการปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานคือขนาด 1.0 เมตร

ผลของรูปร่างเริ่มต้นของสายอากาศพบว่า สายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นยอที่เข้ารูปแบบพาราโบลอยด์สามารถให้ความกว้างของลำคลื่นมากกว่าในกรณีจัดเรียงแบบแบนราบ ทั้งนี้สังเกตเห็นได้จากแบบรูปการแผ่พลังงานและการประยุกต์ใช้งานเป็นสายอากาศสถานีฐาน โดยรูปร่างเริ่มต้นของสายอากาศที่เหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้งานเป็นสายอากาศสถานีฐานคือเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ที่มีค่า F/D เท่ากับ 0.35 การปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานโดยการสร้างตำแหน่งศูนย์หรือการเพิ่มขึ้นของอัตราขยายทำให้พื้นที่ครอบคลุมลดลงด้วยเช่นกัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการเพิ่มอัตราขยายจะเป็นการรวมกำลังคลื่นที่ได้รับไปยังทิศทางที่ต้องการมากที่สุด ในกรณีที่สร้างตำแหน่งศูนย์กลางคลื่นที่อยู่ในทิศทางที่สร้างตำแหน่งศูนย์กลางลดลงแต่จะเพิ่มในทิศทางอื่นแทน

ในกรณีที่เพิ่มจำนวนของแผ่นยอเพื่อเพิ่มความสามารถในการปรับรูปลักษณะของสายอากาศพบว่ามีความสามารถในการปรับรูปลักษณะของสายอากาศเพิ่มมากขึ้น แต่จะทำให้เกิดช่องว่างระหว่างแผ่นเพิ่มมากขึ้น ทั้งยังเกิดการเลี้ยวเบนของสนามไฟฟ้าที่ขอบมากขึ้น ทำให้ระดับ

โพลาริเซชันไขว้มีค่าสูงขึ้นทั้งนี้ผลดังกล่าวอาจเกิดจากขนาดของช่องว่างที่เกิดขึ้นเมื่อเทียบกับขนาดของแผ่นย่อยมีค่าใกล้เคียงกัน

การศึกษ้อัตราขยายพบว่าอัตราขยายที่เหมาะสมมีค่า 18 dB ซึ่งให้ความกว้างลำคลื่นมากที่สุด ถ้ากำหนดอัตราขยายไว้ต่ำกว่านี้จะทำให้ประสิทธิภาพของสายอากาศลดลงและในบางกรณีจะไม่สามารถให้แบบรูปการแผ่พลังงานตามที่กำหนดได้

ในกรณีจัดเรียงแบบพาราโบลอยด์ ขนาดของช่องว่างระหว่างแผ่นย่อยจะส่งผลกระทบต่อระดับโพลาริเซชันร่วมและโพลาริเซชันไขว้ เมื่อขนาดของช่องว่างมีค่าเกิน 0.015 เมตร กรณีจัดเรียงแบบแบนราบผลกระทบดังกล่าวมีค่าน้อย แต่ถ้าช่องว่างมีค่ามากกว่า 0.025 เมตร ระดับความลึกของตำแหน่งศูนย์จะตื้นขึ้น แบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชันร่วมเกิดการผิดเพี้ยนไปอย่างมาก

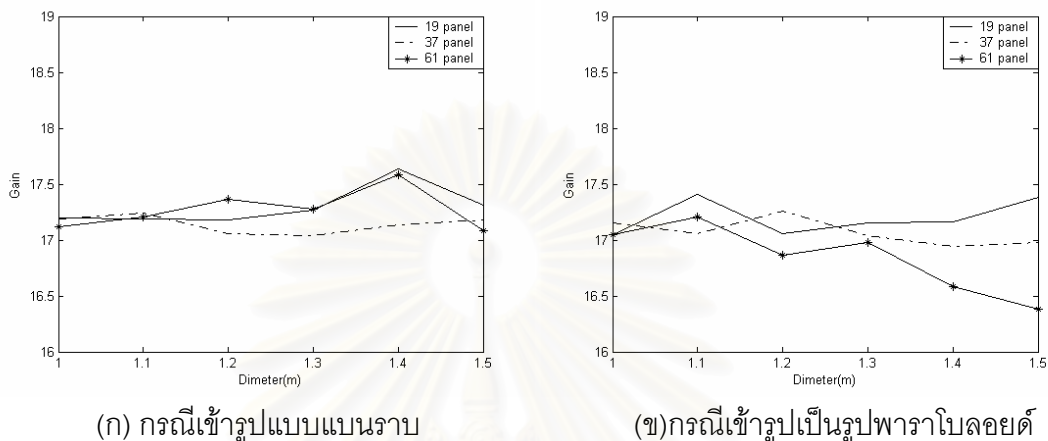
การศึกษากการประยุกต์ใช้งานของสายอากาศในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมและชายเชื่อมโยงภาคพื้นดินพบว่าสายอากาศจันสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อยสามารถเลื่อนลำคลื่นไปในทิศทางที่กำหนดได้ เพื่อชดเชยผลกระทบต่างๆ ที่ทำให้ระบบสื่อสารมีคุณภาพลดลง

การทดสอบสายอากาศต้นแบบพบว่าสายอากาศจันสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อยสามารถสร้างรูปแบบของลำคลื่นได้ตามที่กำหนดไว้ การทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานในย่านสนามใกล้เชิงระนาบสามารถให้ผลของแบบรูปการแผ่พลังงานตรงตามที่คำนวณไว้ทั้งในกรณีปรับเปลี่ยน รูปแบบของลำคลื่น การเลื่อนลำคลื่นและการทดสอบการประยุกต์ใช้งานเป็นสายอากาศสถานีฐานพบว่าสามารถปรับเปลี่ยนพื้นที่ครอบคลุมของสายอากาศได้จริง โดยสามารถชดเชยจุดบอดที่เกิดขึ้นได้

