บทที่ 5
ผลการวัดทดลอง

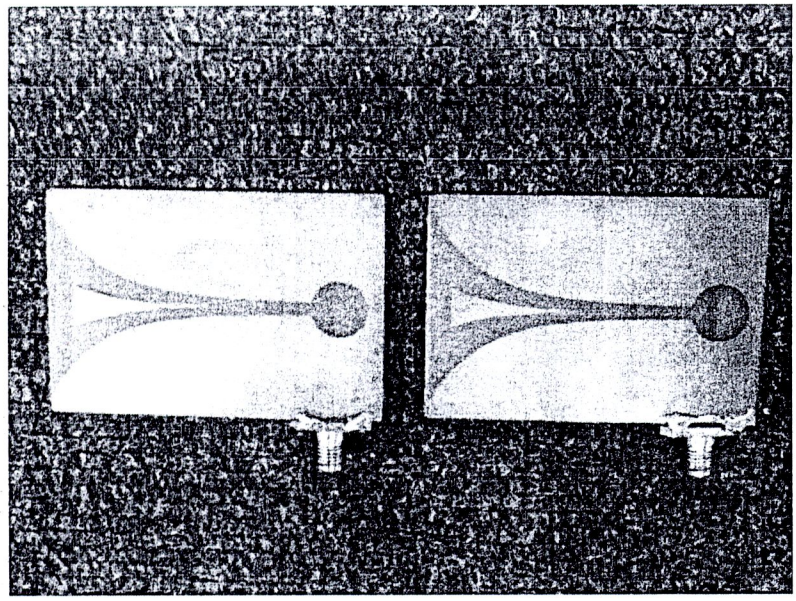
5.1 บทนำ

ในบทนี้จะเป็นการนำทฤษฎีและหลักการทั้งหมดที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ผ่านมาช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์คุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศ ในโครงสร้างสายอากาศที่นำเสนอนี้เป็นตัวป้อนของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริปที่มีลำคลื่นกว้าง โดยจะอธิบายถึงวิธีการสร้างสายอากาศต้นแบบ จากนั้นนำสายอากาศต้นแบบมาวัดทดสอบคุณลักษณะ ได้แก่ แบบรูปการแผ่พลังงานทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก อัตราขยายของสายอากาศ ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง เป็นต้น

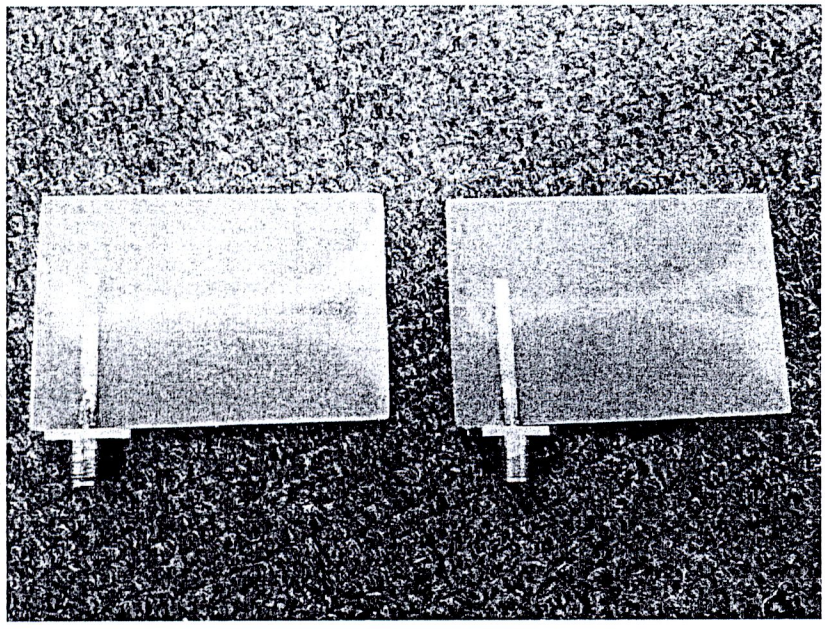
5.2 วิธีการสร้างสายอากาศต้นแบบ

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้เลือกใช้สายอากาศร่องแบบเรียวในการนำมาสร้างตัวป้อนของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนต้นแบบ โดยใช้แผ่นไมโครสตริปชนิด FR4 ซึ่งมีความหนา 1.6 มิลลิเมตร และมีค่าสภาพยอม $\varepsilon_r = 4.5$ ที่ความถี่ปฏิบัติการ 5.2 GHz

จากผลการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST ที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 4 จนได้ขนาดและรูปแบบของตัวป้อนของสายอากาศตามที่ต้องการ โดยผลจากการจำลองจะมีนามสกุลแฟ้มข้อมูลคือ CST ซึ่งจะต้องนำไฟล์ออก (export file) จากโปรแกรมสำเร็จรูป CST และบันทึกข้อมูลนามสกุลแฟ้มข้อมูลที่ได้ คือ ชื่อแฟ้มข้อมูลนามสกุล DXF เมื่อได้แฟ้มข้อมูลแล้ว ได้นำไปจัดแต่งรูปร่างของสายอากาศด้วยโปรแกรม Auto CAD 2008 ก่อนนำไปตัดสติ๊กเกอร์โดยใช้โปรแกรม CorelDRAW 9 เพื่อนำไปใช้ในการสร้างสายอากาศต้นแบบ แสดงดังรูปที่ 5.1 ซึ่งได้ใช้แผ่นไมโครสตริปชนิด FR4 จากนั้นนำสายอากาศป้อนต้นแบบต่อเข้ากับขั้วต่อชนิด SMA 50 โอห์ม



(ก)ด้านหน้า



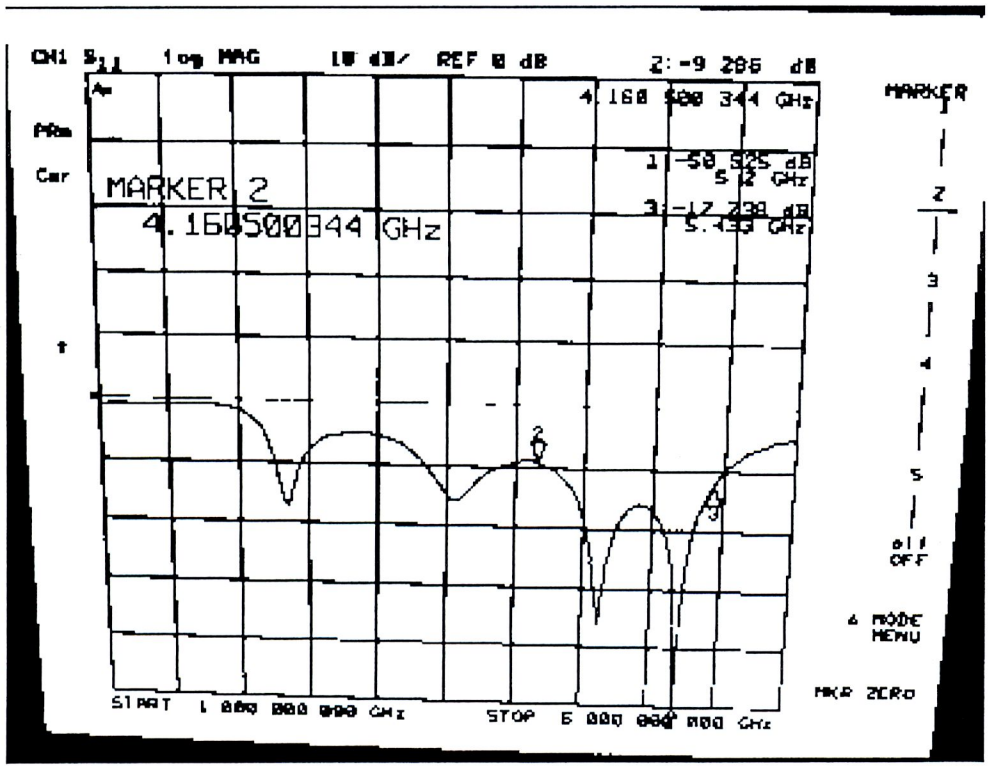
(ข) ด้านหลัง

รูปที่ 5.1 สายอากาศป้อนต้นแบบ

5.3 ผลการวัดทดสอบการสูญเสียย้อนกลับ

สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในการพิจารณาการแมตช์อิมพีแดนซ์ด้านเข้า คือ ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return loss) หรือในรูปของพารามิเตอร์ S_{11} ในการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ S_{11} หมายถึงการสะท้อนกลับของกำลังไฟฟ้าด้านเข้า (port 1) ของสายอากาศ ซึ่งขนาดของ S_{11} อาจจะมีค่าได้ตั้งแต่ 0 dB ถึง ลบอนันต์ (negative infinity dB) ถ้ามีค่าเท่ากับ 0 dB แสดงว่าไม่แมตช์อย่างสมบูรณ์ และ

ถ้ามีค่าเป็นลบอนันต์ แสดงว่ามีการแมตช์ที่สมบูรณ์ดีที่สุด ในงานประยุกต์ต่าง ๆ ค่าของ S_{11} จะยอมรับได้ถ้ามีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับ -10 dB ซึ่งจะสอดคล้องกับค่า SWR เท่ากับ 2 หรือต่ำกว่า แสดงว่ามีการแมตช์ที่ดี จากรูปที่ 5.2(ก) แสดงกราฟค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศต้นแบบในรูปของพารามิเตอร์ S_{11} จากรูปจะสังเกตได้ว่าสายอากาศต้นแบบที่ได้ทำการสร้างขึ้นนั้นมีค่า S_{11} ต่ำกว่า -10 dB ที่ช่วงความถี่ตั้งแต่ 4.6 GHz ถึง 5.5 GHz

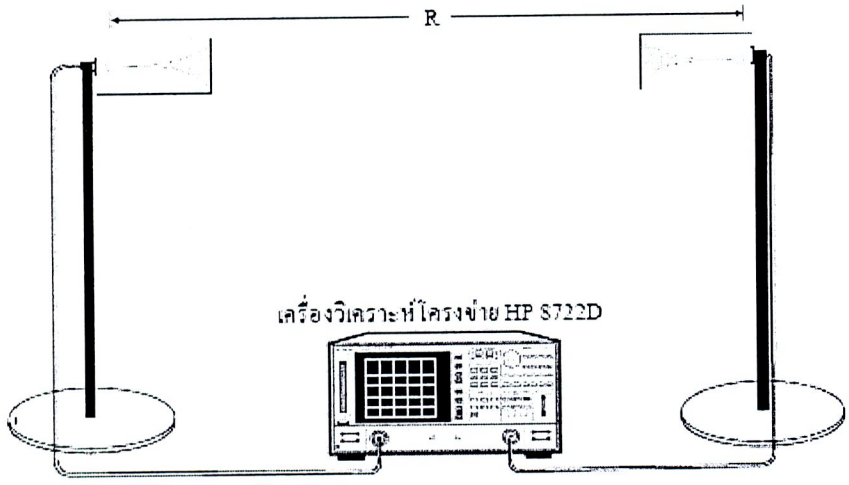


รูปที่ 5.2 ผลการวัดค่า S11

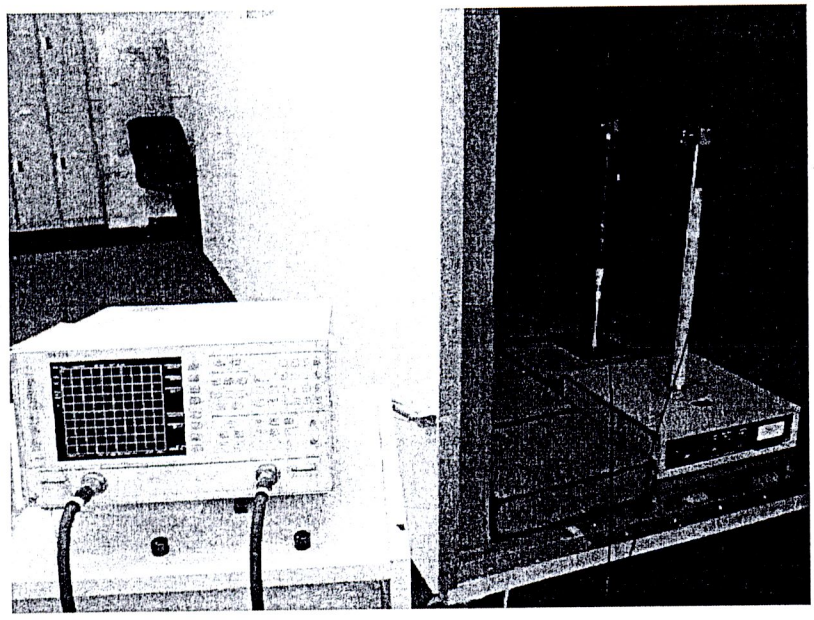
5.4 ผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน

จากรูปที่ 5.3 แสดงวิธีการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน โดยทำการทดสอบในระยะสนามระยะไกล คือ $R \geq 2D^2/\lambda$ ซึ่ง R คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศทดสอบและสายอากาศอ้างอิงโดยการทดสอบนี้ได้กำหนดให้ระยะทางมีค่าคงที่ที่ความถี่สูงสุดมีค่าเท่ากับ 18.5 เซนติเมตร และ D คือขนาดความกว้างของร่องเรียวของสายอากาศซึ่งมีค่าเท่ากับ 42.82 เซนติเมตร ซึ่งในที่นี้ได้ใช้สายอากาศร่องแบบเรียว โดยมีความถี่ปฏิบัติการอยู่ที่ 