

รหัสโครงการ SUT7-709-53-12-31



รายงานการวิจัย

สายอากาศสำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายโดยใช้ไมโครสตริป
ด้วย ที-สลิตโหลดแบบไม่สมมูล
(Wireless LAN Antenna using MSA with Asymmetric
T-shaped Slit Loads)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

สายอากาศสำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายโดยใช้ไมโครสตริป
ด้วย ที-สลิตโหลดแบบไม่สมมูล
(Wireless LAN Antenna using MSA with Asymmetric
T-shaped Slit Loads)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

รองศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

นายศรันย์ คัมภีร์ภัทร

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2553

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

ตุลาคม 2553

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สามารถดำเนินการได้ และได้รับผลสำเร็จบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้
ทุกประการ โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2553
สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ นายศรันย์ คัมภีร์ภัทร ผู้ร่วมวิจัยซึ่งช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

รังสรรค์ วงศ์สวรรค์

บทคัดย่อ

ปัจจุบันระบบการสื่อสารแบบไร้สายได้มีการพัฒนาก้าวหน้าเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะเทคโนโลยีที่เกี่ยวกับเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย (Wireless Local Area Network : WLAN) ดังนั้นสายอากาศซึ่งทำหน้าที่รับ-ส่งสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของการสื่อสารแบบไร้สาย จึงเป็นอุปกรณ์สำคัญอีกประเภทหนึ่งที่นักวิจัยได้ให้ความสนใจในการออกแบบและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ได้สายอากาศที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับใช้งานในเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่มีประสิทธิภาพสูงและตรงกับความต้องการของผู้ใช้งาน โดยทั่วไปแล้วสายอากาศไดโพล (dipole antenna) เป็นสายอากาศที่นิยมใช้กับจุดเข้าถึง (access point) ของระบบ ซึ่งมีแบบรูปการแผ่พลังงานรอบทิศทางทำให้เกิดการสูญเสียกำลังโดยเปล่าประโยชน์ในทิศทางที่ไม่ต้องการ เช่น บริเวณที่ไม่มีผู้ใช้งานหรือด้านที่ติดกับผนัง จากข้อจำกัดดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอสายอากาศแถวลำดับ โดยใช้ไมโครสตริปซึ่งให้แบบรูปการแผ่พลังงานแบบเจาะจงทิศทาง และสามารถทำงานได้แบบสองแถบความถี่ซึ่งรองรับมาตรฐาน IEEE 802.11 a/b/g ได้ โดยเริ่มต้นศึกษาความเป็นไปได้โดยใช้วิธีการจำลองสายอากาศด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D ของสายอากาศแถวลำดับให้อัตราขยายด้านหน้าโดยใช้ไมโครสตริปด้วยที-สลิคโพลดแบบไม่สมดุล ซึ่งได้นำสายอากาศมาจัดแถวลำดับแบบ 1×4 เพื่อเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศ จากนั้นหาดำแหน่งที่เหมาะสมของสลิคโพลดเพื่อปรับทิศทางของการแผ่คลื่นให้มีความสมมาตร สุดท้ายได้สร้างสายอากาศแถวลำดับต้นแบบที่ได้จากการออกแบบและจำลองผล วัดทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศต้นแบบที่บรรจุลงในกล่องที่ทำจากวัสดุที่แตกต่างกัน วิเคราะห์หาวัสดุที่มีความเหมาะสมในการใช้บรรจุสายอากาศต้นแบบ เพื่อให้ได้สายอากาศที่ตรงตามวัตถุประสงค์ในการออกแบบ

Abstract

At present, a development of wireless communication system is advanced, especially technologies related to WLAN. Hence, an antenna for electromagnetic signal transmission of the wireless communication is important equipment that researchers interest in design and development to obtain the suitable antenna with high efficiency and in accordance with user's requirements. In general, dipole antenna is a popular for the system's access point. However, its signal dispersion pattern will be radiated in all directions causing energy loss in the unwanted directions. According to this limitation, this research proposed a directive gain array antenna using microstrip patches to provide a signal dispersion pattern in specific directions. The research was conducted from an antenna simulation model using an application program IE3D to study the antenna's feasibility to provide directive gain by using an asymmetric T-shaped slit loads. The antenna was arranged in a 1 x 4 array to expand the gain and the signal dispersion pattern was symmetrically adjusted by adjusting slit loads' positions. Finally, an array antenna model was fabricated in accordance with the program IE3D in order to measure and analyse results of the difference material that used for contain an array antenna model.

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| กิตติกรรมประกาศ | ก |
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ข |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ค |
| สารบัญ | ง |
| สารบัญตาราง..... | ฉ |
| สารบัญภาพ | ช |
| บทที่ 1 บทนำ | |
| ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย..... | 1 |
| วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย | 2 |
| ขอบเขตของการวิจัย | 3 |
| สมมุติฐานของการวิจัย..... | 3 |
| วิธีดำเนินการวิจัยและสถานที่ทำการทดลอง / เก็บข้อมูล..... | 3 |
| ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย..... | 4 |
| บทที่ 2 ปรัชญ่วรรณกรรม | |
| ปรัชญ่วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 5 |
| สรุป | 6 |
| บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง | |
| สายอากาศไมโครสตริปสองความถี่..... | 7 |
| โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริปสองความถี่แบบโพลาไรซ์เชิงวงกลม..... | 11 |
| สายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิคโหลดแบบไม่สมดุล..... | 12 |
| สรุป | 13 |
| บทที่ 4 การวิเคราะห์และออกแบบสายอากาศ | |
| ศึกษารูปแบบของการจัดแถวลำดับของสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิคโหลดแบบไม่สมดุล..... | 14 |
| ศึกษาการปรับระยะห่างระหว่างสายอากาศของสายอากาศแถวลำดับให้อัตราขยายด้านหน้าโดยใช้แผ่นไมโครสตริปด้วยที-สลิคโหลดแบบไม่สมดุล..... | 18 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| ศึกษาการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของสลิคโพลคในแต่ละด้านของสายอากาศ..... | 20 |
| สรุป | 32 |
| บทที่ 5 ผลการวัดทดสอบ | |
| วิธีการสร้างสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ | 33 |
| ผลการวัดทดสอบตัวแบ่งกำลังงาน | 36 |
| ผลการวัดทดสอบสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับและความกว้างแถบ | 40 |
| ผลการวัดทดสอบค่าอิมพีแดนซ์..... | 43 |
| การวิเคราะห์หาวัสดุคู่งบจรจุสายอากาศแถวลำดับต้นแบบที่เหมาะสม | 45 |
| ผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน | 49 |
| ผลการวัดทดสอบอัตราขยาย..... | 57 |
| สรุป | 62 |
| บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ | |
| บทสรุป | 63 |
| ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา | 64 |
| รายการอ้างอิง | 66 |
| ประวัติผู้วิจัย | 69 |

สารบัญตาราง

| | หน้า |
|--|------|
| ตารางที่ 4.1 ค่าอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบจากการจำลองผล ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D..... | 31 |
| ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบค่าความกว้างแถบของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ | 42 |
| ตารางที่ 5.2 ค่าอัตราขยายของสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิคโหลดแบบ ไม่สมดุลหนึ่งอิลิเมนต์..... | 60 |
| ตารางที่ 5.3 ค่าอัตราขยายจากการวัดทดสอบสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ | 61 |
| ตารางที่ 5.4 ค่าอัตราขยายจากผลการวัดทดสอบของสายอากาศไมโครสตริป ด้วยที-สลิคโหลดแบบไม่สมดุลหนึ่งอิลิเมนต์และสายอากาศ แถวลำดับต้นแบบ..... | 62 |
| ตารางที่ 6.1 คุณลักษณะสมบัติของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ | 64 |

สารบัญภาพ

| | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 1.1 การประยุกต์ใช้สายอากาศแถวลำดับโดยใช้ไมโครสตริปด้วยที-สลิคโหลดแบบไม่สมดุลในเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย สำหรับการใช้งานภายนอกอาคาร..... | 2 |
| รูปที่ 3.1 ค่า VSWR ของการเกิดความกว้างแถบกว้างและความกว้างแถบสองความถี่..... | 8 |
| รูปที่ 3.2 โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริปแบบระนาบร่วม | 9 |
| รูปที่ 3.3 โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริปกับเทคนิคการวางซ้อน | 10 |
| รูปที่ 3.4 โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริปสองความถี่แบบโพลาริซเซชันวงกลม..... | 11 |
| รูปที่ 3.5 สายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิคโหลดแบบไม่สมดุล..... | 12 |
| รูปที่ 4.1 รูปแบบการจัดแถวลำดับของสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิคโหลดแบบไม่สมดุลโดยมีระยะห่างระหว่างสายอากาศเท่ากับ $\lambda/2$ | 15 |
| รูปที่ 4.2 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศเท่ากับ $\lambda/2$ | 17 |
| รูปที่ 4.3 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศ เท่ากับ $\lambda/3$ | 19 |
| รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิคโหลดแบบไม่สมดุลทั้ง 2 รูปแบบ | 21 |
| รูปที่ 4.5 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศรูปแบบ ก | 22 |
| รูปที่ 4.6 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศรูปแบบ ข | 23 |
| รูปที่ 4.7 การจัดวางแถวลำดับของสายอากาศแถวลำดับคั่นแบบ | 24 |
| รูปที่ 4.8 การจำลองผลสายอากาศแถวลำดับคั่นแบบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D | 25 |
| รูปที่ 4.9 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับคั่นแบบ | 26 |
| รูปที่ 4.10 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศแถวลำดับคั่นแบบจากการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D | 27 |
| รูปที่ 4.11 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งสายอากาศแถวลำดับคั่นแบบจากการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D..... | 28 |
| รูปที่ 4.12 ค่าความต้านทานด้านเข้าของสายอากาศแถวลำดับคั่นแบบจากการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D..... | 29 |

สารบัญญภาพ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 4.13 ค่ารีแอกแตนซ์ด้านเข้าของสายอากาศแฉวลำดับต้นแบบจากการจำลองผล ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D..... | 30 |
| รูปที่ 4.14 ค่าอัตราขยายของสายอากาศแฉวลำดับต้นแบบจากการจำลองผล ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D..... | 31 |
| รูปที่ 5.1 โปรแกรม AutoCAD 2008 กำหนดการกัดและตัดแผ่น PCB..... | 34 |
| รูปที่ 5.2 โปรแกรม CorelDRAW 9 กำหนดการตัดแผ่น PCB..... | 34 |
| รูปที่ 5.3 สายอากาศแฉวลำดับต้นแบบ | 35 |
| รูปที่ 5.4 ตัวแบ่งกำลังงาน | 36 |
| รูปที่ 5.5 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับตัวแบ่งกำลังงาน | 37 |
| รูปที่ 5.6 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศแฉวลำดับต้นแบบ..... | 41 |
| รูปที่ 5.7 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศแฉวลำดับต้นแบบ..... | 41 |
| รูปที่ 5.8 ค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศแฉวลำดับต้นแบบจากการวัดทดสอบ | 43 |
| รูปที่ 5.9 สายอากาศแฉวลำดับต้นแบบที่ถูกบรรจุอยู่ในกล่องพลาสติกชนิดต่าง ๆ | 45 |
| รูปที่ 5.10 วิธีการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน | 50 |
| รูปที่ 5.11 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแฉวลำดับต้นแบบที่บรรจุกล่อง พลาสติกทั้ง 3 ชนิด | 51 |
| รูปที่ 5.12 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแฉวลำดับต้นแบบที่ไม่ได้บรรจุกล่อง พลาสติกและบรรจุในกล่องพลาสติกโพลีไทรีนที่เป็น โคพอลิเมอร์เทียบกับ ผลจาก IE3D | 54 |
| รูปที่ 5.13 วิธีการวัดทดสอบอัตราขยายของสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิค โหลด แบบไม่สมดุลหนึ่งอิลิเมนต์ | 57 |
| รูปที่ 5.14 วิธีการวัดทดสอบอัตราขยายของสายอากาศแฉวลำดับต้นแบบ | 58 |

บทที่ 1

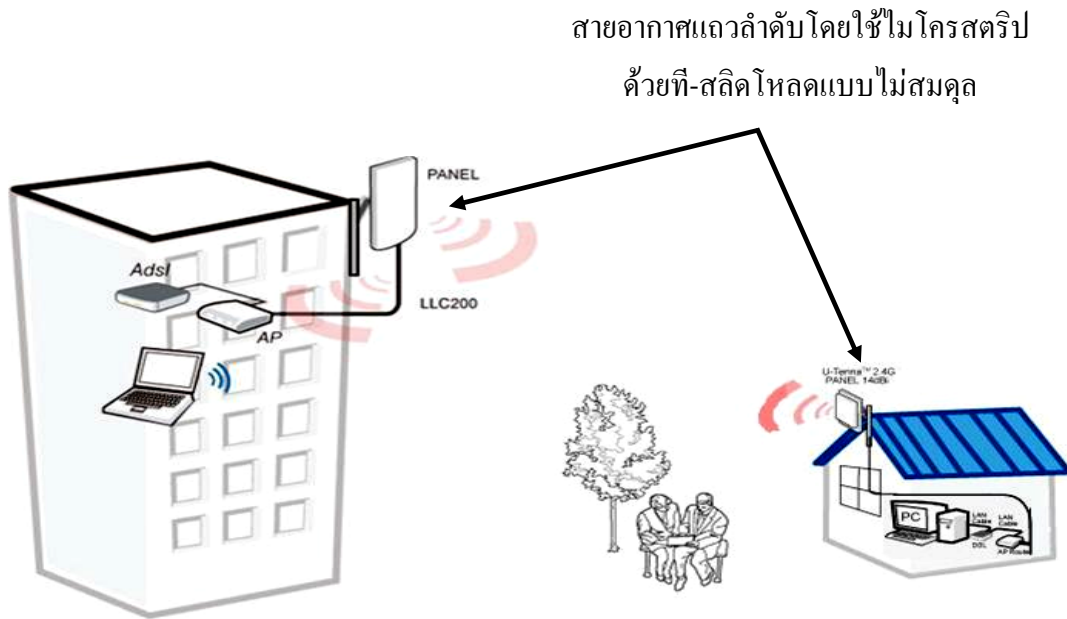
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

การสื่อสารนับว่ามีความสำคัญต่อชีวิตมนุษย์เป็นอย่างมากมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยเฉพาะสายอากาศที่ใช้กับระบบการสื่อสารแบบไร้สาย ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งในยุคปัจจุบัน ถ้าหากความสำคัญของการสื่อสารแบบไร้สายมีมากเท่าไร สายอากาศที่ทำหน้าที่รับ-ส่งสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของการสื่อสารแบบไร้สายนั้นย่อมมีความสำคัญมากขึ้นตาม สายอากาศจะทำหน้าที่รับ-ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และเพื่อให้สัญญาณรับและส่งมีความผิดพลาดน้อยที่สุดจึงควรสร้างสายอากาศให้มีประสิทธิภาพ ดังนั้นคุณลักษณะของสายอากาศที่ต้องนำไปสร้างจึงต้องพิจารณาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ เช่นย่านความถี่ที่ใช้งาน วัสดุที่นำมาใช้เป็นสายอากาศควรมีค่าความนำสูงเพื่อลดปัญหาการสูญเสียกำลังงานในการส่งผ่าน และการเลือกชนิดของสายอากาศที่ต้องการทำการสร้างนั้น จำเป็นต้องพิจารณาถึงคุณลักษณะการเกิดความถี่เรโซแนนซ์ (resonant frequency) ความกว้างแถบ (bandwidth) ที่กว้างเพียงพอที่ต้องการนำไปใช้งาน และแบบรูปการแผ่พลังงาน (radiation pattern) ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) และระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane)

สายอากาศไดโพล (dipole antenna) เป็นสายอากาศที่นิยมใช้สำหรับเป็นจุดเข้าถึงเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย ซึ่งมีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นรอบทิศทาง ดังนั้นจึงทำให้เกิดการสูญเสียกำลังงานโดยเปล่าประโยชน์ไปในทิศทางที่ไม่ต้องการ เช่น บริเวณที่ไม่มีผู้ใช้งานระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย (Wireless Local Area Network หรือ WLAN) จากข้อจำกัดและปัญหาดังกล่าว (K.P. Yang, and K.L Wong, 2001) ได้ออกแบบสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิตโหลดแบบสมมูลที่มีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบเจาะจงทิศทาง แต่อย่างไรก็ตามสายอากาศดังกล่าวมีความถี่ใช้งานไม่เป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 802.11 b/g (Wi-Fi) ที่ความถี่ 2.45 GHz และมาตรฐาน IEEE 802.11 a ที่ความถี่ 5.25 GHz และ 5.8 GHz ดังนั้น (R. Wongsan and U. Kongmuang, 2006) นำเสนอสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิตโหลดแบบไม่สมมูล ที่สามารถรองรับการใช้งานในระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 a/b/g แต่เนื่องจากสายอากาศดังกล่าวมีอัตราขยายต่ำและมีแบบรูปการแผ่พลังงานที่ไม่สมมาตร งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอสายอากาศสำหรับเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายโดยใช้ไมโครสตริปด้วยที-สลิตโหลดแบบไม่สมมูล ซึ่งเป็นการนำสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิตโหลดแบบไม่สมมูลมาจัดแถวลำดับเพื่อเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศ ทำการปรับหาระยะที่เหมาะสมในการจัดแถวลำดับเพื่อลดระดับโพลข้าง (sidelobe levels) และปรับแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นให้มีความสมมาตร ด้วยการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของสลิตโหลดบนแต่ละด้านของสายอากาศไมโครสตริป และบรรจุสายอากาศลงในกล่องวัสดุที่เหมาะสม

สำหรับการใช้งานสายอากาศภายนอกอาคาร เพื่อป้องกันการชำรุดเสียหายและยืดอายุการทำงานของสายอากาศให้นานยิ่งขึ้น รูปที่ 1.1 แสดงการนำสายอากาศแถวลำดับโดยใช้ไมโครสตริปด้วยที-สลิคโพลแบบไม่สมดุล ไปประยุกต์ใช้ในเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย โดยสายอากาศนี้เหมาะสำหรับการใช้งานภายนอกอาคาร (outdoor) ซึ่งเป็นการเชื่อมโยงแบบจุดต่อจุด (point to point)



รูปที่ 1.1 การประยุกต์ใช้สายอากาศแถวลำดับโดยใช้ไมโครสตริปด้วยที-สลิคโพลแบบไม่สมดุล ในเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย สำหรับการใช้งานภายนอกอาคาร

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 ศึกษารูปแบบและออกแบบรูปร่างของสายอากาศแถวลำดับโดยใช้ไมโครสตริปด้วยที-สลิคโพลแบบไม่สมดุล สำหรับประยุกต์ใช้งานในเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 a/b/g

1.2.2 สร้างสายอากาศแถวลำดับต้นแบบเพื่อศึกษาผลจากการวัดทดสอบ เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D

1.2.3 วิเคราะห์หาวัสดุที่เหมาะสมในการบรรจุสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ สำหรับการใช้งานสายอากาศภายนอกอาคาร

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษารูปแบบและวิเคราะห์คุณลักษณะสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิค โหลดแบบไม่สมดุล

1.3.2 ศึกษาวิเคราะห์คุณลักษณะของสายอากาศแฉวลำดับเพื่อเพิ่มอัตราขยาย เจาะจงทิศทางให้ครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการ โดยนำเสนอผลจากโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D

1.3.3 สร้างสายอากาศแฉวลำดับโดยใช้ไมโครสตริปด้วยที-สลิค โหลดแบบไม่สมดุลเพื่อเปรียบเทียบผลจากการวัดและผลที่ได้จากการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D

1.4 สมมุติฐานของการวิจัย

1.4.1 เมื่อนำสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิค โหลดแบบไม่สมดุลมาจัดแฉว ลำดับ โดยมีระยะห่าง (d) ที่เหมาะสมซึ่งจะส่งผลให้สายอากาศมีอัตราขยายเพิ่มมากขึ้น และระดับ โหลดข้างที่ต่ำลง

1.4.2 เมื่อนำสายอากาศแฉวลำดับโดยใช้ไมโครสตริปด้วยที-สลิค โหลดแบบไม่ สมดุลมาทำการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของสลิค โหลดบนแต่ละด้านของสายอากาศไมโครสตริป เพื่อให้ สายอากาศมีแบบรูปการแผ่พลังงานที่สมมาตร

1.5 วิธีดำเนินการวิจัยและสถานที่ทำการทดลอง / เก็บข้อมูล

1.5.1 วิธีดำเนินการวิจัย

- ศึกษาและสำรวจวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศไมโครสตริป ด้วยที-สลิค โหลด
- ศึกษา รูปแบบของสายอากาศแฉวลำดับ โดยใช้ไมโครสตริปด้วยที-สลิค โหลดแบบไม่สมดุล
- ศึกษาการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป IE3D ทำการออกแบบสายอากาศแฉว ลำดับโดยใช้ไมโครสตริปด้วยที-สลิค โหลดแบบไม่สมดุล เพื่อให้ได้ สายอากาศแฉวลำดับต้นแบบที่มีลักษณะเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้ งานในเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย
- วิเคราะห์สมรรถนะของสายอากาศแฉวลำดับต้นแบบที่ได้จากการ จำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D
- สร้างสายอากาศแฉวลำดับต้นแบบ ทำการวัดทดสอบคุณลักษณะของ สายอากาศแฉวลำดับต้นแบบ

- วิเคราะห์เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดทดสอบและผลที่ได้จากการจำลองผล รวมทั้งสรุปผลงานวิจัย
- จัดทำบทความสำหรับนำเสนอผลการวิจัยและส่งตีพิมพ์
- จัดทำรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

1.5.2 สถานที่ทำการทดลอง / เก็บข้อมูล

อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 4 (F4) มหาวิทยาลัย

เทคโนโลยีสุรนารี

1.6 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย

เป็นองค์ความรู้ในการวิจัยต่อไป และเป็นบริการความรู้แก่สถาบันการศึกษาและหน่วยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบสายอากาศ หน่วยงานเอกชนหรือบริษัทที่ดำเนินธุรกิจเกี่ยวกับการสร้างและพัฒนาอุปกรณ์สื่อสารและโทรคมนาคม

บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรม

ในระบบการสื่อสาร สายอากาศเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับและส่งสัญญาณ ซึ่งได้มีการพัฒนาและปรับปรุงมาโดยตลอด เพื่อให้สายอากาศเกิดประสิทธิภาพในการเชื่อมต่อมากที่สุด โดยทั่วไปการเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศจะต้องคำนึงถึงการใช้งานเป็นสำคัญ เนื่องจากการใช้งานที่ต่างกันย่อมมีความต้องการคุณลักษณะของสายอากาศที่แตกต่างกันตามไปด้วย

2.1 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สายอากาศไมโครสตริปมีเทคนิคเบื้องต้นที่ทำให้สามารถทำงานลักษณะสองความถี่ได้พร้อมกัน คือ การกำหนดให้สายอากาศทำงานในโหมดตั้งฉากบนโครงสร้างของสายอากาศรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Antar, Ittipiboon, and Bhattachatyya, 1995) และบนโครงสร้างของสายอากาศที่มีรูปร่างวงกลม (Murakami, Chujo, Chiba, and Fujise, 1993) เทคนิคที่สองคือการวางสายอากาศซ้อนกันเป็นชั้น ๆ ซึ่งสามารถนำมาใช้กับสายอากาศรูปร่างวงกลม (Long and Walton, 1979) วงแหวน (Dahele, Lee, and Wong, 1987) สี่เหลี่ยมผืนผ้าและสามเหลี่ยม วิธีการวางเป็นชั้นได้มีการนำไปใช้กับสายอากาศลักษณะที่ทำงานความถี่เดียว ทำให้ได้ความกว้างแถบที่กว้างขึ้นโดยมีการป้อนกำลังที่แผ่นเดียวเท่านั้นและให้มีการเชื่อมต่อ (coupling) ไปยังแผ่นที่อยู่ด้านบน (Wang, Fralich, Wu, and Litva, 1990) ต่อมามีการทดลองโดยการนำวัสดุฐานรองชนิดเดียวกันมาวางซ้อนกันเป็นชั้น ๆ (Croq and Pozar, 1992) และเทคนิคสุดท้ายที่ได้รับความนิยม คือ การใช้โหลด (reactively-loaded) ซึ่งมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น การเพิ่มตัวปรับสายท่อนสั้น (stub loading) (Richards, Davidson, and Long, 1985) การโหลดแบบรอยบาก (notch loading) (Sanchez-Hernandez and Robertson, 1995) พินลัดวงจร (short pin) (Schaubert, Ferrar, Sindoris, and Hayes, 1981) ตัวเก็บประจุไฟฟ้า (capacitors) (Waterhouse and Shuley, 1992) และการใช้โหลดแบบร่อง (slits load) (Maci, Gentili, and Avitabile, 1993), (Yazidi, Himdi, and Daniel, 1993) และ (Maci, Gentili, Piazzesi, Biffi, and Salvador, 1995)

K.P. Yang and K.L Wong, (2001) ได้ออกแบบสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิค โหลดแบบสมมูลที่ทำงานในลักษณะสองความถี่ได้พร้อมกัน โดยมีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบเจาะจงทิศทาง ข้อเสียของสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิค โหลดแบบสมมูล คือ มีความถี่ใช้งานที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 802.11 a/b/g (R. Wongsan and U. Kongmuang, 2006) จึงได้มีการนำเสนอสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิค โหลดแบบไม่สมมูล ที่สามารถรองรับการใช้งานในระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 a/b/g และได้มีการเพิ่มความหนาของ

วัสดุฐานรอง เพื่อให้ได้ความกว้างแถบเพิ่มมากขึ้นเพียงพอสำหรับการนำไปใช้งาน แต่สายอากาศที่ได้มีอัตราขยายต่ำและมีแบบรูปการแผ่พลังงานที่ไม่สมมาตร

งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอสายอากาศสำหรับเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายโดยใช้ไมโครสตริปด้วยที-สลิคโพลคแบบไม่สมมาตร ซึ่งเป็นการนำสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิคโพลคแบบไม่สมมาตรมาจัดแถวลำดับเพื่อเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศ ด้วยการปรับเปลี่ยนระยะห่างระหว่างสายอากาศไมโครสตริปที่เหมาะสม และทำการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของสลิคโพลคบนแต่ละด้านของสายอากาศไมโครสตริป เพื่อให้สายอากาศมีแบบรูปการแผ่พลังงานที่สมมาตร และได้วิเคราะห์หาวัสดุที่เหมาะสมในการบรรจุสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ สำหรับการใช้งานสายอากาศภายนอกอาคาร

2.2 สรุป

สายอากาศไมโครสตริปมีลักษณะคล้ายแผ่นพิมพ์ที่ใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์ชนิดที่มีแผ่นทองแดงประกบอยู่ทั้งสองด้านและมีไดอิเล็กตริกที่เป็นวัสดุฐานรองทำจากวัสดุชนิดต่าง ๆ คั่นกลางอยู่ การศึกษาเกี่ยวกับสายอากาศไมโครสตริปนี้มีการพัฒนารูปร่างเพื่อความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง

บทที่ 3

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการออกแบบสายอากาศที่ทำงานได้สองความถี่โดยใช้สายอากาศเพียงตัวเดียว (dual frequency operation) สำหรับนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบการสื่อสารแบบไร้สาย ระบบการสื่อสารแบบเคลื่อนที่ เป็นต้น ซึ่งต้องการการรับส่งสัญญาณแบบสองความถี่หรือมากกว่าสองความถี่ และเมื่อนำสายอากาศที่ทำงานได้สองความถี่โดยใช้สายอากาศเพียงตัวเดียวเปรียบเทียบกับสายอากาศที่ทำงานความถี่เดียวแต่มีความกว้างแถบครอบคลุมตลอดทั้งสองแถบความถี่ พบว่าสายอากาศที่ทำงานได้สองความถี่โดยใช้สายอากาศเพียงตัวเดียวมีข้อดี คือ สามารถกำหนดเฉพาะความถี่รีโซแนนซ์ที่ต้องการนำไปใช้ในงานลักษณะสองความถี่ได้โดยตรงกับความถี่รีโซแนนซ์ที่ต้องการ ทำให้ประหยัดพลังงานมากกว่าการใช้สายอากาศที่ทำงานในลักษณะความถี่กว้างแถบที่กว้าง

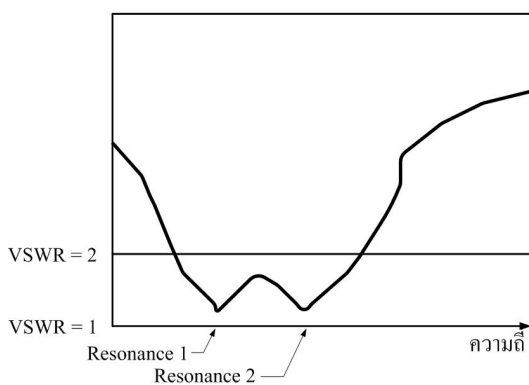
3.1 สายอากาศไมโครสตริปสองความถี่

สำหรับการออกแบบให้สายอากาศหนึ่งตัวไปเป็นสายอากาศสองความถี่ เริ่มต้นจากการออกแบบให้สายอากาศทำงานที่ความถี่เพียงความถี่เดียว แต่ให้มีแถบความถี่ที่กว้าง เพื่อเป็นการเตรียมสองความถี่ไว้ให้มีการเชื่อมต่อกัน (couple) ทำให้ได้สายอากาศแถบกว้าง (wide band operation) จากรูปที่ 3.1 แสดงสายอากาศไมโครสตริปที่ถูกออกแบบให้มีการทำงานในลักษณะสองความถี่โดยตรง และการทำงานแบบแถบกว้างเมื่อความถี่รีโซแนนซ์สองความถี่เชื่อมต่อกัน

การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปเพื่อทำให้เกิดการทำงานในลักษณะสองความถี่ มีด้วยกันหลายเทคนิควิธี ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึง 3 เทคนิค ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ (1) เทคนิคการกำหนดให้สายอากาศทำงานในโหมดตั้งฉากบนโครงสร้างของสายอากาศแพทช์ที่มีรูปร่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Antar, Ittipiboon, and Bhattachatyya, 1995) หรือบนแพทช์รูปวงกลม (Murakami, Chujo, Chiba, and Frujise, 1993) (2) เทคนิคการวางสายอากาศหลายชั้น (multi-patch) คือ สามารถใช้สายอากาศรูปร่างวงกลม สี่เหลี่ยมผืนผ้า และสามเหลี่ยม (Long, Walton, 1979) หรือวงแหวน (Dahale, Lee, and Wong, 1987) โดยรูปแบบการวางเป็นชั้น ๆ ได้มีการนำไปใช้กับสายอากาศเพื่อต้องการเพิ่มความถี่ให้กว้างขึ้น ที่การทำงานความถี่เดียวโดยมีการป้อนกำลังงานที่แพทช์หลักตำแหน่งเดียวเท่านั้น และให้มีการเชื่อมต่อไปยังแพทช์ที่อยู่ด้านบน (Wang, Fralich, Wu, and Litva, 1990) จากนั้นมีการทดลองนำวัสดุฐานรองชนิดเดียวกันมาวางซ้อนกันหลายชั้น (Croq, and Pozar, 1992) และ (3) เทคนิคการใช้โหนด เป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมมาก เนื่องจากมีหลายรูปแบบ เช่น การเพิ่มตัวปรับสายท่อนสั้น (Richards, Davidson, and Long, 1985) การบาก

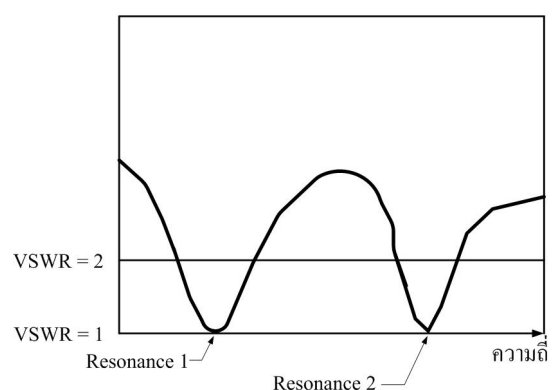
(Sanchez-Hernandez, and Robertson, 1995) การลัดวงจร (Schaubert, Ferrar, Sindoris, and Hayes, 1981) ตัวเก็บประจุไฟฟ้า (Waterhouse, and Shuley, 1992) และการใช้โหลดแบบร่อง (Maci, Gentili, and Avitabile, 1993) (Yazidi, Himdi, and Daniel, 1993) และ (Maci, Biffi Gentili, Piazzesi, and Salvador, 1995) แพทช์รูปร่างกลม (Murakami, Chujo, Chiba, and Frujise, 1993)

การทำงานแบบแถบกว้างเมื่อความถี่รีโซแนนซ์
สองความถี่เชื่อมต่อกันเป็นแถบเดียว



(ก) ค่า VSWR ของการเกิดความกว้างแถบกว้าง

ลักษณะการทำงานสองความถี่

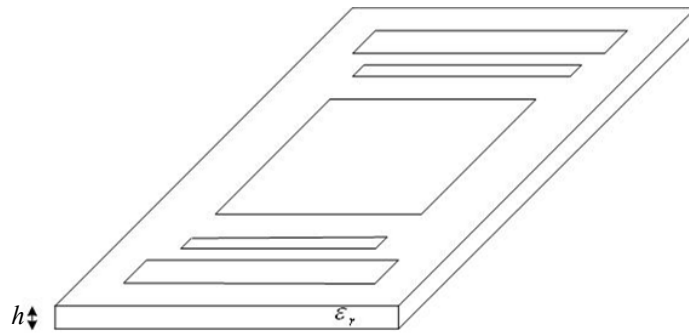


(ข) ค่า VSWR ของการเกิดความกว้างแถบสองความถี่

รูปที่ 3.1 ค่า VSWR ของการเกิดความกว้างแถบกว้างและความกว้างแถบสองความถี่

สายอากาศไมโครสตริปได้รับความนิยม เพราะมีน้ำหนักเบา ราคาถูก แต่มีข้อเสียในเรื่องความกว้างแถบที่แคบ ดังนั้นเมื่อออกแบบให้สายอากาศมีการทำงานแบบสองความถี่ได้แล้ว แต่ความกว้างแถบไม่เพียงพอสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งาน จึงได้มีงานวิจัยที่นำเสนอเทคนิคใหม่ๆ ขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาในเรื่องการเพิ่มความกว้างแถบหลายเทคนิค และมีเทคนิคหนึ่งที่ทำให้ความกว้างแถบของสายอากาศไมโครสตริปเพิ่มขึ้นจากเดิม 10-20% คือ เทคนิคการเพิ่มองค์ประกอบปรสิต (parasitic element) ในชั้นเดียวกัน (Aanandan, 1986) ในโครงสร้างระนาบร่วม (coplanar geometry) จากรูปที่ 3.2 แสดงองค์ประกอบปรสิตไดโพลที่มีความยาวแตกต่างกันถูกนำมาวางด้านหน้าและด้านหลังของสายอากาศแพทช์หลักที่ทำหน้าที่แผ่พลังงาน ซึ่งองค์ประกอบปรสิตนี้จะถูกกระตุ้นโดยการเชื่อมต่อกับแพทช์หลัก และเนื่องจากตำแหน่งองค์ประกอบปรสิตถูกนำมาวางในลักษณะสมมาตรทั้งสองด้าน โดยมีแพทช์หลักวางอยู่ตำแหน่งกึ่งกลางของสายอากาศ ดังนั้นการแผ่กำลังงานสูงสุดจะตั้งฉากกับระนาบของสายอากาศและระนาบที่เกิดโพลาริซชันตรงข้ามซึ่งมีค่าต่ำ (Zurcher, and Gardiol,

1995) จากการที่องค์ประกอบปรสิตและแพทช์หลักมีความถี่รีโซแนนซ์ที่ความถี่ต่าง ๆ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันมากจึงสามารถที่จะรวมเข้าด้วยกันเพื่อเพิ่มความกว้างแถบของสายอากาศ แต่เทคนิคนี้มีข้อเสีย คือ สายอากาศมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นราคาของสายอากาศจึงแพงขึ้น และการสร้างสายอากาศทำได้ยากขึ้น

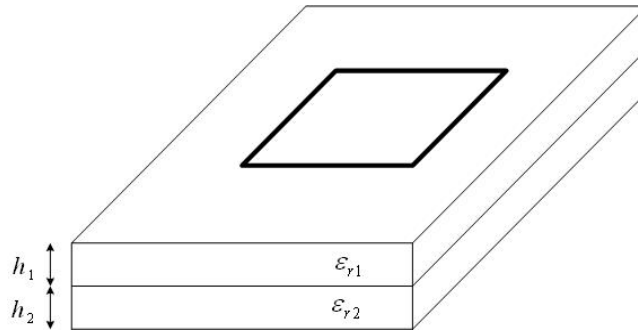


รูปที่ 3.2 โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริปแบบระนาบร่วม

สำหรับเทคนิคอื่น ๆ ที่เป็นการเพิ่มความกว้างแถบของสายอากาศไมโครสตริป คือ การใช้สายอากาศสองตัวหรือมากกว่า ให้มีการเชื่อมต่อกันระหว่างสายอากาศที่นำมาวางซ้อนกันเป็นชั้น (stack) (Lee, and Bobinchak, 1987) แสดงดังรูป 3.3 โดยโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการวางซ้อนเป็นชั้น ๆ สามารถเลือกขนาดของสายอากาศแต่ละชั้นให้มีขนาดแตกต่างกันได้ เพื่อเพิ่มความกว้างแถบหรือเพื่อให้ได้การทำงานของสายอากาศแบบแถบคู่ (Zurcher, and Gardiol, 1995) จากรูปที่ 3.3 จะเห็นว่าแพทช์ที่อยู่ต่ำกว่าจะถูกป้อนกำลังงานโดยตรง ส่วนแพทช์ที่อยู่ด้านบนจะเป็นการเชื่อมต่อกับความกว้างแถบของสายอากาศ ซึ่งสามารถเพิ่มขึ้นได้เมื่อความสูงของสายอากาศเพิ่มขึ้น สำหรับสายอากาศที่ใช้เทคนิคแบบนี้มีข้อเสีย คือ ความสูงของสายอากาศเพิ่มขึ้น เพราะฉะนั้นเมื่อพิจารณาวิธีการเพิ่มความกว้างแถบแล้วเทคนิคนี้น่าสนใจเพราะยังคงอยู่ในแนวความคิดแบบชั้นเดียวแพทช์เดี่ยว (single-layer single-patch)

เทคนิคการป้อนกำลังงานให้แก่สายอากาศไมโครสตริปเพื่อทำให้เกิดโพลาไรซ์แบบวงกลมบนโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปมี 2 เทคนิคได้แก่ (1) การป้อนกำลังงานแบบแหล่งจ่ายคู่ (dual feed) เป็นการป้อนกำลังงานให้กับตัวสายอากาศไมโครสตริปโดยใช้ตัวป้อนกำลังงานสองตัวขึ้นไป โดยกำหนดให้แหล่งจ่ายหรือตัวป้อนกำลังงานทั้งสองตั้งฉากกัน และแหล่งจ่ายทั้งสองมีขนาดแรงดันเท่ากัน แต่เฟสต่างกัน 90 องศา เช่นแหล่งจ่ายแรกมีขนาดเท่ากับ $1\angle 0^\circ$ ดังนั้นแหล่งจ่ายตัวที่สองจะต้องมีขนาดแรงดันเท่ากับ $1\angle 90^\circ$ เพื่อกำหนดโพลาไรซ์แบบ LHCP (Left Hand

Circularly Polarization) หรือ RHCP (Right Hand Circularly Polarization) ซึ่งต้องออกแบบแหล่งจ่ายผ่านตัวแบ่งกำลังไฟฟ้า (power divider) ก่อนจ่ายให้กับสายอากาศไมโครสตริป และ (2) การป้อนกำลังงานเดี่ยว (single feed) สามารถแทนการป้อนกำลังงานแบบคู่ด้วยการป้อนกำลังงานแหล่งจ่ายเดี่ยวได้ โดยการป้อนกำลังงานในแนวเส้นทแยงมุมของแพทช์

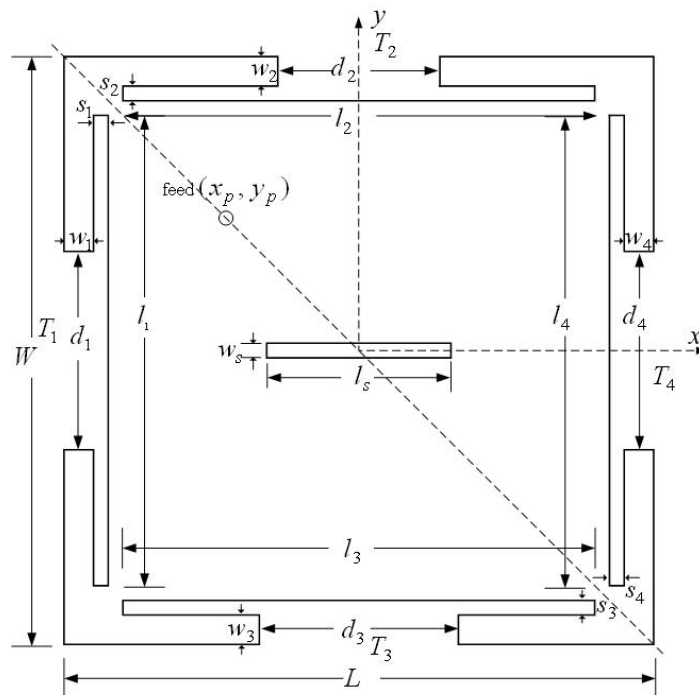


รูปที่ 3.3 โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริปกับเทคนิคการวางซ้อน

สำหรับการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปทำงานสองความถี่ในงานวิจัยนี้ได้เริ่มต้นพิจารณาจากสายอากาศไมโครสตริปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กำหนดให้มีขนาดความกว้างและความยาวตามขนาดของความถี่ด้านต่ำกว่า สายอากาศไมโครสตริปสองความถี่นี้ได้ออกแบบความถี่รีโซแนนซ์ให้ตรงกับการนำไปใช้ในระบบการสื่อสารแบบไร้สาย ตามมาตรฐาน IEEE 802.11b/g (Wi-Fi) ที่ความถี่ 2.45 GHz และความถี่ด้านสูงกว่ามีความถี่รีโซแนนซ์ให้ตรงกับความถี่การนำไปใช้ในระบบสื่อสารแบบไร้สาย และมีแถบตามมาตรฐาน IEEE 802.11a ที่ความถี่ 5.25 GHz และ 5.8 GHz จึงกำหนดความถี่ใช้งานคือ 2.45 GHz และ 5.8 GHz ดังนั้นการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปสองความถี่ต้องมีแถบความถี่ครอบคลุมดังนี้ แถบที่ 1 มีแถบความถี่ตั้งแต่ความถี่ 2.40 GHz ถึงความถี่ 2.4835 GHz หรือ 3.40 % และแถบที่ 2 มีแถบความถี่ตั้งแต่ความถี่ 5.725 GHz ถึงความถี่ 5.875 GHz หรือ 2.58 %

3.2 โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริปสองความถี่แบบโพลาไรซ์เชิงวงกลม

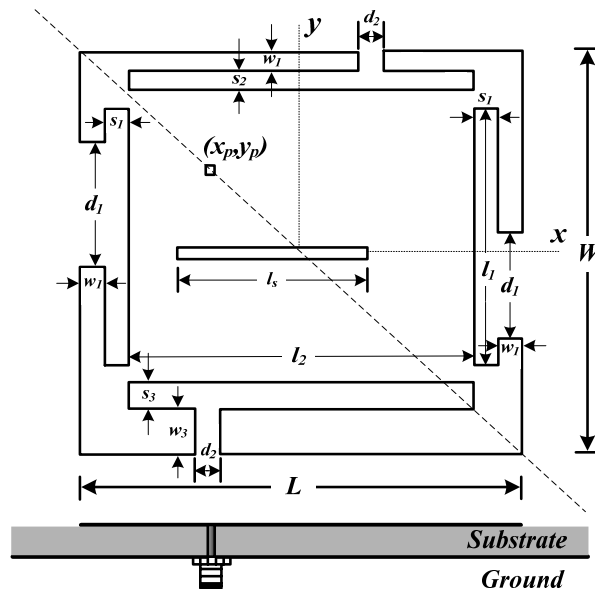
สายอากาศไมโครสตริปที่ทำงานสองความถี่และมีโพลาไรซ์ในลักษณะเชิงวงกลมที่มีการป้อนกำลังงานแบบแหล่งจ่ายเดียวนั้นได้มีการนำเสนอโดย (Yang, and Wong, 2001) ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงการทำงานสองความถี่ของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการป้อนกำลังงานแบบแหล่งจ่ายเดี่ยวด้วยโพรบตามแนวเส้นทแยงมุมเพื่อให้เกิดโพลาไรซ์เชิงวงกลม เมื่อพิจารณาพารามิเตอร์ต่าง ๆ มีดังต่อไปนี้ คือ โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริปมีรูปร่างสี่เหลี่ยมชั้นเดียว (single layer) แสดงดังรูปที่ 3.4 มีความกว้าง W และความยาว L ตามความถี่รีโซแนนซ์ด้านต่ำกว่า วางบนวัสดุฐานรองที่มีความสูง h มีค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ (relative permittivity) ϵ_r และมีการเพิ่มโหลดแบบร่องรูปตัวที (T) ที่ขอบทั้ง 4 ด้านของแพทช์ ส่วนของลักษณะรูปร่างโหลดแบบร่องรูปตัวทีที่ T_1, T_2, T_3 และ T_4 นั้นมีพารามิเตอร์ดังนี้ d, w, s และ l จะกำหนดขนาดของ $l \gg s$ เมื่อพิจารณาต่อไปพบว่ารูปร่างโหลดแบบร่องรูปตัวทีที่ T_1, T_2, T_3 และ T_4 นั้นมีผลกระทบต่อ การปรับละเอียด (fine-adjusting) เพื่อรับกวนโหมด TM_{30}



รูปที่ 3.4 โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริปสองความถี่แบบโพลาไรซ์เชิงวงกลม

เนื่องจากการใส่โหลดแบบร่องรูปตัวทีนั้น นอกจากจะทำให้แพทช์ถูกกระตุ้นเส้นทางการเดินของกระแสเชิงผิว (current distribution) ของโหมด TM_{10} แล้วยังทำให้เกิดโหมด TM_{30} ซึ่งในโหมด TM_{30} นี้มีแบบรูปการแผ่พลังงานเกิดขึ้นคล้ายกับโหมด TM_{10} (Maci และคณะ, 1995) และการเพิ่มร่องกลางที่มีขนาดแคบ ๆ ขนาด $l_s \times w_s$ ($l_s \gg w_s$) ในตำแหน่งกลางของแพทช์สี่เหลี่ยมตามแนวเส้นกึ่งกลางของแกน x ทำให้ถูกรบกวนทั้งสองโหมดและสามารถแยกทั้งสองโหมดนี้ให้เป็นโหมดใกล้เคียงหาย (near-degenerate mode) เพื่อเกิดการทำงานเป็นแบบสองความถี่และป้อนกำลังงานแบบโพรบเดียวที่ตำแหน่ง (x_p, y_p) ตามแนวเส้นทแยงมุมของแพทช์ สามารถกระตุ้นทำให้เกิดการแผ่พลังงานแบบ RHCP และ LHCP ได้

3.3 สายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิทโหลดแบบไม่สมมูล



รูปที่ 3.5 สายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิทโหลดแบบไม่สมมูล

จากรูปที่ 3.5 แสดงสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิทโหลดแบบไม่สมมูล (อุษา คงเมือง, 2549) โดยมีค่าพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้ คือ ค่าสูญเสียแทนเจนต์ (δ) เท่ากับ 0.02 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ_r) ของวัสดุฐานรอง คือ FR4 เท่ากับ 4.4 ความสูงมาตรฐานของวัสดุฐานรอง (h) เท่ากับ 1.6 มิลลิเมตร จำนวนสองแผ่นเพื่อเพิ่มความหนาของวัสดุฐานรองเป็น 3.2 มิลลิเมตร ตามที่ได้ออกแบบไว้ เพื่อให้ได้ความกว้างแถบเพิ่มมากขึ้นเพียงพอสำหรับการนำไปใช้งาน โดยมีขนาดของระนาบกราวด์เท่ากับ 75×75 ตารางมิลลิเมตร ดังนั้น จะได้

$h = 3.2$ มิลลิเมตร ตำแหน่งการป้อน $(x_p, y_p) = (-8.2, 6.275)$ มิลลิเมตร $L = 36.724$ มิลลิเมตร
 $W = 31.231$ มิลลิเมตร $d_1 = 9.067$ มิลลิเมตร $d_2 = 2.014$ มิลลิเมตร $d_3 = 2.015$ มิลลิเมตร
 $d_4 = 8.059$ มิลลิเมตร $w_1 = 2.015$ มิลลิเมตร $w_2 = 1.511$ มิลลิเมตร $w_3 = 3.525$ มิลลิเมตร
 $w_4 = 2.014$ มิลลิเมตร $w_s = 1.007$ มิลลิเมตร $l_s = 15.830$ มิลลิเมตร $l_1 = 19.948$ มิลลิเมตร
 $l_2 = 28.665$ มิลลิเมตร $l_3 = 28.665$ มิลลิเมตร $l_4 = 19.948$ มิลลิเมตร $s_1 = 2.015$ มิลลิเมตร
 $s_2 = 1.410$ มิลลิเมตร $s_3 = 2.017$ มิลลิเมตร และ $s_4 = 2.015$ มิลลิเมตร

3.4 สรุป

จากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมพบว่าสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิทโหลดแบบไม่สมดุล มีอัตราขยายที่ค่อนข้างต่ำและมีลักษณะแบบรูปการแผ่พลังงานที่ไม่สมมาตรทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำสายอากาศดังกล่าวมาทำการจัดแถวลำดับเพื่อเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศและหาวิธีการปรับปรุงแบบรูปการแผ่พลังงานให้มีความสมมาตรโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป IE3D เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของสายอากาศซึ่งโปรแกรม IE3D ที่ใช้ในการจำลองปัญหาสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อวิเคราะห์โครงสร้างของปัญหา เป็นโปรแกรมที่มีความถูกต้องเที่ยงตรงของการจำลองผลขึ้นอยู่กับขนาดของกริดเซลล์ ถ้าขนาดของกริดเซลล์ยิ่งเล็กลงจะทำให้มีความถูกต้องแม่นยำเพิ่มมากขึ้น แต่ระยะเวลาใช้ในการจำลองผลก็จะเพิ่มตามมากขึ้นด้วยดังที่จะกล่าวในหัวข้อต่อไป

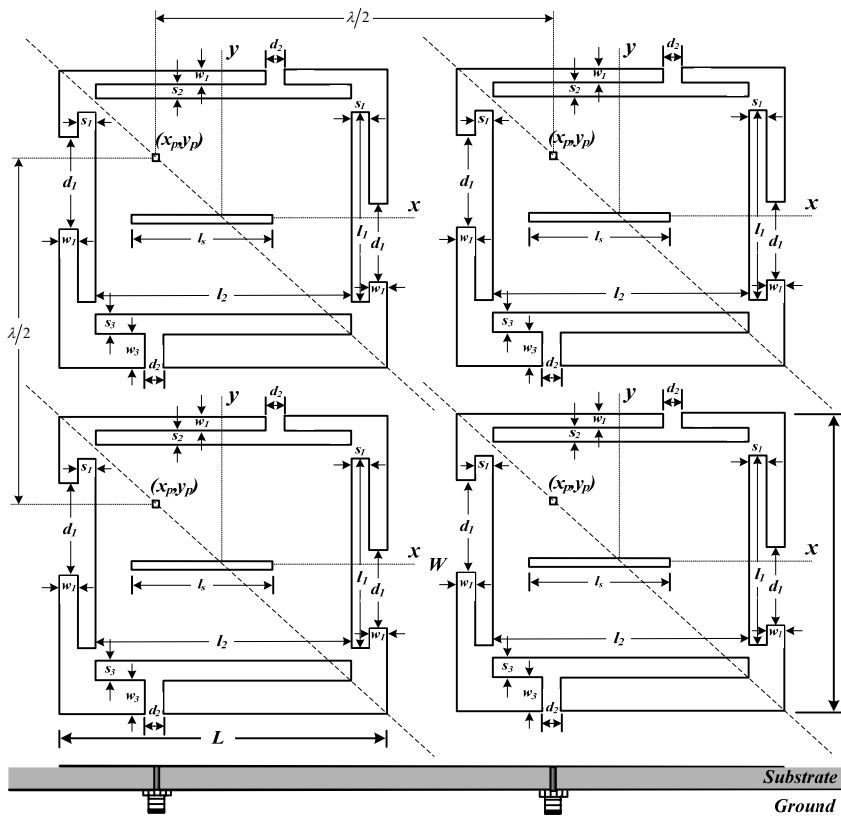
บทที่ 4

การวิเคราะห์และออกแบบสายอากาศ

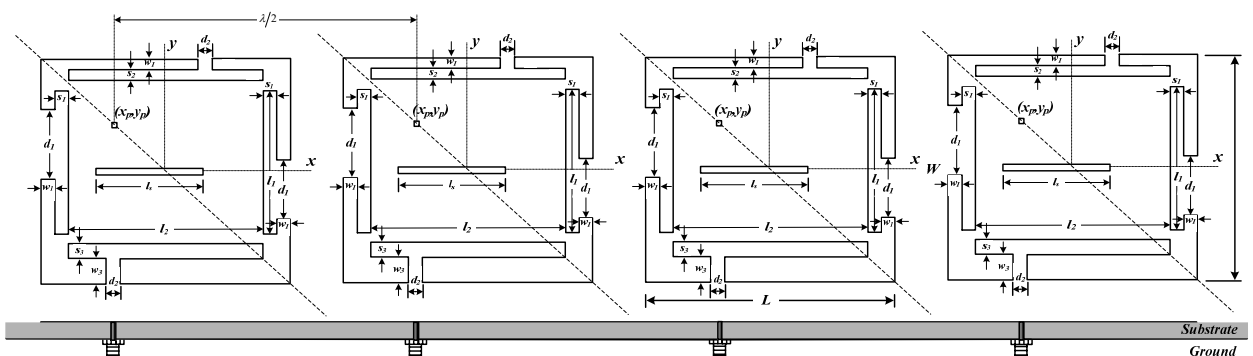
ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบสายอากาศแถวลำดับให้อัตราขยายด้านหน้าโดยใช้แผ่นไมโครสตริปด้วยที-สลิคโหลคแบบไม่สมดุล ซึ่งได้ศึกษารูปแบบของการจัดแถวลำดับ การปรับระยะห่างระหว่างสายอากาศของสายอากาศแถวลำดับ และการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของสลิคโหลคในแต่ละด้านของสายอากาศ โดยได้ทำการจำลองโครงสร้างสายอากาศด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D ซึ่งเป็นโปรแกรมการแก้ปัญหาทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ด้วยวิธีโมเมนต์ (Method of Moments : MoM) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของสายอากาศ ก่อนที่จะได้ทำการสร้างสายอากาศแถวลำดับต้นแบบขึ้นมา ซึ่งจะได้กล่าวในบทต่อไป

