

บทที่ 3

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

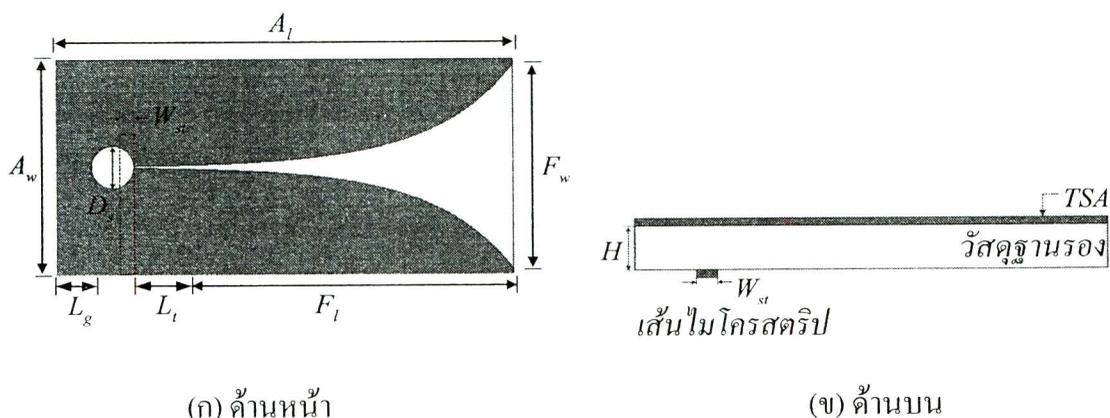
สายอากาศไมโครสตริปเป็นสายอากาศที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากสำหรับการประยุกต์ใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย ซึ่งโดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปได้สามส่วน ได้แก่ (1) ส่วนบนจะเป็นแผ่นตัวนำที่ใช้สำหรับการแพร่กระจายคลื่น (2) ส่วนที่เป็นวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริกซึ่งคั่นกลางระหว่างระนาบกราวด์และแผ่นตัวนำ และ (3) ระนาบกราวด์ สำหรับแผ่นตัวนำโดยทั่วไปมักจะมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากหรือวงกลม สายอากาศไมโครสตริปมีความสะดวกในการสร้างลงในแผ่นวงจรพิมพ์ โดยที่แผ่นตัวนำจะถูกวางไว้ที่ด้านหนึ่งของแผ่นวงจรพิมพ์ และอีกด้านหนึ่งจะทำหน้าที่เป็นแผ่นระนาบกราวด์ สำหรับความแม่นยำของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรองถือว่ามีความสำคัญมาก เนื่องจากเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเดินทางของคลื่น ความถี่เรโซแนนซ์ และคุณลักษณะการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ ในการป้อนกำลังให้แก่สายอากาศไมโครสตริปสามารถทำการป้อนกำลังได้หลายวิธี แต่ที่นิยมใช้มีอยู่ด้วยกันสี่วิธี ได้แก่ เส้นไมโครสตริป (microstrip line) เส้นแกนร่วม (coaxial line) โพรบแกนร่วม (coaxial probe) และอะเพอเจอร์เจอร์เชื่อมต่อนอ (aperture coupling) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เน้นในส่วนของการป้อนกำลังด้วยเส้นไมโครสตริป โดยตัวป้อนกำลังที่นำมาต่อกับสายอากาศควรมีค่าอิมพีแดนซ์ของสายเคเบิลเท่ากับอิมพีแดนซ์ของสายอากาศด้วย โดยสายนำสัญญาณที่จะต่อเข้ากับเครื่องมือวัดและทดสอบสายอากาศนั้น ส่วนใหญ่จะมีอิมพีแดนซ์เท่ากับ 50 โอห์ม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการแมตช์อิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศไมโครสตริปให้มีค่าเท่ากับ 50 โอห์ม ในการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปมีพารามิเตอร์ที่จำเป็นต้องคำนึงถึง ได้แก่ ความถี่ปฏิบัติงานของสายอากาศ (operating frequency : f_c) ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรอง (dielectric constant : ϵ_r) และความสูงของไดอิเล็กตริกหรือความสูงของวัสดุฐานรอง (high : h)

