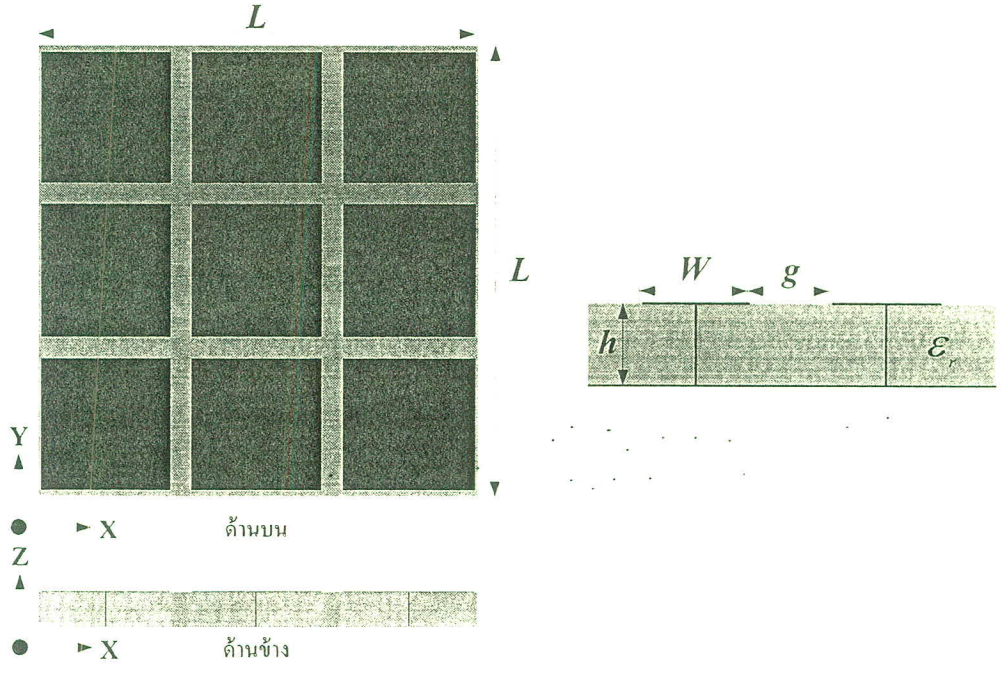
บทที่ 3
การออกแบบและการจำลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบแถวคูณหลักแบบพื้นฐาน และทำการจำลองในโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO® ทำการศึกษาถึงผลกระทบต่อค่าพารามิเตอร์ต่างๆของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า และทำการดัดแปลงแผ่นเซลล์รายคาบของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้ได้ค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน $|S_{21}|$ ที่ต่ำกว่า -10 dB สองย่านความถี่

1 พารามิเตอร์ของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบแถวคูณหลัก



(ก) (ข)

รูปที่ 25 ช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า (ก) โครงสร้าง (ข) พารามิเตอร์

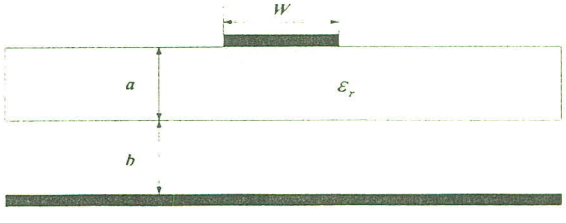
ค่าคุณลักษณะของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถหาได้จากขนาดทางกายภาพ สำหรับโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบแถวคูณหลักแสดงในรูปที่ 3.1 จะมีพารามิเตอร์หลักอยู่สี่ส่วนที่มีผลต่อค่าคุณลักษณะของโครงสร้าง คือ ความกว้างแผ่นเซลล์รายคาบ (W) ระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์ (g) ความหนาของวัสดุฐานรอง (h) และค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ (ε_r)

ในส่วนแรกจะทำการออกแบบโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบแถวคูณหลักแบบพื้นฐานที่มีค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ความถี่ 2.4 GHz โดยได้ทำการออกแบบบนวัสดุฐานรองชนิด FR-4 ที่มีค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์เท่ากับ 4.3 มีการกำหนดขนาดของระนาบกราวนด์ของโครงสร้างที่หนึ่งความยาวคลื่นของความถี่ 2.4 GHz คือ $L = \lambda_d =$ 60 มิลลิเมตร โดยค่าขนาดของพารามิเตอร์เบื้องต้นได้ระบุไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 6 ขนาดพารามิเตอร์เบื้องต้นที่ความถี่ 2.4 GHz

สัญลักษณ์	พารามิเตอร์	ขนาด
L	ขนาดของระนาบกราวนด์	60 (1 λ_d) มิลลิเมตร
W	ความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบ	15 (0.25 λ_d) มิลลิเมตร
g	ระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์	1.5 (0.025 λ_d) มิลลิเมตร
h	ความสูงของวัสดุฐานรอง	0.8 มิลลิเมตร
ε_r	ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์	4.3

การจำลองค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าจะใช้เทคนิคของสายนำสัญญาณไมโครสตริปขนาด 50 โอห์ม โดยสายนำสัญญาณจะถูกออกแบบบนวัสดุฐานรองชนิด FR-4 สูง 0.8 มิลลิเมตร



รูปที่ 26 พารามิเตอร์ของสายนำสัญญาณไมโครสตริป

ถ้าต้องการอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ Z = 50 โอห์ม เมื่อ a คือความสูงของแผ่นสายนำสัญญาณ b คือความสูงของแผ่นโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า จากนั้นทำการแทนค่าลงในสมการที่

(2.10) ถึง (2.16) แล้วทำการเปลี่ยนแปลงค่าความกว้างของสายนำสัญญาณไมโครสตริปให้ได้ค่าที่เหมาะสมซึ่งทำให้อิมพีแดนซ์คุณลักษณะ Z = 50 โอห์ม คือ 5.3 มิลลิเมตร ดังแสดงให้เห็นได้ดังนี้

$$Z = \frac{Z_0}{\sqrt{\varepsilon_{eff}}} \tag{3.1}$$

$$Z_0 = 60 \ln\left(\frac{f(u)}{u} + \sqrt{1 + \frac{4}{u^2}} \right) \tag{3.2}$$

คำนวณหา $f(u)$ และ u โดยการแทนค่า เมื่อ a = b = 0.8 มิลลิเมตร W = 5.3 มิลลิเมตร ลงในสมการที่ (2.11) และ (2.12)

$$u = \frac{5.3}{1.6} = 3.3125$$

$$f(u) = 6 + (2\pi - 6) e^{-\left(\frac{30.666}{3.3125}\right)^{0.7528}} = 6$$

นำสมการที่ (2.11) และ (2.12) แทนลงในสมการ (3.2)

$$Z_0 = 60 \ln\left(\frac{6}{3.3125} + \sqrt{1 + \frac{4}{3.3125^2}} \right) = 65.5$$

$$\varepsilon_{eff} = \frac{1}{\left(1 + \frac{a}{b}\left(h_1 - h_{11} \ln \frac{W}{b} \right)\left(\frac{1}{\sqrt{\varepsilon_r}} - 1 \right) \right)^2} \tag{3.3}$$