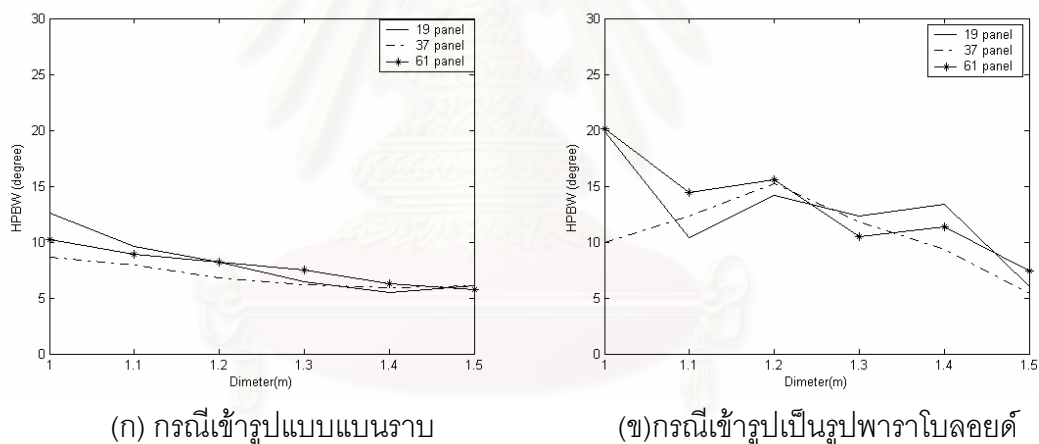
ดังนั้นการประยุกต์ใช้สายอากาศจันสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อยเป็นสายอากาศสถานีฐานจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยให้ประสิทธิภาพของสถานีฐานดีขึ้น

ในการออกแบบสายอากาศจันสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อยเป็นสถานีฐานนั้นมีค่าปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณาคือ จำนวนแผ่นย่อย ขนาดของสายอากาศ และรูปร่างเริ่มต้นของสายอากาศ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องคำนวณค่าปัจจัยดังกล่าวของสายอากาศ สำหรับเป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อให้เกิดความสะดวกในการออกแบบงานวิจัยนี้ได้คำนวณการเปลี่ยนค่าปัจจัยต่าง ๆ ของสายอากาศ คือ ขนาดของสายอากาศตั้งแต่ 1 เมตรถึง 1.5 เมตร จำนวนและขนาดแผ่นย่อย และรูปร่างเริ่มต้นของสายอากาศ โดยศึกษาที่ความถี่ปฏิบัติการ 2 GHz ไม่รวมผลของช่องว่างระหว่างแผ่นย่อย ในกรณีเลื่อนลำคลื่นไป 0 องศา

ทั้งในกรณีเข้ารูปแบบแบนราบและกรณีที่เข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ เพื่อช่วยในการออกแบบสายอากาศให้สอดคล้องกับการประยุกต์ใช้งานเป็นสถานีฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ผลการคำนวณความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง และอัตราขยายของสายอากาศแสดงดังรูป 5.1 ถึง รูป 5.4

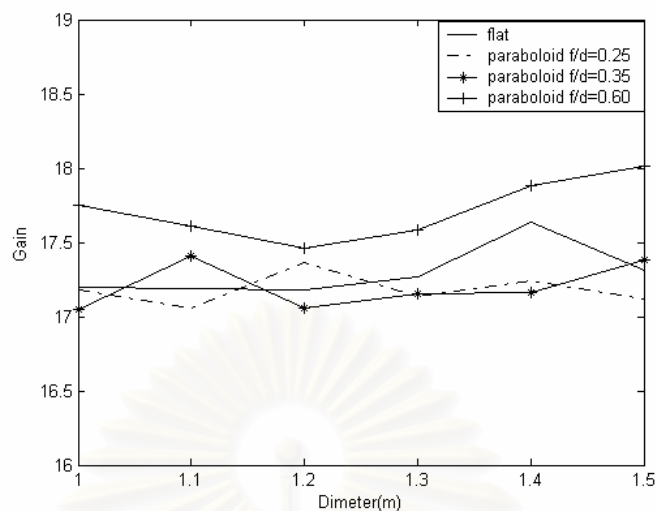


รูป 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายกับขนาดของสายอากาศเมื่อปรับจำนวนชั้นของแผ่นย่อย

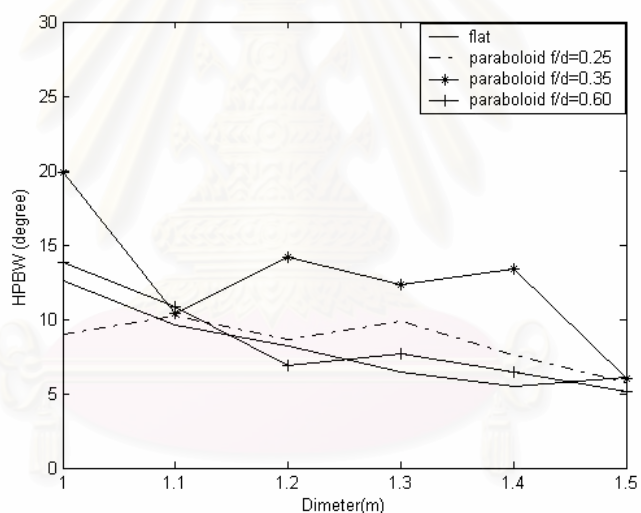


รูป 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างลำครึ่งกำลังกับขนาดของสายอากาศเมื่อปรับจำนวนชั้นของแผ่นย่อย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายกับขนาดของสายอากาศ
เมื่อเปลี่ยนรูปร่างเริ่มต้นของสายอากาศ



รูป 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างลำคลื่นกำลังกำลังกับขนาดของสายอากาศ
เมื่อเปลี่ยนรูปร่างเริ่มต้นของสายอากาศ

