

บทที่ 3

การออกแบบและการจำลองสายอากาศ

3.1 บทนำ

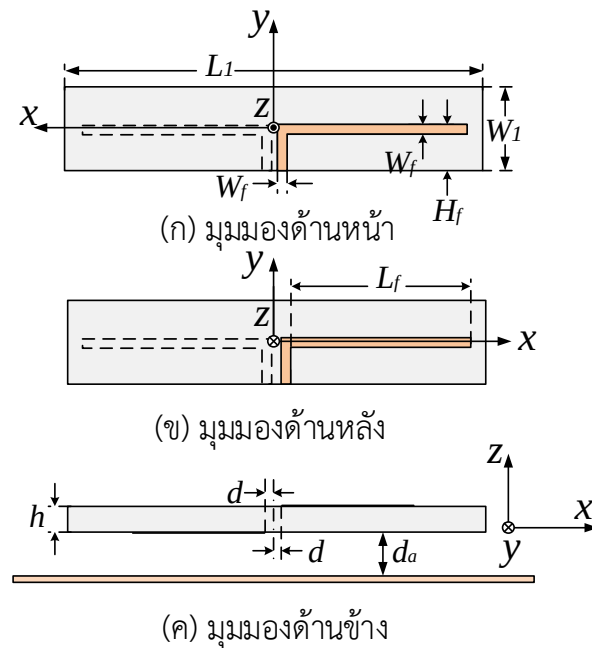
ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการออกแบบสายอากาศแถวลำดับสำหรับการส่งผ่านกำลังงานไร้สายในย่านความถี่ 2.4 GHz ที่จะมาประยุกต์ใช้ในการรับสัญญาณของเทคโนโลยี Wireless โดยใช้ทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 และนำมาออกแบบโดยใช้โปรแกรม เพื่อศึกษาถึงผลกระทบที่ได้คำนวณทางทฤษฎี โดยจะมุ่งเน้นพิจารณาคุณสมบัติของสายอากาศ ซึ่งจะประกอบไปด้วย $|S_{11}|$ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น และอัตราขยาย รวมไปถึงแรงดันที่ได้จากวงจรเรียงกระแส เพื่อที่จะศึกษาถึงผลกระทบต่อสายอากาศที่ได้ทำการออกแบบ แล้วทำการปรับค่าพารามิเตอร์ เพื่อปรับปรุงค่าคุณสมบัติของสายอากาศให้ดีขึ้นสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งาน ซึ่งการเริ่มต้นของการออกแบบสายอากาศนั้นจะเริ่มต้นจากการกำหนดขนาดความยาวของสายอากาศไดโพล ให้มีขนาดความยาวเป็น $\lambda/2$ โดยจะออกแบบและสร้างสายอากาศไดโพล ให้ง่ายที่สุด จากนั้นทำการออกแบบวงจรเรียงกระแสเพื่อที่จะนำไปรวมกับสายอากาศเพื่อที่จะสามารถรับสัญญาณความถี่ย่าน Wireless แล้วแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้าได้

3.2 โครงสร้างและการออกแบบสายอากาศ

การออกแบบโครงสร้างของสายอากาศในเบื้องต้นโดยใช้ทฤษฎีของสายอากาศไดโพล ครึ่งความยาวคลื่นมาเป็นเงื่อนไขเริ่มต้น สำหรับใช้ในการคำนวณหาความยาวทั้งหมดของสายอากาศ โดยการออกแบบสายอากาศในแต่ละโครงสร้างนั้นจะใช้โปรแกรมในการจำลอง และศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศ โดยจะพิจารณา $|S_{11}| \leq -10$ dB จึงจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ โดยการจำลองศึกษาค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศที่ได้ออกแบบนั้นจะใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO® [26]

3.2.1 การศึกษาผลกระทบที่เกิดจากพารามิเตอร์ของสายอากาศแถวลำดับสำหรับการส่งผ่านกำลังงานไร้สายในย่านความถี่ 2.4 GHz

สำหรับการออกแบบโครงสร้างของสายอากาศเริ่มต้นโดยออกแบบให้ความยาวทั้งหมดเป็น $\lambda/2$ และแบ่งให้แขนแต่ละข้างของไดโพลมีความยาวเท่ากับ $\lambda/4$ โดยกำหนดให้มีระยะห่างของแขนแต่ละข้างเป็น 1.26 mm ซึ่งเป็นระยะระหว่างคอนเนคเตอร์ที่เชื่อมต่อกับสายนำสัญญาณที่เป็นชนิด SMA โดยโครงสร้างของสายอากาศสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1 โดยความถี่ที่จะนำมาใช้ในการคำนวณคือ 2.45 GHz ซึ่งเป็นความถี่กลางใช้งาน



รูปที่ 3.1 โครงสร้างสายอากาศไดโพล WLAN 2.4 GHz มุมมองด้านหน้า ด้านหลังและด้านข้าง

จากรูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างของสายอากาศไดโพลสร้างจากวัสดุไดอิเล็กทริกชนิด FR4 เนื้อสารเป็นอีพ็อกซี เป็นวัสดุซึ่งสามารถหาซื้อได้ทั่วไป และมีราคาถูก มีคงที่ไดอิเล็กทริกเท่ากับ 4.3 โดยกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ของสายอากาศที่ใช้ในการสร้าง

สัญลักษณ์	พารามิเตอร์
W_1	ความกว้างของสายอากาศ
L_1	ความยาวของสายอากาศ
W_f	ความกว้างของเส้นสตริป
L_f	ความยาวของเส้นสตริป
H_f	ความสูงของแขนไดโพล
d	ระยะห่างของเส้นสตริปจากกึ่งกลางสายอากาศ
d_a	ระยะห่างจากแผ่นสะท้อนถึงสายอากาศไดโพล
h	ความหนาของวัสดุไดอิเล็กทริก

3.3 การปรับอิมพีแดนซ์และ $|S_{11}|$

3.3.1 การออกแบบสายอากาศ

ในขั้นต้นของการออกแบบมุ่งเน้นเพื่อให้ได้สายอากาศสำหรับ รับความถี่ในย่าน 2.4 GHz - 2.5 GHz ซึ่งครอบคลุมการใช้งานกับเทคโนโลยี WiFi จากสายอากาศแบบไดโพลการป้อนรูปตัวแอล ทำให้ง่ายต่อการออกแบบ ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ได้ง่าย

เนื่องจากสายอากาศที่จะทำการสร้างขึ้นนี้ป้อนด้วยสายนำสัญญาณ จึงทำการคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะที่ 50 Ω เป็นค่าเริ่มต้น โดยหาได้จากทฤษฎีอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ ซึ่งมีความยาวเป็นอนันต์ จากสมการที่ (2.1) - (2.6) ในบทที่ 2 โดยไม่คิดความหนาของตัวนำ (t) จึงได้สมการดังต่อไปนี้

$$W = w + \frac{t}{\pi} \left[\ln \left(\frac{2h}{t} \right) + 1 \right]$$

$$H = h - 2t$$

เมื่อไม่คิดความหนาของตัวนำ (t) ได้

$$W = w$$

และ

$$H = h = h_s$$

ถ้าต้องการอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ $Z_o = 50 \Omega$ เมื่อ ความสูงของวัสดุฐานรอง $h = h_s$ คือ 1.5 mm มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรอง $\epsilon_r = 4.3$ จากนั้นทำการแทนค่าลงในสมการที่ (2.1) - (2.4) แล้วทำการเปลี่ยนแปลงค่าความกว้างของสายนำสัญญาณไมโครสตริปโดย $W = w_f$ ได้ค่าที่เหมาะสมซึ่งทำให้อิมพีแดนซ์คุณลักษณะ $Z_o = 50 \Omega$ คือ 1.5 mm ดังแสดงให้เห็นได้ดังนี้

เมื่อ $h = h_s$ และ $W = w_f$ ดังนั้นจึงได้ $\frac{w_f}{h_s} = \frac{1.5}{0.75} > 1$ ดังนั้นจึงเข้าเงื่อนไขของสมการที่ (2.3) - (2.4) คำนวณได้ดังนี้

$$\text{เมื่อ } \frac{W}{h} > 1$$

$$Z_o = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} \left\{ \frac{W}{h} + 1.393 + 0.667 \ln \left(\frac{W}{h} + 1.444 \right) \right\}^{-1}$$

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2 \sqrt{1 + 12 \frac{h}{W}}}$$

คำนวณหา ϵ_{reff} โดยการแทนค่า $\epsilon_r = 4.3$ เมื่อ $h = h_s = 0.75$ mm $w = w_f = 1.5$ mm ลงในสมการที่ (2.4)

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{4.3+1}{2} + \frac{4.3-1}{2 \sqrt{1+12 \frac{1.5}{0.75}}} = 2.98$$

แทนค่า ϵ_{reff} ลงไปในสมการที่ 2.3 จะได้

$$z_o = \frac{120\pi}{\sqrt{2.98}} \left\{ \frac{1.5}{0.75} + 1.393 + 0.667 \ln \left(\frac{1.5}{0.75} + 1.444 \right) \right\}^{-1} = 51.776 \Omega$$

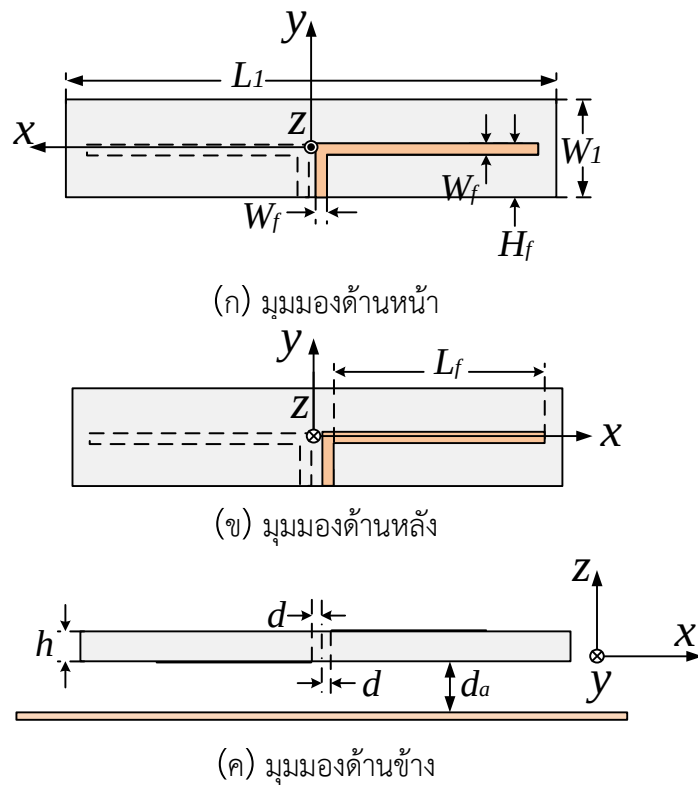
ซึ่งประมาณได้ใกล้เคียง 50 Ω

จากนั้นทำการหาความยาวและความกว้างของร่องของสายอากาศโดยใช้

$$\lambda_o = \frac{c}{f_o}$$

ดังนั้นที่ความถี่ 2.45 GHz ได้ค่าความยาวคลื่นเท่ากับ 12.24 cm และมีค่าความยาวคลื่นส่วนสี่เท่ากับ ($\lambda/4 = 3.06$ cm) คือระยะที่ถูกกำหนดขึ้นต้นของความยาวของแขนของไดโพล

3.3.2 สายอากาศเริ่มต้น

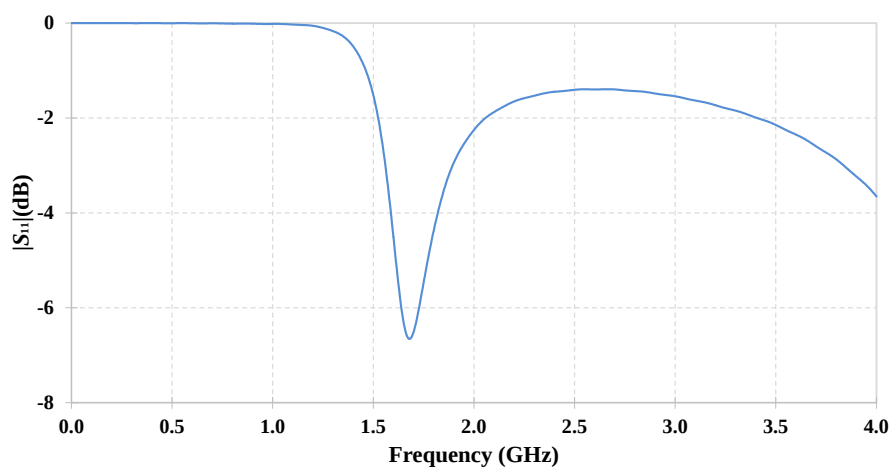


รูปที่ 3.2 โครงสร้างของสายอากาศเริ่มต้น

โดยตารางที่ 3.2 ถึงพารามิเตอร์ของสายอากาศเริ่มต้นเพื่อดูความสอดคล้องของทฤษฎีการออกแบบร่องของสายอากาศ และ อิมพีแดนซ์คุณลักษณะ

