

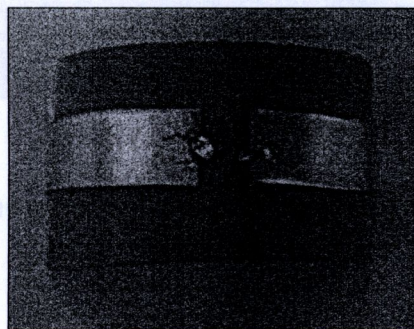
บทที่ 5

การทดสอบและวิเคราะห์ผล

จากทฤษฎีและหลักการทั้งหมด ตลอดจนการออกแบบและวิเคราะห์คุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำดังได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 และ 4 ดังนั้นในบทที่ 5 นี้จะกล่าวถึงการสร้างสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำต้นแบบขึ้น จากนั้นทำการวัดทดสอบคุณลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ แบบรูปการแผ่พลังงาน ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง และอัตราขยาย โดยในการวัดทดสอบคุณลักษณะข้างต้น จากเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (network analyzer) รุ่น HP8720C สุดท้ายได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลจากการวัดทดสอบและจำลองผลด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009

5.1 วิธีการสร้างสายอากาศสตริปไดโพลโค้งต้นแบบ

จากผลการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 ที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 4 จนได้ขนาดของสายอากาศตามที่ต้องการสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.1 แสดงรูปสายอากาศสตริปไดโพลโค้งต้นแบบ โดยสายอากาศสตริปไดโพลโค้งสร้างจากการนำแผ่นโลหะมาทำการตัดโค้ง จากนั้นวางบนท่อพีวีซีรูปทรงครึ่งวงกลม แล้วแบ่งครึ่งตรงกลางของแผ่นโลหะเพื่อทำการป้อนสัญญาณเข้าด้วยหัวต่อชนิด SMA 50 โอห์ม



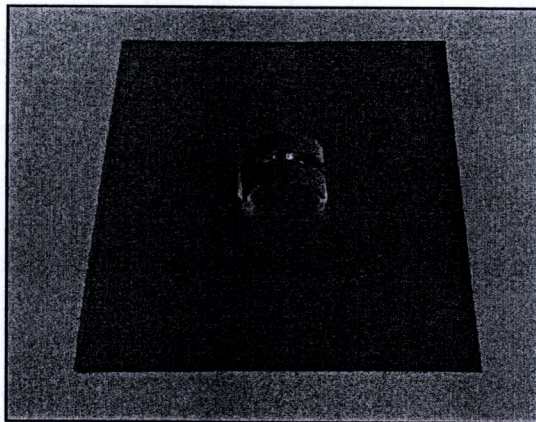
รูปที่ 5.1 สายอากาศสตริปไดโพลโค้งต้นแบบ

ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศสตริปไดโพลโค้งคันแบบ

พารามิเตอร์ของสายอากาศ	ขนาดทางไฟฟ้า (λ)	ขนาดทางกายภาพที่ความถี่ 2.45 GHz (mm)
L	0.4	48.98
a	0.137	16.8
w_1	0.08	10
w_2	0.24	30

5.2 วิธีการสร้างสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ

สายอากาศสายอากาศสตริปไดโพลโค้งจะถูกนำมาวางบนแผ่นตัวนำด้วยระยะห่างระหว่างจุดป้อนสัญญาณของสายอากาศและแผ่นช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า หรือ h เท่ากับ 0.25λ แสดงดังรูปที่ 5.2 เป็นสายอากาศที่ช่วยให้มีลำคลื่นกว้างสามารถครอบคลุมพื้นที่ให้บริการกว้างขึ้นและยังสามารถสะท้อนคลื่นให้ไปยังทิศทางที่ให้บริการซึ่งจะมีผลทำให้อัตราขยายเพิ่มขึ้น