พิจารณาจากรูป 5.1 ถึงรูป 5.4 จะเห็นได้ว่า กรณีที่เพิ่มจำนวนของแผ่นย่อยโดยลดขนาดของแผ่นย่อยลง (ให้สายอากาศมีขนาดเท่าเดิม) และเปลี่ยนขนาดของสายอากาศตั้งแต่ 1 เมตรถึง 1.5 เมตร จากรูป 5.1 การเพิ่มขนาดสายอากาศและการเพิ่มจำนวนของแผ่นย่อยโดยลดขนาดของแผ่นย่อยลงสามารถให้อัตราขยายตามที่กำหนดไว้ได้จากรูป 5.2 จะเห็นได้ว่าความกว้างลำคลื่นกำลังกำลังลดลงเมื่อขนาดของสายอากาศเพิ่มขึ้น ทั้งในกรณีที่จัดเรียงแบบแบนราบและกรณีที่จัดเรียงเป็นรูปพาราโบลอยด์ แต่ในกรณีที่จำนวนแผ่นเท่ากับ 37 แผ่นและเข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์จะมีความกว้างลำคลื่นกำลังน้อยกว่ากรณีจำนวนแผ่นเท่ากับ 19 แผ่นและ 61 แผ่น

เนื่องจากผลของช่องว่างที่เกิดขึ้นจากรูป 5.3 ผลของรูปร่างเริ่มต้นของสายอากาศสามารถให้อัตราขยายได้ตามที่กำหนด จากรูป 5.4 จะเห็นได้ว่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังลดลงเมื่อขนาดของสายอากาศเพิ่มขึ้นและในกรณีที่เข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ที่มีค่า F/D 0.35 มีแนวโน้มของความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังที่กว้างกว่า กรณีที่เข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ที่มีค่า F/D 0.25 กรณีที่เข้ารูปเป็นรูปพาราโบลอยด์ที่มีค่า F/D 0.60 และกรณีที่จัดเรียงแบบแบนราบ

ข้อเสนอแนะ

1. ผลจากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า สายอากาศชนิดนี้มีระดับพู่ข้างที่สูง ซึ่งอาจไม่เหมาะที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานบางอย่าง ระดับพู่ข้างที่สูงนั้นอาจเกิดจากความไม่ต่อเนื่องของกระแสที่บริเวณขอบและผลของช่องว่างที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนพื้นผิว การแก้ไขสามารถทำได้โดยลดมุมองศาที่หมุนรอบแกนยกของแผ่นย่อยลงเพื่อเป็นการเพิ่มความต่อเนื่องของกระแสระหว่างแผ่นย่อย ใช้วัสดุตัวนำที่มีความยืดหยุ่นมาเชื่อมต่อช่องว่างระหว่างแผ่นย่อย เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว
2. การประยุกต์ใช้งานที่มีความต้องการในการปรับเปลี่ยนรูปแบบของลำคลื่นในจำนวนจำกัด รูปแบบของลำคลื่นเหล่านั้นควรสังเคราะห์และเก็บเป็นฐานข้อมูลใช้สำหรับปรับเปลี่ยนลำคลื่นไปตามฐานข้อมูลที่มีอยู่ เพื่อให้ได้ค่าอัตราส่วนระหว่างระดับสัญญาณที่ต้องการต่อระดับสัญญาณรบกวนที่สูงที่สุด ขั้นตอนนี้อาจเกิดขึ้นจากการหาค่าอัตราส่วนดังกล่าวบนคอมพิวเตอร์โดยรับข้อมูลมาจากสายอากาศช่วย (auxiliary antenna) [22] มาเปรียบเทียบกับแบบรูปที่มีอยู่ในฐานข้อมูลหรือตรวจสอบค่าอัตราส่วนดังกล่าวที่รับได้จริงจากการปรับเปลี่ยนลำคลื่นไปตามฐานข้อมูลที่มีอยู่
3. ในการสร้างลำคลื่นแบบต่างๆของสายอากาศจานสะท้อนชนิดผิวสะท้อนปรับรูปลักษณะได้ที่ประกอบจากแผ่นย่อยมีความจำเป็นต้องใช้ระเบียบวิธีที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้แบบรูปการแผ่พลังงานตามต้องการ วิทยานิพนธ์นี้ใช้วิธี $fmincon$ ซึ่งอาจไม่ให้ค่าต่ำสุดสัมบูรณ์ ถ้าต้องการให้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีค่าต่ำสุดสัมบูรณ์ ควรศึกษาขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม(genetic algorithm)
4. ฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีผลต่อการลู่เข้าสู่คำตอบของกรรวิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นการกำหนดค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่เหมาะสมจะช่วยให้การลู่เข้าสู่คำตอบรวดเร็วขึ้น เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวควรใช้ระเบียบวิธีโครงข่ายประสาท (neural network method) นำมาใช้เรียนรู้แบบรูปการแผ่พลังงานแต่ละแบบที่จะนำไปใช้งาน ซึ่งทำให้เวลาที่ใช้ในการลู่เข้าสู่แบบรูปการแผ่พลังงานที่ต้องการลดน้อยลง

รายการอ้างอิง

1. Mats Nilsson. Third-generation radio access standards. Ericsson review. 3. (May 1999): 110-121.
2. Francis E. O'Brien, Roger D. Guenther. Global standardization of IMT-2000. Emerging Technologies Symposium: Broadband, Wireless Internet Access, 2000 IEEE (April 2000) : 1-5.
3. Y.S. Rao, W.C Yeung, A. Kripalani. Third Generation radio access standard. International Conference on Communication Technology Proceeding. WCC - ICCT 2000 2 (August 2000): 1017-1023.
4. Y.-T. Lo, and S.-W.Lee, Eds. Antenna Handbook. New York: Chapman & Hall, Van Nostrand Reinhold, 1993.
5. ศุภเชษฐ์ เพิ่มพูนวัฒนาสุข. การวิเคราะห์สายอากาศชนิดจานสะท้อนแบบปรับรูปลักษณะได้โดยใช้แผ่นย่นยอ. วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต ภาควิศวกรรมไฟฟ้าบัณฑิต วิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
6. S.Phermphonwatanasuk, and C.Waiyapattanakorn, Numerical study of the Small Flat Multi-Panel Reconfigurable Reflector Antenna's performance IEICE Trans.Commun. E84-B, 9 (Sep.2001): 2421-2435.
7. S. Phermphonwatanasuk, and C. Waiyapattanakorn. Small Flat Multi-Panel Reconfigurable Reflector Antenna: Theoretical Investigation. Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS). (July 1998) : 346-348.
8. P.J.B. Clarricoats, and H. Zhou. Design and Performance of a Reconfigurable Mesh Reflector Antenna Part 1: Antenna Design. IEE Proceedings Part H 138, 6 (December 1991) : 485-492.
9. P.J.B. Clarricoats, A.D. Monk, and H. Zhou. Array-Fed Reconfigurable Reflector for Spacecraft Applications. IEE Proceedings Part H. 141, 6 (December 1994) : 531-535.