4.1 ศึกษาารูปแบบของการจัดแถวลำดับของสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิคโหลคแบบไม่สมดุล

ในการจัดแถวลำดับของสายอากาศนั้นผู้วิจัยได้ทำการออกแบบรูปแบบของแถวลำดับหลายรูปแบบ ได้แก่ (1) แบบ 2×2 (2) แบบ 4×1 และ (3) แบบ 1×4 แสดงดังรูปที่ 4.1(ก) (ข) และ (ค) ตามลำดับ โดยมีระยะห่างระหว่างสายอากาศเท่ากับ $\lambda/2$ หรือ 61.22 มิลลิเมตร โดยกำหนดขนาดของระนาบกราวด์เท่ากับ 75×205 ตารางมิลลิเมตร พบว่าการจัดแถวลำดับของสายอากาศแบบ 1×4 จะให้อัตราขยายด้านหน้ามากที่สุดและสามารถครอบคลุมพื้นที่ในการใช้งานที่กว้างกว่า และเมื่อพิจารณาผลที่ได้พบว่าการนำสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิคโหลคแบบไม่สมดุลมาจัดแถวลำดับนั้นทำให้ได้อัตราขยายที่เพิ่มขึ้น แต่แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศแถวลำดับมีระดับโหลบข้าง (side lobe) ที่สูงและไม่สมมาตร แสดงดังรูป 4.2(ก) และรูปที่ 4.2(ข) แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแถวลำดับ



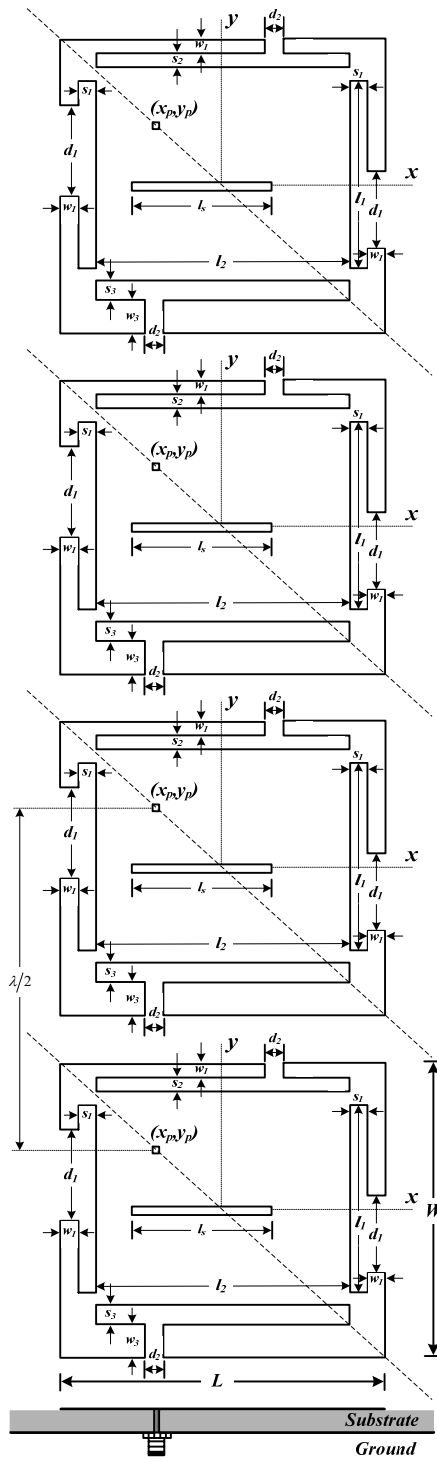
(ก) แบบ 2×2



(ข) แบบ 4×1

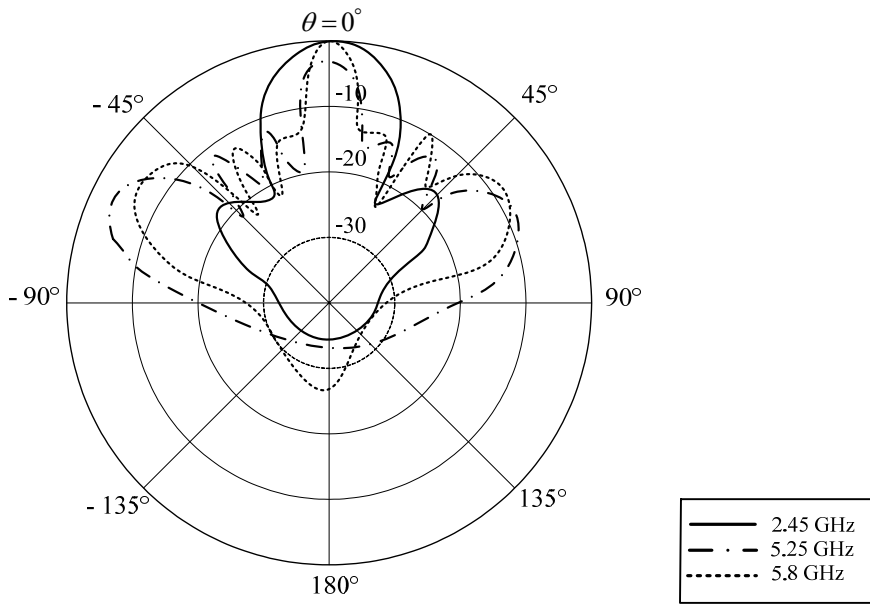
รูปที่ 4.1 รูปแบบการจัดแถวลำดับของสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิคโหลด

แบบไม่สมมูล โดยมีระยะห่างระหว่างสายอากาศเท่ากับ $\lambda/2$

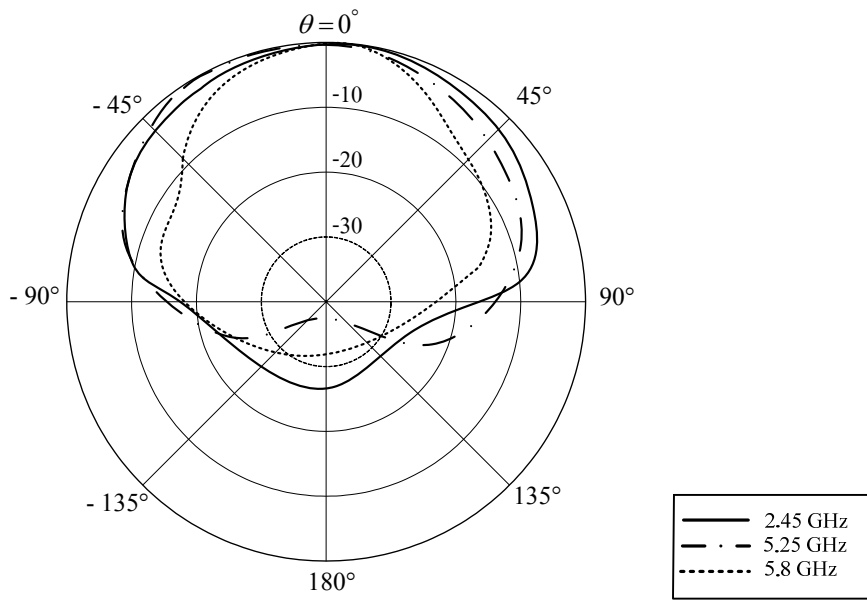


(ค) แบบ 1×4

รูปที่ 4.1 รูปแบบการจัดแถวลำดับของสายอากาศไมโครสตริปด้วยที่-สลิตโหลดแบบไม่สมมูล โดยมีระยะห่างระหว่างสายอากาศเท่ากับ $\lambda/2$ (ต่อ)



(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า

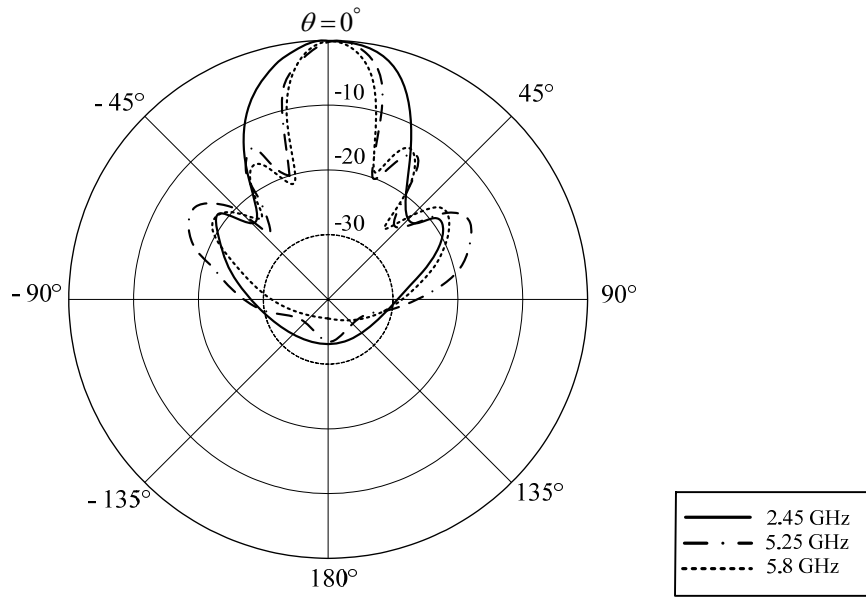


(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

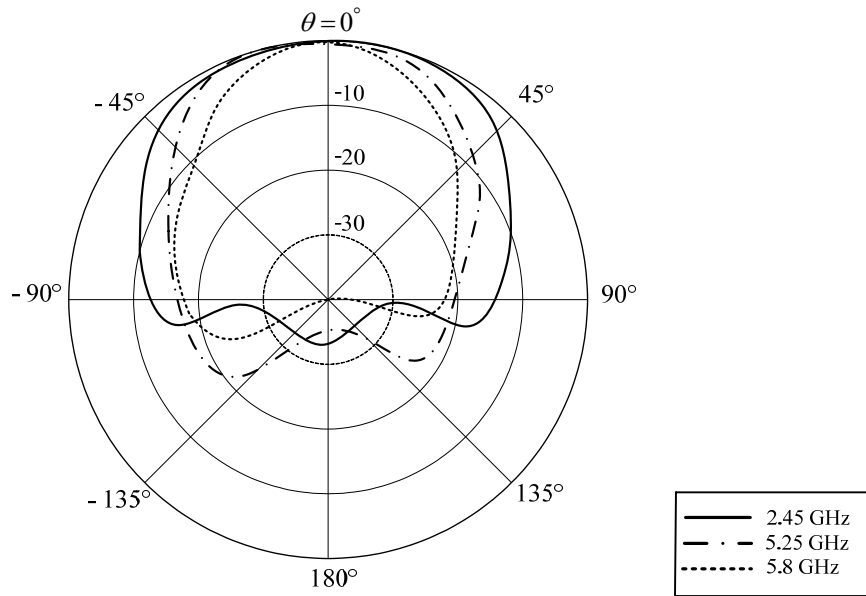
รูปที่ 4.2 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับ
ที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศเท่ากับ $\lambda/2$

4.2 ศึกษาการปรับระยะห่างระหว่างสายอากาศของสายอากาศแถวลำดับให้อัตราขยายด้านหน้าโดยใช้แผ่นไมโครสตริปด้วยที-สลิคโหนดแบบไม่สมมูล

จากการจำลองผลสายอากาศแถวลำดับโดยใช้ไมโครสตริปด้วยที-สลิคโหนดแบบไม่สมมูลแบบ 1×4 โดยมีระยะห่างระหว่างสายอากาศเท่ากับ $\lambda/2$ พบว่าแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับมีระดับโพลข้างที่สูงและไม่สมมาตร ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการปรับหาระยะห่างระหว่างสายอากาศที่เหมาะสมในการจัดแถวลำดับ เพื่อลดระดับโพลข้างและเพื่อปรับปรุงให้แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับมีความสมมาตร ได้กำหนดระยะห่างระหว่างสายอากาศเท่ากับค่าดังต่อไปนี้ คือ λ $\lambda/2$ $\lambda/3$ และ $\lambda/4$ โดยพิจารณาจากการทำให้เหมาะสมที่สุด (optimization) จากผลการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D พบว่าที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศเท่ากับ $\lambda/3$ หรือ 40.82 มิลลิเมตร แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับมีระดับโพลข้างที่ต่ำที่สุด โดยที่ระยะห่างน้อยกว่า $\lambda/3$ คือ ที่ระยะห่าง $\lambda/4$ จะทำให้สายอากาศซ้อนทับกัน และที่ระยะห่างมากกว่า $\lambda/3$ คือ ที่ระยะห่าง λ และ $\lambda/2$ แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับยังมีระดับโพลข้างที่สูงอยู่ ถึงแม้ว่าจะได้ทำการปรับหาระยะห่างระหว่างสายอากาศที่เหมาะสมในการจัดแถวลำดับแล้ว พบว่าแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับนั้นได้ถูกปรับปรุงให้ดีขึ้นโดยมีระดับโพลข้างที่ลดลง แต่ยังมีลักษณะของแบบรูปการแผ่พลังงานที่ไม่สมมาตรรูปที่ 4.3 แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศเท่ากับ $\lambda/3$ ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีระดับโพลข้างที่ต่ำกว่ารูปที่ 4.2



(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า

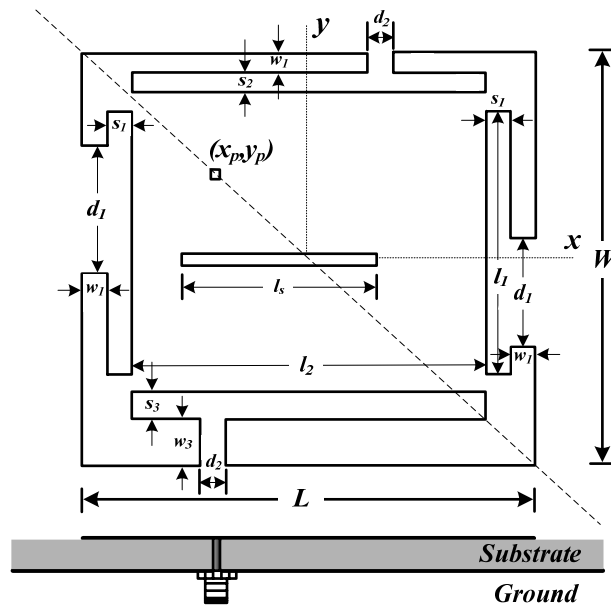


(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

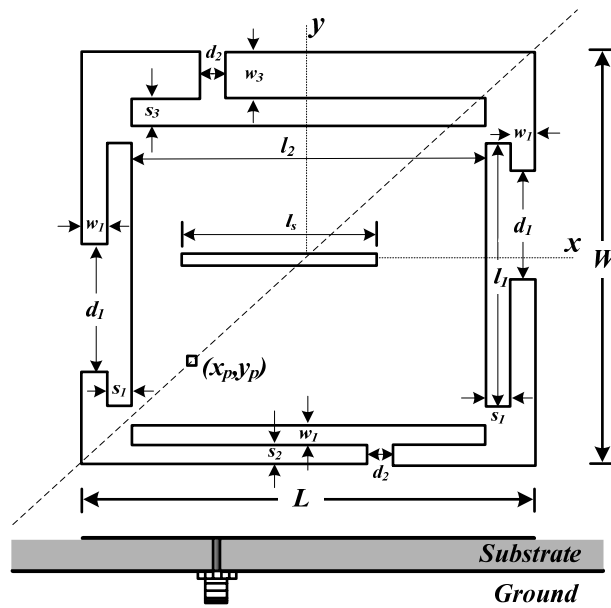
รูปที่ 4.3 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับ
ที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศ เท่ากับ $\lambda/3$

4.3 ศึกษาการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของสลิตโพลดในแต่ละด้านของสายอากาศ

จากการจำลองผลสายอากาศแถวลำดับโดยใช้ไมโครสตริปด้วยที-สลิตโพลดแบบไม่สมดุลงแบบ 1×4 โดยมีระยะห่างระหว่างสายอากาศเท่ากับ $\lambda/3$ พบว่าแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับมีระดับโพลบข้างที่ลดลง แต่ยังมีลักษณะของแบบรูปการแผ่พลังงานที่ไม่สมมาตร ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของสลิตโพลดในแต่ละด้านของสายอากาศเพื่อปรับปรุงแบบรูปการแผ่พลังงานให้มีความสมมาตร จากการศึกษากการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของสลิตโพลดในแต่ละด้านของสายอากาศสามารถแบ่งรูปแบบของสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิตโพลดแบบไม่สมดุลงได้ 2 รูปแบบ คือ สายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิตโพลดแบบไม่สมดุลงรูปแบบ ก เป็นสายอากาศรูปแบบเดิม และสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิตโพลดแบบไม่สมดุลงรูปแบบ ข เป็นสายอากาศที่มีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของสลิตโพลดในแต่ละด้านของสายอากาศ รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบสายอากาศทั้ง 2 รูปแบบ จากการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของสลิตโพลดในแต่ละด้านของสายอากาศดังรูปแบบ ข จะส่งผลให้เกิดการสลับด้านกันของแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าเมื่อเทียบกับรูปแบบ ก และแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กไม่มีการเปลี่ยนแปลง ยังคงมีลักษณะเหมือนรูปแบบ ก รูปที่ 4.5 และ 4.6 แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศรูปแบบ ก และสายอากาศรูปแบบ ข ตามลำดับ

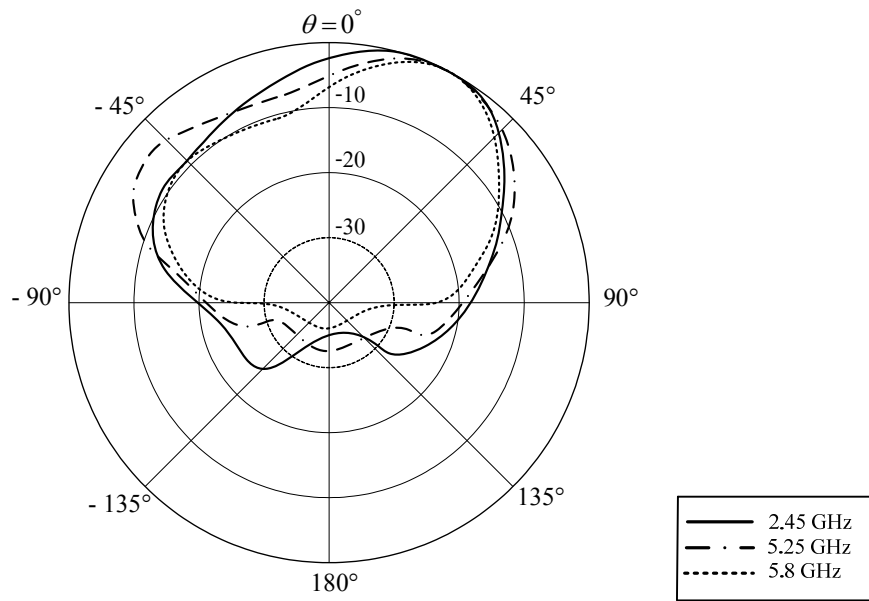


(ก) สายอากาศรูปแบบ ก

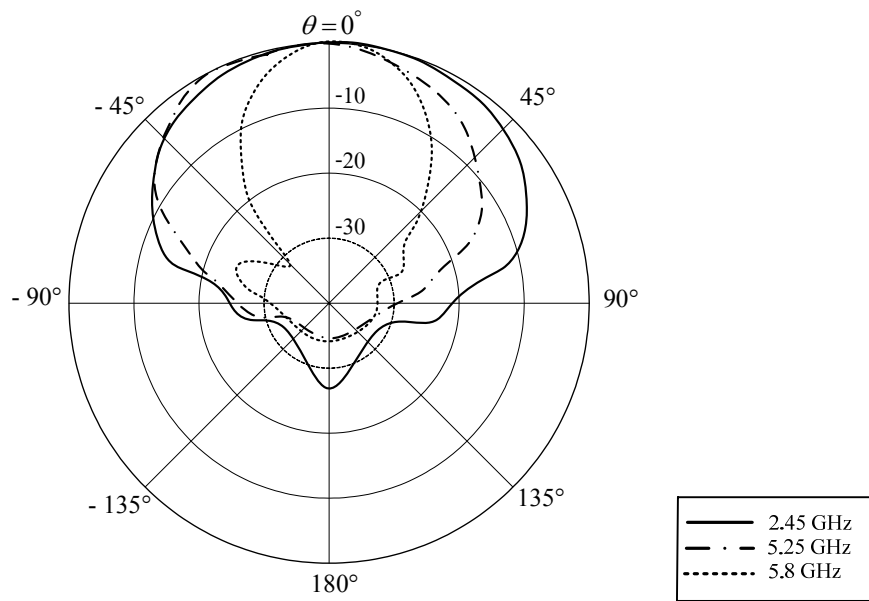


(ข) สายอากาศรูปแบบ ข

รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิคโหลคแบบไม่สมมูลทั้ง 2 รูปแบบ

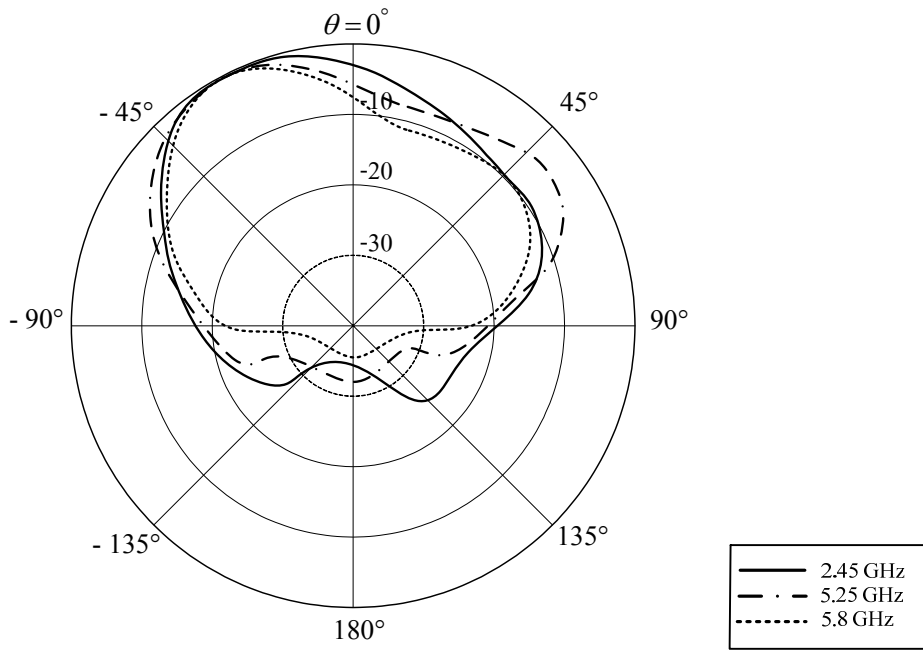


(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า

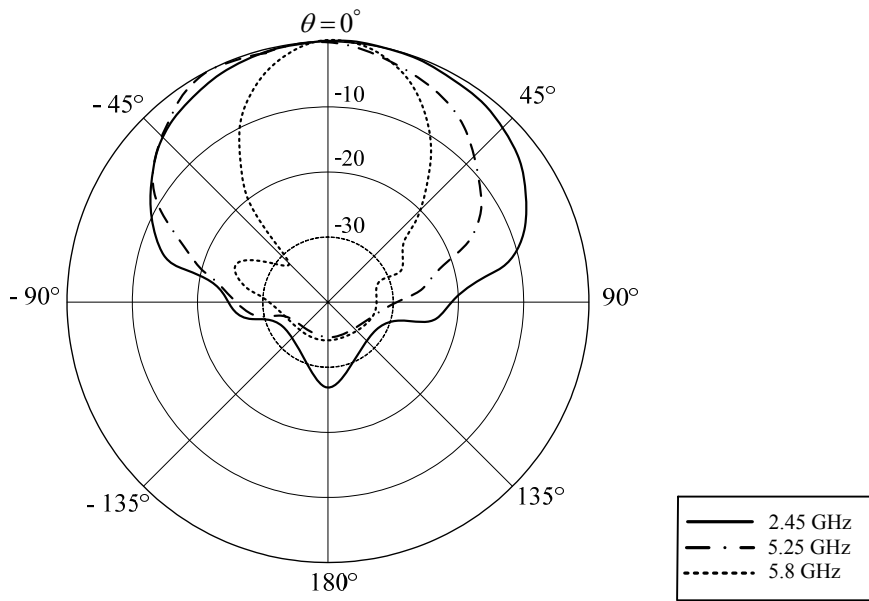


(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.5 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศรูปแบบ ก