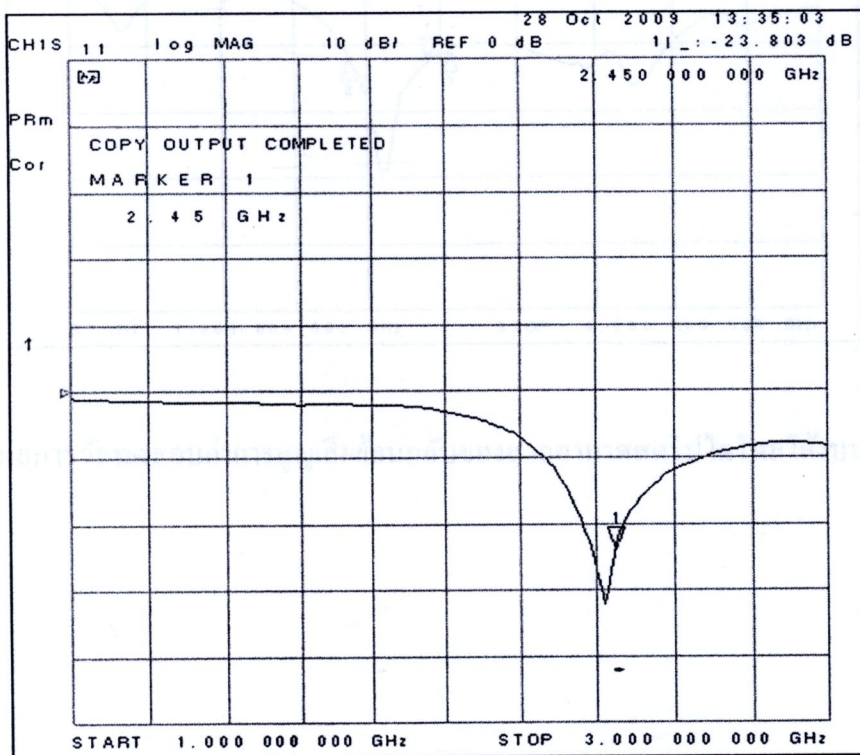


รูปที่ 5.2 สายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำคันแบบที่สร้างขึ้น -

5.3 ผลการวัดทดสอบการสูญเสียย้อนกลับและความกว้างแถบ

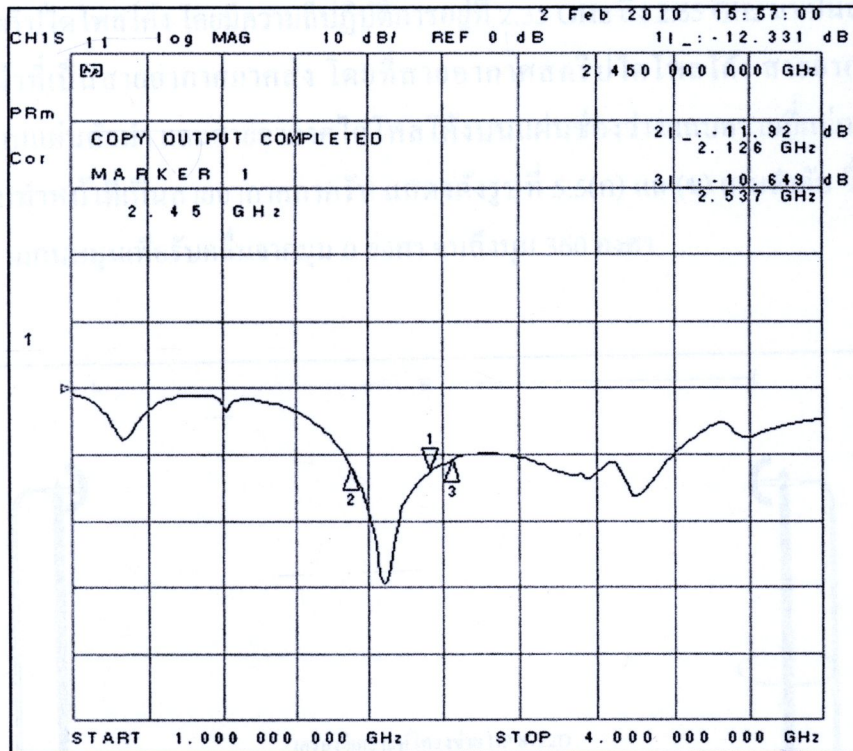
สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในการพิจารณาการแมตช์อิมพีแดนซ์ด้านเข้า คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (reflection coefficient) หรือในรูปพารามิเตอร์ S_{11} และอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing Wave Ratio: SWR) ในการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ S_{11} หมายถึงการสะท้อนกลับของกำลังไฟฟ้าด้านเข้า (port1) ของสายอากาศ ซึ่งขนาดของ S_{11} อาจจะมีค่าได้ตั้งแต่ 0 dB ถึง ลบอนันต์ (negative infinity dB) ถ้ามีค่าเท่ากับ 0 dB แสดงว่าไม่แมตช์อย่างสมบูรณ์ดีที่สุด (รังสรรค์ วงศ์สรรค์ และ ชูวงศ์พงศ์เจริญพาณิชย์, ม. ป. ป) ในงานประยุกต์ต่าง ๆ ค่าของ S_{11} จะยอมรับได้ถ้ามีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับ -10 dB แสดงว่ามีการแมตช์ที่ดี

