

กรรมวิธีลดผลกระทบของมิวซอลด์ป์ปดิงเพื่อเพิ่มสมรรถนะของสายอากาศแก่ง  
สำหรับสถานีฐานระบบสื่อสารเคลื่อนที่



นายณัฐพงศ์ คุ้มฉนา

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-3657-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MUTUAL COUPLING REDUCTION TECHNIQUES FOR PERFORMANCE ENHANCEMENT  
OF A SMART ANTENNA FOR MOBILE COMMUNICATION BASE STATION

Mister Nuttaphong Koowatana



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-3657-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์

กรรมวิธีลดผลกระทบของมิวซอลคัปปลิงเพื่อเพิ่มสมรรถนะของสายอากาศแก่งสำหรับสถานีฐานระบบสื่อสารเคลื่อนที่

โดย

นายณัฐพงศ์ คุ้มพัฒนา

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย ไวยภาพัฒนกร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย ไวยภาพัฒนกร)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทับทิม อ่างแก้ว)

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.โมไนย ไกรฤกษ์)

ณัฐพงศ์ คูวัฒนา : กรรมวิธีลดผลกระทบของมิวซวลด์ปปลิงเพื่อเพิ่มสมรรถนะของสายอากาศเก่งสำหรับ  
สถานีฐานระบบสื่อสารเคลื่อนที่ (MUTUAL COUPLING REDUCTION TECHNIQUES FOR  
PERFORMANCE ENHANCEMENT OF A SMART ANTENNA FOR MOBILE COMMUNICATION  
BASE STATION) อ. ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย ไวยาพัฒน์กร; 185 หน้า.

ISBN 974-17-3657-6

วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาการใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ และศึกษา  
การชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวซวลด์ปปลิงของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์  
ประกอบแบบเดียวในเชิงการคำนวณด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์ เปรียบเทียบกับวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด  
ในระบบสายอากาศเก่ง เพื่อลดผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวซวลด์ปปลิง ปรากฏการณ์นี้ทำให้แบบรูปการแผ่  
พลังงานเกิดความผิดเพี้ยนขึ้น สายอากาศเก่งรับสัญญาณรบกวนได้เพิ่มขึ้น และมีสมรรถนะที่แย่ง วิทยานิพนธ์นี้ใช้  
กรรมวิธีการทำให้เหมาะสมที่สุดขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมมาเป็นตัวกำหนดแนวการวางตัวขององค์ประกอบแต่ละองค์  
ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ เพื่อให้ได้แบบรูปการแผ่พลังงานตามที่ต้องการ

วิทยานิพนธ์นี้ทดสอบสมรรถนะของสายอากาศเก่งโดยใช้การคำนวณจำลองแบบและการทดสอบตัวจำลอง  
แบบโดยใช้ขั้นตอนการก่อรูปลำดับคลื่นแบบ Howells-Applebaum ในการคำนวณจำลองแบบจะให้สายอากาศแถว  
ลำดับวางอยู่บนระนาบดินอนันต์ ส่วนในการทดสอบตัวจำลองแบบจะมีสายอากาศอยู่ 2 ชุดคือสายอากาศแถวลำดับ  
ที่วางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็ก และสายอากาศแถวลำดับที่วางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ องค์ประกอบของสาย  
อากาศแถวลำดับที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้เป็นสายอากาศชั่วคราวจำนวน 8 องค์ประกอบ ผลตอบที่สนใจจะอยู่ในรูปดัชนี  
ความเก่ง และแบบรูปการแผ่พลังงานในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการและสัญญาณรบกวน

ผลการคำนวณจำลองแบบและการทดสอบตัวจำลองแบบของสายอากาศเก่ง พบว่าเมื่อใช้สายอากาศแถว  
ลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบในระบบสายอากาศเก่งแล้ว จะสามารถเพิ่มสมรรถนะให้กับสาย  
อากาศเก่งได้ซึ่งจะเห็นได้จากค่าดัชนีความเก่งที่เพิ่มขึ้น ส่วนของการชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวซวล  
ด์ปปลิงพบว่า ในการคำนวณจำลองแบบและการทดสอบตัวจำลองแบบที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่วางอยู่บนระนาบ  
ดินขนาดใหญ่ นั้น วิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์มีสมรรถนะที่ดีกว่าวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด แต่ในการ ทดสอบตัว  
จำลองแบบที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่วางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็กพบว่าวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุดมี  
สมรรถนะที่ดีกว่าวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่อ.....  
สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ปีการศึกษา.....2546.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## 4470297021 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: ELEMENT ORIENTATION / SMARTNESS INDEX / MUTUAL COUPLING COMPENSATION

NUTTAPHONG KOOWATANA : MUTUAL COUPLING REDUCTION TECHNIQUES FOR PERFORMANCE ENHANCEMENT OF A SMART ANTENNA FOR MOBILE COMMUNICATION BASE STATION. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. CHATCHAI WAIYAPATTANAKORN, Ph.D. 185 pp. ISBN 974-17-3657-6

This thesis studies the use of multi-element orientation and the mutual coupling compensation of single element orientation for reducing the effects of mutual coupling in smart antenna. This phenomenon distorts the antenna radiation characteristics. It also causes increasing capability of interference reception and hence performance degradation of the smart antenna. This thesis uses the GA optimization as the means to adjust the smart antenna elements' orientation.

This thesis tests the performance of the multi-element orientation antenna against the single element orientation antenna by using computer simulation and the experimental simulator with application of the Howells-Applebaum beamforming algorithm. In the simulation the array antenna is assumed to be on an infinite ground plane. For the simulator the antenna is placed on a large ground plane and a small ground plane. The antenna is the dipole array of eight elements. Results are presented in the form of the smartness index and the radiation pattern in the desired and interference directions.

From computer simulation and the experimental simulator, it is found that the use of multi-element orientation can enhance the performance of the smart antenna or reduce the effects of mutual coupling. This is also confirmed by the increase of the smartness index. On mutual coupling compensation, it is found from the computer simulation and the experimental simulator when the antenna is placed on a large ground plane that the Fourier Decomposition Method has higher performance than the Least-Squares Solution Method. When the antenna is placed on a small ground plane, the Least-Squares Solution Method has higher performance than the Fourier Decomposition Method.

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

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

Academic year.....2003.....Co-advisor's signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย ไวยापัทฒนกร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้ความรู้ ประสบการณ์ คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทับทิม อ่างแก้ว และ รองศาสตราจารย์ ดร.โมไนย ไกรฤกษ์ ที่ได้กรุณาใช้เวลาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ดร.ธีรศักดิ์ อนันตกุล และ ดร.ศุภเชษฐ์ เพิ่มพูนวัฒนาสุข ที่ให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ ฝ่ายอาคารสถานที่ คณะรัฐศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และไฟฟ้าในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ที่หน่วยปฏิบัติการวิจัยแม่เหล็กไฟฟ้าประยุกต์ทุกคนที่ให้คำแนะนำ และ ช่วยเหลือผู้วิจัยตลอดมา

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ ภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อ ภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ณ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 แนวเหตุผล.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	5
1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์.....	5
1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน.....	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
1.6เค้าโครงของวิทยานิพนธ์.....	6
2 การลดผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวซอลด์ปปลิง.....	7
2.1 การรวมผลกระทบเนื่องจากมิวซอลด์ปปลิง.....	8
2.1.1 วิธี Induced EMF.....	8
2.1.2 การหาความสัมพันธ์เชิงสเกลาร์ระหว่างพิกัดเฉพาะที่กับพิกัดสากล.....	12
2.1.3 การหาความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดเฉพาะที่กับพิกัดสากลในเชิงเวกเตอร์.....	14
2.1.4 การหาแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับเมื่อรวมผลกระทบ เนื่องจากปรากฏการณ์มิวซอลด์ปปลิง.....	20
2.1.5 การจำลองแบบสัญญาณของสายอากาศแก่งเมื่อรวมผลเนื่องจาก ปรากฏการณ์มิวซอลด์ปปลิง.....	30
2.1.6 การก่อรูปลำคลื่น.....	36
2.1.7 วิธีประมาณทิศทางการมาถึงของสัญญาณ.....	38
2.1.8 ขั้นตอนวิธีในการปรับตัว.....	39
2.2 กรรวิธีทำให้เหมาะสมที่สุดขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม.....	39

**สารบัญ (ต่อ)**

บทที่	หน้า
2.2.1	49
2.3	51
2.3.1	55
2.3.2	58
2.3.3	59
2.4	61
3	65
3.1	66
3.2	72
3.3	105
3.4	108
4	111
4.1	112
4.2	119
4.2.1	119
4.2.2	121
4.2.3	122
4.3	



**สารบัญ (ต่อ)**

บทที่	หน้า
กับสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ .....	124
4.3.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวจำลองแบบระหว่างสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวกับสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ เมื่อสายอากาศแถวลำดับวางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็ก .....	125
4.3.2 การเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวจำลองแบบระหว่างสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวกับสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ เมื่อสายอากาศแถวลำดับวางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ .....	133
4.4 การเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างตัวจำลองแบบเมื่อสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับวางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ กับการคำนวณจำลองแบบเมื่อสายอากาศเก่งใช้สายอากาศแถวลำดับวางอยู่บนระนาบดินอนันต์ .....	142
4.5 การชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงของตัวจำลองแบบ .....	144
4.6 สรุป .....	145
5 บทสรุป .....	148
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	148
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	149
รายการอ้างอิง .....	150
ภาคผนวก ก .....	153
ภาคผนวก ข .....	155

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ภาคผนวก ค.....	168
ภาคผนวก ง.....	171
ภาคผนวก จ.....	178
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	185



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
3.1 พารามิเตอร์ของกรรมวิธีการทำให้เหมาะสมที่สุดขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม.....	69
3.2 แนวการวางตัวขององค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับที่ หาได้จากกรรมวิธีการทำให้เหมาะสมที่สุดขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม.....	69
3.3 สถานการณ์ต่างๆที่ใช้ในการคำนวณจำลองแบบเพื่อทดสอบสมรรถนะ ของสายอากาศแก๊งทั้ง 24 กรณี.....	73
3.4 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 1 ของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัว ขององค์ประกอบแบบเดียวกับสายอากาศแถวลำดับ ที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ.....	74
3.5 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 2 ของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัว ขององค์ประกอบแบบเดียวกับสายอากาศแถวลำดับ ที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ.....	76
3.6 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 3 ของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัว ขององค์ประกอบแบบเดียวกับสายอากาศแถวลำดับ ที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ.....	77
3.7 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 4 ของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัว ขององค์ประกอบแบบเดียวกับสายอากาศแถวลำดับ ที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ.....	78
3.8 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 5 ของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัว ขององค์ประกอบแบบเดียวกับสายอากาศแถวลำดับ ที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ.....	80
3.9 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 6 ของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัว ขององค์ประกอบแบบเดียวกับสายอากาศแถวลำดับ ที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ.....	81
3.10 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 7 ของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัว ขององค์ประกอบแบบเดียวกับสายอากาศแถวลำดับ	





## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
	ที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ.....103
3.28	สรุปค่าดัชนีความเก่งของการคำนวณจำลองแบบของสถานการณ์ต่างๆทั้ง 24 กรณี..104
3.29	สรุปค่าดัชนีความเก่งของการคำนวณจำลองแบบของสถานการณ์ต่างๆ ทั้ง 24 กรณีเมื่อชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลด์ปลิง.....107
4.1	สถานการณ์ต่างๆที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะตัวจำลองแบบ ของสายอากาศเก่งทั้ง 6 กรณี.....124
4.2	ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 1 ของตัวจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับ ที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับ ที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ.....126
4.3	ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 2 ของตัวจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับ ที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับ ที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ.....127
4.4	ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 3 ของตัวจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับ ที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับ ที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ.....128
4.5	ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 4 ของตัวจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับ ที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับ ที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ.....129
4.6	ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 5 ของตัวจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับ ที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับ ที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ.....131
4.7	ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 6 ของตัวจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับ ที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับ ที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ.....132
4.8	ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 1 ของตัวจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับ ที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับ

### สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
	ที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ..... 134
4.9	ดัชนีความถี่ในกรณีที่ 2 ของตัวจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับ ที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวกับสายอากาศแถวลำดับ ที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ..... 135
4.10	ดัชนีความถี่ในกรณีที่ 3 ของตัวจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับ ที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวกับสายอากาศแถวลำดับ ที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ..... 136
4.11	ดัชนีความถี่ในกรณีที่ 4 ของตัวจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับ ที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวกับสายอากาศแถวลำดับ ที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ..... 138
4.12	ดัชนีความถี่ในกรณีที่ 5 ของตัวจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับ ที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวกับสายอากาศแถวลำดับ ที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ..... 139
4.13	ดัชนีความถี่ในกรณีที่ 6 ของตัวจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับ ที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวกับสายอากาศแถวลำดับ ที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ..... 141
4.14	สรุปค่าดัชนีความถี่ของตัวจำลองแบบของสถานการณ์ต่างๆทั้ง 6 กรณี เมื่อสายอากาศแถวลำดับวางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็ก และระนาบดินขนาดใหญ่..... 141
4.15	ค่าดัชนีความถี่ของตัวจำลองแบบเมื่อสายอากาศแถวลำดับวาง อยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ เปรียบเทียบกับการคำนวณจำลองแบบ เมื่อสายอากาศถี่ใช้สายอากาศแถวลำดับวางอยู่บนระนาบดินอนันต์..... 143
4.16	สรุปค่าดัชนีความถี่ของตัวจำลองแบบของสถานการณ์ต่างๆทั้ง 6 กรณี เมื่อขีดเขตผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิววลด์ไปถึง..... 145

## สารบัญญรูป

รูป		หน้า
1.1	การทำงานของสายอากาศแก่งในสถานะที่มีสัญญาณแทรกสอด.....	1
1.2	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบโดยใช้องค์ประกอบเป็นสายอากาศขั้วคู่วางอยู่บนระนาบดินอนันต์.....	2
1.3	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวโดยใช้องค์ประกอบเป็นสายอากาศขั้วคู่วางอยู่บนระนาบดินอนันต์.....	3
1.4	การติดตั้งสายอากาศแก่งที่สถานีฐานและพื้นที่ครอบคลุมของสายอากาศแก่ง.....	4
2.1	เรขาคณิตของสายอากาศขั้วคู่สำหรับการวิเคราะห์สนามใกล้.....	9
2.2	ลักษณะการวางตัวของสายอากาศขั้วคู่สำหรับการคำนวณมิวชวลคัปปลิง.....	10
2.3	ความสัมพันธ์เชิงสเกลาร์ระหว่างพิกัดเฉพาะที่ $x "y "z "$ กับพิกัดสากล $xyz$ .....	13
2.4	ความสัมพันธ์เชิงเวกเตอร์ระหว่างพิกัดเฉพาะที่ $x "y "z "$ กับพิกัดสากล $xyz$ .....	15
2.5	ลักษณะการวางตัวของสายอากาศขั้วคู่บนระนาบดินอนันต์ สำหรับการคำนวณมิวชวลคัปปลิง.....	19
2.6	กลไกการเกิดมิวชวลคัปปลิงเมื่อสายอากาศแถวลำดับวางอยู่บนระนาบดินอนันต์.....	20
2.7	เรขาคณิตของสายอากาศขั้วคู่ขนาดจำกัดและการประมาณสนามไกล.....	22
2.8	ลักษณะการวางตัวของสายอากาศแถวลำดับบนระนาบดินอนันต์ สำหรับการคำนวณสนามไฟฟ้า.....	23
2.9	เรขาคณิตของสายอากาศขั้วคู่ขนาดจำกัดเมื่อวางอยู่บนระนาบดินอนันต์.....	23
2.10	นิยามแนวโพลาริเซชัน.....	25
2.11	แบบจำลองการรับสัญญาณของสายอากาศแก่ง.....	30
2.12	การเข้ามาของสัญญาณในสามมิติ.....	32
2.13	แนวโพลาริเซชันแบบวงรี.....	33
2.14	ทรงกลมปวงกาเร.....	34
2.15	การเข้ามาของสัญญาณที่มีแนวโพลาริเซชันเชิงเส้นใน แนวนอนบนระนาบ $xz$ ( $\varphi = 0$ ).....	35
2.16	โครงสร้างพาราเมเตอร์พื้นฐานของกรรมวิธีการทำให้เหมาะสมที่สุด	



## สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม.....	40
2.17 กระบวนการของกรรมวิธีการทำให้เหมาะสมที่สุดขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม.....	42
2.18 สัญญาณที่ได้รับ $v_m$ ขององค์ประกอบที่ $m$ ประกอบด้วยสัญญาณวิถีตรง และสัญญาณที่กระเจิงมาจากองค์ประกอบอื่นๆ (scattered components).....	55
3.1 ลักษณะทางกายภาพของสายอากาศแถวลำดับที่มีองค์ประกอบเป็น สายอากาศขั้วคู่จำนวน 8 องค์ประกอบวางอยู่บนระนาบดินอนนัต์สมมุติ.....	66
3.2 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบ เดียวโดยมี $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = \alpha_6 = \alpha_7 = \alpha_8 = 90^\circ$ ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมบนระนาบ $\varphi = 0^\circ$ เมื่อไม่รวมผลมีวขวลคัปปลิง ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมบนระนาบ $\varphi = 90^\circ$ เมื่อไม่รวมผลมีวขวลคัปปลิง ค) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมบนระนาบ $\varphi = 0^\circ$ เมื่อรวมผลมีวขวลคัปปลิง ง) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมบนระนาบ $\varphi = 90^\circ$ เมื่อรวมผลมีวขวลคัปปลิง.....	67
3.3 การลู่เข้าสู่ค่าที่เหมาะสมที่สุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ปรับบรรทัดฐานแล้ว.....	70
3.4 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวของ องค์ประกอบหลายแบบ ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วม (-) และสนามไฟฟ้า ในแนวโพลาริเซชันไขว้ (--) บนระนาบ $\varphi = 0^\circ$ เมื่อไม่รวมผลมีวขวลคัปปลิง ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วม (-) และสนามไฟฟ้า ในแนวโพลาริเซชันไขว้ (--) บนระนาบ $\varphi = 90^\circ$ เมื่อไม่รวมผลมีวขวลคัปปลิง ค) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วม (-) และสนามไฟฟ้า ในแนวโพลาริเซชันไขว้ (--) บนระนาบ $\varphi = 0^\circ$ เมื่อรวมผลมีวขวลคัปปลิง ง) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วม (-) และสนามไฟฟ้า	

**สารบัญรูป (ต่อ)**

รูป	หน้า
	ในแนวโพลาริเซชันไขว้ (--) บนระนาบ $\varphi = 90^\circ$ เมื่อรวมผลมิตวขวลค้ปปลิง.....70
3.5	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก้เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 1 โดยการใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว (--) เมื่อรวมผลมิตวขวลค้ปปลิง เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวของ องค์ประกอบหลายแบบ (-o) เมื่อรวมผลมิตวขวลค้ปปลิง และเทียบกับ สภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 0.5.....74
3.6	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก้เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 2 โดยการใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว (--) เมื่อรวมผลมิตวขวลค้ปปลิง เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวของ องค์ประกอบหลายแบบ (-o) เมื่อรวมผลมิตวขวลค้ปปลิง และเทียบกับ สภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1.....75
3.7	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก้เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 3 โดยการใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว (--) เมื่อรวมผลมิตวขวลค้ปปลิง เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวของ องค์ประกอบหลายแบบ (-o) เมื่อรวมผลมิตวขวลค้ปปลิง และเทียบกับ สภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10.....77
3.8	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก้เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 4 โดยการใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว (--) เมื่อรวมผลมิตวขวลค้ปปลิง เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวของ องค์ประกอบหลายแบบ (-o) เมื่อรวมผลมิตวขวลค้ปปลิง และเทียบกับ สภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 0.5.....78
3.9	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก้เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 5 โดยการใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว (--) เมื่อรวมผลมิตวขวลค้ปปลิง เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวของ องค์ประกอบหลายแบบ (-o) เมื่อรวมผลมิตวขวลค้ปปลิง และเทียบกับ สภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1.....79







## สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
	เมื่อรวมผลมิวชวลต์ปปลิง เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) เมื่อรวมผลมิวชวลต์ปปลิง และเทียบกับ
	สภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10..... 99
3.26	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 22
	โดยการใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว (--)
	เมื่อรวมผลมิวชวลต์ปปลิง เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวของ
	องค์ประกอบหลายแบบ (-o) เมื่อรวมผลมิวชวลต์ปปลิง และเทียบกับ
	สภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 0.5.....100
3.27	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 23
	โดยการใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว (--)
	เมื่อรวมผลมิวชวลต์ปปลิง เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวของ
	องค์ประกอบหลายแบบ (-o) เมื่อรวมผลมิวชวลต์ปปลิง และเทียบกับ
	สภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1.....102
3.28	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 24
	โดยการใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว (--)
	เมื่อรวมผลมิวชวลต์ปปลิง เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวของ
	องค์ประกอบหลายแบบ (-o) เมื่อรวมผลมิวชวลต์ปปลิง และเทียบกับ
	สภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10.....103
3.29	กระบวนการชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลต์ปปลิง..... 106
4.1	สายอากาศแถวลำดับที่มีองค์ประกอบเป็นสายอากาศขั้วคู่จำนวน 8 องค์ประกอบ
	ทำงานที่ความถี่ 1 GHz วางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็ก และป้อนกำลัง
	ด้วยสายส่งแบบแกนร่วม..... 112
4.2	สายอากาศแถวลำดับที่มีองค์ประกอบเป็นสายอากาศขั้วคู่จำนวน 8 องค์ประกอบ
	ทำงานที่ความถี่ 1 GHz วางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ และป้อนกำลัง
	ด้วยสายส่งแบบแกนร่วม..... 113
4.3	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับที่มีองค์ประกอบเป็นสายอากาศขั้วคู่

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูป

หน้า

จำนวน 8 องค์ประกอบวางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็ก

ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมบนระนาบ  $\varphi = 0^\circ$  เมื่อสายอากาศแถวลำดับมีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว โดยเปรียบเทียบระหว่างตัวจำลองแบบ (-o) กับผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม SuperNEC (-)

ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันไขว้บนระนาบ  $\varphi = 0^\circ$  เมื่อสายอากาศแถวลำดับมีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวของตัวจำลองแบบ (-o)

ค) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมบนระนาบ  $\varphi = 0^\circ$  เมื่อสายอากาศแถวลำดับมีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ โดยเปรียบเทียบระหว่างตัวจำลองแบบ (-o) กับผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม SuperNEC (-)

ง) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันไขว้บนระนาบ  $\varphi = 0^\circ$  เมื่อสายอากาศแถวลำดับมีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ โดยเปรียบเทียบระหว่างตัวจำลองแบบ (-o) กับผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม SuperNEC (-).....113

4.4 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับที่มีองค์ประกอบเป็นสายอากาศขั้วคู่จำนวน 8 องค์ประกอบวางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่

ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมบนระนาบ  $\varphi = 0^\circ$  เมื่อสายอากาศแถวลำดับมีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว โดยเปรียบเทียบระหว่างตัวจำลองแบบ (-o) กับผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม SuperNEC (-)

ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันไขว้บนระนาบ  $\varphi = 0^\circ$  เมื่อสายอากาศแถวลำดับมีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวของตัวจำลองแบบ (-o)

ค) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมบนระนาบ  $\varphi = 0^\circ$  เมื่อสายอากาศแถวลำดับมีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ โดยเปรียบเทียบระหว่างตัวจำลองแบบ (-o) กับผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม SuperNEC (-)

ง) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันไขว้บนระนาบ  $\varphi = 0^\circ$

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูป

หน้า

	เมื่อสายอากาศแถวลำดับมีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ โดยเปรียบเทียบระหว่างตัวจำลองแบบ (-o) กับผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม SuperNEC (-)	
	จ) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมบนระนาบ $\phi = 90^\circ$ เมื่อสายอากาศแถวลำดับมีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว โดยเปรียบเทียบระหว่างตัวจำลองแบบ (-o) กับผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม SuperNEC (-)	
	ฉ) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันไขว้บนระนาบ $\phi = 90^\circ$ เมื่อสายอากาศแถวลำดับมีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวของตัวจำลองแบบ (-o)	
	ช) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมบนระนาบ $\phi = 90^\circ$ เมื่อสายอากาศแถวลำดับมีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ โดยเปรียบเทียบระหว่างตัวจำลองแบบ (-o) กับผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม SuperNEC (-)	
	ซ) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันไขว้บนระนาบ $\phi = 90^\circ$ เมื่อสายอากาศแถวลำดับมีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ โดยเปรียบเทียบระหว่างตัวจำลองแบบ (-o) กับผลการคำนวณ โดยใช้โปรแกรม SuperNEC (-).....	115
4.5	สายอากาศยาก็-อูตะทำงานที่ความถี่ 1 GHz.....	120
4.6	สวิตช์ความถี่วิทยุ (RF switch) แบบเข้า 4 ทาง ออก 1 ทาง.....	120
4.7	สนามฟุตบอลของคณะรัฐศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....	121
4.8	คุณภาพหน้าคลื่นในบริเวณที่ใช้ในการทดสอบตัวจำลองแบบ	
	ก) การแกว่งตัวของค่ายอดของสัญญาณที่ภาครับรับได้ที่ระยะห่างจากภาคส่ง 15 เมตร และอยู่สูงจากพื้นดิน 1.8 เมตร	
	ข) การแกว่งตัวของสัญญาณของสัญญาณที่ภาครับรับได้ที่ระยะห่างจากภาคส่ง 15 เมตร และอยู่สูงจากพื้นดิน 1.8 เมตร.....	121
4.9	การติดตั้งตัวจำลองแบบ.....	123
4.10	แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 1 โดยการใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว (--) เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบ	





สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
ในกรณีที่ 2 โดยการใช้น้ำสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว (--) เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10.....	135
4.18 แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 3 โดยการใช้น้ำสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว (--) เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1.....	136
4.19 แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 4 โดยการใช้น้ำสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว (--) เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10.....	138
4.20 แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 5 โดยการใช้น้ำสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว (--) เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1.....	139
4.21 แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 6 โดยการใช้น้ำสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว (--) เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10.....	140
ก.1 การสุ่มตัวอย่างมุม (●) ของแบบรูปอ้างอิง.....	154
ข.1 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 1 โดยชดเชยผลมิวซวลด์ป์ปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิวซวลด์ป์ปลิง (--) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 0.5	
ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่ชดเชยมิวซวลด์ป์ปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์	
ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่ชดเชยมิวซวลด์ป์ปลิงด้วย	

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
วิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด.....	155
ข.2 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 2 โดยชดเชยผลมีวชวลค้ปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมีวชวลค้ปปลิง (--) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1 ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่ชดเชยมีวชวลค้ปปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์ ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่ชดเชยมีวชวลค้ปปลิงด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด.....	156
ข.3 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 3 โดยชดเชยผลมีวชวลค้ปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมีวชวลค้ปปลิง (--) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10 ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่ชดเชยมีวชวลค้ปปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์ ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่ชดเชยมีวชวลค้ปปลิงด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด.....	156
ข.4 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 4 โดยชดเชยผลมีวชวลค้ปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมีวชวลค้ปปลิง (--) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 0.5 ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่ชดเชยมีวชวลค้ปปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์ ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่ชดเชยมีวชวลค้ปปลิงด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด.....	157
ข.5 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 5 โดยชดเชยผลมีวชวลค้ปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมีวชวลค้ปปลิง (--) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1 ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่ชดเชยมีวชวลค้ปปลิงด้วย	

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
วิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์	
ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งที่ชดเชยมิววลคัปปลิงด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด.....	157
ข.6   แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 6 โดยชดเชยผลมิววลคัปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิววลคัปปลิง (-- และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10	
ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งที่ชดเชยมิววลคัปปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์	
ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งที่ชดเชยมิววลคัปปลิงด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด.....	158
ข.7   แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 7 โดยชดเชยผลมิววลคัปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิววลคัปปลิง (-- และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 0.5	
ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งที่ชดเชยมิววลคัปปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์	
ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งที่ชดเชยมิววลคัปปลิงด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด.....	158
ข.8   แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 8 โดยชดเชยผลมิววลคัปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิววลคัปปลิง (-- และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1	
ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งที่ชดเชยมิววลคัปปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์	
ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งที่ชดเชยมิววลคัปปลิงด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด.....	159
ข.9   แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 9 โดยชดเชยผลมิววลคัปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิววลคัปปลิง (--	

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10	
ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งที่ชดเชยมิวชวลค้ปปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูริเยร์	
ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งที่ชดเชยมิวชวลค้ปปลิงด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด.....	159
ข.10 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที 10 โดยชดเชยผลมิวชวลค้ปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิวชวลค้ปปลิง (--)	
และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 0.5	
ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งที่ชดเชยมิวชวลค้ปปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูริเยร์	
ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งที่ชดเชยมิวชวลค้ปปลิงด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด.....	160
ข.11 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที 11 โดยชดเชยผลมิวชวลค้ปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิวชวลค้ปปลิง (--)	
และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1	
ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งที่ชดเชยมิวชวลค้ปปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูริเยร์	
ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งที่ชดเชยมิวชวลค้ปปลิงด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด.....	160
ข.12 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที 12 โดยชดเชยผลมิวชวลค้ปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิวชวลค้ปปลิง (--)	
และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10	
ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งที่ชดเชยมิวชวลค้ปปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูริเยร์	
ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งที่ชดเชยมิวชวลค้ปปลิงด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด.....	161

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
<p>ข.13 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 13 โดยชดเชยผลมิวชวลคัปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิวชวลคัปปลิง (--) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 0.5</p> <p>ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่ชดเชยมิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์</p> <p>ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่ชดเชยมิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด.....</p>	161
<p>ข.14 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 14 โดยชดเชยผลมิวชวลคัปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิวชวลคัปปลิง (--) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1</p> <p>ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่ชดเชยมิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์</p> <p>ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่ชดเชยมิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด.....</p>	162
<p>ข.15 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 15 โดยชดเชยผลมิวชวลคัปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิวชวลคัปปลิง (--) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10</p> <p>ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่ชดเชยมิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์</p> <p>ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่ชดเชยมิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด.....</p>	162
<p>ข.16 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 16 โดยชดเชยผลมิวชวลคัปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิวชวลคัปปลิง (--) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 0.5</p> <p>ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่ชดเชยมิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์</p>	

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
<p>ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งที่ชดเชยมิววลค้ปปลิงด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด.....</p>	163
<p>ข.17 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 17 โดยชดเชยผลมิววลค้ปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิววลค้ปปลิง (-- และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1</p> <p>ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งที่ชดเชยมิววลค้ปปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์</p> <p>ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งที่ชดเชยมิววลค้ปปลิงด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด.....</p>	163
<p>ข.18 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 18 โดยชดเชยผลมิววลค้ปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิววลค้ปปลิง (-- และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10</p> <p>ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งที่ชดเชยมิววลค้ปปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์</p> <p>ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งที่ชดเชยมิววลค้ปปลิงด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด.....</p>	164
<p>ข.19 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 19 โดยชดเชยผลมิววลค้ปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิววลค้ปปลิง (-- และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 0.5</p> <p>ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งที่ชดเชยมิววลค้ปปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์</p> <p>ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งที่ชดเชยมิววลค้ปปลิงด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด.....</p>	164
<p>ข.20 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 20 โดยชดเชยผลมิววลค้ปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิววลค้ปปลิง (-- และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1</p>	

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งที่ชดเชยมิววลค้ปปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูริเยร์	
ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งที่ชดเชยมิววลค้ปปลิงด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด.....	165
ข.21 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 21 โดยชดเชยผลมิววลค้ปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิววลค้ปปลิง (-- และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10	
ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งที่ชดเชยมิววลค้ปปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูริเยร์	
ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งที่ชดเชยมิววลค้ปปลิงด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด.....	165
ข.22 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 22 โดยชดเชยผลมิววลค้ปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิววลค้ปปลิง (-- และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 0.5	
ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งที่ชดเชยมิววลค้ปปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูริเยร์	
ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งที่ชดเชยมิววลค้ปปลิงด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด.....	166
ข.23 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 23 โดยชดเชยผลมิววลค้ปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิววลค้ปปลิง (-- และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1	
ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งที่ชดเชยมิววลค้ปปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูริเยร์	
ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งที่ชดเชยมิววลค้ปปลิงด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด.....	166
ข.24 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 24	



สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
โดยชุดเซตผลมีวชวลค้ปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมีวชวลค้ปปลิง (--) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10	
ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก้ที่ชดเซตมีวชวลค้ปปลิงด้วย วิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์	
ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก้ที่ชดเซตมีวชวลค้ปปลิงด้วย วิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด.....	167
ค.1 แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วม บนระนาบ $\varphi = 0^\circ$ เมื่อสายอากาศแกวลำดับมีแนวการวางตัว ขององค์ประกอบแบบเดี่ยววางตัวอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ (-) เทียบกับเมื่อวางตัวอยู่บนระนาบดินขนาด $10^7$ เท่าของความกว้าง และความยาวของระนาบดินขนาดเล็ก (--)	169
ค.2 แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วม บนระนาบ $\varphi = 90^\circ$ เมื่อสายอากาศแกวลำดับมีแนวการวางตัว ขององค์ประกอบแบบเดี่ยววางตัวอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ (-) เทียบกับเมื่อวางตัวอยู่บนระนาบดินขนาด $10^7$ เท่าของความกว้าง และความยาวของระนาบดินขนาดเล็ก (--)	169
ค.3 แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วม บนระนาบ $\varphi = 0^\circ$ เมื่อสายอากาศแกวลำดับมีแนวการวางตัว ขององค์ประกอบหลายแบบวางตัวอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ (-) เทียบกับเมื่อวางตัวอยู่บนระนาบดินขนาด $10^7$ เท่าของความกว้าง และความยาวของระนาบดินขนาดเล็ก (--)	170
ค.4 แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วม บนระนาบ $\varphi = 90^\circ$ เมื่อสายอากาศแกวลำดับมีแนวการวางตัว ขององค์ประกอบหลายแบบวางตัวอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ (-) เทียบกับเมื่อวางตัวอยู่บนระนาบดินขนาด $10^7$ เท่าของความกว้าง และความยาวของระนาบดินขนาดเล็ก (--)	170

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
ง.1    แบบรูปการแผ่พลังงานของการคำนวณจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศ แถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววางอยู่บน ระนาบดินอนันต์และรวมผลมีวชวลค์ปปลิง (--) เทียบกับตัวจำลองแบบ ที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววาง อยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ (-o) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) เมื่อกำหนด สถานการณ์ในกรณีที่ 1 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1.....	171
ง.2    แบบรูปการแผ่พลังงานของการคำนวณจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศ แถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววางอยู่บน ระนาบดินอนันต์และรวมผลมีวชวลค์ปปลิง (--) เทียบกับตัวจำลองแบบ ที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววาง อยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ (-o) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) เมื่อกำหนด สถานการณ์ในกรณีที่ 2 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10.....	172
ง.3    แบบรูปการแผ่พลังงานของการคำนวณจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศ แถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววางอยู่บน ระนาบดินอนันต์และรวมผลมีวชวลค์ปปลิง (--) เทียบกับตัวจำลองแบบ ที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววาง อยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ (-o) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) เมื่อกำหนด สถานการณ์ในกรณีที่ 3 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1.....	172
ง.4    แบบรูปการแผ่พลังงานของการคำนวณจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศ แถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววางอยู่บน ระนาบดินอนันต์และรวมผลมีวชวลค์ปปลิง (--) เทียบกับตัวจำลองแบบ ที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววาง อยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ (-o) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) เมื่อกำหนด สถานการณ์ในกรณีที่ 4 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10.....	173
ง.5    แบบรูปการแผ่พลังงานของการคำนวณจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศ แถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววางอยู่บน	

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
<p>ระนาบดินอนันต์และรวมผลมิมิวชวลด์ปปลิง (--) เทียบกับตัวจำลองแบบ ที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววาง อยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ (-o) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) เมื่อกำหนด สถานการณ์ในกรณีที่ 5 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1.....</p>	173
<p>ง.6 แบบรูปการแผ่พลังงานของการคำนวณจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศ แถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววางอยู่บน ระนาบดินอนันต์และรวมผลมิมิวชวลด์ปปลิง (--) เทียบกับตัวจำลองแบบ ที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววาง อยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ (-o) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) เมื่อกำหนด สถานการณ์ในกรณีที่ 6 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10.....</p>	174
<p>ง.7 แบบรูปการแผ่พลังงานของการคำนวณจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศ แถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบวางอยู่บน ระนาบดินอนันต์และรวมผลมิมิวชวลด์ปปลิง (--) เทียบกับตัวจำลองแบบ ที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบวาง อยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ (-o) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) เมื่อกำหนด สถานการณ์ในกรณีที่ 1 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1.....</p>	174
<p>ง.8 แบบรูปการแผ่พลังงานของการคำนวณจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศ แถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบวางอยู่บน ระนาบดินอนันต์และรวมผลมิมิวชวลด์ปปลิง (--) เทียบกับตัวจำลองแบบ ที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบวาง อยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ (-o) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) เมื่อกำหนด สถานการณ์ในกรณีที่ 2 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10.....</p>	175
<p>ง.9 แบบรูปการแผ่พลังงานของการคำนวณจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศ แถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบวางอยู่บน ระนาบดินอนันต์และรวมผลมิมิวชวลด์ปปลิง (--) เทียบกับตัวจำลองแบบ ที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบวาง</p>	

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
	อยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ (-o) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) เมื่อกำหนด สถานการณ์ในกรณีที่ 3 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1.....175
ง.10	แบบรูปการแผ่พลังงานของการคำนวณจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศ แถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบวางอยู่บน ระนาบดินอนันต์และรวมผลมิวชวลด์ปปลิง (--) เทียบกับตัวจำลองแบบ ที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบวาง อยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ (-o) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) เมื่อกำหนด สถานการณ์ในกรณีที่ 4 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10.....176
ง.11	แบบรูปการแผ่พลังงานของการคำนวณจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศ แถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบวางอยู่บน ระนาบดินอนันต์และรวมผลมิวชวลด์ปปลิง (--) เทียบกับตัวจำลองแบบ ที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบวาง อยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ (-o) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) เมื่อกำหนด สถานการณ์ในกรณีที่ 5 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1.....176
ง.12	แบบรูปการแผ่พลังงานของการคำนวณจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศ แถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบที่วางอยู่บน ระนาบดินอนันต์และรวมผลมิวชวลด์ปปลิง (--) เทียบกับตัวจำลองแบบ ที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบวาง อยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ (-o) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) เมื่อกำหนด สถานการณ์ในกรณีที่ 6 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10.....177
จ.1	แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศเก้งที่ใช้ สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว วางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็ก เมื่อไม่ชดเชยผลมิวชวลด์ปปลิง (--) เทียบกับสภาวะที่ชดเชยผลมิวชวลด์ปปลิง (-o) และสภาวะสงบ (-) เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 1 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1 ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่ชดเชยมิวชวลด์ปปลิง

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
<p>ด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์</p> <p>ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่ชดเชยมิวชวลคัปปลิง ด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด.....</p>	178
<p>๑.2 แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศเก่งที่ใช้ สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว วางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็ก เมื่อไม่ชดเชยผลมิวชวลคัปปลิง (--) เทียบกับสภาวะที่ชดเชยผลมิวชวลคัปปลิง (-o) และสภาวะสงบ (-) เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 2 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10</p> <p>ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่ชดเชยมิวชวลคัปปลิง ด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์</p> <p>ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่ชดเชยมิวชวลคัปปลิง ด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด.....</p>	179
<p>๑.3 แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศเก่งที่ใช้ สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว วางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็ก เมื่อไม่ชดเชยผลมิวชวลคัปปลิง (--) เทียบกับสภาวะที่ชดเชยผลมิวชวลคัปปลิง (-o) และสภาวะสงบ (-) เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 3 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1</p> <p>ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่ชดเชยมิวชวลคัปปลิง ด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์</p> <p>ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่ชดเชยมิวชวลคัปปลิง ด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด.....</p>	179
<p>๑.4 แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศเก่งที่ใช้ สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว วางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็ก เมื่อไม่ชดเชยผลมิวชวลคัปปลิง (--) เทียบกับสภาวะที่ชดเชยผลมิวชวลคัปปลิง (-o) และสภาวะสงบ (-) เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 4 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10</p>	

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่ชดเชยมิวชวลคัปปลิง ด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์	
ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่ชดเชยมิวชวลคัปปลิง ด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด.....	180
๑.5 แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศเก่งที่ใช้ สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว วางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็ก เมื่อไม่ชดเชยผลมิวชวลคัปปลิง (--) เทียบกับสภาวะที่ชดเชยผลมิวชวลคัปปลิง (-o) และสภาวะสงบ (-) เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 5 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1	
ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่ชดเชยมิวชวลคัปปลิง ด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์	
ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่ชดเชยมิวชวลคัปปลิง ด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด.....	180
๑.6 แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศเก่งที่ใช้ สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว วางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็ก เมื่อไม่ชดเชยผลมิวชวลคัปปลิง (--) เทียบกับสภาวะที่ชดเชยผลมิวชวลคัปปลิง (-o) และสภาวะสงบ (-) เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 6 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10	
ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่ชดเชยมิวชวลคัปปลิง ด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์	
ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่ชดเชยมิวชวลคัปปลิง ด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด.....	181
๑.7 แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศเก่งที่ใช้ สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว วางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ เมื่อไม่ชดเชยผลมิวชวลคัปปลิง (--) เทียบกับสภาวะที่ชดเชยผลมิวชวลคัปปลิง (-o) และสภาวะสงบ (-)	

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
	เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 1 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1	
	ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่ชดเชยมิวชวลคัปปลิง ด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์	
	ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่ชดเชยมิวชวลคัปปลิง ด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด.....	181
จ.8	แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว วางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ เมื่อไม่ชดเชยผลมิวชวลคัปปลิง (--)	
	เทียบกับสภาวะที่ชดเชยผลมิวชวลคัปปลิง (-o) และสภาวะสงบ (-)	
	เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 2 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10	
	ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่ชดเชยมิวชวลคัปปลิง ด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์	
	ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่ชดเชยมิวชวลคัปปลิง ด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด.....	182
จ.9	แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว วางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ เมื่อไม่ชดเชยผลมิวชวลคัปปลิง (--)	
	เทียบกับสภาวะที่ชดเชยผลมิวชวลคัปปลิง (-o) และสภาวะสงบ (-)	
	เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 3 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1	
	ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่ชดเชยมิวชวลคัปปลิง ด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์	
	ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่ชดเชยมิวชวลคัปปลิง ด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด.....	182
จ.10	แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว วางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ เมื่อไม่ชดเชยผลมิวชวลคัปปลิง (--)	

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
<p>เทียบกับสภาวะที่ชดเชยผลมิวชวลด์ปปลิง (-o) และสภาวะสงบ (-) เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 4 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10</p> <p>ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่ชดเชยมิวชวลด์ปปลิง ด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์</p> <p>ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่ชดเชยมิวชวลด์ปปลิง ด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด.....</p>	183
<p>๑.11 แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศเก่งที่ใช้ สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว วางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ เมื่อไม่ชดเชยผลมิวชวลด์ปปลิง (--) เทียบกับสภาวะที่ชดเชยผลมิวชวลด์ปปลิง (-o) และสภาวะสงบ (-) เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 5 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1</p> <p>ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่ชดเชยมิวชวลด์ปปลิง ด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์</p> <p>ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่ชดเชยมิวชวลด์ปปลิง ด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด.....</p>	183
<p>๑.12 แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศเก่งที่ใช้ สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว วางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ เมื่อไม่ชดเชยผลมิวชวลด์ปปลิง (--) เทียบกับสภาวะที่ชดเชยผลมิวชวลด์ปปลิง (-o) และสภาวะสงบ (-) เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 6 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10</p> <p>ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่ชดเชยมิวชวลด์ปปลิง ด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์</p> <p>ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่ชดเชยมิวชวลด์ปปลิง ด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด.....</p>	184



## คำสำคัญและคำอธิบายสัญลักษณ์

smart antenna	สายอากาศแก่ง
multi-element-orientation	แนวการวางตัวขององค์ประกอบ หลายแบบ
single-element-orientation	แนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบ เดียว
mutual coupling	มีขวลคัปปลิง
optimization technique	กรรมวิธีการทำให้เหมาะสมที่สุด
genetic algorithm	ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม
smartness index	ดัชนีความแก่ง
$V_s$	เวกเตอร์ของสัญญาณจากแหล่ง กำเนิดใดๆ
$W_{HA}$	เมทริกซ์ค่าน้ำหนักของสัญญาณ
$SI_{im}$	ดัชนีความแก่งแบบใหม่
$\alpha_n$	มุมที่สายอากาศตัวที่ $n$ ทำมุมกับ แกน $x$
$C$	คัปปลิงเมทริกซ์
$Z_{ijN}$	อิมพีแดนซ์ร่วมขาเข้า

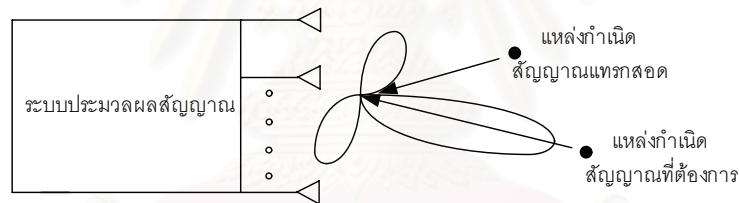
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 แนวเหตุผล

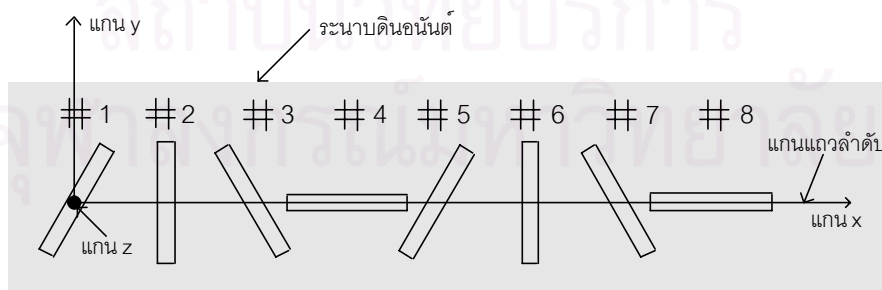
สายอากาศเก่ง (smart antenna) เป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่น่าสนใจนำมาใช้ที่สถานีฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ สายอากาศเก่งจะช่วยเพิ่มความจุของสัญญาณและคุณภาพของสัญญาณให้กับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ เมื่อใดก็ตามที่สัญญาณจากแหล่งกำเนิดสัญญาณที่ต้องการ (desired source) และแหล่งกำเนิดสัญญาณแทรกสอด (interference source) มาตกกระทบบนสายอากาศเก่ง สายอากาศเก่งจะนำสัญญาณที่รับได้ไปประมวลผลเพื่อให้ได้สัญญาณขาออกที่มีแต่สัญญาณจากแหล่งกำเนิดสัญญาณที่ต้องการ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือจะนำสัญญาณที่ได้รับไปประมวลผลเพื่อให้มีความสามารถในการรับสัญญาณในทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณที่ต้องการสูงและมีความสามารถต่ำในทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณแทรกสอด



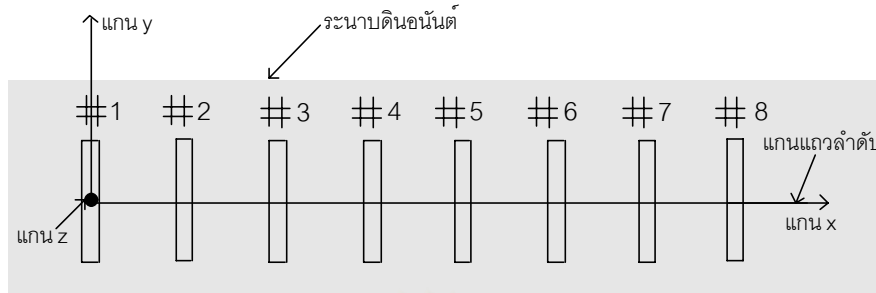
รูป 1.1 การทำงานของสายอากาศเก่งในสถานะที่มีสัญญาณแทรกสอด

หลักการการทำงานของสายอากาศเก่งแสดงดังรูป 1.1 สายอากาศเก่งจะหันพู่หลักไปในทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณที่ต้องการและหันตำแหน่งศูนย์ (null) ไปในทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณแทรกสอด แต่สายอากาศเก่งนั้นใช้สายอากาศแถวลำดับ (array antenna) ปรากฏการณ์หนึ่งที่เกิดขึ้นคือมีวซวลด์ปลิง (mutual coupling) ระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ ปรากฏการณ์นี้ทำให้เกิดความผิดเพี้ยนขึ้นต่อแบบรูปการแผ่พลังงาน (radiation pattern) เช่น ระดับที่เพิ่มขึ้นในตำแหน่งเชิงมุมใดๆ การเพิ่มระดับของตำแหน่งศูนย์และการบานออกของพู่หลักของแบบรูปการแผ่พลังงาน (Borowiec, Hossa, Slobodzian, and Langowski, 2002: 894; เสกสรร มิตรเกษม และ ฉัตรชัย ไวยภาพัฒนกร, 2539) ดังนั้นปรากฏการณ์มีวซวลด์ปลิงจึงมีผลต่อการก่อรูปลำคลื่น (beam forming) ของสายอากาศเก่ง กล่าวคือทิศทางของพู่หลักอาจจะหันไปในทิศทางอื่นที่ไม่ใช่ทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณที่

ต้องการหรือระดับสัญญาณในทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณแทรกสอดอาจจะสูงขึ้นซึ่งจะทำให้สายอากาศเก่งมีสมรรถนะลดลง Gupta and Ksienski, 1982: 551 ได้กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างการออกแบบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับที่ยังไม่ได้ก่อรูปลำคลื่นกับสมรรถนะของสายอากาศแถวลำดับแบบปรับตัว (adaptive array antenna) ว่า อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดรวมกับสัญญาณรบกวน (signal-to-interference-plus-noise-ratio) จะมีค่ามากที่สุดเมื่อสัญญาณแทรกสอดที่มาตกกระทบสายอากาศแถวลำดับอยู่ในทิศทางตำแหน่งศูนย์ของแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับที่ยังไม่ได้ก่อรูปลำคลื่น และจะมีค่าลดลงไปเรื่อยๆเมื่อสัญญาณแทรกสอดตกกระทบสายอากาศแถวลำดับที่ยังไม่ได้ก่อรูปลำคลื่น ในทิศทางที่ห่างจากตำแหน่งศูนย์ออกไปหรือกล่าวอีกในหนึ่งคือ ถ้าสายอากาศแถวลำดับที่ออกแบบให้มีระดับพูซังและตำแหน่งศูนย์ยิ่งต่ำก็ทำให้สายอากาศแถวลำดับแบบปรับตัวมีความสามารถในการรับสัญญาณแทรกสอดได้ต่ำ ทำให้สายอากาศแถวลำดับแบบปรับตัวมีสมรรถนะที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นจะเห็นว่าความผิดเพี้ยนของแบบรูปการแผ่พลังงานที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงจะทำให้สมรรถนะของสายอากาศเก่งลดลง งานวิจัยส่วนใหญ่ (Steyskal and Herd, 1990: 1971-1975; Darwood, Fletcher, and Hilton, 1998: 1-6; Martin-Cuerdo, Segovia-Vargas, and Sierra-Perez, 1999; Adve and Sarkar, 2000: 86-94) ชดเชยมิวชวลคัปปลิง (mutual coupling compensation) ด้วยวิธีการคำนวณโดยการประมาณคัปปลิงเมทริกซ์ให้ได้ จากนั้นนำคัปปลิงเมทริกซ์ที่คำนวณได้ไปชดเชยมิวชวลคัปปลิง แต่ในวิทยานิพนธ์นี้เสนออีกแนวทางหนึ่งที่สามารถช่วยลดผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงเพื่อทำให้สายอากาศเก่งมีสมรรถนะเพิ่มขึ้นโดยใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (multi-element-orientation) ดังรูป 1.2



รูป 1.2 สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบโดยใช้องค์ประกอบเป็นสายอากาศชั่วคราวอยู่บนระนาบดินอนันต์

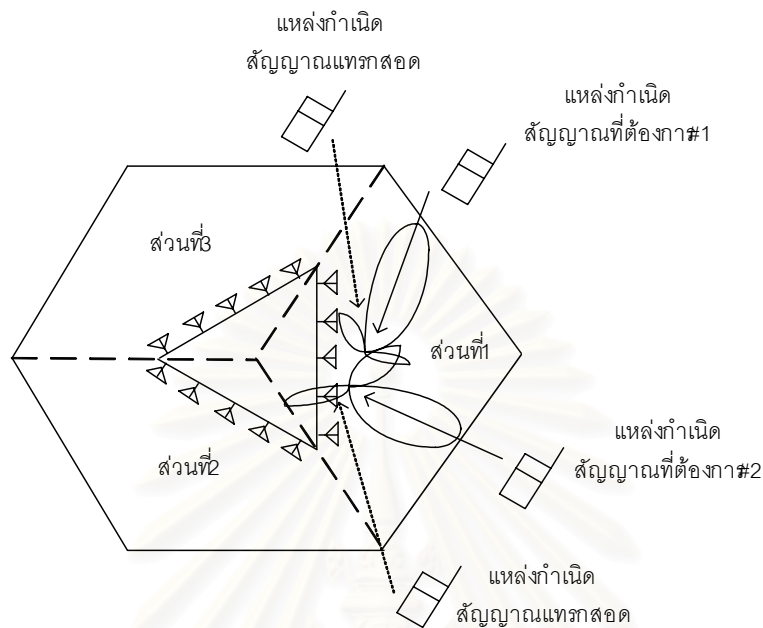


รูป 1.3 สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวโดยใช้องค์ประกอบเป็นสายอากาศชั่วคราวอยู่บนระนาบดินอนันต์

การจัดวางองค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับดังรูป 1.2 นั้นจะใช้กรรมวิธีการทำให้เหมาะสมที่สุด (optimization technique) ช่วยพิจารณาโดยใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม (genetic algorithm) ค้นหาแนวการวางตัวขององค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับจนกระทั่งได้แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับตามที่ต้องการคือ มีระดับพหุขั้วและตำแหน่งศูนย์ที่ต่ำกว่ากรณีที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว (single-element orientation) ดังรูป 1.3 ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้เพื่อให้สายอากาศเก่งมีความสามารถในการรับสัญญาณรบกวนได้ดี

เนื่องจากปรากฏการณ์มีขวลคัปปลิงมีผลต่อสมรรถนะของสายอากาศเก่ง ซึ่งจะทำให้สมรรถนะของสายอากาศเก่งลดลงดังที่กล่าวไปข้างต้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มีขวลคัปปลิงเพื่อให้สายอากาศเก่งมีสมรรถนะเพิ่มขึ้น มนตรีทิพย์ภา, 2542: 29 ได้เสนอค่าน้ำหนักของสัญญาณในแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับเพื่อใช้ในการชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มีขวลคัปปลิง โดยค่าน้ำหนักนี้จะขึ้นอยู่กับทิศทางของสัญญาณที่ต้องการและทิศทางของสัญญาณแทรกสอด แต่ในงานวิจัย มนตรีทิพย์ภา, 2542: 30 ได้ประมาณให้ค่าน้ำหนักที่ใช้ในการชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มีขวลคัปปลิงนั้นขึ้นอยู่กับทิศทางของสัญญาณที่ต้องการเพียงอย่างเดียว ซึ่งจะเห็นว่าถ้าประมาณทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการได้ผิดพลาด ก็จะทำให้ได้ค่าน้ำหนักที่เมื่อนำไปชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มีขวลคัปปลิงแล้วเกิดความผิดพลาด และนอกจากนี้ในงานวิจัย Indravuth et al., 1999: 131 ได้นำเสนอค่าดัชนีความเก่งที่ใช้ในการชี้วัดสมรรถนะของสายอากาศเก่ง แต่ดัชนีความเก่งนี้มีจุดอ่อนอยู่ที่ไม่สามารถบ่งบอกได้ว่าอัตราส่วนของสัญญาณในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการต่อผลรวมของสัญญาณในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดในสภาวะที่มีสัญญาณแทรกสอดมากกว่า หรือน้อยกว่าอัตราส่วนของสัญญาณในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการต่อผลรวม

ของสัญญาณในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดในสถานะสงบมากหรือน้อยเพียงใด ซึ่งจะเห็นว่า ค่าดัชนีความถี่ยังไม่สามารถชี้วัดสมรรถนะของสายอากาศเก่งได้อย่างสมบูรณ์



รูป 1.4 การติดตั้งสายอากาศเก่งที่สถานีฐานและพื้นที่ครอบคลุมของสายอากาศเก่ง

สายอากาศเก่งที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้จะออกแบบให้ชุดสายอากาศแถวลำดับที่ใช้องค์ประกอบเป็นสายอากาศขั้วคู่ (dipole antenna) วางอยู่บนระนาบดินอนันต์ (infinite ground plane) เหตุผลที่ให้ชุดสายอากาศแถวลำดับวางอยู่บนระนาบดินอนันต์ก็เพราะว่า ในวิทยานิพนธ์นี้จะออกแบบให้ประยุกต์ใช้งานกับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบรังผึ้งที่แต่ละเซลล์แบ่งเป็น 3 ส่วน (sector) ส่วนละ 120 องศา โดยสายอากาศแถวลำดับแต่ละชุดจะติดตั้งในแต่ละส่วนของเซลล์ที่แบ่งออกเป็น 3 ส่วน การติดตั้งสายอากาศแถวลำดับ 1 ชุดแสดงดังรูป 1.4 ดังนั้นจะเห็นว่าสายอากาศแถวลำดับ 1 ชุดที่แสดงดังรูป 1.4 จะครอบคลุมพื้นที่เพียง 1 ส่วน องค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับที่ใช้เป็นสายอากาศขั้วคู่จึงต้องวางอยู่บนระนาบดินอนันต์เพื่อให้แบบรูปการแผ่พลังงานมีทิศทางไปในบริเวณส่วนที่ต้องการและไม่รบกวนส่วนอื่นในเซลล์เดียวกัน

วิทยานิพนธ์นี้สนใจที่จะศึกษาสมรรถนะของสายอากาศเก่งเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ และศึกษาความสามารถในการลดผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิววลด์บปลิงที่มีผลต่อการก่อรูปลาคลิเนโดยใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ รวมทั้งพัฒนาวิธีการชดเชยผลเนื่องจากปรากฏการณ์มิววลด์บปลิงในเชิงการคำนวณและพัฒนาค่าดัชนีความถี่สำหรับใช้เปรียบเทียบสมรรถนะของ

สายอากาศแก่ง โดยให้สายอากาศแก่งปฏิบัติการก็ภายใต้สภาพที่มีการรบกวนด้วยการจำลองแบบ (simulation) โดยใช้ขั้นตอนวิธี (algorithm) ในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum และประมาณทิศทางการมาถึงของสัญญาณ (direction of arrival) ด้วยวิธี MUSIC จากนั้นจึงสร้างตัวจำลองแบบ (simulator) และทดสอบเพื่อนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองแบบ ทำให้ทราบถึงสมรรถนะของสายอากาศแก่งเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์ ขอบเขตของการวิจัย ขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัยและประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับดังต่อไปนี้

### 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความสามารถในการลดผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวซวอลด์ป์ปลิงที่มีผลต่อการก่อรูปลำคลื่นโดยใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
2. เพื่อพัฒนาวิธีการชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวซวอลด์ป์ปลิงในเชิงการคำนวณ
3. เพื่อพัฒนาดัชนีความเก่งสำหรับใช้เปรียบเทียบสมรรถนะของสายอากาศแก่ง

### 1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์

1. ศึกษาความสามารถในการลดผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวซวอลด์ป์ปลิงที่มีผลต่อการก่อรูปลำคลื่นโดยใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
2. พัฒนาขั้นตอนวิธีชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวซวอลด์ป์ปลิง
3. สร้างตัวจำลองแบบของสายอากาศแก่งเพื่อทดสอบสมรรถนะ
4. ทดสอบสมรรถนะของตัวจำลองแบบ
5. เปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองแบบและกับผลที่ได้จากตัวจำลองแบบ

### 1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวกับสายอากาศแถวลำดับและศึกษากรรมวิธีในการลดผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวซวอลด์ป์ปลิง
2. ศึกษาวิธีการชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวซวอลด์ป์ปลิง
3. ออกแบบและสร้างตัวจำลองแบบของสายอากาศแก่ง
4. ทดสอบสมรรถนะของตัวจำลองแบบ

5. เปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองแบบกับผลที่ได้จากการทดสอบตัวจำลองแบบ

6. สรุปงานวิจัย

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. กรรมวิธีลดผลกระทบจากมีฆวลค์ปปลิงโดยการจัดวางตัวขององค์ประกอบของสายอากาศแก่ง
2. ขั้นตอนวิธีเชิงคำนวณสำหรับการลดผลกระทบจากมีฆวลค์ปปลิง
3. ดัชนีชี้วัดสมรรถนะของสายอากาศแก่ง

### 1.6 คำโครงของวิทยานิพนธ์

คำโครงของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกันคือ บทที่ 1 กล่าวถึงความสำคัญของปัญหา และแนวเหตุผลในการใช้สายอากาศแก่งลำดับที่มีการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบเพื่อช่วยลดผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มีฆวลค์ปปลิง วัดดูประสงค์ขอบเขตวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ บทที่ 2 กล่าวถึงหลักการในการลดผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มีฆวลค์ปปลิงเมื่อใช้สายอากาศแก่งลำดับที่มีการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ การรวมผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มีฆวลค์ปปลิงด้วยวิธี Induced EMF ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมที่ใช้ในการค้นหาแนวการวางตัวขององค์ประกอบ (element orientation) ของสายอากาศแก่งลำดับที่มีการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ การชดเชยผลเนื่องจากปรากฏการณ์มีฆวลค์ปปลิง และดัชนีความเก่งที่ใช้บ่งชี้สมรรถนะของสายอากาศแก่งในสถานการณ์ต่างๆ บทที่ 3 กล่าวถึงการคำนวณจำลองแบบสถานการณ์ที่ทำให้เกิดสัญญาณแทรกสอดในกรณีต่างๆ เพื่อทดสอบสมรรถนะในการปรับทิศทางของพู่หลักและตำแหน่งศูนย์ของสายอากาศแก่งเมื่อใช้สายอากาศแก่งลำดับที่มีการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบเพื่อลดผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มีฆวลค์ปปลิง และใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum และประมาณทิศทางการมาถึงของสัญญาณด้วยวิธี MUSIC โดยแสดงอยู่ในรูปของแบบรูปการแผ่พลังงานและดัชนีความเก่ง บทที่ 4 กล่าวถึงการสร้างตัวจำลองแบบของสายอากาศแก่งและผลที่ได้จากการทดสอบตัวจำลองแบบรวมทั้งการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลที่ได้จากตัวจำลองแบบกับผลที่ได้จากการจำลองแบบ ส่วนบทที่ 5 กล่าวถึงข้อสรุปที่ได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้และข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

## บทที่ 2

### การลดผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวซวลด์บปลิง

โดยทั่วไปสายอากาศแถวลำดับที่ใช้ที่สถานีฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่มักมีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับเหมือนกัน ดังนั้นจึงทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ผลกระทบเนื่องจากมิวซวลด์บปลิงแต่ในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ ดังนั้นจึงทำให้เกิดความซับซ้อนมากขึ้นในการวิเคราะห์ผลกระทบเนื่องจากมิวซวลด์บปลิง เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ผลกระทบเนื่องจากมิวซวลด์บปลิงในวิทยานิพนธ์นี้จึงนิยามพิกัดขึ้นมาใหม่ 2 พิกัดที่เรียกว่า พิกัดเฉพาะที่ (local coordinate) และ พิกัดสากล (global coordinate) โดยพิกัดใหม่ทั้ง 2 พิกัดนี้จะใช้ในการคำนวณหาอิมพีแดนซ์ร่วมด้วยวิธี Induced EMF หลังจากนั้นก็จะสามารถนำอิมพีแดนซ์ร่วมที่คำนวณได้ไปหาสนามไฟฟ้าที่รวมผลกระทบเนื่องจากมิวซวลด์บปลิงและจำลองแบบสัญญาณที่รวมผลกระทบเนื่องจากมิวซวลด์บปลิงได้

ดังที่กล่าวมาข้างต้นว่าในวิทยานิพนธ์นี้ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบซึ่งมักจะเกิดคำถามว่าองค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับจะมีแนวการวางตัวลักษณะอย่างไรจึงจะเหมาะสม วิทยานิพนธ์นี้ใช้กรรมวิธีการทำให้เหมาะสมที่สุดเป็นตัวพิจารณาแนวการวางตัวขององค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ กรรมวิธีการทำให้เหมาะสมที่สุดนั้นมีอยู่หลายวิธีวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม วิธีนี้จะให้เซตคำตอบของพารามิเตอร์ที่ทำให้ได้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (objective function) มีค่าสูงสุดหรือต่ำสุดสากล (global maximum or global minimum) (Haupt, 1995: 7) หัวใจสำคัญของกรรมวิธีการทำให้เหมาะสมที่สุดนั้นอยู่ที่การกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้คือ การปรับแนวการวางตัวขององค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับจนได้แบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชันร่วมตามที่ต้องการ คือมีความกว้างลำของพู่หลัก มีระดับพู่ข้าง และระดับตำแหน่งศูนย์ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ และได้ระดับของแบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชันไขว้ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้

การวางตัวขององค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับที่คำนวณได้จากขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมนั้นจะกำหนดตายตัวเมื่อนำสายอากาศแถวลำดับชุดนี้ไปใช้ที่สถานีฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ เมื่อไรก็ตามที่มีสัญญาณมาตกกระทบชุดสายอากาศแห่งนี้สายอากาศแห่งนี้ก็จะชักตัวอย่างสัญญาณ (sampling) ที่สายอากาศรับได้เป็นระยะและใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูป



ค่าคลื่นเพื่อปรับเปลี่ยนน้ำหนักของสัญญาณในองค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศ  
แถวลำดับให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณที่ต้องการ

การจำลองแบบสัญญาณและการคำนวณหาสนามไฟฟ้าที่รวมผลกระทบเนื่องจากมิวชวล  
คัปปลิงโดยวิธี Induced EMF จะกล่าวในหัวข้อที่ 2.1 เมื่อสามารถหาสนามไฟฟ้าที่รวมผลกระทบ  
เนื่องจากมิวชวลคัปปลิงได้ก็จะหาลักษณะแนวการวางตัวขององค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบของ  
สายอากาศแถวลำดับได้โดยใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมซึ่งจะกล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.2 ส่วนหัวข้อที่  
2.3 จะกล่าวถึงการชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีแยกส่วน  
ประกอบฟูรีเยร์ (The Fourier Decomposition Method) และวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด (The  
Least-Squares Solution Method) เพื่อเพิ่มสมรรถนะให้กับสายอากาศเก่ง และในหัวข้อสุดท้าย  
คือหัวข้อที่ 2.4 จะกล่าวถึงดัชนีความเก่งที่ใช้บ่งชี้สมรรถนะของสายอากาศเก่งในสถานะการณ์  
ต่างๆ

## 2.1 การรวมผลกระทบเนื่องจากมิวชวลคัปปลิง

### 2.1.1 วิธี Induced EMF

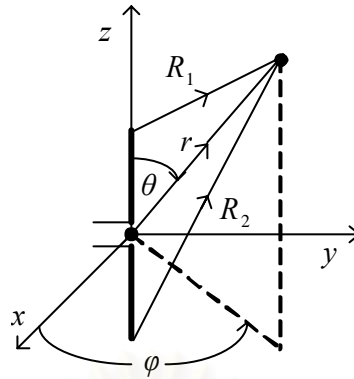
การรวมผลกระทบเนื่องจากมิวชวลคัปปลิงในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้วิธี Induced EMF ซึ่งวิธี  
นี้เป็นวิธีที่ใช้คำนวณหาอิมพีแดนซ์เฉพาะตัว (self impedances) และอิมพีแดนซ์ร่วม (Balanis,  
1997: 405) เหมาะสมกับสายอากาศขั้วคู่ที่มีรัศมีเล็กมาก (Balanis, 1997: 408) โดยวิธีนี้จะ  
สมมุติว่าการกระจายกระแส (current distribution) บนสายอากาศขั้วคู่ดังรูป 2.1 มีการกระจาย  
แบบไซน์ซoidal (sinusoidal distribution) และมีสนามไฟฟ้าเฉพาะในแนวสัมผัสพื้นผิวคือ  $E_z$   
โดยที่สนามไฟฟ้าในแนวสัมผัสพื้นผิว  $E_z$  นี้เป็นสนามไฟฟ้าระยะใกล้ในพิกัดทรงกระบอก  
(cylindrical coordinates) ซึ่งมีสมการเป็นดังนี้ (Balanis, 1997: 408)

$$\vec{E}_z = j \frac{\eta I_0}{4\pi} \left[ \frac{e^{-jkR_1}}{R_1} + \frac{e^{-jkR_2}}{R_2} - 2 \cos\left(\frac{kl}{2}\right) \frac{e^{-jkr}}{r} \right] \hat{a}_z \quad (2.1)$$

โดยที่  $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$  (2.1ก)

$$R_1 = \sqrt{x^2 + y^2 + \left(z - \frac{l}{2}\right)^2} \quad (2.1ข)$$

$$R_2 = \sqrt{x^2 + y^2 + \left(z + \frac{l}{2}\right)^2} \quad (2.1ค)$$



รูป 2.1 เวกาคณิตศาสตร์ของสายอากาศขั้วคู่สำหรับการวิเคราะห์สนามใกล้

และการกระจายของกระแสบนสายอากาศขั้วคู่ที่เป็นแบบไซนูซอยดอลสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการดังนี้ (Balanis, 1997: 409)

$$\vec{I}_z = I_m \sin \left[ k \left( \frac{l}{2} - |z| \right) \right] \hat{a}_z \quad (2.2)$$

โดยที่  $z$  คือตำแหน่งใด ๆ บนแกนที่สายอากาศขั้วคู่วางตัวอยู่

$l$  คือความยาวของสายอากาศขั้วคู่

$k$  คือเลขคลื่น (wave number)

$I_m$  คือค่ายอดกระแส (current amplitude)

เมื่อทราบการกระจายของกระแสที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนสายอากาศขั้วคู่และสนามไฟฟ้าระยะใกล้ในแนวสัมผัสพื้นผิวแล้วก็จะสามารถหาอิมพีแดนซ์ร่วมขาเข้า (input mutual impedance) ระหว่างสายอากาศตัวที่  $i$  กับตัวที่  $j$  ได้ โดยนิพจน์ของอิมพีแดนซ์ร่วมขาเข้าของสายอากาศขั้วคู่ ดังรูป 2.2 สามารถเขียนอยู่ในรูปดังต่อไปนี้ (Balanis, 1997: 414)

$$Z_{ijIN} = \frac{v_{ij}}{I_{jIN}} = -\frac{1}{I_{iIN} I_{jIN}} \int_{-l_i/2}^{l_i/2} \vec{E}_{z,ij}(z_i) \cdot \vec{I}_i(z_i) dz_i \quad (2.3)$$

โดยที่  $\vec{E}_{z,ij}(z_i)$  คือสนามไฟฟ้าที่แผ่พลังงานโดยสายอากาศตัวที่  $j$

$\vec{I}_i(z_i)$  คือการกระจายกระแสบนสายอากาศตัวที่  $i$

$I_{iIN}$  คือกระแสขาเข้า (input current) ของสายอากาศตัวที่  $i$

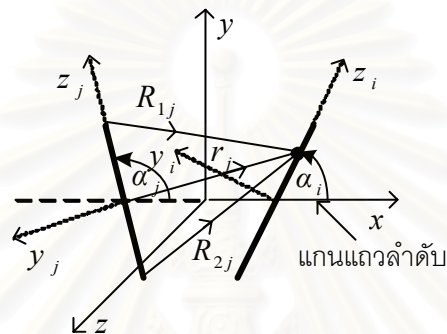
$$= I_{im} \sin \left[ k \left( \frac{l_i}{2} - |z_{iIN}| \right) \right] \quad (z_{iIN} \text{ คือตำแหน่งขั้วขาเข้าบนแกน } z_i)$$

$I_{jIN}$  คือกระแสขาเข้า (input current) ของสายอากาศตัวที่  $j$

$$= I_{jm} \sin \left[ k \left( \frac{l_j}{2} - |z_{jIN}| \right) \right] \quad (z_{jIN} \text{ คือตำแหน่งขั้วขาเข้าบนแกน } z_j)$$

$l_i$  คือความยาวของสายอากาศตัวที่  $i$

$l_j$  คือความยาวของสายอากาศตัวที่  $j$



รูป 2.2 ลักษณะการวางตัวของสายอากาศขั้วคู่สำหรับการคำนวณมิวชวลคัปปลิง

เมื่อนำสมการ (2.1) และ (2.2) แทนลงในสมการ (2.3) จะได้ผลดังนี้

$$Z_{ijIN} = j \frac{\eta I_{im} I_{jm}}{4\pi I_{iIN} I_{jIN}} \int_{-l_i/2}^{l_i/2} \sin \left[ k \left( \frac{l_i}{2} - |z_i| \right) \right] \times \left[ \frac{e^{-jkR_{1j}}}{R_{1j}} + \frac{e^{-jkR_{2j}}}{R_{2j}} - 2 \cos \left( \frac{kl_j}{2} \right) \frac{e^{-jkr_j}}{r_j} \right] \times PLF dz_i \quad (2.4)$$

โดยที่  $I_{im}$  คือกระแสมากที่สุด (maximum current) ของสายอากาศตัวที่  $i$

$I_{jm}$  คือกระแสมากที่สุด (maximum current) ของสายอากาศตัวที่  $j$

$I_{iIN}$  คือกระแสขาเข้าของสายอากาศตัวที่  $i$

$$= I_{im} \sin \left[ k \left( \frac{l_i}{2} - |z_{iIN}| \right) \right] \quad (z_{iIN} \text{ คือตำแหน่งขั้วขาเข้าบนแกน } z_i)$$

$I_{jIN}$  คือกระแสขาเข้าของสายอากาศตัวที่  $j$

$$= I_{jm} \sin \left[ k \left( \frac{l_j}{2} - |z_{jIN}| \right) \right] \quad (z_{jIN} \text{ คือตำแหน่งขั้วขาเข้าบนแกน } z_j)$$

$k$  คือเลขคลื่น

$\eta$  คืออิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของตัวกลาง (intrinsic impedance of the medium) มีค่าเท่ากับ  $120\pi$

$l_i$  คือความยาวของสายอากาศตัวที่  $i$

$l_j$  คือความยาวของสายอากาศตัวที่  $j$

$PLF$  คือตัวประกอบการสูญเสียเนื่องจากโพลาไรเซชัน (polarization loss factor)

$$r_j = \sqrt{x_j^2 + y_j^2 + z_j^2} \quad (2.4ก)$$

$$R_{1j} = \sqrt{x_j^2 + y_j^2 + \left(z_j - \frac{l_j}{2}\right)^2} \quad (2.4ข)$$

$$R_{2j} = \sqrt{x_j^2 + y_j^2 + \left(z_j + \frac{l_j}{2}\right)^2} \quad (2.4ค)$$

พิจารณาสมการ (2.3) พบว่าการคำนวณหาอิมพีแดนซ์ร่วมจะหาได้จากการหาผลคูณเชิงสเกลาร์ระหว่างเวกเตอร์สนามไฟฟ้าในแนวสัมผัสพื้นผิวของสายอากาศตัวที่  $j$  กับเวกเตอร์กระแสของสายอากาศตัวที่  $i$  การหาผลคูณเชิงสเกลาร์ของเวกเตอร์ 2 เวกเตอร์จะต้องมีพจน์ตัวประกอบการสูญเสียเนื่องจากโพลาไรเซชันปรากฏอยู่ด้วย พจน์ตัวประกอบการสูญเสียเนื่องจากโพลาไรเซชันนี้ขึ้นอยู่กับมุมที่เวกเตอร์ 2 เวกเตอร์กระทำกันอยู่ ดังนั้นเมื่อสายอากาศตัวที่  $i$  กับตัวที่  $j$  ทำมุมใดๆกับแกน  $x$  ดังรูป 2.2 แล้ว มุมที่เวกเตอร์สองเวกเตอร์กระทำกันอยู่นั้นจะหาค่อนข้างยาก ถ้าจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับมีจำนวนมาก วิทยานิพนธ์นี้จึงนิยามพิกัดขึ้นมา 2 พิกัดเพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณหาอิมพีแดนซ์ร่วมคือ พิกัดที่เรียกว่า พิกัดเฉพาะที่  $(x_n, y_n, z_n)$  ใดๆที่เป็นพิกัดเฉพาะสำหรับสายอากาศแต่ละตัวดังรูป 2.2) และพิกัดสากล  $(x, y, z)$  ซึ่งในการคำนวณหาอิมพีแดนซ์ร่วม  $z_{ijIN}$  ดังสมการ (2.3) ทำได้โดยการอินทิเกรตผลคูณเชิงสเกลาร์ระหว่างเวกเตอร์สนามไฟฟ้าในแนวสัมผัสพื้นผิวของสายอากาศตัวที่  $j$  กับเวกเตอร์กระแสของสายอากาศตัวที่  $i$  โดยที่สายอากาศตัวที่  $i$  จะเป็นสายอากาศตัวที่สัญญาณตกกระทบ ส่วนสายอากาศตัวที่  $j$  จะเป็นสายอากาศตัวที่แผ่พลังงานไปตกกระทบสายอากาศตัวที่  $i$  ดังนั้นจุดใดๆบนสายอากาศตัวที่  $i$  จะเป็นจุดสังเกตของสายอากาศตัวที่  $j$  แต่สายอากาศตัวที่  $i$  กับสายอากาศตัวที่  $j$  มีพิกัดเฉพาะที่ต่างกัน ดังนั้นจำเป็นต้องมีพิกัดที่เชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดเฉพาะที่สองพิกัดนี้ วิทยานิพนธ์นี้ให้พิกัดสากลเป็นพิกัดที่เชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดเฉพาะที่สองพิกัดใดๆ เมื่อสังเกตสมการ (2.3) จะเห็นว่าเมื่ออินทิเกรตสมการ (2.3) เทียบกับ  $z_i$  ซึ่งเป็นพิกัดเฉพาะที่ของสายอากาศตัวที่  $i$  การอินทิเกรตนั้นเป็นการอินทิเกรตระหว่างสนามไฟฟ้าในแนวสัมผัสพื้นผิวของสายอากาศตัวที่  $j$  คูณกับกระแสที่กระจายอยู่บนสายอากาศตัวที่  $i$  แต่สนามไฟ

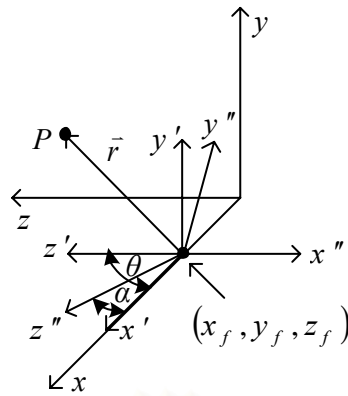
ทำในแนวสัมผัสพื้นผิวนี้เป็นสนามไฟฟ้าของสายอากาศตัวที่  $j$  ซึ่งค่าสนามไฟฟ้านี้เทียบอยู่กับพิกัดเฉพาะที่  $(x_j, y_j, z_j)$  และการอินทิเกรตนั้นอินทิเกรตเทียบกับพิกัดเฉพาะที่ของสายอากาศตัวที่  $i$  ดังนั้นจึงต้องแปลงพิกัดของจุดสังเกตใดๆบนสายอากาศตัวที่  $i$  เมื่อเทียบกับสายอากาศตัวที่  $i$  ไปเป็นพิกัดของจุดสังเกตใดๆบนสายอากาศตัวที่  $i$  เมื่อเทียบกับสายอากาศตัวที่  $j$  ให้ได้ก่อน แล้วจึงนำพิกัดของจุดสังเกตใดๆบนสายอากาศตัวที่  $i$  เมื่อเทียบกับสายอากาศตัวที่  $j$  ไปหาค่าสนามไฟฟ้าในแนวสัมผัสพื้นผิวของสายอากาศตัวที่  $j$  ที่ไปตกกระทบที่จุดใดๆบนสายอากาศตัวที่  $i$  ส่วนการกระจายกระแสเหล่านั้นไม่ต้องแปลงพิกัดเพราะว่าการกระจายกระแสเหล่านั้นเทียบอยู่กับพิกัดเฉพาะที่  $z_i$  อยู่แล้ว ที่กล่าวมาก่อนหน้านี้เป็นการแปลงพิกัดเชิงสเกลาร์ทั้งหมดแต่สนามไฟฟ้าในแนวสัมผัสพื้นผิวและการกระจายกระแสเป็นปริมาณเวกเตอร์ดังนั้นจึงมีเรื่องของทิศทางเกี่ยวข้องด้วย ในวิทยานิพนธ์นี้จะแปลงเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าในแนวสัมผัสพื้นผิวและกระแสในพิกัดเฉพาะที่ที่เวกเตอร์นั้นอ้างอิงอยู่ไปเป็นเวกเตอร์ที่อ้างอิงกับพิกัดสากลทั้งหมด เพื่อที่จะลดความซับซ้อนในการคำนวณหาตัวประกอบการสูญเสียเนื่องจากโพลาริเซชัน เพราะว่าการแปลงเวกเตอร์ทั้งสองให้อยู่ในพิกัดสากลทั้งหมดจะได้ค่าตัวประกอบการสูญเสียเนื่องจากโพลาริเซชันอย่างอัตโนมัติ ดังนั้นจะเห็นว่าพิกัดทั้งสองนี้มีความสำคัญต่อการหาอิมพีแดนซ์ร่วมอย่างมาก

การหาความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดเฉพาะที่กับพิกัดสากลจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกจะเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดเฉพาะที่กับพิกัดสากลในเชิงสเกลาร์ และส่วนที่สองจะเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดเฉพาะที่กับพิกัดสากลในเชิงเวกเตอร์ซึ่งรายละเอียดจะมีดังนี้

### 2.1.2 การหาความสัมพันธ์เชิงสเกลาร์ระหว่างพิกัดเฉพาะที่กับพิกัดสากล

จากรูป 2.3 ระบบพิกัดคาร์ทีเซียน  $x'y'z'$  เกิดจากการแปลงพิกัด  $xyz$  โดยการย้ายจุดกำเนิดของพิกัด  $xyz$  ไปอยู่ที่  $(x_f, y_f, z_f)$  ทำให้ระบบพิกัด  $x'y'z'$  ซึ่งมีความสัมพันธ์กับพิกัด  $xyz$  เป็นดังสมการ (2.5)

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x - x_f \\ y - y_f \\ z - z_f \end{bmatrix} \quad (2.5)$$



รูป 2.3 ความสัมพันธ์เชิงสเกลาร์ระหว่างพิกัดเฉพาะที่  $x''y''z''$  กับพิกัดสากล  $xyz$

และระบบพิกัด  $x''y''z''$  เกิดจากการหมุนแกน  $z'$  รอบแกน  $y$  เป็นมุม  $\theta$  ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาและหมุนแกน  $z'$  อีกครั้งหนึ่งรอบแกน  $z$  เป็นมุม  $\alpha$  ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างพิกัด  $x''y''z''$  กับพิกัด  $x'y'z'$  สามารถพิจารณาจากเวกเตอร์บอกตำแหน่ง  $\vec{r}$  ที่จุด  $P$  ใดๆของพิกัดทั้งสองดังนี้

พิจารณารูป 2.3 เวกเตอร์บอกตำแหน่ง  $\vec{r}$  ที่จุด  $P$  ใดๆของพิกัดทั้งสองเป็นดังสมการ (2.6)

$$\vec{r} = x \hat{a}_{x'} + y \hat{a}_{y'} + z \hat{a}_{z'} = x'' \hat{a}_{x''} + y'' \hat{a}_{y''} + z'' \hat{a}_{z''} \quad (2.6)$$

เมื่อนำเวกเตอร์บอกตำแหน่ง  $\vec{r}$  มาหาผลคูณเชิงสเกลาร์กับเวกเตอร์หนึ่งหน่วย  $\hat{a}_{x''}, \hat{a}_{y''}, \hat{a}_{z''}$  ก็จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างพิกัด  $x''y''z''$  กับพิกัด  $x'y'z'$  ตามรูป 2.3 เป็นดังนี้

$$\begin{aligned} x'' &= \vec{r} \cdot \hat{a}_{x''} = x'(\hat{a}_{x'} \cdot \hat{a}_{x''}) + y'(\hat{a}_{y'} \cdot \hat{a}_{x''}) + z'(\hat{a}_{z'} \cdot \hat{a}_{x''}) \\ &= x' \cos(\theta) + y' \cos(90^\circ) + z' \cos(180^\circ) \end{aligned} \quad (2.7)$$

เมื่อ  $\theta = 90^\circ$  สมการ (2.7) จะเป็นดังนี้

$$x'' = -z' \quad (2.8)$$

$$\begin{aligned} y'' &= \vec{r} \cdot \hat{a}_{y''} = x'(\hat{a}_{x'} \cdot \hat{a}_{y''}) + y'(\hat{a}_{y'} \cdot \hat{a}_{y''}) + z'(\hat{a}_{z'} \cdot \hat{a}_{y''}) \\ &= x' \cos(90^\circ + \alpha) + y' \cos(\alpha) + z' \cos(90^\circ) \\ &= -x' \sin(\alpha) + y' \cos(\alpha) \end{aligned} \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned}
 z'' &= \vec{r} \cdot \hat{a}_{z''} = x'(\hat{a}_{x'} \cdot \hat{a}_{z''}) + y'(\hat{a}_{y'} \cdot \hat{a}_{z''}) + z'(\hat{a}_{z'} \cdot \hat{a}_{z''}) \\
 &= x' \cos(\alpha) + y' \cos(90^\circ - \alpha) + z' \cos(90^\circ) \\
 &= x' \cos(\alpha) + y' \sin(\alpha)
 \end{aligned} \tag{2.10}$$

สมการ (2.8)-(2.10) สามารถเขียนในรูปเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} x'' \\ y'' \\ z'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ -\sin(\alpha) & \cos(\alpha) & 0 \\ \cos(\alpha) & \sin(\alpha) & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} \tag{2.11}$$

เมื่อนำสมการ (2.5) แทนลงในสมการ (2.11) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดเฉพาะที่กับพิกัดสากลดังนี้

$$\begin{bmatrix} x'' \\ y'' \\ z'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ -\sin(\alpha) & \cos(\alpha) & 0 \\ \cos(\alpha) & \sin(\alpha) & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - x_f \\ y - y_f \\ z - z_f \end{bmatrix} \tag{2.12}$$

สมการ (2.12) เป็นการแปลงพิกัดสากล  $xyz$  ไปเป็นพิกัดเฉพาะที่  $x''y''z''$  ส่วนการแปลงพิกัดเฉพาะที่  $x''y''z''$  ไปเป็นพิกัดสากล  $xyz$  จะเป็นดังสมการ (2.13)

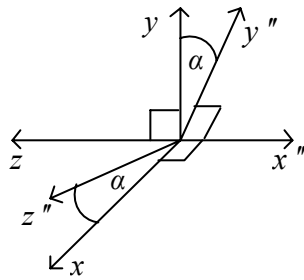
$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\sin(\alpha) & \cos(\alpha) \\ 0 & \cos(\alpha) & \sin(\alpha) \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x'' \\ y'' \\ z'' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_f \\ y_f \\ z_f \end{bmatrix} \tag{2.13}$$

### 2.1.3 การหาความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดเฉพาะที่กับพิกัดสากลในเชิงเวกเตอร์

ความสัมพันธ์ระหว่างเวกเตอร์ของพิกัดเฉพาะที่  $x''y''z''$  กับพิกัดสากล  $xyz$  สามารถหาได้โดยพิจารณารูป 2.4 ประกอบดังนี้

$$\begin{aligned}
 \hat{a}_{x''} &= \hat{a}_x \cos(90^\circ) + \hat{a}_y \cos(90^\circ) + \hat{a}_z \cos(180^\circ) \\
 &= -\hat{a}_z
 \end{aligned} \tag{2.14}$$

$$\begin{aligned}
 \hat{a}_{y''} &= \hat{a}_x \cos(90^\circ + \alpha) + \hat{a}_y \cos(\alpha) + \hat{a}_z \cos(90^\circ) \cos(\alpha) \\
 &= -\hat{a}_x \sin(\alpha) + \hat{a}_y \cos(\alpha)
 \end{aligned} \tag{2.15}$$



รูป 2.4 ความสัมพันธ์เชิงเวกเตอร์ระหว่างพิกัดเฉพาะที่  $x''y''z''$  กับพิกัดสากล  $xyz$

$$\begin{aligned}\hat{a}_{z''} &= \hat{a}_x \cos(\alpha) + \hat{a}_y \cos(90^\circ - \alpha) + \hat{a}_z \cos(90^\circ) \cos(90^\circ - \alpha) \\ &= \hat{a}_x \cos(\alpha) + \hat{a}_y \sin(\alpha)\end{aligned}\quad (2.16)$$

สมการ (2.14)-(2.16) สามารถเขียนในรูปเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \hat{a}_{x''} \\ \hat{a}_{y''} \\ \hat{a}_{z''} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ -\sin(\alpha) & \cos(\alpha) & 0 \\ \cos(\alpha) & \sin(\alpha) & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{a}_x \\ \hat{a}_y \\ \hat{a}_z \end{bmatrix}\quad (2.17)$$

เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดเฉพาะที่  $x''y''z''$  กับพิกัดสากล  $xyz$  ทั้งในเชิงสเกลาร์ และเวกเตอร์ได้แล้ว ก็จะสามารถหาอิมพีแดนซ์ร่วมของสายอากาศชั่วคราวที่มีแนวการวางตัวเอียงทำมุมใดๆกับแกน  $x$  ดังรูป 2.2 ได้ง่ายขึ้น วิธีการหาอิมพีแดนซ์ร่วมทำได้ดังนี้

พิจารณาสมการ (2.3) สนามไฟฟ้าในแนวสัมผัสพื้นผิว  $E_{zj}$  อยู่ในพิกัดทรงกระบอก แต่ในวิทยานิพนธ์นี้จะคำนวณ  $E_{zj}$  ในพิกัดคาร์ทีเซียนทั้งหมด ความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดทรงกระบอกกับพิกัดคาร์ทีเซียนเป็นดังนี้

$$\begin{bmatrix} E_{xj} \\ E_{yj} \\ E_{zj} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\varphi_j) & -\sin(\varphi_j) & 0 \\ \sin(\varphi_j) & \cos(\varphi_j) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{\rho j} \\ E_{\varphi j} \\ E_{zj} \end{bmatrix}\quad (2.18)$$

$$\text{โดยที่ } \varphi_j = \tan^{-1}\left(\frac{y_j}{x_j}\right)$$



ซึ่งสนามไฟฟ้าในพิกัดทรงกระบอกมีเฉพาะสนามไฟฟ้าในแนวสัมผัสพื้นผิว  $E_{z_j}$  ส่วน  $E_{\rho_j} = E_{\varphi_j} = 0$  ดังนั้นสนามไฟฟ้ารวมในพิกัดคาร์ทีเซียนจะเป็นดังนี้

$$\vec{E}_{ij} = E_{x_j} \hat{a}_{x_j} + E_{y_j} \hat{a}_{y_j} + E_{z_j} \hat{a}_{z_j} \quad (2.19)$$

โดยที่  $E_{x_j}$  คือสนามไฟฟ้าในแนวแกน  $x_j$  ซึ่งมีพิกัดเทียบกับพิกัดเฉพาะที่  $x_j y_j z_j$   
 $= 0$  (2.19ก)

$E_{y_j}$  คือสนามไฟฟ้าในแนวแกน  $y_j$  ซึ่งมีพิกัดเทียบกับพิกัดเฉพาะที่  $x_j y_j z_j$   
 $= 0$  (2.19ข)

$E_{z_j}$  คือสนามไฟฟ้าในแนวแกน  $z_j$  ซึ่งมีพิกัดเทียบกับพิกัดเฉพาะที่  $x_j y_j z_j$   
 $E_{z_j} = E_{z_j}$  (2.19ค)

$\vec{E}_{ij}$  คือเวกเตอร์สนามไฟฟ้ารวมซึ่งมีเวกเตอร์อยู่ในพิกัดเฉพาะที่  $x_j y_j z_j$

จะเห็นว่าสนามไฟฟ้ารวมตามสมการ (2.19) นั้นยังเขียนอยู่ในรูปเวกเตอร์ของพิกัดเฉพาะที่ แต่การเขียนเวกเตอร์ให้อยู่ในพิกัดสากลจะง่ายต่อการคำนวณหาค่าตัวประกอบการสูญเสียเนื่องจากโพลาริเซชัน ซึ่งสมการ (2.19) สามารถเขียนอยู่ในเวกเตอร์ของพิกัดสากลได้ดังนี้

พิจารณาสมการ (2.17) ให้  $\hat{a}_{x'}$  แทนด้วย  $\hat{a}_{x_j}$ ,  $\hat{a}_{y'}$  แทนด้วย  $\hat{a}_{y_j}$ ,  $\hat{a}_{z'}$  แทนด้วย  $\hat{a}_{z_j}$  และ  $\alpha$  แทนด้วย  $\alpha_j$  ดังนั้นสมการ (2.17) จะเป็นดังนี้

$$\begin{bmatrix} \hat{a}_{x_j} \\ \hat{a}_{y_j} \\ \hat{a}_{z_j} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ -\sin(\alpha_j) & \cos(\alpha_j) & 0 \\ \cos(\alpha_j) & \sin(\alpha_j) & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{a}_x \\ \hat{a}_y \\ \hat{a}_z \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

จากสมการ (2.20)

$$\hat{a}_{x_j} = -\hat{a}_z, \quad \hat{a}_{y_j} = -\sin(\alpha_j) \hat{a}_x + \cos(\alpha_j) \hat{a}_y, \quad \text{และ} \quad \hat{a}_{z_j} = \cos(\alpha_j) \hat{a}_x + \sin(\alpha_j) \hat{a}_y \quad (2.20ก)$$

เมื่อนำสมการ (2.19ก)-(2.19ค) และ (2.20ก) แทนในสมการ (2.19) จะได้สนามไฟฟ้ารวมที่มีเวกเตอร์อยู่ในพิกัดสากลดังนี้

$$\vec{E}_{tg} = E_{zj} \cos(\alpha_j) \hat{a}_x + E_{zj} \sin(\alpha_j) \hat{a}_y \quad (2.21)$$

โดยที่  $E_{zj}$  คือสนามไฟฟ้าในแนวแกน  $z$  ซึ่งมีพิกัดเทียบกับพิกัดเฉพาะที่  $x_j, y_j, z_j$

$\vec{E}_{tg}$  คือเวกเตอร์สนามไฟฟ้ารวมซึ่งมีเวกเตอร์อยู่ในพิกัดสากล  $xyz$

$\alpha_j$  คือมุมที่แกนของสายอากาศชั่วคราวตัวที่  $j$  ทำมุมกับแกน  $x$

จะเห็นว่าจากสมการ (2.3) นอกจากสนามไฟฟ้าแล้วยังต้องแปลงเวกเตอร์ของกระแสที่กระจายอยู่บนสายอากาศตัวที่  $i$  (สายอากาศตัวที่มีคลื่นตกกระทบ) ซึ่งอยู่ในระบบพิกัดเฉพาะที่  $x_i, y_i, z_i$  ให้อยู่ในระบบพิกัดสากล  $xyz$  ด้วย โดยที่วิธีการแปลงเวกเตอร์นั้นเป็นดังนี้

เขียนสมการ (2.2) ใหม่โดยพิจารณาการกระจายของกระแสดังสมการ (2.3) ซึ่งจะอยู่ในแนวแกน  $z_i$  ดังนั้น

$$\vec{I}_{zi} = I_{im} \sin \left[ k \left( \frac{l_i}{2} - |z_i| \right) \right] \hat{a}_{zi} \quad (2.22)$$

การแปลงเวกเตอร์จะใช้สมการ (2.17) โดยให้  $\hat{a}_x$  แทนด้วย  $\hat{a}_{xi}$ ,  $\hat{a}_y$  แทนด้วย  $\hat{a}_{yi}$ ,  $\hat{a}_z$  แทนด้วย  $\hat{a}_{zi}$  และ  $\alpha$  แทนด้วย  $\alpha_i$  ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างเวกเตอร์ในพิกัดเฉพาะที่  $x_i, y_i, z_i$  กับเวกเตอร์ในพิกัดสากลดังนี้

$$\hat{a}_{zi} = \cos(\alpha_i) \hat{a}_x + \sin(\alpha_i) \hat{a}_y \quad (2.23)$$

นำสมการ (2.23) แทนในสมการ (2.22) จะได้

$$\vec{I}_{zi} = I_{im} \sin \left[ k \left( \frac{l_i}{2} - |z_i| \right) \right] \cos(\alpha_i) \hat{a}_x + I_{im} \sin \left[ k \left( \frac{l_i}{2} - |z_i| \right) \right] \sin(\alpha_i) \hat{a}_y \quad (2.24)$$

เมื่อได้สนามไฟฟ้าในแนวสัมผัสพื้นผิวและการกระจายกระแสที่มีเวกเตอร์อยู่ในพิกัดสากล แล้วจากนั้นนำสมการ (2.21) และสมการ (2.24) แทนลงในสมการ (2.3) ก็จะได้อิมพีแดนซ์ร่วมระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับดังนี้

$$Z_{ijIN} = \frac{v_{ij}}{I_{jIN}} = - \frac{1}{I_{im} \sin \left[ k \left( \frac{l_i}{2} - |z_{iIN}| \right) \right] I_{jm} \sin \left[ k \left( \frac{l_j}{2} - |z_{jIN}| \right) \right]} \times \int_{-l_i/2}^{l_i/2} (E_{zj} \cos(\alpha_j) \hat{a}_x + E_{zj} \sin(\alpha_j) \hat{a}_y) \cdot \left( \begin{array}{l} I_{im} \sin \left[ k \left( \frac{l_i}{2} - |z_i| \right) \right] \cos(\alpha_i) \hat{a}_x + \\ I_{im} \sin \left[ k \left( \frac{l_i}{2} - |z_i| \right) \right] \sin(\alpha_i) \hat{a}_y \end{array} \right) dz_i \quad (2.25)$$

โดยที่  $I_{im}$  คือกระแสแมกซ์ิมั้ม (maximum current) ของสายอากาศตัวที่  $i$

$I_{jm}$  คือกระแสแมกซ์ิมั้ม (maximum current) ของสายอากาศตัวที่  $j$

$l_i$  คือความยาวของสายอากาศตัวที่  $i$

$l_j$  คือความยาวของสายอากาศตัวที่  $j$

$k$  คือเลขคลื่น

$z_{iIN}$  คือตำแหน่งขั้วขาเข้าบนแกน  $z_i$

$z_{jIN}$  คือตำแหน่งขั้วขาเข้าบนแกน  $z_j$

$\alpha_i$  คือมุมที่สายอากาศตัวที่  $i$  ทำมุมกับแกน  $x$  บนระนาบ  $xy$

$\alpha_j$  คือมุมที่สายอากาศตัวที่  $j$  ทำมุมกับแกน  $x$  บนระนาบ  $xy$

• คือการทำผลคูณเชิงสเกลาร์

$E_{zj}$  คือสนามไฟฟ้าในแนวสัมผัสพื้นผิวของสายอากาศตัวที่  $j$

$$= j \frac{\eta I_{jm}}{4\pi} \left[ \frac{e^{-jkR_{1j}}}{R_{1j}} + \frac{e^{-jkR_{2j}}}{R_{2j}} - 2 \cos\left(\frac{kl_j}{2}\right) \frac{e^{-jkr_j}}{r_j} \right]$$

$\eta$  คืออิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของตัวกลาง (intrinsic impedance of the medium)

มีค่าเท่ากับ  $120\pi$

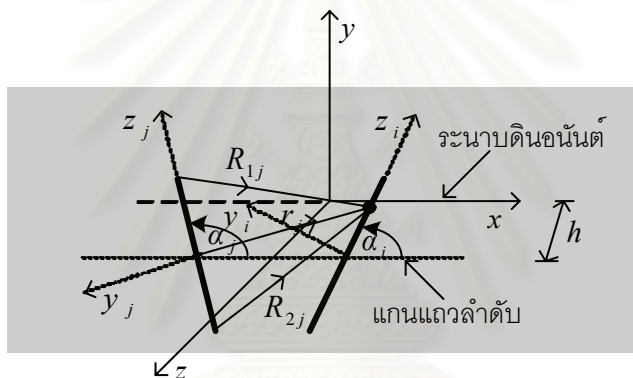
$$r_j = \sqrt{x_j^2 + y_j^2 + z_j^2}$$

$$R_{1j} = \sqrt{x_j^2 + y_j^2 + \left(z_j - \frac{l_j}{2}\right)^2}$$

$$R_{2j} = \sqrt{x_j^2 + y_j^2 + \left(z_j + \frac{l_j}{2}\right)^2}$$

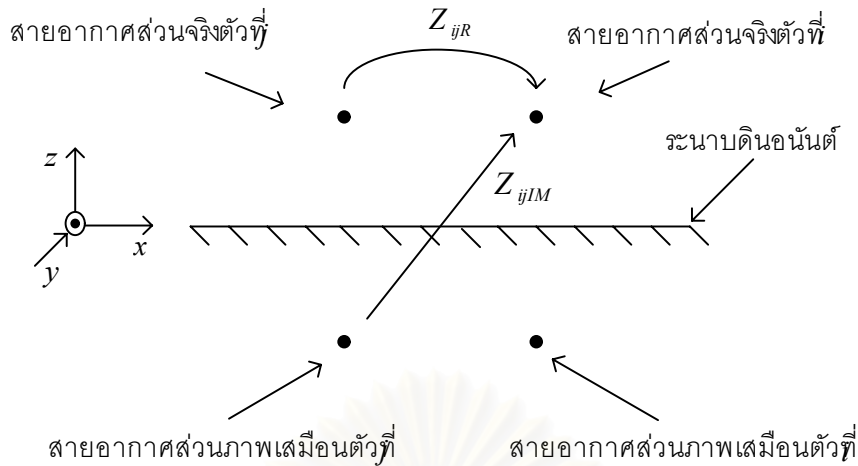
$(x_j, y_j, z_j)$  คือพิกัดของจุดสังเกตบนสายอากาศตัวที่  $i$  เมื่อเทียบกับพิกัดเฉพาะที่  $x_j, y_j, z_j$

สนามไฟฟ้า  $E_{z_j}$  ในสมการ (2.25) ที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนสายอากาศตัวที่  $i$  เมื่อเทียบกับพิกัดเฉพาะที่  $x_j, y_j, z_j$  สามารถหาได้โดยใช้สมการ (2.13) แปลงพิกัดของจุดสังเกตใด ๆ บนสายอากาศตัวที่  $i$  เมื่อเทียบกับพิกัดเฉพาะที่  $x_j, y_j, z_j$  ไปเป็นพิกัดของจุดสังเกตใด ๆ บนสายอากาศตัวที่  $i$  เมื่อเทียบกับพิกัดสากล  $xyz$  จากนั้นจึงใช้สมการ (2.12) แปลงพิกัดของจุดสังเกตใด ๆ บนสายอากาศตัวที่  $i$  เมื่อเทียบกับพิกัดสากล  $xyz$  ไปเป็นพิกัดของจุดสังเกตใด ๆ บนสายอากาศตัวที่  $i$  เมื่อเทียบกับพิกัดเฉพาะที่  $x_j, y_j, z_j$  จากนั้นนำพิกัดของจุดสังเกตใด ๆ บนสายอากาศตัวที่  $i$  เมื่อเทียบกับพิกัดเฉพาะที่  $x_j, y_j, z_j$  ไปหาสนามไฟฟ้า



รูป 2.5 ลักษณะการวางตัวของสายอากาศขั้วคู่บนระนาบดินอนันต์ สำหรับการคำนวณมิวชวลต์ปปลิง

ดังที่กล่าวมาในบทที่ 1 ว่าสายอากาศแฉกมัดที่ใช้นิยามนิพจน์นี้จะวางอยู่บนระนาบดินอนันต์ซึ่งมีลักษณะการวางตัวดังรูป 2.5 ระนาบดินอนันต์นั้นวางอยู่บนระนาบ  $xy$  และชุดสายอากาศแฉกมัดวางอยู่ห่างจากระนาบดินอนันต์เป็นระยะ  $h$  ไปทางแกนบวก  $z$  ของระบบพิกัดแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศแฉกมัดมีแนวการวางตัวทำมุมใด ๆ กับแกน  $x$  ที่ระยะ  $z = h$  บนระนาบ  $xy$  การหาอิมพีแดนซ์ร่วมของสายอากาศแฉกมัดที่วางตัวอยู่บนระนาบดินอนันต์นั้นหาได้ไม่ยากโดยใช้ทฤษฎีบทภาพเสมือน เมื่อใช้ทฤษฎีบทภาพเสมือนจะสมมุติว่ามีแหล่งกระแสเสมือนเกิดขึ้นด้านหลังระนาบดินอนันต์ที่ระยะ  $z = -h$  กระแสเสมือนที่สมมุติขึ้นมานี้จะมีขนาดของกระแสเท่ากับกระแสจริงที่ระยะ  $z = h$  แต่มีวิภาคต่างกัน 180 องศา ดังนั้นเมื่อใช้ทฤษฎีบทภาพเสมือนแล้วจะมีกลไกการเกิดมิวชวลต์ปปลิงดังรูป 2.6 และจะสามารถหาอิมพีแดนซ์ร่วมได้ดังนี้ (Kraus, 1988: 463)



รูป 2.6 กลไกการเกิดมิวชวลต์ปปลิงเมื่อสายอากาศแวลล่ำดับวางอยู่บนระนาบดินอนันต์

$$Z_{ijIN} = Z_{ijR} + Z_{ijIM} \quad (2.26)$$

โดยที่  $Z_{ijR} = Z_{ijIN}$  ในสมการ (2.25)

คืออิมพีแดนซ์ร่วมของสายอากาศแวลล่ำดับที่เป็นส่วนจริงที่วางอยู่ที่ระยะ

$$z = h$$

$Z_{ijIM} = -Z_{ijIN}$  ในสมการ (2.25)

คืออิมพีแดนซ์ร่วมของสายอากาศแวลล่ำดับที่เป็นส่วนภาพเสมือนที่วางอยู่ที่ระยะ

$$z = -h$$

การเกิดมิวชวลต์ปปลิงเมื่อสายอากาศแวลล่ำดับวางอยู่บนระนาบดินอนันต์จะเกิดเฉพาะระหว่างสายอากาศส่วนจริงตัวที่  $i$  ( $i$  แทนสายอากาศตัวที่ถูกสายอากาศตัวที่  $j$  แผลปลังงานมาตกกระทบ) กับสายอากาศส่วนจริงตัวที่  $j$  และสายอากาศส่วนจริงตัวที่  $i$  กับสายอากาศส่วนภาพเสมือนตัวที่  $j$  ดังรูป 2.6

#### 2.1.4 การหาแบบรูปการแผลปลังงานของสายอากาศแวลล่ำดับเมื่อรวมผลกระทบนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลต์ปปลิง

การหาแบบรูปการแผลปลังงานของสายอากาศแวลล่ำดับเมื่อรวมผลกระทบนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลต์ปปลิงนั้นสามารถทำได้ดังนี้ เมื่อทราบอิมพีแดนซ์ร่วมขาเข้า  $Z_{ijIN}$  ของสายอากาศแวลล่ำดับแล้ว สามารถแก้สมการเมทริกซ์  $[Z_{ijIN}]^{-1} [v_n] = [I_m]$  เพื่อหากระแสขาเข้า (input current) ที่รวมผลของมิวชวลต์ปปลิงแล้วโดยที่  $[v_n]$  คือเวกเตอร์แรงดันขาเข้าขององค์

ประกอบแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ เมื่อหากระแสขาเข้าที่รวมผลของมิววลด์ปปลิงได้แล้วจากนั้นจะสามารถหาแบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลมิววลด์ปปลิงได้ดังนี้ (Malherbe, 1989: 31)

$$E(\theta)_{im} = [E(\theta)_{id}]_{1 \times N} [I_m]_{N \times 1} \quad (2.27)$$

โดยที่  $E(\theta)_{im}$  คือสนามไฟฟ้ารวมของสายอากาศแถวลำดับเมื่อรวมผลมิววลด์ปปลิง  
 $[E(\theta)_{id}]$  คือเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าโดยที่มีสมาชิกแต่ละตัวของเวกเตอร์เป็นสนามไฟฟ้าที่ไม่รวมผลมิววลด์ปปลิง  
 $= [E(\theta)_{1id} \ E(\theta)_{2id} \ \dots \ E(\theta)_{Nid}]$   
 $[I_m]$  คือกระแสขาเข้าที่รวมผลของมิววลด์ปปลิงโดยที่มีสมาชิกแต่ละตัวของเวกเตอร์เป็นกระแสขาเข้าขององค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ  
 $= [I_1 \ I_2 \ \dots \ I_N]$

ดังที่กล่าวมาข้างต้นว่าในวิทยานิพนธ์นี้ใช้สายอากาศขั้วคู่ซึ่งสนามไฟฟ้าในระยะสนามไกลของสายอากาศขั้วคู่ขนาดจำกัด (finite dipole) ดังรูป 2.7 เป็นดังนี้ (Balanis, 1997: 153)

$$\vec{E}_\theta \approx j\eta \frac{I_0 e^{-jkr}}{2\pi r} \left[ \frac{\cos\left(\frac{kl}{2} \cos \theta\right) - \cos\left(\frac{kl}{2}\right)}{\sin(\theta)} \right] \hat{a}_\theta \quad (2.28)$$

โดยที่  $\eta$  คืออิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของตัวกลางมีค่าเท่ากับ  $120\pi$

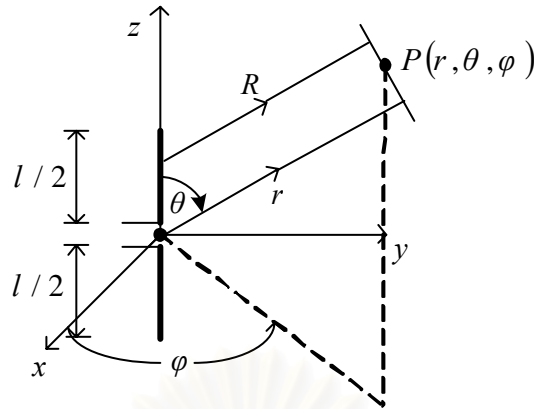
$I_0$  คือค่ายอดของกระแส

$k$  คือเลขคลื่น

$l$  คือความยาวของสายอากาศขั้วคู่

$r$  คือระยะจากจุดกึ่งกลางของสายอากาศขั้วคู่ไปยังจุดสังเกต

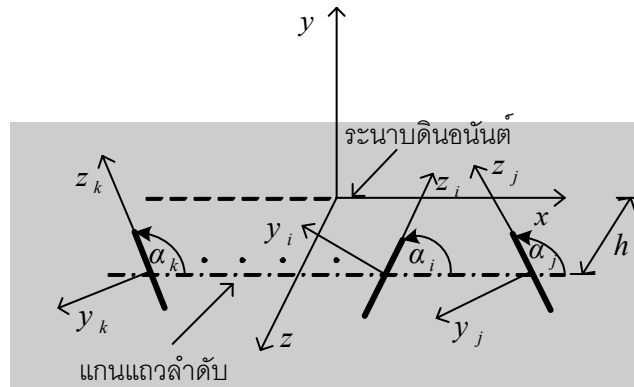
$$= \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$



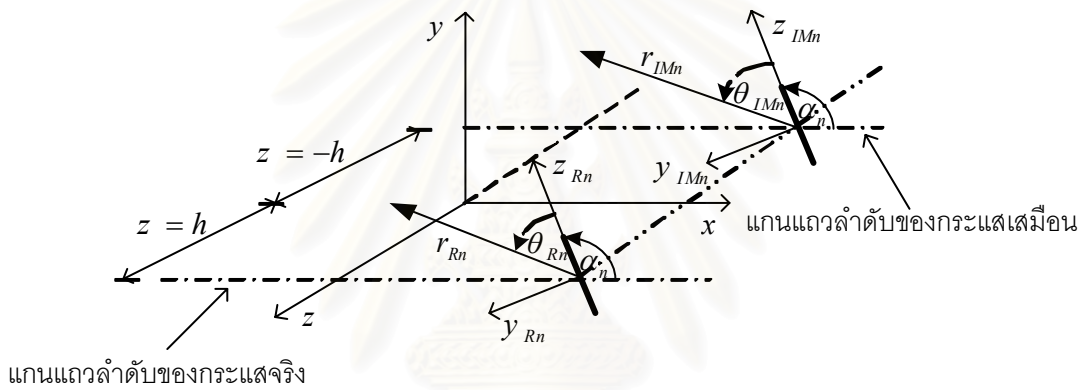
รูป 2.7 เรขาคณิตของสายอากาศขั้วคู่ขนาดจำกัดและการประมาณสนามไกล

วิทยานิพนธ์นี้กำหนดให้องค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับเป็นสายอากาศขั้วคู่ที่มีแนวการวางตัวเอียงทำมุม  $\alpha$  ใดๆกับแกน  $x$  อยู่บนระนาบ  $xy$  และมีระนาบดินอนันต์อยู่บนระนาบ  $xy$  ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาสนามไฟฟ้าของสายอากาศขั้วคู่ที่มีแนวการวางตัวลักษณะใดๆให้ได้ซึ่งสามารถทำได้ดังนี้

พิจารณารูป 2.8 จะเห็นว่าองค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับจะมีพิกัดเฉพาะที่และมีแนวการวางตัวเมื่อเทียบกับพิกัดเฉพาะที่ขององค์ประกอบนั้นๆเหมือนกับสายอากาศขั้วคู่ดังรูป 2.7 ดังนั้นสนามไฟฟ้าขององค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับจะเหมือนกับสนามไฟฟ้าของสายอากาศขั้วคู่ดังรูป 2.7 แต่พารามิเตอร์ของสนามไฟฟ้าขององค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับจะต้องเป็นพารามิเตอร์ที่เทียบกับพิกัดเฉพาะที่ขององค์ประกอบนั้นๆ สายอากาศแถวลำดับดังรูป 2.8 นั้นวางตัวอยู่บนระนาบดินอนันต์ ดังนั้นเมื่อใช้ทฤษฎีบทภาพเสมือนจะต้องมีสนามไฟฟ้าที่เกิดจากแหล่งกระแสเสมือนซึ่งสนามไฟฟ้าขององค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับที่เกิดจากแหล่งกระแสเสมือนนั้นจะมีขนาดของสนามไฟฟ้าเหมือนกับสนามไฟฟ้าที่เกิดจากแหล่งกระแสจริงแต่มีวิฎภาคต่างกัน  $180$  องศา สายอากาศแถวลำดับดังรูป 2.8 เมื่อใช้ทฤษฎีบทภาพเสมือนจะได้ดังรูป 2.9 สนามไฟฟ้าขององค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับที่ไม่รวมมิวชวลด์ไปถึงดังรูป 2.9 จะเป็นดังนี้



รูป 2.8 ลักษณะการวางตัวของสายอากาศแนวลำดับบนระนาบดินอนันต์ สำหรับการคำนวณสนามไฟฟ้า



รูป 2.9 เวกเตอร์สนามไฟฟ้าของสายอากาศขั้วคู่ขนาดจำกัดเมื่อวางอยู่บนระนาบดินอนันต์

$$\vec{E}_{\theta n} = \vec{E}_{\theta Rn} + \vec{E}_{\theta IMn} \tag{2.29}$$

โดยที่  $\vec{E}_{\theta n}$  คือเวกเตอร์สนามไฟฟ้ารวมขององค์ประกอบที่  $n$  ของสายอากาศแนวลำดับที่มีจุดสังเกตใดๆอยู่ในพิสัยไกลเมื่อไม่รวมผลมิวชวลคัปปลิง

$\vec{E}_{\theta Rn}$  คือเวกเตอร์สนามไฟฟ้าของแหล่งกระแสดำดับจริงในแนว  $\theta_{Rn}$  ที่มีเวกเตอร์เทียบกับพิสัยเฉพาะที่ขององค์ประกอบที่  $n$  ของสายอากาศแนวลำดับเมื่อไม่รวมผลมิวชวลคัปปลิง

$$\approx j\eta \frac{I_0 e^{-jkr_{Rn}}}{2\pi r_{Rn}} \left[ \frac{\cos\left(\frac{kl_{Rn}}{2} \cos \theta_{Rn}\right) - \cos\left(\frac{kl_{Rn}}{2}\right)}{\sin(\theta_{Rn})} \right] \hat{a}_{\theta Rn}$$



$\vec{E}_{\theta_{IMn}}$  คือเวกเตอร์สนามไฟฟ้าของแหล่งกระแสเสมือนในแนว  $\theta_{IMn}$  ที่มีเวกเตอร์เทียบกับพิกัดเฉพาะที่ขององค์ประกอบที่  $n$  ของสายอากาศแถวลำดับเมื่อไม่รวมผลมีวชวลค้ำปลิง

$$\approx -j\eta \frac{I_0 e^{-jkr_{IMn}}}{2\pi r_{IMn}} \left[ \frac{\cos\left(\frac{kl_{IMn}}{2} \cos \theta_{IMn}\right) - \cos\left(\frac{kl_{IMn}}{2}\right)}{\sin(\theta_{IMn})} \right] \hat{a}_{\theta_{IMn}}$$

$\eta$  คืออิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของตัวกลางมีค่าเท่ากับ  $120\pi$

$I_0$  คือค่ายอดของกระแส

$k$  คือเลขคลื่น

$l_{Rn}$  คือความยาวของสายอากาศขั้วคู่ของแหล่งกระแสจริงตัวที่  $n$

$l_{IMn}$  คือความยาวของสายอากาศขั้วคู่ของแหล่งกระแสเสมือนตัวที่  $n$

$r_{Rn}$  คือระยะจากจุดกึ่งกลางของสายอากาศขั้วคู่ของแหล่งกระแสจริงตัวที่  $n$  ไปยังจุดสังเกตเมื่อเทียบกับพิกัดเฉพาะที่  $x_{Rn} y_{Rn} z_{Rn}$

$$= \sqrt{x_{Rn}^2 + y_{Rn}^2 + z_{Rn}^2}$$

$r_{IMn}$  คือระยะจากจุดกึ่งกลางของสายอากาศขั้วคู่ของแหล่งกระแสเสมือนตัวที่  $n$  ไปยัง

จุดสังเกตเมื่อเทียบกับพิกัดเฉพาะที่  $x_{IMn} y_{IMn} z_{IMn}$

$$= \sqrt{x_{IMn}^2 + y_{IMn}^2 + z_{IMn}^2}$$

$\theta_{Rn}$  คือมุมที่เวกเตอร์  $r_{Rn}$  ทำมุมกับแกน  $z_{Rn}$

$$= \tan^{-1} \left( \frac{\sqrt{x_{Rn}^2 + y_{Rn}^2}}{z_{Rn}} \right)$$

$\theta_{IMn}$  คือมุมที่เวกเตอร์  $r_{IMn}$  ทำมุมกับแกน  $z_{IMn}$

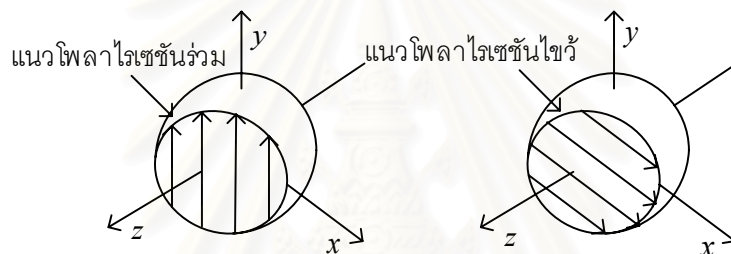
$$= \tan^{-1} \left( \frac{\sqrt{x_{IMn}^2 + y_{IMn}^2}}{z_{IMn}} \right)$$

สนามไฟฟ้าขององค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับตามสมการ (2.29) ทั้งส่วนที่เกิดจากแหล่งกระแสจริงและแหล่งกระแสเสมือนนั้นล้วนขึ้นอยู่กับพิกัดเฉพาะที่ขององค์ประกอบ ดังนั้นเมื่อต้องการจะหาสนามไฟฟ้าที่มีจุดสังเกตใดๆที่อยู่ในพิกัดสากลก็สามารถทำได้โดยใช้สมการ (2.12) แปลงพิกัดของจุดสังเกตเมื่อเทียบกับพิกัดสากลไปเป็นพิกัดของจุดสังเกตเมื่อเทียบกับพิกัดเฉพาะที่ของสายอากาศตัวนั้นๆ จากนั้นนำพิกัดของจุดสังเกตเมื่อเทียบกับพิกัดเฉพาะที่ที่

หาได้แทนในสมการ (2.29) ก็จะได้สนามไฟฟ้าของสายอากาศตัวนี้ที่มีจุดสังเกตใดๆ อยู่ในพิภดสากล

สนามไฟฟ้าที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้จะไม่ได้ใช้สนามไฟฟ้าในแนว  $\theta$  ดังสมการ 2.9 แต่จะใช้สนามไฟฟ้าในแนวโพลาไรเซชันร่วม (co polarization) และแนวโพลาไรเซชันไขว้ (cross polarization) สนามไฟฟ้าในแนวโพลาไรเซชันร่วมและแนวโพลาไรเซชันไขว้จะมีนิยามดังนี้ (Ludwig, 1973: 117)

สนามไฟฟ้าที่มีทิศทางไปตามแกน  $y$  ของพิภดสากลเป็นสนามไฟฟ้าที่มีแนวโพลาไรเซชันร่วมและสนามไฟฟ้าที่มีทิศทางไปตามแกน  $x$  ของพิภดสากลเป็นสนามไฟฟ้าที่มีแนวโพลาไรเซชันไขว้ดังรูป 2.10



รูป 2.10 นิยามโพลาไรเซชัน

สามารถเขียนนิพจน์สนามโพลาไรเซชันร่วมและโพลาไรเซชันไขว้ในรูปเวกเตอร์ได้ดังนี้

$$\vec{i}_{co} = \vec{i}_y = \sin \theta \sin \varphi \hat{a}_r + \cos \theta \sin \varphi \hat{a}_\theta + \cos \varphi \hat{a}_\varphi \quad (2.30)$$

$$\vec{i}_{cross} = \vec{i}_x = \sin \theta \cos \varphi \hat{a}_r + \cos \theta \cos \varphi \hat{a}_\theta - \sin \varphi \hat{a}_\varphi \quad (2.31)$$

เมื่อนิยามเวกเตอร์ของแนวโพลาไรเซชันได้แล้วจากนั้นจะสามารถหาสนามไฟฟ้าในแนวโพลาไรเซชันร่วมและแนวโพลาไรเซชันไขว้ได้ดังนี้

$$\vec{E} \cdot \vec{i}_{co} = \text{สนามไฟฟ้าในแนวโพลาไรเซชันร่วม} \quad (2.32)$$

$$\vec{E} \cdot \vec{i}_{cross} = \text{สนามไฟฟ้าในแนวโพลาไรเซชันไขว้} \quad (2.33)$$

โดยที่  $\vec{E}$  คือสนามไฟฟ้ารวม

$$= E_r \hat{a}_r + E_\theta \hat{a}_\theta + E_\varphi \hat{a}_\varphi$$

- คือการทำผลคูณเชิงสเกลาร์

จะเห็นว่าเวกเตอร์ในแนวโพลาริเซชันร่วมและแนวโพลาริเซชัน-ไขว้เป็นเวกเตอร์ที่เทียบกับพิกัดสากล ดังนั้นสนามไฟฟ้าในสมการ (2.32) และ (2.33) ก็ต้องเป็นสนามไฟฟ้าที่มีเวกเตอร์เทียบกับพิกัดสากลด้วย ซึ่งสนามไฟฟ้าที่ใช้ในสมการ (2.32) และ (2.33) คือสนามไฟฟ้าในสมการ (2.29) โดยที่สนามไฟฟ้านี้เป็นสนามไฟฟ้าที่มีเวกเตอร์เทียบกับพิกัดเฉพาะที่ ดังนั้นจึงต้องแปลงสนามไฟฟ้านี้ให้มีเวกเตอร์เทียบกับพิกัดสากลโดยใช้สมการ (2.17) เนื่องจากสนามไฟฟ้าในสมการ (2.29) นั้นอยู่ในพิกัดทรงกลมแต่สมการ (2.17) อยู่ในพิกัดคาร์ทีเซียน ดังนั้นจึงต้องแปลงสมการ (2.29) ให้อยู่ในพิกัดคาร์ทีเซียนก่อนแล้วจึงหาสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมและแนวโพลาริเซชันไขว้ดังสมการ (2.32) และ (2.33) ได้ ซึ่งวิธีการจะเป็นดังนี้

แปลงสนามไฟฟ้าตามสมการ (2.29) ในพิกัดทรงกลมเป็นพิกัดคาร์ทีเซียนดังนี้

$$\begin{bmatrix} E_{xRn} \\ E_{yRn} \\ E_{zRn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin(\theta_{Rn}) \cos(\phi_{Rn}) & \cos(\theta_{Rn}) \cos(\phi_{Rn}) & -\sin(\phi_{Rn}) \\ \sin(\theta_{Rn}) \sin(\phi_{Rn}) & \cos(\theta_{Rn}) \sin(\phi_{Rn}) & \cos(\phi_{Rn}) \\ \cos(\theta_{Rn}) & -\sin(\theta_{Rn}) & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{rRn} \\ E_{\theta Rn} \\ E_{\phi Rn} \end{bmatrix} \quad (2.34)$$

$$\text{โดยที่ } \theta_{Rn} = \tan^{-1} \left( \frac{\sqrt{x_{Rn}^2 + y_{Rn}^2}}{z_{Rn}} \right), \quad \phi_{Rn} = \tan^{-1} \left( \frac{y_{Rn}}{x_{Rn}} \right)$$

$$\begin{bmatrix} E_{xIMn} \\ E_{yIMn} \\ E_{zIMn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin(\theta_{IMn}) \cos(\phi_{IMn}) & \cos(\theta_{IMn}) \cos(\phi_{IMn}) & -\sin(\phi_{IMn}) \\ \sin(\theta_{IMn}) \sin(\phi_{IMn}) & \cos(\theta_{IMn}) \sin(\phi_{IMn}) & \cos(\phi_{IMn}) \\ \cos(\theta_{IMn}) & -\sin(\theta_{IMn}) & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{rIMn} \\ E_{\theta IMn} \\ E_{\phi IMn} \end{bmatrix} \quad (2.35)$$

$$\text{โดยที่ } \theta_{IMn} = \tan^{-1} \left( \frac{\sqrt{x_{IMn}^2 + y_{IMn}^2}}{z_{IMn}} \right), \quad \phi_{IMn} = \tan^{-1} \left( \frac{y_{IMn}}{x_{IMn}} \right)$$

และจากสมการ (2.17) สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างเวกเตอร์ที่เทียบกับพิกัดเฉพาะที่ของแหล่งกระแสจริงและแหล่งกระแสเสมือนกับเวกเตอร์ที่เทียบกับพิกัดสากลได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \hat{a}_{xRn} \\ \hat{a}_{yRn} \\ \hat{a}_{zRn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ -\sin(\alpha_n) & \cos(\alpha_n) & 0 \\ \cos(\alpha_n) & \sin(\alpha_n) & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{a}_x \\ \hat{a}_y \\ \hat{a}_z \end{bmatrix} \quad (2.36)$$

$$\begin{bmatrix} \hat{a}_{xIMn} \\ \hat{a}_{yIMn} \\ \hat{a}_{zIMn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ -\sin(\alpha_n) & \cos(\alpha_n) & 0 \\ \cos(\alpha_n) & \sin(\alpha_n) & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{a}_x \\ \hat{a}_y \\ \hat{a}_z \end{bmatrix} \quad (2.37)$$

โดยที่  $\alpha_n$  คือมุมที่สายอากาศตัวที่  $n$  ทำมุมกับแกน  $x$  (ดังรูป 2.9)

สนามไฟฟ้าตามสมการ (2.29) มีเฉพาะในแนว  $\theta$  ในแนว  $r$  และ  $\phi$  นั้นมีค่าเป็นศูนย์ดังนั้นสมการ (2.34) และ (2.35) จะได้  $\bar{E}_{xRn}, \bar{E}_{yRn}, \bar{E}_{zRn}, \bar{E}_{xIMn}, \bar{E}_{yIMn}$  และ  $\bar{E}_{zIMn}$  ดังนี้

$$\bar{E}_{xRn} = (E_{\theta Rn} \cos(\theta_{Rn}) \cos(\phi_{Rn})) \hat{a}_{xRn} \quad (2.38)$$

$$\bar{E}_{xIMn} = (E_{\theta IMn} \cos(\theta_{IMn}) \cos(\phi_{IMn})) \hat{a}_{xIMn} \quad (2.39)$$

$$\bar{E}_{yRn} = (E_{\theta Rn} \cos(\theta_{Rn}) \sin(\phi_{Rn})) \hat{a}_{yRn} \quad (2.40)$$

$$\bar{E}_{yIMn} = (E_{\theta IMn} \cos(\theta_{IMn}) \sin(\phi_{IMn})) \hat{a}_{yIMn} \quad (2.41)$$

$$\bar{E}_{zRn} = (E_{\theta Rn} \sin(\theta_{Rn})) \hat{a}_{zRn} \quad (2.42)$$

$$\bar{E}_{zIMn} = (E_{\theta IMn} \sin(\theta_{IMn})) \hat{a}_{zIMn} \quad (2.43)$$

เมื่อนำสมการ (2.36) และ (2.37) แทนลงในสมการ (2.38)-(2.43) จะได้สนามไฟฟ้าที่เกิดจากแหล่งกระแสจริงและแหล่งกระแสเสมือนที่มีเวกเตอร์เทียบกับพิกัดสากลดังนี้

$$\bar{E}_{xgRn} = -(E_{\theta Rn} \cos(\theta_{Rn}) \cos(\phi_{Rn})) \hat{a}_z \quad (2.44)$$

$$\bar{E}_{xgIMn} = -(E_{\theta IMn} \cos(\theta_{IMn}) \cos(\phi_{IMn})) \hat{a}_z \quad (2.45)$$

$$\bar{E}_{yRn} = (E_{\theta Rn} \cos(\theta_{Rn}) \sin(\phi_{Rn})) (-\sin(\alpha_n) \hat{a}_x + \cos(\alpha_n) \hat{a}_y) \quad (2.46)$$

$$\bar{E}_{yIMn} = (E_{\theta IMn} \cos(\theta_{IMn}) \sin(\phi_{IMn})) (-\sin(\alpha_n) \hat{a}_x + \cos(\alpha_n) \hat{a}_y) \quad (2.47)$$

$$\bar{E}_{zRn} = (E_{\theta Rn} \sin(\theta_{Rn})) (\cos(\alpha_n) \hat{a}_x + \sin(\alpha_n) \hat{a}_y) \quad (2.48)$$

$$\bar{E}_{zIMn} = (E_{\theta IMn} \sin(\theta_{IMn})) (\cos(\alpha_n) \hat{a}_x + \sin(\alpha_n) \hat{a}_y) \quad (2.49)$$

โดยที่  $\vec{E}_{xgRn}, \vec{E}_{ygRn}, \vec{E}_{zgRn}$  คือเวกเตอร์สนามไฟฟ้าของแหล่งกระแสจริงในแนว  $x, y$  และ  $z$  ขององค์ประกอบที่  $n$  ของสายอากาศแถวลำดับที่มีเวกเตอร์เทียบ กับพิกัดสากลเมื่อไม่รวมผลมิวชวลคัปปลิง

$\vec{E}_{xgIMn}, \vec{E}_{ygIMn}, \vec{E}_{zgIMn}$  คือเวกเตอร์สนามไฟฟ้าของแหล่งกระแสเสมือนในแนว  $x, y$  และ  $z$  ขององค์ประกอบที่  $n$  ของสายอากาศแถวลำดับที่มีเวกเตอร์เทียบ กับพิกัดสากลเมื่อไม่รวมผลมิวชวลคัปปลิง