10. R.C. Brown. A Reconfigurable Reflector Using Hinged Panels. Proceedings of IEEE International Conference on Antennas and Propagation (June 1991) :531-534.
11. W.H. Theunissen, H.T. Yoon, W.D. Burnside, and G.N. Washington. Reconfigurable Contour Beam Reflector Antenna Synthesis Using a Mechanical Finite-Element Description of the Adjustable Surface. IEEE Transactions on Antennas and Propagation 49, 2 (February 2001) : 272-279.
12. W. Sadowski and C. Peixeiro. Microstrip patch antenna for a gsm 1800 base station. International Conference on Microwaves and Radar, 1998. MIRON, 12th. 2, (May 1998) : 409 – 413.
13. B. Johannisson. Adaptive base station antennas for mobile communication systems. IEEE-APS Conference on Antennas and Propagation for Wireless Communications. (November 1998) : 49 - 52
14. J.R. Bergmann, F.J.V.Hasselmann, L.C.P.Pereira and M.G. Castello Branco. International Conference on Microwave and Optoelectronics. SBMO/IEEE MTT-S, APS. 2, (August 1999) : 487 – 489.
15. W.H. Theunissen, and W.D. Burnside. Contoured beam reflector antenna for wireless applications. IEEE transactions on antennas and propagation. 50, 2 (February 2002) : 205-210.
16. R.B. Hwang, Y.J. Chang and Ming-lu Lai. A low-cost electrical beam tilting base station antennas for wireless communication system. IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 52, 1 (January 2004): 115 – 121.
17. P. Monsen. Performance of an Experimental Angle-Diversity Troposcatter System IEEE Transactions on Communications. 20, 2 (April 1972) : 242 - 247

18. T.Hatsuda, K.Inoue, K.Itoh, and R.Mitsubishi. Comparison of Multiple Satellites Diversity Characteristics Between Rain and Snow Attenuations for 14/12 GHz Band. Antennas and Propagation Society International Symposium 4 (July 1997): 2556 - 2559
19. Dau-Chyrh Change. Developments of SAS for the Applications of BTS. IEEE International Workshop on Antenna Technology. Small Antennas and Novel Metamaterials, IWAT (March 2005): 33-36
20. วันชัย อัมพูนีวรรณ. การจำลองการแพร่กระจายคลื่นวิทยุสำหรับการสื่อสารเคลื่อนที่ในเขตเมือง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2542.
21. สุรเชษฐ กอสิริขจร. การจำลองการแพร่กระจายคลื่นวิทยุสำหรับการวางแผนระบบสื่อสารเคลื่อนที่ในเขตเมือง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2545.
22. R.H. Ott, and R.B. Dybdal. The Effects of Reflector Antenna Diffraction on the Interference Cancellation Performance of Coherent Sidelobe Cancellers. IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 34, 3 (March 1986) : 432-439.



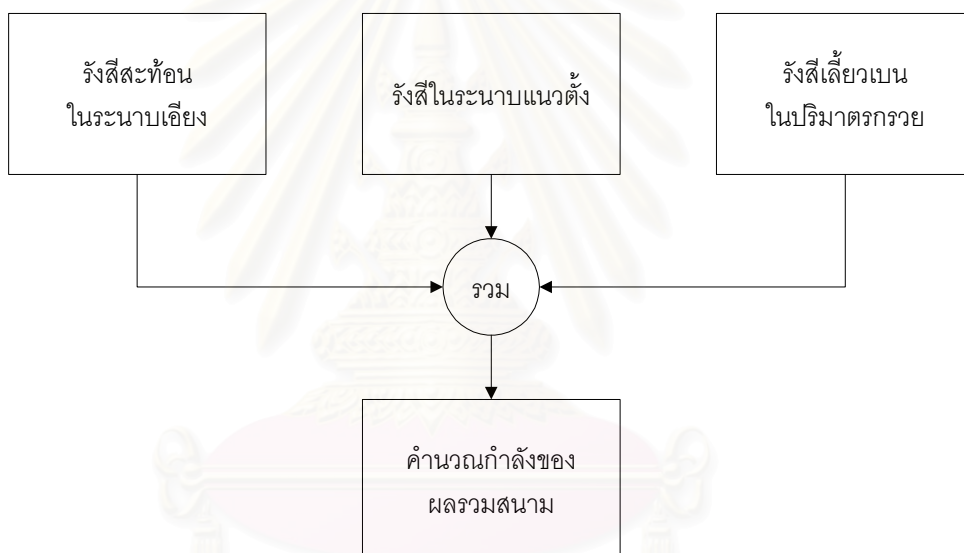
ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

กลไกการแพร่กระจายคลื่นที่พิจารณาในแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ

แบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นวิทยุที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์นี้เป็นแบบจำลองเชิงรังสีที่ใช้ระเบียบวิธีทัศนศาสตร์เรขาคณิต และทฤษฎีการเลี้ยวเบนเชิงเอกรูปมาวิเคราะห์กลไกต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ค่าสนามไฟฟ้าที่สายอากาศรับพิจารณาจากผลรวมของสนามไฟฟ้าของรังสีทุก ๆ รังสีที่สามารถเดินทางจากสถานีฐานถึงสถานีเคลื่อนที่ได้ในระนาบแนวตั้ง ระนาบเอียง และรังสีเลี้ยวเบนที่มุมอาคาร การพิจารณาแนวรังสีและสนามไฟฟ้าของแต่ละรังสีจะแยกพิจารณาที่ระนาบดังสรุปในรูปที่ ก.1

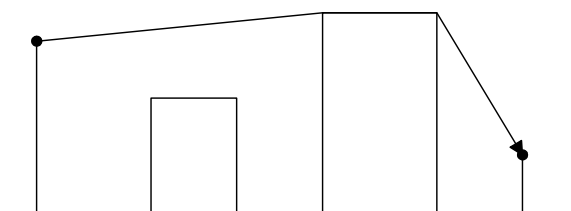


รูป ก.1 ขั้นตอนการคำนวณสนามไฟฟ้าแบบกึ่งสามมิติ [20]