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ของสายอากาศเริ่มต้น

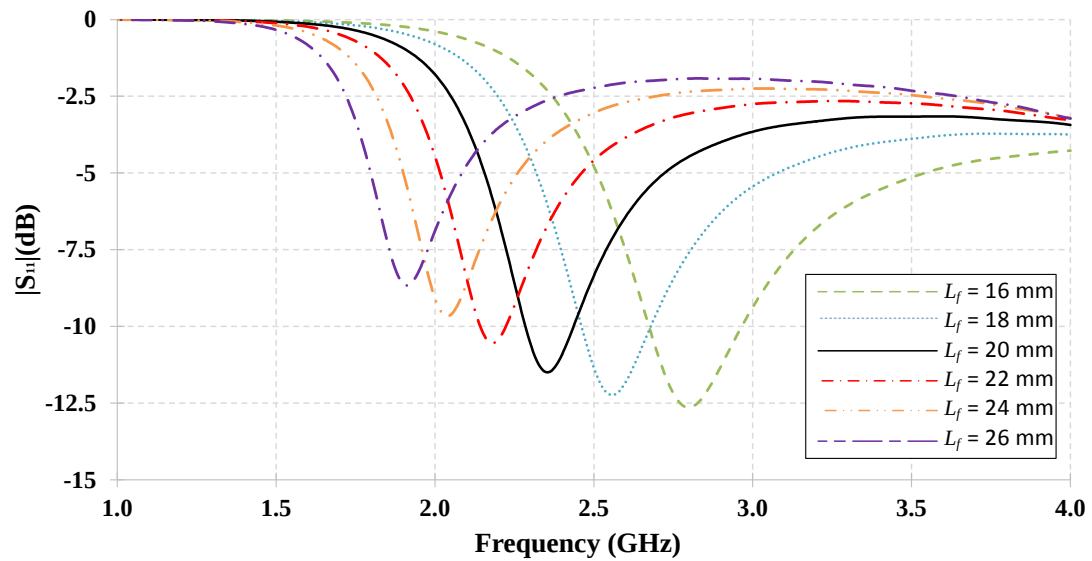
พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ(mm)
W_1	13.00
L_1	65.00
W_f	1.50
L_f	30.60
H_f	5.00
d	0.63
d_a	25.00
h	1.50

รูปที่ 3.3 $|S_{11}|$ ของสายอากาศเริ่มต้น

เมื่อจำลองสายอากาศเริ่มต้นดังรูปที่ 3.2 และมีขนาดของพารามิเตอร์เท่ากับในตารางที่ 3.2 ซึ่งจากผลการจำลอง $|S_{11}|$ ในรูปที่ 3.3 นั้นแสดงให้เห็นว่าความถี่เรโซแนนซ์ที่ 1.6 GHz

3.3.3 สายอากาศเมื่อทำการปรับค่าพารามิเตอร์ L_f

จากผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศเริ่มต้นพบว่าเมื่อความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศนั้นอยู่ที่ 1.6 GHz ซึ่งจะพบว่ามี การคลาดเคลื่อนจากความถี่ที่ต้องการใช้งานคือ ที่ 2.45 GHz จึงทำการปรับค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศซึ่งค่าพารามิเตอร์แรกที่จะทำการปรับนั้นคือพารามิเตอร์ L_f หรือความยาวของความยาวของแขนไดโพลซึ่งเป็นค่าพารามิเตอร์ที่น่าจะมีผลกระทบต่อความถี่เรโซแนนซ์มากที่สุด ซึ่งผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศนั้นแสดงในรูปที่ 3.4



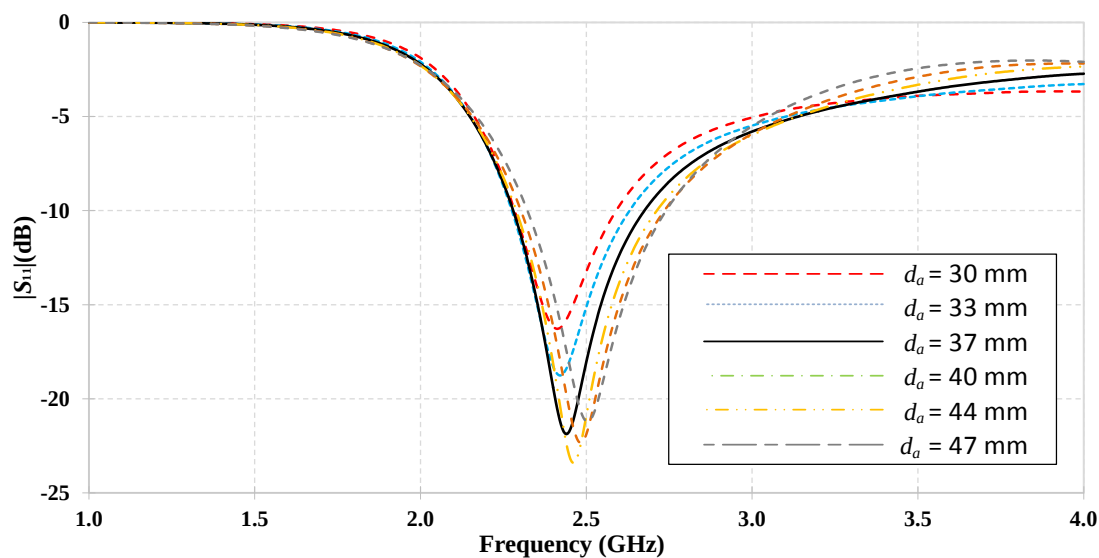
รูปที่ 3.4 $|S_{11}|$ ของสายอากาศเมื่อปรับค่าพารามิเตอร์ L_f

จากรูปที่ 3.4 จะสังเกตว่าเมื่อทำการปรับค่าพารามิเตอร์ L_f ให้มีความยาวเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ความถี่เรโซแนนซ์ไปทางความถี่ต่ำ และที่ L_f มีขนาด 20 mm แล้วจะทำให้ความถี่เรโซแนนซ์ที่ใกล้เคียงกับความถี่ที่ต้องการ ประมาณ 2.3 GHz ซึ่งอยู่ในช่วงที่ใช้งานแต่มีแบนด์วิดธ์ยังไม่ครอบคลุมย่านความถี่ที่ต้องการคือ 2.45 GHz จึงต้องทำการปรับค่าพารามิเตอร์ตัวอื่น โดยที่พารามิเตอร์ ที่หลังจากการจำลองนั้นแสดงได้ดังตารางที่ 3.3 ซึ่งพารามิเตอร์ต่อไปที่จะทำการปรับคือ d_a หรือระยะห่างจากแผ่นสะท้อนถึงสายอากาศไดโพล ซึ่งจะแสดงในหัวข้อถัดไป

ตารางที่ 3.3 ค่าพารามิเตอร์เมื่อทำการปรับขนาดของ L_f

พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ(mm)
W_1	13
L_1	65
W_f	1.5
L_f	20
H_f	5
d	0.63
d_a	25
h	1.5

3.3.4 สายอากาศเมื่อทำการปรับค่าพารามิเตอร์ d_a



รูปที่ 3.5 $|S_{11}|$ ของสายอากาศเมื่อปรับค่าพารามิเตอร์ d_a

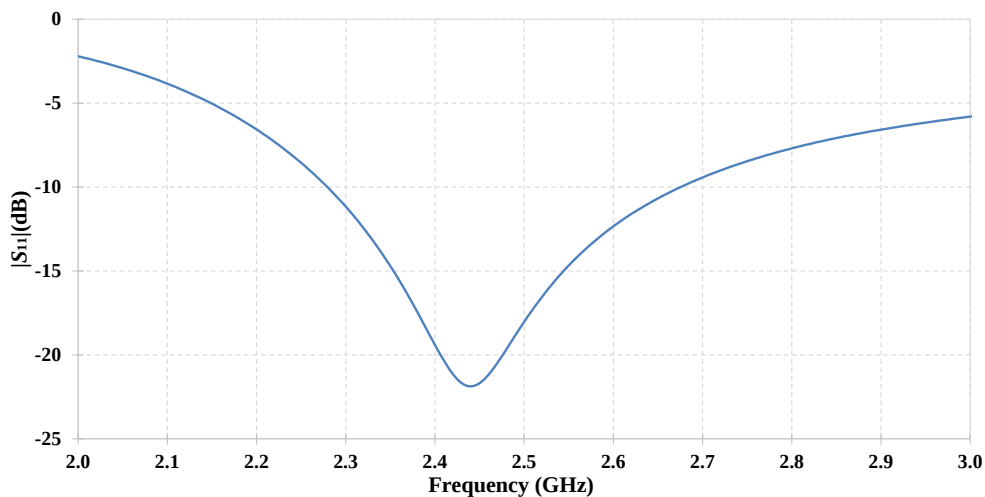
เมื่อทำการปรับระยะห่างจากแผ่นสะท้อนถึงสายอากาศจะได้ $|S_{11}|$ แสดงดังรูปที่ 3.4 จะพบว่าสายอากาศนั้นมีความถี่ที่เรโซแนนซ์ที่ความถี่ 2.45 GHz และมีแบนด์วิดธ์ครอบคลุมความถี่ตั้งแต่ 2.26 GHz - 2.66 GHz ซึ่งครอบคลุมย่านความถี่ 2.45 GHz

ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์ของสายอากาศองค์ประกอบเดียวเมื่อทำการหาค่าที่เหมาะสมจากการจำลอง

พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ(mm)
W_1	13
L_1	65
W_f	1.5
L_f	20
H_f	5
d	0.63
d_a	37
h	1.5

3.4 ผลการจำลองสายอากาศเมื่อได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

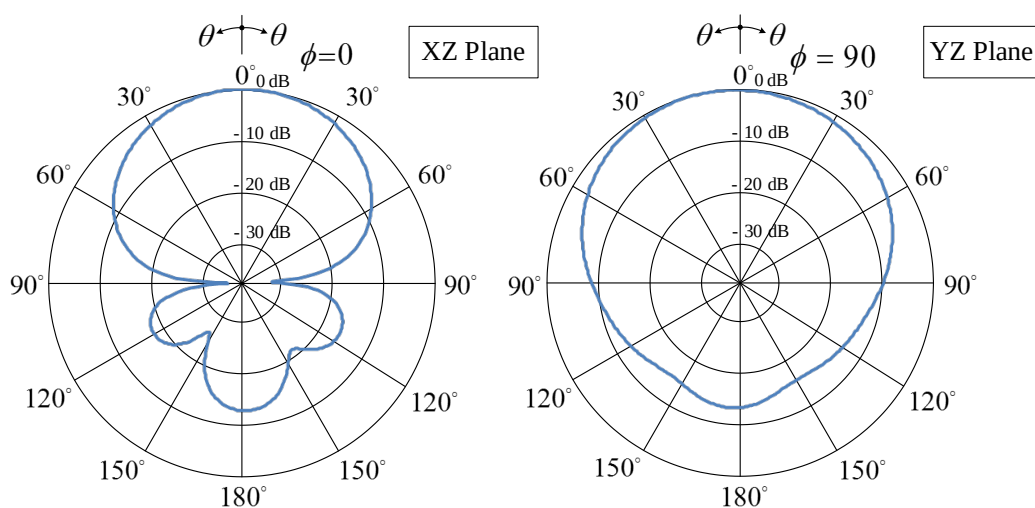
3.4.1 ผลการจำลอง $|S_{11}|$



รูปที่ 3.6 $|S_{11}|$ ของสายอากาศเมื่อได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