จากรูปที่ 5.3 แสดงกราฟค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง คั่นแบบในรูปของพารามิเตอร์ S_{11} จากรูปสังเกตได้ว่าสายอากาศสตริปไดโพลโค้งคั่นแบบที่ได้ทำการสร้างขึ้นนั้นมีค่า S_{11} ต่ำกว่า -10 dB ที่ช่วงความถี่ตั้งแต่ 2.35 GHz ถึง 2.65 GHz



รูปที่ 5.3 ผลการวัดทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง

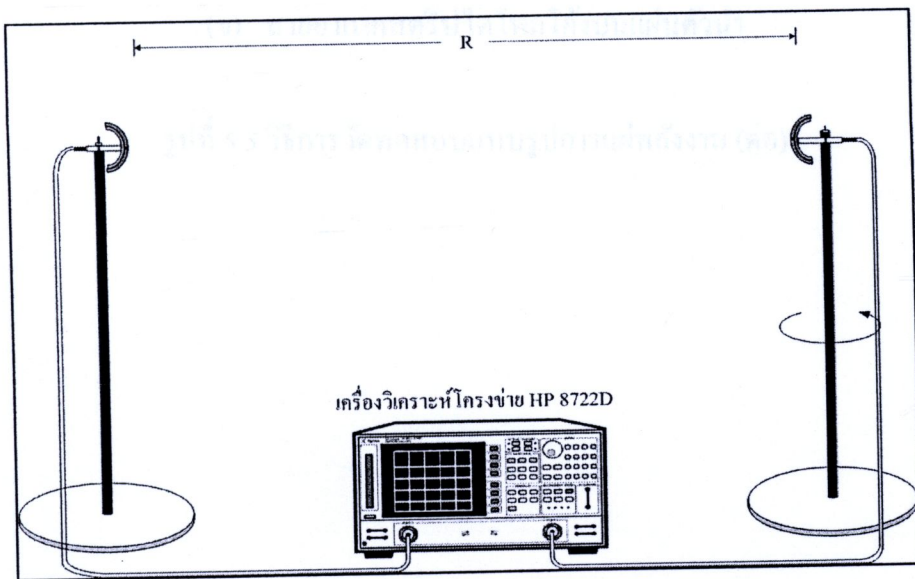
จากรูปที่ 5.4 แสดงกราฟค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำคลื่นแบบในรูปของพารามิเตอร์ S_{11} จากรูปสังเกตได้ว่าสายอากาศสตริปไดโพลโค้งต้นแบบที่ได้ทำการสร้างขึ้นนั้นมีค่า S_{11} ต่ำกว่า -10 dB ที่ช่วงความถี่ตั้งแต่ 2.12 GHz ถึง 2.53 GHz ซึ่งไม่สามารถครอบคลุมช่วงความถี่ปฏิบัติการได้



