

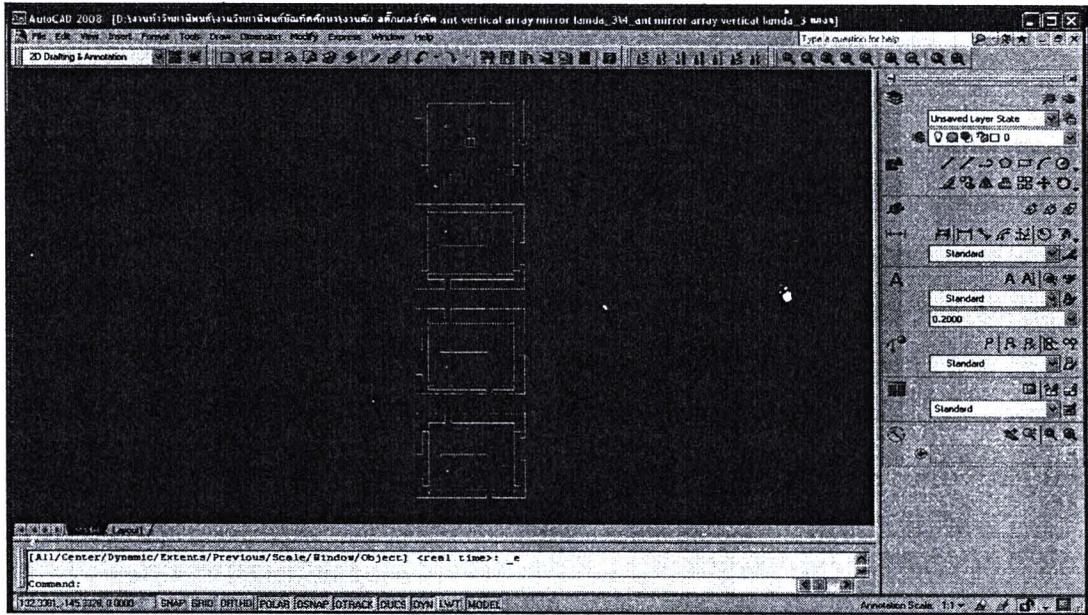
บทที่ 5

ผลการวัดทดสอบ

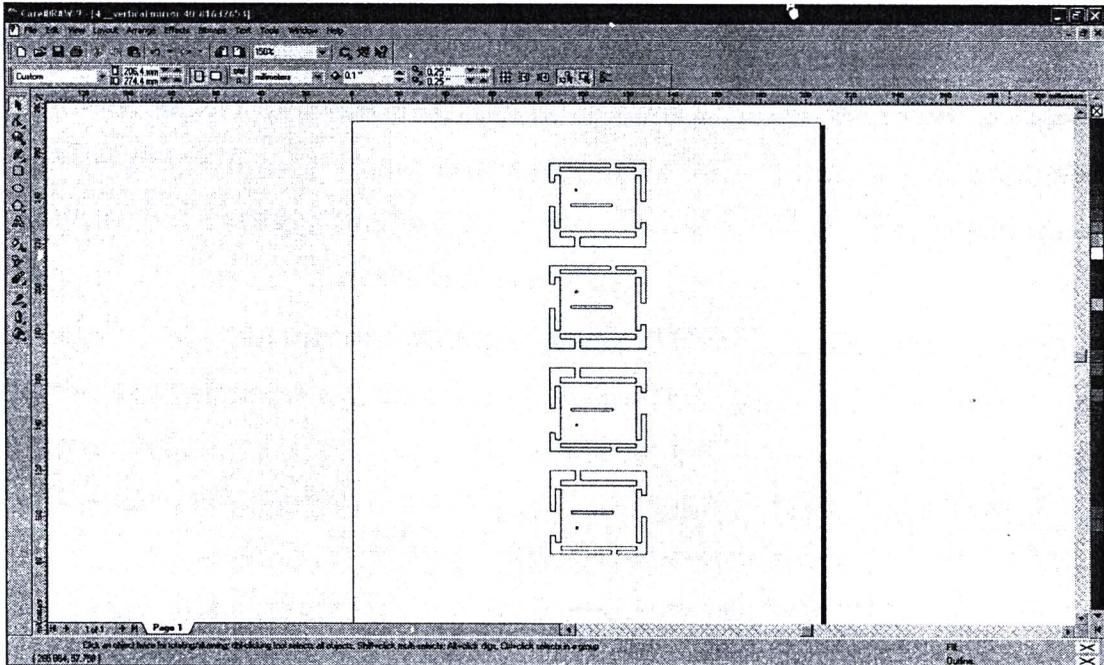
จากทฤษฎีและหลักการทั้งหมดที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ผ่านมา ในบทนี้จะทำการออกแบบและวิเคราะห์คุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศแกลวลำดับให้อัตราขยายด้านหน้าโดยใช้แผ่นไมโครสตริปด้วยที่-สลิค โพลคแบบไม่สมดุล และได้ทำการสร้างสายอากาศแกลวลำดับต้นแบบขึ้น จากนั้นทำการวัดทดสอบคุณลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ อัตราส่วนคลื่นนิ่ง แบบรูปการแผ่พลังงานทั้งระนาบสนามแม่ไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก อิมพีแดนซ์ และอัตราขยาย โดยมีตัวแบ่งกำลัง (power divider) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องส่งไปยังสายอากาศแกลวลำดับต้นแบบ ในการวัดทดสอบคุณลักษณะข้างต้น จากเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (network analyzer) รุ่น HP8720C และได้วิเคราะห์หาวัสดุที่เหมาะสมสำหรับบรรจุสายอากาศแกลวลำดับต้นแบบ สำหรับการติดตั้งใช้งานสายอากาศแกลวลำดับต้นแบบภายนอกอาคารเพื่อป้องกันการชำรุดและเสียหายของสายอากาศแกลวลำดับต้นแบบจากสิ่งแวดล้อมภายนอก สุดท้ายได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลจากการวัดทดสอบและจากผลการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D

5.1 วิธีการสร้างสายอากาศแกลวลำดับต้นแบบ

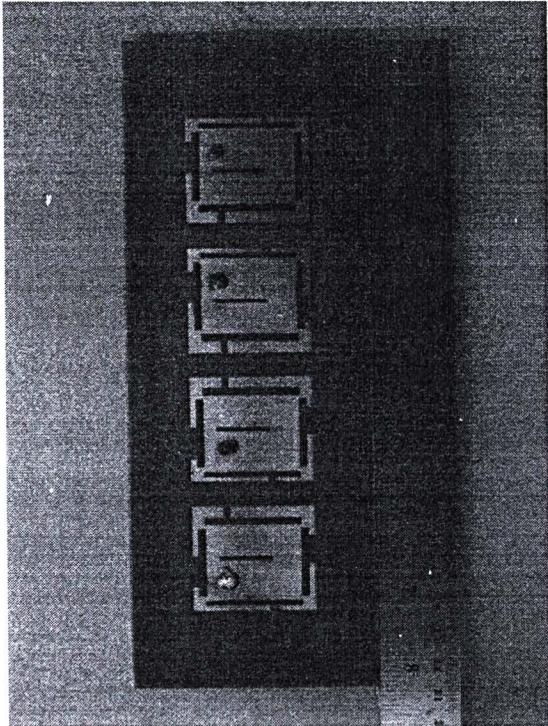
จากผลการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D ที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 4 จนได้ขนาดและรูปแบบของแกลวลำดับของสายอากาศตามที่ต้องการ โดยผลจากการจำลองจะมีนามสกุลเพิ่มข้อมูลคือ GEO ซึ่งจะต้องนำไฟล์ออก (export file) จากโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D และบันทึกข้อมูลนามสกุลเพิ่มข้อมูลที่ได้ คือ ชื่อเพิ่มข้อมูลนามสกุล DWG เมื่อได้เพิ่มข้อมูลแล้ว ได้นำไปจัดแต่งรูปร่างของสายอากาศด้วย โปรแกรม Auto CAD 2008 จะได้เพิ่มข้อมูลเป็นนามสกุล DXF แสดงดังรูปที่ 5.1 ก่อนนำไปตัดสติ๊กเกอร์โดยใช้โปรแกรม CoreIDRAW 9 ดังรูปที่ 5.2 เพื่อนำไปใช้ในการสร้างสายอากาศแกลวลำดับต้นแบบแสดงดังรูปที่ 5.3 ซึ่งได้ใช้แผ่นไมโครสตริปชนิด FR4 จากนั้นนำสายอากาศแกลวลำดับต้นแบบต่อเข้ากับหัวต่อชนิด SMA 50 โอห์ม โดยรูปที่ 5.3(ก) แสดงสายอากาศแกลวลำดับต้นแบบที่สร้างเสร็จแล้ว และรูปที่ 5.3(ข) เป็นสายอากาศแกลวลำดับต้นแบบที่ทำการติดตั้งพร้อมใช้งาน



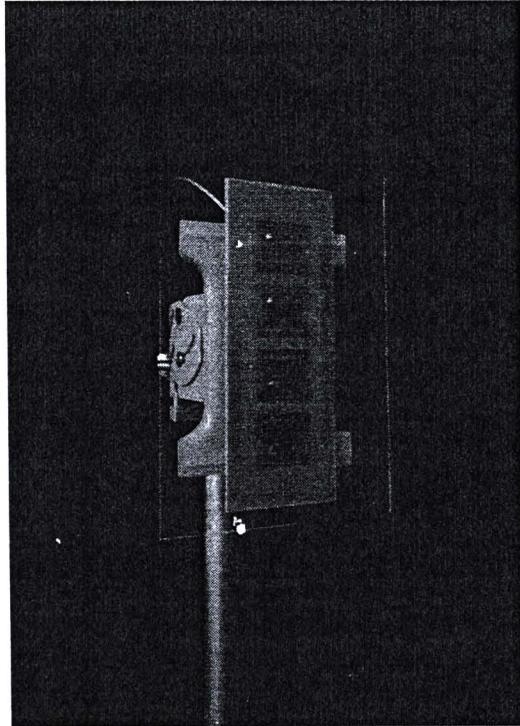
รูปที่ 5.1 โปรแกรม AutoCAD 2008 กำหนดการกัดและตัดแผ่น PCB