3.1 สายอากาศร่องแบบเรียว

สายอากาศร่องแบบเรียวหรือสายอากาศรอยบาก (notch antenna) เป็นสายอากาศไมโครสตริปซึ่งจัดว่าเป็นสายอากาศประเภทคลื่นจร (traveling-wave antennas) สายอากาศร่องแบบเรยวนั้นมีข้อดีหลายประการ อาทิเช่น มีโครงสร้างที่ง่าย น้ำหนักเบา ออกแบบ สร้างและติดตั้งเพื่อใช้งานได้ง่าย และสามารถใช้งานร่วมกับ MICs (microwave integrated circuits) ได้ เนื่องจากสายอากาศมีลักษณะที่เป็นร่องแบบเรียว จึงเหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการความถี่ปฏิบัติการที่มีแถบความถี่กว้าง

3.1.1 โครงสร้างของสายอากาศร่องแบบเรียว

สายอากาศร่องแบบเรยวนั้นมีด้วยกันหลายรูปแบบดังได้กล่าวในบทที่ 2 โดยทุกรูปแบบจะมีแบบรูปการแผ่พลังงานที่เหมือนกัน จะแตกต่างกันก็เพียงแต่พื้นที่ของการแผ่พลังงานเท่านั้นเนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูลในการออกแบบสายอากาศร่องแบบเรียวรูปแบบต่าง ๆ ดังนั้นจึงมีเพียงสายอากาศร่องแบบเรียวที่เป็นร่องเรียวแบบเส้นโค้งเอกซ์โพเนนเชียลและร่องเรียวแบบเส้นตรงเท่านั้นที่ได้มีการศึกษาอย่างกว้างขวาง (Kai Fong Lee, and Wei Chen, 1997) งานวิจัยนี้ได้นำสายอากาศร่องแบบเรียวที่มีรูปร่างของร่องเรียวแบบโค้งแบบเอกซ์โพเนนเชียลหรือสายอากาศวิวลติ สำหรับการประยุกต์ใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงของความกว้างลำคลื่นกับมุมการเปิดที่ชัดเจนและแบบรูปของอิลิเมนต์จะมีจุดศูนย์ (null) น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับร่องเรียวแบบเส้นตรง (Amena Kauser Syeda, 2006) รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างของสายอากาศร่องแบบเรียว ซึ่งถูกสร้างด้วยวัสดุที่เป็นไมโครสตริปที่ประกอบด้วยร่องเรียวที่โค้งแบบเอกซ์โพเนนเชียลบนแผ่นโลหะมีวัสดุฐานรองกึ่งกลางซึ่งมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ϵ_r และมีความสูง h โดยป้อนกำลังเข้าที่ด้านหลังของสายอากาศ



รูปที่ 3.1 โครงสร้างสายอากาศร่องแบบเรียว

สามารถหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้จาก (Amena Syeda, 2006)

- A_l คือ ความยาวของสายอากาศ (antenna length) ควรมีค่ามากกว่าความยาวคลื่น
- A_w คือ ความกว้างของสายอากาศ (antenna width) ควรมีค่ามากกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นที่ความถี่ต่ำสุด
- F_l คือ ความยาวของร่อง (flared slotline length) ควรมีค่าเท่ากับความยาวคลื่นที่ความถี่ต่ำสุด

- F_w คือ ความกว้างของร่อง (flared slotline width) ควรมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นที่ความถี่ต่ำสุด
- D_s คือ เส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมของสตัป (diameter of circular slot stub) ควรมีค่าเท่ากับหนึ่งในสี่ของความยาวคลื่นของร่อง
- L_t คือ ความยาวของส่วนที่เป็นเส้นตรงของร่อง (length of uniform section of slotline)
- L_g คือ ความยาวชดเชยด้านหลังสตัป (backwall offset)
- W_{st} คือ ความกว้างของเส้นไมโครสตริป (microstrip line width)
- H คือ ความสูงของวัสดุฐานรอง (substrate height)

สามารถคำนวณหาสมการความโค้งเอกซ์โพเนนเชียลได้จากสมการ

$$y = C_1 e^{Rz} + C_2 \quad (2.1)$$

โดยที่

$$C_1 = \frac{y_2 - y_1}{e^{Rz_2} - e^{Rz_1}} \quad (2.2)$$

และ

$$C_2 = \frac{y_1 e^{Rz_2} - y_2 e^{Rz_1}}{e^{Rz_2} - e^{Rz_1}} \quad (2.3)$$

เมื่อ $P_1(y_1, z_1)$ คือ จุด (y_1, z_1) จุดแรกที่เริ่มโค้งเอกซ์โพเนนเชียล

$P_2(y_2, z_2)$ คือ จุด (y_2, z_2) จุดสุดท้ายของเส้นโค้งเอกซ์โพเนนเชียล

ดังนั้นจึงสามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์อ้างอิงต่าง ๆ ของสายอากาศร่องแบบเรียวแสดงได้ดังต่อไปนี้ เมื่อกำหนดให้มีความถี่ปฏิบัติการในช่วง 2 GHz ถึง 6 GHz และป้อนกำลังงานด้วยเส้นไมโครสตริป 50 โอห์ม