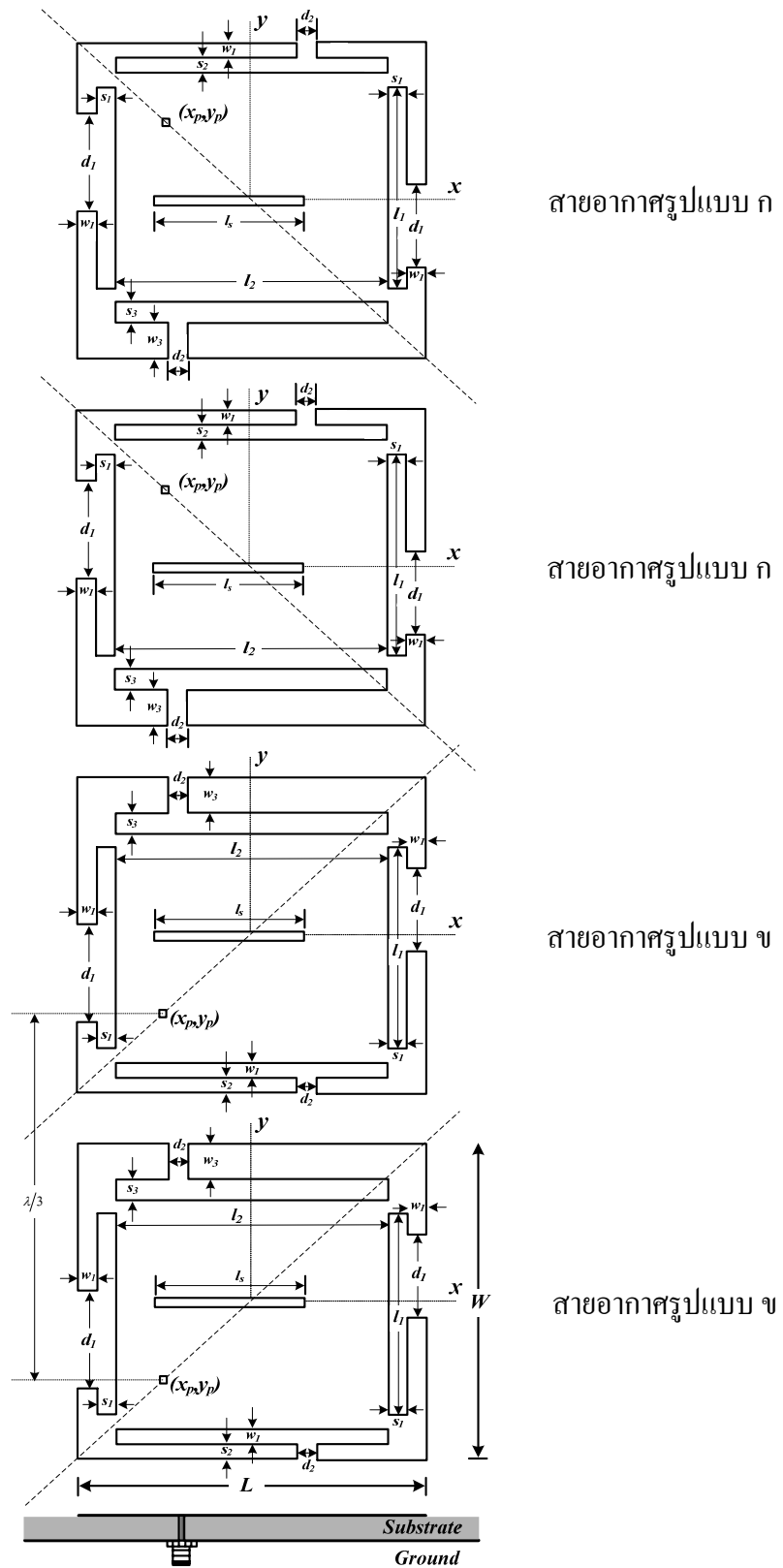


(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า



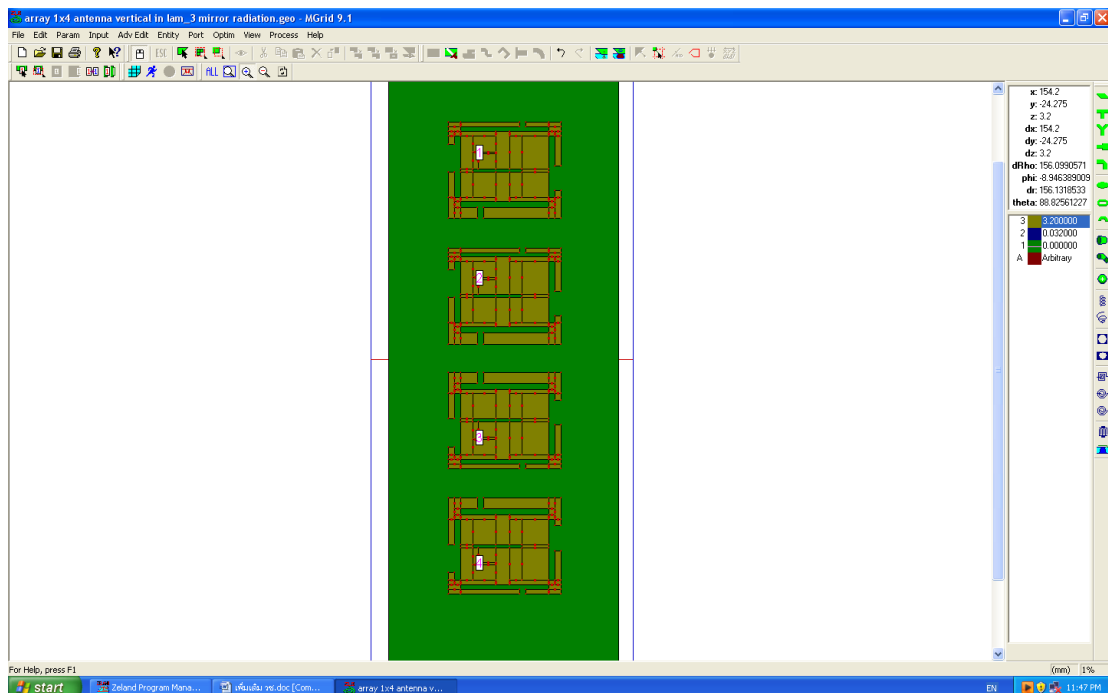
(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.6 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศรูปแบบ ข

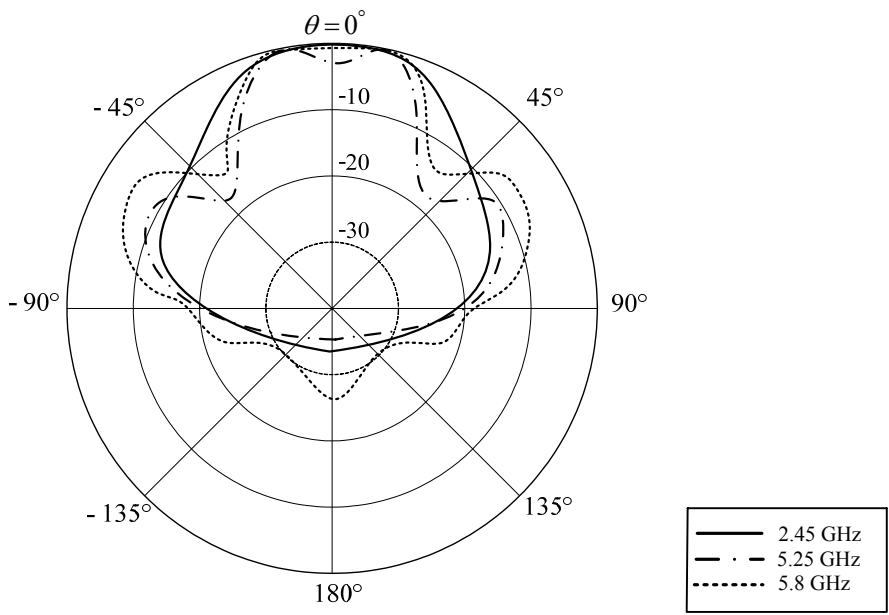


รูปที่ 4.7 การจัดวางแถวลำดับของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ

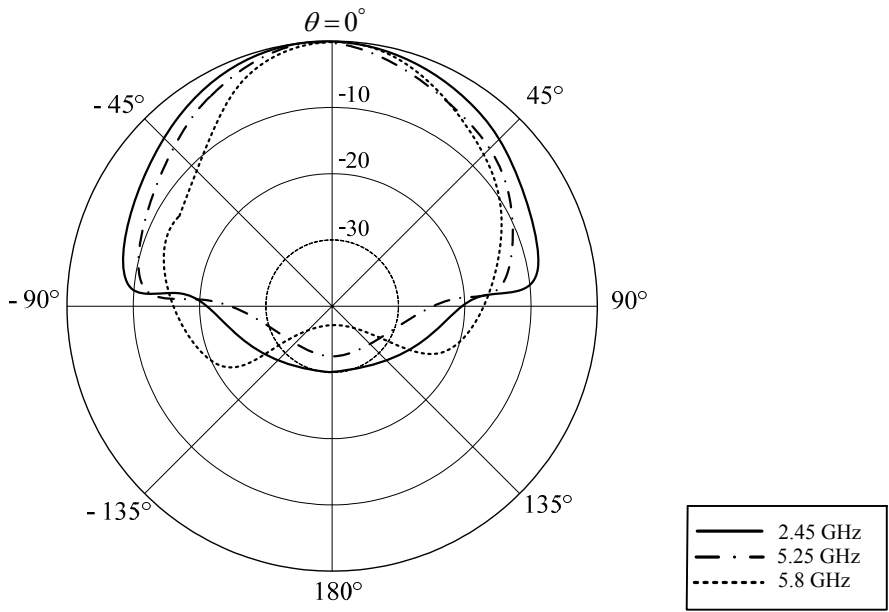
จากการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของสลิค โหลดในแต่ละด้านของสายอากาศ ทำให้ได้แนวคิดในการปรับปรุงแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับโดยใช้ไมโครสตริปด้วยที่-สลิคโหลดแบบไม่สมดุลแบบ 1×4 โดยทำการจัดวางสายอากาศไมโครสตริปดังรูปที่ 4.7 เป็นสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ จากรูปที่ 4.8 แสดงการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D จากการจำลองผลพบว่า สายอากาศแถวลำดับต้นแบบมีแบบรูปการแผ่พลังงานที่สมมาตรทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กแสดงดังรูปที่ 4.9 มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับที่มีค่าต่ำกว่า -10 dB ในสามแถบความถี่ใช้งาน ได้แก่ แถบความถี่ที่ 2.45 GHz มีความกว้างแถบ 100 MHz (2.41 - 2.51 GHz) แถบความถี่ที่ 5.25 GHz มีความกว้างแถบ 160 MHz (5.22 - 5.38 GHz) และแถบความถี่ที่ 5.8 GHz มีความกว้างแถบ 400 MHz (5.54 - 5.94 GHz) ซึ่งสอดคล้องกับค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบที่มีค่าต่ำกว่า 2 ในสามแถบความถี่ใช้งานเช่นกัน แสดงดังรูปที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ สำหรับค่าความต้านทานด้านเข้าและค่ารีเอกแตนซ์ด้านเข้าของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบพบว่ามีค่าประมาณ 50 โอห์ม และ 0 โอห์ม ในสามแถบความถี่ใช้งาน แสดงดังรูปที่ 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ และค่าอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบแสดงดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.8 การจำลองผลสายอากาศแถวลำดับต้นแบบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D

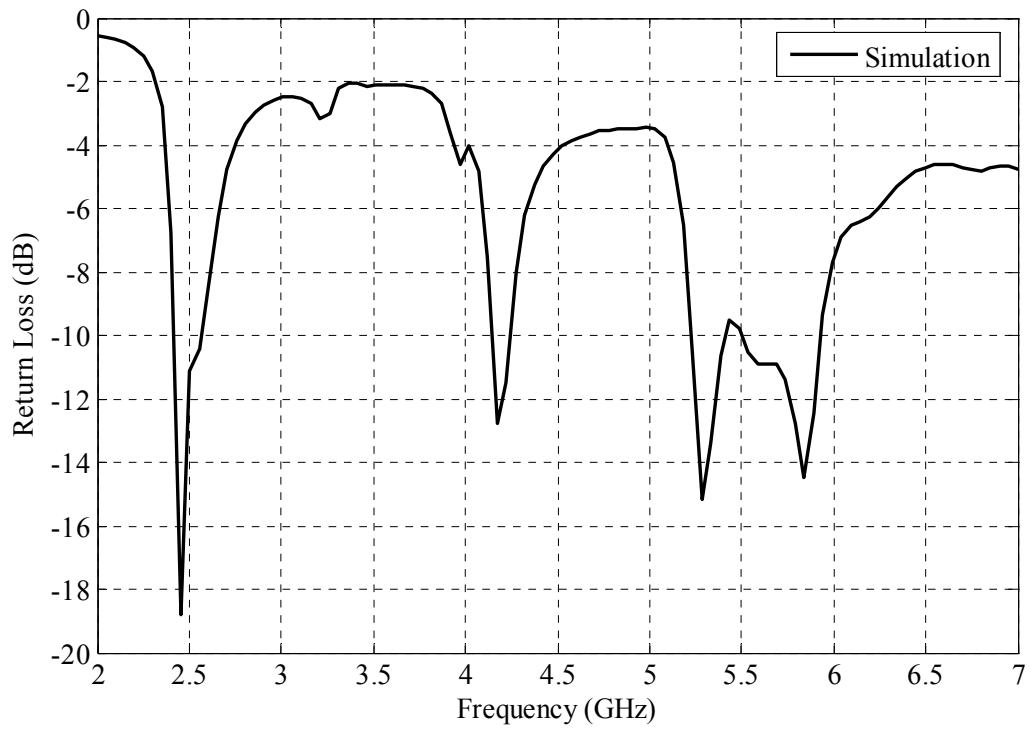


(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า

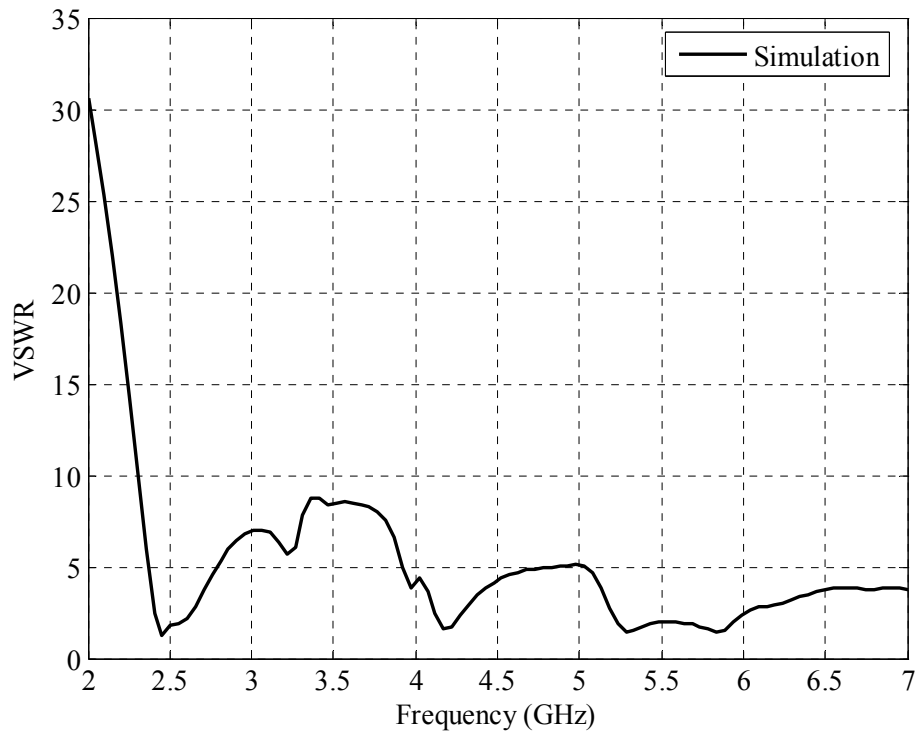


(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

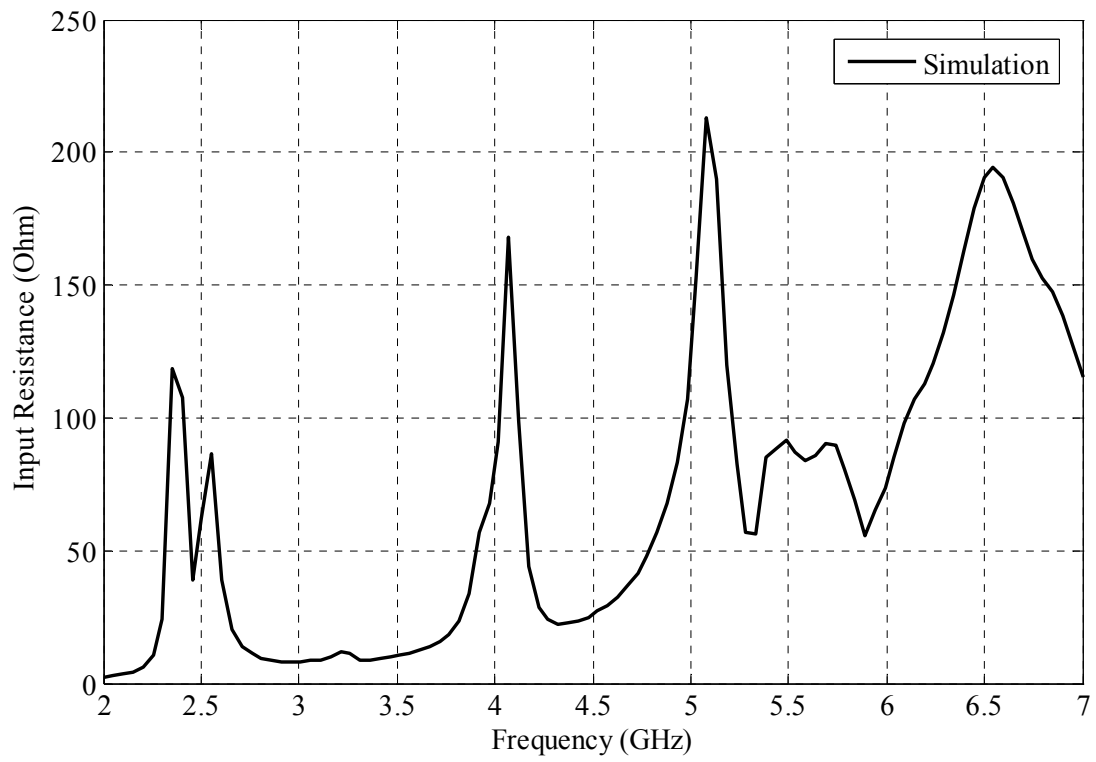
รูปที่ 4.9 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแฉวลำดับต้นแบบ



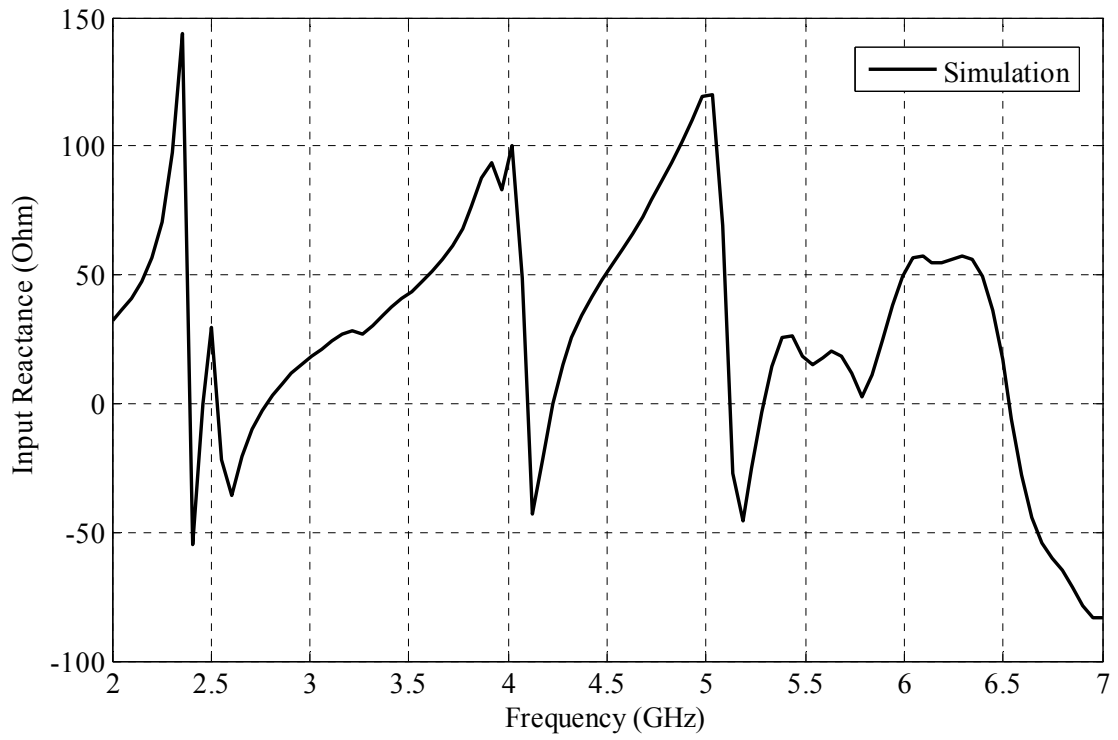
รูปที่ 4.10 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ
จากการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D



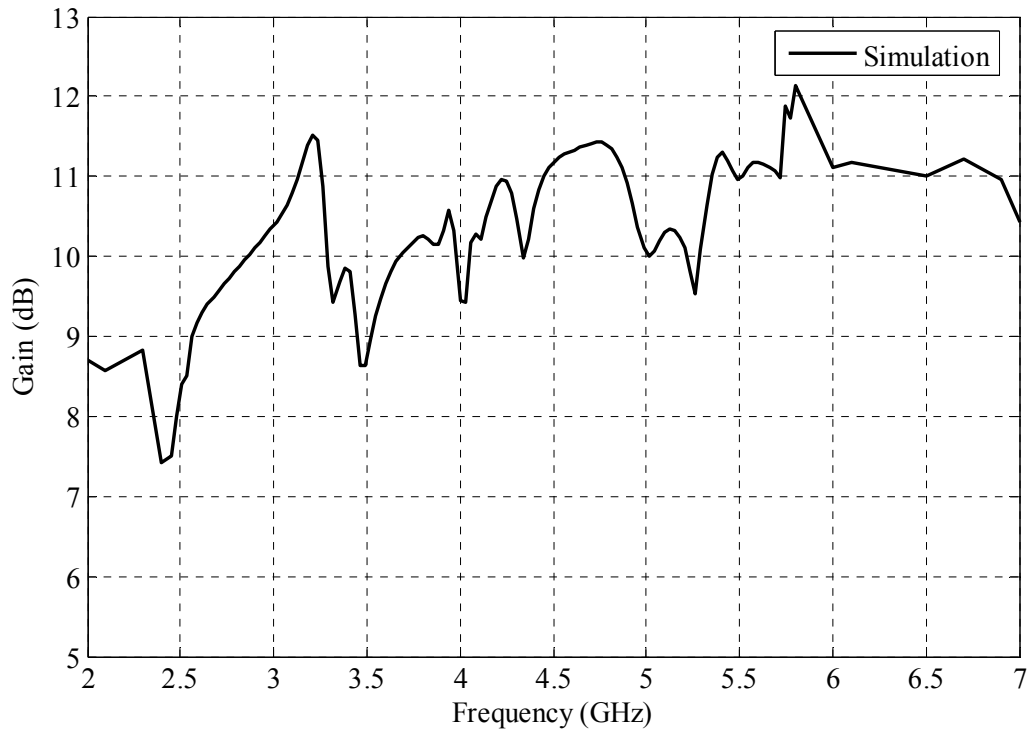
รูปที่ 4.11 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งสายอากาศแกลวลำดับต้นแบบจากการจำลองผล
ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D



รูปที่ 4.12 ค่าความต้านทานด้านเข้าของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ
จากการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D



รูปที่ 4.13 ค่ารีแอกแตนซ์ด้านเข้าของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ
จากการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D



รูปที่ 4.14 ค่าอัตราขยายของสายอากาศแกลวลำดับต้นแบบจากการจำลองผล
ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D

ตารางที่ 4.1 ค่าอัตราขยายของสายอากาศแกลวลำดับต้นแบบจากการจำลองผลด้วยโปรแกรม
สำเร็จรูป IE3D

| ความถี่ (GHz) | อัตราขยาย (dB) |
|---------------|----------------|
| 2.45 | 7.5 |
| 5.25 | 9.6 |
| 5.80 | 12.2 |

จากหัวข้อที่กล่าวข้างต้น ทำให้ได้สายอากาศแถวลำดับโดยใช้ไมโครสตริป ด้วยที-สลิคโพลแบบไม่สมดุลเป็นสายอากาศแถวลำดับแบบที่มีอัตราขยายด้านหน้าและมีแบบรูปการแผ่พลังงานที่สมมาตรทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก ซึ่งตรงกับวัตถุประสงค์ในการออกแบบเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่ต้องการพื้นที่ให้บริการครอบคลุมเป็นบริเวณกว้างในระนาบอะซิมุท จากนั้นจึงเข้าสู่ขั้นตอนในการสร้างสายอากาศแถวลำดับแบบซึ่งจะได้กล่าวต่อไปในบทที่ 5

4.4 สรุป

สำหรับการออกแบบสายอากาศแถวลำดับให้อัตราขยายด้านหน้าโดยใช้แผ่นไมโครสตริปด้วยที-สลิคโพลแบบไม่สมดุล ให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์นั้น ขั้นตอนแรกได้ทำการออกแบบรูปแบบของการจัดแถวลำดับเพื่อให้สายอากาศมีอัตราขยายสูง จากนั้นปรับระยะห่างระหว่างสายอากาศของสายอากาศแถวลำดับเพื่อให้มีระดับโพลบข้างที่ต่ำ และในขั้นตอนสุดท้ายคือ ปรับเปลี่ยนตำแหน่งของสลิคโพลในแต่ละด้านของสายอากาศเพื่อให้สายอากาศมีแบบรูปการแผ่พลังงานที่สมมาตร โดยได้ทำการจำลองโครงสร้างสายอากาศด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D ซึ่งเป็นโปรแกรมการแก้ปัญหาทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของสายอากาศ ก่อนที่จะได้ทำการสร้างสายอากาศแถวลำดับแบบขึ้นมา