รูปที่ 5.2 โปรแกรม CoreIDRAW 9 กำหนดการตัดแผ่น PCB



(ก) สายอากาศแถวลำดับต้นแบบที่สร้าง



(ข) สายอากาศแถวลำดับต้นแบบ
ที่ทำการติดตั้งแล้ว

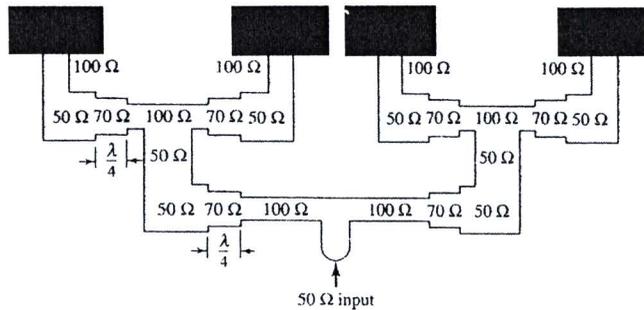
รูปที่ 5.3 สายอากาศแถวลำดับต้นแบบ

5.2 ผลการวัดทดสอบตัวแบ่งกำลังงาน

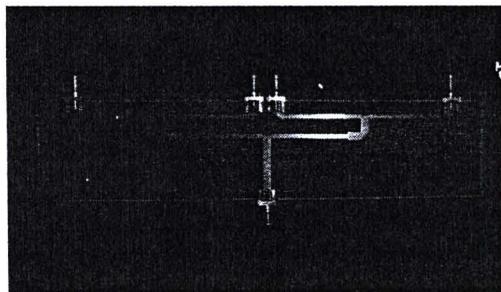
งานวิจัยนี้ได้ใช้ตัวแบ่งกำลังงานเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการแบ่งกำลังงานจากเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (อุปกรณ์ภาคส่ง) จากหนึ่งพอร์ตด้านเข้าให้เป็นสี่พอร์ตด้านเข้าตามจำนวนของสายอากาศไมโครสตริป โดยมีลายวงจรในการออกแบบและตัวแบ่งกำลังงานที่สร้างแสดงดังรูปที่ 5.4(ก) และ (ข) ตามลำดับ และสมการสำหรับคำนวณหาขนาดความกว้างของเส้นสตริป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

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

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



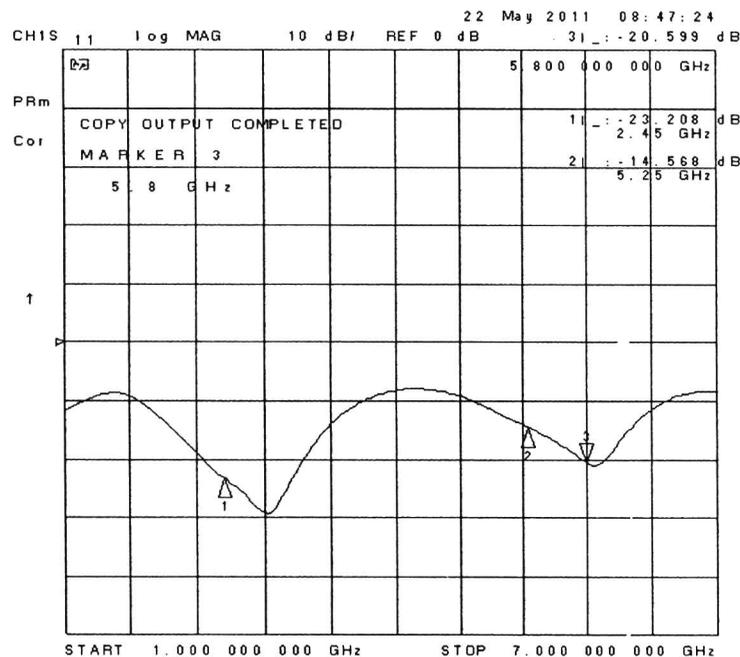
(ก) ลายวงจรที่ใช้ในการออกแบบตัวแบ่งกำลังงาน



(ข) ตัวแบ่งกำลังงานที่สร้าง

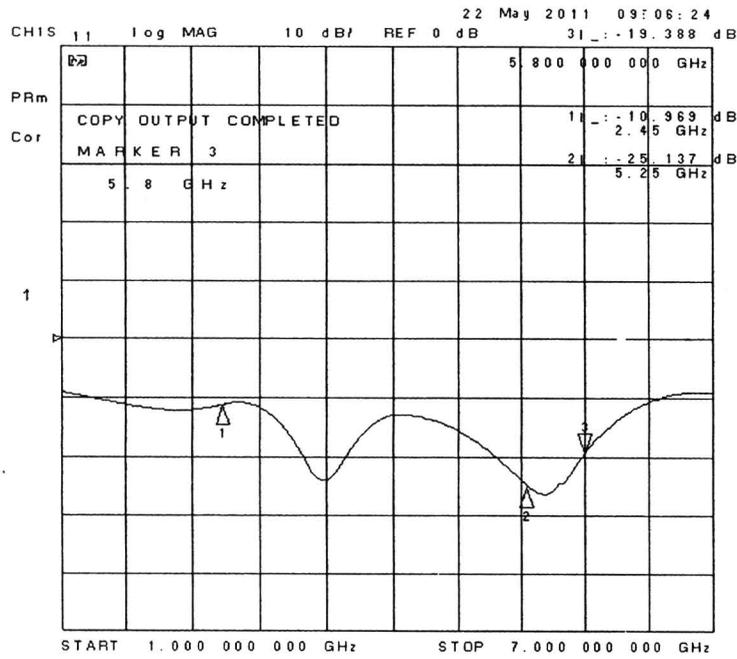
รูปที่ 5.4 ตัวแบ่งกำลังงาน

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
 ทำการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับที่แต่ละพอร์ตของตัวแบ่งกำลังงานนั้น 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

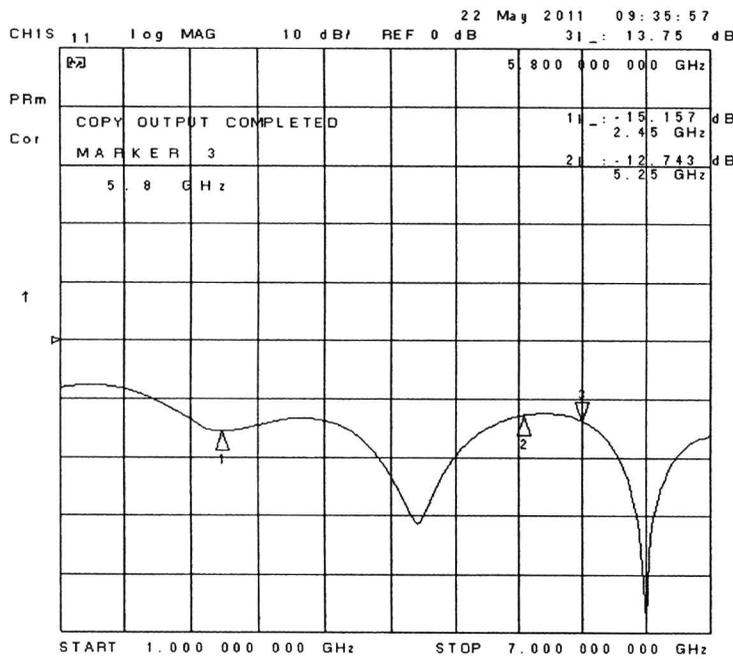


(ก) ที่พอร์ตด้านเข้า

รูปที่ 5.5 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับตัวแบ่งกำลังงาน



(ง) ที่พอร์ตด้านออกที่ 3

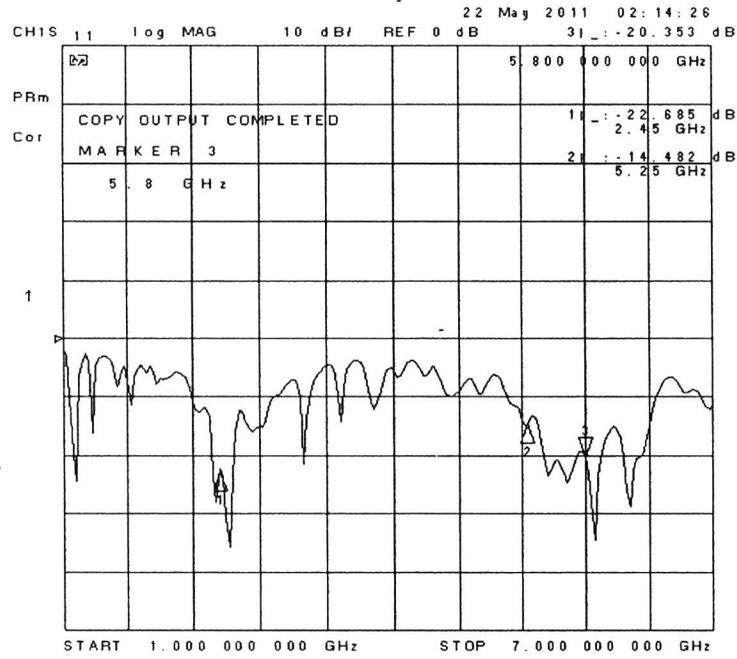


(จ) ที่พอร์ตด้านออกที่ 4

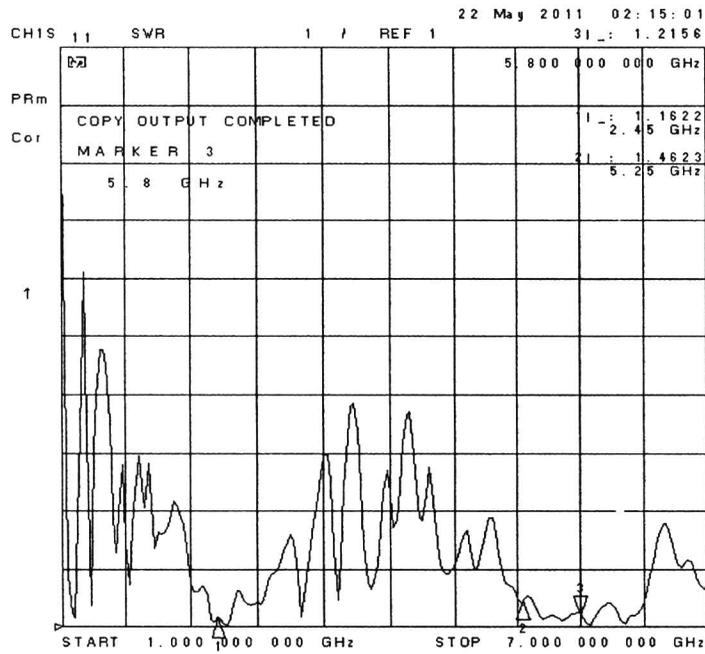
รูปที่ 5.5 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับตัวแบ่งกำลังงาน (ต่อ)

5.3 ผลการวัดทดสอบสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับและความกว้างแถบ

สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในการพิจารณาการแมตซ์อิมพีแดนซ์ด้านเข้า 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 แสดงว่าไม่แมตซ์อย่างสมบูรณ์ และถ้า มีค่าเป็นลบอนันต์ แสดงว่ามีการแมตซ์ที่สมบูรณ์ดีที่สุด (รังสรรค์ วงศ์สรรค และ ชูวงศ์, ม.ป.ป) จากรูปที่ 5.6 แสดงกราฟค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศแฉวลำดับต้นแบบในรูปของ พารามิเตอร์ S_{11} จากรูปจะสังเกตได้ว่าสายอากาศแฉวลำดับต้นแบบที่ได้ทำการสร้างขึ้นนั้นมี 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 แสดงว่าสายอากาศนั้นมีการแมตซ์ที่สมบูรณ์หมายความว่า กำลังไฟฟ้าด้านเข้าที่ป้อนให้กับสายอากาศมีการแผ่พลังงานออกไปทั้งหมดไม่มีการสะท้อน กลับมา และถ้าสายอากาศมีค่า SWR เท่ากับอนันต์ หมายความว่าสายอากาศนั้นเกิดการไม่แมตซ์ทำให้ กำลังไฟฟ้าที่ส่งออกไปเกิดการสะท้อนกลับมาทั้งหมด ทำให้เครื่องส่งได้รับความเสียหายได้ ในงาน ประยุกต์ต่าง ๆ ค่าของ S_{11} จะยอมรับได้ถ้ามีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับ -10 dB ซึ่งจะสอดคล้องกับ ค่า SWR เท่ากับ 2 หรือต่ำกว่า แสดงว่ามีการแมตซ์ที่ดี จากรูปที่ 5.7 แสดงอัตราส่วนคลื่นนิ่งของ สายอากาศแฉวลำดับต้นแบบ โดยที่แถบความถี่ 2.45 GHz เท่ากับ 1.16 ที่แถบความถี่ 5.25 GHz เท่ากับ 1.46 และที่แถบความถี่ 5.8 GHz เท่ากับ 1.22



รูปที่ 5.6 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ



รูปที่ 5.7 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ

จากค่า S_{11} สามารถคำนวณหาค่าความกว้างแถบแต่ละความถี่ของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบได้จากสมการที่ (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

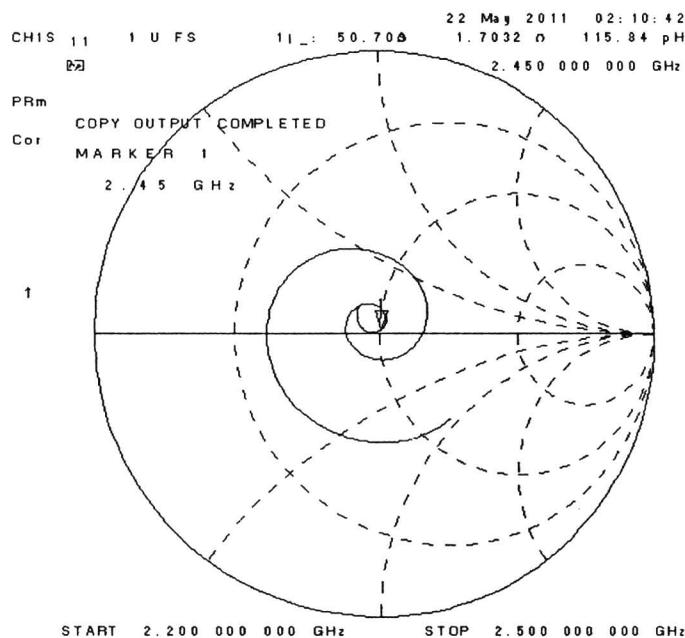
ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบค่าความกว้างแถบของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ

สายอากาศแถวลำดับต้นแบบ	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 ทั้งสองแผ่นที่ใช้ในการสร้างสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ

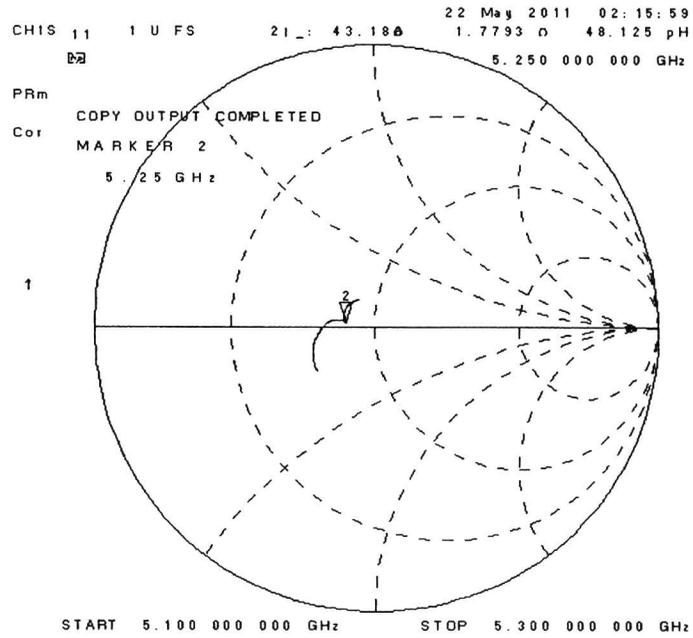
5.4 ผลการวัดทดสอบค่าอิมพีแดนซ์

จากการวัดทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ โดยทำการแมตช์ด้วยวงจรแบ่งกำลังซึ่งอ้างอิงมาจากทฤษฎีการแบ่งกำลังของวิลคินสัน (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

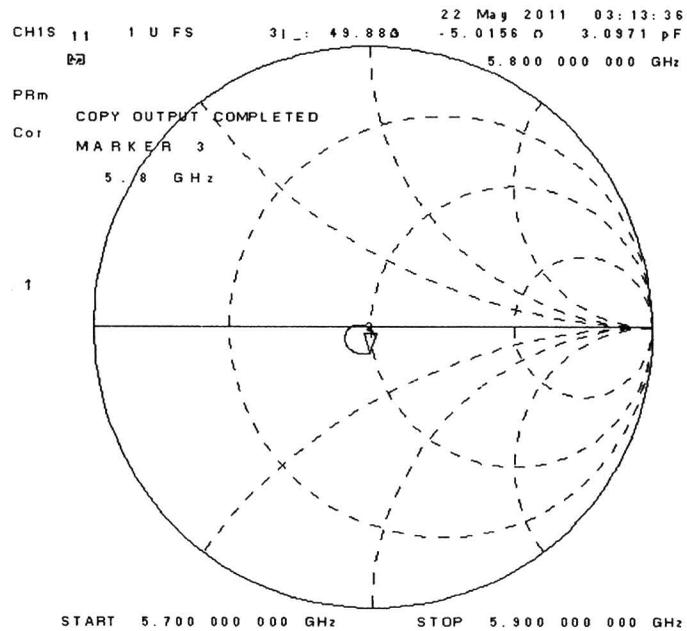


(ก) ค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าที่ความถี่ 2.45 GHz

รูปที่ 5.8 ค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบจากการวัดทดสอบ



(ข) ค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าที่ความถี่ 5.25 GHz

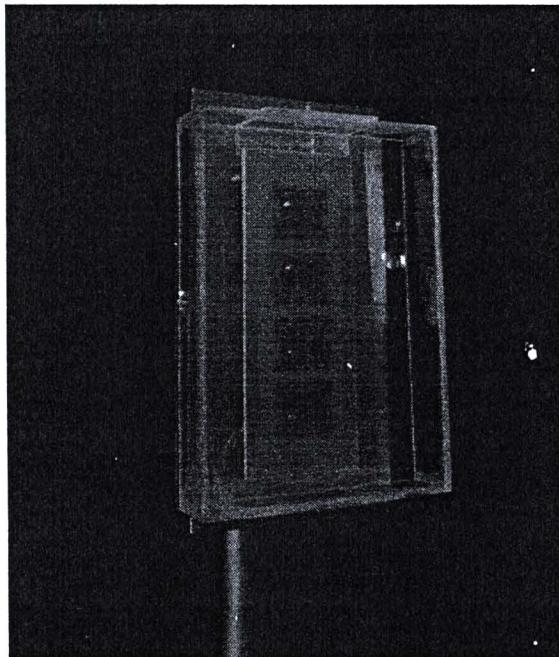


(ค) ค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าที่ความถี่ 5.8 GHz

รูปที่ 5.8 ค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบจากการวัดทดสอบ (ต่อ)

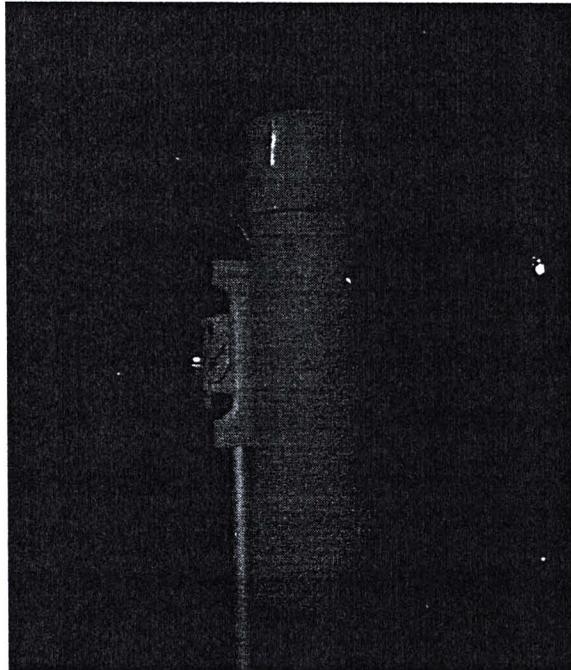
5.5 การวิเคราะห์หาวัสดุกล่องบรรจุสายอากาศแถวลำดับต้นแบบที่เหมาะสม