รูปที่ 5.4 ผลการวัดทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ

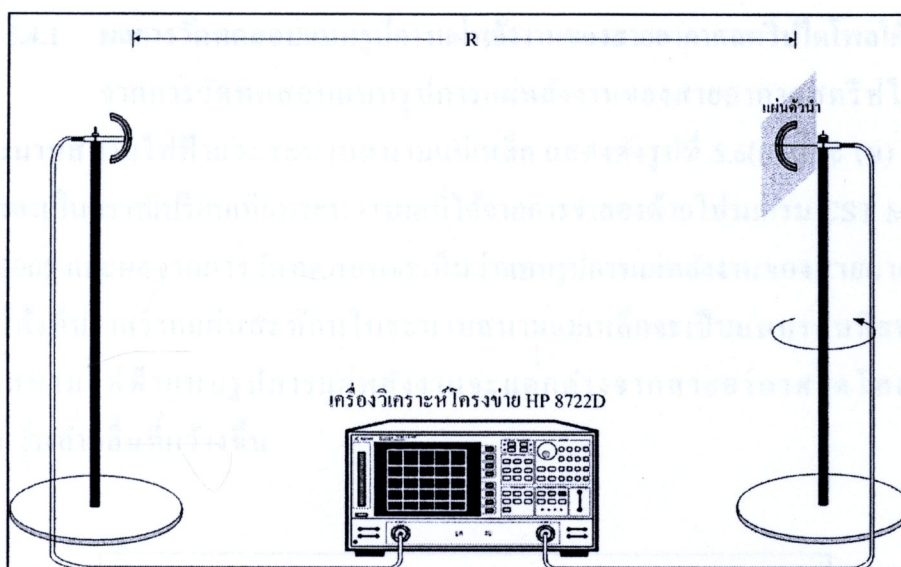
5.4 ผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน

การวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน โดยทำการทดสอบในระยะสนามระยะไกล คือ $R \geq 2D^2/\lambda$ ซึ่ง R คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศทดสอบและสายอากาศอ้างอิงโดยการทดสอบนี้กำหนดให้ระยะทางมีค่าคงที่ที่ความถี่ 2.45 GHz ในที่นี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1 เมตร และ D คือขนาดความยาวของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 เมตร ซึ่งในที่นี้ได้ใช้สายอากาศสตริปไดโพลโค้ง โดยมีความถี่ปฏิบัติการอยู่ที่ 2.35 GHz ถึง 2.65 GHz มาเป็นสายอากาศอ้างอิงทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาคส่ง โดยที่สายอากาศสตริปไดโพลโค้ง สายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ และสายอากาศไดโพลโค้งบนแผ่นช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้านำมาทดสอบทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาครับ แสดงดังรูปที่ 5.5(ก) แล (ข) ตามลำดับ ซึ่งจะมีการหมุนรอบแนวแกนหมุนเพื่อรับคลื่นจากมุม 0 องศา จนถึงมุม 360 องศา



(ก) สายอากาศสตริปไดโพลโค้ง

รูปที่ 5.5 วิธีการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน

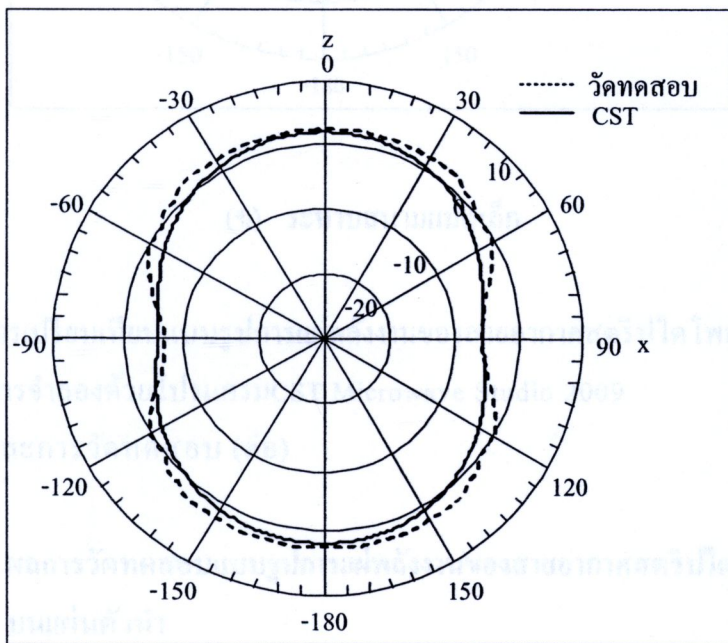


(๗) สายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ

รูปที่ 5.5 วิธีการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน (ต่อ)

