

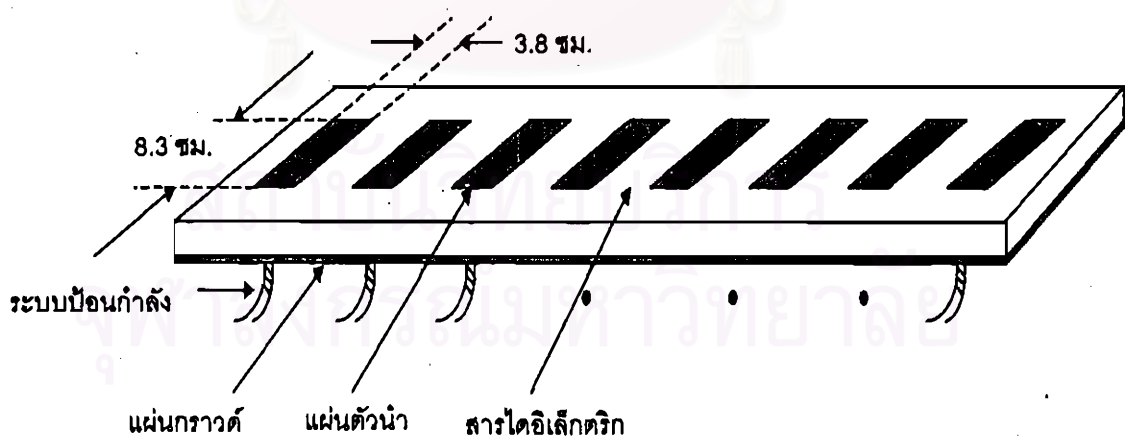
### บทที่ 3

#### การคำนวณจำลองแบบเพื่อทดสอบสมรรถนะของสายอากาศแก่ง

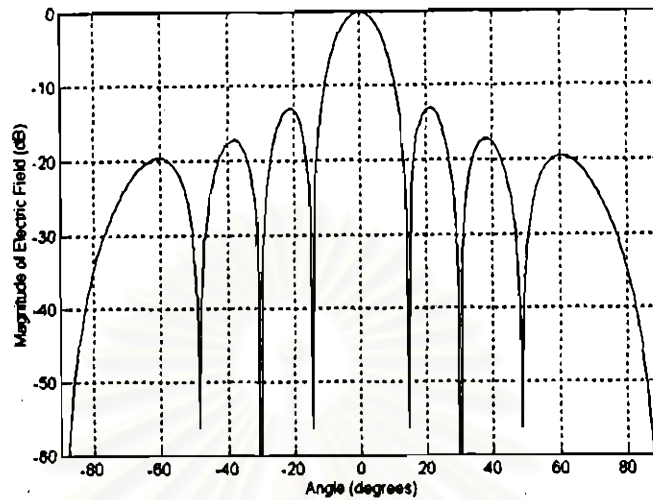
บทนี้กล่าวถึงการคำนวณจำลองแบบสถานการณ์ที่ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนแบบต่างๆ เพื่อทดสอบสมรรถนะในการปรับเปลี่ยนลำคลื่น และตำแหน่งศูนย์ของสายอากาศแก่งเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum และ LMS การจำลองสถานการณ์ในงานวิจัยนี้จะทำในสถานะอยู่ตัวเท่านั้น สายอากาศที่ใช้ในการคำนวณจำลองแบบ คือสายอากาศไมโครสตริป แถวลำดับเชิงเส้น 8 องค์ประกอบซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดในหัวข้อ 3.1 ส่วนในหัวข้อ 3.2 จะกล่าวถึงการแสดงสมรรถนะในการปรับเปลี่ยนลำคลื่น และตำแหน่งศูนย์ของสายอากาศไปตามสถานการณ์ที่กำหนดขึ้นโดยใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum และ LMS ในทางอุดมคติ แต่ในทางปฏิบัติผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิววลด์คัปปลิงที่มักถูกละเลยนั้นมีผลกระทบต่อความสามารถในการปรับเปลี่ยนลำคลื่น และตำแหน่งศูนย์มากที่จะกล่าวไว้ในหัวข้อ 3.3 ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เสนอแนวความคิดใหม่ในการชดเชยปรากฏการณ์ดังกล่าวเพื่อปรับปรุงสมรรถนะของสายอากาศแก่งซึ่งจะกล่าวไว้ในหัวข้อ 3.3 เช่นกัน และเป็นที่ทราบกันอยู่แล้วว่าสายอากาศแก่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบไร้สายโดยทำให้สามารถลดขนาดของเซลล์ลง จึงทำให้สามารถเพิ่มการใช้ความถี่ซ้ำได้มากขึ้น แต่เป็นที่น่าสนใจว่าข้อจำกัดหรือขีดความสามารถของสายอากาศแก่งเป็นเช่นไร และแนวความคิดใหม่ซึ่งผู้วิจัยได้นำเสนอนั้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่ระบบมากน้อยเพียงใดมีกล่าวไว้ในหัวข้อ 3.4 ความแม่นยำในการประมาณทิศทางมาถึงของสัญญาณที่ต้องการมีผลต่อความสำเร็จในการปรับเปลี่ยนลำคลื่นและตำแหน่งศูนย์ของสายอากาศแก่งมาก ดังนั้นหัวข้อ 3.5 ผู้วิจัยจะกล่าวถึงการสร้างสถานการณ์เพื่อทดสอบความสามารถในการประมาณทิศทางมาถึงของสัญญาณโดยใช้วิธี Bartlett, MVDR และ MUSIC เพื่อการเลือกใช้ที่เหมาะสม

### 3.1 สายอากาศที่ใช้ในการคำนวณจำลองแบบ

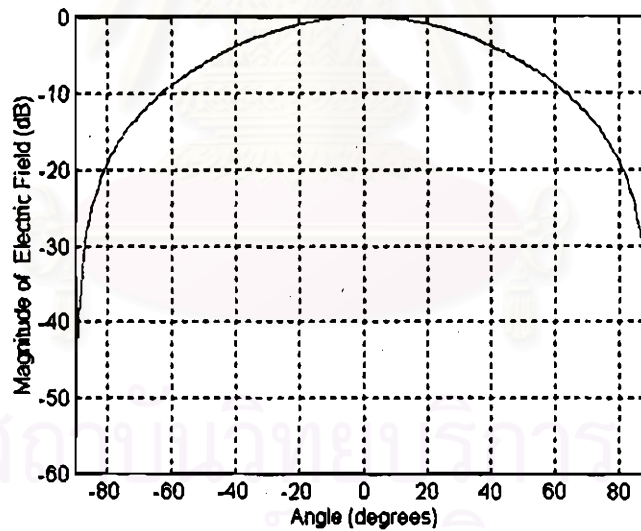
ในงานวิจัยนี้สายอากาศที่ใช้ คือสายอากาศไมโครสตริปแกลวล่าดับเชิงเส้น 8 องค์ประกอบ โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่น และทำงานที่ความถี่ 1.8 GHz ลักษณะทางกายภาพของสายอากาศแสดงไว้ในรูป 3.1 เหตุผลที่เลือกสายอากาศไมโครสตริป คือน้ำหนักเบา ต้นทุนต่ำ ผลิตง่าย และสามารถปรับเปลี่ยนโพลาริไซตี้ได้ง่าย ส่วนเหตุผลที่เลือกการวางตัวขององค์ประกอบของสายอากาศแกลวล่าดับเป็นลักษณะเชิงเส้น คือในการประยุกต์ใช้งานกับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบรีซีฟนิ่งนั้นระนาบที่สนใจ หรือ หัวงผลในการก่อรูปลำคลื่นคือระนาบอะซิมุท และสัญญาณรบกวนที่ความถี่เดียวกันที่มีผลต่อระบบเกิดได้มากที่สุด 4 ทิศทาง (เมื่อแบ่งเซลล์ออกเป็น เซกเตอร์) ดังนั้นจึงเลือกใช้องค์ประกอบเพียง 8 องค์ประกอบซึ่งสามารถหันตำแหน่งศูนย์ได้มากที่สุด 6 ทิศทางจึงเป็นการเพียงพอ ลักษณะทางกายภาพของสายอากาศที่ออกแบบโดยใช้แบบจำลองชนิดโพรง (K. R. Carver and J. W. Mink, 1981) ที่โหมด  $TM_{10}$  มีขนาดขององค์ประกอบแต่ละส่วนดังแสดงไว้ในรูป 3.1 ความหนาของแผ่นฐานไดอิเล็กตริกมีค่าเท่ากับ 0.1664 ซม. และใช้ระบบป้อนกำลังงานแบบสายแกนร่วมซึ่งมีแบบรูปการแผ่พลังงานดังรูป 3.2



รูป 3.1 ลักษณะทางกายภาพของสายอากาศไมโครสตริปแกลวล่าดับเชิงเส้น 8 องค์ประกอบ



ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้า ( $E_\theta$ ) ในระนาบ  $\phi=0$  องศา



ก) แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้า ( $E_\phi$ ) ในระนาบ  $\phi=90$  องศา

รูป 3.2 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปแถวลำดับ 8 องค์ประกอบโดยที่ องค์ประกอบแต่ละส่วนมีขนาด  $3.8 \times 8.3$  ซม.<sup>2</sup> ซึ่งมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบ เท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่นซึ่งได้จากผลการคำนวณทางทฤษฎี

### 3.2 สมรรถนะในการปรับเปลี่ยนลำคลื่นและตำแหน่งศูนย์ของสายอากาศแก่งกรณีอุดมคติ

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงความสามารถในการปรับเปลี่ยนลำคลื่นของสายอากาศแก่งโดยใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum และ LMS โดยแสดงผลตอบในรูปของแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ และได้เปรียบเทียบสมรรถนะในการปรับเปลี่ยนลำคลื่น และตำแหน่งศูนย์ในสถานการณ์เดียวกันระหว่างการใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum กับขั้นตอนวิธี LMS โดยใช้ดัชนีความแก่ง พารามิเตอร์ในการกำหนดสถานการณ์เพื่อให้เกิดความแตกต่างกันทั้ง 12 กรณีมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ในการคำนวณจำลองแบบเพื่อทดสอบสมรรถนะของสายอากาศแก่งทั้ง 12 กรณี

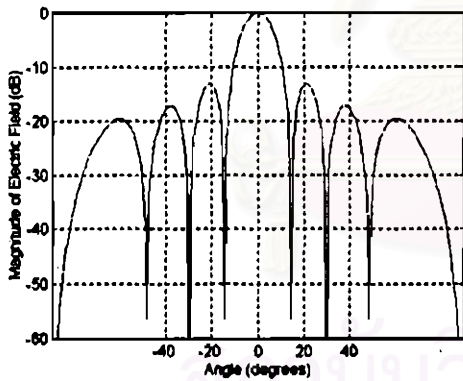
กรณี	$DOA_{\theta}$	$DOA_{\theta_1}$	$DOA_{\theta_2}$	$DOA_{\theta_3}$	$DOA_{\theta_4}$	N/S
1	0	20	40	-20	-40	0.004
2	0	20	40	-20	-40	0.25
3	0	30	48.5	-30	48.5	0.004
4	0	30	48.5	-30	48.5	0.25
5	30	-20	-40	-60	60	0.004
6	30	-20	-40	-60	60	0.25
7	30	0	48.5	-48.5	-30	0.004
8	30	0	48.5	-48.5	-30	0.25
9	-50	60	20	-10	-25	0.004
10	-50	60	20	-10	-25	0.25
11	-50	-15.5	-1	29	47	0.004
12	-50	-15.5	-1	29	47	0.25

หมายเหตุ ตัวพิมพ์หนาแสดงถึงกรณีที่ทิศทางของสัญญาณรบกวนอยู่ในทิศทางของตำแหน่งศูนย์ของสายอากาศ



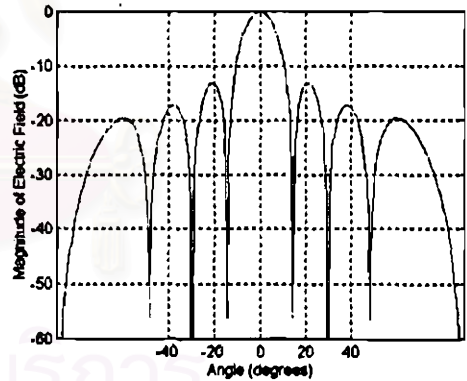
- โดยที่  $DOA_d$  คือทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการ
- $DOA_{n1}$  คือทิศทางการมาถึงของสัญญาณรบกวนที่ 1
- $DOA_{n2}$  คือทิศทางการมาถึงของสัญญาณรบกวนที่ 2
- $DOA_{n3}$  คือทิศทางการมาถึงของสัญญาณรบกวนที่ 3
- $DOA_{n4}$  คือทิศทางการมาถึงของสัญญาณรบกวนที่ 4
- N/S คืออัตราส่วนสัญญาณรบกวนต่อสัญญาณที่ต้องการ

**กรณีที่ 1** กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ 0 องศา และแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนทั้ง 4 แหล่งอยู่ในทิศทางของพुरुองของสายอากาศทั้งหมด ซึ่งมีทิศทางการมาถึงของสัญญาณคือ 20 -20 40 และ -40 องศา ตามลำดับ โดยที่ขนาดของสัญญาณรบกวนมีขนาดต่ำมากถึง 0.004 เท่าของสัญญาณที่ต้องการ ซึ่งคิดเป็น -34 เดซิเบลเมื่อสัญญาณที่ต้องการมีขนาดเป็น 0 เดซิเบล



ก) แบบรูปการแผ่พลังงานชั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่น

แบบ Howells-Applebaum



ข) แบบรูปการแผ่พลังงานชั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่น

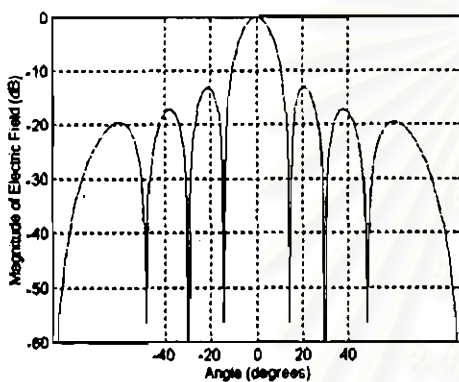
แบบ LMS

**รูป 3.3** แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นด้วยการกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 1 (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบ (เส้นประ) และอัตราส่วนสัญญาณรบกวน ต่อสัญญาณที่ต้องการ (N/S) มีเท่ากับ 0.004

ผลตอบของการกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 1 นั้นแสดงให้เห็นว่าการใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum ในกรณีที่ 1 ทำให้สายอากาศสามารถปรับตัวให้มีคุณสมบัติ

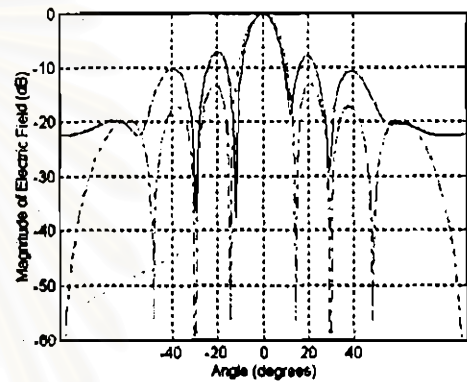
เหมือนกับในสภาวะสงบ (ไม่เกิดสัญญาณรบกวน) สังเกตได้จากรูป 3.3ก และเช่นเดียวกันสำหรับ ขั้นตอนวิธีแบบ LMS ในรูป 3.3ข

กรณีที่ 2 พารามิเตอร์ที่กำหนดขึ้นในกรณีที่ 2 เหมือนกับในกรณีที่ 1 ทุกประการ ยกเว้นขนาดของ สัญญาณรบกวนที่มีขนาดเป็น 0.25 เท่าของสัญญาณที่ต้องการ



ก) แบบรูปการแผ่พลังงานขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่น

แบบ Howells-Applebaum



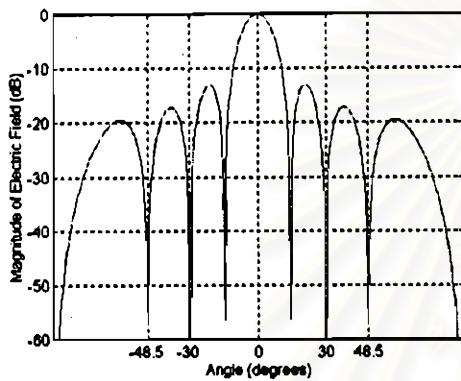
ข) แบบรูปการแผ่พลังงานขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่น

แบบ LMS

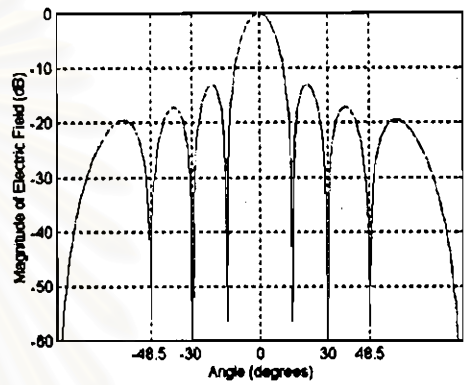
รูป 3.4 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นด้วยการ กำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 2 (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.25

จากแบบรูปการแผ่พลังงานในรูป 3.4 จะเห็นได้ว่าขนาดของสัญญาณรบกวนไม่มีผลต่อ สมรรถนะของสายอากาศแก่งเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum และ สายอากาศยังคงสามารถปรับตัวได้เหมือนในสภาวะสงบทั้งคู่ ที่ขนาดของสัญญาณรบกวนเพิ่มขึ้นเป็น 0.25 เท่าของสัญญาณที่ต้องการ แต่ต่างกับการใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ LMS ซึ่งแสดงให้เห็นได้ด้วยแบบรูปการแผ่พลังงานในรูป 3.4ข คือเมื่อขนาดของสัญญาณรบกวนสูงขึ้นขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ LMS ทำให้สายอากาศไม่สามารถปรับตัวเพื่อตอบสนองสภาวะที่เกิดสัญญาณรบกวนได้

กรณีที่ 3 ในกรณีนี้ยังคงกำหนดทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการให้มีค่าเท่ากับ 0 องศา และขนาดของสัญญาณรบกวนทั้งหมด 4 มีขนาดเท่ากับ 0.004 เท่าของสัญญาณที่ต้องการเช่นเดียวกับกรณีที่ 1 แต่กำหนดให้แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนอยู่ในทิศทางของตำแหน่งศูนย์ของสายอากาศทั้งหมด ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $30\ 48.5 - 30$  และ  $-48.5$  องศา ตามลำดับ



ก) แบบรูปการแผ่พลังงานชั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่น  
แบบ Howells-Applebaum



ข) แบบรูปการแผ่พลังงานชั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่น  
แบบ LMS

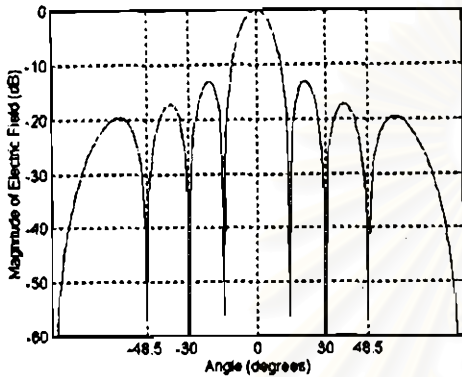
รูป 3.5 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งเมื่อใช้ชั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นด้วยการกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 3 (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบ (เส้นประ) และ  $N/S$  มีค่าเท่ากับ 0.004

จากรูป 3.5ก และ 3.5ข แสดงให้เห็นว่าชั้นตอนวิธีทั้งสองในการก่อรูปลำคลื่นทำให้สายอากาศสามารถหันตำแหน่งศูนย์ไปในทิศทางของสัญญาณรบกวนได้ทั้งหมด โดยยังคงสภาพเป็นหลักในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้ดี

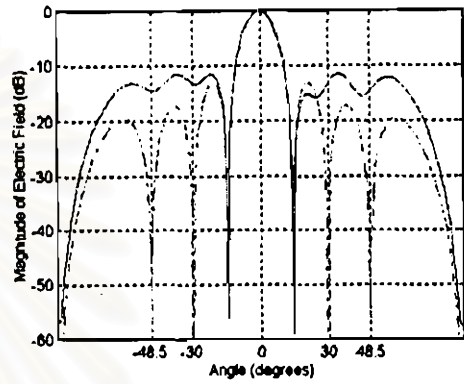
กรณีที่ 4 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการและสัญญาณรบกวนมีค่าเท่ากับกรณีที่ 3 แต่ต่างกันที่ขนาดของสัญญาณรบกวนซึ่งมีขนาดเป็น 0.25 เท่าของสัญญาณที่ต้องการ และผลตอบที่ได้จากการใช้ชั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum และ LMS เป็นดังรูป 3.6

เห็นได้ว่าชั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ LMS ไม่สามารถทำให้สายอากาศหันตำแหน่งศูนย์ไปในทิศทางของสัญญาณรบกวนได้ แต่ยังคงมีความแม่นยำในการหันหลักไปในทิศทางของ