สำหรับหัวข้อนี้จะเป็นการวิเคราะห์หาวัสดุที่เหมาะสมในการบรรจุสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ สำหรับการติดตั้งเพื่อใช้งานสายอากาศภายนอกอาคาร ทั้งนี้เพื่อป้องกันการชำรุดเสียหายของสายอากาศจากสิ่งแวดล้อมภายนอก อาทิเช่น แสงแดด ลม ฝน ฝุ่น ละออง และแมลง เป็นต้น และช่วยยืดอายุการใช้งานของสายอากาศให้นานยิ่งขึ้น โดยที่วัสดุนี้มีผลกระทบต่อคุณสมบัติของสายอากาศน้อยที่สุด ซึ่งได้เลือกวิเคราะห์หาวัสดุที่มีอยู่ตามท้องตลาดที่สามารถหาได้ง่าย และมีราคาถูก สำหรับวัสดุที่นำมาวิเคราะห์มี 3 ชนิด ได้แก่ (1) พลาสติกอะคริลิก (2) พลาสติกพีวีซี และ (3) พลาสติกโพลีไทรอิน จากการวัดทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบพบว่าวัสดุกล่องบรรจุสายอากาศแถวลำดับต้นแบบทั้ง 3 ชนิด ไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ อัตราส่วนคลื่นนิ่งและค่าอิมพีแดนซ์ แต่จะมีผลต่อแบบรูปการแผ่พลังงาน และอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ จากรูปที่ 5.9(ก) (ข) และ (ค) แสดงสายอากาศแถวลำดับต้นแบบที่ถูกบรรจุอยู่ในกล่องพลาสติกอะคริลิก กล่องพลาสติกพีวีซี และกล่องพลาสติกโพลีไทรอินที่เป็นโพลีเมอร์ตามลำดับเพื่อทำการวัดทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ

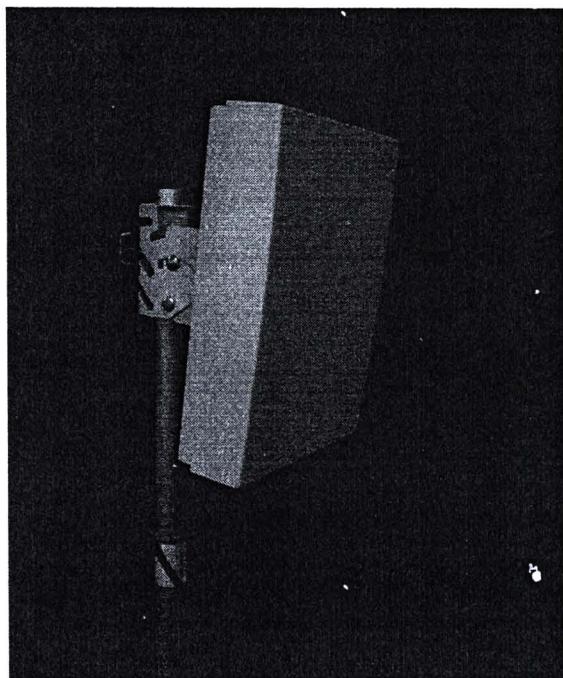


(ก) สายอากาศแถวลำดับต้นแบบบรรจุอยู่ในกล่องพลาสติกอะคริลิก

รูปที่ 5.9 สายอากาศแถวลำดับต้นแบบที่ถูกบรรจุอยู่ในกล่องพลาสติกชนิดต่าง ๆ



(ง) สายอากาศแถวลำดับต้นแบบบรรจุอยู่ในกล่องพลาสติกพีวีซี



(ค) สายอากาศแถวลำดับต้นแบบบรรจุอยู่ในกล่องพลาสติกโพลีสไตรีนที่เป็นโคพอลิเมอร์

รูปที่ 5.9 สายอากาศแถวลำดับต้นแบบที่ถูกรวบรวมอยู่ในกล่องพลาสติกชนิดต่าง ๆ (ต่อ)

5.5.1 คุณสมบัติของวัสดุกล่องบรรจุชนิดพลาสติกอะคริลิก

พลาสติกอะคริลิก (polymethyl methacrylate หรือ PMMA) เป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม มีโครงสร้างเส้นสายเป็นแบบอะแทคติก (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) กระจกคอมโพสิต แผ่นป้าย และป้ายโฆษณา เป็นต้น

5.5.2 คุณสมบัติของวัสดุกล่องบรรจุชนิดพลาสติกพีวีซี

พลาสติกพีวีซี (polyvinylchloride หรือ PVC) เป็นพลาสติกที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง โดยเนื้อของพลาสติกพีวีซีมีลักษณะขุ่นทึบแต่ก็สามารถผลิตออกมาให้มีสีใสได้ทุกสี มีลักษณะทั้งที่เป็นของแข็งคงรูปและอ่อนนุ่มเหนียว มีคุณสมบัติทั่วไปดังนี้

- มีความแข็งแรงดี ทนต่อการขีดข่วน
- ทนทานต่อสภาวะอากาศและสิ่งแวดล้อมปกติ
- ทนทานต่อน้ำ น้ำมัน กรด ด่าง แอลกอฮอล์ และสารเคมีต่าง ๆ ยกเว้นคลอรีน
- สามารถเติมสารเติมแต่งต่าง ๆ เพื่อปรับปรุงแต่งคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่แข็ง และคงตัว จนถึงอ่อนนุ่ม และยืดหยุ่นได้
- เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี
- ทำความสะอาดง่าย ไม่เกาะติดสิ่งสกปรก

ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติกพีวีซี ได้แก่ หนังสือซึ่งมีความอ่อนนุ่มกว่าหนังสือสำหรับหุ้มเบาๆ แก้วหรือปุโตะ เคลือบกระดาษและผ้า กระเป๋า รองเท้า เข็มขัด ปลอกหุ้มสายไฟฟ้าหรือสายเคเบิล ปลอก

หุ้มด้ามอุปกรณ์เครื่องมือต่าง ๆ ปลอกหุ้มลวดเหล็ก ท่อน้ำ ท่อร้อยสายไฟฟ้า อ่างน้ำ ประตู หน้าต่าง เป็นต้น

5.5.3 คุณสมบัติของวัสดุกล่องบรรจุชนิดพลาสติกโพลีสไตรีน

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

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

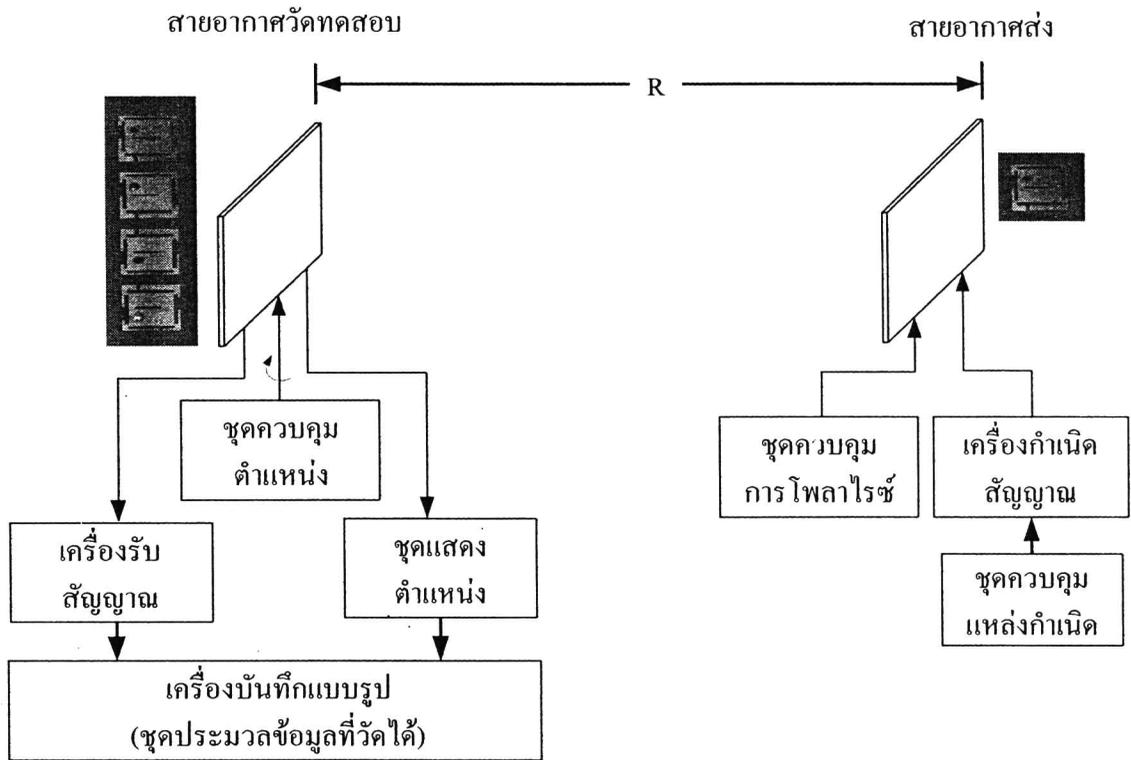
ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติกโพลีสไตรีน ได้แก่ ถ้วยจาน แก้วน้ำ ซ้อนส้อม ที่ใช้แล้วทิ้ง กล่องบรรจุอาหารและผลไม้ ไม้บรรทัด อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ของเล่น ด้ามลูกอมขนมเด็ก ขวดหรือกระปุกใส่ยา เฟอ์นิจเจอร์ ชิ้นส่วนในตู้เย็น โฟมกันแตกสำหรับบรรจุภัณฑ์ และฉนวนกันความร้อน เป็นต้น