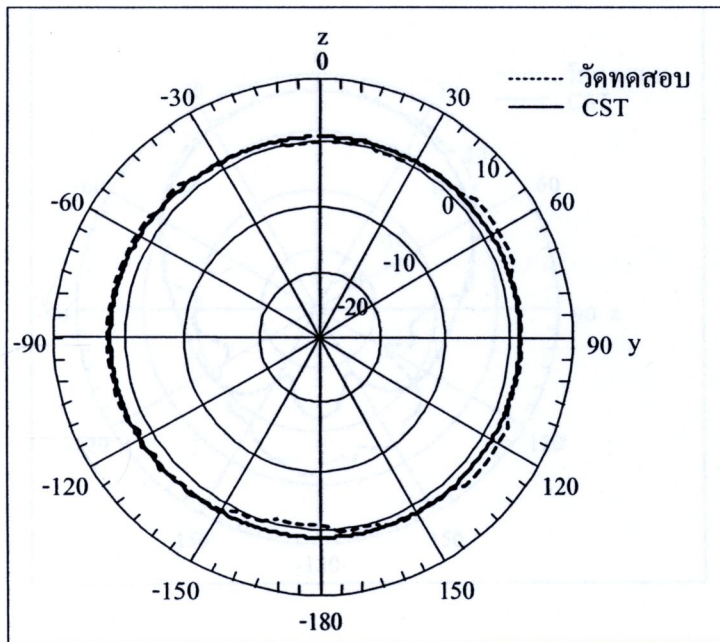
5.4.1 ผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง

จากการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก แสดงดังรูปที่ 5.6(ก) และ (ข) ตามลำดับ ซึ่งได้แสดงเป็นกราฟเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 และผลจากการวัดทดสอบจะเห็นว่าแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งที่ปราศจากแผ่นสะท้อนในระนาบสนามแม่เหล็กจะเป็นแบบรอบทิศทาง แต่ในระนาบสนามไฟฟ้าแบบรูปการแผ่พลังงานจะแตกต่างจากสายอากาศไดโพลเส้นตรงที่ความกว้างลำคลื่นที่กว้างขึ้น



(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า

รูปที่ 5.6 การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 และการวัดทดสอบ