จากรูปที่ 3.6 สายอากาศมีย่านความถี่ที่ $|S_{11}|$ ต่ำกว่า -10 dB ตั้งแต่ 2.28-2.68 GHz โดย $|S_{11}|$ ต่ำสุดเท่ากับ -24.60 dB อยู่ที่ความถี่ 2.44 GHz ซึ่งครอบคลุมความถี่ที่ต้องการ คือ ตั้งแต่ 2.40 GHz ถึง 2.5 GHz

3.4.2 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น



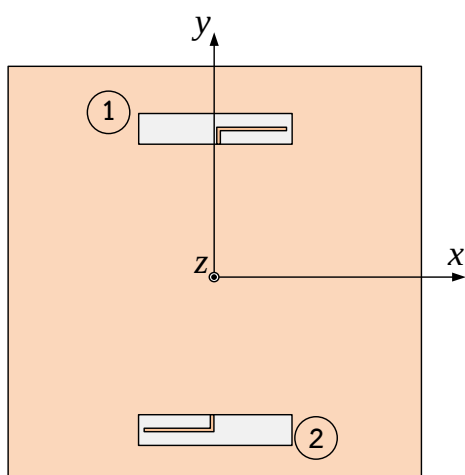
รูปที่ 3.7 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

จากรูปที่ 3.7 สายอากาศมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียว มีแบนด์วิดธ์ในระนาบ XZ และ YZ มีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังเป็น 71.3 องศา และ 142.4 องศาตามลำดับ มีอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลังเท่ากับ 13.52 dB และที่ความถี่ 2.45 GHz

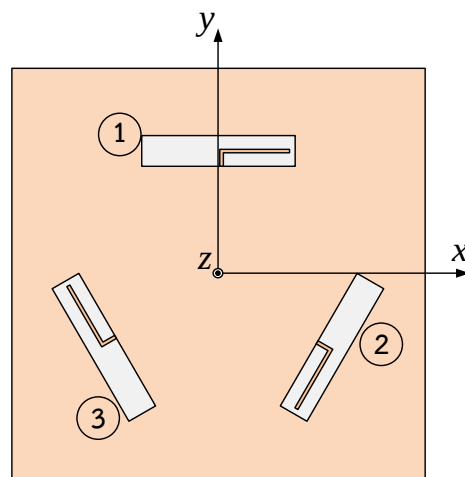
3.5 การนำเอาสายอากาศไดโพลมาจัดเรียงเป็นแถวลำดับ

หลังจากได้ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศไดโพลต้นแบบแล้ว ได้ทำการนำเอาสายอากาศจำนวน 2 ถึง 6 ตัวมารวมกันในแผ่นสะท้อนแผ่นเดียวกันโดยให้สายอากาศแต่ละตัวทำมุมซึ่งกันและกัน เท่าๆกันและทำการศึกษาผลกระทบของ $|S_{ii}|$ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น และอัตราขยายของสายอากาศแต่ละแบบได้ โดยให้ระยะห่างของสายอากาศกับแผ่นสะท้อนดังรูปที่ 3.2 และตารางที่ 3.4

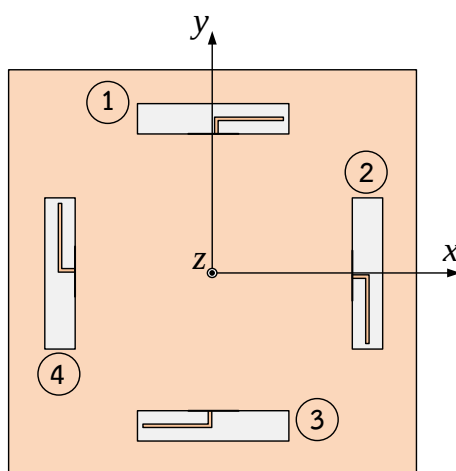
3.5.1 การจำลองสายอากาศจำนวน 2 ถึง 6 ตัวมารวมกัน



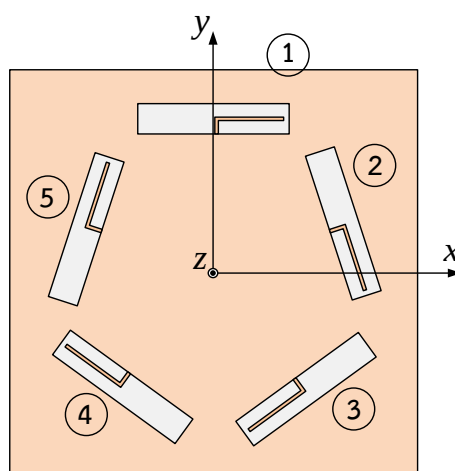
(ก) การรวมสายอากาศจำนวน 2 ตัว



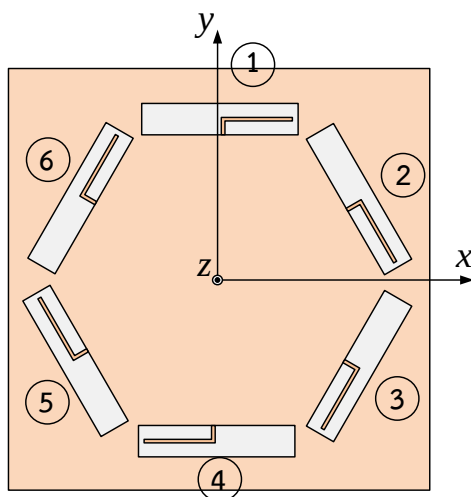
(ข) การรวมสายอากาศจำนวน 3 ตัว



(ค) การรวมสายอากาศจำนวน 4 ตัว

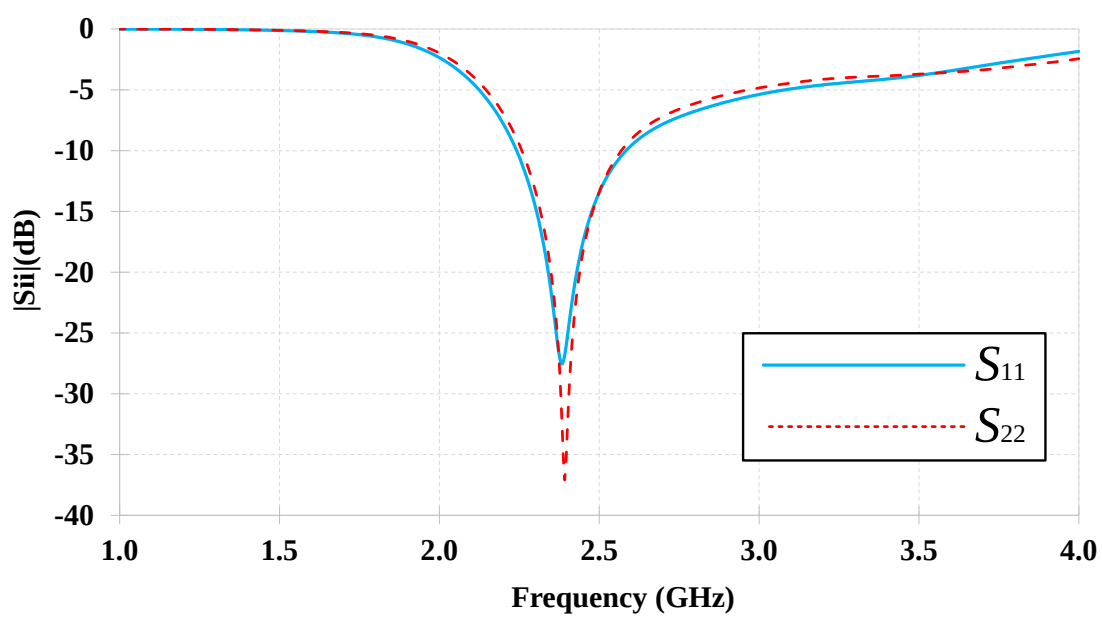


(ง) การรวมสายอากาศจำนวน 5 ตัว

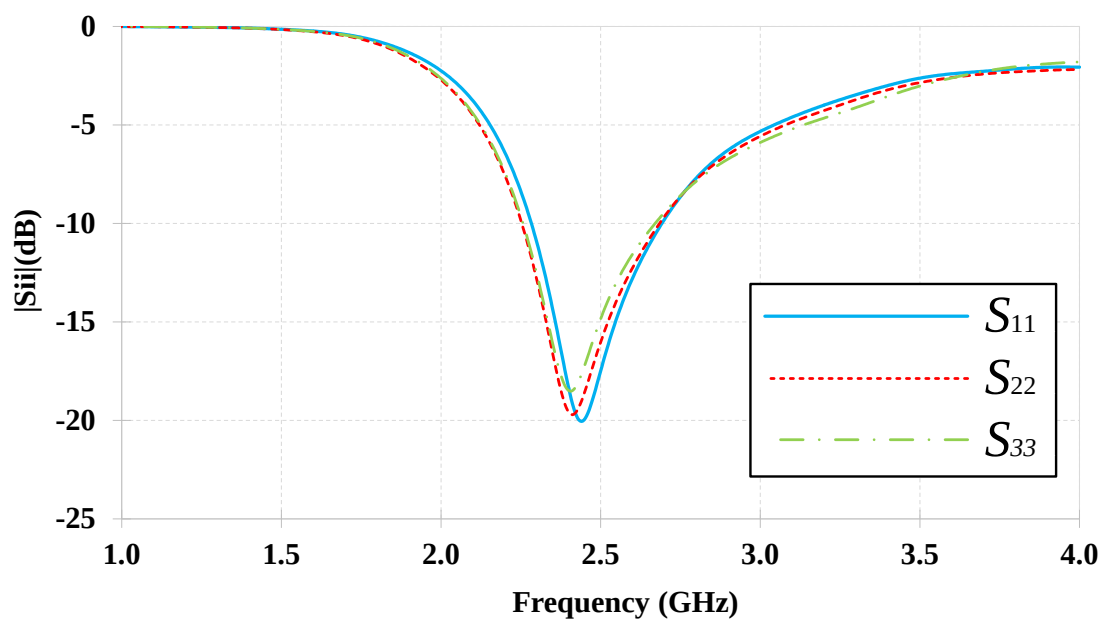


(จ) การรวมสายอากาศจำนวน 6 ตัว

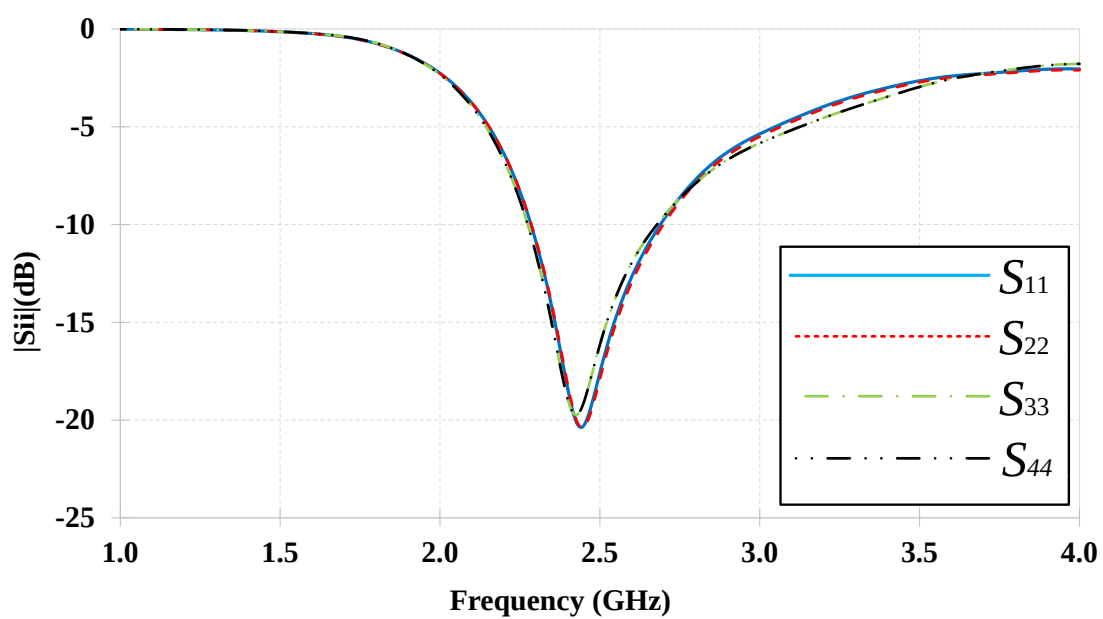
รูปที่ 3.8 การจำลองสายอากาศจำนวน 2 ถึง 6 ตัวเมื่อนำมารวมกัน