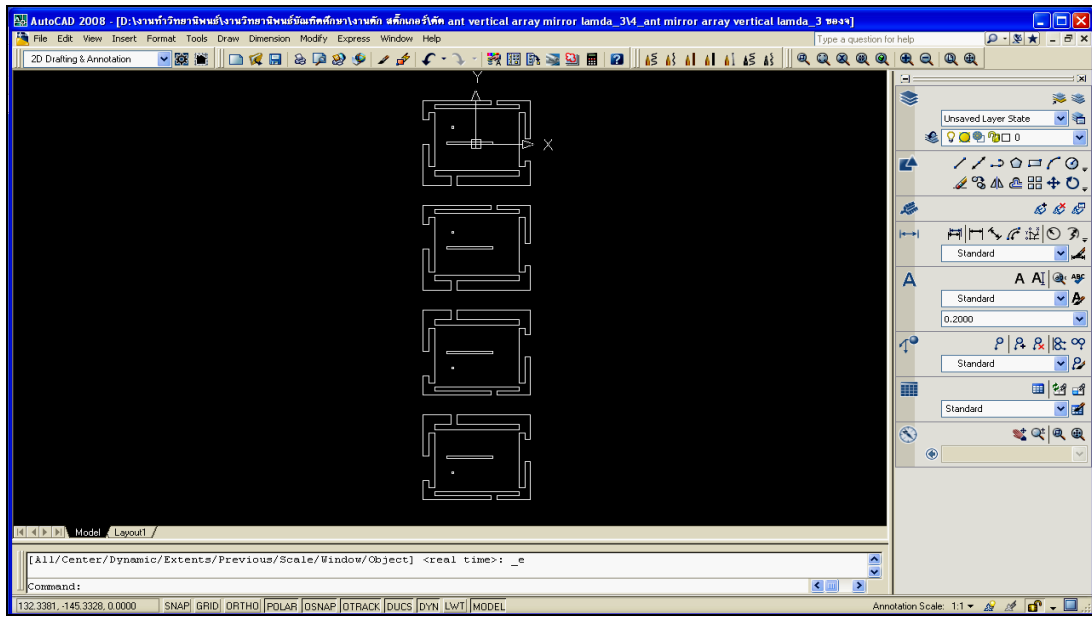
บทที่ 5

ผลการวัดทดสอบ

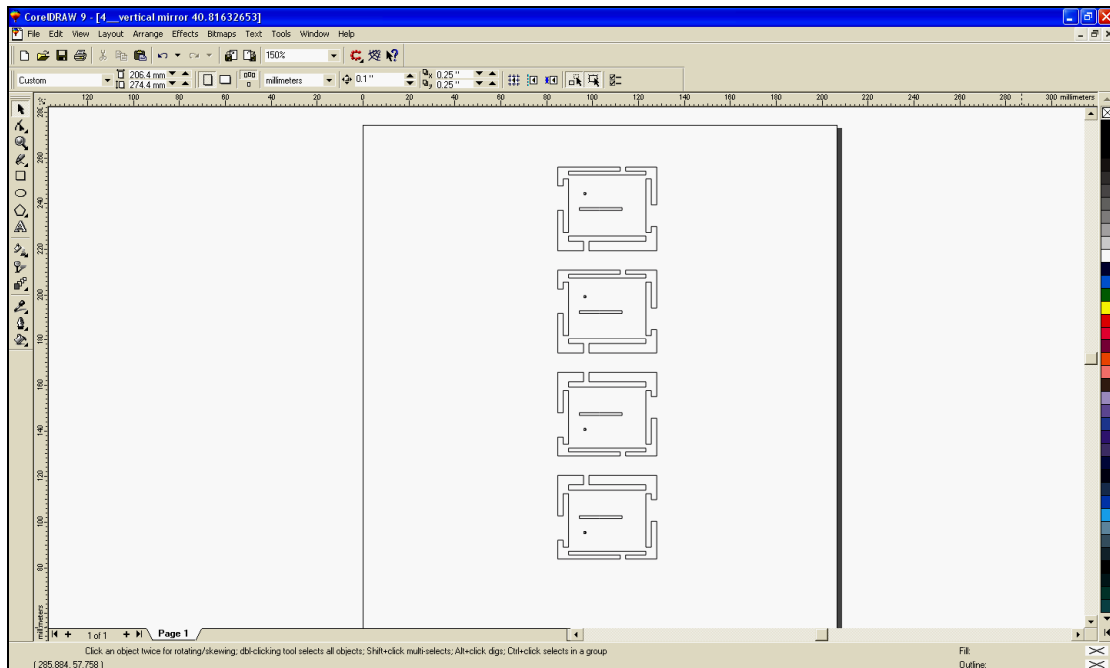
จากทฤษฎีและหลักการทั้งหมดที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ผ่านมา ในบทนี้จะทำการออกแบบและวิเคราะห์คุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศแถวลำดับให้อัตราขยายด้านหน้าโดยใช้แผ่นไมโครสตริปด้วยที-สลิคโพลดแบบไม่สมดุล และได้ทำการสร้างสายอากาศแถวลำดับต้นแบบขึ้น จากนั้นทำการวัดทดสอบคุณลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ อัตราส่วนคลื่นนิ่ง แบบรูปการแผ่พลังงานทั้งระนาบสนามแม่ไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก อิมพีแดนซ์ และอัตราขยาย โดยมีตัวแบ่งกำลัง (power divider) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องส่งไปยังสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ ในการวัดทดสอบคุณลักษณะข้างต้น จากเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (network analyzer) รุ่น HP8720C และได้วิเคราะห์หาวัสดุที่เหมาะสมสำหรับบรรจุสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ สำหรับการติดตั้งใช้งานสายอากาศแถวลำดับต้นแบบภายนอกอาคารเพื่อป้องกันการชำรุดและเสียหายของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบจากสิ่งแวดล้อมภายนอก สุดท้ายได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลจากการวัดทดสอบและจากผลการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D

5.1 วิธีการสร้างสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ

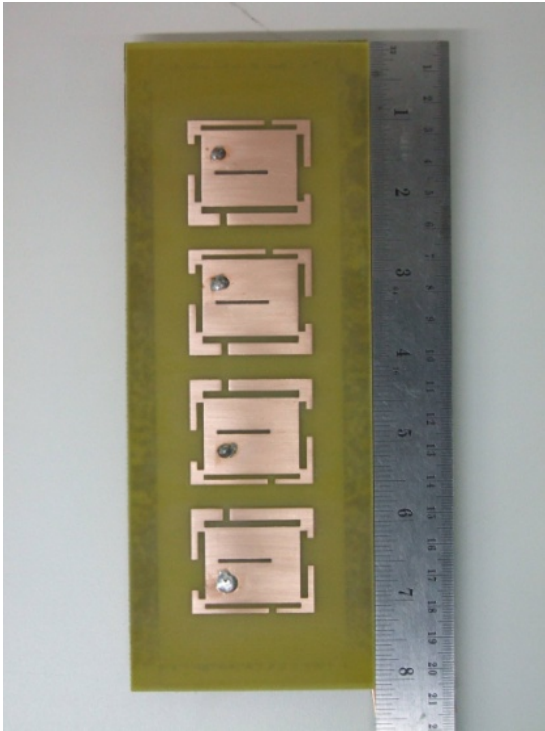
จากผลการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D ที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 4 จนได้ขนาดและรูปแบบของแถวลำดับของสายอากาศตามที่ต้องการ โดยผลจากการจำลองจะมีนามสกุลเพิ่มข้อมูลคือ GEO ซึ่งจะได้นำไฟล์ออก (export file) จากโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D และบันทึกข้อมูลนามสกุลเพิ่มข้อมูลที่ได้อีก คือ ชื่อเพิ่มข้อมูลนามสกุล DWG เมื่อได้เพิ่มข้อมูลแล้ว ได้นำไปจัดแต่งรูปร่างของสายอากาศด้วยโปรแกรม Auto CAD 2008 จะได้เพิ่มข้อมูลเป็นนามสกุล DXF แสดงดังรูปที่ 5.1 ก่อนนำไปตัดสติ๊กเกอร์โดยใช้โปรแกรม CoreIDRAW 9 ดังรูปที่ 5.2 เพื่อนำไปใช้ในการสร้างสายอากาศแถวลำดับต้นแบบแสดงดังรูปที่ 5.3 ซึ่งได้ใช้แผ่นไมโครสตริปชนิด FR4 จากนั้นนำสายอากาศแถวลำดับต้นแบบต่อเข้ากับหัวต่อชนิด SMA 50 โอห์ม โดยรูปที่ 5.3(ก) แสดงสายอากาศแถวลำดับต้นแบบที่สร้างเสร็จแล้ว และรูปที่ 5.3(ข) เป็นสายอากาศแถวลำดับต้นแบบที่ทำการติดตั้งพร้อมใช้งาน



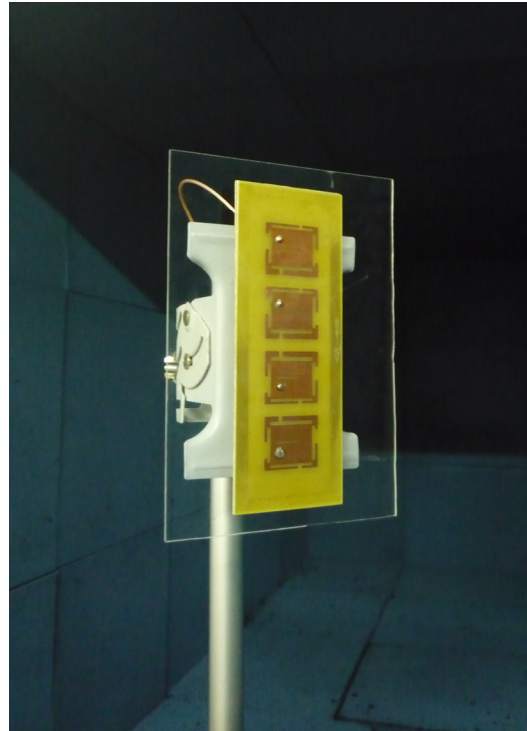
รูปที่ 5.1 โปรแกรม AutoCAD 2008 กำหนดการกัดและตัดแผ่น PCB



รูปที่ 5.2 โปรแกรม CorelDRAW 9 กำหนดการตัดแผ่น PCB



(ก) สายอากาศแถวลำดับต้นแบบที่สร้าง



(ข) สายอากาศแถวลำดับต้นแบบ
ที่ทำการติดตั้งแล้ว

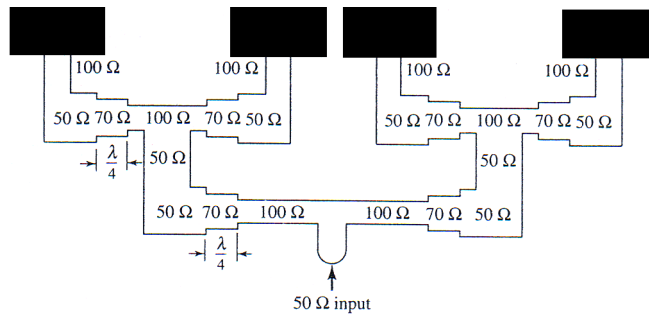
รูปที่ 5.3 สายอากาศแถวลำดับต้นแบบ

5.2 ผลการวัดทดสอบตัวแบ่งกำลังงาน

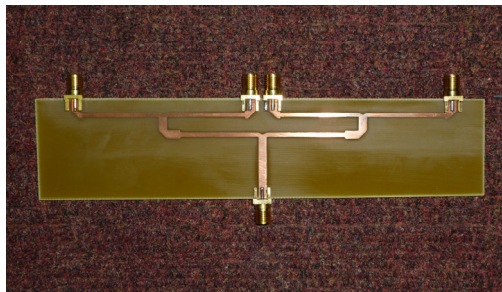
งานวิจัยนี้ได้ใช้ตัวแบ่งกำลังงานเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการแบ่งกำลังงานจากเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (อุปกรณ์ภาคส่ง) จากหนึ่งพอร์ตด้านเข้าให้เป็นสี่พอร์ตด้านเข้าตามจำนวนของสายอากาศไมโครสตริป โดยมีลายวงจรในการออกแบบและตัวแบ่งกำลังงานที่สร้างแสดงดังรูปที่ 5.4(ก) และ (ข) ตามลำดับ และสมการสำหรับคำนวณหาขนาดความกว้างของเส้นสตริป คือ

$$H' = \frac{Z_0 \sqrt{2(\epsilon_r + 1)}}{119.9} + \frac{1}{2} \left(\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \right) \left(\ln \frac{\pi}{2} + \frac{1}{\epsilon_r} \ln \frac{4}{\pi} \right) \quad (5.1)$$

$$\frac{W_1}{h} = \left(\frac{(\exp H')}{8} - \frac{1}{4(\exp H')} \right)^{-1} \quad (5.2)$$



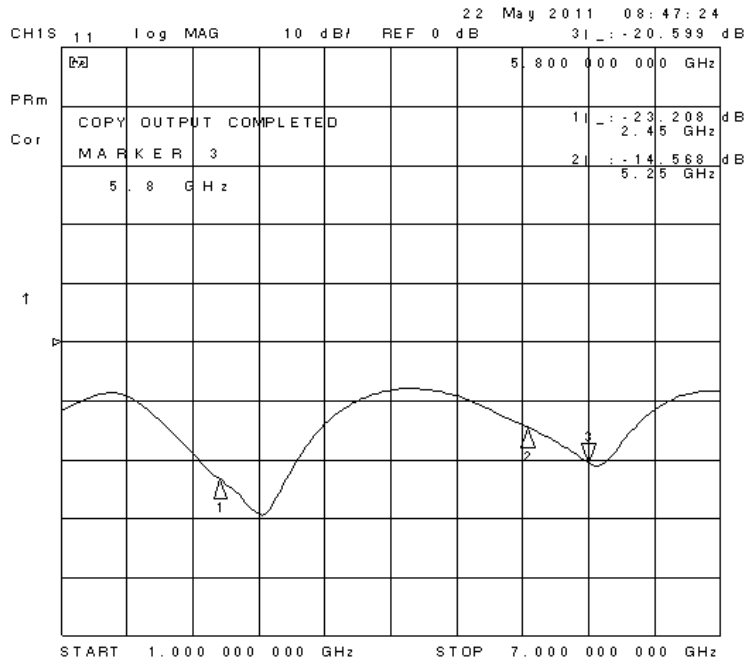
(ก) ลายวงจรที่ใช้ในการออกแบบตัวแบ่งกำลังงาน



(ข) ตัวแบ่งกำลังงานที่สร้าง

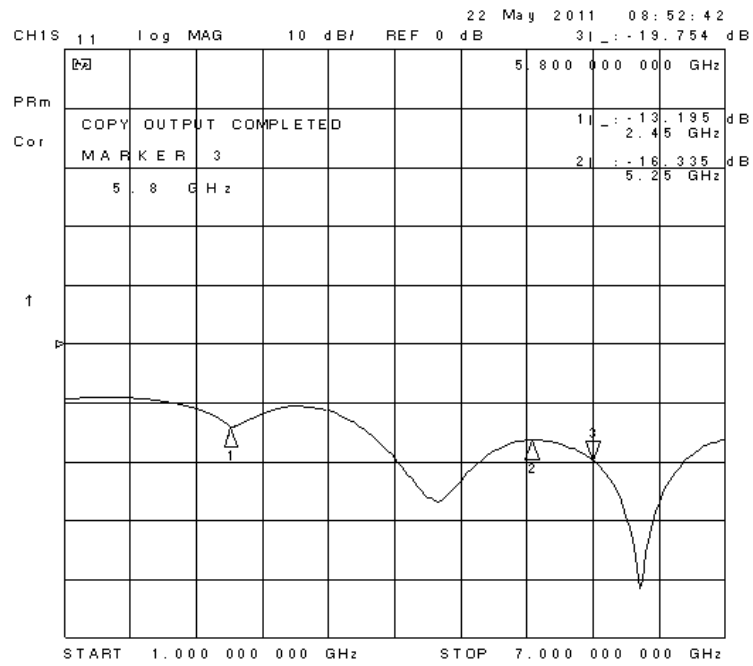
รูปที่ 5.4 ตัวแบ่งกำลังงาน

โดยที่ W_1 คือ ความกว้างของไมโครสตริป ϵ_r คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก Z_0 คือ อิมพีแดนซ์
 คุณลักษณะ และ λ คือ ความยาวคลื่น จากการออกแบบตามสมการที่ (5.1) และ (5.2) จะได้ความ
 กว้างของสตริปที่ $Z_0 = 50 \Omega$ เท่ากับ 3.06 มิลลิเมตรที่ $Z_0 = 70 \Omega$ เท่ากับ 1.62 มิลลิเมตร
 ที่ $Z_0 = 100 \Omega$ เท่ากับ 0.71 มิลลิเมตร สำหรับการวัดทดสอบการแมตซ์ของตัวแบ่งกำลังงานนั้นได้
 ทำการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับที่แต่ละพอร์ตของตัวแบ่งกำลังงาน โดยพอร์ตที่ทำการวัด
 ทดสอบนั้นจะต่อเข้ากับเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายและพอร์ตที่เหลือจะต่อเข้ากับ
 หัวต่อ 50Ω ถ้า ณ ความถี่ที่พิจารณา มีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับ -10 dB แสดงว่ามีการแมตซ์ที่
 สมบูรณ์ และจากการวัดทดสอบได้ผลดังรูปที่ 5.5(ก) แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับที่พอร์ต
 ด้านเข้า รูปที่ 5.5(ข) ถึง 5.5(จ) แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับที่พอร์ตด้านออกซึ่งก็คือพอร์ตที่
 ต่อเชื่อมกับสายอากาศไมโครสตริปพอร์ตที่ 1 ถึง 4 ตามลำดับ

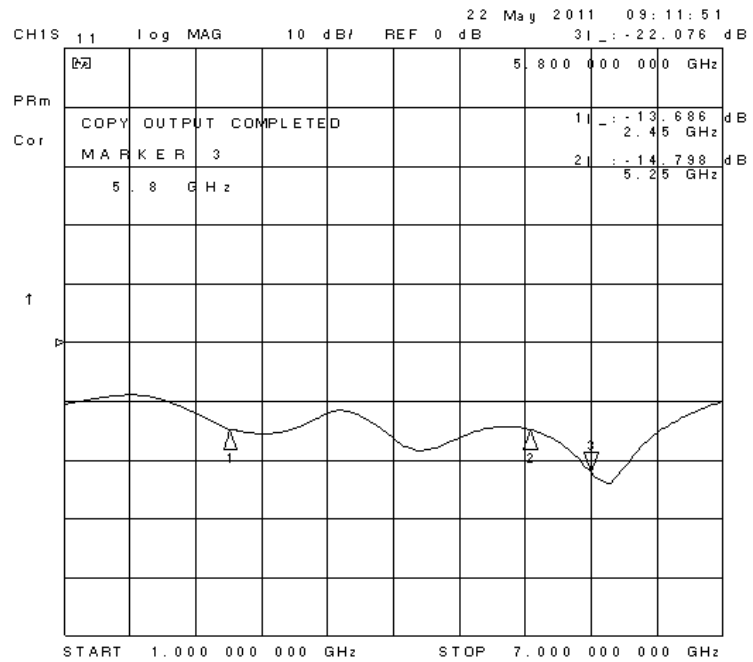


(ก) ที่พอร์ตด้านเข้า

รูปที่ 5.5 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับตัวแบ่งกำลังงาน

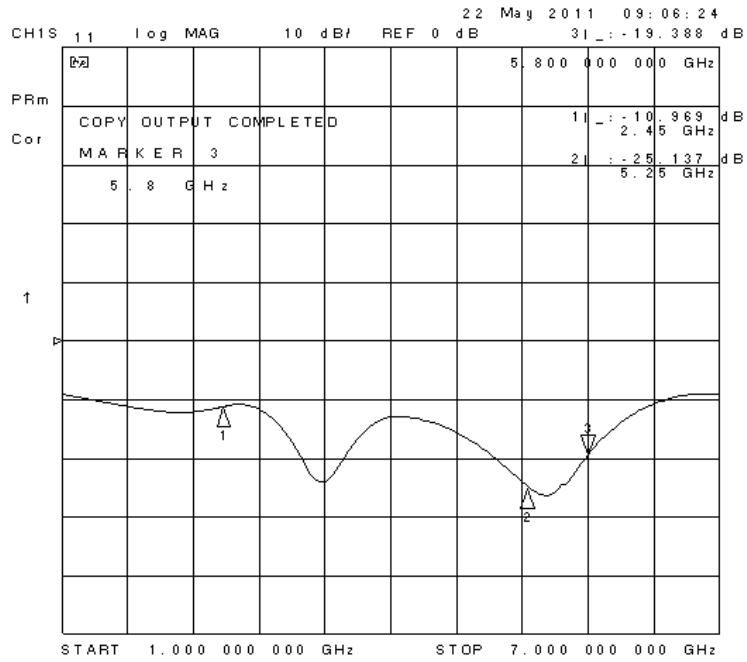


(ข) ที่พอร์ตด้านออกที่ 1

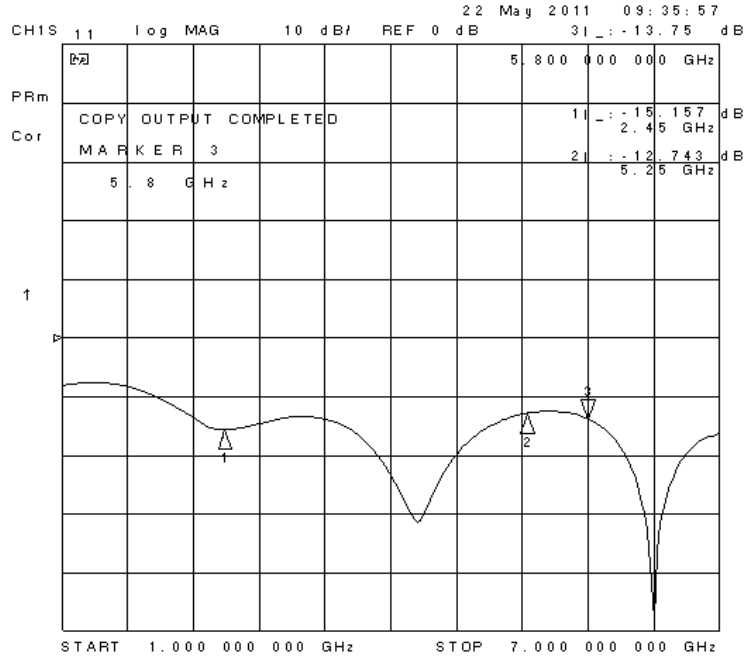


(ค) ที่พอร์ตด้านออกที่ 2

รูปที่ 5.5 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับตัวแบ่งกำลังงาน (ต่อ)



(ง) ที่พอร์ตด้านออกที่ 3

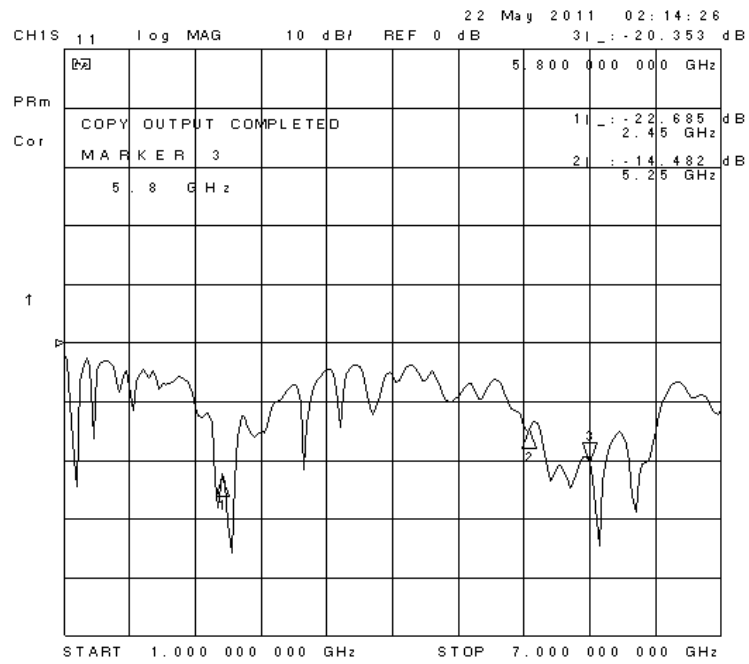


(จ) ที่พอร์ตด้านออกที่ 4

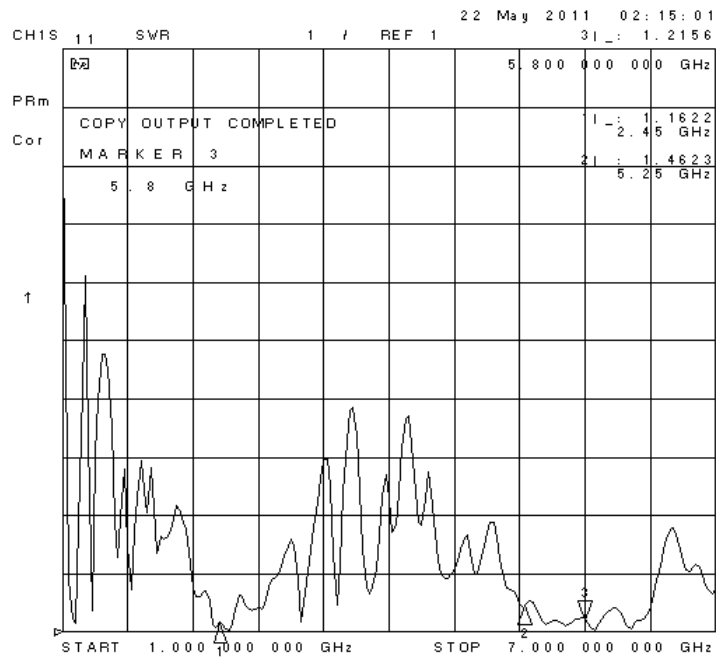
รูปที่ 5.5 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับตัวแบ่งกำลังงาน (ต่อ)

5.3 ผลการวัดทดสอบสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับและความกว้างแถบ

สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในการพิจารณาการแมตช์อิมพีแดนซ์ด้านเข้า คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (reflection coefficient) หรือในรูปของพารามิเตอร์ S_{11} และ อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing Wave Ratio : SWR) การพิจารณาค่าพารามิเตอร์ S_{11} หมายถึงการสะท้อนกลับของกำลังไฟฟ้าด้านเข้า (port 1) ของสายอากาศ ซึ่งขนาดของ S_{11} อาจจะมีค่าได้ตั้งแต่ 0 dB ถึง ลบอนันต์ (negative infinity dB) ถ้ามีค่าเท่ากับ 0 dB แสดงว่าไม่แมตช์อย่างสมบูรณ์ และถ้า มีค่าเป็นลบอนันต์ แสดงว่ามีการแมตช์ที่สมบูรณ์ดีที่สุด (ริงส์เวิร์ค วงศ์เวิร์ค และ ชวงค์, ม.ป.ป) จากรูปที่ 5.6 แสดงกราฟค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศแวลวลำดับต้นแบบในรูปของ พารามิเตอร์ S_{11} จากรูปจะสังเกตเห็นได้ว่าสายอากาศแวลวลำดับต้นแบบที่ได้ทำการสร้างขึ้นนั้นมี ค่า S_{11} ต่ำกว่า -10 dB ที่แถบความถี่ 2.45 GHz เท่ากับ -22.68 dB ที่แถบความถี่ 5.25 GHz เท่ากับ -14.48 dB และที่แถบความถี่ 5.8 GHz เท่ากับ -20.35 dB สำหรับค่า SWR สามารถมีค่าต่ำสุด ตั้งแต่ 1 ถึงอนันต์ โดยถ้า SWR มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าสายอากาศนั้นมีการแมตช์ที่สมบูรณ์หมายความว่า กำลังไฟฟ้าด้านเข้าที่ป้อนให้กับสายอากาศมีการแผ่พลังงานออกไปทั้งหมดไม่มีการสะท้อน กลับมา และถ้าสายอากาศมีค่า SWR เท่ากับอนันต์ หมายความว่าสายอากาศนั้นเกิดการไม่แมตช์ทำให้ กำลังไฟฟ้าที่ส่งออกไปเกิดการสะท้อนกลับมาทั้งหมด ทำให้เครื่องส่งได้รับความเสียหายได้ ในงาน ประยุกต์ต่าง ๆ ค่าของ S_{11} จะยอมรับได้ถ้ามีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับ -10 dB ซึ่งจะสอดคล้องกับ ค่า SWR เท่ากับ 2 หรือต่ำกว่า แสดงว่ามีการแมตช์ที่ดี จากรูปที่ 5.7 แสดงอัตราส่วนคลื่นนิ่งของ สายอากาศแวลวลำดับต้นแบบ โดยที่แถบความถี่ 2.45 GHz เท่ากับ 1.16 ที่แถบความถี่ 5.25 GHz เท่ากับ 1.46 และที่แถบความถี่ 5.8 GHz เท่ากับ 1.22