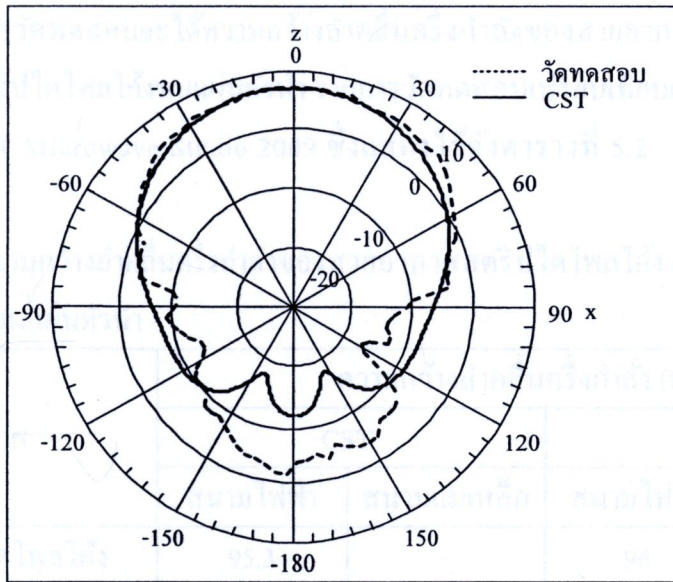


(ข) ระบายสนามแม่เหล็ก

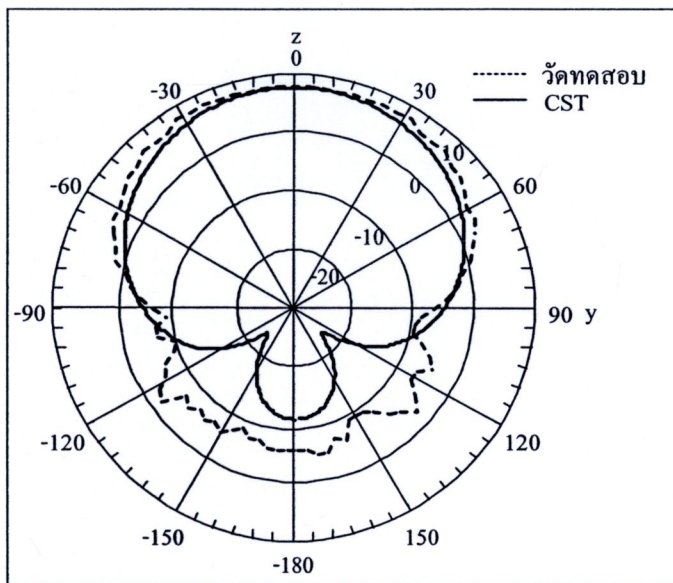
รูปที่ 5.6 การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 และการวัดทดสอบ (ต่อ)

5.4.2 ผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ

จากการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก แสดงดังรูปที่ 5.7 (ก) และ (ข) ตามลำดับ ซึ่งได้แสดงเป็นกราฟเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 และผลจากการวัดทดสอบซึ่งแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานได้ถูกเปลี่ยนไปเป็นแบบเจาะจงทิศทางในทั้งสองระนาบ



(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า



(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 5.7 การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง บนแผ่นตัวนำที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 และการวัดทดสอบ

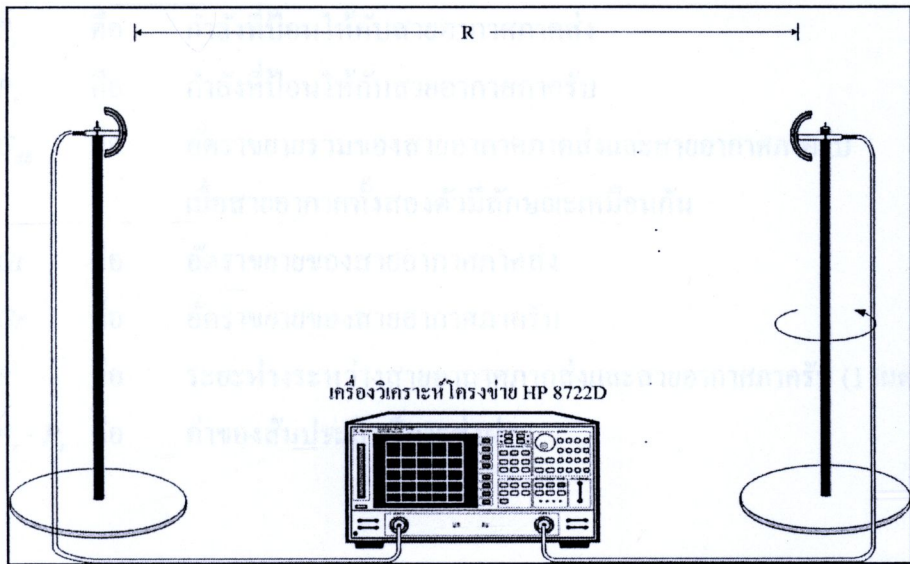
จากผลการวัดทดสอบจะได้ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง และสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ จากการวัดทดสอบเปรียบเทียบกับผลจากการจำลอง ด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 ซึ่งแสดงไว้ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง และสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ

สายอากาศ	ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (องศา)			
	CST		วัดทดสอบ	
	สนามไฟฟ้า	สนามแม่เหล็ก	สนามไฟฟ้า	สนามแม่เหล็ก
สายอากาศสตริปไดโพลโค้ง	95.3	-	96	-
สายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ	59.2	69.9	60	70

5.5 ผลการวัดทดสอบอัตรายาย

สำหรับการวัดอัตรายายของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าในขั้นตอนแรกได้ทำการวัดอัตรายายของสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง เพื่อหาอัตรายายของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งที่ปราศจากแผ่นสะท้อน แสดงดังรูปที่ 5.8 ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้สายอากาศสองตัว (two-antenna method) ที่มีลักษณะเหมือนกันสำหรับการวัดทดสอบ โดยตัวหนึ่งที่ใช้ทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาคส่งและอีกตัวหนึ่งที่เหลือจะเป็นสายอากาศภาครับ



รูปที่ 5.8 วิธีการวัดทดสอบอัตรายายของสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง

จากนั้นใช้สมการการส่งผ่านของฟรีส (Friis transmission equation) เป็นพื้นฐานในการคำนวณหาค่าอัตรายายของสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง โดยสมการการส่งผ่านของฟรีสที่นำมาใช้เท่ากับ

$$\frac{P_r}{P_t} = \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 G_t G_r \quad (5.1)$$

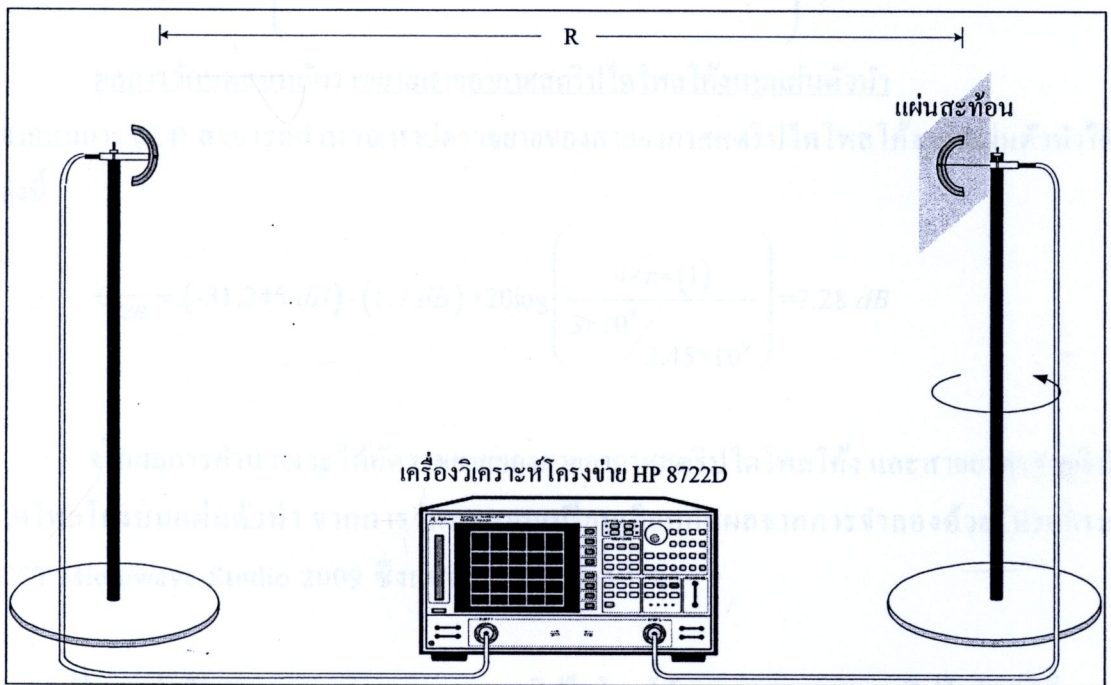
$$G_{dB} = \left(\frac{P_{r_{dB}} - P_{t_{dB}} + Loss}{2} \right) \quad (5.2)$$

$$G_{dB} = \left(\frac{P_{r_{dB}} - P_{t_{dB}} + 20 \log \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right)}{2} \right) \quad (5.3)$$

$$G_{r_{dB}} = P_{r_{dB}} - P_{t_{dB}} - G_{t_{dB}} + 20 \log \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) \quad (5.4)$$

โดยที่	P_t	คือ	กำลังที่ป้อนให้กับสายอากาศส่ง
	P_r	คือ	กำลังที่ป้อนให้กับสายอากาศรับ
	G_{dB}	คือ	อัตราขยายรวมของสายอากาศส่งและสายอากาศรับ เมื่อสายอากาศทั้งสองตัวมีลักษณะเหมือนกัน
	G_t	คือ	อัตราขยายของสายอากาศส่ง
	G_r	คือ	อัตราขยายของสายอากาศรับ
	R	คือ	ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ (1 เมตร)
เมื่อ	$P_r - P_t$	คือ	ค่าของสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน

ในขั้นตอนต่อมาได้ทำการวัดอัตราขยายของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่น โดยกำหนดให้สายอากาศสตริปไดโพลโค้งเป็นสายอากาศภาคส่งและสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำป็นสายอากาศภาครับ ซึ่งได้ใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายวัดกำลังไฟฟ้าที่รับได้โดยกำหนดระยะห่างระหว่างสายอากาศภาคส่งและสายอากาศภาครับที่ใช้ในการทดสอบเท่ากับ 1 เมตร มีกำลังด้านเข้าที่ป้อนให้กับสายอากาศภาคส่งเท่ากับ -10 dB ดังรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 วิธีการวัดทดสอบอัตราขยายของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นสะท้อน

ผลการวัดทดสอบอัตราขยายสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง

จากสมการ (5.3) สามารถคำนวณหาอัตราขยายของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งได้ดังนี้

$$G_{r_{dB}} = G_{t_{dB}} = \left[\frac{(-36.825 \text{ dB}) + 20 \log \left(\frac{4 \times \pi \times (1)}{3 \times 10^8 / 2.45 \times 10^9} \right)}{2} \right] = 1.7 \text{ dB}$$

ผลการวัดทดสอบอัตราขยายสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ

จากสมการ (5.4) สามารถคำนวณหาอัตราขยายของสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำได้ดังนี้

$$G_{r_{dB}} = (-31.245 \text{ dB}) - (1.7 \text{ dB}) + 20 \log \left(\frac{4 \times \pi \times (1)}{3 \times 10^8 / 2.45 \times 10^9} \right) = 7.28 \text{ dB}$$

จากผลการคำนวณจะได้อัตราขยายของสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง และสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ จากการวัดทดสอบเปรียบเทียบกับผลจากการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 ซึ่งแสดงไว้ดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ค่าอัตราขยายของสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง และสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ

สายอากาศ	อัตราขยาย (dB)	
สายอากาศสตริปไดโพลโค้ง	1.5	1.7
สายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ	7.3	7.28

5.6 สรุป

ในบทนี้แสดงการสร้าง และการวัดทดสอบคุณลักษณะคุณสมบัติของสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง และสายอากาศสตริปไดโพลโค้งบนแผ่นตัวนำ ทั้งนี้เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดทดสอบ และการจำลองผลด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 ว่ามีความสอดคล้องกันมากน้อยเพียงใด ซึ่งคุณลักษณะของสายอากาศที่ได้ทำการวัดทดสอบได้แก่ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในสนามระยะไกลทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก และอัตราขยาย พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสตริปไดโพลโค้ง และสายอากาศสตริปไดโพลบนแผ่นตัวนำต้นแบบในสนามระยะไกล รวมถึงอัตราขยายมีผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 และจากการนำไปวัดทดสอบคล้ายคลึงกัน สำหรับผลบางส่วนที่แตกต่างกันซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจากข้อจำกัดของคอมพิวเตอร์ที่ใช้จำลองผล ตลอดจนผลที่เกิดจากการวัดทดสอบในสภาพจริง