สัญญาณที่ต้องการซึ่งแสดงไว้ในรูป 3.6x แต่ต่างกับการใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum ซึ่งยังคงทำให้สายอากาศสามารถปรับตัวให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับสภาวะสงบมากที่สุดที่แสดงไว้ในรูป 3.6ก



ก) แบบรูปการแผ่พลังงานขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum



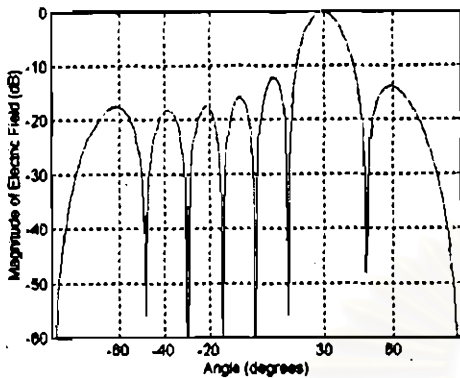
ข) แบบรูปการแผ่พลังงานขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ LMS

รูป 3.6 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นด้วยการกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 4 (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.25

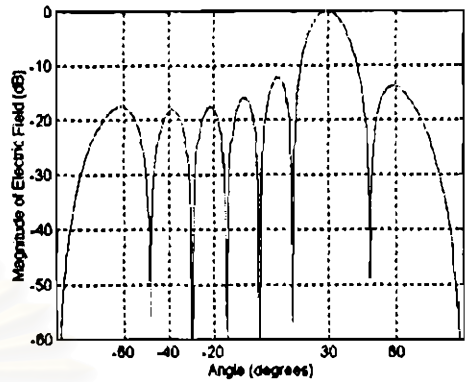
กรณีที่ 5 การกำหนดพารามิเตอร์ในกรณีให้มีลักษณะคล้ายคลึงกับการกำหนดพารามิเตอร์ในกรณีที่ 1 และ กรณีที่ 2 คือกำหนดให้แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนอยู่ในทิศทางของพหุของสายอากาศทั้งหมด ซึ่งมีค่าเท่ากับ -20 -40 -60 และ 60 องศา ตามลำดับ และมีขนาดเป็น 0.004 เท่าของสัญญาณที่ต้องการที่ 30 องศา

จากรูป 3.7ก และ 3.7ข เห็นได้ว่าผลตอบจากกรณีที่ 5 ไม่แตกต่างจากผลตอบในกรณีที่ 1 และกรณีที่ 3 กล่าวคือ ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum ทำให้สายอากาศปรับตัวให้มีคุณสมบัติเทียบเท่ากับในสภาวะสงบ และเช่นเดียวกันสำหรับขั้นตอนวิธีแบบ LMS





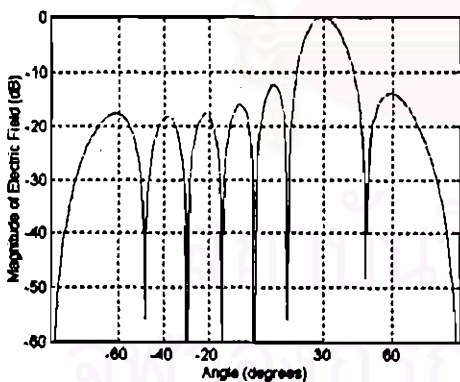
ก) แบบรูปการแผ่พลังงานชั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่น  
แบบ Howells-Applebaum



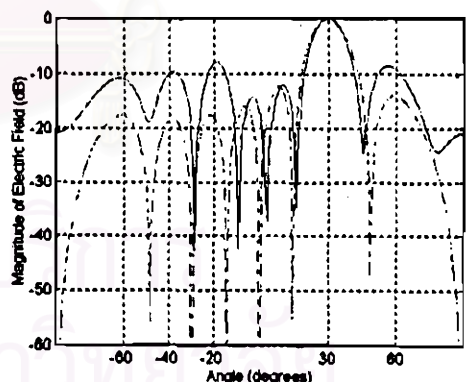
ข) แบบรูปการแผ่พลังงานชั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่น  
แบบ LMS

รูป 3.7 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นด้วยการกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 5 (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบ (เส้นประ) และ  $N/S$  มีค่าเท่ากับ 0.004

กรณีที่ 6 ในกรณีนี้ยังคงกำหนดทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการให้มีค่าเท่ากับ 30 องศา แต่ขนาดของสัญญาณรบกวนเปลี่ยนแปลงเป็น 0.25 เท่าของสัญญาณที่ต้องการ ซึ่งมีทิศทางการมาถึงของสัญญาณเท่ากับ -20 -40 -60 และ 60 องศา ตามลำดับ



ก) แบบรูปการแผ่พลังงานชั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่น  
แบบ Howells-Applebaum

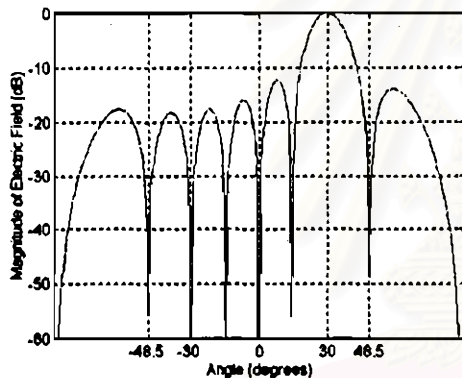


ข) แบบรูปการแผ่พลังงานชั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่น  
แบบ LMS

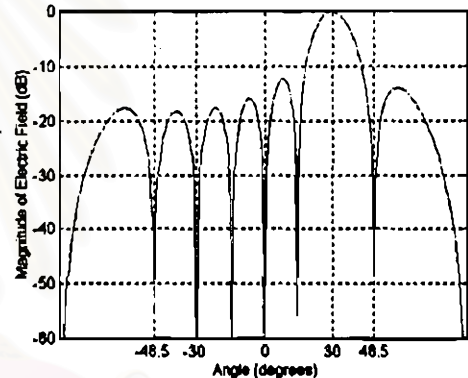
รูป 3.8 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นด้วยการกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 6 (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบ (เส้นประ) และ  $N/S$  มีค่าเท่ากับ 0.25

เมื่อเปรียบเทียบรูป 3.7 ข และ 3.8 ข เห็นได้ว่าเมื่อขนาดของสัญญาณรบกวนเพิ่มขึ้นเป็น 0.25 เท่าของสัญญาณที่ต้องการ ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ LMS ให้ผลตอบที่เลวลง ซึ่งต่างกับ ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 3.8 ก

กรณีที่ 7 ในกรณีนี้กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการคือ 30 องศา และ สัญญาณรบกวนมีขนาดเป็น 0.004 เท่าของสัญญาณที่ต้องการ และอยู่ในตำแหน่งศูนย์ของสายอากาศ ทั้งหมดซึ่งมีทิศทางการมาถึงของสัญญาณมีค่าเท่ากับ 0 48.5 -48.5 และ -30 องศา ตามลำดับ โดยผลตอบของกรณีนี้ปรากฏในรูป 3.9



ก) แบบรูปการแผ่พลังงานขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum

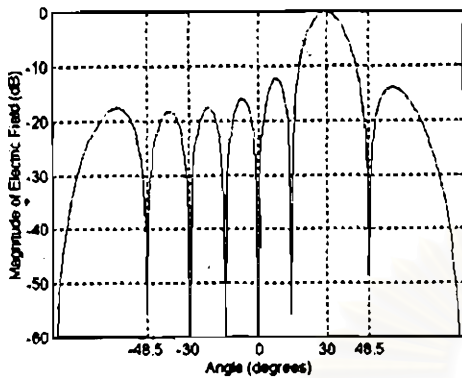


ข) แบบรูปการแผ่พลังงานขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ LMS

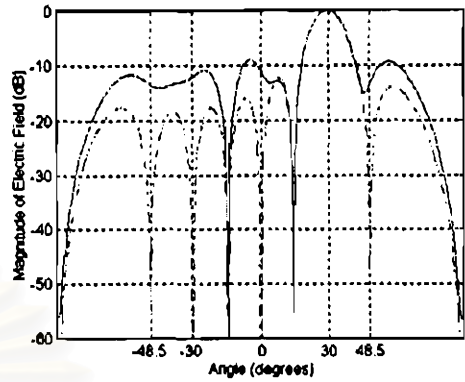
รูป 3.9 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นด้วยการกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 7 (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.004

จากรูป 3.9 ก และ 3.10 ข เห็นได้ว่าเมื่อขนาดของสัญญาณรบกวนเพิ่มขึ้นเป็น 0.25 เท่าของสัญญาณที่ต้องการ ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ LMS ทำให้สายอากาศไม่สามารถหันตำแหน่งศูนย์ไปในทิศทางของสัญญาณรบกวนได้อีกต่อไป ซึ่งต่างกับขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum ในรูป 3.10 ก เปรียบเทียบกับรูป 3.9 ก

กรณีที่ 8 กำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ คล้ายคลึงกับกรณีที่ 7 แต่สัญญาณรบกวนทั้ง 4 กำหนดให้มีขนาดเป็น 0.25 เท่าของสัญญาณที่ต้องการ โดยผลตอบของกรณีนี้แสดงในรูป 3.10



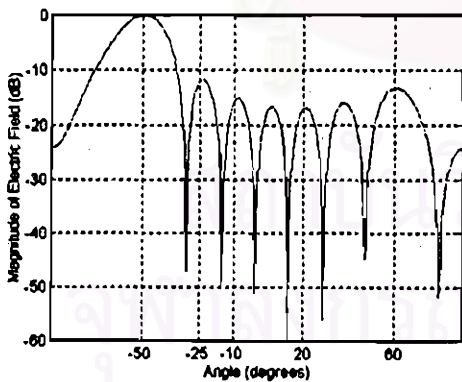
ก) แบบรูปการแผ่พลังงานขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่น  
แบบ Howells-Applebaum



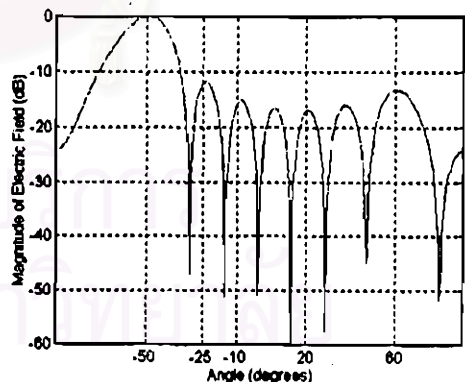
ข) แบบรูปการแผ่พลังงานขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่น  
แบบ LMS

รูป 3.10 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นด้วยการกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 8 (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.25

กรณีที่ 9 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการมีค่าเท่ากับ -50 องศา และ ขนาดของสัญญาณรบกวนมีค่าเป็น 0.004 เท่าของสัญญาณที่ต้องการและมีทิศทางการมาถึงของสัญญาณเท่ากับ 60 20 -10 และ -25 องศา ตามลำดับ ซึ่งคือทิศทางของพุ่มองของสายอากาศทั้งหมด



ก) แบบรูปการแผ่พลังงานขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่น  
แบบ Howells-Applebaum

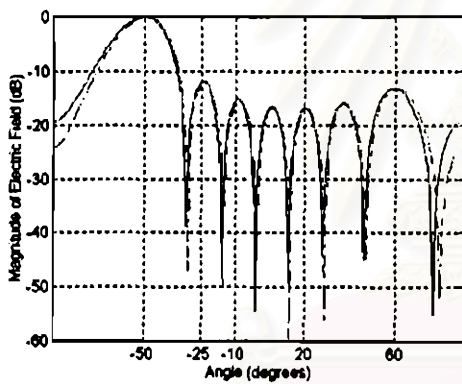


ข) แบบรูปการแผ่พลังงานขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่น  
แบบ LMS

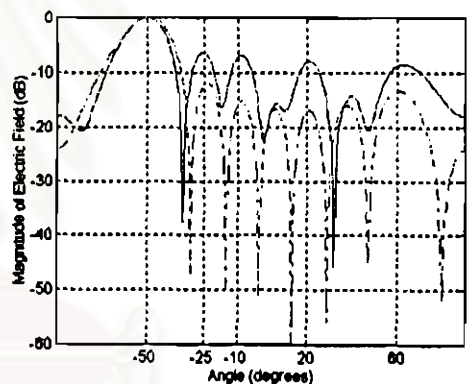
รูป 3.11 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นด้วยการกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 9 (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.004

จากรูป 3.11ก และ 3.11ข เห็นได้ว่าข้อสรุปในกรณีที่ 1, 3 และ 5 ยังคงเป็นจริงไม่ว่าทิศทาง การมาถึงของสัญญาณจะเปลี่ยนไปก็ตาม กล่าวคือในขณะที่สัญญาณรบกวนมีขนาดเป็น 0.004 เท่า ของสัญญาณที่ต้องการ ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum และ LMS ยังคง ทำให้สายอากาศเก่งสามารถลดระดับของพหุองในทิศทางของสัญญาณรบกวนได้ดี และในขณะเดียวกันก็สามารถหันพหุหลักไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้โดยไม่มีผิดเพี้ยน

กรณีที่ 10 พารามิเตอร์ในกรณีที่ 10 นี้เหมือนกับกรณีที่ 9 ทุกประการ ยกเว้นขนาดของสัญญาณรบกวนทั้ง 4 ซึ่งมีขนาดเพิ่มขึ้นเป็น 0.25 เท่าของสัญญาณที่ต้องการ



ก) แบบรูปการแผ่พลังงานขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่น  
แบบ Howells-Applebaum



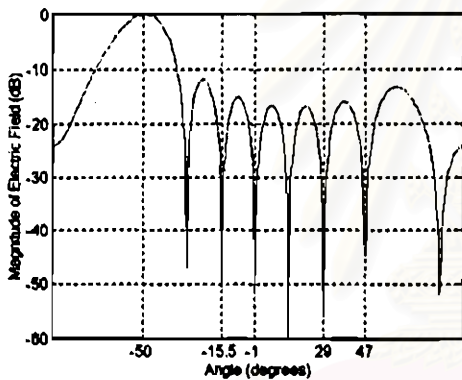
ข) แบบรูปการแผ่พลังงานขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่น  
แบบ LMS

รูป 3.12 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นด้วยการ กำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 10 (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.25

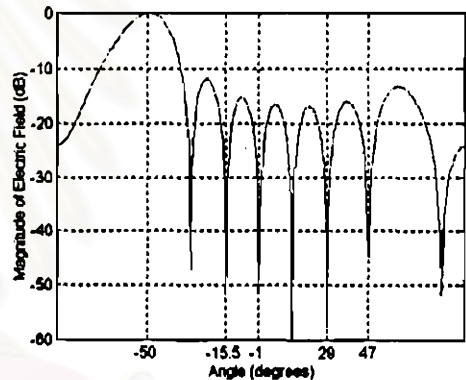
จากรูป 3.12ก และ 3.12ข เห็นได้ว่าข้อสรุปในกรณีที่ 2, 4 และ 6 ยังคงเป็นจริงไม่ว่า ทิศทางการมาถึงของสัญญาณจะเปลี่ยนไปก็ตาม กล่าวคือในขณะที่สัญญาณรบกวนมีเพิ่มขึ้นเป็น 0.25 เท่าของสัญญาณที่ต้องการ ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ LMS ไม่สามารถทำให้สาย- อากาศปรับตัวเพื่อตอบสนองกับสภาวะที่เกิดสัญญาณรบกวนได้เลย หรืออีกนัยหนึ่งผลกระทบเนื่อง จากสัญญาณรบกวนมีมากเนื่องจากสายอากาศมีความสามารถต่ำในการขจัดสัญญาณรบกวนออกจากระบบ ซึ่งต่างกับขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum

**กรณีที่ 11** ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการยังคงกำหนดให้มีค่าเท่ากับในกรณีที่ 9 และ 10 คือมีค่าเท่ากับ  $-50$  องศา ส่วนสัญญาณรบกวนทั้ง 4 สัญญาณมีขนาดเป็น 0.004 เท่าของสัญญาณที่ต้องการ และมีทิศทางการมาถึงของสัญญาณดังนี้  $-15.5$   $-1$   $29$  และ  $47$  องศาตามลำดับ

จากรูป 3.13ก และ 3.13ข เห็นได้ว่าทั้งขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum และ LMS ทำให้สายอากาศเก่งมีความสามารถในการลดสัญญาณรบกวนได้มาก คือสามารถหันตำแหน่งศูนย์ไปในทิศทางของสัญญาณรบกวนได้ทั้งหมดโดยยังคงรักษาสภาพพหุหลักในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้



ก) แบบรูปการแผ่พลังงานขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่น  
แบบ Howells-Applebaum



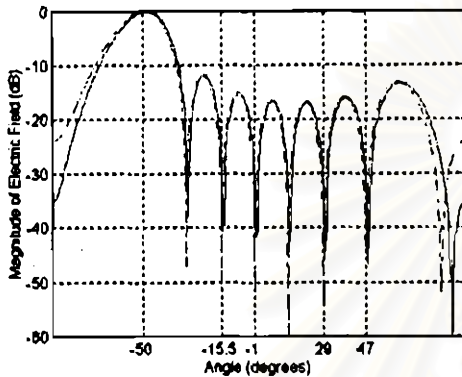
ข) แบบรูปการแผ่พลังงานขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่น  
แบบ LMS

รูป 3.13 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นด้วยการกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 11 (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.004

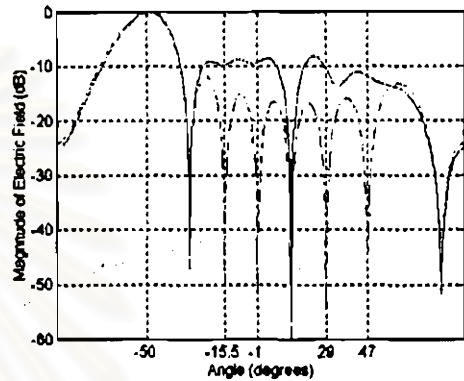
**กรณีที่ 12** ทิศทางการมาถึงของสัญญาณต่างๆ ในกรณีนี้มีค่าเท่ากับกรณีที่ 11 แต่ต่างกันที่ขนาดของสัญญาณรบกวนซึ่งเพิ่มขึ้นเป็น 0.25 เท่าของสัญญาณที่ต้องการ ผลตอบจากการใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum และ LMS เป็นดังในรูป 3.14

จากผลตอบเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum และ LMS ในกรณีที่ 12 ทำให้สามารถยืนยันข้อสรุปเดิมที่ว่าขณะที่ขนาดของสัญญาณรบกวนเพิ่มขึ้นนั้นขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ LMS ไม่สามารถรักษาลักษณะสมบัติของสายอากาศให้เหมือนกับในสภาวะ

สงบได้อีกต่อไป ซึ่งแตกต่างจากการใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่น Howells-Applebaum ที่ยังสามารถทำให้สายอากาศรักษาสภาพให้เหมือนกับในสภาวะสงบได้ ไม่ว่าจะขนาดของสัญญาณรบกวนจะเพิ่มก็ตาม



ก) แบบรูปการแผ่พลังงานขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่น  
แบบ Howells-Applebaum



ข) แบบรูปการแผ่พลังงานขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่น  
แบบ LMS

รูป 3.14 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแ่งเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นด้วยการกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 12 (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.25

ต่อไปจะพิจารณาความสามารถของสายอากาศแ่งในการหันตำแหน่งศูนย์หรือลดระดับพหุองในทิศทางของสัญญาณรบกวน โดยยังคงรักษาสภาพของพหุหลักในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการของทั้ง 12 กรณีที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.1 ด้วยการใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum และ LMS ในรูปของดัชนีความแ่งดังที่ปรากฏในตาราง 3.2

ตารางที่ 3.2 ดัชนีความแ่งของสายอากาศแ่งเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum และ LMS ในสถานการณ์ต่าง ๆ

กรณี	N/S	ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum	ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ LMS
1	0.004	1	1
2	0.25	1	0.1551
3	0.004	1	1.

กรณี	N/S	ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum	ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่น แบบLMS
4	0.25	1	-0.5217
5	0.004	1	1
6	0.25	1	0.1096
7	0.004	1	1
8	0.25	1	-1.857
9	0.004	1	1
10	0.25	1	0.0335
11	0.004	1	1
12	0.25	1	-0.5849

**หมายเหตุ** ตัวพิมพ์หนาแสดงกรณีทิศทางของสัญญาณรบกวนอยู่ในทิศทางของตำแหน่งศูนย์ของสายอากาศ

จากตาราง 3.1 เห็นได้ว่ากรณีที่ 1, 3, 5, 7, 9 และ 11 คือกรณีที่สัญญาณรบกวนมีขนาดต่ำ เป็น 0.004 เท่าของสัญญาณที่ต้องการ ดัชนีความเก่งของสายอากาศที่ได้เมื่อใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum และ LMS มีค่าเท่ากับหนึ่ง นั่นหมายความว่าสายอากาศมีความสามารถสูงในการปรับตัวเพื่อตอบสนององสภาวะที่เกิดสัญญาณรบกวนเมื่อสัญญาณรบกวนมีขนาดต่ำๆ นั่นเอง แต่ในกรณีที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 นั้นดัชนีความเก่งของสายอากาศเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ LMS มีค่าต่ำกว่าเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum มาก ซึ่งก็หมายถึงว่าขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ LMS ทำให้สายอากาศมีความสามารถต่ำในการปรับตัวเพื่อตอบสนององสภาวะที่เกิดสัญญาณรบกวนและทั้ง 6 กรณีหลังนี้ คือกรณีที่สัญญาณรบกวนมีขนาดเป็น 0.25 เท่าของสัญญาณที่ต้องการ

จากผลตอบของกรณีทั้ง 12 กรณีที่อยู่ในรูปของแบบรูปการแผ่พลังงานจากรูป 3.3 ถึง 3.14 และในรูปของดัชนีความเก่งในตารางที่ 3.2 สรุปได้ว่าขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum และ LMS ทำให้สายอากาศเก่งสามารถปรับตัวในสภาวะที่เกิดสัญญาณรบกวนด้วยการหันตำแหน่งศูนย์ไปในทิศทางของสัญญาณรบกวนหรือลดระดับพหุของในทิศทางของสัญญาณรบกวน

ขึ้นอยู่กับทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนนั้นๆ และยังคงสภาพของพูนหลักในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้เทียบเท่ากับในสภาวะสงบในกรณีที่มีสัญญาณรบกวนมีขนาดต่ำๆ ซึ่งในขณะที่สัญญาณรบกวนมีขนาดเพิ่มขึ้นเป็น 0.25 เท่าของสัญญาณที่ต้องการเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum ก็ยังคงทำให้สายอากาศแก่งมีพฤติกรรมเช่นเดิม คือสามารถลดผลเนื่องจากสัญญาณรบกวนได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ แต่สำหรับขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ LMS ไม่เป็นเช่นนั้น ทั้งนี้เพราะสายอากาศแก่งมีความสามารถในการลดผลเนื่องจากสัญญาณรบกวนต่ำลงเมื่อขนาดของสัญญาณรบกวนมีขนาดเพิ่มขึ้นเป็น 0.25 เท่าของสัญญาณที่ต้องการ

### 3.3 ผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิววลด์ป์ปลิงที่มีต่อการปรับเปลี่ยนลำคลื่นของสายอากาศแก่ง

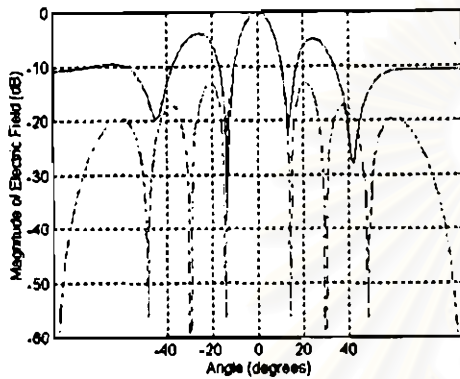
จากหัวข้อ 3.2 สมรรถนะของสายอากาศแก่งเมื่อพิจารณาในลักษณะอุดมคติก็คือ การลดผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิววลด์ป์ปลิง แต่ปรากฏการณ์ดังกล่าวเป็นสาเหตุให้ลักษณะของพูนคลื่น และระดับของพูนคลื่นผิดเพี้ยนไปจากกรณีอุดมคติมาก ในงานที่ต้องการลดสัญญาณจากทิศทางใดๆ นั้น สิ่งที่เราคาดหวังคือ การลดระดับของพูนรองหรือหันตำแหน่งพูนยี่ไปในทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณนั้นๆ ดังนั้นความไม่เป็นอุดมคติเนื่องจากปรากฏการณ์ดังกล่าวจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจว่ามีผลต่อสมรรถนะในการปรับเปลี่ยนลำคลื่นของสายอากาศแก่งมากน้อยเพียงใด ในหัวข้อนี้จึงได้สร้างสถานการณ์จำลองที่เกิดสัญญาณรบกวนเพื่อจำลองแบบให้เหมือนกับในหัวข้อ 3.2 ทุกประการแต่รวมผลเนื่องจากปรากฏการณ์มิววลด์ป์ปลิงเข้าไปด้วย

จากรูป 3.15ก และ 3.15ข เห็นได้ว่าผลเนื่องจากปรากฏการณ์มิววลด์ป์ปลิงทำให้ระดับของพูนรองของสายอากาศสูงกว่าในสภาวะสงบมากไม่ว่าจะใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum หรือ LMS ก็ตาม ซึ่งแตกต่างจากกรณีอุดมคติมาก ดังที่แสดงไว้ในรูป 3.3ก และ 3.3ข

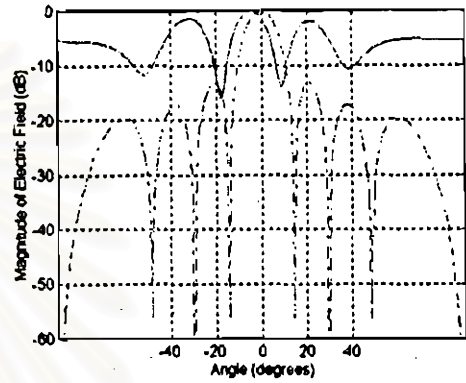
เมื่อพิจารณาในกรณีที่แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนอยู่ในทิศทางของตำแหน่งศูนย์ของสายอากาศ ผลตอบที่ได้แสดงไว้ในรูป 3.16ก และ 3.16ข ซึ่งเห็นได้ว่าสายอากาศแก่งไม่สามารถหัน



ตำแหน่งศูนย์ไปในทิศทางของสัญญาณรบกวนได้ไม่ว่าจะใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum หรือ LMS ก็ตาม

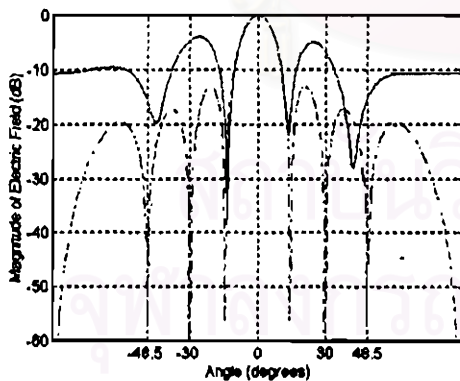


ก) แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อใช้ขั้นตอนวิธี  
แบบ Howells-Applebaum

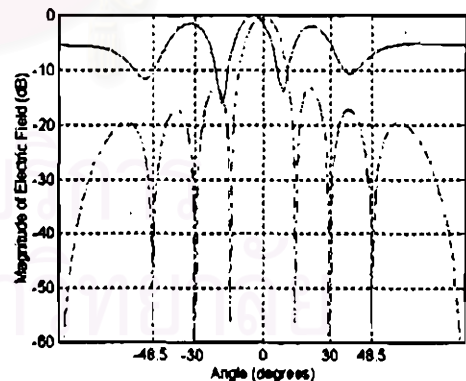


ข) แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อใช้ขั้นตอนวิธี  
แบบ LMS

รูป 3.15 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 1 โดยรวมผล มีวอลคัปปลิง (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบในอุดมคติ (เส้นประ) และ  $N/S$  มีค่าเท่ากับ 0.004



ก) แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อใช้ขั้นตอนวิธี  
แบบ Howells-Applebaum



ข) แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อใช้ขั้นตอนวิธี  
แบบ LMS

รูป 3.16 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 3 โดยรวมผล มีวอลคัปปลิง (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบในอุดมคติ (เส้นประ) และ  $N/S$  มีค่าเท่ากับ 0.004

เพื่อให้เข้าใจได้ง่ายและไม่ซ้ำซ้อนจึงแสดงสมรรถนะของสายอากาศเก่งในรูปตารางของดัชนีความเก่งในตาราง 3.3 เมื่อรวมผลเนื่องจากปรากฏการณ์มิววลด์ปปลิงเทียบกับกรณีอุดมคติในหัวข้อ 3.2 ส่วนแบบรูปการแผ่พลังงานของกรณีที่ 1 ถึง 12 เมื่อรวมผลเนื่องจากปรากฏการณ์มิววลด์ปปลิงเข้าไปด้วยนั้นแสดงไว้ในภาคผนวก ข

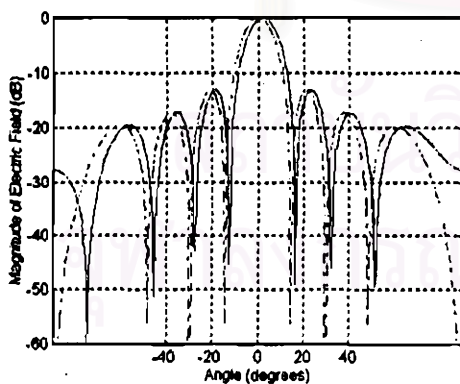
ตารางที่ 3.3 ดัชนีความเก่งของสายอากาศเก่งเมื่อรวมผลเนื่องจากปรากฏการณ์มิววลด์ปปลิงเทียบกับกรณีอุดมคติทั้ง 12 กรณี

กรณี	N/S	ขั้นตอนวิธีแบบ Howells- Applebaum (ทางอุดมคติ)	ขั้นตอนวิธีแบบ Howells-Applebaum (รวมมิววลด์ปปลิง)	ขั้นตอนวิธีแบบ LMS (ทางอุดมคติ)	ขั้นตอนวิธีแบบ LMS (รวมมิววลด์ปปลิง)
1	0.004	1	0.2050	1	-0.2234
2	0.25	1	0.1797	0.1551	-0.2164
3	0.004	1	-0.6421	1	-0.7919
4	0.25	1	-0.6332	-0.5217	-0.7753
5	0.004	1	0.0941	1	-0.3951
6	0.25	1	0.1028	0.1096	-0.6400
7	0.004	1	-0.6085	1	-0.8492
8	0.25	1	-0.6085	-1.8257	-0.8856
9	0.004	1	-0.0819	1	-0.3395
10	0.25	1	-0.0819	0.0335	0.4106
11	0.004	1	-0.6679	1	-0.8355
12	0.25	1	-0.6681	-0.5849	-0.9036

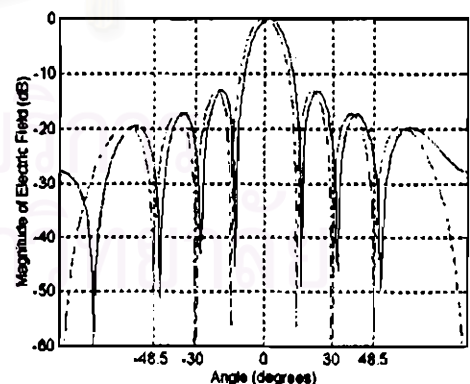
จากตารางที่ 3.3 เห็นได้ว่าผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิววลด์ปปลิงทำให้ดัชนีความเก่งของสายอากาศลดลงมาก นั้นหมายความว่าผลจากปรากฏการณ์ดังกล่าวทำให้ความสามารถในการหันตำแหน่งศูนย์หรือลดขนาดของพูรองในทิศทางของสัญญาณรบกวนลดลงมาก ไม่ว่าจะใช้

ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum หรือ LMS ก็ตาม สำหรับขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum การเพิ่มขึ้นของขนาดของสัญญาณรบกวนจาก 0.004 เป็น 0.25 เท่าของสัญญาณที่ต้องการไม่มีผลต่อสมรรถนะในการปรับเปลี่ยนลำคลื่นของสายอากาศเก่งซึ่งสังเกตได้จากดัชนีความเก่งในกรณีที่ 1 เทียบกับกรณีที่ 2 กรณีที่ 3 เทียบกับกรณีที่ 4 เรื่อยไปจนถึงกรณีที่ 11 เทียบกับกรณีที่ 12 แต่การเปลี่ยนแปลงที่ทำให้สมรรถนะของสายอากาศเก่งต่ำลงในกรณีที่ใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum คือเมื่อทิศทางของสัญญาณรบกวนอยู่ในทิศทางของตำแหน่งศูนย์ของสายอากาศ ซึ่งสังเกตได้จากดัชนีความเก่งของกรณีที่ 1 เทียบกับกรณีที่ 3 กรณีที่ 2 เทียบกับกรณีที่ 4 เรื่อยไปจนถึงกรณีที่ 10 เทียบกับกรณีที่ 12 สำหรับขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ LMS การเพิ่มขึ้นของขนาดของสัญญาณรบกวนที่กำหนดนั้นแทบจะไม่มีผลกระทบต่อสมรรถนะของสายอากาศเก่งเลยยกเว้นกรณีที่ 5 เทียบกับกรณีที่ 6 และเช่นเดียวกับการใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum คือในขณะที่สัญญาณรบกวนอยู่ในทิศทางของตำแหน่งศูนย์ของสายอากาศดัชนีความเก่งมีค่าต่ำกว่าในขณะที่สัญญาณรบกวนอยู่ในทิศทางของพुरองของสายอากาศ

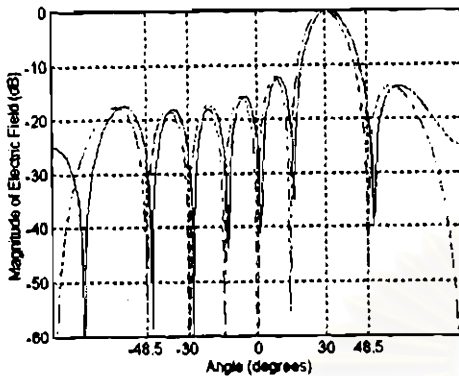
จากหัวข้อ 2.6 ผู้วิจัยได้นำเสนอวิธีการปรับปรุงสมรรถนะของสายอากาศเก่งด้วยการชดเชยผลเนื่องจากความไม่เป็นอุดมคติของสายอากาศแถวลำดับคือปรากฏการณ์มีขวลคัปปลิงระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ และผลตอบของการชดเชยดังกล่าวแล้ว จึงก่อรูปลำคลื่นด้วยขั้นตอนวิธีแบบ Howells-Applebaum เป็นดังนี้



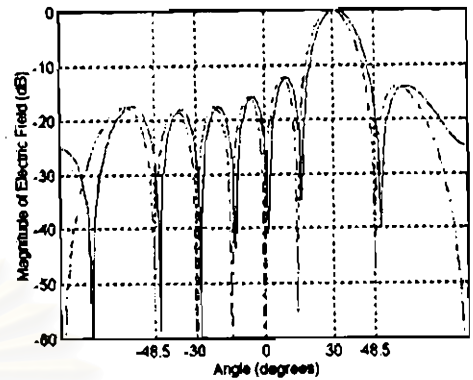
รูป 3.17 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเมื่อชดเชยผลมีขวลคัปปลิงในกรณีที่ 1 (เส้นทึบ) เทียบกับสถานะสงบเมื่อไม่รวมผลมีขวลคัปปลิง (เส้นประ) และ  $N/S$  มีค่าเท่ากับ 0.004



รูป 3.18 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเมื่อชดเชยผลมีขวลคัปปลิงในกรณีที่ 2 (เส้นทึบ) เทียบกับสถานะสงบเมื่อไม่รวมผลมีขวลคัปปลิง (เส้นประ) และ  $N/S$  มีค่าเท่ากับ 0.25



รูป 3.19 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเมื่อชดเชยผลมิววลด์ปปลิงในกรณี 7 (เส้นทึบ) เทียบกับสถานะสงบเมื่อไม่รวมผลมิววลด์ปปลิง (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.004



รูป 3.20 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเมื่อชดเชยผลมิววลด์ปปลิงในกรณี 8 (เส้นทึบ) เทียบกับสถานะสงบเมื่อไม่รวมผลมิววลด์ปปลิง (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.25

จากรูป 3.17 เปรียบเทียบกับรูป 3.15ก และ 3.15ข เห็นได้ว่าเมื่อชดเชยผลจากปรากฏการณ์มิววลด์ปปลิงของสายอากาศแถวลำดับทำให้สมรรถนะของสายอากาศเก่งดีขึ้น หมายถึงสายอากาศเก่งสามารถลดระดับพุงรองในทิศทางของสัญญาณรบกวนได้ทั้ง 4 สัญญาณ (-40 -20 20 และ 40) แต่ทำให้พุงหลักคลาดเคลื่อนไปจากทิศทางของสัญญาณที่ต้องการเพียงเล็กน้อย และถึงแม้ว่าขนาดของสัญญาณรบกวนจะเพิ่มขึ้นถึง 0.25 เท่าของสัญญาณที่ต้องการก็ตาม เมื่อชดเชยผลเนื่องจากปรากฏการณ์มิววลด์ปปลิงเข้าไปแล้ว สมรรถนะของสายอากาศเก่งสูงขึ้นมากจนมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับในสถานะสงบ (ไม่รวมผลมิววลด์ปปลิง) สังเกตได้จากรูป 3.18 และไม่ว่าสัญญาณรบกวนจะมาจากทิศทางใดก็ตาม มีขนาดเท่าใด ก็ตามการชดเชยผลมิววลด์ปปลิงวิธีนี้ก็ยังคงให้ผลตอบที่ดี คือทำให้สายอากาศเก่งมีสมรรถนะสูงขึ้น เช่นในกรณีที่แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนอยู่ในทิศทางของตำแหน่งศูนย์ของสายอากาศ ซึ่งมีผลตอบเมื่อชดเชยผลของมิววลด์ปปลิงแล้วแสดงไว้ในรูป 3.19 และ 3.20 โดยมีขนาดของสัญญาณรบกวนต่างกันคือ 0.004 และ 0.25 เท่าของสัญญาณที่ต้องการตามลำดับ

เพื่อให้เข้าใจได้ง่ายสมรรถนะของสายอากาศเก่งในกรณีที่เหลือจะแสดงในรูปตารางของดัชนีความเก่งของสายอากาศเก่งเมื่อชดเชยมิววลด์ปปลิงเทียบกับดัชนีความเก่งของสายอากาศเก่งเมื่อไม่รวมผลมิววลด์ปปลิง และรวมผลมิววลด์ปปลิงในตารางที่ 3.4 ส่วนแบบรูปการแผ่พลังงานของทุกกรณีเมื่อชดเชยแล้วแสดงไว้ในภาคผนวก ค

ตารางที่ 3.4 ดัชนีความเก่งของสายอากาศเก่งเมื่อชดเชยผลเนื่องจากปรากฏการณ์มิวซล-คัปปลิงเทียบกับขณะที่ไม่มีการชดเชยและทางอุดมคติทั้ง 12 กรณี

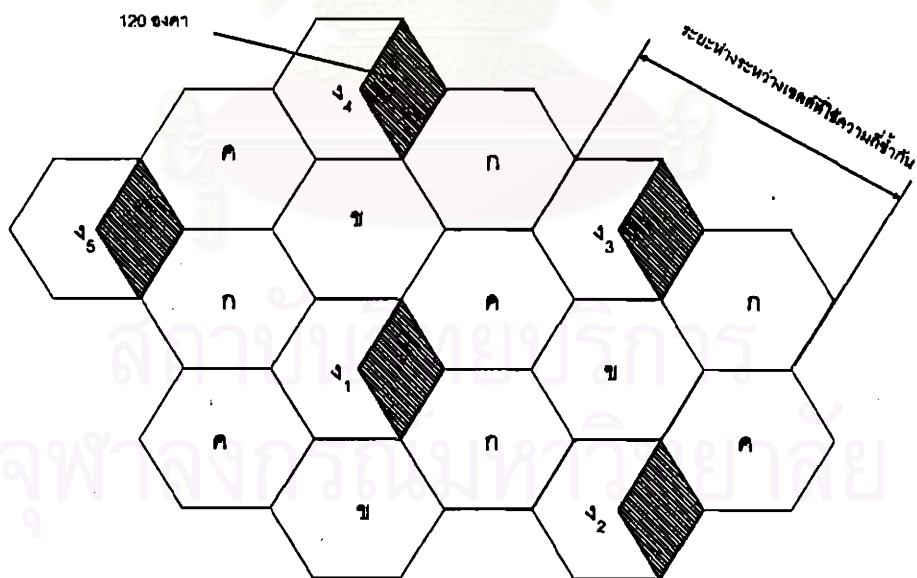
กรณี	N/S	Howells-Applebaum (ทางอุดมคติ)	LMS (ทางอุดมคติ)	Howells-Applebaum (รวมผลมิวซล-คัปปลิง)	LMS (รวมผลมิวซล-คัปปลิง)	ชดเชยผลมิวซลคัปปลิง
1	0.004	1	1	0.2050	-0.2234	0.9889
2	0.25	1	0.1551	0.1797	-0.2164	0.9514
3	0.004	1	1	-0.6421	-0.7919	-0.1563
4	0.25	1	-0.5217	-0.6332	-0.7753	-0.1563
5	0.004	1	1	0.0941	-0.3951	0.9889
6	0.25	1	0.1096	0.1028	-0.6400	0.9833
7	0.004	1	1	-0.6085	-0.8492	-0.1599
8	0.25	1	-1.8257	-0.6085	-0.8856	-0.1599
9	0.004	1	1	-0.0819	-0.3395	0.9778
10	0.25	1	0.0335	-0.0819	-0.4106	1
11	0.004	1	1	-0.6679	-0.8355	-0.1891
12	0.25	1	-0.5849	-0.6681	-0.9036	0.0115

จากตารางที่ 3.4 เห็นได้ว่าดัชนีความเก่งของทั้ง 12 กรณีเมื่อชดเชยผลเนื่องจากปรากฏการณ์มิวซลคัปปลิงแล้วมีค่าสูงกว่าดัชนีความเก่งของทั้ง 12 กรณีเมื่อไม่ชดเชยผลดังกล่าวทั้งในขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum และ LMS แต่ก็ยังไม่สามารถทำให้ดัชนีความเก่งของทั้ง 12 กรณีมีค่าเท่ากับดัชนีความเก่งในเชิงอุดมคติของทั้ง 12 กรณี หมายความว่าวิธีการชดเชยผลเนื่องจากปรากฏการณ์มิวซลคัปปลิงที่ผู้วิจัยได้เสนอนั้นไม่สามารถทำให้สายอากาศหันตำแหน่งศูนย์ไปในทิศทางของสัญญาณรบกวนได้ทั้งหมด หรือไม่สามารถทำให้สายอากาศเก่งปรับตัวในสถานะที่เกิดสัญญาณรบกวนให้มีลักษณะสมบัติเทียบเท่ากับในสถานะสงบ แต่ไม่ได้หมายความว่าวิธีดังกล่าวประสบความสำเร็จ เนื่องจากผลตอบที่ได้แสดงให้เห็นได้ว่าสามารถทำให้สายอากาศมีสมรรถนะดี

ขึ้นกว่าเมื่อไม่ชัดเจนผลเนื่องจากมีวอลคัปปลิง แต่จะเหมาะสมกับการใช้งานหรือไม่นั้นจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

### 3.4 สมรรถนะของสายอากาศแก่กับการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบไร้สาย

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบไร้สายในปัจจุบันได้มีการลดผลกระทบของสัญญาณรบกวนจากเซลล์ที่ใช้ความถี่ซ้ำด้วยการแบ่งพื้นที่ในเซลล์ออกเป็นเซกเตอร์ซึ่งมีทั้งแบบ 120 องศา และ 60 องศาขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของผู้ใช้บริการ งานวิจัยนี้สนใจการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบไร้สายที่ใช้ความถี่ 1800 MHz ของประเทศไทยในปัจจุบัน ซึ่งมีการแบ่งเซลล์แต่ละเซลล์ออกเป็น 3 เซกเตอร์ เซกเตอร์ละ 120 องศา โดยมีรูปแบบการใช้ความถี่ซ้ำ (frequency reuse pattern; K) เท่ากับ 4 ดังในรูป 3.21

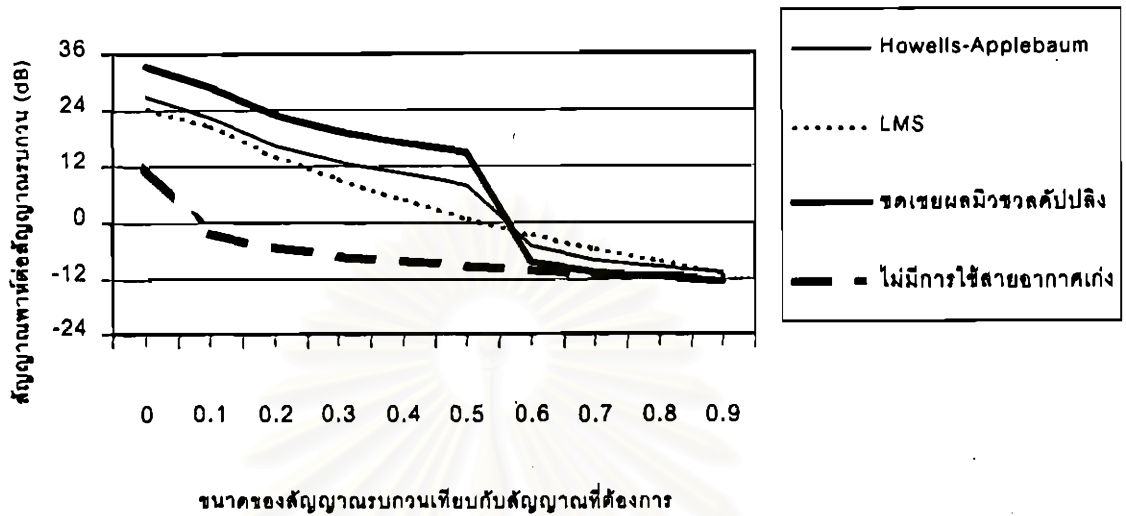


รูป 3.21 โครงข่ายรูปร่างของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบไร้สายที่มีรูปแบบการใช้ความถี่ซ้ำเท่ากับ 4

ระบบสายอากาศแก่งมีส่วยช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบรังผึ้งในแง่ของการประหยัดกำลังงานในการติดต่อกันระหว่างสถานีฐานกับผู้ใช้บริการ เนื่องจากสายอากาศที่ใช้เป็นสายอากาศชี้ทิศ (directional antenna) ซึ่งผลพลอยได้ก็คือสามารถยืดระยะเวลาการใช้งานของแบตเตอรี่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ของผู้ใช้บริการ และที่สำคัญสายอากาศสามารถปรับตัวตามการเคลื่อนที่ของผู้ใช้บริการได้ตลอดเวลากายในพื้นที่ครอบคลุม แต่ในงานวิจัยนี้สนใจในการเพิ่มประสิทธิภาพในแง่ของความสามารถในการลดสัญญาณรบกวนจากเซลล์ที่มีความถี่ซ้ำกัน เนื่องจากผู้ใช้บริการมีมากขึ้นในปัจจุบันและแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้นในอนาคต ปัญหาที่จะเกิดขึ้น คือทรัพยากรความถี่ที่มีจำกัดไม่เพียงพอต่อความต้องการ ดังนั้นจึงต้องเพิ่มการใช้ความถี่ซ้ำ ซึ่งเป็นไปไม่ได้หากใช้ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบรังผึ้งในปัจจุบันเนื่องจากเกิดปัญหาของการรบกวนกันระหว่างเซลล์ที่ใช้ความถี่ซ้ำกันนั่นเอง สายอากาศแก่ง คือทางออกของปัญหาทั้งหมดเนื่องจากสมรรถนะที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2 ทำให้สามารถลดระยะห่างระหว่างเซลล์ที่ใช้ความถี่ซ้ำกันได้โดยไม่มีผลกระทบเนื่องจากสัญญาณรบกวนจากเซลล์อื่นโดยมีรายละเอียดดังนี้

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบรังผึ้งในปัจจุบันที่แสดงในรูป 3.21 ระยะห่างระหว่างเซลล์ที่ใช้ความถี่ซ้ำกันจะต้องเป็นระยะที่ทำให้ระบบที่สถานีฐานเซลล์มีค่าสัญญาณพาห်ต่อผลรวมของสัญญาณรบกวนจากเซลล์ที่ใช้ความถี่ซ้ำกัน (carrier-to-interference ratio) มีค่ามากกว่า 12 เดซิเบล (สำหรับระบบดิจิทัล) ตัวอย่างเช่นในรูป 3.21 ค่าอัตราส่วนของสัญญาณพาห်ในเซลล์  $g_1$  ต่อผลรวมของสัญญาณจากเซลล์  $g_2, g_3, g_4$  และ  $g_5$  จะต้องมีความมากกว่า 12 เดซิเบล ซึ่งถ้าพิจารณาว่าขนาดของสัญญาณรบกวนจากทั้ง 4 เซลล์มีขนาดเท่ากันๆ แล้วขนาดของสัญญาณรบกวนจะต้องมีขนาดไม่เกิน 0.004 เท่าของสัญญาณพาห်เซลล์  $g_1$

การคำนวณจำลองแบบเพื่อพิจารณาว่าสายอากาศแก่งเพิ่มประสิทธิภาพให้ระบบได้มากน้อยเพียงใดกำหนดให้สถานการณ์ของการเกิดสัญญาณรบกวนเกิดในลักษณะที่เลวสุดคือ แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนทุกสัญญาณอยู่ในทิศทางของพู่รังของสายอากาศทั้งสิ้น และมีสัญญาณรบกวนทั้งหมด 4 สัญญาณ ซึ่งมีขนาดเท่ากันทั้ง 4 สัญญาณ ผลตอบที่ได้แสดงในรูป 3.22 ซึ่งเห็นได้ว่าเมื่อสัญญาณมีขนาดเพิ่มขึ้นจาก 0.004 จนถึง 0.2 เท่าของสัญญาณที่ต้องการ ขั้นตอนวิธีในการก่อ-



รูป 3.22 อัตราส่วนของสัญญาณพาห้ต่อสัญญาณรบกวนของสายอากาศแก่งเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ LMS, Howells-Applebaum และเมื่อชดเชยผลเนื่องจากมัวขวลคัปปลิงเมื่อเทียบกับการไม่ใช้สายอากาศแก่ง

รูปลำคลื่น LMS ยังรักษาค่าสัญญาณพาห้ต่อสัญญาณรบกวนได้มากกว่า 12 เดซิเบล แต่เมื่อสัญญาณรบกวนมีขนาดเพิ่มขึ้นเป็น 0.3 เท่าของสัญญาณที่ต้องการ ค่าสัญญาณพาห้ต่อสัญญาณรบกวนของระบบจะน้อยกว่า 12 เดซิเบล ส่วนขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum ทำให้ระบบสามารถรักษาค่าอัตราส่วนของสัญญาณพาห้ต่อสัญญาณรบกวนให้มากกว่า 12 เดซิเบลเรื่อยมาจนกระทั่งสัญญาณรบกวนแต่ละสัญญาณมีขนาดเป็น 0.3 เท่าของสัญญาณที่ต้องการ แต่เมื่อมีการชดเชยผลมัวขวลคัปปลิงเข้าไปแล้วเห็นได้ว่าเมื่อสัญญาณรบกวนมีขนาดเพิ่มขึ้นเป็น 0.5 เท่าของสัญญาณที่ต้องการ สายอากาศแก่งยังคงรักษาค่าอัตราส่วนของสัญญาณพาห้ต่อสัญญาณรบกวนให้มีค่ามากกว่า 12 เดซิเบลได้ เมื่อพิจารณาถึงสมรรถนะของสายอากาศแก่งในขั้นตอนวิธีแต่ละอย่างที่ใช้ในการก่อรูปลำคลื่นซึ่งมีผลต่อการลดระยะห่างระหว่างเซลล์ที่ใช้ความถี่ซ้ำกันโดยไม่มีผลกระทบเนื่องจากสัญญาณรบกวนที่ความถี่เดียวกัน พบว่าการใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ LMS ทำให้ลดระยะห่างระหว่างเซลล์ที่ใช้ความถี่ซ้ำได้ร้อยละ 85.86 และเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum จะทำให้ลดระยะห่างระหว่างเซลล์ที่ใช้ความถี่ซ้ำได้ร้อยละ 88.45 แต่เมื่อชดเชยผลเนื่องจากปรากฏการณ์มัวขวลคัปปลิงเข้าไปแล้วทำให้



สามารถลดได้ถึงร้อยละ 91.06 ซึ่งนั่นหมายความว่าเราสามารถเพิ่มการใช้ความถี่ซ้ำได้ด้วยอัตราส่วนที่มีแนวโน้มเดียวกัน

### 3.5 ความสามารถในการประมาณทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการ

จากหัวข้อที่ 2.2 ซึ่งได้กล่าวถึงวิธีการประมาณทิศทางการมาถึงของสัญญาณอยู่ 3 วิธีได้แก่ Bartlett, MVDR และ MUSIC โดยที่วิธีของ Bartlett และ MVDR มีลักษณะที่คล้ายคลึงกันโดยการนำเอาสัญญาณที่สายอากาศรับได้มาปรับเพื่อหาทิศทางที่ทำให้ผลรวมทั้งหมดมีค่าสูงที่สุด ส่วนวิธี MUSIC เป็นวิธีที่ใช้การแยกย่อยค่าเจาะจงของสัญญาณที่สายอากาศรับได้ ในหัวข้อนี้ได้คำนวณจำลองแบบสถานการณ์เพื่อทดสอบสมรรถนะในการประมาณทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการในสถานการณ์ที่เกิดสัญญาณรบกวน กรณีที่สนใจมี 2 กรณีคือ กรณีที่แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนทั้ง 4 สัญญาณอยู่ในทิศทางของพुरองทั้งหมด และกรณีที่แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนทั้ง 4 สัญญาณอยู่ในทิศทางของตำแหน่งศูนย์ของสายอากาศแก่งทั้งหมด โดยรวมผลเนื่องจากปรากฏการณ์มิวซวอลด์ปลิงด้วยซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

กรณีที่ 1 กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการมีค่าเท่ากับ 0 องศา  
กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณรบกวนที่ 1 มีค่าเท่ากับ 30 องศา  
กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณรบกวนที่ 2 มีค่าเท่ากับ -30 องศา  
กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณรบกวนที่ 3 มีค่าเท่ากับ 48.5 องศา  
กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณรบกวนที่ 4 มีค่าเท่ากับ -48.5 องศา

ตารางที่ 3.5 ความคลาดเคลื่อนของการประมาณทิศทางการมาถึงของสัญญาณกับทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณที่ต้องการสำหรับกรณีที่ 1

N/S	Bartlett (องศา)	MVDR (องศา)	MUSIC (องศา)
0.1	0	0	0
0.2	0	0	0
0.3	1	1	0

N/S	Bartlett (องศา)	MVDR (องศา)	MUSIC (องศา)
0.4	1	1	0
0.5	1	1	0
0.6	1	1	0
0.7	1	1	0
0.8	2	2	0
0.9	2	2	0

จากตารางที่ 3.5 เห็นได้ว่า MUSIC เป็นวิธีการประมาณทิศทางการมาถึงที่มีความแม่นยำสูง แม้ว่าขนาดของสัญญาณรบกวนจะสูงถึง 0.9 เท่าของสัญญาณที่ต้องการก็ตาม ส่วนวิธี Bartlett และ MVDR ให้ผลตอบที่เหมือนกันโดยอาจเกิดจากความคล้ายคลึงกันของขั้นตอนวิธี ทั้งสองวิธีนี้ให้ผลที่แม่นยำในขณะที่สัญญาณรบกวนมีขนาดต่ำๆ และเกิดความผิดพลาดขึ้นเมื่อสัญญาณรบกวนมีขนาดเพิ่มขึ้นแต่ไม่มากคือเพียง 2 องศาเท่านั้น

**กรณีที่ 2** กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการมีค่าเท่ากับ -50 องศา  
กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณรบกวนที่ 1 มีค่าเท่ากับ 60 องศา  
กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณรบกวนที่ 2 มีค่าเท่ากับ -25 องศา  
กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณรบกวนที่ 3 มีค่าเท่ากับ 20 องศา  
กำหนดให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณรบกวนที่ 4 มีค่าเท่ากับ -10 องศา

จากตารางที่ 3.5 เห็นได้ว่าเมื่อแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนอยู่ในทิศทางของพुरुองของสายอากาศทั้งหมด วิธี Bartlett และ MVDR ให้ผลผิดพลาดเพียงตั้งแต่สัญญาณรบกวนมีขนาดต่ำๆ แต่ผิดพลาดเพียงไปเพียง 1 องศาเท่านั้น และเป็นเช่นนั้นจนสัญญาณรบกวนมีขนาดเป็น 0.9 เท่าของสัญญาณที่ต้องการ แต่วิธี MUSIC ยังคงให้ความแม่นยำในการประมาณทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการ ไม่ว่าจะสัญญาณรบกวนจะมีขนาดเพิ่มขึ้นถึง 0.9 เท่าของสัญญาณที่ต้องการก็ตาม

ตารางที่ 3.5 ความคลาดเคลื่อนของการประมาณทิศทาง การมาถึงของสัญญาณ  
กับทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณที่ต้องการสำหรับกรณี 2

N/S	Bartlett (องศา)	MVDR (องศา)	MUSIC (องศา)
0.1	1	1	0
0.2	1	1	0
0.3	1	1	0
0.4	1	1	0
0.5	1	1	0
0.6	1	1	0
0.7	1	1	0
0.8	1	1	0
0.9	1	1	0

### 3.6 สรุป

1. เมื่อคำนวณจำลองแบบสถานการณ์ที่เกิดสัญญาณรบกวนโดยมีทิศทาง การมาถึงของสัญญาณที่แตกต่างกันทำให้ทราบว่า การก่อรูปลำคลื่นด้วยขั้นตอนวิธีแบบ LMS ให้ผลตอบที่ดีเมื่อสัญญาณรบกวนมีขนาดต่ำๆ เท่านั้น หมายถึง ในขณะที่สัญญาณรบกวนมีขนาดเป็น 0.004 เท่าของสัญญาณที่ต้องการ ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ LMS ทำให้สายอากาศสามารถปรับตัวโดยการลดพुरु่งหรือหันตำแหน่งศูนย์ไปในทิศทางของสัญญาณรบกวนได้ และยังคงสภาพหลักในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้ แต่เมื่อสัญญาณรบกวนมีขนาดสูงขึ้นความสามารถดังกล่าวเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ LMS จะลดลงตามความแรงของสัญญาณรบกวน ซึ่งต่างกับการใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum ซึ่งให้ผลตอบที่ดีไม่ว่าสัญญาณรบกวนจะแรงหรือไม่ก็ตาม

2. แต่ผลตอบดังข้อสรุปที่ 1 เปลี่ยนไปเมื่อรวมผลมีวชวลคัปปลิงเข้าไปด้วย กล่าวคือในสถานการณ์เดียวกันจากที่เคยสามารถหันท่าแหน่งศูนย์ไปในทิศทางของสัญญาณรบกวนได้ก็ไม่เป็นเช่นนั้นอีก หรือพหุองในทิศทางของสัญญาณรบกวนมีระดับเพิ่มขึ้น และในบางกรณีทำให้พหุหลักเคลื่อนไปจากทิศทางของสัญญาณที่ต้องการ นั้นหมายถึงผลเนื่องจากปรากฏการณ์มีวชวลคัปปลิงทำให้ความสามารถของการขจัดสัญญาณรบกวนของสายอากาศลดน้อยลง ดังนั้นจึงได้เสนอวิธีการชดเชยผลเนื่องจากมีวชวลคัปปลิงของสายอากาศแถวลำดับ จากผลตอบที่ได้เห็นได้ชัดว่าสามารถปรับปรุงให้สมรรถนะของสายอากาศเก่งดีขึ้นมากไม่ว่าจะดูจากแบบรูปการแผ่พลังงาน หรือดัชนีความเก่งของสายอากาศก็ตาม

3. ถึงแม้ว่าขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ LMS จะให้ผลตอบที่ไม่ดีนักเมื่อสัญญาณรบกวนมีขนาดสูงๆ แต่เมื่อเทียบกับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบรังผึ้งที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันความสามารถของขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบนี้ทำให้สามารถลดระยะห่างของเซลล์ที่ใช้ความถี่ซ้ำกันได้ถึงร้อยละ 85.86 และแน่นอนว่าขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าทำให้สามารถลดระยะห่างระหว่างเซลล์ที่ใช้ความถี่ซ้ำกันได้ถึงร้อยละ 88.45 การคิดค่าร้อยละดังกล่าวพิจารณาจากระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบรังผึ้งที่ใช้กันในประเทศไทยปัจจุบัน โดยมีการแบ่งเซลล์เป็น 3 เซกเตอร์ และเซกเตอร์แต่ละเซกเตอร์มีความกว้าง 120 องศา และเมื่อชดเชยผลเนื่องจากปรากฏการณ์มีวชวลคัปปลิงแล้วสามารถลดระยะห่างระหว่างเซลล์ที่ใช้ความถี่ซ้ำได้ถึงร้อยละ 91.06

4. สิ่งหนึ่งที่มีผลสำคัญต่อความสำเร็จในการลดสัญญาณรบกวนของสายอากาศเก่ง คือความสามารถในการประมาณทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการ จากการคำนวณจำลองแบบเห็นได้ว่าวิธี MUSIC มีประสิทธิภาพสูงในการประมาณทิศทางการมาถึงของสัญญาณ แต่จำเป็นต้องแยกสัญญาณที่มาจากกระหอบสายอากาศให้ไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันด้วยวิธีที่เรียกว่า prewhitening วิธี Bartlett และ MVDR ให้ความแม่นยำที่น้อยกว่าวิธี MUSIC แต่ผิดเพี้ยนไปไม่กี่องศา และ ไม่จำเป็นต้องทำ prewhitening คือสามารถประมาณทิศทางได้ไม่ว่าสัญญาณจะมีความสัมพันธ์ต่อกันหรือไม่ก็ตาม