ความยาวของร่อง หรือ F_l หาได้จาก

$$F_l = \lambda_0 = \frac{C}{f_{\min}} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{2 \times 10^9 \text{ Hz}} = 150 \text{ mm}$$

ความกว้างของร่อง หรือ F_w หาได้จาก

$$F_w = \frac{\lambda_0}{2} = \frac{C}{2 \times f_{\min}} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{2 \times (2 \times 10^9) \text{ Hz}} = 75 \text{ mm}$$

ความยาวของสายอากาศ หรือ A_l หาได้จาก

$$A_l = F_l + \frac{\lambda_0}{4} = 150 + \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{4 \times (2 \times 10^9) \text{ Hz}} = 187.5 \text{ mm}$$

ความกว้างของสายอากาศ หรือ A_w เมื่อกำหนดให้ จุดสุดท้ายของร่องเรียว (end of the tapered) กว้างเท่ากับ 2 มิลลิเมตร จะได้

$$A_w = F_w + 2(\text{end of the taper}) = 75 + 2(2) = 79 \text{ mm}$$

เส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมของสตัป หรือ D_s หาได้จาก

$$D_s = \frac{\lambda_s}{4} = \frac{\left(\frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \epsilon_r \mu_0 \mu_r}} \right)}{4 \times f_{\min}} = \frac{\left(\frac{1}{\sqrt{(4\pi \times 10^{-7})(4.4)(1)(8.854 \times 10^{-12})}} \right)}{4 \times 2 \times 10^9 \text{ Hz}} = 17.86 \text{ mm}$$

ความยาวของส่วนที่เป็นเส้นตรงของร่อง หรือ L_l และ ความยาวชดเชยด้านหลังสตัป หรือ L_g

เมื่อกำหนดให้ $L_l = L_g$ จะได้

$$L_g = L_l = \frac{\left(\frac{\lambda_0}{4} - D_s \right)}{2} = \frac{\left(\frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{4 \times 2 \times 10^9 \text{ Hz}} - 17.86 \right)}{2} = 9.82 \text{ mm}$$

ความกว้างของเส้นไมโครสตริป หรือ W_{st} หาได้จาก

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

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

เมื่อ $f = 2.45$ GHz, $H = 1.6$ mm, $Z_0 = 50 \Omega$, $\epsilon_r = 4.4$

และ $\lambda_0 = \frac{V}{f} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{2.45 \times 10^9 \text{ Hz}} = 122.45$ mm

ดังนั้นจะได้

$$H' = \left(\frac{50 \sqrt{2(4.4 + 1)}}{119.9} \right) + \frac{1}{2} \left(\frac{4.4 - 1}{4.4 + 1} \right) \left(\ln \frac{\pi}{2} + \frac{1}{4.4} \ln \frac{4}{\pi} \right) = 1.53$$

$$\frac{W_1}{(1.6 \times 10^{-3} \text{ m})} = \left(\frac{(\exp(1.53))}{8} - \frac{1}{4 \exp(1.53)} \right)^{-1}$$

$$W_1 = 3.02 \text{ mm}$$

จากค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้ทั้งหมด แสดงได้ดังตารางที่ 3.1 ซึ่งเป็นค่าพารามิเตอร์อ้างอิงของสายอากาศร่องแบบรีเวว

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์อ้างอิงของสายอากาศร่องแบบรีเวว

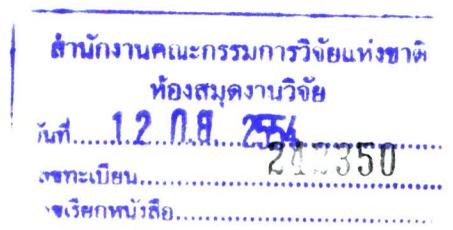
พารามิเตอร์ของสายอากาศร่องแบบรีเวว	ขนาด (mm)
A_l : ความยาวของสายอากาศ	187.5
A_w : ความกว้างของสายอากาศ	79
F_l : ความยาวของร่อง	150
F_w : ความกว้างของร่อง	75
R_a : อัตราความโค้งของร่องรีเววเอกซ์โพเนนเชียล	3
L_g : ความยาวชดเชยด้านหลังสตัป	9.82
L_l : ความยาวของส่วนที่เป็นเส้นตรงของร่อง	9.82
H : ความสูงของวัสดุฐานรอง	1.6
D_s : เส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมของสตัป	17.86
W_{st} : ความกว้างของเส้นไมโครสตริป	3.02