ดังนั้นสนามไฟฟ้ารวมของสายอากาศตัวที่  $n$  ใดๆเมื่อมีเวกเตอร์เทียบ กับพิกัดสากลจะเป็นดังนี้

$$\vec{E}_{ign} = \vec{E}_{xgRn} + \vec{E}_{ygRn} + \vec{E}_{zgRn} + \vec{E}_{xgIMn} + \vec{E}_{ygIMn} + \vec{E}_{zgIMn} \quad (2.50ก)$$

$$= E_{xgn} \hat{a}_x + E_{ygn} \hat{a}_y + E_{zgn} \hat{a}_z \quad (2.50ข)$$

สมการ (2.50ก) เกิดจากการรวมเวกเตอร์ในสมการ (2.44)-(2.49) ซึ่งจะสามารถแยกสนามไฟฟ้า ออกได้เป็น 3 องค์ประกอบคือองค์ประกอบในแนว  $\hat{a}_x, \hat{a}_y$  และ  $\hat{a}_z$  ดังสมการ (2.50ข) ดังนั้นเมื่อ ได้สนามไฟฟ้าที่มีเวกเตอร์เทียบ กับพิกัดสากลแล้วจะสามารถหาสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชัน- ร่วมและแนวโพลาริเซชันไขว้ได้โดยใช้สมการ (2.32) และ (2.33) ดังนี้

พิจารณาสมการ (2.32) และ (2.33) เมื่อให้  $\vec{E} = \vec{E}_{ign}$  ( $\vec{E}_{ign}$  ในสมการ (2.50ข)) จะได้สนามไฟ ฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมและแนวโพลาริเซชันไขว้ดังนี้

$$\begin{aligned} E_{con} &= \vec{E}_{ign} \cdot \vec{i}_{co} = (E_{xgn} \hat{a}_x + E_{ygn} \hat{a}_y + E_{zgn} \hat{a}_z) \cdot \left( \begin{matrix} \sin(\theta) \sin(\phi) \hat{a}_r + \\ \cos(\theta) \sin(\phi) \hat{a}_\theta + \cos(\phi) \hat{a}_\phi \end{matrix} \right) \\ &= E_{xgn} (\sin^2(\theta) \sin(\phi) \cos(\phi) + \cos^2(\theta) \sin(\phi) \cos(\phi) - \cos(\phi) \sin(\phi)) + \\ &\quad E_{ygn} (\sin^2(\theta) \sin^2(\phi) + \cos^2(\theta) \sin^2(\phi) + \cos^2(\phi)) \end{aligned} \quad (2.51)$$

$$\begin{aligned} E_{cross} &= \vec{E}_{ign} \cdot \vec{i}_{cross} = (E_{xgn} \hat{a}_x + E_{ygn} \hat{a}_y + E_{zgn} \hat{a}_z) \cdot \left( \begin{matrix} \sin(\theta) \cos(\phi) \hat{a}_r + \\ \cos(\theta) \cos(\phi) \hat{a}_\theta - \sin(\phi) \hat{a}_\phi \end{matrix} \right) \\ &= E_{xgn} (\sin^2(\theta) \cos^2(\phi) + \cos^2(\theta) \cos^2(\phi) + \sin^2(\phi)) + \\ &\quad E_{ygn} (\sin^2(\theta) \sin(\phi) \cos(\phi) + \cos^2(\theta) \sin(\phi) \cos(\phi) - \sin(\phi) \cos(\phi)) \end{aligned} \quad (2.52)$$

โดยที่  $E_{con}$  คือสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมของสายอากาศตัวที่  $n$  ใดๆที่มีเวกเตอร์ เทียบกับพิกัดสากลเมื่อไม่รวมผลมิวชวลคัปปลิง

$E_{crossn}$  คือสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันไขว้ของสายอากาศตัวที่  $n$  โดยที่มีเวกเตอร์เทียบกับทิศทางของเสาอากาศเมื่อไม่รวมผลมีวชวลคัปปลิง

$\theta, \phi$  คือพิกัดของจุดสังเกตใดๆในพิกัดทรงกลมของพิกัดเสาอากาศ

ดังที่กล่าวมาข้างต้นว่าวิทยานิพนธ์นี้ใช้สนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมและแนวโพลาริเซชันไขว้และคิดผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มีวชวลคัปปลิงของสายอากาศแถวลำดับด้วย ดังนั้นจะสามารถหาสนามไฟฟ้ารวมของสายอากาศแถวลำดับในแนวโพลาริเซชันร่วมและแนวโพลาริเซชันไขว้ที่รวมผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มีวชวลคัปปลิงได้โดยใช้สมการ (2.27) ซึ่งสามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$E_{icom} = [E_{con}]_{1 \times N} [I_m]_{N \times 1} \quad (2.53)$$

$$E_{icrossm} = [E_{crossn}]_{1 \times N} [I_m]_{N \times 1} \quad (2.54)$$

โดยที่  $E_{icom}$  คือสนามไฟฟ้ารวมของสายอากาศแถวลำดับในแนวโพลาริเซชันร่วมเมื่อรวมผลมีวชวลคัปปลิง

$E_{icrossm}$  คือสนามไฟฟ้ารวมของสายอากาศแถวลำดับในแนวโพลาริเซชันไขว้เมื่อรวมผลมีวชวลคัปปลิง

$[E_{con}]$  คือเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมโดยที่มีสมาชิกแต่ละตัวของเวกเตอร์เป็นสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมของสายอากาศตัวที่  $n$  โดยที่ไม่รวมผลมีวชวลคัปปลิง

$$= [E_{co1} \ E_{co2} \ \dots \ E_{coN}]$$

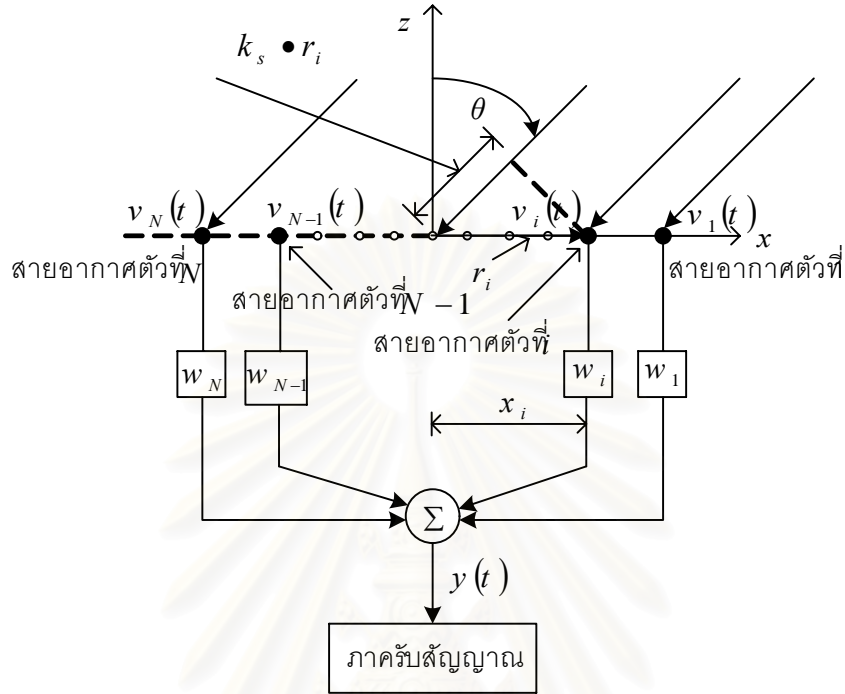
$[E_{crossn}]$  คือเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันไขว้โดยที่มีสมาชิกแต่ละตัวของเวกเตอร์เป็นสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันไขว้ของสายอากาศตัวที่  $n$  โดยที่ไม่รวมผลมีวชวลคัปปลิง

$$= [E_{cross1} \ E_{cross2} \ \dots \ E_{crossN}]$$

$[I_m]$  คือกระแสขาเข้าที่รวมผลของมีวชวลคัปปลิงโดยที่มีสมาชิกแต่ละตัวของเวกเตอร์เป็นกระแสขาเข้าขององค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ

$$= [I_1 \ I_2 \ \dots \ I_N]$$

2.1.5 การจำลองแบบสัญญาณของสายอากาศเก่งเมื่อรวมผลเนื่องจากปรากฏการณ์  
 มิซซวลด์ป์ปลิง



รูป 2.11 แบบจำลองการรับสัญญาณของสายอากาศเก่ง

รูป 2.11 แสดงแบบจำลองการรับสัญญาณของสายอากาศเก่ง เมื่อพิจารณาแบบจำลองนี้ จะสามารถเขียนเวกเตอร์ของสัญญาณได้ดังนี้

$$V = [v_1(t) \ v_2(t) \ \dots \ v_N(t)]^T \tag{2.55}$$

โดยที่  $T$  คือสัญลักษณ์การสลับเปลี่ยน (Transpose) ของเมทริกซ์

เวกเตอร์ของสัญญาณในสมการ (2.55) สามารถแยกออกได้เป็น 3 องค์ประกอบคือ สัญญาณที่ต้องการ (desired signal) สัญญาณแทรกสอด (interference signal) และสัญญาณรบกวนเชิงความร้อน (thermal noise) (Compton, 1988: 46)

$$V = V_d + V_i + V_n \tag{2.56}$$

โดยที่  $V_d$  คือสัญญาณที่ต้องการ

$V_i$  คือสัญญาณแทรกสอด

$V_n$  คือสัญญาณรบกวนเชิงความร้อน

วิทยานิพนธ์นี้สมมติให้สัญญาณที่รับได้โดยสายอากาศแกลวลำดับนั้นเป็นสัญญาณแถบแคบ (narrow band) ดังนั้นแวกเตอร์ของสัญญาณจากแหล่งกำเนิดใดๆ (คือแหล่งกำเนิดสัญญาณที่ต้องการหรือสัญญาณแทรกสอด) ที่มาตกกระทบสายอากาศแกลวลำดับสามารถเขียนอยู่ในรูปแบบได้ดังนี้ (Compton, 1988: 142)

$$V_s = A_s e^{j(\omega_s t + \psi_s)} U_s \quad (2.57)$$

โดยที่  $A_s$  คือค่ายอดของสัญญาณจากแหล่งกำเนิดใดๆ (amplitude of signal source)

$\omega_s$  คือความถี่ของสัญญาณจากแหล่งกำเนิดใดๆ (frequency of signal source)

$\psi_s$  คือวัฏภาคของคลื่นพาห้ของสัญญาณจากแหล่งกำเนิดใดๆ (carrier phase of signal source)

$$U_s = \begin{bmatrix} f_1(\theta_s, \varphi_s, P_s) e^{-j\rho_{s1}} \\ f_2(\theta_s, \varphi_s, P_s) e^{-j\rho_{s2}} \\ \vdots \\ f_N(\theta_s, \varphi_s, P_s) e^{-j\rho_{sN}} \end{bmatrix}$$

$f_i(\theta_s, \varphi_s, P_s)$  คือผลตอบสนองของแบบรูปการแผ่พลังงานขององค์ประกอบที่  $i$  ที่มีต่อสัญญาณที่มาตกกระทบสายอากาศจากทิศทาง  $\theta_s, \varphi_s$

$\theta_s, \varphi_s$  คือทิศทางที่สัญญาณจากแหล่งกำเนิดใดๆ ตกกระทบสายอากาศแกลวลำดับ

$P_s$  คือแนวโพลาริเซชันของสัญญาณจากแหล่งกำเนิดใดๆ ที่ตกกระทบสายอากาศแกลวลำดับในทิศทาง  $\theta_s, \varphi_s$  ใดๆ

$\rho_{si}$  คือการเลื่อนวัฏภาคระหว่างองค์ประกอบที่  $i$  และพิกัดจุดกำเนิด (phase shift between element  $i$  th and the coordinate origin)

$$= \vec{k}_s \cdot \vec{r}_i$$

$\vec{k}_s$  คือแวกเตอร์การแพร่กระจายของสัญญาณจากแหล่งกำเนิดใดๆ (the propagation vector for the signal source)

$$= \frac{2\pi}{\lambda} \hat{p}_s$$



$\hat{p}_s$  คือเวกเตอร์หนึ่งหน่วยในทิศทางของการแพร่กระจายของสัญญาณจากแหล่งกำเนิดใดๆ

$$= \cos(\varphi_s) \sin(\theta_s) \hat{a}_x + \sin(\varphi_s) \sin(\theta_s) \hat{a}_y + \cos(\theta_s) \hat{a}_z$$

$\vec{r}_i$  คือเวกเตอร์ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางวงภาคขององค์ประกอบที่  $i$  ที่อ้างอิงกับพิกัดจุดกำเนิด

$$= x_i \hat{a}_x + y_i \hat{a}_y + z_i \hat{a}_z$$

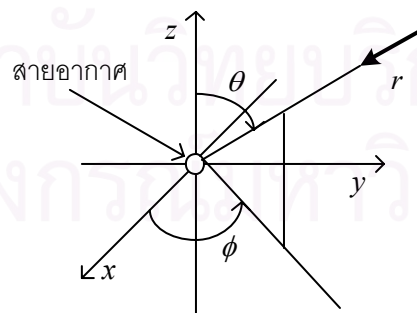
จะเห็นว่า  $f_i(\theta_s, \varphi_s, P_s)$  ตามสมการ (2.57) นั้นขึ้นอยู่กับแนวโพลาริเซชันของสัญญาณจากแหล่งกำเนิดใดๆ ที่ตกกระทบสายอากาศซึ่ง  $f_i(\theta_s, \varphi_s, P_s)$  จะมีนิยามดังนี้

$$\begin{aligned} f_i(\theta_s, \varphi_s, P_s) = & v_{xi} (\sin(\psi_s) \cos(\theta_s) \cos(\varphi_s) e^{jn_s} - \cos(\psi_s) \sin(\varphi_s)) \\ & + v_{yi} (\sin(\psi_s) \cos(\theta_s) \sin(\varphi_s) e^{jn_s} + \cos(\psi_s) \cos(\varphi_s)) \\ & - v_{zi} (\sin(\psi_s) \sin(\theta_s) e^{jn_s}) \end{aligned} \quad (2.58)$$

โดยที่  $v_{xi}, v_{yi}, v_{zi}$  คือผลตอบสนองแรงดันขององค์ประกอบที่  $i$  ในทิศทาง  $x, y, z$  ตามลำดับ

$\psi_s, \eta_s$  คือมุมที่ใช้อธิบายแนวโพลาริเซชันของสัญญาณจากแหล่งกำเนิดใดๆ

ในวิทยานิพนธ์นี้จะจำลองแบบให้สัญญาณที่มาตกกระทบสายอากาศแถวลำดับมีแนวโพลาริเซชันเป็นแบบวงรี (elliptical polarization) ซึ่งจะมีรายละเอียดดังนี้ (Compton, 1988: 139)



รูป 2.12 การเข้ามาของสัญญาณในสามมิติ

สมมติให้สัญญาณที่แพร่กระจายตามเข็มนาฬิกา รูป 2.12 เข้ามาที่สายอากาศในทิศทาง  $(\theta, \varphi)$  เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามขวาง และสมมติให้สนามไฟฟ้ามีองค์ประกอบตามขวางดังนี้

$$E = E_\varphi \hat{a}_\varphi + E_\theta \hat{a}_\theta \quad (2.59)$$

โดยที่  $E_\varphi$  คือองค์ประกอบแนวนอนของสนามไฟฟ้า

$E_\theta$  คือองค์ประกอบแนวตั้งของสนามไฟฟ้า

สนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันใดๆ ของ  $E_\varphi$  และ  $E_\theta$  จะเป็นดังนี้

$$E_\varphi = A \cos(\gamma) e^{j(\omega t + \psi)} \quad (2.60)$$

$$E_\theta = A \sin(\gamma) e^{j\eta} e^{j(\omega t + \psi)} \quad (2.61)$$

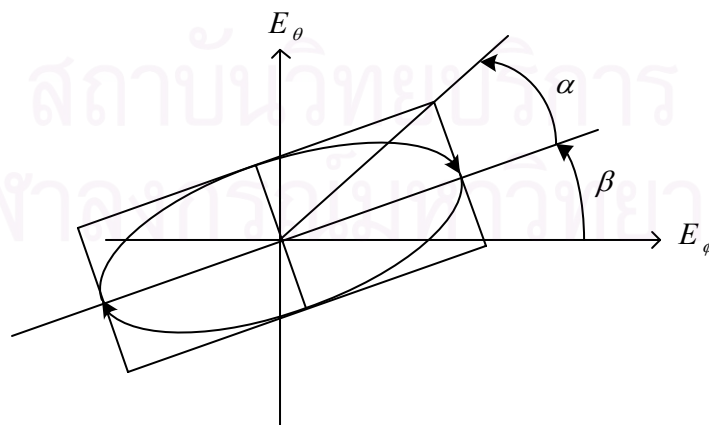
โดยที่  $A$  คือค่ายอดของสัญญาณ

$\gamma, \eta$  คือมุมที่ใช้อธิบายแนวโพลาริเซชัน

$\psi$  คือการเลื่อนวัฏภาคของคลื่นพาห้

$\omega$  คือความถี่ของสัญญาณจากแหล่งกำเนิดใดๆ

ส่วนจริงของสนามไฟฟ้า  $E_\varphi$  และ  $E_\theta$  จะใช้อธิบายแนวโพลาริเซชันแบบวงรีดังแสดงใน รูป 2.13



รูป 2.13 แนวโพลาริเซชันแบบวงรี

นิยามให้  $\beta$  เป็นมุมที่แกนหลัก (major axis) ของวงรีทำกับ  $E_\phi$  เพื่อลดความยุ่งยากจะกำหนดให้  $\beta$  มีค่าอยู่ในช่วง  $0 \leq \beta < \pi$  และนิยามให้

$$\alpha = \tan^{-1} r \quad (2.62)$$

โดยที่  $r = \frac{\dot{a}_j' \tilde{A} \dot{I} \dot{S}}{\dot{a}_j' \tilde{E} \tilde{A} \tilde{N}_j}$

$\alpha$  มีค่าเป็นบวกเมื่อเวกเตอร์สนามไฟฟ้าหมุนตามเข็มนาฬิกาและมีค่าเป็นลบเมื่อเวกเตอร์สนามไฟฟ้าหมุนทวนเข็มนาฬิกา

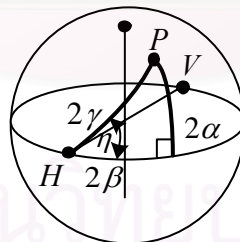
$$\alpha = -\pi / 4 \leq \pi / 4$$

มุม  $\gamma$  และ  $\eta$  ในสมการ (2.60) และ (2.61) มีความสัมพันธ์กับมุม  $\alpha$  และ  $\beta$  ดังนี้

$$\cos(2\gamma) = \cos(2\alpha) \cos(2\beta) \quad (2.63)$$

$$\tan(\eta) = \tan(2\alpha) \csc(2\beta) \quad (2.64)$$

ความสัมพันธ์ของมุมทั้งสี่  $\alpha, \beta, \gamma$  และ  $\eta$  สามารถอธิบายได้อย่างง่ายโดยใช้ทรงกลมปวงกาเร (Poincaré's sphere) ดังรูป 2.14

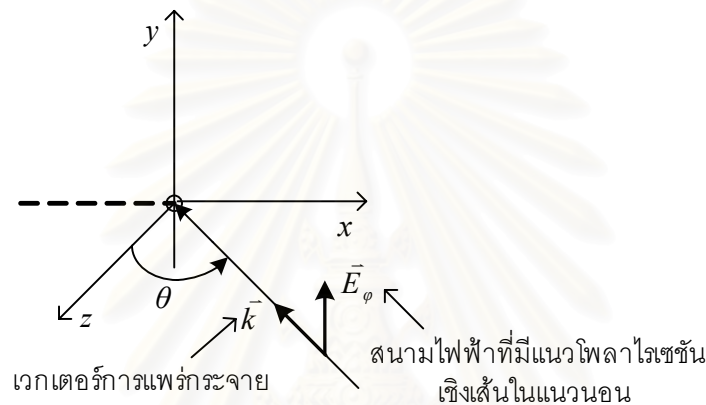


รูป 2.14 ทรงกลมปวงกาเร

พิจารณารูป 2.14  $P, 2\beta, 2\alpha$  และ  $2\gamma$  สามารถสร้างเป็นรูปสามเหลี่ยมทรงกลมทางด้านขวาได้รูปหนึ่ง (a right spherical triangle) ซึ่งมุม  $2\gamma$  คือด้านของสามเหลี่ยมระหว่างจุด  $P$  และจุด  $H$  โดยที่จุด  $H$  ใช้แทนแนวโพลาริเซชันเชิงเส้นในแนวอน ส่วนด้าน  $2\beta$  นั้นมีความยาวไปตามเส้นศูนย์สูตร (equator) และด้าน  $2\alpha$  มีความยาวยาวไปตามแนวตั้ง (vertical) และตั้งฉากกับด้าน  $2\beta$  ส่วนมุม  $\eta$  ในสมการ (2.16) และ (2.64) คือมุมระหว่างด้าน  $2\gamma$  และ  $2\beta$  ดังนั้นถ้าสมการ (2.62)  $\alpha = 0$  แล้วรูป (2.13) จะมีแนวโพลาริเซชันเชิงเส้น ในกรณีนี้จุด  $P$  จะวางตัวอยู่บนเส้น

ศูนย์สูตร และถ้า  $\beta = 0$  จะพบว่าไม่มีเพียง  $E_\theta$  ไม่เป็นศูนย์ดังนั้นก็คลื่นที่ตกกระทบสายอากาศมีแนวโพลาริเซชันเชิงเส้นในแนวนอน แต่ถ้าให้  $\beta = \pi / 2$  จะพบว่าไม่มีเพียง  $E_\theta$  ไม่เป็นศูนย์ ดังนั้นก็คลื่นที่ตกกระทบสายอากาศมีแนวโพลาริเซชันเชิงเส้นในแนวตั้ง

ในวิทยานิพนธ์นี้จะให้สัญญาณจากแหล่งกำเนิดใดๆที่เข้ามาตกกระทบสายอากาศแถวลำดับมีแนวโพลาริเซชันเชิงเส้นในแนวนอน ( $\alpha = 0$  และ  $\beta = 0$ ) บนระนาบ  $xz$  ( $\varphi = 0$ ) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือมีแนวโพลาริเซชันเชิงเส้นในแนวแกน  $y$  ดังรูป 2.15 ดังนั้น  $\gamma_s$  และ  $\eta_s$  ในสมการ (2.58) จะสามารถหาได้โดยใช้สมการ (2.63) และ (2.64) ซึ่งจะได้ผลเป็นดังนี้



รูป 2.15 การเข้ามาของสัญญาณที่มีแนวโพลาริเซชันเชิงเส้นในแนวนอนบนระนาบ  $xz$  ( $\varphi = 0$ )

$$\cos(2\gamma_s) = \cos(0)\cos(0) \quad (2.65)$$

$$\tan(\eta_s) = \tan(0)\csc(0) \quad (2.66)$$

จากสมการ (2.65) และ (2.66) จะได้

$$\eta_s = \pi / 2 \quad (2.67)$$

$$\gamma_s = 0 \quad (2.68)$$

ดังนั้นค่า  $\gamma_s$  และ  $\eta_s$  ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้จะเป็นดังสมการ (2.67) และ (2.68)

สัญญาณที่สายอากาศแถวลำดับรับได้ดังสมการ (2.56) นั้นเป็นสัญญาณที่ไม่ได้รวมผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวซลด์คัปปลิง เมื่อรวมผลกระทบของปรากฏการณ์มิวซลด์คัป-

ปลิงแล้วสัญญาณที่สายอากาศแถวลำดับรับได้ดังสมการ (2.56) จะเป็นดังนี้ (Gupta and Ksienski, 1983)

$$V_m = Z_0^{-1} \left[ V_d + \sum_{k=1}^M V_{ik} \right] + V_n \quad (2.69)$$

โดยที่  $V_m$  คือสัญญาณที่สายอากาศแถวลำดับรับได้เมื่อรวมผลกระทบของปรากฏการณ์  
มิวซวอลค์ปลิง

$V_d$  คือสัญญาณที่ต้องการ

$V_{ik}$  คือสัญญาณแทรกสอด

$V_n$  คือสัญญาณรบกวนเชิงความร้อน

$M$  คือจำนวนแหล่งกำเนิดสัญญาณแทรกสอดที่มีความถี่เดียวกับสัญญาณที่ต้องการ

$Z_0$  คือเมทริกซ์ของค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแถวลำดับเนื่องจากผลของมิวซวอล-  
ค์ปลิงที่ปรับบรรทัดฐานแล้ว

$$= \begin{bmatrix} 1 + \frac{z_{11}}{z_L} & \frac{z_{12}}{z_L} & \dots & \frac{z_{1N}}{z_L} \\ \frac{z_{21}}{z_L} & 1 + \frac{z_{22}}{z_L} & \dots & \frac{z_{2N}}{z_L} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{z_{N1}}{z_L} & \frac{z_{N2}}{z_L} & \dots & 1 + \frac{z_{NN}}{z_L} \end{bmatrix}$$

$z_L$  คือโหลดอิมพีแดนซ์

$z_{ij}$  คืออิมพีแดนซ์ร่วม ( $i, j = 1, 2, \dots, N$ )

### 2.1.6 การก่อรูปลำคลื่น

การก่อรูปลำคลื่นเป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งสำหรับระบบสายอากาศแก่งเนื่องจาก  
ขั้นตอนนี้จะคำนวณหาค่าน้ำหนักขององค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ  
( $w_i$  ดังรูป 2.11) เพื่อที่จะหันพู่หลักไปยังทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณที่ต้องการและหัน  
ตำแหน่งศูนย์ไปในทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณแทรกสอด ขั้นตอนการก่อรูปลำคลื่นนั้นมี  
หลายวิธี วิทยานิพนธ์นี้ใช้วิธี Howells-Applebaum เพราะว่าวิธีนี้ให้ผลตอบที่ดีถึงแม้ขนาดของ  
สัญญาณแทรกสอดจะแรงก็ตาม (มนต์ทิพย์ภา, 2542: 58) ซึ่งรายละเอียดของวิธีนี้มีดังต่อไปนี้  
(Compton, 1988: 45)

ขั้นตอนการก่อรูปลำคลื่น Howells-Applebaum พัฒนาโดย Howells และ Applebaum ในปี ค.ศ. 1950 แต่ได้ตีพิมพ์ใน ค.ศ. 1966 โดยมีหลักการคือ การทำให้ค่าอัตราส่วนของสัญญาณที่ต้องการต่อสัญญาณที่ไม่ต้องการหรือสัญญาณแทรกสอดที่ขาออกของสายอากาศมีค่ามากที่สุด โดยการปรับค่าน้ำหนักขององค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ ค่าน้ำหนักที่ทำให้ค่าอัตราส่วนของสัญญาณที่ต้องการต่อสัญญาณที่ไม่ต้องการหรือสัญญาณแทรกสอดที่ขาออกของสายอากาศมีค่ามากที่สุดจะเป็นดังนี้

$$W_{HA} = \mu C_u^{-1} U_d^* \quad (2.70)$$

โดยที่  $\mu$  คือค่าคงตัว  $0 < \mu < 1$

$C_u$  คือเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของสัญญาณที่ไม่ต้องการ

$$C_u = E[V_u^* V_u^T] = E \begin{bmatrix} v_{u1}^*(t) y_{u1}(t) & v_{u1}^*(t) y_{u2}(t) & \cdots & v_{u1}^*(t) y_{uN}(t) \\ v_{u2}^*(t) y_{u1}(t) & v_{u2}^*(t) y_{u2}(t) & \cdots & v_{u2}^*(t) y_{uN}(t) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{uN}^*(t) y_{u1}(t) & v_{uN}^*(t) y_{u2}(t) & \cdots & v_{uN}^*(t) y_{uN}(t) \end{bmatrix}$$

$U_d$  คือเวกเตอร์ของสัญญาณที่ต้องการ

$$U_d = \begin{bmatrix} f_1(\theta_d, \phi_d, P_d) e^{-j\rho_{d1}} \\ f_2(\theta_d, \phi_d, P_d) e^{-j\rho_{d2}} \\ \vdots \\ f_N(\theta_d, \phi_d, P_d) e^{-j\rho_{dN}} \end{bmatrix}$$

$f_i(\theta_d, \phi_d, P_d)$  คือผลตอบสนองของแบบรูปการแผ่พลังงานที่องค์ประกอบที่  $i$  ที่มีต่อสัญญาณที่มากระทบสายอากาศจากทิศทาง  $(\theta_d, \phi_d)$

$(\theta_d, \phi_d)$  คือทิศทางที่สัญญาณจากแหล่งกำเนิดสัญญาณที่ต้องการตกกระทบสายอากาศแถวลำดับ

$P_d$  คือแอมพลิจูดของสัญญาณจากแหล่งกำเนิดสัญญาณที่ต้องการที่ตกกระทบสายอากาศแถวลำดับในทิศทาง  $(\theta_d, \phi_d)$  ใดๆ

$\rho_{di}$  คือการเลื่อนวัฏภาคระหว่างองค์ประกอบที่  $i$  และจุดกำเนิดของพิกัด

$$V_u = V_i + V_n$$

$V_i$  คือสัญญาณแทรกสอด

$V_n$  คือสัญญาณรบกวนเชิงความร้อน

การประมวลผลสัญญาณตามสมการ (2.70) เพื่อหาค่าน้ำหนักที่เหมาะสมให้กับสัญญาณในแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับโดยใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum จำเป็นต้องทราบ  $C_u$  ซึ่งในความเป็นจริงไม่สามารถหาค่าได้โดยตรงแต่สามารถใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของสัญญาณที่สายอากาศรับได้ทั้งหมด  $C$  แทนได้ (Compton, 1988: 53) ดังนั้น  $C_u$  ในสมการ (2.70) จะเป็นดังนี้

$$C_u \approx C$$

$$C_u = E[V^*V^T] = E \begin{bmatrix} v_1^*(t)y_1(t) & v_1^*(t)y_2(t) & \dots & v_1^*(t)y_N(t) \\ v_2^*(t)y_1(t) & v_2^*(t)y_2(t) & \dots & v_2^*(t)y_N(t) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ v_N^*(t)y_1(t) & v_N^*(t)y_2(t) & \dots & v_N^*(t)y_N(t) \end{bmatrix} \quad (2.71)$$

โดยที่  $V = V_d + V_i + V_n$

$V_d$  คือสัญญาณที่ต้องการ

$V_i$  คือสัญญาณแทรกสอด

$V_n$  คือสัญญาณรบกวนเชิงความร้อน

### 2.1.7 วิธีประมาณทิศทางการมาถึงของสัญญาณ

ในการก่อรูปลำคลื่นด้วยขั้นตอนวิธี Howells-Applebaum ที่ได้กล่าวไปในหัวข้อ 2.1.6 นั้น สิ่งสำคัญคือความรู้เกี่ยวกับทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเพื่อก่อรูปลำคลื่นโดยให้พู่หลักหันไปในทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณที่ต้องการ วิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้วิธี MUSIC ประมาณทิศทางการมาถึงของสัญญาณเพราะว่าวิธีนี้มีประสิทธิภาพสูงในการประมาณทิศทางการมาถึงของสัญญาณ (มนต์ทิพย์ภา, 2542: 59) รายละเอียดของวิธีประมาณทิศทางการมาถึงของสัญญาณวิธี MUSIC จะมีดังนี้ (Schmidt, 1986)

วิธี MUSIC ประมาณทิศทางการมาถึงของสัญญาณโดยใช้ปริภูมิย่อย (subspace) ของสัญญาณ หรือสัญญาณรบกวน (noise) ที่ได้จากการแยกย่อยค่าเจาะจง (eigenvalue decomposition) ของเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของสัญญาณที่สายอากาศรับได้ หลักการของวิธีนี้ คือเมื่อแยกย่อยค่าเจาะจงจนได้ปริภูมิย่อยของสัญญาณรบกวนแล้วจึงก่อรูปลำคลื่นไปในทิศทางที่สนใจในลักษณะการกวาดตรวจจนพบทิศที่ทำให้เวกเตอร์ของสัญญาณตั้งฉากกับปริภูมิย่อยที่ได้ในข้างต้น ซึ่งทำให้ค่าในสมการ (2.72) สูงที่สุดจึงจะถือว่าทิศทางนั้นคือทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการนั่นเอง

$$P_{MU}(\theta) = \frac{1}{|U_\theta^H E_N|^2} \quad (2.72)$$

โดยที่  $E_N$  คือเมทริกซ์เวกเตอร์เจาะจง (eigen vector) ที่สอดคล้องกับค่าเจาะจงที่ต่ำที่สุดของเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของสัญญาณที่สายอากาศรับได้  $U_\theta$  คือเวกเตอร์ของสัญญาณในการก่อรูปลำคลื่นไปในทิศทาง  $\theta$

### 2.1.8 ขั้นตอนวิธีในการปรับตัว

ในกรณีที่แหล่งกำเนิดสัญญาณที่ต้องการมีการเคลื่อนที่ หรือเปลี่ยนตำแหน่งไป สายอากาศก็สามารถปรับเปลี่ยนพหุคูณไปตามการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดสัญญาณที่ต้องการได้ ด้วยการชັกดตัวอย่างสัญญาณที่สายอากาศรับได้เป็นระยะๆ เพื่อนำไปคำนวณหาเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของสัญญาณและจะได้ค่าน้ำหนักของสัญญาณสำหรับองค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ ทำเช่นนี้ในลักษณะวนซ้ำจนได้ค่าน้ำหนักที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งจะทำให้พหุคูณของสายอากาศหันไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการโดยที่ตำแหน่งศูนย์ของสายอากาศหันไปในทิศทางของสัญญาณแทรกสอด ขั้นตอนวิธีในการปรับตัวที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้วิธี RLS (Recursive Least Square) เพราะว่าวิธีนี้สามารถปรับตัวทำให้ได้ค่าน้ำหนักที่เหมาะสมหรือค่าน้ำหนักที่สภาวะคงตัวในเวลาอันรวดเร็ว และทำให้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดมีค่าสูง (Litva, 1996: 46)

ขั้นตอนวิธีในการปรับตัว RLS จะใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่เวลาก่อนหน้าเพื่อนำมาหักล้างออกจากเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่ชັกดตัวอย่างมาในเวลาใหม่ดังนี้

$$C(n) = \delta_0 C(n-1) + V(n) Y^H(n) \quad (2.73)$$

โดยที่  $0 < \delta_0 < 1$

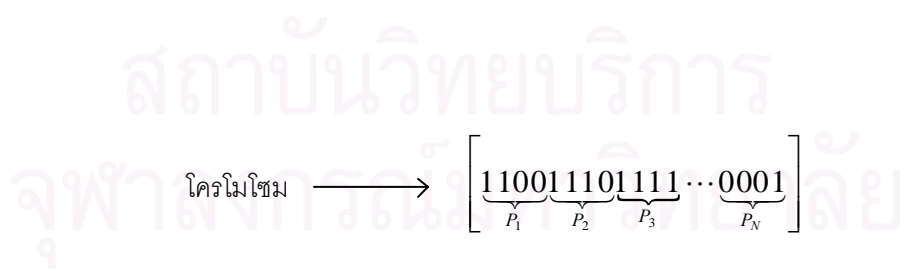
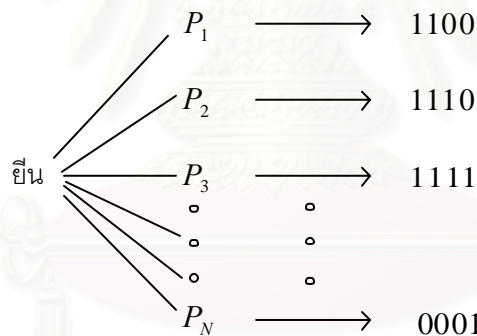
### 2.2 กรรมวิธีการทำให้เหมาะสมที่สุดขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม

กรรมวิธีการทำให้เหมาะสมที่สุดนั้นเป็นกรรมวิธีที่ใช้ในการหาค่าสูงสุดหรือต่ำสุด ซึ่งกรรมวิธีการทำให้เหมาะสมที่สุดนั้นมีอยู่หลายวิธี เช่น ระเบียบวิธีเกรเดียนต์ (Gradient method) (Haupt, 1995: 7) เป็นวิธีที่ใช้ในการหาค่าต่ำสุดซึ่งการลู่เข้าสู่ค่าตอบรวดเร็ว แต่ข้อเสียคือต้องคำนวณเกรเดียนต์และใช้กับพารามิเตอร์ที่ต่อเนื่องเท่านั้นและค่าต่ำสุดที่ได้เป็นค่าต่ำสุดเฉพาะที่

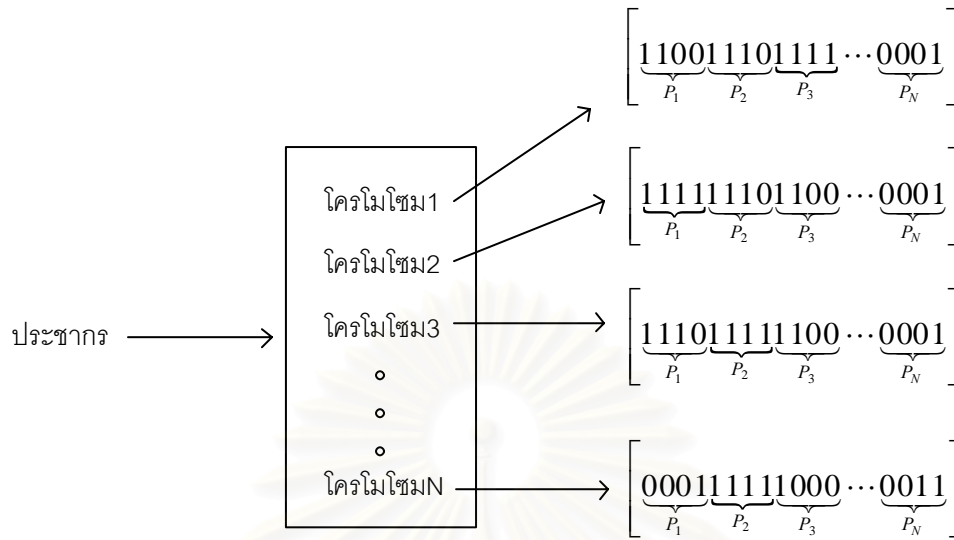


(local minimum) ส่วนอีกวิธีหนึ่งคือระเบียบวิธีค้นหาแบบสุ่ม (Random-search method) (Haupt, 1995: 7) วิธีนี้ไม่ต้องคำนวณเกรเดียนต์แต่การลู่เข้าสู่ค่าตอบซ้ำมากและค่าต่ำสุดที่ได้เป็นค่าต่ำสุดเฉพาะที่ วิทยาณพนธ์นี้เลือกใช้กรรมวิธีการทำให้เหมาะสมที่สุดขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมเพราะว่า (Haupt, 1995: 7) วิธีนี้เป็นกรรมวิธีที่ให้ค่าสูงสุดหรือค่าต่ำสุดสากล (global maximum or global minimum) และพารามิเตอร์ที่ต้องการหาค่าเหมาะสมที่สุดจะเป็นพารามิเตอร์ที่ต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่องก็ได้ซึ่งหลักการของกรรมวิธีนี้จะมีดังนี้ (Haupt, 1995: 8)

กรรมวิธีการทำให้เหมาะสมที่สุดขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมจะกำหนดให้พารามิเตอร์ ( $P_n$ ) ที่ต้องการหาค่าเหมาะสมที่สุดเรียกว่า ยีน (Gene) โดยที่ยีนแต่ละยีนจะเข้ารหัสเลขฐานสอง (มีค่าเป็น 0 หรือ 1) และให้หลายๆยีนที่มาประกอบรวมกันเป็นแถวเรียกว่า โครโมโซม (chromosome) โดยที่โครโมโซมแต่ละโครโมโซมก็จะมีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ค่าหนึ่งสำหรับแต่ละโครโมโซม และโครโมโซมหลายๆโครโมโซมรวมกันจะเรียกว่าประชากร (population) ซึ่งโครงสร้างพารามิเตอร์พื้นฐานของกรรมวิธีนี้จะสามารถอธิบายได้ดังรูป 2.16



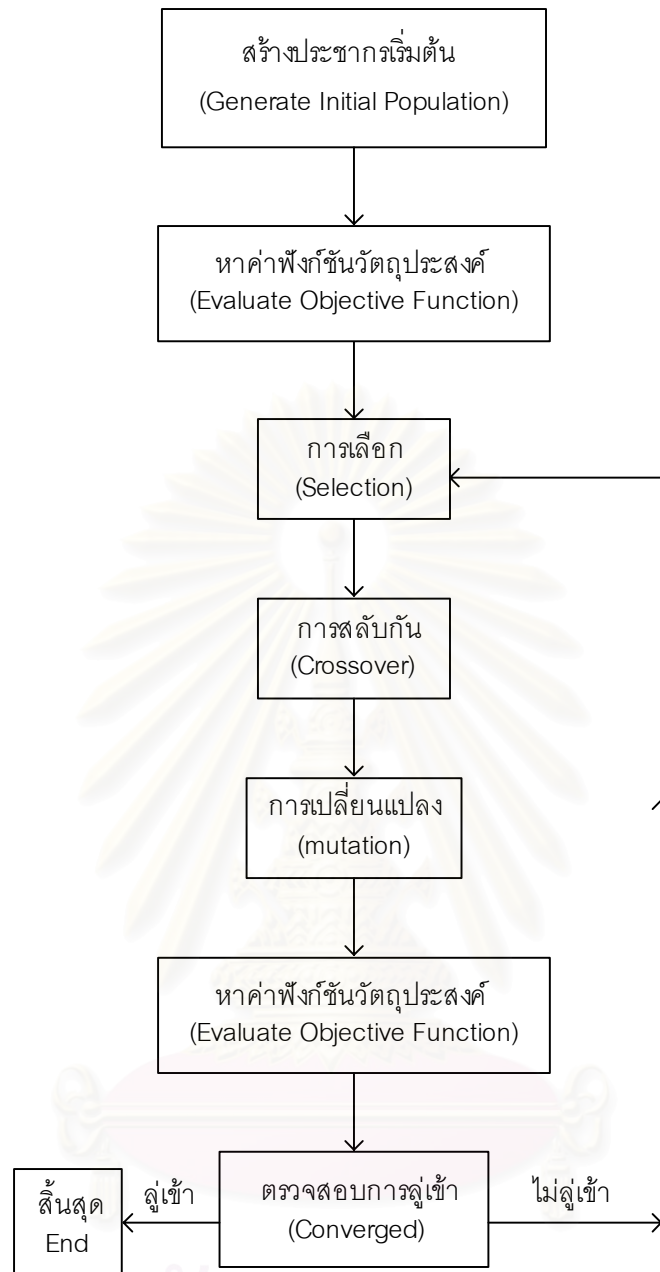
รูป 2.16 โครงสร้างพารามิเตอร์พื้นฐานของกรรมวิธีการทำให้เหมาะสมที่สุดขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม



- ฟังก์ชันวัตถุประสงค์<sub>1</sub> =  $f$  (โครโมโซม 1)
- ฟังก์ชันวัตถุประสงค์<sub>2</sub> =  $f$  (โครโมโซม 2)
- ฟังก์ชันวัตถุประสงค์<sub>3</sub> =  $f$  (โครโมโซม 3)
- 
- 
- 
- ฟังก์ชันวัตถุประสงค์<sub>N</sub> =  $f$  (โครโมโซม N)

รูป 2.16 โครงสร้างพารามิเตอร์พื้นฐานของกรรมวิธีการทำให้เหมาะสมที่สุด  
ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม (ต่อ)

กระบวนการของกรรมวิธีการทำให้เหมาะสมที่สุดขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมจะแสดงดังรูป 2.17 (Weile and Michielsse, 1997: 347) รายละเอียดของแต่ละขั้นตอนของกระบวนการดังรูป 2.17 จะอธิบายโดยยกตัวอย่างฟังก์ชันวัตถุประสงค์  $f(x)$  ขึ้นมาหนึ่งฟังก์ชันเพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจ กระบวนการของกรรมวิธีการทำให้เหมาะสมที่สุดขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม ฟังก์ชันที่จะยกตัวอย่าง นั้นคือฟังก์ชัน  $f(x) = x^2$  โดยที่  $x \in [-1,1]$  ในตัวอย่างนี้ต้องการหาค่า  $x$  ที่ทำให้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์  $f(x)$  มีค่าต่ำที่สุดซึ่งรายละเอียดจะมีดังนี้



รูป 2.17 กระบวนการของกรรมวิธีการทำให้เหมาะสมที่สุดขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม

### สร้างประชากรเริ่มต้น

การสร้างประชากรเริ่มต้นเป็นขั้นแรกของขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม โดยปกติประชากรเริ่มต้นนี้จะสร้างโดยใช้วิธีสุ่มซึ่งตัวอย่างของประชากรเริ่มต้นจะเป็นดังนี้

สมมุติให้ประชากรมีขนาด 4 โครโมโซม

$$\text{โครโมโซม1} \longrightarrow \left[ \underbrace{1111}_x \right]$$

$$\text{โครโมโซม2} \longrightarrow \left[ \underbrace{0101}_x \right]$$

$$\text{โครโมโซม3} \longrightarrow \left[ \underbrace{1010}_x \right]$$

$$\text{โครโมโซม4} \longrightarrow \left[ \underbrace{0010}_x \right]$$

โดยที่ตัวอย่างฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในที่นี่มีพารามิเตอร์ที่ต้องการหาค่าเหมาะสมที่สุด 1 พารามิเตอร์ (1มิติ) คือ  $x$  ดังนั้นแต่ละโครโมโซมจะประกอบไปด้วยเพียง 1 ยีน (จำนวนของยีนต่อ 1 โครโมโซมจะมีค่าเท่ากับจำนวนพารามิเตอร์ที่ต้องการหาค่าเหมาะสมที่สุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์) และแต่ละยีนจะประกอบไปด้วย 4 บิต (จำนวนบิตต่อ 1 ยีนถ้ามีจำนวนยิ่งมากก็จะทำให้มีความละเอียดในการค้นหาค่าเหมาะสมที่สุดของพารามิเตอร์มากขึ้นด้วย)

#### หาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์

การหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นการนำยีนต่างๆของแต่ละโครโมโซมที่เข้ารหัสเป็นเลขฐานสองนั้นไปแปลงเป็นเลขฐานสิบ จากนั้นนำยีนต่างๆของแต่ละโครโมโซมที่แปลงเป็นเลขฐานสิบแล้วไปแทนค่าในฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแต่ละโครโมโซม ซึ่งตัวอย่างจะเป็นดังนี้

สมการของการแปลงเลขฐานสองไปเป็นเลขฐานสิบเป็นดังนี้ (Rahmat-Samii and Michielssen, 1999: 23)

$$x = \left( \frac{x_{\max} - x_{\min}}{2^N - 1} \right) \cdot \sum_{n=0}^{N-1} 2^n \cdot b_n + x_{\min} \quad (2.74)$$

โดยที่  $x$  คือยีนต่างๆของแต่ละโครโมโซมที่แปลงเป็นเลขฐานสิบแล้ว

$x_{\min}$  คือค่าขอบเขตน้อยที่สุดของยีนหรือพารามิเตอร์ที่ต้องการหาค่าเหมาะสมที่สุด

$x_{\max}$  คือค่าขอบเขตมากที่สุดของยีนหรือพารามิเตอร์ที่ต้องการหาค่าเหมาะสมที่สุด

$N$  คือจำนวนบิตต่อ 1 ยีน

$b_n$  คือบิตเลขฐานสอง (0หรือ1) บิตที่  $n$  ของพารามิเตอร์  $x$

ดังนั้นตัวอย่างโครโมโซมทั้ง 4 ที่ได้ยกตัวอย่างไปก่อนหน้านี้ยื่นแต่ละยีนของโครโมโซมแต่ละโครโมโซมจะแปลงเป็นเลขฐานสิบโดยใช้สมการ (2.74) และจากนั้นนำโครโมโซมที่แปลงเป็นเลขฐานสิบแล้วไปหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ดังนี้

$$\text{โครโมโซม1} \longrightarrow \left[ \underbrace{1111}_x \right] \longrightarrow x = 1 \longrightarrow f_1(x) = x^2 = 1$$

$$\text{โครโมโซม2} \longrightarrow \left[ \underbrace{0101}_x \right] \longrightarrow x = -0.3333 \longrightarrow f_2(x) = x^2 = 0.1111$$

$$\text{โครโมโซม3} \longrightarrow \left[ \underbrace{1010}_x \right] \longrightarrow x = 0.3333 \longrightarrow f_3(x) = x^2 = 0.1111$$

$$\text{โครโมโซม4} \longrightarrow \left[ \underbrace{0010}_x \right] \longrightarrow x = -0.7333 \longrightarrow f_4(x) = x^2 = 0.5377$$

โดยที่  $f_1(x), \dots, f_4(x)$  เป็นค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแต่ละโครโมโซม

### การเลือก

การเลือกเป็นขั้นตอนการเลือกโครโมโซมของประชากรในรุ่นปัจจุบัน (current generation) ว่าโครโมโซมใดจะได้รับเลือกให้เป็นโครโมโซมที่จะได้รับการผสมพันธุ์ใหม่เพื่อเป็นประชากรในรุ่นต่อไป (next generation) ซึ่งวิธีการเลือกจะมีวิธี (Rahmat-Samii and Michielssen, 1999: 11) *Ranking*, *Roulette-wheel*, และ *Tournament selection* แต่ในวิทยานิพนธ์นี้จะเลือกใช้วิธี *Roulette-wheel* ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ (Michalewicz, 1992: 34)

การเลือกวิธี *Roulette-wheel* จะเลือกโครโมโซมเพื่อไปเป็นประชากรในรุ่นต่อไปโดยอยู่บนพื้นฐานของสัดส่วนความน่าจะเป็นของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแต่ละโครโมโซมซึ่งเป็นดังนี้

ให้แต่ละโครโมโซมมีความน่าจะเป็นในการเลือกดังนี้

$$p_k = \frac{f_k}{F} \quad (2.75)$$

โดยที่  $f_k$  คือค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของโครโมโซมที่  $k$

$$F = \sum_{k=1}^{N_{pop}} f_k$$

$N_{pop}$  คือขนาดของประชากร (คือจำนวนโครโมโซมทั้งหมด)

และมีค่าความน่าจะเป็นสะสม (cumulative probability) ในการเลือกดังนี้

$$c_i = \sum_{j=1}^i p_j \quad (2.76)$$

โดยที่  $p_i$  คือความน่าจะเป็นในการเลือกโครโมโซมแต่ละโครโมโซม

ดังนั้นตัวอย่างโครโมโซมทั้ง 4 จะมีค่าความน่าจะเป็นในการเลือกดังนี้

$$F = 1 + 0.1111 + 0.1111 + 0.5377 = 1.7599$$

$$p_1 = \frac{f_1}{F} = \frac{1}{1.7599} = 0.5682 \quad p_2 = \frac{f_2}{F} = \frac{0.1111}{1.7599} = 0.0631$$

$$p_3 = \frac{f_3}{F} = \frac{0.1111}{1.7599} = 0.0631 \quad p_4 = \frac{f_4}{F} = \frac{0.5377}{1.7599} = 0.3055$$

และมีค่าความน่าจะเป็นสะสมในการเลือกดังนี้

$$c_1 = 0.5682$$

$$c_2 = 0.5682 + 0.0631 = 0.6313$$

$$c_3 = 0.5682 + 0.0631 + 0.0631 = 0.6944$$

$$c_4 = 0.5682 + 0.0631 + 0.0631 + 0.3055 = 1$$

เมื่อหาค่าความน่าจะเป็นสะสมของโครโมโซมแต่ละโครโมโซมได้แล้วจะสุ่มตัวเลขที่อยู่ในช่วง  $[0,1]$  ขึ้นมาจำนวนเท่ากับจำนวนโครโมโซม ซึ่งเมื่อสุ่มตัวเลขของโครโมโซมทั้ง 4 จะได้ดังนี้

$$r_{s_1} = 0.7, r_{s_2} = 0.2, r_{s_3} = 0.65, \text{ และ } r_{s_4} = 0.87$$

โดยที่  $r_{s_1}, \dots, r_{s_4}$  คือตัวเลขที่สุ่มขึ้นมาของโครโมโซมทั้ง 4

จากนั้นนำตัวเลขที่สุ่มขึ้นมาได้แต่ละจำนวนไปเปรียบเทียบกับค่าความน่าจะเป็นสะสมซึ่งมีวิธีดังนี้เช่น  $r_{s1} = 0.7$  นั้นมีค่ามากกว่า  $c_3$  แต่มีค่าน้อยกว่า  $c_4$  ดังนั้นจึงเลือกโครโมโซม 4 เพื่อเป็นประชากรในรุ่นต่อไป แต่  $r_{s2} = 0.2$  นั้นมีค่าน้อยกว่า  $c_1$  ดังนั้นจึงเลือกโครโมโซม 1 เพื่อเป็นประชากรในรุ่นต่อไป เมื่อเปรียบเทียบกับค่าตัวเลขที่สุ่มขึ้นมาได้กับโครโมโซมทั้ง 4 ด้วยวิธีที่กล่าวมานี้จะได้โครโมโซมที่ได้รับเลือกเพื่อเป็นประชากรในรุ่นต่อไปดังนี้

$$\begin{aligned} f_1' &= 0.5377(f_4) & f_2' &= 1(f_1) \\ f_3' &= 0.1111(f_3) & f_4' &= 0.5377(f_4) \end{aligned}$$

### การสลับกัน

การสลับกันเป็นขั้นตอนการสร้างผลผลิต (offspring) ใหม่จากการจับคู่โครโมโซมที่ได้รับเลือกจากขั้นตอนการเลือก ซึ่งหลักการมีดังนี้ (Michalewicz, 1992: 35)

การสลับกันจะทำหลังจากขั้นตอนการเลือกโครโมโซมสำหรับประชากรในรุ่นต่อไปโดยจะสมมุติค่าความน่าจะเป็นของการสลับกัน (probability of crossover)  $p_c$  (ปกติมีค่า 0.6-0.8 (Rahmat-Samii and Michielssen, 1999: 3)) ขึ้นมา จากนั้นจะสุ่มตัวเลข  $r_c$  ที่อยู่ในช่วง  $[0,1]$  ขึ้นมาเท่ากับจำนวนโครโมโซมที่ได้รับเลือกจากขั้นตอนการเลือกทั้งหมด จากนั้นจะเปรียบเทียบกับค่าตัวเลขที่สุ่มขึ้นมาเทียบกับค่าความน่าจะเป็นของการสลับกัน ถ้า  $r_c < p_c$  จะเลือกโครโมโซมนั้น แต่ถ้าจำนวนโครโมโซมที่มีค่าตัวเลขที่สุ่มขึ้นมา มีค่าน้อยกว่าค่าความน่าจะเป็นของการสลับกันไม่ เป็นจำนวนคู่ จำเป็นที่จะต้องเพิ่มโครโมโซมพิเศษหรือตัดโครโมโซมทิ้ง 1 โครโมโซมเพื่อให้ได้จำนวนโครโมโซมเป็นจำนวนคู่ เมื่อได้จำนวนโครโมโซมเป็นจำนวนคู่แล้วจากนั้นจับคู่โครโมโซมให้เป็นคู่ๆ และสุ่มตัวเลข  $pos$  ที่อยู่ในช่วง  $[1 \dots N - 1]$  (โดยที่  $N$  คือจำนวนบิตต่อ 1 โครโมโซม) ขึ้นมาสำหรับคู่โครโมโซมแต่ละคู่ที่จับคู่ ต่อจากนั้นสลับชุดของบิตระหว่าง 2 โครโมโซมที่จับคู่กันในตำแหน่งจุดสลับ  $pos$  ที่สุ่มขึ้นมาได้ เมื่อใช้หลักการสลับกันกับโครโมโซมตัวอย่างทั้ง 4 จะได้ดังนี้

สมมุติให้  $p_c = 0.7$  และสมมุติให้ค่าตัวเลข  $pos$  ที่สุ่มได้ในช่วง  $[1 \dots 3]$  ( $N$  มีค่าเท่ากับ 4 บิต) มีค่าเท่ากับ 2 และตัวเลขที่สุ่มขึ้นมาสำหรับแต่ละโครโมโซมเป็นดังนี้

$$r_{c1} = 0.65, r_{c2} = 0.45, r_{c3} = 0.75, \text{ และ } r_{c4} = 0.83$$

จากตัวเลขที่สุ่มขึ้นมาจะเห็นว่า มีเพียง 2 โครโมโซมเท่านั้นที่มีค่า  $r_c < p_c$  คือโครโมโซม 1 และโครโมโซม 2 จากนั้นนำโครโมโซม 1 และโครโมโซม 2 มาจับคู่กันและสลับบิตกันจะได้ดังนี้ โครโมโซม 1 และโครโมโซม 2 จับคู่กันจะได้ดังนี้

$$f_1' = (00|10)$$

$$f_2' = (11|11)$$

และจากนั้นสลับบิตระหว่างโครโมโซม 1 และโครโมโซม 2 ในตำแหน่ง  $pos=2$  จะได้ดังนี้

$$f_1'' = (00|11)$$

$$f_2'' = (11|10)$$

เมื่อสลับกันเรียบร้อยแล้วนำโครโมโซมที่ได้ใหม่ไปแทนที่ตำแหน่งโครโมโซมเดิมจะได้ประชากรใหม่ดังนี้

$$f_1'' = (0011) \quad f_2'' = (1110)$$

$$f_3' = (1010) \quad f_4' = (0010)$$

### การเปลี่ยนแปลง

การเปลี่ยนแปลงเป็นกระบวนการที่ช่วยแก้ไขปัญหาการเกิดบิตที่ซ้ำกันในตำแหน่งบิตเดียวกันของโครโมโซมแต่ละโครโมโซมในประชากรเริ่มต้น เพราะว่าถ้าเกิดบิตที่ซ้ำกันในตำแหน่งบิตเดียวกันของโครโมโซมแต่ละโครโมโซมจะทำให้เมื่อทำกระบวนการสลับกันแล้ว จะได้บิตที่เหมือนเดิมในตำแหน่งที่เกิดบิตที่ซ้ำกัน รายละเอียดของการเปลี่ยนแปลงจะมีดังนี้ (Michalewicz, 1996: 35)

การเปลี่ยนแปลงทำได้โดยสมมติค่าความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลง  $p_m$  ขึ้นมาค่าหนึ่งซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง (Weile and Michielssen, 1997: 345)  $0.001 \leq p_m \leq 0.01$  จากนั้นสุ่มตัวเลข  $r_m$  ที่อยู่ในช่วง  $[0,1]$  ขึ้นมาเท่ากับจำนวนบิตทั้งหมดของประชากร (บิตแต่ละบิตของโครโมโซมจะมีค่าตัวเลขที่สุ่มประจำบิต) ถ้าบิตใดมีค่า  $r_m < p_m$  ก็จะสลับบิตนั้นเป็นบิตที่ตรงกันข้ามเช่นถ้าบิตนั้นมีค่าเป็น 0 ก็สลับเป็นบิต 1 บิตใดมีค่าเป็น 1 ก็สลับเป็นบิต 0 เมื่อใช้หลักการเปลี่ยนแปลงกับโครโมโซมทั้ง 4 จะได้ผลดังนี้



สมมติให้  $p_m = 0.01$  และจำนวนตัวเลข  $r_m$  ที่ต้องสุ่มทั้งหมดมี 16 ตัว (โครโมโซมหนึ่งมี 4 บิต และมีโครโมโซมทั้งหมด 4 โครโมโซม ดังนั้นมีจำนวนตัวเลขที่สุ่ม  $r_m$  ทั้งหมด  $4 \times 4 = 16$  บิต) ซึ่งตัวเลขที่สุ่มได้มีดังนี้

$$\begin{array}{cccc} r_1 = 0.1 & r_2 = 0.25 & r_3 = 0.009 & r_4 = 0.5 \\ r_5 = 0.42 & r_6 = 0.008 & r_7 = 0.67 & r_8 = 0.83 \\ r_9 = 0.005 & r_{10} = 0.08 & r_{11} = 0.18 & r_{12} = 0.0015 \\ r_{13} = 0.067 & r_{14} = 0.0023 & r_{15} = 0.091 & r_{16} = 0.38 \end{array}$$

ตัวเลขที่สุ่มมาทั้งหมด 16 ตัวจะมีเพียงตัวเลข 5 ตัวเท่านั้นที่ค่า  $r_m < p_m$  คือ  $r_3, r_6, r_9, r_{12}$ , และ  $r_{14}$  ดังนั้นจึงต้องกลับบิตที่ 3, 6, 9, 12, และ 14 ให้เป็นบิตที่ตรงข้ามซึ่งเมื่อกลับบิตแล้วจะได้ดังนี้

$$\begin{array}{ll} f_1 = (0001) & f_2 = (1010) \\ f_3 = (0011) & f_4 = (0110) \end{array}$$

เมื่อเสร็จขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงแล้วจะต้องนำโครโมโซมที่ผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงไปหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือใช้สมการ (2.74) แปลงเลขฐานสองเป็นเลขฐานสิบก่อน (ดังรูป 2.17) จากนั้นจึงนำยีนที่แปลงเป็นเลขฐานสิบแล้วไปแทนค่าในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ หลังจากนั้นนำค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่คำนวณได้ไปตรวจสอบเงื่อนไขการลู่เข้า ถ้าค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ลู่เข้าตามเงื่อนไขก็จะสิ้นสุดกระบวนการทำให้เหมาะสมที่สุด แต่ถ้าค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ยังไม่ลู่เข้าตามเงื่อนไขก็จะย้อนกลับไปทำกระบวนการเลือก การสลับ การเปลี่ยนแปลง และหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ดังรูป 2.17 จนซ้ำจนกระทั่งค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ลู่เข้าตามเงื่อนไขแล้วจึงจะสิ้นสุดกระบวนการทำให้เหมาะสมที่สุด ในวิทยานิพนธ์นี้จะเพิ่มกรรมวิธี *elitism* (Rahmat-Samii and Michielssen, 1999: 17) เข้าไประหว่างกระบวนการหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์และการตรวจสอบการลู่เข้า เพื่อให้แน่ใจว่าโครโมโซมที่มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุดจะได้เป็นประชากรในรุ่นต่อไป เพราะว่ากระบวนการเลือก การสลับ และการเปลี่ยนแปลง มีโอกาสจะทำให้ได้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุดในรุ่นปัจจุบันนั้นแย่กว่าในรุ่นก่อนหน้า ดังนั้นกรรมวิธี *elitism* จะคอยตรวจสอบว่าค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุดในรุ่นปัจจุบันเมื่อผ่านกระบวนการเลือก การสลับ และการเปลี่ยนแปลง แล้วมีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุดดีกว่าในรุ่นก่อนหน้าหรือไม่ ถ้าดีกว่าจะทิ้งโครโมโซมที่มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุดในรุ่นก่อนหน้าแล้วเก็บโครโมโซมที่มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุดในรุ่นปัจจุบันไว้ แต่ถ้าแย่กว่าจะเก็บโครโมโซมที่มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุดในรุ่นก่อนหน้าไว้และทิ้งโครโมโซมที่มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุดในรุ่นปัจจุบัน

### 2.2.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในวิทยานิพนธ์นี้จะอยู่บนพื้นฐานของแนวความคิดการสังเคราะห์สนาม (field synthesis) คือพยายามปรับแนวการวางตัวของแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับให้ได้แบบรูปการแผ่พลังงานตามที่ต้องการ โดยในวิทยานิพนธ์นี้ใช้กรรมวิธีการทำให้เหมาะสมที่สุดขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมซึ่งมีกระบวนการดังรูป 2.17 ในการค้นหาแนวการวางตัวของแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ ที่ทำให้ได้แบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชันร่วมที่มีระดับพูข้าง ระดับตำแหน่งศูนย์ และความกว้างพูของพูหลักตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ และมีระดับสนามในแนวโพลาริเซชันไขว้ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ดังนั้นพารามิเตอร์ที่ต้องการหาค่าเหมาะสมที่สุดคือแนวการวางตัวของแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ  $\alpha_n$  ซึ่งเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม แนวการวางตัวของแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ  $\alpha_n$  จะแทนด้วยยีน 1 ยีน ถ้าสายอากาศแถวลำดับมีองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับอยู่  $N_e$  องค์ประกอบ 1 โครโมโซมจะมีอยู่  $N_e$  ยีนซึ่งฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ทำให้ได้แบบรูปการแผ่พลังงานตามที่ต้องการในวิทยานิพนธ์นี้เป็นดังนี้

$$MINIMIZE \rightarrow error = \frac{1}{N} \left( \begin{aligned} & \sum_{i=1}^{N_m} c_1 \left| \frac{E_{coidmain}(\theta_i) - E_{comutmain}(\theta_i)}{E_{coidmain}(\theta_i)} \right|^2 \\ & + \sum_{j=1}^{N_s} c_2 |E_{comutside}(\theta_j)| \\ & + \sum_{k=1}^{N_n} c_3 |E_{comutnull}(\theta_k)| \\ & + \sum_{l=1}^N c_4 |E_{crrmut}(\theta_l)| \end{aligned} \right) \quad (2.77)$$

โดยที่  $E_{coidmain}(\theta_i)$  คือสนามไฟฟ้ารวมของสายอากาศแถวลำดับในแนวโพลาริเซชันร่วมในทิศทางของพูหลักเมื่อไม่รวมผลมีวขวลคัปปลิง (หาได้โดยใช้สมการ (2.51)) และมีแนวการวางตัวของแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ  $\alpha = 90^\circ$

$E_{comutmain}(\theta_i)$  คือสนามไฟฟ้ารวมของสายอากาศแถวลำดับในแนวโพลาริเซชันร่วมในทิศทางของพูหลักเมื่อรวมผลมีวขวลคัปปลิง (หาได้โดยใช้สมการ (2.53)) และแนวการวางตัวขององค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ  $\alpha_n$  ได้มาจากขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม

$E_{comutside}(\theta_j)$  คือสนามไฟฟ้ารวมของสายอากาศแถวลำดับในแนวโพลาริเซชันร่วมในทิศทางของพูข้างเมื่อรวมผลมีวขวลคัปปลิง (หาได้โดยใช้สมการ (2.53))

และแนวการวางตัวขององค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ  $\alpha_n$   
ได้มาจากขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม

$E_{comutnull}(\theta_k)$  คือสนามไฟฟ้ารวมของสายอากาศแถวลำดับในแนวโพลาริเซชันร่วมในทิศทางของตำแหน่งศูนย์เมื่อรวมผลมีวซวลด์บีปลิง (หาได้โดยใช้สมการ (2.53)) และแนวการวางตัวของแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ  $\alpha_n$  ได้มาจากขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม

$E_{crrmut}(\theta_l)$  คือสนามไฟฟ้ารวมของสายอากาศแถวลำดับในแนวโพลาริเซชันไขว้ในทิศทางต่างๆเมื่อรวมผลมีวซวลด์บีปลิง (หาได้โดยใช้สมการ (2.54)) และแนวการวางตัวของแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ  $\alpha_n$  ได้มาจากขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม

$N$  คือจำนวนมุมทั้งหมดของแบบรูปการแผ่พลังงาน (คือมุมในทิศทางพหุหลัก, พหุข้าง, และตำแหน่งศูนย์) ที่ซัดตัวอย่างเพื่อสังเคราะห์แบบรูปการแผ่พลังงาน

$N_m$  คือจำนวนมุมของแบบรูปการแผ่พลังงานที่ซัดตัวอย่างในทิศทางพหุหลัก

$N_s$  คือจำนวนมุมของแบบรูปการแผ่พลังงานที่ซัดตัวอย่างในทิศทางพหุข้าง

$N_n$  คือจำนวนมุมของแบบรูปการแผ่พลังงานที่ซัดตัวอย่างในทิศทางตำแหน่งศูนย์

$\theta_i$  คือมุมในทิศทางพหุหลักของแบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชันร่วม

$\theta_j$  คือมุมในทิศทางพหุข้างของแบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชันร่วม

$\theta_k$  คือมุมในทิศทางตำแหน่งศูนย์ของแบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชันร่วม

$\theta_l$  คือมุมในทิศทางต่างๆ (คือมุมในทิศทางพหุหลัก, พหุข้าง, และตำแหน่งศูนย์ของแบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชันร่วม) ของแบบรูปการแผ่พลังงานในแนวโพลาริเซชันไขว้

$$c_1 = 0 \quad \text{เมื่อ } |E_{comutmain}(\theta_i)| \geq |E_{coidmain}(\theta_i)|$$

$$c_1 = 0.15 \quad \text{เมื่อ } |E_{comutmain}(\theta_i)| < |E_{coidmain}(\theta_i)|$$

$$c_2 = 0 \quad \text{เมื่อ } E_{comutside}(\theta_j) \leq -20dB$$

$$c_2 = 0.3 \quad \text{เมื่อ } E_{comutside}(\theta_j) > -20dB$$

$$c_3 = 0 \quad \text{เมื่อ } E_{comutnull}(\theta_k) \leq -50dB$$

$$c_3 = 0.3 \text{ เมื่อ } E_{\text{comutnull}}(\theta_k) - 50\text{dB}$$

$$c_4 = 0 \text{ เมื่อ } E_{\text{crmut}}(\theta_l) \leq -30\text{dB}$$

$$c_4 = 0.25 \text{ เมื่อ } E_{\text{crmut}}(\theta_l) > -30\text{dB}$$

ในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ปรับบรรทัดฐานแล้ว เมื่อปรับบรรทัดฐานสมการ (2.77) จะได้ผลดังนี้

$$OBJ_{\text{norm}} = \frac{1}{1 + \sqrt{\text{error}}} \quad (2.78)$$

จะเห็นว่าต้องค้นหาแนวการวางตัวขององค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ  $\alpha_n$  ที่ทำให้ค่า *error* ในสมการ (2.77) มีค่าน้อยที่สุดจึงจะได้แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับตามที่ต้องการ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ปรับบรรทัดฐานดังสมการ (2.78) จะมีค่าเข้าใกล้หนึ่งมากที่สุด หมายความว่าต้องค้นหาแนวการวางตัวขององค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ  $\alpha_n$  ที่ทำให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ปรับบรรทัดฐานดังสมการ (2.78) มีค่าเข้าใกล้หนึ่งมากที่สุดจึงจะได้แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับตามที่ต้องการ ซึ่งรายละเอียดของการหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะกล่าวอย่างละเอียดในภาคผนวก ก

### 2.3 การชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิววลด์บปลิง

ปรากฏการณ์มิววลด์บปลิงจะทำให้แบบรูปการแผ่พลังงานที่ต้องการของสายอากาศแถวลำดับผิดเพี้ยนไป เช่นตำแหน่งศูนย์และพูข้างของแบบรูปการแผ่พลังงานนั้นมีระดับเพิ่มขึ้น ความกว้างของพูหลักของแบบรูปการแผ่พลังงานเพิ่มขึ้น (Borowiec, Hossa, Slobodzian, and Langowski, 2002: 894; เสกสรร มิตรเกษม, 2539) จะเห็นว่าความผิดเพี้ยนของแบบรูปการแผ่พลังงานที่เกิดขึ้นเนื่องจากมิววลด์บปลิงนั้นจะทำให้สายอากาศเก่งมีความสามารถในการรับสัญญาณแทรกสอดได้เพิ่มขึ้น ทำให้สายอากาศเก่งมีสมรรถนะลดลงดังนั้นจึงจำเป็นต้องชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิววลด์บปลิง เพื่อให้ได้แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับตามที่ต้องการ คือมีระดับพูข้างและตำแหน่งศูนย์ต่ำและมีความกว้างของพูหลักแคบ ได้สมรรถนะของสายอากาศเก่งที่เพิ่มขึ้น วิทยานิพนธ์นี้จะพัฒนาวิธีการชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิววลด์บปลิงของงานวิจัย มนต์ทิพย์ภา, 2542 งานวิจัยนี้กำหนดค่าน้ำหนักเนื่องจากมิววลด์บปลิงให้ขึ้นอยู่กับทิศทางที่สัญญาณมาตกกระทบสายอากาศแถวลำดับ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาทิศทางของสัญญาณที่มาตกกระทบสายอากาศแถวลำดับให้ได้

ก่อนจากนั้นจึงจะหาค่าน้ำหนักเนื่องจากมิวชวลด์ปลิงได้ จะเห็นว่าถ้าหาทิศทางของสัญญาณที่ มาตกกระทบสายอากาศแถวลำดับผิดพลาดก็จะทำให้ค่าน้ำหนักเนื่องจากมิวชวลด์ปลิงที่ คำนวณได้นั้น เมื่อนำไปชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลด์ปลิงทำให้เกิดความผิดพลาด รายละเอียดของวิธีนี้จะมีดังนี้ (มนตรีพิทยา, 2542: 27)

ให้สัญญาณขององค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับเมื่อรวมผลเนื่องจากมิวชวลด์ปลิงเป็นดังนี้

$$V_m = Z_0^{-1}V \quad (2.79)$$

โดยที่  $Z_0^{-1}$  คืออินเวิร์สเมทริกซ์ของค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแถวลำดับเนื่องจากผลของ มิวชวลด์ปลิงที่ปรับบรรทัดฐานแล้ว

$$= Y_0 = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdots & Y_{1N} \\ Y_{21} & Y_{22} & \cdots & Y_{2N} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ Y_{N1} & Y_{N2} & \cdots & Y_{NN} \end{bmatrix}$$

$N$  คือจำนวนองค์ประกอบทั้งหมดของสายอากาศแถวลำดับ

$$\begin{aligned} \text{กำหนดให้} \quad v_{m1} &= M_1 v_1 \\ v_{m2} &= M_2 v_2 \\ &\vdots \\ v_{mN} &= M_N v_N \end{aligned} \quad (2.80)$$

ดังนั้นสัญญาณในองค์ประกอบหมายเลข  $k$  เมื่อรวมผลเนื่องจากมิวชวลด์ปลิงเป็นดังนี้

$$v_{mk} = M_k v_k \quad (2.81)$$

$$v_k = v_{mk} \frac{M_k^*}{|M_k|^2} \quad (2.82)$$

โดยที่  $M_k$  คือค่าน้ำหนักเนื่องจากมิวชวลด์ปลิงของสัญญาณในองค์ประกอบหมายเลข  $k$  ของสายอากาศแถวลำดับ

พิจารณาสถานการณ์ที่มีสัญญาณมาตกระทบสายอากาศแถวลำดับเพียงสัญญาณเดียวในทิศทาง  $\theta_i$  นำสมการ (2.80) แทนลงในสมการ (2.79) จะได้ผลดังนี้

$$\begin{aligned} M_1 &= \frac{y_{11}v_{11} + y_{12}v_{21} + \cdots + y_{1N}v_{N1}}{v_1} \\ M_2 &= \frac{y_{12}v_{11} + y_{22}v_{21} + \cdots + y_{2N}v_{N1}}{v_2} \\ &\vdots \\ M_N &= \frac{y_{N1}v_{11} + y_{N2}v_{21} + \cdots + y_{NN}v_{N1}}{v_N} \end{aligned} \quad (2.83)$$

จากสมการ (2.83) เห็นได้ว่าปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงนั้นขึ้นอยู่กับทิศทางของสัญญาณที่มาตกระทบสายอากาศแถวลำดับ ในสถานการณ์ที่มีทั้งสัญญาณที่ต้องการในทิศทาง  $\theta_d$  และสัญญาณแทรกสอดในทิศทาง  $\theta_i$  จะทำให้สมการ (2.79) เป็นดังนี้

$$Z_0^{-1}V = Z_0^{-1}V_d + Z_0^{-1}V_{i1} + \cdots + Z_0^{-1}V_{im} \quad (2.84)$$

โดยที่  $m$  คือจำนวนสัญญาณรบกวนจากแหล่งกำเนิดสัญญาณที่มีความถี่เดียวกับสัญญาณที่ต้องการ

$V_d$  คือเมทริกซ์ของสัญญาณที่ต้องการ

$V_i$  คือเมทริกซ์ของสัญญาณรบกวนจากแหล่งกำเนิดสัญญาณที่มีความถี่เดียวกับสัญญาณที่ต้องการ

ดังนั้นสมการ (2.80) ในองค์ประกอบหมายเลข  $k$  สำหรับสถานการณ์ที่เกิดสัญญาณแทรกสอดเป็นดังนี้

$$M_k v_k = M_{kd} v_{kd} + M_{ki1} v_{ki1} + \cdots + M_{kim} v_{kim} \quad (2.85)$$

$$M_k = M_{kd} \frac{v_{kd}}{v_k} + M_{ki1} \frac{v_{ki1}}{v_k} + \cdots + M_{kim} \frac{v_{kim}}{v_k} \quad (2.86)$$

จากสมการ (2.86) จะเห็นได้ว่าค่าน้ำหนักเนื่องจากมิวชวลคัปปลิงในสถานการณ์ที่เกิดสัญญาณแทรกสอดนั้นไม่เพียงแต่ขึ้นอยู่กับสัญญาณในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการแต่ยังขึ้นอยู่กับจำนวนสัญญาณแทรกสอด และอัตราส่วนระหว่างสัญญาณที่ต้องการหรือสัญญาณ

แทรกสอดกับสัญญาณรวมทั้งหมดด้วย ค่าน้ำหนักเนื่องจากมิวชวลด์ปปลิงที่มีค่ามากที่สุดนั้นคือ อัตราส่วนระหว่างสัญญาณที่ต้องการกับสัญญาณรวมทั้งหมด ดังนั้นในงานวิจัย (มนต์ทิพย์ภา, 2542: 30) จึงประมาณค่าน้ำหนักเนื่องจากมิวชวลด์ปปลิงในสมการ (2.86) ใหม่ดังนี้

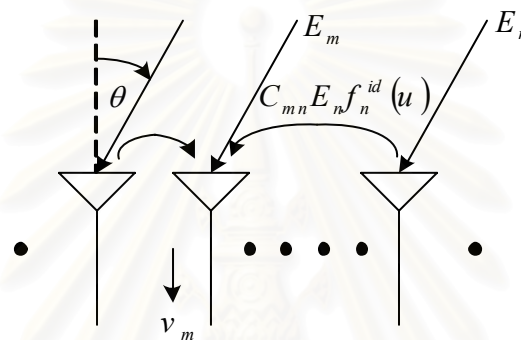
$$M_k = M_{kd} \frac{v_{kd}}{v_k} \quad (2.87)$$

ค่าน้ำหนักเนื่องจากมิวชวลด์ปปลิงตามสมการ (2.87) ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างสัญญาณที่ต้องการกับสัญญาณรวมทั้งหมดเท่านั้น แต่ในความเป็นจริงระดับสัญญาณแทรกสอดบางครั้งอาจ จะมากกว่าระดับสัญญาณที่ต้องการ ถ้าเกิดสถานการณ์เช่นนี้จะทำให้ค่าน้ำหนักเนื่องจากมิวชวลด์ปปลิงที่ได้จากสมการ (2.87) นั้นทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นเมื่อนำไปชดเชยผลมิวชวลด์ปปลิง นอกจากนี้ค่าน้ำหนักเนื่องจากมิวชวลด์ปปลิงดังสมการ (2.87) จะใช้เป็นค่าน้ำหนักเนื่องจากมิวชวลด์ปปลิงในทิศทางของสัญญาณแทรกสอด ( $M_{kd} = M_{ki1} = \dots = M_{kim}$ ) ดังสมการ (2.86) ด้วย ซึ่งจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการชดเชยผลมิวชวลด์ปปลิง เนื่องจากค่าน้ำหนักเนื่องจากมิวชวลด์ปปลิงดังสมการ (2.87) เป็นค่าน้ำหนักเนื่องจากมิวชวลด์ปปลิงในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการไม่ใช่ค่าน้ำหนักเนื่องจากมิวชวลด์ปปลิงในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดนั้นๆ และจากสมการ (2.87) ค่าน้ำหนักเนื่องจากมิวชวลด์ปปลิงนั้นขึ้นอยู่กับทิศทางของสัญญาณที่ต้องการด้วย ซึ่งจะเห็นว่าถ้าประมาณทิศทางมาถึงของสัญญาณที่ต้องการได้ผิดพลาดก็จะทำให้ได้ค่าน้ำหนักเนื่องจากมิวชวลด์ปปลิงที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอวิธีการชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลด์ปปลิงที่มีค่าน้ำหนักเนื่องจากมิวชวลด์ปปลิง หรือคปลิงเมทริกซ์ที่ไม่ขึ้นอยู่กับทิศทางที่สัญญาณมาตกกระทบสายอากาศแถวลำดับ วิธีนี้จะสามารถชดเชยมิวชวลด์ปปลิงได้ทุกองค์ประกอบของสัญญาณรวมที่มาตกกระทบสายอากาศแถวลำดับในทิศทางต่างๆ วิธีการชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลด์ปปลิงดังที่ได้กล่าวไป คือวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์และวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด ซึ่งวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์ Steykal and Herd, 1990 และ Darwood, Fletcher, and Hilton, 1998 และวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด Borowiec, Hossa, Slobodzian, and Langowski, 2002 ชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลด์ปปลิงของสัญญาณที่สายอากาศรับได้ จากนั้นก็อรูปลาค่ลื่นเพื่อหันพู่หลักไปในทิศทางที่กำหนดไว้ก่อนล่วงหน้าเพียงเท่านั้น ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงสนใจที่จะศึกษาวิธีการชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลด์ปปลิงทั้งสองวิธีนี้ โดยจะนำสัญญาณที่ได้ชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลด์ปปลิงด้วยทั้งสองวิธีนี้ไปประมวลผลสัญญาณด้วยขั้นตอนต่อนวิธีต่างๆของระบบสายอากาศเก่งเพื่อให้ได้สัญญาณตามที่

ต้องการ ซึ่งรายละเอียดของวิธีการชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงทั้งสองวิธีนี้มีดังนี้

### 2.3.1 การจำลองแบบสายอากาศแถวลำดับเมื่อรวมผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิง

พิจารณารูป 2.18 จะสามารถเขียนสมการของสัญญาณที่ได้รับเมื่อรวมผลมิวชวลคัปปลิงขององค์ประกอบที่  $m$  ได้ดังนี้ (Steykal and Herd, 1990: 1972)



รูป 2.18 สัญญาณที่ได้รับ  $v_m$  ขององค์ประกอบที่  $m$  ประกอบด้วยสัญญาณวิถีตรง (direct path) และสัญญาณที่กระเจิงมาจากองค์ประกอบอื่นๆ (scattered components)

$$v_m(u) = c_{mm} E_m f_m^{id}(u) + \sum_{n, n \neq m} c_{mn} E_n f_n^{id}(u) \quad (2.88)$$

โดยที่  $E_m$  คือสนามไฟฟ้าที่ตกกระทบสายอากาศตัวที่  $m$

$f_m^{id}(u)$  คือแบบรูปองค์ประกอบ (element pattern) ของสายอากาศตัวที่  $m$  เมื่อไม่รวมผลมิวชวลคัปปลิง

$f_n^{id}(u)$  คือแบบรูปองค์ประกอบ (element pattern) ของสายอากาศตัวที่  $n$  เมื่อไม่รวมผลมิวชวลคัปปลิง

$$u = \sin(\theta)$$

$c_{mm}$  คือคัปปลิงจากช่องเปิด (aperture) ไปยังสายส่งขาออก (output transmission line) ของสายอากาศตัวที่  $m$

$c_{mn}$  คือคัปปลิงจากช่องเปิด (aperture) ของสายอากาศตัวที่  $n$  ไปยังสายส่งขาออกของสายอากาศตัวที่  $m$



กำหนดให้

$$E_n f_n^{id}(u) = v_n^{id}(u) \quad (2.89)$$

และสำหรับสายอากาศแถวลำดับที่มีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับเท่ากันและมีแบบรูปองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับเหมือนกันสมการ (2.89) จะกลายเป็นดังนี้

$$E_0 e^{jnkdu} f_n^{id}(u) = v_n^{id}(u) \quad (2.90)$$

โดยที่  $E_0$  คือค่ายอดของคลื่นระนาบที่ตกกระทบสายอากาศในทิศทาง  $u$

$d$  คือระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ

$v_n^{id}(u)$  คือสัญญาณที่ได้รับของสายอากาศตัวที่  $n$  เมื่อไม่รวมผลมิวชวลด์ปปลิง

$f_n^{id}(u)$  คือแบบรูปองค์ประกอบ (element pattern) ของสายอากาศตัวที่  $n$  เมื่อไม่รวมผลมิวชวลด์ปปลิง

$k$  คือเลขคลื่น

$$u = \sin(\theta)$$

เมื่อนำสมการ (2.89) แทนลงในสมการ (2.88) จะได้

$$\begin{pmatrix} v_1(u) \\ \vdots \\ v_N(u) \end{pmatrix} = (c_{mn}) \begin{pmatrix} v_1^{id}(u) \\ \vdots \\ v_N^{id}(u) \end{pmatrix} \quad (2.91)$$

สมการ (2.91) เขียนให้อยู่ในรูปเมทริกซ์อย่างง่ายได้ดังนี้

$$V = CV^{id} \quad (2.92)$$

โดยที่  $V = \begin{pmatrix} v_1(u) \\ \vdots \\ v_N(u) \end{pmatrix}$

$$V^{id} = \begin{pmatrix} v_1^{id}(u) \\ \vdots \\ v_N^{id}(u) \end{pmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1N} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{N1} & c_{N2} & \cdots & c_{NN} \end{bmatrix}$$

จะเห็นว่าการชดเชยผลมีวชวลค์ปปลิงตามสมการ (2.92) เพื่อให้ได้สัญญาณที่ได้รับที่ปราศจากผลมีวชวลค์ปปลิงทำได้โดยการคูณ  $C^{-1}$  กับสัญญาณที่ได้รับ  $V$  ซึ่งจะเป็นดังนี้

$$V^{id} = C^{-1}V \quad (2.93)$$

เมื่อสัญญาณที่ชดเชยผลมีวชวลค์ปปลิงแล้วดังสมการ (2.93) ถ่วงน้ำหนักด้วยค่าน้ำหนักและรวมสัญญาณที่ถ่วงน้ำหนักแล้วของแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับจะได้แรงดันขาออก ซึ่งเมื่อหาแรงดันขาออกได้แล้วจะสามารถหาแบบรูปแถวลำดับ (array pattern)  $F(u)$  ได้โดยนิยามให้แบบรูปแถวลำดับเป็นอัตราส่วนระหว่างแรงดันขาออกกับค่ายอดของคลื่นระนาบที่ตกกระทบสายอากาศ  $E_0$  ซึ่งสมการเป็นดังนี้

$$F(u) = \frac{1}{E_0} \sum_n a_n v_n^{id} = f_n^{id}(u) \sum_n a_n e^{jnkdu} \quad (2.94)$$

โดยที่  $a_n$  คือค่าน้ำหนักเชิงซ้อน (complex weight)

$F(u)$  คือแบบรูปแถวลำดับที่ชดเชยผลมีวชวลค์ปปลิงแล้ว

จะเห็นว่าการชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มีวชวลค์ปปลิงตามสมการ (2.93) นั้นจำเป็นต้องหาค่าปปลิงเมทริกซ์  $C$  ให้ได้ก่อนจากนั้นจึงจะชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มีวชวลค์ปปลิงได้ วิธีการหาค่าปปลิงเมทริกซ์ในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้วิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์และวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด

### 2.3.2 การชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์

การชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์จะต้องวัดแบบรูปองค์ประกอบ  $g_m(u)$  ขององค์ประกอบต่างๆของสายอากาศแถวลำดับ ( $g_m(u)$  คือแบบรูปองค์ประกอบที่รวมผลมิวชวลคัปปลิง) ซึ่งจากสมการ (2.88) และ (2.90) จะได้แบบรูปองค์ประกอบดังนี้ (Steykal and Herd, 1990: 1973)

$$g_m(u) = \frac{v_m(u)}{E_0} = f_n^{id}(u) \sum_n c_{mn} e^{jnkdu} \quad (2.95)$$

เมื่อจัดรูปสมการ (2.95) ใหม่จะได้ดังนี้

$$\frac{g_m(u)}{f_n^{id}(u)} = \sum_n c_{mn} e^{jnkdu} \quad (2.96)$$

ซึ่งสมการ (2.96) อยู่ในรูปอนุกรมฟูรีเยร์ (Fourier series) โดยที่มีสัมประสิทธิ์คัปปลิง (coupling coefficients) เป็นสัมประสิทธิ์ฟูรีเยร์ (Fourier coefficients) ซึ่งการหาสัมประสิทธิ์ฟูรีเยร์จะเป็นดังนี้

$$c_{mn} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi/kd}^{\pi/kd} \frac{g_m(u)}{f_n^{id}(u)} e^{-jnkdu} du \quad (2.97)$$

โดยที่  $g_m(u)$  คือแบบรูปองค์ประกอบของสายอากาศตัวที่  $m$  เมื่อรวมผลมิวชวลคัปปลิง

$f_n^{id}(u)$  คือแบบรูปองค์ประกอบของสายอากาศตัวที่  $n$  เมื่อไม่รวมผลมิวชวลคัปปลิง

$k$  คือเลขคลื่น

$d$  คือระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ

$u = \sin(\theta)$

$m$  คือดัชนีบ่งชี้สายอากาศตัวที่ถูกคลื่นกระเจิงจากสายอากาศตัวที่  $n$  มาตกกระทบ

$n$  คือดัชนีบ่งชี้สายอากาศตัวที่กระเจิงคลื่นมาตกกระทบสายอากาศตัวที่  $m$

$m, n = 1, \dots, N$

$N$  คือจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับทั้งหมด

สมการ (2.97) มีข้อจำกัดคือจะต้องไม่เกิดค่าศูนย์ (null) ในช่วงของการอินทิเกรตและค่า  $d$  ต้องมากกว่า  $\lambda / 2$  หรืออีกนัยหนึ่งค่า  $u$  ต้องอยู่ในช่วง  $-1 < u < 1$  ส่วนข้อดีของวิธีนี้ก็คือสามารถชดเชยความไม่สมดุลของช่องสัญญาณ เนื่องจากค่ายอดและวัฏภาคมีค่าไม่เท่ากันเมื่อสัญญาณผ่านช่องเปิดองค์ประกอบ (element aperture) ไปยังขั้วขาออก (output terminal) ขององค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับได้ และสายอากาศที่นำมาใช้กับวิธีนี้ไม่จำเป็นต้องเป็นสายอากาศที่มีสมบัติย้อนกลับ (reciprocal antenna)

### 2.3.3 การชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด

การชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุดนั้นเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ประมาณหาคัปปลิงเมทริกซ์ ซึ่งใช้วิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุดในการหาผลเฉลยของสมการเชิงเส้นเกินระบบ (overdetermined system of linear equations) วิธีนี้จะต้องวัดสัญญาณที่ได้รับ  $v_m(u)$  ( $v_m(u)$  คือสัญญาณที่ได้รับที่รวมผลมิวชวลคัปปลิง) ดังสมการ (2.88) โดยจะเก็บบันทึกค่าสัญญาณที่ได้รับ  $v_m(u)$  ของมุม  $\theta$  ต่างๆ เป็นจำนวนจำกัดจำนวนหนึ่ง

ให้  $G(u)$  เป็นเวกเตอร์หลัก (column vector) ที่สมาชิกเป็นสัญญาณที่ได้รับ  $v_m(u)$  ของมุม  $\theta$  ต่างๆ และให้  $V_r$  เป็นเมทริกซ์ที่เก็บบันทึกเวกเตอร์  $G(u)$  ของมุม  $\theta$  ต่างๆ ซึ่งรายละเอียดของเมทริกซ์  $V_r$  จะมีดังนี้ (Borowiec, Hossa, Slobodzian, and Langowski, 2002: 896)

$$V_r = [G(u_1) \ G(u_2) \ \dots \ G(u_M)]_{N \times M} \quad (2.98)$$

โดยที่  $G(u_i) = \begin{bmatrix} v_1(u_i) \\ v_2(u_i) \\ \vdots \\ v_N(u_i) \end{bmatrix}$

$N$  คือจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับทั้งหมด

$M$  คือจำนวนของมุม  $\theta$  ที่วัดแบบรูปองค์ประกอบทั้งหมด

$v_k(u_i)$  คือสัญญาณที่ได้รับของสายอากาศตัวที่  $k$  มุม  $\theta_i$  เมื่อรวมผลมิวชวลคัปปลิงซึ่งมีค่าดังสมการ (2.88)

$$u_i = \sin(\theta_i)$$

สมการ (2.98) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการ (2.92) ได้ดังนี้

$$[V_r]_{N \times M} = [C]_{N \times N} [V_{id}]_{N \times M} \quad (2.99)$$

โดยที่  $C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1N} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{N1} & c_{N2} & \cdots & c_{NN} \end{bmatrix}$

$$V_{id} = [F(u_1) \quad F(u_2) \quad \cdots \quad F(u_M)]_{N \times M}$$

$$F(u_i) = \begin{bmatrix} v_1^{id}(u_i) \\ v_2^{id}(u_i) \\ \vdots \\ v_N^{id}(u_i) \end{bmatrix}$$

$v_k^{id}(u_i)$  คือสัญญาณที่ได้รับของสายอากาศตัวที่  $k$  มุม  $\theta_i$  เมื่อไม่รวมผลมิวชวลด์บปลิง ซึ่งมีค่าดังสมการ (2.90)

จะเห็นว่าการชดเชยผลมิวชวลด์บปลิงตามสมการ (2.99) เพื่อให้ได้สัญญาณที่ได้รับที่ปราศจากผลมิวชวลด์บปลิงทำได้โดยการคูณ  $C^{-1}$  กับสัญญาณที่ได้รับ  $V_r$  ซึ่งการหาค่าบปลิงเมทริกซ์  $C$  ทำได้โดยการแก้สมการหาผลเฉลยของสมการเชิงเส้นเกินระบบในสมการ (2.99) โดยที่เมทริกซ์  $V_r$  มีค่า  $M \gg N$

การแก้สมการหาผลเฉลยของสมการเชิงเส้นเกินระบบโดยใช้วิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุดจะนิยามให้เวกเตอร์ส่วนเหลือ (residual vector) เป็นดังนี้

$$R = V_r - CV_{id} \quad (2.100)$$

โดยที่วิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุดจะประมาณค่าบปลิงเมทริกซ์  $C$  ที่ทำให้ได้เวกเตอร์ส่วนเหลือมีค่าน้อยที่สุดซึ่งเขียนอยู่ในภาษาเวกเตอร์ (vector language) ได้ดังนี้

$$R^T \bullet R = \min \quad (2.101)$$

เมื่อใช้สมการ (2.100) และ (2.101) จะได้ผลเฉลยสุดท้ายดังนี้

$$C = V_r V_{id}^H [V_{id} V_{id}^H]^{-1} \quad (2.102)$$

เมื่อกำหนดค่าของเมทริกซ์  $C$  ได้ดังสมการ (2.102) แล้วจะสามารถหาค่าของผลคูณของค่าของ  $C$  ได้โดยหาอินเวอร์สของค่าของเมทริกซ์  $C$  จากนั้นจะสามารถหาค่าของผลคูณของค่าของ  $C$  ได้โดยใช้สมการ (2.93) ส่วนข้อดีของวิธีนี้เหมือนกับวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์ คือสามารถหาค่าของความไม่สมดุลของช่องสัญญาณได้

#### 2.4 ดัชนีความเก่ง

ดัชนีความเก่ง (smartness index) คือตัวชี้วัดสมรรถนะของสายอากาศเก่งซึ่งใช้บ่งบอกความสามารถในการก่อรูปลำคลื่นของสายอากาศเก่งเพื่อหันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการ และหันตำแหน่งศูนย์หรือพู่ข้างไปในทิศทางของสัญญาณแทรกสอด งานวิจัยส่วนใหญ่ (Compton, 1981; Gupta and Ksienski, 1982; Gupta and Ksienski, 1983; Zang, Hirasawa, and Fujimoto, 1987) ที่วัดสมรรถนะสายอากาศแฉกลำดับแบบปรับตัวโดยใช้  $SINR$  (signal-to-interference-plus-noise-ratio) แต่ในวิทยานิพนธ์นี้จะนำเสนอตัวชี้วัดสมรรถนะของสายอากาศเก่งที่แตกต่างไปจาก  $SINR$  ซึ่งเรียกว่าดัชนีความเก่ง โดยที่ดัชนีความเก่งที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้พัฒนามาจากดัชนีความเก่งในงานวิจัย (Indravuth, 1999) ก่อนที่จะกล่าวถึงดัชนีความเก่งของวิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวถึงดัชนีความเก่งในงานวิจัย (Indravuth et al., 1999: 131) ก่อนซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

$$\text{Smartness Index (SI)} = 1 - \varepsilon \quad (2.103)$$

$$\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{\Delta\theta_d}{\pi}\right)^2 + k_1 \left(\frac{\gamma_{q1} - \gamma_1}{\gamma_{q1}}\right)^2 + k_2 \left(\frac{\gamma_{q2} - \gamma_2}{\gamma_{q2}}\right)^2 + \dots + k_M \left(\frac{\gamma_{qM} - \gamma_M}{\gamma_{qm}}\right)^2} \quad (2.104)$$

โดยที่  $\Delta\theta_d$  คือค่าความต่างมุมของพู่หลัก (main beam angle) ของสายอากาศเก่งในสภาวะสงบ (quiescent environment) กับสภาวะที่เกิดสัญญาณแทรกสอด (interference environment) (เรเดียน)

$\gamma_{qM}$  คืออัตราส่วนของสัญญาณในทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณที่ต้องการต่อสัญญาณในทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณแทรกสอดหมายเลข  $M$  ในสภาวะสงบ (ไม่มีหน่วย)

- $\gamma_M$  คืออัตราส่วนของสัญญาณในทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณที่ต้องการ ต่อสัญญาณในทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณแทรกสอดหมายเลข  $M$  ในสถานะที่เกิดสัญญาณแทรกสอด(ไม่มีหน่วย)
- $k_M$  มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อสายอากาศเก่งสามารถปรับตัวให้มีความสามารถในการรับสัญญาณในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดหมายเลข  $M$  เท่ากับหรือน้อยกว่าในสถานะสงบ และ มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อสายอากาศเก่งปรับตัวให้มีความสามารถในการรับสัญญาณในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดหมายเลข  $M$  ได้สูงกว่าในสถานะสงบ

ค่าดัชนีความเก่งในสมการ (2.103) สามารถบ่งชี้ความเก่งของสายอากาศเก่งได้ในสถานการณ์หนึ่งๆ ว่าเก่งมากน้อยเพียงใด ถ้าสายอากาศเก่งเก่งที่สุด ดัชนีความเก่งจะมีค่าเท่ากับ 1 และสายอากาศเก่งจะมีความเก่งน้อยลงเมื่อค่าผิดพลาด ( $\varepsilon$ ) ในสมการ (2.104) สูงขึ้น

ค่าดัชนีความเก่งในสมการ (2.103) นั้นมีจุดอ่อนอยู่ที่ไม่สามารถบ่งบอกได้ว่าอัตราส่วนของสัญญาณในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการต่อผลรวมของสัญญาณในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดในสถานะที่มีสัญญาณแทรกสอดน้อยกว่า หรือมากกว่าอัตราส่วนของสัญญาณในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการต่อผลรวมของสัญญาณในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดในสถานะสงบ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอค่าดัชนีความเก่งแบบใหม่ ( $SI_{im}$ ) ที่สามารถบ่งบอกได้ว่าอัตราส่วนของสัญญาณในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการต่อผลรวมของสัญญาณในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดในสถานะที่มีสัญญาณแทรกสอดน้อยกว่า หรือมากกว่าอัตราส่วนของสัญญาณในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการต่อผลรวมของสัญญาณในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดในสถานะสงบซึ่งรายละเอียดมีดังนี้

$$SI_{im} = 1 - \varepsilon \quad (2.105)$$

โดยที่  $\varepsilon = k \left( \frac{\Delta\theta_d}{\pi} \right)^2 + k \left( \frac{sirq - sir}{sirq} \right)^2$

$\Delta\theta_d$  คือค่าความต่างมุมของพู่หลัก (main beam angle) ของสายอากาศเก่งในสถานะสงบ (quiescent environment) กับสถานะที่เกิดสัญญาณแทรกสอด (interference environment) (เรเดียน)

$sirq$  คืออัตราส่วนของสัญญาณในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการต่อผลรวมของสัญญาณในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดในสถานะสงบ (หน่วย dB)

$sir$  คืออัตราส่วนของสัญญาณในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการต่อผลรวมของสัญญาณในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดในสภาวะที่มีสัญญาณแทรกสอด (หน่วย dB)

$$sir_q = \frac{|E_q(\theta_d) * W_q^T|^2}{\sum_{int=1}^M |E_q(\theta_{int}) * W_q^T|^2}$$

$$sir = \frac{|E_{INT}(\theta_d) * W_{INT}^T|^2}{\sum_{int=1}^M |E_{INT}(\theta_{int}) * W_{INT}^T|^2}$$

$E_q$  คือเวกเตอร์สนามไฟฟ้าของสายอากาศแถวลำดับในระนาบที่สนใจในสภาวะสงบ

$E_{INT}$  คือเวกเตอร์สนามไฟฟ้าของสายอากาศแถวลำดับในระนาบที่สนใจในสภาวะที่มีสัญญาณแทรกสอด

$W_q$  คือเวกเตอร์ค่าน้ำหนักของสัญญาณในสภาวะสงบ (สามารถหาได้โดยใช้สมการ (2.70))

$W_{INT}$  คือเวกเตอร์ค่าน้ำหนักของสัญญาณในสภาวะที่มีสัญญาณแทรกสอด (สามารถหาได้โดยใช้สมการ (2.70))

$\theta_d$  คือทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณที่ต้องการ

$\theta_{int}$  คือทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณแทรกสอด

$M$  คือจำนวนของแหล่งกำเนิดสัญญาณแทรกสอด

$k$  มีค่าเป็น 1 เมื่อมีค่าอัตราส่วนของสัญญาณในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการต่อผลรวมของสัญญาณในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดในสภาวะที่มีสัญญาณแทรกสอดน้อยกว่าอัตราส่วนของสัญญาณในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการต่อผลรวมของสัญญาณในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดในสภาวะสงบ มีค่าเป็น -1 เมื่อมีค่าอัตราส่วนของสัญญาณในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการต่อผลรวมของสัญญาณในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดในสภาวะที่มีสัญญาณแทรกสอดมากกว่าอัตราส่วนของสัญญาณในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการต่อผลรวมของสัญญาณในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดในสภาวะสงบ

ค่าดัชนีความเก่งดังสมการ (2.105) ถ้ามีค่าเป็น 1 นั้นหมายความว่าขั้นตอนการก่อรูปลำคลื่นสามารถก่อรูปลำคลื่นเพื่อหันตำแหน่งศูนย์ไป ในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดในสภาวะสงบได้ดีเท่ากับสภาวะที่มีสัญญาณแทรกสอด และถ้ามีค่าน้อยกว่า 1 หมายความว่าขั้นตอนการก่อรูปลำคลื่นสามารถสร้างตำแหน่งศูนย์ในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดในสภาวะสงบได้ดีกว่าในสภาวะที่มีสัญญาณแทรกสอด แต่ถ้ามีค่ามากกว่า 1 หมายความว่าขั้นตอนการก่อรูปลำคลื่น



สามารถสร้างตำแหน่งศูนย์ในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดในสภาวะที่มีสัญญาณแทรกสอดได้ดีกว่าในสภาวะสงบ ดังนั้นถ้าค่าดัชนีความถี่เชิงมุม (2.105) มีค่ามากกว่า 1 ยิ่งมากเท่าไรนั้นก็ยิ่งคือสายอากาศแก่งมีสมรรถนะยิ่งดี หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือขั้นตอนการก่อรูปลำคลื่นสามารถก่อรูปลำคลื่นเพื่อหันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้อย่างแม่นยำ และสามารถสร้างตำแหน่งศูนย์ในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดได้ยิ่งมากเท่านั้น



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

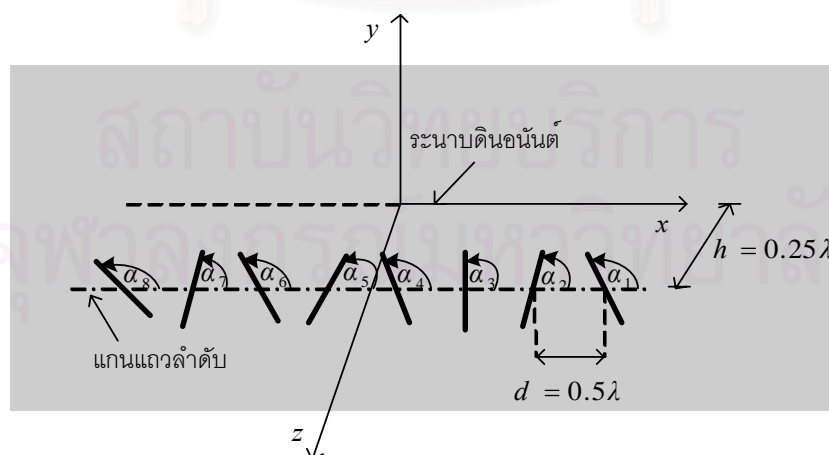
### บทที่ 3

#### การคำนวณจำลองแบบเพื่อทดสอบสมรรถนะของสายอากาศแก่ง

บทนี้กล่าวถึงการคำนวณจำลองแบบสายอากาศแก่งในสถานการณ์ต่างๆที่รวมผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิง เมื่อมีสัญญาณที่ต้องการและสัญญาณแทรกสอดจากแหล่งกำเนิดสัญญาณที่มีความถี่เดียวกับสัญญาณที่ต้องการมาตกกระทบสายอากาศแก่ง เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างสายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว และสายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ นอกจากนี้จะกล่าวถึงการคำนวณจำลองแบบสายอากาศแก่งที่ชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิง เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างสายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวเมื่อรวมผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิง และสายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวเมื่อชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิง สายอากาศที่ใช้ในการคำนวณจำลองแบบ คือสายอากาศแถวลำดับที่มีองค์ประกอบเป็นสายอากาศชั่วคราว 8 องค์ประกอบวางอยู่บนระนาบดินอนันต์สมมติซึ่งจะกล่าวในหัวข้อที่ 3.1 ในหัวข้อที่ 3.2 จะกล่าวถึงการแสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างสายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว และสายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบในการปรับเปลี่ยนลำคลื่นและการสร้างตำแหน่งศูนย์ในสถานการณ์ต่างๆ โดยใช้ขั้นตอนวิธีการก่อดูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum ซึ่งสายอากาศแถวลำดับที่กล่าวในหัวข้อที่ 3.2 เป็นสายอากาศแถวลำดับที่รวมผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิง เนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงนี้มีผลกระทบต่อความสามารถในการปรับเปลี่ยนลำคลื่นและการสร้างตำแหน่งศูนย์ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงเสนอวิธีการชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิง เพื่อเพิ่มสมรรถนะให้กับสายอากาศแก่งโดยใช้วิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์ และวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุดได้ในหัวข้อที่ 3.3 สายอากาศแถวลำดับที่ใช้ในการทดสอบความสามารถในการชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงทั้ง 2 วิธีนี้จะใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว และการคำนวณจำลองแบบในบทที่ 3 นี้จะใช้ดัชนีความเก่งเป็นตัวชี้วัดสมรรถนะของสายอากาศแก่งในสถานการณ์ต่างๆ

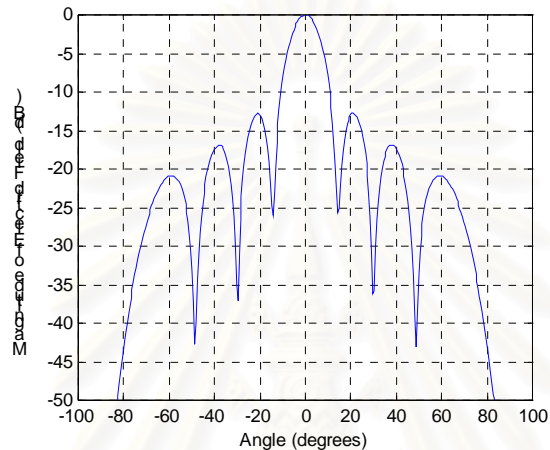
### 3.1 สายอากาศที่ใช้ในการคำนวณจำลองแบบ

ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีองค์ประกอบเป็นสายอากาศขั้วคู่จำนวน 8 องค์ประกอบวางอยู่บนระนาบดินอนันต์สมมุติทำงานที่ความถี่ 1 GHz โดยที่แต่ละองค์ประกอบอยู่ห่างจากระนาบดินอนันต์สมมุติ 0.25 เท่าของความยาวคลื่น และระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่น และความยาวของสายอากาศขั้วคู่คือ 0.5 เท่าของความยาวคลื่น ลักษณะทางกายภาพของสายอากาศแสดงไว้ในรูป 3.1 เหตุผลที่เลือกใช้อองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับเป็นสายอากาศขั้วคู่ คือสร้างง่าย ต้นทุนต่ำ น้ำหนักเบา และสามารถปรับเปลี่ยนแนวโพลาริเซชันได้ง่าย และเหตุผลที่ให้องค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับวางอยู่บนระนาบดินอนันต์สมมุติก็เพราะว่า สายอากาศที่ออกแบบมาใช้งานในวิทยานิพนธ์นี้จะนำไปประยุกต์ใช้กับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบไร้สาย ที่เซลล์แต่ละเซลล์จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนสายอากาศที่ออกแบบมาใช้งานในวิทยานิพนธ์นี้จะนำไปติดตั้งในส่วนแต่ละส่วนของเซลล์ ดังนั้นจึงต้องนำสายอากาศแถวลำดับที่มีองค์ประกอบเป็นสายอากาศขั้วคู่ไปวางอยู่บนระนาบดินอนันต์สมมุติ เพื่อให้มีแบบรูปการแผ่พลังงานที่มีทิศทางครอบคลุมในส่วนที่สายอากาศชุดนั้นรับผิดชอบ ส่วนสาเหตุที่ใช้อองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับจำนวน 8 องค์ประกอบก็เพราะว่าสายอากาศที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ออกแบบมาเพื่อจะนำไปประยุกต์ใช้กับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบไร้สายที่มีรูปแบบการใช้ความถี่ซ้ำเท่ากับ 4 ซึ่งจะมีจำนวนสัญญาณแทรก-สอดจากแหล่งกำเนิดสัญญาณที่มีความถี่เดียวกับสัญญาณที่ต้องการที่มีผลต่อระบบได้มากที่สุด 4 ทิศทาง แต่สายอากาศแถวลำดับที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้มีจำนวนองค์ประกอบ 8 องค์ประกอบซึ่งสามารถสร้างตำแหน่งศูนย์ได้มากที่สุด 6 ทิศทางซึ่งเพียงพอต่อการใช้งาน



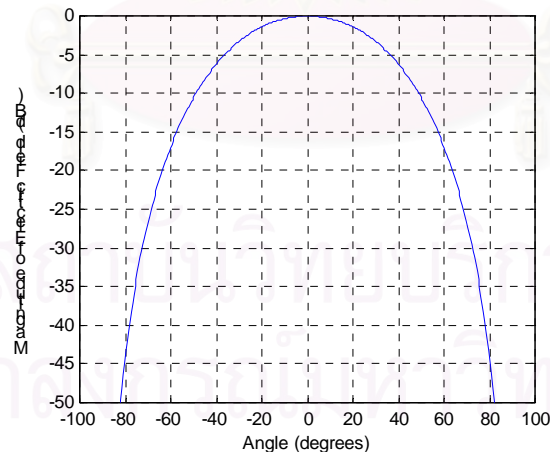
รูป 3.1 ลักษณะทางกายภาพของสายอากาศแถวลำดับที่มีองค์ประกอบเป็นสายอากาศขั้วคู่จำนวน 8 องค์ประกอบวางอยู่บนระนาบดินอนันต์สมมุติ

แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับดังรูป 3.1 ในวิทยานิพนธ์นี้จะแสดงอยู่ในรูปสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมและสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันไขว้ สายอากาศแถวลำดับที่ใช้ในการคำนวณจำลองแบบจะมี 2 ชุด คือ 1. สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวซึ่งแสดงดังรูป 3.2 และ 2. สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบซึ่งแสดงดังรูป 3.4 และวิธีการคำนวณหาสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมและสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันไขว้นั้นได้กล่าวอยู่ในหัวข้อที่ 2.1.4 ของบทที่ 2



ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมบนระนาบ  $\varphi = 0^\circ$

เมื่อไม่รวมผลมิวชวลด์ปปลิง

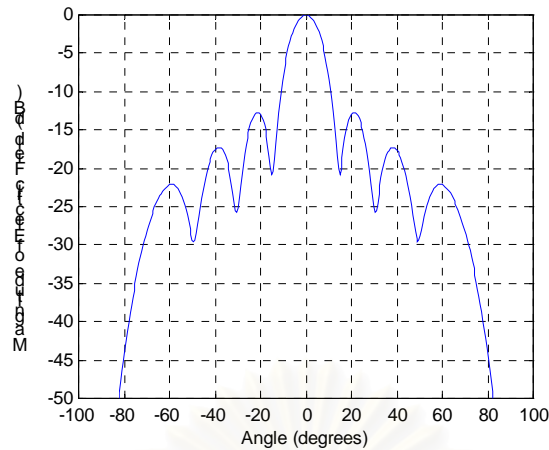


ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมบนระนาบ  $\varphi = 90^\circ$

เมื่อไม่รวมผลมิวชวลด์ปปลิง

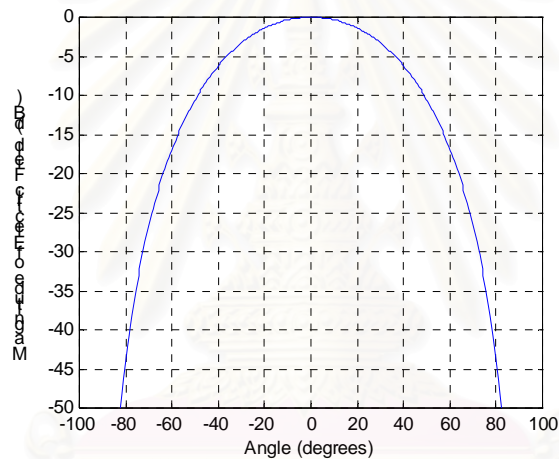
รูป 3.2 แบบรูปการแผ่พลังงานสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว

โดยมี  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = \alpha_6 = \alpha_7 = \alpha_8 = 90^\circ$



ค) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมบนระนาบ  $\varphi = 0^\circ$

เมื่อรวมผลมีวขวลคัปปลิง



ง) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมบนระนาบ  $\varphi = 90^\circ$

เมื่อรวมผลมีวขวลคัปปลิง

รูป 3.2 แบบรูปการแผ่พลังงานสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว

โดยมี  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = \alpha_6 = \alpha_7 = \alpha_8 = 90^\circ$  (ต่อ)

สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบนี้ ในวิทยานิพนธ์นี้ หาแนวการวางตัวของแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ โดยใช้กรรมวิธีการทำให้เหมาะสมที่สุดขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมซึ่งมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ดังสมการ (2.77) และ (2.78) ในบทที่ 2 เมื่อใช้กรรมวิธีการทำให้เหมาะสมที่สุดขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมที่มีพารามิเตอร์ของกรรมวิธีการทำให้เหมาะสมที่สุดขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมดังตารางที่ 3.1 จะได้แนวการวางตัวของ

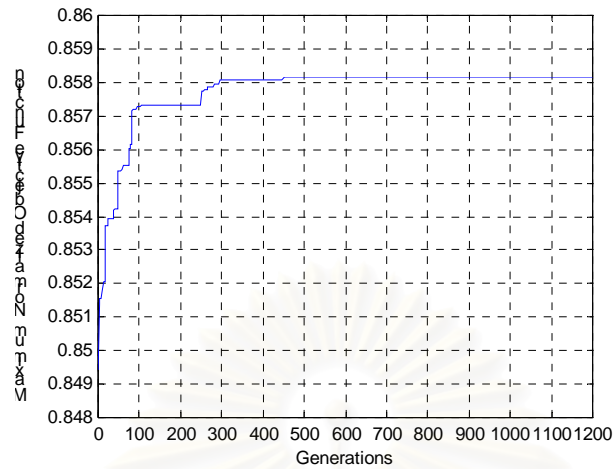
ทั้ง 8 องค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับดังตารางที่ 3.2 และค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์  
 ดังสมการ (2.78) ที่มีค่ามากที่สุดสำหรับรุ่นแต่ละรุ่นจะเป็นดังรูป 3.3

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์มิเตอร์ของกรรมวิธีการทำให้เหมาะสมที่สุด  
 ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม

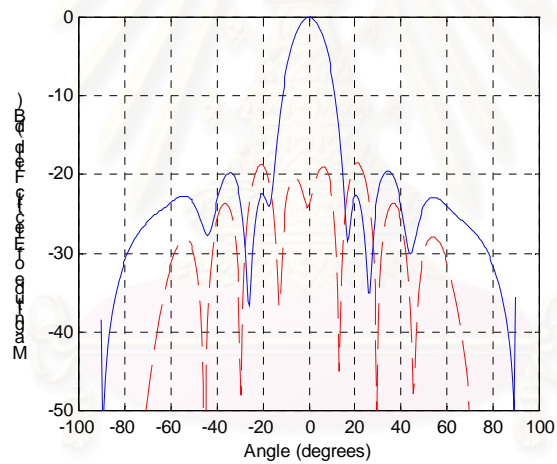
พารามิเตอร์	ค่า
ค่าความน่าจะเป็นของการสลับกัน (probability of crossover)	0.75
ค่าความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลง (probability of mutation)	0.005
จำนวนบิตต่อ 1 ยีน (Number of bit/gene)	10
จำนวนยีนต่อ 1 โครโมโซม (Number of gene/chromosome)	8
จำนวนโครโมโซม (Number of chromosome)	50
จำนวนรุ่น (Number of generation)	1200

ตารางที่ 3.2 แนวการวางตัวขององค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับที่หาได้  
 จากกรรมวิธีการทำให้เหมาะสมที่สุดขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม

$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$\alpha_5$	$\alpha_6$	$\alpha_7$	$\alpha_8$
146.39°	30.79°	136.36°	56.83°	124.22°	53.48°	152.72°	48.38°

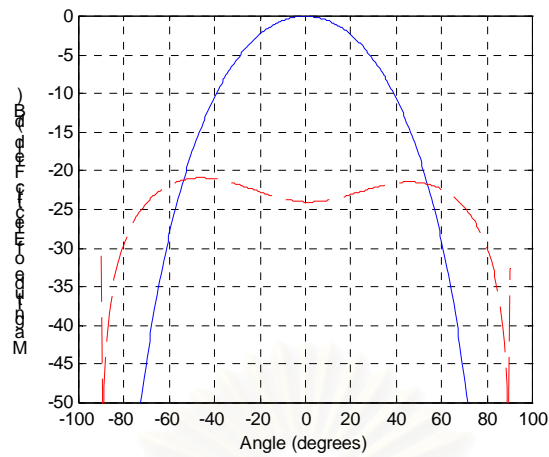


รูป 3.3 การลู่เข้าสู่ค่าที่เหมาะสมที่สุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ปรับบรรทัดฐานแล้ว

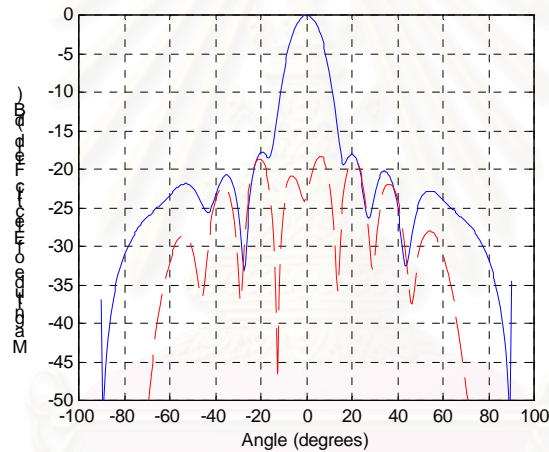


- ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วม (-) และสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันไขว้ (-) บนระนาบ  $\varphi = 0^\circ$  เมื่อไม่รวมผลมีวหวลคัปปลิง

รูป 3.4 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ



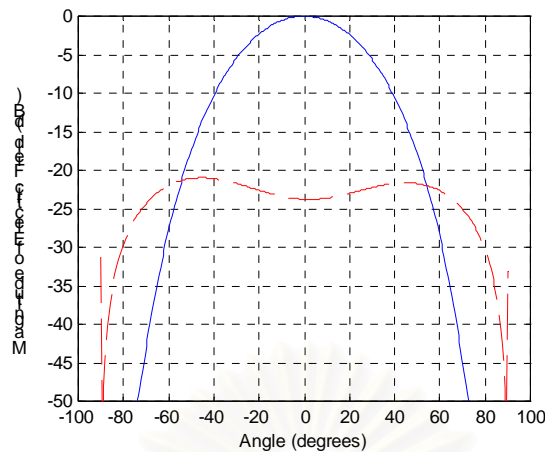
- ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วม (-) และสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันไขว้ (--) บนระนาบ  $\varphi = 90^\circ$  เมื่อไม่รวมผลมีวซวลค์ปปลิง



- ค) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วม (-) และสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันไขว้ (--) บนระนาบ  $\varphi = 0^\circ$  เมื่อรวมผลมีวซวลค์ปปลิง

รูป 3.4 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (ต่อ)





- ง) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วม (-) และสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันไขว้ (--) บนระนาบ  $\varphi = 90^\circ$  เมื่อรวมผลมิตวอลต์ปลิง

รูป 3.4 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (ต่อ)

### 3.2 การเปรียบเทียบสมรรถนะในการปรับเปลี่ยนลำคลื่นและตำแหน่งศูนย์ ระหว่างสายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว และสายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการเปรียบเทียบความสามารถในการปรับเปลี่ยนลำคลื่นของสายอากาศแก่งเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว และสายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบเมื่อรวมรวมผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิตวอลต์ปลิง โดยใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum และสุ่มตัวอย่างสัญญาณจำนวน 250 ตัวอย่างโดยแสดงผลตอบในรูปของแบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วม ซึ่งใช้ดัชนีความแก่งดังสมการ (2.105) ในบทที่ 2 เป็นตัวชี้วัดสมรรถนะสายอากาศแก่งในสถานการณ์ต่างๆ โดยกำหนดให้สายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวเมื่อไม่รวมผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิตวอลต์ปลิงเป็นสายอากาศแก่งในสภาวะสงบ และสายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว และสายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ เมื่อรวมรวมผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิตวอลต์ปลิงเป็นสายอากาศแก่งในสภาวะที่มีสัญญาณแทรกสอด และกำหนดสถานการณ์เพื่อใช้ในการจำลองแบบทั้งหมด 24 กรณีซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 3.3 สถานการณ์ต่างๆที่ใช้ในการคำนวณจำลองแบบเพื่อทดสอบสมรรถนะ  
ของสายอากาศเก่งทั้ง 24 กรณี

กรณี	$DOA_d$	$I_1$	$I_2$	I/S
1	0	20	-40	0.5
2	0	20	-40	1
3	0	20	-40	10
4	0	30	-30	0.5
5	0	30	-30	1
6	0	30	-30	10
7	20	40	-60	0.5
8	20	40	-60	1
9	20	40	-60	10
10	20	30	-30	0.5
11	20	30	-30	1
12	20	30	-30	10
13	-20	0	60	0.5
14	-20	0	60	1
15	-20	0	60	10
16	-20	30	40	0.5
17	-20	30	40	1
18	-20	30	40	10
19	30	20	-35	0.5
20	30	20	-35	1
21	30	20	-35	10
22	30	60	-30	0.5
23	30	60	-30	1
24	30	60	-30	10

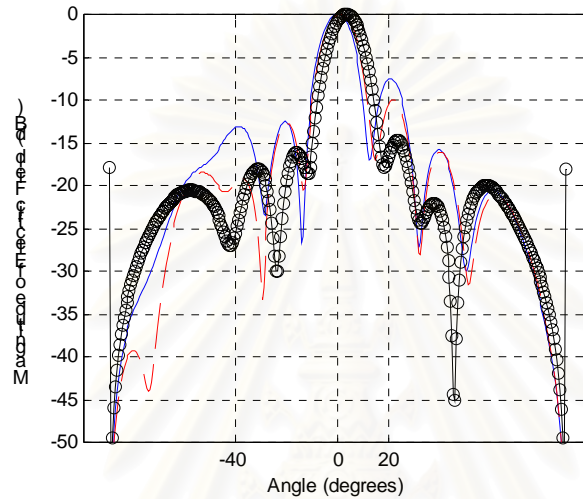
โดยที่  $DOA_d$  คือทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการ

$I_1$  คือทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1

$I_2$  คือทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 2

$I/S$  คืออัตราส่วนของกำลังของสัญญาณแทรกสอดต่อสัญญาณที่ต้องการ

กรณีที่ 1 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ 0 องศา และทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1 และสัญญาณแทรกสอดที่ 2 คือ 20 และ -40 องศา ตามลำดับ โดยที่มีขนาดของสัญญาณแทรกสอดต่อสัญญาณที่ต้องการเป็น 0.5 เท่า ซึ่งคิดเป็น -3 เดซิเบล



รูป 3.5 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 1 โดยการใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว (--) เมื่อรวมผลมิววลคัปปลิงเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) เมื่อรวมผลมิววลคัปปลิง และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า  $I/S$  เท่ากับ 0.5

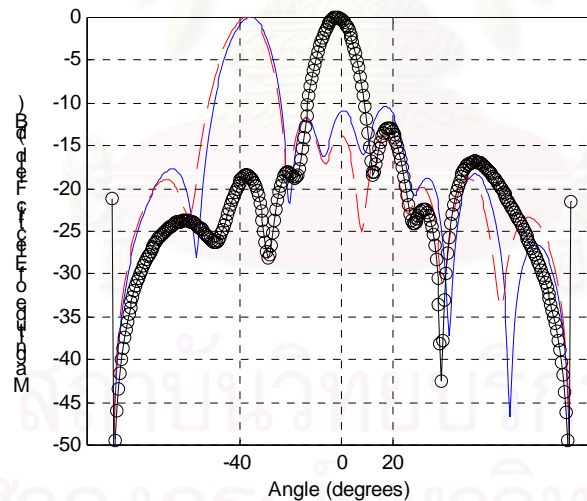
จะเห็นได้จากรูป 3.5 ว่าเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ สามารถก่อรูปลำคลื่นเพื่อหันพูรองหรือตำแหน่งศูนย์ไปในทิศทางของสัญญาณรบกวนทั้ง 2 ได้ดีกว่าเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว

ตารางที่ 3.4 ดัชนีความแก่งในกรณีที่ 1 ของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
ดัชนีความแก่ง	1.2783	2.6731

จะเห็นได้จากตารางที่ 3.4 ว่าในกรณีที่ 1 ไม่ว่าจะใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว หรือสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบก็ตาม สายอากาศทั้ง 2 นี้สามารถก่อรูปลำคลื่นเพื่อหันพูรองหรือตำแหน่งศูนย์ไปในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดทั้ง 2 ได้ดีกว่าสภาวะสงบ (เพราะว่าค่าดัชนีความถี่มีค่ามากกว่า 1) และนอกจากนี้จะเห็นว่าเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบจะสามารถก่อรูปลำคลื่นเพื่อหันพูรองหรือตำแหน่งศูนย์ไปในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดทั้ง 2 ได้ดีกว่ากรณีที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว (เพราะว่าเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบสายอากาศถี่จะมีความถี่ความถี่มากกว่ากรณีที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว)

กรณีที่ 2 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ 0 องศา และทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1 และสัญญาณแทรกสอดที่ 2 คือ 20 และ -40 องศา ตามลำดับ ซึ่งเหมือนกับกรณีที่ 1 แต่ต่างกันที่ขนาดของสัญญาณแทรกสอดนั้นมีค่าเท่ากับขนาดของสัญญาณที่ต้องการ



รูป 3.6 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศถี่เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 2 โดยการให้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว (--) เมื่อรวมผลมิววลด์บปลิงเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) เมื่อรวมผลมิววลด์บปลิง และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า  $I/S$  เท่ากับ 1

จะเห็นได้จากรูป 3.6 ว่าในกรณีที่ 2 สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ สามารถก่อรูปลำคลื่นเพื่อหันพुरुองหรือตำแหน่งศูนย์ไปในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดได้ดีกว่ากรณีสงบและกรณีที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวในทิศทาง  $-40$  องศา แต่ในทิศทาง  $20$  องศา นั้นสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวสามารถสร้างตำแหน่งศูนย์ได้ดีกว่าสภาวะสงบและกรณีที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ เมื่อพิจารณาต่อไปจะพบว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบยังคงสามารถหันพुरुหลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้ถึงแม้จะมีขนาดของสัญญาณแทรกสอดเพิ่มขึ้นก็ตาม

ตารางที่ 3.5 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 2 ของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

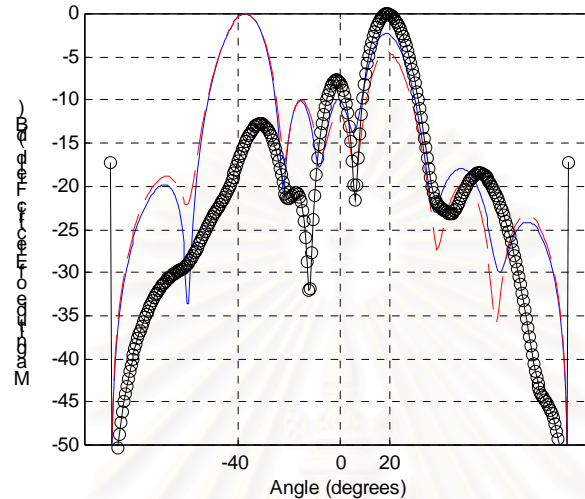
	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
ดัชนีความเก่ง	0.9175	5.9582

จะเห็นได้จากตารางที่ 3.5 ว่าถึงแม้กรณีที่ 2 จะมีขนาดของสัญญาณแทรกสอดมากกว่ากรณีที่ 1 ก็ตาม แต่สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบก็ยังมีค่าดัชนีความเก่งมากกว่ากรณีที่ใช้แต่สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว และยังสามารถก่อรูปลำคลื่นได้ดีกว่าสภาวะสงบ

กรณีที่ 3 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ  $0$  องศา และทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1 และสัญญาณแทรกสอดที่ 2 คือ  $20$  และ  $-40$  องศา ตามลำดับ ซึ่งเหมือนกับกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 แต่ต่างกันที่ขนาดของสัญญาณแทรกสอดนั้นมีค่าเป็น  $10$  เท่าของสัญญาณที่ต้องการซึ่งคิดเป็น  $10$  เดซิเบล

จะเห็นได้จากรูป 3.7 ว่าในกรณีที่ 3 เมื่อขนาดของสัญญาณแทรกสอดเพิ่มขึ้นเป็น  $10$  เท่าของสัญญาณที่ต้องการ สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ และสภาวะสงบไม่สามารถหันพुरुหลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้ แต่สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบมีความสามารถในการลดผลเนื่องจากสัญญาณแทรกสอดได้ดีกว่า กรณีที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว และสภาวะสงบ

จะเห็นได้จากตารางที่ 3.6 ว่ากรณีที่ 3 ถึงแม้จะเพิ่มขนาดของสัญญาณแทรกสอดให้เป็น 10 เท่าของสัญญาณที่ต้องการแต่สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ ก็ยังมีค่าดัชนีความเก่งมากกว่ากรณีที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว และยังสามารถก่อรูปลำคลื่นได้ดีกว่าสภาวะสงบเหมือนกับกรณีที่ 1 และ 2



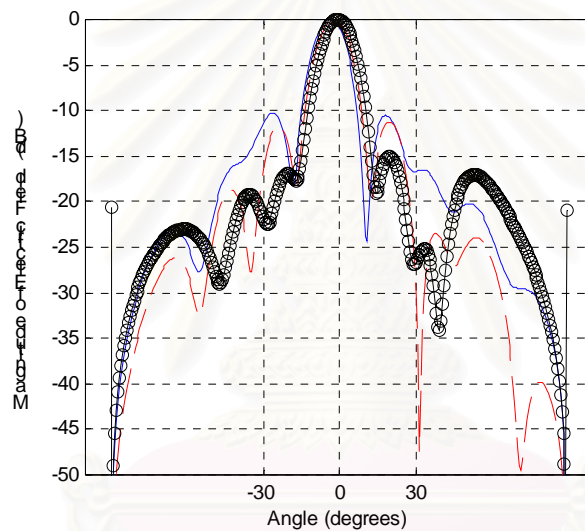
รูป 3.7 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 3 โดยการใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว (--) เมื่อรวมผลมิวซวลด์บปลิงเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) เมื่อรวมผลมิวซวลด์บปลิง และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10