รูปที่ 5.6 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศแฉวลำดับต้นแบบ



รูปที่ 5.7 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศแฉวลำดับต้นแบบ

จากค่า S_{11} สามารถคำนวณหาค่าความกว้างแถบแต่ละความถี่ของสายอากาศแฉวลำดับต้นแบบได้จากสมการที่ (5.3)

$$\% \text{ ความกว้างแถบ} = \frac{f_{high} - f_{low}}{f_c} \times 100 \quad (5.3)$$

โดยที่ f_{high} คือค่าความถี่สูงสุดที่สามารถทำงานได้

f_{low} คือค่าความถี่ต่ำสุดที่สามารถทำงานได้

f_c คือ ค่าความถี่กึ่งกลางของความกว้างแถบนั้น ๆ

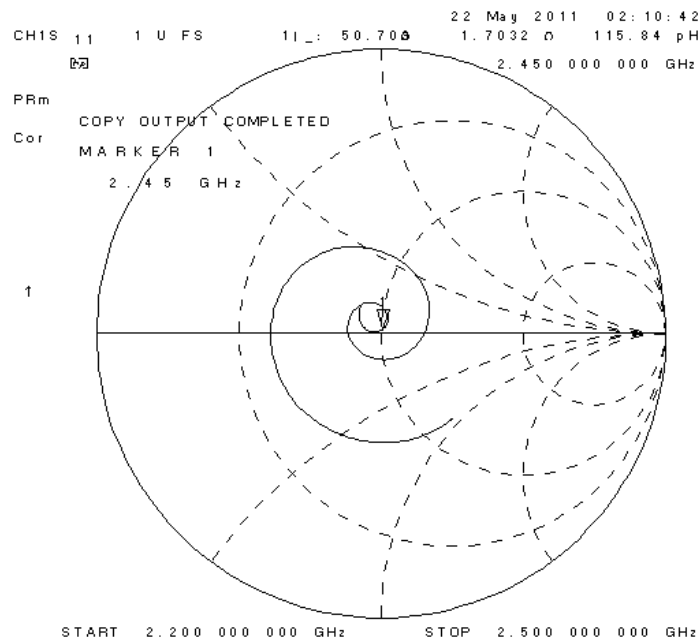
ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบค่าความกว้างแถบของสายอากาศแฉวลำดับต้นแบบ

| สายอากาศแฉวลำดับต้นแบบ | f_{c_1} (GHz) | BW (%) | f_{c_2} (GHz) | BW (%) | f_{c_3} (GHz) | BW (%) |
|------------------------|--------------------|-----------|------------------------------|-----------|--------------------|-----------|
| ต้องการ | 2.45 | 3.42 | 5.25 | 3.81 | 5.8 | 1.73 |
| การวัดทดสอบ | 2.458 | 6.35 | (4.979GHz-6.308GHz) BW=23.55 | | | |

จากตารางที่ 5.1 แสดงผลการคำนวณความกว้างแถบที่แถบความถี่ 2.45 GHz เท่ากับ 6.35% ที่แถบความถี่ 5.25 GHz และที่แถบความถี่ 5.8 GHz เท่ากับ 23.55% ซึ่งเป็นค่าที่กว้างมากกว่าความกว้างแถบที่ได้ออกแบบ โดยสาเหตุของความผิดพลาดของความถี่รีโซแนนซ์และความกว้างแถบนี้อาจเกิดจากความคลาดเคลื่อนของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวัสดุฐานรอง และการนำมาวางซ้อนกันเพื่อให้ได้ความสูงตามที่ได้ออกแบบ จึงเกิดช่องว่างขึ้นระหว่างแผ่น PCB ชนิด FR4 ทั้งสองแผ่นที่ใช้ในการสร้างสายอากาศแฉวลำดับต้นแบบ

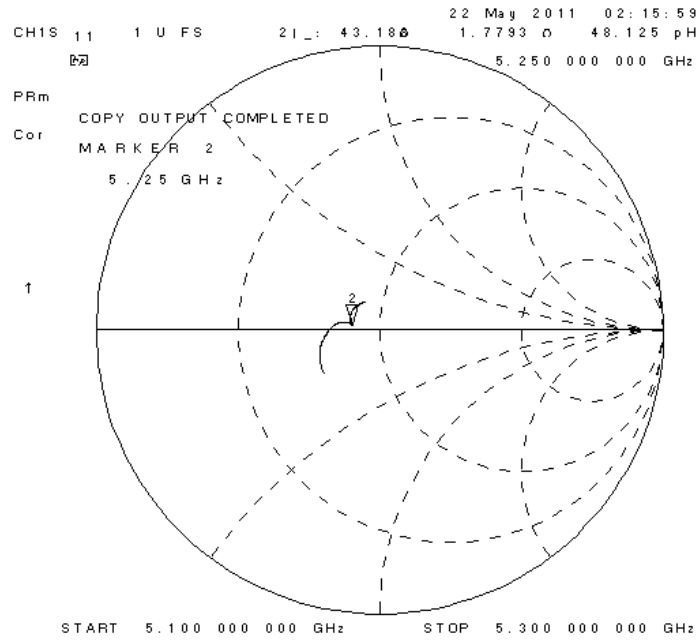
5.4 ผลการวัดทดสอบค่าอิมพีแดนซ์

จากการวัดทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบโดยทำการแมตช์ด้วยวงจรแบ่งกำลังซึ่งอ้างอิงมาจากทฤษฎีการแบ่งกำลังของวิลคินสัน (Wilkinson Divider) ทำหน้าที่ในการป้อนกำลังให้แก่สายอากาศแถวลำดับต้นแบบ จากรูปที่ 5.8 แสดงผลการวัดทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายโดยที่ความถี่ 2.45 GHz 5.25 GHz และ 5.8 GHz มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ $50.79 + j1.78$ โอห์ม $43.18 - j1.78$ โอห์ม และ $48.88 - j9.02$ โอห์ม แสดงดังรูปที่ 5.8(ก) (ข) และ (ค) ตามลำดับ

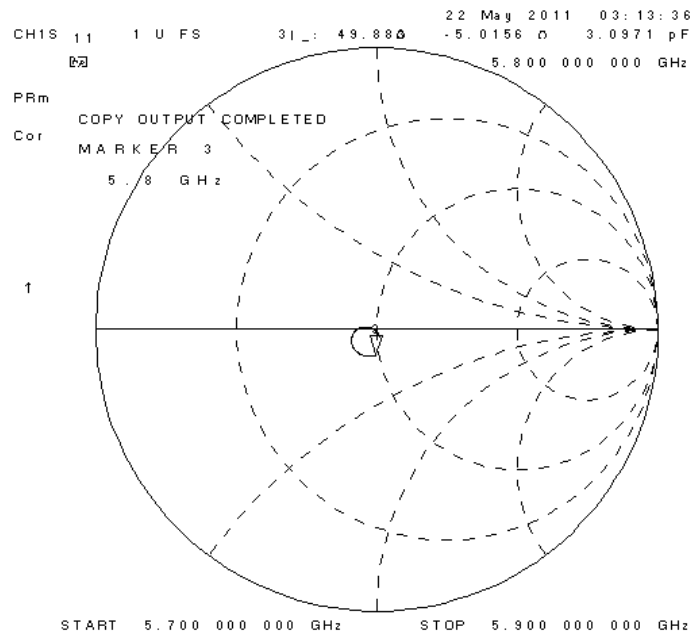


(ก) ค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าที่ความถี่ 2.45 GHz

รูปที่ 5.8 ค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบจากการวัดทดสอบ



(ข) ค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าที่ความถี่ 5.25 GHz

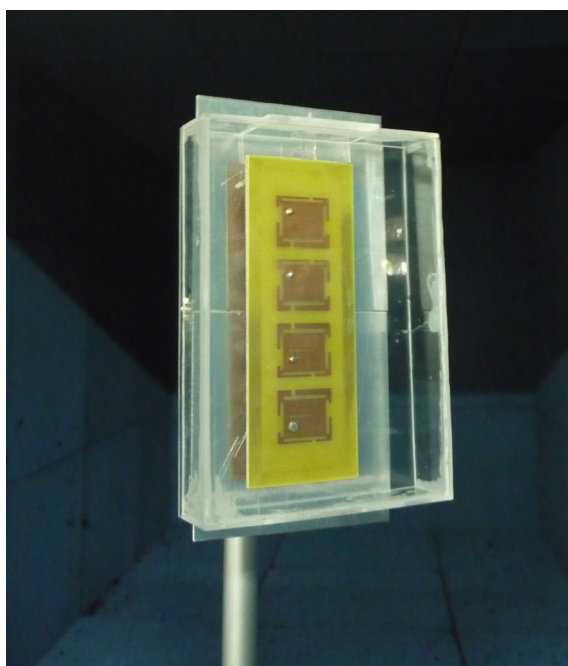


(ค) ค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าที่ความถี่ 5.8 GHz

รูปที่ 5.8 ค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบจากการวัดทดสอบ (ต่อ)

5.5 การวิเคราะห์หาวัสดุกล่องบรรจุสายอากาศแถวลำดับต้นแบบที่เหมาะสม

สำหรับหัวข้อนี้จะเป็นการวิเคราะห์หาวัสดุที่เหมาะสมในการบรรจุสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ สำหรับการติดตั้งเพื่อใช้งานสายอากาศภายนอกอาคาร ทั้งนี้เพื่อป้องกันการชำรุดเสียหายของสายอากาศจากสิ่งแวดล้อมภายนอก อาทิเช่น แสงแดด ลม ฝน ฝุ่นอะลอง และแมลง เป็นต้น และช่วยยืดอายุการใช้งานของสายอากาศให้นานยิ่งขึ้น โดยที่วัสดุนั้นมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของสายอากาศน้อยที่สุด ซึ่งได้เลือกวิเคราะห์หาวัสดุที่มีอยู่ตามท้องตลาดที่สามารถหาได้ง่าย และมีราคาถูก สำหรับวัสดุที่นำมาวิเคราะห์มี 3 ชนิด ได้แก่ (1) พลาสติกอะคริลิก (2) พลาสติกพีวีซี และ (3) พลาสติกโพลีไทรอิน จากการวัดทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบพบว่าวัสดุกล่องบรรจุสายอากาศแถวลำดับต้นแบบทั้ง 3 ชนิด ไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับอัตราส่วนคลื่นนิ่งและค่าอิมพีแดนซ์ แต่จะมีผลต่อแบบรูปการแผ่พลังงาน และอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ จากรูปที่ 5.9(ก) (ข) และ (ค) แสดงสายอากาศแถวลำดับต้นแบบที่ถูกบรรจุอยู่ในกล่องพลาสติกอะคริลิก กล่องพลาสติกพีวีซี และกล่องพลาสติกโพลีไทรอินที่เป็นโคพอลิเมอร์ตามลำดับเพื่อทำการวัดทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ

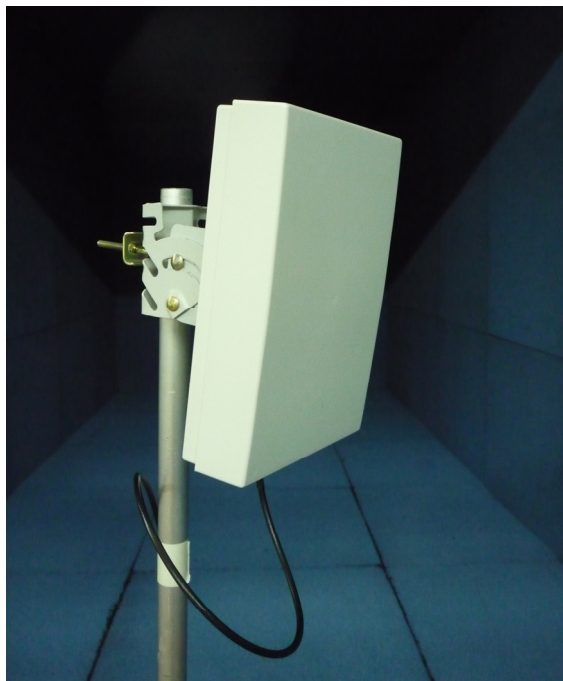


(ก) สายอากาศแถวลำดับต้นแบบบรรจุอยู่ในกล่องพลาสติกอะคริลิก

รูปที่ 5.9 สายอากาศแถวลำดับต้นแบบที่ถูกบรรจุอยู่ในกล่องพลาสติกชนิดต่าง ๆ



(ข) สายอากาศแถวลำดับต้นแบบบรรจุอยู่ในกล่องพลาสติกพีวีซี



(ค) สายอากาศแถวลำดับต้นแบบบรรจุอยู่ในกล่องพลาสติกโพลีสไตรีนที่เป็นโคพอลิเมอร์

รูปที่ 5.9 สายอากาศแถวลำดับต้นแบบที่ถูกบรรจุอยู่ในกล่องพลาสติกชนิดต่าง ๆ (ต่อ)

5.5.1 คุณสมบัติของวัสดุกล่องบรรจุชนิดพลาสติกอะคริลิก

พลาสติกอะคริลิก (polymethyl methacrylate หรือ PMMA) เป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม มีโครงสร้างเส้นสายเป็นแบบอะแทกติก (Atactic) คือ โมเลกุลมีกิ่งหรือแขนงไม่แน่นอนสั้นบ้างยาวบ้าง มีคุณสมบัติทั่วไปดังนี้

- ลักษณะใสคล้ายกระจกสามารถให้แสงส่องผ่านได้ถึง 92%
- ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่เป็นพิษ
- ทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศ ความร้อน ความเย็น
- ทนทานต่อสารเคมีหลายประเภท ยกเว้นตัวทำละลายบางชนิด เช่น คลอโรฟอร์ม
- มีจุดอ่อนตัวต่ำ มีความเหนียว
- คงรูปดีมากและทนทานต่อการขีดข่วน
- เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก
- ไม่ดูดความชื้น

สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติกอะคริลิก ได้แก่ พลาสติกแทนกระจกทั้งใสไม่มีสีและเป็นสีชา กล่องพลาสติก กระจกกันลมสำหรับเรือเร็ว กระจกบังลมสำหรับหมวกนิรภัย ชิ้นส่วนทางอิเล็กทรอนิกส์ เส้นใยนำแสง (fiberoptics) กระจกโคมไฟรถยนต์ แผ่นป้าย และป้ายโฆษณา เป็นต้น

5.5.2 คุณสมบัติของวัสดุกล่องบรรจุชนิดพลาสติกพีวีซี

พลาสติกพีวีซี (polyvinylchloride หรือ PVC) เป็นพลาสติกที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง โดยเนื้อของพลาสติกพีวีซีมีลักษณะขุ่นทึบแต่ก็สามารถผลิตออกมาให้มีสีใสได้ทุกสี มีลักษณะทั้งที่เป็นของแข็งคงรูปและอ่อนนุ่มเหนียว มีคุณสมบัติทั่วไปดังนี้

- มีความแข็งแรงดี ทนต่อการขีดถู
- ทนทานต่อสภาวะอากาศและสิ่งแวดล้อมปกติ
- ทนทานต่อน้ำ น้ำมัน กรด ด่าง แอลกอฮอล์ และสารเคมีต่าง ๆ ยกเว้นคลอรีน
- สามารถเติมสารเติมแต่งต่าง ๆ เพื่อปรับปรุงแต่งคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่แข็ง และคงตัว จนถึงอ่อนนุ่ม และยืดหยุ่นได้
- เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี
- ทำความสะอาดง่ายไม่เกาะติดสิ่งสกปรก

ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติกพีวีซี ได้แก่ หนังเทียมซึ่งมีความอ่อนนุ่มกว่าหนังแท้สำหรับหุ้มเบาะเก้าอี้ หรือบุโต๊ะ เคลือบกระดาษและผ้า กระเป๋า รองเท้า เข็มขัด ปลอกหุ้มสายไฟฟ้าหรือสายเคเบิล ปลอก

หุ้มด้ามอุปกรณ์เครื่องมือต่าง ๆ ปกป้องหุ้มลวดเหล็ก ท่อน้ำ ท่อร้อยสายไฟฟ้า อ่างน้ำ ประตู หน้าต่าง เป็นต้น

5.5.3 คุณสมบัติของวัสดุกล่องบรรจุชนิดพลาสติกโพลีสไตรีน

พลาสติกโพลีสไตรีน (polystyrene หรือ PS) โดยทั่วไปแล้วจะมีความแข็งแรง และแตกได้ง่าย แต่สามารถทำให้เหนียวขึ้นได้ โดยการเติมยางสังเคราะห์ บิวทาไดอีนลงไปซึ่งเรียกว่า สไตรีนทนแรงอัดสูง (high impact styrene) ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ได้พัฒนาเทคโนโลยีการผลิตพลาสติกโพลีสไตรีนให้มีคุณภาพดีขึ้น มีความเป็นผลึกใส แข็ง และขึ้นรูปได้ง่าย พลาสติกโพลีสไตรีนมีคุณสมบัติทั่วไปดังนี้

- มีความแข็งแรง เปราะ และแตกได้ง่าย น้ำหนักเบา
- ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น
- ผิวเรียบ ไม่ทนต่อการถูกขีดข่วน
- ทนทานต่อสารเคมีทั่วไป แต่ไม่ทนต่อสารไฮโดรคาร์บอนและตัวทำละลายอินทรีย์
- เป็นฉนวนไฟฟ้า
- ไม่ดูดความชื้นและน้ำ ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดี
- ไม่ทนต่อสภาพสิ่งแวดล้อมภายนอก ทำให้ผิวเสื่อมสภาพเร็ว และถ้าสัมผัสกับแสงแดดที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน ๆ อาจเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและเกิดรอยแตก

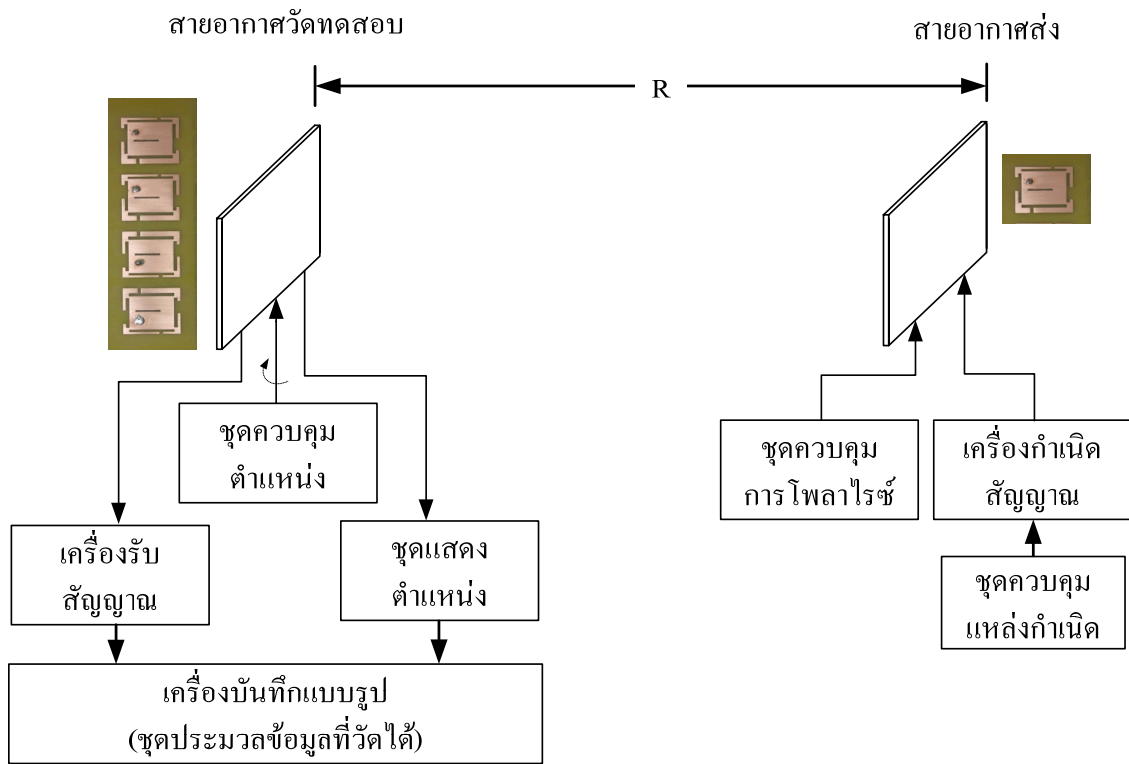
ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติกโพลีสไตรีน ได้แก่ ถ้วยจาน แก้วน้ำ ซ้อนส้อม ที่ใช้แล้วทิ้ง กล่องบรรจุอาหารและผลไม้ ไม้บรรทัด อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ของเล่น ด้ามลูกอมขนมเด็ก ขวดหรือกระปุกใส่ยา เฟอ์นเจอร์ ชิ้นส่วนในตู้เย็น โฟมกันแตกสำหรับบรรจุภัณฑ์ และฉนวนกันความร้อน เป็นต้น

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้พลาสติกโพลีสไตรีนที่เป็นโคพอลิเมอร์ คือ พอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยมอนอเมอร์ 2 ชนิด เพื่อปรับปรุงคุณภาพและสมบัติของสไตรีนให้ดีขึ้น เมื่อรวมตัวกับพอลิเมอร์อื่นจะทำให้มีคุณสมบัติเปลี่ยนไป คือ มีความเหนียวและความแข็งแรงเพิ่มขึ้น อุณหภูมิจุดหลอมตัวสูงขึ้น ทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศ ความร้อน ความเย็น มากขึ้น ทำให้มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานภายนอกอาคาร

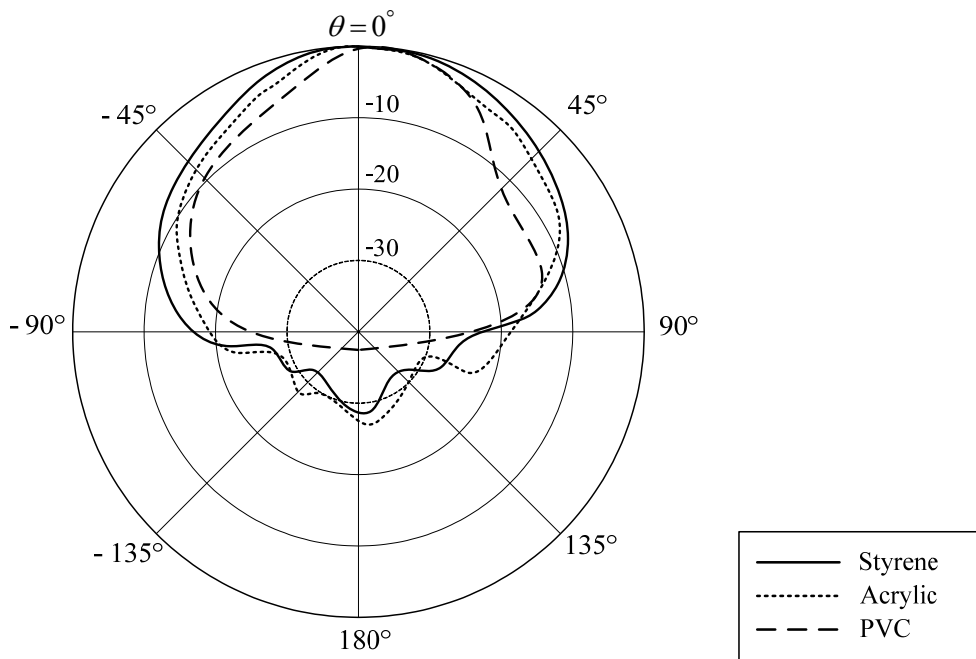
5.6 ผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน

จากรูปที่ 5.10 แสดงวิธีการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน โดยทำการทดสอบในระยะสนามระยะไกล คือ $R \geq 2D^2 / \lambda$ ซึ่ง R คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศทดสอบและสายอากาศอ้างอิงโดยการทดสอบนี้ได้กำหนดให้ระยะทางมีค่าคงที่ที่ความถี่สูงสุดมีค่าเท่ากับ 164.08 เซนติเมตร และ D คือ ขนาดของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 20.6 เซนติเมตร ซึ่งในที่นี้ได้ใช้สายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิค โหลดแบบไม่สมมูลหนึ่งอิลิเมนต์ โดยมีความถี่ปฏิบัติการอยู่ที่ 2.45 GHz 5.25 GHz และ 5.8 GHz เป็นสายอากาศอ้างอิง โดยทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาคส่ง และสายอากาศแวลวลำดับต้นแบบที่นำมาวัดทดสอบทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาครับ ซึ่งจะมีการหมุนรอบแนวแกนหมุนเพื่อรับคลื่นจากสายอากาศภาคส่งตั้งแต่มุม 0 องศา จนถึงมุม 360 องศา ทำให้ได้แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแวลวลำดับต้นแบบในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก

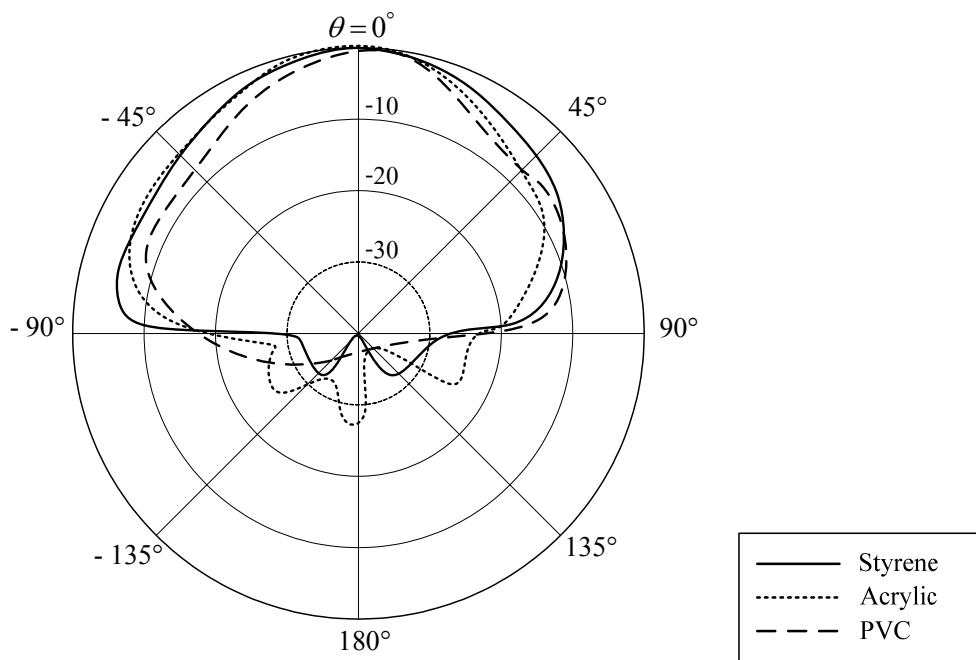
จากรูปที่ 5.11 แสดงผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแวลวลำดับต้นแบบที่บรรจุกล่องพลาสติกทั้ง 3 ชนิด ในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 2.45 GHz 5.25 GHz และ 5.8 GHz แสดงดังรูปที่ 5.11(ก) (ค) และ (จ) ตามลำดับ และในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 2.45 GHz 5.25 GHz และ 5.8 GHz ดังรูปที่ 5.11(ข) (ง) และ (ฉ) ตามลำดับ จากผลการวัดทดสอบพบว่าสายอากาศแวลวลำดับต้นแบบที่บรรจุในกล่องพลาสติกโพลีไสตรินที่เป็นโคพอลิเมอร์มีแบบรูปการแผ่พลังงานที่มีระดับกำลังงานโดยเฉลี่ยในทุกช่วงแถบความถี่ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กสูงที่สุด และมีรูปร่างของแบบรูปการแผ่พลังงานไม่แตกต่างหรือผิดเพี้ยนไปจากสายอากาศแวลวลำดับต้นแบบเดิมที่ไม่ได้บรรจุในกล่องพลาสติกมากนัก และมีความสอดคล้องกับผลที่ได้จากการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D แสดงดังรูปที่ 5.12