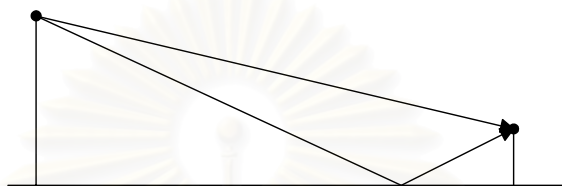
รังสีที่พิจารณาในระนาบแต่ละระนาบเป็นดังนี้

ระนาบตั้งฉาก

ในระนาบตั้งฉาก ทางเดินรังสีที่เป็นไปได้มี 3 รูปแบบคือทางเดินรังสีเป็นเส้นตรงจากสายอากาศส่งไปยังสายอากาศรับโดยไม่ผ่านสิ่งกีดขวาง ทางเดินรังสีที่เกิดการสะท้อนที่พื้นดินก่อนถึงสายอากาศรับ และทางเดินรังสีที่เกิดจากการเลี้ยวเบนหลายครั้งที่ขอบของยอดอาคาร (รูปที่ ก.2)



(1) แนวรังสีเดี่ยวเบน

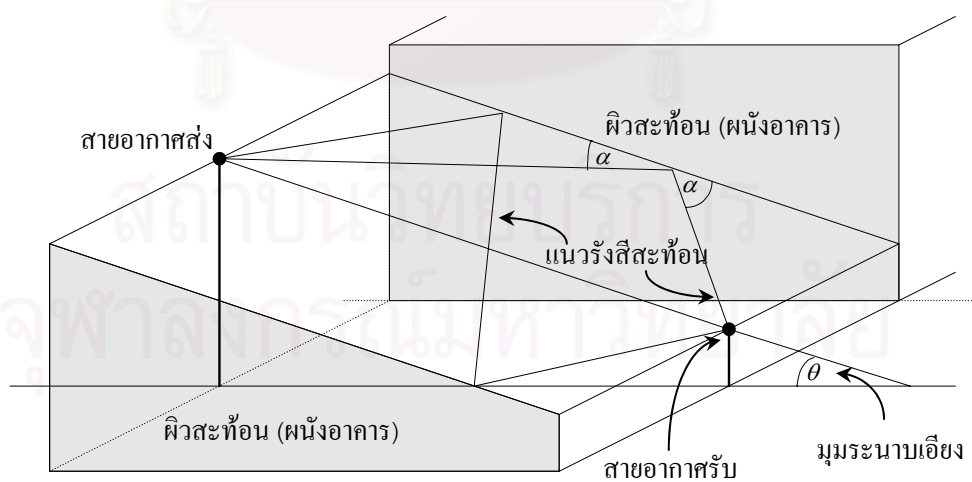


(2) แนวรังสีตรงและรังสีสะท้อน

รูป ก.2 แนวรังสีในระนาบตั้งฉาก

ระนาบเอียง

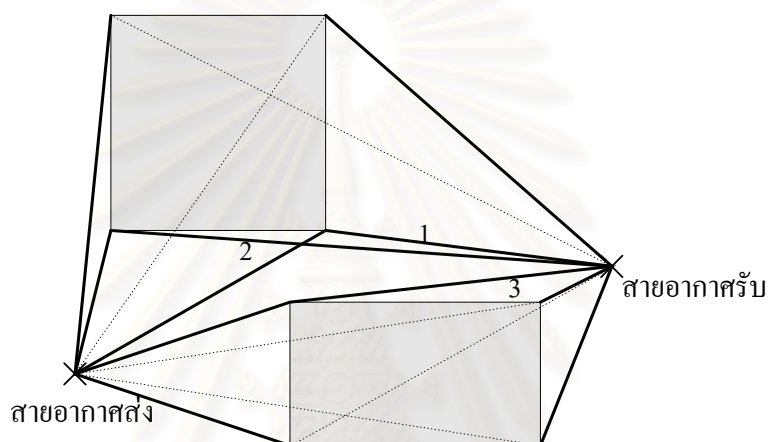
แนวรังสีหลักที่เกิดในระนาบเอียงคือแนวรังสีที่เกิดจากการสะท้อนหลายครั้ง โดยจุดสะท้อนจะอยู่บนแนวตัดกันระหว่างระนาบเอียงและผิวอาคารซึ่งตั้งฉากกับพื้นโลกดังรูปที่ ก.3



รูป ก.3 ระนาบเอียงและแนวตัดกับพื้นผิวสะท้อน

ระนาบรังสีเดี่ยวเบน

แบบจำลองนี้ได้พิจารณารังสีเดี่ยวเบนเฉพาะกรณีที่เกิดการเลี้ยวเบนหนึ่งครั้งเท่านั้น ซึ่ง จะพิจารณาจุดขอบในระนาบระดับสองมิติก่อนแล้วจึงขยายผลเป็นจุดเดี่ยวเบนในพิกัดสามมิติ โดยการคำนวณความสูงจากระนาบระดับของจุด จากนั้นจึงเลือกจุดเดี่ยวเบนที่มีอยู่จริงบนขอบ ด้านข้างของอาคาร ลักษณะรังสีเดี่ยวเบนที่พิจารณาเป็นดังนี้