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

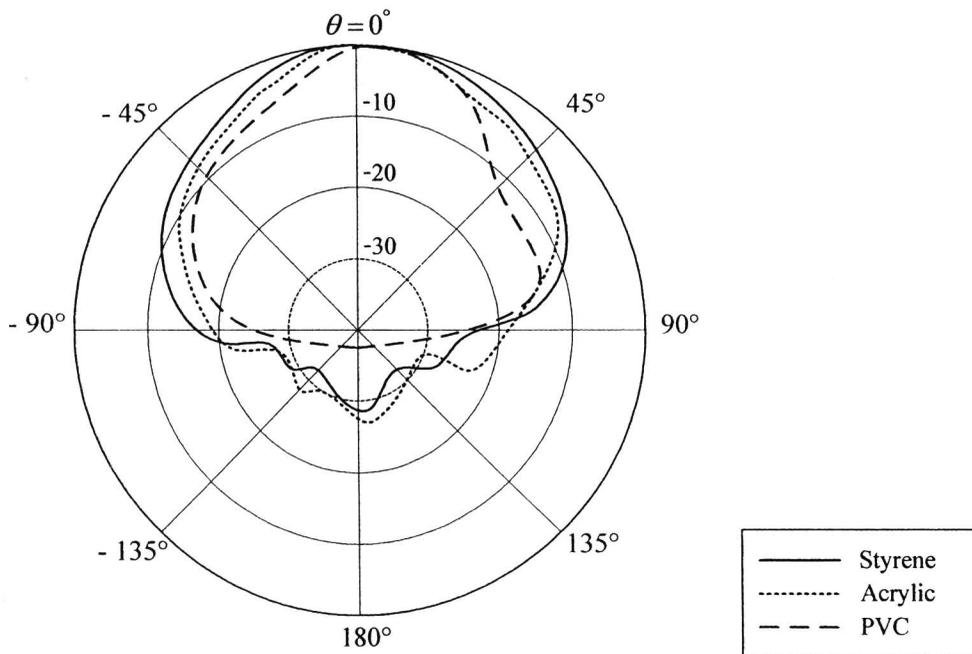
5.6 ผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน

จากรูปที่ 5.10 แสดงวิธีการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน โดยทำการทดสอบใน ระยะสนามระยะไกล คือ $R \geq 2D^2 / \lambda$ ซึ่ง R คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศทดสอบและสายอากาศ อ้างอิง โดยการทดสอบนี้ได้กำหนดให้ระยะทางมีค่าคงที่ที่ความถี่สูงสุดมีค่าเท่ากับ 164.08 เซนติเมตร และ D คือ ขนาดของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 20.6 เซนติเมตร ซึ่งในที่นี้ได้ใช้สายอากาศไมโครสตริป ด้วยที-สลิค โหลดแบบไม่สมดุลหนึ่งอิลิเมนต์ โดยมีความถี่ปฏิบัติการอยู่ที่ 2.45 GHz 5.25 GHz และ 5.8 GHz เป็นสายอากาศอ้างอิง โดยทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาลส่ง และสายอากาศแถว ลำดับต้นแบบที่นำมาวัดทดสอบทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาลรับ ซึ่งจะมีการหมุนรอบแนวแกน หมุนเพื่อรับคลื่นจากสายอากาศภาลส่งตั้งแต่มุม 0 องศา จนถึงมุม 360 องศา ทำให้ได้แบบรูป การแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก

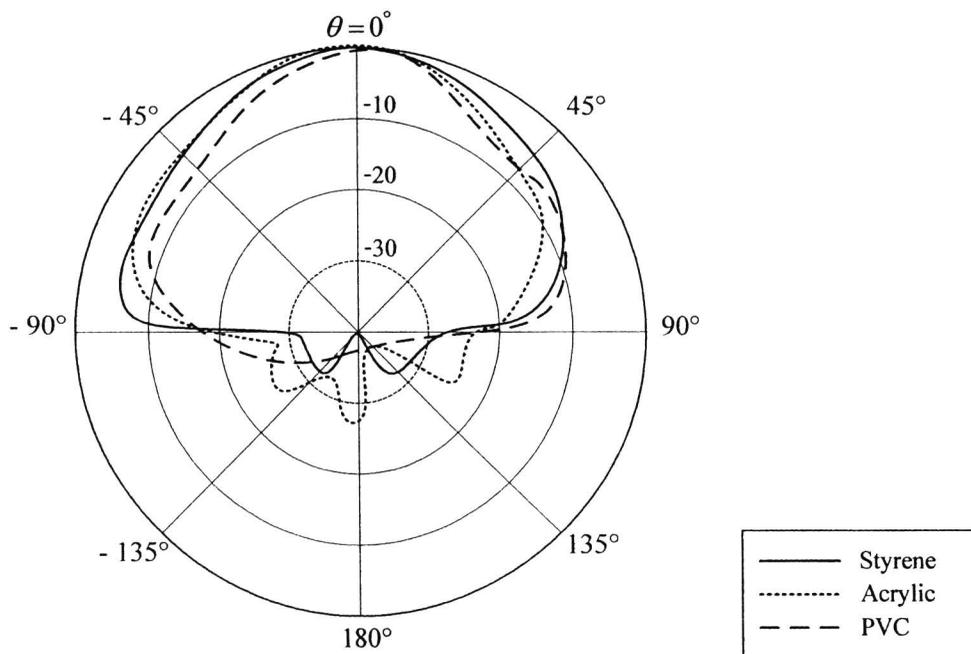
จากรูปที่ 5.11 แสดงผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ แถวลำดับต้นแบบที่บรรจุกล่องพลาสติกทั้ง 3 ชนิด ในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 2.45 GHz 5.25 GHz และ 5.8 GHz แสดงดังรูปที่ 5.11(ก) (ค) และ (จ) ตามลำดับ และในระนาบสนามแม่เหล็กที่ ความถี่ 2.45 GHz 5.25 GHz และ 5.8 GHz ดังรูปที่ 5.1(ข) (ง) และ (ฉ) ตามลำดับ จากผลการวัด ทดสอบพบว่าสายอากาศแถวลำดับต้นแบบที่บรรจุในกล่องพลาสติกโพลีสไตรีนที่เป็น โคพอลิเมอร์มี แบบรูปการแผ่พลังงานที่มีระดับกำลังงานโดยเฉลี่ยในทุกช่วงแถบความถี่ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้า และระนาบสนามแม่เหล็กสูงที่สุด และมีรูปร่างของแบบรูปการแผ่พลังงาน ไม่แตกต่างหรือผิดเพี้ยน ไปจากสายอากาศแถวลำดับต้นแบบเดิมที่ไม่ได้บรรจุในกล่องพลาสติกมากนัก และมีความสอดคล้อง กับผลที่ได้จากการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D แสดงดังรูปที่ 5.12



รูปที่ 5.10 วิธีการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน

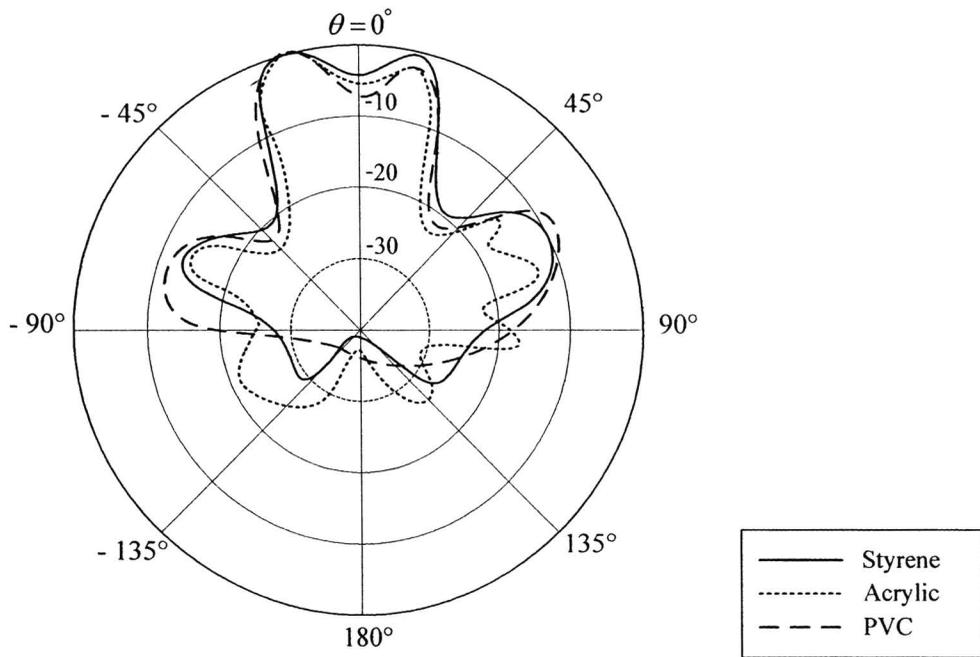


(ก) ระบายสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 2.45 GHz

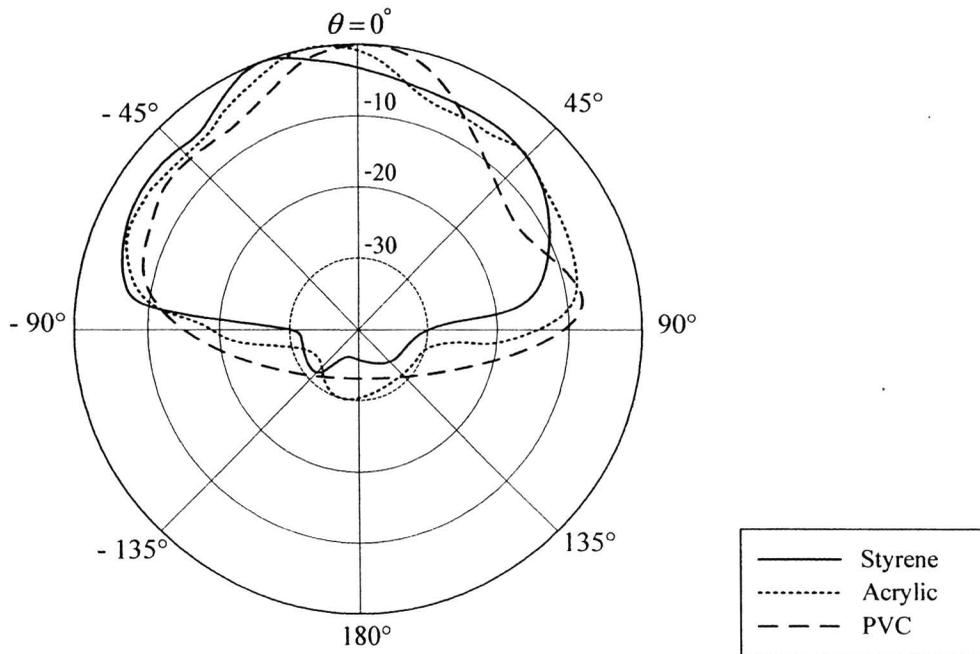


(ข) ระบายสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 2.45 GHz

รูปที่ 5.11 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแฉวลำดับชั้นแบบ
ที่บรรจุกล่องพลาสติกทั้ง 3 ชนิด

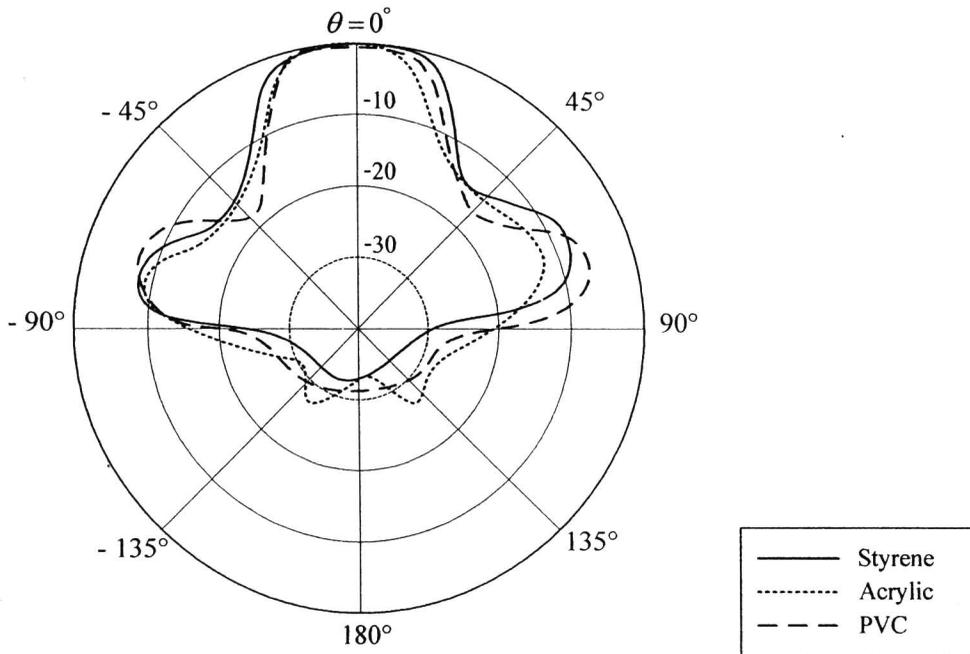


(ค) ระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 5.25 GHz

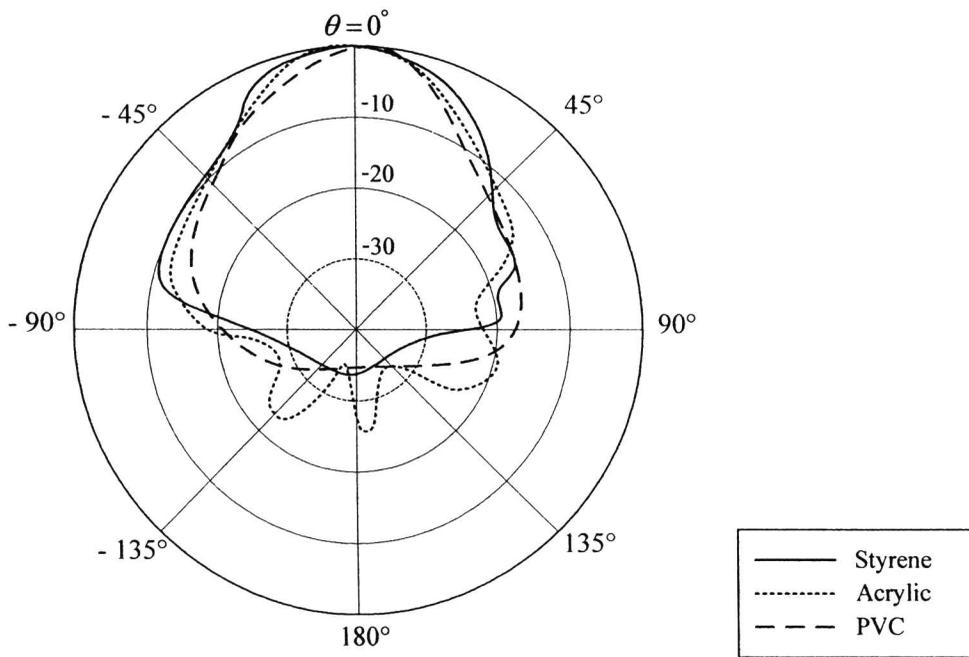


(ง) ระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 5.25 GHz

รูปที่ 5.11 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับชั้นแบบ
ที่บรรจุกล่องพลาสติกทั้ง 3 ชนิด (ต่อ)

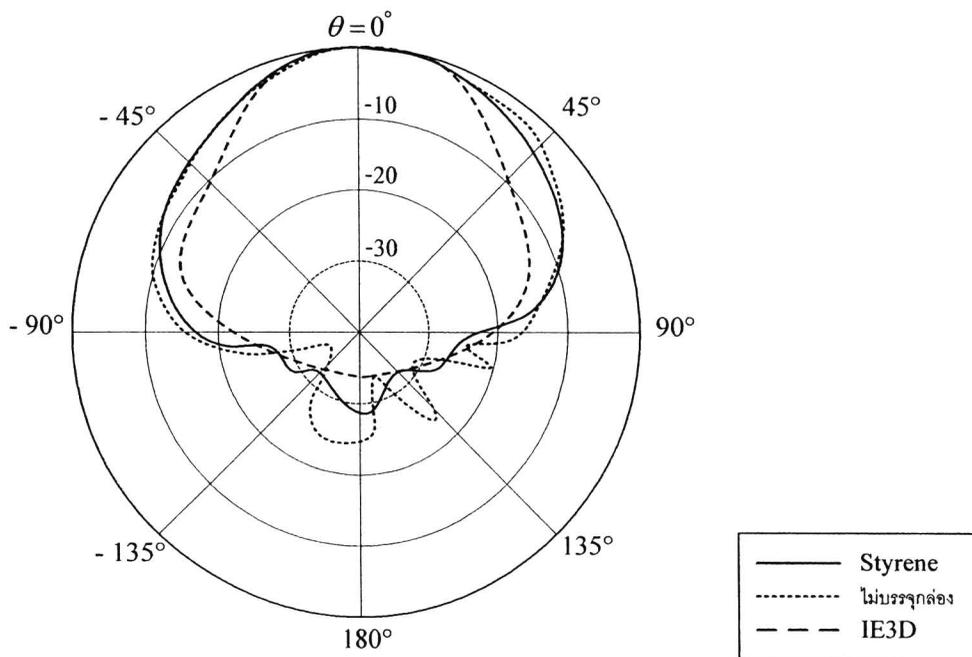


(จ) ระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 5.8 GHz

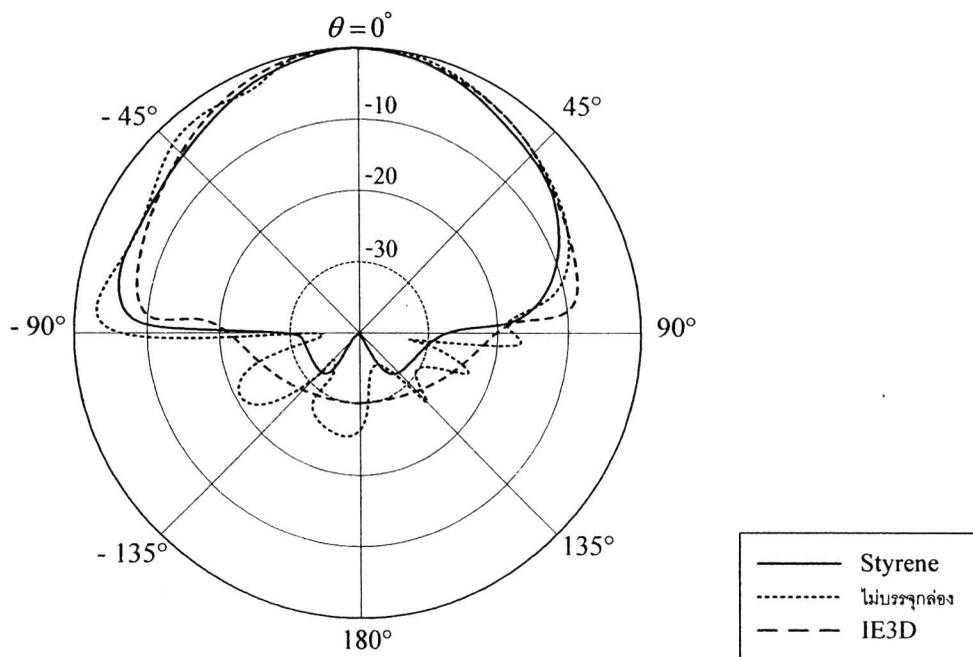


(ฉ) ระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 5.8 GHz

รูปที่ 5.11 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแฉวลำดับชั้นแบบ
ที่บรรจุกล่องพลาสติกทั้ง 3 ชนิด (ต่อ)