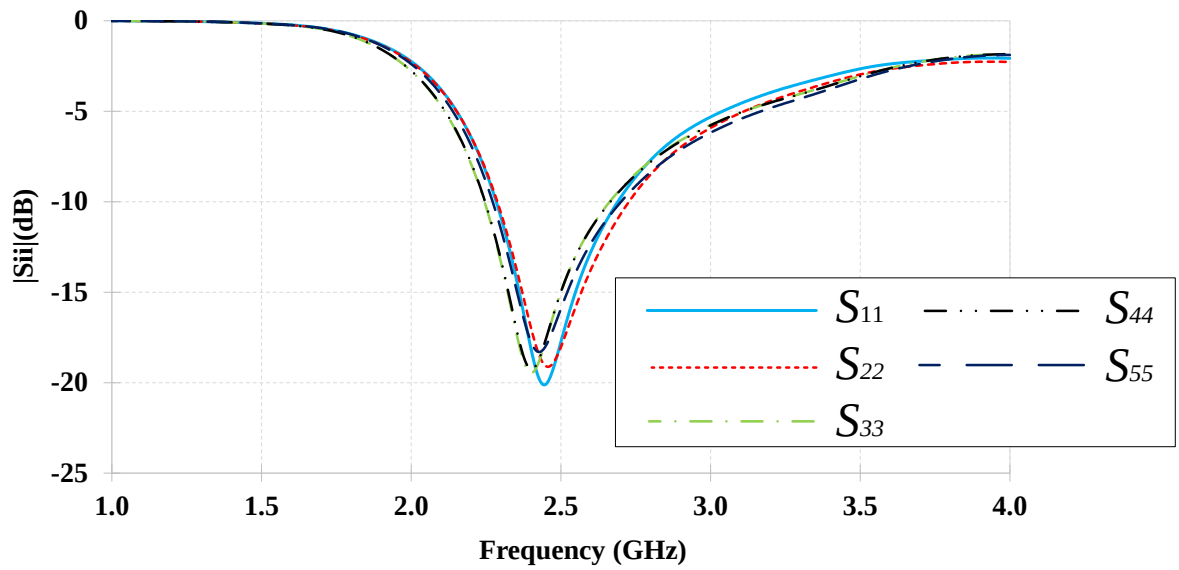
(ก) $|S_{ii}|$ ของสายอากาศที่รวมกัน 2 ตัว



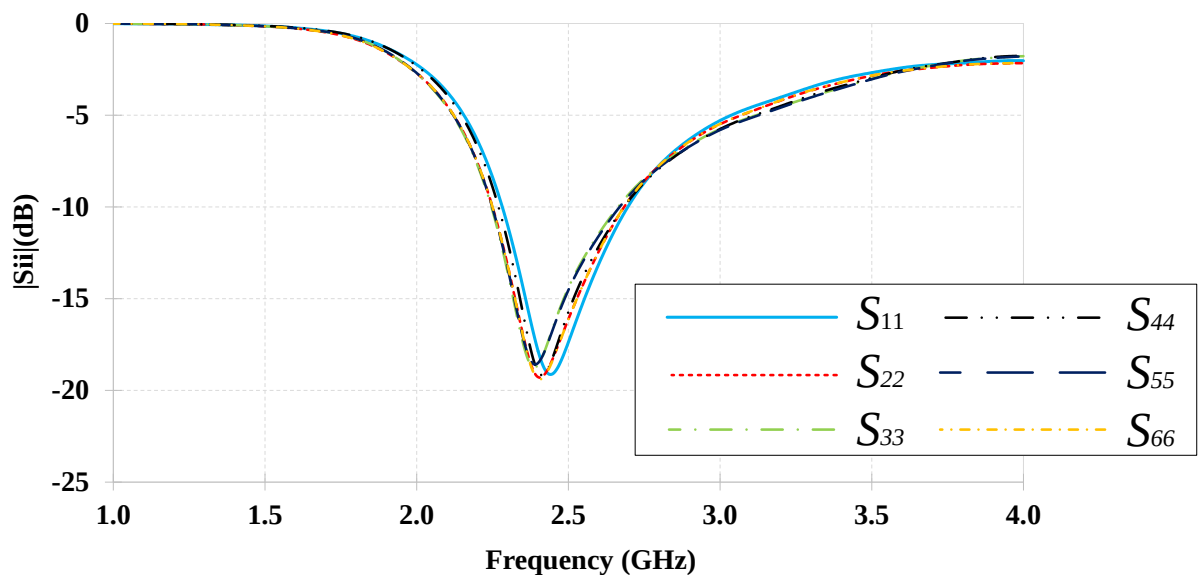
(ข) $|S_{ii}|$ ของสายอากาศที่รวมกัน 3 ตัว



(ค) $|S_{ii}|$ ของสายอากาศที่รวมกัน 4 ตัว



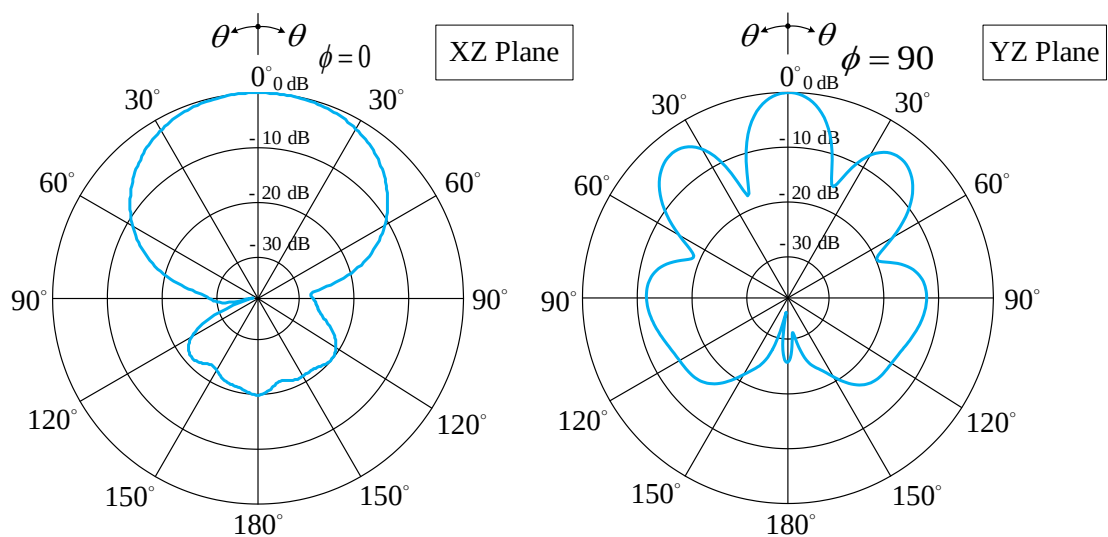
(ง) $|S_{ii}|$ ของสายอากาศที่รวมกัน 5 ตัว



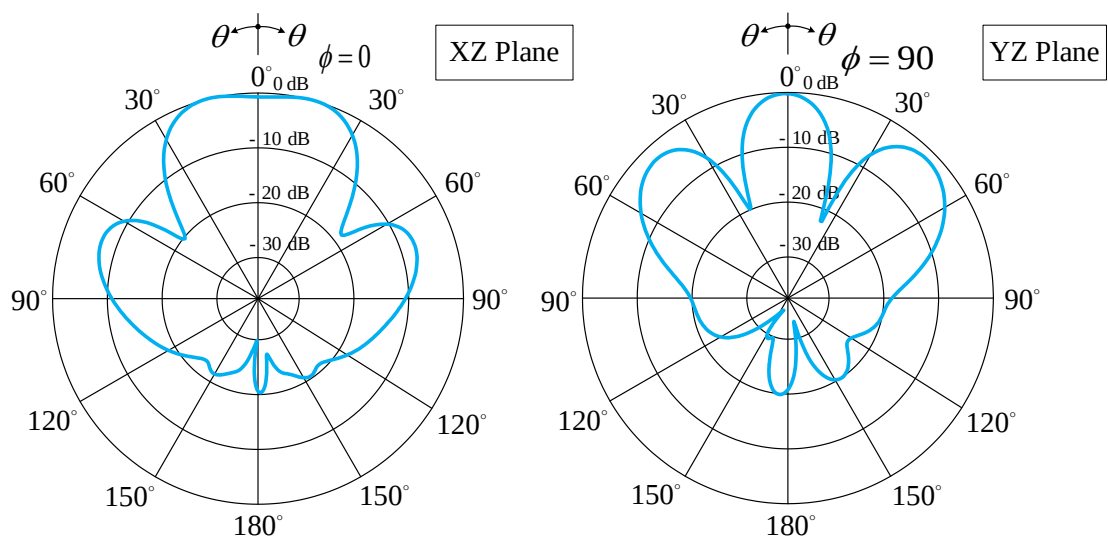
(จ) $|S_{ii}|$ ของสายอากาศที่รวมกัน 6 ตัว

รูปที่ 3.9 การจำลอง $|S_{ii}|$ ของสายอากาศจำนวน 2 ถึง 6 ตัวเมื่อนำมารวมกัน

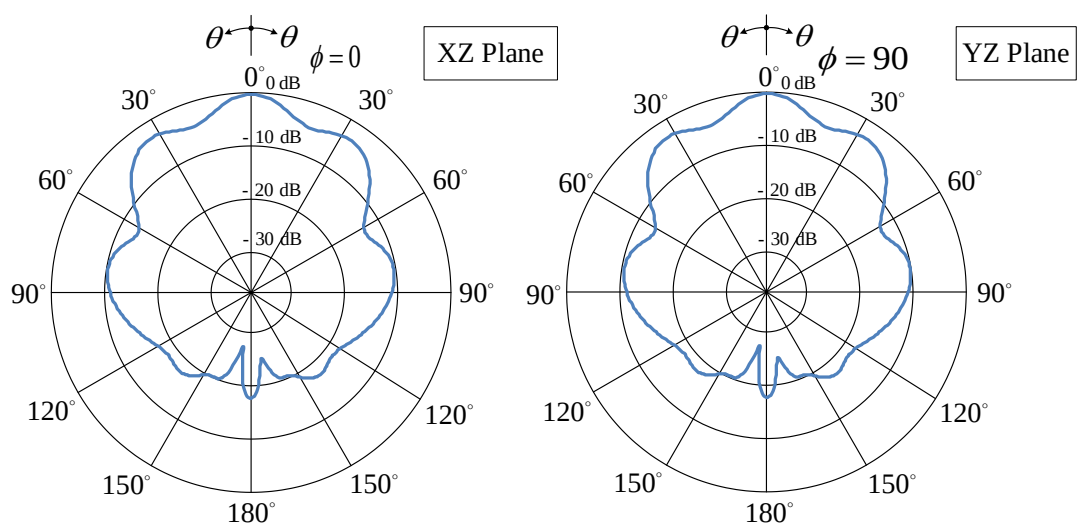
จากรูปที่ 3.9 เป็นการจำลอง $|S_{ii}|$ ของสายอากาศจำนวน 2 ถึง 6 ตัวเมื่อนำมารวมกันจะสังเกตได้ว่า $|S_{ii}|$ ของแต่ละแบบคล้ายคลึงกัน มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือมี $|S_{ii}|$ อยู่ที่ประมาณ -18 dB ถึง -20 dB และยังมีสายอากาศจำนวนหลายตัวมากขึ้นก็จะเกิดการกวนกันมากขึ้นจึงต้องมีระยะห่างของสายอากาศที่เหมาะสม



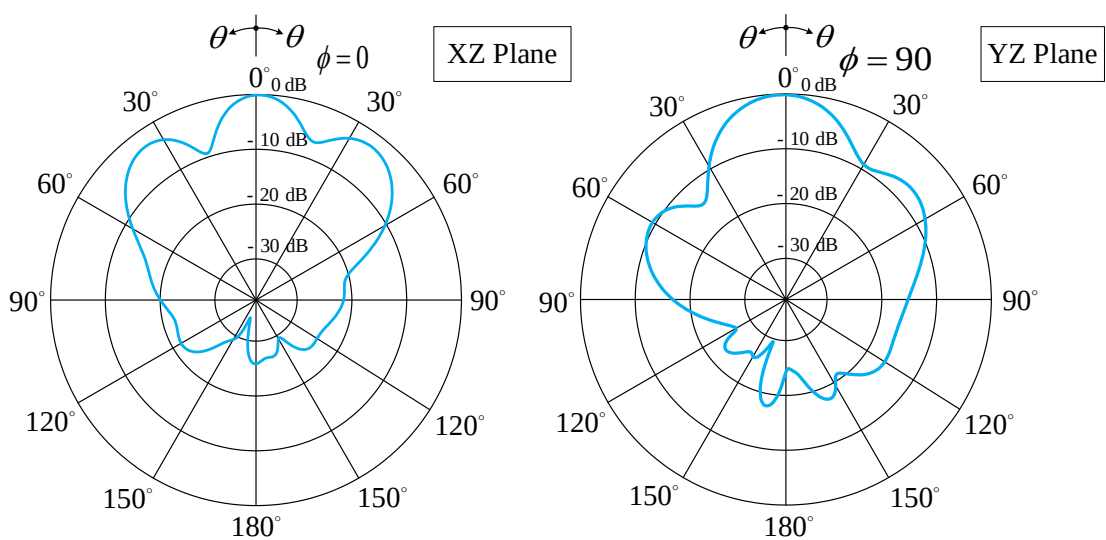
(ก) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเมื่อรวมกัน 2 ตัว



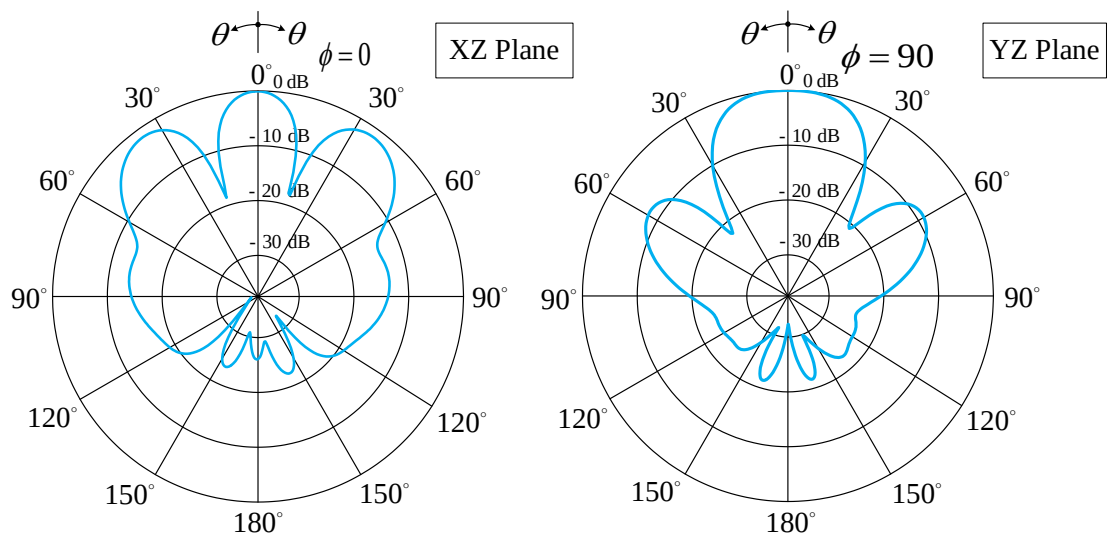
(ข) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเมื่อรวมกัน 3 ตัว



(ค) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเมื่อรวมกัน 4 ตัว



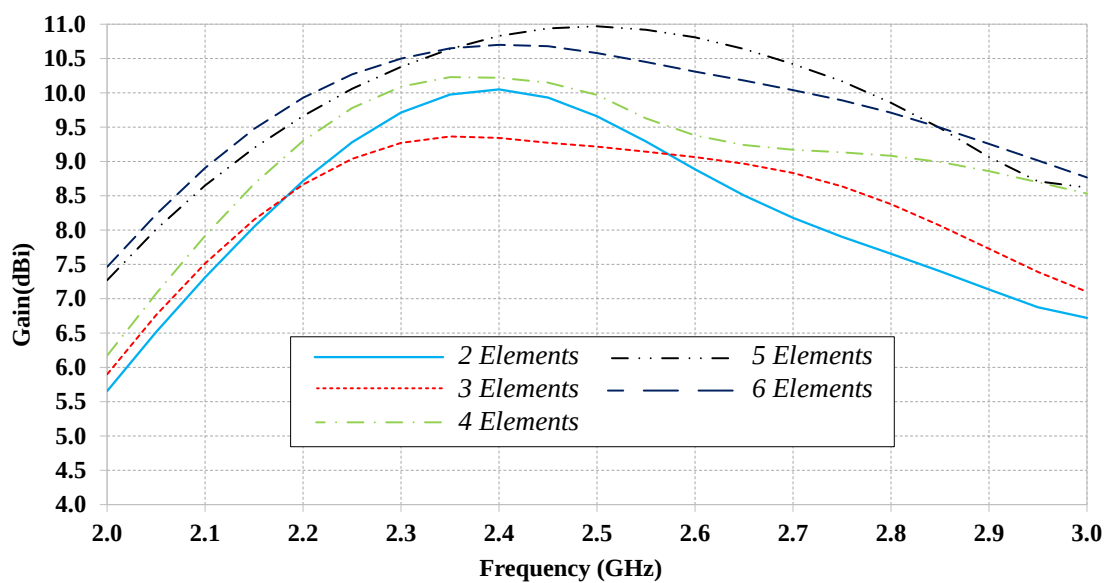
(ง) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเมื่อรวมกัน 5 ตัว



(จ) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเมื่อรวมกัน 6 ตัว

รูปที่ 3.10 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ
จำนวน 2 ถึง 6 ตัวเมื่อนำมารวมกัน

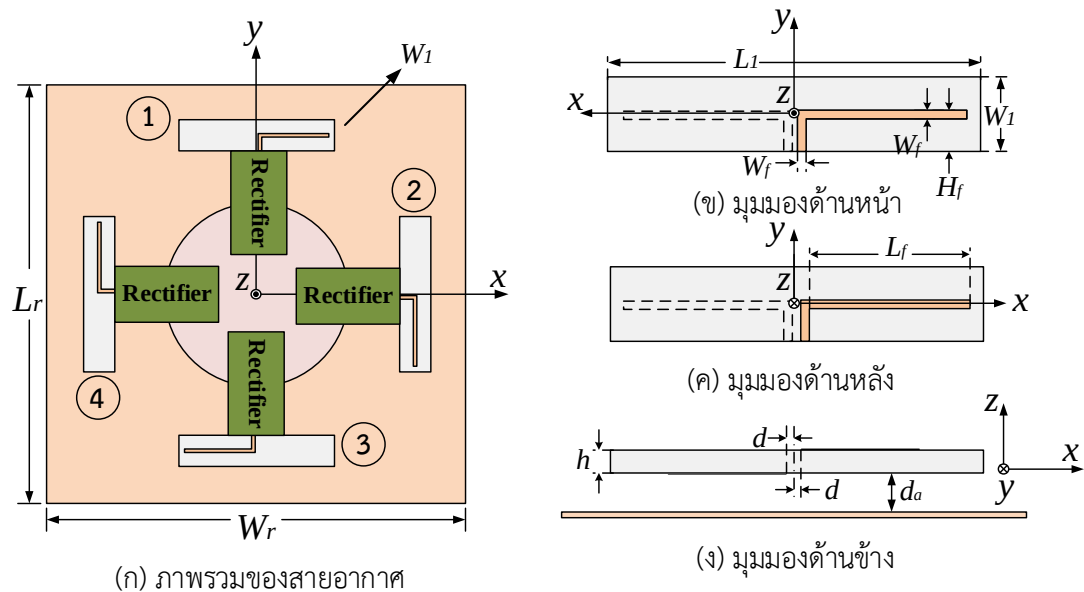
จากรูปที่ 3.10 เป็นผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศจำนวน 2 ถึง 6 ตัวเมื่อนำมารวมกัน สามารถสังเกตได้ว่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแต่ละแบบมีความแตกต่างกันซึ่งเป็นผลจากระยะห่างของสายอากาศแต่ละตัว ยกตัวอย่างเช่นสายอากาศแบบ 2 ตัวรวมกัน ซึ่งตำแหน่งของสายอากาศค่อนข้างห่างกันแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจึงคล้ายกับแบบหนึ่งตัว และแบบ 4 ตัวรวมกันซึ่งโครงสร้างมีความสมมาตรกันแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ xz และ yz มีความคล้ายคลึงกัน



รูปที่ 3.11 ผลการจำลองอัตราขยายของสายอากาศแบบ 2 ถึง 6 ตัว

จากรูปที่ 3.11 คืออัตราขยายของสายอากาศแต่ละแบบเมื่อนำมาเทียบกัน สามารถสังเกตได้ว่าสายอากาศแต่ละแบบมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน สายอากาศแต่ละแบบมีอัตราขยายค่อนข้างสูงคืออยู่ที่ประมาณ 9 dBi ถึง 10 dBi ทั้งนี้เนื่องจากสายอากาศแบบ 4 ตัวรวมกันมีค่า $|S_{ii}|$ ที่สอดคล้องกันคือมีการรวมกันระหว่างสายอากาศน้อย แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นมีความสมมาตรทั้งในระนาบ xz และ yz ไม่เอียงไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง และอัตราขยายอยู่ในช่วงประมาณ 10 dBi ทางผู้จัดทำจึงเลือกสายอากาศแบบ 4 ตัวรวมกันนี้มาปรับปรุงต่อไป

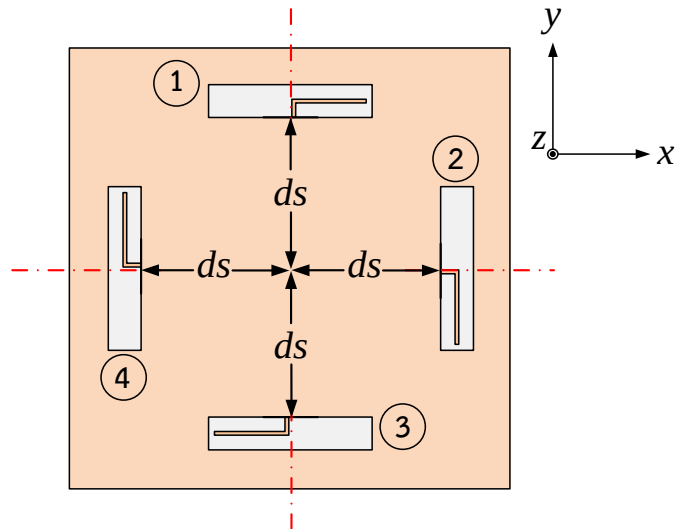
3.6 สายอากาศแถวลำดับสำหรับการส่งผ่านกำลังงานไร้สาย



รูปที่ 3.12 โครงสร้างของสายอากาศเมื่อนำมารวมกัน

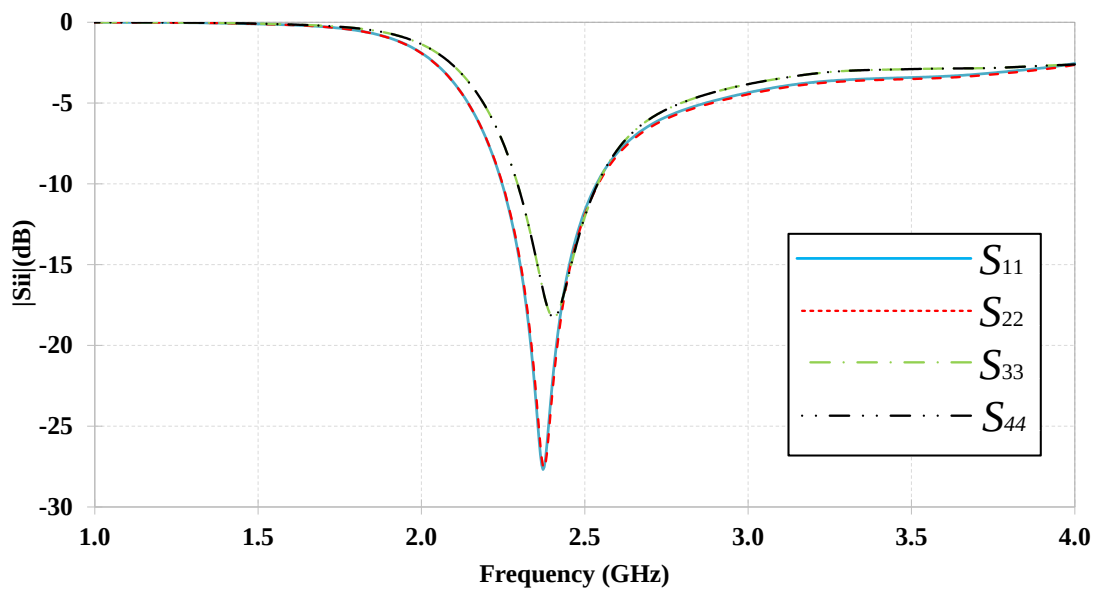
3.6.1 การจำลองหาตำแหน่งที่เหมาะสมของสายอากาศ