รูป ก.4 เส้นทางเชื่อมระหว่างสายอากาศส่งมายังจุดขอบ
และจากจุดขอบไปยังสายอากาศรับ

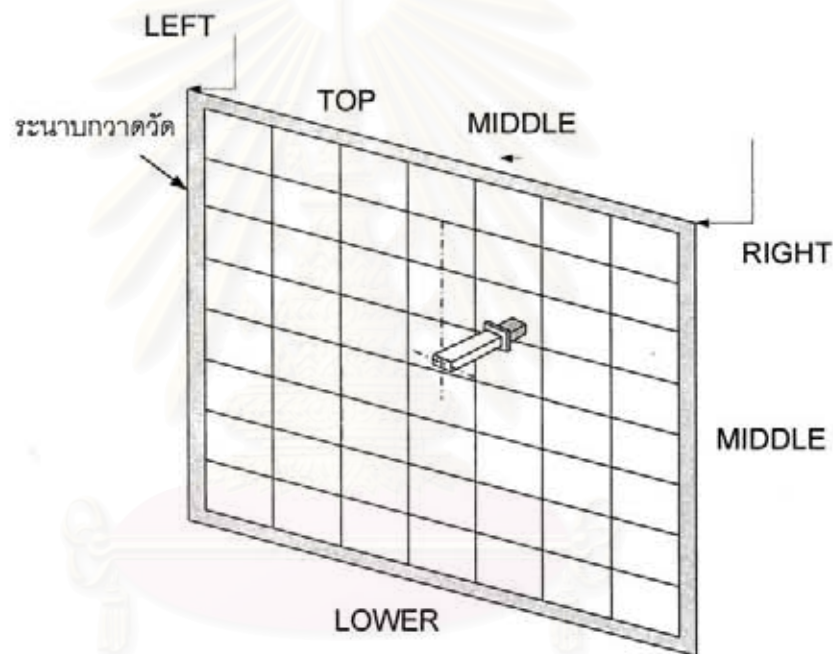
สำหรับรายละเอียดการคำนวณอย่างละเอียดสามารถศึกษาได้จากเอกสารอ้างอิง [20]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

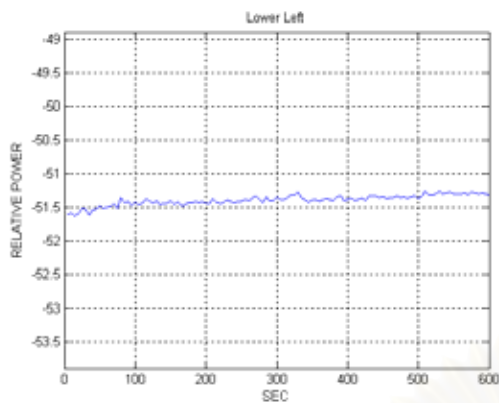
การตรวจสอบหาความเสถียรในระบบการวัด

การตรวจสอบหาความเสถียรในระบบการวัดทำได้ด้วยการเลื่อนหัววัดไว้ที่ตำแหน่งมุมต่างๆ ของระนาบกวาดวัดเพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการสะท้อนภายในห้องทดสอบโดยจะตั้งหัววัดทิ้งไว้ ณ ตำแหน่งบน กึ่งกลาง ล่าง ทั้งซ้าย และขวา เพื่อเก็บค่าสนามและวิถีภาคทุกๆ 5 วินาที คิดเป็นเวลาทั้งสิ้น 30 นาที ดังรูปที่ ข.1 โดยใช้จำนวนจุดเท่ากับ 101 จุด ตัวประกอบค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8

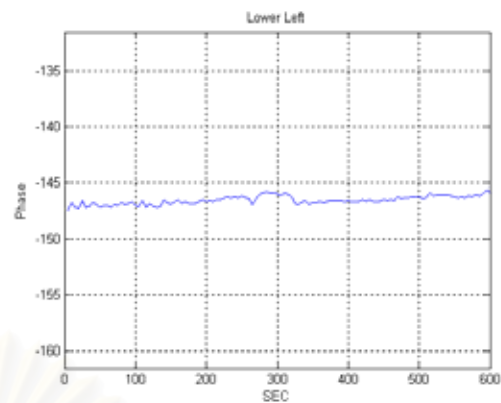


รูป ข.1 ระนาบกวาดวัด

ผลการวัดเป็นไปดังรูป ข.2 ถึง รูป ข.7 จะเห็นได้ว่ามีค่าค่อนข้างนิ่งคือขนาดของสนามมีการแกว่งตัวไม่เกิน 1 dB และวิถีภาคมีการแกว่งตัวไม่เกิน 5 องศา