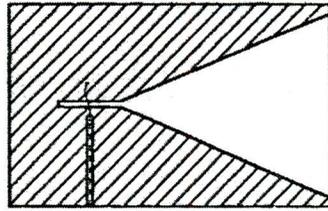


3.1.2 วิธีการป้อนกำลังงานสายอากาศร่องแบบเรียว

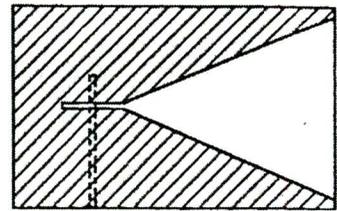
โดยส่วนมากแล้วสายอากาศร่องแบบเรียวจะมีลักษณะของร่อง (slotline) ที่มีการแผ่อกทำให้การป้อนกำลังงานให้แก่สายอากาศร่องแบบเรียวต้องคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงระหว่างร่องและการส่งผ่านไปยังตัวกลาง (transmission media) ดังนั้นร่องของสายอากาศจะต้องเชื่อมต่อกับจุดป้อนกำลังงานของสายอากาศ สำหรับวิธีการป้อนกำลังงานให้แก่สายอากาศร่องแบบเรียวนั้นมีด้วยกัน 7 วิธี (Richard Q. Lee and Rainee N. Simons, 1997) ได้แก่ (1) การป้อนกำลังงานด้วยเส้นแกนร่วม (coaxial line feed) (2) การป้อนกำลังงานด้วยเส้นไมโครสตริป (microstrip line feed) (3) การป้อนกำลังงานด้วยท่อนำคลื่นที่อยู่บนระนาบเดียวกัน (conventional coplanar waveguide feed หรือ CPW feed) (4) การป้อนกำลังงานด้วยท่อนำคลื่นที่อยู่บนระนาบกราวด์เดียวกัน (ground conventional coplanar waveguide feed หรือ GCPW feed) (5) การป้อนกำลังงานด้วยท่อนำคลื่นที่อยู่บนระนาบกราวด์เดียวกัน โดยมีตัวนำด้านหลังที่มีขอบเขต (conductor-backed finite ground-plane coplanar waveguide feed หรือ FCPW feed) สามารถทำการเชื่อมต่อได้ 2 แบบคือ ให้กำลังงานเชื่อมต่อจากสตริปไปยังร่องของสายอากาศ (strip-to-slot) หรือแบบสตริปศูนย์กลาง (center-strip) และให้กำลังงานเชื่อมต่อจากร่องไปยังร่องของสายอากาศ (slot-to-slot) หรือแบบร่อง (notch) (6) การป้อนกำลังงานด้วยไมโครสตริปไปยังจุดเชื่อมไมโครสตริป (microstrip-to-coupled microstrip feed) และ (7) การป้อนกำลังงานด้วยเส้นสตริป (stripline feed) แสดงดังรูปที่ 3.2

สำหรับงานวิจัยนี้ใช้วิธีการป้อนกำลังงานด้วยเส้นไมโครสตริปเนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย ทั้งการออกแบบและการแมตช์สายอากาศ รูปที่ 3.3 แสดงการป้อนกำลังงานด้วยเส้นไมโครสตริปไปยังร่องของสายอากาศ โดยที่ λ_s คือ ความยาวคลื่นของร่อง (slot wavelength) และ λ_m คือ ความยาวคลื่นของไมโครสตริป (microstrip wavelength)

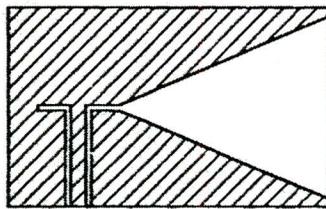




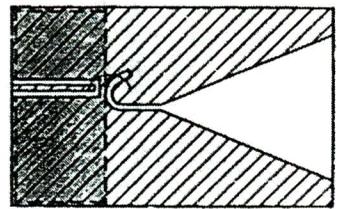
(ก) เส้นแกนร่วม



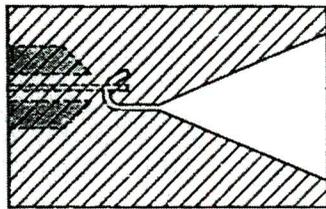
(ข) เส้นไมโครสตริป



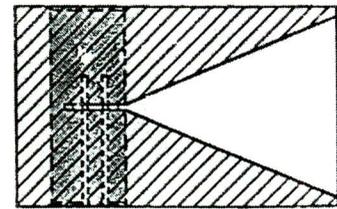
(ค) CPW



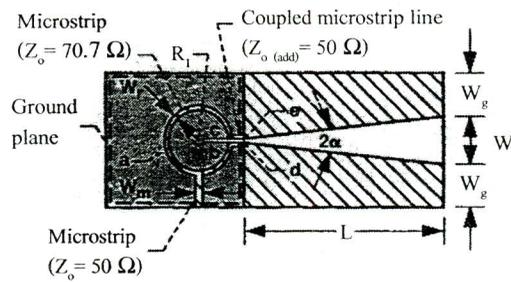
(ง) GCPW



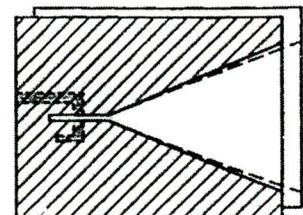
(จ) FCPW/center-strip



(ฉ) FCPW/notch

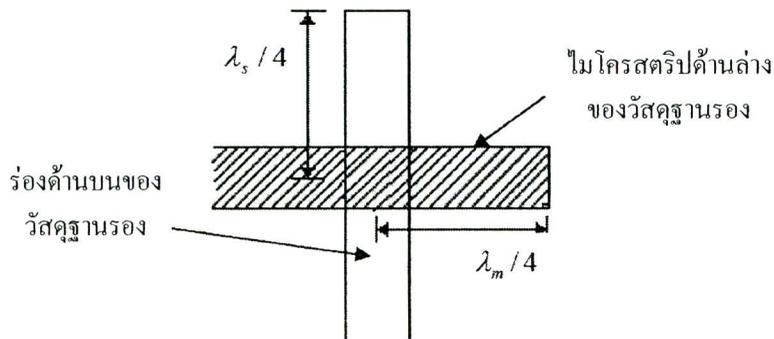


(ช) ไมโครสตริปไปยังจุดเชื่อม



(ซ) เส้นสตริป

รูปที่ 3.2 เทคนิคการป้อนกำลังงานให้แก่สายอากาศร่องแบบเรียบ

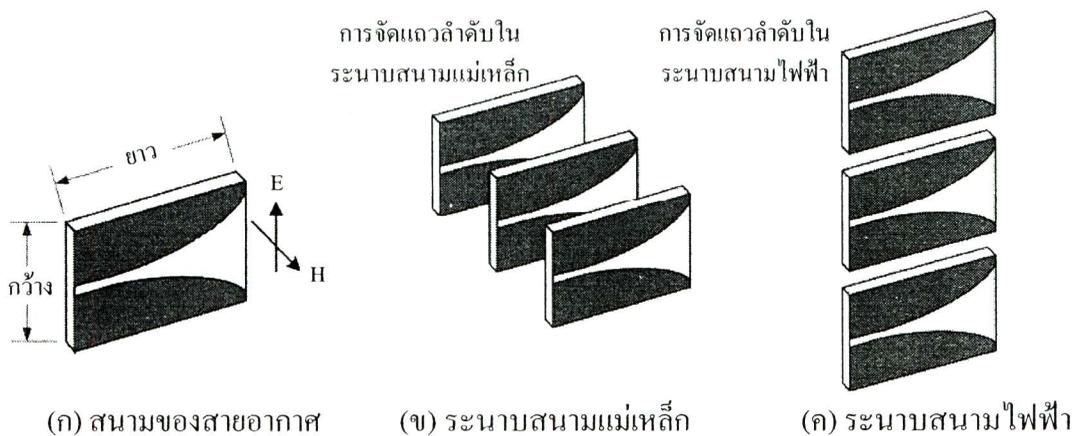


รูปที่ 3.3 การป้อนกำลังงานด้วยเส้นไมโครสตริป

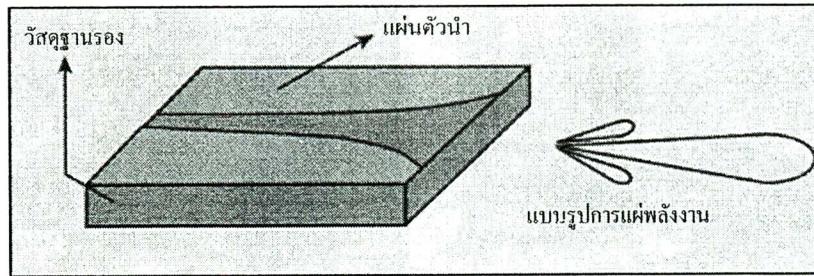
3.1.3 การจัดแฉวลำดับของสายอากาศร่องแบบเรียว

รูปที่ 3.4 แสดงรูปร่างมาตรฐานในการจัดแฉวลำดับของสายอากาศร่องแบบเรียวโดยรูปที่ 3.4(ก) แสดงสนามของสายอากาศร่องแบบเรียว ทำให้ได้รูปร่างในการจัดแฉวลำดับในระนาบสนามแม่เหล็กและระนาบสนามไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.4(ข) และ (ค) ตามลำดับ

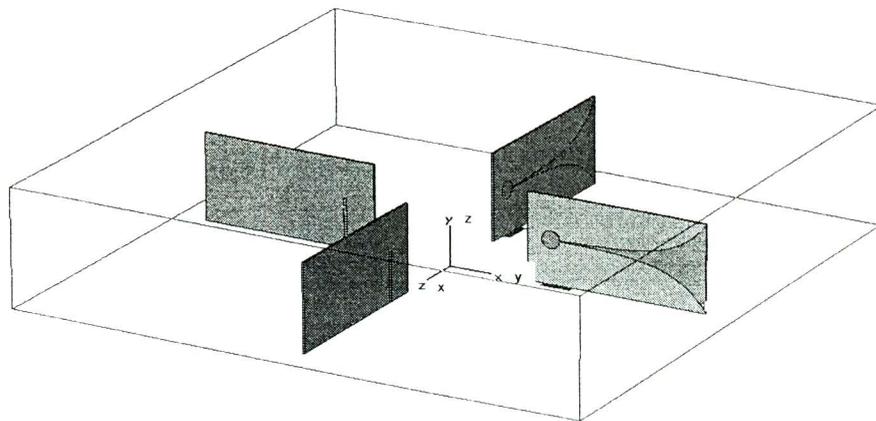
เมื่อจัดประเภทของสายอากาศออกตามการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณพบว่าสายอากาศร่องแบบเรียวเป็นสายอากาศแบบมีทิศทางหรือเจาะจงทิศทาง (directional antenna) คือ มีลักษณะของการกระจายคลื่นในทิศทางใดทิศทางหนึ่งเท่านั้น แสดงดังรูปที่ 3.5 เพื่อให้สายอากาศร่องแบบเรียวมีลักษณะการกระจายของคลื่นรอบ ๆ สายอากาศในระนาบอะซิมุท หรือมีคุณสมบัติเป็นสายอากาศแบบรอบทิศทาง งานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบสายอากาศร่องแบบเรียวให้มีการจัดแฉวลำดับแบบวงกลม ดังรูปที่ 3.6 ทำให้ได้สายอากาศแฉวลำดับวงกลมต้นแบบที่มีความกว้างแถบกว้างตามคุณสมบัติของสายอากาศร่องแบบเรียวและสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้มากขึ้น



รูปที่ 3.4 รูปร่างมาตรฐานในการจัดแฉวลำดับของสายอากาศร่องแบบเรียว



รูปที่ 3.5 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศร่องแบบเรียบ



รูปที่ 3.6 รูปร่างของแฉวลำดับแบบวงกลม

3.2 สรุป

จากทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องของสายอากาศร่องแบบเรียบ โดยเริ่มศึกษาจากโครงสร้างของสายอากาศก่อน เพื่อให้ได้สายอากาศที่มีโครงสร้างที่ง่าย ไม่ซับซ้อน ต่อมาได้ศึกษาใน ส่วนของการป้อนกำลังงานให้แก่สายอากาศ โดยได้เลือกวิธีการป้อนกำลังงานด้วยเส้นไมโครสตริป เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย ทั้งการออกแบบและการแมตช์สายอากาศ และในที่สุดท้ายได้ศึกษารูปแบบ ของการจัดแฉวลำดับเพื่อให้ได้สายอากาศร่องแบบเรียบที่มีลักษณะการกระจายของคลื่นรอบ ๆ สายอากาศในระนาบอะซิมุท หรือมีคุณสมบัติเป็นสายอากาศแบบรอบทิศทาง