ตารางที่ 3.6 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 3 ของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
ดัชนีความเก่ง	0.9948	1.2012

กรณีที่ 4 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ 0 องศา และทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1 และสัญญาณแทรกสอดที่ 2 คือ 30 และ -30 องศา ตามลำดับ โดยที่มีขนาดของสัญญาณแทรกสอดเป็น 0.5 เท่าของสัญญาณที่ต้องการซึ่งคิดเป็น -3 เดซิเบล

จะเห็นได้จากรูป 3.8 ว่าในกรณีที่ 4 สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว และสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบสามารถลดผลเนื่องจากสัญญาณแทรกสอดได้ดีกว่าสถานะสงบ แต่สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบสามารถลดผลเนื่องจากสัญญาณแทรกสอดได้ดีที่สุด และยังคงสภาพการหันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้แม่นยำที่สุด



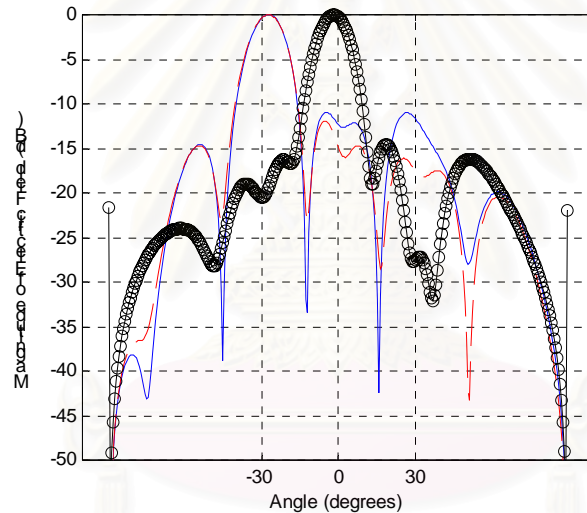
รูป 3.8 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว (--) เมื่อรวมผลมิววลด์ับปดิ่งเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) เมื่อรวมผลมิววลด์ับปดิ่ง และเทียบกับสถานะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 0.5

ตารางที่ 3.7 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 4 ของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
ดัชนีความเก่ง	1.4999	2.5352

จะเห็นได้จากตารางที่ 3.7 ว่าในกรณีที่ 4 สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว และสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบสามารถก่อรูปลำคลื่นได้ดีกว่าสภาวะสงบ แต่ค่าดัชนีความเก่งของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบมีค่ามากกว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว

กรณีที่ 5 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ 0 องศา และทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1 และสัญญาณแทรกสอดที่ 2 คือ 30 และ -30 องศา ตามลำดับ ซึ่งเหมือนกับกรณีที่ 4 แต่ต่างกันที่ขนาดของสัญญาณแทรกสอดนั้นมีค่าเท่ากับขนาดของสัญญาณที่ต้องการ



รูป 3.9 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 5 โดยการใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว (--) เมื่อรวมผลมิวซัลคัปปลิงเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) เมื่อรวมผลมิวซัลคัปปลิง และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1

จะเห็นได้จากรูป 3.9 ว่าในกรณีที่ 5 เมื่อเพิ่มขนาดของสัญญาณแทรกสอดจากกรณีที่ 4 ให้มีขนาดของสัญญาณแทรกสอดเท่ากับขนาดของสัญญาณที่ต้องการแล้ว จะมีเพียงสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบเท่านั้น ที่สามารถหันพู่หลักไปในทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการได้แม่นยำที่สุด และสามารถสร้างตำแหน่งศูนย์ในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดทั้ง 2 ได้ดีที่สุดในที่สุด

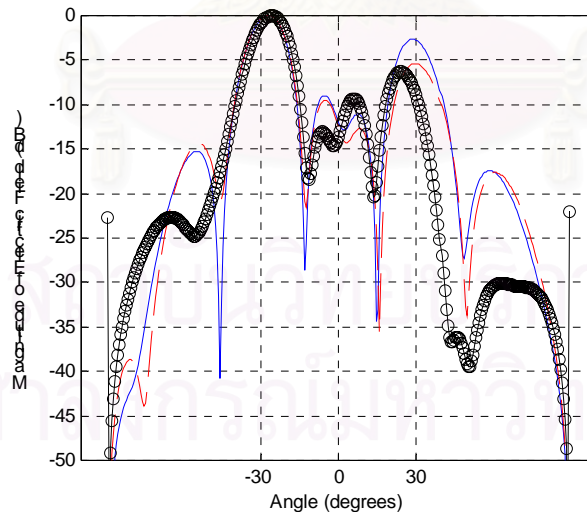


ตารางที่ 3.8 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 5 ของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
ดัชนีความเก่ง	0.9625	7.8786

จะเห็นได้จากตารางที่ 3.8 ว่าในกรณีที่ 5 สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ สามารถก่อรูปลำคลื่นได้ดีกว่าสภาวะสงบ และมีค่าดัชนีความเก่งมากกว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว ส่วนสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวนั้นไม่สามารถก่อรูปลำคลื่นได้ดีกว่าสภาวะสงบ

กรณีที่ 6 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ 0 องศา และทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1 และสัญญาณแทรกสอดที่ 2 คือ 30 และ -30 องศา ตามลำดับ ซึ่งเหมือนกับกรณีที่ 4 และกรณีที่ 5 แต่ต่างกันที่ขนาดของสัญญาณแทรกสอดนั้นมีค่าเป็น 10 เท่าของสัญญาณที่ต้องการซึ่งคิดเป็น 10 เดซิเบล



รูป 3.10 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 6 โดยการให้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว (--) เมื่อรวมผลมิววลด์ปปลิงเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) เมื่อรวมผลมิววลด์ปปลิง และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10

จะเห็นได้จากรูป 3.10 ว่าในกรณีที่ 6 เมื่อให้ขนาดของสัญญาณแทรกสอดมีค่ามากกว่าขนาดของสัญญาณที่ต้องการ 10 เท่า จะพบว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ และสถานะสงบไม่สามารถหันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้ และมีระดับสัญญาณในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดครบถ้วนทั้ง 2 สูงกว่าระดับสัญญาณในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการ

ตารางที่ 3.9 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 6 ของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
ดัชนีความเก่ง	1.0005	0.9995

จะเห็นได้จากตารางที่ 3.9 ว่าในกรณีที่ 6 สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว และสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบมีค่าดัชนีความเก่งใกล้เคียง 1 นั่นก็หมายความว่าสามารถก่อรูปลำคลื่นได้ใกล้เคียงกับสถานะสงบ

กรณีที่ 7 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ 20 องศา และทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1 และสัญญาณแทรกสอดที่ 2 คือ 40 และ -60 องศา ตามลำดับ โดยที่มีขนาดของสัญญาณแทรกสอดเป็น 0.5 เท่าของสัญญาณที่ต้องการซึ่งคิดเป็น -3 เดซิเบล

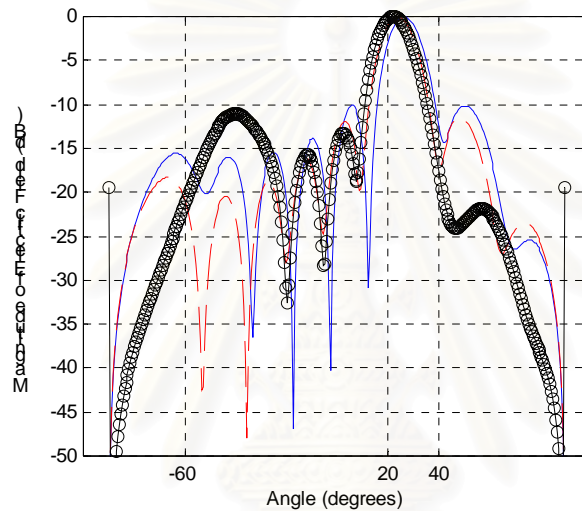
จะเห็นได้จากรูป 3.11 ว่าในกรณีที่ 7 สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว และสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบสามารถหันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้แม่นยำกว่าสถานะสงบ และสามารถลดผลของสัญญาณแทรกสอดได้ดีกว่าสถานะสงบ เนื่องจากมีระดับสัญญาณในทิศทางของสัญญาณครบถ้วนทั้ง 2 ต่ำกว่าสถานะสงบ

จะเห็นได้จากตารางที่ 3.10 ว่าในกรณีที่ 7 สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว และสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบมีค่าดัชนีความเก่งมากกว่า 1 นั่นหมายความว่าสายอากาศทั้ง 2 นี้สามารถก่อรูปลำคลื่นได้ดีกว่า

สภาวะสงบ แต่สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบนี้มีค่าดัชนีความเก่งมากกว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว

ตารางที่ 3.10 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 7 ของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
ดัชนีความเก่ง	1.7668	2.2417

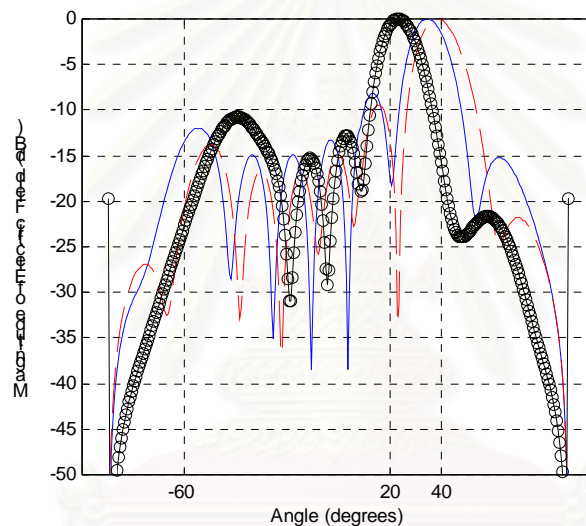


รูป 3.11 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 7 โดยการใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว (--) เมื่อรวมผลมิววลคัปปลิงเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) เมื่อรวมผลมิววลคัปปลิง และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 0.5

กรณีที่ 8 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ 20 องศา และทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1 และสัญญาณแทรกสอดที่ 2 คือ 40 และ -60 องศา ตามลำดับ ซึ่งเหมือนกับกรณีที่ 7 แต่ต่างกันที่ขนาดของสัญญาณแทรกสอดนั้นมีค่าเท่ากับขนาดของสัญญาณที่ต้องการ

จะเห็นได้จากรูป 3.12 ว่าในกรณีที่ 8 เมื่อเพิ่มขนาดของสัญญาณแทรกสอดจากกรณีที่ 7 ให้มีขนาดของสัญญาณแทรกสอดเท่ากับขนาดของสัญญาณที่ต้องการแล้ว จะมีเพียงสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบเท่านั้น ที่สามารถหันพู่หลักไปในทิศทาง

ของสัญญาณที่ต้องการได้แม่นยำที่สุด ส่วนสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว และสภาวะสงบนั้นหันพู่หลักไปผิดพลาดซึ่งใกล้เคียงกับทิศทางของสัญญาณแทรกสอดในทิศทาง 40 องศา ดังนั้นจึงทำให้ในทิศทางนี้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว และสภาวะสงบมีความสามารถในการลดผลของสัญญาณแทรกสอดได้น้อยกว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบมาก ส่วนในทิศทาง -60 องศา นั้นสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ และสภาวะสงบล้วนหันพู่รองให้กับทิศทางนี้ทั้งนั้น ดังนั้นจึงทำให้สายอากาศทั้ง 3 นี้สามารถลดผลของสัญญาณแทรกสอดได้ใกล้เคียงกัน



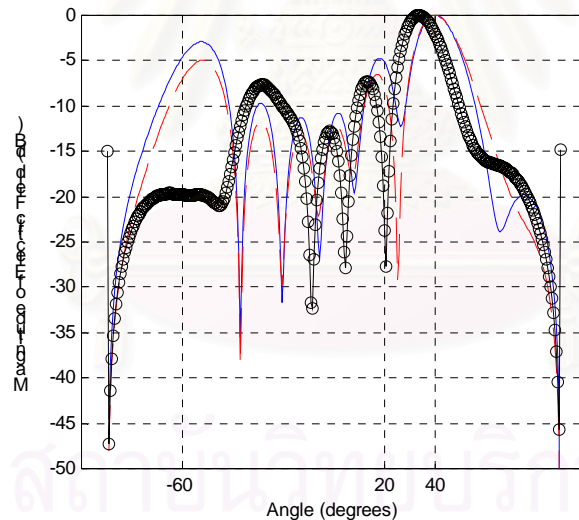
รูป 3.12 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว (--) เมื่อรวมผลมิววลด์คัปปลิงเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) เมื่อรวมผลมิววลด์คัปปลิง และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1

ตารางที่ 3.11 ดัชนีความเก่งในกรณี 8 ของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
ดัชนีความเก่ง	1.0357	4.6484

จะเห็นได้จากตารางที่ 3.11 ว่าในกรณีที่ 8 สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบนั้นมีความถี่ความถี่มากกว่ากรณีที่ 7 ถึงแม้ขนาดของสัญญาณแทรกสอดในกรณีที่ 8 จะมากกว่า ทั้งนี้ก็เพราะว่าในกรณีที่ 8 สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบยังคงสามารถหันทูหลักได้แม่นยำใกล้เคียงกับกรณีที่ 7 แต่ในกรณีที่ 8 นั้นสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว และสภาวะสงบนั้นหันทูหลักไปผิดพลาดมากกว่ากรณีที่ 7 และในกรณีนี้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ ยังคงมีความถี่ความถี่มากกว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวเหมือนกับกรณีที่ 7

กรณีที่ 9 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ 20 องศา และทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1 และสัญญาณแทรกสอดที่ 2 คือ 40 และ -60 องศา ตามลำดับ ซึ่งเหมือนกับกรณีที่ 7 และกรณีที่ 8 แต่ต่างกันที่ขนาดของสัญญาณแทรกสอดนั้นมีค่าเป็น 10 เท่าของสัญญาณที่ต้องการซึ่งคิดเป็น 10 เดซิเบล



รูป 3.13 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 9 โดยการให้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว (--) เมื่อรวมผลมิวซวลด์ปปลิงเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) เมื่อรวมผลมิวซวลด์ปปลิง และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10

จะเห็นได้จากรูป 3.13 ว่าในกรณีที่ 9 เมื่อให้ขนาดของสัญญาณแทรกสอดเพิ่มขึ้นเป็น 10 เท่าของสัญญาณที่ต้องการแล้ว สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลาย

แบบ สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว และสภาวะสงบไม่สามารถหันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้เลย

ตารางที่ 3.12 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 9 ของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
ดัชนีความเก่ง	0.8876	-2.9520

จะเห็นได้จากตารางที่ 3.12 ว่าในกรณีที่ 9 นี้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบมีค่าดัชนีความเก่งที่แย่มาก เมื่อสังเกตรูป 3.13 จะเห็นว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบนี้หันตำแหน่งศูนย์ให้กับทิศทางของสัญญาณที่ต้องการ ซึ่งต่างกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวที่หันพู่ข้างให้กับทิศทางของสัญญาณที่ต้องการ ดังนั้นจึงทำให้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวมีค่าดัชนีความเก่งมากกว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

กรณีที่ 10 กำหนดให้ทิศทางมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ 20 องศา และทิศทางมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1 และสัญญาณแทรกสอดที่ 2 คือ 30 และ -30 องศา ตามลำดับ โดยที่มีขนาดของสัญญาณแทรกสอดเป็น 0.5 เท่าของสัญญาณที่ต้องการซึ่งคิดเป็น -3 เดซิเบล

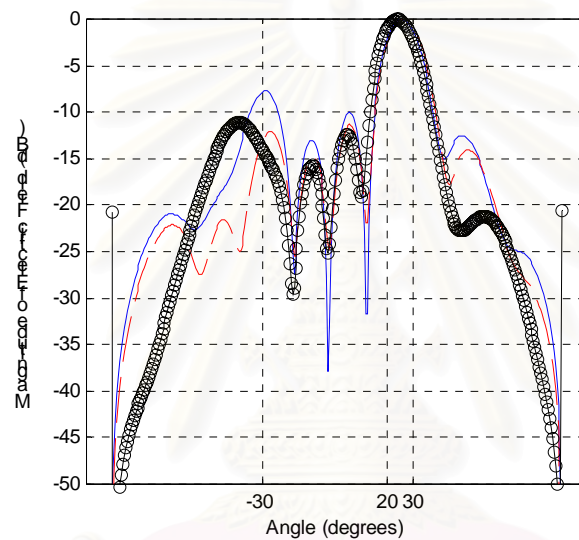
จะเห็นได้จากรูป 3.14 ว่าในกรณีที่ 10 สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบและสภาวะสงบ สามารถหันพู่หลักได้แม่นยำใกล้เคียงกัน และสามารถลดผลของสัญญาณแทรกสอดในทิศทาง 30 องศาได้ใกล้เคียงกัน แต่ในทิศทาง -30 องศาสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว และสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบสามารถลดผลของสัญญาณแทรกสอดได้ดีกว่าสภาวะสงบ

จะเห็นได้จากตารางที่ 3.13 ว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบมีค่าดัชนีความเก่งมากกว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว นั่นก็หมายความว่าในกรณีนี้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบ

หลายแบบ สามารถลดผลของสัญญาณแทรกสอดได้ดีกว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว

ตารางที่ 3.13 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 10 ของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
ดัชนีความเก่ง	0.9719	3.4854



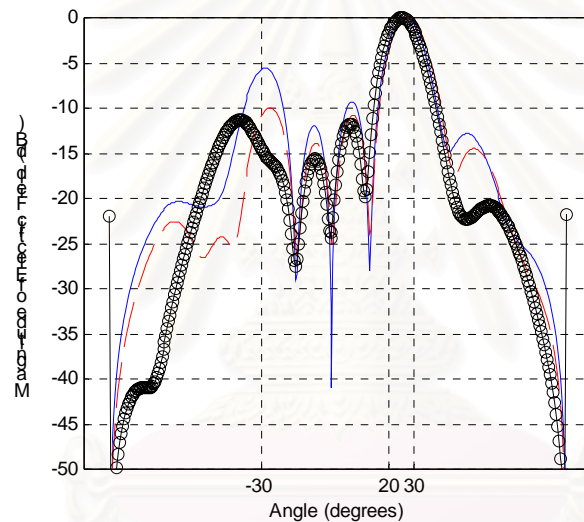
รูป 3.14 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 10 โดยการ  
ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว (--) เมื่อรวมผลมิววลด์คัปลิง  
 เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) เมื่อรวม  
 ผลมิววลด์คัปลิง และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 0.5

กรณีที่ 11 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ 20 องศา และทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1 และสัญญาณแทรกสอดที่ 2 คือ 30 และ -30 องศา ตามลำดับ ซึ่งเหมือนกับกรณีที่ 10 แต่ต่างกันที่ขนาดของสัญญาณแทรกสอดนั้นมีค่าเท่ากับขนาดของสัญญาณที่ต้องการ

จะเห็นได้จากรูป 3.15 ว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบและสภาวะสงบ

สามารถหันทันพู่หลักได้แม่นยำใกล้เคียงกัน และสามารถลดผลของสัญญาณแทรกสอดในทิศทาง 30 องศาได้ใกล้เคียงกัน แต่ในทิศทาง  $-30$  องศาสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ สามารถลดผลของสัญญาณแทรกสอดได้ดีกว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว และสภาวะสงบ

จะเห็นได้จากตารางที่ 3.14 ว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวนั้นมีค่าดัชนีความถี่ความถี่น้อยกว่า 1 นั้นแสดงว่าสภาวะสงบสามารถก่อรูปลำคลื่นได้ดีกว่า และถึงแม้ว่าในกรณีนี้จะเพิ่มขนาดของสัญญาณแทรกสอดให้มากกว่ากรณีที่ 10 ก็ตามแต่สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบก็ยังคงมีค่าดัชนีความถี่ความถี่มากกว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว



รูป 3.15 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว (---) เมื่อรวมผลมิมิววลด์คัปปลิง เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) เมื่อรวมผลมิมิววลด์คัปปลิง และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า  $I/S$  เท่ากับ 1

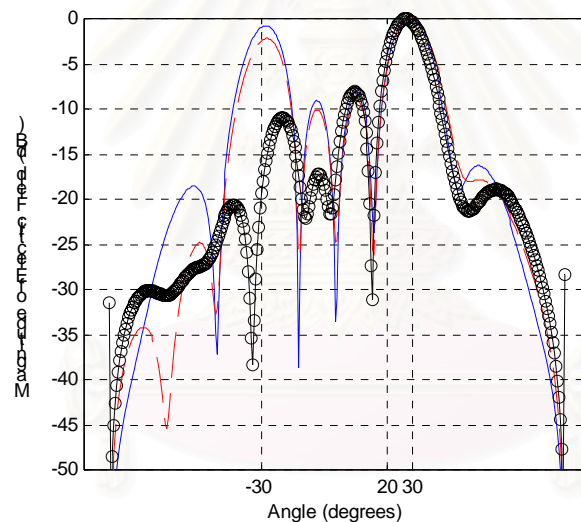
ตารางที่ 3.14 ดัชนีความถี่ความถี่ในกรณีที่ 11 ของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
ดัชนีความถี่	0.9893	2



กรณีที่ 12 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ 20 องศา และทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1 และสัญญาณแทรกสอดที่ 2 คือ 30 และ -30 องศา ตามลำดับ ซึ่งเหมือนกับกรณีที่ 10 และกรณีที่ 11 แต่ต่างกันที่ขนาดของสัญญาณแทรกสอดนั้นมีค่าเป็น 10 เท่าของสัญญาณที่ต้องการซึ่งคิดเป็น 10 เดซิเบล

จะเห็นได้จากรูป 3.16 ว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบและสภาวะสงบ หันฟูหลักไปผิดพลาดใกล้เคียงกัน และสามารถลดผลของสัญญาณแทรกสอดในทิศทาง 30 องศาได้ใกล้เคียงกัน แต่ในทิศทาง -30 องศาสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบสามารถลดผลของสัญญาณแทรกสอดได้ดีกว่า สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว และสภาวะสงบมากประมาณ 17-18 เดซิเบล



รูป 3.16 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 12 โดยการ  
ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว (--) เมื่อรวมผลมิววลด์ป  
ปลิง เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) เมื่อรวม  
ผลมิววลด์ปปลิง และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10

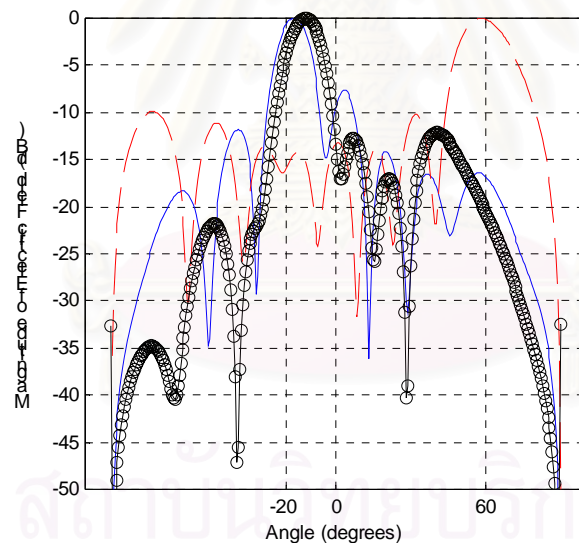
จะเห็นได้จากตารางที่ 3.15 ว่าทั้งสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว และสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบมีค่าดัชนีความเก่งมากกว่า 1 นั่นก็คือสามารถก่อรูปลำคลื่นได้ดีกว่าในสภาวะสงบ และในกรณีนี้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ มีค่าดัชนีความเก่งมากกว่าสาย

อากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวน้อยกว่าในกรณีที่ 11 นั้นแสดงว่าในกรณีที่ 12 นี้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบได้รับผลกระทบจากสัญญาณแทรกสอดมากกว่ากรณีที่ 11

ตารางที่ 3.15 ดัชนีความถี่ในกรณีที่ 12 ของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
ดัชนีความถี่	1.0030	1.2566

กรณีที่ 13 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ  $-20$  องศา และทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1 และสัญญาณแทรกสอดที่ 2 คือ  $0$  และ  $60$  องศา ตามลำดับ โดยที่มีขนาดของสัญญาณแทรกสอดเป็น  $0.5$  เท่าของสัญญาณที่ต้องการซึ่งคิดเป็น  $-3$  เดซิเบล



รูป 3.17 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 13 โดยการ  
ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว (--) เมื่อรวมผลมีขวลคัป  
ปลิง เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) เมื่อรวม  
ผลมีขวลคัปปลิง และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า  $I/S$  เท่ากับ  $0.5$

จะเห็นได้จากรูป 3.17 ว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบ  
เดียวนั้นหันพู่หลักไปผิดพลาดอย่างมากประมาณ  $80$  องศา แต่สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการ

วางตัวขององค์ประกอบหลายแบบและสภาวะสงบนั้น หันพู่หลักไปผิดพลาดประมาณไม่เกิน 10 องศา และในกรณีนี้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบสามารถลดผลของสัญญาณแทรกสอดได้ดีกว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว และสภาวะสงบในทั้ง 2 ทิศทาง

ตารางที่ 3.16 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 13 ของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
ดัชนีความเก่ง	-8.5857	1.0312

จะเห็นได้จากตารางที่ 3.16 ว่าในกรณีนี้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวมีค่าดัชนีความเก่งที่ค่อนข้างต่ำ และมีค่าแตกต่างจากสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบค่อนข้างมาก ทั้งนี้เนื่องจากสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวนั้นหันพู่หลักไปผิดพลาดอย่างมาก

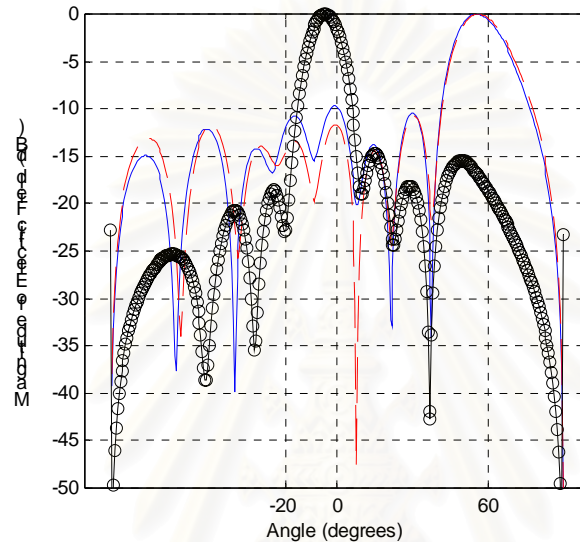
กรณีที่ 14 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ  $-20$  องศา และทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1 และสัญญาณแทรกสอดที่ 2 คือ  $0$  และ  $60$  องศา ตามลำดับ ซึ่งเหมือนกับกรณีที่ 13 แต่ต่างกันที่ขนาดของสัญญาณแทรกสอดนั้นมีค่าเท่ากับขนาดของสัญญาณที่ต้องการ

จะเห็นได้จากรูป 3.18 ว่ามีเพียงสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบเท่านั้นที่หันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้ผิดพลาดน้อยที่สุด

จะเห็นได้จากตารางที่ 3.17 ว่าถึงแม้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบจะหันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้ผิดพลาดน้อยที่สุด แต่สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบนี้หันตำแหน่งศูนย์ให้กับทิศทางของสัญญาณที่ต้องการ และหันพู่หลักให้กับทิศทางของสัญญาณแทรกสอดในทิศทาง  $0$  องศา ดังนั้นจึงทำให้ในกรณีนี้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ มีค่าดัชนีความเก่งน้อยกว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว

ตารางที่ 3.17 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 14 ของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
ดัชนีความเก่ง	0.9496	0.4369



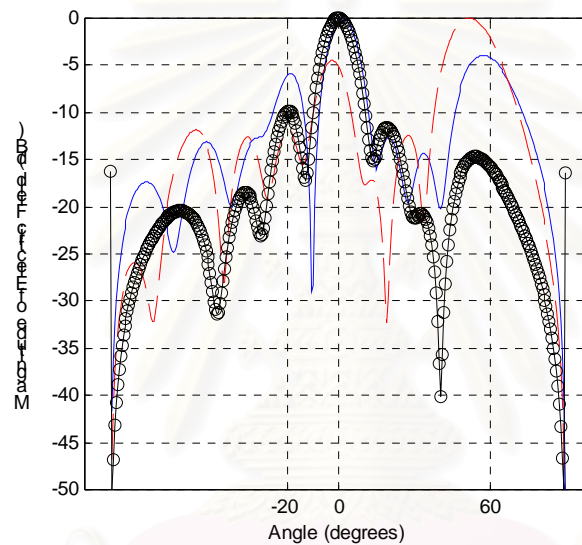
รูป 3.18 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 14 โดยการ  
ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว (—) เมื่อรวมผลมิววลด์ป  
ปลิง เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) เมื่อรวม  
ผลมิววลด์ปปลิง และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1

กรณีที่ 15 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ -20 องศา และทิศทางการ  
มาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1 และสัญญาณแทรกสอดที่ 2 คือ 0 และ 60 องศา ตามลำดับ ซึ่ง  
เหมือนกับกรณีที่ 13 และกรณีที่ 14 แต่ต่างกันที่ขนาดของสัญญาณแทรกสอดนั้นมีค่าเป็น 10 เท่า  
ของสัญญาณที่ต้องการซึ่งคิดเป็น 10 เดซิเบล

จะเห็นได้จากรูป 3.19 ว่าในกรณีนี้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์  
ประกอบแบบเดียวนั้นหันพู่หลักไปผิดพลาดมากที่สุด และมีระดับสัญญาณในทิศทางของ  
สัญญาณที่ต้องการต่ำกว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

และสภาวะสงบ แต่ก็สามารถลดผลของสัญญาณแทรกสอดในทิศทาง 0 องศาได้มากกว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ และสภาวะสงบ

จะเห็นได้จากตารางที่ 3.18 ว่าถึงแม้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบจะหันพู่หลักให้กับสัญญาณแทรกสอดในทิศทาง 0 องศาก็ตาม ซึ่งจะทำให้สายอากาศเก่งได้รับสัญญาณแทรกสอดเข้ามามาก แต่อย่างไรก็ตามสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบนี้ก็ยังมีค่าดัชนีความเก่ง มากกว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว



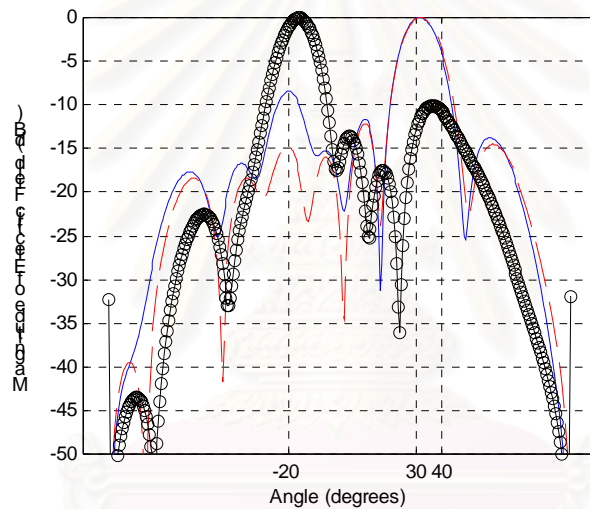
รูป 3.19 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 15 โดยการ  
ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว (--) เมื่อรวมผลมิววลด์ับ  
ปลิง เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) เมื่อรวม  
ผลมิววลด์ับปลิง และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10

ตารางที่ 3.18 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 15 ของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์-  
ประกอบแบบเดี่ยวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
ดัชนีความเก่ง	0.5585	0.8744

กรณีที่ 16 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ -20 องศา และทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1 และสัญญาณแทรกสอดที่ 2 คือ 30 และ 40 องศา ตามลำดับ โดยที่มีขนาดของสัญญาณแทรกสอดเป็น 0.5 เท่าของสัญญาณที่ต้องการซึ่งคิดเป็น -3 เดซิเบล

จะเห็นได้จากรูป 3.20 ว่าในกรณีนี้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบสามารถหันพู่หลักได้แม่นยำที่สุด และสามารถลดผลของสัญญาณแทรกสอดในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดทั้ง 2 ได้ดีที่สุด ซึ่งต่างกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว และสภาวะสงบซึ่งไม่สามารถหันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้ ยิ่งไปกว่านั้นยังหันพู่หลักให้กับทิศทางของสัญญาณแทรกสอดในทิศทาง 30 องศาด้วย



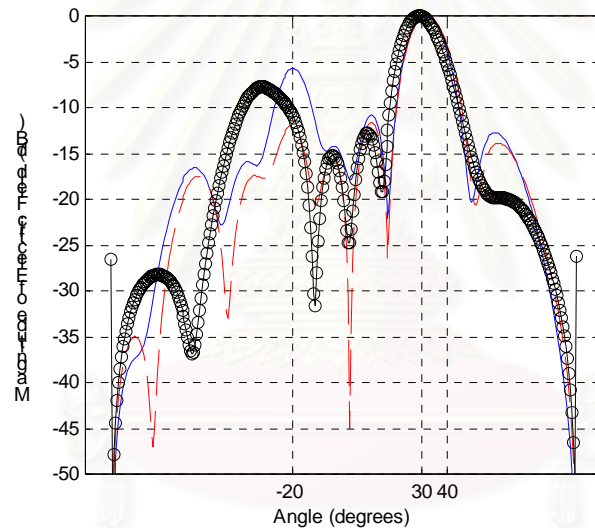
รูป 3.20 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 16 โดยการ  
ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว (--) เมื่อรวมผลมิวชวลด์ป  
ปลิง เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) เมื่อรวม  
ผลมิวชวลด์ปปลิง และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 0.5

ตารางที่ 3.19 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 16 ของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
ดัชนีความเก่ง	0.5612	6.6002

จะเห็นได้จากตารางที่ 3.19 ว่าในกรณีนี้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ มีค่าดัชนีความถี่ความถี่สูงกว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว ก็เพราะว่าในกรณีนี้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบสามารถหันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการ และสามารถลดผลของสัญญาณรบกวนในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดทั้ง 2 ได้ดีกว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว

กรณีที่ 17 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ -20 องศา และทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1 และสัญญาณแทรกสอดที่ 2 คือ 30 และ 40 องศา ตามลำดับ ซึ่งเหมือนกับกรณีที่ 16 แต่ต่างกันที่ขนาดของสัญญาณแทรกสอดนั้นมีค่าเท่ากับขนาดของสัญญาณที่ต้องการ



รูป 3.21 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศถี่สูงเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 17 โดยการ ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว (--) เมื่อรวมผลมีขวลค้ปปลิง เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) เมื่อรวมผลมีขวลค้ปปลิง และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1

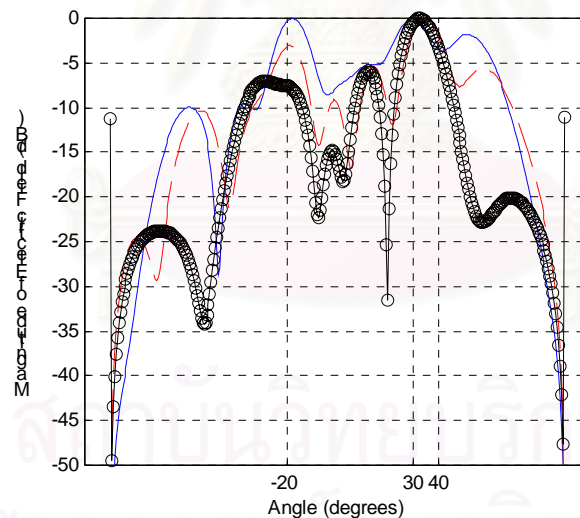
ตารางที่ 3.20 ดัชนีความถี่ความถี่ในกรณีที่ 17 ของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
ดัชนีความถี่	0.1970	0.5613

จะเห็นได้จากรูป 3.21 ว่าในกรณีนี้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบและสภาวะสงบ ไม่สามารถหันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้เลย เมื่อสังเกตที่ทิศทางของสัญญาณที่ต้องการ -20 องศาจะพบว่าสภาวะสงบนั้นมีระดับสัญญาณในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการสูงที่สุด

จะเห็นได้จากตารางที่ 3.20 ว่าในกรณีนี้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวและสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบนั้นมีค่าดัชนีความเก่งน้อยกว่า 1 แสดงว่าในกรณีนี้สภาวะสงบสามารถก่อรูปลำคลื่นได้ดีกว่า

กรณีที่ 18 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ -20 องศา และทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1 และสัญญาณแทรกสอดที่ 2 คือ 30 และ 40 องศา ตามลำดับ ซึ่งเหมือนกับกรณีที่ 16 และกรณีที่ 17 แต่ต่างกันที่ขนาดของสัญญาณแทรกสอดนั้นมีค่าเป็น 10 เท่า ของสัญญาณที่ต้องการซึ่งคิดเป็น 10 เดซิเบล



รูป 3.22 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 18 โดยการ  
ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว (--) เมื่อรวมผลมิววลด์บ์  
ปลิง เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) เมื่อรวม  
ผลมิววลด์บ์ปลิง และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10



จะเห็นได้จากรูป 3.22 ว่าในกรณีนี้เมื่อเพิ่มขนาดของสัญญาณแทรกสอดให้เป็น 10 เท่าของสัญญาณที่ต้องการแล้ว จะมีเพียงสภาวะสงบเท่านั้นที่สามารถหันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการ ส่วนสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว และสภาวะสงบนั้นหันพู่รองให้กับทิศทางของสัญญาณที่ต้องการ

ตารางที่ 3.21 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 18 ของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

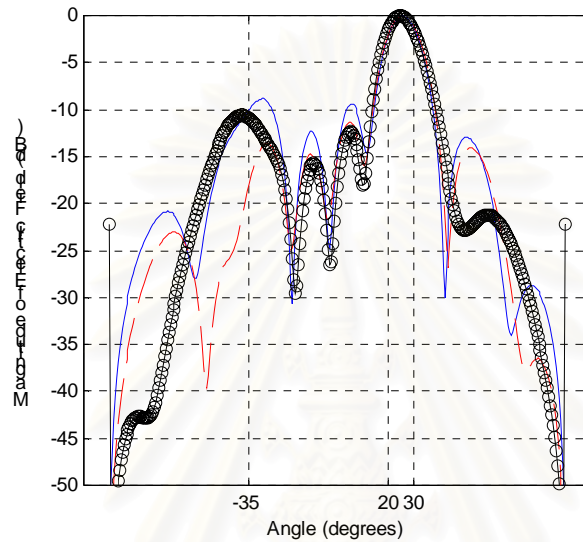
	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
ดัชนีความเก่ง	-1.0644	-15.8099

จะเห็นได้จากตารางที่ 3.21 ว่าในกรณีนี้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวมีค่าดัชนีความเก่งมากกว่า สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบมาก เนื่องจากสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวมีระดับสัญญาณในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการสูงกว่ากรณีที่ใช้ สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ และมีความสามารถในการลดผลของสัญญาณแทรกสอดในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดทั้งสองได้ใกล้เคียงกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

กรณีที่ 19 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ 30 องศา และทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1 และสัญญาณแทรกสอดที่ 2 คือ 20 และ -35 องศา ตามลำดับ โดยมีขนาดของสัญญาณแทรกสอดเป็น 0.5 เท่าของสัญญาณที่ต้องการซึ่งคิดเป็น -3 เดซิเบล

จะเห็นได้จากรูป 3.23 ว่าในกรณีนี้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบและสภาวะสงบนั้นหันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้ผิดพลาดใกล้เคียงกันคือประมาณ 5 องศา และมีความสามารถในการลดผลของสัญญาณแทรกสอดในทิศทาง 20 องศาได้ใกล้เคียงกัน แต่ในทิศทาง -35 องศาสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว มีความสามารถในการลดผลของสัญญาณแทรกสอดมากกว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบและสภาวะสงบ

จะเห็นได้จากตารางที่ 3.22 ว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว มีค่าดัชนีความถี่มากกว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบเนื่องจาก สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวสามารถลดผลของสัญญาณแทรกสอดในทิศทาง  $-35$  องศาได้มากกว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ



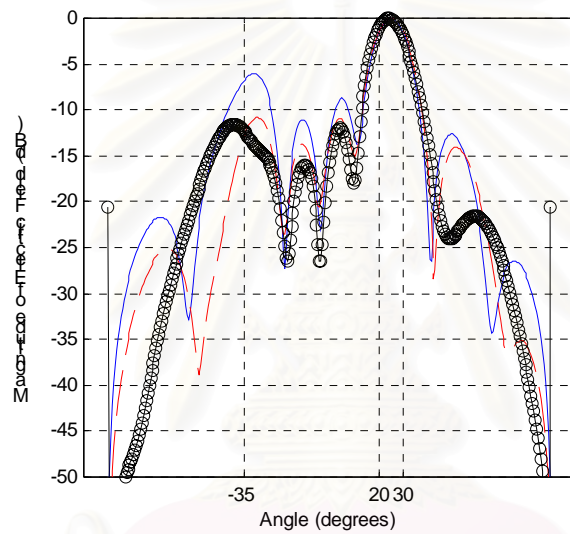
รูป 3.23 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศถี่เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 19 โดยการ ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว (--) เมื่อรวมผลมีขวลคัปปลิง เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) เมื่อรวมผลมีขวลคัปปลิง และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 0.5

ตารางที่ 3.22 ดัชนีความถี่ในกรณีที่ 19 ของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
ดัชนีความถี่	3.5871	-2.3040

กรณีที่ 20 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ 30 องศา และทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1 และสัญญาณแทรกสอดที่ 2 คือ 20 และ  $-35$  องศา ตามลำดับ ซึ่งเหมือนกับกรณีที่ 19 แต่ต่างกันที่ขนาดของสัญญาณแทรกสอดนั้นมีค่าเท่ากับขนาดของสัญญาณที่ต้องการ

จะเห็นได้จากรูป 3.24 ว่าในกรณีนี้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว และสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบมีความสามารถในการหันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการ และมีความสามารถในการลดผลของสัญญาณแทรกสอดในทิศทาง 20 องศาได้ใกล้เคียงกัน เหมือนกับกรณีที่ 19 แต่ในทิศทาง -35 องศาของกรณีที่ 20 สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวมีความสามารถในการลดผลของสัญญาณแทรกสอดแยกว่าในกรณีที่ 19 ประมาณ 5 เดซิเบล และสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบมีความสามารถในการลดผลของสัญญาณแทรกสอดได้ดีกว่ากรณีที่ 19 ประมาณ 2 เดซิเบล



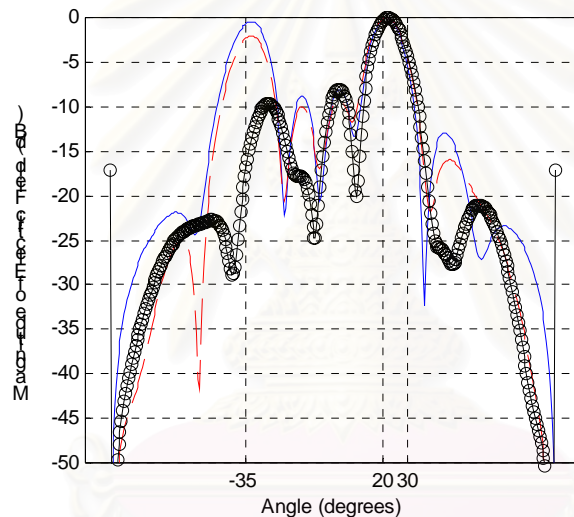
รูป 3.24 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 20 โดยการ  
ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว (--) เมื่อรวมผลมิววลด์  
ปลิง เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) เมื่อรวม  
ผลมิววลด์ปลิง และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1

ตารางที่ 3.23 ดัชนีความแ่งในกรณีที่ 20 ของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
ดัชนีความแ่ง	1.5581	0.9997

จะเห็นได้จากตารางที่ 3.23 ว่าในกรณีนี้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวมีค่าดัชนีความถี่มากกว่ากรณีที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ แต่สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบมีค่าดัชนีความถี่มากกว่ากรณีที่ 19 ถึงแม้ว่าขนาดของสัญญาณแทรกสอดจะเพิ่มขึ้น

กรณีที่ 21 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ 30 องศา และทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1 และสัญญาณแทรกสอดที่ 2 คือ 20 และ -35 องศา ตามลำดับ ซึ่งเหมือนกับกรณีที่ 19 และกรณีที่ 20 แต่ต่างกันที่ขนาดของสัญญาณแทรกสอดนั้นมีค่าเป็น 10 เท่าของสัญญาณที่ต้องการซึ่งคิดเป็น 10 เดซิเบล



รูป 3.25 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว (--). เมื่อรวมผลมีขั้วคลื่นปดิ่งเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) เมื่อรวมผลมีขั้วคลื่นปดิ่ง และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10

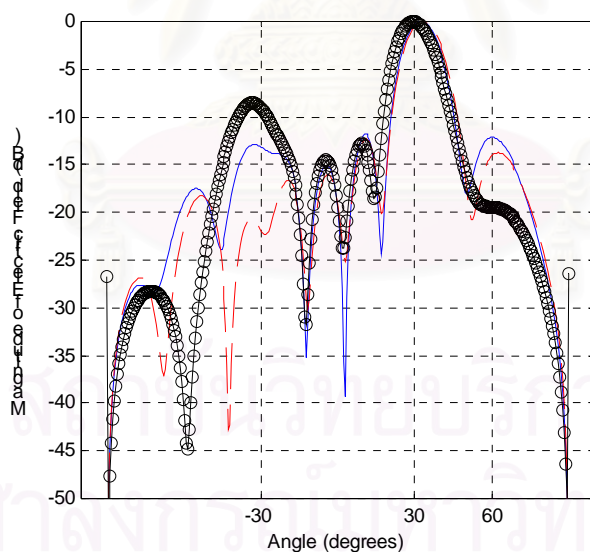
จะเห็นได้จากรูป 3.25 ว่าในกรณีนี้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบและสภาวะสงบ หันพู่หลักได้ผิดพลาดไปในทิศทางการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบเท่านั้นที่สามารถลดผลของสัญญาณแทรกสอดได้มากที่สุด

ตารางที่ 3.24 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 21 ของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
ดัชนีความเก่ง	1.0403	1.2087

จะเห็นได้จากตารางที่ 3.24 ว่าในกรณีนี้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบมีค่าดัชนีความเก่งมากกว่า กรณีที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว เนื่องจากกรณีนี้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบสามารถลดผลของสัญญาณแทรกสอดในทิศทาง  $-35$  องศาได้มากกว่ากรณีที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวประมาณ 15 เดซิเบล

กรณีที่ 22 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ 30 องศา และทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1 และสัญญาณแทรกสอดที่ 2 คือ 60 และ  $-30$  องศา ตามลำดับ โดยมีขนาดของสัญญาณแทรกสอดเป็น 0.5 เท่าของสัญญาณที่ต้องการซึ่งคิดเป็น  $-3$  เดซิเบล



รูป 3.26 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 22 โดยการ  
ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว (—) เมื่อรวมผลมิววลด์บ์  
ปลิง เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) เมื่อรวม  
ผลมิววลด์บ์ปลิง และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า  $I/S$  เท่ากับ 0.5

ตารางที่ 3.25 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 22 ของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
ดัชนีความเก่ง	1.1482	1.7139

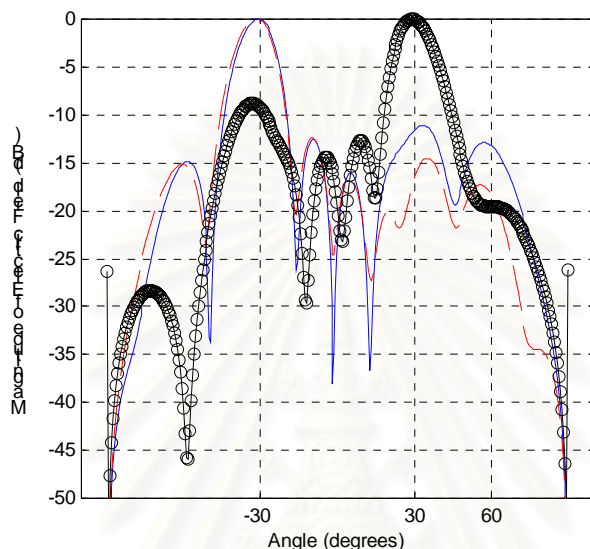
จะเห็นได้จากรูป 3.26 ว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบและสภาวะสงบสามารถหันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้ถูกต้อง แต่ในทิศทางของสัญญาณแทรกสอด 60 องศา นั้น สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบสามารถลดผลของสัญญาณแทรกสอดได้มากที่สุด แต่ในทิศทาง 30 องศาไม่สามารถลดผลของสัญญาณแทรกสอดได้มากเท่ากับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวและสภาวะสงบ

จะเห็นได้จากตารางที่ 3.25 ว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบมีค่าดัชนีความเก่งมากกว่ากรณีที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว และจะเห็นว่าทั้งสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว และสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบสามารถก่อรูปลำคลื่นได้ดีกว่าสภาวะสงบ

กรณีที่ 23 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ 30 องศา และทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1 และสัญญาณแทรกสอดที่ 2 คือ 60 และ -30 องศา ตามลำดับ ซึ่งเหมือนกับกรณีที่ 22 แต่ต่างกันที่ขนาดของสัญญาณแทรกสอดนั้นมีค่าเท่ากับขนาดของสัญญาณที่ต้องการ

จะเห็นได้จากรูป 3.27 ว่าเมื่อเพิ่มขนาดของสัญญาณแทรกสอดจากกรณีที่ 22 ให้มีขนาดเท่ากับขนาดของสัญญาณที่ต้องการแล้ว จะมีเพียงสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบเท่านั้นที่สามารถหันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการ และสามารถลดผลของสัญญาณแทรกสอดในทั้ง 2 ทิศทางของสัญญาณแทรกสอดได้

จะเห็นได้จากตารางที่ 3.26 ว่าในกรณีนี้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบมีค่าดัชนีความถี่มากกว่า กรณีที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว และยังมีค่าดัชนีความถี่มากกว่ากรณีที่ 22 ถึงแม้จะมีขนาดของสัญญาณแทรกสอดเพิ่มขึ้น



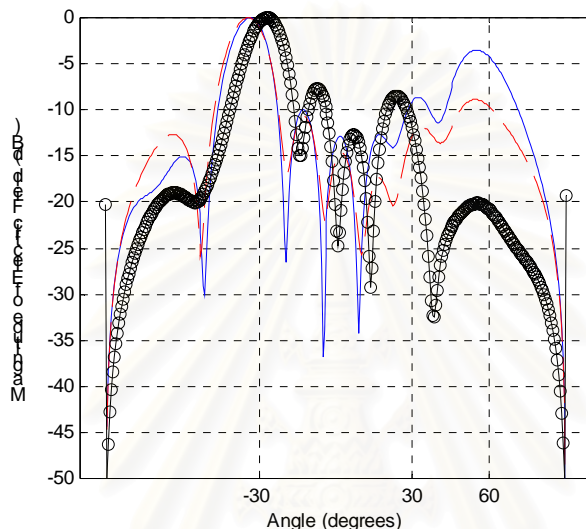
รูป 3.27 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศถี่เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 23 โดยการ  
ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว (--) เมื่อรวมผลมิลิววลด์  
ปลิง เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) เมื่อรวม  
ผลมิลิววลด์ปลิง และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1

ตารางที่ 3.26 ดัชนีความถี่ในกรณีที่ 23 ของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
ดัชนีความถี่	0.8243	7.4380

กรณีที่ 24 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ 30 องศา และทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1 และสัญญาณแทรกสอดที่ 2 คือ 60 และ -30 องศา ตามลำดับ ซึ่งเหมือนกับกรณีที่ 22 และกรณีที่ 23 แต่ต่างกันที่ขนาดของสัญญาณแทรกสอดนั้นมีค่าเป็น 10 เท่าของสัญญาณที่ต้องการซึ่งคิดเป็น 10 เดซิเบล

จะเห็นได้จากรูป 3.28 ว่าในกรณีนี้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบและสภาวะสงบ ไม่สามารถหันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้เลย ล้วนแต่หันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดในทิศ -30 องศา และหันพู่รองให้กับทิศทางของสัญญาณแทรกสอดในทิศ -60 องศา และหันพู่รองให้กับทิศทางของสัญญาณที่ต้องการในทิศ 30 องศา



รูป 3.28 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 24 โดยการ  
ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว (--) เมื่อรวมผลมีวชวลคัปล  
ปลิง เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) เมื่อรวม  
ผลมีวชวลคัปลิง และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10

ตารางที่ 3.27 ดัชนีความแ่งในกรณีที่ 24 ของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
ดัชนีความแ่ง	0.9382	0.4648

จะเห็นได้จากตารางที่ 3.27 ว่าในกรณีนี้เมื่อให้ขนาดของสัญญาณแทรกสอดเป็น 10 เท่าของสัญญาณที่ต้องการแล้ว สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวจะมีค่าดัชนีความแ่งมากกว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบและนอกจากนี้จะเห็นว่าสภาวะสงบสามารถก่อรูปลำคลื่นได้ดีกว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนว



การวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวและสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

ตารางที่ 3.28 สรุปค่าดัชนีความถี่ของการคำนวณจำลองแบบของสถานการณ์ต่างๆ ทั้ง 24 กรณี

กรณี	$DOA_d$	$l_1$	$l_2$	I/S	ดัชนีความถี่	
					สายอากาศ แถวลำดับที่ มีแนวการ วางตัวของ องค์ประกอบ แบบเดี่ยว	สายอากาศ แถวลำดับที่ มีแนวการ วางตัวของ องค์ประกอบ หลายแบบ
1	0	20	-40	0.5	1.2783	2.6731
2	0	20	-40	1	0.9175	5.9582
3	0	20	-40	10	0.9948	1.2012
4	0	30	-30	0.5	1.4999	2.5352
5	0	30	-30	1	0.9625	7.8786
6	0	30	-30	10	1.0005	0.9995
7	20	40	-60	0.5	1.7668	2.2417
8	20	40	-60	1	1.0357	4.6484
9	20	40	-60	10	0.8876	-2.9520
10	20	30	-30	0.5	0.9719	3.4854
11	20	30	-30	1	0.9893	2
12	20	30	-30	10	1.0030	1.2566
13	-20	0	60	0.5	-8.5857	1.0312
14	-20	0	60	1	0.9496	0.4369
15	-20	0	60	10	0.5585	0.8744
16	-20	30	40	0.5	0.5612	6.6002
17	-20	30	40	1	0.1970	0.5613
18	-20	30	40	10	-1.0644	-15.8099
19	30	20	-35	0.5	3.5871	-2.3040
20	30	20	-35	1	1.5581	0.9997

ตารางที่ 3.28 สรุปค่าดัชนีความเก่งของการคำนวณจำลองแบบของสถานการณ์  
ต่างๆทั้ง 24 กรณี (ต่อ)

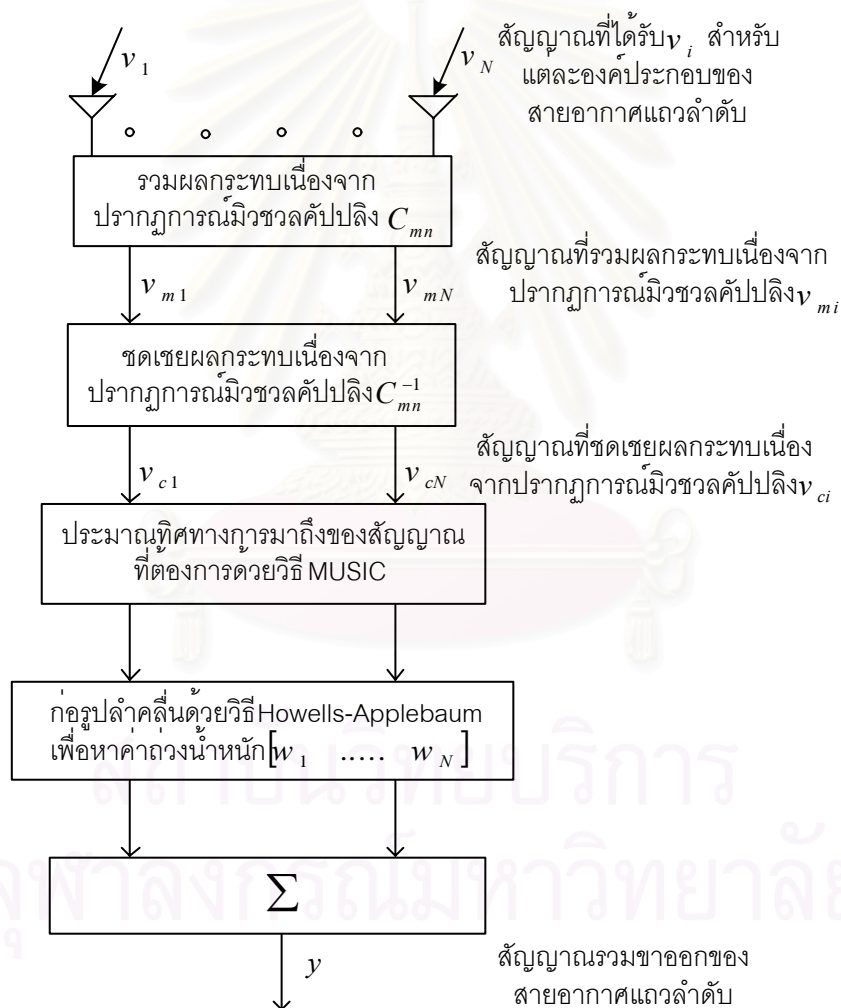
กรณี	$DOA_d$	$I_1$	$I_2$	I/S	ดัชนีความเก่ง	
					สายอากาศ แถวลำดับที่ มีแนวการ วางตัวของ องค์ประกอบ แบบเดียว	สายอากาศ แถวลำดับที่ มีแนวการ วางตัวของ องค์ประกอบ หลายแบบ
21	30	20	-35	10	1.0403	1.2087
22	30	60	-30	0.5	1.1482	1.7139
23	30	60	-30	1	0.8243	7.4380
24	30	60	-30	10	0.9382	0.4648

จะเห็นได้จากตารางที่ 3.28 ว่าในการคำนวณจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ และใช้ขั้นตอนวิธีการก่อรูปลำดับชั้นแบบ Howells-Applebaum นั้น 17 กรณีของสถานการณ์ทั้งหมด 24 กรณีมีค่าดัชนีความเก่งมากกว่ากรณีที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว และอีก 7 กรณีของสถานการณ์ทั้งหมด 24 กรณีที่ไม่สามารถก่อรูปลำดับชั้นให้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบมีค่าดัชนีความเก่งมากกว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว คือในกรณีที่ 6 ,9 ,14 ,18 ,19 ,20 และ 24 ซึ่งทั้ง 7 กรณีนี้เมื่อสังเกตจะพบว่าทั้ง 7 กรณีล้วนแล้วแต่ไม่สามารถหันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้ทั้งสิ้น แต่หันพู่รองหรือตำแหน่งศูนย์ให้กับทิศทางของสัญญาณที่ต้องการ ดังนั้นจึงทำให้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวมีค่าดัชนีความเก่งมากกว่า

### 3.3 การชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิววลด์บปลิง

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงการคำนวณจำลองแบบสายอากาศเก่งที่ชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิววลด์บปลิง โดยจะเปรียบเทียบสมรรถนะในการชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิววลด์บปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์ และวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด โดยใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว และใช้ขั้นตอนวิธีการก่อรูปลำดับชั้นแบบ Howells-Applebaum โดยสุ่มตัวอย่างสัญญาณจำนวน 250 ตัวอย่างซึ่งใช้ดัชนีความเก่งดังสมการ (2.105) ในบทที่ 2 เป็นตัวชี้วัดสมรรถนะสายอากาศเก่งในสถานการณ์

ต่างๆ โดยกำหนดให้สายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวเมื่อไม่รวมผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงเป็นสายอากาศเก่งในสภาวะสงบ และให้สายอากาศเก่งที่ชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์ และวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุดเป็นสายอากาศเก่งในสภาวะที่มีสัญญาณแทรกสอด การคำนวณจำลองแบบจะจำลองสถานการณ์ทั้งหมด 24 กรณีเหมือนกับการคำนวณจำลองแบบในหัวข้อที่ 3.2 ซึ่งรายละเอียดสำหรับแต่ละกรณีจะเป็นดังตารางที่ 3.3 และกระบวนการในการชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์ และวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุดจะเป็นดังรูป 3.29



รูป 3.29 กระบวนการชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิง

เมื่อขาดเซย์ผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มีวชวลค้ปดลิ่งตามกระบวนการดั่งรูป 3.29 แล้ว จะได้สมรรถนะของสายอากาศเก่งเมื่อขาดเซย์ผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มีวชวลค้ปดลิ่ง ทั้ง 24 กรณีน้ในรูปด้ชนีความเก่งดั่งตารางที่ 3.29 และแบบรูปการแผ่พลังงานดั่งแสดงไว้ในภาคผนวก ข

ตารางที่ 3.29 สรุปค่าด้ชนีความเก่งของการคำนวณจำลองแบบของสถานการณ์ต่างๆทั้ง 24 กรณีน้

เมื่อขาดเซย์ผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มีวชวลค้ปดลิ่ง

กรณีน้	I/S	ด้ชนีความเก่ง		
		สายอากาศแถวล้ดบที่รวมผลมีวชวลค้ปดลิ่ง	สายอากาศแถวล้ดบที่ชดเซย์มีวชวลค้ปดลิ่งด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์	สายอากาศแถวล้ดบที่ชดเซย์มีวชวลค้ปดลิ่งด้วยวิธีผลเจดลยก้ล้งสองน้อยที่ล้ด
1	0.5	1.2783	2.0401	0.2473
2	1	0.9175	5.5875	1.0401
3	10	0.9948	1.1365	0.9762
4	0.5	1.4999	3.1577	-0.0598
5	1	0.9625	7.5638	1.1171
6	10	1.0005	0.9698	1.0299
7	0.5	1.7668	5.0774	0.4618
8	1	1.0357	5.9849	1.6167
9	10	0.8876	0.9025	1.0501
10	0.5	0.9719	1.1585	-11.7934
11	1	0.9893	1.0849	-1.0942
12	10	1.0030	1.0102	1.0049
13	0.5	-8.5857	2.8983	0.1578
14	1	0.9496	1.6375	1.1473
15	10	0.5585	0.8736	0.4489
16	0.5	0.5612	0.2523	1.8693
17	1	0.1970	-0.8482	2.6543
18	10	-1.0644	-27.9127	15.6380
19	0.5	3.5871	20.4451	-138.3084

ตารางที่ 3.29 สรุปค่าดัชนีความเก่งของการคำนวณจำลองแบบของสถานการณ์ต่างๆทั้ง 24 กรณี เมื่อชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวฮวลด์ปลิง (ต่อ)

กรณี	I/S	ดัชนีความเก่ง		
		สายอากาศแถวลำดับที่รวมผลมิวฮวลด์ปลิง	สายอากาศแถวลำดับที่ชดเชยมิวฮวลด์ปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์	สายอากาศแถวลำดับที่ชดเชยมิวฮวลด์ปลิงด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด
20	1	1.5581	3.7006	-2.5949
21	10	1.0403	1.6509	0.9908
22	0.5	1.1482	2.0017	0.0624
23	1	0.8243	7.7065	1.2666
24	10	0.9382	-0.3525	0.9998

จะเห็นได้จากตารางที่ 3.29 ว่าเมื่อชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวฮวลด์ปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์ และใช้ขั้นตอนวิธีการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum แล้ว 19 กรณีของสถานการณ์ทั้งหมด 24 กรณีที่เมื่อชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวฮวลด์ปลิงแล้วได้สายอากาศเก่งที่มีค่าดัชนีความเก่งมากกว่ากรณีที่ไม่ชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวฮวลด์ปลิง หรือได้สายอากาศเก่งที่มีสมรรถนะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวฮวลด์ปลิงด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุดแล้ว วิธีนี้มีเพียง 11 กรณีของสถานการณ์ทั้งหมด 24 กรณีเท่านั้นที่เมื่อชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวฮวลด์ปลิงแล้วได้สายอากาศเก่งที่มีค่าดัชนีความเก่งมากกว่ากรณีที่ไม่ชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวฮวลด์ปลิง หรือได้สายอากาศเก่งที่มีสมรรถนะเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าวิธีการชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวฮวลด์ปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์ มีสมรรถนะในการชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวฮวลด์ปลิงที่ดีกว่าวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด

### 3.4 สรุป

1. จากการจำลองสถานการณ์ในการคำนวณจำลองแบบทั้ง 24 กรณีเมื่อไม่ชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวฮวลด์ปลิง ทำให้ทราบว่าสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ สามารถก่อรูปลำคลื่นแล้วทำให้สายอากาศเก่งมีค่าดัชนีความเก่งมากกว่ากรณีที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบ

เดียว หรือสามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะให้กับสายอากาศเก่งได้ แต่ก็ไม่ทุกสถานการณ์ของการจำลองแบบที่การใช้แนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบสามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะให้กับสายอากาศเก่งได้ ซึ่งจะเห็นได้จากตารางที่ 3.28 17 กรณีของสถานการณ์ทั้งหมด 24 กรณีที่สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบมีค่าดัชนีความเก่งมากกว่ากรณีที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว และอีก 7 กรณีของสถานการณ์ทั้งหมด 24 กรณีที่ไม่สามารถก่อรูปลำดับขึ้นให้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ มีค่าดัชนีความเก่งมากกว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว คือในกรณีที่ 6 ,9 ,14 ,18 ,19 ,20 และ24 ซึ่งทั้ง 7 กรณีนี้จะพบว่าสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบนั้น ไม่สามารถหันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้ แต่หันพู่รองหรือตำแหน่งศูนย์ให้กับทิศทางของสัญญาณที่ต้องการดังนั้นจึงทำให้ได้สมรรถนะที่ไม่ดี

เนื่องจากในวิทยานิพนธ์นี้ใช้ขั้นตอนวิธีก่อรูปลำดับขึ้นแบบ Howells-Applebaum ซึ่งขั้นตอนวิธีก่อรูปลำดับขึ้นวิธีนี้จำเป็นต้องทราบทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการ ดังนั้นจะเห็นว่าหัวใจสำคัญของขั้นตอนวิธีก่อรูปลำดับขึ้นวิธีนี้อยู่ที่การประมาณทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการ ถ้าประมาณทิศทางได้ถูกต้องก็จะทำให้สายอากาศเก่งหันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้ถูกต้องทำให้ได้สมรรถนะที่ดี ทั้ง 7 กรณีที่ไม่สามารถก่อรูปลำดับขึ้นให้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ มีค่าดัชนีความเก่งมากกว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวนั้นขึ้นอยู่กับสมรรถนะของขั้นตอนวิธีก่อรูปลำดับขึ้นด้วย ถ้าสามารถก่อรูปลำดับขึ้นให้สายอากาศเก่งหันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้ถูกต้องทั้ง 7 กรณี ก็อาจจะทำให้ได้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ มีค่าดัชนีความเก่งมากกว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว

2. การจำลองสถานการณ์ในการคำนวณจำลองแบบทั้ง 24 กรณีที่ชัดเจนผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวซอลด์ปลิง ด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์และใช้ขั้นตอนวิธีก่อรูปลำดับขึ้นแบบ Howells-Applebaum พบว่า 19 กรณีของสถานการณ์ทั้งหมด 24 กรณีที่เมื่อชัดเจนผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวซอลด์ปลิงแล้วได้สายอากาศเก่งที่มีค่าดัชนีความเก่งมากกว่ากรณีที่มิชัดเจนผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวซอลด์ปลิง หรือได้สายอากาศเก่งที่มีสมรรถนะเพิ่มขึ้นซึ่งต่างกับกรณีที่ชัดเจนผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวซอลด์ปลิง ด้วยวิธีวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุดซึ่งมีเพียง 11 ของสถานการณ์ทั้งหมด 24 กรณีที่เมื่อชัดเจนผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวซอลด์ปลิงแล้วได้สายอากาศเก่งที่มีค่าดัชนีความเก่งมากกว่า กรณีที่ไม่ชัดเจน

ผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวซอลด์ปลิง เมื่อพิจารณาผลการคำนวณจำลองแบบในภาคผนวก ก จะเห็นว่าเมื่อใช้วิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์ในการชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวซอลด์ปลิงแล้ว ในบางกรณีเช่นกรณีที่ 2 ,3 ,5 และ8 สายอากาศเก่งสามารถก่อรูปลำคลื่นเพื่อหันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้แม่นยำกว่ากรณีสงบ และยังบอกความหมายโดยนัยว่าเมื่อใช้วิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์ในการชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวซอลด์ปลิงแล้ว ทำให้สามารถประมาณทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการได้แม่นยำมากขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวซอลด์ปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์ มีประสิทธิภาพในการชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวซอลด์ปลิงที่ดีกว่าวิธีวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดสอบสมรรถนะตัวจำลองแบบสายอากาศแก่ง

บทนี้กล่าวถึงการสร้างตัวจำลองแบบสายอากาศแก่งเพื่อทดสอบสมรรถนะในการปรับเปลี่ยนลำคลื่นไปตามสถานการณ์ที่กำหนด สายอากาศที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นส่วนหนึ่งของตัวจำลองแบบจะมีอยู่ 2 ชุด คือสายอากาศแถวลำดับที่มีองค์ประกอบเป็นสายอากาศชั่วคราวจำนวน 8 องค์ประกอบวางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็ก และอีกชุดหนึ่งวางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ซึ่งจะแสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 4.1 และผู้วิจัยใช้โปรแกรม MATLAB รุ่น 5.3 ในการประมวลผลสัญญาณ ส่วนอุปกรณ์และสถานที่สำหรับใช้ในการทดสอบตัวจำลองแบบรวมถึงขั้นตอนในการทดสอบตัวจำลองแบบจะกล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.2 ส่วนการทดสอบสมรรถนะของตัวจำลองแบบในวิทยานิพนธ์นี้ได้สร้างสถานการณ์ที่มีความหลากหลายของทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการ และสัญญาณแทรกสอด และขนาดของสัญญาณแทรกสอดเมื่อเทียบกับสัญญาณที่ต้องการทั้งหมด 6 กรณี ผลการทดสอบสมรรถนะของตัวจำลองแบบจะอยู่ในรูปของแบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วม และค่าดัชนีความแก่งโดยใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum การทดสอบนี้จะเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวจำลองแบบระหว่างสายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวกับสายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ เมื่อสายอากาศแถวลำดับวางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็ก และระนาบดินขนาดใหญ่ซึ่งจะกล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.3 ในหัวข้อที่ 4.4 จะกล่าวถึงการเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างตัวจำลองแบบเมื่อสายอากาศแก่งใช้สายอากาศแถวลำดับวางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ กับการคำนวณจำลองแบบเมื่อสายอากาศแก่งใช้สายอากาศแถวลำดับวางอยู่บนระนาบดินอนันต์ เพื่อที่จะศึกษาว่าจะสามารถใช้สายอากาศแถวลำดับที่วางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ประมาณให้เทียบเคียงเป็นสายอากาศแถวลำดับที่วางอยู่บนระนาบดินอนันต์ได้หรือไม่ และในหัวข้อที่ 4.5 จะกล่าวถึงการชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิววลด์คัปปลิงของตัวจำลองแบบ เมื่อสายอากาศแก่งใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียววางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็ก และระนาบดินขนาดใหญ่ โดยจะเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีการชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิววลด์คัปปลิงระหว่างวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์ และวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด บทสรุปจะอยู่ในหัวข้อที่ 4.6



#### 4.1 สายอากาศที่ใช้ทำตัวจำลองแบบ

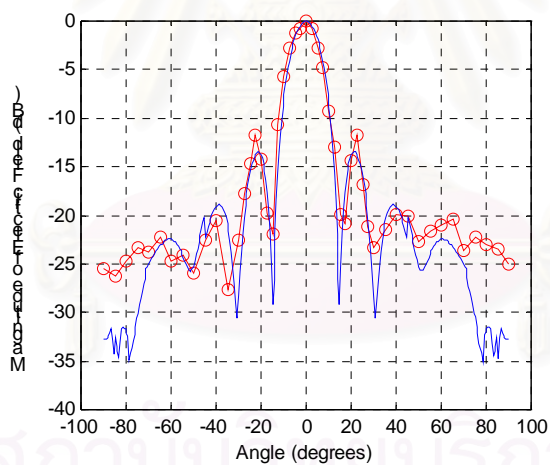
ดังที่กล่าวไปข้างต้นว่าสายอากาศเก่งที่ใช้เป็นตัวจำลองแบบในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้สายอากาศแถวลำดับ 2 ชุด คือสายอากาศแถวลำดับที่มีองค์ประกอบเป็นสายอากาศขั้วคู่จำนวน 8 องค์ประกอบวางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็ก และอีกชุดหนึ่งวางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ ผู้วิจัยได้สร้างสายอากาศขั้วคู่ขึ้นจำนวน 8 ตัวทำงานที่ความถี่ 1 GHz สายอากาศแต่ละตัวยาว 0.5 เท่าของความยาวคลื่นโดยใช้ลวดเงินผสมทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.2 เซนติเมตร สายอากาศขั้วคู่แต่ละตัวจะวางอยู่ห่างจากระนาบดิน 7.5 เซนติเมตร หรือ 0.25 เท่าของความยาวคลื่น และสร้างระนาบดินโดยใช้แผ่นอลูมิเนียมซึ่งระนาบดินขนาดเล็กมีขนาด กว้าง 0.15 เมตร ยาว 1.2 เมตร และระนาบดินขนาดใหญ่มีขนาด กว้าง 0.3 เมตร ยาว 1.575 เมตร โดยที่การออกแบบขนาดของระนาบดินของสายอากาศแถวลำดับนั้นในวิทยานิพนธ์นี้ใช้โปรแกรม SuperNEC ช่วยในการออกแบบ รายละเอียดของการออกแบบขนาดของระนาบดินของสายอากาศแถวลำดับจะกล่าวอย่างละเอียดในภาคผนวก ค ส่วนภาพของสายอากาศแถวลำดับที่วางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็กที่ได้สร้างขึ้นแสดงไว้ในรูป 4.1 ภาพของสายอากาศแถวลำดับที่วางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ที่ได้สร้างขึ้นแสดงไว้ในรูป 4.2 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับที่วางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็กที่ได้สร้างขึ้นแสดงไว้ในรูป 4.3 และแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับที่วางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ที่ได้สร้างขึ้นแสดงไว้ในรูป 4.4 ผู้วิจัยได้วัดแบบรูปการแผ่พลังงาน ณ สนามฟุตบอลของคณะรัฐศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 4.1 สายอากาศแถวลำดับที่มีองค์ประกอบเป็นสายอากาศขั้วคู่จำนวน 8 องค์ประกอบทำงานที่ความถี่ 1 GHz วางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็ก และป้อนกำลังด้วยสายส่งแบบแกนร่วม

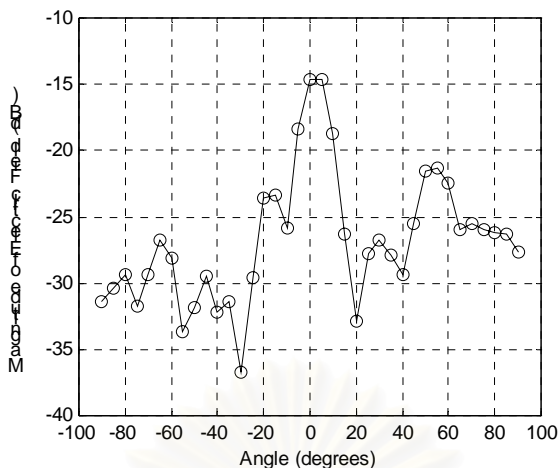


รูป 4.2 สายอากาศแถวลำดับที่มีองค์ประกอบเป็นสายอากาศขั้วคู่จำนวน 8 องค์ประกอบทำงานที่ความถี่ 1 GHz วางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ และป้อนกำลังด้วยสายส่งแบบแกนร่วม

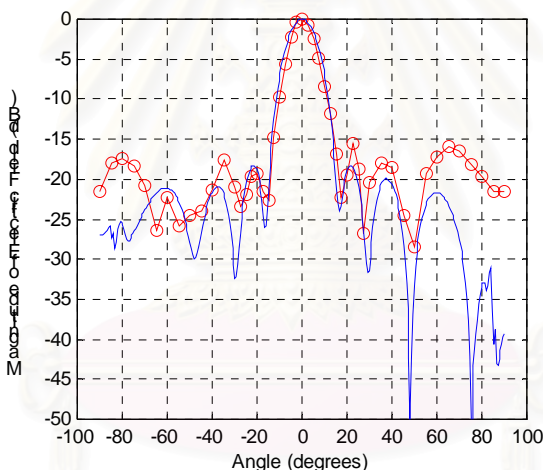


- ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมบนระนาบ  $\phi = 0^\circ$  เมื่อสายอากาศแถวลำดับมีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว โดยเปรียบเทียบระหว่างตัวจำลองแบบ (-o) กับผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม SuperNEC (-)

รูป 4.3 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับที่มีองค์ประกอบเป็นสายอากาศขั้วคู่จำนวน 8 องค์ประกอบวางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็ก

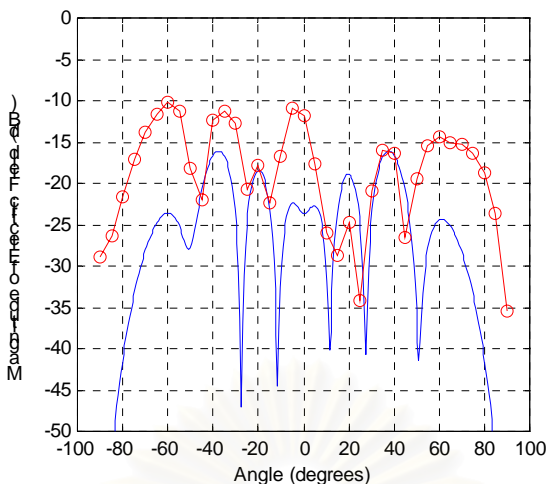


ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันไซรับระยะนาบ  $\varphi = 0^\circ$  เมื่อสายอากาศแถวลำดับมีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวของตัวจำลองแบบ (-o)



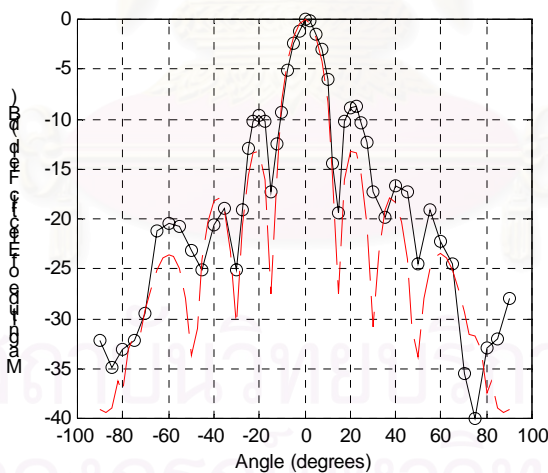
ค) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมระยะนาบ  $\varphi = 0^\circ$  เมื่อสายอากาศแถวลำดับมีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ โดยเปรียบเทียบระหว่างตัวจำลองแบบ (-o) กับผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม SuperNEC (-)

รูป 4.3 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับที่มีองค์ประกอบเป็นสายอากาศขั้วคู่จำนวน 8 องค์ประกอบวางอยู่บนระยะนาบดินขนาดเล็ก (ต่อ)



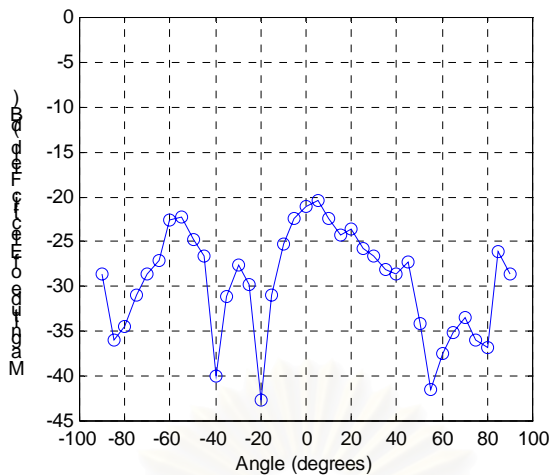
ง) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันไซร์บิรระนาบ  $\phi = 0^\circ$  เมื่อสายอากาศแถวลำดับมีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ โดยเปรียบเทียบระหว่างตัวจำลองแบบ (-o) กับผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม SuperNEC (-)

รูป 4.3 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับที่มีองค์ประกอบเป็นสายอากาศขั้วคู่จำนวน 8 องค์ประกอบวางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็ก (ต่อ)

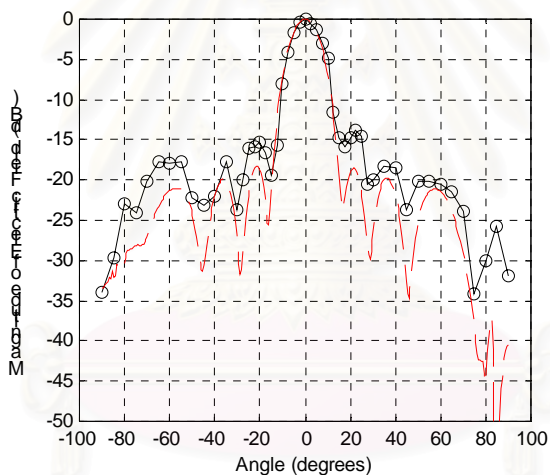


ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมบนระนาบ  $\phi = 0^\circ$  เมื่อสายอากาศแถวลำดับมีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว โดยเปรียบเทียบระหว่างตัวจำลองแบบ (-o) กับผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม SuperNEC (-)

รูป 4.4 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับที่มีองค์ประกอบเป็นสายอากาศขั้วคู่จำนวน 8 องค์ประกอบวางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่

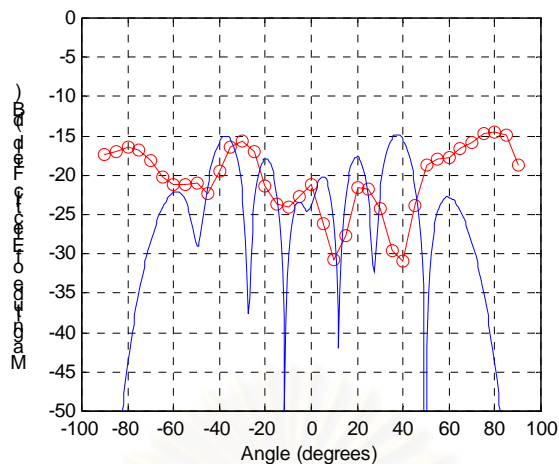


ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันไซรับระยะนาบ  $\varphi = 0^\circ$  เมื่อสายอากาศแถวลำดับมีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวของตัวจำลองแบบ (-o)

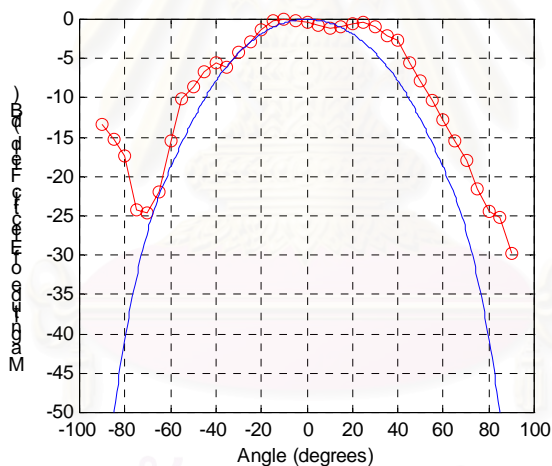


ค) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมระยะนาบ  $\varphi = 0^\circ$  เมื่อสายอากาศแถวลำดับมีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ โดยเปรียบเทียบระหว่างตัวจำลองแบบ (-o) กับผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม SuperNEC (-)

รูป 4.4 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับที่มีองค์ประกอบเป็นสายอากาศขั้วคู่จำนวน 8 องค์ประกอบวางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ (ต่อ)

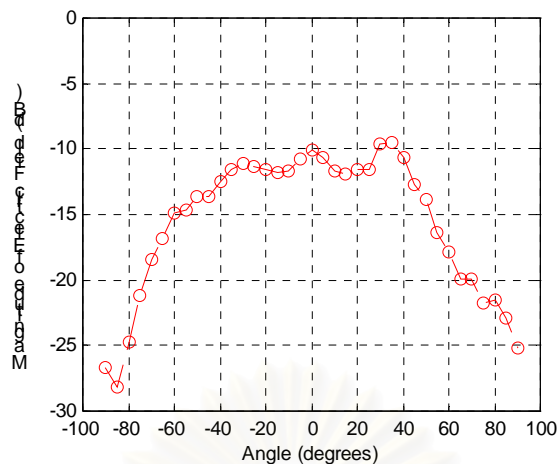


ง) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันไซร์บิบนระนาบ  $\phi = 0^\circ$  เมื่อสายอากาศแถวลำดับมีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ โดยเปรียบเทียบระหว่างตัวจำลองแบบ (-o) กับผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม SuperNEC (-)

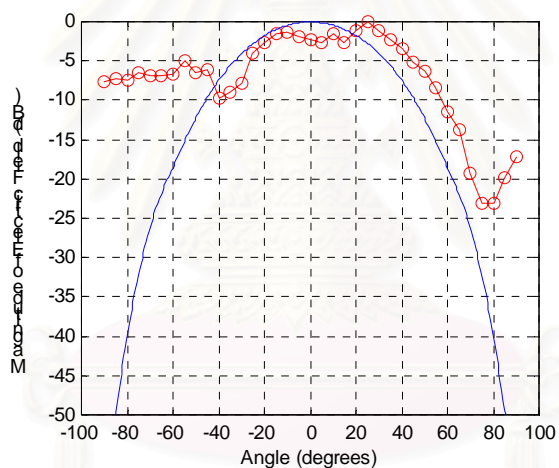


จ) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมบนระนาบ  $\phi = 90^\circ$  เมื่อสายอากาศแถวลำดับมีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว โดยเปรียบเทียบระหว่างตัวจำลองแบบ (-o) กับผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม SuperNEC (-)

รูป 4.4 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับที่มีองค์ประกอบเป็นสายอากาศขั้วคู่จำนวน 8 องค์ประกอบวางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ (ต่อ)

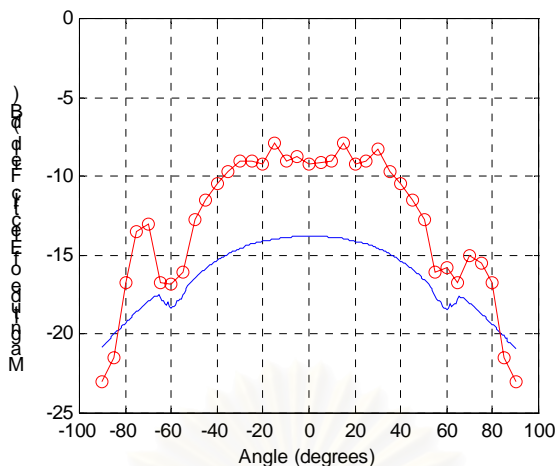


- ด) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาร์ไรเซชันไขว้บนระนาบ  $\varphi = 90^\circ$  เมื่อสายอากาศแถวลำดับมีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวของตัวจำลองแบบ (-o)



- ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาร์ไรเซชันร่วมบนระนาบ  $\varphi = 90^\circ$  เมื่อสายอากาศแถวลำดับมีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ โดยเปรียบเทียบระหว่างตัวจำลองแบบ (-o) กับผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม SuperNEC (-)

รูป 4.4 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับที่มีองค์ประกอบเป็นสายอากาศขั้วคู่จำนวน 8 องค์ประกอบวางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ (ต่อ)



ช) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาไรเซชันไขว้บนระนาบ  $\varphi = 90^\circ$  เมื่อสายอากาศแถวลำดับมีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ โดยเปรียบเทียบระหว่างตัวจำลองแบบ (-o) กับผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม SuperNEC (-)

รูป 4.4 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับที่มีองค์ประกอบเป็นสายอากาศขั้วคู่จำนวน 8 องค์ประกอบวางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ (ต่อ)

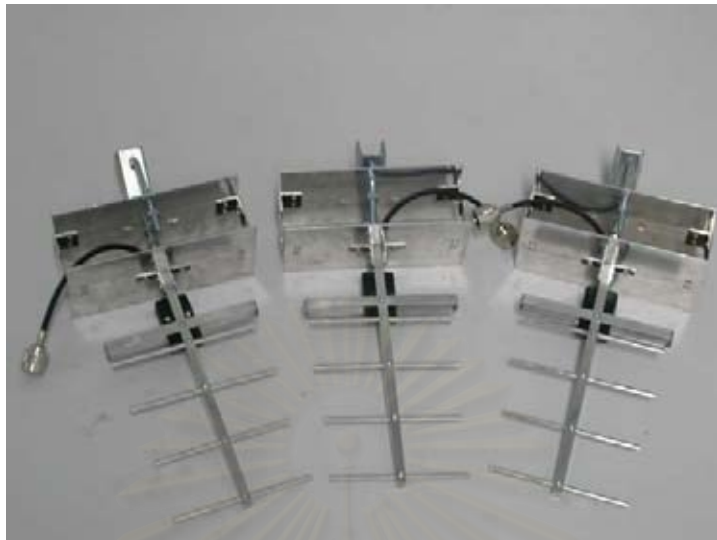
#### 4.2 อุปกรณ์และสถานที่ทดสอบ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะของตัวจำลองแบบสายอากาศแก่งที่สร้างขึ้น สถานที่ที่ใช้ในการทดสอบ และขั้นตอนในการทดสอบตัวจำลองแบบตามลำดับดังนี้

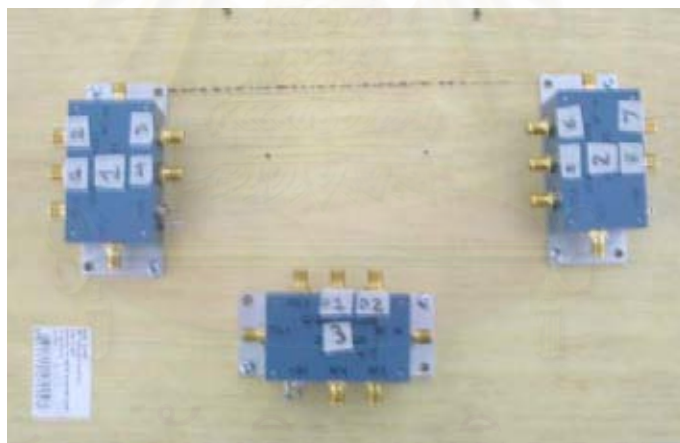
##### 4.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่องวิเคราะห์ข่ายวงจรรุ่น 8753 C
2. เครื่องกำเนิดสัญญาณรุ่น LSG-221
3. เครื่องกำเนิดสัญญาณรุ่น 8648C
4. สายอากาศแถวลำดับที่มีองค์ประกอบเป็นสายอากาศขั้วคู่จำนวน 8 องค์ประกอบ 1 ชุด
5. แผ่นอลูมิเนียมที่ใช้ทำระนาบดินจำนวน 2 แผ่น คือ ขนาดกว้าง 1.2 เมตร ยาว 0.15 เมตร และขนาดกว้าง 1.575 เมตร ยาว 0.3 เมตร
6. สายอากาศยาก็-ฮุดะจำนวน 3 ตัวดังรูป 4.5
7. คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กพร้อมโปรแกรม MATLAB รุ่น 5.3 และ การ์ด PCMCIA-GPIB
8. สวิตช์ความถี่วิทยุ (RF switch) แบบเข้า 4 ทาง ออก 1 ทางจำนวน 3 ตัวดังรูป 4.6
9. สายส่งสัญญาณแบบแกนร่วม





รูป 4.5 สายอากาศยาก็-อุตะทำงานที่ความถี่ 1 GHz



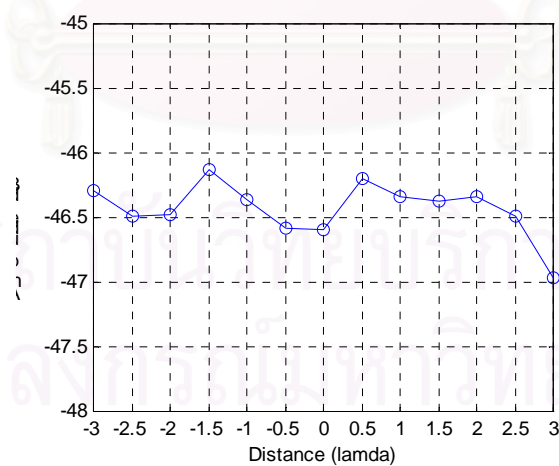
รูป 4.6 สวิตช์ความถี่วิทยุ (RF switch) แบบเข้า 4 ทาง ออก 1 ทาง

#### 4.2.2 สถานที่ทดสอบ

สนามฟุตบอลของคณะรัฐศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นสถานที่ที่ใช้ในการทดสอบตัวจำลองแบบที่สร้างขึ้นซึ่งมีสภาพแวดล้อมดังแสดงในรูป 4.7 และมีคุณภาพหน้าคลื่นในบริเวณทดสอบดังแสดงในรูป 4.8

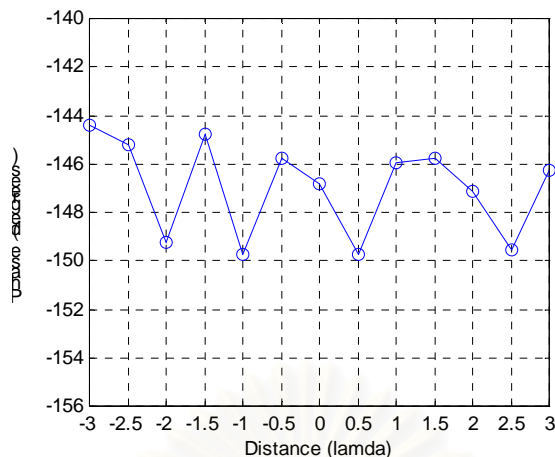


รูป 4.7 สนามฟุตบอลของคณะรัฐศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



- ก) การแกว่งตัวของค่ายอดของสัญญาณที่ภาครับได้ทีระยะห่างจากภาคส่ง 15 เมตร และอยู่สูงจากพื้นดิน 1.8 เมตร

รูป 4.8 คุณภาพหน้าคลื่นในบริเวณที่ใช้ในการทดสอบตัวจำลองแบบ



- ข) การแกว่งตัวของวิถีภาคของสัญญาณที่ภาครับได้ที่ระยะห่างจากภาคส่ง 15 เมตร และอยู่สูงจากพื้นดิน 1.8 เมตร

รูป 4.8 คุณภาพหน้าคลื่นในบริเวณที่ใช้ในการทดสอบตัวจำลองแบบ (ต่อ)

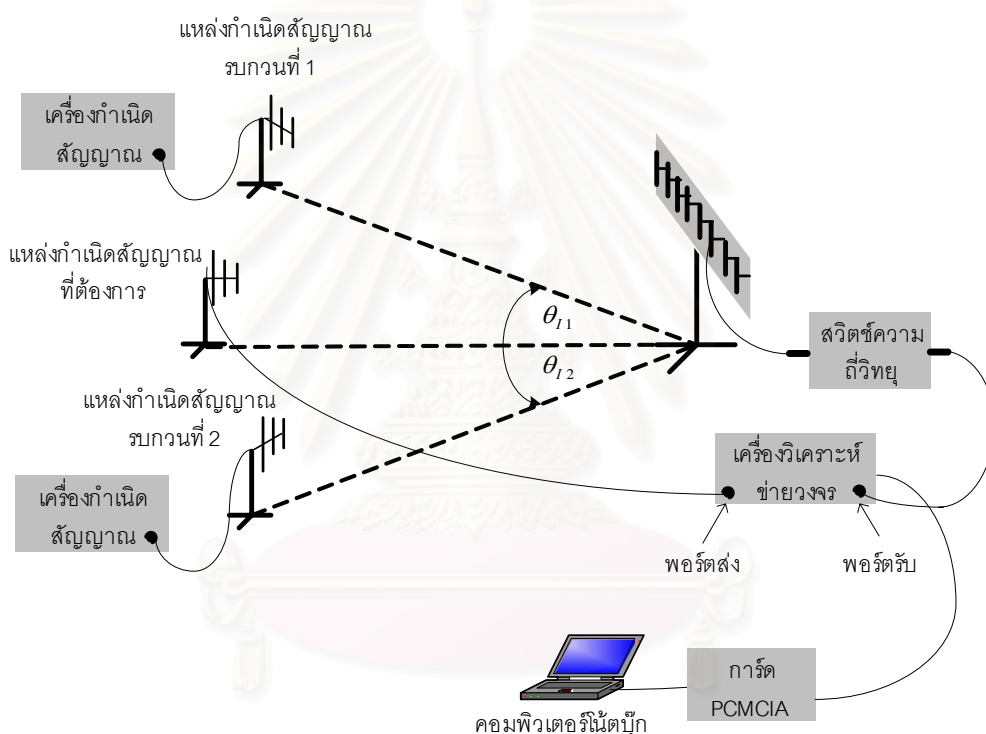
เมื่อพิจารณารูป 4.8 จะเห็นว่าในบริเวณที่ใช้ในการทดสอบตัวจำลองแบบมีการแกว่งตัวของค่ายอดของสัญญาณเพียงเล็กน้อย คือมีการแกว่งมากที่สุดไม่เกิน 1 เดซิเบล และมีการแกว่งตัวของวิถีภาคของสัญญาณมากที่สุดไม่เกิน 6 องศา ซึ่งจะสามารถประมาณให้บริเวณนี้เป็นระยะสนามไกลได้

#### 4.2.3 ขั้นตอนในการทดสอบตัวจำลองแบบ

ขั้นตอนในการทดสอบตัวจำลองแบบจะเป็นดังข้อที่ 1-7 ซึ่งรูปอธิบายประกอบเป็นดังรูป 4.9

1. ต่อเครื่องวิเคราะห์ข่ายวงจรถูกเข้ากับสายอากาศแถวลำดับที่มีองค์ประกอบเป็นสายอากาศชั่วคราว ซึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศรับ และสายอากาศยาก็-อูตะตัวหนึ่งซึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศส่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณที่ต้องการ
2. ต่อเครื่องกำเนิดสัญญาณทั้ง 2 ตัวเข้ากับสายอากาศยาก็-อูตะอีก 2 ตัวซึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศส่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณแทรกสอด
3. ต่อคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กเข้ากับเครื่องวิเคราะห์ข่ายวงจรถูกเพื่อบันทึกข้อมูล
4. ปรับค่าพารามิเตอร์ที่เครื่องวิเคราะห์ข่ายวงจรถูก และเครื่องกำเนิดสัญญาณให้เหมาะสมกับการวัด เช่น ความถี่กลาง ความกว้างแถบ และกำลังส่งของสัญญาณ เป็นต้น
5. กำหนดตำแหน่งของสายอากาศที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณที่ต้องการ สัญญาณรบกวนที่ 1 และสัญญาณแทรกสอดที่ 2 โดยเทียบกับจุดกึ่งกลางของสายอากาศแถวลำดับที่

- สร้างขึ้นก็คือทิศทาง (องศา) และระยะระหว่างสายอากาศแถวลำดับกับสายอากาศยาภิ-อุตะ
6. บันทึกข้อมูลทั้ง 8 องค์ประกอบของสายอากาศชั่วคราว โดยการเก็บค่าที่ละองค์ประกอบด้วยคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก และแต่ละองค์ประกอบส่งตัวอย่างสัญญาณจำนวน 50 ตัวอย่าง
  7. นำข้อมูลที่เก็บบันทึกได้ไปประมวลผลสัญญาณในภายหลังจากทดสอบสมรรถนะตัวจำลองแบบครบทุกสถานการณ์ที่กำหนดไว้ โดยใช้โปรแกรม MATLAB รุ่น 5.3 เพื่อความแม่นยำจึงชัดเจนผลเนื่องจากความไม่สมบูรณ์ของสายนำสัญญาณเป็นอันดับแรก แล้วจึงนำข้อมูลที่ชัดเจนแล้วไปก่อรูปจำลองแบบ Howells-Applebaum



รูป 4.9 การติดตั้งตัวจำลองแบบ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 การเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวจำลองแบบระหว่างสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว กับสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

สถานการณ์ที่กำหนดเพื่อทดสอบสมรรถนะในการปรับเปลี่ยนลำคลื่นของตัวจำลองแบบของสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว และสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ กำหนดให้มีลักษณะที่แตกต่างกันของทิศทางการมาถึงของสัญญาณและขนาดของสัญญาณแทรกสอดต่อสัญญาณที่ต้องการดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 โดยที่ในหัวข้อที่ 4.3.1 จะกล่าวถึงการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวจำลองแบบระหว่างสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว กับสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ เมื่อสายแถวลำดับวางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็ก ส่วนเมื่อสายอากาศแถวลำดับวางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่จะกล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.3.2

ตารางที่ 4.1 สถานการณ์ต่างๆที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะตัวจำลองแบบของสายอากาศเก่งทั้ง 6 กรณี

กรณี	$DOA_d$	$I_1$	$I_2$	I/S
1	0	20	-40	1
2	0	20	-40	10
3	-20	30	40	1
4	-20	30	40	10
5	30	20	-35	1
6	30	20	-35	10

โดยที่  $DOA_d$  คือทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการ

$I_1$  คือทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1

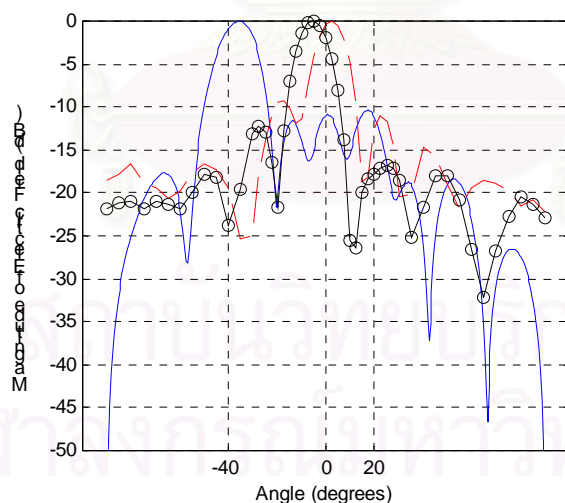
$I_2$  คือทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 2

I/S คืออัตราส่วนของกำลังของสัญญาณแทรกสอดต่อสัญญาณที่ต้องการ

4.3.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวจำลองแบบระหว่างสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว กับสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ เมื่อสายอากาศแถวลำดับวางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็ก

การเปรียบเทียบสมรรถนะในหัวข้อนี้จะแสดงอยู่ในรูปแบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมและดัชนีความเก่ง โดยกำหนดให้สายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว เมื่อไม่รวมผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงที่หาได้จากการคำนวณจำลองแบบเป็นสายอากาศเก่งในสภาวะสงบ และให้สายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว และสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบที่ได้จากตัวจำลองแบบเป็นสายอากาศเก่งในสภาวะที่มีสัญญาณแทรกสอด เมื่อก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum ตามสถานการณ์ดังตารางที่ 4.1 จะได้ผลดังนี้

กรณีที่ 1 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ 0 องศา และทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1 และสัญญาณแทรกสอดที่ 2 คือ 20 และ -40 องศา ตามลำดับ โดยที่ขนาดของสัญญาณแทรกสอดนั้นมีค่าเท่ากับขนาดของสัญญาณที่ต้องการ



รูป 4.10 แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศเก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 1 โดยการใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว (—) เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1

ตารางที่ 4.2 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 1 ของตัวจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

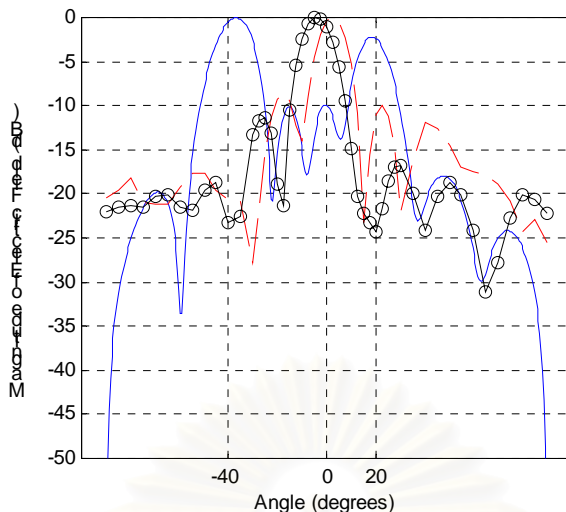
	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
ดัชนีความเก่ง	5.3878	6.8388

จะเห็นได้จากรูป 4.8 ว่าในกรณีที่ 1 ตัวจำลองแบบสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวสามารถหันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้แม่นยำกว่า กรณีที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ แต่ก็ไม่สามารถลดผลของสัญญาณแทรกสอดในทั้ง 2 ทิศทางของสัญญาณแทรกสอดได้ดีเท่ากับกรณีที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

จะเห็นได้จากตารางที่ 4.2 ว่าทั้งสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว และสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบสามารถก่อรูปลำคลื่นได้ดีกว่าสภาวะสงบ (ค่าดัชนีความเก่งมีค่ามากกว่า 1) แต่ค่าดัชนีความเก่งของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบมีค่ามากกว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว

กรณีที่ 2 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ 0 องศา และทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1 และสัญญาณแทรกสอดที่ 2 คือ 20 และ -40 องศา ตามลำดับ ซึ่งเหมือนกับกรณีที่ 1 แต่ต่างกันที่ขนาดของสัญญาณแทรกสอดนั้นมีค่าเป็น 10 เท่า ของสัญญาณที่ต้องการซึ่งคิดเป็น 10 เดซิเบล

จะเห็นได้จากรูป 4.9 ว่าในกรณีที่ 2 นี้ถึงแม้จะเพิ่มขนาดของสัญญาณแทรกสอดให้มากกว่าขนาดของสัญญาณที่ต้องการ 10 เท่าก็ตาม แต่สายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวก็ยังสามารถหันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้แม่นยำกว่า กรณีที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบและสภาวะสงบเหมือนกับกรณีที่ 1 แต่สายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบสามารถลดผลของสัญญาณแทรกสอดในทั้งสองทิศทางของสัญญาณแทรกสอดได้ดีที่สุด



รูป 4.11 แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศเก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 2 โดยการใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว (--) เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10

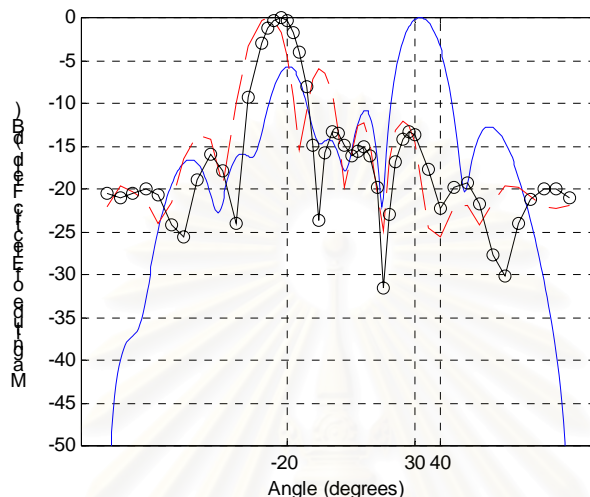
ตารางที่ 4.3 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 2 ของตัวจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
ดัชนีความเก่ง	4.5502	8.2764

จะเห็นได้จากตารางที่ 4.3 ว่าในกรณีนี้สายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ ยังสามารถก่อรูปลำคลื่นได้ค่าดัชนีความเก่งมากกว่ากรณีที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวเหมือนกับกรณีที่ 1 ถึงแม้ขนาดของสัญญาณแทรกสอดจะเพิ่มขึ้นก็ตาม



กรณีที่ 3 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ -20 องศา และทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1 และสัญญาณแทรกสอดที่ 2 คือ 30 และ 40 องศา ตามลำดับ โดยที่ขนาดของสัญญาณแทรกสอดนั้นมีค่าเท่ากับขนาดของสัญญาณที่ต้องการ



รูป 4.12 แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 3 โดยการใช้สายอากาศแก่งลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว (--) เทียบกับสายอากาศแก่งลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) และเทียบกับสมภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1

ตารางที่ 4.4 ดัชนีความแกร่งในกรณีที่ 3 ของตัวจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแก่งลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวเทียบกับสายอากาศแก่งลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

	สายอากาศแก่งลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว	สายอากาศแก่งลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
ดัชนีความแกร่ง	6.6683	8.8157

จะเห็นได้จากรูป 4.10 ว่าในกรณีนี้สายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแก่งลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบสามารถหันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้แม่นยำมากที่สุด แต่สายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแก่งลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวสามารถลดผลของสัญญาณแทรกสอดในทั้ง 2 ทิศทางของสัญญาณแทรกสอดได้ดีที่สุด

จะเห็นได้จากตารางที่ 4.4 ว่าในกรณีนี้สายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ มีค่าดัชนีความเก่งมากกว่าสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว ถึงแม้ว่าสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวจะสามารถลดผลของสัญญาณแทรกสอดในทั้ง 2 ทิศทางของสัญญาณแทรกสอดได้ดีกว่าก็ตาม ทั้งนี้ก็เพราะว่าสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ มีขนาดของสัญญาณในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการสูงกว่าสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว

กรณีที่ 4 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ  $-20$  องศา และทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1 และสัญญาณแทรกสอดที่ 2 คือ  $30$  และ  $40$  องศา ตามลำดับ ซึ่งเหมือนกับกรณีที่ 3 แต่ต่างกันที่ขนาดของสัญญาณแทรกสอดนั้นมีค่าเป็น 10 เท่า ของสัญญาณที่ต้องการซึ่งคิดเป็น 10 เดซิเบล

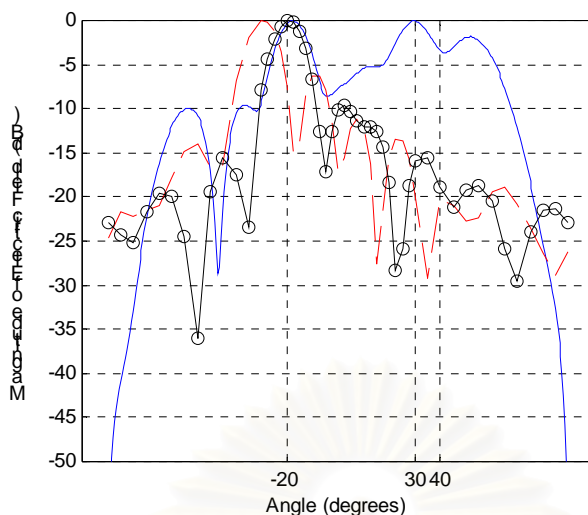
จะเห็นได้จากรูป 4.11 ว่าในกรณีนี้สายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ ยังคงสามารถหันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้แม่นยำมากกว่าสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวเหมือนกับกรณีที่ 3

จะเห็นได้จากตารางที่ 4.5 ว่าในกรณีนี้สายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ มีค่าดัชนีความเก่งมากกว่าสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวในกรณีที่ 3 และยังคงมีค่าดัชนีความเก่งมากกว่าสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวเหมือนกับกรณีที่ 3 ถึงแม้ขนาดของสัญญาณแทรกสอดจะเพิ่มขึ้นก็ตาม

ตารางที่ 4.5 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 4 ของตัวจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัว

ขององค์ประกอบหลายแบบ

	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
ดัชนีความเก่ง	38.0870	73.8772



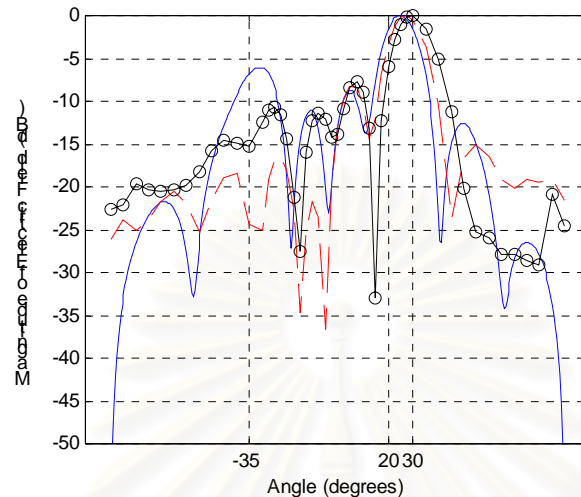
รูป 4.13 แบบรูปการแปรพลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 4 โดยการนำสายอากาศแก่งลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว (--) เทียบกับสายอากาศแก่งลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า  $I/S$  เท่ากับ 10

กรณีที่ 5 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ 30 องศา และทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1 และสัญญาณแทรกสอดที่ 2 คือ 20 และ -35 องศา ตามลำดับ โดยที่ขนาดของสัญญาณแทรกสอดนั้นมีค่าเท่ากับขนาดของสัญญาณที่ต้องการ

จะเห็นได้จากรูป 4.12 ว่าในกรณีนี้สายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแก่งลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ สามารถหันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้แม่นยำที่สุด และสามารถลดผลของสัญญาณแทรกสอดในทิศทาง 20 องศา ได้มากที่สุด แต่ในทิศทาง -35 องศา สามารถลดผลของสัญญาณแทรกสอดได้ดีกว่าสภาวะสงบแต่ก็ยังแยกว่ากรณีที่ใช้สายอากาศแก่งใช้สายอากาศแก่งลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว

จะเห็นได้จากตารางที่ 4.6 ว่าสายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแก่งลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบมีค่าดัชนีความแก่งมากกว่า กรณีที่ใช้สายอากาศแก่งใช้สายอากาศแก่งลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว ทั้งนี้ก็เนื่องจากสายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแก่งลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวหันพู่หลักไปผิดพลาด ซึ่งหันไปในทิศทางที่ใกล้กับทิศทางของสัญญาณแทรกสอด 20 องศา จึงทำให้มีขนาดของสัญญาณในทิศทาง

ของสัญญาณแทรกสอด 20 องศา สูงกว่ากรณีที่สายอากาศแ่งใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

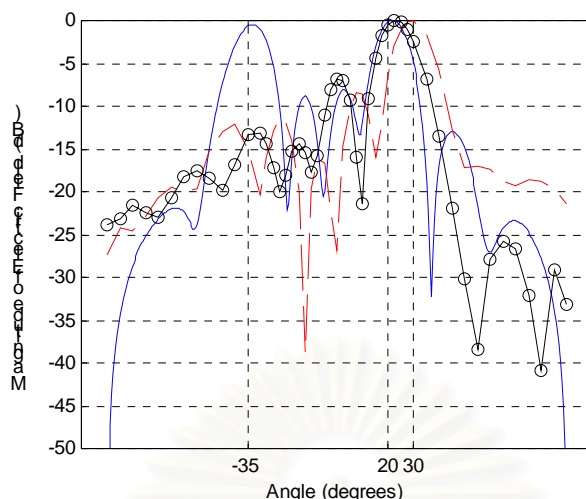


รูป 4.14 แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศแ่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 5 โดยการให้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว (--) เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1

ตารางที่ 4.6 ดัชนีความแ่งในกรณีที่ 5 ของตัวจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
ดัชนีความแ่ง	10.1713	26.8815

กรณีที่ 6 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ 30 องศา และทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1 และสัญญาณแทรกสอดที่ 2 คือ 20 และ -35 องศา ตามลำดับ ซึ่งเหมือนกับกรณีที่ 5 แต่ต่างกันที่ขนาดของสัญญาณแทรกสอดนั้นมีค่าเป็น 10 เท่า ของสัญญาณที่ต้องการซึ่งคิดเป็น 10 เดซิเบล



รูป 4.15 แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศเก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 6 โดยการใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว (--) เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) และเทียบกับสมภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10

ตารางที่ 4.7 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 6 ของตัวจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
ดัชนีความเก่ง	4.1405	1.5214

จะเห็นได้จากรูป 4.13 ว่าในกรณีนี้สายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว สามารถหันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้แม่นยำที่สุด และสามารถลดผลของสัญญาณแทรกสอดในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดทั้ง 2 ทิศทางได้ดีที่สุด

จะเห็นได้จากตารางที่ 4.7 ว่าในกรณีนี้สายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว มีค่าดัชนีความเก่งมากกว่ากรณีที่สายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ ทั้งนี้เนื่องจากสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว สามารถหันพู่หลักไปในทิศ

ทางของสัญญาณที่ต้องการได้แม่นยำกว่า และมีขนาดของสัญญาณในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดทั้งสองต่ำกว่ากรณีที่ใช้สายอากาศแ่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

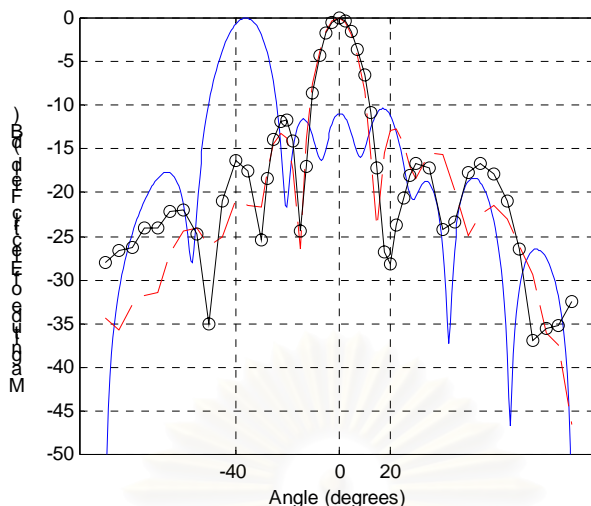
#### 4.3.2 การเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวจำลองแบบระหว่างสายอากาศแ่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว กับสายอากาศแ่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ เมื่อสายอากาศแถวลำดับวางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่

การเปรียบเทียบสมรรถนะในหัวข้อนี้จะแสดงอยู่ในรูปแบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมและดัดชนีความแ่ง เมื่อก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum ตามสถานการณ์ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งเหมือนกับหัวข้อที่ 4.3.1 ทุกประการ ยกเว้นเพียงแต่ในหัวข้อนี้สายอากาศแถวลำดับจะวางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ ซึ่งจะมีผลดังนี้

กรณีที่ 1 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ 0 องศา และทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1 และสัญญาณแทรกสอดที่ 2 คือ 20 และ -40 องศา ตามลำดับ โดยที่ขนาดของสัญญาณแทรกสอดนั้นมีค่าเท่ากับขนาดของสัญญาณที่ต้องการ

จะเห็นได้จากรูป 4.14 ว่าในกรณีนี้สายอากาศแ่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว และสายอากาศแ่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบสามารถหันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้ถูกต้อง แต่สภาวะสงบนั้นหันพู่รองให้กับทิศทางของสัญญาณที่ต้องการ

จะเห็นได้จากตารางที่ 4.8 ว่าในกรณีนี้สายอากาศแ่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ มีค่าดัชนีความแ่งมากกว่ากรณีที่สายอากาศแ่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว และนอกจากนี้ทั้งสายอากาศแ่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ และสายอากาศแ่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวสามารถก่อรูปลำคลื่นได้ดีกว่าสภาวะสงบ (ค่าดัชนีความแ่งมีค่ามากกว่า 1)



รูป 4.16 แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศเก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 1 โดยการให้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว (--) เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) และเทียบกับสมภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1

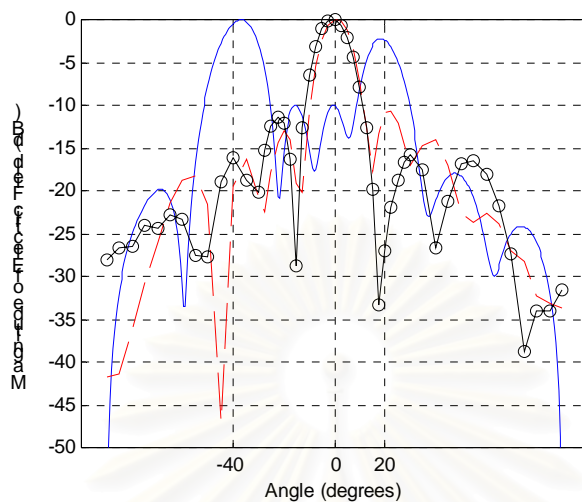
ตารางที่ 4.8 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 1 ของตัวจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
ดัชนีความเก่ง	5.6914	7.4055

กรณีที่ 2 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ 0 องศา และทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1 และสัญญาณแทรกสอดที่ 2 คือ 20 และ -40 องศา ตามลำดับ ซึ่งเหมือนกับกรณีที่ 1 แต่ต่างกันที่ขนาดของสัญญาณแทรกสอดนั้นมีค่าเป็น 10 เท่า ของสัญญาณที่ต้องการซึ่งคิดเป็น 10 เดซิเบล

จะเห็นได้จากรูป 4.15 ว่าในกรณีนี้ถึงแม้ว่าจะเพิ่มขนาดของสัญญาณแทรกสอดให้มากกว่ากรณีที่ 1 10 เท่า ตัวจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว และสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบยังคง

สามารถหันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้แม่นยำอยู่ ซึ่งต่างกับสภาวะสงบที่หันพู่หลักไปผิดพลาดอย่างมากคือประมาณ 40 องศา



รูป 4.17 แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 2 โดยการใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว (-) เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10

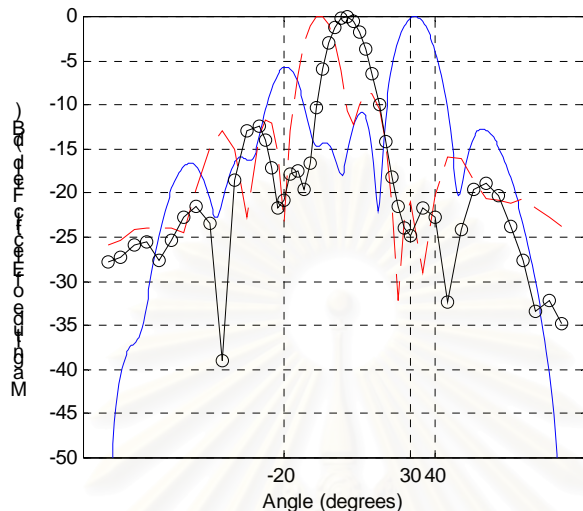
ตารางที่ 4.9 ดัชนีความแก่งในกรณีที่ 2 ของตัวจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
ดัชนีความแก่ง	4.6050	6.5986

จะเห็นได้จากตารางที่ 4.9 ว่าถึงแม้จะเพิ่มขนาดของสัญญาณแทรกสอดจากกรณีที่ 1 สายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ ก็ยังคงสามารถก่อรูปลำคลื่นได้ค่าดัชนีความแก่งมากกว่า กรณีที่สายอากาศแก่งใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวเหมือนกับกรณีที่ 1



กรณีนี้ที่ 3 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ -20 องศา และทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1 และสัญญาณแทรกสอดที่ 2 คือ 30 และ 40 องศา ตามลำดับ โดยที่ขนาดของสัญญาณแทรกสอดนั้นมีค่าเท่ากับขนาดของสัญญาณที่ต้องการ



รูป 4.18 แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีนี้ที่ 3 โดยการให้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว (--) เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1

ตารางที่ 4.10 ดัชนีความแก่งในกรณีนี้ที่ 3 ของตัวจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
ดัชนีความแก่ง	1.0818	2.0191

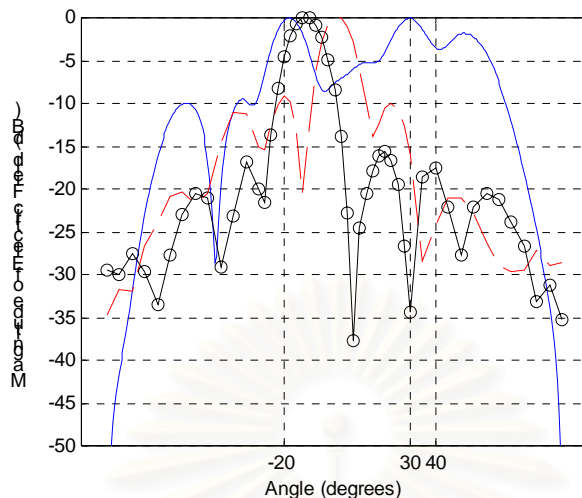
จะเห็นได้จากรูป 4.16 ว่าในกรณีนี้สายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ สายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว และสภาวะสงบไม่สามารถหันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้เลย นอกจากนี้สายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ และสายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวนั้นหันตำแหน่งศูนย์ให้กับทิศทางของสัญญาณที่ต้องการอีกด้วย

จะเห็นได้จากตารางที่ 4.10 ว่าในกรณีนี้สายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ มีค่าดัชนีความเก่งมากกว่าสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว ทั้งนี้เพราะว่าสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบนี้หันพู่หลักไปผิดพลาด แต่หันตำแหน่งศูนย์ให้กับทิศทางของสัญญาณแทรกสอด 30 องศา ซึ่งต่างกับสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวที่หันพู่รองให้กับทิศทางของสัญญาณแทรกสอด 30 องศา และลดผลของสัญญาณแทรกสอดได้แก่กว่าสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบในทิศทางของสัญญาณแทรกสอด 40 องศา

กรณีที่ 4 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ -20 องศา และทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1 และสัญญาณแทรกสอดที่ 2 คือ 30 และ 40 องศา ตามลำดับ ซึ่งเหมือนกับกรณีที่ 3 แต่ต่างกันที่ขนาดของสัญญาณแทรกสอดนั้นมีค่าเป็น 10 เท่า ของสัญญาณที่ต้องการซึ่งคิดเป็น 10 เดซิเบล

จะเห็นได้จากรูป 4.17 ว่าในกรณีนี้ได้เพิ่มขนาดของสัญญาณแทรกสอดให้มากกว่ากรณีที่ 3 10 เท่า สายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบสามารถหันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้แม่นยำกว่า และสามารถลดผลของสัญญาณแทรกสอดในทิศทางของสัญญาณแทรกสอด 30 องศา ได้ดีกว่าสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว แต่ในทิศทาง 40 องศา นั้นสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว สามารถลดผลของสัญญาณแทรกสอดได้ดีกว่าสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

จะเห็นได้จากตารางที่ 4.11 ว่าในกรณีนี้สายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ มีค่าดัชนีความเก่งมากกว่าสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว ทั้งนี้เพราะว่าสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบนี้หันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการผิดพลาดน้อยกว่า และสามารถลดผลของสัญญาณแทรกสอดในทิศทาง 30 องศาได้ดีกว่า สายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว



รูป 4.19 แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 4 โดยการใช้สายอากาศแก่งลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว (-) เทียบกับสายอากาศแก่งลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10

ตารางที่ 4.11 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 4 ของตัวจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแก่งลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวเทียบกับสายอากาศแก่งลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

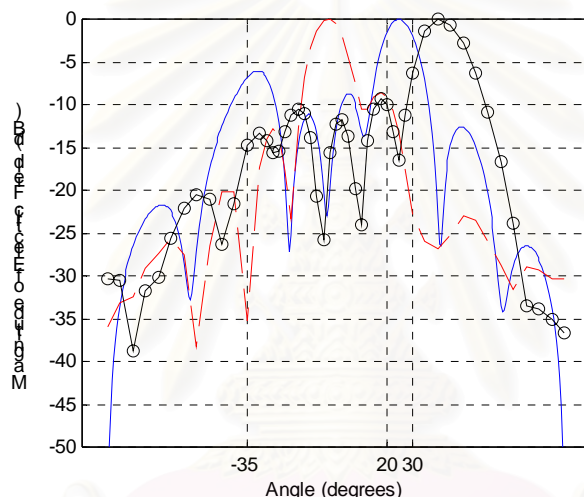
	สายอากาศแก่งลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว	สายอากาศแก่งลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
ดัชนีความเก่ง	19.6454	62.7227

กรณีที่ 5 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ 30 องศา และทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1 และสัญญาณแทรกสอดที่ 2 คือ 20 และ -35 องศา ตามลำดับ โดยที่ขนาดของสัญญาณแทรกสอดนั้นมีค่าเท่ากับขนาดของสัญญาณที่ต้องการ

จะเห็นได้จากรูป 4.18 ว่าในกรณีนี้สภาวะสงบหันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้ผิดพลาดน้อยที่สุด แต่สามารถลดผลของสัญญาณแทรกสอดในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดทั้ง 2 ได้แยกว่า สายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแก่งลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์

ประกอบหลายแบบและสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว

จะเห็นได้จากตารางที่ 4.12 ว่าในกรณีนี้สายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ มีค่าดัชนีความเก่งมากกว่าสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวมาก เนื่องจากสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวหันพู่หลักผิดพลาดไปจากทิศทางของสัญญาณที่ต้องการอย่างมากประมาณ 33 องศา ซึ่งต่างจากสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบที่หันพู่หลักผิดพลาดไปจากสัญญาณที่ต้องการเพียงประมาณ 14 องศา



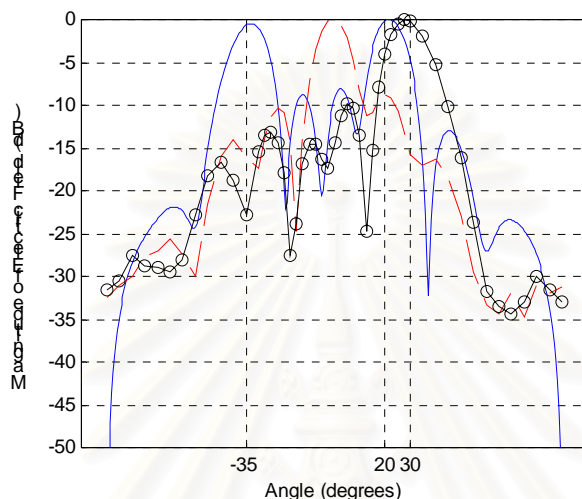
รูป 4.20 แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศเก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีนี้ที่ 5 โดยการใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว (--) เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) และเทียบกับสภาวะ

สงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1

ตารางที่ 4.12 ดัชนีความเก่งในกรณีนี้ที่ 5 ของตัวจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
ดัชนีความเก่ง	-83.1778	8.8786

กรณีนี้ที่ 6 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ 30 องศา และทิศทางการมาถึงของสัญญาณแทรกสอดที่ 1 และสัญญาณแทรกสอดที่ 2 คือ 20 และ -35 องศา ตามลำดับ ซึ่งเหมือนกับกรณีที่ 5 แต่ต่างกันที่ขนาดของสัญญาณแทรกสอดนั้นมีค่าเป็น 10 เท่า ของสัญญาณที่ต้องการซึ่งคิดเป็น 10 เดซิเบล



รูป 4.21 แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีนี้ที่ 6 โดยการใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว (-) เทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ (-o) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10

จะเห็นได้จากรูป 4.19 ว่าในกรณีนี้สายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ สามารถหันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้แม่นยำมากที่สุด และสามารถหันตำแหน่งศูนย์ให้กับทิศทางของสัญญาณแทรกสอด -35 องศาได้ ซึ่งต่างกับสายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวที่หันพู่หลักผิดพลาดไปอย่างมาก และหันตำแหน่งศูนย์ให้กับทิศทางของสัญญาณที่ต้องการ 30 องศา

จะเห็นได้จากตารางที่ 4.13 ว่าในกรณีนี้สายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ มีค่าดัชนีความแกร่งมากกว่าสายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว เนื่องจากสายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบยังคงสามารถหันพู่หลักไปในทิศทางของ

สัญญาณที่ต้องการได้ และสามารถหันตำแหน่งศูนย์ไปในทิศทางของสัญญาณแทรกสอด -35 องศาได้ ซึ่งต่างกับสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวนั้นหันตำแหน่งศูนย์ให้กับทิศทางของสัญญาณที่ต้องการ แต่ไม่สามารถหันตำแหน่งศูนย์ให้กับทิศทางของสัญญาณแทรกสอดได้เลย

ตารางที่ 4.13 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 6 ของตัวจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวเทียบกับสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ

	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
ดัชนีความเก่ง	0.9830	3.2448

ตารางที่ 4.14 สรุปค่าดัชนีความเก่งของตัวจำลองแบบของสถานการณ์ต่างๆทั้ง 6 กรณีเมื่อสายอากาศแถวลำดับวางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็ก และระนาบดินขนาดใหญ่