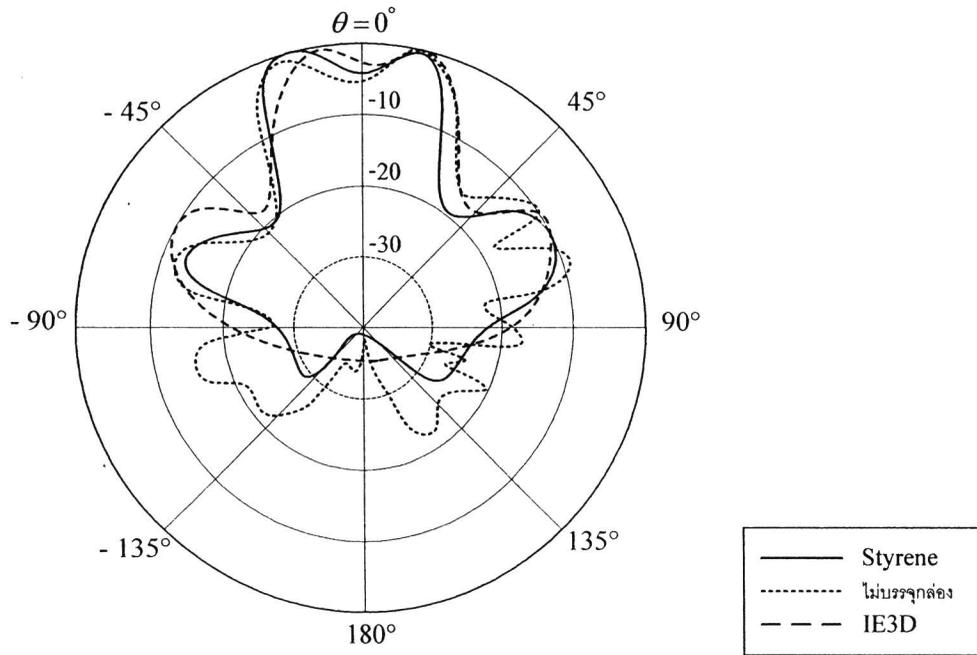


(ก) ระบายสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 2.45 GHz

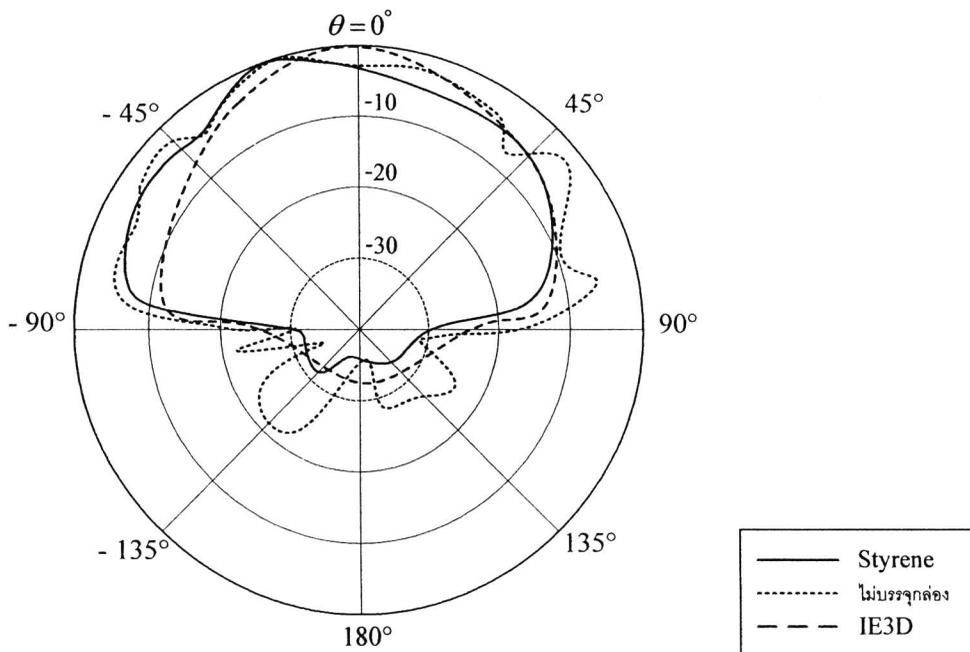


(ข) ระบายสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 2.45 GHz

รูปที่ 5.12 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับชั้นแบบที่ไม่ได้บรจุกดองพลาสติก และบรจุกในกล่องพลาสติกโพลีสไตรีนที่เป็นโคพอลิเมอร์เทียบกับผลจาก IE3D

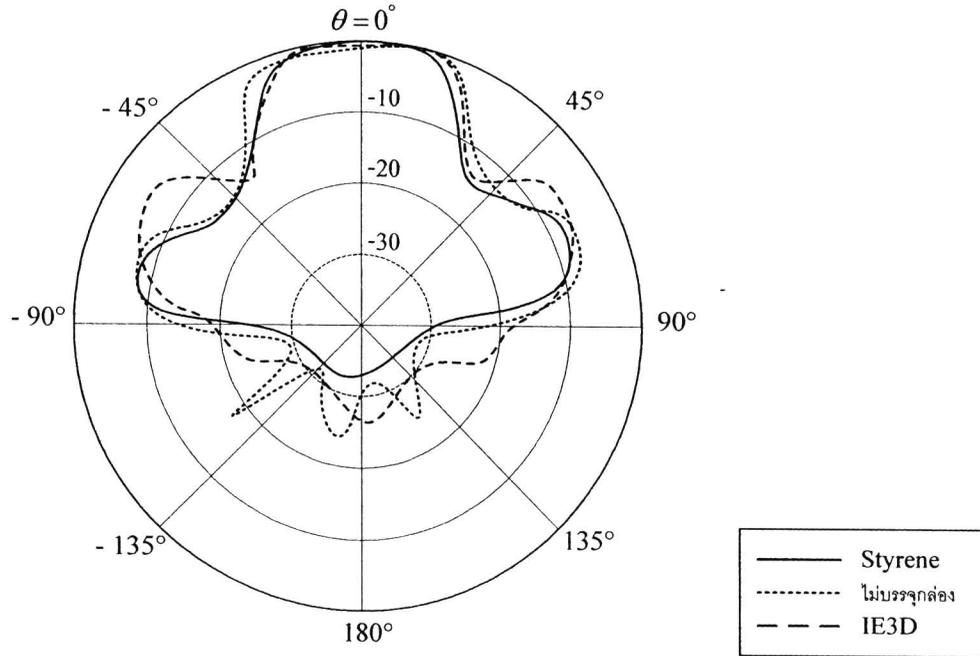


(ค) ระบายสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 5.25 GHz

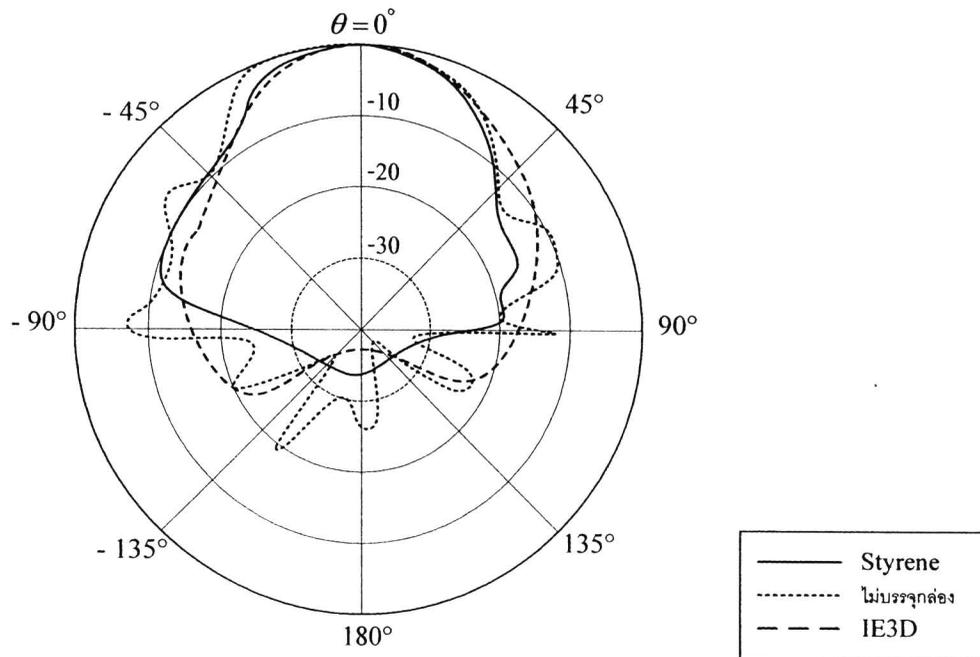


(ง) ระบายสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 5.25 GHz

รูปที่ 5.12 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบที่ไม่ได้บรรจุกล่องพลาสติก และบรรจุในกล่องพลาสติกโพลีสไตรีนที่เป็นโคพอลิเมอร์เทียบกับผลจาก IE3D (ต่อ)



(จ) ระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 5.8 GHz



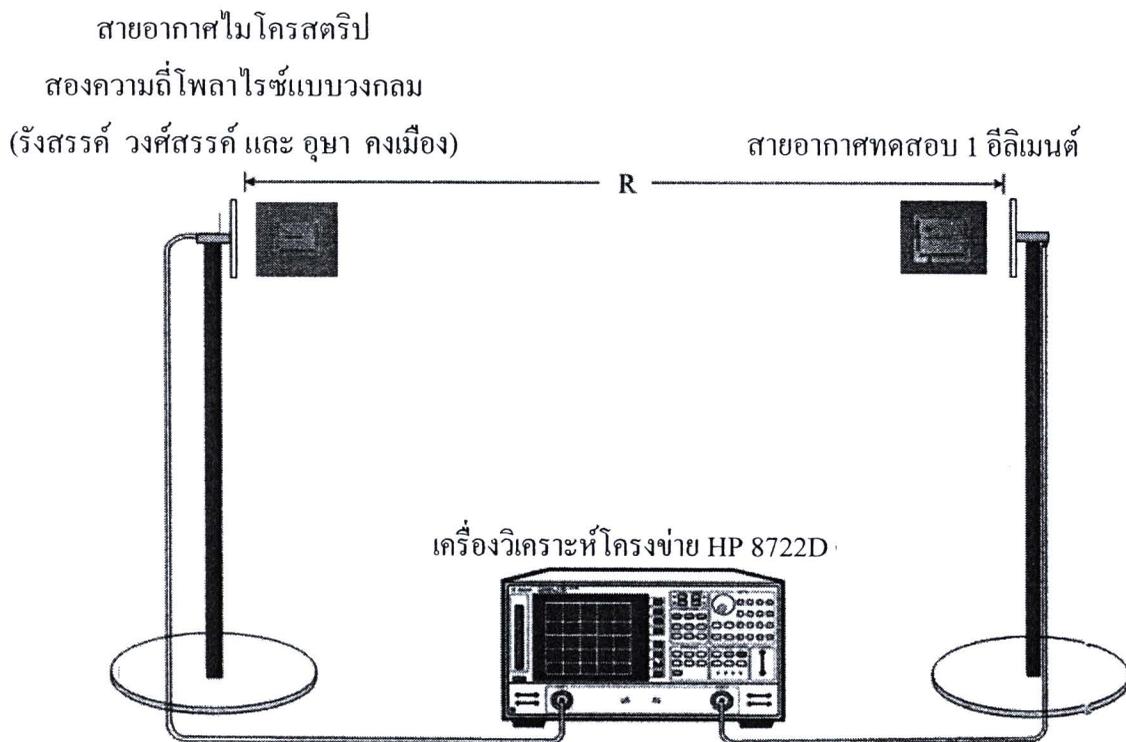
(ข) ระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 5.8 GHz

รูปที่ 5.12 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับชั้นแบบที่ไม่ได้บรรจุกล่องพลาสติก และบรรจุในกล่องพลาสติกโพลีไสตรินที่เป็นโคพอลิเมอร์เทียบกับผลจาก IE3D (ต่อ)