หลังจากเมื่อนำสายอากาศทั้งสี่ตัวมารวมกันแล้ว จะต้องหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับวางสายอากาศโดยให้มีความห่างกันโดยจะเริ่มให้อยู่ในช่วงนี้ความยาวคลื่นของความถี่ 2.45 GHz หรือ $\lambda = 12.24$ cm หรือให้อยู่ที่ประมาณ 12cm จึงจะทำการหาระยะที่ 9cm 10cm 11cm 12cm และ 13cm เพื่อดูระยะที่เหมาะสมได้

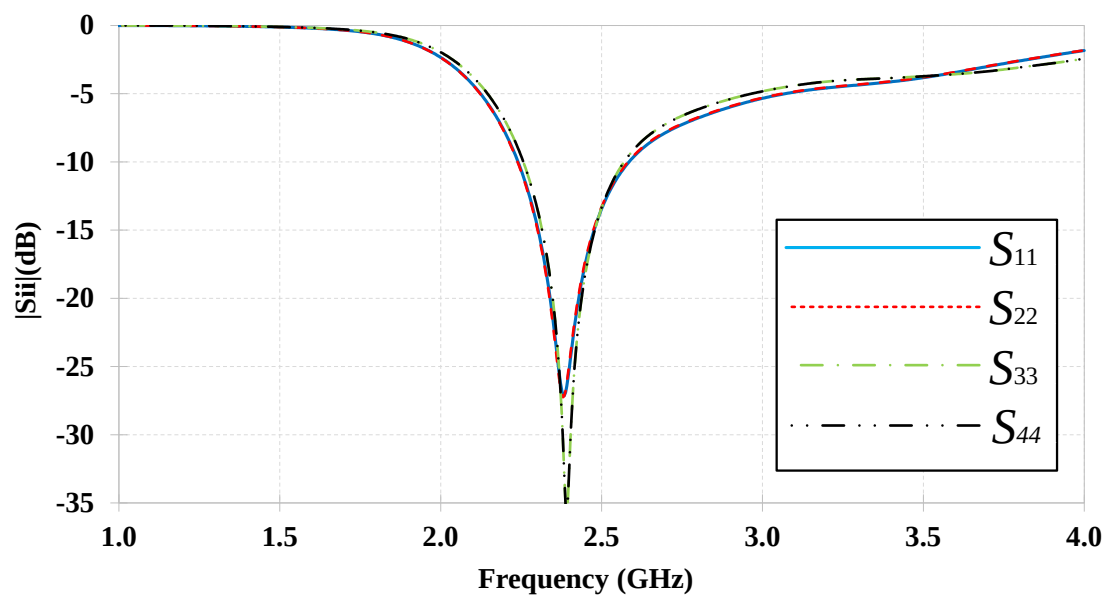


รูปที่ 3.13 การปรับระยะห่างของสายอากาศโดยเริ่มจากจุดศูนย์กลาง

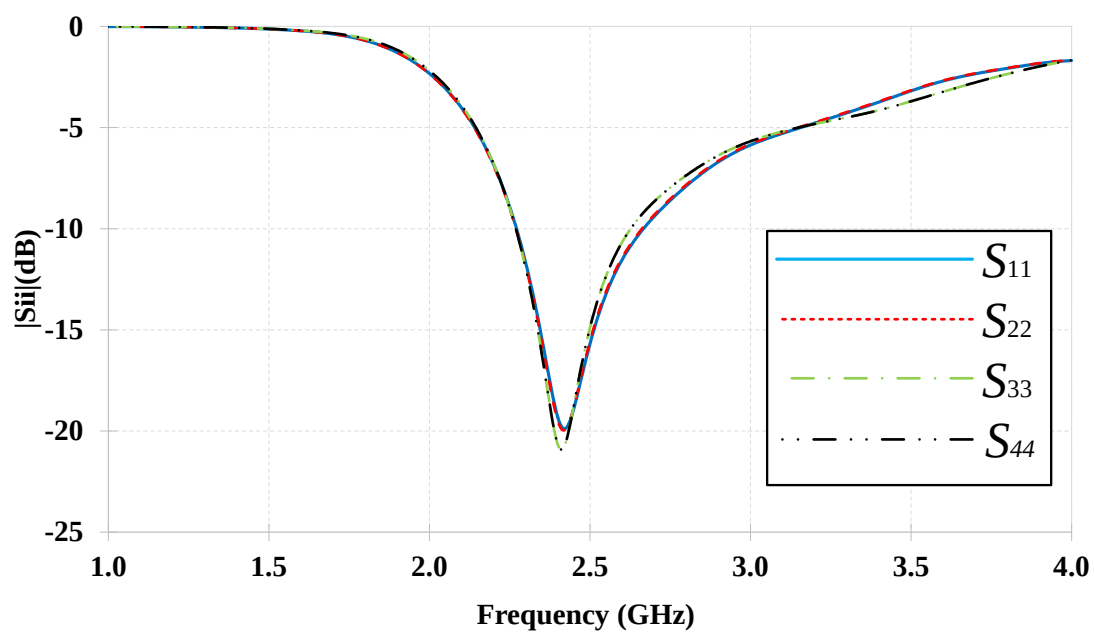
จากรูปที่ 3.13 จะเป็นรูปการหาตำแหน่งที่เหมาะสมของสายอากาศ ว่าสายอากาศใดโพลควรอยู่ตำแหน่งใด ควรมีความห่างจากกันเท่าใด ที่จะมีค่า $|S_{11}|$ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นอัตราขยาย และที่สำคัญสายอากาศแต่ละตัวทำงานไม่กวนกันเอง จึงจะเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดในการวางสายอากาศ โดยจะให้ตัวแปรคือ ds ในการหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด โดยค่า ds นั้นเป็นค่าระยะที่นับจากกึ่งกลางของสายอากาศเรียงกระแสไปจนถึงสายอากาศใดโพลต้นแบบ



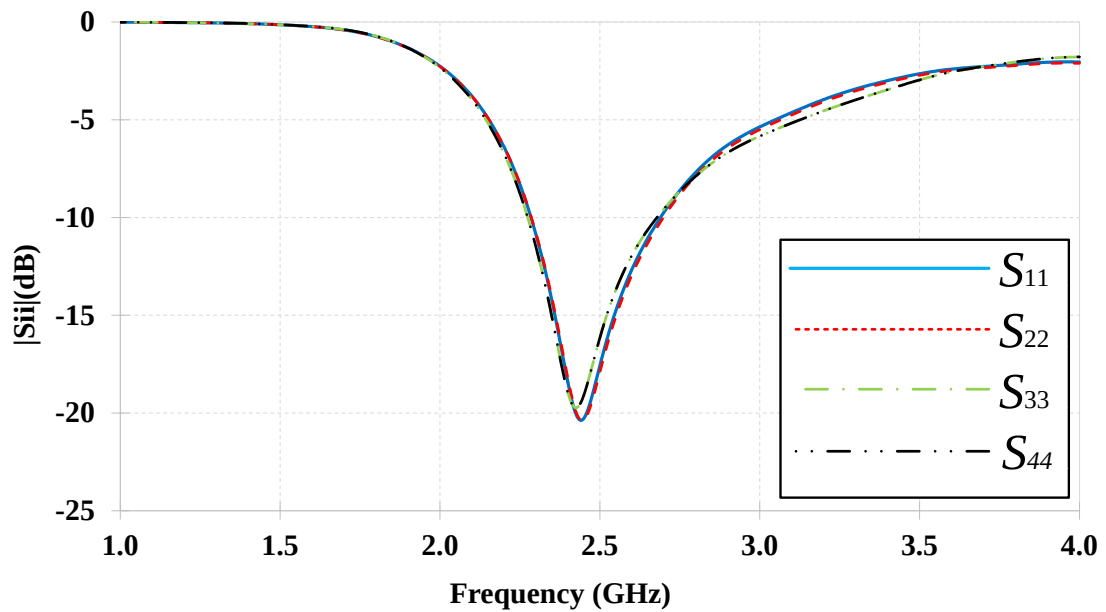
(ก) $|S_{ii}|$ ของสายอากาศที่ระยะ ds เท่ากับ 9cm



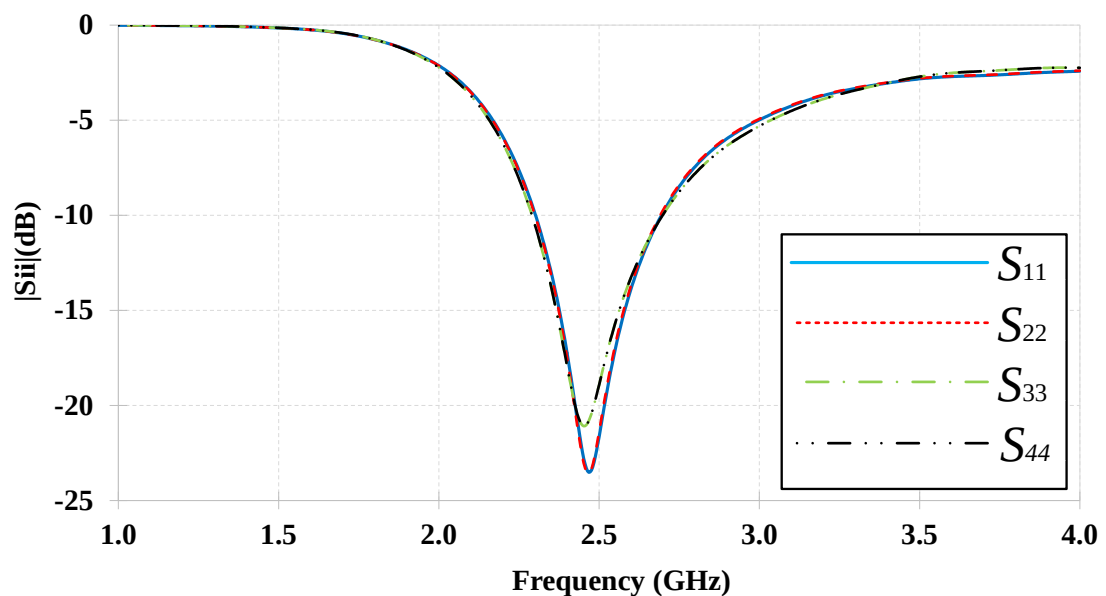
(ข) $|S_{ii}|$ ของสายอากาศที่ระยะ ds เท่ากับ 10cm



(ค) $|S_{ii}|$ ของสายอากาศที่ระยะ ds เท่ากับ 11cm



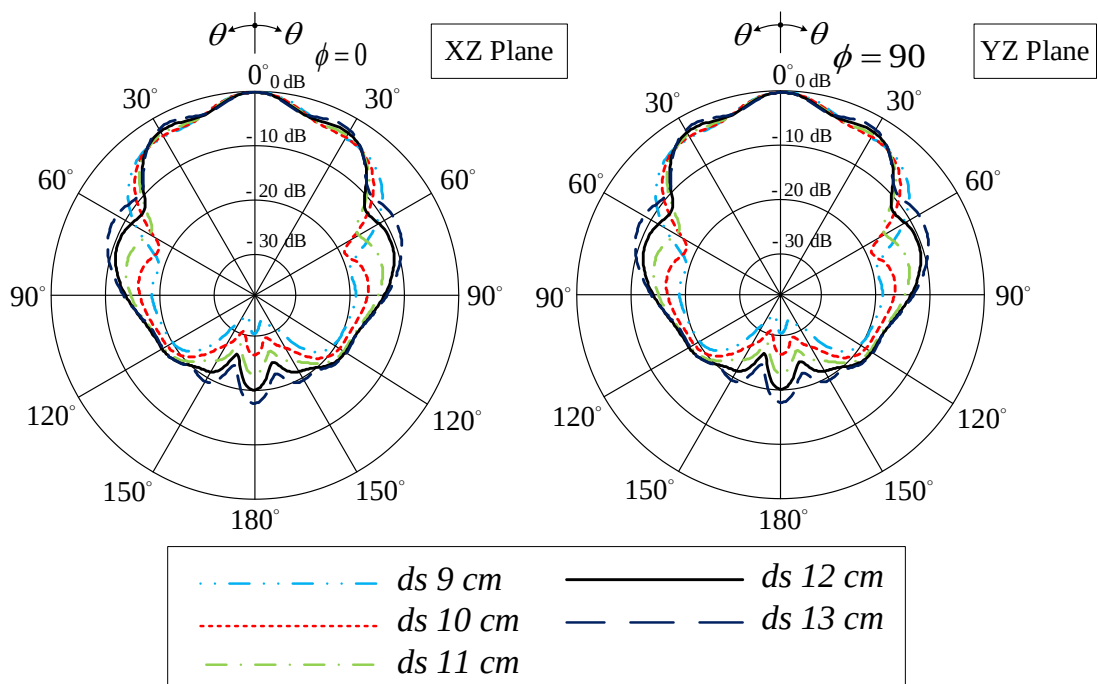
(ง) $|S_{ii}|$ ของสายอากาศที่ระยะ ds เท่ากับ 12cm



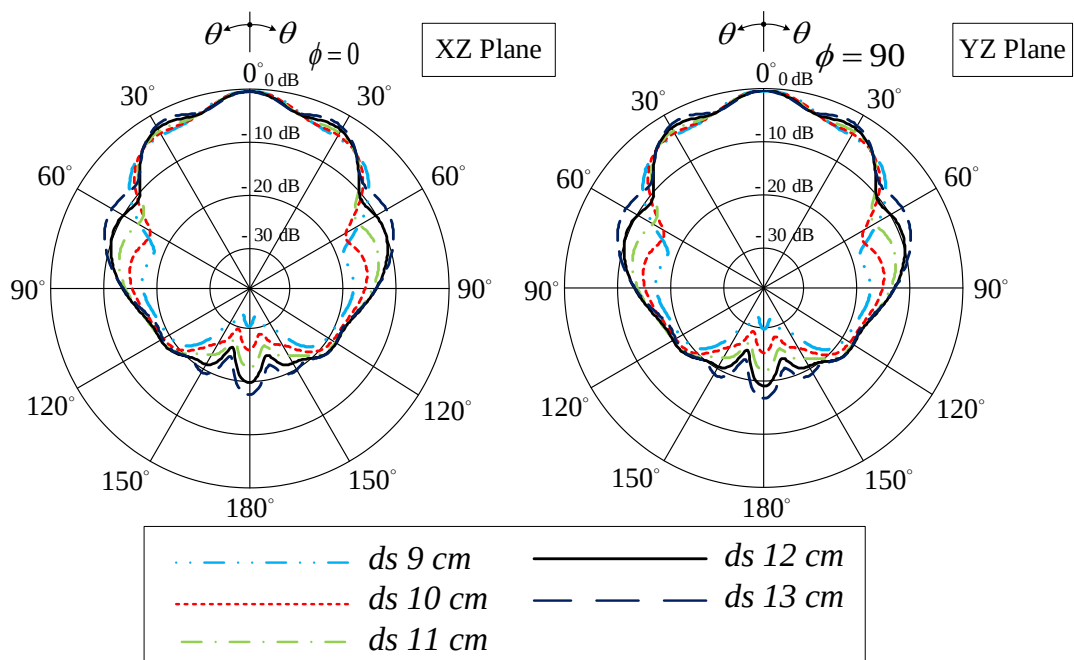
(จ) $|S_{ii}|$ ของสายอากาศที่ระยะ ds เท่ากับ 13cm

รูปที่ 3.14 $|S_{ii}|$ ของสายอากาศที่ระยะ ds ต่างๆตั้งแต่ 9 cm ถึง 13 cm ตามลำดับ

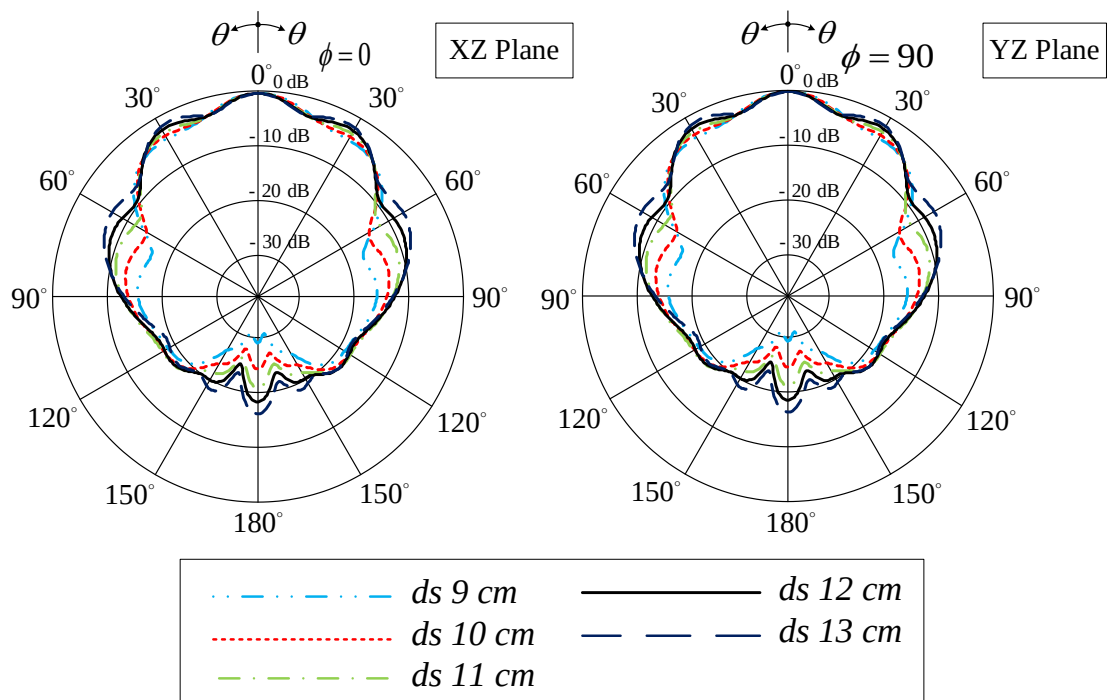
จากรูปที่ 3.14 (ก) ถึง (จ) สังเกตได้ว่า $|S_{ii}|$ ที่ระยะ ds 9 cm และ 10 cm มีค่า $|S_{ii}|$ ที่คลาดเคลื่อนไปจากความถี่กลางและมี $|S_{ii}|$ ที่ต่างกัน เนื่องมาจากระยะของสายอากาศที่ใกล้กันมากเกินไปทำให้เกิดการกวนของสัญญาณเกิดขึ้น จากนั้นที่ระยะ ds 11 cm และ 12 cm มีค่า $|S_{ii}|$ ที่ค่อนข้างมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากสายอากาศแต่ละตัวมีการกวนกันน้อยซึ่งใกล้เคียงกับความยาวคลื่น $\lambda = 12.24$ cm



(ก) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ระยะ ds ต่างในความถี่ 2.40 GHz



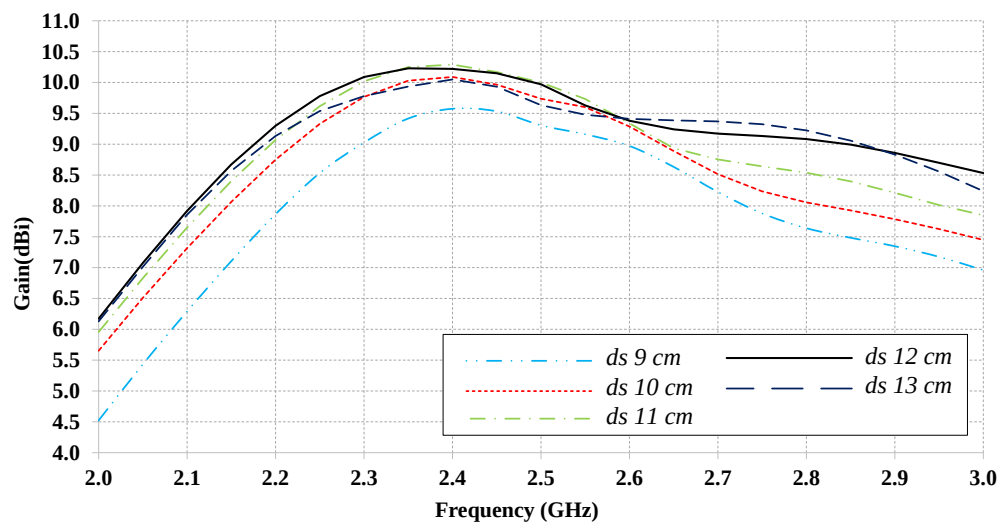
(ข) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ระยะ ds ต่างในความถี่กลาง 2.45 GHz



(ค) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ระยะ ds ต่างในความถี่ปลาย 2.50 GHz

รูปที่ 3.15 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ระยะ ds ต่างๆ

จากรูปที่ 3.15 เป็นการเปรียบเทียบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ ds ในระยะต่างๆ ตั้งแต่ความถี่ต้นที่ 2.40 GHz ความถี่กลางที่ 2.45 GHz และความถี่ปลายที่ 2.50 GHz สามารถสังเกตได้ว่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน และในระนาบ xz และ yz ในแต่ละระยะมีความคล้ายคลึงกันมากเนื่องจากสายอากาศมีความสมมาตรกันทั้งในระนาบ xz และ yz นั้นเอง แต่จะมีลำคลื่นที่แตกต่างกันบ้างเล็กน้อยในแต่ละระยะ ส่งผลถึงอัตราขยายซึ่งจะนำเสนอต่อไป



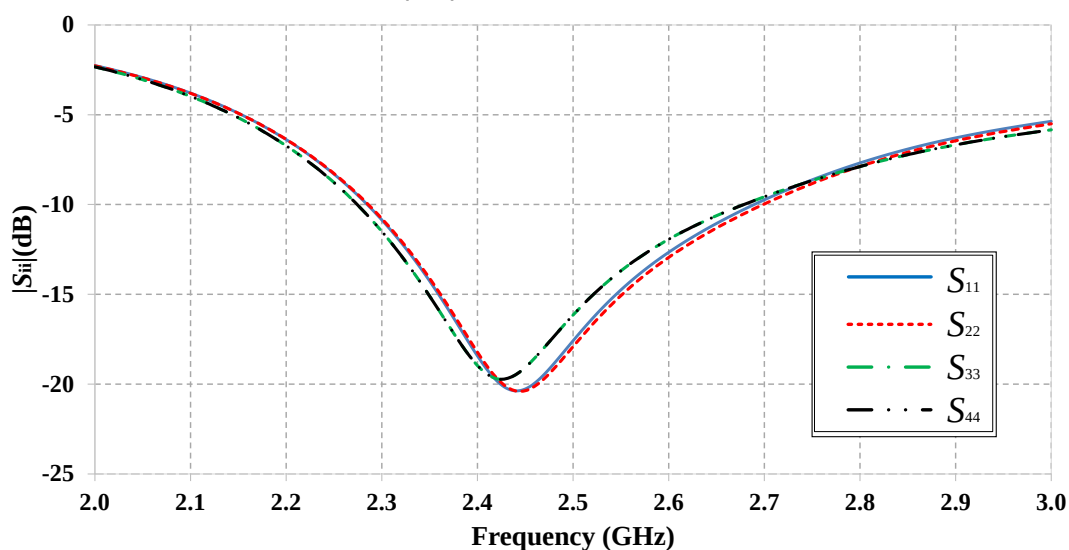
รูปที่ 3.16 อัตราขยายที่ระยะ ds ต่างๆ

จากรูปที่ 3.16 เป็นการเปรียบเทียบอัตราขยายที่ ds ในระยะต่างๆ สามารถสังเกตได้ว่า อัตราขยายมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือมีอัตราขยายสูงในย่านความถี่ใช้งานคือ 2.4 GHz ถึง 2.5 GHz ดังนั้นทางผู้จัดทำจึงได้เลือกระยะ ds ที่ 12 cm เนื่องจากสอดคล้องกับระยะของความยาวคลื่น ค่า $|S_{ii}|$ ของสายอากาศไดโพลต้นแบบแต่ละตัวมีความคล้ายคลึงกัน ส่วนแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบทิศทางเดียว มีแบนด์วิดธ์ในระนาบ xz และ yz มีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังเป็น 29.5 องศา และมีมีอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลัง 18.72 dB มีอัตราขยายที่ความถี่กลาง 2.45GHz อยู่ที่ประมาณ 10.1 dBi

ตารางที่ 3.5 พารามิเตอร์ของสายอากาศแฉกลำดับสี่องค์ประกอบเมื่อทำการหาค่าที่เหมาะสมจากการจำลอง

พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ(mm)
W_1	13
L_1	65
W_f	1.5
L_f	20
H_f	5
d	0.63
d_a	37
h	1.5
ds	120

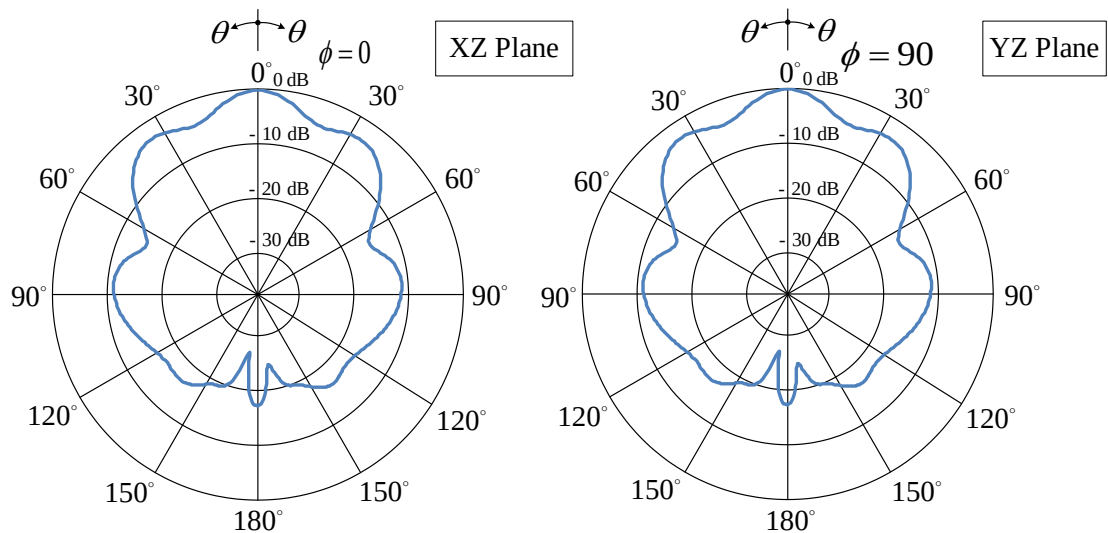
3.6.2 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศทั้งสี่องค์ประกอบ



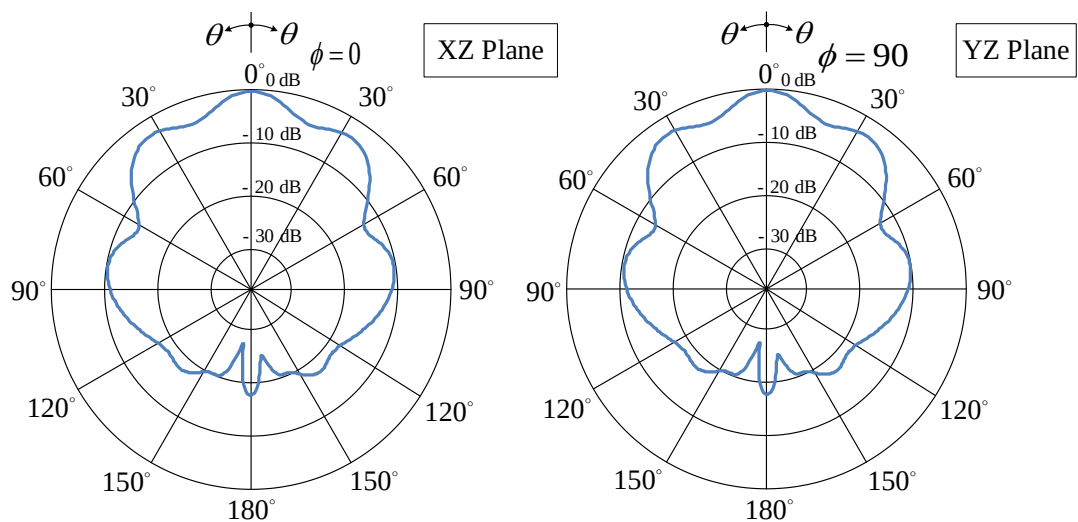
รูปที่ 3.17 $|S_{ii}|$ ของสายอากาศทั้งสี่องค์ประกอบเมื่อต่อรวมกันแล้วเทียบกับความถี่

จากรูปที่ 3.17 สายอากาศมีย่านความถี่ที่ $|S_{11}|$ ต่ำกว่า -10 dB ตั้งแต่ 2.28 GHz ถึง 2.68 GHz โดย $|S_{11}|$ ต่ำสุดประมาณ -20 dB อยู่ที่ความถี่ 2.44 GHz ซึ่งครอบคลุมความถี่ที่ต้องการ คือ ตั้งแต่ 2.44 GHz ถึง 2.5 GHz และสายอากาศทั้งสองประกอบไปในทิศทางเดียวกัน

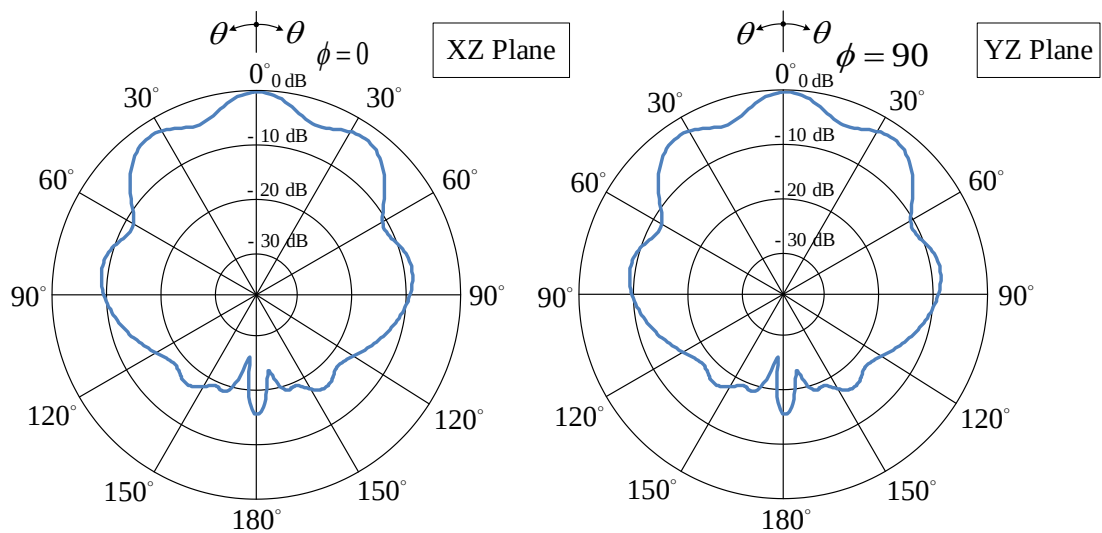
3.6.3 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ



(ก) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 2.40 GHz



(ข) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 2.45 GHz

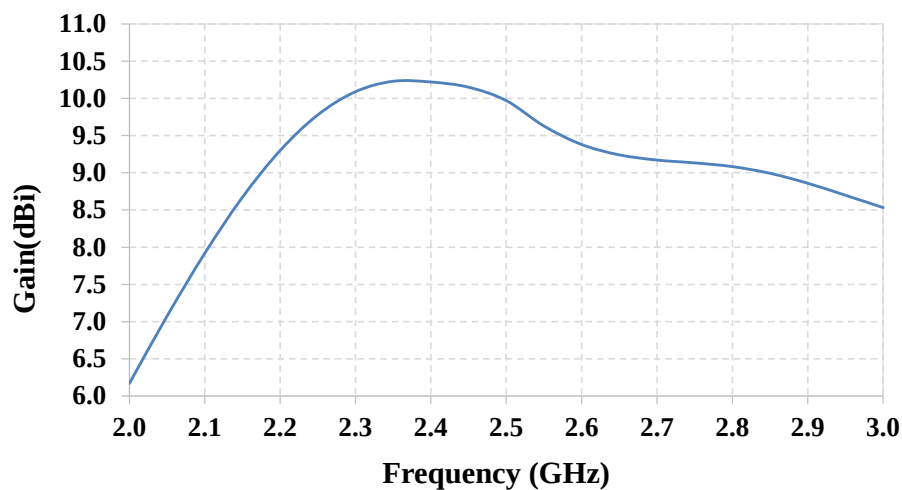


(ค) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 2.50 GHz

รูปที่ 3.18 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

จากรูปที่ 3.18 สายอากาศมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียว มีแบนด์วิดธ์ในระนาบ XZ และ YZ ที่ความถี่ 2.40 GHz 2.45 GHz และ 2.50 GHz มีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังเป็น 29.9 องศา 29.5 องศา และ 29.2 องศา ตามลำดับ และมีอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลังเท่ากับ 23.2 dB 24.5 dB และ 25.5 ตามลำดับ

3.6.4 ผลการจำลองอัตราขยายของสายอากาศ



รูปที่ 3.19 ผลการจำลองอัตราขยายของสายอากาศเทียบกับความถี่

จากรูปที่ 3.19 แสดงผลการจำลองอัตราขยายของสายอากาศ โดยสายอากาศมีอัตราขยายมากที่สุดที่ความถี่ 2.3-2.5 GHz โดยประมาณเท่ากับ 10.1 dBi ซึ่งอยู่ในช่วงความถี่ที่ต้องการ

3.7 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอการออกแบบและการจำลองของสายอากาศ โดยได้เริ่มจากการคำนวณตามทฤษฎีเพื่อหาขนาดของสายอากาศเริ่มต้น และทำการปรับปรุงโครงสร้างของสายอากาศให้มีคุณลักษณะที่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้บนเทคโนโลยี WLAN ซึ่งคุณลักษณะของสายอากาศที่ได้ทำการจำลองประกอบไปด้วย $|S_{11}| \leq -10$ dB ในความถี่ที่ต้องการใช้งาน โดยเริ่มจากการจำลองสายอากาศไดโพลแบบตัวเดียวก่อน พอได้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมแล้วจึงนำเอาสายอากาศไดโพลต้นแบบมาลองต่อเรียงกันตั้งแต่แบบที่มีสายอากาศไดโพลต้นแบบจำนวน 2 ตัวไปจนถึง 6 ตัวเพื่อที่จะศึกษาผลกระทบของ $|S_{11}|$ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น และอัตราขยายของสายอากาศแต่ละแบบเพื่อทำการตัดสินใจในการเลือกใช้ ออกแบบสายอากาศต่อไปได้

จากนั้นได้เลือกสายอากาศแบบที่มีโครงสร้างที่ใช้สายอากาศไดโพลต้นแบบจำนวน 4 ตัวต่อตั้งฉากกันเพื่อที่จะเพิ่มโอกาสในการรับสัญญาณให้ได้มากที่สุด จากนั้นทำการหาตำแหน่งระยะห่างของสายอากาศไดโพลต้นแบบจากจุดศูนย์กลางเพื่อไม่ให้สายอากาศแต่ละตัวมีกวนกันเกิดขึ้น โดยผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศไดโพลสามารถใช้งานได้ในช่วงความถี่ 2.4 GHz ถึง 2.5 GHz และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น เป็นแบบทิศทางเดียว โดยมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบ xz และ yz เป็น 29.5 องศา และโครงสร้างของสายอากาศเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยมีไดโพลอยู่ทั้งสี่ด้านเท่าๆกัน ทำให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นมีความสมมาตร ส่วนอัตราขยายของสายอากาศโดยมีอัตราขยายเป็น 10.1 dBi