กรณี	$DOA_d$	$l_1$	$l_2$	I/S	ดัชนีความเก่ง			
					ระนาบดินขนาดเล็ก		ระนาบดินขนาดใหญ่	
					สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยว	สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ
1	0	20	-40	1	5.3878	6.8388	5.6914	7.4055
2	0	20	-40	10	4.5502	8.2764	4.6050	6.5986
3	-20	30	40	1	6.6683	8.8157	1.0818	2.0191
4	-20	30	40	10	38.0870	73.8772	19.6454	62.7227
5	30	20	-35	1	10.1713	26.8815	-83.1778	8.8786
6	30	20	-35	10	4.1405	1.5214	0.9830	3.2448

จะเห็นได้จากตารางที่ 4.14 ว่าตัวจำลองแบบที่สายอากาศเก่งใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ สามารถก่อรูปลำคลื่นได้ค่าดัชนีความเก่งมากกว่าตัวจำลองแบบที่สายอากาศเก่งใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว เมื่อสายอากาศแถวลำดับวางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็กรวมเป็นจำนวน 5 กรณีของสถานการณ์ทั้งหมด 6 กรณี ส่วนตัวจำลองแบบที่สายอากาศแถวลำดับวางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่มี 6 กรณีของสถานการณ์ทั้งหมด 6 กรณี สายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ สามารถก่อรูปลำคลื่นได้ค่าดัชนีความเก่งมากกว่าตัวจำลองแบบที่สายอากาศเก่งใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อใช้สายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบจะสามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะให้กับสายอากาศเก่งได้

#### 4.4 การเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างตัวจำลองแบบเมื่อสายอากาศเก่งใช้สายอากาศแถวลำดับวางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ กับการคำนวณจำลองแบบเมื่อสายอากาศเก่งใช้สายอากาศแถวลำดับวางอยู่บนระนาบดินอนันต์

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างตัวจำลองแบบเมื่อสายอากาศเก่งใช้สายอากาศแถวลำดับวางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ กับการคำนวณจำลองแบบเมื่อสายอากาศเก่งใช้สายอากาศแถวลำดับวางอยู่บนระนาบดินอนันต์ เนื่องจากการคำนวณจำลองแบบเมื่อสายอากาศเก่งใช้สายอากาศแถวลำดับวางอยู่บนระนาบดินอนันต์นั้น จะมีเฉพาะผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวซวอลด์ป์ลิงเท่านั้น แต่เมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับที่วางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่จะมีทั้งผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวซวอลด์ป์ลิง และผลกระทบเนื่องจากการเลี้ยวเบนที่ขอบของระนาบดิน ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงต้องการจะศึกษาว่าขนาดของระนาบดินขนาดใหญ่มีขนาดใหญ่มากพอที่จะประมาณว่าไม่มีผลกระทบเนื่องจากการเลี้ยวเบนที่ขอบของระนาบดิน หรือมีผลกระทบเนื่องจากการเลี้ยวเบนที่ขอบของระนาบดินน้อยมาก จนถือได้ว่าสายอากาศเก่งนั้นเป็นสายอากาศแถวลำดับที่วางอยู่บนระนาบดินอนันต์ได้ โดยจะแสดงอยู่ในรูปแบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมและดัชนีความเก่ง โดยกำหนดให้สายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว เมื่อไม่รวมผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวซวอลด์ป์ลิงที่ได้จากการคำนวณจำลองแบบเป็นสายอากาศเก่งในสภาวะสงบ โดยให้สายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวและสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบที่ได้จากตัวจำลองแบบ และการคำนวณจำลองแบบเมื่อรวมผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวซวอลด์ป์ลิงเป็นสายอากาศเก่งในสภาวะที่มีสัญญาณแทรกสอด เมื่อก่อรูป

ลำดับชั้นแบบ Howells-Applebaum ตามสถานการณ์ดังตารางที่ 4.1 จะได้แบบรูปการแผ่พลังงาน ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ง และได้ค่าดัชนีความแกร่งดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ค่าดัชนีความแกร่งของตัวจำลองแบบเมื่อสายอากาศแถวลำดับวางอยู่บนระนาบดิน ขนาดใหญ่ เปรียบเทียบกับการคำนวณจำลองแบบเมื่อสายอากาศแถวลำดับวาง อยู่บนระนาบดินอนันต์

กรณี	$DOA_d$	$I_1$	$I_2$	I/S	ดัชนีความแกร่ง			
					ระนาบดินขนาดใหญ่		ระนาบดินอนันต์	
					สายอากาศ แถวลำดับที่มี แนวการวาง ตัวขององค์ ประกอบแบบ เดียว	สายอากาศ แถวลำดับที่มี แนวการวาง ตัวขององค์ ประกอบ หลายแบบ	สายอากาศ แถวลำดับที่มี แนวการวาง ตัวขององค์ ประกอบแบบ เดียว	สายอากาศ แถวลำดับที่มี แนวการวาง ตัวขององค์ ประกอบ หลายแบบ
1	0	20	-40	1	5.6914	7.4055	0.9175	5.9582
2	0	20	-40	10	4.6050	6.5986	0.9948	1.2012
3	-20	30	40	1	1.0818	2.0191	0.1970	0.5613
4	-20	30	40	10	19.6454	62.7227	-1.0644	-15.8099
5	30	20	-35	1	-83.1778	8.8786	1.5581	0.9997
6	30	20	-35	10	0.9830	3.2448	1.0403	1.2087

จากตารางที่ 4.15 จะเห็นว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวจะมีเพียง 1 กรณีเท่านั้นที่มีค่าดัชนีความแกร่งของสายอากาศแถวลำดับที่วางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่มีค่าใกล้เคียงกับสายอากาศแถวลำดับที่วางอยู่บนระนาบดินอนันต์ คือกรณีที่ 6 ซึ่งแตกต่างกันเพียง 0.0573 เท่านั้น แต่เมื่อพิจารณาที่แบบรูปการแผ่พลังงานของกรณีนี้คือรูป ง.6 ในภาคผนวก ง จะพบว่าก็ยังคงมีความแตกต่างกันอยู่พอสมควร ส่วนกรณีที่สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ ค่าดัชนีความแกร่งของสายอากาศแถวลำดับที่วางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่จะแตกต่างกับสายอากาศแถวลำดับที่วางอยู่บนระนาบดินอนันต์น้อยที่สุด คือกรณีที่ 1 แตกต่างกันอยู่ 1.4473 แต่เมื่อพิจารณาที่แบบรูปการแผ่พลังงานของกรณีนี้คือรูป ง.7 ในภาคผนวก ง จะพบว่าแบบรูปการแผ่พลังงานมีความคล้ายคลึง หรือใกล้เคียงกันมากกว่ากรณีที่สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวในกรณีที่ 6 จะเห็นได้จากตารางที่ 4.15 ว่าโดยส่วน



ใหญ่แล้วไม่ว่าจะใช้สายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว หรือสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบก็ตาม ค่าดัชนีความเก่งของสายอากาศแถวลำดับที่วางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ กับระนาบดินอนันต์ยังมีค่าแตกต่างกันอยู่ค่อนข้างมากซึ่งอาจจะยังไม่สามารถประมาณระนาบดินขนาดใหญ่ให้เป็นระนาบดินอนันต์ได้

#### 4.5 การชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิววลด์บปลิงของตัวจำลองแบบ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิววลด์บปลิงของตัวจำลองแบบ เมื่อสายอากาศแถวลำดับวางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็ก และระนาบดินขนาดใหญ่ โดยที่สายอากาศแถวลำดับมีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว ซึ่งจะเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีการชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิววลด์บปลิงระหว่างวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์ และวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด โดยจะแสดงอยู่ในรูปแบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมและดัชนีความเก่ง โดยกำหนดให้สายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว เมื่อไม่รวมผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิววลด์บปลิงที่หาได้จากการคำนวณจำลองแบบเป็นสายอากาศเก่งในสภาวะสงบ และกำหนดให้ตัวจำลองแบบที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวเมื่อชดเชยผลมิววลด์บปลิง และไม่ชดเชยผลมิววลด์บปลิงเป็นสายอากาศเก่งในสภาวะที่มีสัญญาณแทรกสอด เมื่อใช้ขั้นตอนการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum ตามสถานการณ์ดังตารางที่ 4.1 จะได้แบบรูปการแผ่พลังงานดังแสดงไว้ในภาคผนวก ๑ และได้ค่าดัชนีความเก่งดังตารางที่ 4.16

จะเห็นได้จากตารางที่ 4.16 ว่าตัวจำลองแบบของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวเมื่อสายอากาศแถวลำดับวางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็ก ที่ชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิววลด์บปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์ สามารถชดเชยมิววลด์บปลิงให้ตัวจำลองแบบมีค่าดัชนีความเก่งมากกว่ากรณีที่ไม่ชดเชยมิววลด์บปลิงได้จำนวน 4 กรณีของสถานการณ์ทั้งหมด 6 กรณี แต่เมื่อชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิววลด์บปลิงด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด จะสามารถชดเชยมิววลด์บปลิงให้ตัวจำลองแบบมีค่าดัชนีความเก่งมากกว่ากรณีที่ไม่ชดเชยมิววลด์บปลิงได้ดีกว่าคือได้จำนวน 5 กรณีของสถานการณ์ทั้งหมด 6 กรณี แต่เมื่อพิจารณาที่ตัวจำลองแบบของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว เมื่อสายอากาศแถวลำดับวางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่แล้วจะได้ผลที่ตรงข้ามกับกรณีที่ใช้สายอากาศแถวลำดับวางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็ก คือการชด

เซชผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวซอลด์ปปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์ สามารถชดเซชมิวซอลด์ปปลิงให้ตัวจำลองแบบมีค่าดัชนีความเก่งมากกว่ากรณีที่ไม่ชดเซชมิวซอลด์ปปลิงได้ดีกว่าวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด คือได้จำนวน 5 กรณีของสถานการณ์ทั้งหมด 6 กรณี แต่วิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุดนั้นได้จำนวน 4 กรณีของสถานการณ์ทั้งหมด 6 กรณี

ตารางที่ 4.16 สรุปค่าดัชนีความเก่งของตัวจำลองแบบของสถานการณ์ต่างๆทั้ง 6 กรณี เมื่อชดเซชผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวซอลด์ปปลิง

กรณี	I/S	ดัชนีความเก่ง					
		ระนาบดินขนาดเล็ก			ระนาบดินขนาดใหญ่		
		ไม่ชดเซชมิวซอลด์ปปลิง	ชดเซชมิวซอลด์ปปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์	ชดเซชมิวซอลด์ปปลิงด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด	ไม่ชดเซชมิวซอลด์ปปลิง	ชดเซชมิวซอลด์ปปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์	ชดเซชมิวซอลด์ปปลิงด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด
1	1	5.3878	6.0054	5.6788	5.6914	6.1053	5.5162
2	10	4.5502	7.7071	5.8627	4.6050	5.3291	5.0774
3	1	6.6683	15.5276	13.4821	1.0818	2.6079	3.8503
4	10	38.0870	110.0778	100.0609	19.6454	-1.4074	13.8937
5	1	10.1713	3.2653	-0.1778	-83.1778	-26.2394	2.4619
6	10	4.1405	2.5375	4.2813	0.9830	1.3722	2.7345

#### 4.6 สรุป

1. การสร้างสถานการณ์เพื่อทดสอบสมรรถนะของตัวจำลองแบบสายอากาศเก่งที่กำหนดขึ้นทั้ง 6 กรณีตามหัวข้อที่ 4.3.1 ทำให้สรุปได้ว่ากรณีที่สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบ วางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็กจะมีเพียง 1 กรณีเท่านั้นคือกรณีที่ 6 ที่ไม่สามารถก่อรูปลำคลื่นให้ได้ค่าดัชนีความเก่งมากกว่ากรณีที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว นอกนั้นอีกจำนวน 5 กรณีของสถานการณ์ทั้งหมด 6 กรณีสามารถก่อรูปลำคลื่นให้ได้ค่าดัชนีความเก่งมากกว่า เมื่อพิจารณาที่ตัวจำลองแบบของสายอากาศเก่งที่กำหนดขึ้นทั้ง 6 กรณีตามหัวข้อที่ 4.3.2 จะเห็นว่าสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบเมื่อวางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ สามารถก่อรูปลำคลื่นให้ได้ค่าดัชนีความเก่งมากกว่า กรณีที่สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบ

แบบเดียวจำนวน 6 กรณีของสถานการณ์ทั้งหมด 6 กรณี จะเห็นว่าไม่ว่าสายอากาศแถวลำดับจะวางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็ก หรือระนาบดินขนาดใหญ่ก็ตามสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบสามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะให้กับสายอากาศเก่งได้ หรือสามารถก่อรูปลำคลื่นให้ได้ค่าดัชนีความเก่งมากกว่ากรณีที่สายอากาศแถวลำดับมีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว

2. จะเห็นได้จากหัวข้อที่ 4.3.1 และ 4.3.2 ว่าในการทดสอบตัวจำลองแบบของทั้ง 2 หัวข้อนี้มีสถานการณ์ทั้ง 6 กรณีเหมือนกันทุกประการ ยกเว้นเพียงแต่ขนาดของระนาบดินของสายอากาศแถวลำดับซึ่งในหัวข้อที่ 4.3.1 นั้นให้สายอากาศแถวลำดับวางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็ก ส่วนในหัวข้อที่ 4.3.2 นั้นให้สายอากาศแถวลำดับวางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ ดังนั้นจะมีปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นต่างกันคือสายอากาศแถวลำดับที่วางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็กจะได้รับผลกระทบจากการเลี้ยวเบนที่ขอบของระนาบดินมากกว่าสายอากาศแถวลำดับที่วางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ จะเห็นได้จากผลการทดสอบตัวจำลองแบบในหัวข้อที่ 4.3.1 และ 4.3.2 ว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีความเก่งในสถานการณ์ที่เหมือนกัน ไม่ว่าสายอากาศแถวลำดับจะมีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว หรือหลายแบบก็ตาม พบว่าผลกระทบจากการเลี้ยวเบนที่ขอบของระนาบดินจะไม่ทำให้สมรรถนะของสายอากาศเก่งแย่งเสมอไปในทุกสถานการณ์ เพราะว่าในบางกรณีสายอากาศแถวลำดับที่วางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็กก็มีค่าดัชนีความเก่งมากกว่าสายอากาศแถวลำดับที่วางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่

3. จะเห็นได้จากหัวข้อที่ 4.4 ว่าผลการทดสอบตัวจำลองแบบเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างตัวจำลองแบบเมื่อสายอากาศเก่งใช้สายอากาศแถวลำดับวางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่กับการคำนวณจำลองแบบเมื่อสายอากาศเก่งใช้สายอากาศแถวลำดับวางอยู่บนระนาบดินอนันต์นั้น ได้ค่าดัชนีความเก่งที่แตกต่างกันอยู่ค่อนข้างมาก และได้ผลตอบในรูปแบบรูปการแผ่พลังงานในภาคผนวก ก ที่แตกต่างกันค่อนข้างมาก อาจกล่าวได้ว่าขนาดของระนาบดินยังใหญ่ไม่เพียงพอที่จะประมาณว่าเป็นระนาบดินอนันต์ได้ แต่มีสิ่งๆที่เหมือนกันคือไม่ว่าสายอากาศแถวลำดับจะวางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่หรือระนาบดินอนันต์ก็ตาม สายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบสามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะให้กับสายอากาศเก่ง หรือสามารถก่อรูปลำคลื่นให้ได้ค่าดัชนีความเก่งมากกว่ากรณีที่สายอากาศเก่งใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวได้ และเมื่อสังเกตค่าดัชนีความเก่งในตารางที่ 4.15 จะเห็นว่าสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว และสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบที่วางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ มีค่าดัชนีความเก่งมากกว่าสายอากาศแถวลำดับที่วางอยู่บนระนาบดินอนันต์เกือบทุกกรณี ยกเว้นกรณีที่ 5 และ 6 ของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัว

ขององค์ประกอบแบบเดียว ซึ่งสายอากาศแถวลำดับที่วางอยู่บนระนาบดินทั้ง 2 นี้จะมีสิ่งที่แตกต่างกันคือ สายอากาศแถวลำดับที่วางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่จะได้รับผลกระทบจากการเลี้ยวเบนที่ขอบของระนาบดิน แต่สายอากาศแถวลำดับที่วางอยู่บนระนาบดินอนันต์นั้นไม่ได้รวมผลกระทบจากการเลี้ยวเบนที่ขอบของระนาบดิน ดังนั้นจะเห็นว่าผลเนื่องจากการเลี้ยวเบนที่ขอบของระนาบดินไม่ได้ทำให้สมรรถนะของสายอากาศเก่งแย่งเสมอไปในทุกสถานการณ์

4. จะเห็นได้จากหัวข้อที่ 4.5 ว่าเมื่อชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์ และวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุดแล้วจะทำให้สายอากาศเก่งมีค่าดัชนีความเก่งเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาที่สายอากาศแถวลำดับที่วางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็ก การชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุดสามารถชดเชยมิวชวลคัปปลิงให้ตัวจำลองแบบมีค่าดัชนีความเก่งมากกว่ากรณีที่ไม่ชดเชยมิวชวลคัปปลิงได้ดีกว่าวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์คือได้จำนวน 5 กรณีของสถานการณ์ทั้งหมด 6 กรณี ส่วนวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์ได้จำนวน 4 กรณีของสถานการณ์ทั้งหมด 6 กรณี แต่เมื่อพิจารณาที่สายอากาศแถวลำดับที่วางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่แล้ววิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์สามารถชดเชยมิวชวลคัปปลิงให้ตัวจำลองแบบมีค่าดัชนีความเก่งมากกว่ากรณีที่ไม่ชดเชยมิวชวลคัปปลิงได้ดีกว่าวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุดคือได้จำนวน 5 กรณีของสถานการณ์ทั้งหมด 6 กรณี ส่วนวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุดได้จำนวน 4 กรณีของสถานการณ์ทั้งหมด 6 กรณี ดังนั้นการชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์ และวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุดของตัวจำลองแบบสรุปได้ว่าทั้งสองวิธีนี้มีสมรรถนะที่ใกล้เคียงกัน เพราะจากการทดสอบสมรรถนะของทั้งสองวิธีนี้กับตัวจำลองแบบสายอากาศเก่งที่สายอากาศแถวลำดับวางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็ก และระนาบดินขนาดใหญ่ยังไม่เห็นความแตกต่างของสมรรถนะของทั้งสองวิธีนี้อย่างชัดเจน เหมือนกับการคำนวณจำลองแบบในบทที่ 3 ที่สรุปได้ว่าวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์สามารถชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงได้ดีกว่าวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด

## บทที่ 5

### บทสรุป

#### สรุปผลการวิจัย

การทดสอบสร้างตัวจำลองแบบและการคำนวณจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ของสายอากาศเก่งเพื่อศึกษาสมรรถนะในการปรับเปลี่ยนลำคลื่นตามสถานการณ์ที่กำหนด พบว่าผลตอบที่ได้จากสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบสามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะให้กับสายอากาศเก่งได้ซึ่งทั้งตัวจำลองแบบและการคำนวณจำลองแบบนั้นมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน ข้อสรุปที่ได้มีดังนี้

1. สายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบสามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะให้กับสายอากาศเก่งได้ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือสามารถช่วยลดผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มีวอลคัมปลิงและลดผลของสัญญาณแทรกสอดให้กับสายอากาศเก่งได้ แต่ในบางสถานการณ์สายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวก็มีสมรรถนะที่ดีกว่า แต่อย่างไรก็ตามจากสถานการณ์ที่กำหนดขึ้นเพื่อทดสอบสมรรถนะของการคำนวณจำลองแบบและตัวจำลองแบบพบว่า ส่วนใหญ่ของสถานการณ์ที่กำหนดขึ้นสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบมีสมรรถนะที่ดีกว่าสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียว
2. ผลจากการทดสอบตัวจำลองแบบพบว่าถึงแม้สายอากาศแถวลำดับที่วางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็ก จะได้รับผลกระทบเนื่องจากการเลี้ยวเบนที่ขอบของระนาบดินมากกว่าสายอากาศแถวลำดับที่วางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ก็ตาม แต่ผลการทดสอบตัวจำลองแบบของสายอากาศเก่งพบว่า ในบางสถานการณ์สายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่วางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็ก ก็สามารถก่อรูปลำคลื่นแล้วได้ค่าดัชนีความเก่งมากกว่าสายอากาศเก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่วางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ ทำให้สรุปได้ว่าผลกระทบเนื่องจากการเลี้ยวเบนที่ขอบของระนาบดินอาจไม่ต้องทำให้สมรรถนะของสายอากาศเก่งลดลง ถึงแม้ว่าผลกระทบเนื่องจากการเลี้ยวเบนจะทำให้แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับผิดเพี้ยนไปจากแบบรูปการแผ่พลังงานที่ต้องการ
3. การคำนวณจำลองแบบเมื่อชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มีวอลคัมปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์ และวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุดพบว่าวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์

สามารถชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวซอลด์ป์ปลิงได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด แต่จากการชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวซอลด์ป์ปลิงกับตัวจำลองแบบพบว่า วิธีการชดเชยผลกระทบเนื่องจากมิวซอลด์ป์ปลิงทั้ง 2 วิธีนี้มีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกัน

### ข้อเสนอแนะ

1. ในการทดสอบสมรรถนะของตัวจำลองแบบ ลมเป็นอุปสรรคอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดการสั่นของสายอากาศส่งและสายอากาศรับ จึงทำให้เกิดการแกว่งของสัญญาณซึ่งมีผลกระทบต่อการก่อรูปลำคลื่นเพื่อหันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการ ดังนั้นจึงควรพัฒนาโครงสร้างและหาวิธียึดสายอากาศให้มีความแข็งแรงมากขึ้นและเกิดการสั่นน้อยที่สุด
2. เนื่องจากสถานที่ที่ใช้ในการทดสอบตัวจำลองแบบนั้นมีพื้นดินที่ไม่ค่อยเรียบ ทำให้เกิดความผิดพลาดในการติดตั้งสายอากาศ อาจจะทำให้สายอากาศรับและสายอากาศส่งมีความสูงที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงควรหาสถานที่ที่มีความเรียบของพื้นดินมากกว่านี้
3. เนื่องจากสายอากาศเก่านั้นต้องก่อรูปลำคลื่นเพื่อหันพู่หลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการ ปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการก่อรูปลำคลื่นก็คือจำนวนสัญญาณที่ส่งตัวอย่าง การทดสอบตัวจำลองแบบของวิทยานิพนธ์นี้ส่งตัวอย่างสัญญาณจำนวน 50 ตัวอย่าง ซึ่งผู้วิจัยคิดว่าจำนวนตัวอย่างของสัญญาณที่ส่งยังน้อยไปอยู่ ดังนั้นจึงควรทดลองเพิ่มจำนวนตัวอย่างของสัญญาณที่ส่งว่าจะมีผลต่อสมรรถนะมากน้อยเพียงใดเมื่อจำนวนตัวอย่างของสัญญาณเพิ่มขึ้น
4. การชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวซอลด์ป์ปลิงของตัวจำลองแบบนั้น ยังไม่สามารถสรุปได้อย่างชัดเจนว่าวิธีการชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวซอลด์ป์ปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์ หรือวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุดวิธีใดที่มีประสิทธิภาพมากกว่ากัน ผู้วิจัยคิดว่าควรที่จะเพิ่มจำนวนสถานการณ์ในการทดสอบตัวจำลองแบบเพื่อที่จะได้เห็นวิธีใดดีกว่ากัน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

มนต์ทิพย์ภา อินทรารุณ. การศึกษาสมรรถนะของสายอากาศเก่งโดยใช้ตัวจำลองแบบ วิทยานิพนธ์  
ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,  
2542.

เสกสรร มิตรเกษม และ ฉัตรชัย ไวยยาพัฒน์. ผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงที่มีต่อแบบรูปการแผ่  
พลังงานของแผงสายอากาศไมโครสตริบ. การประชุมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 19,  
หน้า CM-117-CM-121. พฤศจิกายน 2539 ณ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น.

### ภาษาอังกฤษ

Adve R.S. and Sarkar T.K. Compensation for the Effects of Mutual Coupling on Direct  
Domain Adaptive Algorithms. IEEE Trans. Antennas and Propagation. Vol. 48,  
No. 1, January 2000, pp. 86-94.

Balanis C.A. Antenna Theory Analysis and Design. John Wiley & Sons, Inc. 1997.

Borowice, R., Hossa, R., and Langowski Z. Compensation of Mutual Coupling in Small  
Antenna Arrays. Mikon-2002. 14<sup>th</sup> International Conference on Microwaves,  
Radar and Wireless Communication, 2002. Vol. 3, 20-22, May 2002, pp. 894-  
897.

Compton, R. T. Adaptive Antenna : Concepts and Performance. Englewood Cliffs NJ,  
Prentice-Hall, 1988.

Compton R.T. and JR. On the Performance of a Polarization Sensitive Adaptive Array.  
IEEE Trans. Antennas and Propagation. Vol. AP-29, No. 5, September 1981, pp.  
718-725.

Darwood P., Fletcher P.N., and Hilton G.S. Mutual Coupling Compensation in Small  
Planar Array Antennas. IEE Proc.-Microw. Antennas Propag. Vol. 145, No. 1,  
February 1998, pp. 1-6.

Gupta I.J. and Ksienski A.A. Dependence of Adaptive Array Performance on  
Conventional Array Design. IEEE Trans. Antennas and Propagation. Vol. AP-30,

- No. 4, July 1982, pp. 549-553.
- Gupta I.J. and Ksienski A.A. Effect of Mutual Coupling on the Performance of Adaptive Arrays. IEEE Trans. Antennas and Propagation. Vol. AP-31, No. 5, September 1983, pp. 785-791.
- Haupt R.L. An Introduction to Genetic Algorithms for Electromagnetics. IEEE Antennas and Propagation Magazine. Vol. 37, No. 2, April 1995, pp. 7-15.
- Indravuth M., Waiyapattanakorn C., and Wongsrisook A. Mutual Coupling Effects on Smart Antenna's Smartness. 1999 International Wireless And Telecommunications Symposium/Exhibit. Vol. 1, May 1999, pp.131-134.
- Kraus J.D. Antennas. McGraw-Hill, New York, 1988.
- Litva, J. and Lo, Y. T. Digital Beamforming in Wireless Communication. London, Artech House, 1996.
- Ludwig A.C. The Definition of Cross Polarization. IEEE Trans. Antennas and Propagation. January 1973, pp. 116-119.
- Malherbe J.A.G. Analysis of a Linear Antenna Array Including the Effects of Mutual Coupling. IEEE Trans. Education. Vol. 32, No. 1, February 1989, pp. 29-34.
- Martin-Cuerdo R., Segovia-Vargas D., and Sierra-Perez M. Minimization of Mutual Coupling Effects in Eigenstructure Algorithms Based on Modal Analysis. Antennas and Propagation Society, 1999. IEEE International Symposium 1999. Vol. 3, 11-16 July 1999, pp. 1608-1611.
- Michalewicz Z. Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs. Springer, 1996.
- Rahmat-Samii Y. and Michielssen E. Electromagnetic Optimization By Genetic Algorithms. John Wiley & Sons, Inc, 1999.
- Schmidt R.O. Multiple Emitter Location and Signal Parameter Estimation. IEEE Trans. Antennas and Propagation. Vol. AP-34, No. 3, Mar 1986, pp. 276-280.
- Steyskal H. and Herd J.S. Mutual Coupling Compensation in Small Array Antennas. IEEE Trans. Antennas and Propagation. Vol. 38, No. 12, December 1990, pp. 1971- 1975.
- Weile D.S. and Michielssen M. Genetic Algorithm Optimization Applied to Electromagnetics: A Review. IEEE Trans. Antennas and Propagation. Vol. 45,



No. 3, March 1997, pp. 343-353.

Zhang Y., Hirasawa K., and Fujimoto K. Signal Bandwidth Consideration of Mutual Coupling Effects on Adaptive Array Performance. IEEE Trans. Antennas and Propagation. Vol. AP-35, No. 3, March 1987, pp. 337-339.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก

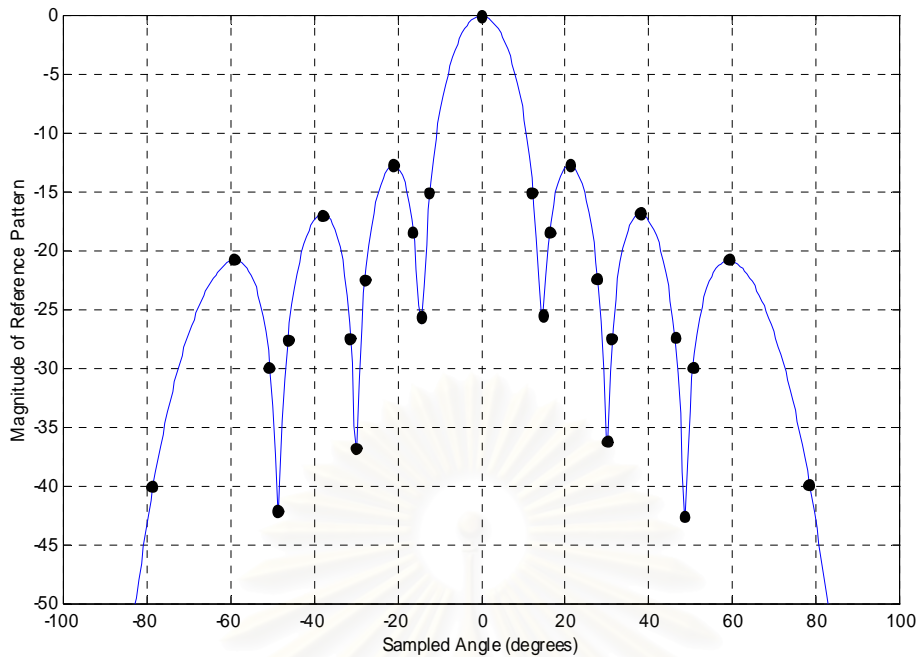
### การหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ดังสมการ (2.77) ที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.2.1 เป็นฟังก์ชันของค่าความผิดพลาด (error) ของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันไขว้ และสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมบริเวณพู่หลัก พู่ข้างและตำแหน่งศูนย์ โดยที่การหาค่าความผิดพลาดดังสมการ (2.77) นั้นจะใช้แบบรูปการแผ่พลังงานในรูปของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมเมื่อไม่รวมผลมีวอลต์ปลิงของสายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวของแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ  $\alpha_n = 90^\circ$  (ดังรูป 2.8) เป็นแบบรูปอ้างอิง (reference pattern) ที่ใช้ในการกำหนดเงื่อนไขของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ดังสมการ (2.77)

การหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสมการ (2.77) และ (2.78) เมื่อใช้กรรมวิธีการทำให้เหมาะสมที่สุดขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมจะมีดังนี้

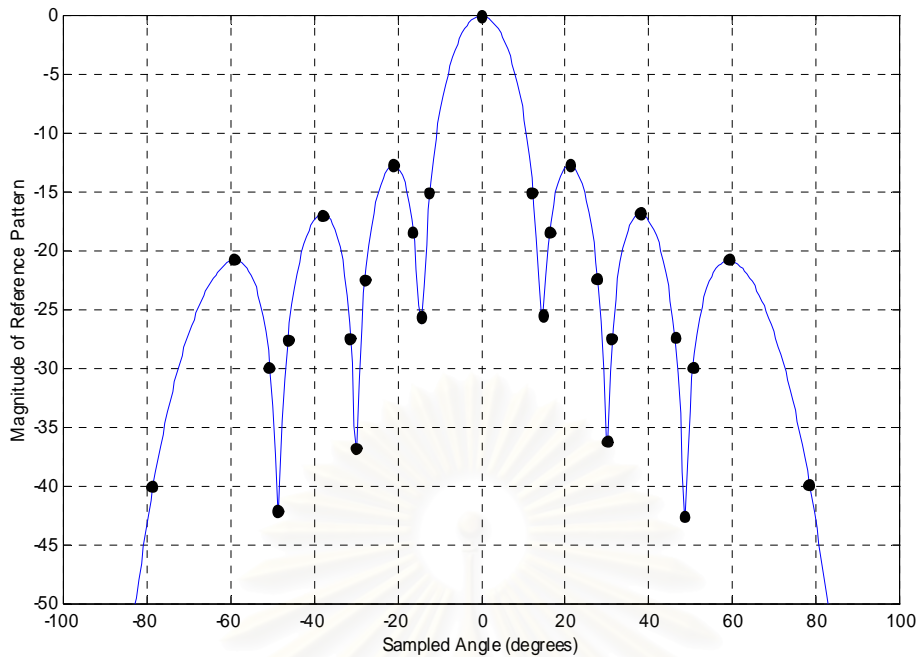
1. กำหนดมุม  $(\theta_i, \theta_j, \theta_k, \theta_l)$  ดังสมการ (2.77) ที่ต้องการสุ่มตัวอย่าง (sample) บนแบบรูปอ้างอิงดังรูป ก.1 เพื่อหาค่าสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วม  $E_{coidmain}(\theta_i)$ ,  $E_{comutmain}(\theta_i)$ ,  $E_{comutside}(\theta_j)$ ,  $E_{comutnull}(\theta_k)$  ในสมการ (2.77) โดยให้มีจำนวนมุมที่สุ่มตัวอย่างในบริเวณพู่หลักจำนวน 13 มุม บริเวณพู่ข้างจำนวน 55 มุม และบริเวณตำแหน่งศูนย์จำนวน 6 มุม และสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันไขว้  $E_{crrmut}(\theta_l)$  ในสมการ (2.77) มีมุมที่สุ่มตัวอย่างคือมุมในบริเวณพู่หลัก มุมในบริเวณพู่ข้าง และมุมบริเวณตำแหน่งศูนย์ ของมุมที่สุ่มตัวอย่างของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วม
2. ใช้กรรมวิธีการทำให้เหมาะสมที่สุดขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมดังที่ได้กล่าวไปในหัวข้อที่ 2.2 ปรับเปลี่ยนแนวการวางตัวของแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ  $\alpha_n$  โดยในที่นี้พยายามให้โครโมโซมแต่ละโครโมโซมประกอบไปด้วยแนวการวางตัวขององค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับทั้งหมด N องค์ประกอบ

$$\text{โครโมโซม } i = [\alpha_1 \quad \alpha_2 \quad \dots \quad \alpha_N]$$



รูป ก.1 การสุ่มตัวอย่างอย่างมุ่ม (●) ของแบบรูปอ้างอิง

3. หาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ดังสมการ (2.77) โดยที่สามารถหาค่าสนามไฟฟ้าในแต่ละมุมได้โดยใช้มุมที่สุ่มตัวอย่างมา และใช้แนวการวางตัวขององค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับที่หามาได้โดยใช้วิธีการทำให้เหมาะสมที่สุดขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม
4. หาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ปรับบรรทัดฐานแล้วดังสมการ (2.78)
5. หาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ปรับบรรทัดฐานแล้วกับทุกโครโมโซมจากนั้นกระทำตามกระบวนการทำให้เหมาะสมที่สุดขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมดังรูป 2.17 จนกว่าจะได้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ปรับบรรทัดฐานแล้วตามที่ต้องการ

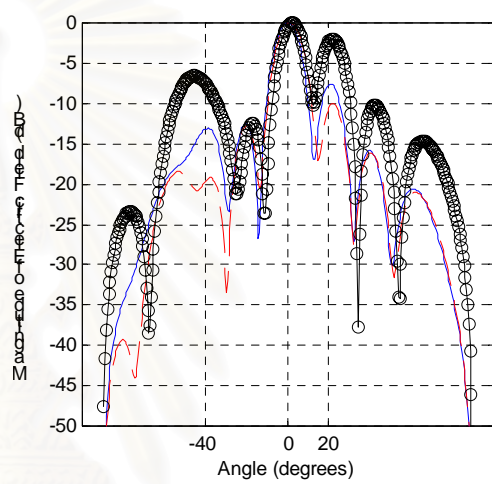
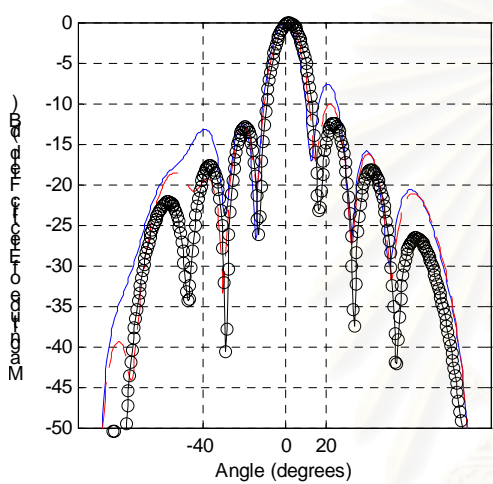


รูป ก.1 การสุ่มตัวอย่างอย่างมุ่ม (●) ของแบบรูปอ้างอิง

3. หาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ดังสมการ (2.77) โดยที่สามารถหาค่าสนามไฟฟ้าในแต่ละมุมได้โดยใช้มุมที่สุ่มตัวอย่างมา และใช้แนวการวางตัวขององค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับที่หามาได้โดยใช้วิธีการทำให้เหมาะสมที่สุดขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม
4. หาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ปรับบรรทัดฐานแล้วดังสมการ (2.78)
5. หาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ปรับบรรทัดฐานแล้วกับทุกโครโมโซมจากนั้นกระทำตามกระบวนการทำให้เหมาะสมที่สุดขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมดังรูป 2.17 จนกว่าจะได้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ปรับบรรทัดฐานแล้วตามที่ต้องการ

## ภาคผนวก ข

แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่ชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิลวอลด์ปปลิง เมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยวด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูริเยร์ และวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด ในการจำลองแบบสถานการณ์ตามข้อกำหนดในตารางที่ 3.3 ในหัวข้อที่ 3.2

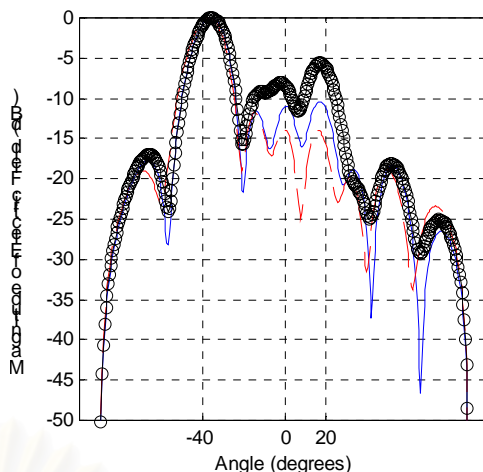
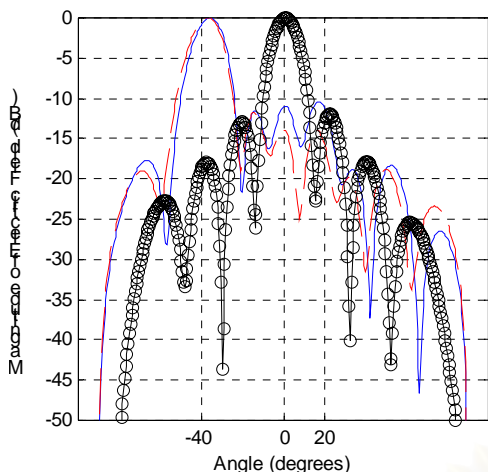


ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่ชดเชยมิลวอลด์ปปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูริเยร์

ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่ชดเชยมิลวอลด์ปปลิงด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด

รูป ข.1 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 1 โดยชดเชยผลมิลวอลด์ปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิลวอลด์ปปลิง (--) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 0.5

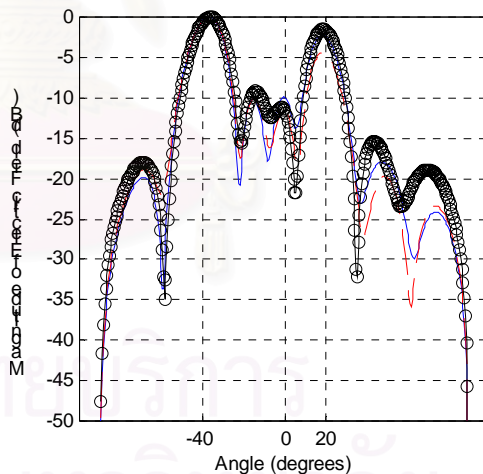
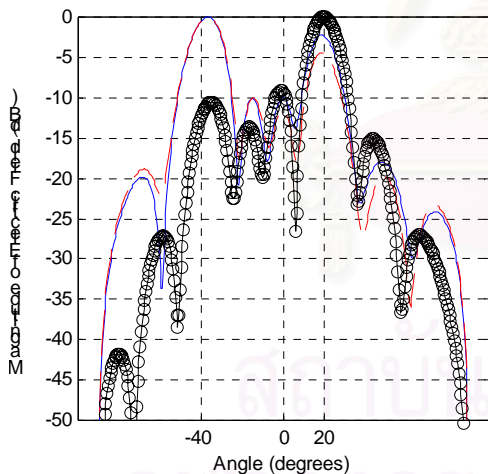
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งที่  
 ขดเซยมีวขวลค้ปปลิงด้วยวิธีแยก  
 ส่วนประกอบฟูริเยร์

ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งที่  
 ขดเซยมีวขวลค้ปปลิงด้วยวิธีผลเฉลย  
 กำลังสองน้อยที่สุด

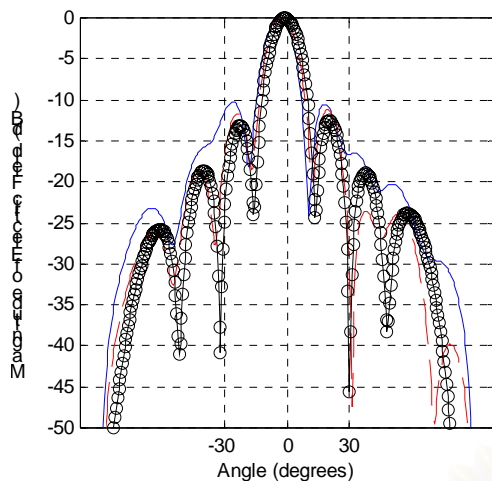
รูป ข.2 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 2 โดยขดเซย  
 ผลมีวขวลค้ปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมีวขวลค้ปปลิง (--) และเทียบกับสภาวะสงบ (-)  
 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1



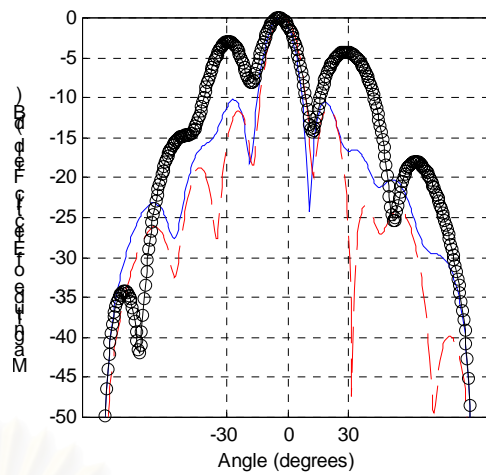
ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งที่  
 ขดเซยมีวขวลค้ปปลิงด้วยวิธีแยก  
 ส่วนประกอบฟูริเยร์

ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งที่  
 ขดเซยมีวขวลค้ปปลิงด้วยวิธีผลเฉลย  
 กำลังสองน้อยที่สุด

รูป ข.3 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 3 โดยขดเซย  
 ผลมีวขวลค้ปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมีวขวลค้ปปลิง (--) และเทียบกับสภาวะสงบ (-)  
 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10

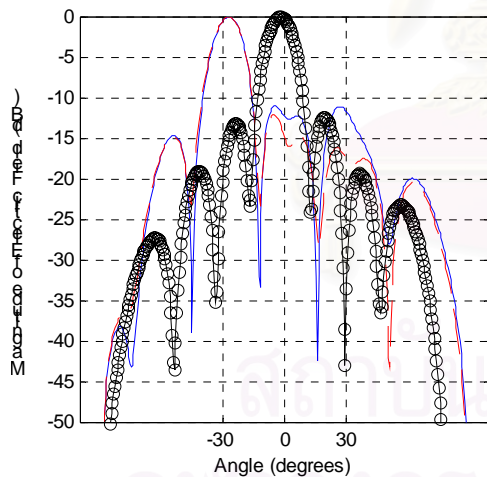


ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่  
 ขดเซยมิวชวลคป์ลิงด้วยวิธีแยก  
 ส่วนประกอบฟูริเยร์

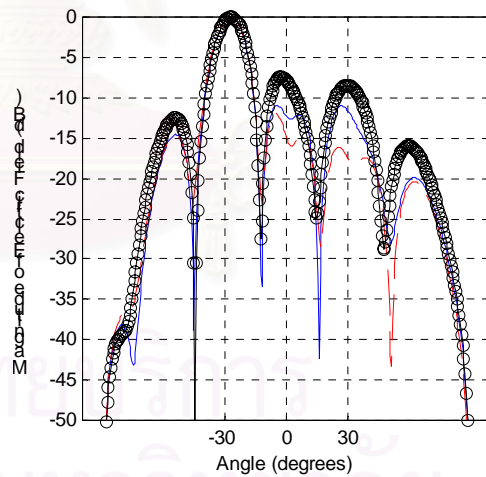


ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่  
 ขดเซยมิวชวลคป์ลิงด้วยวิธีผลเฉลย  
 กำลังสองน้อยที่สุด

รูป ข.4 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 4 โดยขดเซย  
 ผลมิวชวลคป์ลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิวชวลคป์ลิง (-- ) และเทียบกับสภาวะสงบ (-)  
 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 0.5



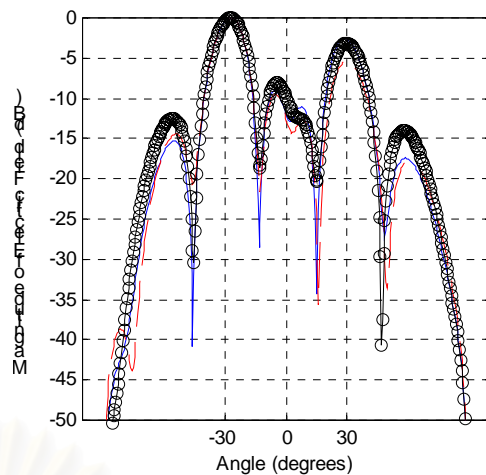
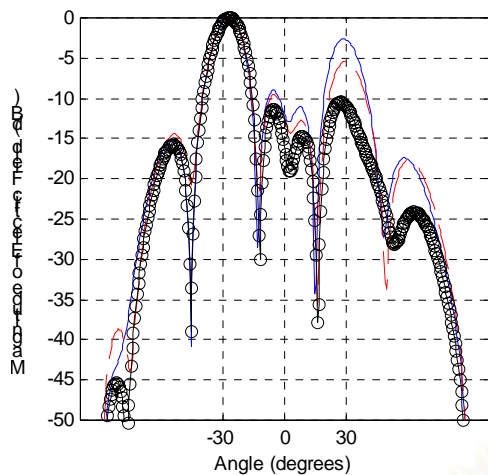
ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่  
 ขดเซยมิวชวลคป์ลิงด้วยวิธีแยก  
 ส่วนประกอบฟูริเยร์



ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่  
 ขดเซยมิวชวลคป์ลิงด้วยวิธีผลเฉลย  
 กำลังสองน้อยที่สุด

รูป ข.5 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 5 โดยขดเซย  
 ผลมิวชวลคป์ลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิวชวลคป์ลิง (-- ) และเทียบกับสภาวะสงบ (-)  
 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1

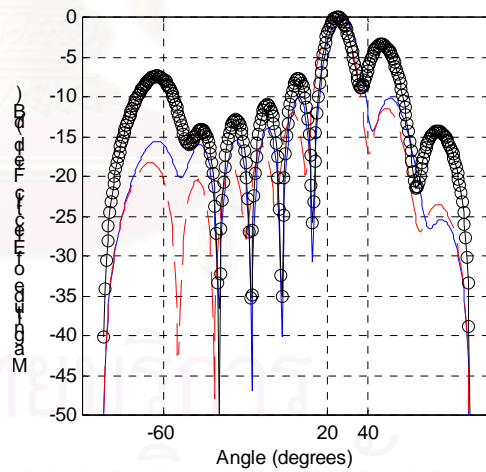
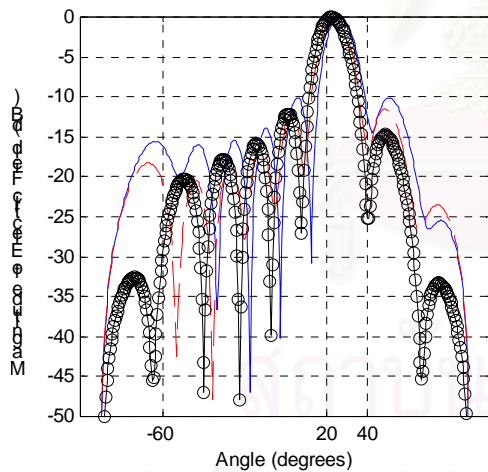




ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งที่  
 ชดเชยมิวชวลค้ปปลิงด้วยวิธีแยก  
 ส่วนประกอบฟูริเยร์

ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งที่  
 ชดเชยมิวชวลค้ปปลิงด้วยวิธีผลเฉลย  
 กำลังสองน้อยที่สุด

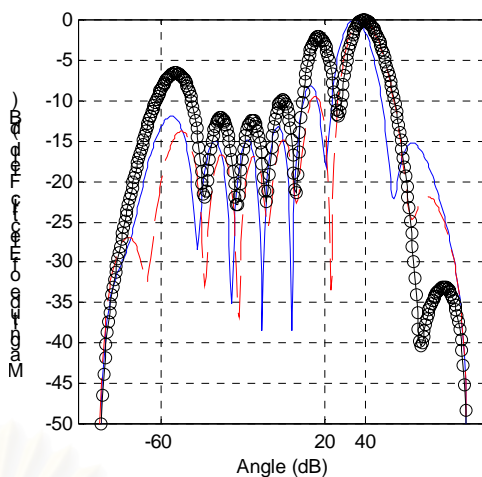
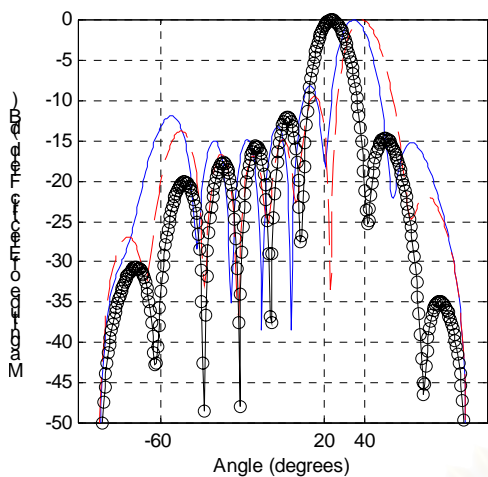
รูป ข.6 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 6 โดยชดเชย  
 ผลมิวชวลค้ปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิวชวลค้ปปลิง (-- ) และเทียบกับสภาวะสงบ (-)  
 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10



ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งที่  
 ชดเชยมิวชวลค้ปปลิงด้วยวิธีแยก  
 ส่วนประกอบฟูริเยร์

ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งที่  
 ชดเชยมิวชวลค้ปปลิงด้วยวิธีผลเฉลย  
 กำลังสองน้อยที่สุด

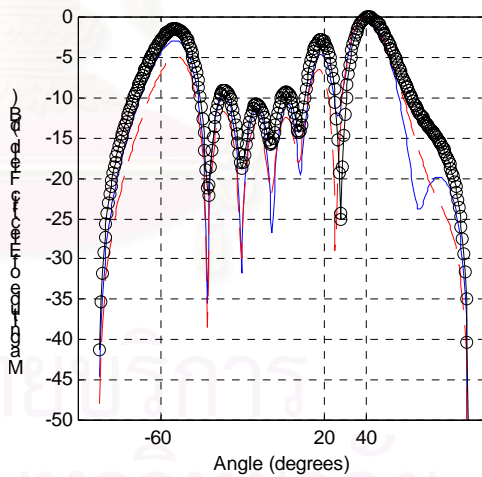
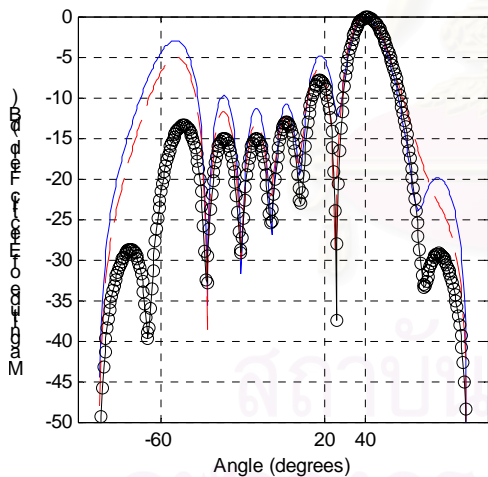
รูป ข.7 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 7 โดยชดเชย  
 ผลมิวชวลค้ปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิวชวลค้ปปลิง (-- ) และเทียบกับสภาวะสงบ (-)  
 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 0.5



ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งที่  
 ขดเซยมิวชวลคป์ปลิงด้วยวิธีแยก  
 ส่วนประกอบฟูรีเยร์

ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งที่  
 ขดเซยมิวชวลคป์ปลิงด้วยวิธีผลเฉลย  
 กำลังสองน้อยที่สุด

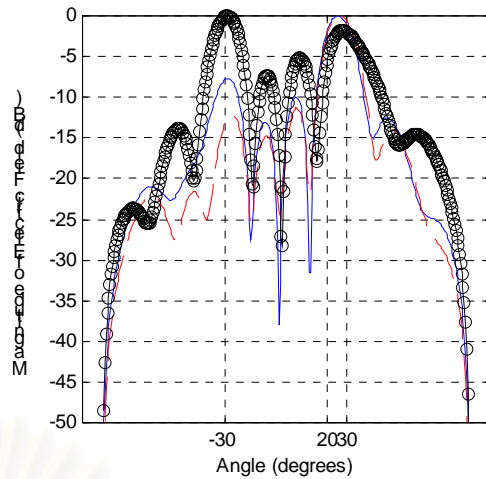
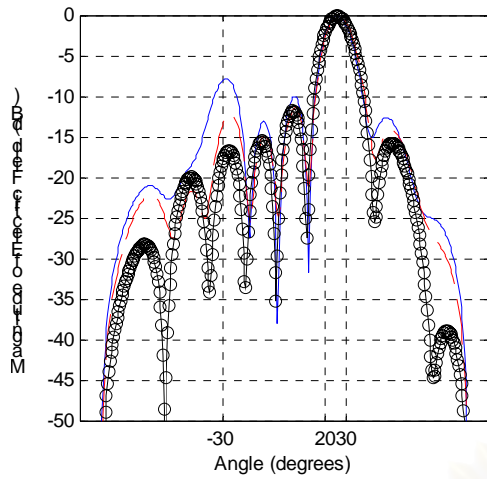
รูป ข.8 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 8 โดยขดเซยมิวชวลคป์ปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิวชวลคป์ปลิง (--) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1



ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งที่  
 ขดเซยมิวชวลคป์ปลิงด้วยวิธีแยก  
 ส่วนประกอบฟูรีเยร์

ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งที่  
 ขดเซยมิวชวลคป์ปลิงด้วยวิธีผลเฉลย  
 กำลังสองน้อยที่สุด

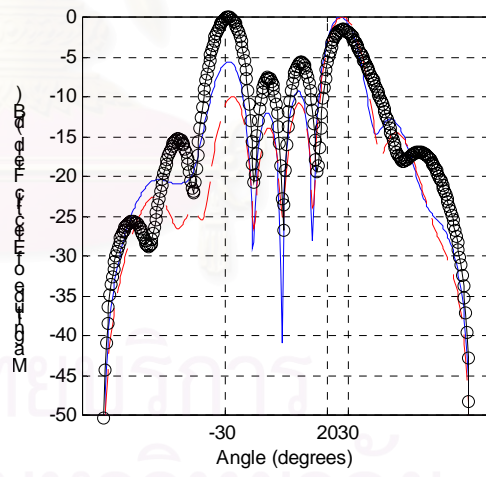
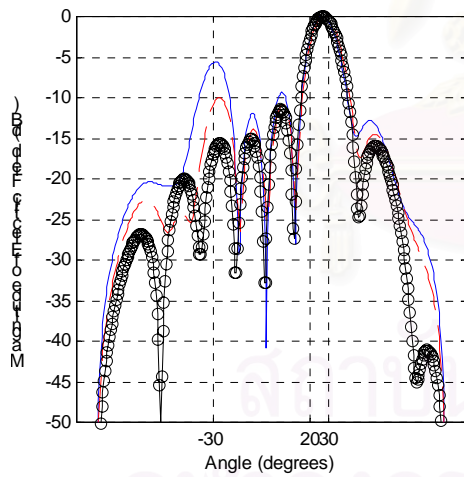
รูป ข.9 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 9 โดยขดเซยมิวชวลคป์ปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิวชวลคป์ปลิง (--) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10



ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่  
 ชุดเซยมิวชวลค้ปปลิงด้วยวิธีแยก  
 ส่วนประกอบฟูริเยร์

ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่  
 ชุดเซยมิวชวลค้ปปลิงด้วยวิธีผลเฉลย  
 กำลังสองน้อยที่สุด

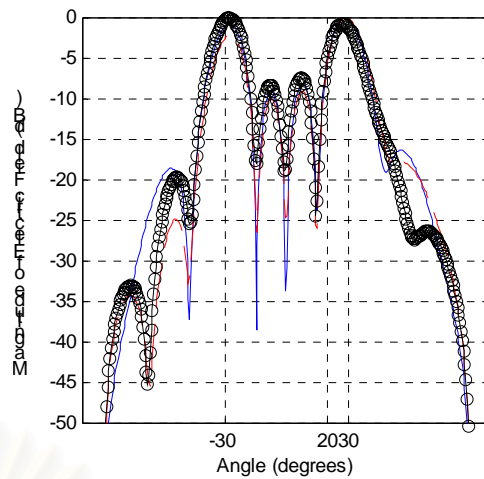
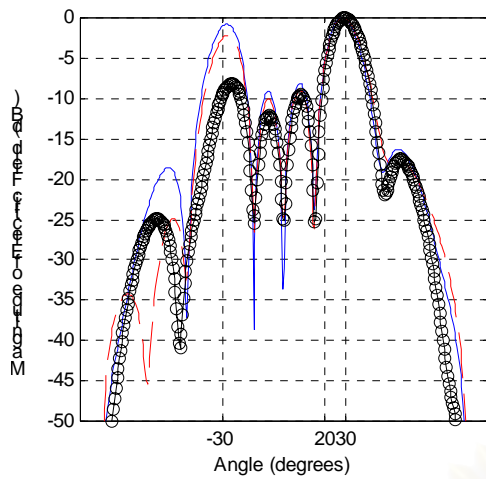
รูป ข.10 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 10 โดยชุดเซยผลมิวชวลค้ปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิวชวลค้ปปลิง (--) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 0.5



ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่  
 ชุดเซยมิวชวลค้ปปลิงด้วยวิธีแยก  
 ส่วนประกอบฟูริเยร์

ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่  
 ชุดเซยมิวชวลค้ปปลิงด้วยวิธีผลเฉลย  
 กำลังสองน้อยที่สุด

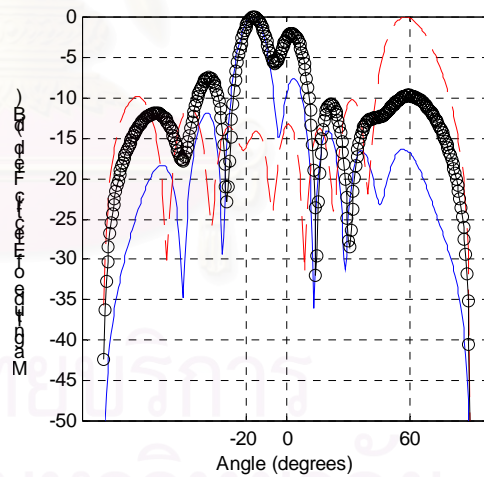
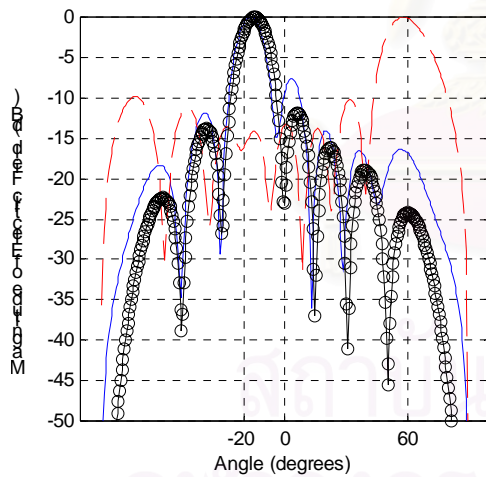
รูป ข.11 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 11 โดยชุดเซยผลมิวชวลค้ปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิวชวลค้ปปลิง (--) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1



ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งที่  
ชดเชยมิวซวลค้ปปลิงด้วยวิธีแยก  
ส่วนประกอบฟูริเยร์

ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งที่  
ชดเชยมิวซวลค้ปปลิงด้วยวิธีผลเฉลย  
กำลังสองน้อยที่สุด

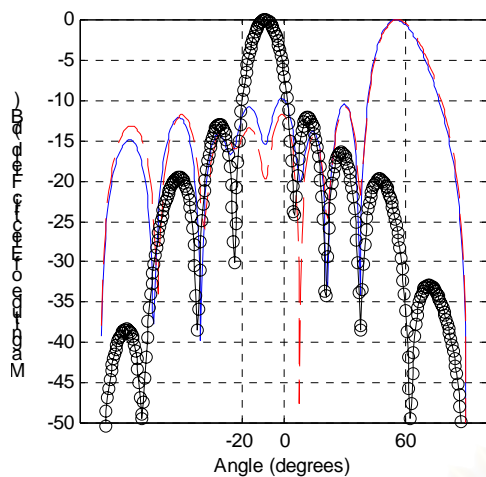
รูป ข.12 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 12 โดยชด  
เชยผลมิวซวลค้ปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิวซวลค้ปปลิง (--) และเทียบกับสภาวะสงบ  
(-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10



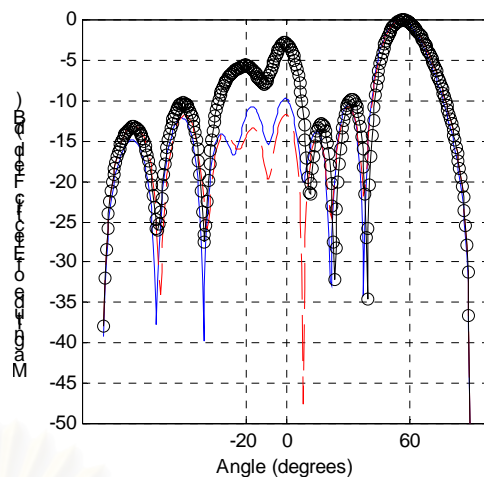
ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งที่  
ชดเชยมิวซวลค้ปปลิงด้วยวิธีแยก  
ส่วนประกอบฟูริเยร์

ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งที่  
ชดเชยมิวซวลค้ปปลิงด้วยวิธีผลเฉลย  
กำลังสองน้อยที่สุด

รูป ข.13 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 13 โดยชด  
เชยผลมิวซวลค้ปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิวซวลค้ปปลิง (--) และเทียบกับสภาวะ  
สงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 0.5

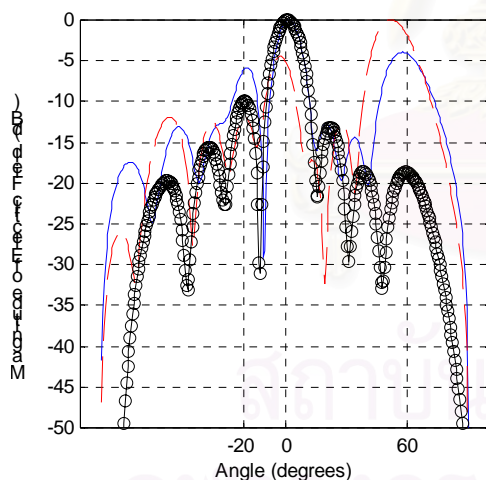


ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งที่  
 ขดเซยมิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีแยก  
 ส่วนประกอบฟูรีเยร์

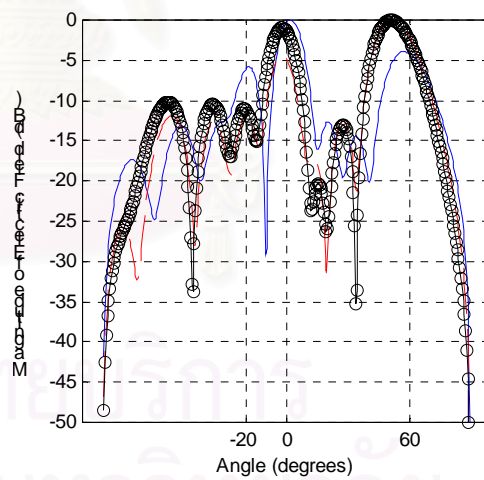


ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งที่  
 ขดเซยมิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีผลเฉลย  
 กำลังสองน้อยที่สุด

รูป ข.14 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 14 โดยชด  
 เซยผลมิวชวลคัปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิวชวลคัปปลิง (--) และเทียบกับสภาวะ  
 สงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1

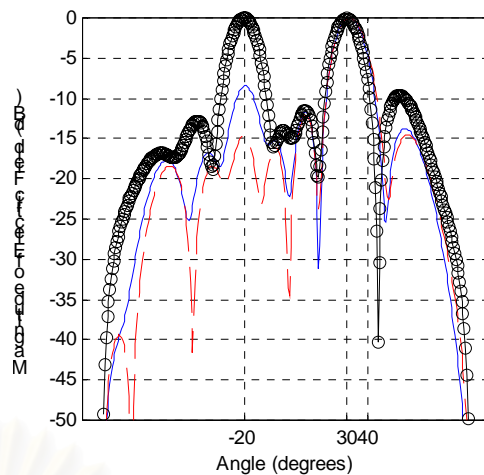
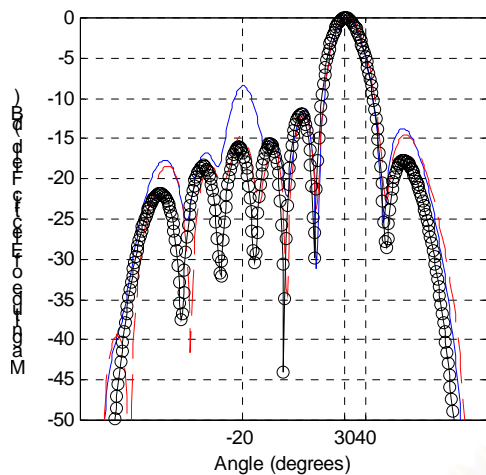


ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งที่  
 ขดเซยมิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีแยก  
 ส่วนประกอบฟูรีเยร์



ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งที่  
 ขดเซยมิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีผลเฉลย  
 กำลังสองน้อยที่สุด

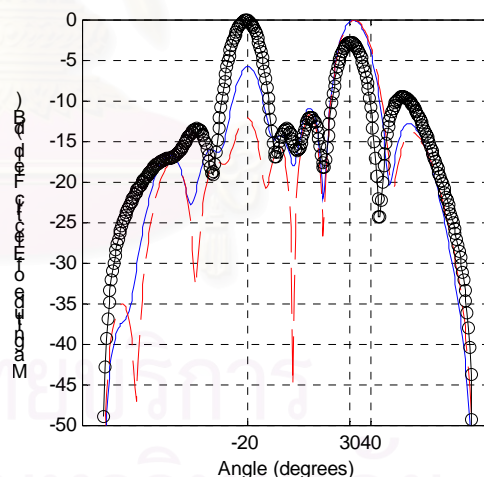
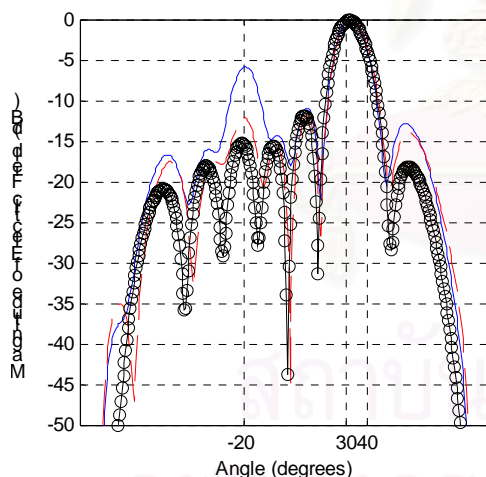
รูป ข.15 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 15 โดยชด  
 เซยผลมิวชวลคัปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิวชวลคัปปลิง (--) และเทียบกับสภาวะ  
 สงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10



ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่  
ชดเชยมิวซวลค้ปปลิงด้วยวิธีแยก  
ส่วนประกอบฟูรีเยร์

ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่  
ชดเชยมิวซวลค้ปปลิงด้วยวิธีผลเฉลย  
กำลังสองน้อยที่สุด

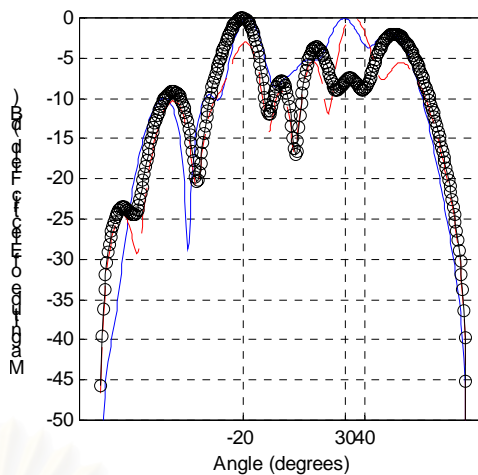
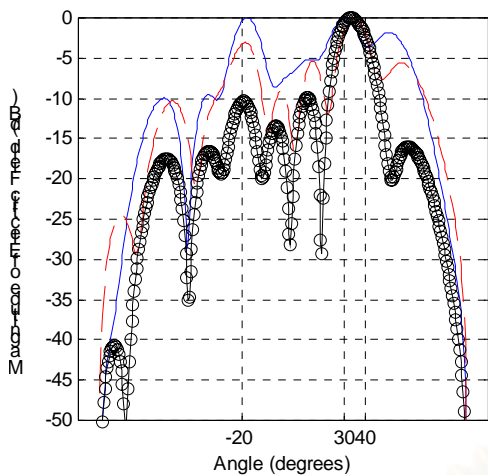
รูป ข.16 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 16 โดยชดเชยผลมิวซวลค้ปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิวซวลค้ปปลิง (--) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 0.5



ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่  
ชดเชยมิวซวลค้ปปลิงด้วยวิธีแยก  
ส่วนประกอบฟูรีเยร์

ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่  
ชดเชยมิวซวลค้ปปลิงด้วยวิธีผลเฉลย  
กำลังสองน้อยที่สุด

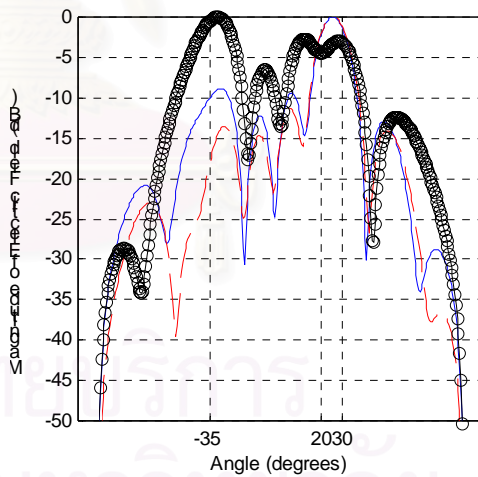
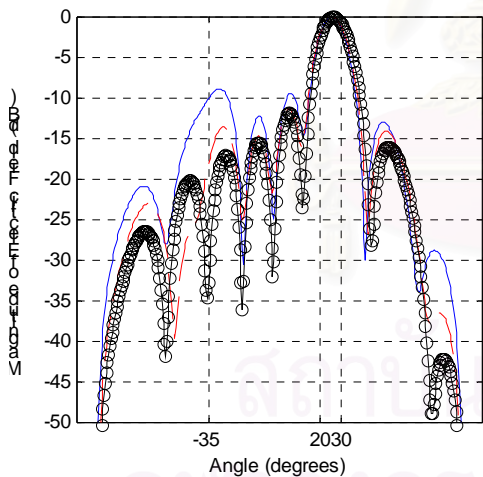
รูป ข.17 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 17 โดยชดเชยผลมิวซวลค้ปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิวซวลค้ปปลิง (--) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1



ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่  
ชดเชยมิวซวลค้ปปลิงด้วยวิธีแยก  
ส่วนประกอบฟูริเยร์

ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่  
ชดเชยมิวซวลค้ปปลิงด้วยวิธีผลเฉลย  
กำลังสองน้อยที่สุด

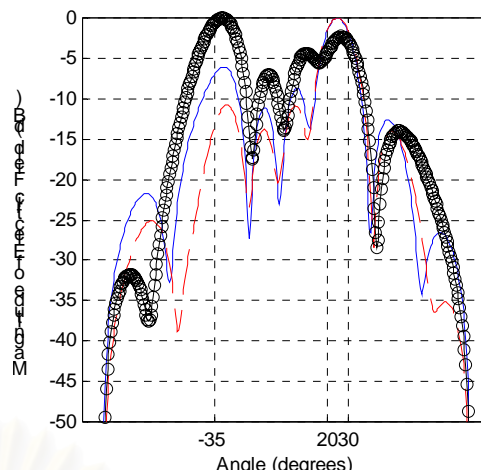
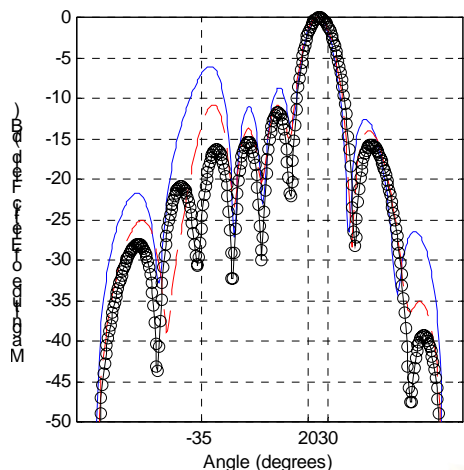
รูป ข.18 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 18 โดยชดเชยผลมิวซวลค้ปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิวซวลค้ปปลิง (--) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10



ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่  
ชดเชยมิวซวลค้ปปลิงด้วยวิธีแยก  
ส่วนประกอบฟูริเยร์

ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่  
ชดเชยมิวซวลค้ปปลิงด้วยวิธีผลเฉลย  
กำลังสองน้อยที่สุด

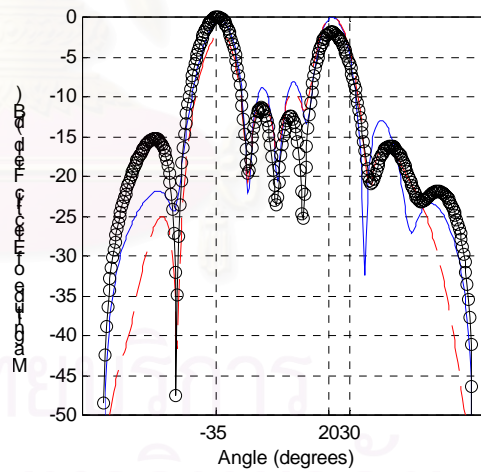
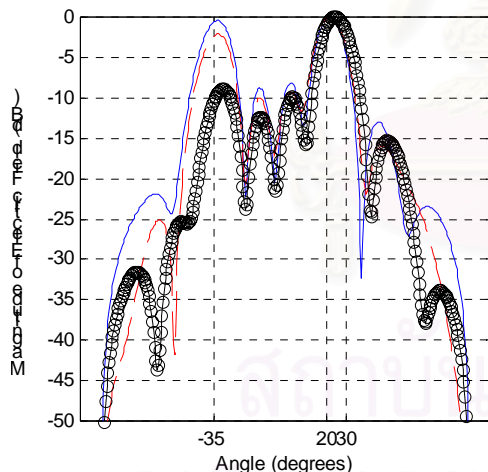
รูป ข.19 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 19 โดยชดเชยผลมิวซวลค้ปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิวซวลค้ปปลิง (--) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 0.5



ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่  
 ขดเซยมิวซวลคป์ปลิงด้วยวิธีแยก  
 ส่วนประกอบฟูริเยร์

ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่  
 ขดเซยมิวซวลคป์ปลิงด้วยวิธีผลเฉลย  
 กำลังสองน้อยที่สุด

รูป ข.20 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 20 โดยชด  
 เซยผลมิวซวลคป์ปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิวซวลคป์ปลิง (--) และเทียบกับสภาวะ  
 สงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1

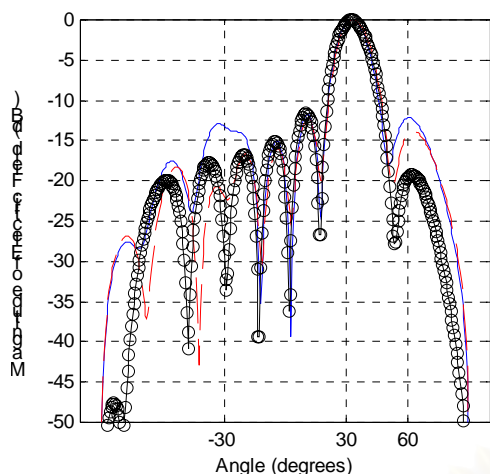


ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่  
 ขดเซยมิวซวลคป์ปลิงด้วยวิธีแยก  
 ส่วนประกอบฟูริเยร์

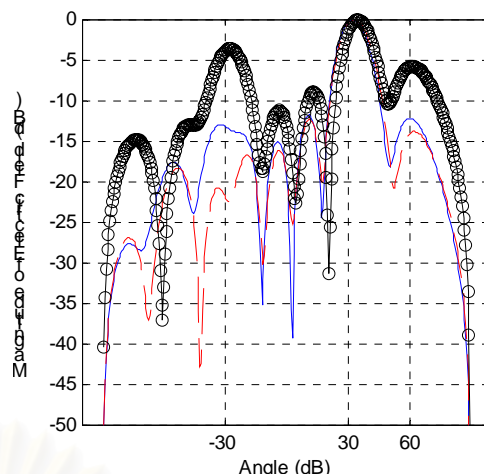
ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่  
 ขดเซยมิวซวลคป์ปลิงด้วยวิธีผลเฉลย  
 กำลังสองน้อยที่สุด

รูป ข.21 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 21 โดยชด  
 เซยผลมิวซวลคป์ปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิวซวลคป์ปลิง (--) และเทียบกับสภาวะ  
 สงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10



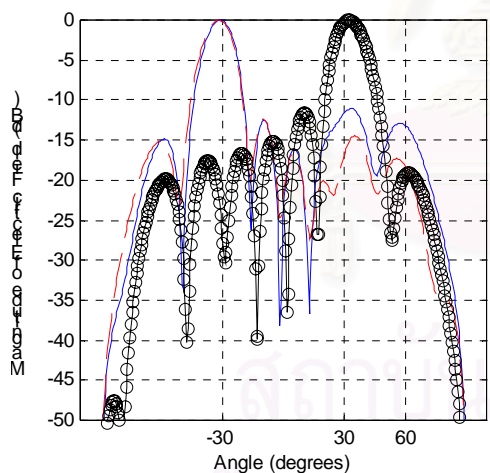


ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งที่  
 ชดเชยมิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีแยก  
 ส่วนประกอบฟูรีเยร์

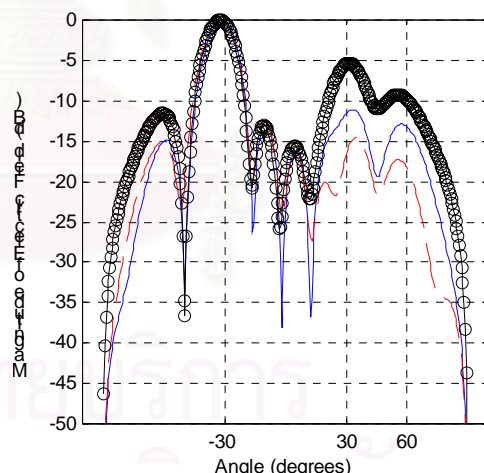


ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งที่  
 ชดเชยมิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีผลเฉลย  
 กำลังสองน้อยที่สุด

รูป ข.22 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 22 โดยชด  
 เชยผลมิวชวลคัปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิวชวลคัปปลิง (--) และเทียบกับสภาวะ  
 สงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 0.5

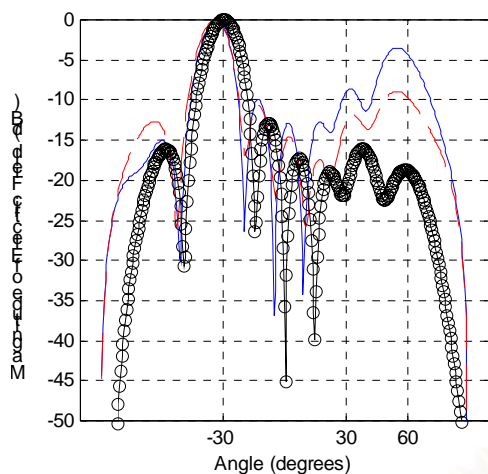


ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งที่  
 ชดเชยมิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีแยก  
 ส่วนประกอบฟูรีเยร์

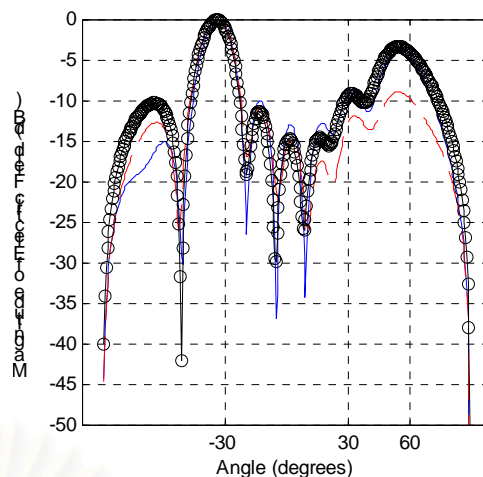


ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งที่  
 ชดเชยมิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีผลเฉลย  
 กำลังสองน้อยที่สุด

รูป ข.23 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 23 โดยชด  
 เชยผลมิวชวลคัปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิวชวลคัปปลิง (--) และเทียบกับสภาวะ  
 สงบ (-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1



ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่  
ชดเชยมิวชวลต์ปปลิงด้วยวิธีแยก  
ส่วนประกอบฟูริเยร์



ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่  
ชดเชยมิวชวลต์ปปลิงด้วยวิธีผลเฉลย  
กำลังสองน้อยที่สุด

รูป ข.24 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 24 โดยชด  
เชยผลมิวชวลต์ปปลิง (-o) เทียบกับสภาวะที่รวมผลมิวชวลต์ปปลิง (-) และเทียบกับสภาวะสงบ  
(-) โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10

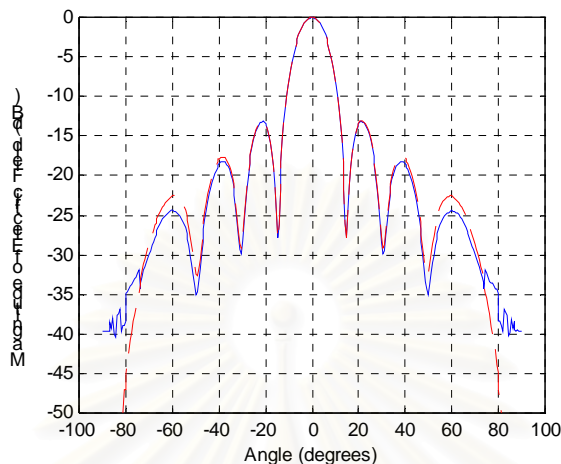
## ภาคผนวก ค

### การออกแบบขนาดของระนาบดินของสายอากาศแถวลำดับโดยใช้โปรแกรม SuperNEC

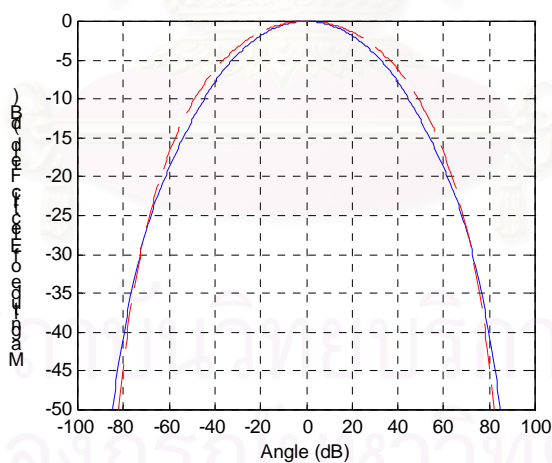
การออกแบบขนาดของระนาบดินของสายอากาศแถวลำดับในวิทยานิพนธ์นี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. ส่วนที่หนึ่งจะเป็นการออกแบบระนาบดินขนาดเล็กโดยจะกำหนดให้กรณีี่ระนาบดินมีขนาดเล็ก เป็นกรณีี่สายอากาศแถวลำดับได้รับผลกระทบจากการเลี้ยวเบนที่ขอบของระนาบดินมากที่สุด หรือเรียกว่าเป็นกรณีี่เลวที่สุดซึ่งจะกำหนดให้ระนาบดินมีรูปร่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีความยาวเท่ากับ 1.2 เมตร ซึ่งจะยาวกว่าความยาวของแกนแถวลำดับประมาณ 0.15 เมตร ทั้งนี้เพื่อให้กรณีี่ที่ปรับแนวการวางตัวของสายอากาศชั่วคราวไปแล้วปลายของสายอากาศชั่วคราวไม่ยื่นออกไปนอกระนาบดิน ส่วนความกว้างจะเท่ากับ 0.15 เมตร ซึ่งมีความยาวเท่ากับความยาวของสายอากาศชั่วคราว ลักษณะของสายอากาศแถวลำดับที่วางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็กจะเป็นดังรูป 4.1 ในบทที่ 4 และแบบรูปการแผ่พลังงานจะเป็นดังรูป 4.3 ในบทที่ 4
2. ส่วนที่สองจะเป็นการออกแบบระนาบดินขนาดใหญ่โดยจะลองปรับความกว้าง และความยาวของระนาบดินจนได้ขนาดที่เหมาะสม ที่ทำให้ได้รับผลของการเลี้ยวเบนที่ขอบของระนาบดินน้อยที่สุด ซึ่งเมื่อทดลองปรับความกว้างและความยาวแล้วจะได้ความกว้างของระนาบดินเท่ากับ 0.3 เมตร และความยาวเท่ากับ 1.575 เมตร เป็นขนาดที่เหมาะสมไม่ใหญ่จนเกินไปสะดวกต่อการใช้งาน เพราะว่าเมื่อทดลองปรับความกว้างให้มีขนาดกว้างเป็น  $10^7$  เท่าของความกว้างของระนาบดินขนาดเล็ก และปรับความยาวให้มีขนาดเป็น  $10^7$  เท่าของความยาวของระนาบดินขนาดเล็กแล้วปรากฏว่าได้แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมบนระนาบ  $\phi = 0^\circ$  เมื่อสายอากาศแถวลำดับมีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดียวกับ กรณีี่ที่ใช้ระนาบดินขนาดใหญ่ในบริเวณพู่ข้างที่องศาไกลๆ ซึ่งเป็นบริเวณองศาที่นอกเหนือจากความสนใจ และผลที่แตกต่างก็แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยซึ่งเป็นดังรูป ค.1 และแบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมบนระนาบ  $\phi = 90^\circ$  จะแตกต่างกับกรณีี่ใช้ระนาบดินขนาดใหญ่ในแต่ละองศาประมาณไม่เกิน 1 เดซิเบลซึ่งเป็นดังรูป ค.2 เมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบแล้วจะได้แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมบนระนาบ  $\phi = 0^\circ$  ที่แตกต่างกับกรณีี่ใช้ระนาบดินขนาดใหญ่ในบริเวณพู่ข้างประมาณเพียง 2-3 เดซิเบลเท่านั้นซึ่งเป็นดังรูป ค.3 และแบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมบนระนาบ  $\phi = 90^\circ$  จะแตกต่างกับกรณีี่ใช้ระนาบดินขนาดใหญ่ในแต่ละองศาประมาณไม่เกิน 1 เดซิเบลซึ่งเป็นดังรูป ค.4 ดังนั้นจึงให้ระนาบดินขนาดใหญ่มีขนาด

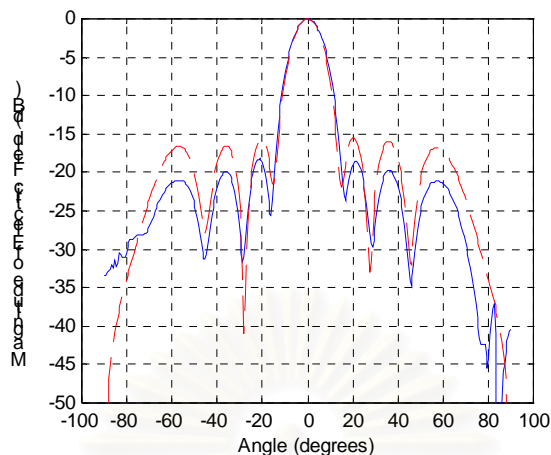
ความกว้างเท่ากับ 0.3 เมตร และความยาวเท่ากับ 1.575 เมตรก็เพียงพอแล้ว ลักษณะของสายอากาศแถวลำดับที่วางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่จะเป็นดังรูป 4.2 ในบทที่4



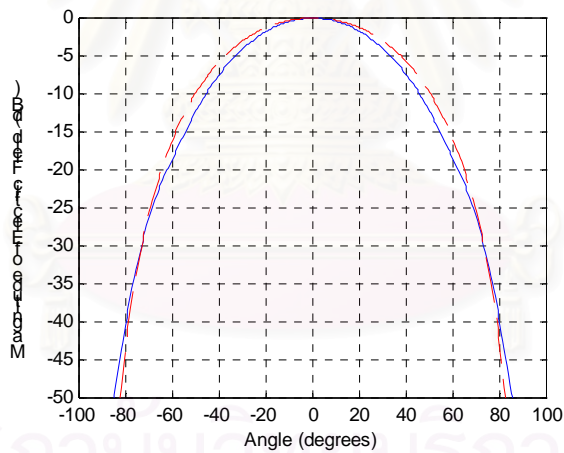
รูป ค.1 แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมบนระนาบ  $\varphi = 0^\circ$  เมื่อสายอากาศแถวลำดับมีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววางตัวอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ (-) เทียบกับเมื่อวางตัวอยู่บนระนาบดินขนาด  $10^7$  เท่าของความกว้างและความยาวของระนาบดินขนาดเล็ก (--)



รูป ค.2 แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมบนระนาบ  $\varphi = 90^\circ$  เมื่อสายอากาศแถวลำดับมีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววางตัวอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ (-) เทียบกับเมื่อวางตัวอยู่บนระนาบดินขนาด  $10^7$  เท่าของความกว้างและความยาวของระนาบดินขนาดเล็ก (--)



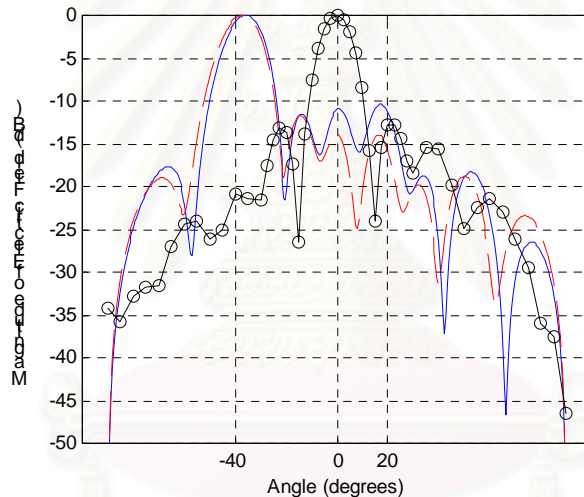
รูป ค.3 แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมบนระนาบ  $\varphi = 0^\circ$  เมื่อสายอากาศแถวลำดับมีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบวางตัวอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ๋ (-) เทียบกับเมื่อวางตัวอยู่บนระนาบดินขนาด  $10^7$  เท่าของความกว้างและความยาวของระนาบดินขนาดเล็ก (--)



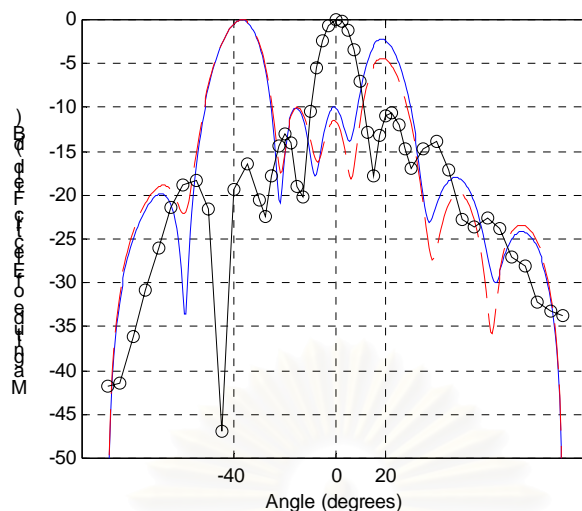
รูป ค.4 แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนวโพลาริเซชันร่วมบนระนาบ  $\varphi = 90^\circ$  เมื่อสายอากาศแถวลำดับมีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบวางตัวอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ๋ (-) เทียบกับเมื่อวางตัวอยู่บนระนาบดินขนาด  $10^7$  เท่าของความกว้างและความยาวของระนาบดินขนาดเล็ก (--)

## ภาคผนวก ง

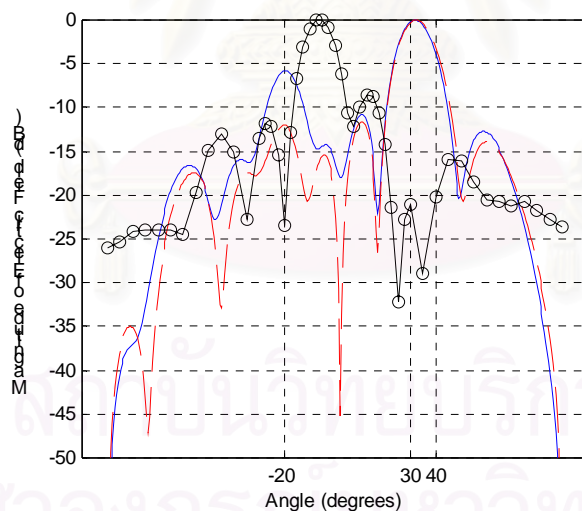
แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศแก่งเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานของการคำนวณจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววางอยู่บนระนาบดินอนันต์ และแบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศแก่งเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบวางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานของการคำนวณจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบวางอยู่บนระนาบดินอนันต์ เมื่อก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum ตามสถานการณ์ดังตารางที่ 4.1



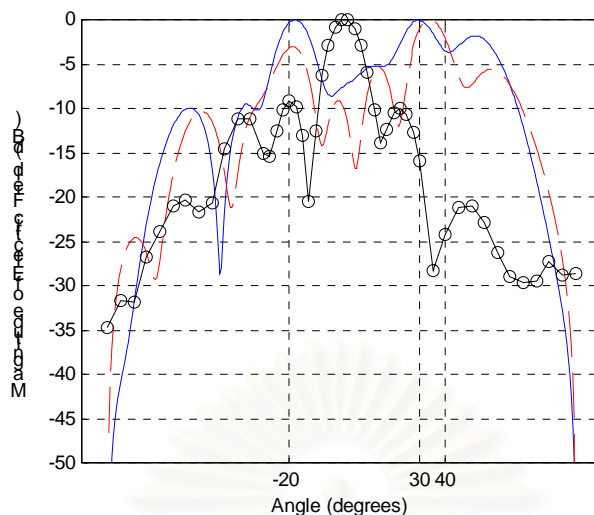
รูป ง.1 แบบรูปการแผ่พลังงานของการคำนวณจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววางอยู่บนระนาบดินอนันต์และรวมผลมิววลด์คับปลิง (--) เทียบกับตัวจำลองแบบที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ (-o) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีนี้ที่ 1 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1



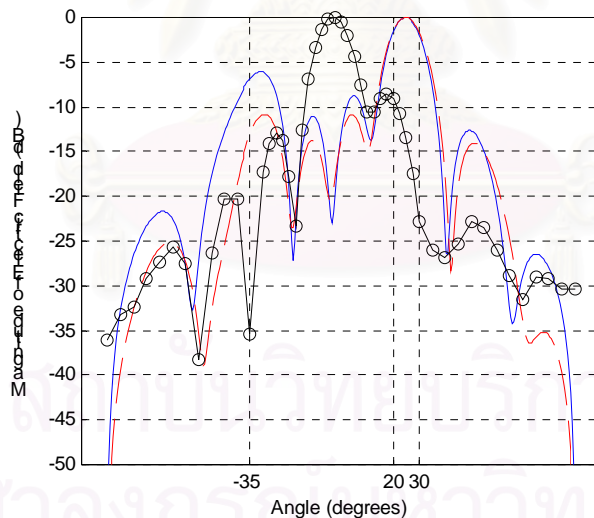
รูป ง.2 แบบรูปการแผ่พลังงานของการคำนวณจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแฉกลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววางอยู่บนระนาบดินอนันต์และรวมผลมิววลด์บปปลิง (--) เทียบกับตัวจำลองแบบที่ใช้สายอากาศแฉกลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ (-o) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 2 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10



รูป ง.3 แบบรูปการแผ่พลังงานของการคำนวณจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแฉกลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววางอยู่บนระนาบดินอนันต์และรวมผลมิววลด์บปปลิง (--) เทียบกับตัวจำลองแบบที่ใช้สายอากาศแฉกลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ (-o) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 3 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1

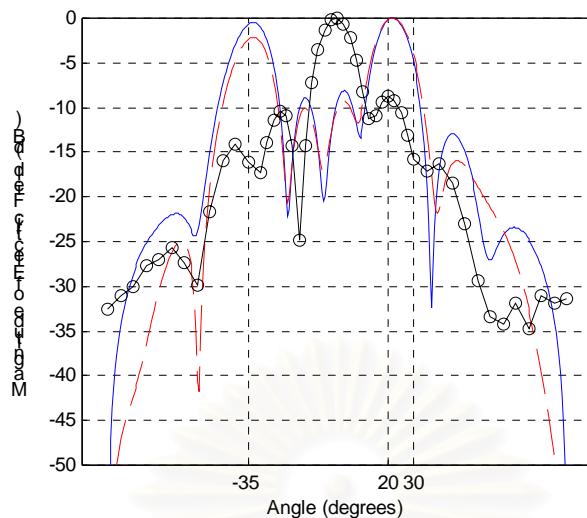


รูป ง.4 แบบรูปการแผ่พลังงานของการคำนวณจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววางอยู่บนระนาบดินอนันต์และรวมผลมิววลด์บีปลิง (--) เทียบกับตัวจำลองแบบที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ (-o) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 4 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10

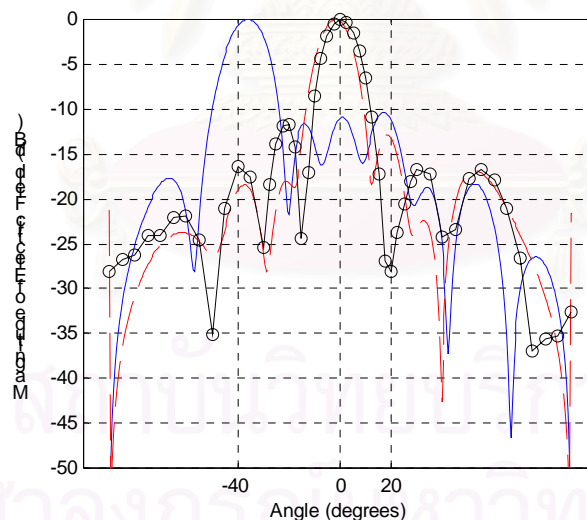


รูป ง.5 แบบรูปการแผ่พลังงานของการคำนวณจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววางอยู่บนระนาบดินอนันต์และรวมผลมิววลด์บีปลิง (--) เทียบกับตัวจำลองแบบที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ (-o) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 5 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1

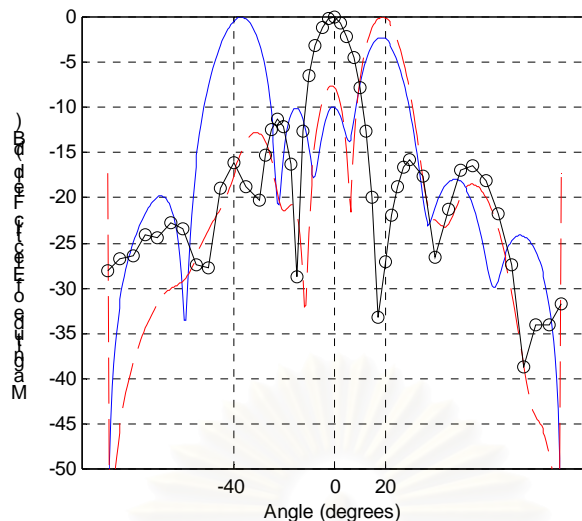




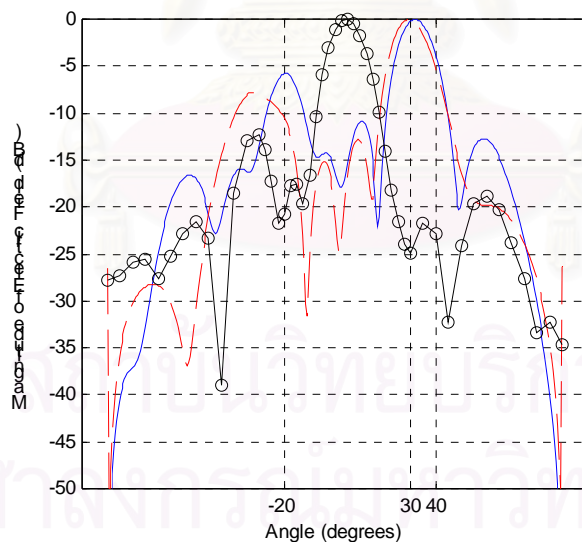
รูป ง.6 แบบรูปการแผ่พลังงานของการคำนวณจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววางอยู่บนระนาบดินอนันต์และรวมผลมิวขวลคัปปลิง (--) เทียบกับตัวจำลองแบบที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ (-o) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 6 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10



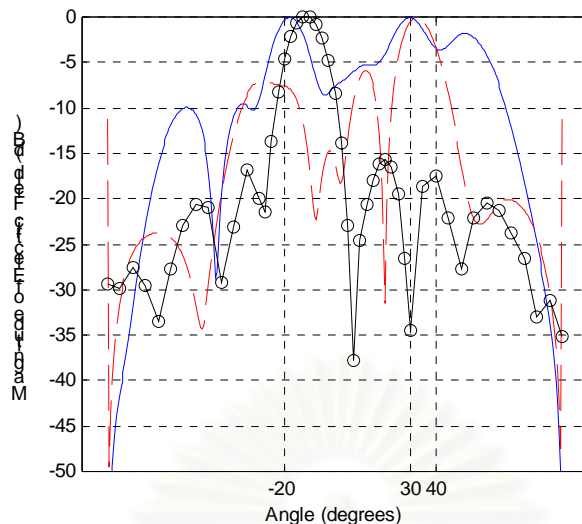
รูป ง.7 แบบรูปการแผ่พลังงานของการคำนวณจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบวางอยู่บนระนาบดินอนันต์และรวมผลมิวขวลคัปปลิง (--) เทียบกับตัวจำลองแบบที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบวางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ (-o) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 1 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1



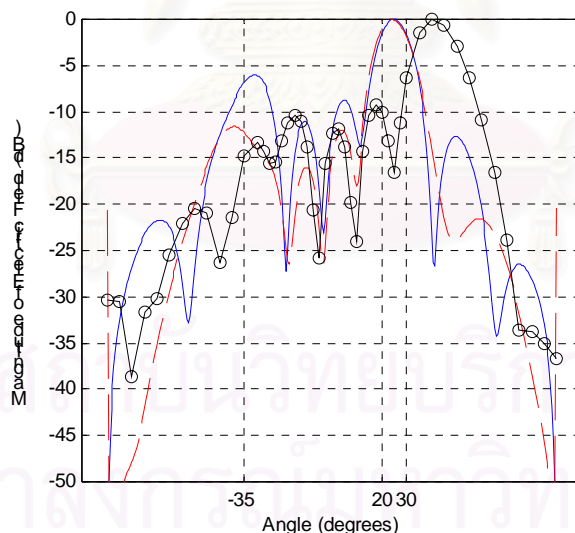
รูป ง.8 แบบรูปการแผ่พลังงานของการคำนวณจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบวางอยู่บนระนาบดินอนันต์และรวมผลมิวซลด์บปลิง (--) เทียบกับตัวจำลองแบบที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบวางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ (-o) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 2 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10



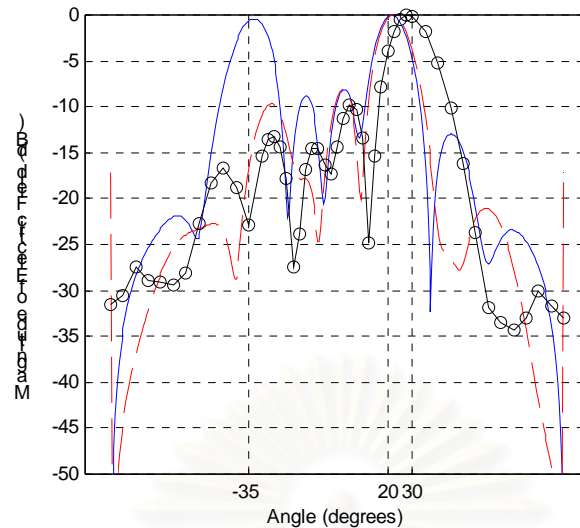
รูป ง.9 แบบรูปการแผ่พลังงานของการคำนวณจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบวางอยู่บนระนาบดินอนันต์และรวมผลมิวซลด์บปลิง (--) เทียบกับตัวจำลองแบบที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบวางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ (-o) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 3 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1



รูป ง.10 แบบรูปการแผ่พลังงานของการคำนวณจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบวางอยู่บนระนาบดินอนันต์และรวมผลมีวซลคัปปลิง (--) เทียบกับตัวจำลองแบบที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบวางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ (-o) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 4 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10



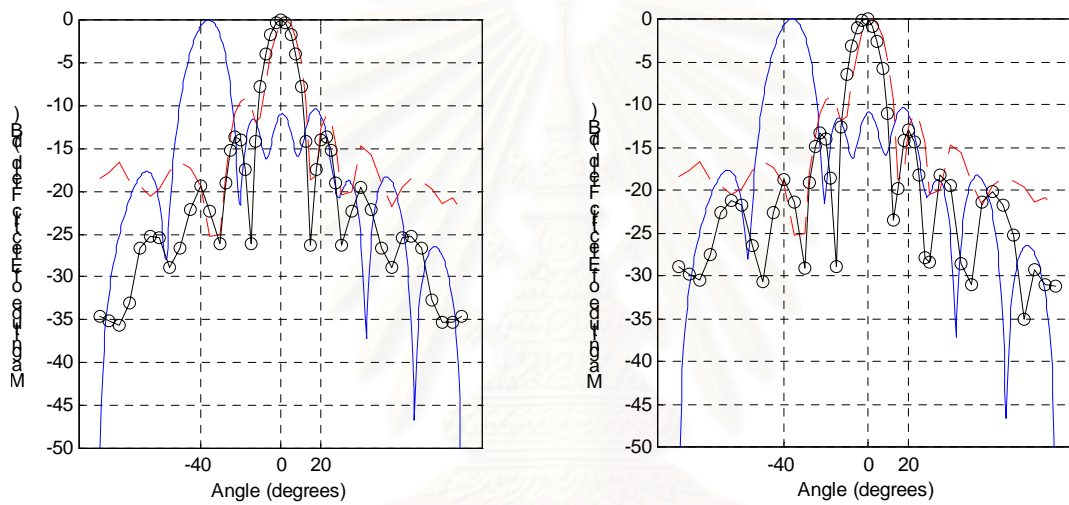
รูป ง.11 แบบรูปการแผ่พลังงานของการคำนวณจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบวางอยู่บนระนาบดินอนันต์และรวมผลมีวซลคัปปลิง (--) เทียบกับตัวจำลองแบบที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบวางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ (-o) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 5 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1



รูป ง.12 แบบรูปการแผ่พลังงานของการคำนวณจำลองแบบเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบวางอยู่บนระนาบดินอนันต์และรวมผลมีวชวลคัปปลิง (--) เทียบกับตัวจำลองแบบที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบหลายแบบวางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ (-o) และเทียบกับสภาวะสงบ (-) เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีนี้ 6 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10

## ภาคผนวก จ

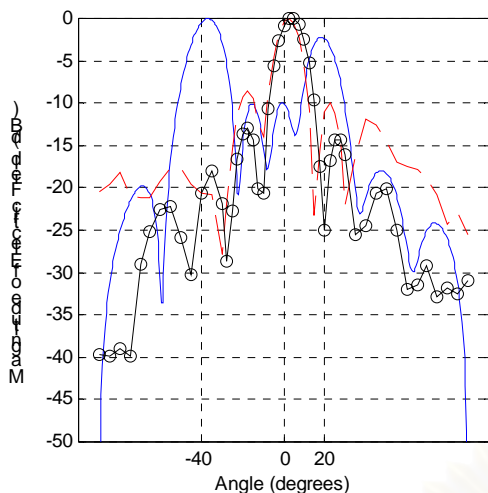
แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศแก่งเมื่อชดเชยผลเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิง โดยใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็ก และระนาบดินขนาดใหญ่ เปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีชดเชยผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงระหว่างวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์ และวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้ขั้นตอนการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum ตามสถานการณ์ดังตารางที่ 4.1 จะได้ผลดังนี้



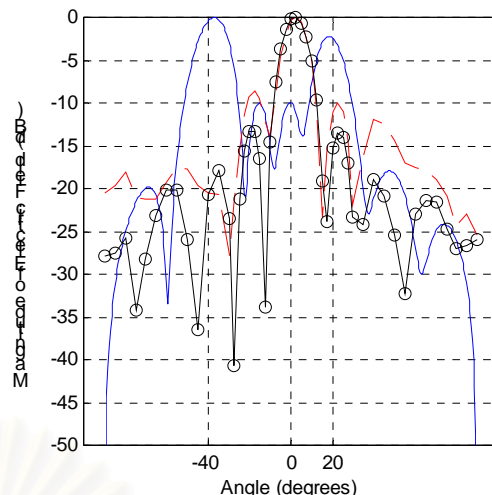
ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่ชดเชยมิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีแยกส่วนประกอบฟูรีเยร์

ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่ชดเชยมิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีผลเฉลยกำลังสองน้อยที่สุด

รูป จ.1 แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็ก เมื่อไม่ชดเชยผลมิวชวลคัปปลิง (--) เทียบกับสถานะที่ชดเชยผลมิวชวลคัปปลิง (-o) และสถานะสงบ (-) เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 1 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1

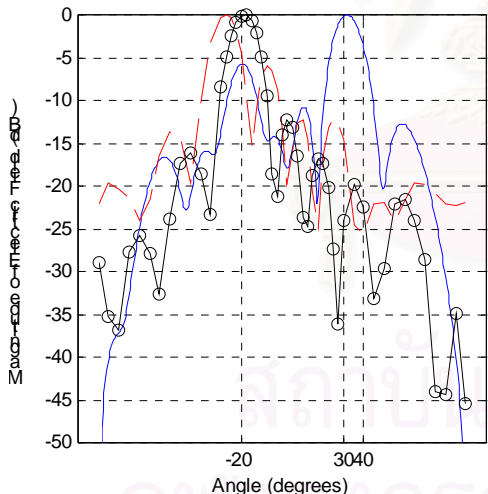


ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่  
ชดเชยมิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีแยก  
ส่วนประกอบฟูรีเยร์

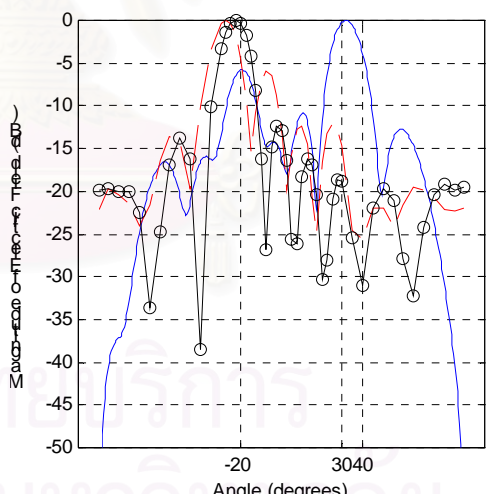


ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่  
ชดเชยมิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีผลเฉลย  
กำลังสองน้อยที่สุด

รูป จ.2 แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศแ่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มี  
แนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็ก เมื่อไม่ชดเชยผลมิวชวล  
คัปปลิง (--) เทียบกับสภาวะที่ชดเชยผลมิวชวลคัปปลิง (-o) และสภาวะสงบ (-)  
เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีนี้ 2 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10

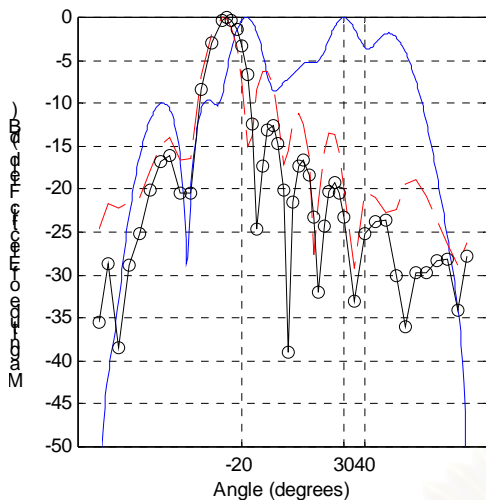


ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่  
ชดเชยมิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีแยก  
ส่วนประกอบฟูรีเยร์

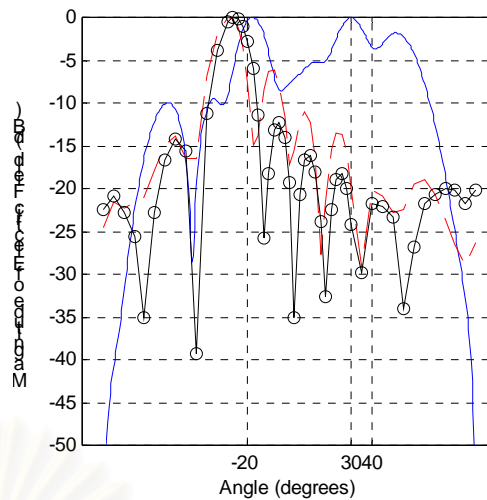


ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่  
ชดเชยมิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีผลเฉลย  
กำลังสองน้อยที่สุด

รูป จ.3 แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศแ่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มี  
แนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็ก เมื่อไม่ชดเชยผลมิวชวล  
คัปปลิง (--) เทียบกับสภาวะที่ชดเชยผลมิวชวลคัปปลิง (-o) และสภาวะสงบ (-)  
เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีนี้ 3 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1

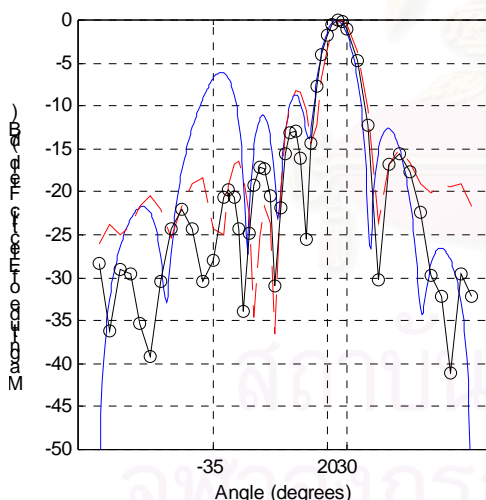


ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่  
ชดเชยมิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีแยก  
ส่วนประกอบฟูริเยร์

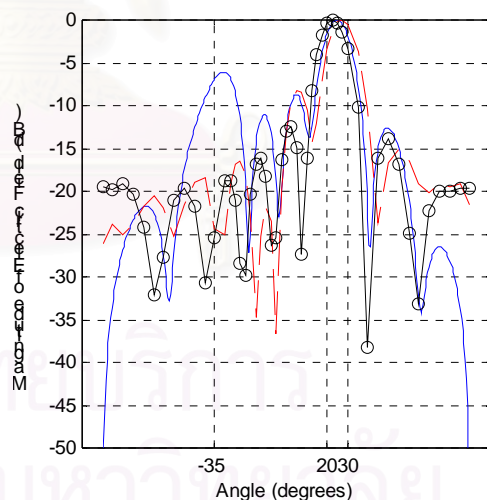


ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่  
ชดเชยมิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีผลเฉลย  
กำลังสองน้อยที่สุด

รูป ๑.4 แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศแ่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มี  
แนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็ก เมื่อไม่ชดเชยผลมิวชวล  
คัปปลิง (--) เทียบกับสภาวะที่ชดเชยผลมิวชวลคัปปลิง (-o) และสภาวะสงบ (-)  
เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีนี้ 4 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10

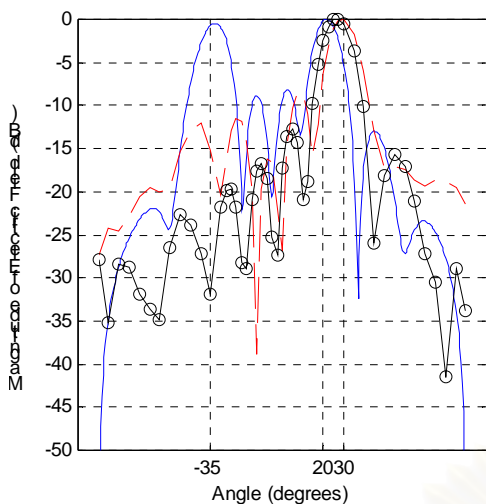


ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่  
ชดเชยมิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีแยก  
ส่วนประกอบฟูริเยร์

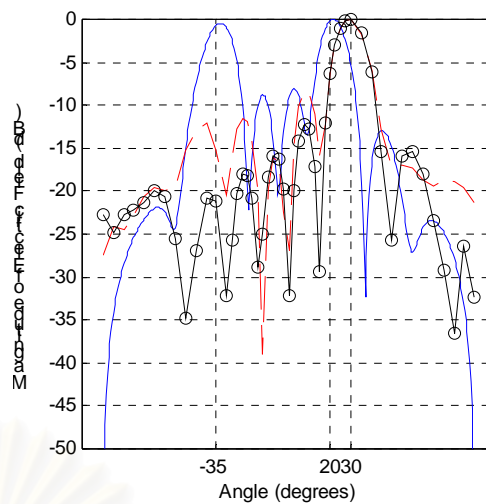


ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่  
ชดเชยมิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีผลเฉลย  
กำลังสองน้อยที่สุด

รูป ๑.5 แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศแ่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มี  
แนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็ก เมื่อไม่ชดเชยผลมิวชวล  
คัปปลิง (--) เทียบกับสภาวะที่ชดเชยผลมิวชวลคัปปลิง (-o) และสภาวะสงบ (-)  
เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีนี้ 5 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1

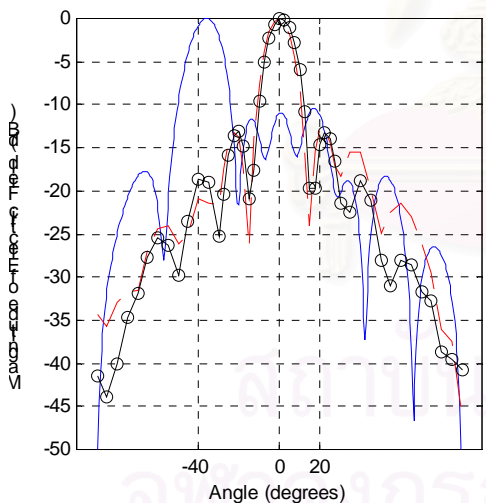


ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่  
ชดเชยมิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีแยก  
ส่วนประกอบฟูรีเยร์

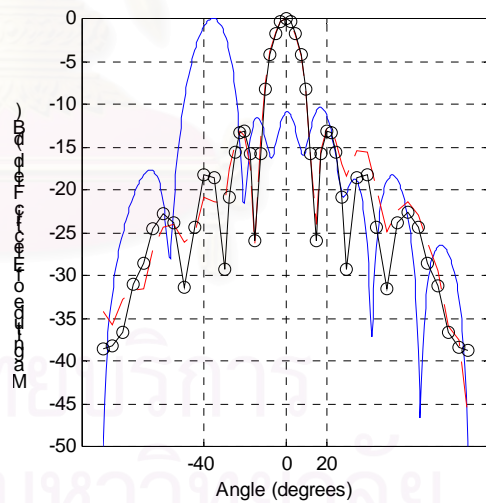


ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่  
ชดเชยมิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีผลเฉลย  
กำลังสองน้อยที่สุด

รูป ๑.6 แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มี  
แนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววางอยู่บนระนาบดินขนาดเล็ก เมื่อไม่ชดเชยผลมิวชวล  
คัปปลิง (--) เทียบกับสถานะที่ชดเชยผลมิวชวลคัปปลิง (-o) และสถานะสงบ (-)  
เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีนี้ที่ 6 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10



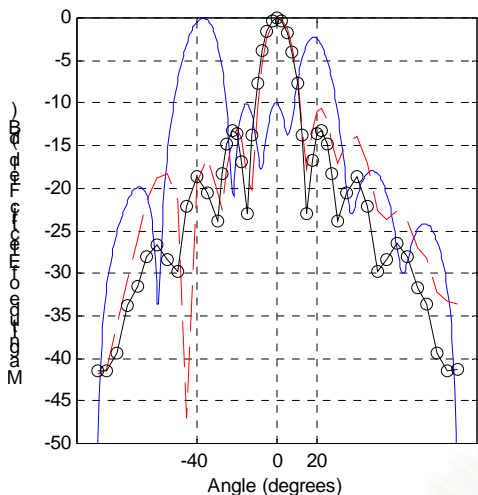
ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่  
ชดเชยมิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีแยก  
ส่วนประกอบฟูรีเยร์



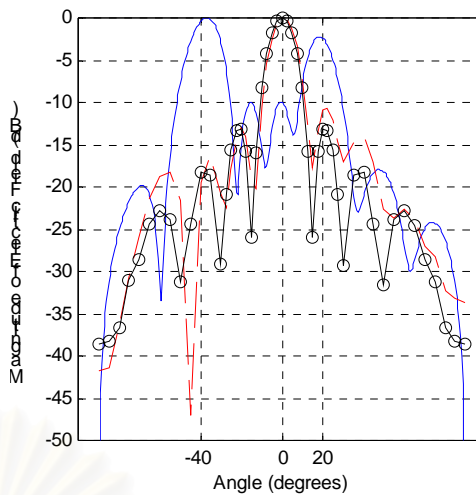
ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่  
ชดเชยมิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีผลเฉลย  
กำลังสองน้อยที่สุด

รูป ๑.7 แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มี  
แนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ เมื่อไม่ชดเชยผลมิวชวล  
คัปปลิง (--) เทียบกับสถานะที่ชดเชยผลมิวชวลคัปปลิง (-o) และสถานะสงบ (-)  
เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีนี้ที่ 1 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1



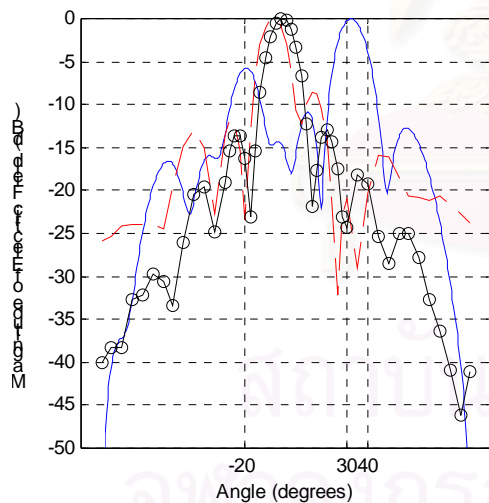


ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่  
 ขดเซมมิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีแยก  
 ส่วนประกอบฟูริเยร์

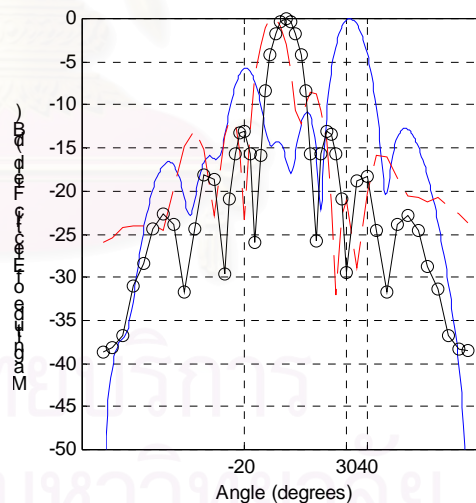


ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่  
 ขดเซมมิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีผลเฉลย  
 กำลังสองน้อยที่สุด

รูป ๑.8 แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มี  
 แนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ เมื่อไม่ขดเซมมิวชวล  
 คัปปลิง (--) เทียบกับสถานะที่ขดเซมมิวชวลคัปปลิง (-o) และสภาวะสงบ (-)  
 เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 2 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10

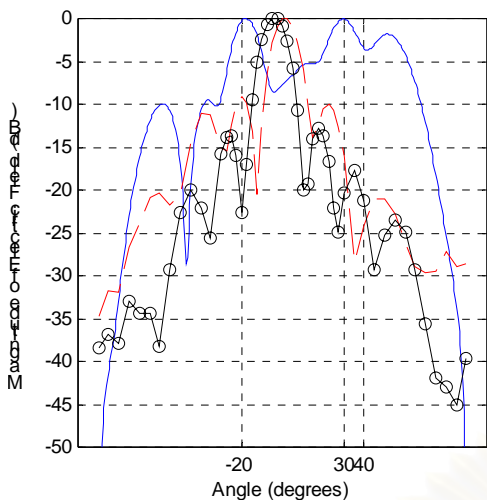


ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่  
 ขดเซมมิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีแยก  
 ส่วนประกอบฟูริเยร์

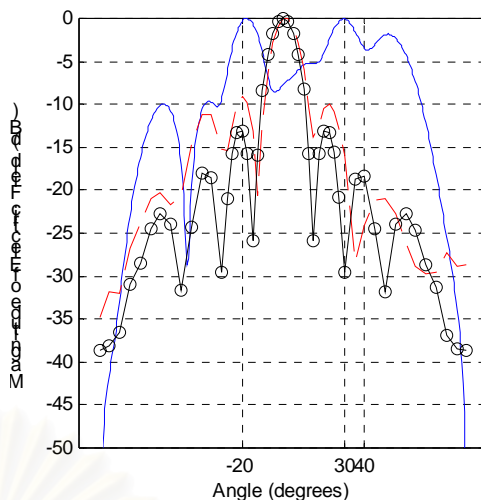


ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่  
 ขดเซมมิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีผลเฉลย  
 กำลังสองน้อยที่สุด

รูป ๑.9 แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มี  
 แนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ เมื่อไม่ขดเซมมิวชวล  
 คัปปลิง (--) เทียบกับสถานะที่ขดเซมมิวชวลคัปปลิง (-o) และสภาวะสงบ (-)  
 เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 3 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1

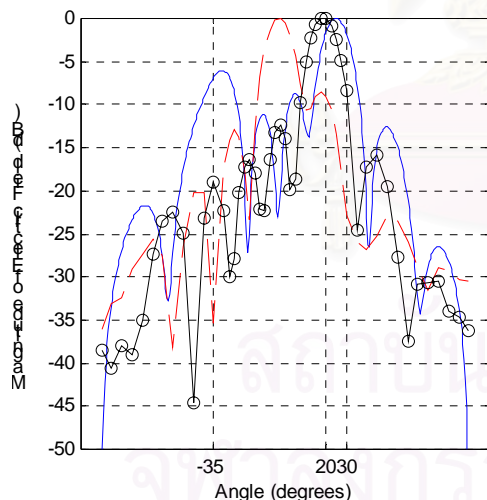


ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่  
 ขดเซยมิวชวลคป์ปลิงด้วยวิธีแยก  
 ส่วนประกอบฟูริเยร์

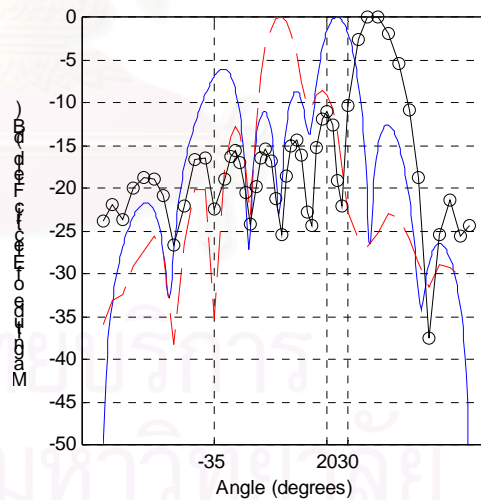


ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่  
 ขดเซยมิวชวลคป์ปลิงด้วยวิธีผลเฉลย  
 กำลังสองน้อยที่สุด

รูป จ.10 แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ เมื่อไม่ขดเซยผลมิวชวลคป์ปลิง (--) เทียบกับสภาวะที่ขดเซยผลมิวชวลคป์ปลิง (-o) และสภาวะสงบ (-) เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีนี้ 4 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10

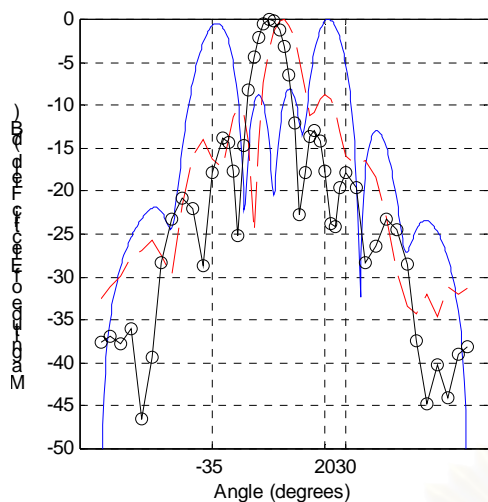


ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่  
 ขดเซยมิวชวลคป์ปลิงด้วยวิธีแยก  
 ส่วนประกอบฟูริเยร์

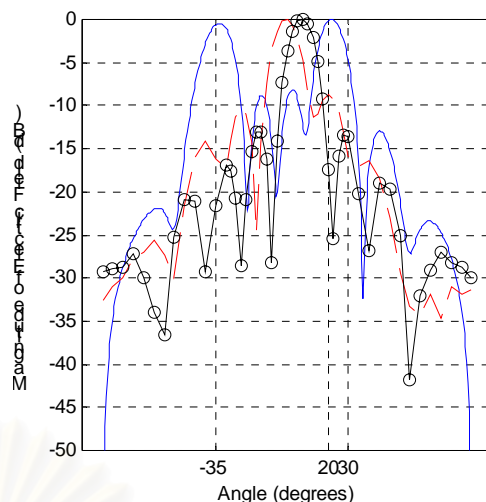


ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่  
 ขดเซยมิวชวลคป์ปลิงด้วยวิธีผลเฉลย  
 กำลังสองน้อยที่สุด

รูป จ.11 แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ เมื่อไม่ขดเซยผลมิวชวลคป์ปลิง (--) เทียบกับสภาวะที่ขดเซยผลมิวชวลคป์ปลิง (-o) และสภาวะสงบ (-) เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีนี้ 5 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 1



ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่  
ชดเชยมิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีแยก  
ส่วนประกอบฟูรีเยร์



ข) แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบที่  
ชดเชยมิวชวลคัปปลิงด้วยวิธีผลเฉลย  
กำลังสองน้อยที่สุด

รูป ๑.12 แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบของสายอากาศแก่งที่ใช้สายอากาศแถวลำดับที่มีแนวการวางตัวขององค์ประกอบแบบเดี่ยววางอยู่บนระนาบดินขนาดใหญ่ เมื่อไม่ชดเชยผลมิวชวลคัปปลิง (--) เทียบกับสภาวะที่ชดเชยผลมิวชวลคัปปลิง (-o) และสภาวะสงบ (-) เมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีนี้ 6 โดยมีค่า I/S เท่ากับ 10

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายณัฐพงศ์ คุ้มพัฒนา เกิดวันที่ 31 มีนาคม พ.ศ. 2523 ที่อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสารจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร ในปีการศึกษา 2543



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย