

สายอากาศแถวลำดับวงกลมโดยใช้ร่องแบบเรียบ สำหรับการประยุกต์ใช้งาน
เครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย

นางสาวเกศภัทรา คำพิกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2552

**CIRCULAR ARRAY ANTENNA USING TAPERED
SLOTS FOR WIRELESS LAN APPLICATIONS**

Paowphattra Kamphikul

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

Suranaree University of Technology

Academic Year 2009

สายอากาศแถวลำดับวงกลมโดยใช้ร่องแบบเรียบ สำหรับการประยุกต์ใช้งาน
เครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นหน่วยงานหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.ชาญชัย ทองโสภิต)

กรรมการ

(ผศ. ดร.มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกุล)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รศ. น.อ. ดร.วรพจน์ จำพิศ)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

เกาทัณฑ์ คำพิบูล : สายอากาศแถวลำดับวงกลมโดยใช้ร่องแบบเรียว สำหรับการ
ประยุกต์ใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย (CIRCULAR ARRAY ANTENNA USING
TAPERED SLOTS FOR WIRELESS LAN APPLICATION) อาจารย์ที่ปรึกษา :
ผศ. ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์, 116 หน้า

ปัจจุบันเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย (Wireless Local Area Network : WLAN) มีการใช้งาน
สูงชันมาก เนื่องจากผู้ใช้งานสามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบเครือข่ายจากพื้นที่ใดก็ได้ที่อยู่ในรัศมีทำ
การของสัญญาณ ทำให้ผู้ใช้งานได้รับความสะดวกมากขึ้นในการเชื่อมต่อเครือข่าย โดยมี
จุดเข้าถึง (Access Point : AP) เป็นอุปกรณ์ที่อำนวยความสะดวกในการเข้าถึงเครือข่ายซึ่งทำหน้าที่
เป็นจุดกระจายสัญญาณและเชื่อมต่ออุปกรณ์ไร้สายเข้าด้วยกัน จุดเข้าถึงที่ใช้งานในปัจจุบันนี้เป็น
อุปกรณ์ที่ไม่มีการผลิตภายในประเทศ จึงไม่สามารถพัฒนาเทคโนโลยีได้มากเท่าที่ควร ดังนั้น
สายอากาศจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับจุดเข้าถึงเพื่อเพิ่ม
ประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายให้มากขึ้น วิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอการ
ออกแบบและสร้างสายอากาศร่องแบบเรียว (Tapered Slot Antenna : TSA) ที่มีความกว้างแถบ
ครอบคลุมช่วงความถี่ตั้งแต่ 2 GHz ถึง 6 GHz ซึ่งสามารถรองรับระบบการสื่อสารแบบไร้สาย
ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 a/b/g ได้ โดยใช้สายอากาศเพียงตัวเดียว โดยได้นำสายอากาศร่องแบบ
เรียวมาทำการจัดแถวลำดับแบบวงกลม (circular array) เพื่อเพิ่มอัตราขยาย และเพื่อให้สายอากาศ
มีคุณลักษณะเช่นเดียวกับสายอากาศแบบรอบทิศทางในระนาบเดียว (omnidirectional antenna)
จึงเหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้งานในเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายภายในอาคารขนาดใหญ่
สวนสาธารณะ หรือใช้สำหรับการเชื่อมโยงแบบจุดต่อหลายจุด (point-to-multipoint)

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
ปีการศึกษา 2552

ลายมือชื่อนักศึกษา _____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

PAOWPHATTRA KAMPHIKUL : CIRCULAR ARRAY ANTENNA
USING TAPERED SLOTS FOR WIRELESS LAN APPLICATIONS.

THESIS ADVISOR : ASST. PROF. RANGSAN WONGSAN, D.Eng., 116 PP.

CIRCULAR ARRAY/TAPERED SLOTS

Nowadays, Wireless Local Area Network (WLAN) is used increasingly since users can connect to the network system from any area within the signal coverage range, so the users can conveniently connect to the system via an access point (AP), equipment acting as a signal dispersion and connection point. Currently, equipments for the access points cannot be manufactured domestically resulting in few technology developments. Therefore, an antenna is considered as another option that can be applied with the access point to increase the WLAN's efficiency. In this thesis, a design and creation of Tapered Slot Antenna (TSA) were proposed with a bandwidth covered frequency ranges from 2 GHz to 6 GHz so as to support the wireless communication system according to the IEEE 802.11 a/b/g. A circular array antenna was arranged from only one Tapered Slot Antenna to increase gain and obtain the antenna with the similar characteristics as the omnidirectional antenna so it can be suitably used for the WLAN application in large buildings, public parks, or for point-to-multipoint interfaces.

School of Telecommunication Engineering Student's Signature _____

Academic Year 2009

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สามารถดำเนินการสำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บุคคล และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือ อย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการ และการดำเนินงานวิจัย รวมถึงหน่วยงานต่าง ๆ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัย ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้โอกาสทางการศึกษาที่ให้คำปรึกษา แนะนำ และชี้แนะแนวทางอันเป็นประโยชน์ยิ่งต่อวิทยานิพนธ์ รวมทั้งช่วยตรวจทานวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสิ้น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล หัวหน้าสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ ทองทา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกุล และอาจารย์ ดร.ปิยาภรณ์ กระจงนอก ที่คอยแนะนำช่วยเหลือให้คำปรึกษาอย่างดีมาโดยตลอด

คุณวราภรณ์ สาริษา และคุณวันวิสาข์ ไทยวิโรจน์ ที่คอยให้คำปรึกษาและช่วยเหลือทั้งในด้านวิชาการและด้านเทคนิค รวมทั้งการชี้แนะเกี่ยวกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่สนับสนุนต่อการทำวิทยานิพนธ์ อย่างสม่ำเสมอมาโดยตลอด

ขอขอบคุณเพื่อนบัณฑิตศึกษาทุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจ อาทิ เช่น คุณศรันย์ คัมภีร์ภัทร ที่คอยช่วยเหลือในเรื่องการวัดผลการทดลองและการจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์ อีกทั้งคุณประวิทย์พงษ์ อิ่มประสงค์ และน้อง ๆ นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกคนที่เป็นกำลังใจให้ในการดำเนินการจัดทำวิทยานิพนธ์

ท้ายที่สุดนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ทางด้านต่าง ๆ ทั้งในอดีตและปัจจุบัน ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อสมชน คุณแม่สุภธิดา คำพิกุล คุณป้าภูษารีย์ คุณรัตติกาลยงน์ ปัญญาพูนตระกูล รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่านที่ได้ให้ความรักความห่วงใย และให้การสนับสนุนทางด้านการศึกษาอย่างดีมาโดยตลอด รวมทั้งเป็นกำลังใจที่ดียิ่งสำหรับผู้วิจัยให้สามารถเผชิญกับปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆ จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตและพร้อมจะพัฒนาตนเองให้ดียิ่ง ๆ ขึ้นไป

เกาทัณฑ์ คำพิกุล

สารบัญ

หน้า

| | |
|----------------------------------------------------------------------------|----------|
| บทคัดย่อ (ภาษาไทย)..... | ก |
| บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)..... | ข |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ค |
| สารบัญ..... | ง |
| สารบัญตาราง..... | ช |
| สารบัญรูป..... | ฉ |
| คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ..... | ฎ |
| บทที่ | |
| 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... | 2 |
| 1.3 สมมุติฐานของการวิจัย..... | 3 |
| 1.4 ข้อยกเว้นเบื้องต้น..... | 3 |
| 1.5 ขอบเขตของการวิจัย..... | 3 |
| 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 3 |
| 1.7 การจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์..... | 4 |
| 2 ปรัชญ่วรรณกรรม งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทฤษฎีและโครงสร้างของสายอากาศ | |
| ร่องแบบเรียว..... | 5 |
| 2.1 บทนำ..... | 5 |
| 2.2 ปรัชญ่วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 5 |
| 2.2.1 สายอากาศโมนิโพล..... | 5 |
| 2.2.2 สายอากาศไมโครสตริปและสายอากาศร่องแบบเรียว..... | 6 |
| 2.3 สายอากาศไมโครสตริป..... | 8 |
| 2.4 สายอากาศร่องแบบเรียว..... | 11 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.4.1 โครงสร้างของสายอากาศร่องแบบเรียว..... | 11 |
| 2.4.2 วิธีการป้อนกำลังงาน..... | 16 |
| 2.4.3 การจัดแถวลำดับของสายอากาศร่องแบบเรียว..... | 18 |
| 2.5 สรุป..... | 20 |
| 3 การออกแบบสายอากาศแถวลำดับวงกลมโดยใช้ร่องแบบเรียว..... | 21 |
| 3.1 บทนำ..... | 21 |
| 3.2 การศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบและจำลองผลสายอากาศ ร่องแบบเรียวด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST..... | 21 |
| 3.2.1 ความยาวของสายอากาศ..... | 23 |
| 3.2.2 ความกว้างของร่อง..... | 24 |
| 3.2.3 ความยาวชดเชยด้านหลังสตัป..... | 25 |
| 3.2.4 อัตราความโค้งของร่องเรียวเอกซ์โพเนนเชียล..... | 26 |
| 3.2.5 การปรับมาตราส่วนของสายอากาศ..... | 27 |
| 3.2.6 ความสูงของวัสดุฐานรอง..... | 28 |
| 3.3 การศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบและจำลองผลสายอากาศแถว ลำดับวงกลมโดยใช้ร่องแบบเรียวด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST..... | 35 |
| 3.3.1 การปรับหาระยะที่เหมาะสมในการจัดแถวลำดับ..... | 36 |
| 3.3.2 การเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับ..... | 44 |
| 3.4 สรุป..... | 55 |
| 4 ผลการทดลอง..... | 56 |
| 4.1 บทนำ..... | 56 |
| 4.2 วิธีการสร้างสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบ..... | 56 |
| 4.3 ผลการวัดทดสอบตัวแบ่งกำลังงาน..... | 58 |
| 4.4 ผลการวัดทดสอบสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับและความกว้างแถบ..... | 62 |
| 4.5 ผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน..... | 67 |

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

| | | |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.5.1 | ผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ แถวลำดับวงกลม..... | 68 |
| 4.5.2 | ผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ แถวลำดับวงกลมที่มีแผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่าง ของสายอากาศ..... | 72 |
| 4.5.3 | ผลเปรียบเทียบการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน ระหว่างสายอากาศแถวลำดับวงกลมที่มีและไม่มีแผ่น อะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่างของสายอากาศ..... | 76 |
| 4.6 | ผลการวัดทดสอบค่าอิมพีแดนซ์..... | 80 |
| 4.7 | ผลการวัดทดสอบอัตราขยาย..... | 83 |
| 4.7.1 | ผลการวัดทดสอบอัตราขยายของสายอากาศร่องแบบรีเว หนึ่งอิลิเมนต์..... | 86 |
| 4.7.2 | ผลการวัดทดสอบอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับวงกลม..... | 87 |
| 4.7.3 | ผลการวัดทดสอบอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับวงกลม ที่มีแผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่าง..... | 88 |
| 4.8 | สรุป..... | 90 |
| 5 | บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... | 91 |
| 5.1 | สรุปผลการวิจัย..... | 91 |
| 5.2 | ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข..... | 92 |
| 5.3 | ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา..... | 93 |
| | รายการอ้างอิง..... | 94 |
| | ภาคผนวก | |
| | ภาคผนวก ก. แสดงผลเปรียบเทียบที่ได้จากการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST และการวัดทดสอบของสายอากาศร่องแบบรีเวต้นแบบและ สายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบ..... | 98 |
| | ภาคผนวก ข. ความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่..... | 106 |

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

| | |
|----------------------|-----|
| ประวัติผู้เขียน..... | 116 |
|----------------------|-----|

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2.1 | ค่าพารามิเตอร์อ้างอิงของสายอากาศร่องแบบเรียว.....15 |
| 3.1 | ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศร่องแบบเรียวต้นแบบ.....29 |
| 3.2 | ค่าอัตราขยายจากผลการจำลองสายอากาศร่องแบบเรียวต้นแบบ.....30 |
| 3.3 | ค่าอัตราขยายจากผลการจำลองสายอากาศแถวลำดับวงกลม.....38 |
| 3.4 | ค่าอัตราขยายจากผลการจำลองสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบ.....44 |
| 3.5 | ค่าอัตราขยายจากผลการจำลองของสายอากาศแถวลำดับวงกลมระหว่างมี และไม่มีแผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่าง.....51 |
| 4.1 | ค่าอัตราขยายของสายอากาศร่องแบบเรียวหนึ่งอิลิเมนต์.....86 |
| 4.2 | ค่าอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับวงกลม.....87 |
| 4.3 | ค่าอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับวงกลมที่มีแผ่นอะลูมิเนียมปิด ด้านบนและล่าง.....88 |
| 4.4 | ค่าอัตราขยายจากผลการวัดทดสอบของสายอากาศแถวลำดับวงกลมระหว่าง มีและไม่มีแผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่าง.....89 |
| 5.1 | คุณลักษณะสมบัติของสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบ.....92 |
| ก.1 | ค่าอัตราขยายของสายอากาศร่องแบบเรียวต้นแบบหนึ่งอิลิเมนต์.....99 |

สารบัญรูป

| รูป | หน้า |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2.1 | สายอากาศไมโครสตริปรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก.....7 |
| 2.2 | สายอากาศร่องแบบเรียวรูปแบบต่าง ๆ (ก) ร่องเรียวแบบเส้นโค้งเอกซ์โพเนนเชียล (ข) ร่องเรียวแบบเส้นโค้งสัมผัส (ค) ร่องเรียวแบบเส้นโค้งพาราโบลา (ง) ร่องเรียวแบบเส้นตรง (จ) ร่องเรียวแบบเส้นตรงคงที่ (ฉ) ร่องเรียวแบบเส้นโค้งเอกซ์โพเนนเชียลคงที่ (ช) ร่องเรียวแบบขั้นบันไดคงที่ (ซ) ร่องเรียวแบบเส้นตรงไม่ต่อเนื่อง.....7 |
| 2.3 | โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป.....9 |
| 2.4 | กระแสไฟฟ้าและลักษณะเส้นแรงไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนแผ่นตัวนำ.....10 |
| 2.5 | โครงสร้างสายอากาศร่องแบบเรียว.....12 |
| 2.6 | เทคนิคการป้อนกำลังงานให้แก่สายอากาศร่องแบบเรียว.....17 |
| 2.7 | การป้อนกำลังงานด้วยเส้นไมโครสตริป.....18 |
| 2.8 | รูปร่างมาตรฐานในการจัดแถวค้ำของสายอากาศร่องแบบเรียว.....19 |
| 2.9 | แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศร่องแบบเรียว.....19 |
| 2.10 | รูปร่างของแถวค้ำค้ำแบบวงกลม.....20 |
| 3.1 | ผลจากการจำลองสายอากาศร่องแบบเรียวด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST.....22 |
| 3.2 | ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า A_f23 |
| 3.3 | ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า F_w24 |
| 3.4 | ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า L_g25 |
| 3.5 | ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า R_a26 |
| 3.6 | ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศ เมื่อทำการปรับมาตราส่วน ของสายอากาศ.....27 |
| 3.7 | ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า H28 |
| 3.8 | ผลจากการจำลองสายอากาศร่องแบบเรียวค้ำแบบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST.....30 |
| 3.9 | แบบจำลองสายอากาศแถวค้ำค้ำวงกลมค้ำแบบ.....35 |
| 3.10 | ผลการจำลองการปรับหาระยะที่เหมาะสมในการจัดแถวค้ำค้ำ.....36 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูป | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 3.11 ผลจากการจำลองสายอากาศแถวลำดับวงกลมด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST..... | 38 |
| 3.12 ผลจากการจำลองสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST..... | 45 |
| 3.13 ผลจากการจำลองแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับวงกลมระหว่างมีและไม่มีแผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่าง..... | 51 |
| 4.1 โปรแกรม AutoCAD 2008 กำหนดการกัดและตัดแผ่น PCB..... | 57 |
| 4.2 โปรแกรม CoreIDRAW 9 กำหนดการตัดแผ่น PCB..... | 57 |
| 4.3 สายอากาศที่สร้างขึ้น..... | 58 |
| 4.4 ตัวแบ่งกำลัง..... | 59 |
| 4.5 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ..... | 60 |
| 4.6 ผลการวัดทดสอบของสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบ..... | 64 |
| 4.7 ผลการวัดทดสอบและการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST ของสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบ..... | 65 |
| 4.8 วิธีการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน..... | 67 |
| 4.9 การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสายอากาศแถวลำดับวงกลมที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST และการวัดทดสอบ..... | 68 |
| 4.10 การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบที่มีแผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่าง ซึ่งได้ผลจากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST และการวัดทดสอบ..... | 72 |
| 4.11 การเปรียบเทียบผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับวงกลมระหว่างมีและไม่มีแผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่าง..... | 76 |
| 4.12 ค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าจากการวัดทดสอบ..... | 80 |
| 4.13 วิธีการวัดทดสอบอัตราขยายของสายอากาศหนึ่งอีลิเมนต์..... | 83 |
| 4.14 วิธีการวัดทดสอบอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบ..... | 85 |
| ก.1 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศร่องแบบเรียวต้นแบบหนึ่งอีลิเมนต์ที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST และการวัดทดสอบ..... | 99 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูป | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ก.2 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งสายอากาศร่องแบบเรียวตันแบบหนึ่งอิลิเมนต์ที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST และการวัดทดสอบ..... | 100 |
| ก.3 การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศร่องแบบเรียวหนึ่งอิลิเมนต์ที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST และการวัดทดสอบ..... | 101 |
| ก.4 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศแถวลำดับวงกลมที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST และการวัดทดสอบ..... | 104 |
| ก.5 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งสายอากาศแถวลำดับวงกลมที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST และการวัดทดสอบ..... | 105 |

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

| | | |
|--------------|---|---------------------------------------|
| WLAN | = | wireless local area network |
| RF | = | radio frequency |
| AP | = | access point |
| TSA | = | tapered slot antenna |
| CST | = | computer simulation technology |
| PCB | = | printed-circuit board |
| f_c | = | operating frequency |
| f_r | = | resonance frequency |
| ϵ_r | = | relative permittivity |
| ϵ_0 | = | permittivity of free space |
| μ_r | = | relative permeability |
| μ_0 | = | permeability of free space |
| MICs | = | microwave integrated circuits |
| A_l | = | antenna length |
| A_w | = | antenna width |
| F_l | = | flared slotline length |
| F_w | = | flared slotline width |
| D_s | = | diameter of circular slot stub |
| L_t | = | length of uniform section of slotline |
| L_g | = | backwall offset |
| W_{st} | = | microstrip line width |
| H | = | substrate height |
| λ_0 | = | free space wavelength |
| λ_s | = | slotline wavelength |
| λ_m | = | microstrip wavelength |
| R_a | = | exponential opening rate |
| D | = | distance |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันระบบการสื่อสารแบบไร้สายนับได้ว่าเป็นมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากผู้ใช้งานสามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบเครือข่ายจากพื้นที่ใดก็ได้ที่อยู่ในรัศมีทำการของสัญญาณ ทำให้ผู้ใช้งานได้รับความสะดวกมากขึ้นในการเชื่อมต่อเครือข่าย จากข้อดีของระบบการสื่อสารแบบไร้สายดังกล่าวส่งผลให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับระบบการสื่อสารแบบไร้สายอย่างกว้างขวาง และเทคโนโลยีหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างสูงในขณะนี้คือ เครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย (Wireless Local Area Network : WLAN) ซึ่งเป็นระบบเชื่อมโยงระหว่างคอมพิวเตอร์หรือเครือข่ายคอมพิวเตอร์เข้าด้วยกัน หรือเป็นการเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต ผ่านทางคลื่นวิทยุ (Radio Frequency : RF) แทนการใช้สายเคเบิลในการรับส่งข้อมูล โดยมีจุดเข้าถึง (Access Point : AP) เป็นอุปกรณ์ที่อำนวยความสะดวกในการเข้าถึงเครือข่ายซึ่งจะทำหน้าที่เป็นจุดกระจายและเชื่อมต่ออุปกรณ์ไร้สายเข้าด้วยกัน เนื่องจากจุดเข้าถึงที่เป็นจุดกระจายสัญญาณจะต้องอยู่ในรัศมีทำการของสัญญาณทำให้เครือข่ายติดต่อกันด้วยความเร็วไม่สม่ำเสมอส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลง จึงมีการผลิตอุปกรณ์ไร้สายที่ส่งสัญญาณได้ไกลกว่าปกติขึ้น หรืออาจมีการติดตั้งสายอากาศเข้าไปในระบบเพื่อเพิ่มระยะทาง โดยจุดเข้าถึงที่ใช้งานในปัจจุบันนี้เป็นอุปกรณ์ที่ไม่มีการผลิตภายในประเทศ จึงไม่สามารถพัฒนาเทคโนโลยีได้มากเท่าที่ควร ดังนั้นสายอากาศจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับจุดเข้าถึงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายให้มากขึ้น โดยสายอากาศจะทำหน้าที่ในการแผ่กระจายคลื่นสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าออกไป ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของสายอากาศตามแบบรูปการแผ่พลังงานได้ 2 แบบคือ สายอากาศแบบมีทิศทางหรือเจาะจงทิศทาง (directional antenna) จะมีลักษณะการแผ่กระจายคลื่นในทิศทางใดทิศทางหนึ่งมากกว่าทิศทางอื่น ๆ เหมาะสำหรับการใช้งานภายนอกอาคารเพื่อใช้เชื่อมโยงแบบจุดต่อจุด (point-to-point) และสายอากาศแบบรอบทิศทางในระนาบเดียว (omnidirectional antenna) ซึ่งมีลักษณะการกระจายของคลื่นรอบ ๆ สายอากาศในระนาบอะซิมูท (azimuth plane) โดยคลื่นจะถูกแผ่กระจายออกไปทุกทิศทางเหมาะสำหรับการใช้งานภายในอาคารเพื่อใช้เชื่อมโยงแบบจุดต่อหลายจุด (point-to-multipoint)

สายอากาศที่นิยมนำมาใช้ในงานในระบบการสื่อสารแบบไร้สายในปัจจุบัน ได้แก่ สายอากาศโมโนโพล (monopole antenna) เป็นสายอากาศที่มีน้ำหนักเบา ง่ายต่อการออกแบบและสร้าง แต่มีโครงสร้างที่ไม่แข็งแรง และสายอากาศไมโครสตริป (microstrip antenna) ซึ่งได้รับความนิยมอย่างมากเนื่องจากมีลักษณะแบนราบ ไม่ต้านลมสามารถติดตั้งทั้งภายในและภายนอกอาคารได้ นอกจากนี้ยังมีข้อดีในแง่ของราคาถูก และน้ำหนักเบา

สายอากาศร่องแบบเรียว (Tapered Slot Antenna : TSA) เป็นสายอากาศไมโครสตริปอีกประเภทหนึ่งที่มีความกว้างแถบ (bandwidth) กว้าง มีระดับโหลบข้าง (sidelobe level) ที่ต่ำ อีกทั้งมีแบบรูปการแผ่พลังงาน (radiation pattern) ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) และระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane) ที่สมมาตร สามารถออกแบบและสร้างได้ง่ายบนแผ่นวงจรพิมพ์ (Print Circuit Board : PCB) และมีความง่ายสำหรับการปรับสมดุลของอิมพีแดนซ์ (impedance matching) ในการป้อนกำลังงานให้แก่สายอากาศด้วยเส้นไมโครสตริป (microstrip line) ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอสายอากาศแถวลำดับวงกลม โดยใช้ร่องแบบเรียวที่มีแบบรูปการแผ่เพื่อประยุกต์ใช้ในเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายสำหรับใช้งานภายในห้องโถงของอาคารขนาดใหญ่ หรือสวนสาธารณะที่ต้องการพื้นที่ที่กว้างในการบริการซึ่งมีความกว้างแถบครอบคลุมช่วงความถี่ตั้งแต่ 2 GHz ถึง 6 GHz ที่สามารถรองรับระบบการสื่อสารแบบไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 b/g (Wi-Fi) ที่ความถี่ 2.45 GHz และมาตรฐาน IEEE 802.11 a ที่ความถี่ 5.25 GHz และ 5.8 GHz ได้ โดยใช้สายอากาศเพียงตัวเดียว และได้นำสายอากาศร่องแบบเรียวมาทำการจัดแถวลำดับ (array) เพื่อเพิ่มอัตราขยาย (gain) และความกว้างลำคลื่นให้มากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษารูปแบบและออกแบบสายอากาศร่องแบบเรียว สำหรับการประยุกต์ใช้งานในเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย
- 1.2.2 เพื่อออกแบบและจำลองผลสายอากาศแถวลำดับวงกลมโดยใช้ร่องแบบเรียว ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป
- 1.2.3 เพื่อสร้างสายอากาศแถวลำดับวงกลมโดยใช้ร่องแบบเรียวต้นแบบ เปรียบเทียบผลของการวัดทดสอบและการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

- 1.3.1 เมื่อทำการออกแบบด้วยสายอากาศร่องแบบเรียบ จะส่งผลให้มีความกว้างแถบที่กว้างมากขึ้นและสามารถรองรับระบบการสื่อสารแบบไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 a/b/g
- 1.3.2 เมื่อนำสายอากาศร่องแบบเรียบมาจัดแถวลำดับ ทำให้ได้ความกว้างลำคลื่นในระนาบอะซิมูทที่กว้างขึ้นและมีอัตราขยายของสายอากาศเพิ่มขึ้น

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

- 1.4.1 ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการออกแบบและจำลองผลสายอากาศร่องแบบเรียบ ที่มีรูปร่างเป็นเส้นโค้ง ที่ช่วงความถี่ 2 GHz ถึง 6 GHz และสร้างสายอากาศต้นแบบเพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป
- 1.4.2 ใช้สายอากาศแถวลำดับวงกลมโดยใช้ร่องแบบเรียบ สำหรับการประยุกต์ใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.5.1 ศึกษาสายอากาศสำหรับเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย
- 1.5.2 ศึกษารูปแบบและวิเคราะห์คุณลักษณะสายอากาศร่องแบบเรียบที่เหมาะสมและตรงกับความต้องการ
- 1.5.3 ศึกษาวิเคราะห์คุณลักษณะของสายอากาศแถวลำดับวงกลมโดยใช้ร่องแบบเรียบ
- 1.5.4 สร้างสายอากาศแถวลำดับวงกลมโดยใช้ร่องแบบเรียบต้นแบบ เพื่อเปรียบเทียบผลจากการวัดทดสอบและการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 ได้สายอากาศแถวลำดับวงกลมโดยใช้ร่องแบบเรียบ ที่เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้งานในเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายภายในห้อง โถงของอาคารขนาดใหญ่ สวนสาธารณะหรือใช้ในการเชื่อมโยงแบบจุดต่อหลายจุด

1.7 การจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์

สำหรับเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการศึกษาค้นคว้า รวบรวมข้อมูล วิเคราะห์และสรุปผลต่าง ๆ สำหรับสายอากาศแถวลำดับวงกลมโดยใช้ร่องแบบเรียว โดยมีเนื้อหาทั้งหมด 5 บทด้วยกัน

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัยสำหรับระบบการสื่อสารแบบไร้สาย การเลือกสายอากาศที่มีความเหมาะสมกับระบบดังกล่าว โดยเฉพาะสายอากาศแถวลำดับวงกลมโดยใช้ร่องแบบเรียวซึ่งสามารถตอบสนองความต้องการด้านคุณสมบัติขั้นต้นได้เป็นอย่างดี วัตถุประสงค์ของการวิจัย สมมุติฐานของการวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตของการวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และการจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงปริทัศน์วรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศแต่ละชนิดที่ใช้ในงานการสื่อสารแบบไร้สาย โดยเฉพาะงานวิจัยเกี่ยวกับสายอากาศร่องแบบเรียว เนื่องจากมีข้อดีหลายประการ อาทิเช่น มีแถบความถี่กว้าง มีน้ำหนักเบา สามารถออกแบบและสร้างได้ง่าย ซึ่งมีความเหมาะสมและตรงกับความต้องการ และกล่าวถึงทฤษฎีของสายอากาศไมโครสตริปและโครงสร้างของสายอากาศร่องแบบเรียว

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม Computer Simulation Technology (CST) เพื่อให้ได้สายอากาศที่มีคุณสมบัติตรงตามที่ต้องการ

บทที่ 4 กล่าวถึงการสร้างสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบตามค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ถูกออกแบบไว้เพื่อยืนยันความถูกต้องด้วยผลการวัดทดสอบคุณลักษณะต่าง ๆ

บทที่ 5 กล่าวถึงการสรุปผลการวิจัยทั้งหมด ปัญหาที่พบรวมทั้งวิธีการแนวทางแก้ไข ปัญหาที่เกิดขึ้น และแนวทางสำหรับการพัฒนาสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบต่อไปในอนาคต

บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรม งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทฤษฎีและโครงสร้าง ของสายอากาศร่องแบบเรียว

2.1 บทนำ

สายอากาศมีหน้าที่สำคัญในระบบการสื่อสารคือ การรับและส่งสัญญาณข้อมูล ดังนั้นการเลือกใช้สายอากาศที่มีความเหมาะสมสำหรับใช้งานก็จะเป็นการใช้งานสายอากาศได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ สายอากาศที่ใช้สำหรับระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายมีด้วยกันหลายแบบหลายชนิด โดยมีโครงสร้างที่แตกต่างกันออกไป และได้มีการพัฒนาและปรับปรุงมาโดยตลอดเพื่อให้ประสิทธิผลการเชื่อมต่อมากที่สุด โดยในบทนี้จะกล่าวถึงปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศที่ใช้สำหรับระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักได้แก่ 1.สายอากาศโมโนโพล และ 2.สายอากาศไมโครสตริปและสายอากาศร่องแบบเรียว และได้กล่าวถึงทฤษฎีและโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปและสายอากาศร่องแบบเรียว

2.2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

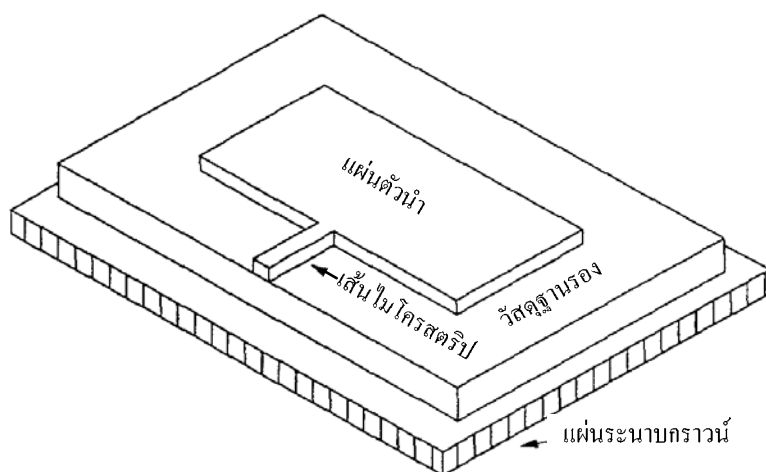
สำหรับสายอากาศที่ใช้งานในระบบการสื่อสารแบบไร้สายนั้นมีอยู่หลายแบบหลายประเภท เมื่อพิจารณาให้ลึกลงมาในระดับที่สนใจเพื่อให้สอดคล้องกับงานวิจัยฉบับนี้แล้วสายอากาศที่ได้ทำการศึกษาค้นคว้าสามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะตามประเภทโครงสร้างของสายอากาศและคุณลักษณะที่สนใจได้ดังนี้

2.2.1 สายอากาศโมโนโพล

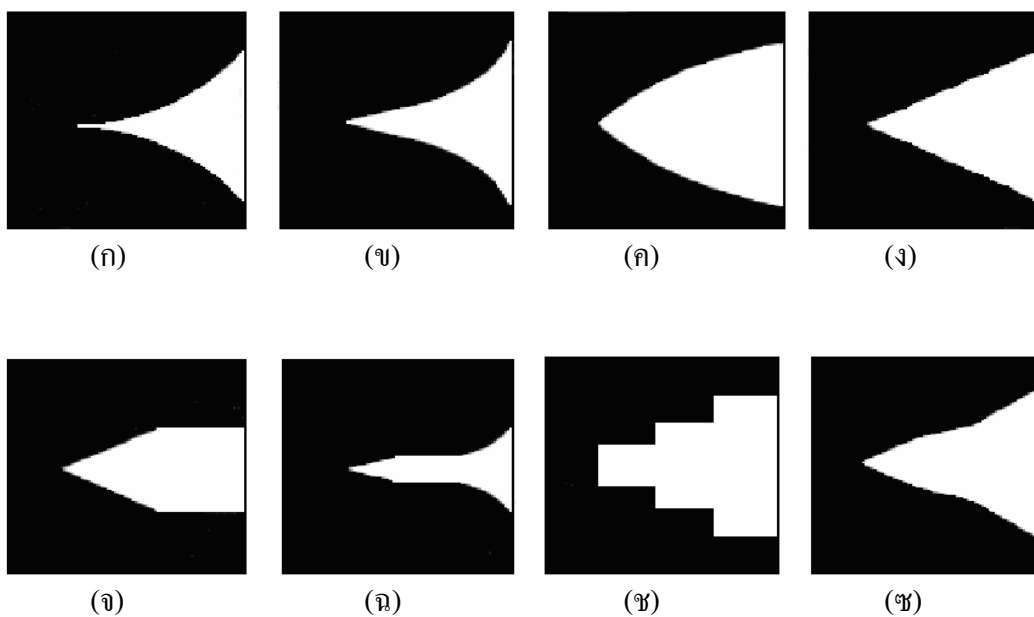
ปัจจุบันสายอากาศที่นิยมนำมาใช้งานในระบบการสื่อสารแบบไร้สายมากที่สุดคือสายอากาศโมโนโพล (monopole antenna) เนื่องจากเป็นสายอากาศที่มีน้ำหนักเบาและมีโครงสร้างของสายอากาศที่ไม่ซับซ้อน ง่ายต่อการออกแบบและสร้าง (Chen, Peng and Liang, 2005) โดยส่วนประกอบของสายอากาศที่ทำหน้าที่ในแผ่กระจายคลื่นจะถูกติดตั้งอยู่บนระนาบกราวด์แบบอนันต์ ซึ่งสายอากาศนี้จะมีคุณลักษณะคล้ายกับสายอากาศไดโพล (dipole antenna) ข้อเสียของสายอากาศโมโนโพลคือ สามารถใช้งานได้เพียงแถบความถี่เดียว

2.2.2 สายอากาศไมโครสตริปและสายอากาศร่องแบบเรียว

สายอากาศไมโครสตริป (Jame and Hall, 1989) ประกอบด้วยส่วนที่เป็นแผ่นหรือแพทช์ (patch) ที่เป็นตัวนำ โดยทั่วไปจะมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากหรือวงกลม ซึ่งจะถูกแยกออกจากกันด้วยแผ่นระนาบกราวด์ที่มีความบาง (เป็นเศษส่วนของความยาวคลื่น) และมีลักษณะเป็นชั้นหรือที่เรียกว่าวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริก แสดงดังรูปที่ 2.1 ไมโครสตริปได้รับความนิยมอย่างมากในการใช้งานทางด้านสายอากาศ เนื่องจากมีลักษณะแบนราบ ไม่ต้านลมและสามารถติดกับผิวของยานพาหนะได้ และยังมีข้อดีในแง่ของราคาถูก น้ำหนักเบา และมีความสะดวกในการสร้างและการติดตั้ง สายอากาศร่องแบบเรียวเป็นสายอากาศไมโครสตริปอีกประเภทหนึ่งที่มีแถบความถี่กว้าง โดยสายอากาศร่องแบบเรียวมีหลายแบบ (Rajaraman, 2001); (Syeda, 2006) แสดงดังรูปที่ 2.2 ซึ่งลักษณะของร่องแบบเรียวสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทคือ (1) ร่องเรียวที่ไม่เป็นเส้นตรง (non linear tapered slot) ได้แก่ ร่องเรียวแบบเส้นโค้งเอกซ์โพเนนเชียล (exponential tapered slot หรือ vivaldi) ดังรูปที่ 2.2(ก) ร่องเรียวแบบเส้นโค้งสัมผัส (tangential tapered slot) ดังรูปที่ 2.2(ข) และร่องเรียวแบบเส้นโค้งพาราโบลา (parabolic tapered slot) ดังรูปที่ 2.2(ค) (2) ร่องเรียวที่เป็นเส้นตรง (linear tapered slot) ได้แก่ ร่องเรียวแบบเส้นตรง (linear tapered slot) ดังรูปที่ 2.2(ง) และร่องเรียวแบบเส้นตรงไม่ต่อเนื่อง (broken-linear tapered slot) ดังรูปที่ 2.2(ช) และ (3) ร่องเรียวที่มีความกว้างคงที่ (constant width tapered slot) ได้แก่ ร่องเรียวแบบเส้นตรงคงที่ (linear-constant tapered slot) ดังรูปที่ 2.2(จ) ร่องเรียวแบบเส้นโค้งเอกซ์โพเนนเชียลคงที่ (exponential-constant tapered slot) ดังรูปที่ 2.2(ฉ) และร่องเรียวแบบขั้นบันไดคงที่ (step-constant tapered slot) ดังรูปที่ 2.2(ซ) และนอกจากนี้สายอากาศร่องแบบเรียวยังสามารถออกแบบและสร้างได้ง่ายบนแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed-Circuit Board : PCB) และมีความง่ายสำหรับการปรับสมดุลของอิมพีแดนซ์ในการป้อนกำลังงานด้วยเส้นไมโครสตริป (Lee and Chen, 1997) ดังนั้นสายอากาศร่องแบบเรียวจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีความเหมาะสมทั้งในด้านของวัสดุอุปกรณ์และราคา สำหรับประยุกต์ใช้กับเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายในประเทศ



รูปที่ 2.1 สายอากาศไมโครสตริปรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก



รูปที่ 2.2 สายอากาศร่องแบบเรียวรูปแบบต่าง ๆ (ก) ร่องเรียวแบบเส้นโค้งเอกซ์โพเนนเชียล (ข) ร่องเรียวแบบเส้นโค้งสัมผัส (ค) ร่องเรียวแบบเส้นโค้งพาราโบลา (ง) ร่องเรียวแบบเส้นตรง (จ) ร่องเรียวแบบเส้นตรงคงที่ (ฉ) ร่องเรียวแบบเส้นโค้งเอกซ์โพเนนเชียลคงที่ (ช) ร่องเรียวแบบขั้นบันไดคงที่ (ซ) ร่องเรียวแบบเส้นตรงไม่ต่อเนื่อง

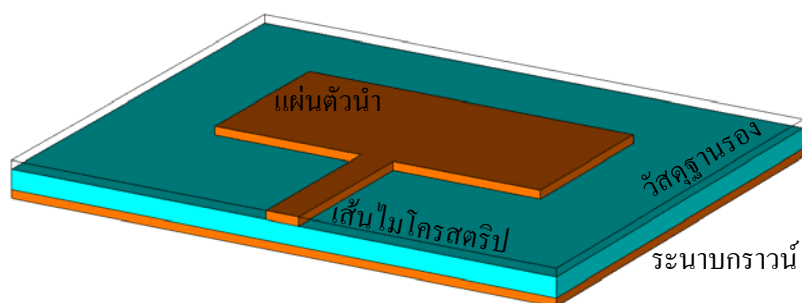
สำหรับงานวิจัยแรกที่ตีพิมพ์เกี่ยวกับสายอากาศร่องแบบรีเวว คือสายอากาศวิวอลดิบนวัสดุฐานรองที่เป็นอะลูมิเนียม (Gibson, 1979) โดยการออกแบบให้ช่องเปิดของปลายสายอากาศต้องมีขนาดใหญ่กว่าครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นเนื่องจากสายอากาศร่องแบบรีเววมีคุณลักษณะเป็นแถบกว้าง ซึ่งสามารถทำให้ความกว้างแถบเพิ่มขึ้นได้อีกโดยการเพิ่มไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรอง (Kasturi and Schaubert, 2006) การใช้บาลูนในการปรับสมดุลระหว่างจุดป้อนกำลังงานและสายอากาศ (Lera, Garcia, Rajo, and Segovia, 2006) ส่งผลให้มีอัตราขยายที่ค่อนข้างต่ำ (Kim and Chang, 2004) จึงได้ทำการควบคุมการเลื่อนเฟสด้วยตัวแปลงสัญญาณไพเอโซอิเล็กทริก (PiezoElectric Transducer : PET) ในระนาบสนามแม่เหล็ก นอกจากนี้ (Elsherbini, Zhang, Lin, Kuhn, Kamel, Fathy, and Elhennawy, 2007) ได้นำเสนอถึงวิธีการเพิ่มอัตราขยายด้วยการลดความกว้างลำคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กให้แคบลงเพื่อให้เกิดความสมมาตรของแบบรูปการแผ่พลังงาน โดยการเพิ่มแท่งโพลีสไตรีน (polystyrene rod) และยังมีงานวิจัยอีกมากมายที่ได้ศึกษาถึงพารามิเตอร์ที่สำคัญของสายอากาศร่องแบบรีเวว เช่น ศึกษาเปรียบเทียบวัสดุฐานรองที่เหมาะสมสำหรับสายอากาศแอนติโพดอลวิวอลดิ (antipodal vivaldi antenna) (Hood, Karacolak, and Topsakal, 2007) ระหว่าง RO3006 และ FR4 โดยได้พิจารณาผลของการสูญเสียย้อนกลับ (return loss) แบบรูปคลื่นระยะไกล (far field pattern) การตอบสนองของเฟส (phase response) กลุ่มหน่วง (group delay) และอัตราขยาย พบว่าวัสดุฐานรองที่เป็น FR4 มีความเหมาะสมเนื่องจากให้ผลของการสูญเสียย้อนกลับที่ดี และมีความง่ายในการออกแบบ

สำหรับงานวิจัยนี้จะนำเสนอสายอากาศแถวลำดับวงกลมโดยใช้ร่องแบบรีเวว โดยได้นำสายอากาศร่องแบบรีเววมาจัดแถวลำดับแบบวงกลม ซึ่งจุดเด่นของงานวิจัยที่แตกต่างจากงานวิจัยอื่นคือ การจัดแถวลำดับแบบวงกลม เพื่อให้สายอากาศมีคุณลักษณะเช่นเดียวกันกับสายอากาศแบบรอบทิศทาง ซึ่งมีลักษณะการกระจายของคลื่นรอบ ๆ สายอากาศในระนาบอะซิมุท (azimuth plane) โดยคลื่นจะถูกแผ่กระจายออกไปทุกทิศทาง จึงเหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้งานกับเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายทั้งภายในอาคาร หรือสวนสาธารณะ

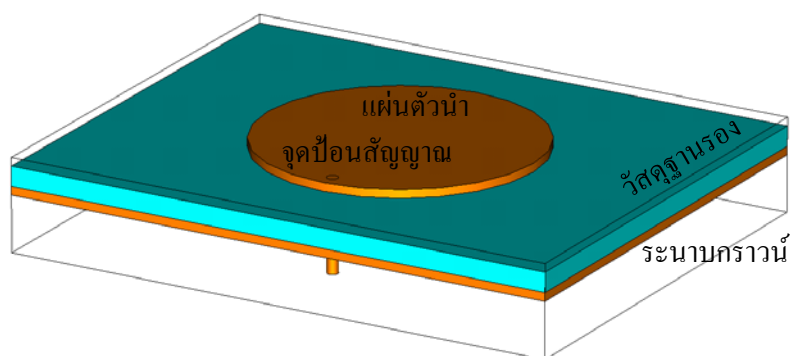
2.3 สายอากาศไมโครสตริป

โดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปได้สามส่วน ซึ่งประกอบด้วยส่วนบนจะเป็นแผ่นตัวนำที่ใช้สำหรับการแพร่กระจายคลื่น ส่วนที่สองเป็นวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริกที่คั่นกลางระหว่างระนาบกราวด์และแผ่นตัวนำ และส่วนที่สาม คือ ระนาบกราวด์ สำหรับแผ่นตัวนำโดยทั่วไปมักจะมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากหรือวงกลม ซึ่งสายอากาศ

ไมโครสตริปมีความสะดวกในการสร้างลงในแผ่นวงจรพิมพ์ โดยที่แผ่นตัวนำจะถูกลงไว้ที่ด้านหนึ่งของแผ่นวงจรพิมพ์ และอีกด้านหนึ่งจะทำหน้าที่เป็นแผ่นระนาบกราวด์ ดังแสดงในรูปที่ 2.3(ก) เป็นแผ่นตัวนำรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก โดยสัญญาณความถี่วิทยุจะถูกป้อนเข้าที่สายป้อนสัญญาณที่เป็นสตริปโลหะแคบๆ และสำหรับรูปที่ 2.3(ข) แสดงแผ่นตัวนำรูปวงกลมที่ป้อนด้วยตัวนำผ่านช่องในระนาบกราวด์ ซึ่งการป้อนสัญญาณในลักษณะนี้จะเรียกว่าการเชื่อมต่อแบบช่องเปิด (aperture coupling) ผ่านช่องเปิดเล็กๆ ในระนาบกราวด์



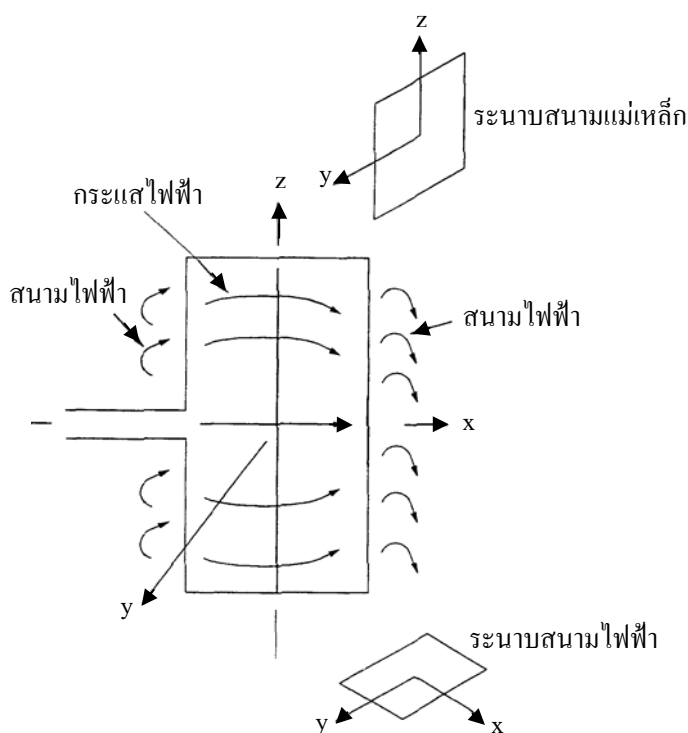
(ก) แผ่นตัวนำแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก



(ข) แผ่นตัวนำแบบวงกลม

รูปที่ 2.3 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป

สำหรับสายอากาศไมโครสตริปนั้น ความแม่นยำของค่าคงที่ได้อิเล็กทรอนิกส์ของวัสดุฐานรอง ถือว่ามีความสำคัญมาก เนื่องจากเป็นพารามิเตอร์สำคัญที่มีผลต่อการเดินทางของคลื่น ความถี่ เรโซแนนซ์ และคุณลักษณะการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ จากรูปที่ 2.4 แสดงกระแสไฟฟ้า และเส้นแรงของสนามไฟฟ้าทั้งภายในและบริเวณรอบ ๆ แผ่นตัวนำ ซึ่งโดยปกติสนามไฟฟ้าที่ บริเวณขอบของแผ่นตัวนำที่ถูกต่อด้วยสายนำสัญญาณและด้านตรงข้ามขอบนั้น จะมีผลต่อ คุณสมบัติการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ โดยคลื่นที่แผ่กระจายจากสายอากาศจากรูปที่ 2.4 จะมีการโพลาไรซ์ในแนวนอน ซึ่งระนาบของสนามไฟฟ้า (ระนาบ x-y : E-plane) จะมีทิศทางในแนวนอน และระนาบของสนามแม่เหล็ก (ระนาบ y-z : H-plane) จะมีทิศทางในแนวตั้ง



รูปที่ 2.4 กระแสไฟฟ้าและลักษณะเส้นแรงไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนแผ่นตัวนำ

สายอากาศไมโครสตริปสามารถทำการป้อนกำลังได้หลายวิธี แต่ที่นิยมใช้มีอยู่ด้วยกันสี่วิธี ได้แก่ เส้นไมโครสตริป (microstrip line) เส้นแกนร่วม (coaxial line) โพรบแกนร่วม (coaxial probe) และอะเพอร์เจอร์เชื่อมต่อ (aperture coupling) ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เน้นในส่วนของการป้อนกำลังด้วยเส้นไมโครสตริป โดยตัวป้อนกำลังที่นำมาต่อกับสายอากาศควรจะมีค่าอิมพีแดนซ์ของสายเคเบิลเท่ากับอิมพีแดนซ์ของสายอากาศด้วย โดยสายนำสัญญาณที่จะต่อเข้ากับ

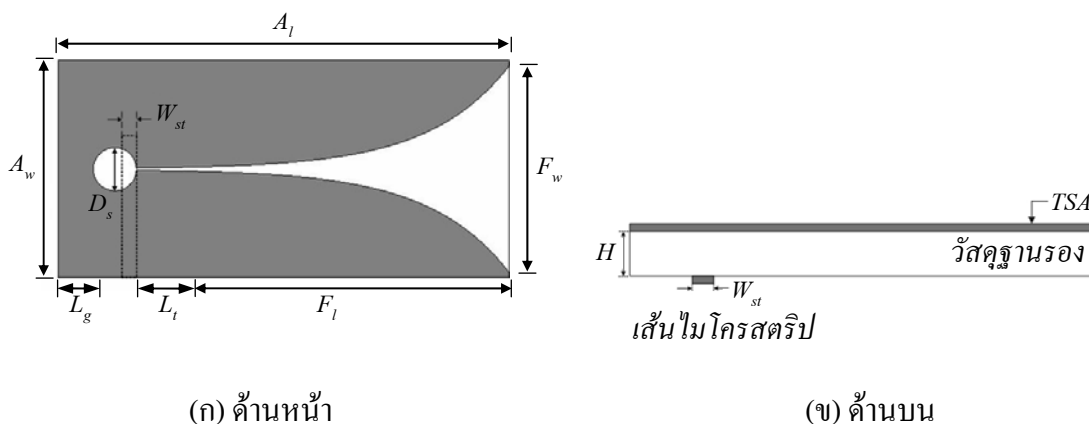
เครื่องมีวัดและทดสอบสายอากาศนั้น ส่วนใหญ่จะมีอิมพีแดนซ์เท่ากับ 50 โอห์ม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการแมตช์อิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศไมโครสตริปให้มีค่าเท่ากับ 50 โอห์ม ในการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปมีพารามิเตอร์ที่จำเป็นต้องคำนึงถึง ได้แก่ ความถี่ปฏิบัติงานของสายอากาศ (operating frequency : f_c) หรือความถี่เรโซแนนซ์ (resonance frequency : f_r) ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรอง (dielectric constant : ϵ_r) และความสูงของไดอิเล็กตริกหรือความสูงของวัสดุฐานรอง (height : h)

2.4 สายอากาศร่องแบบเรียว

สายอากาศร่องแบบเรียวหรือสายอากาศรอยบาก (notch antenna) เป็นสายอากาศไมโครสตริปซึ่งจัดว่าเป็นสายอากาศประเภทคลื่นจร (traveling-wave antennas) สายอากาศร่องแบบเรียวนั้นมีข้อดีหลายประการ อาทิเช่น มีโครงสร้างที่ง่าย นำหนักเบา ออกแบบ สร้างและติดตั้งเพื่อใช้งานได้ง่าย และสามารถใช้งานร่วมกับ MICs (microwave integrated circuits) ได้ เนื่องจากสายอากาศมีลักษณะที่เป็นร่องแบบเรียว จึงเหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการความถี่ปฏิบัติการที่มีแถบความถี่กว้าง

2.4.1 โครงสร้างของสายอากาศร่องแบบเรียว

สายอากาศร่องแบบเรียวนั้นมีด้วยกันหลายรูปแบบดังได้กล่าวในข้างต้น โดยทุกรูปแบบจะมีแบบรูปการแผ่พลังงานที่เหมือนกัน จะแตกต่างกันก็เพียงแต่พื้นที่ของการแผ่พลังงานเท่านั้นเนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูลในการออกแบบสายอากาศร่องแบบเรียวรูปแบบต่าง ๆ ดังนั้นจึงมีเพียงสายอากาศร่องแบบเรียวที่เป็นร่องเรียวแบบเส้น โค้งเอกซ์โพเนนเชียลและร่องเรียวแบบเส้นตรงเท่านั้นที่ได้มีการศึกษาอย่างกว้างขวาง (Kai Fong Lee, and Wei Chen, 1997) งานวิจัยนี้ได้ นำสายอากาศร่องแบบเรียวที่มีรูปร่างของร่องเรียวแบบโค้งแบบเอกซ์โพเนนเชียลหรือสายอากาศวิวอลดี สำหรับการประยุกต์ใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงของความกว้างลำคลื่นกับมุมการเปิดที่ชัดเจนและแบบรูปของอิมพีแดนซ์จะมีจุดศูนย์ (null) น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับร่องเรียวแบบเส้นตรง (Amena Kauser Syeda, 2006) รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของสายอากาศร่องแบบเรียว ซึ่งถูกสร้างด้วยวัสดุที่เป็นไมโครสตริปที่ประกอบด้วยร่องเรียวที่โค้งแบบเอกซ์โพเนนเชียลบนแผ่นโลหะ มีวัสดุฐานรองคั่นกลางซึ่งมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ϵ_r และมีความสูง h โดยป้อนกำลังเข้าที่ด้านหลังของสายอากาศ



รูปที่ 2.5 โครงสร้างสายอากาศร่องแบบเรียว (ก) ด้านหน้า (ข) ด้านบน

สามารถหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้จาก (Amena Syeda, 2006)

- A_l คือ ความยาวของสายอากาศ (antenna length) ควรมามีค่ามากกว่าความยาวคลื่น
- A_w คือ ความกว้างของสายอากาศ (antenna width) ควรมามีค่ามากกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นที่ความถี่ต่ำสุด
- F_l คือ ความยาวของร่อง (flared slotline length) ควรมามีค่าเท่ากับความยาวคลื่นที่ความถี่ต่ำสุด
- F_w คือ ความกว้างของร่อง (flared slotline width) ควรมามีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นที่ความถี่ต่ำสุด
- D_s คือ เส้นผ่าศูนย์กลางกลางวงกลมของสตัป (diameter of circular slot stub) ควรมามีค่าเท่ากับหนึ่งในสี่ของความยาวคลื่นของร่อง
- L_t คือ ความยาวของส่วนที่เป็นเส้นตรงของร่อง (length of uniform section of slotline)
- L_g คือ ความยาวชดเชยด้านหลังสตัป (backwall offset)
- W_{st} คือ ความกว้างของเส้นไมโครสตริป (microstrip line width)
- H คือ ความสูงของวัสดุฐานร่อง (substrate height)

สามารถคำนวณหาสมการความโค้งเอกซ์โพเนนเชียลได้จากสมการ

$$y = C_1 e^{Rz} + C_2 \quad (2.1)$$

โดยที่

$$C_1 = \frac{y_2 - y_1}{e^{Rz_2} - e^{Rz_1}} \quad (2.2)$$

และ

$$C_2 = \frac{y_1 e^{Rz_2} - y_2 e^{Rz_1}}{e^{Rz_2} - e^{Rz_1}} \quad (2.3)$$

เมื่อ $P_1(y_1, z_1)$ คือ จุด (y_1, z_1) จุดแรกที่เริ่มโค้งเอกซ์โพเนนเชียล

$P_2(y_2, z_2)$ คือ จุด (y_2, z_2) จุดสุดท้ายของเส้นโค้งเอกซ์โพเนนเชียล

ดังนั้นจึงสามารถคำนวณหาค่าพารามิเตอร์อ้างอิงต่าง ๆ ของสายอากาศร่องแบบเรียว แสดงได้ดังต่อไปนี้ เมื่อกำหนดให้มีความถี่ปฏิบัติการในช่วง 2 GHz ถึง 6 GHz และป้อนกำลังงานด้วยเส้นไมโครสตริป 50 โอห์ม

ความยาวของร่อง หรือ F_l หาได้จาก

$$F_l = \lambda_0 = \frac{C}{f_{\min}} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{2 \times 10^9 \text{ Hz}} = 150 \text{ mm}$$

ความกว้างของร่อง หรือ F_w หาได้จาก

$$F_w = \frac{\lambda_0}{2} = \frac{C}{2 \times f_{\min}} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{2 \times (2 \times 10^9) \text{ Hz}} = 75 \text{ mm}$$

ความยาวของสายอากาศ หรือ A_t หาได้จาก

$$A_t = F_t + \frac{\lambda_0}{4} = 150 + \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{4 \times (2 \times 10^9) \text{ Hz}} = 187.5 \text{ mm}$$

ความกว้างของสายอากาศ หรือ A_w เมื่อกำหนดให้ จุดสุดท้ายของร่องเรียว (end of the tapered) กว้างเท่ากับ 2 มิลลิเมตร จะได้

$$A_w = F_w + 2(\text{end of the taper}) = 75 + 2(2) = 79 \text{ mm}$$

เส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมของสตัป หรือ D_s หาได้จาก

$$D_s = \frac{\lambda_s}{4} = \frac{\left(\frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \epsilon_r \mu_0 \mu_r}} \right)}{4 \times f_{\min}} = \frac{\left(\frac{1}{\sqrt{(4\pi \times 10^{-7})(4.4)(1)(8.854 \times 10^{-12})}} \right)}{4 \times 2 \times 10^9 \text{ Hz}} = 17.86 \text{ mm}$$

ความยาวของส่วนที่เป็นเส้นตรงของร่อง หรือ L_t และ ความยาวชดเชยด้านหลังสตัป หรือ L_g เมื่อกำหนดให้ $L_t = L_g$ จะได้

$$L_g = L_t = \frac{\left(\frac{\lambda_0}{4} - D_s \right)}{2} = \frac{\left(\frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{4 \times 2 \times 10^9 \text{ Hz}} - 17.86 \right)}{2} = 9.82 \text{ mm}$$

ความกว้างของเส้นไมโครสตริป หรือ w_{st} หาได้จาก

$$H' = \left(\frac{Z_0 \sqrt{2(\epsilon_r + 1)}}{119.9} \right) + \frac{1}{2} \left(\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \right) \left(\ln \frac{\pi}{2} + \frac{1}{\epsilon_r} \ln \frac{4}{\pi} \right)$$

$$\frac{W_1}{H} = \left(\frac{(\exp H')}{8} - \frac{1}{4 \exp H'} \right)^{-1}$$

เมื่อ $f = 2.45 \text{ GHz}$, $H = 1.6 \text{ mm}$, $Z_0 = 50 \Omega$, $\epsilon_r = 4.4$

และ $\lambda_0 = \frac{V}{f} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{2.45 \times 10^9 \text{ Hz}} = 122.45 \text{ mm}$

ดังนั้นจะได้

$$H' = \left(\frac{50\sqrt{2(4.4+1)}}{119.9} \right) + \frac{1}{2} \left(\frac{4.4-1}{4.4+1} \right) \left(\ln \frac{\pi}{2} + \frac{1}{4.4} \ln \frac{4}{\pi} \right) = 1.53$$

$$\frac{W_1}{(1.6 \times 10^{-3} \text{ m})} = \left(\frac{(\exp(1.53))}{8} - \frac{1}{4 \exp(1.53)} \right)^{-1}$$

$$W_1 = 3.02 \text{ mm}$$

จากค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดได้ทั้งหมด แสดงได้ดังตารางที่ 2.1 ซึ่งเป็นค่าพารามิเตอร์อ้างอิงของสายอากาศร่องแบบรีเวีย

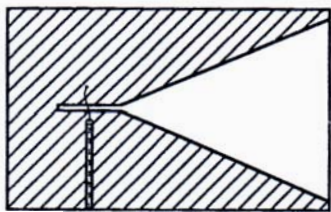
ตารางที่ 2.1 ค่าพารามิเตอร์อ้างอิงของสายอากาศร่องแบบรีเวีย

| พารามิเตอร์ของสายอากาศร่องแบบรีเวีย | ขนาด (mm) |
|---------------------------------------------------|-----------|
| A_t : ความยาวของสายอากาศ | 187.5 |
| A_w : ความกว้างของสายอากาศ | 79 |
| F_t : ความยาวของร่อง | 150 |
| F_w : ความกว้างของร่อง | 75 |
| R_a : อัตราความโค้งของร่องรีเวียเอกซ์โพเนนเชียล | 3 |
| L_g : ความยาวชดเชยด้านหลังสตัป | 9.82 |
| L_t : ความยาวของส่วนที่เป็นเส้นตรงของร่อง | 9.82 |
| H : ความสูงของวัสดุฐานรอง | 1.6 |
| D_s : เส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมของสตัป | 17.86 |
| W_{st} : ความกว้างของเส้นไมโครสตริป | 3.02 |

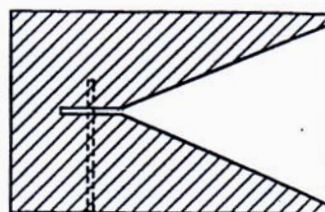
2.4.2 วิธีการป้อนกำลังงาน

โดยส่วนมากแล้วสายอากาศร่องแบบรีวจะมีลักษณะของร่อง (slotline) ที่มีการแผ่อก ทำให้การป้อนกำลังงานให้แก่สายอากาศร่องแบบรีวต้องคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงระหว่างร่องและการส่งผ่านไปยังตัวกลาง (transmission media) ดังนั้นร่องของสายอากาศจะต้องเชื่อมต่อกับจุดป้อนกำลังงานของสายอากาศ สำหรับวิธีการป้อนกำลังงานให้แก่สายอากาศร่องแบบรีวนั้นมีด้วยกัน 7 วิธี (Richard Q. Lee and Rainee N. Simons, 1997) ได้แก่ (1) การป้อนกำลังงานด้วยเส้นแกนร่วม (coaxial line feed) (2) การป้อนกำลังงานด้วยเส้นไมโครสตริป (microstrip line feed) (3) การป้อนกำลังงานด้วยท่อนำคลื่นที่อยู่บนระนาบเดียวกัน (conventional coplanar waveguide feed หรือ CPW feed) (4) การป้อนกำลังงานด้วยท่อนำคลื่นที่อยู่บนระนาบกราวด์เดียวกัน (ground conventional coplanar waveguide feed หรือ GCPW feed) (5) การป้อนกำลังงานด้วยท่อนำคลื่นที่อยู่บนระนาบกราวด์เดียวกัน โดยมีตัวนำด้านหลังที่มีขอบเขต (conductor-backed finite ground-plane coplanar waveguide feed หรือ FCPW feed) สามารถทำการเชื่อมต่อได้ 2 แบบคือ ให้กำลังงานเชื่อมต่อจากสตริปไปยังร่องของสายอากาศ (strip-to-slot) หรือแบบสตริปศูนย์กลาง (center-strip) และให้กำลังงานเชื่อมต่อจากร่องไปยังร่องของสายอากาศ (slot-to-slot) หรือแบบร่อง (notch) (6) การป้อนกำลังงานด้วยไมโครสตริปไปยังจุดเชื่อมไมโครสตริป (microstrip-to-coupled microstrip feed) และ (7) การป้อนกำลังงานด้วยเส้นสตริป (stripline feed) แสดงดังรูปที่ 2.6

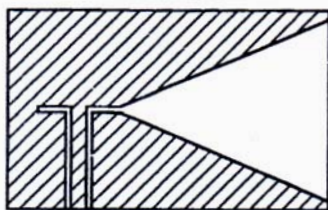
สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้วิธีการป้อนกำลังงานด้วยเส้นไมโครสตริปเนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย ทั้งการออกแบบและการแมตช์สายอากาศ รูปที่ 2.7 แสดงการป้อนกำลังงานด้วยเส้นไมโครสตริปไปยังร่องของสายอากาศ โดยที่ λ_s คือ ความยาวคลื่นของร่อง (slot wavelength) และ λ_m คือ ความยาวคลื่นของไมโครสตริป (microstrip wavelength)



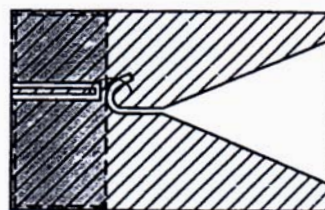
(ก) เส้นแกนร่วม



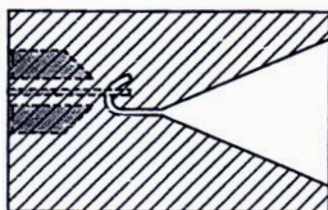
(ข) เส้นไมโครสตริป



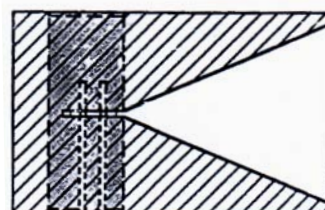
(ค) CPW



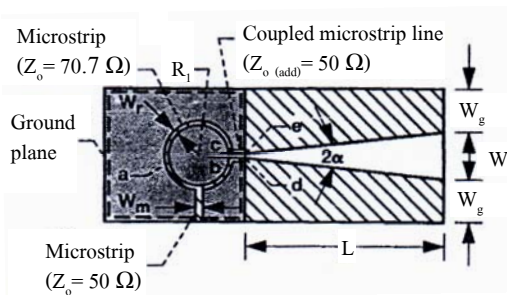
(ง) GCPW



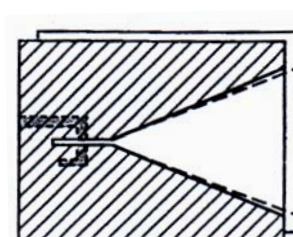
(จ) FCPW/center-strip



(ฉ) FCPW/notch

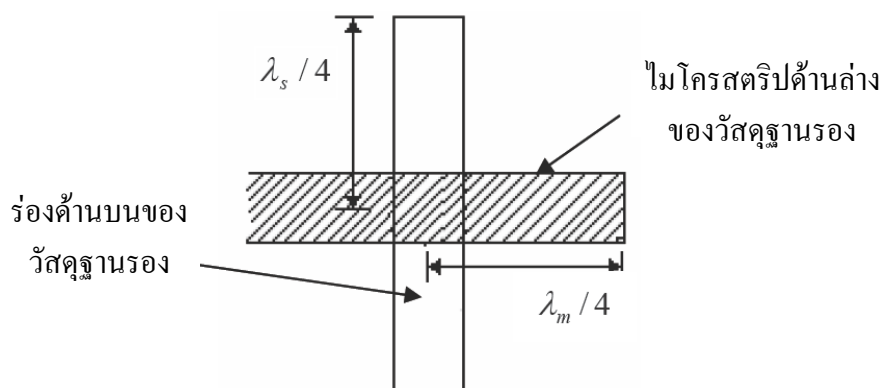


(ช) ไมโครสตริปไปยังจุดเชื่อม



(ซ) เส้นสตริป

รูปที่ 2.6 เทคนิคการป้อนกำลังงานให้แก่สายอากาศร่องแบบเรียบ

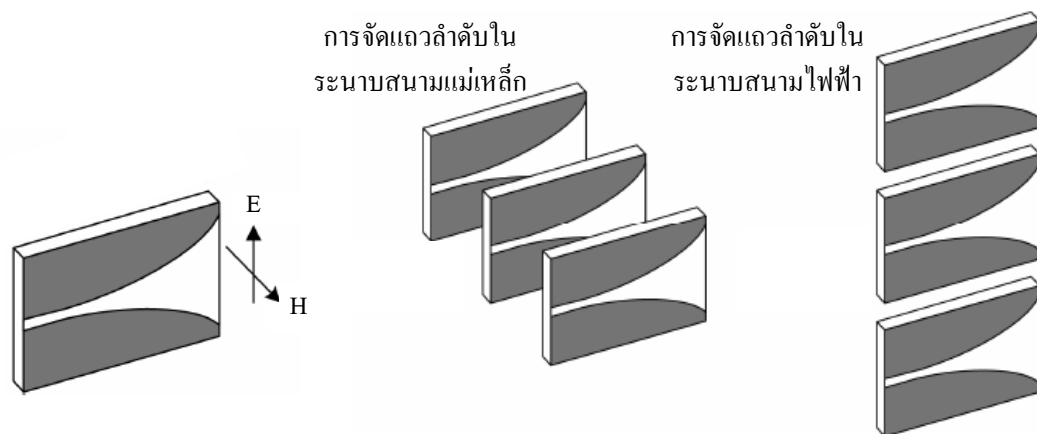


รูปที่ 2.7 การป้อนกำลังงานด้วยเส้นไมโครสตริป

2.4.3 การจัดแวลต์ของสายอากาศร่องแบบเรียว

จากรูปที่ 2.8 แสดงรูปร่างมาตรฐานในการจัดแวลต์ของสายอากาศร่องแบบเรียว โดยรูปที่ 2.8(ก) แสดงสนามของสายอากาศร่องแบบเรียว ทำให้ได้รูปร่างในการจัดแวลต์ลำดับในระนาบสนามแม่เหล็กและระนาบสนามไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.8(ข) และ (ค) ตามลำดับ

เมื่อจัดประเภทของสายอากาศออกตามการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณ พบว่าสายอากาศร่องแบบเรียวเป็นสายอากาศแบบมีทิศทางหรือเจาะจงทิศทาง (directional antenna) คือ มีลักษณะของการกระจายคลื่นในทิศทางใดทิศทางหนึ่งเท่านั้น แสดงดังรูปที่ 2.9 เพื่อให้สายอากาศร่องแบบเรียวมีลักษณะการกระจายของคลื่นรอบ ๆ สายอากาศในระนาบอะซิมุท หรือมีคุณสมบัติเป็นสายอากาศแบบรอบทิศทาง งานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบสายอากาศร่องแบบเรียวให้มีการจัดแวลต์ลำดับแบบวงกลม ดังรูปที่ 2.10 ทำให้ได้สายอากาศแวลต์ลำดับวงกลมต้นแบบที่มีความกว้างแถบกว้างตามคุณสมบัติของสายอากาศร่องแบบเรียวและสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้มากขึ้น

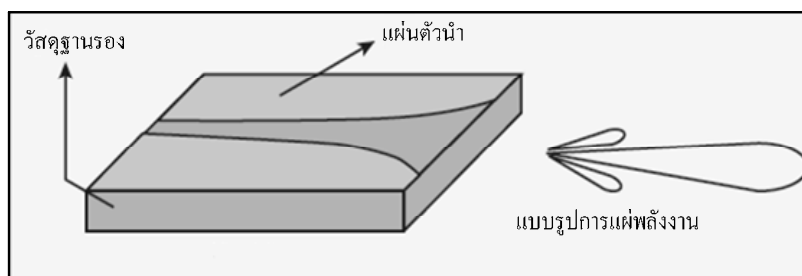


(ก) สนามสายอากาศ

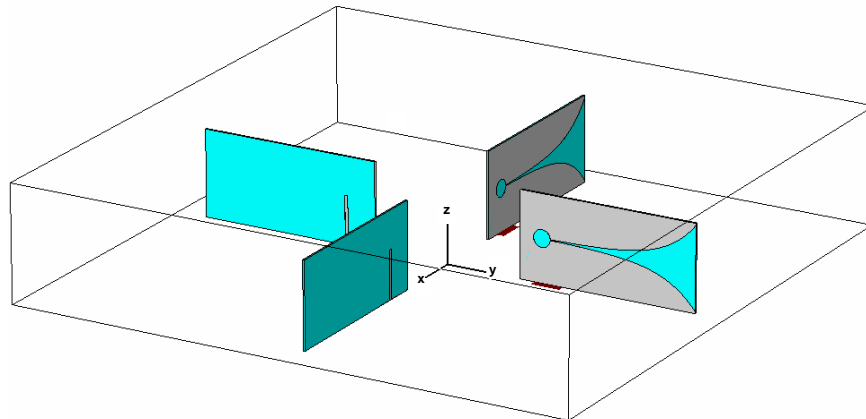
(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

(ค) ระนาบสนามไฟฟ้า

รูปที่ 2.8 รูปร่างมาตรฐานในการจัดแถวลำดับของสายอากาศร่องแบบรีข



รูปที่ 2.9 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศร่องแบบรีข



รูปที่ 2.10 รูปร่างของแฉวลำดับแบบวงกลม

2.5 สรุป

สายอากาศร่องแบบเรียวเป็นสายอากาศไมโครสตริปอีกประเภทหนึ่งที่มีแถบความถี่กว้างซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย สามารถรองรับมาตรฐาน IEEE 802.11 a/b/g ได้ โดยใช้สายอากาศเพียงตัวเดียว จากข้อดีดังกล่าวนี้ทำให้ได้มีการประยุกต์ใช้สายอากาศร่องแบบเรียวเพื่อความเหมาะสมในการนำไปใช้งานจริง

บทที่ 3

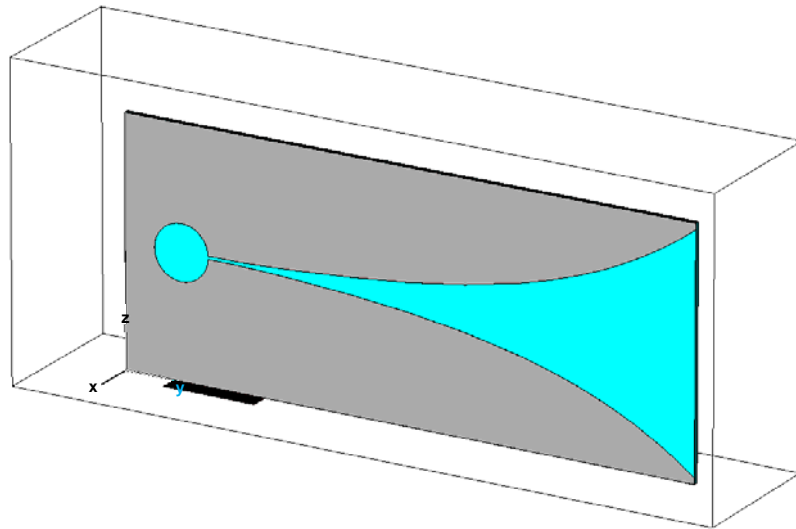
การออกแบบสายอากาศแถวลำดับวงกลมโดยใช้ร่องแบบเรียว

3.1 บทนำ

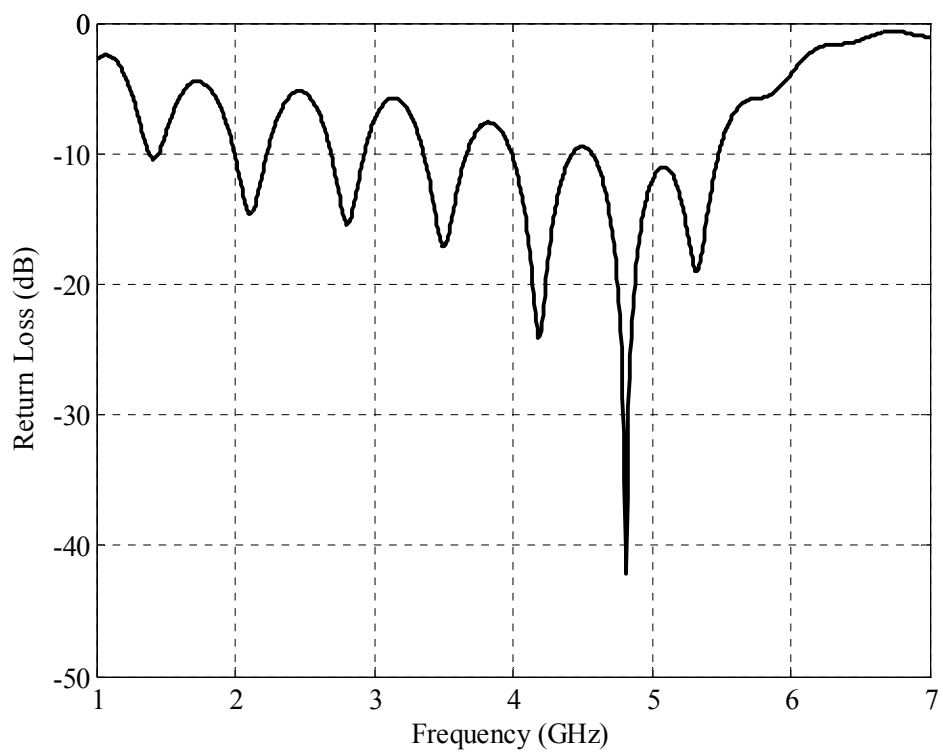
ในบทนี้ได้กล่าวถึงการวิเคราะห์และออกแบบสายอากาศแถวลำดับวงกลมโดยใช้ร่องแบบเรียวด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของสายอากาศแถวลำดับวงกลมโดยใช้ร่องแบบเรียวสำหรับการประยุกต์ใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย โดยให้สายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบมีคุณสมบัติเป็นสายอากาศแบบรอบตัว ซึ่งตรงกับวัตถุประสงค์ในการออกแบบเพื่อให้มีแบบรูปการแผ่พลังงานครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างในระนาบอะซิมูท ในขั้นตอนแรกได้ทำการออกแบบและจำลองผลสายอากาศร่องแบบเรียวเพียงหนึ่งอิลีเมนต์ เพื่อให้ได้สายอากาศที่มีความกว้างแถบที่กว้างมากขึ้นและสามารถรองรับระบบการสื่อสารแบบไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 a/b/g ได้ จากนั้นนำสายอากาศร่องแบบเรียวมาทำการจัดแถวลำดับแบบวงกลมเพื่อให้ได้ความกว้างลำคลื่นในระนาบอะซิมูทที่กว้างขึ้นและมีอัตราขยายของสายอากาศเพิ่มขึ้น

3.2 การศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบและจำลองผลสายอากาศร่องแบบเรียวด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST

จากบทที่ 2 สามารถคำนวณหาค่าพารามิเตอร์อ้างอิงต่าง ๆ ของสายอากาศร่องแบบเรียวได้ดังตารางที่ 2.1 ซึ่งเป็นค่าอ้างอิงในการออกแบบสายอากาศร่องแบบเรียว จะได้ผลจากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST เป็นแบบจำลองสายอากาศร่องแบบเรียวและค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (S_{11}) ดังรูปที่ 3.1(ก) และ (ข) ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับไม่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ในการออกแบบ ดังนั้นจึงได้ทำการปรับค่าที่เหมาะสม เพื่อให้ได้สายอากาศร่องแบบเรียวที่มีความกว้างแถบครอบคลุมช่วงความถี่ปฏิบัติการตั้งแต่ 2 GHz ถึง 6 GHz โดยมีค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับค่าที่เหมาะสม ได้แก่ ความยาวของสายอากาศ (antenna length : A_f) ความกว้างของร่อง (flared slotline width : F_w) ความยาวชดเชยด้านหลัง (backwall offset : L_g) อัตราความโค้งของร่องเรียวเอกซ์โพเนนเชียล (exponential opening rate : R_d) การปรับมาตราส่วนของสายอากาศร่องแบบเรียว และความสูงของวัสดุฐานรอง (substrate height : H) ซึ่งจะพิจารณาการปรับค่าที่เหมาะสมจากค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศ



(ก) แบบจำลองสายอากาศ

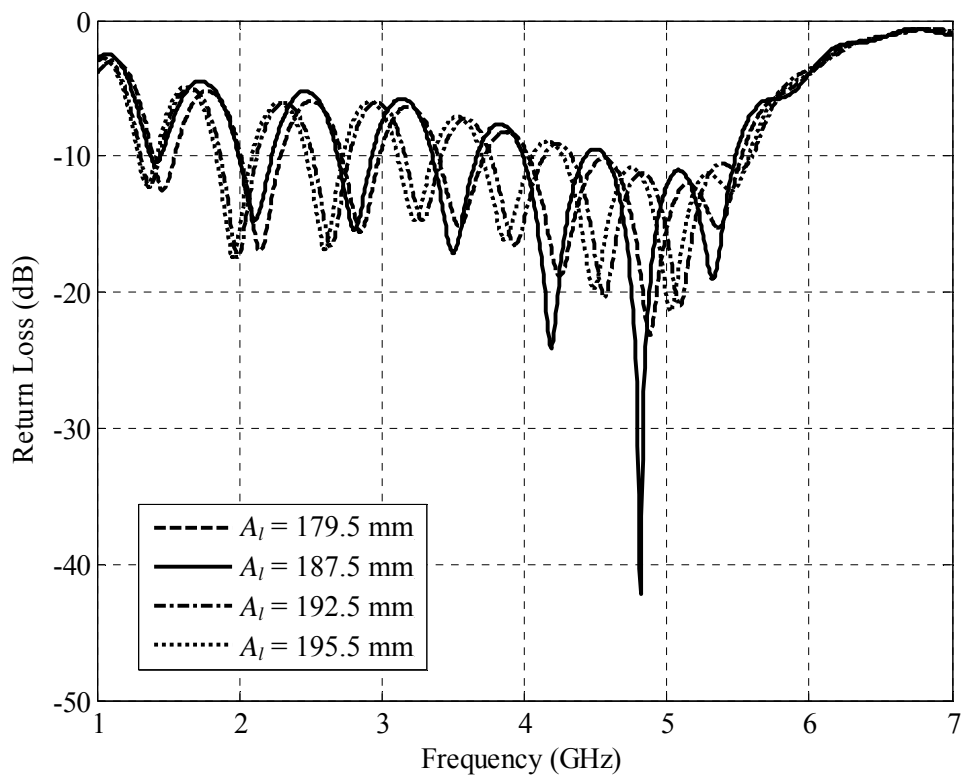


(ข) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ

รูปที่ 3.1 ผลจากการจำลองสายอากาศร่องแบบเรียวด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST

3.2.1 ความยาวของสายอากาศ

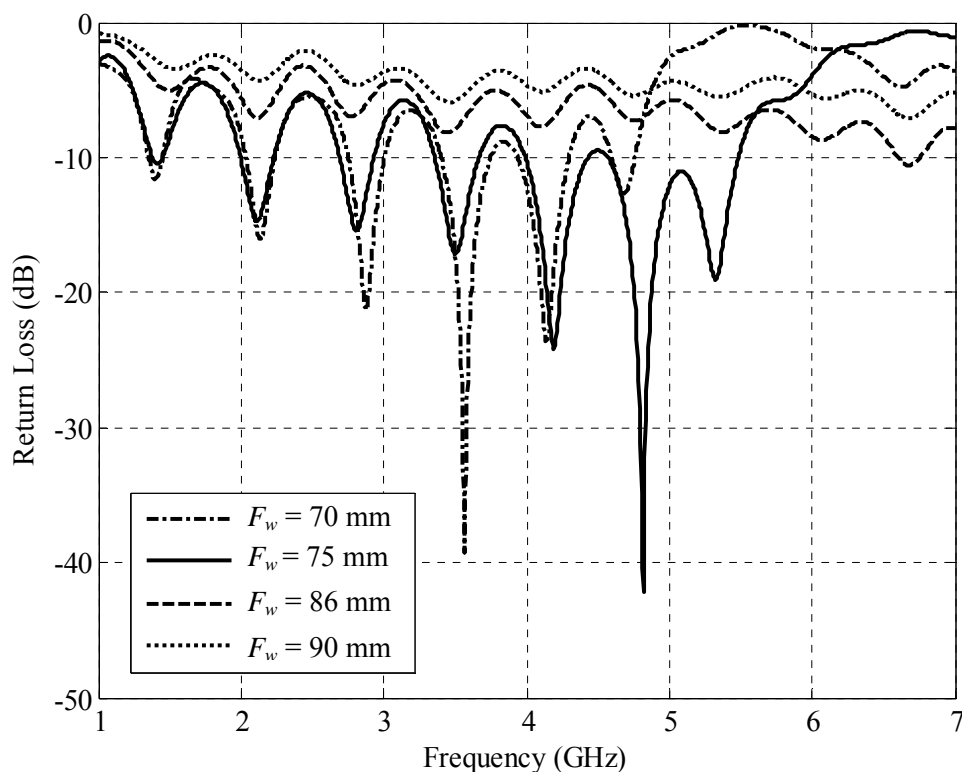
เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าความยาวของสายอากาศ หรือ A_l คือให้ A_l เท่ากับ 179.5 มิลลิเมตร 187.5 มิลลิเมตร 192.5 มิลลิเมตร และ 195.5 มิลลิเมตร โดยให้ค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ มีค่าคงที่ จากการจำลองพบว่าเมื่อสายอากาศร่องแบบรีขามีความยาวเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ มีจำนวนของการแกว่ง (oscillation) ที่เพิ่มขึ้นแสดงได้ดังรูปที่ 3.2 ดังนั้นจึงเลือกค่าความยาวของสายอากาศเท่ากับค่าอ้างอิงเดิมคือ 187.5 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.2 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า A_l

3.2.2 ความกว้างของร่อง

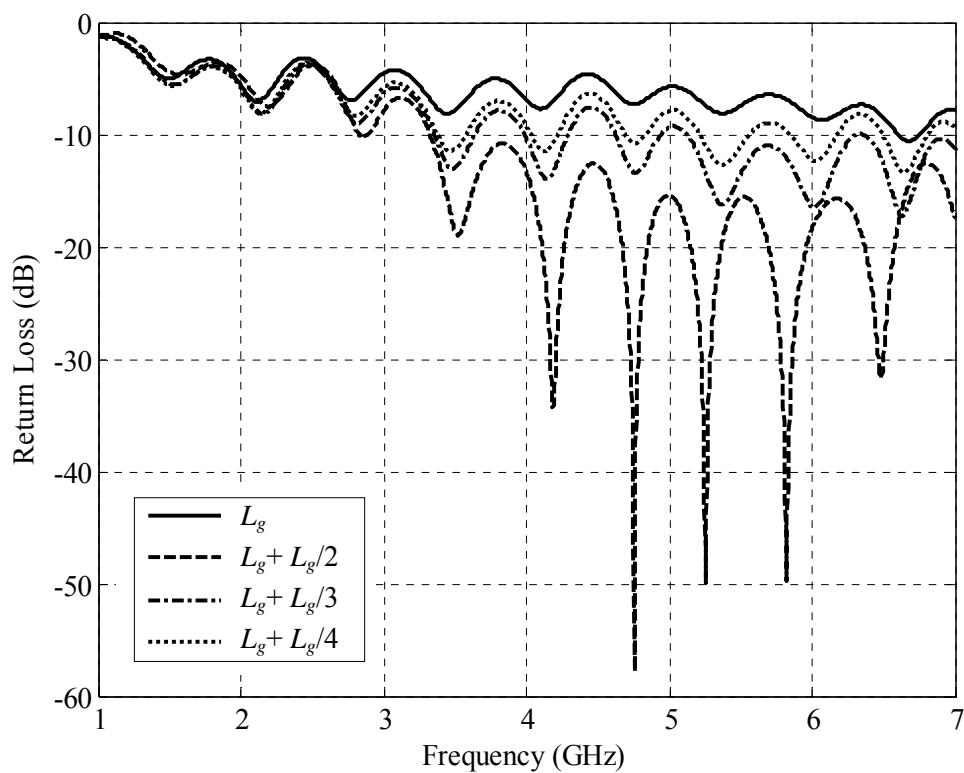
เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าความกว้างของร่อง หรือ F_w คือ ให้ F_w เท่ากับ 70 มิลลิเมตร 75 มิลลิเมตร 86 มิลลิเมตร และ 90 มิลลิเมตร โดยให้ค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ มีค่าคงที่ พบว่าเมื่อค่า F_w เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับดีขึ้นเนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ในการแผ่กระจายพลังงาน แต่ถ้า F_w เพิ่มมากขึ้นจะพบว่าความถี่ปฏิบัติการในช่วงความถี่กลางจะเลื่อนไปยังความถี่ที่สูงขึ้น (Amena Syeda, 2006) แต่จากการจำลองผลจะเห็นได้ว่าเมื่อ F_w เท่ากับ 75 มิลลิเมตร มีผลของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับที่ดีที่สุด แสดงดังรูปที่ 3.3 แต่เมื่อนำค่า F_w เท่ากับ 75 มิลลิเมตร ไปทำการปรับค่าความยาวขดเชยด้านหลังสลับ พบว่าได้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับที่ไม่ดี จึงได้ทำการเลือกค่า F_w เท่ากับ 86 มิลลิเมตร มาทำการปรับค่าความยาวขดเชยด้านหลังสลับ พบว่าได้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับที่ดีขึ้น ซึ่งจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป ดังนั้นจึงเลือกค่า F_w เท่ากับ 86 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.3 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า F_w

3.2.3 ความยาวขดเชยด้านหลังสตัป

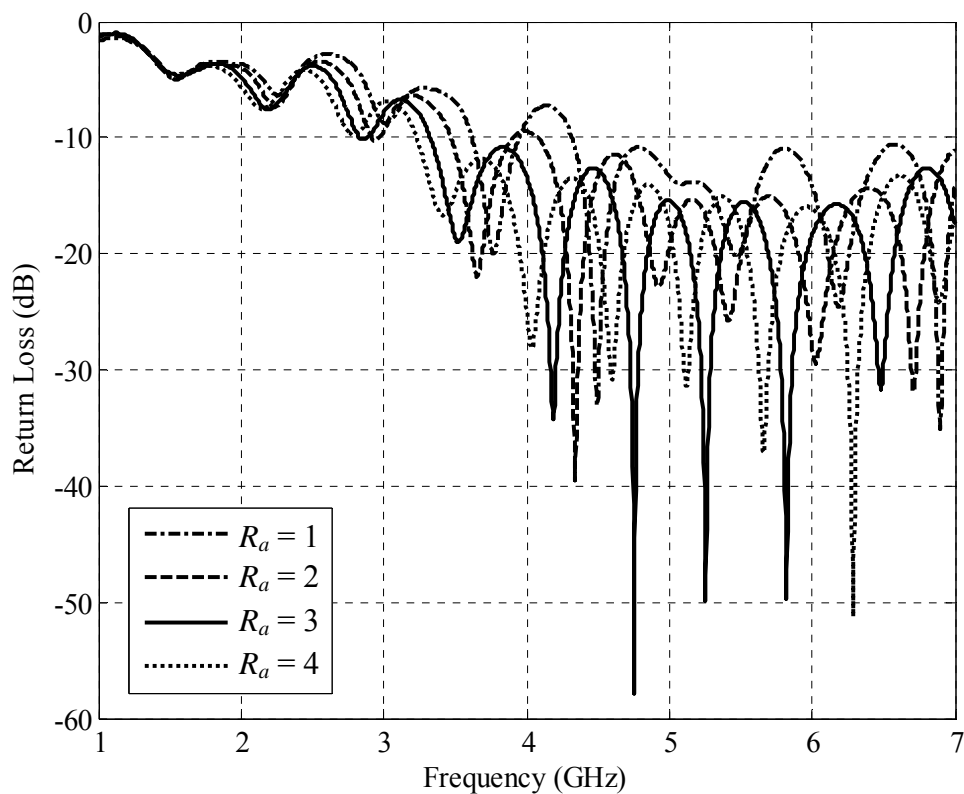
เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าความยาวขดเชยด้านหลังสตัป หรือ L_g คือ ให้ L_g เท่ากับ 9.82 มิลลิเมตร (L_g) 12.28 มิลลิเมตร ($L_g + (L_g / 4)$) 13.09 มิลลิเมตร ($L_g + (L_g / 3)$) และ 14.73 มิลลิเมตร ($L_g + (L_g / 2)$) โดยให้ค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ มีค่าคงที่ จากการจำลอง ผลพบว่าเมื่อค่า L_g เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับดีขึ้นที่ความถี่ปฏิบัติการช่วงความถี่ต่ำ แต่ถ้า L_g เพิ่มมากขึ้นจะพบว่าความถี่ปฏิบัติการที่ช่วงความถี่กลางจะเลื่อนไปยังความถี่ที่สูงขึ้นแสดงดังรูปที่ 3.4 ดังนั้นเลือกค่า L_g เท่ากับ 14.73 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.4 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า L_g

3.2.4 อัตราความโค้งของร่องเรียวเอกซ์โพเนนเชียล

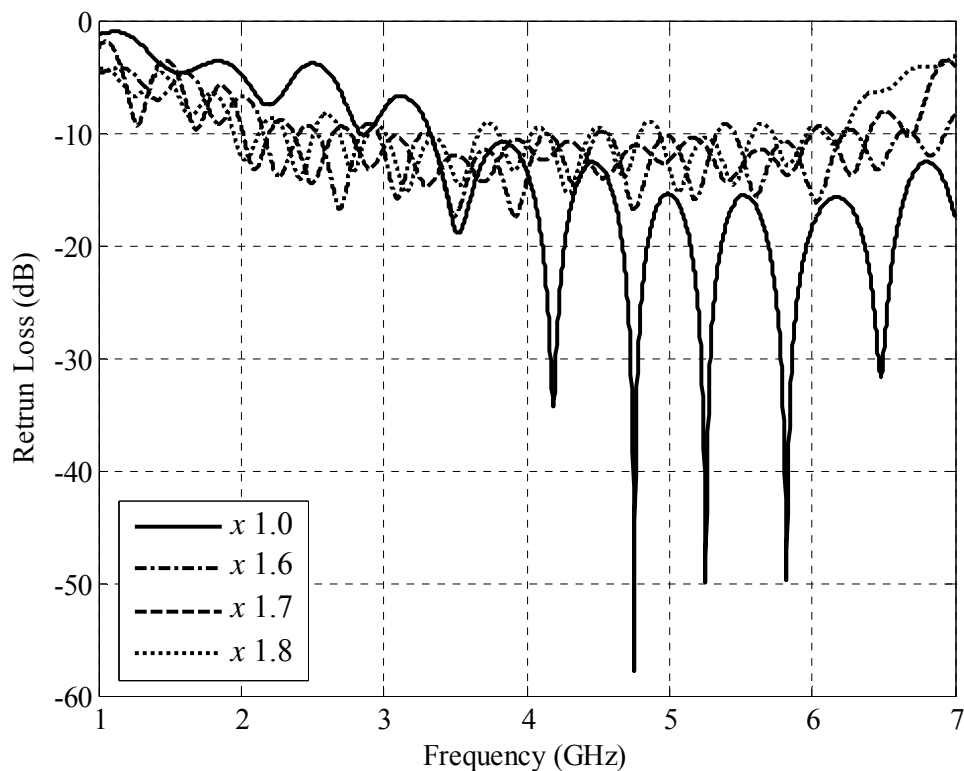
เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราความโค้งของร่องเรียวเอกซ์โพเนนเชียล หรือ R_a คือ ให้ R_a เท่ากับ 1 2 3 และ 4 โดยให้ค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ มีค่าคงที่ จากการจำลองผล พบว่า เมื่อค่า R_a เพิ่มขึ้น ทำให้ความถี่ปฏิบัติการช่วงความถี่ต่ำลดลง และช่วงความถี่กลางมีการแมตซ์ที่ไม่ดี จากรูปที่ 3.5 จะเห็นได้ว่าที่ค่า R_a เท่ากับ 3 จะให้ผลของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับที่ดีที่สุด เมื่อ R_a น้อยกว่า 3 พบว่าได้ความถี่ปฏิบัติการที่ช่วงความถี่ต่ำมากกว่า 3 GHz และเมื่อ R_a มากกว่า 3 พบว่าความถี่ปฏิบัติการที่ช่วงความถี่กลางมีการแมตซ์ที่ไม่ดี มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับมากกว่า -10 dB ดังนั้นเลือกค่า R_a เท่ากับ 3



รูปที่ 3.5 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า R_a

3.2.5 การปรับมาตราส่วนของสายอากาศ

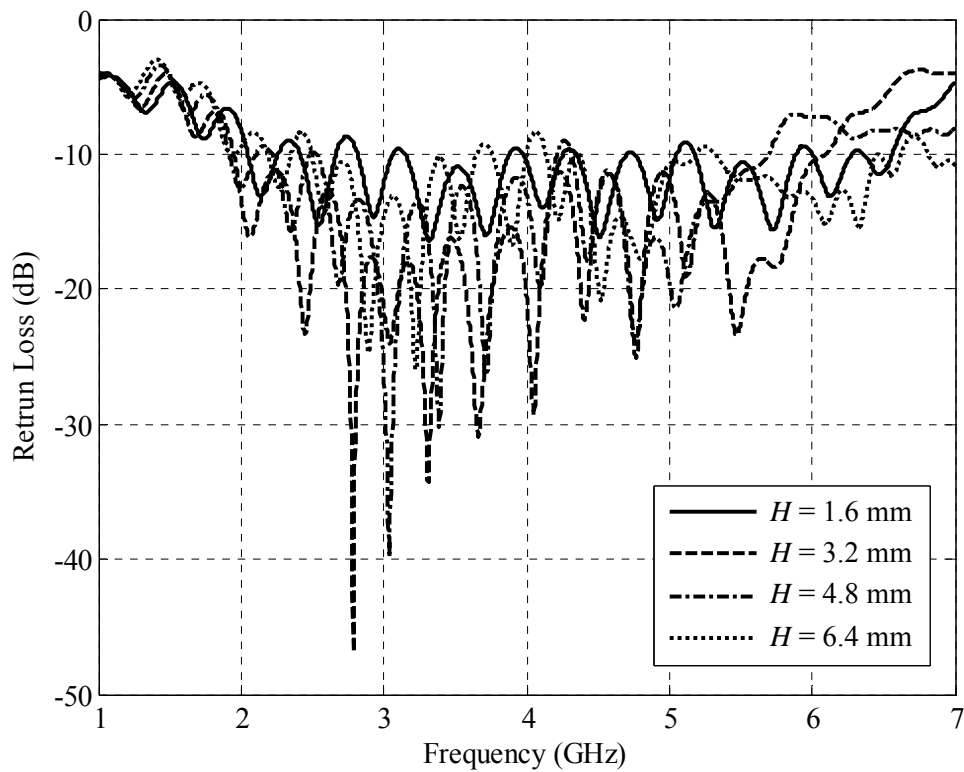
จากผลการจำลองสายอากาศร่องแบบเรียบจะเห็นว่าเมื่อทำการปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมแล้ว ผลของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับยังมีความกว้างแถบไม่ครอบคลุมช่วงความถี่ปฏิบัติการ 2 GHz ถึง 6 GHz ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ใช้เทคนิคในการปรับมาตราส่วนของสายอากาศ ซึ่งทำการปรับมาตราส่วนของสายอากาศให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากผลการจำลองที่ได้มีความถี่ปฏิบัติการในช่วงความถี่สูง โดยนำค่าคงที่ได้แก่ 1.6 1.7 และ 1.8 มาคูณเข้ากับพารามิเตอร์ของสายอากาศ พบว่าค่าคงที่ 1.7 ให้ผลของความกว้างแถบครอบคลุมช่วงความถี่ปฏิบัติการ 2 GHz ถึง 6 GHz ตรงตามวัตถุประสงค์ในการออกแบบ แสดงได้ดังรูปที่ 3.6 ซึ่งกราฟเส้นที่จะเป็นค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของผลการจำลองสายอากาศร่องแบบเรียบที่มีการปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ แล้วแต่ยังไม่ได้มีการคูณค่าคงที่เข้ากับพารามิเตอร์ของสายอากาศ และจะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับที่ได้มีการแมตซ์ที่ไม่ดี ดังนั้นในขั้นตอนต่อไปจึงได้ทำการปรับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับให้มีการแมตซ์ที่ดีขึ้น โดยการปรับหาค่าความสูงของวัสดุฐานรอง



รูปที่ 3.6 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศ เมื่อทำการปรับมาตราส่วนของสายอากาศ

3.2.6 ความสูงของวัสดุฐานรอง

เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงของวัสดุฐานรอง หรือ H คือ ให้ H เท่ากับ 1.6 มิลลิเมตร 3.2 มิลลิเมตร 4.8 มิลลิเมตร และ 6.4 มิลลิเมตร โดยให้ค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ มีค่าคงที่ เมื่อค่า H เพิ่มขึ้น ทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับที่มีการแมตซ์ดีขึ้น จากการจำลองพบว่า H มีค่าเท่ากับ 3.2 มิลลิเมตร มีผลการแมตซ์ที่ดีที่สุด แสดงดังรูปที่ 3.7 ดังนั้นเลือกค่า H เท่ากับ 3.2 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.7 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า H

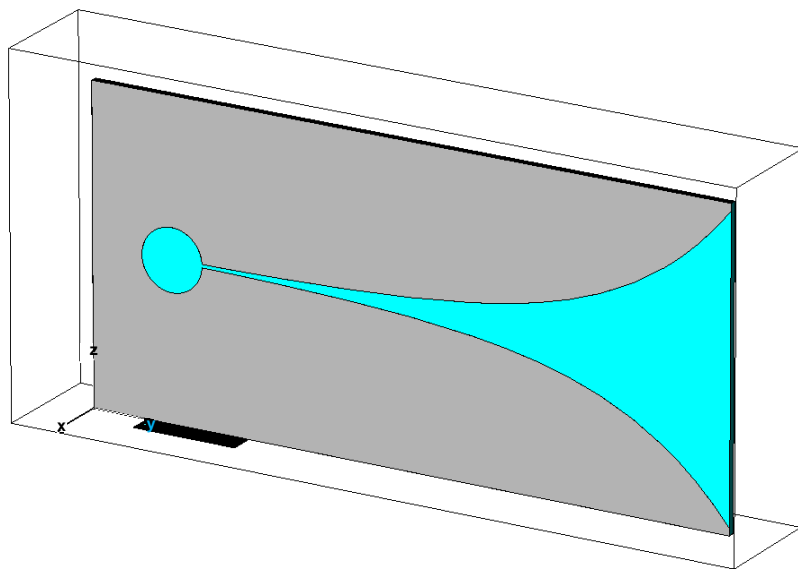
จากการปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจะได้ผลการจำลองสายอากาศร็องแบบเรียวตันแบบที่มีความกว้างแถบครอบคลุมช่วงความถี่ปฏิบัติการตั้งแต่ 2 GHz ถึง 6 GHz แสดงค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศร็องแบบเรียวตันแบบดังตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.8 แสดงผลการจำลองสายอากาศร็องแบบเรียวตันแบบ จะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับมีค่าน้อยกว่า -10 dB ครอบคลุมช่วงความถี่ตั้งแต่ 2 GHz ถึง 6 GHz ดังรูปที่ 3.8(ข) อัตราส่วนคลื่นนิ่งมีค่าต่ำกว่า 2 ครอบคลุมช่วงความถี่ตั้งแต่ 2 GHz ถึง 6 GHz เช่นกัน แสดงได้ดังรูปที่ 3.8(ค) สำหรับแบบรูปการแผ่พลังงานทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กแสดงดังรูปที่ 3.8(ง) และ (จ) ตามลำดับ ซึ่งมีแบบรูปการแผ่พลังงานเป็นแบบเจาะจงทิศทาง โดยผลการจำลองที่ได้มีอัตราขยายดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศร็องแบบเรียวตันแบบ

| พารามิเตอร์ของสายอากาศร็องแบบเรียว | ขนาด (mm) |
|--------------------------------------------------|-----------|
| A_t : ความยาวของสายอากาศ | 318.8 |
| A_w : ความกว้างของสายอากาศ | 153 |
| F_l : ความยาวของร็อง | 271.7 |
| F_w : ความกว้างของร็อง | 146.2 |
| R_a : อัตราความโค้งของร็องเรียวเอกซ์โพเนนเชียล | 3 |
| L_g : ความยาวชดเชยด้านหลังสตัป | 25.04 |
| L_t : ความยาวของส่วนที่เป็นเส้นตรงของร็อง | 16.69 |
| H : ความสูงของวัสดุฐานรอง | 3.2 |
| D_s : เส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมของสตัป | 30.4 |
| W_{st} : ความกว้างของเส้นไมโครสตริป | 5.13 |

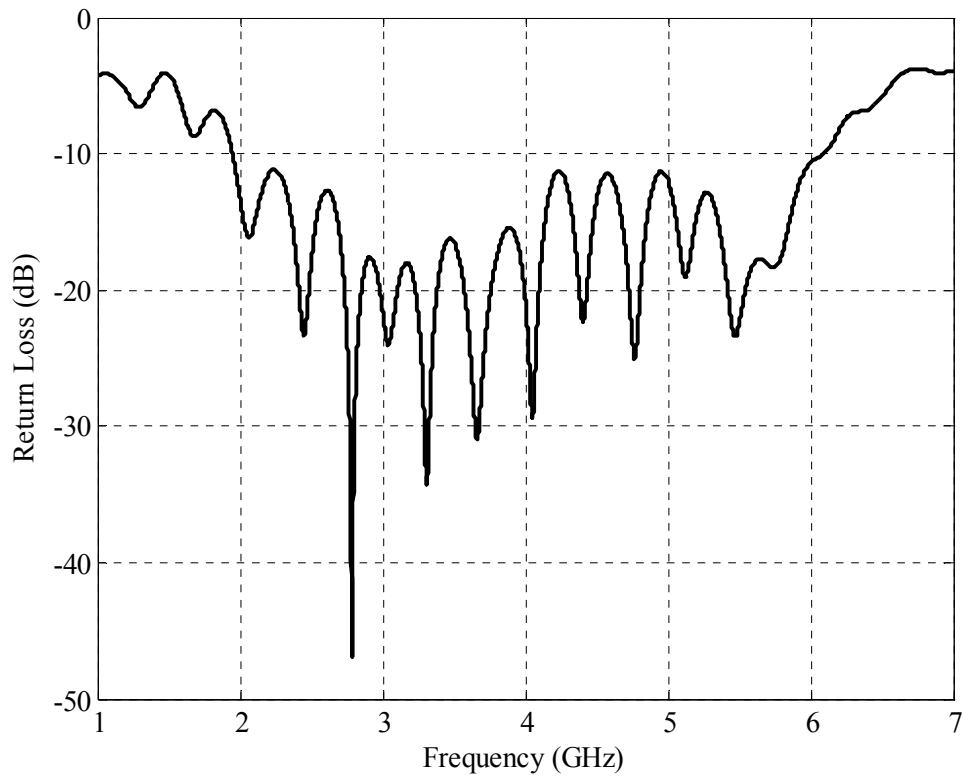
ตารางที่ 3.2 ค่าอัตราขยายจากการจำลองสายอากาศร่องแบบเรียวตันแบบ

| ความถี่ (GHz) | อัตราขยาย (dB) |
|---------------|----------------|
| 2.45 | 11 |
| 5.25 | 8.35 |
| 5.80 | 7.37 |



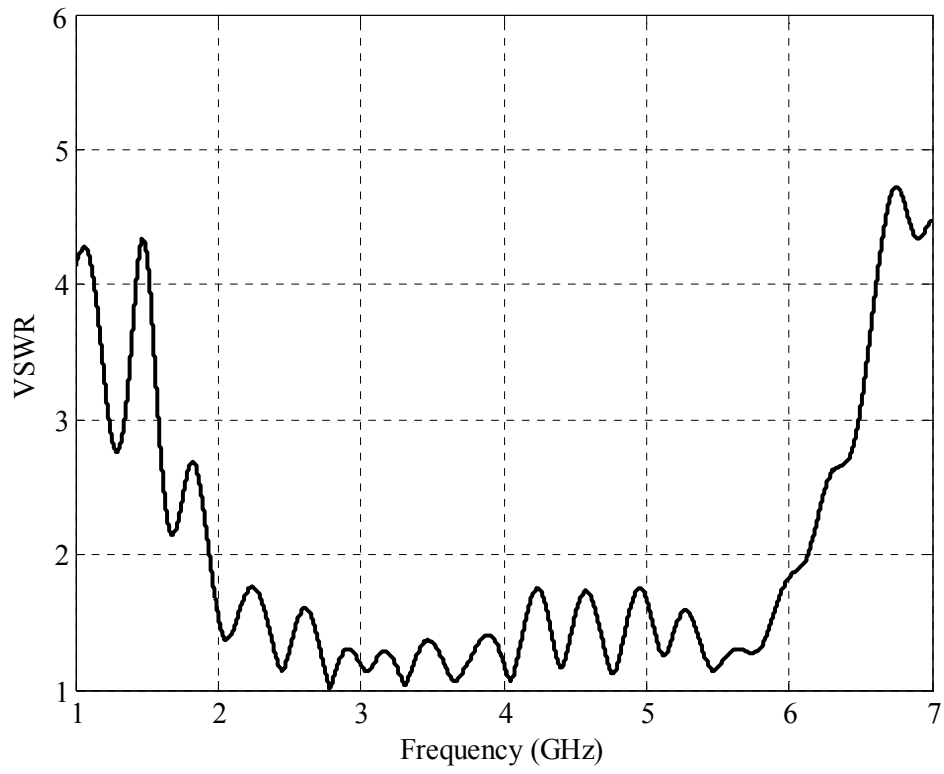
(ก) แบบจำลองสายอากาศตันแบบ

รูปที่ 3.8 ผลจากการจำลองสายอากาศร่องแบบเรียวตันแบบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST



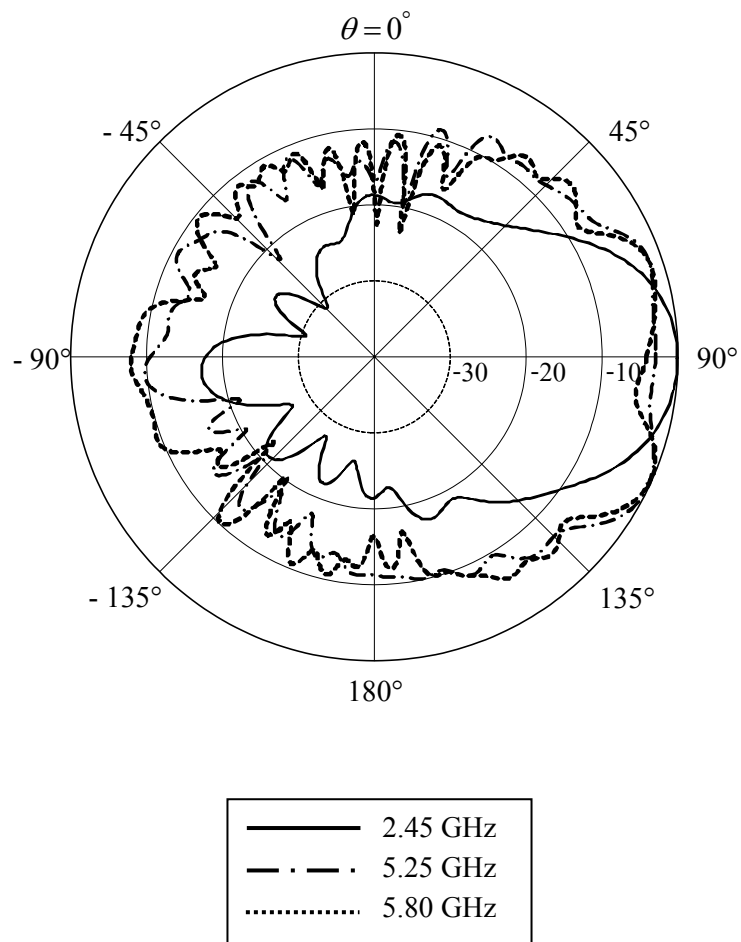
(ข) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ

รูปที่ 3.8 ผลจากการจำลองสายอากาศร่องแบบเรียวต้นแบบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST (ต่อ)



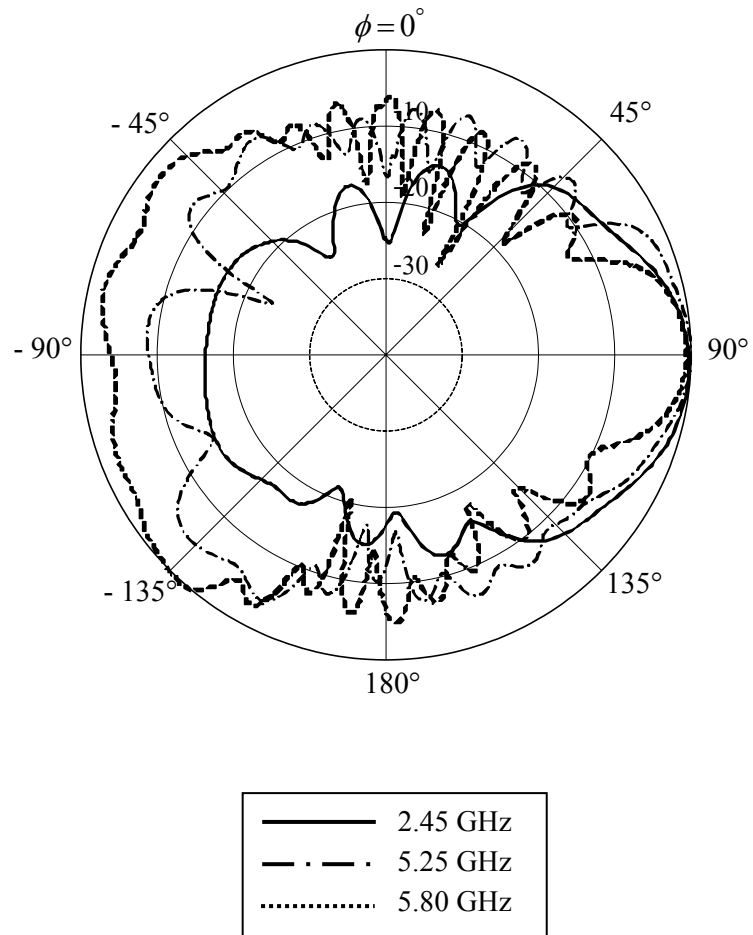
(ค) อัตราส่วนคลื่นนิ่ง

รูปที่ 3.8 ผลจากการจำลองสายอากาศร่องแบบเรียวต้นแบบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST (ต่อ)



(ง) แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า

รูปที่ 3.8 ผลจากการจำลองสายอากาศร่องแบบเรียวตันแบบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST (ต่อ)

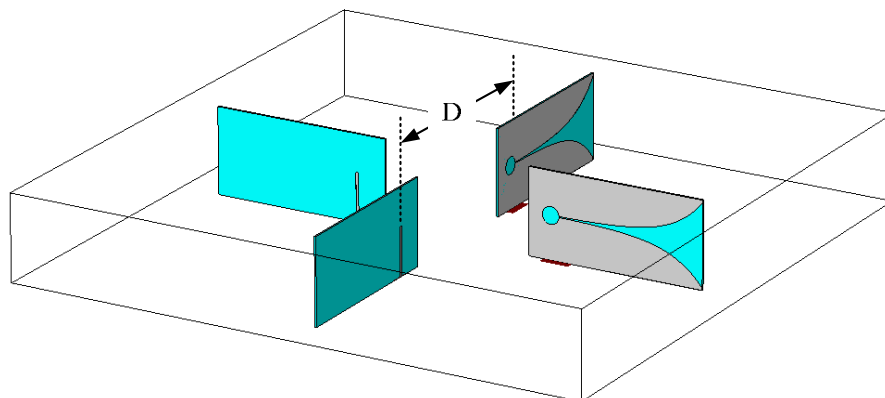


(จ) แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 3.8 ผลจากการจำลองสายอากาศร่องแบบเรียวต้นแบบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST (ต่อ)

3.3 การศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบและจำลองผลสายอากาศแถวลำดับวงกลมโดยใช้ร่องแบบเรียวด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST

เมื่อได้สายอากาศร่องแบบเรียวต้นแบบแล้ว ในขั้นตอนต่อไป คือ การออกแบบและจำลองผลสายอากาศแถวลำดับวงกลม วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการจัดแถวลำดับแบบวงกลมโดยใช้สายอากาศร่องแบบเรียวจำนวน 4 อิลิเมนต์ แสดงได้ดังรูปที่ 3.9 จากนั้นทำการปรับหาระยะ (distance : D) ที่เหมาะสมในการจัดแถวลำดับแบบวงกลม เพื่อให้สายอากาศแถวลำดับวงกลมมีแบบรูปการแผ่แบบรอบตัวในระนาบอะซิมุท สำหรับการประยุกต์ใช้งานในเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายซึ่งมีความกว้างแถบครอบคลุมช่วงความถี่ตั้งแต่ 2 GHz ถึง 6 GHz ที่สามารถรองรับระบบการสื่อสารแบบไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 a/b/g ได้ และได้วิเคราะห์หาอัตราขยายสูงสุดของสายอากาศแถวลำดับวงกลมโดยการเพิ่มแผ่นอะลูมิเนียมปิดบนและล่าง และตัวสะท้อน (reflector) อะลูมิเนียมรูปทรงกระบอกที่ตำแหน่งแกนกลางของสายอากาศแถวลำดับวงกลม เพื่อลดคลื่นพูลหลัง (back lobe)

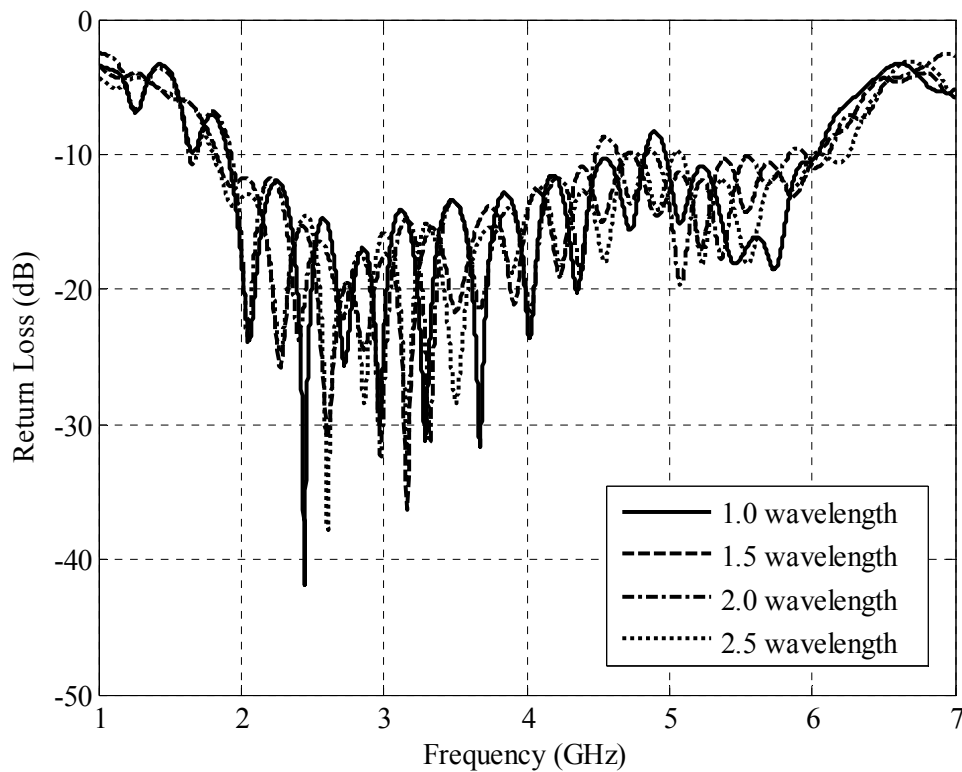


รูปที่ 3.9 แบบจำลองสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบ

3.3.1 การปรับหาระยะที่เหมาะสมในการจัดแถวลำดับ

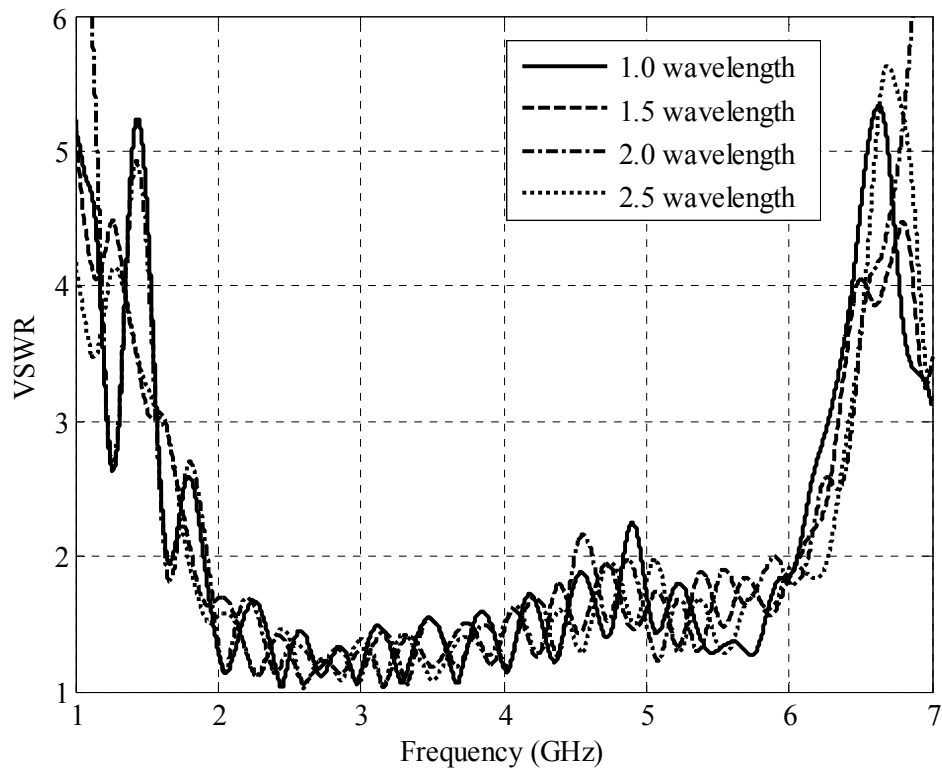
สำหรับการปรับหาระยะที่เหมาะสมในการจัดแถวลำดับแบบวงกลม โดยกำหนดให้ระยะในการจัดแถวลำดับ หรือ D เท่ากับ 122.45 มิลลิเมตร (λ) 183.67 มิลลิเมตร (1.5λ) 244.9 มิลลิเมตร (2λ) และ 306.12 มิลลิเมตร (2.5λ) จากผลการจำลองพบว่าระยะในการจัดแถวลำดับที่เปลี่ยนไปไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับและอัตราส่วนคลื่นนิ่งแสดงดังรูปที่ 3.10(ก) และ (ข) ตามลำดับ แต่ระยะในการจัดแถวลำดับที่เปลี่ยนไปจะมีผลต่ออัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับวงกลม ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เลือกระยะในการจัดแถวลำดับเท่ากับ 183.67 มิลลิเมตร

เนื่องจากให้อัตราขยายในทุก ๆ ช่วงความถี่ใช้งานสูงสุด แสดงดังตารางที่ 3.3 รูปที่ 3.11 แสดงผลการจำลองสายอากาศแฉวลำดับวงกลม ซึ่งได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับแสดงดังรูปที่ 3.11(ก) อัตราส่วนคลื่นนิ่งดังรูปที่ 3.11(ข) แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กดังรูปที่ 3.11(ค) และ (ง) ตามลำดับ และแบบรูปการแผ่พลังงานในรูปแบบของภาพ 3 มิติ ที่ความถี่ 2.45 GHz 5.25 GHz และ 5.8 GHz ดังรูปที่ 3.11(จ) (ฉ) และ (ช) ตามลำดับ



(ก) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ

รูปที่ 3.10 ผลการจำลองการปรับหาระยะที่เหมาะสมในการจัดแฉวลำดับ

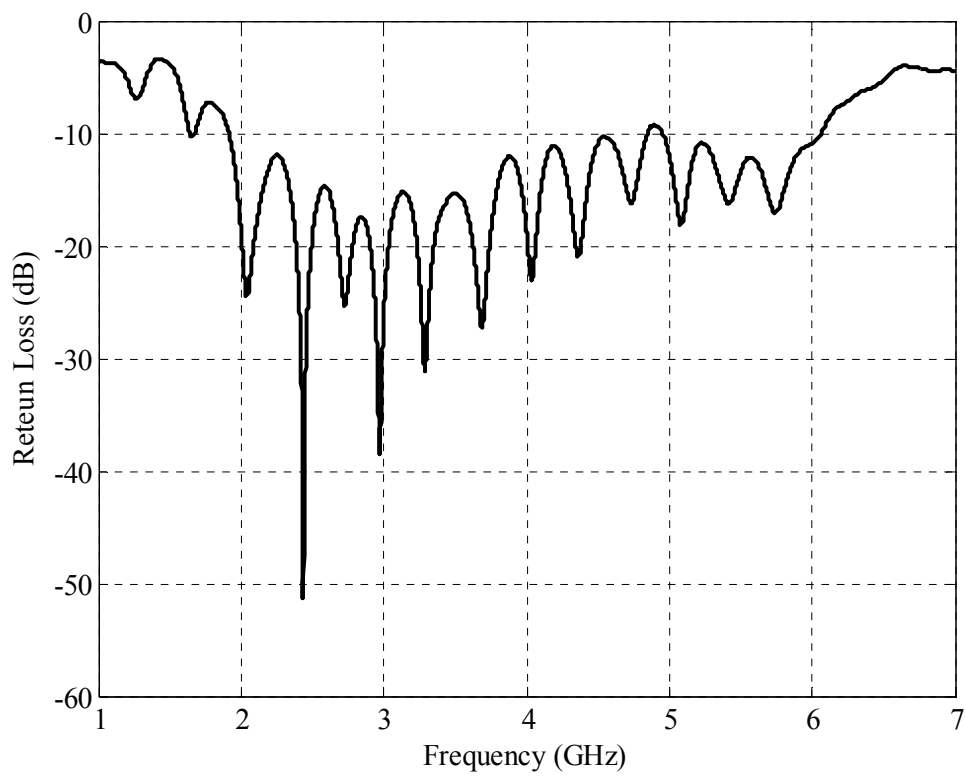


(ข) อัตราส่วนคลื่นนิ่ง

รูปที่ 3.10 ผลการจำลองการปรับหาระยะที่เหมาะสมในการจัดแถวลำดับ (ต่อ)

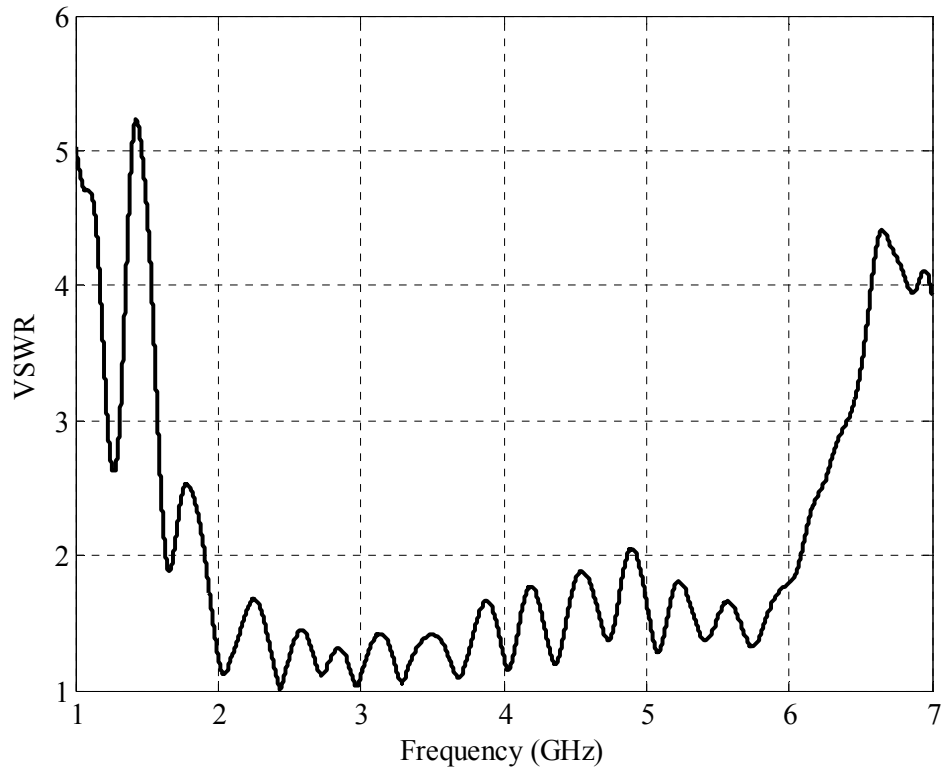
ตารางที่ 3.3 ค่าอัตราขยายจากการจำลองสายอากาศแกลวลำดับวงกลม

| ความถี่ (GHz) | อัตราขยาย (dB) |
|---------------|----------------|
| 2.45 | 8.6 |
| 5.25 | 7.39 |
| 5.80 | 6.14 |



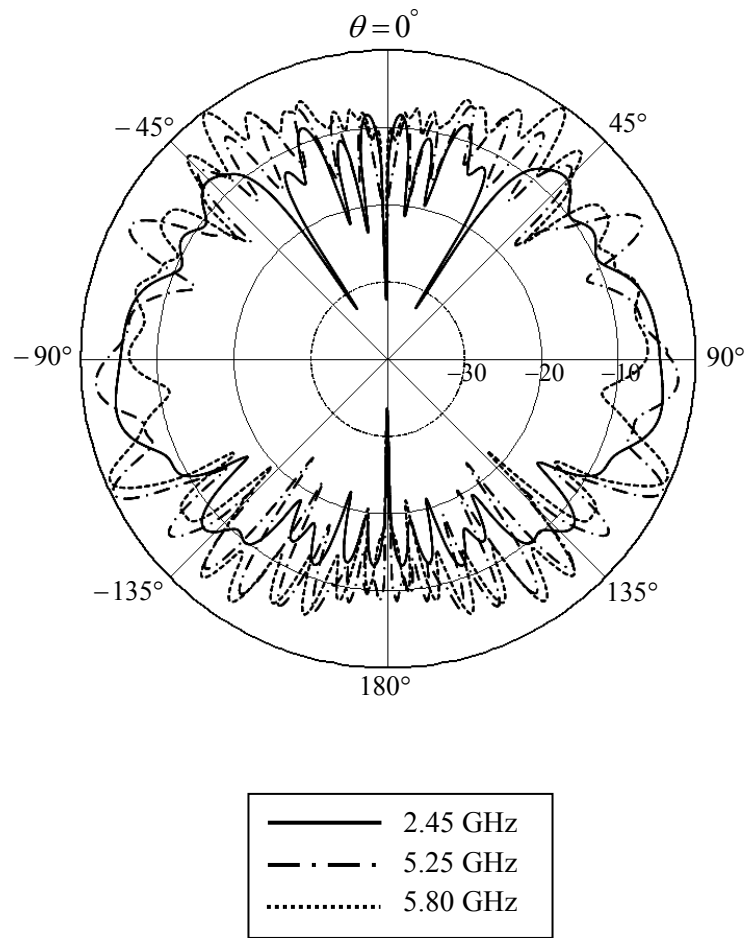
(ก) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ

รูปที่ 3.11 ผลจากการจำลองสายอากาศแกลวลำดับวงกลมด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST



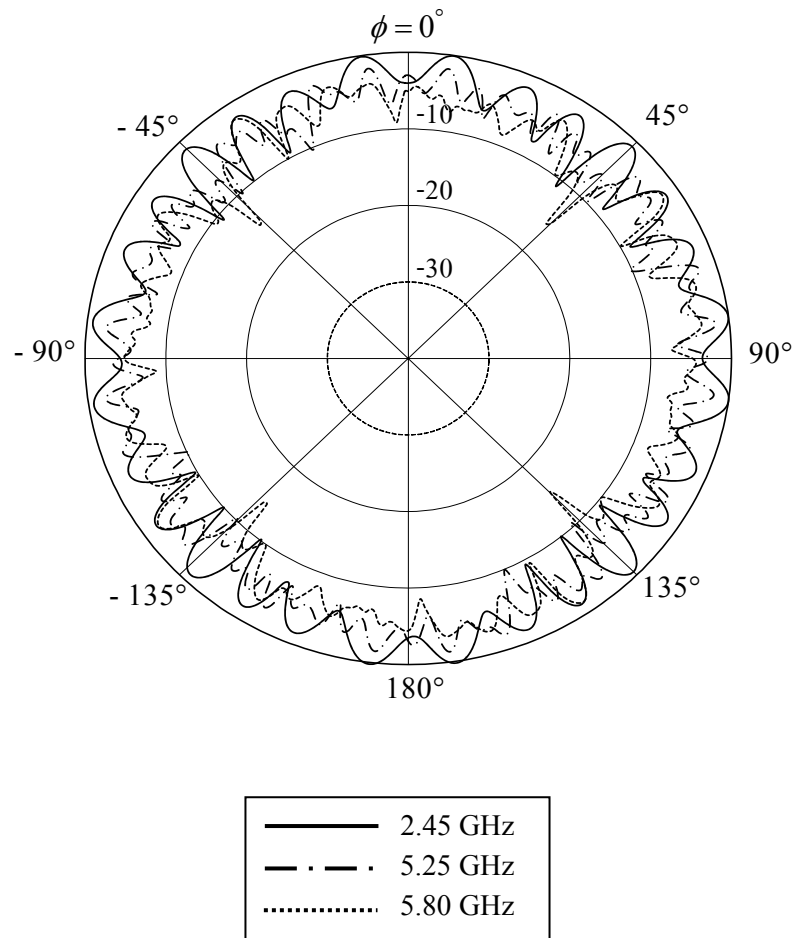
(ข) อัตราส่วนคลื่นนิ่ง

รูปที่ 3.11 ผลจากการจำลองสายอากาศแฉวาลำดับวงกลมด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST (ต่อ)



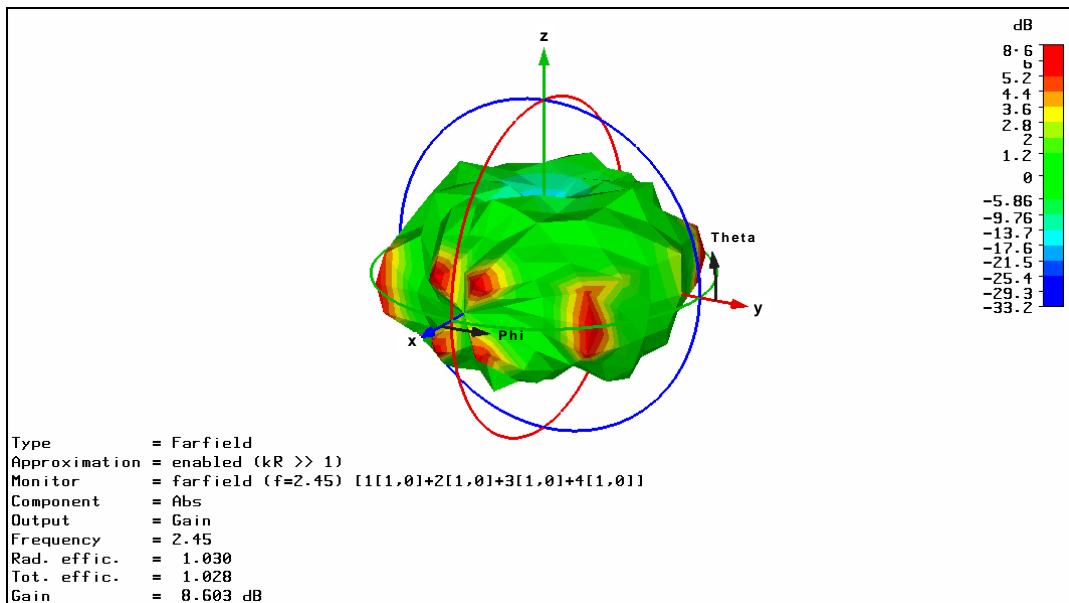
(ค) แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า

รูปที่ 3.11 ผลจากการจำลองสายอากาศแฉวาลำดับวงกลมด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST (ต่อ)

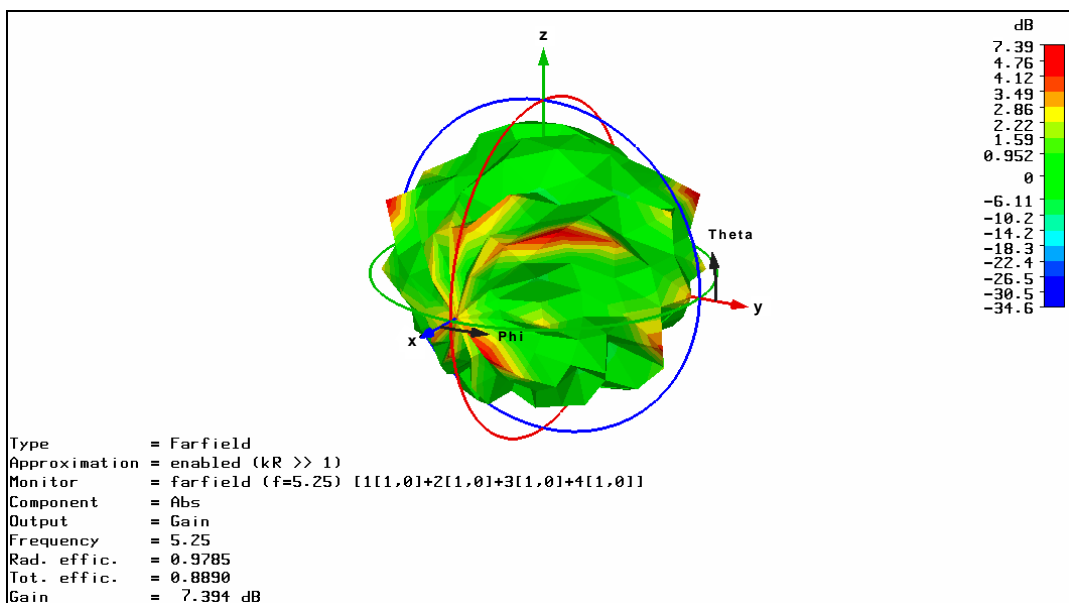


(ง) แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 3.11 ผลจากการจำลองสายอากาศแฉวลำดับวงกลมด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST (ต่อ)

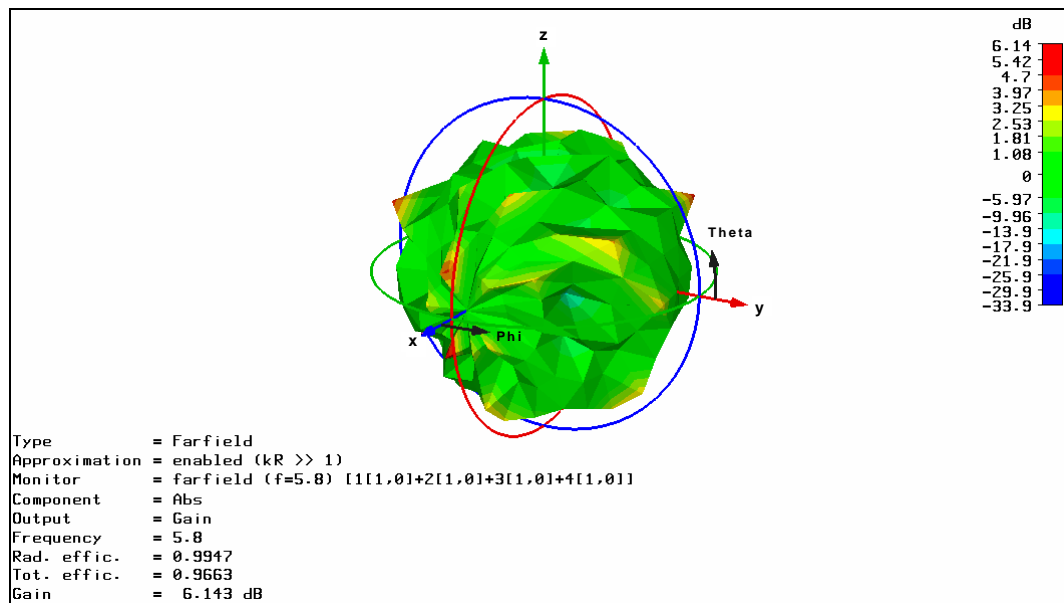


(จ) แบบรูปการแผ่พลังงานแบบ 3 มิติ ที่ความถี่ 2.45 GHz



(ฉ) แบบรูปการแผ่พลังงานแบบ 3 มิติ ที่ความถี่ 5.25 GHz

รูปที่ 3.11 ผลจากการจำลองสายอากาศแถวลำดับวงกลมด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST (ต่อ)



(ข) แบบรูปการแผ่พลังงานแบบ 3 มิติ ที่ความถี่ 5.8 GHz

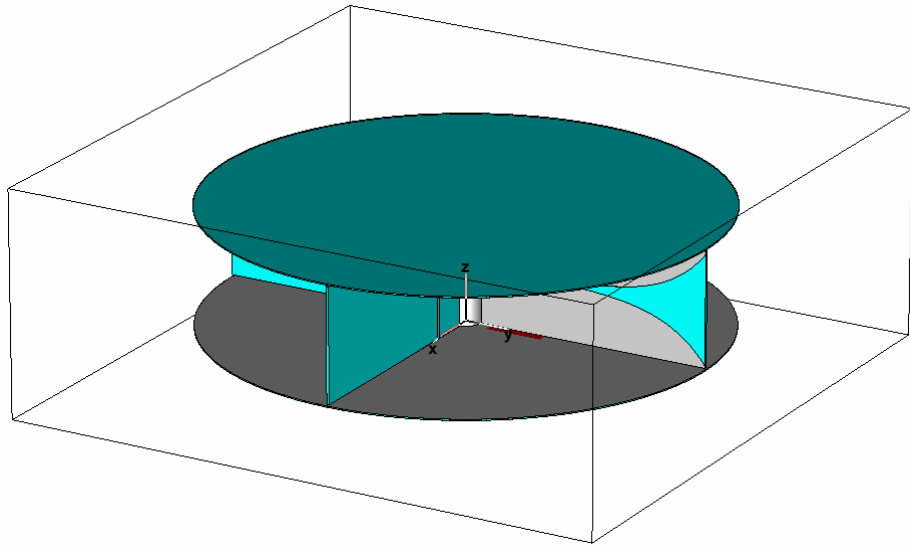
รูปที่ 3.11 ผลจากการจำลองสายอากาศแฉวลำดับวงกลมด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST (ต่อ)

3.3.2 การเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับ

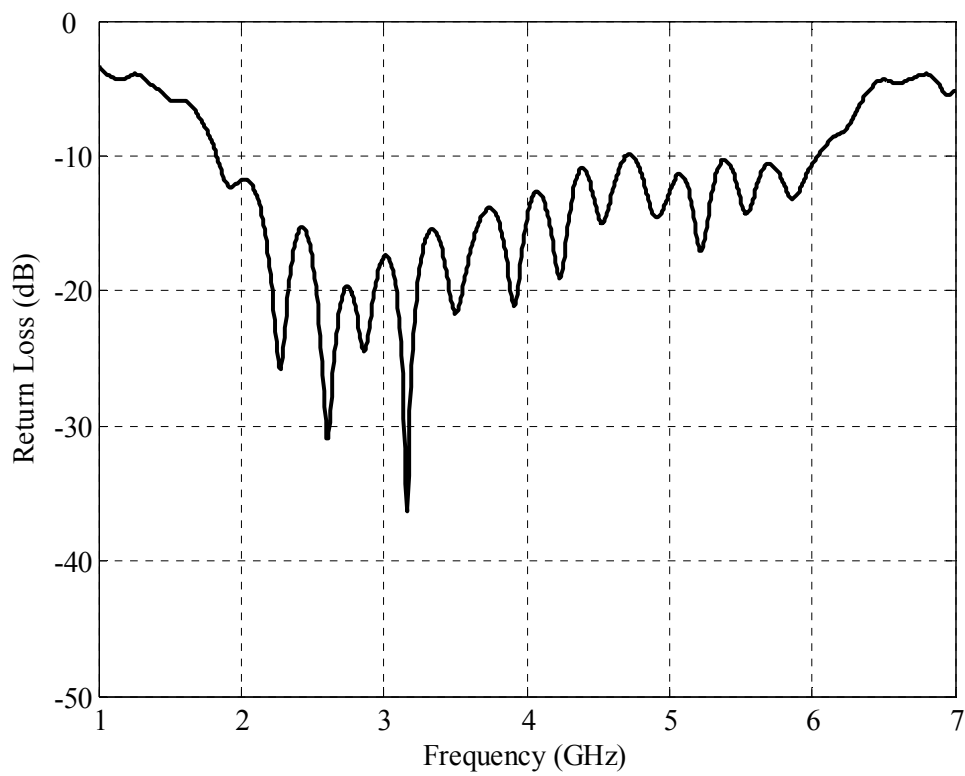
ในการเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับวงกลมนั้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้แผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่างของสายอากาศแถวลำดับวงกลม โดยแผ่นอะลูมิเนียมจะทำหน้าที่ในการบีบลำคลื่นทั้งด้านบนและล่างให้เสริมกับลำคลื่นด้านหน้าและหลัง ทำให้มีแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบอะซิมูทที่มีระดับสัญญาณไม่แตกต่างกันในแต่ละมุมมองฯ ส่งผลให้ได้ลำคลื่นที่ครอบคลุมพื้นที่ในแนวราบกว้างมากขึ้น และมีอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับวงกลมมากขึ้นด้วย ในการเพิ่มแผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่างของสายอากาศแถวลำดับวงกลมนี้ ไม่มีผลต่อแถบความกว้างและอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศ แต่จะส่งผลโดยตรงต่ออัตราขยาย และแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับวงกลม และได้เพิ่มตัวสะท้อนอะลูมิเนียมรูปทรงกระบอกที่ตำแหน่งแกนกลางของสายอากาศแถวลำดับวงกลม ซึ่งจะทำหน้าที่ในการสะท้อนคลื่นพหุหลังให้ไปเสริมกับลำคลื่นด้านหน้า ทำให้ได้อัตราขยายที่เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นจะได้สายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบที่มีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบรอบตัวในระนาบเดียวที่เหมาะสมสำหรับประยุกต์ใช้ในเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย และมีอัตราขยายของสายอากาศที่สูงแสดงดังตารางที่ 3.4 รูปที่ 3.12 แสดงผลการจำลองสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบซึ่งได้แก่ แบบจำลองของสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบที่มีแผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่างแสดงดังรูปที่ 3.12(ก) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับแสดงดังรูปที่ 3.12(ข) อัตราส่วนคลื่นนิ่งดังรูปที่ 3.12(ค) แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กดังรูปที่ 3.12(ง) และ (จ) ตามลำดับ และแบบรูปการแผ่พลังงานในรูปแบบของภาพ 3 มิติ ที่ความถี่ 2.45 GHz 5.25 GHz และ 5.8 GHz ดังรูปที่ 3.12(ฉ) (ช) และ (ซ) ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่าสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบมีแบบรูปการแผ่พลังงานเป็นแบบรอบตัว ซึ่งตรงตามวัตถุประสงค์ในการออกแบบ

ตารางที่ 3.4 ค่าอัตราขยายจากผลการจำลองสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบ

| ความถี่ (GHz) | อัตราขยาย (dB) |
|---------------|----------------|
| 2.45 | 12.01 |
| 5.25 | 9.92 |
| 5.80 | 8.18 |

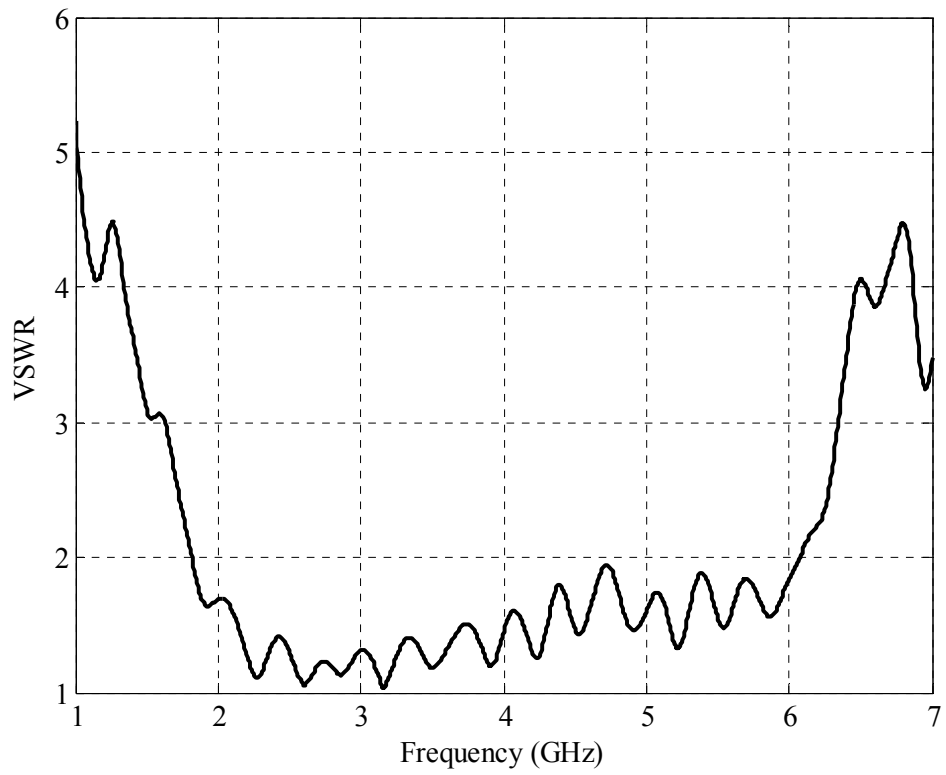


(ก) แบบจำลองสายอากาศต้นแบบ



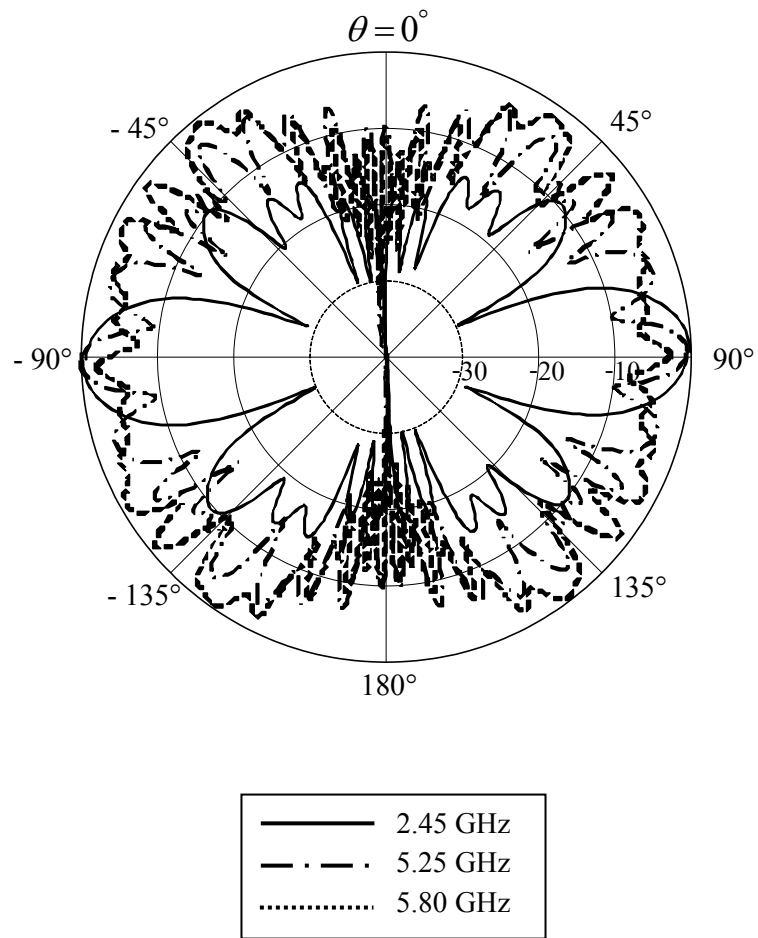
(ข) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ

รูปที่ 3.12 ผลจากการจำลองสายอากาศแฉวลำดับวงกลมต้นแบบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST



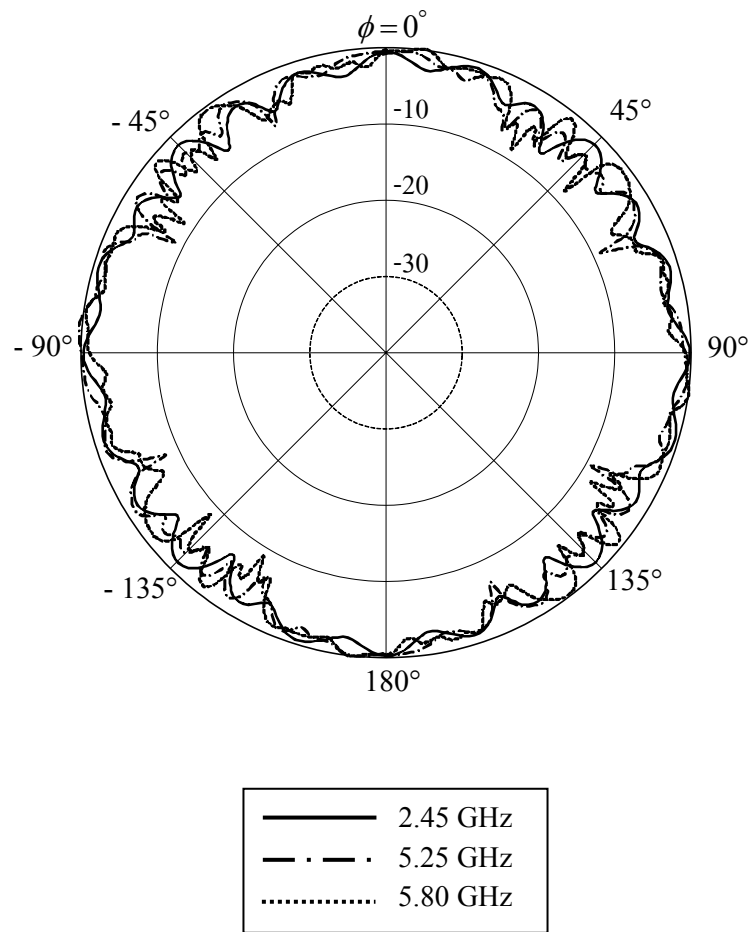
(ค) อัตราส่วนคลื่นนิ่ง

รูปที่ 3.12 ผลจากการจำลองสายอากาศแถวลำดับวงกลมตันแบบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST (ต่อ)



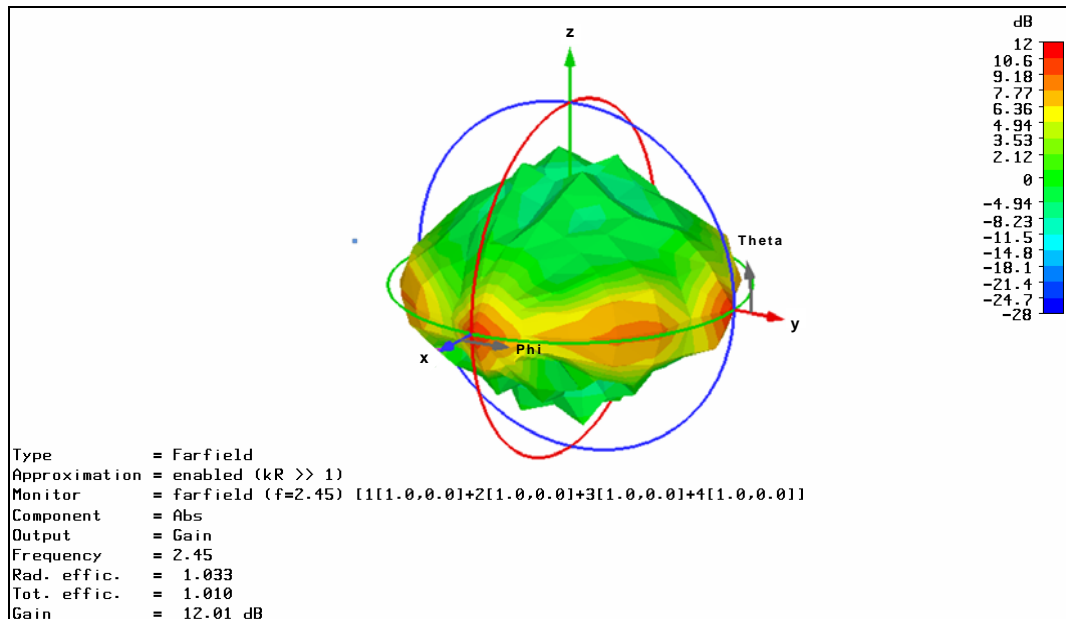
(ง) แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า

รูปที่ 3.12 ผลจากการจำลองสายอากาศแฉวลำค้ำวงกลมต้นแบบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST (ต่อ)

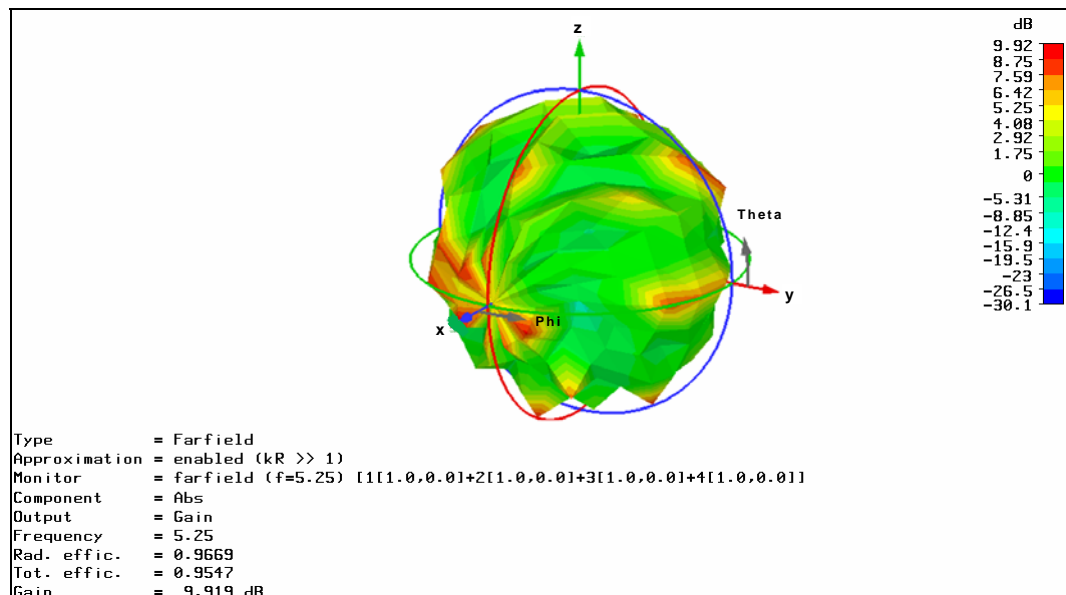


(จ) แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 3.12 ผลจากการจำลองสายอากาศแฉกลำดับวงกลมตันแบบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST (ต่อ)

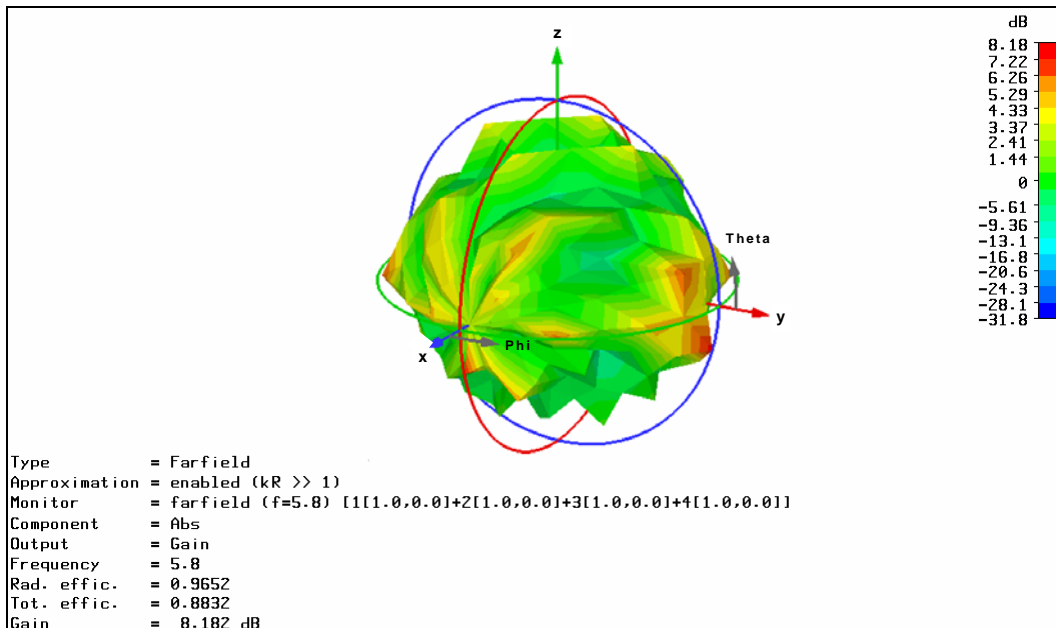


(จ) แบบรูปการแผ่พลังงานแบบ 3 มิติ ที่ความถี่ 2.45 GHz



(ข) แบบรูปการแผ่พลังงานแบบ 3 มิติ ที่ความถี่ 5.25 GHz

รูปที่ 3.12 ผลจากการจำลองสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST (ต่อ)



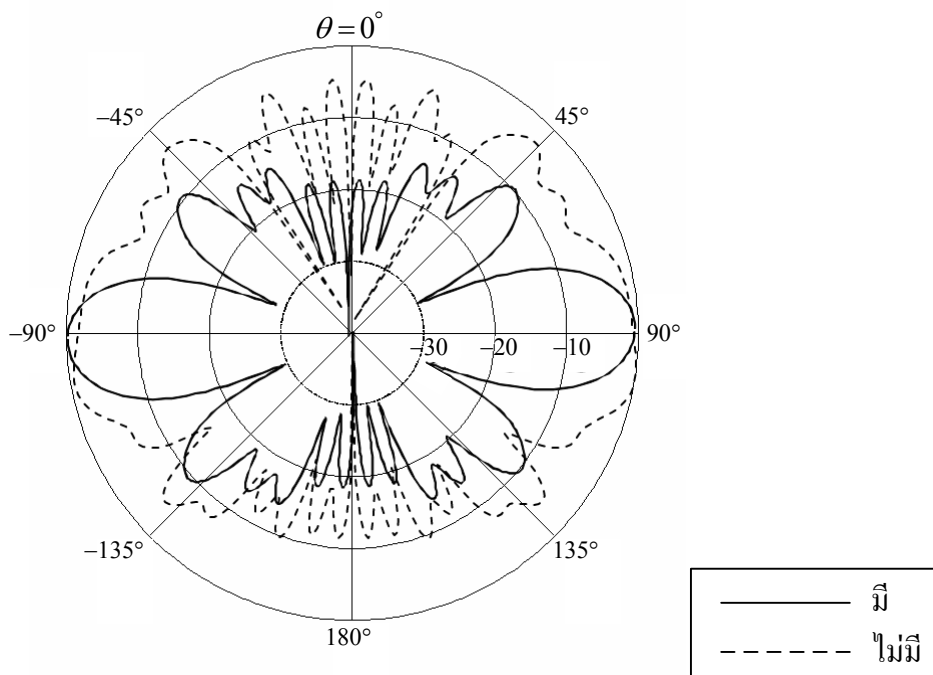
(ซ) แบบรูปการแผ่พลังงานแบบ 3 มิติ ที่ความถี่ 5.8 GHz

รูปที่ 3.12 ผลจากการจำลองสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST (ต่อ)

จากการออกแบบและจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST จะเห็นว่าแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 2.45 GHz มีตำแหน่งของระดับสัญญาณที่ต่ำสุดเกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่มุม $\theta = \pm 23^\circ$ และ $\theta = \pm 157^\circ$ ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของการใส่แผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่างของสายอากาศ และเมื่อทำการเปรียบเทียบผลการจำลองสายอากาศแถวลำดับวงกลมระหว่างมีและไม่มีแผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่าง จะเห็นได้ว่าอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบที่มีแผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่างจะมีอัตราขยายที่สูงกว่าแสดงดังตารางที่ 3.5 และมีแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบอะซิมุท หรือระนาบสนามแม่เหล็กที่มีระดับของสัญญาณเฉลี่ยไม่แตกต่างกันมากในแต่ละมุม ทั้ง 3 ความถี่ รูปที่ 3.13 แสดงกราฟเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับวงกลมระหว่างมีและไม่มีแผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่าง โดยรูปที่ 3.13(ก) (ค) และ (จ) แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 2.45 GHz 5.25 GHz และ 5.8 GHz ตามลำดับ และรูปที่ 3.13(ข) (ง) และ (ฉ) แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 2.45 GHz 5.25 GHz และ 5.8 GHz ตามลำดับ

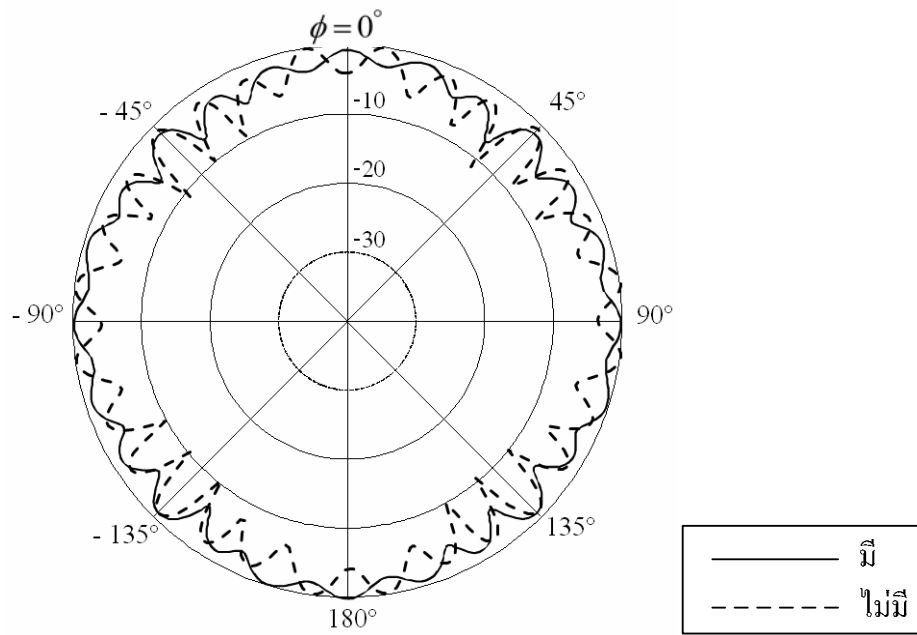
ตารางที่ 3.5 ค่าอัตราขยายจากผลการจำลองของสายอากาศแถวลำดับวงกลมระหว่างมีและไม่มีแผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่าง

| ความถี่ (GHz) | สายอากาศแถวลำดับวงกลมไม่มีแผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่าง | สายอากาศแถวลำดับวงกลมมีแผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่าง |
|---------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| | อัตราขยาย (dB) | อัตราขยาย (dB) |
| 2.45 | 8.6 | 12.01 |
| 5.25 | 7.39 | 9.92 |
| 5.80 | 6.14 | 8.18 |

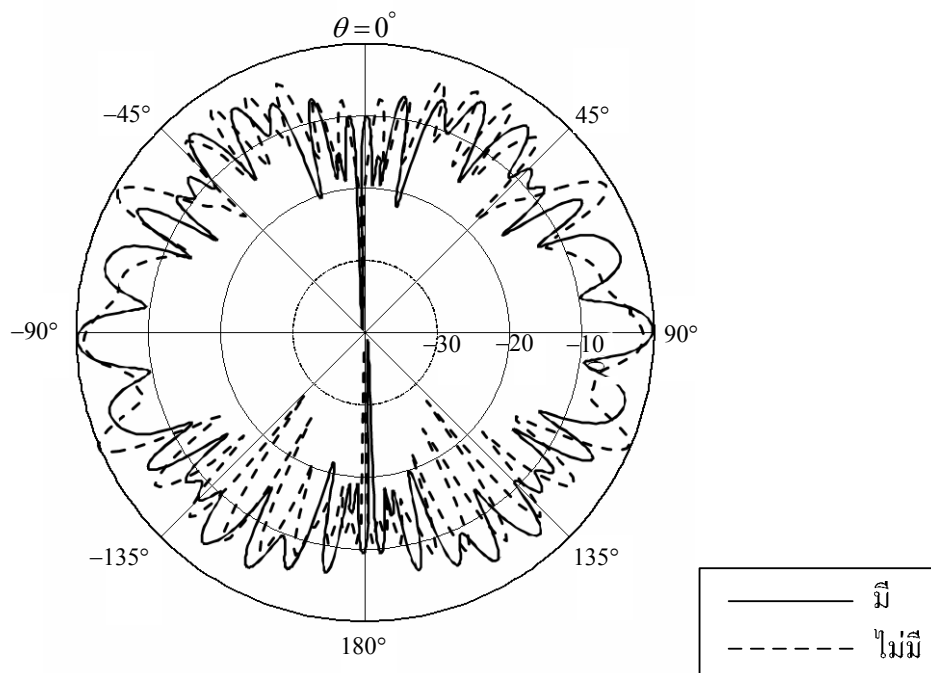


(ก) ระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 2.45 GHz

รูปที่ 3.13 ผลจากการจำลองแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับวงกลม

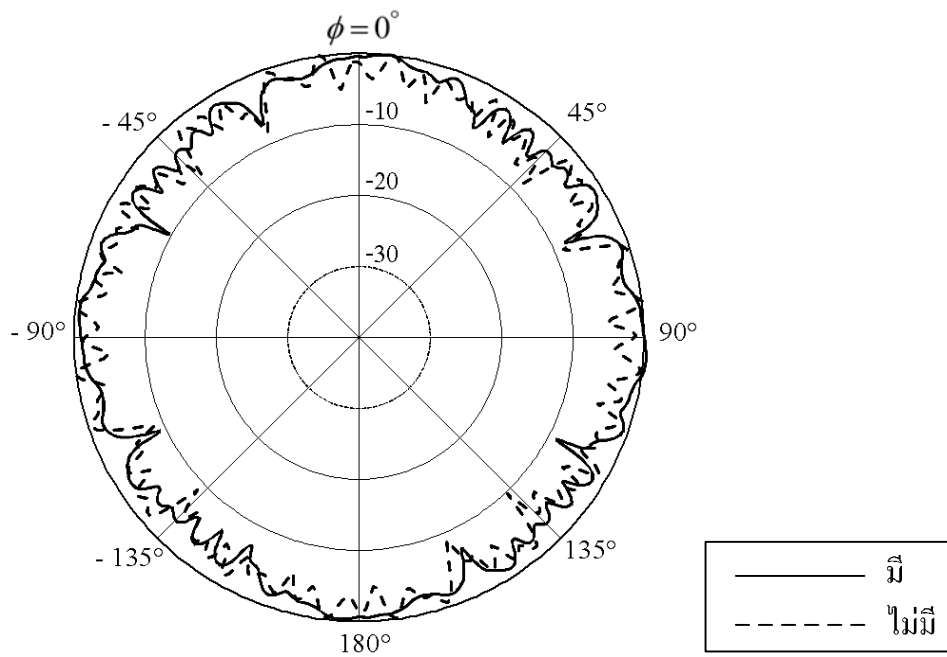


(จ) ระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 2.45 GHz

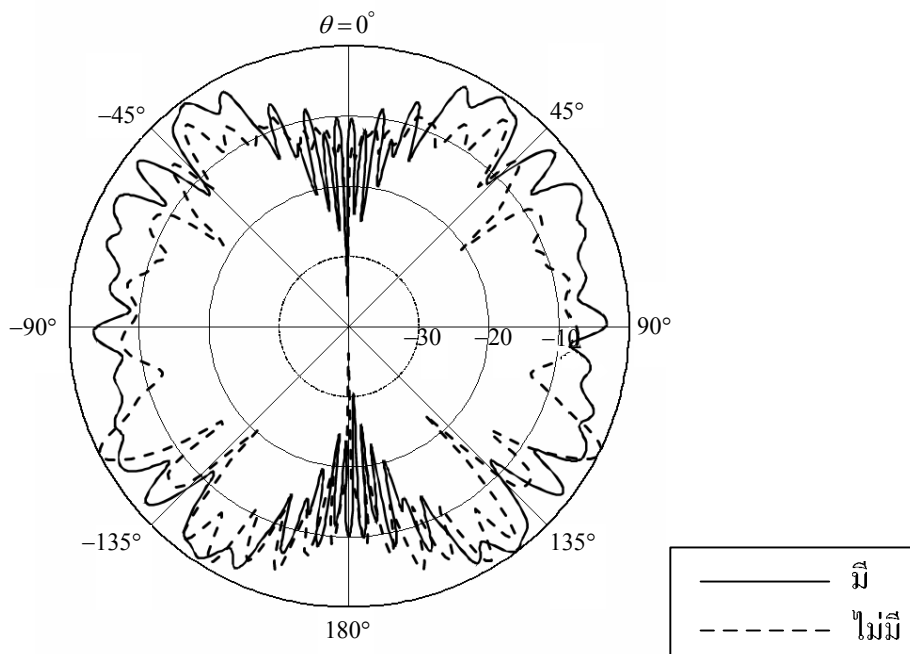


(ค) ระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 5.25 GHz

รูปที่ 3.13 ผลจากการจำลองแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแฉวาล์าดับวงกลม (ต่อ)

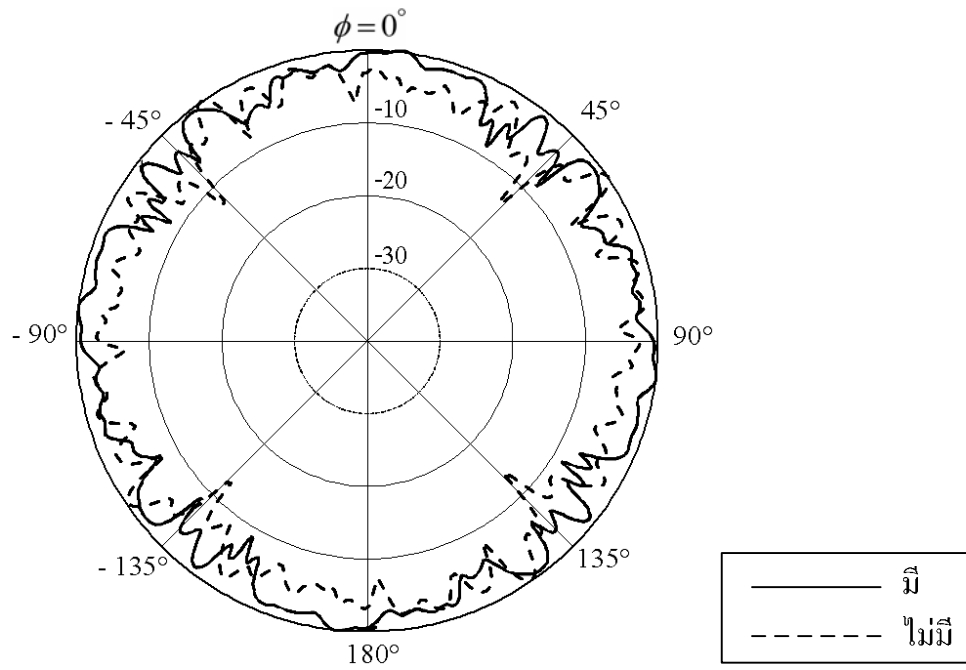


(ง) ระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 5.25 GHz



(จ) ระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 5.8 GHz

รูปที่ 3.13 ผลจากการจำลองแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับวงกลม (ต่อ)



(จ) ระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 5.8 GHz

รูปที่ 3.13 ผลจากการจำลองแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแฉวลำดับวงกลม (ต่อ)

3.4 สรุป

สำหรับบทนี้ได้กล่าวถึงขั้นตอนการออกแบบ และวิเคราะห์สายอากาศแถวลำดับวงกลม โดยใช้ร่องแบบเรียว ซึ่งในขั้นแรกได้ทำการศึกษาโครงสร้างของสายอากาศร่องแบบเรียว จากนั้นทำการวิเคราะห์และออกแบบ เพื่อให้ได้สายอากาศร่องแบบเรียวต้นแบบสำหรับการนำมาประยุกต์ใช้ในเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย โดยทำการจัดแถวลำดับแบบวงกลมเพื่อให้สายอากาศมีคุณสมบัติเป็นสายอากาศแบบรอบตัว ที่มีแบบรูปการแผ่พลังงานครอบคลุมพื้นที่กว้างในระนาบอะซิมุท โดยได้ทำการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST ก่อน เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของสายอากาศแถวลำดับวงกลมสำหรับการนำไปสร้างสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบต่อไป

บทที่ 4

ผลการทดลอง

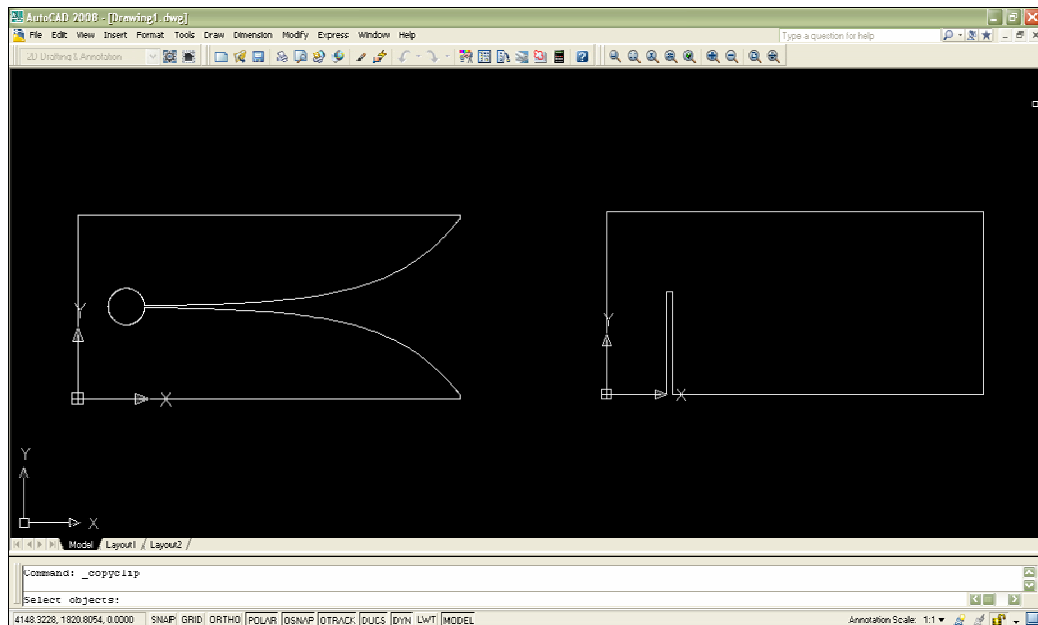
4.1 บทนำ

จากทฤษฎีและหลักการทั้งหมด ตลอดจนการออกแบบและวิเคราะห์คุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศแถวลำดับวงกลมโดยใช้ร่องแบบรีเวดิงได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 และ 3 ดังนั้นในบทที่ 4 นี้จะกล่าวถึงการสร้างสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบขึ้น จากนั้นทำการวัดทดสอบคุณลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ อัตราส่วนคลื่นนิ่ง แบบรูปการแผ่พลังงานทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก อิมพีแดนซ์ และอัตราขยาย โดยมีตัวแบ่งกำลัง (power divider) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องส่งไปยังสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบ โดยในการวัดทดสอบคุณลักษณะข้างต้น จากเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (network analyzer) รุ่น HP8720C สุดท้ายได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลจากการวัดทดสอบและการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST ทั้งสายอากาศร่องแบบรีเวดิงต้นแบบหนึ่งอิลิเมนต์และสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบ

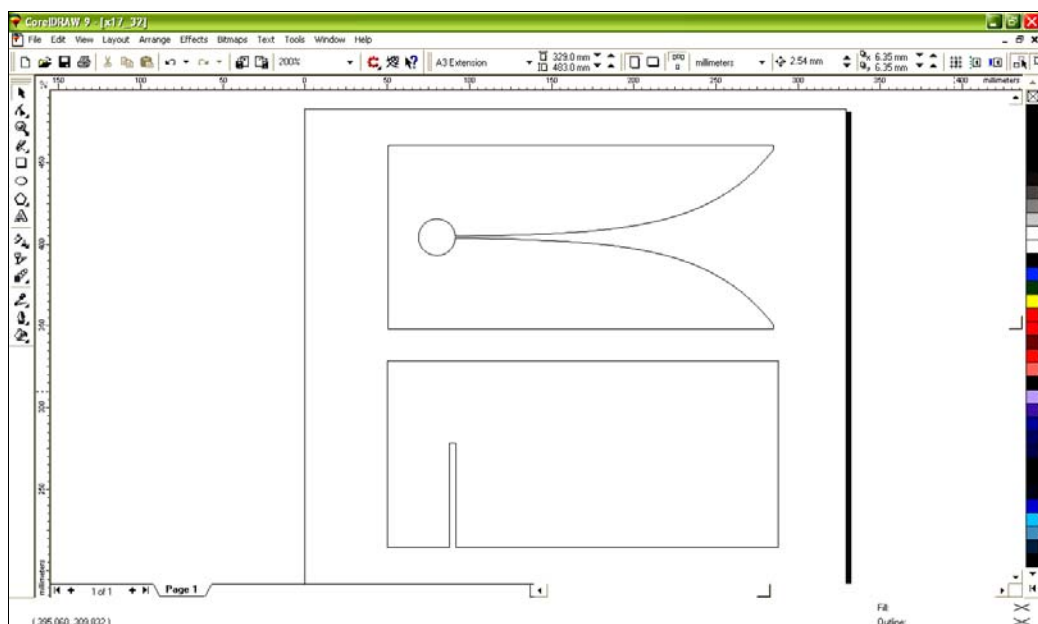
4.2 วิธีการสร้างสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบ

จากผลการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST ที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 จนได้ขนาดและรูปแบบของแถวลำดับของสายอากาศตามที่ต้องการ โดยผลจากการจำลองจะมีนามสกุลเพิ่มข้อมูลคือ MOD ซึ่งจะต้องนำไฟล์ออก (export file) จากโปรแกรมสำเร็จรูป CST และบันทึกข้อมูลนามสกุลเพิ่มข้อมูลที่ได้ คือ ชื่อเพิ่มข้อมูลนามสกุล DXF เมื่อได้เพิ่มข้อมูลแล้ว ได้นำไปจัดแต่งรูปร่างของสายอากาศด้วยโปรแกรม Auto CAD 2008 แสดงดังรูปที่ 4.1 ก่อนนำไปตัดสติ๊กเกอร์โดยใช้โปรแกรม CorelDRAW 9 ดังรูปที่ 4.2 เพื่อนำไปใช้ในการสร้างสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบแสดงดังรูปที่ 4.3 ซึ่งได้ใช้แผ่นไมโครสตริปชนิด FR4 จากนั้นนำสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบต่อเข้ากับหัวต่อชนิด SMA 50 โอห์มโดยรูปที่ 4.3(ก) แสดงสายอากาศร่องแบบรีเวดิงต้นแบบที่สร้างเสร็จแล้ว และรูปที่ 4.3(ข) เป็นสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบที่ถูกปิดด้านบนและด้านล่างด้วยแผ่นอะลูมิเนียม เพื่อให้ช่วยในการบิบลำคลื่นให้สามารถครอบคลุมพื้นที่ในระนาบอะซิมูทรีให้กว้างขึ้นและเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบ ตลอดจนเพิ่มความสะดวกสำหรับการวัดทดสอบและการนำไปใช้งานจริง และมีอะลูมิเนียมทรงกระบอกทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อน ที่ตำแหน่ง

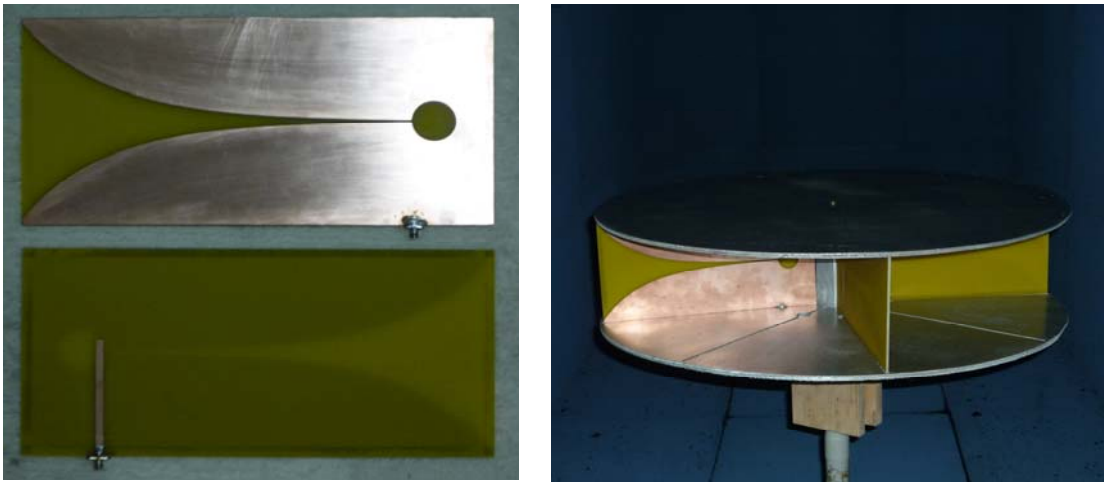
แกนกลางของสายอากาศแฉก ลำดับวงกลม สำหรับสะท้อนคลื่นพูลังให้แผ่ออกไปด้านหน้าทั้งหมด ซึ่งจะมีผลทำให้ได้อัตราขยายเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.1 โปรแกรม AutoCAD 2008 กำหนดการกีดและตัดแผ่น PCB



รูปที่ 4.2 โปรแกรม CoreIDRAW 9 กำหนดการตัดแผ่น PCB



(ก) สายอากาศร่องแบบรีเวดต้นแบบที่สร้าง

(ข) สายอากาศแฉวลำดับวงกลมต้นแบบ

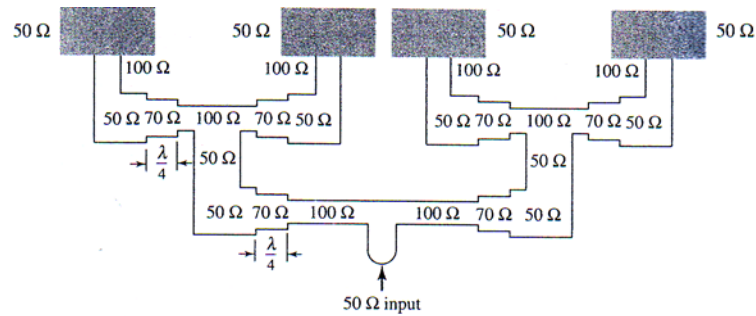
รูปที่ 4.3 สายอากาศที่สร้างขึ้น

4.3 ผลการวัดทดสอบตัวแบ่งกำลังงาน

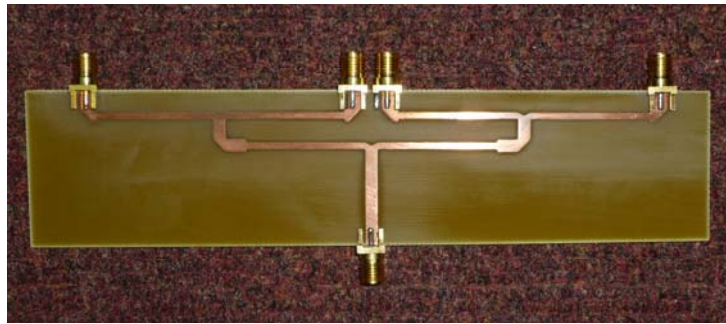
ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้ตัวแบ่งกำลังงานเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการแบ่งกำลังจากเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (อุปกรณ์ภาคส่ง) จากหนึ่งพอร์ตด้านเข้าให้เป็นสี่พอร์ตด้านออกตามจำนวนของสายอากาศร่องแบบรีเว โดยมีหลายวงจรในการออกแบบและตัวแบ่งกำลังงานที่สร้างแสดงดังรูปที่ 4.4(ก) และ (ข) ตามลำดับ และสมการสำหรับคำนวณหาขนาดความกว้างของเส้นสตริป คือ

$$H' = \frac{Z_0 \sqrt{2(\epsilon_r + 1)}}{119.9} + \frac{1}{2} \left(\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \right) \left(\ln \frac{\pi}{2} + \frac{1}{\epsilon_r} \ln \frac{4}{\pi} \right) \quad (4.1)$$

$$\frac{W_1}{h} = \left(\frac{(\exp H')}{8} - \frac{1}{4(\exp H')} \right)^{-1} \quad (4.2)$$



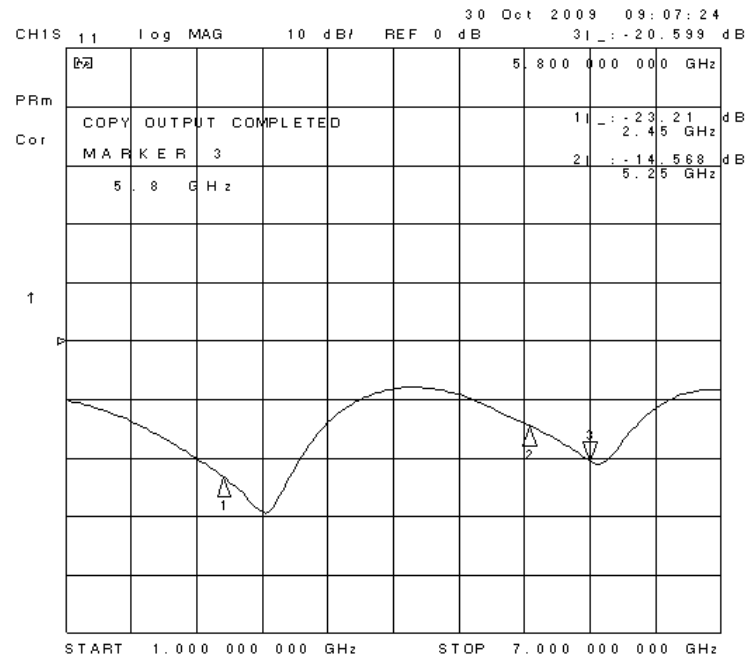
(ก) ลายวงจรที่ใช้ในการออกแบบตัวแบ่งกำลังงาน



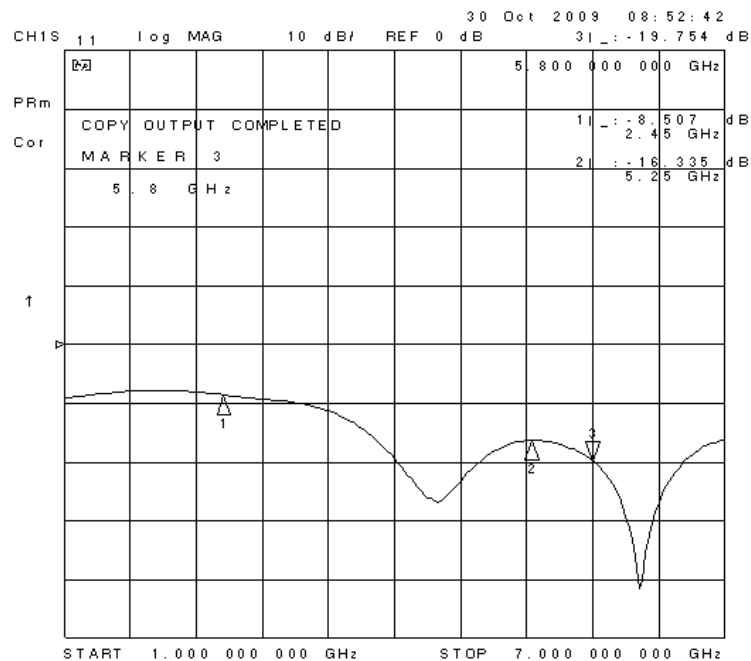
(ข) ตัวแบ่งกำลังงานที่สร้าง

รูปที่ 4.4 ตัวแบ่งกำลัง

โดยที่ w_1 คือ ความกว้างของไมโครสตริป ϵ_r คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก Z_0 คือ อิมพีแดนซ์คุณลักษณะ และ λ คือ ความยาวคลื่น จากการออกแบบตามสมการที่ (4.1) และ (4.2) จะได้ความกว้างของสตริปที่ $Z_0 = 50 \Omega$ เท่ากับ 3.06 มิลลิเมตร ที่ $Z_0 = 70 \Omega$ เท่ากับ 1.62 มิลลิเมตร ที่ $Z_0 = 100 \Omega$ เท่ากับ 0.71 มิลลิเมตร สำหรับการวัดทดสอบการแมตซ์ของตัวแบ่งกำลังนั้นได้ทำการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับที่แต่ละพอร์ตของตัวแบ่งกำลัง โดยพอร์ตที่ทำการวัดทดสอบนั้นจะต่อเข้ากับเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายและพอร์ตที่เหลือจะต่อเข้ากับหัวต่อ 50 Ω ถ้า ณ ความถี่ที่พิจารณามีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับ -10 dB แสดงว่ามีการแมตซ์ที่สมบูรณ์ และจากการวัดทดสอบได้ผลดังรูปที่ 4.5(ก) แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับที่พอร์ตด้านเข้า รูปที่ 4.5(ข) ถึง (จ) แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับที่พอร์ตด้านออกซึ่งก็คือพอร์ตที่ต่อเชื่อมกับสายอากาศร่องแบบเรียว พอร์ตที่ 1 ถึง 4 ตามลำดับ

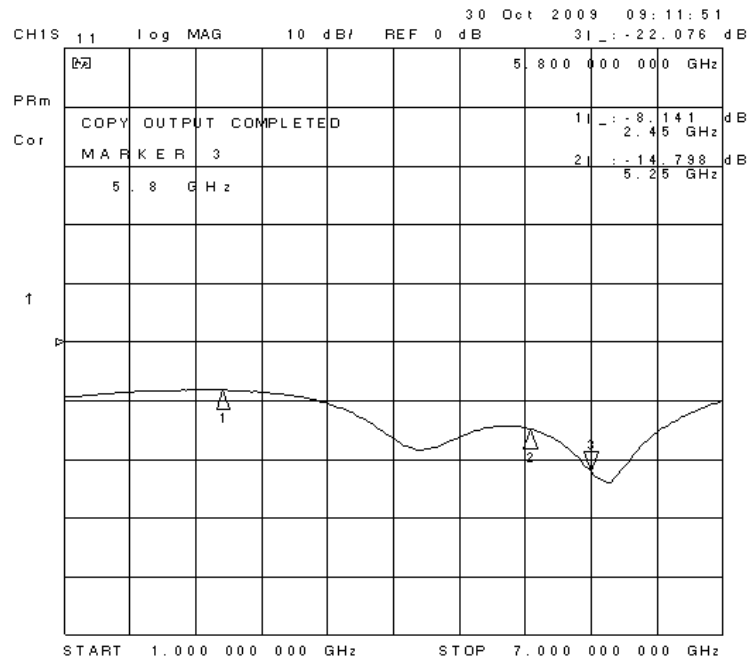


(ก) ที่พอร์ตด้านเข้า

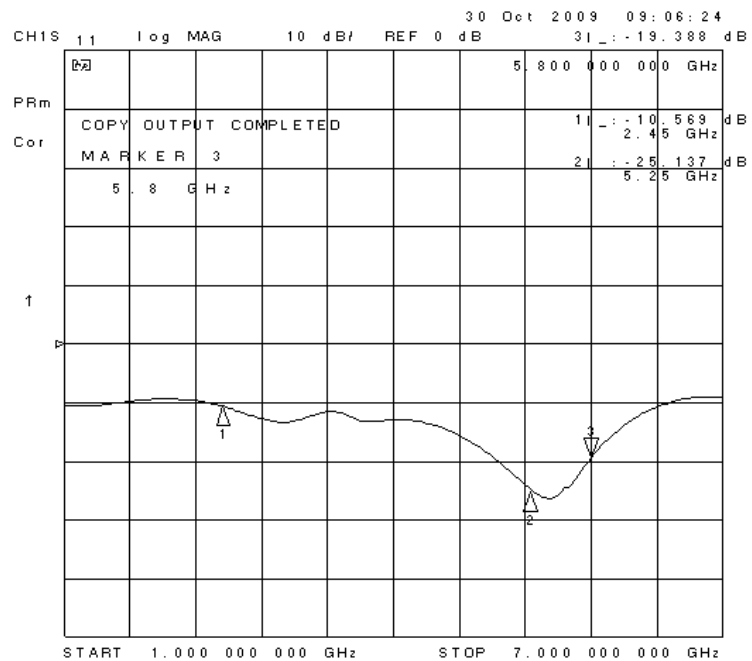


(ข) ที่พอร์ตด้านออกที่ 1

รูปที่ 4.5 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ

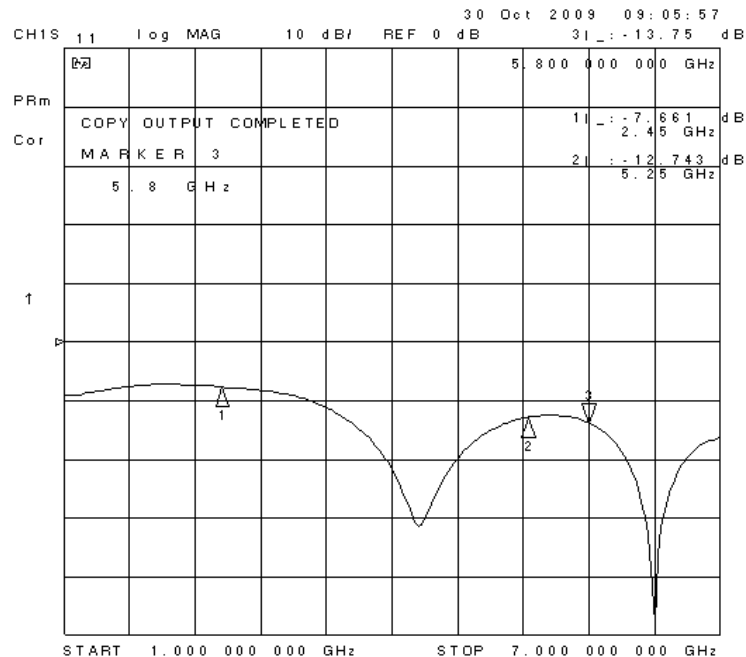


(ค) ที่พอร์ตด้านออกที่ 2



(ง) ที่พอร์ตด้านออกที่ 3

รูปที่ 4.5 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (ต่อ)



(จ) ที่พอร์ตด้านออกที่ 4

รูปที่ 4.5 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (ต่อ)

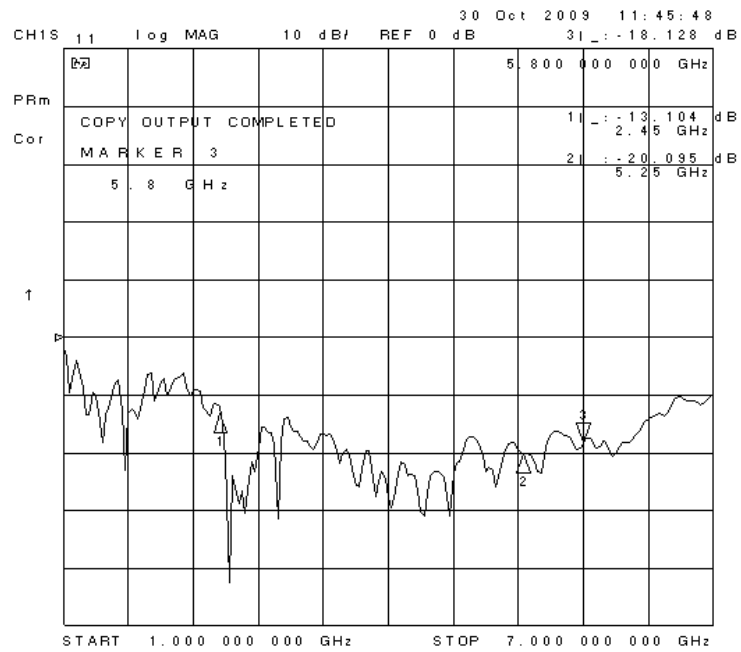
จากผลการวัดทดสอบตัวแบ่งกำลังงาน จะเห็นว่าที่พอร์ตด้านออกทั้ง 4 พอร์ต มีการแมตซ์ยังไม่ใกล้เคียงกัน ซึ่งจะมีผลต่อแบบรูปการแผ่พลังงานรวมของสายอากาศแถวลำดับวงกลมที่วัดได้ ดังนั้นจึงได้ทำการทำให้เป็นบรรทัดฐาน (normalization) ของผลวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก

4.4 ผลการวัดทดสอบสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับและความกว้างแถบ

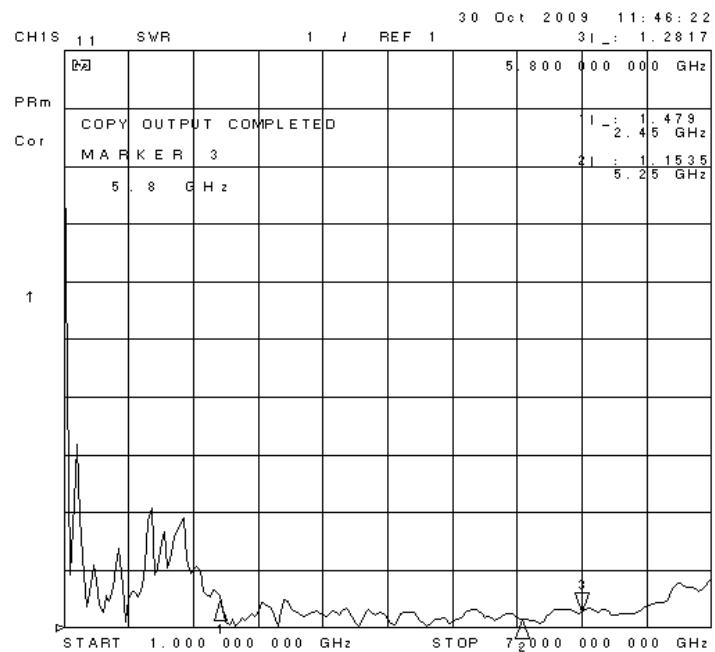
สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในการพิจารณาการแมตซ์อิมพีแดนซ์ด้านเข้า คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (reflection coefficient) หรือในรูปของพารามิเตอร์ S_{11} และอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing Wave Ratio : SWR) ในการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ S_{11} หมายถึงการสะท้อนกลับของกำลังไฟฟ้าด้านเข้า (port 1) ของสายอากาศ ซึ่งขนาดของ S_{11} อาจจะมีค่าได้ตั้งแต่ 0 dB ถึง ลบอนันต์ (negative infinity dB) ถ้ามีค่าเท่ากับ 0 dB แสดงว่าไม่แมตซ์อย่างสมบูรณ์ และถ้ามีค่าเป็นลบอนันต์ แสดงว่ามีการแมตซ์ที่สมบูรณ์ดีที่สุด (ริงส์ตรัค วงศ์สตรัค และ ชวงค์, ม.ป.ป) สำหรับ

ค่า SWR สามารถมีค่าต่ำสุดตั้งแต่ 1 ถึงอนันต์ โดยถ้า SWR มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าสายอากาศนั้นมีการแมตซ์ที่สมบูรณ์หมายความว่ากำลังไฟฟ้าด้านเข้าที่ป้อนให้กับสายอากาศมีการแผ่พลังงานออกไปทั้งหมดไม่มีการสะท้อนกลับมา และถ้าสายอากาศมีค่า SWR เท่ากับอนันต์ หมายความว่าสายอากาศนั้นไม่แมตซ์ทำให้กำลังไฟฟ้าที่ส่งออกไปเกิดการสะท้อนกลับมาทั้งหมด ส่งผลให้เครื่องส่งได้รับความเสียหายได้ ในงานประยุกต์ต่าง ๆ ค่าของ S_{11} จะยอมรับได้ถ้ามีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับ -10 dB ซึ่งจะสอดคล้องกับค่า SWR เท่ากับ 2 หรือต่ำกว่า แสดงว่ามีการแมตซ์ที่ดี จากรูปที่ 4.6(ก) แสดงกราฟค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบในรูปของพารามิเตอร์ S_{11} จากรูปจะสังเกตเห็นได้ว่าสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบที่ได้ทำการสร้างขึ้นนั้นมีค่า S_{11} ต่ำกว่า -10 dB ที่ช่วงความถี่ตั้งแต่ 2 GHz ถึง 6 GHz ซึ่งสอดคล้องกับค่า SWR ที่มีค่าต่ำกว่า 2 ที่ช่วงความถี่ตั้งแต่ 2 GHz ถึง 6 GHz เช่นกัน แสดงดังรูปที่ 4.6(ข)

รูปที่ 4.7(ก) และ (ข) แสดงกราฟเปรียบเทียบผลจากการวัดทดสอบและผลจากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST ของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ และค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งตามลำดับ

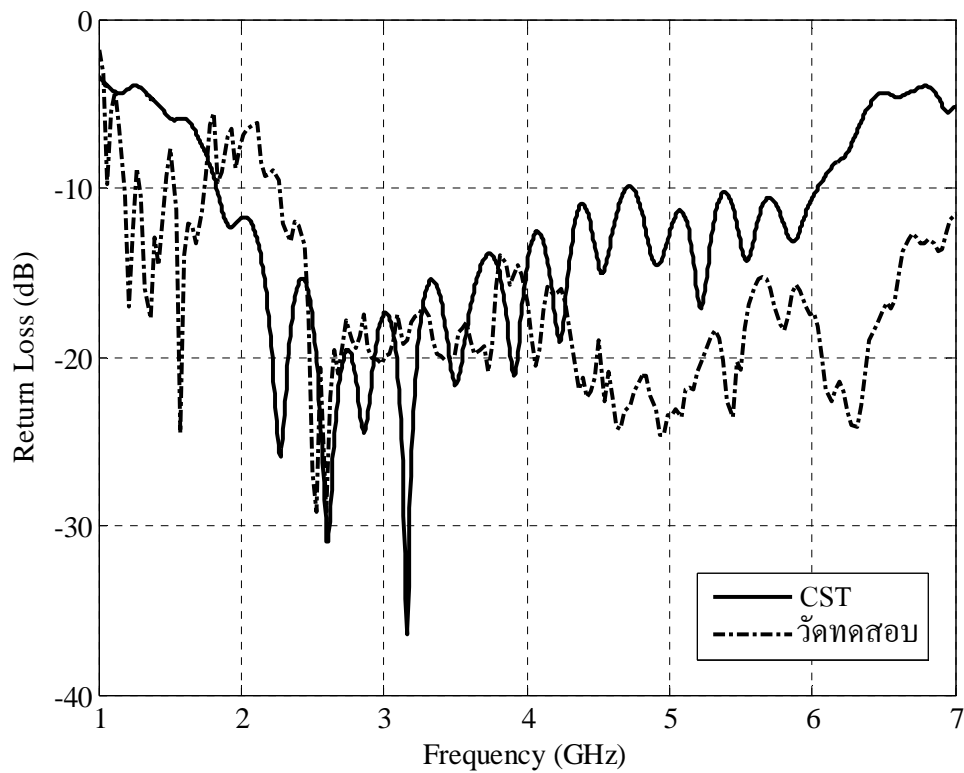


(ก) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ



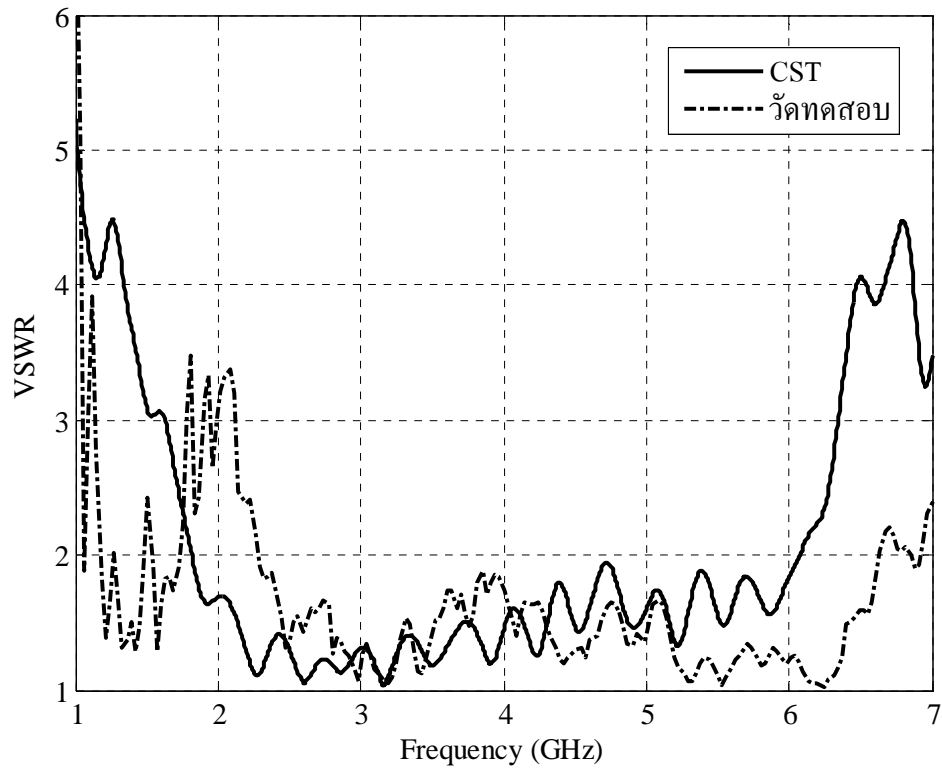
(ข) ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง

รูปที่ 4.6 ผลการวัดทดสอบของสายอากาศแกลวลำดับวงกลมต้นแบบ



(ก) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ

รูปที่ 4.7 ผลการวัดทดสอบและการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST ของสายอากาศแกลวลำดับวงกลมต้นแบบ

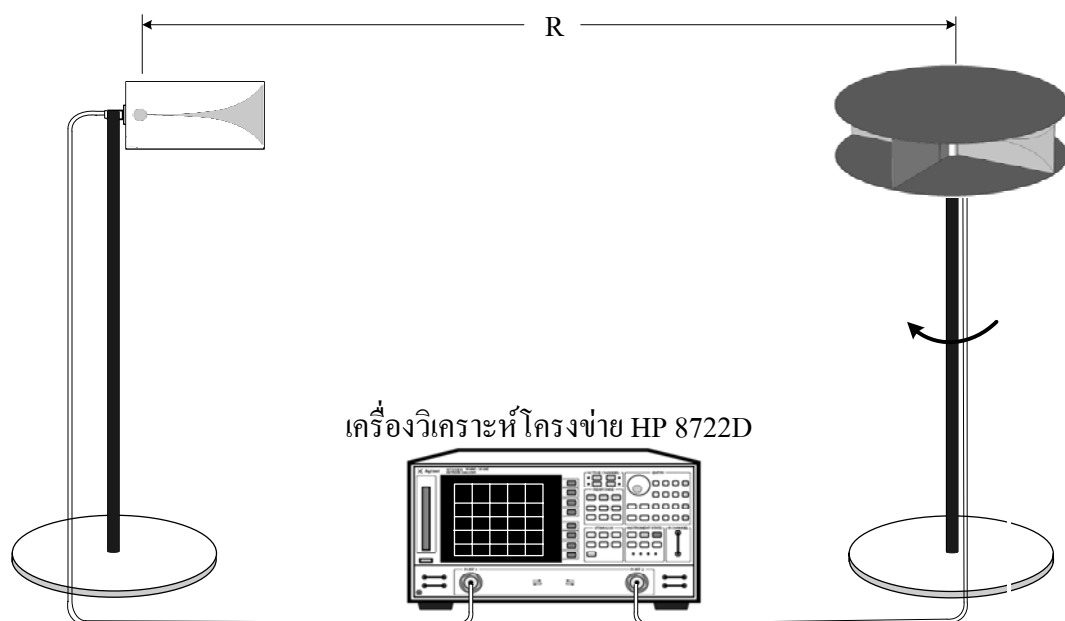


(ข) ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง

รูปที่ 4.7 ผลการวัดทดสอบและการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST ของสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบ (ต่อ)

4.5 ผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน

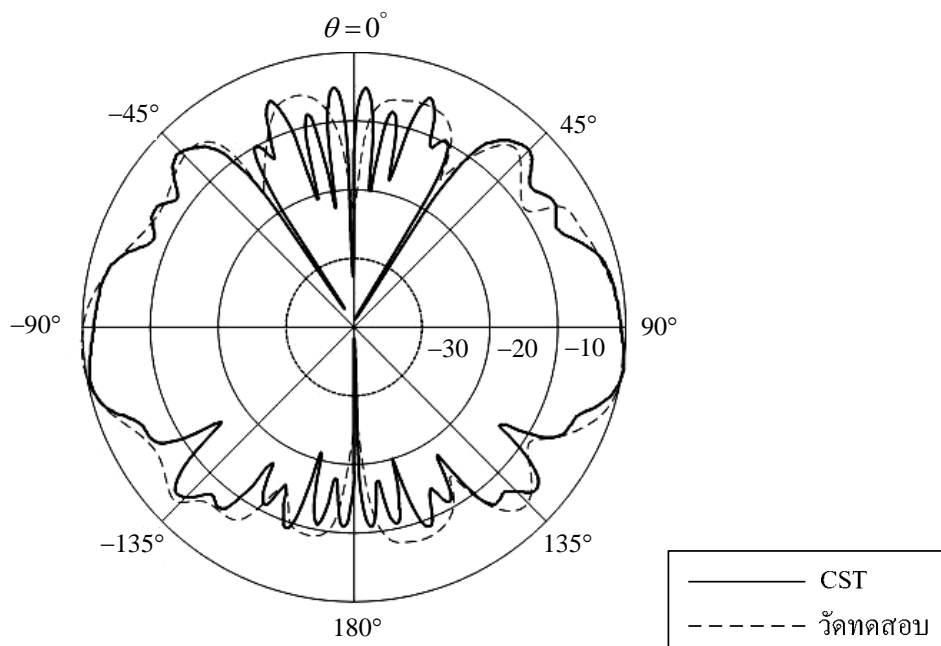
จากรูปที่ 4.8 แสดงวิธีการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน โดยทำการทดสอบในระยะสนามระยะไกล คือ $R \geq 2D^2 / \lambda$ ซึ่ง R คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศทดสอบและสายอากาศอ้างอิง โดยการทดสอบนี้ได้กำหนดให้ระยะทางมีค่าคงที่ที่ความถี่สูงสุดมีค่าเท่ากับ 82.65 เซนติเมตร และ D คือขนาดความกว้างของร่องเรียวของสายอากาศซึ่งมีค่าเท่ากับ 14.62 เซนติเมตร ซึ่งในที่นี้ได้ใช้สายอากาศร่องแบบเรียว โดยมีความถี่ปฏิบัติการอยู่ที่ 2 GHz ถึง 6 GHz หนึ่งอิลิเมนต์มาเป็นสายอากาศอ้างอิงทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาคส่ง และสายอากาศแถวลำดับวงกลมที่นำมาทดสอบทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาครับ ซึ่งจะมีการหมุนรอบแนวแกนหมุนเพื่อรับคลื่นจากมุม 0 องศาจนถึงมุม 360 องศา โดยได้ทำการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับวงกลมทั้งมีและไม่มีแผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่าง และได้แสดงกราฟเปรียบเทียบกันของผลวัดทดสอบที่ได้ เพื่อแสดงให้เห็นว่าเมื่อนำแผ่นอะลูมิเนียมมาปิดด้านบนและล่างของสายอากาศแถวลำดับวงกลมจะทำให้สายอากาศมีแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบแม่เหล็กที่กว้างมากขึ้น ครอบคลุมพื้นที่มากขึ้น ซึ่งตรงตามวัตถุประสงค์ของการออกแบบ



รูปที่ 4.8 วิธีการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน

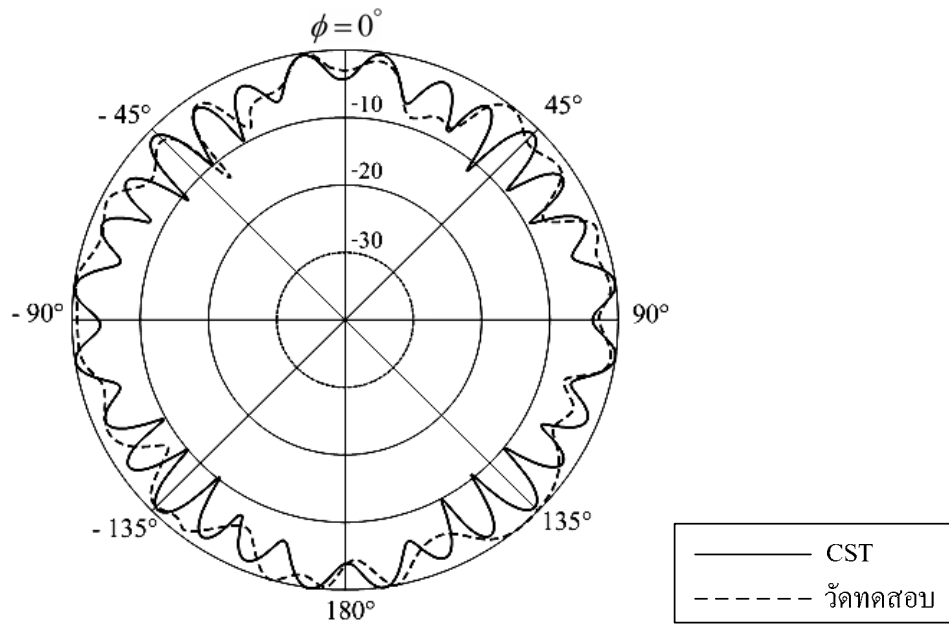
4.5.1 ผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับวงกลม

จากผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับวงกลมที่ไม่มีแผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่างของสายอากาศ ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก แสดงดังรูปที่ 4.9(ก) ถึง (ง) ตามลำดับ ซึ่งได้แสดงเป็นกราฟเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST และผลจากการวัดทดสอบ

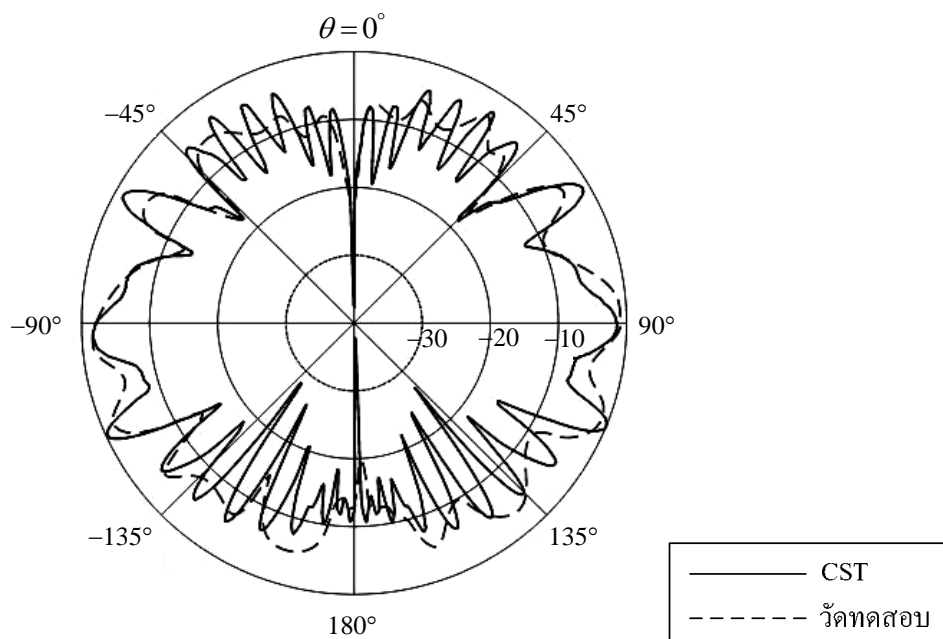


(ก) ระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 2.45 GHz

รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสายอากาศแถวลำดับวงกลม
ที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST และการวัดทดสอบ

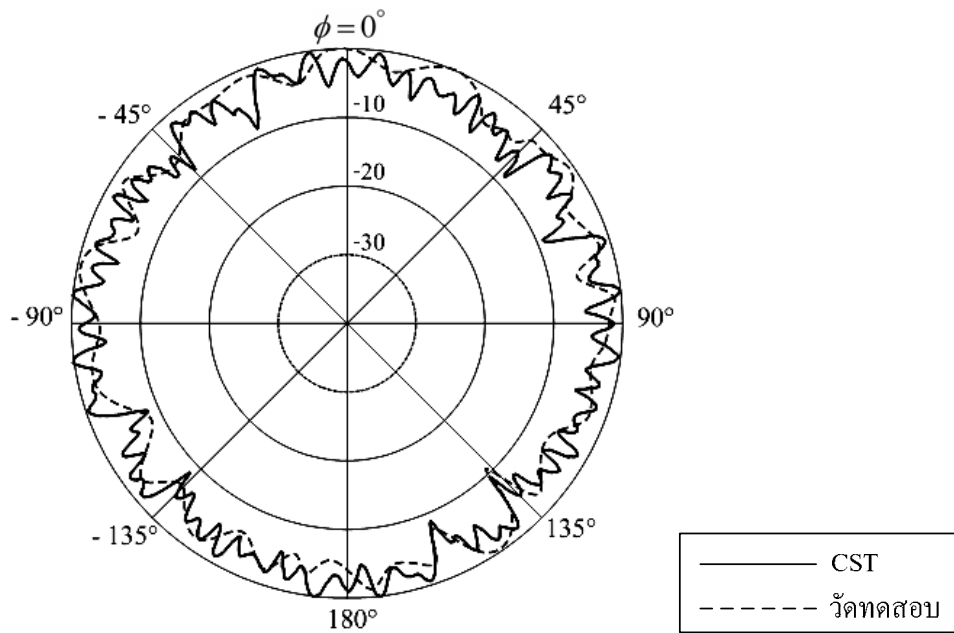


(ข) ระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 2.45 GHz

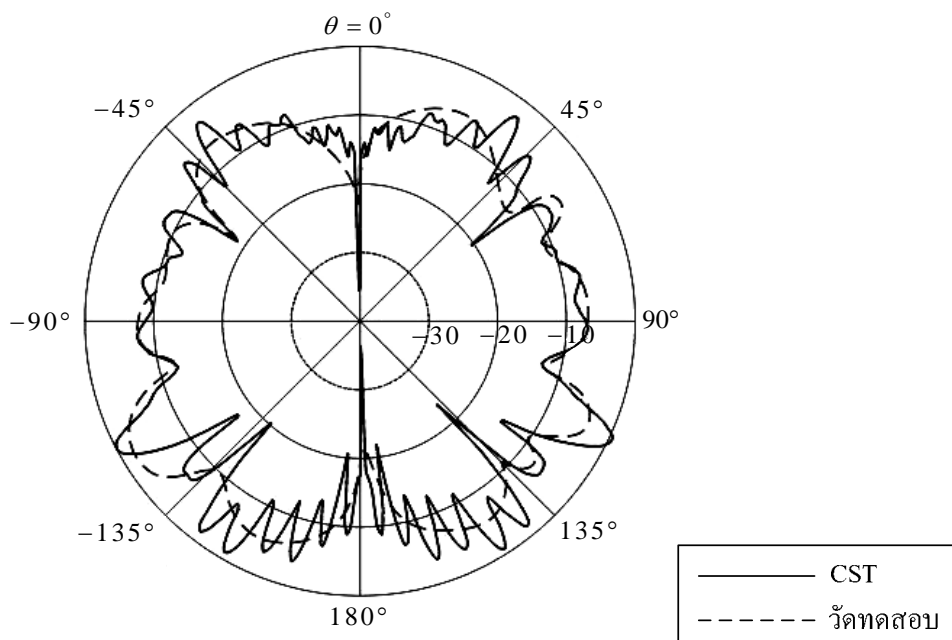


(ค) ระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 5.25 GHz

รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสายอากาศแฉวลำดับวงกลม
ที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST และการวัดทดสอบ (ต่อ)

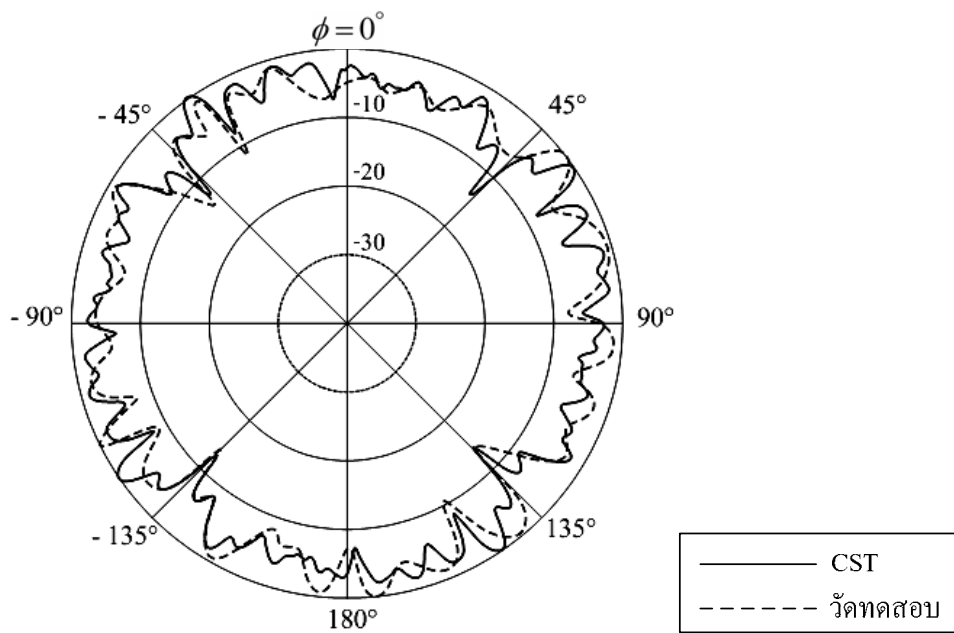


(ง) ระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 5.25 GHz



(จ) ระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 5.8 GHz

รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสายอากาศแถวลำดับวงกลม
ที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST และการวัดทดสอบ (ต่อ)

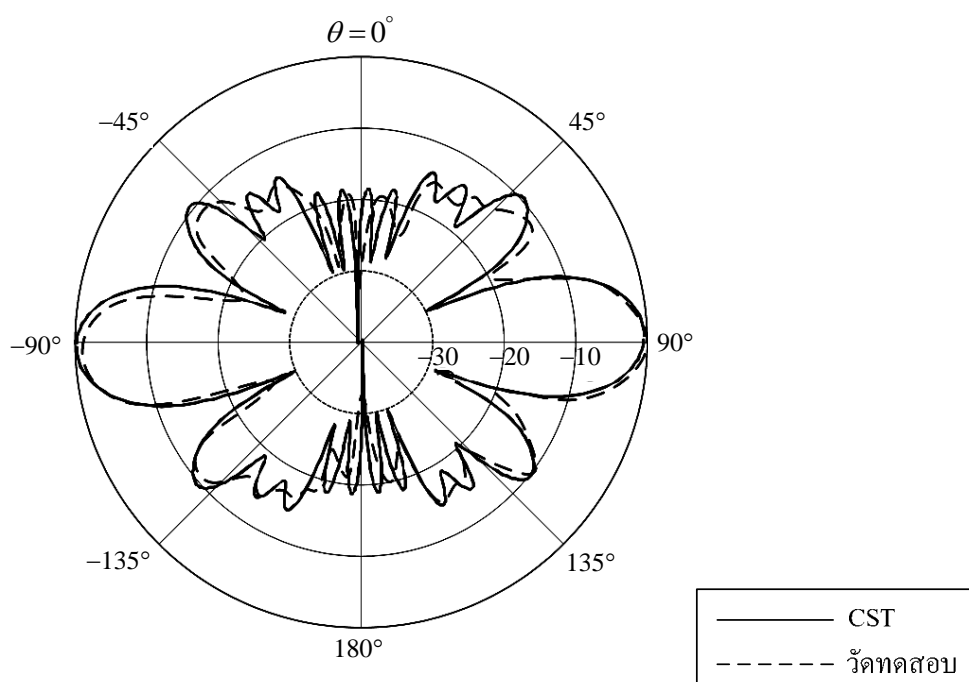


(จ) ระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 5.8 GHz

รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสายอากาศแถวลำดับวงกลม
ที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST และการวัดทดสอบ (ต่อ)

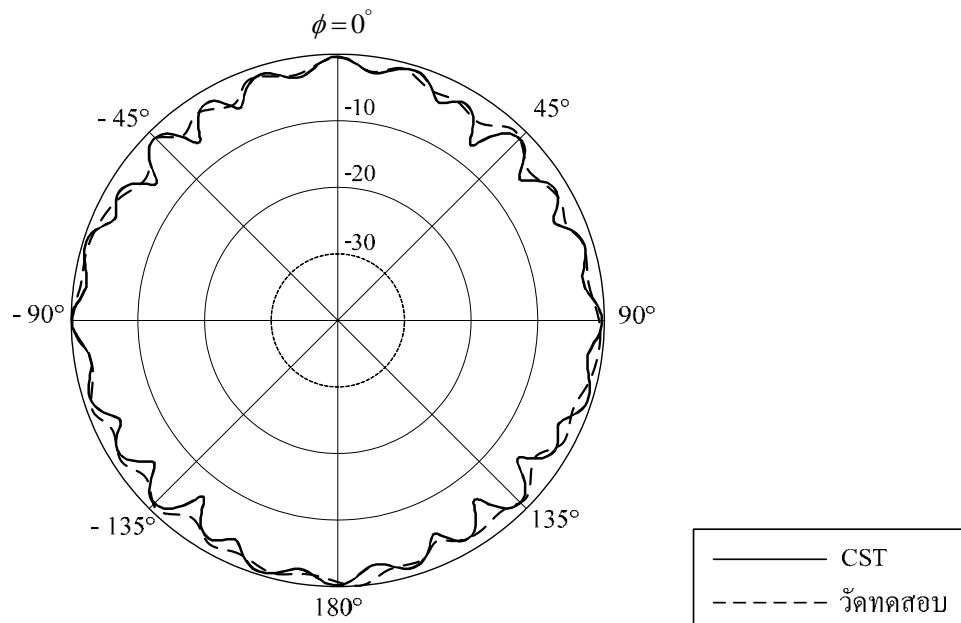
4.5.2 ผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับวงกลมที่มีแผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่างของสายอากาศ

รูปที่ 4.10(ก) ถึง (จ) แสดงผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับวงกลมที่มีแผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่างของสายอากาศ ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก ซึ่งได้แสดงเป็นกราฟเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST และผลจากการวัดทดสอบ

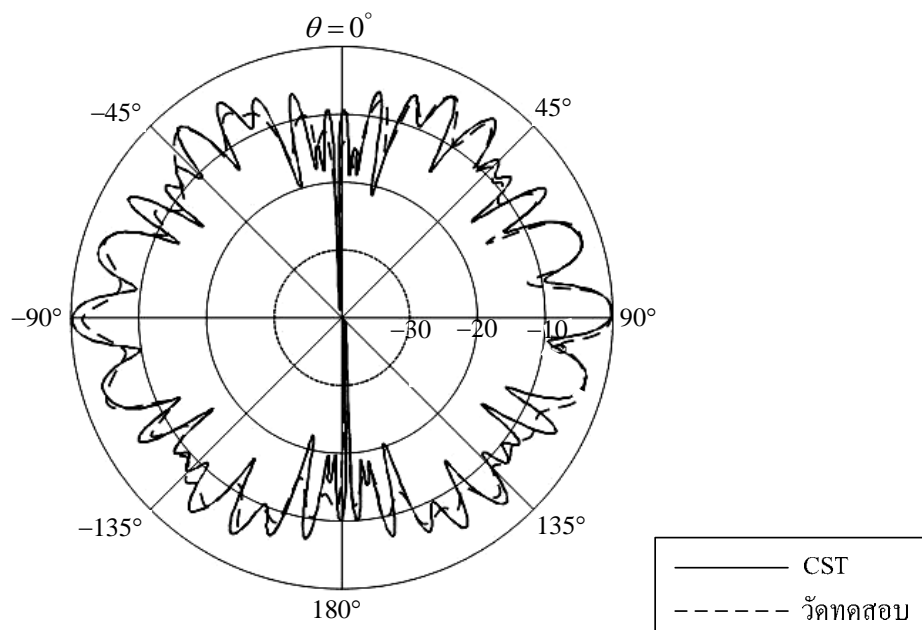


(ก) ระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 2.45 GHz

รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบ ซึ่งได้ผลจากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST และการวัดทดสอบ

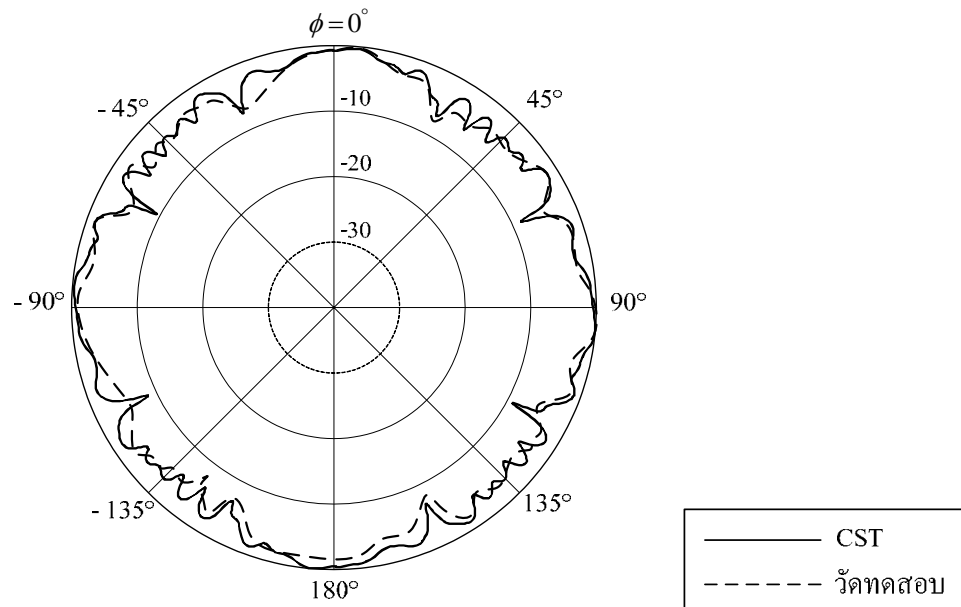


(จ) ระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 2.45 GHz

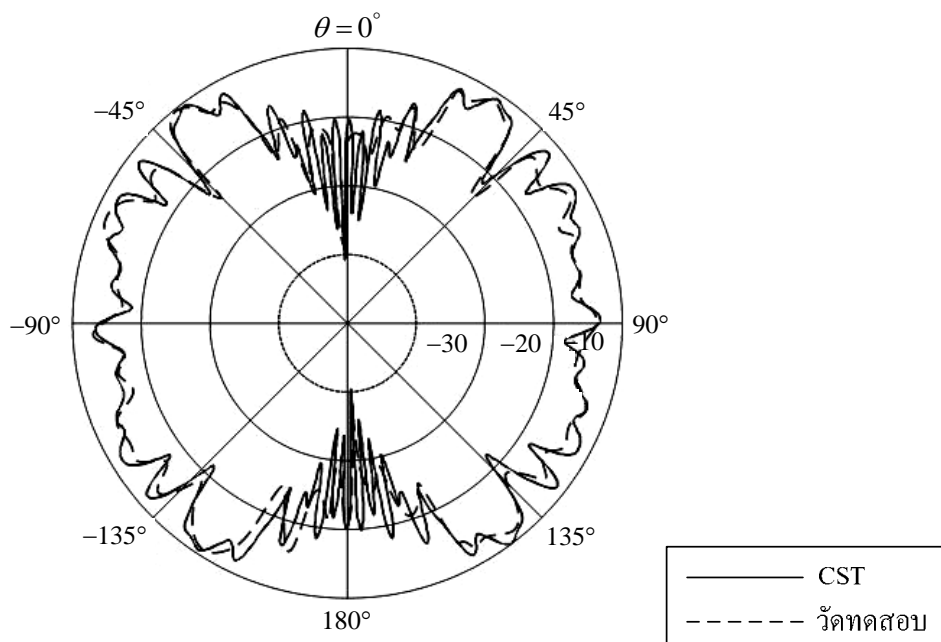


(ค) ระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 5.25 GHz

รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสายอากาศแฉวลำดับวงกลมด้นแบบ
ซึ่งได้ผลจากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST และการวัดทดสอบ (ต่อ)

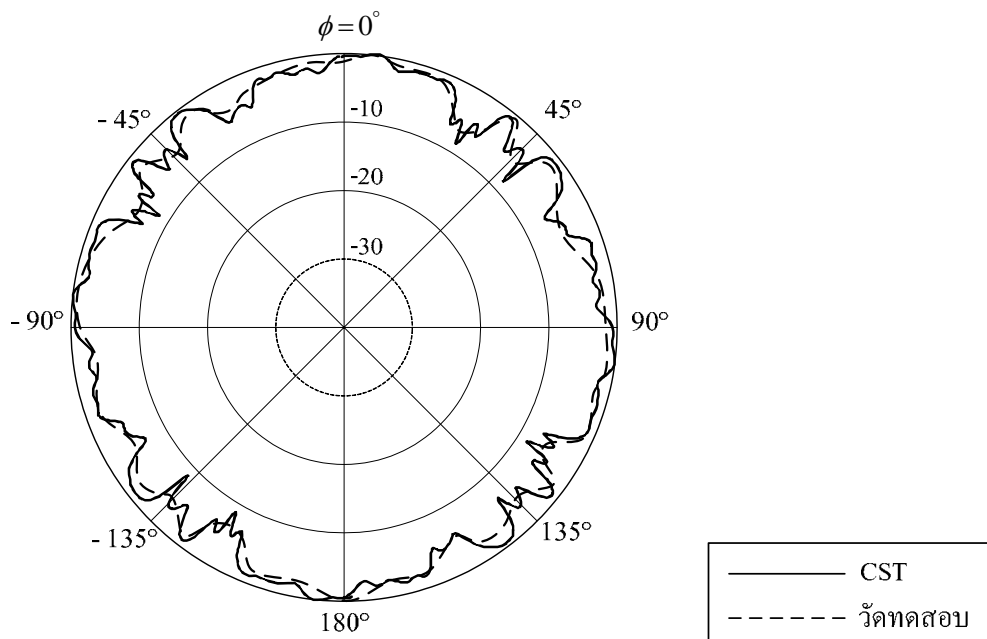


(ง) ระบายสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 5.25 GHz



(จ) ระบายสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 5.8 GHz

รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสายอากาศแฉวลำดับวงกลมต้นแบบ
ซึ่งได้ผลจากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST และการวัดทดสอบ (ต่อ)

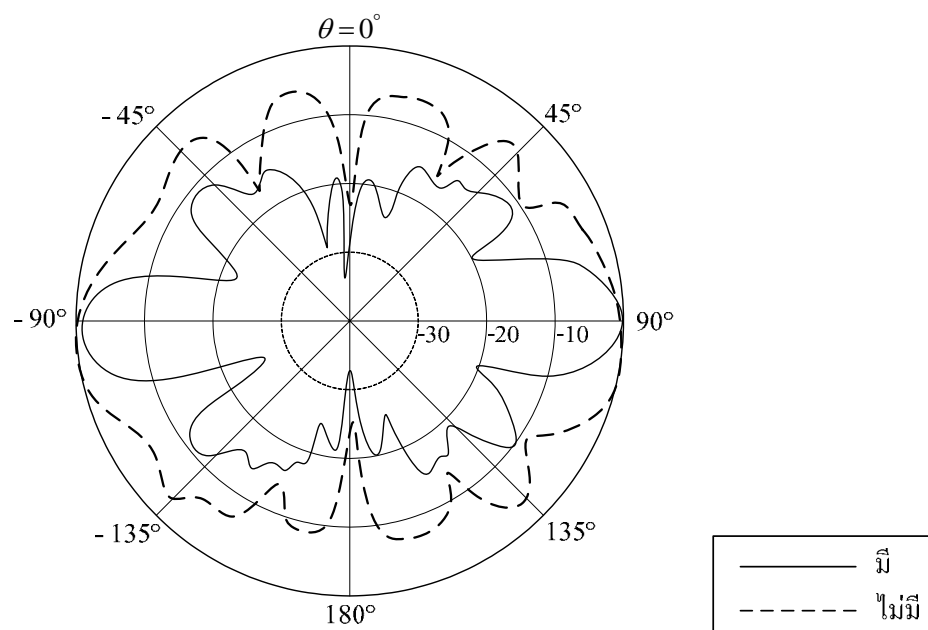


(ค) ระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 5.8 GHz

รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสายอากาศแฉวลำดับวงกลมต้นแบบ
ซึ่งได้ผลจากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST และการวัดทดสอบ (ต่อ)

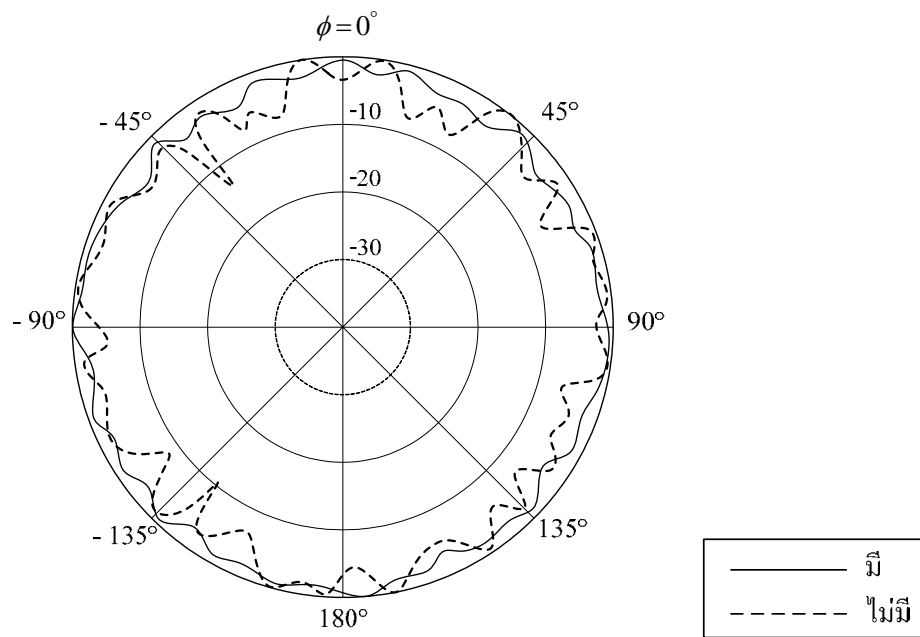
4.5.3 ผลเปรียบเทียบการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานระหว่างสายอากาศแฉว ลำดับวงกลมที่มีและไม่มีแผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่างของสายอากาศ

รูปที่ 4.11(ก) ถึง (ค) แสดงผลเปรียบเทียบการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแฉวลำดับวงกลมที่มีและไม่มีแผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่างของสายอากาศ ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก จากผลการเปรียบเทียบจะเห็นว่าสายอากาศแฉวลำดับวงกลมที่มีแผ่นอะลูมิเนียมมาปิดด้านบนและล่างของสายอากาศ จะมีแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบแม่เหล็กที่มีระดับของสัญญาณเฉลี่ยไม่แตกต่างกันในแต่ละมุม ส่งผลให้สามารถครอบคลุมพื้นที่ได้กว้างกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจากแผ่นอะลูมิเนียมจะทำหน้าที่ในการบีบลำคลื่นทั้งด้านบนและด้านล่างของสายอากาศให้มาเสริมกันกับลำคลื่นด้านหน้า ทำให้ลำคลื่นที่ได้ในระนาบสนามแม่เหล็กกว้างมากขึ้น และยังมีอะลูมิเนียมทรงกระบอกที่แกนกลางของสายอากาศแฉวลำดับวงกลมทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อนคลื่นพูลหลังให้แก่กระจายออกไปด้านหน้า ซึ่งจะเสริมกัน ส่งผลให้สายอากาศแฉวลำดับวงกลมมีอัตราขยายที่เพิ่มขึ้น

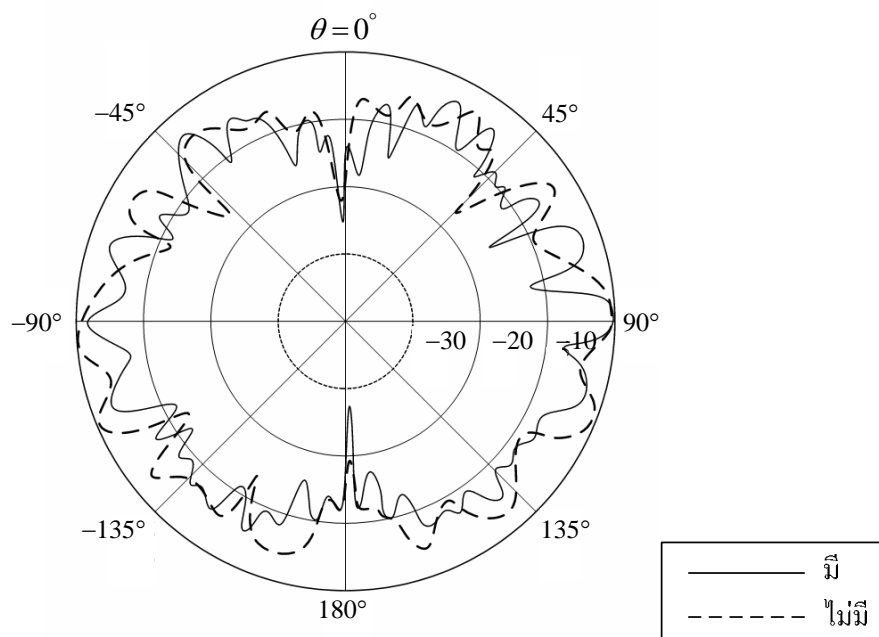


(ก) ระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 2.45 GHz

รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแฉวลำดับวงกลมระหว่างมีและไม่มีแผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่าง

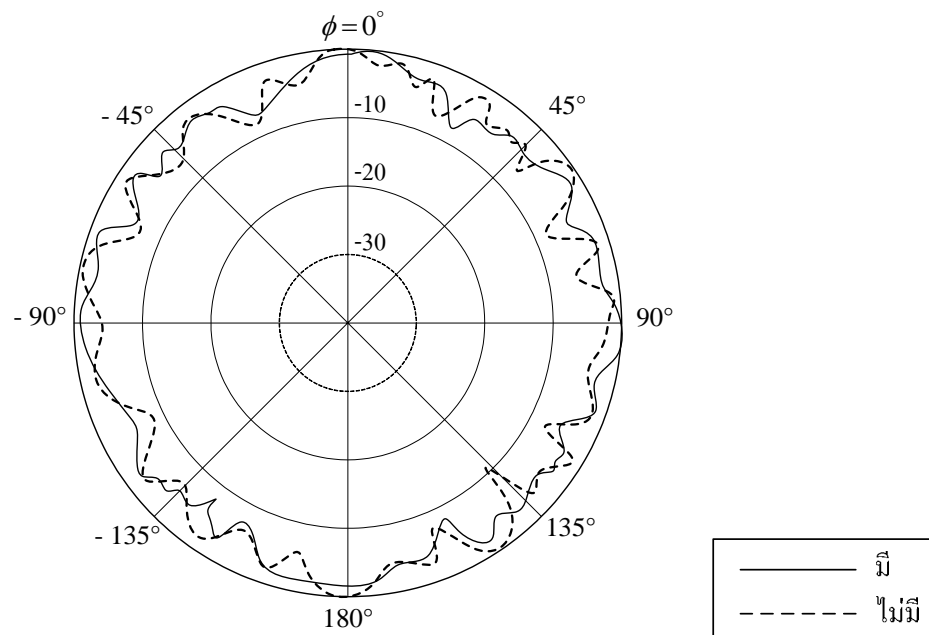


(จ) ระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 2.45 GHz

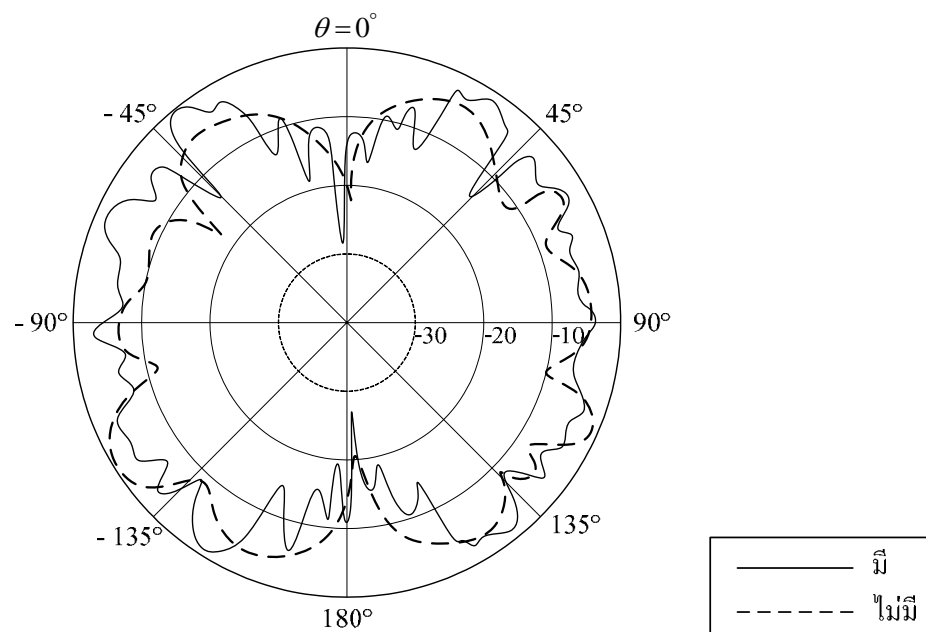


(ค) ระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 5.25 GHz

รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับวงกลมระหว่างมีและไม่มีแผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่าง (ต่อ)

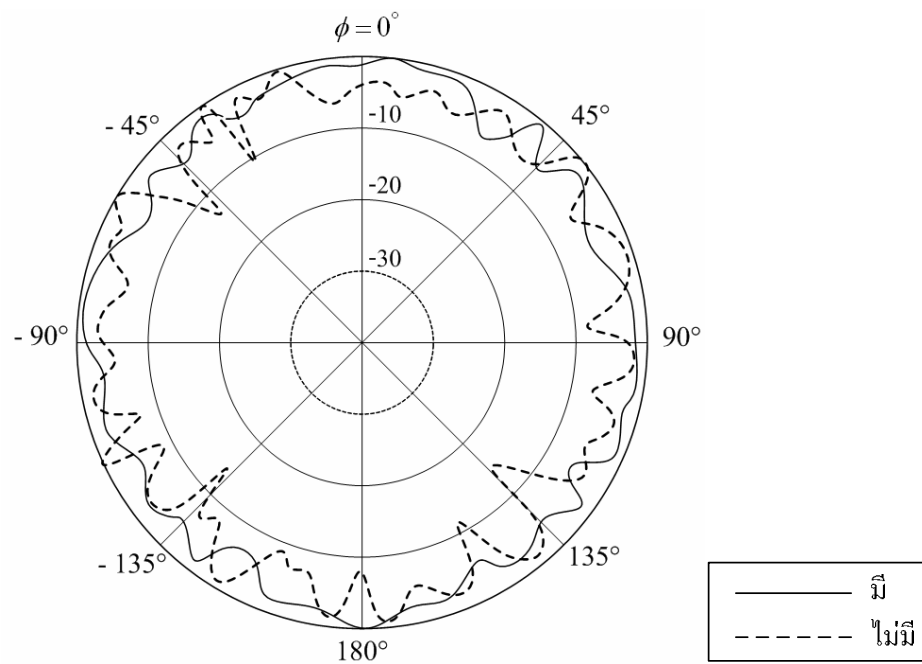


(ง) ระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 5.25 GHz



(จ) ระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 5.8 GHz

รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแฉกดำดับ
วงกลมระหว่างมีและไม่มีแผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่าง (ต่อ)

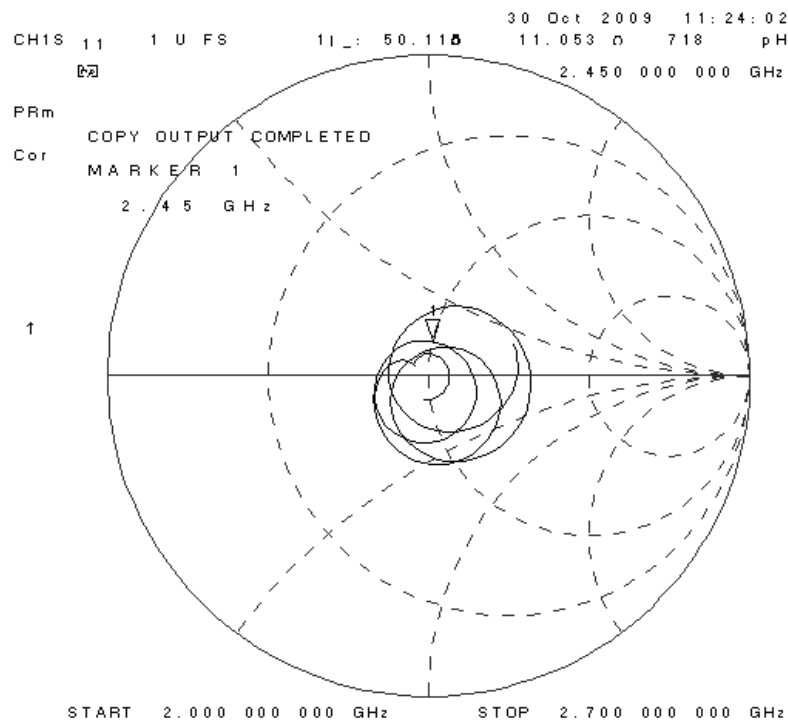


(จ) ระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 5.8 GHz

รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแฉวลำดับวงกลมระหว่างมีและไม่มีแผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่าง (ต่อ)

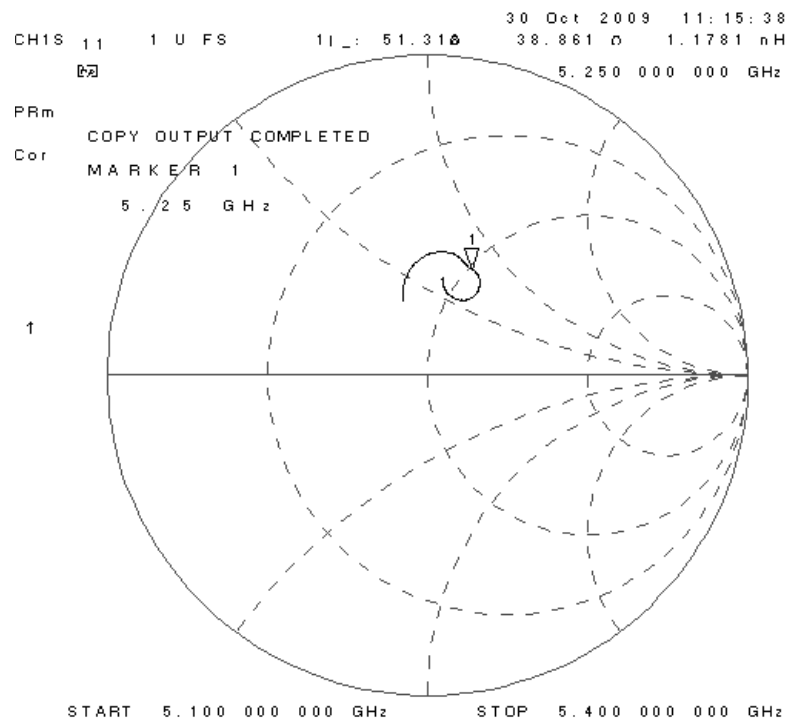
4.6 ผลการวัดทดสอบค่าอิมพีแดนซ์

จากการวัดทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบโดยทำการแมตช์ด้วยวงจรแบ่งกำลัง ซึ่งอ้างอิงมาจากทฤษฎีการแบ่งกำลังของวิลคินสัน (Wilkinson divider) ทำหน้าที่ในการป้อนกำลังให้แก่สายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบ จากรูปที่ 4.12 แสดงผลการวัดทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย โดยที่ความถี่ 2.45 GHz 5.25 GHz และ 5.8 GHz มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ $50.11 + j11.05$ โอห์ม $51.31 + j38.86$ โอห์ม และ $49.97 + j50.74$ โอห์ม ดังรูปที่ 4.12(ก) (ข) และ (ค) ตามลำดับ



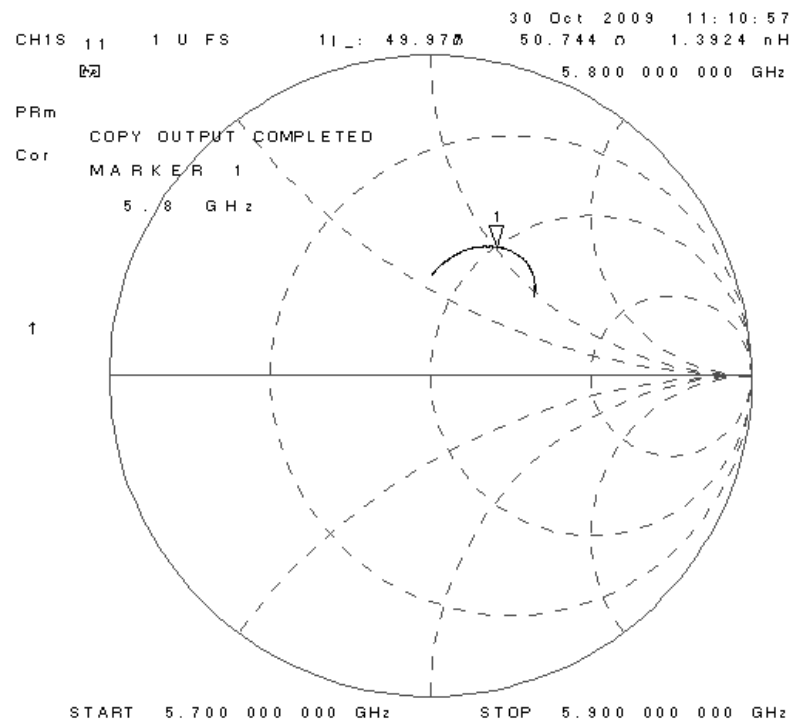
(ก) ค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าที่ความถี่ 2.45 GHz

รูปที่ 4.12 ค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าจากการวัดทดสอบ



(ข) ค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าที่ความถี่ 5.25 GHz

รูปที่ 4.12 ค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าจากการวัดทดสอบ (ต่อ)



(ค) ค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าที่ความถี่ 5.8 GHz

รูปที่ 4.12 ค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าจากการวัดทดสอบ (ต่อ)

4.7 ผลการวัดทดสอบอัตราขยาย

สำหรับการวัดอัตราขยายของสายอากาศแกลวลำดับวงกลมนั้นในขั้นตอนแรกได้ทำการวัดอัตราขยายของสายอากาศร่องแบบเรียว เพื่อหาอัตราขยายของสายอากาศเพียงอีลิเมนต์เดียวแสดงดังรูปที่ 4.13 ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้สายอากาศสองตัว (two-antenna method) ที่มีลักษณะเหมือนกันสำหรับการวัดทดสอบ โดยตัวหนึ่งใช้ทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาคส่งและอีกตัวหนึ่งที่เหลือจะเป็นสายอากาศภาครับ



รูปที่ 4.13 วิธีการวัดทดสอบอัตราขยายของสายอากาศหนึ่งอีลิเมนต์

จากนั้นใช้สมการการส่งผ่านของฟรีส (Friis transmission equation) เป็นพื้นฐานในการคำนวณหาอัตราขยายของสายอากาศหนึ่งอีลิเมนต์ โดยสมการการส่งผ่านของฟรีสที่นำมาใช้เท่ากับ

$$\frac{P_r}{P_t} = \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 G_t G_r \quad (4.3)$$

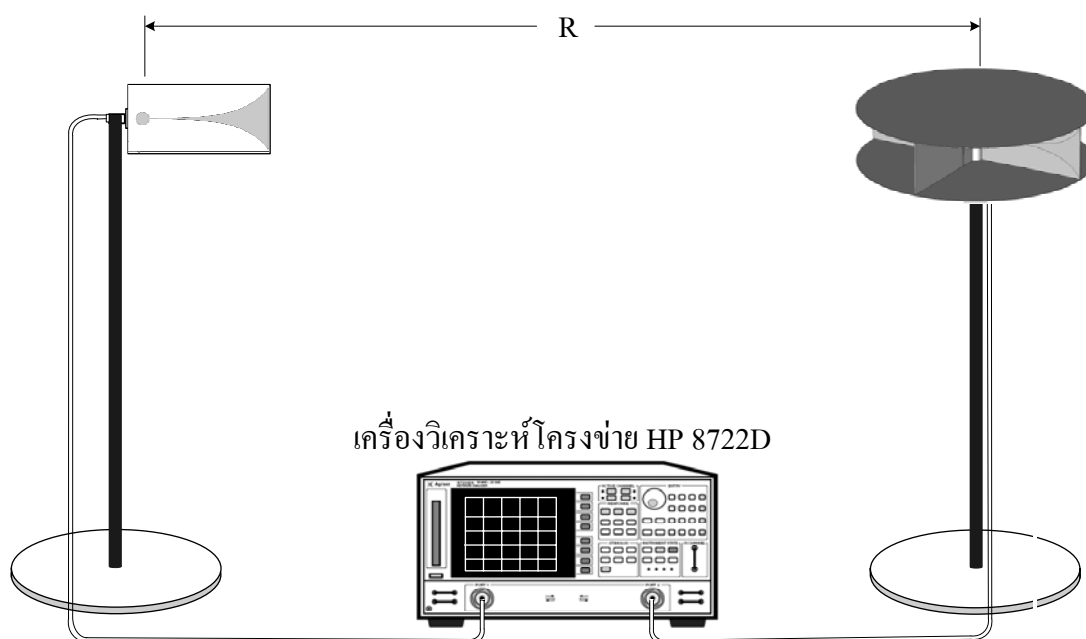
$$G_{dB} = \left(\frac{P_{r,dB} - P_{t,dB} + Loss}{2} \right) \quad (4.4)$$

$$G_{dB} = \left(\frac{P_{r_{dB}} - P_{t_{dB}} + 20 \log \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right)}{2} \right) \quad (4.5)$$

$$G_{r_{dB}} = P_{r_{dB}} - P_{t_{dB}} - G_{t_{dB}} + 20 \log \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) \quad (4.6)$$

- โดยที่
- P_t คือ กำลังที่ป้อนให้กับสายอากาศส่ง (-10 dB)
 - P_r คือ กำลังที่รับได้จากสายอากาศรับ
 - G_{dB} คือ อัตราขยายรวมของสายอากาศส่งและสายอากาศรับ
เมื่อสายอากาศทั้งสองตัวมีลักษณะเหมือนกัน
 - G_t คือ อัตราขยายของสายอากาศส่ง
 - G_r คือ อัตราขยายของสายอากาศรับ
 - R คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ ($82.65 \times 10^{-2} \text{ m}$)

และในขั้นตอนต่อมาได้ทำการวัดอัตราขยายของสายอากาศแฉวลำดับวงกลมแสดงดังรูปที่ 4.14 โดยกำหนดให้สายอากาศร่องแบบเรียวเป็นสายอากาศภาคส่งและสายอากาศแฉวลำดับวงกลมเป็นสายอากาศภาครับ ซึ่งได้ใช้เครื่องวิเคราะห์โคร่งข่ายวัดกำลังไฟฟ้าที่รับได้โดยกำหนดระยะทางระหว่างสายอากาศภาคส่งและสายอากาศภาครับที่ใช้ในการวัดทดสอบเท่ากับ 82.65 เซนติเมตร ทั้งที่ความถี่ 2.45 GHz 5.25 GHz และ 5.8 GHz มีกำลังด้านเข้าที่ป้อนให้กับสายอากาศภาคส่งเท่ากับ -10 dB



รูปที่ 4.14 วิธีการวัดทดสอบอัตราขยายของสายอากาศแฉวลำดับวงกลม

4.7.1 ผลการวัดทดสอบอัตราขยายของสายอากาศร่องแบบเรียบหนึ่งอีลิเมนต์

จากสมการ (4.5) สามารถคำนวณหาอัตราขยายของสายอากาศร่องแบบเรียบไว้ได้
ดังนี้ และแสดงค่าไว้ดังตารางที่ 4.1

ที่ความถี่ 2.45 GHz

$$G_{dB} = \left(\frac{(-28.31 \text{ dB}) - (-10 \text{ dB}) + 20 \log \left(\frac{4 \times \pi \times (82.65 \times 10^{-2})}{3 \times 10^8 / 2.45 \times 10^9} \right)}{2} \right) = 10.13 \text{ dB}$$

ที่ความถี่ 5.25 GHz

$$G_{dB} = \left(\frac{(-39.55 \text{ dB}) - (-10 \text{ dB}) + 20 \log \left(\frac{4 \times \pi \times (82.65 \times 10^{-2})}{3 \times 10^8 / 5.25 \times 10^9} \right)}{2} \right) = 7.82 \text{ dB}$$

ที่ความถี่ 5.8 GHz

$$G_{dB} = \left(\frac{(-42.52 \text{ dB}) - (-10 \text{ dB}) + 20 \log \left(\frac{4 \times \pi \times (82.65 \times 10^{-2})}{3 \times 10^8 / 5.8 \times 10^9} \right)}{2} \right) = 6.77 \text{ dB}$$

ตารางที่ 4.1 ค่าอัตราขยายของสายอากาศร่องแบบเรียบหนึ่งอีลิเมนต์

| คุณลักษณะของสายอากาศ | แถบความถี่ | | |
|----------------------|------------|----------|---------|
| | 2.45 GHz | 5.25 GHz | 5.8 GHz |
| อัตราขยาย (dB) | 10.13 | 7.82 | 6.77 |

4.7.2 ผลการวัดทดสอบอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับวงกลม

จากสมการ (4.6) สามารถคำนวณหาอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับวงกลมที่ไม่มีแผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่างได้ดังนี้

ที่ความถี่ 2.45 GHz

$$G_{\text{dB}} = (-30.41 \text{ dB}) - (-10 \text{ dB}) - (10.13 \text{ dB}) + 20 \log \left(\frac{4 \times \pi \times (82.65 \times 10^{-2})}{3 \times 10^8 / 2.45 \times 10^9} \right) = 8.03 \text{ dB}$$

ที่ความถี่ 5.25 GHz

$$G_{\text{dB}} = (-40.45 \text{ dB}) - (-10 \text{ dB}) - (7.82 \text{ dB}) + 20 \log \left(\frac{4 \times \pi \times (82.65 \times 10^{-2})}{3 \times 10^8 / 5.25 \times 10^9} \right) = 6.92 \text{ dB}$$

ที่ความถี่ 5.8 GHz

$$G_{\text{dB}} = (-43.46 \text{ dB}) - (-10 \text{ dB}) - (6.77 \text{ dB}) + 20 \log \left(\frac{4 \times \pi \times (82.65 \times 10^{-2})}{3 \times 10^8 / 5.8 \times 10^9} \right) = 5.83 \text{ dB}$$

จากผลการคำนวณจะได้ค่าอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับวงกลมที่ไม่มีแผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่างจากการวัดทดสอบเปรียบเทียบกับผลจากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST ซึ่งแสดงไว้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับวงกลม

| คุณลักษณะของสายอากาศ | แถบความถี่ | | |
|---------------------------|------------|----------|---------|
| | 2.45 GHz | 5.25 GHz | 5.8 GHz |
| อัตราขยาย (dB) (CST) | 8.6 | 7.39 | 6.14 |
| อัตราขยาย (dB) (วัดทดสอบ) | 8.03 | 6.92 | 5.83 |

4.7.3 ผลการวัดทดสอบอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับวงกลมที่มีแผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่าง

จากสมการ (4.6) สามารถคำนวณหาอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับวงกลมที่มีแผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่างได้ดังนี้

ที่ความถี่ 2.45 GHz

$$G_{r_{dB}} = (-26.83 \text{ dB}) - (-10 \text{ dB}) - (10.13 \text{ dB}) + 20 \log \left(\frac{4 \times \pi \times (82.65 \times 10^{-2})}{3 \times 10^8 / 2.45 \times 10^9} \right) = 11.61 \text{ dB}$$

ที่ความถี่ 5.25 GHz

$$G_{r_{dB}} = (-38.13 \text{ dB}) - (-10 \text{ dB}) - (7.82 \text{ dB}) + 20 \log \left(\frac{4 \times \pi \times (82.65 \times 10^{-2})}{3 \times 10^8 / 5.25 \times 10^9} \right) = 9.24 \text{ dB}$$

ที่ความถี่ 5.8 GHz

$$G_{r_{dB}} = (-41.49 \text{ dB}) - (-10 \text{ dB}) - (6.77 \text{ dB}) + 20 \log \left(\frac{4 \times \pi \times (82.65 \times 10^{-2})}{3 \times 10^8 / 5.8 \times 10^9} \right) = 7.8 \text{ dB}$$

จากผลการคำนวณจะได้ค่าอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับวงกลมที่มีแผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่างจากการวัดทดสอบเปรียบเทียบกับผลจากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST ซึ่งแสดงไว้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับวงกลมที่มีแผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่าง

| คุณลักษณะของสายอากาศ | แถบความถี่ | | |
|---------------------------|------------|----------|---------|
| | 2.45 GHz | 5.25 GHz | 5.8 GHz |
| อัตราขยาย (dB) (CST) | 12.01 | 9.92 | 8.18 |
| อัตราขยาย (dB) (วัดทดสอบ) | 11.69 | 9.24 | 7.8 |

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าอัตราขยายจากผลการวัดทดสอบของสายอากาศแกลวลำดับวงกลมระหว่างมีและไม่มีแผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่าง ซึ่งจะเห็นได้ว่าสายอากาศแกลวลำดับวงกลมที่มีแผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่างจะมีค่าอัตราขยายที่สูงกว่า

ตารางที่ 4.4 ค่าอัตราขยายจากผลการวัดทดสอบของสายอากาศแกลวลำดับวงกลมระหว่างมีและไม่มีแผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่าง

| ความถี่ (GHz) | สายอากาศแกลวลำดับวงกลมไม่มี แผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่าง | สายอากาศแกลวลำดับวงกลมมีแผ่น อะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่าง |
|---------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| | อัตราขยาย (dB) | อัตราขยาย (dB) |
| 2.45 | 8.03 | 11.69 |
| 5.25 | 6.92 | 9.24 |
| 5.80 | 5.78 | 7.8 |

4.8 สรุป

ในบทนี้ได้แสดงการสร้าง และการวัดทดสอบคุณลักษณะสมบัติของสายอากาศแฉวลำดับ วงกลมตันแบบ ทั้งนี้เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดทดสอบ และจากการจำลองผล ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST ว่ามีความสอดคล้องกันมากน้อยเพียงใด ซึ่งคุณลักษณะของ สายอากาศที่ได้ทำการวัดทดสอบได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ อัตราส่วนคลื่นนิ่ง แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในสนามระยะไกลทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบ สนามแม่เหล็ก ค่าอิมพีแดนซ์ และอัตราขยาย พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ อัตราส่วนคลื่น นิ่ง แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแฉวลำดับวงกลมตันแบบในสนามระยะไกล และ อัตราขยายมีผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST และจากการวัดทดสอบคล้ายคลึง กัน สำหรับผลบางส่วนที่แตกต่างกันซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจากข้อจำกัดของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ ในการจำลองผล ตลอดจนผลที่เกิดจากการวัดทดสอบในสภาพจริง โดยในการเปรียบเทียบผลที่ได้ จากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST และจากการวัดทดสอบได้แสดงกราฟเปรียบเทียบ ทั้งหมดไว้ในภาคผนวก ก

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์คุณลักษณะของสายอากาศแถวลำดับวงกลม โดยใช้ร่องแบบเรียว ซึ่งได้นำสายอากาศร่องแบบเรียวมาจัดแถวลำดับแบบวงกลมจำนวน 4 อิลิเมนต์ เพื่อเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศ และปรับแบบรูปการแผ่พลังงานเป็นแบบรอบตัวในระนาบเดียว ซึ่งมีลักษณะของการกระจายคลื่นรอบ ๆ สายอากาศในระนาบอะซิมุท โดยคลื่นจะถูกแผ่กระจายออกไปทุกทิศทาง ทำให้สามารถครอบคลุมพื้นที่บริการได้มากขึ้น สำหรับขั้นตอนในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของสายอากาศร่องแบบเรียวในวิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาหารูปแบบของสายอากาศร่องแบบเรียว สำหรับการประยุกต์ใช้งานในเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย จากนั้นวิเคราะห์หารูปแบบการจัดแถวลำดับของสายอากาศร่องแบบเรียว เพื่อให้สายอากาศแถวลำดับมีคุณสมบัติเป็นสายอากาศแบบรอบตัวในระนาบเดียว และวิเคราะห์หาอัตราขยายสูงสุดของสายอากาศแถวลำดับวงกลม ด้วยการปรับระยะห่างระหว่างสายอากาศร่องแบบเรียวที่เหมาะสมในการจัดแถวลำดับ และการเพิ่มแผ่นอะลูมิเนียมปิดด้านบนและล่างของสายอากาศแถวลำดับวงกลมตลอดจนการเพิ่มตัวสะท้อนอะลูมิเนียมรูปทรงกระบอก

สำหรับการออกแบบสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบในวิทยานิพนธ์นี้ ในเบื้องต้นได้ออกแบบหาสายอากาศร่องแบบเรียวต้นแบบ โดยการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้สายอากาศร่องแบบเรียวที่มีความถี่ปฏิบัติการครอบคลุมช่วงความถี่ตั้งแต่ 2 GHz ถึง 6 GHz ซึ่งสามารถรองรับมาตรฐาน IEEE 802.11 a/b/g ได้ จากนั้นนำสายอากาศร่องแบบเรียวต้นแบบมาจัดแถวลำดับแบบวงกลม จำนวน 4 อิลิเมนต์ เพื่อให้สายอากาศแถวลำดับวงกลมมีแบบรูปการแผ่พลังงานเป็นแบบรอบตัวในระนาบเดียว โดยมีระยะห่างระหว่างสายอากาศร่องแบบเรียวที่เหมาะสมในการจัดแถวลำดับวงกลมจะส่งผลให้สายอากาศมีอัตราขยายสูงสุด โดยได้เลือกใช้โปรแกรมสำเร็จรูป CST ในการออกแบบเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของสายอากาศแถวลำดับวงกลมก่อน สำหรับรายละเอียดในการออกแบบและการวิเคราะห์ทั้งหมดได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 4 จากตารางที่ 5.1 เป็นการสรุปคุณลักษณะสมบัติของสายอากาศแถวลำดับวงกลม โดยใช้ร่องแบบเรียว ซึ่งเมื่อพิจารณาความกว้างแถบที่ได้จากความต้องการที่จะนำไปใช้งานด้านการสื่อสารแบบไร้สายที่ตั้งเป้าหมายไว้นั้น และอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบ

เมื่อนำผลที่ได้จากการจำลองผลด้วย โปรแกรมสำเร็จรูป CST และจากการวัดทดสอบมาเปรียบเทียบกันพบว่ามีความใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 5.1 คุณลักษณะสมบัติของสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบ

| คุณลักษณะของสายอากาศ | แถบความถี่ | | |
|---------------------------|----------------------------------|----------|---------|
| | 2.45 GHz | 5.25 GHz | 5.8 GHz |
| ความกว้างแถบ (CST) | (1.8 GHz ถึง 6 GHz) 4.2 GHz | | |
| ความกว้างแถบ (วัดทดสอบ) | (1.8 GHz ถึง 6.1 GHz) 4.3 GHz | | |
| อัตราขยาย (dB) (CST) | 12.01 | 9.92 | 8.18 |
| อัตราขยาย (dB) (วัดทดสอบ) | 11.61 | 9.24 | 7.8 |

5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข

สำหรับปัญหาที่พบในการดำเนินการจัดทำวิทยานิพนธ์ คือ สายอากาศร่องแบบรีเวทที่ถูกสร้างจากวัสดุฐานรองของ FR-4 ซึ่งมีค่าไดอิเล็กตริกค่าต่ำ จึงทำให้สายอากาศร่องแบบรีเวทมีขนาดใหญ่กว่าความต้องการ และเมื่อนำมาจัดแถวลำดับแบบวงกลมแล้วจะยิ่งทำให้สายอากาศแถวลำดับวงกลมมีขนาดใหญ่ จึงแก้ปัญหาโดยการนำแผ่นอะลูมิเนียมมาปิดด้านบนและล่างของสายอากาศแถวลำดับวงกลม ซึ่งแผ่นอะลูมิเนียมนี้นอกจากจะช่วยทำให้สายอากาศแถวลำดับวงกลมมีความแข็งแรง สะดวกต่อการนำไปใช้งานแล้ว ยังช่วยเพิ่มอัตราขยายให้แก่สายอากาศแถวลำดับวงกลมอีกด้วย นอกจากนี้ยังได้ใช้อะลูมิเนียมรูปทรงกระบอกทำหน้าที่ในการยึดสายอากาศร่องแบบรีเวทที่ตำแหน่งแกนกลาง เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับสายอากาศแถวลำดับวงกลมมากขึ้น ทั้งนี้ อะลูมิเนียมรูปทรงกระบอกดังกล่าวยังทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อนคลื่นพูล์งอีกด้วย และปัญหาในเรื่องของการแมตซ์ตัวแบ่งกำลังงาน พบว่าตัวแบ่งกำลังงานที่ใช้ในการวัดทดสอบสายอากาศมีการแมตซ์ทั้ง 4 พอร์ตที่ไม่ใกล้เคียงกัน ซึ่งมีผลในการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานงานรวมของสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบ จึงได้แก้ไขโดยการทำให้เป็นบรรทัดฐานของผลวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

จากบทสรุปจะพบว่าในวิทยานิพนธ์สายอากาศแถวลำดับวงกลมโดยใช้ร่องแบบรีเวได้ถูกสร้างจากวัสดุฐานรองของ FR-4 ซึ่งมีค่าไดอิเล็กตริกค่าต่ำทำให้สายอากาศมีขนาดใหญ่ หากนำไปประยุกต์สร้างบนวัสดุฐานรองอื่นที่มีค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสูงกว่าเพื่อลดขนาดของสายอากาศลงมาก็จะเพิ่มความสะดวกในการนำไปประยุกต์ใช้งาน อีกทั้งเป็นการทดสอบคุณลักษณะสมบัติของสายอากาศที่มีต่อวัสดุฐานรองอีกด้วย สายอากาศแถวลำดับวงกลมโดยใช้ร่องแบบรีเวสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานในเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายได้ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 a/b/g และจะเป็นการดีอย่างยิ่งหากได้มีการนำโครงสร้างของสายอากาศนี้ไปประยุกต์ใช้งานจริงเพื่อพัฒนาสายอากาศต้นแบบนี้ให้มีความคุณสมบัติเป็นสายอากาศแบบรอบตัวในระนาบเดียวยาวมากที่สุด และสามารถพัฒนาออกแบบตัวสะท้อนที่ตำแหน่งแกนกลางของสายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบให้มีขนาดและรูปร่างที่เหมาะสม เปลี่ยนตัวสะท้อนจากรูปร่างทรงกระบอกเป็นรูปร่างอื่น ๆ อาทิเช่น รูปร่างสี่เหลี่ยม ที่สามารถสะท้อนคลื่นพหุหลังให้แผ่กระจายออกไปด้านหน้าได้ทั้งหมด ซึ่งอาจจะทำให้สายอากาศแถวลำดับวงกลมต้นแบบมีอัตราขยายที่เพิ่มขึ้นได้ ทั้งนี้สามารถพัฒนาต่อไปได้ขึ้นอยู่กับความสนใจและการประยุกต์ใช้งานในอนาคต

ในลำดับสุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังว่าแนวความคิด วิธีการศึกษาวิเคราะห์และออกแบบ รวมถึงผลการวิเคราะห์และผลการทดลองจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์เป็นแนวทางที่ดีให้แก่ผู้ที่สนใจศึกษาและค้นคว้าในเรื่องของสายอากาศร่องแบบรีเว ทั้งในรูปแบบโครงสร้างในวิทยานิพนธ์นี้ รวมถึงโครงสร้างแบบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องต่อไป

รายการอ้างอิง

- รังสรรค์ วงศ์สวรรค์ และ ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์. (ม.ป.ป.). คู่มือการทดลองพื้นฐานของ
สายอากาศ. สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- รังสรรค์ วงศ์สวรรค์. (2552). วิศวกรรมสายอากาศ. สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชา
วิศวกรรมศาสตร์ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- I-Fong Chen, Chia-Mei Peng, Sheng-Chieh Liang, "Single Layer Printed Monopole Antenna for
Dual ISM-Band Operation," **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, 53(2):
1270-1273, 2005.
- Taguchi, M., Egashira, S., Tanaka, K., "Sleeve Antenna with Ground Wires," **IEEE
Transactions on Antennas and Propagation**, 39(1): 1-7, 1991.
- James, J.D., and Hall, P.S. Handbook of Microstrip Antenna, Vol.1. London, 1989.
- Raviprakash Rajaraman, "Design of A Wideband Vivaldi Antenna Array for the Snow Radar,"
Technical Report CReSIS, 2001.
- Amena Kauser Syeda, "Design of a Wideband Vivaldi Antenna Array and Performance
Enhancement of Small Vivaldi Arrays Using Baffles," **Technical Report CReSIS TR
106**, 2006.
- Kai Fong Lee and Wei Chen, "Advance in Microstrip and Printed Antennas," **A Willet -
Interscience Publication**, John Wiley and Sons, INC., 1997.
- P. J. Gibson, "The Vivaldi Aerial," Proc. 9th European, **Microwave Conference**, pp. 101-105,
1979.
- Sreenivas Kasturi and Daniel H. Schaubert, "Effect of Dielectric Permittivity on Infinite Arrays
of Single-Polarized Vivaldi Antennas," **IEEE Transactions on Antennas and
Propagation**, 2006.
- E. De Lera, E. Garcia, E. Rajo, D. Segovia, "A coplanar Vivaldi antenna with wide band balun
proposal for the low frequency band of the SKA: approach to the FPA solution," **IEEE
MELECON**, 2006.

- Sang-Gyu Kim and Kai Chang, "Ultra Wideband 8 to 40 GHz Beam Scanning Phased Array using Antipodal Exponentially -Tapered Slot Antennas," **IEEE MTT-S Digest**, 2004.
- Adel Elsherbini, Cemin Zhang, Song Lin, Michael Kuhn, Aladin Kamel, Aly E. Fathy and Hadia Elhennawy, "UWB Antipodal Vivaldi Antennas with Protruded Dielectric Rods for Higher Gain, Symmetric Patterns and Minimal Phase Center Variations," **Antennas and Propagation International Symposium**, 2007.
- Aaron Zachary Hood, Tutku Karacolak, Erdem Topsakal, "A Small Antipodal Vivaldi Antenna for Ultra Wide Band Applications," **Antennas and Wireless Propagation Letters**, 2007.
- Marc C. Greenberg, Kathleen L. Virga and Cynthia L. Hammond, "Performance Characteristics of the Dual Exponentially Tapered Slot Antenna (DE TSA) for Wireless Communications Applications," **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, Vol. 52, No. 2, 2003.
- Adrian T. Sutinjo and Edwin Tung, "The Design of a Dual Polarized Vivaldi Array", **Microwave Journal**, 2004.
- H. Y. Wang et al, "Rigorous Analysis of Tapered Slot Antennas on dielectric substrates", **10th International Conference on Antennas and Propagation**, 1997.
- R. Janaswamy and D. H. Schaubert, "Analysis of the Tapered Slot Antenna", **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, Vol. AP-35, No. 9, 1987.
- Yngvesson et al, "The Tapered Slot Antenna – A new integrated element for millimeter-wave applications", **IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques**, Vol. 37, No. 2, Feb 1989, pp 365-374..
- Oraizi and Jam, "Optimum Design of Tapered Slot Antenna Profile", **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, Vol. 51, No. 8, Aug 2003, pp. 1987-1995.
- F. J. Zucker, "Surface and Leaky Wave Antennas", **Antenna Engineering Handbook**, Mc Graw Hill, 1961.
- R. Q. Lee and R. N. Simons, Chapter 9 in "**Advances in Microstrip and Printed Antennas**", John Wiley and Sons, 1997.
- R. Q. Lee and R. N. Simons, "Effect of Curvature on Tapered Slot Antennas", **IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium**, 1996.
- Richard Q. Lee, "Notch Antennas", **NASA Technical Report**, July 2004.

- Pranay Acharya et al, "Tapered Slotline Antennas at 802 GHz", **IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques**, Vol. 41, No. 10, Oct 1993, pp. 1715-1719.
- T. L. Korzeniowski, D. M. Pozar, D. H. Schaubert and K. S. Yngvesson, "Imaging System at 94 GHz using tapered slot antenna elements", **8th IEEE International Conference on Infrared and Millimeter Waves**, Miami Beach, Fl 1983.
- Yngvesson et al, "Endfire Tapered Slot Antennas on Dielectric Substrates", **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, Vol. AP-33, No. 12, Dec 1985, pp. 1392-1400.
- R. Q. Lee and Rainee N. Simons, "Overview of Tapered-Slot Antennas" **NASA Tech Report**, May 1998.
- K.C. Gupta, R. Garg and I. J. Bahl, "Microstrip Lines and Slotlines.", Artech House, 1996.
- Schuppert, "Microstrip/Slotline Transitions: Modeling and Experimental Investigation", **IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques**, Vol. 36, No. 8, Aug 1988.
- Simons, Dib, Lee and Katehi, "Integrated Uniplanar Transition for Linearly Tapered Slot Antenna", **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, Vol. 43, No. 9, 1995.
- E. Gazit, "Improved Design of the Vivaldi Antenna", **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, Apr 1998, pp. 89-92.
- J. D. S Langley, P. S. Hall and P. Newham, "Balanced Antipodal Vivaldi Antenna for Wide Bandwidth Phased Arrays", **IEEE Proc. Antennas and Propagation**, Vol. 143, No. 2, Apr 1996, pp. 97-102.
- Sloan et al, "A broadband microstrip to slotline transition", **Microwave and Optical Technology Letters**, Vol. 18, No. 5, Aug 1998, pp. 339-342.
- Constantine A. Balanis, "**Antenna Theory: Analysis and Design**", John Wiley and Sons, 1996.
- J. Shin and D. H. Schaubert, "A Parameter Study of Stripline-Fed Vivaldi Notch Antenna Arrays", **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, Vol. 47, No. 5, May 1999, pp. 879-886.
- D. H. Schaubert and T. H. Chio, "Parameter Study and Design of Wideband, Widescan Dual-Polarized Tapered Slot Antenna Arrays", **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, Vol. 48, No. 6, Jun 2000, pp. 879-886.

- S. Kasturi, A. O. Boryssenko and D. H. Schaubert, "Infinite Arrays of Tapered Slot Antennas with and without Dielectric Substrate", **Proceedings of the 2002 Antenna Applications Symposium**, Monticello, IL., Sept 2002, pp. 372-390.
- S. Kasturi and D. H. Schaubert, "Effect of Dielectric Substrate on Infinite Arrays of Single-Polarized Vivaldi Antennas", **Proceedings of the 2003 Antenna Applications Symposium**, 2003.
- D. H. Schaubert, A. O. Boryssenko and T. H. Chio, "Analysis of Finite Arrays of Wideband Tapered Slot Antennas", **Proceedings of the 2002 URSI General Assembly**, Maastricht, The Netherlands, 2002.
- D. H. Schaubert and T. H. Chio, "Wideband Vivaldi Arrays for Large Aperture Antennas", **NFRA International Conference on Perspectives in Radio Astronomy: Technologies for Large Antenna Arrays**, Dwindeloo, Netherlands, pp. 49-57, Apr 1999.
- D. H. Schaubert and J. Shin, "Toward a better understanding of wideband Vivaldi notch antenna arrays", **Antenna Applications Symposium, Monticello, IL.** Sept 1995.
- Wadell, "**Transmission Line Design Handbook**", Artech House, 1991.
- Richard Q. Lee, "Notch Antennas", **NASA Tech Report, Glenn Research Center**, July 2004.
- A. A. Lestari, A. G. Yarovoy, L. P. Ligthart, "Capacitively-Tapered Bowtie Antenna", Conference Proceedings on CD-ROM, **Millennium Conference on Antennas and Propagation**, Davos, Switzerland, 9-14 April 2000.
- A. O. Boryssenko, D. H. Schaubert and C. Craeye, "A wave-based model for mutual coupling and truncation in finite tapered-slot phased arrays", **Proc. of the 2003 Antennas and Propagation Society Symposium**, June 2003.
- S.A. Schelkunoff, "**Advanced Antenna Theory**", John Wiley and Sons, 1952, pp. 160.

ภาคผนวก ก

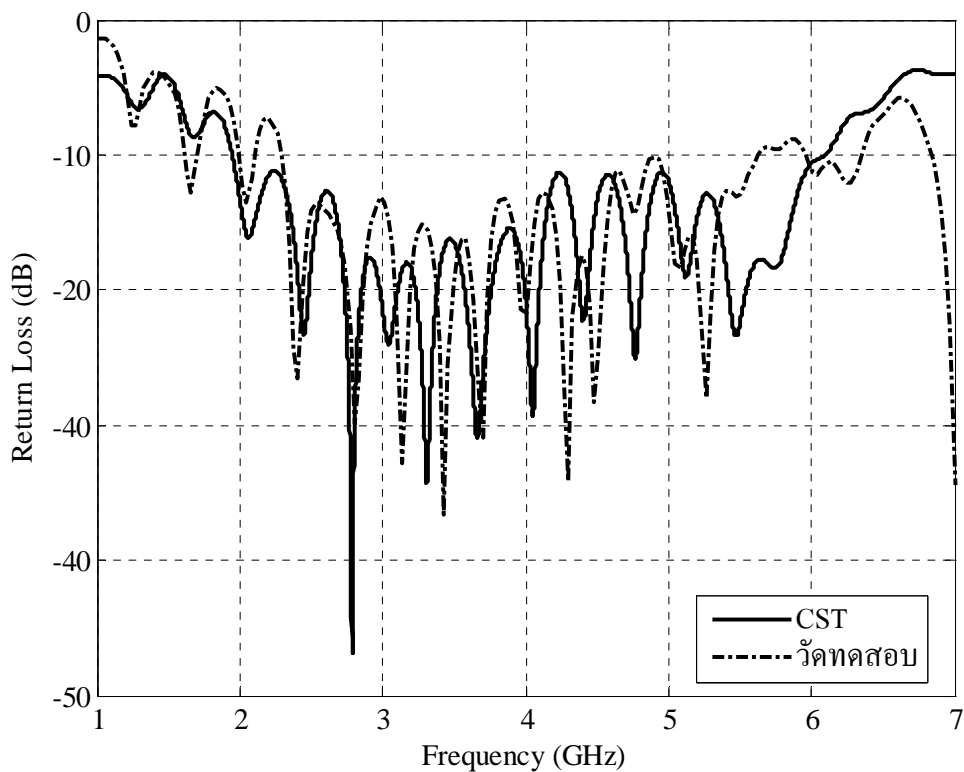
แสดงผลเปรียบเทียบที่ได้จากการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST
และการวัดทดสอบของสายอากาศร่องแบบรีเวด้นแบบ
และสายอากาศแฉวลำดับวงกลม

ผลการเปรียบเทียบที่ได้

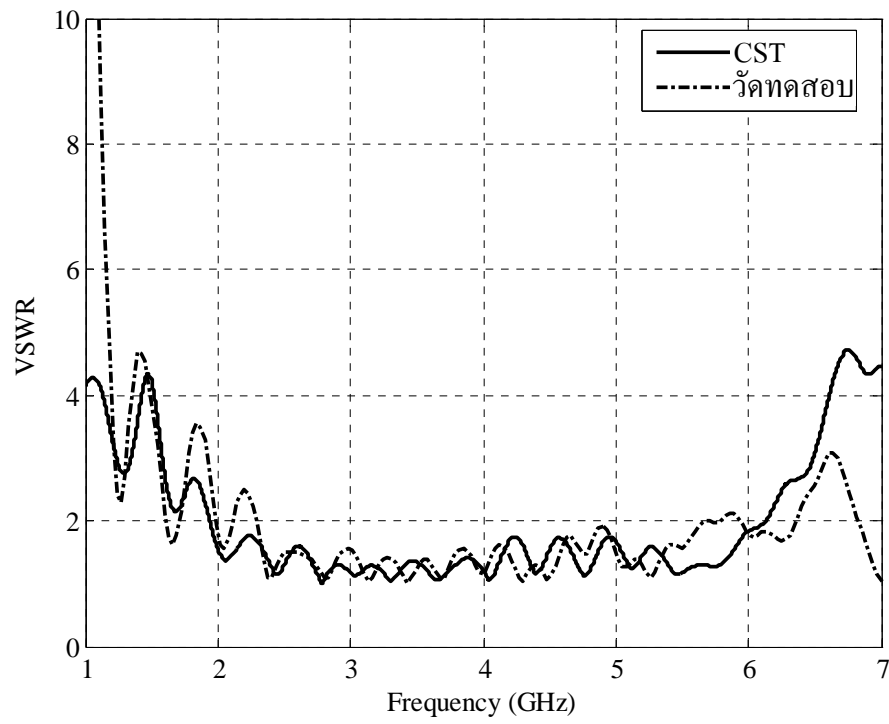
ก.1 การจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST และการวัดทดสอบของสายอากาศ
ร่องแบบเรียวต้นแบบ

ตารางที่ ก.1 ค่าอัตราขยายของสายอากาศร่องแบบเรียวต้นแบบหนึ่งอิลิเมนต์

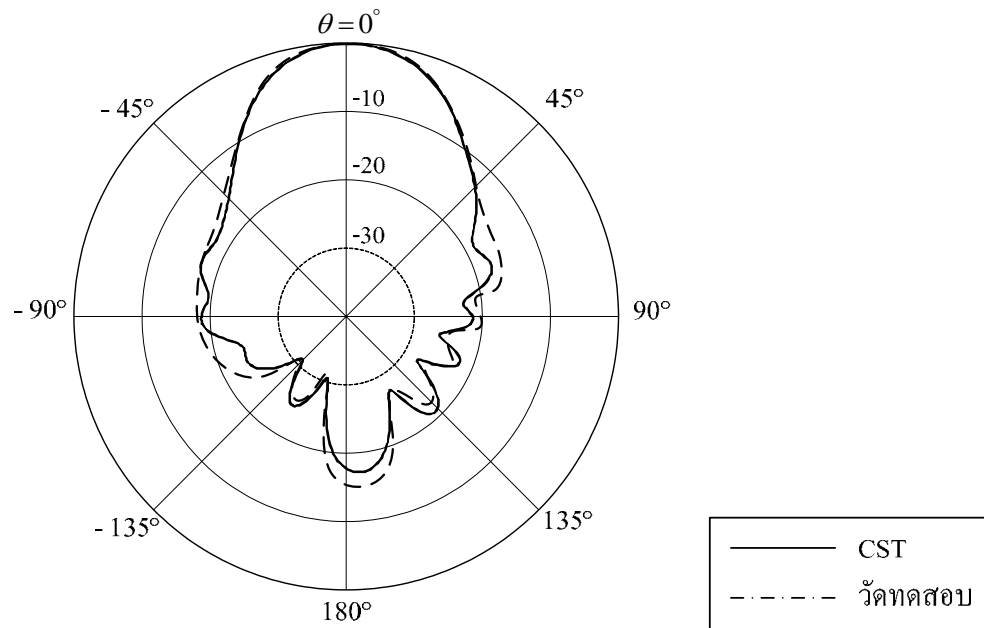
| คุณลักษณะของสายอากาศ | แถบความถี่ | | |
|---------------------------|------------|----------|---------|
| | 2.45 GHz | 5.25 GHz | 5.8 GHz |
| อัตราขยาย (dB) (CST) | 11 | 8.35 | 7.37 |
| อัตราขยาย (dB) (วัดทดสอบ) | 10.13 | 7.82 | 6.77 |



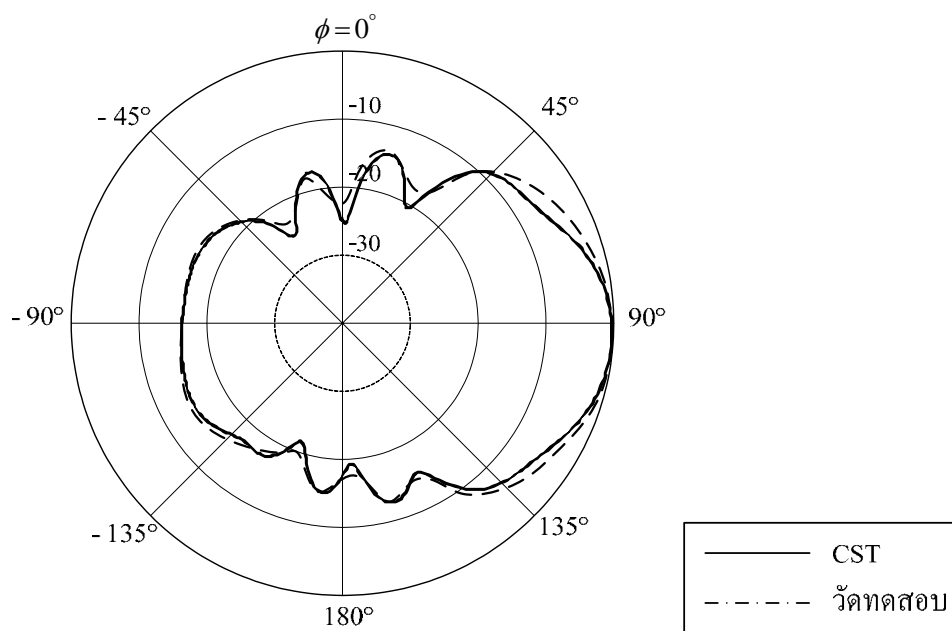
รูปที่ ก.1 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศร่องแบบเรียวต้นแบบหนึ่งอิลิเมนต์
ที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST และการวัดทดสอบ



รูปที่ ก.2 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งสายอากาศร่องแบบเรียวตันแบบหนึ่งอิมเมนต์ที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST และการวัดทดสอบ

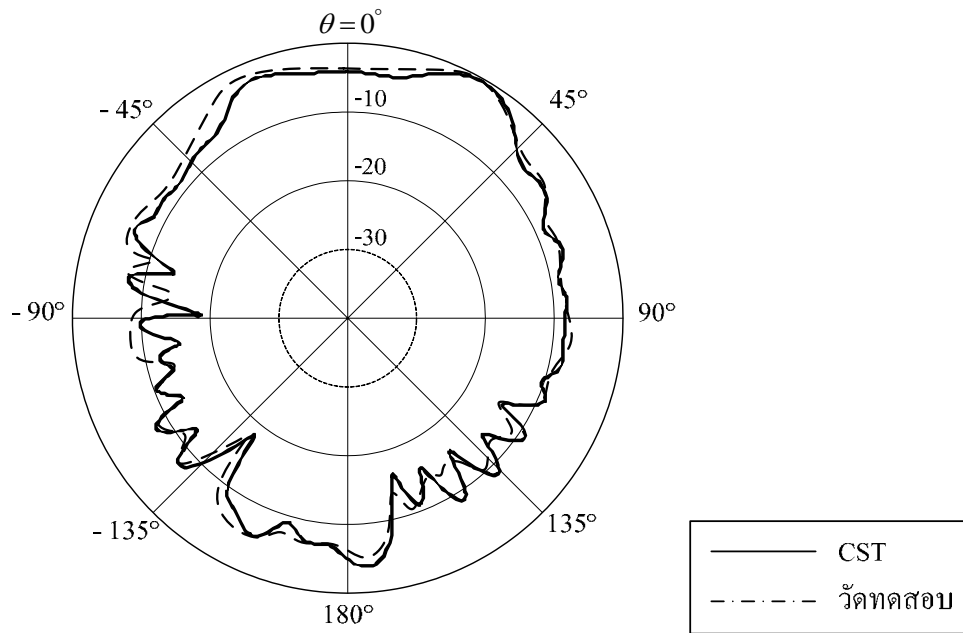


(ก) ระบายสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 2.45 GHz

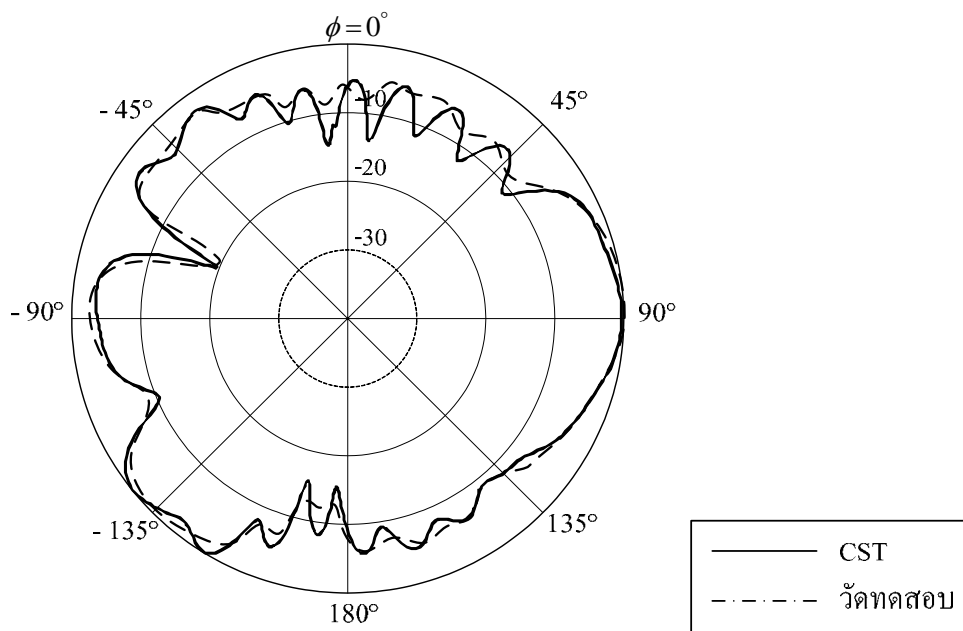


(ข) ระบายสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 2.45 GHz

รูปที่ ก.3 การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศร่องแบบเรียวหนึ่งอิลิเมนต์
ที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST และการวัดทดสอบ

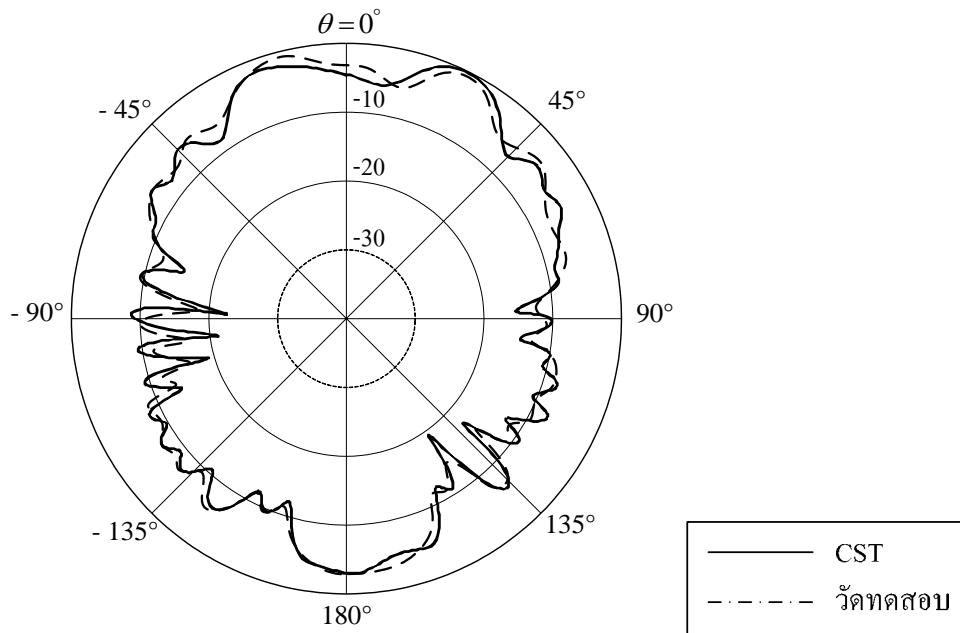


(ค) ระบายสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 5.25 GHz

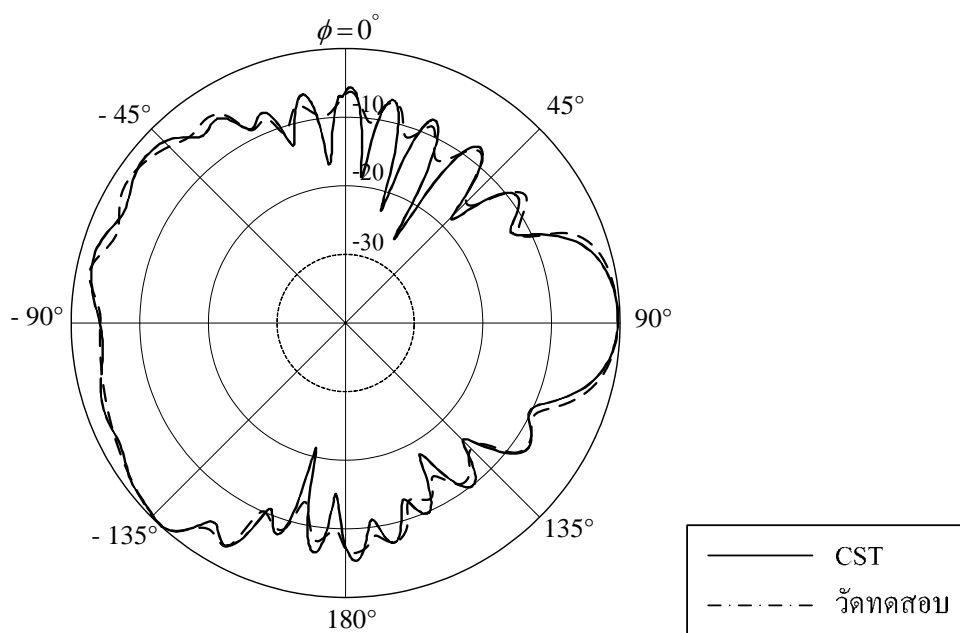


(ง) ระบายสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 5.25 GHz

รูปที่ ก.3 การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศร่องแบบเรียวหนึ่งอิลิเมนต์
ที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST และการวัดทดสอบ (ต่อ)



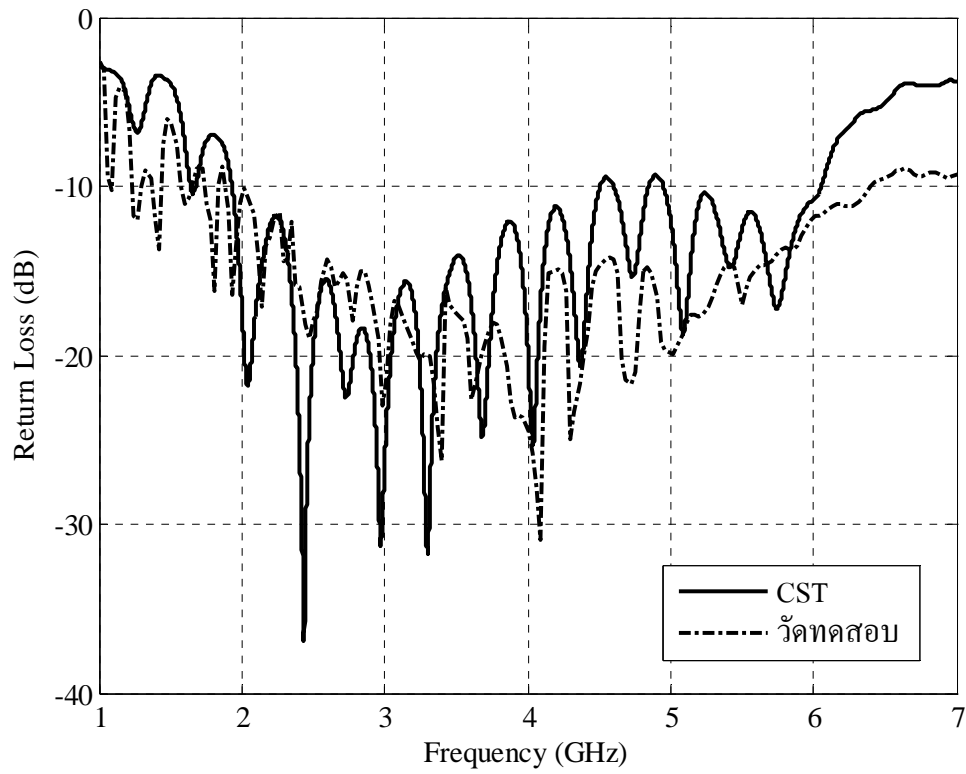
(จ) ระบายสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 5.8 GHz



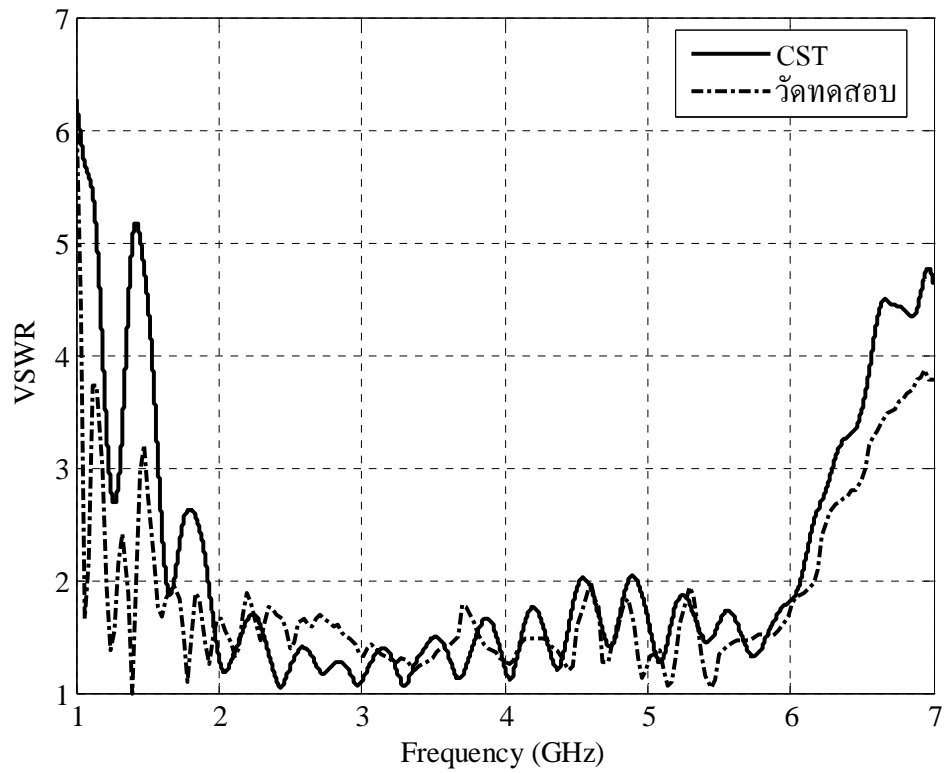
(ข) ระบายสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 5.8 GHz

รูปที่ ก.3 การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศร่องแบบเรียบหนึ่งอิลิเมนต์
ที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST และการวัดทดสอบ (ต่อ)

ก.2 การจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST และการวัดทดสอบของสายอากาศ
แถวลำดับวงกลม



รูปที่ ก.4 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศแถวลำดับวงกลมที่ได้จากการจำลอง
ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST และการวัดทดสอบ



รูปที่ ก.5 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งสายอากาศแถวลำดับวงกลมที่ได้จากการจำลอง
ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST และการวัดทดสอบ

ภาคผนวก ข

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

P. Kamphikul, P. Krachodnok, M. Uthansakul, and R. Wongsan, "WLAN Antenna Using Tapered Slots Array," **Thailand-Japan MicroWave 2009**, Bangkok, Thailand, 20-21 August 2009, pp 127-130.

P. Kamphikul, P. Krachodnok, M. Uthansakul, and R. Wongsan, High-Gain Omnidirectional Antenna Using Tapered Slots Array," **ISAP2009 International Conference**, Bangkok, Thailand, 21-23 October 2009.

WLAN Antenna Using Tapered Slots Array

P. Kamphikul, P. Krachodnok, M. Uthansakul, and R. Wongsan

† School of Telecommunication Engineering, Institute of Engineering,

Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand

E-mail: rangsan@sut.ac.th

Abstract This paper presents a wide-band array antenna using 4-element tapered slot antennas for WLAN applications. The advantages of this proposed antenna are light weight, easy fabrication and installation. Moreover, it provides the omnidirectional pattern and moderately high directivity compare to the other omnidirectional antennas, which are used in WLAN at present. The paper also presents the procedures of 4-element circular array design. A Computer Simulation Technology (CST) software has been used to compute the return loss, VSWR, radiation patterns, and directivities of the antenna. The azimuth patterns of the proposed antenna are very similar to the omnidirectional pattern according to our requirement. The bandwidths, at S11 lower than -10 dB, are between 2-6 GHz and directivities are around 6.676 dBi, 5.488 dBi, and 6.166 dBi at 2.45 GHz-, 5.25 GHz-, and 5.8 GHz-band, respectively.

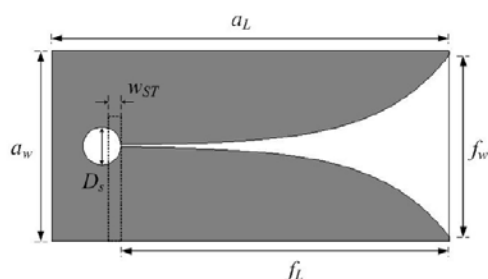
Keyword Taper slot antenna, Omnidirectional pattern, Circular array

1. INTRODUCTION

In the wireless communication applications particularly in Wireless Local Area Network (WLAN), the popular antennas for WLAN access point are linear dipole, slot array, and microstrip antenna [1]. The Microstrip antenna arrays, due to their extremely thin profiles (0.01-0.05 free-space wavelength), offer three outstanding advantages relative to other types of antennas: light weight, low profile, and low manufacturing cost. A tapered slot antenna (TSA) or notch antenna, is one of the classical wideband antennas providing many applications [2]. Therefore, it has an unlimited range of operating frequencies [3, 4]. Being a printed antenna, TSA offers many advantages such as easy fabrication, suitability for conformal installation, compatibility with microwave integrated circuit, high gain (7-10 dB), and symmetrical E-plane and H-plane beam patterns [5]. TSA cuts in thin film of metal, with or without a substrate on one side of the film [6]. From such advantages, this paper presents a wideband array antenna using 4-element tapered slot antennas providing the omnidirectional pattern suitable for WLAN and high directivity comparing to the other omnidirectional antennas at present. The simulated results of the return loss, VSWR, radiation patterns, and directivities of the antenna are conducted with CST software.

At first, the general approach will be presented including the configuration of TSA in Section 2. In Section 3, we apply this approach into the results and discussion. Finally, the conclusions are given in Section 4.

2. TAPERED SLOT ANTENNA CONFIGURATION



(a) Front view of TSA



(b) Top view of TSA

Fig.1. Geometry of the TSA.

A description of a printed TSA with a microstrip feed is shown in Fig.1. The microstrip line feeder is printed on a substrate having thickness of h and relative dielectric constant of ϵ_r and the tapered slotline is etched on the ground plane behind the microstrip line. A few parameters are considered to be of great importance for satisfactory wideband performance. To achieve the travelling wave mode of radiation, the slotline length and width generally needs to be greater than λ_0 and $\lambda_0/2$, respectively [7]. The opening rate of the tapered slotline employs an exponential taper. The coordinates of the tapered slot are defined by [5]

$$y = C_1 e^{Rz} + C_2 \quad (1)$$

where

$$C_1 = \frac{y_2 - y_1}{e^{Rz_2} - e^{Rz_1}} \quad (2)$$

$$C_2 = \frac{y_1 e^{Rz_2} - y_2 e^{Rz_1}}{e^{Rz_2} - e^{Rz_1}} \quad (3)$$

The points (x_1, z_1) and (x_2, z_2) are the end points of the flare and R is the variable that changes the rate of the opening. The performance of the antenna is relatively dependent on R . To achieve a broadband transition, the microstrip open stub and the slotline short stub are to present a virtual short and a virtual open at the point of transition, respectively. The diameter of the circular slot stub (D_S) may be approximated by $\lambda_s/4$. The λ_s is the effective wavelength in the slotline and the stripline width (W_{ST}) is calculated from matching 50Ω . The dimensions of antenna that used for simulation are tabulated in Table 1.

Table 1. Design parameters

| Antenna parameters | Size (mm) |
|--------------------|-----------|
| a_L | 318.8 |
| a_w | 153 |
| f_L | 271.7 |
| f_w | 146.2 |
| D_S | 30.4 |
| W_{ST} | 51.3 |
| h | 3.2 |

3. RESULTS AND DISCUSSION

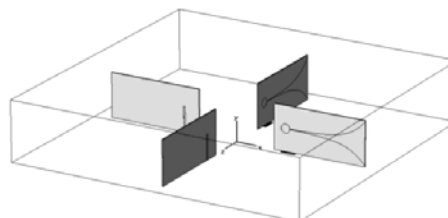


Fig.2. A 4-element TSA circular array.

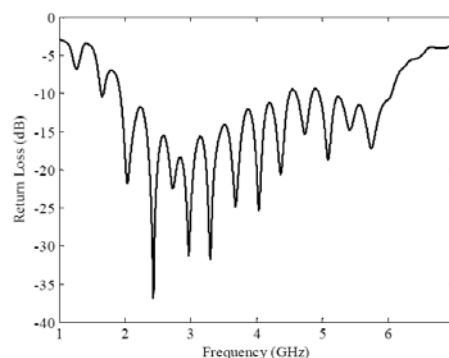


Fig.3. The return loss.

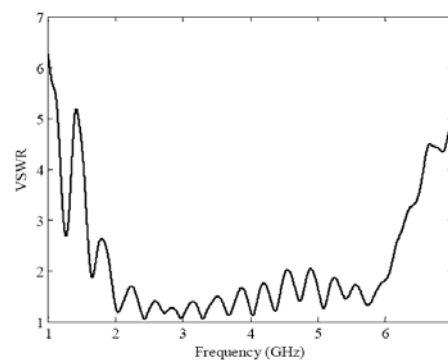
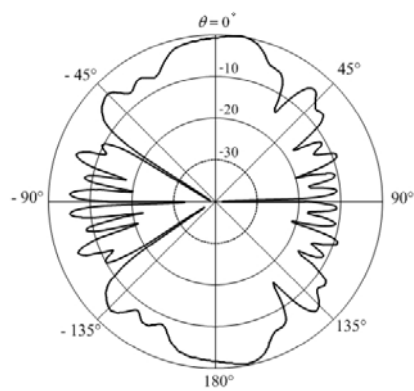
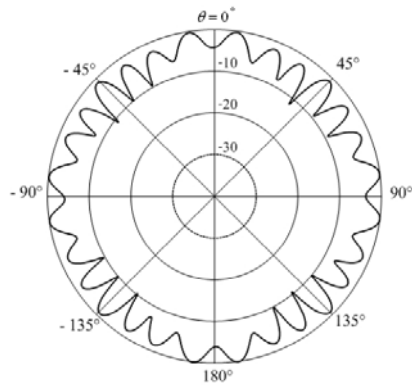


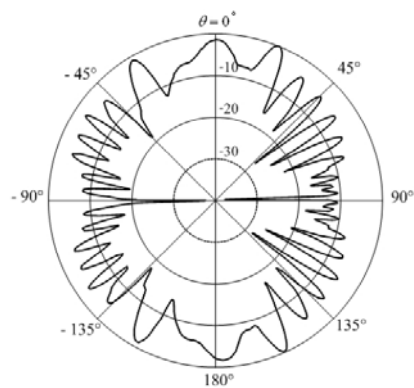
Fig.4. The VSWR.



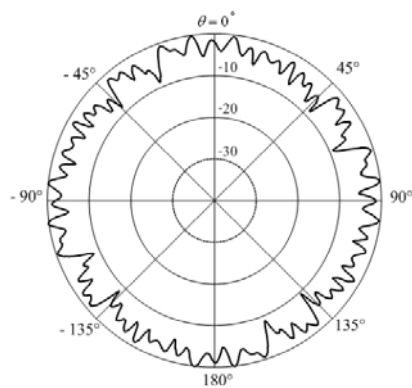
(a) 2.45 GHz



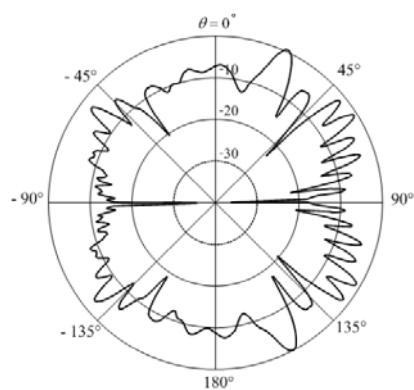
(a) 2.45 GHz



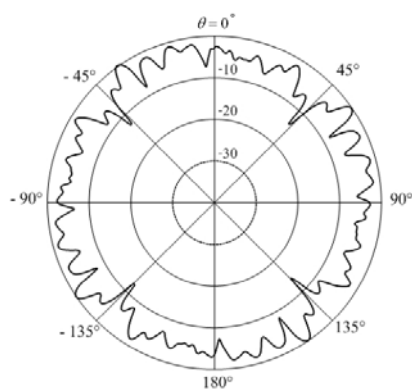
(b) 5.25 GHz



(b) 5.25 GHz



(c) 5.8 GHz



(c) 5.8 GHz

Fig.5 The E-plane Patterns.

Fig.6 The H-plane Patterns.

Usually, the radiation pattern of a single TSA is relatively narrow. In WLAN applications, they are necessary to design TSA with very high directivity and wide beam to meet the demands of service. This paper proposes for omnidirectional pattern and moderately high directivity. First, we propose the 4-element of TSA circular array design, which can improve pattern to be omnidirectional. To achieve the high directivity, the distance of TSA circular array antenna (d) is optimized to $d = 133.44$ mm. In order to implement this concept, the circular array antenna is designed as shown in Fig.2. The thickness of FR4 substrate is 3.2 mm, which is fabricated using two layers of 1.6 mm FR4 PCB, which can result in a gap. From Fig.3, it can be clearly seen that the S_{11} are lower than -10 dB, are between 2-6 GHz. Fig.4 shows the VSWR. The E- and H-plane patterns of the proposed antenna at the center of three ISM bands are 2.45 GHz, 5.25 GHz, and 5.8 GHz, respectively, as shown in Figs.5 and 6. The azimuth patterns of the proposed antenna are very similar to the omnidirectional pattern according to our requirement. The simulated results show that the directivities at the 2.45 GHz-, 5.25 GHz-, and 5.8 GHz-band, are 6.68 dBi, 5.49 dBi, and 6.17 dBi, respectively.

4. CONCLUSIONS

This paper has presented a wideband circular array antenna using 4-element tapered slot antennas. It provides the omnidirectional pattern and high directivity comparing to the other omnidirectional antennas, which are used in WLAN at present. Therefore, this proposed circular array antenna accords to the requirements and is appropriate for the WLAN applications.

5. REFERENCES

- [1] S. Kampeephat, P. Krachodnok, M. Uthansakul, and R. Wongsan, "Gain and Pattern Improvemens of Array Antenna using MSA with Asymmetric T-shaped Slit Loads," *WSEAS Transactions on Communications*, Vol. 7, pp.922-931, 2008.
- [2] P. J. Gibson, "The Vivaldi aerial," Proc. 9th European Microwave Conference, pp. 101-105, 1979.
- [3] J. D. S. Langley, P. S. Hall, and P. Newham, "Novel ultrawidebandwidth Vivaldi antenna with low cross-polarization," *IEE Electronics Lett.*, Vol. 29, No. 23, pp. 2004-2005, 1993.
- [4] E. Gazit, "Improved design of the Vivaldi antenna," *IEE Proc.*, Vol. 135, No. 2, pp. 89-92, 1988.
- [5] R. Q. Lee, and R. N. Simons, "Tapered Slot Antenna" in *Advances in Microstrip and Printed Antennas*, 1-st. K.F. Lee, and W. Chen, pp. 443-514, John Wiley & Sons, Inc, New York, 1997.
- [6] R. Janaswamy, D.H. Schaubert, "Analysis of the Tapered Slot Antenna," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. AP-35, No. 9, pp.1058-1065, 1987.
- [7] D.H. Schaubert and T.H. Chio, "Wideband Vivaldi Arrays for Large Aperture Antennas," *Perspective on Radio Astronomy Technologies for Large Antenna Arrays*, pp. 49-57, 1999.

High-Gain Omnidirectional Antenna Using Tapered Slots Array

#P. Kamphikul, P. Krachodnok, M. Uthansakul, and R. Wongsan
 School of Telecommunication Engineering, Institute of Engineering,
 Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand
 E-mail: m5040124@g.sut.ac.th, priam@sut.ac.th,
 mtp@g.sut.ac.th, and rangsan@sut.ac.th

1. Introduction

In the wireless communication applications particularly in Wireless Local Area Network (WLAN), the popular antennas for WLAN access point are linear dipole, slot array, and microstrip antenna [1]. The Microstrip antenna arrays, due to their extremely thin profiles (0.01-0.05 free-space wavelength), offer three outstanding advantages relative to other types of antennas: light weight, low profile, and low manufacturing cost. A tapered slot antenna (TSA) or notch antenna, is one of the classical wideband antennas providing many applications [2]. Therefore, it has an unlimited range of operating frequencies [3, 4]. Being a printed antenna, TSA offers many advantages such as easy fabrication, suitability for conformal installation, compatibility with microwave integrated circuit, moderately high gain (7-10 dB), and symmetrical E-plane and H-plane beam patterns [5]. TSA cuts in thin film of metal, with or without a substrate on one side of the film [6]. From such advantages, this paper presents a wideband array antenna using 4-element tapered slot antennas providing the omnidirectional pattern suitable for WLAN and moderately high gain comparing to the other omnidirectional antennas at present. The measured results of the return loss, VSWR, radiation patterns, and directivities of the antenna are also conducted for verification of the simulated results with CST software.

At first, the general approach will be presented including the configuration of TSA in Section 2. In Section 3, we apply this approach into the numerical results and discussion. Finally, the conclusions are given in Section 4.

2. Tapered Slot Antenna Configuration

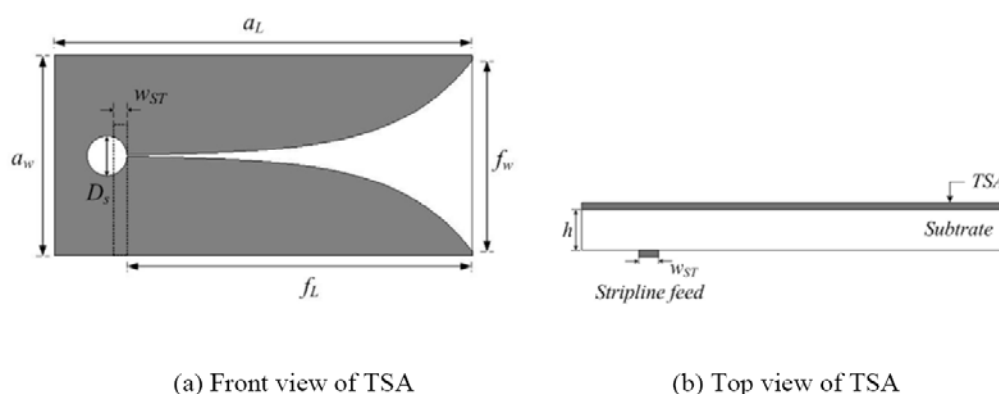


Figure 1: Geometry of the Tapered Slot Antenna

A description of a printed TSA with a microstrip feed is shown in Fig.1. The microstrip line feeder is printed on a substrate having thickness of h and relative dielectric constant of ϵ_r and the tapered slotline is etched on the ground plane behind the microstrip line. A few parameters are considered to be of great importance for satisfactory wideband performance. To achieve the travelling wave mode of radiation, the slotline length and width generally needs to be greater than λ_0 and $\lambda_0/2$, respectively [7]. The opening rate of the tapered slotline employs an exponential taper. The coordinates of the tapered slot are defined by [5]

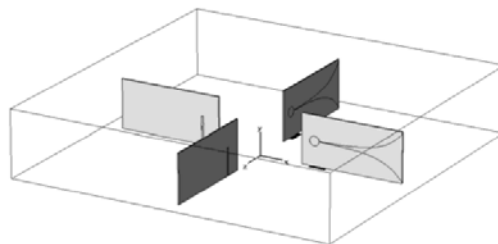
$$y = C_1 e^{Rc} + C_2 \quad (1)$$

where

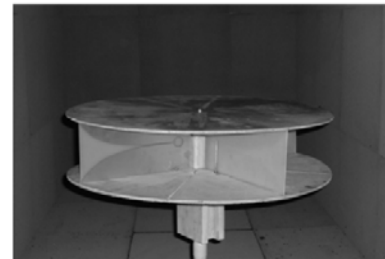
$$C_1 = \frac{y_2 - y_1}{e^{Rc_2} - e^{Rc_1}} \quad \text{and} \quad C_2 = \frac{y_1 e^{Rc_2} - y_2 e^{Rc_1}}{e^{Rc_2} - e^{Rc_1}} \quad (2)$$

The points (x_1, z_1) and (x_2, z_2) are the end points of the flare and R is the variable that changes the rate of the opening. The performance of the antenna is relatively dependent on R . To achieve a broadband transition, the microstrip open stub and the slotline short stub are to present a virtual short and a virtual open at the point of transition, respectively. The diameter of the circular slot stub (D_s) may be approximated by $\lambda_s/4$. The λ_s is the effective wavelength in the slotline and the stripline width (W_{ST}) is calculated from matching 50Ω .

3. Numerical Results and Discussion



(a) Simulation geometry for Proposed Circular Array Antenna with CST software



(b) Proposed Circular Array Antenna Using Tapered Slot

Figure 2: A 4-element Tapered Slot Antennas Circular Array

Usually, the radiation pattern of a single TSA is relatively narrow. In WLAN applications, they are necessary to design TSA with very high gain and wide beam to meet the demands of service. This paper proposes for omnidirectional pattern and moderately high gain. First, we propose the 4-element of TSA circular array design, which can improve pattern to be omnidirectional. To achieve the high gain, the distance of TSA circular array antenna (d) is optimized to $d = 133.44$ mm. In order to implement this concept, the circular array antenna is designed and fabricated as shown in Fig.2. The thickness of FR4 substrate is 3.2 mm, which is fabricated using two layers of 1.6 mm FR4 PCB, which can result in a gap. The proposed circular array antenna is fed with a 50Ω ring combiner and connected to an HP8722D network analyzer in order to test the reflection coefficients. From Fig.3, it can be clearly seen that the measured S_{11} are similar with the simulated and the good agreement. Fig.4 shows the simulated and measured VSWR. The simulated and measured E- and H-plane patterns of the proposed antenna at the center of three ISM bands are 2.45 GHz, 5.25 GHz, and 5.8 GHz, respectively, as shown in Figs.5 and 6. The azimuth patterns of the

proposed antenna are very similar to the omnidirectional pattern according to our requirement. The simulated results show that the directivities at the 2.45 GHz-, 5.25 GHz-, and 5.8 GHz-band, are 6.68 dBi, 5.49 dBi, and 6.17 dBi, respectively. Also, the measured results are 6.17 dB, 5.03 dB, and 5.78 dB, respectively. It is shown that the measurement and simulation for three operating frequency bands are in good agreement.

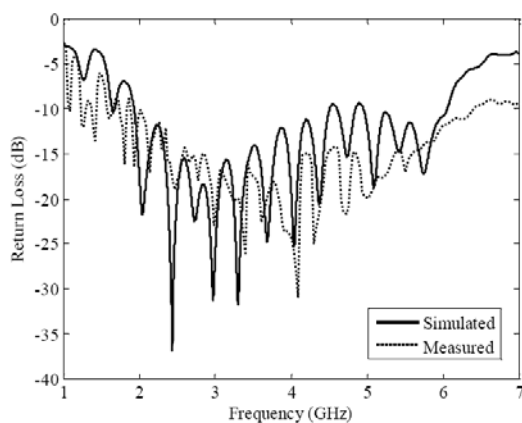


Figure 3: Simulated and Measured Return Loss

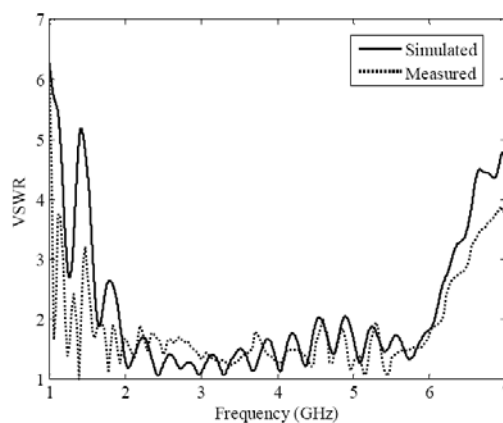


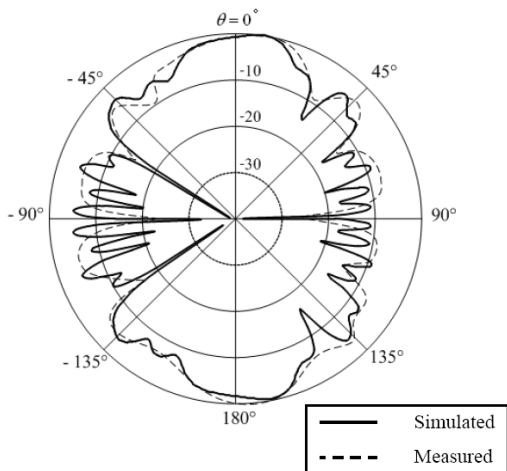
Figure 4: Simulated and Measured VSWR

4. Conclusions

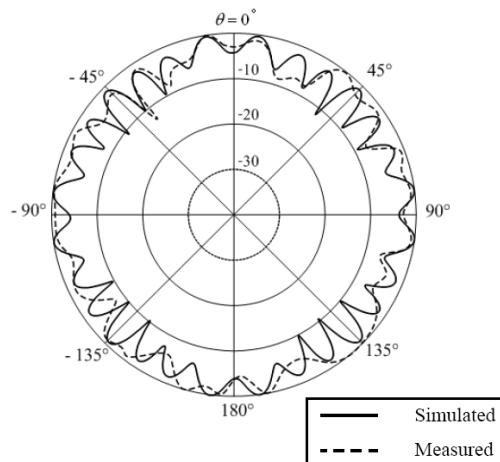
This paper has presented a wideband circular array antenna using 4-element tapered slot antennas. It provides the omnidirectional pattern and moderately high gain comparing to the other omnidirectional antennas, which are used in WLAN at present. With good agreement between the simulated and measured results and accordance of the requirements, therefore, this proposed circular array antenna is appropriate for the WLAN applications.

References

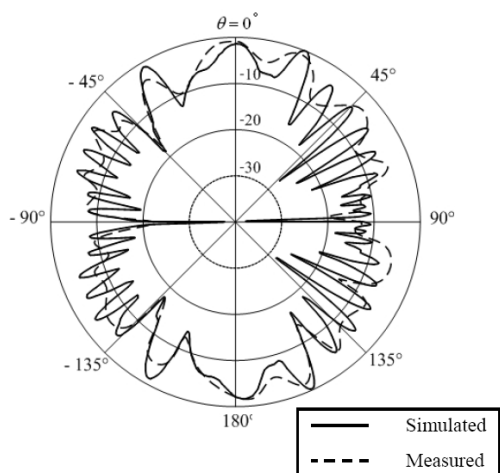
- [1] S. Kampeephat, P. Krachodnok, M. Uthansakul, R. Wongsan, "Gain and Pattern Improvements of Array Antenna using MSA with Asymmetric T-shaped Slit Loads", *WSEAS Transactions on Communications*, Vol. 7, pp.922-931, 2008.
- [2] P. J. Gibson, "The Vivaldi aerial," *Proc. 9th European. Microwave Conference*, pp. 101–105, 1979.
- [3] J. D. S. Langley, P. S. Hall, and P. Newham, "Novel ultrawidebandwidth Vivaldi antenna with low cross-polarization," *IEE Electronics Lett.*, Vol. 29, No. 23, pp. 2004–2005, 1993.
- [4] E. Gazit, "Improved design of the Vivaldi antenna," *IEE Proc.*, Vol. 135, No. 2, pp. 89–92, 1988.
- [5] K.F. Lee, W. Chen, *Advances in Microstrip and Printed Antennas*, 1-st edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, pp.123-162, 1997.
- [6] R. Janaswamy, D.H. Schaubert, "Analysis of the Tapered Slot Antenna", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. AP-35, No. 9, pp. 1058-1065, 1987.
- [7] D.H. Schaubert and T.H. Chio, "Wideband Vivaldi Arrays for Large Aperture Antennas," *Perspective on Radio Astronomy– Technologies for Large Antenna Arrays*, pp. 49–57, 1999.



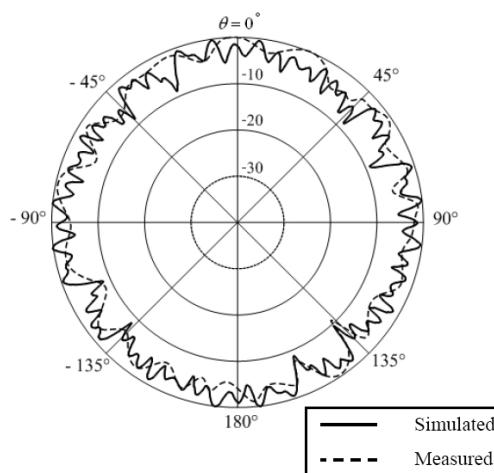
(a) 2.45 GHz



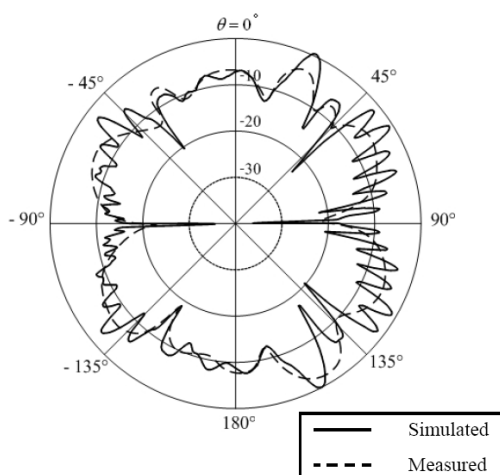
(a) 2.45 GHz



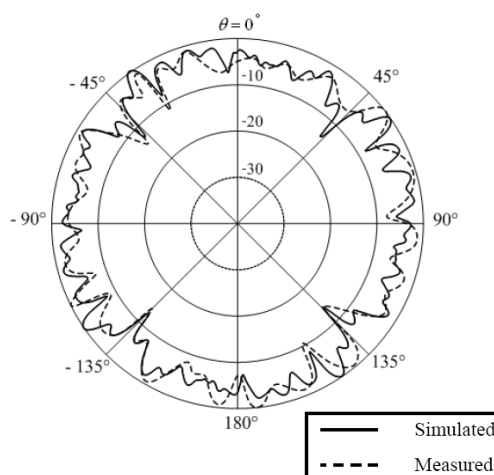
(b) 5.25 GHz



(b) 5.25 GHz



(c) 5.8 GHz



(c) 5.8 GHz

Figure 5: Simulated and Measured E-plane Patterns.

Figure 6: Simulated and Measured H-plane Patterns.

ประวัติผู้เขียน

นางสาวเกาภัทธา คำพิกุล เกิดเมื่อวันที่ 17 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2527 ที่จังหวัดชัยภูมิ เริ่มการศึกษาชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-4 ที่โรงเรียนชุมชนแท่นประจัน จังหวัดชัยภูมิ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 5-6 ที่โรงเรียนเทศบาล 3 (ยมราชสามัคคี) จังหวัดนครราชสีมา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1-6 ที่โรงเรียนสุนารีวิทยา จังหวัดนครราชสีมา และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโทรคมนาคม) เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ.2550 ระหว่างศึกษาในระดับปริญญาตรีได้ร่วมกิจกรรมของมหาวิทยาลัยดังนี้ (1) ทำหน้าที่เป็นเหรียญกษาปณ์สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม รุ่นที่ 11 (2) เป็นคณะกรรมการหอพักนักศึกษาปี พ.ศ.2548 (3) เป็นสมาชิกชมรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ โดยหลังจากสำเร็จการศึกษาได้รับใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมระดับภาคีวิศวกร สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า แขนงไฟฟ้าสื่อสาร

ปี พ.ศ.2550 ได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท ในสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยขณะศึกษาได้รับทุนการศึกษาสำหรับผู้มีผลการเรียนดีเด่นที่สมัครเข้าศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ในขณะศึกษาในระดับปริญญาโท ได้เสนอบทความวิชาการ 2 เรื่อง ได้แก่

(1) **WLAN Antenna Using Tapered Slots Array**, Thailand-Japan MicroWave 2009, Bangkok, Thailand, August 2009, pp 334-339, ISBN : 978-960-6766-84-8.

(2) **High-Gain Omnidirectional Antenna Using Tapered Slots Array**, ISAP 2009 International Conference, Bangkok, Thailand, 21-23 October 2009