4.16 GHz ถึง 5.5 GHz หนึ่งอิลิเมนต์มาเป็นสายอากาศอ้างอิงทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาคส่ง และสายอากาศต้นแบบที่นำมาทดสอบทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาครับ ซึ่งจะมีการหมุนรอบแนวแกนหมุนเพื่อรับคลื่นจากมุม 0 องศาจนถึงมุม 360 องศา จะทำให้สายอากาศมี

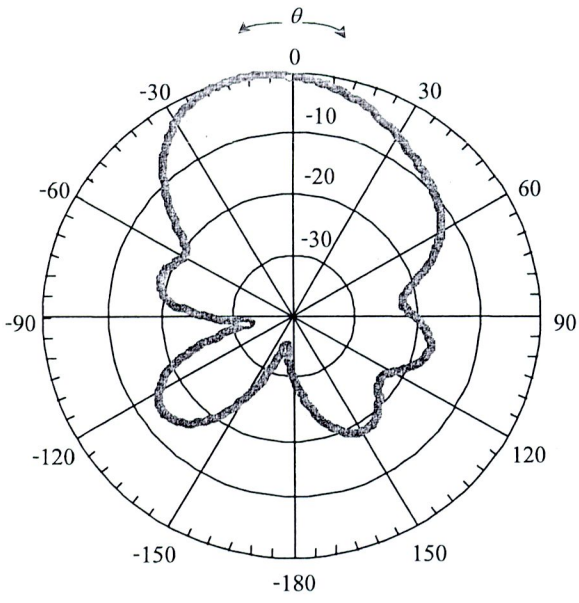
แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กที่กว้าง ซึ่งตรงตามวัตถุประสงค์ของการออกแบบ รูปที่ 5.5 แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศต้นแบบ ซึ่งผลจากการวัดทดสอบมีความสอดคล้องกันกับผลจากการจำลองแบบทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก



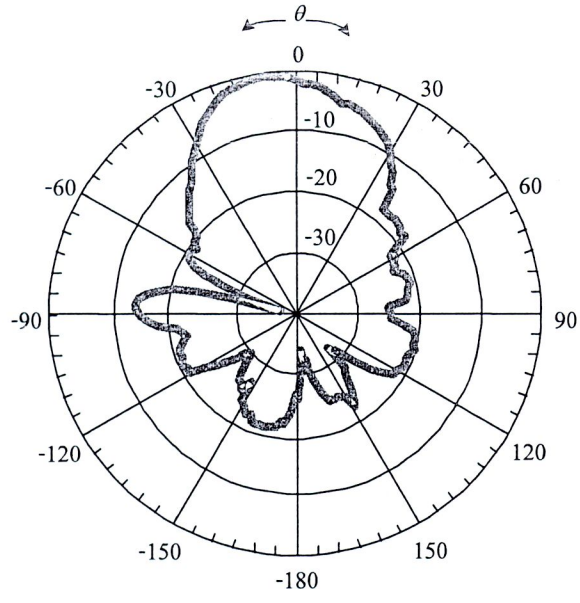
รูปที่ 5.3 วิธีการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน



รูป 5.4 การทดสอบสายอากาศในห้อง Chamber ร่วมกับเครื่อง Network Analysis

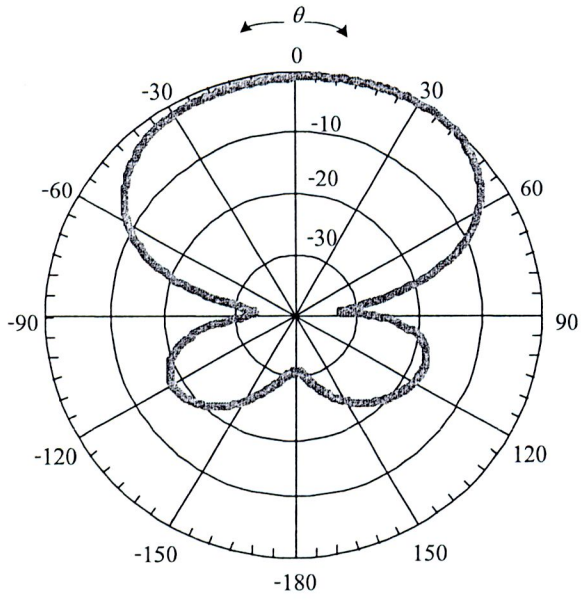


ผลการจำลองแบบ

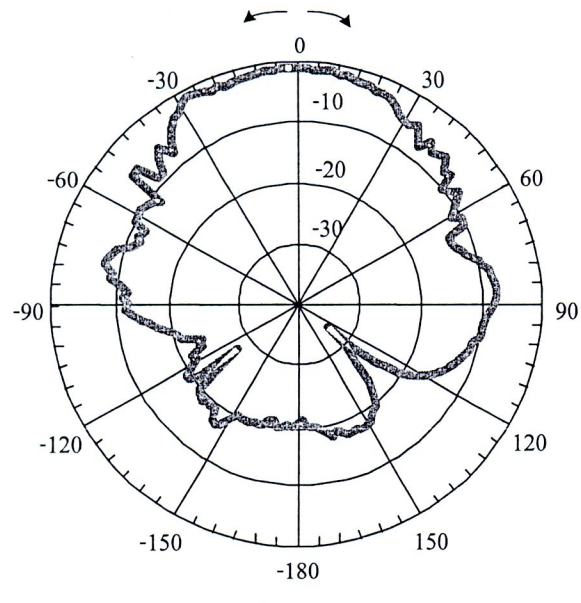


ผลวัดทดสอบ

(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า



ผลการจำลองแบบ



ผลวัดทดสอบ

(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูป 5.5 ผลวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน

5.5 ผลการวัดทดสอบอัตราขยาย (Gain) และความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (HPBW)

สำหรับการวัดอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบ ในขั้นตอนแรกได้ทำการวัดอัตราขยายของสายอากาศร่องแบบเรียว เพื่อหาอัตราขยายของสายอากาศเพียงอิลิเมนต์เดียว แสดงดังรูปที่ 5.4 ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้สายอากาศสองตัว (two-antenna method) ที่มีลักษณะเหมือนกันสำหรับการวัดทดสอบ โดยตัวหนึ่งใช้ทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาคส่งและอีกตัวหนึ่งที่เหลือจะเป็นสายอากาศภาครับ จากนั้นใช้สมการการส่งผ่านของฟริส (Friis transmission equation) เป็นพื้นฐานในการคำนวณหาค่าอัตราขยายของสายอากาศหนึ่งอีลิเมนต์ โดยสมการการส่งผ่านของฟริสที่นำมาใช้ คือ

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

เมื่อ P_t คือ กำลังงานอินพุตที่ป้อนให้สายอากาศส่ง G_t คือ อัตราขยายของสายอากาศส่ง P_r คือ กำลังงานเอาต์พุตของสายอากาศรับ G_r คือ อัตราขยายของสายอากาศรับ เมื่อนำไปหาอัตราขยายของสายอากาศรับในหน่วย dB ได้ดังนี้

$$G_{r,dB} = 20\log_{10}\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right) + 10\log_{10}\left(\frac{P_r}{P_t}\right) - G_{t,dB} \tag{5.2}$$

ตารางที่ 5.1 คุณลักษณะของสายอากาศป้อน

คุณลักษณะของสายอากาศ	อัตราขยายสูงสุด (dBi)	HPBW	
		ระนาบสนามไฟฟ้า	ระนาบสนามแม่เหล็ก
ผลการจำลองแบบ	6.44	63.8	114.9
ผลการวัดทดสอบ	5.3	48	100

จากตารางที่ 5.1 เป็นผลวัดทดสอบค่าอัตราขยาย พบว่าอัตราขยายมีค่าต่ำกว่าผลการจำลองประมาณ 1 dB เนื่องจากค่าการสูญเสียในไดอิเล็กตริก

5.6 สรุป

ในบทนี้แสดงการออกแบบ การสร้าง และการวัดทดสอบสายอากาศ ทั้งนี้เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองแบบและการวัดทดสอบว่ามีความสอดคล้องกันมากน้อยเพียงใด ซึ่งคุณลักษณะของสายอากาศที่พิจารณา ได้แก่ แบบรูปการแผ่พลังงาน อัตราขยายสูงสุด และความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของสายอากาศป้อนของสายอากาศแถวลำดับสะท้อน พบว่าผลที่ได้จากการวัดทดสอบและการจำลองผลด้วยโปรแกรม CST มีความแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย ผลการวัดทดสอบอัตราขยายสูงสุด 5.3 dB ดังในตารางที่ 5.1 นั่นคืออัตราขยายสูงสุดจากการวัดมีค่าต่ำกว่าการจำลองผลประมาณ 1 dB สำหรับผลการวัดความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กมีค่าเท่ากับ 48°และ 100° ตามลำดับ ผลจากการจำลองผลด้วย CST มีค่าเท่ากับ 63.8° และ 114.9° ตามลำดับ โดยความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังที่ได้จากการวัดมีค่าน้อยกว่าการจำลองผลประมาณ 15.8° ในระนาบสนามไฟฟ้า และ 14.9° ในระนาบสนามแม่เหล็ก ซึ่งสาเหตุของการคลาดเคลื่อนระหว่างผลการวัดทดสอบและผลการจำลองผลคือ อาจเกิดจากความสูญเสียในระบบสายอากาศ เช่น ความสูญเสียในไดอิเล็กตริก ความผิดพลาดจากการจัดวางสายอากาศป้อนจะทำให้เกิดการเลื่อนเชิงตำแหน่งของแบบรูปการแผ่พลังงาน และผลกระทบจากสภาพแวดล้อมขณะวัดทดสอบสายอากาศ เป็นต้น