โดยที่

$$h_1 = \left(0.8621 - 0.1251 \ln \frac{0.8}{0.8} \right)^4 = 0.55237$$

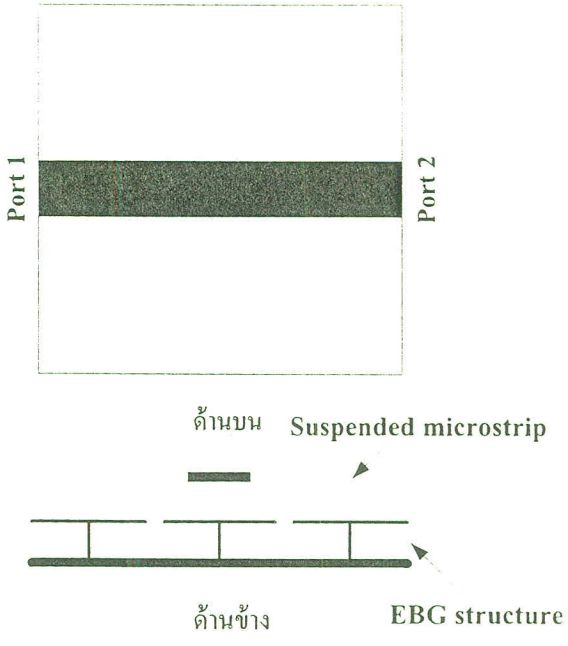
$$h_{11} = \left(0.4986 - 0.1397 \ln \frac{0.8}{0.8} \right)^4 = 0.0618$$

$$\varepsilon_{eff} = \frac{1}{\left(1 + \frac{0.8}{0.8}\left(0.55237 - 0.0618 \ln \frac{5.3}{0.8} \right)\left(\frac{1}{\sqrt{4.3}} - 1 \right) \right)^2} = 1.66$$

นำค่าที่ได้จากสมการที่ (3.2) และ (3.3) มาแทนในสมการที่ (3.1) จะได้

$$Z = \frac{65.5}{\sqrt{1.66}} = 50.83 \text{ โอห์ม}$$

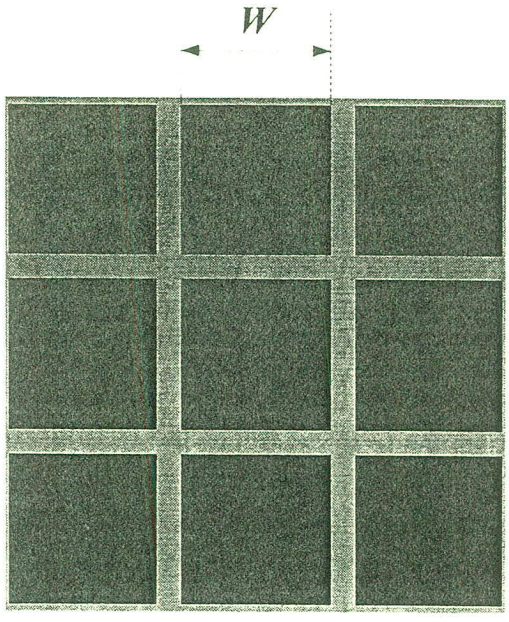
ซึ่งประมาณได้ใกล้เคียง 50 โอห์ม จากนั้นนำขนาดของสายนำสัญญาณไมโครสตริปไปทำการออกแบบและนำมาใช้ร่วมกับโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า ดังรูปที่ 27 เพื่อทำการจำลองผล



รูปที่ 27 สายนำสัญญาณไมโครสตริปเมื่อนำมาใช้ร่วมกับโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า

1.1 ผลกระทบต่อความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบ

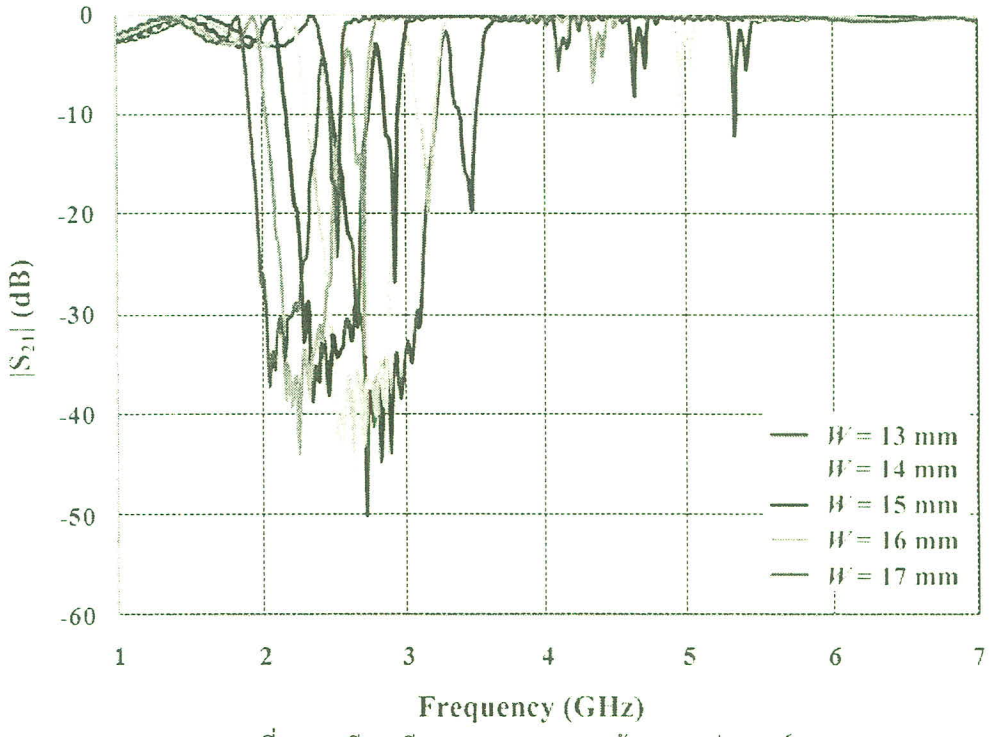
ความกว้างของแผ่นเซลล์มีบทบาทที่สำคัญต่อความถี่ จะทำการปรับความกว้างของแผ่นเซลล์ตั้งแต่ 13 มิลลิเมตรถึง 17 มิลลิเมตรโดยให้พารามิเตอร์อื่นๆ คือ ระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์ ความสูงของวัสดุฐานรอง ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์จะแสดงในตารางที่ 7



รูปที่ 28 ปรับความกว้างแผ่นเซลล์รายคาบของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า

ตารางที่ 7 ขนาดพารามิเตอร์เมื่อมีการปรับความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบ

สัญลักษณ์	พารามิเตอร์	ขนาด
L	ขนาดของระนาบกราวนด์	60 มิลลิเมตร
W	ความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบ	13-17 มิลลิเมตร
g	ระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์	1.5 มิลลิเมตร
h	ความสูงของวัสดุฐานรอง	0.8 มิลลิเมตร
ε_r	ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์	4.3

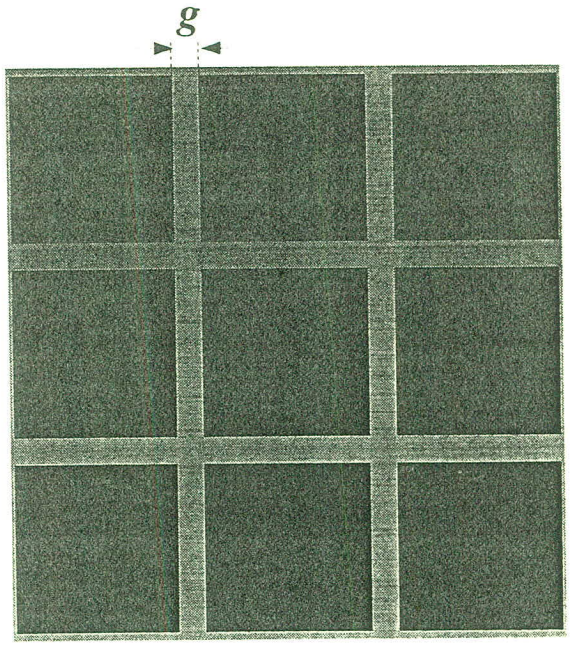


รูปที่ 29 เปรียบเทียบขนาดของความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบ

รูปที่ 29 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดความกว้างแผ่นเซลล์รายคาบ จากรูปจะพบว่าเมื่อขนาดความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความถี่ลดลง ซึ่งจะสอดคล้องกับสมการที่ (2.5) จากสมการจะพบว่าค่าของตัวเก็บประจุจะแปรผันตามกับขนาดความกว้างของแผ่นเซลล์ เมื่อความกว้างเพิ่มขึ้นค่าของตัวเก็บประจุก็จะเพิ่มขึ้นตามจึงส่งผลให้ความถี่ตามสมการที่ (2.2) ลดลง

1.2 ผลกระทบต่อระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์

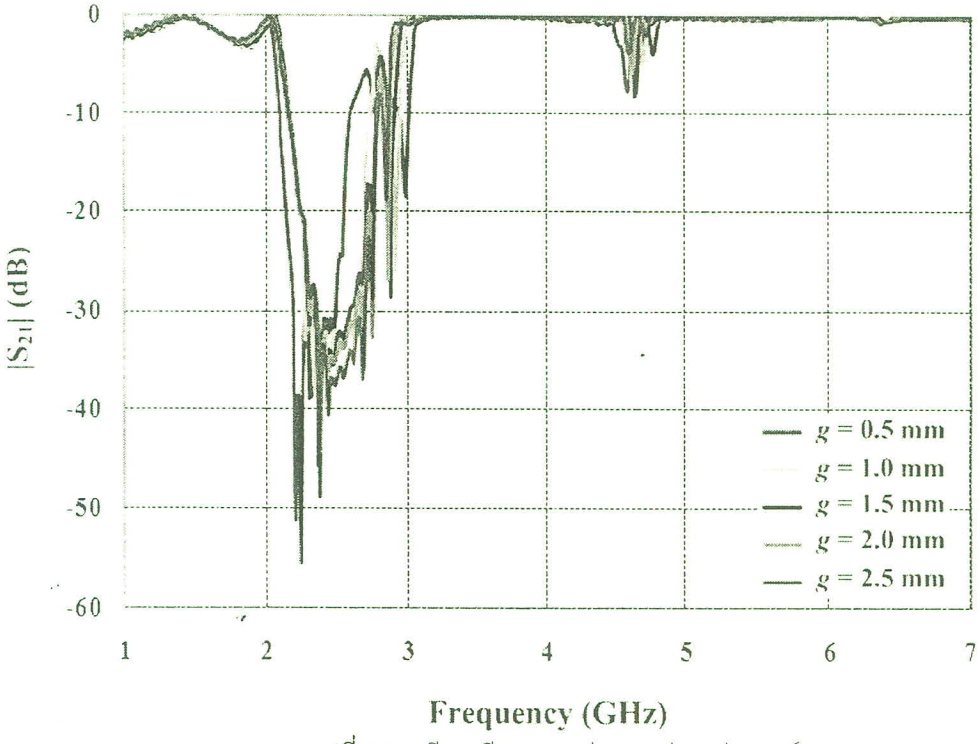
ขั้นตอนนี้จะทำการปรับระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์ตั้งแต่ 0.5 มิลลิเมตรถึง 2.5 มิลลิเมตร โดยให้พารามิเตอร์อื่นๆ คือ ความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบ ความสูงของวัสดุฐานรอง ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์จะแสดงในตารางที่ 8



รูปที่ 30 ปรับระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์รายคาบของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า

ตารางที่ 8 ขนาดพารามิเตอร์เมื่อมีการปรับระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์รายคาบ

สัญลักษณ์	พารามิเตอร์	ขนาด
L	ขนาดของระนาบกราวนด์	60 มิลลิเมตร
W	ความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบ	15 มิลลิเมตร
g	ระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์	0.5-2.5 มิลลิเมตร
h	ความสูงของวัสดุฐานรอง	0.8 มิลลิเมตร
ε_r	ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์	4.3



รูปที่ 31 เปรียบเทียบระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์

รูปที่ 31 แสดงการเปรียบเทียบระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์ จากรูปจะพบว่าเมื่อระยะห่างมีการเปลี่ยนแปลงจะไม่ส่งผลต่อความถี่มากนัก ซึ่งจะสอดคล้องกับสมการที่ (2.5) เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์เพิ่มมากขึ้นก็จะไม่ส่งผลต่อค่าตัวเก็บประจุมากนัก

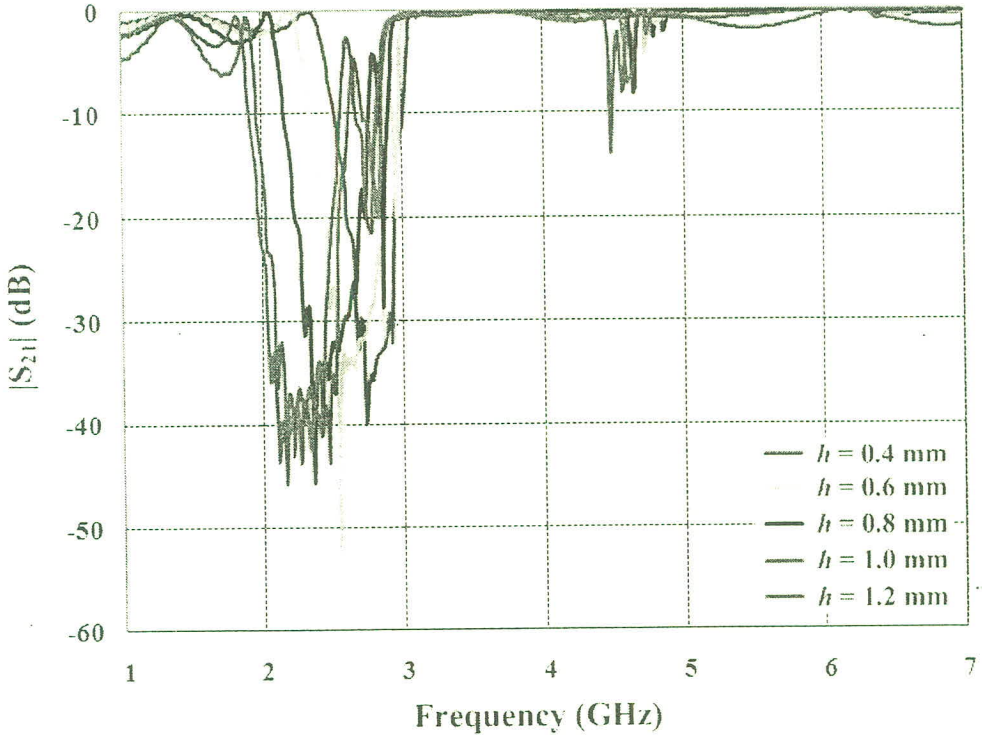
1.3 ผลกระทบต่อความหนาของวัสดุฐานรอง

ขั้นตอนนี้ทำการปรับความหนาของวัสดุฐานรองตั้งแต่ 0.4 มิลลิเมตร ถึง 1.2 มิลลิเมตร โดยให้พารามิเตอร์อื่นๆ คือ ความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบ ระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์ ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ จะแสดงในตารางที่ 9

รูปที่ 32 ปรับความหนาของวัสดุฐานรอง

ตารางที่ 9 ขนาดพารามิเตอร์เมื่อมีการปรับความหนาของวัสดุฐานรอง

สัญลักษณ์	พารามิเตอร์	ขนาด
L	ขนาดของระนาบกราวนด์	60 มิลลิเมตร
W	ความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบ	15 มิลลิเมตร
g	ระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์	1.5 มิลลิเมตร
h	ความสูงของวัสดุฐานรอง	0.4-1.2 มิลลิเมตร
ε_r	ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์	4.3



รูปที่ 33 เปรียบเทียบความหนาของวัสดุฐานรอง

รูปที่ 33 แสดงการเปรียบเทียบความหนาของวัสดุฐานรอง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความหนาของวัสดุฐานรอง จากรูปจะพบว่าเมื่อความหนาของวัสดุฐานรองเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความถี่ลดลง ซึ่งจะสอดคล้องกับสมการที่ (2.9) จากสมการจะพบว่าค่าความเหนี่ยวนำจะแปรผันตามค่าความหนาของวัสดุฐานรอง เมื่อความหนาของวัสดุฐานรองเพิ่มขึ้นค่าความเหนี่ยวนำก็จะเพิ่มขึ้นตามจะส่งผลให้ความถี่ตามสมการที่ (2.2) ลดลง

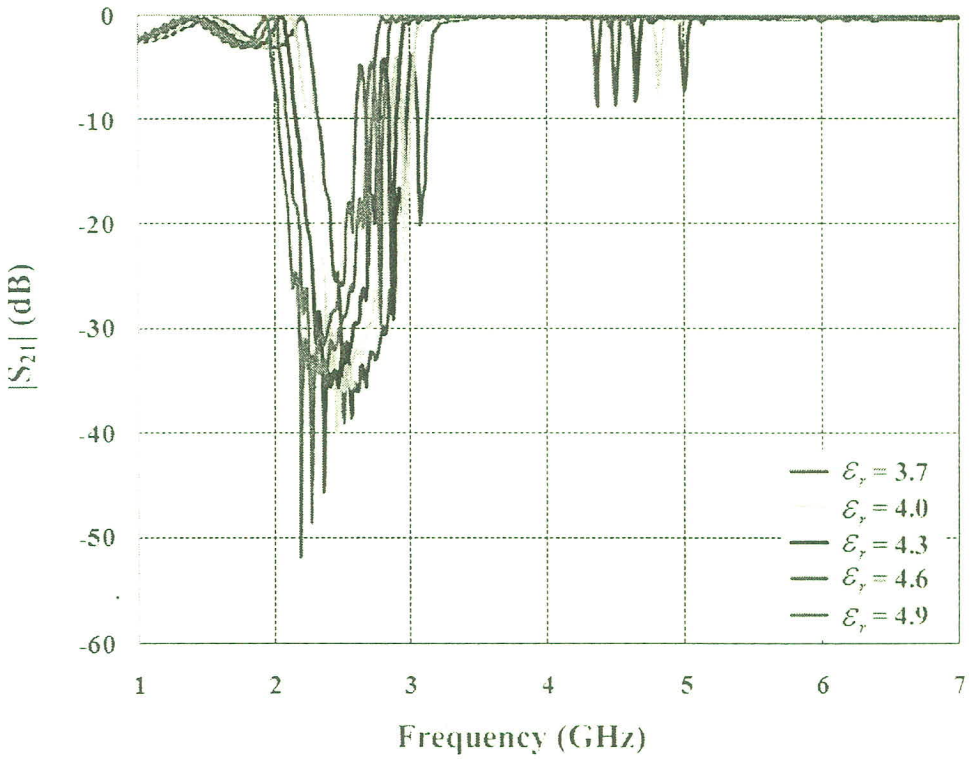
1.4 ผลกระทบต่อค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรอง

ขั้นตอนนี้ทำการปรับค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรองตั้งแต่ 3.7 ถึง 4.9 โดยให้พารามิเตอร์อื่นๆ คือ ความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบ ระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์ ความหนาของวัสดุฐานรองจะแสดงในตารางที่ 10

รูปที่ 34 ปรับค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์วัสดุฐานรองของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า

ตารางที่ 10 ขนาดพารามิเตอร์เมื่อมีการปรับค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรอง

สัญลักษณ์	พารามิเตอร์	ขนาด
L	ขนาดของระนาบกราวนด์	60 มิลลิเมตร
W	ความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบ	15 มิลลิเมตร
g	ระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์	1.5 มิลลิเมตร
h	ความสูงของวัสดุฐานรอง	0.8 มิลลิเมตร
ε_r	ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์	3.7-4.9

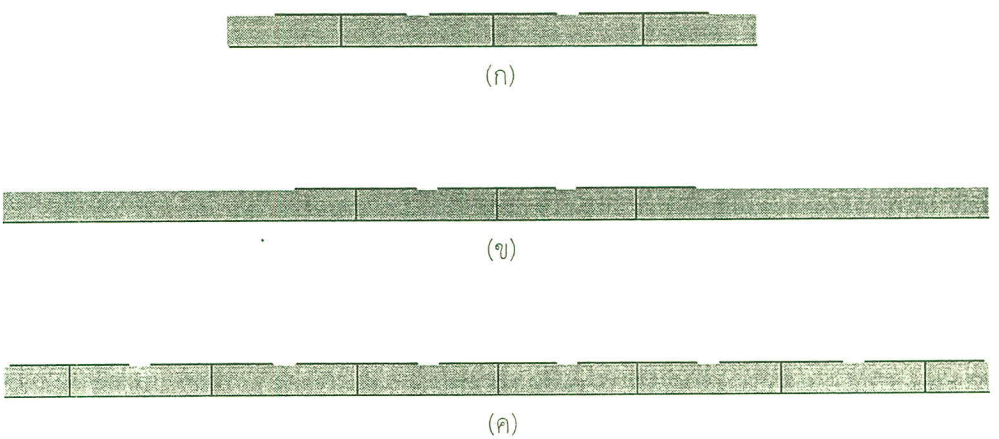


รูปที่ 35 เปรียบเทียบค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรอง

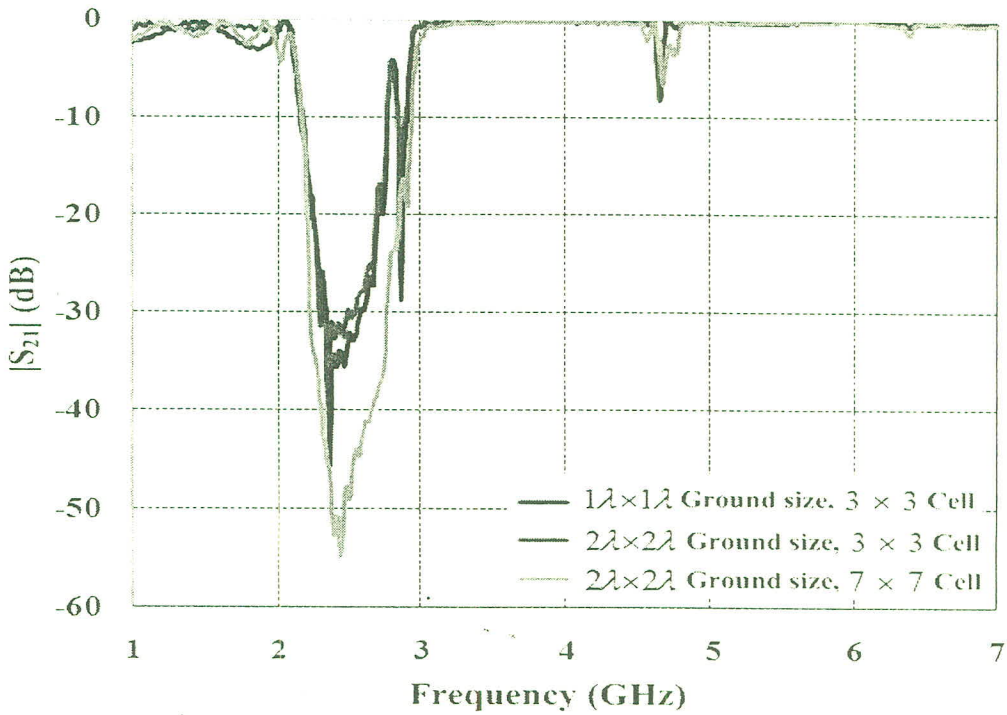
รูปที่ 35 แสดงการเปรียบเทียบค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรอง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรอง จากรูปจะพบว่าเมื่อค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรองมีค่ามากขึ้นจะส่งผลให้ความถี่ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับสมการที่ (2.5) จากสมการพบว่าค่าความเก็บประจุแปรผันตามค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรอง เมื่อค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรองเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความเก็บประจุเพิ่มขึ้นตามส่งผลให้ความถี่ตามสมการที่ (2.2) ลดลง

1.5 ผลกระทบต่อขนาดของระนาบกราวนด์และจำนวนแผ่นเซลล์รายคาบ

ขั้นตอนนี้จะทำการขยายขนาดระนาบกราวนด์จากปกติคือขนาดหนึ่งความยาวคลื่นเป็นสองความยาวคลื่นโดยแบ่งเป็นสองกรณี กรณีแรกขนาดระนาบกราวนด์สองความยาวคลื่นจำนวนแผ่นเซลล์รายคาบมีจำนวนเท่ากับขนาดของระนาบกราวนด์หนึ่งความยาวคลื่น และกรณีที่สองขนาดระนาบกราวนด์สองความยาวคลื่นจำนวนแผ่นเซลล์รายคาบมีจำนวนตามขนาดของระนาบกราวนด์ดังแสดงในรูปที่ 36



รูปที่ 36 ขนาดของระนาบกราวนด์และจำนวนแผ่นเซลล์รายคาบ (ก) ขนาดหนึ่งความยาวคลื่นจำนวนแผ่นเซลล์รายคาบ 3 แถวคูณ 3 หลัก (ข) ขนาดสองความยาวคลื่นจำนวนแผ่นเซลล์รายคาบ 3 แถวคูณ 3 หลัก (ค) ขนาดสองความยาวคลื่นจำนวนแผ่นเซลล์รายคาบ 7 แถวคูณ 7 หลัก

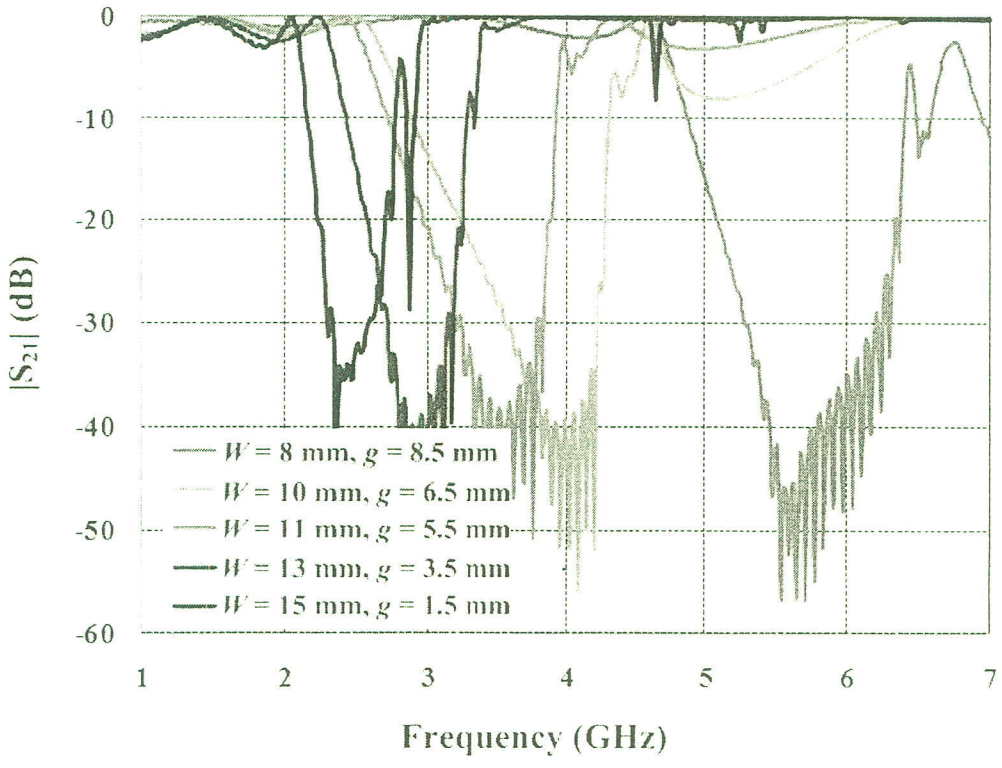


รูปที่ 37 เปรียบเทียบขนาดของระนาบกราวนด์และจำนวนแผ่นเซลล์รายคาบ

รูปที่ 37 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของระนาบกราวนด์และจำนวนแผ่นเซลล์รายคาบ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของระนาบกราวนด์และจำนวนแผ่นเซลล์รายคาบ โดยจากรูปจะพบว่า เมื่อขนาดของระนาบกราวนด์เพิ่มขึ้นจากหนึ่งความยาวคลื่น 60×60 ตารางมิลลิเมตรเป็นขนาดสองความยาวคลื่น 120×120 ตารางมิลลิเมตรจะไม่ส่งผลต่อความถี่ แต่เมื่อมีการเพิ่มจำนวนแผ่นเซลล์รายคาบจาก 3 แถวคูณ 3 หลัก เป็น 7 แถวคูณ 7 หลักในขนาดของระนาบกราวนด์ 120×120 ตารางมิลลิเมตรส่งผลให้ค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านลดลง

1.6 ปรับขนาดแผ่นเซลล์ราบคาบเพื่อปรับความถี่

จากการศึกษาค่าพารามิเตอร์ในหัวข้อข้างต้นพบว่าหนึ่งในพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อความถี่ คือค่าขนาดความกว้างแผ่นเซลล์รายคาบและง่ายต่อการปรับเปลี่ยนขนาด ในงานวิจัยนี้จะทำการปรับขนาดเพื่อให้ได้ค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ต่ำกว่า -10 dB ที่ความถี่ 5.2 GHz โดยเริ่มต้นจากค่าพารามิเตอร์ในตารางที่ 3.1 ที่ให้ค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ต่ำกว่า -10 dB ที่ความถี่ 2.4 GHz และทำการปรับเปลี่ยนขนาดความกว้างแผ่นเซลล์รายคาบ โดยให้ตำแหน่งของแผ่นเซลล์รายคาบอยู่ที่เดิม โดยระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์จะขึ้นอยู่กับขนาดของแผ่นเซลล์รายคาบที่ทำการปรับ



รูปที่ 38 เปรียบเทียบพารามิเตอร์เมื่อต้องการปรับความถี่

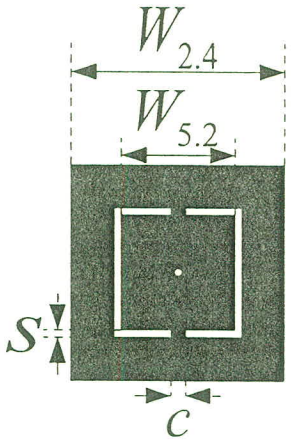
รูปที่ 38 แสดงการเปรียบเทียบพารามิเตอร์เมื่อต้องการปรับความถี่ เมื่อมีการปรับขนาดแผ่นเซลล์รายคาบเพื่อต้องการให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ต่ำกว่า -10 dB ที่ความถี่ 5.2 GHz จากรูปจะพบว่าเมื่อทำการปรับขนาดความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบเป็น 8 มิลลิเมตร จะส่งผลให้มีย่านความถี่ที่ครอบคลุม 5.2 GHz โดยเมื่อขนาดความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบมีขนาด 8 มิลลิเมตรจะมีระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์ 8.5 มิลลิเมตร โดยสรุปค่าพารามิเตอร์ต่างๆของความถี่ 5.2 GHz ไว้ตามตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ขนาดพารามิเตอร์เบื้องต้นที่ความถี่ 5.2 GHz

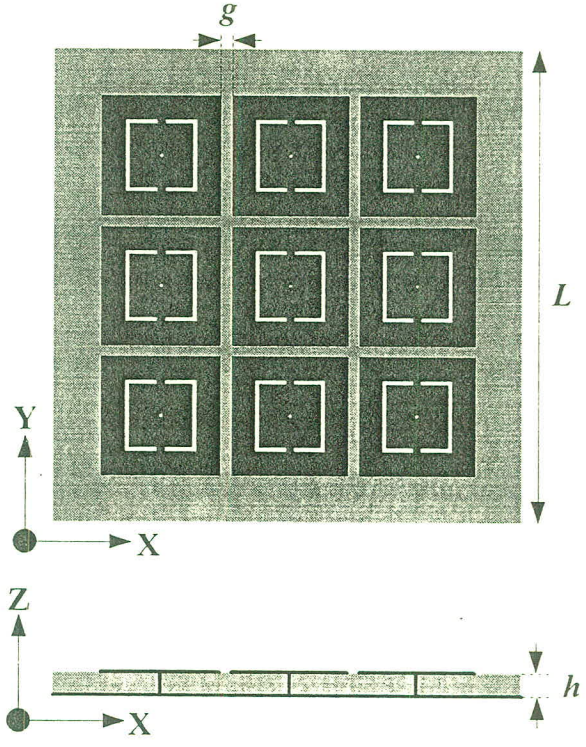
สัญลักษณ์	พารามิเตอร์	ขนาด
L	ขนาดของระนาบกราวนด์	60 มิลลิเมตร
W	ความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบ	8 มิลลิเมตร
g	ระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์	8.5 มิลลิเมตร
h	ความสูงของวัสดุฐานรอง	0.8 มิลลิเมตร
ε_r	ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์	4.3

2 โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่

ในงานวิจัยนี้จะทำการดัดแปลงเซลล์ของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าให้มีค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ต่ำกว่า -10 dB สองย่านความถี่ โดยจากการศึกษาพารามิเตอร์ในหัวข้อข้างต้นเพื่อต้องการให้มีค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ต่ำกว่า -10 dB สองความถี่คือที่ความถี่ 2.4 GHz และที่ความถี่ 5.2 GHz แต่ทั้งสองความถี่เกิดจากโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าสองชิ้นงาน ในหัวข้อนี้จะทำการออกแบบโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าในหนึ่งชิ้นงานแต่ให้ได้ค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ต่ำกว่า -10 dB ทั้งสองความถี่ โดยอาศัยขนาดพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาของแต่ละความถี่จากหัวข้อข้างต้น โดยใช้เทคนิคการเพิ่มร่อง (Slot) ลงบนแผ่นเซลล์รายคาบเพื่อให้โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถตอบสนองได้สองย่านความถี่



รูปที่ 39 แผ่นเซลล์รายคาบในหนึ่งเซลล์

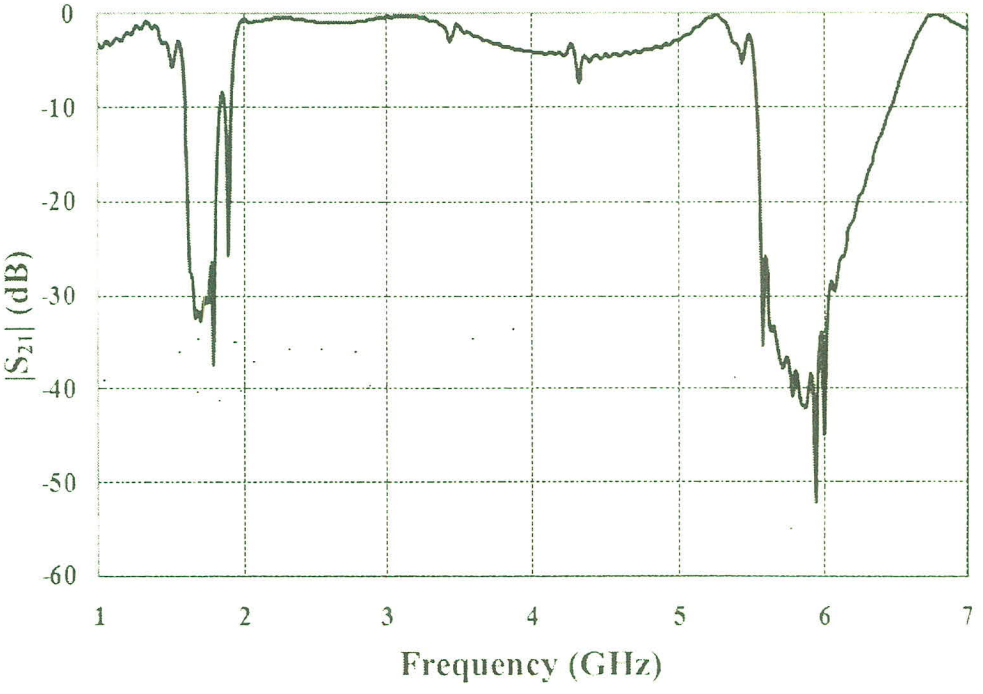


รูปที่ 40 โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าโดยรวม

รูปที่ 39 แสดงการดัดแปลงแผ่นเซลล์รายคาบในหนึ่งเซลล์โดยขนาดของพารามิเตอร์ต่างๆ ของแผ่นเซลล์จะถูกระบุในตารางที่ 12 รูปที่ 40 แสดงโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าโดยรวม ซึ่งเป็นโครงสร้างเริ่มต้นสำหรับการออกแบบเพื่อต้องการให้สามารถตอบสนองที่ความถี่ 2.4 GHz และ 5.2 GHz

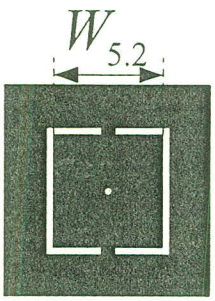
ตารางที่ 12 ขนาดพารามิเตอร์การดัดแปลงแผ่นเซลล์รายคาบ

สัญลักษณ์	พารามิเตอร์	ขนาด
L	ขนาดของระนาบกราวนด์	60 มิลลิเมตร
$W_{2.4}$	ความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบที่ตอบสนอง 2.4 GHz	15 มิลลิเมตร
$W_{5.2}$	ความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบที่ตอบสนอง 5.2 GHz	8 มิลลิเมตร
S	ร่องบนแผ่นเซลล์	1 มิลลิเมตร
C	แผ่นเชื่อมระหว่างแผ่นเซลล์	1 มิลลิเมตร
g	ระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์	1.5 มิลลิเมตร
h	ความสูงของวัสดุฐานรอง	0.8 มิลลิเมตร
ε_r	ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์	4.3



รูปที่ 41 ขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่แบบเบื้องต้น

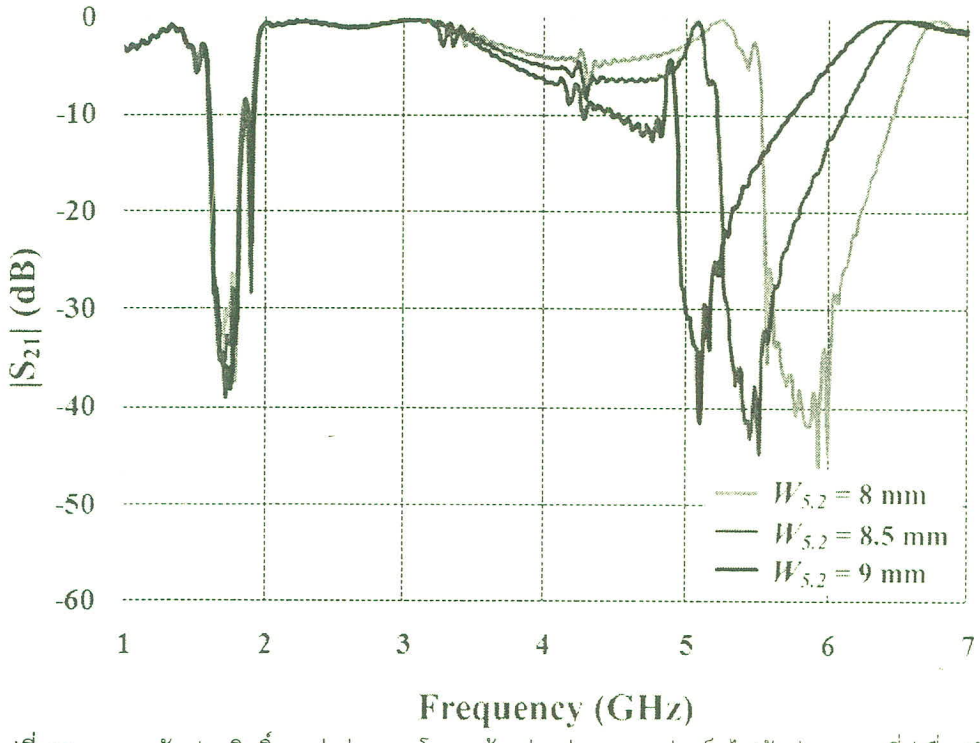
รูปที่ 41 แสดงค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่แบบเบื้องต้น จากรูปจะพบว่ามีความถี่ที่ต่ำกว่า -10 dB อยู่สองย่านความถี่ ย่านความถี่แรกอยู่ระหว่าง 1.6-1.8 GHz และย่านความถี่ที่สองอยู่ระหว่าง 5.6-6.5 GHz จะเห็นว่าย่านความถี่ทั้งสองย่านที่ต่ำกว่า -10 dB ไม่ตรงตามย่านความถี่ที่ต้องการ โดยการแก้ไขเบื้องต้นจะทำการแก้ไขโดยการปรับขนาดความกว้างของแผ่นเซลล์ในแต่ละย่านความถี่ โดยยังคงขนาดร่องบนแผ่นเซลล์ให้มีขนาดเท่าเดิม ในขั้นตอนแรกจะทำการปรับขนาดความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบ $W_{5.2}$ แสดงในรูปที่ 42 โดยขนาดของพารามิเตอร์ต่างๆแสดงในตารางที่ 13



รูปที่ 42 ปรับความกว้างแผ่นเซลล์รายคาบ $W_{5.2}$

ตารางที่ 13 ขนาดพารามิเตอร์การดัดแปลงแผ่นเซลล์รายคาบ $W_{5.2}$

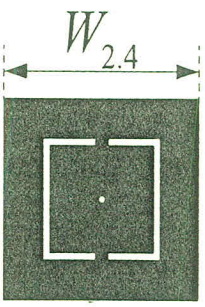
สัญลักษณ์	พารามิเตอร์	ขนาด
L	ขนาดของระนาบกราวนด์	60 มิลลิเมตร
$W_{2.4}$	ความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบที่ตอบสนอง 2.4 GHz	15 มิลลิเมตร
$W_{5.2}$	ความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบที่ตอบสนอง 5.2 GHz	8-9 มิลลิเมตร
S	ร่องบนแผ่นเซลล์	1 มิลลิเมตร
C	แผ่นเชื่อมระหว่างแผ่นเซลล์	1 มิลลิเมตร
g	ระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์	1.5 มิลลิเมตร
h	ความสูงของวัสดุฐานรอง	0.8 มิลลิเมตร
ε_r	ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์	4.3



รูปที่ 43 ขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่เมื่อปรับขนาดความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบ $W_{5.2}$

รูปที่ 43 แสดงค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่เมื่อปรับขนาดความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบ $W_{5.2}$ เมื่อขนาดของ $W_{5.2}$ เท่ากับ 8 มิลลิเมตร จะมีค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ต่ำกว่า -10 dB อยู่ในช่วง 5.65-6.47 GHz เมื่อขนาดของ $W_{5.2}$ เท่ากับ 8.5 มิลลิเมตรจะมีค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ต่ำกว่า -10 dB อยู่ในช่วง 5.15-6.1 GHz และเมื่อขนาดของ $W_{5.2}$ เท่ากับ 9 มิลลิเมตรจะมีค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ต่ำกว่า -10 dB อยู่ในช่วง 4.9-5.7 GHz โดยเมื่อขนาดของ $W_{5.2}$ เท่ากับ 9 มิลลิเมตรจะครอบคลุมความถี่ที่ต้องการคือ 5.2 GHz

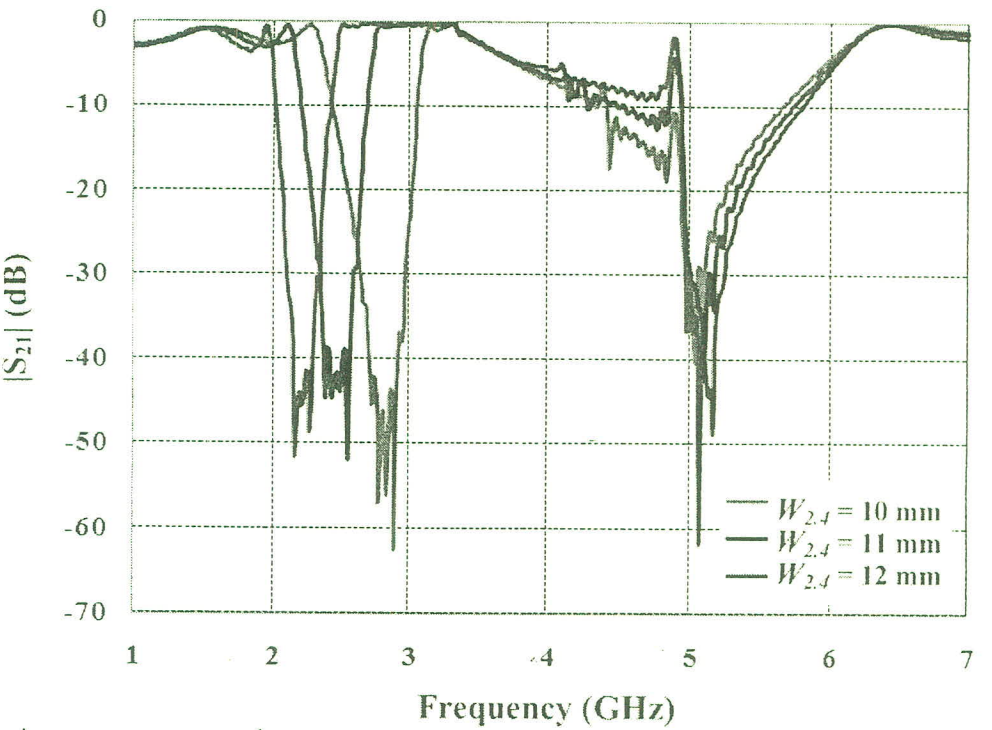
ในขั้นตอนต่อไปจะทำการปรับขนาดความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบ $W_{2.4}$ แสดงในรูปที่ 44 โดยขนาดของพารามิเตอร์ต่างๆแสดงในตารางที่ 14



รูปที่ 44 ปรับความกว้างแผ่นเซลล์รายคาบ $W_{2.4}$

ตารางที่ 14 ขนาดพารามิเตอร์การดัดแปลงแผ่นเซลล์รายคาบ $W_{2.4}$

สัญลักษณ์	พารามิเตอร์	ขนาด
L	ขนาดของระนาบกราวนด์	60 มิลลิเมตร
$W_{2.4}$	ความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบที่ตอบสนอง 2.4 GHz	10-12 มิลลิเมตร
$W_{5.2}$	ความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบที่ตอบสนอง 5.2 GHz	9 มิลลิเมตร
S	ร่องบนแผ่นเซลล์	1 มิลลิเมตร
C	แผ่นเชื่อมระหว่างแผ่นเซลล์	1 มิลลิเมตร
g	ระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์	6.5-4.5 มิลลิเมตร
h	ความสูงของวัสดุฐานรอง	0.8 มิลลิเมตร
ε_r	ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์	4.3



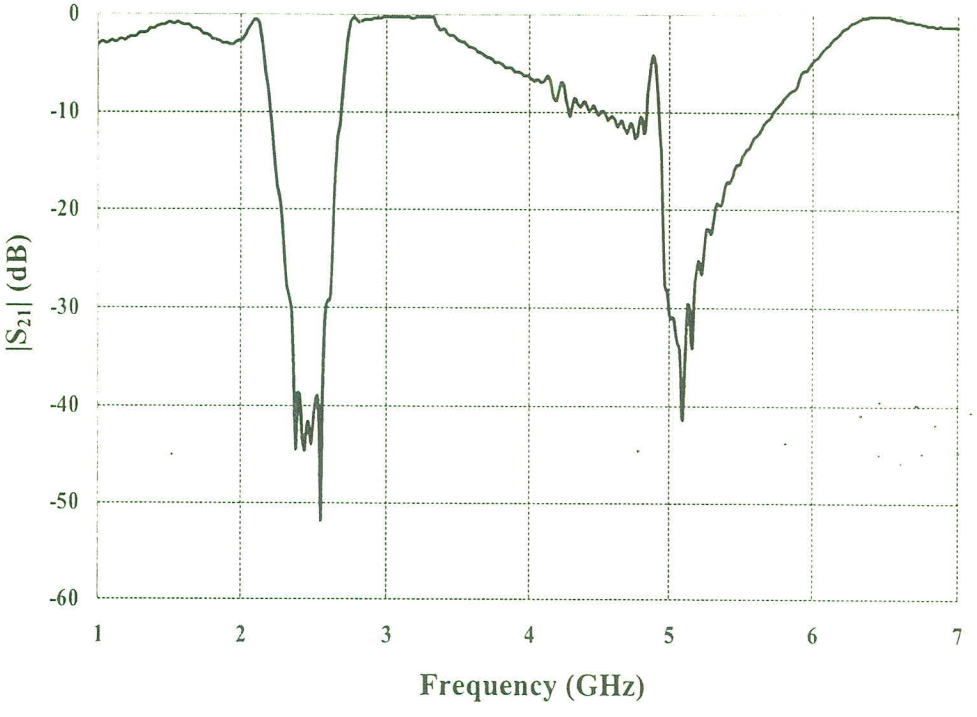
รูปที่ 45 ขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่เมื่อปรับขนาดความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบ $W_{2.4}$

รูปที่ 45 แสดงค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่เมื่อปรับขนาดความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบ $W_{2.4}$ เมื่อขนาดของ $W_{2.4}$ เท่ากับ 10 มิลลิเมตรจะมีค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ต่ำกว่า -10 dB อยู่ในช่วง 2.43-3.04 GHz เมื่อขนาดของ $W_{2.4}$ เท่ากับ 11 มิลลิเมตรจะมีค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ต่ำกว่า -10 dB อยู่ในช่วง 2.2-2.6 GHz และเมื่อขนาดของ $W_{2.4}$ เท่ากับ 12 มิลลิเมตรจะมีค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ต่ำกว่า -10 dB อยู่ในช่วง 2.01-2.41 GHz เมื่อขนาดของ $W_{2.4}$ เท่ากับ 11 มิลลิเมตรจะครอบคลุมความถี่ที่ต้องการคือ 2.4 GHz

เมื่อได้ขนาดของ $W_{2.4}$ และ $W_{5.2}$ ตามที่ต้องการ จึงนำขนาดที่ทำการปรับปรุงและขนาดของพารามิเตอร์อื่นๆมาแสดงไว้ในตารางที่ 15 เพื่อที่จะทำการนำขนาดของพารามิเตอร์ต่างๆที่ทำการออกแบบไว้ในข้างต้นไปทำการสร้างจริงเพื่อทำการทดสอบในบทต่อไป

ตารางที่ 15 ขนาดพารามิเตอร์ของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่

สัญลักษณ์	พารามิเตอร์	ขนาด
L	ขนาดของระนาบกราวนด์	60 มิลลิเมตร
$W_{2.4}$	ความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบที่ตอบสนอง 2.4 GHz	11 มิลลิเมตร
$W_{5.7}$	ความกว้างของแผ่นเซลล์รายคาบที่ตอบสนอง 5.7 GHz	9 มิลลิเมตร
S	ร่องบนแผ่นเซลล์	1 มิลลิเมตร
C	แผ่นเชื่อมระหว่างแผ่นเซลล์	1 มิลลิเมตร
g	ระยะห่างระหว่างแผ่นเซลล์	5.5 มิลลิเมตร
h	ความสูงของวัสดุฐานรอง	0.8 มิลลิเมตร
ε_r	ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์	4.3



รูปที่ 46 ขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่

รูปที่ 46 แสดงค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่ จากรูปจะพบว่ามีความถี่ที่ต่ำกว่า -10 dB อยู่สองย่านความถี่ ย่านความถี่แรกอยู่ระหว่าง 2.2-2.6 GHz และย่านความถี่ที่สองอยู่ระหว่าง 4.9-5.7 GHz ซึ่งทั้งสองย่านจะครอบคลุมความถี่ที่ต้องการใช้ในระบบ WLAN

3 สรุป

ในบทนี้กล่าวถึงการออกแบบโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบแถวคูณหลักโดยวิธีการจำลองในโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO® โดยทำการศึกษาถึงผลกระทบของค่าพารามิเตอร์ต่างๆต่อค่าขนาดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้ได้ขนาดที่เหมาะสมสำหรับการนำไปออกแบบโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่คู่ และนำขนาดของค่าพารามิเตอร์ที่ได้ทำการออกแบบมาสร้างชิ้นงานจริง