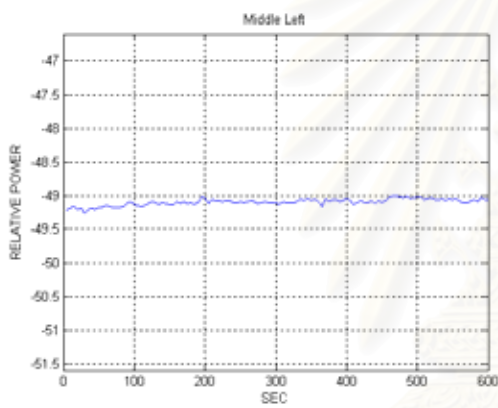


(ก) การแกว่งทางขนาด

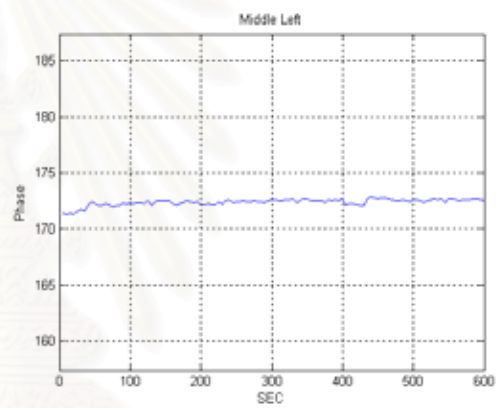


(ข) การแกว่งทางวิภูภาค

รูป ข.2 ความเสถียรในระบบการวัดด้านล่างซ้าย

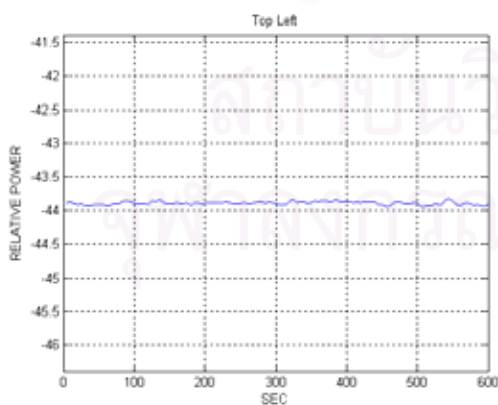


(ก) การแกว่งทางขนาด

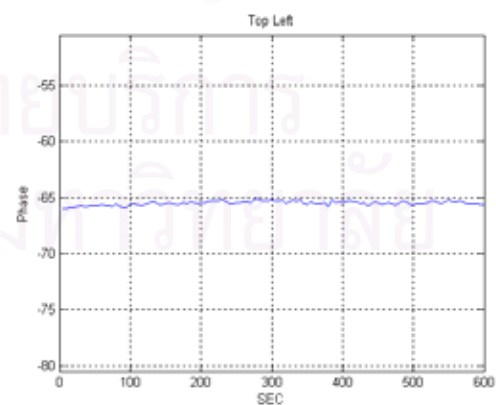


(ข) การแกว่งทางวิภูภาค

รูป ข.3 ความเสถียรในระบบการวัดตรงกลางซ้าย

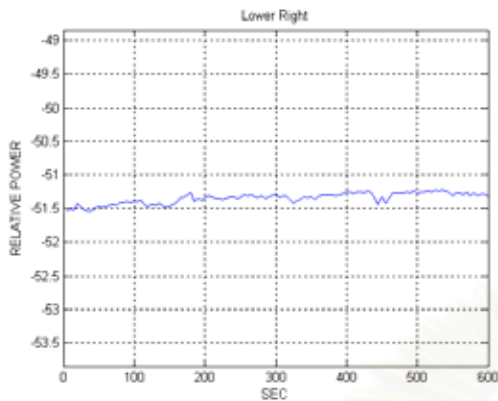


(ก) การแกว่งทางขนาด

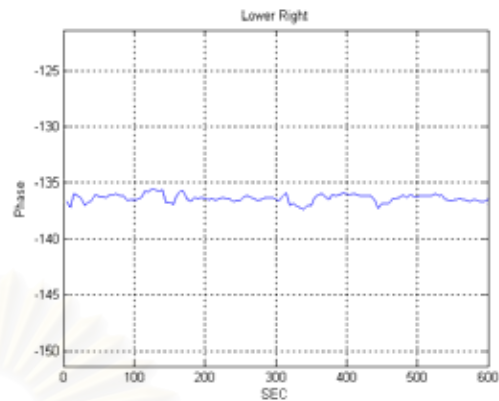


(ข) การแกว่งทางวิภูภาค

รูป ข.4 ความเสถียรในระบบการวัดด้านบนซ้าย

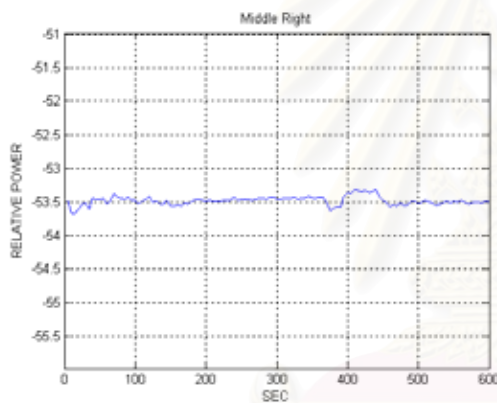


(ก) การแกว่งทางขนาด

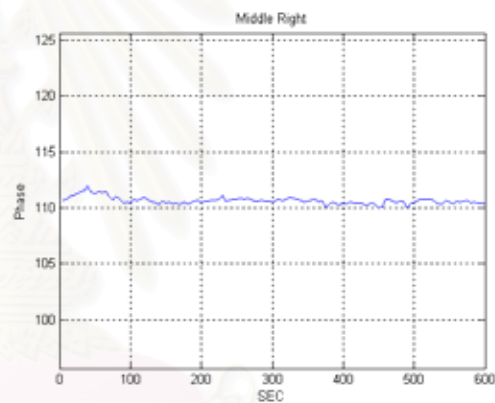


(ข) การแกว่งทางวิฏภาค

รูป ข.5 ความเสถียรในระบบการวัดด้านล่างขวา

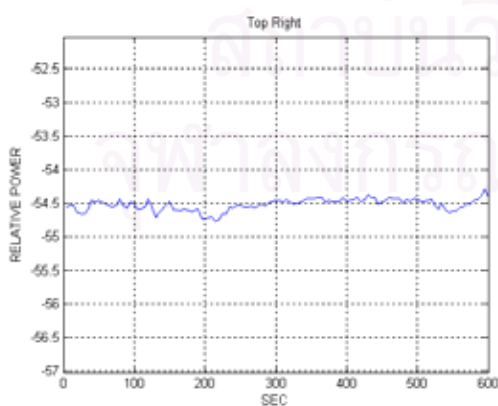


(ก) การแกว่งทางขนาด

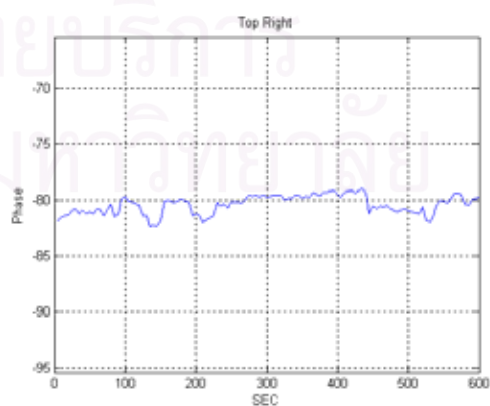


(ข) การแกว่งทางวิฏภาค

รูป ข.6 ความเสถียรในระบบการวัดตรงกลางขวา



(ก) การแกว่งทางขนาด



(ข) การแกว่งทางวิฏภาค

รูป ข.7 ความเสถียรในระบบการวัดด้านบนขวา

ภาคผนวก ค

รายละเอียดการทดลอง

บริเวณทดสอบ

การทดลองวัดการแพร่กระจายคลื่นได้ทดลอง บริเวณภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์ ได้ทำการทดลองทั้งภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์ สภาพแวดล้อมที่ทดลองโดยทั่วไปเป็นดังรูปที่ ค.1 และภาพต้นไม้ที่ใช้ในแบบจำลองในบริเวณที่ศึกษาเป็นดังรูป ค.2



รูป ค.1 บริเวณทดสอบ



รูป ค.1 บริเวณทดสอบ (ต่อ)