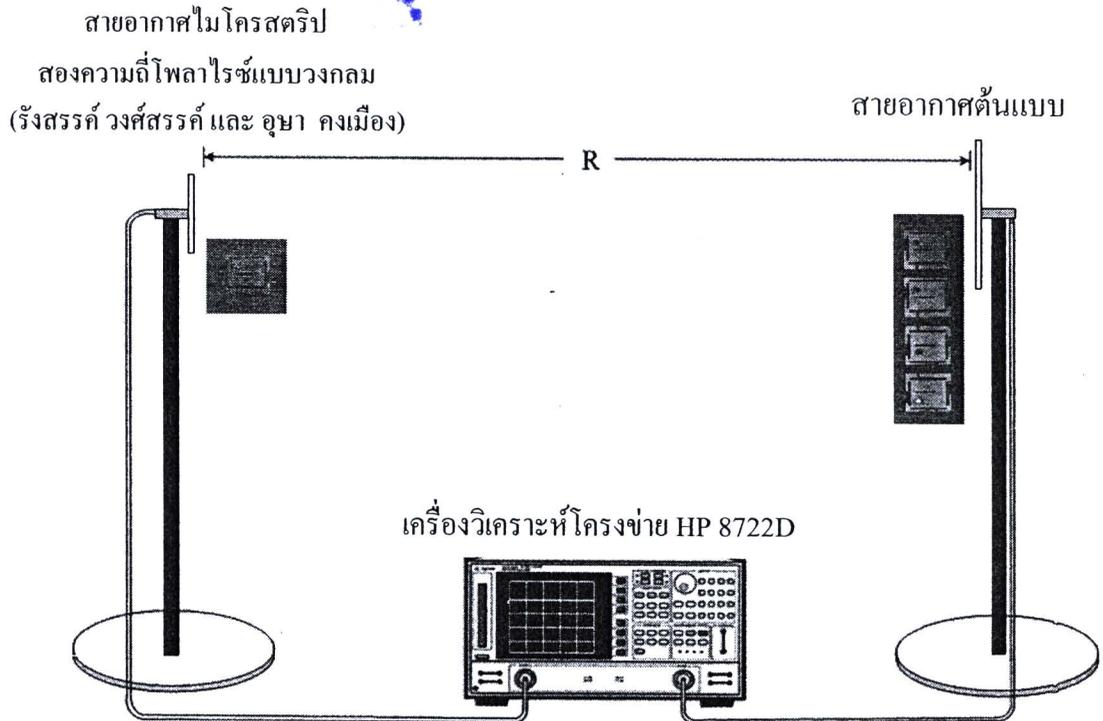


5.7 ผลการวัดทดสอบอัตรายาย

สำหรับการวัดอัตรายายของสายอากาศแกลวลำดับต้นแบบนั้นแบ่งออกเป็นสองขั้นตอน ได้แก่ (1) การวัดอัตรายายของสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิคโหลดแบบไม่สมดุลหนึ่งอิลิเมนต์ เพื่อหาอัตรายายของสายอากาศเพียงอิลิเมนต์เดียวแสดงดังรูปที่ 5.13 ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้สายอากาศสองตัว (two-antenna method) ที่มีลักษณะเหมือนกันสำหรับการวัดทดสอบ โดยตัวที่หนึ่งใช้ทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาคส่งและอีกตัวหนึ่งที่เหลือจะเป็นสายอากาศภาครับ และ (2) การวัดอัตรายายของสายอากาศแกลวลำดับต้นแบบ โดยกำหนดให้สายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิคโหลดแบบไม่สมดุลหนึ่งอิลิเมนต์เป็นสายอากาศภาคส่ง และสายอากาศแกลวลำดับต้นแบบเป็นสายอากาศภาครับแสดงดังรูปที่ 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 ผลการวัดทดสอบอัตราขยายของของสายอากาศไมโครสตริปด้วยที่-สลิต โหลดแบบไม่สมดุลหนึ่งอิลิเมนต์

การวัดอัตราขยายของสายอากาศไมโครสตริปด้วยที่-สลิต โหลดแบบไม่สมดุลหนึ่งอิลิเมนต์ จะใช้สายอากาศสองตัวที่มีลักษณะเหมือนกันสำหรับการวัดทดสอบ โดยตัวที่หนึ่งใช้ทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาคส่งและอีกตัวหนึ่งที่เหลือจะเป็นสายอากาศภาครับจากสมการ (5.6) สามารถคำนวณหาอัตราขยายของสายอากาศไมโครสตริปด้วยที่-สลิต 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

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

ตารางที่ 5.2 ค่าอัตราขยายของสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิคโพลดแบบไม่สมมูล
หนึ่งอิลิเมนต์

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

5.7.2 ผลการวัดทดสอบอัตราขยายของของสายอากาศแกลวลำดับต้นแบบ

การวัดอัตราขยายของสายอากาศแกลวลำดับต้นแบบ จะกำหนดให้สายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิคโพลดแบบไม่สมมูลหนึ่งอิลิเมนต์เป็นสายอากาศภาคส่ง และสายอากาศแกลวลำดับต้นแบบเป็นสายอากาศภาครับ ซึ่งได้ใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายวัดกำลังไฟฟ้าที่รับได้โดยกำหนดระยะทางระหว่างสายอากาศภาคส่งและสายอากาศภาครับที่ใช้ในการวัดทดสอบเท่ากับ 164 เซนติเมตร ทั้งที่ความถี่ 2.45 GHz 5.25 GHz และ 5.8 GHz มีกำลังด้านเข้าที่ป้อนให้กับสายอากาศภาคส่งเท่ากับ -10 dB และเมื่อนำค่าที่วัดได้ P_r แทนค่าลงในสมการ (5.7) จะได้ค่าอัตราขยายของสายอากาศแกลวลำดับต้นแบบจากการวัดทดสอบที่บรรจุในกล่องพลาสติกทั้ง 3 ชนิด และไม่ได้บรรจุในกล่องพลาสติกเทียบกับค่าที่ได้จากการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D ซึ่งแสดงดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ค่าอัตราขยายจากการวัดทดสอบสายอากาศแกลวลำดับต้นแบบ

ความถี่ (GHz)	อัตราขยายสายอากาศแกลวลำดับต้นแบบ (dB)				
	IE3D	ไม่ได้บรรจุ กล่องพลาสติก	บรรจุในกล่อง พลาสติกอะคริลิก	บรรจุในกล่อง พลาสติกพีวีซี	บรรจุในกล่อง พลาสติกโพลีสไตรีน ที่เป็นโคพอลิเมอร์
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 จากการวัดทดสอบพบว่าสายอากาศแกลวลำดับต้นแบบที่บรรจุในกล่องพลาสติกโพลีสไตรีนที่เป็นโคพอลิเมอร์จะมีค่าอัตราขยายสูงที่สุดในทุกช่วงแถบความถี่ซึ่งสอดคล้องกับผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ คือ สายอากาศแกลวลำดับต้นแบบที่บรรจุในกล่องพลาสติกโพลีสไตรีนที่เป็นโคพอลิเมอร์มีแบบรูปการแผ่พลังงานที่มีระดับกำลังงานโดยเฉลี่ยในทุกช่วงแถบความถี่ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กสูงที่สุด และจากการศึกษาคุณสมบัติของกล่องพลาสติกทั้ง 3 ชนิดพบว่าพลาสติกโพลีสไตรีนที่เป็นโคพอลิเมอร์นั้น ได้มีการปรับปรุงคุณภาพและสมบัติของพลาสติกโพลีสไตรีนให้ดีขึ้น ทำให้มีคุณสมบัติเปลี่ยนไป ซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานภายนอกอาคารได้ ดังนั้นจากการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานและอัตราขยายของสายอากาศแกลวลำดับต้นแบบและจากคุณสมบัติของพลาสติกโพลีสไตรีนที่เป็นโคพอลิเมอร์ดังกล่าวข้างต้นงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้พลาสติกโพลีสไตรีนที่เป็นโคพอลิเมอร์เป็นวัสดุในการบรรจุสายอากาศแกลวลำดับต้นแบบสำหรับการใช้งานภายนอกอาคาร ตารางที่ 5.4 แสดงค่าเปรียบเทียบอัตราขยายจากผลการวัดทดสอบของสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิค โหลดแบบไม่สมดุลหนึ่งอิมพีแดนซ์ และสายอากาศแกลวลำดับต้นแบบที่บรรจุในกล่องพลาสติกโพลีสไตรีนที่เป็นโคพอลิเมอร์ จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการนำสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิค โหลดแบบไม่สมดุลมาทำการจัดแกลวลำดับปรับระยะห่างระหว่างสายอากาศของสายอากาศแกลวลำดับที่เหมาะสม ปรับเปลี่ยนตำแหน่งของสลิค โหลดในแต่ละด้านของสายอากาศ ทำให้ได้สายอากาศแกลวลำดับที่มีอัตราขยายด้านหน้าสูง มีแบบรูปการแผ่พลังงานที่สมมาตร และบรรจุในกล่องพลาสติกโพลีสไตรีนที่เป็นโคพอลิเมอร์ซึ่งมี

ความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานภายนอกอาคาร ตรงตามวัตถุประสงค์ในการออกแบบ สำหรับประยุกต์ใช้งานกับเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 a/b/g

ตารางที่ 5.4 ค่าอัตราขยายจากผลการวัดทดสอบของสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิคโพลด แบบไม่สมดุลหนึ่งอิลิเมนต์และสายอากาศแฉวลำดับต้นแบบ

ความถี่ (GHz)	สายอากาศไมโครสตริป หนึ่งอิลิเมนต์	สายอากาศแฉวลำดับต้นแบบ ที่บรรจุในกล่องพลาสติกโพลีสไตรีน ที่เป็นโคพอลิเมอร์
	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 ซึ่งคุณลักษณะของสายอากาศที่ได้ทำการวัดทดสอบ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในสนามระยะไกล ค่าอิมพีแดนซ์ และอัตราขยาย พบว่าค่าที่ได้มีความคล้ายคลึงกัน และได้ทำการวิเคราะห์หาวัสดุที่เหมาะสมในการบรรจุสายอากาศแฉวลำดับต้นแบบสำหรับการใช้งานจริงภายนอกอาคาร โดยได้พิจารณาจากคุณสมบัติของวัสดุ ผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในสนามระยะไกล และอัตราขยายของสายอากาศแฉวลำดับต้นแบบ พบว่าวัสดุที่เป็นพลาสติกโพลีสไตรีนที่เป็นโคพอลิเมอร์มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสามารถทนทานต่อสภาพแวดล้อมภายนอกได้ ให้ผลของการวัดทดสอบที่ดี และมีราคาถูก