รูปที่ 5.10 วิธีการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน

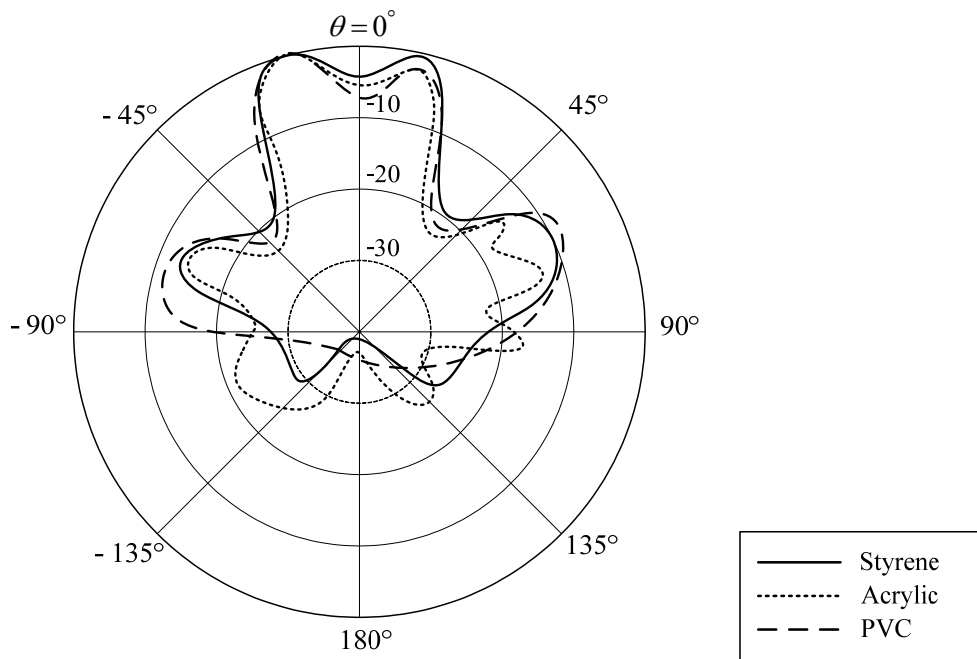


(ก) ระบายสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 2.45 GHz

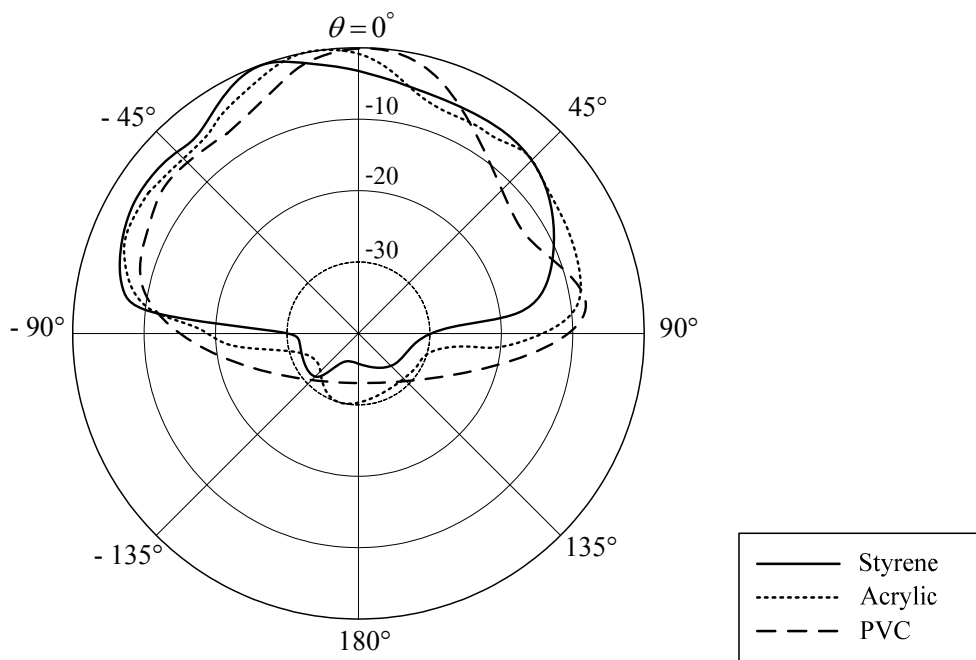


(ข) ระบายสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 2.45 GHz

รูปที่ 5.11 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแกลวลำดับต้นแบบ
ที่บรรจุกล่องพลาสติกทั้ง 3 ชนิด

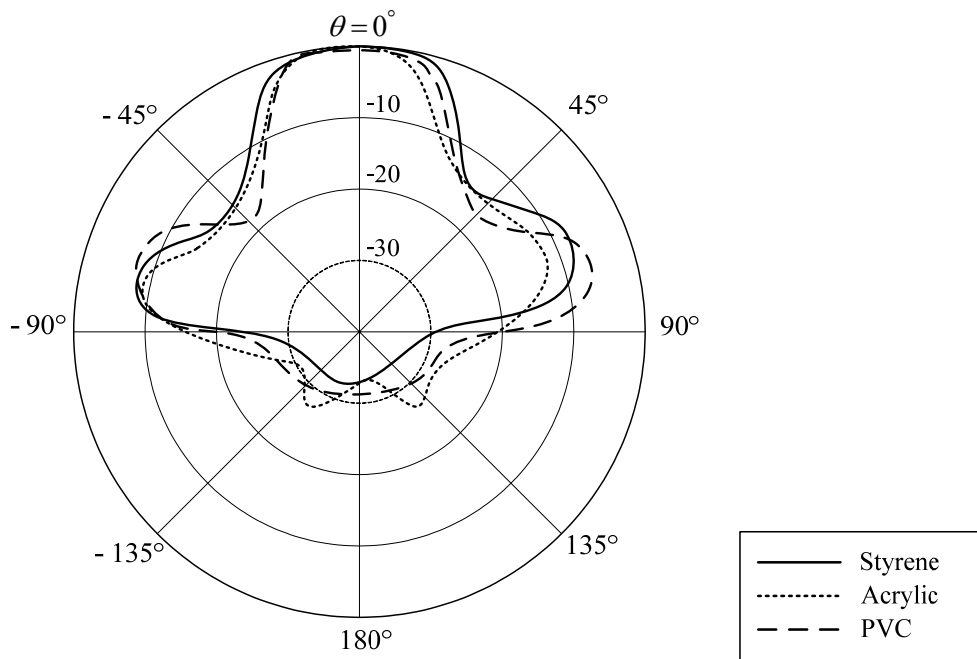


(ค) ระบายสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 5.25 GHz

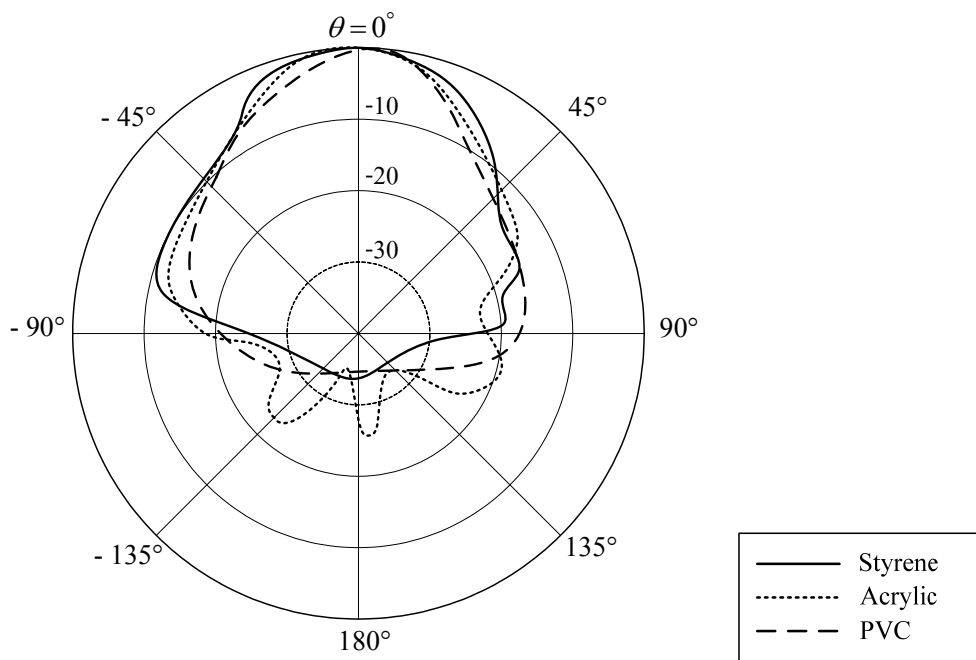


(ง) ระบายสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 5.25 GHz

รูปที่ 5.11 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแฉวาลำดับต้นแบบ
ที่บรรจุกล่องพลาสติกทั้ง 3 ชนิด (ต่อ)

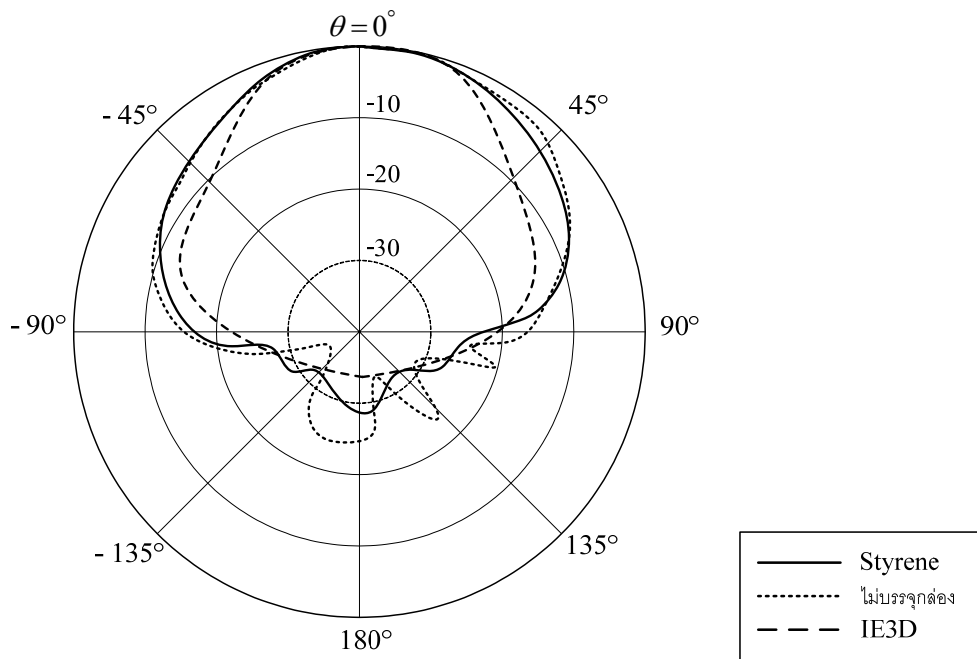


(จ) ระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 5.8 GHz

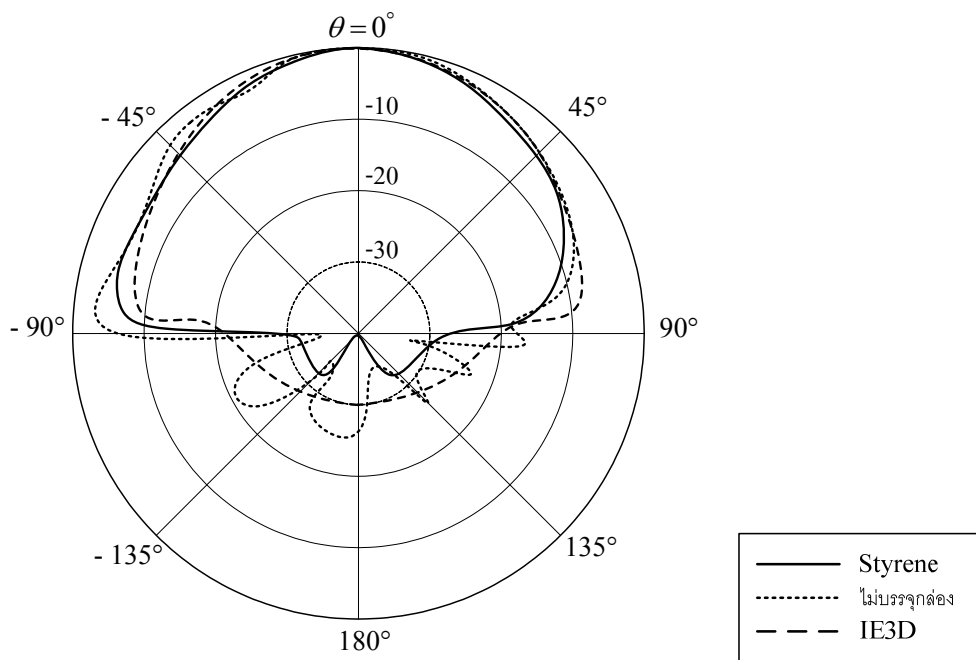


(ข) ระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 5.8 GHz

รูปที่ 5.11 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแฉวลำดับชั้นแบบ
ที่บรรจุกล่องพลาสติกทั้ง 3 ชนิด (ต่อ)

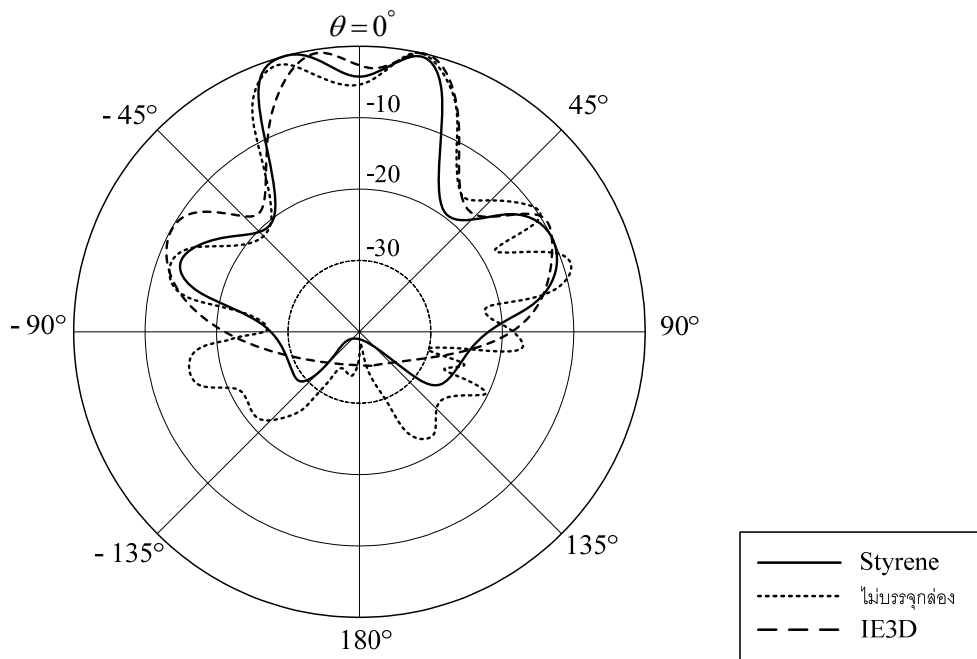


(ก) ระบายสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 2.45 GHz

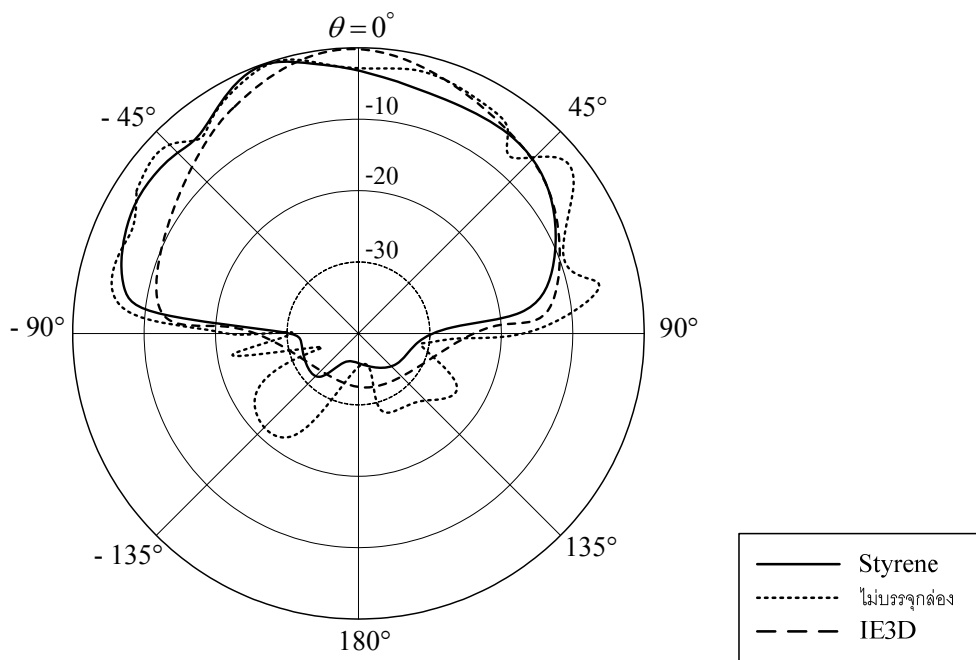


(ข) ระบายสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 2.45 GHz

รูปที่ 5.12 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบที่ไม่ได้บรรจุกล่องพลาสติก และบรรจุในกล่องพลาสติก โพลีสไตรีนที่เป็นโคพอลิเมอร์เทียบกับผลจาก IE3D

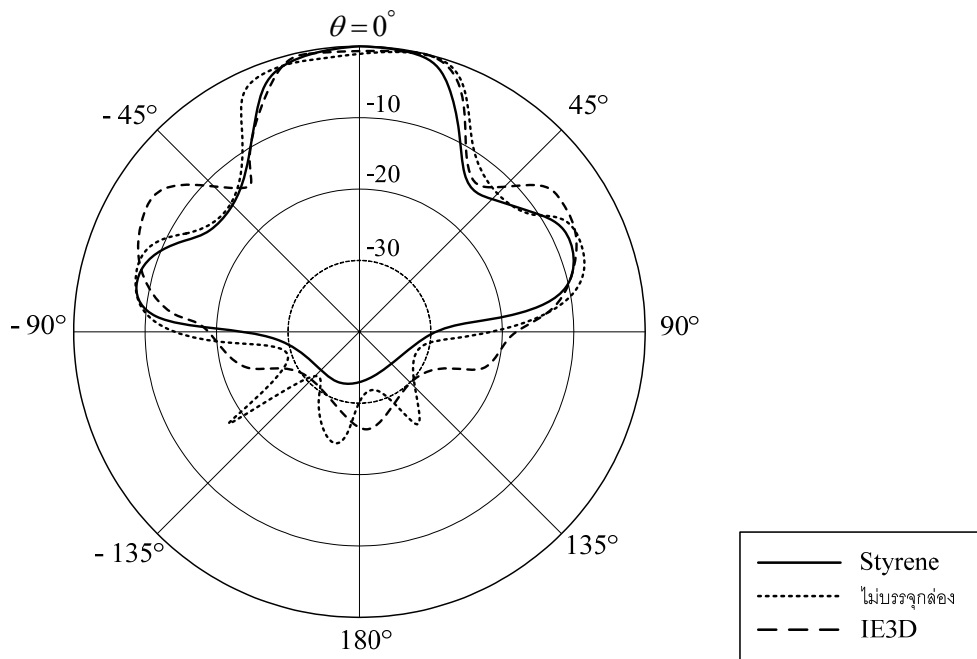


(ค) ระบายสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 5.25 GHz

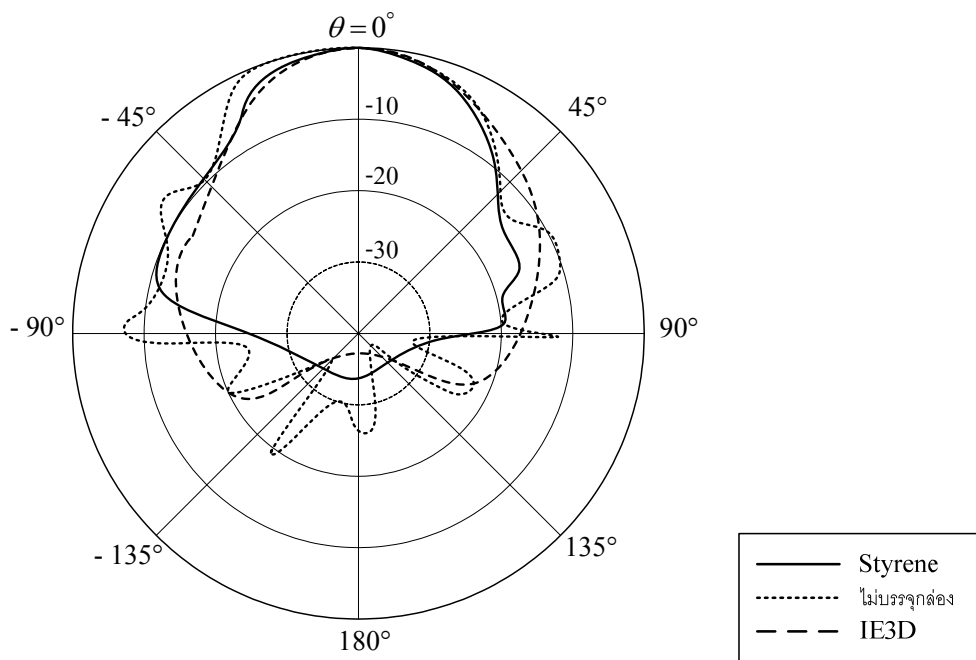


(ง) ระบายสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 5.25 GHz

รูปที่ 5.12 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบที่ไม่ได้บรรจุกล่องพลาสติก และบรรจุในกล่องพลาสติกโพลีสไตรีนที่เป็นโคพอลิเมอร์เทียบกับผลจาก IE3D (ต่อ)



(จ) ระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 5.8 GHz

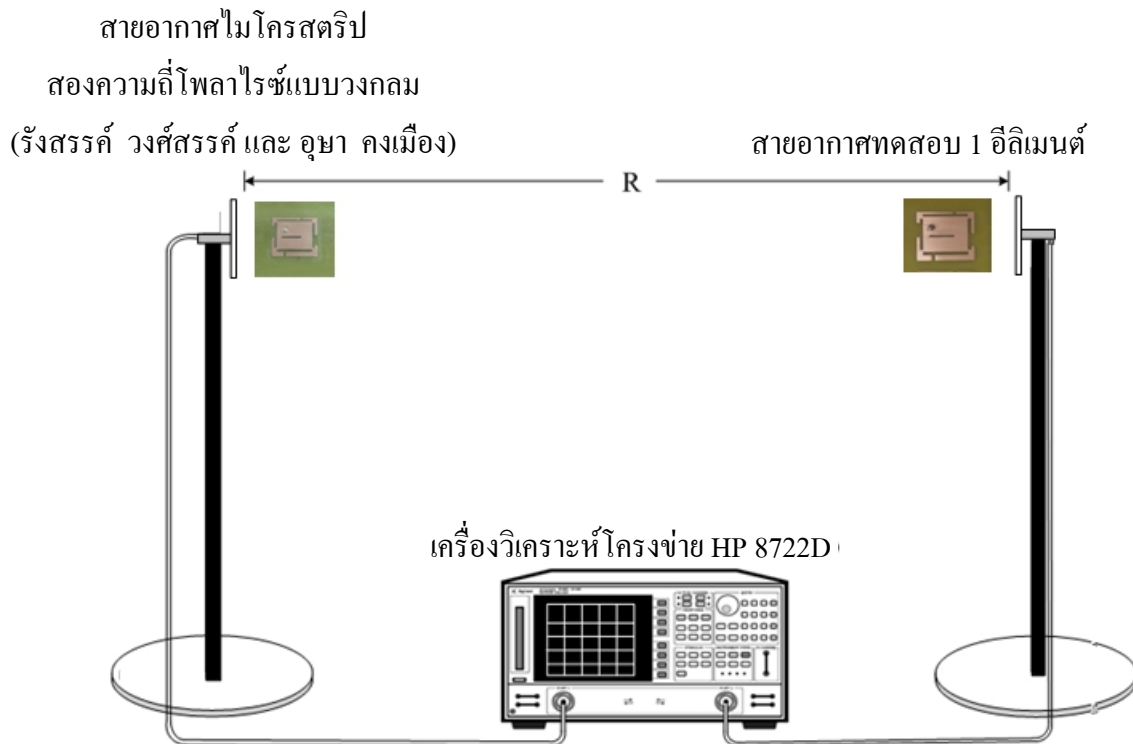


(ฉ) ระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 5.8 GHz

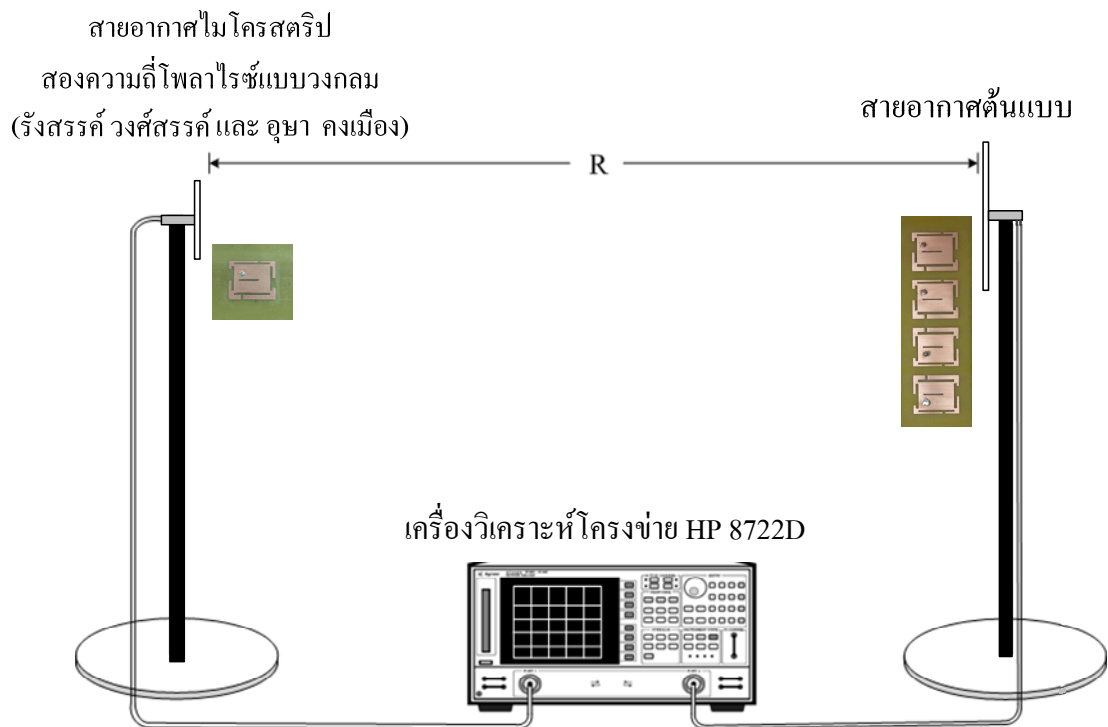
รูปที่ 5.12 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบที่ไม่ได้บรรจุกล่องพลาสติก และบรรจุในกล่องพลาสติก โพลีสไตรีนที่เป็นโคพอลิเมอร์เทียบกับผลจาก IE3D (ต่อ)

5.7 ผลการวัดทดสอบอัตรายาย

สำหรับการวัดอัตรายายของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบนั้นแบ่งออกเป็นสองขั้นตอน ได้แก่ (1) การวัดอัตรายายของสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิคโหลดแบบไม่สมดุลหนึ่งอิลิเมนต์ เพื่อหาอัตรายายของสายอากาศเพียงอิลิเมนต์เดียวแสดงดังรูปที่ 5.13 ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้สายอากาศสองตัว (two-antenna method) ที่มีลักษณะเหมือนกันสำหรับการวัดทดสอบ โดยตัวที่หนึ่งใช้ทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาคส่งและอีกตัวหนึ่งที่เหลือจะเป็นสายอากาศภาครับ และ (2) การวัดอัตรายายของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ โดยกำหนดให้สายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิคโหลดแบบไม่สมดุลหนึ่งอิลิเมนต์เป็นสายอากาศภาคส่ง และสายอากาศแถวลำดับต้นแบบเป็นสายอากาศภาครับแสดงดังรูปที่ 5.14



รูปที่ 5.13 วิธีการวัดทดสอบอัตรายายของสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิคโหลดแบบไม่สมดุลหนึ่งอิลิเมนต์



รูปที่ 5.14 วิธีการวัดทดสอบอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ

สำหรับการคำนวณค่าอัตราขยายของสายอากาศจะใช้สมการการส่งผ่านของฟรีส (Friis transmission equation) เป็นพื้นฐานในการคำนวณหาอัตราขยายของสายอากาศ โดยสมการการส่งผ่านของฟรีสที่นำมาใช้เท่ากับ

$$\frac{P_r}{P_t} = \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 G_t G_r \quad (5.4)$$

$$G_{dB} = \left(\frac{P_{r_{dB}} - P_{t_{dB}} + Loss}{2} \right) \quad (5.5)$$

$$G_{dB} = \left(\frac{P_{r_{dB}} - P_{t_{dB}} + 20 \log \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right)}{2} \right) \quad (5.6)$$

$$G_{r_{dB}} = P_{r_{dB}} - P_{t_{dB}} - G_{t_{dB}} + 20 \log \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) \quad (5.7)$$

| | | |
|--------|----------|---|
| โดยที่ | P_t | คือ กำลังที่ป้อนให้กับสายอากาศภาคส่ง |
| | P_r | คือ กำลังที่รับได้จากสายอากาศภาครับ |
| | G_{dB} | คือ อัตราขยายรวมของสายอากาศภาคส่งและสายอากาศภาครับเมื่อสายอากาศตัวทั้งสองตัวมีลักษณะเหมือนกัน |
| | G_t | คือ อัตราขยายของสายอากาศภาคส่ง |
| | G_r | คือ อัตราขยายของสายอากาศภาครับ |
| | R | คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศภาคส่งและสายอากาศภาครับ |

5.7.1 ผลการวัดทดสอบอัตราขยายของของสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิค โหลดแบบไม่สมดุลหนึ่งอิลิเมนต์

การวัดอัตราขยายของสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิค โหลดแบบไม่สมดุลหนึ่งอิลิเมนต์ จะใช้สายอากาศสองตัวที่มีลักษณะเหมือนกันสำหรับการวัดทดสอบ โดยตัวที่หนึ่งใช้ทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาคส่งและอีกตัวหนึ่งที่เหลือจะเป็นสายอากาศภาครับจากสมการ (5.6) สามารถคำนวณหาอัตราขยายของสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิค โหลดแบบไม่สมดุลหนึ่งอิลิเมนต์ได้ดังนี้ และแสดงค่าได้ดังตารางที่ 5.2

ที่ความถี่ 2.45 GHz

$$G_{dB} = \left[\frac{(-14.3913 \text{ dB}) - (-10 \text{ dB}) + 20 \log \left(\frac{4 \times \pi \times (37.959 \times 10^{-3})}{3 \times 10^8 / 2.45 \times 10^9} \right)}{2} \right] = 3.71 \text{ dB}$$

ที่ความถี่ 5.25 GHz

$$G_{dB} = \left[\frac{(-21.731 \text{ dB}) - (-10 \text{ dB}) + 20 \log \left(\frac{4 \times \pi \times (37.959 \times 10^{-3})}{3 \times 10^8 / 5.25 \times 10^9} \right)}{2} \right] = 3.35 \text{ dB}$$

ที่ความถี่ 5.8 GHz

$$G_{\text{dB}} = \left(\frac{(-17.2966 \text{ dB}) - (-10 \text{ dB}) + 20 \log \left(\frac{4 \times \pi \times (37.959 \times 10^{-3})}{3 \times 10^8 / 5.8 \times 10^9} \right)}{2} \right) = 6 \text{ dB}$$

ตารางที่ 5.2 ค่าอัตราขยายของสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิคโหลดแบบไม่สมดุล
หนึ่งอิลิเมนต์

| ความถี่ (GHz) | อัตราขยาย (dB) |
|---------------|----------------|
| 2.45 | 3.71 |
| 5.25 | 3.35 |
| 5.80 | 6 |

5.7.2 ผลการวัดทดสอบอัตราขยายของของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ

การวัดอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ จะกำหนดให้สายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิคโหลดแบบไม่สมดุลหนึ่งอิลิเมนต์เป็นสายอากาศภาคส่ง และสายอากาศแถวลำดับต้นแบบเป็นสายอากาศภาครับ ซึ่งได้ใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายวัดกำลังไฟฟ้าที่รับได้โดยกำหนดระยะทางระหว่างสายอากาศภาคส่งและสายอากาศภาครับที่ใช้ในการวัดทดสอบเท่ากับ 164 เซนติเมตร ทั้งที่ความถี่ 2.45 GHz 5.25 GHz และ 5.8 GHz มีกำลังด้านเข้าที่ป้อนให้กับสายอากาศภาคส่งเท่ากับ -10 dB และเมื่อนำค่าที่วัดได้ P_r แทนค่าลงในสมการ (5.7) จะได้ค่าอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบจากการวัดทดสอบที่บรรจุในกล่องพลาสติกทั้ง 3 ชนิด และไม่ได้บรรจุในกล่องพลาสติกเทียบกับค่าที่ได้จากการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D ซึ่งแสดงดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ค่าอัตราขยายจากการวัดทดสอบสายอากาศแกลวลำดับต้นแบบ

| ความถี่ (GHz) | อัตราขยายสายอากาศแกลวลำดับต้นแบบ (dB) | | | | |
|------------------|---------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--|
| | IE3D | ไม่ได้บรรจุ กล่องพลาสติก | บรรจุในกล่อง พลาสติกอะคริลิก | บรรจุในกล่อง พลาสติกพีวีซี | บรรจุในกล่อง พลาสติกโพลีสไตรีน ที่เป็น โคพอลิเมอร์ |
| 2.45 | 7.5 | 7.2 | 7.12 | 7.06 | 7.18 |
| 5.25 | 9.6 | 9.3 | 8.2 | 9 | 9.21 |
| 5.8 | 12.2 | 12 | 9.42 | 11.76 | 11.8 |

จากตารางที่ 5.3 พบว่าค่าอัตราขยายจากผลการวัดทดสอบสายอากาศแกลวลำดับต้นแบบที่บรรจุในกล่องพลาสติกทั้ง 3 ชนิด มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับค่าอัตราขยายของสายอากาศแกลวลำดับต้นแบบที่ไม่ได้บรรจุในกล่องพลาสติก ทั้งนี้เนื่องมาจากกล่องพลาสติกทั้ง 3 ชนิดนั้นอาจบดบังคลื่นสัญญาณ โดยแต่ละพลาสติกซึ่งมีเนื้อสารและคุณสมบัติที่ต่างกันก็จะให้ผลที่ต่างกัน จากการวัดทดสอบพบว่าสายอากาศแกลวลำดับต้นแบบที่บรรจุในกล่องพลาสติกโพลีสไตรีนที่เป็น โคพอลิเมอร์ จะมีค่าอัตราขยายสูงที่สุดในทุกช่วงแถบความถี่ซึ่งสอดคล้องกับผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ คือ สายอากาศแกลวลำดับต้นแบบที่บรรจุในกล่องพลาสติกโพลีสไตรีนที่เป็น โคพอลิเมอร์มีแบบรูปการแผ่พลังงานที่มีระดับกำลังงานโดยเฉลี่ยในทุกช่วงแถบความถี่ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กสูงที่สุด และจากการศึกษาคุณสมบัติของกล่องพลาสติกทั้ง 3 ชนิดพบว่าพลาสติกโพลีสไตรีนที่เป็น โคพอลิเมอร์นั้นได้มีการปรับปรุงคุณภาพและสมบัติของพลาสติกโพลีสไตรีนให้ดีขึ้น ทำให้มีคุณสมบัติเปลี่ยนไป ซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานภายนอกอาคารได้ ดังนั้นจากการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานและอัตราขยายของสายอากาศแกลวลำดับต้นแบบและจากคุณสมบัติของพลาสติกโพลีสไตรีนที่เป็น โคพอลิเมอร์ดังที่กล่าวข้างต้น งานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้พลาสติกโพลีสไตรีนที่เป็น โคพอลิเมอร์เป็นวัสดุในการบรรจุสายอากาศแกลวลำดับต้นแบบสำหรับการใช้งานภายนอกอาคาร ตารางที่ 5.4 แสดงค่าเปรียบเทียบอัตราขยายจากผลการวัดทดสอบของสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิค โหลดแบบไม่สมดุลหนึ่งอิลิเมนต์ และสายอากาศแกลวลำดับต้นแบบที่บรรจุในกล่องพลาสติกโพลีสไตรีนที่เป็น โคพอลิเมอร์ จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการนำสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิค โหลดแบบไม่สมดุลมาทำการจัดแกลวลำดับปรับระยะห่างระหว่างสายอากาศของสายอากาศแกลวลำดับที่เหมาะสม ปรับเปลี่ยนตำแหน่งของสลิคโหลดในแต่ละด้านของสายอากาศ ทำให้ได้สายอากาศแกลวลำดับที่มีอัตราขยายด้านหน้าสูง มีแบบรูปการแผ่พลังงานที่สมมาตร และบรรจุในกล่องพลาสติกโพลีสไตรีนที่เป็น โคพอลิเมอร์ซึ่งมี

ความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานภายนอกอาคาร ตรงตามวัตถุประสงค์ในการออกแบบ สำหรับประยุกต์ใช้งานกับเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 a/b/g

ตารางที่ 5.4 ค่าอัตราขยายจากผลการวัดทดสอบของสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิค โหลด แบบไม่สมดุลหนึ่งอิลิเมนต์และสายอากาศแฉวลำดับต้นแบบ

| ความถี่ (GHz) | สายอากาศไมโครสตริป หนึ่งอิลิเมนต์ | สายอากาศแฉวลำดับต้นแบบ ที่บรรจุในกล่องพลาสติกโพลีสไตรีน ที่เป็น โคพอลิเมอร์ |
|---------------|--------------------------------------|---|
| | อัตราขยาย (dB) | อัตราขยาย (dB) |
| 2.45 | 3.71 | 7.18 |
| 5.25 | 3.35 | 9.21 |
| 5.80 | 6 | 11.8 |

5.8 สรุป

ในบทนี้ได้แสดงการออกแบบ การสร้าง และการวัดทดสอบคุณลักษณะสมบัติของสายอากาศแฉวลำดับต้นแบบ ทั้งนี้เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D และผลจากการวัดทดสอบว่ามีความสอดคล้องกันมากน้อยเพียงใด ซึ่งคุณลักษณะของสายอากาศที่ได้ทำการวัดทดสอบได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในสนามระยะไกล ค่าอิมพีแดนซ์ และอัตราขยาย พบว่าค่าที่ได้มีความคล้ายคลึงกัน และได้ทำการวิเคราะห์หาวัสดุที่เหมาะสมในการบรรจุสายอากาศแฉวลำดับต้นแบบสำหรับการใช้งานจริงภายนอกอาคาร โดยได้พิจารณาจากคุณสมบัติของวัสดุ ผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในสนามระยะไกล และอัตราขยายของสายอากาศแฉวลำดับต้นแบบ พบว่าวัสดุที่เป็นพลาสติกโพลีสไตรีนที่เป็น โคพอลิเมอร์มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสามารถทนทานต่อสภาพแวดล้อมภายนอกได้ ให้ผลของการวัดทดสอบที่ดี และมีราคาถูก

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์คุณลักษณะของสายอากาศแถวลำดับให้อัตราขยายด้านหน้าโดยใช้ไมโครสตริปด้วยที-สลิคโพลดแบบไม่สมมูล ซึ่งได้นำสายอากาศมาจัดแถวลำดับแบบ 1×4 เพื่อเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศ ทำการปรับแบบรูปการแผ่พลังงานให้มีความสมมาตรด้วยการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของสลิคโพลดที่อยู่บนแต่ละด้านของสายอากาศ สำหรับขั้นตอนในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นในงานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์หาอัตราขยายสูงสุดของสายอากาศแถวลำดับด้วยการปรับเปลี่ยนระยะห่างระหว่างสายอากาศไมโครสตริปที่เหมาะสม วิเคราะห์ถึงการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของสลิคโพลดบนแต่ละด้านของสายอากาศไมโครสตริป เพื่อทำให้สายอากาศมีแบบรูปการแผ่พลังงานที่สมมาตร และวิเคราะห์หาวัสดุที่เหมาะสมในการบรรจุสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ สำหรับการติดตั้งใช้งานสายอากาศภายนอกอาคารเพื่อป้องกันการชำรุดเสียหายของสายอากาศจากสิ่งแวดล้อมภายนอก จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุและผลจากวัดทดสอบ พบว่าวัสดุกล่องบรรจุสายอากาศแถวลำดับต้นแบบชนิดพลาสติกโพลีไสตรินที่เป็น โคพอลิเมอร์มีคุณสมบัติที่เหมาะสม สามารถทนทานต่อสภาพแวดล้อมภายนอกได้ ให้ผลของการวัดทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศที่ดีกว่าชนิดอื่น ๆ หาได้ง่าย และมีราคาถูก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้กล่องพลาสติกโพลีไสตรินที่เป็น โคพอลิเมอร์ในการนำมาบรรจุสายอากาศแถวลำดับต้นแบบสำหรับการใช้งานภายนอกอาคาร

สำหรับการออกแบบสายอากาศแถวลำดับในงานวิจัยนี้ ในเบื้องต้นได้นำสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิคโพลดแบบไม่สมมูลมาจัดแถวลำดับแบบ 1×4 ซึ่งมีระยะห่างระหว่างสายอากาศไมโครสตริปที่เหมาะสมจะส่งผลให้สายอากาศมีอัตราขยายสูงสุด จากนั้นทำการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของสลิคโพลดที่อยู่บนแต่ละด้านของสายอากาศไมโครสตริป เพื่อให้สายอากาศมีแบบรูปการแผ่พลังงานที่สมมาตร โดยได้เลือกใช้โปรแกรมสำเร็จรูป IE3D เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของสายอากาศแถวลำดับก่อน สำหรับรายละเอียดในการออกแบบ การสร้าง ตลอดจนการวัดทดสอบ ผลการวัดทดสอบ ได้ทำการวิเคราะห์และสรุปไว้แล้วในบทที่ 4 และ 5 จากตารางที่ 6.1 เป็นการสรุปคุณลักษณะสมบัติของสายอากาศแถวลำดับให้อัตราขยายด้านหน้าโดยใช้ไมโครสตริปด้วยที-สลิคโพลดแบบไม่สมมูล ซึ่งเมื่อพิจารณาความกว้างแถบที่ได้สามารถครอบคลุมได้ทั้งสามแถบความถี่สำหรับการประยุกต์ใช้งานในเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 a/b/g และเมื่อนำผลค่าอัตราขยายที่ได้จากการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D และจากการวัดทดสอบของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบที่ไม่ได้บรรจุกล่องพลาสติกสำหรับการใช้งานภายในอาคาร และค่าอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบที่บรรจุในกล่องพลาสติก

โพลีสไตรีนที่เป็น โคพอลิเมอร์สำหรับการใช้งานภายนอกอาคาร มาเปรียบเทียบกับกันพบว่ามีความใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 6.1 คุณสมบัติของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ

| คุณลักษณะของสายอากาศ | แถบที่ 2.45 GHz | แถบที่ 5.25 GHz | แถบที่ 5.8 GHz |
|---|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| ความกว้างแถบ (IE3D) | (2.41-2.51 GHz) 100 MHz | (5.22-5.38 GHz) 160 MHz | (5.54-5.94 GHz) 400 MHz |
| ความกว้างแถบ (วัดทดสอบ) | (2.38-2.54 GHz) 160 MHz | (4.98-6.31 GHz) 1330 MHz | |
| อัตราขยาย (dB) (IE3D) | 7.5 | 9.6 | 12.2 |
| อัตราขยาย (dB) (วัดทดสอบ) สายอากาศไม่ได้บรรจุกล่อง พลาสติก | 7.2 | 9.3 | 12 |
| อัตราขยาย (dB) (วัดทดสอบ) สายอากาศบรรจุกล่องพลาสติก โพลีสไตรีนที่เป็น โคพอลิเมอร์ | 7.18 | 9.21 | 11.8 |

6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

จากบทสรุปจะพบว่าในงานวิจัยนี้สายอากาศแถวลำดับให้อัตราขยายด้านหน้าโดยใช้ไมโครสตริปด้วยที่-สลิค โหลดแบบไม่สมดุลได้ถูกสร้างจากวัสดุฐานรอง FR4 ซึ่งมีค่าไดอิเล็กตริกค่าต่ำจึงอาจทำให้สายอากาศมีขนาดใหญ่กว่าความต้องการ หากนำไปประยุกต์สร้างบนวัสดุฐานรองอื่นที่มีค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสูงกว่าเพื่อลดขนาดของสายอากาศลงมา อีกทั้งเป็นการทดสอบคุณลักษณะสมบัติของสายอากาศที่มีต่อวัสดุฐานรองอีกด้วย นอกจากนี้อาจทำการวิเคราะห์หาวัสดุอื่น ๆ ที่มีความเหมาะสมในบรรจุสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ สำหรับการติดตั้งใช้งานสายอากาศภายนอกอาคารที่สามารถทนทานต่อสภาพแวดล้อมภายนอกได้ดีกว่ากล่องพลาสติกโพลีสไตรีนที่เป็น โคพอลิเมอร์ มีคุณสมบัติที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบให้ดียิ่งขึ้น มีราคาถูก สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น และจะเป็นการดียิ่งหากได้มีการนำโครงสร้างของสายอากาศนี้ไปประยุกต์ใช้งานจริงเพื่อพัฒนาสายอากาศแถวลำดับต้นแบบนี้ให้มี

ความสามารถในการเลื่อนแถบความกว้างได้ ซึ่งสามารถพัฒนาต่อไปได้ขึ้นอยู่กับความสนใจและการประยุกต์ใช้งานในอนาคต

ในลำดับสุดท้ายนี้ผู้เขียนหวังว่าแนวความคิด วิธีการศึกษาวิเคราะห์และออกแบบ รวมถึงผลการวิเคราะห์และผลการทดลองจากงานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ เป็นแนวทางที่ดีให้แก่ผู้ที่สนใจศึกษาและค้นคว้าในเรื่องของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น

รายการอ้างอิง

- อุษา คงเมือง. (2546). สายอากาศไมโครสตริปสองความถี่แบบโพลาริไรซ์เชิงวงกลม. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโทบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีสุรนารี
- ดวงอาทิตย์ ศรีมูล. (2544). การศึกษาระบบการให้ความร้อนแก่วัตถุด้วยคลื่นไมโครเวฟแบบ ต่อเนื่องโดย
ใช้วิธีผลต่างสี่บเนื่องเชิงเวลา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- รังสรรค์ วงศ์สรรค์ และ ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์. (ม.ป.ป.). คู่มือการทดลองพื้นฐานของสายอากาศ.
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- รังสรรค์ วงศ์สรรค์. (2552). วิศวกรรมสายอากาศ. สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชา
วิศวกรรมศาสตร์ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- Aanandan, C.K., and Nair, K.G. (1986). Compact Broadband Microstrip Antenna. **Electronics
Letters**. 31 : 1310-1312.
- Antar, Y. M. M., Ittipiboon, A. I, Bhattachatyya, A. K. (1995). A Dual-Frequency Antenna Using a
Single Patch and An Inclined Slot. **Microwave and Optical Technology Letters**.
8(6) : 309-310.
- Berenger, J. P. (1994). Perfectly matched layer for the absorption of electromagnetic wave. **J. Computat.
Phys**. 114 : 185-200.
- Croq, F., and Pozar, D. (1992). Multifrequency Operation of Microstrip Antennas Using Aperture
Coupled Parallel Resonators. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation** AP-
40(11) : 1367-1374.
- Dahele, J. S., Lee, K. F., and Wong, D. P. (1987). Dual Frequency Stacked Annular-Ring
Microstrip Antenna. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**. AP-
35(11):1281-1285.
- James, J.R., and Hall, P.S. (1989). **Handbook of Microstrip Antenna**. Vol.1. London.
- Kraus, J.D. (1988). **Antennas**. McGra-Hill. New York.
- Laheurte, J., Katehi, L.P.B., and Rebeiz, G.M. (1994). CPW-fed slot antennas on multilayered dielectric
substrates. **24th European Microwave Conf. Proc**. 1 : 887-892.
- Lee, R.Q., Lee, K.F., and Bobinchak, J. (1987). Charecteristics of a two-layer electromagnetically
coupled rectangular patch antenna. **Electronics Letters**. 23 : 1070-1072.

- Long, S. A., Walton, M. D. (1979). A Dual-Frequency Stacked Circular-Disc Antenna. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**. AP-27(3) : 1281- 1285.
- Maci, S., Biffi, G., and Gentili, G. (1993). Single-Layer Dual-Frequency Patch Antenna. **Electronics Letters**. 29(16).
- Maci, S., Gentili, G. B., Piazzesi, P., and Salvador, C.(1995). A Dual Band Slot-Loaded Patch Antenna. **IEE Proceedings H**.142(3) : 225-232.
- Maci, S., Gentiti, G.B., Piazzesi, P., and Salvador, C. (1995). Dual-band slot-loaded patch antenna. **Proc. Inst. Elect. Eng.** 142 : 225-232.
- Mirshekar-Syankal, D., and Hassani, H. R.(1993). Characteristics of Stacked Rectangular and Triangular Patch Antennas for Dual Band Application. **IEE 8th International Conference on Antennas and Propagation**.
- Murakami, Y., Chujo, W., Chiba, I., Frujise, M. (1993). Dual Slot Coupled Microstrip Antenna for Dual Frequency Operation. **Electronics Letters**. 29,22, 28 : 1906-1907
- Richards, W. F., Davidson, S. E., Long, S. A.(1985). Dual-Band Reactively Loaded Microstrip Antenna. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**. AP-33(5) : 556-560.
- Sanchez-Hernandez, D., and Robertson, I. D. (1995). Analysis and Design of a Dual-Band Circularly Polarized Microstrip Patch Antenna. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**. AP-43(2) : 201-205.
- Schaubert, D. H., Ferrar, F. G., Sindoris, A., and Hayes, S. T. (1981). Microstrip Antennas with Frequency Agility and Polarization Diversity. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**. AP-29(1) : 118-123.
- Schneider, J. B., and Shlager, K. (2002). **Finite-difference time-domain literature database**. [Online]. Available : www.fDTD.org.
- Taflove, A. (1995). **Computational Electrodynamics The Finite-Difference Time-Domain Method**. Boston USA Artech House.
- Taflove, A. (1998). **Advances in Computational Electrodynamics The Finite-Difference Time-Domain Method**. Boston USA Artech House.
- Taflove, A, and Hagness, S. (2001). **Computational Electrodynamics The Finite-Difference Time-Domain Method**. 2nd ed. Boston USA Artech house.
- Wang, J., Fralich, R., Wu, C., and Litva, J. (1990). Multifunctional Aperture Coupled Stack Antenna. **Electronics Letters**. 26, 25 : 2067-2068.

- Waterhouse, R. B., Shuley, N. V. (1992). Dual Frequency Microstrip Rectangular Patches. **Electronics Letters**. 28(7) : 606-607
- Yang, K., and Wong, K. (2001). Dual-Band Circularly-Polarized Square Microstrip Antenna. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**. 49(3) : 377-381.
- Yazidi, M. L., Himdi, M., and Daniel, J. P. (1993). Aperture Coupled Microstrip Antenna for Dual Frequency Operation. **Electronics Letters**. 29(17).
- Yee, K. S. (1966). Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**. 4(8) : 302-307.
- Zurcher, J.F., and Gardiol, F.E. (1995). **Broadband Patch Antenna**. Artech House Inc. Norwood. Massachusetts.

ประวัติผู้วิจัย

รองศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์ เกิดเมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม 2507 เกิดที่ ตำบลปากน้ำประแสร์ อำเภอกะลา จังหวัดระยอง สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทเวศร์ เมื่อปี 2532 จากนั้นได้ศึกษาต่อระดับปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า (วิศวกรรมโทรคมนาคม) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ เมื่อปี 2537 จากนั้นได้ศึกษาต่อระดับปริญญาเอก วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า (วิศวกรรมโทรคมนาคม) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปี 2546 ประวัติการทำงานในอดีตเมื่อปี 2532 เป็นอาจารย์ประจำแผนกอิเล็กทรอนิกส์ ที่สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครเหนือเมื่อปี 2532 ถึงปี 2533 เป็นอาจารย์พิเศษคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีประทุม กรุงเทพมหานคร นอกจากนี้ เมื่อปี 2535 ถึงปี 2536 เป็นที่ปรึกษาด้านอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา และได้เป็นหัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อปี 2546 ถึงปี 2548 ปัจจุบันเป็นรองศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เป็นรองอธิการบดี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เป็นหัวหน้าโครงการพัฒนาและผลิตสื่อการศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี หัวหน้าโครงการการศึกษาไร้พรมแดน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เป็นอาจารย์พิเศษมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น นายกสโมสรพนักงานสาขาวิชาการและสายปฏิบัติการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (วาระที่ 3)