รูป ค.2 ต้นไม้ที่ใช้ในแบบจำลอง



รูป ค.2 ต้นไม้ที่ใช้ในแบบจำลอง (ต่อ)

การทดลองภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์

การทดลองได้ตั้งสถานีฐานขึ้นเองซึ่งประกอบไปด้วย เครื่องกำเนิดสัญญาณ และสายอากาศจานสะท้อน... ความถี่ปฏิบัติการเป็น 2 GHz สถานีเคลื่อนที่ใช้สายอากาศขั้วคู่มาตรฐาน ตั้งอยู่บนรถเข็นขนาดเล็ก สำหรับเคลื่อนที่ไปที่ตำแหน่งต่าง ๆ ต่อกับเครื่องวิเคราะห์แถบความถี่ สถานีฐานและสถานีเคลื่อนที่เป็นดังนี้ดังรูปที่ ก.3 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศขั้วคู่ที่ใช้เป็นดังรูป ก.4 และการทดลองได้กำหนดตำแหน่งทดสอบหรือตำแหน่งรับในบริเวณทดสอบดังรูปที่ ค.5 จำนวนตำแหน่งทดสอบทั้งบริเวณมี 158 ตำแหน่งทดสอบ

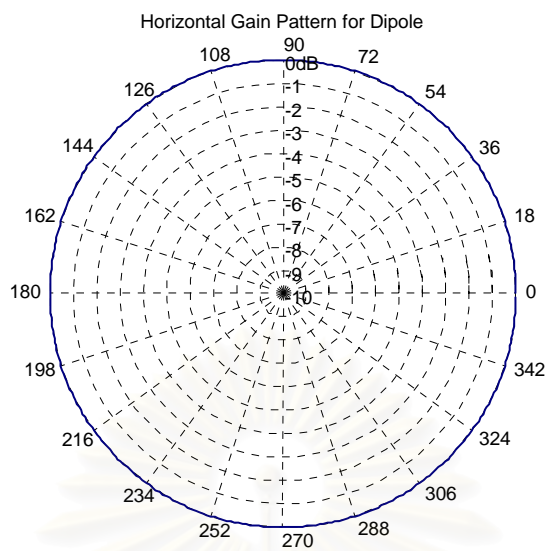


(ก) สถานีฐาน

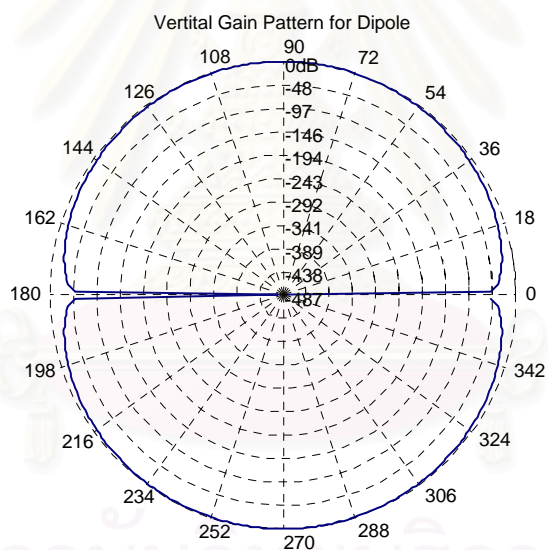


(ข) สถานีเคลื่อนที่

รูป ค.3 สถานีฐาน และสถานีเคลื่อนที่ที่ใช้ทดลองภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์

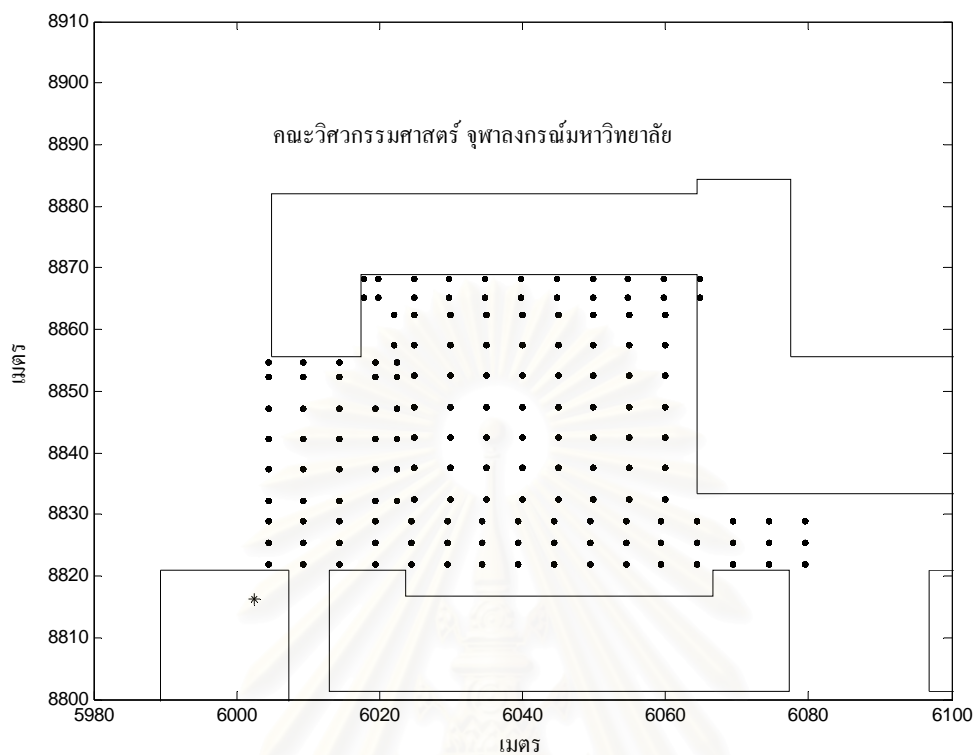


ระนาบแนวระดับ



ระนาบแนวตั้ง

รูป ค.4 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศขั้วคู่



รูป ค.5 ตำแหน่งรับของสถานีเคลื่อนที่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายกุลธวัช ภูมิวงศ์พิทักษ์ เกิดเมื่อวันที่ 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2525 ณ เขตดินแดง กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2545 และได้เข้าศึกษาต่อระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตที่ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษาเดียวกัน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย