

บทที่ 3

ทฤษฎีพื้นฐานและการประยุกต์ใช้งานสายอากาศ

สายอากาศคืออุปกรณ์ที่ใช้ส่งพลังงานในรูปแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งที่มีข้อมูล ไปยังที่ ๆ ต้องการข้อมูล โดยใช้อากาศเป็นตัวกลาง หรือที่เรียกว่าการเชื่อมต่อแบบไร้สาย อาจกล่าวได้ว่าการเชื่อมต่อที่ไร้สายนั้นจำเป็นต้องมีสายอากาศไว้ใช้งานเสมอ เดิมสายอากาศเรียกว่าเสาอากาศ เพราะลักษณะที่เป็นรูปเสา และการคั่นเคຍโดยส่วนใหญ่กับรูปแบบของเสาอากาศโทรทัศน์ ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและเนื้อหาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศ ดังนี้ [11]

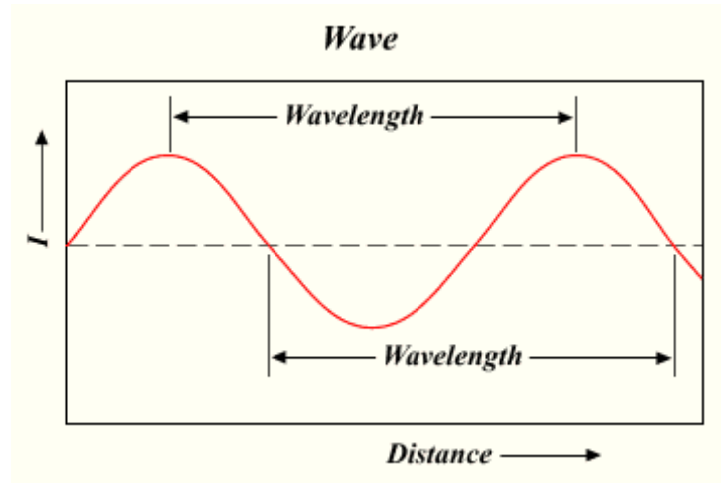
สายอากาศ อุปกรณ์สำหรับรับและส่งคลื่นความถี่วิทยุ ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และในทางกลับกัน ก็เปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานไฟฟ้าเช่นกันสายอากาศมีหลายขนาดและรูปแบบ ขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น สายอากาศสำหรับเครื่องรับโทรทัศน์ในบ้าน ส่วนใหญ่เป็นสายอากาศชนิด ยากิ-อูตะ มักติดตั้งไว้บนหลังคา ทำด้วยอะลูมิเนียม เพราะน้ำหนักเบาและทนต่อสภาพอากาศได้ดีกว่าโลหะทั่วไป สายอากาศของไม้คัลอย เป็นเพียงสายไฟสั้น ๆ หรือสายอากาศของโทรศัพท์มือถือ เป็นเพียงจุดเชื่อมต่อเล็ก ๆ เท่านั้น คำว่าสายอากาศ เป็นศัพท์เฉพาะด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ บัญญัติขึ้นจากคำศัพท์ในภาษาอังกฤษ "Antenna" หรือ "Aerial" ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์อาจเขียนอักษรย่อ Ant. อย่างไรก็ตาม บุคคลทั่วไปนิยมเรียกว่า เสาอากาศ อาจจะเป็นเพราะเดิมใช้เสาสูง ๆ สำหรับติดตั้งสายอากาศนั่นเอง [12]

สายอากาศแบ่งตามรูปแบบการรับ-ส่งคลื่นได้ดังนี้

- สายอากาศแบบรอบตัว สามารถรับ-ส่งคลื่นได้ดีในทุกทิศทางเฉลี่ยกันไปโดยรอบ
- สายอากาศแบบกึ่งรอบตัว สามารถรับ-ส่งคลื่นได้ดีเกือบรอบตัวแต่มีอัตราขยายสูงกว่าแบบรอบตัว
- สายอากาศแบบทิศทางเดียว สามารถรับ-ส่งคลื่นได้ดีในทิศทางที่กำหนดและจะมีอัตราขยาย (Gain) สูงกว่าประเภทอื่น

3.1 ความถี่และความยาวคลื่น

เรานิยมแบ่งคลื่นวิทยุออกเป็นย่านความถี่ต่าง ๆ โดยมีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hertz) ในประวัติศาสตร์การวิทยุ เราแบ่งคลื่นวิทยุตามความยาวคลื่น (Wavelength) ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความยาวคลื่นดังแสดงในภาพที่ 3.1 ดังนี้ [13]



ภาพที่ 3.1 คลื่นรูปไซน์ ความยาวคลื่นมีค่าเท่ากับระยะห่างระหว่างยอดคลื่น [14]

ตารางที่ 3.1 ย่านความถี่และความยาวคลื่น

ย่านความถี่	ความถี่	ความยาวคลื่น
Very Low Frequency (VLF)	ต่ำกว่า 30 kHz	ยาวกว่า 10 km
Low Frequency(LF)	30-300 kHz	10-1 km
Medium Frequency(MF)	300-3000 kHz	1000-100 m
High Frequency (HF)	3-30 MHz	100-10 m
Very High Frequency (VHF)	30-300 MHz	10-1 m
Ultra High Frequency (UHF)	300-3000 MHz	100-10 cm
Super High Frequency (SHF)	3-30 GHz	10-1 cm
Extremely High Frequency (EHF)	30-300 GHz	10-1 mm

3.1.1 ความเร็วของพลังงานความถี่วิทยุ (Radio Frequency)

ขณะเคลื่อนที่ผ่านอวกาศ จะมีความเร็วเท่ากับความเร็วของแสง ฉะนั้นความเร็วของพลังงาน (V) ของความถี่วิทยุ เท่ากับ 300,000,000 เมตร/วินาที หรือ 186,000 ไมล์ (892,000,000 ฟุต) / วินาที

3.1.2 ความยาวคลื่น, ความยาวคลื่นของพลังงานความถี่วิทยุ ณ ความถี่ใด ๆ

คือระยะในอวกาศจากจุดเริ่มต้นของ CYCLE หนึ่งไปยังจุดเริ่มต้นของ CYCLE ถัดไป สัญลักษณ์ของความยาวคลื่นเป็นภาษกรีก เรียกว่า LAMBDA (λ), ความยาวคลื่นหาได้จากกฎเบื้องต้น คือ $\lambda = v/f$

1) การหาความยาวคลื่นเป็นเมตร

$$\begin{aligned}
 \text{ความยาวคลื่นเป็นเมตร} &= 300,000,000/f \text{ ในหน่วย HERTZ (Hz) หรือ} \\
 &= 300,000/f \text{ ในหน่วย Kilo Hertz (KHz) หรือ} \\
 &= 300/f \text{ ในหน่วย Mega Hertz (MHz)}
 \end{aligned}$$

เช่น ตัวอย่าง $f = 60 \text{ MHz}$ จึงได้ $300/60 = 5 \text{ เมตร}$

2) การหาความยาวคลื่นเป็นฟุต

$$\begin{aligned}\text{ความยาวคลื่นเป็นฟุต} &= 982,000,000/f \text{ (Hz) หรือ} \\ &= 982,000/f \text{ (KHz) หรือ} \\ &= 982/f \text{ (MHz)}\end{aligned}$$

เช่น ตัวอย่าง $f = 60 \text{ MHz}$ จะได้ $982/60 = 16.4$ ฟุต

3.1.3 ครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น (HALF-WAVELENGTH) ($\lambda/2$)

เป็นปัจจัยสำคัญในการคำนวณ และการวัดสายอากาศ ครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น (Half-Wavelength) หรือสายอากาศแบบครึ่งความยาวคลื่น (Half-Wave) ใช้เป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบ

1) การวัดความยาวของสายอากาศ

ก) การหา Half-Wavelength เป็นเมตร

$$\begin{aligned}\lambda/2 \text{ เป็นเมตร} &= 150,000,000/f \text{ (Hz) หรือ} \\ &= 150,000 \text{ (KHz) หรือ} \\ &= 150/f \text{ (MHz)}\end{aligned}$$

เช่น ตัวอย่าง $f = 60 \text{ MHz}$ ฉะนั้น $\lambda/2 = 150/60 = 2.5$ เมตร

ข) การหา Half-Wavelength เป็นฟุต

$$\begin{aligned}\lambda/2 \text{ เป็นฟุต} &= 492,000,000/f \text{ (Hz) หรือ} \\ &= 492,000/f \text{ (KHz) หรือ} \\ &= 492/f \text{ (MHz)}\end{aligned}$$

เช่น ตัวอย่าง $f = 60 \text{ MHz}$ ฉะนั้น $\lambda/2 = 492/60 = 8.2$ ฟุต

3.1.4 เศษหนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่น (Quarter-Wavelength) ($\lambda/4$)

เป็นปัจจัยสำคัญอีกอันหนึ่งในการคำนวณสายอากาศ

ก) การหา Quarter-Wavelength เป็นเมตร

$$\begin{aligned}\lambda/4 \text{ เป็นเมตร} &= 75,000,000/f \text{ (Hz) หรือ} \\ &= 75,000/f \text{ (KHz) หรือ} \\ &= 75/f \text{ (MHz)}\end{aligned}$$

เช่น ตัวอย่าง $f = 60 \text{ MHz}$ ฉะนั้น $\lambda/4 = 75/60 = 1.25$ เมตร

ข) การหา Quarter-Wavelength เป็นฟุต

$$\begin{aligned}\lambda/4 \text{ เป็นฟุต} &= 246,000,000/f \text{ (Hz) หรือ} \\ &= 246,000/f \text{ (KHz) หรือ} \\ &= 246/f \text{ (MHz)}\end{aligned}$$

เช่น ตัวอย่าง $f = 60 \text{ MHz}$ ฉะนั้น $\lambda/4 = 246/60 = 4.1$ ฟุต

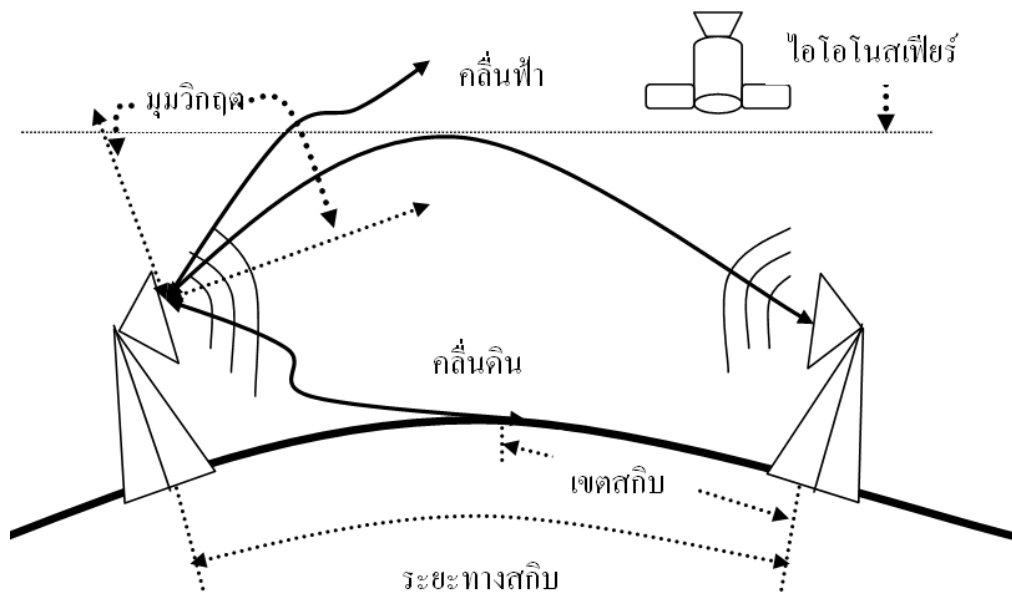
3.2 ประเภทของคลื่นวิทยุ [15]

คลื่นวิทยุที่กระจายออกจากสายอากาศจะเดินทางไปทุกทิศทาง ในทุกระนาบการกระจายคลื่นนี้มีลักษณะเป็นการขยายตัวของพลังงานออกเป็นทรงกลม ถ้าจะพิจารณาในส่วนของพื้นที่แทนหน้าคลื่นจะเห็นได้ว่ามันพุ่งออกไปเรื่อย ๆ จากจุดกำเนิด และสามารถเขียนแนวทิศทางการเดินทางของหน้าคลื่นได้ด้วยเส้นตรง

หรือเส้นรังสี เส้นรังสีที่ลากจากสายอากาศออกไปจะทำมุมกับระนาบแนวนอนมุมนี้เรียกว่ามุมแผ่คลื่น อาจมีค่าเป็นบวก (มุมเงย) หรือมีค่าเป็นลบ (มุมกดลง) ก็ได้ มุมของการแผ่คลื่นนี้อาจนำมาใช้เป็นตัวกำหนดประเภทของคลื่นวิทยุได้

คลื่นวิทยุมีความถี่อยู่ในช่วง $10^4 - 10^9$ Hz คลื่นช่วงนี้ใช้ในการส่งข่าวสารและสาระบันเทิงไปยังผู้รับ โดยการส่งคลื่นวิทยุระบบเอเอ็มจะใช้คลื่นที่มีความถี่ขนาด 530 - 1600 KHz และยังมีคลื่นที่อยู่ในช่วงความถี่ต่ำลงไปอีกเรียกว่า *คลื่นยาว* และคลื่นที่อยู่ในช่วงความถี่สูงขึ้นไปเรียกว่า *คลื่นสั้น* ด้วย ส่วนการส่งคลื่นในระบบเอฟเอ็มจะอยู่ในช่วงความถี่ 88 - 108 MHz ซึ่งระบบการส่งคลื่นแบบเอเอ็มกับเอฟเอ็มจะต่างกันที่วิธีการผสมคลื่น ดังนั้นจึงทำให้เครื่องรับวิทยุแต่ละแบบไม่สามารถรับคลื่นวิทยุของอีกแบบหนึ่งได้ คลื่นวิทยุสมบัติที่น่าสนใจอีกประการหนึ่ง คือ สามารถหักเหและสะท้อนได้ที่บรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ บรรยากาศในชั้นนี้ประกอบด้วยอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าอยู่เป็นจำนวนมาก เมื่อคลื่นวิทยุเคลื่อนที่มาถึงจะสะท้อนกลับสู่ผิวโลกอีก สมบัติข้อนี้ทำให้สามารถใช้คลื่นวิทยุในการสื่อสารเป็นระยะทางไกลๆได้ แต่ถ้าเป็นคลื่นวิทยุที่มีความถี่สูงขึ้น การสะท้อนดังกล่าวจะมีได้น้อยลงตามลำดับการส่งกระจายเสียงด้วยคลื่นวิทยุ ระบบเอเอ็มสามารถเคลื่อนที่ไปได้ 2 ทางคือ ในระดับสายตาเรียกว่า *คลื่นดิน* (Ground Wave) และการสะท้อนกลับลงมาจากบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ เรียกว่า *คลื่นฟ้า* (Sky Wave) ตามภาพที่ 3.2 ส่วนคลื่นวิทยุระบบเอเอ็มซึ่งมีความถี่สูงกว่าจะมีการสะท้อนในชั้นไอโอโนสเฟียร์ได้น้อย

พลังงานคลื่นวิทยุส่วนใหญ่จะเดินทางอยู่ใกล้ ๆ ผิวโลกหรือเรียกว่าคลื่นดิน ซึ่งคลื่นนี้จะเดินทางไปตามส่วนโค้งของโลก คลื่นอีกส่วนที่ออกจากสายอากาศ ด้วยมุมแผ่คลื่นเป็นค่าบวก จะเดินทางจากพื้นโลกพุ่งไปยังบรรยากาศจนถึงชั้นเพดานฟ้าและจะสะท้อนกลับลงมายังโลกนี้เรียกว่า คลื่นฟ้า

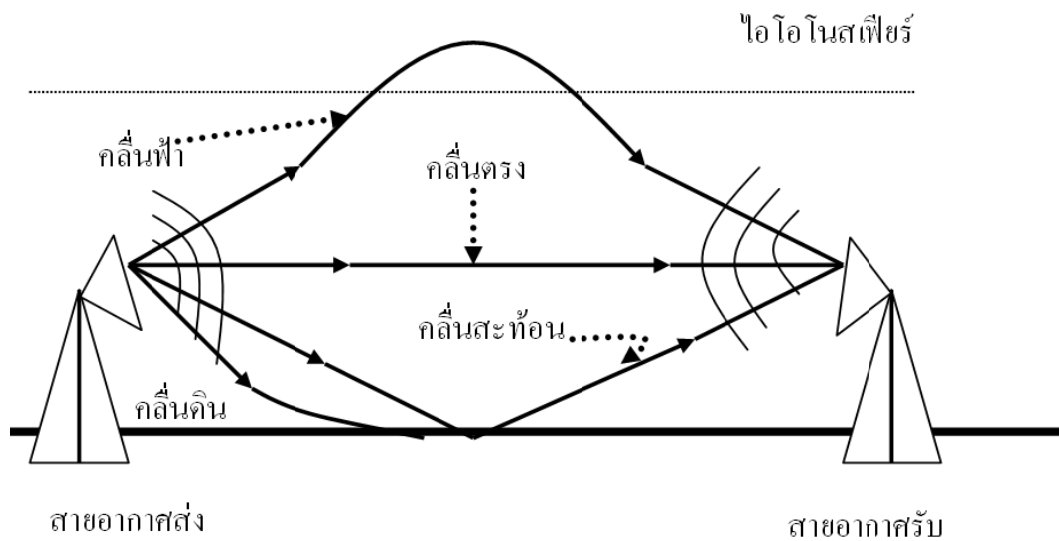


ภาพที่ 3.2 คลื่นฟ้าและคลื่นดิน

ดังนั้นถ้าต้องการส่งกระจายเสียงด้วยระบบเอเอ็มให้ครอบคลุมพื้นที่ไกล ๆ จึงต้องมีสถานีถ่ายทอดเป็นระยะและผู้รับต้องตั้งสายอากาศสูง ๆ ในขณะที่คลื่นวิทยุเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางที่มีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่นจะเกิดการเลี้ยวเบนทำให้คลื่นวิทยุอ้อมผ่านไปได้ แต่ถ้าสิ่งกีดขวางมีขนาดโต

มาก ๆ เช่น ภูเขา คลื่นวิทยุที่มีความยาวคลื่นสั้นจะไม่สามารถอ้อมผ่านไปได้ ทำให้ด้านตรงข้ามของภูเขาเป็นจุดอับของคลื่นโลหะมีสมบัติในการสะท้อนและดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดีดังนั้นคลื่นวิทยุจะทะลุผ่านเข้าไปถึงตำแหน่งภายในโครงสร้างที่ประกอบด้วยโลหะได้ยาก เช่น เมื่อฟังวิทยุในรถยนต์ขณะแล่นผ่านเข้าไปในสะพานที่มีโครงสร้างเป็นเหล็ก เสียงวิทยุจะเบาลงหรือเงียบหายไป

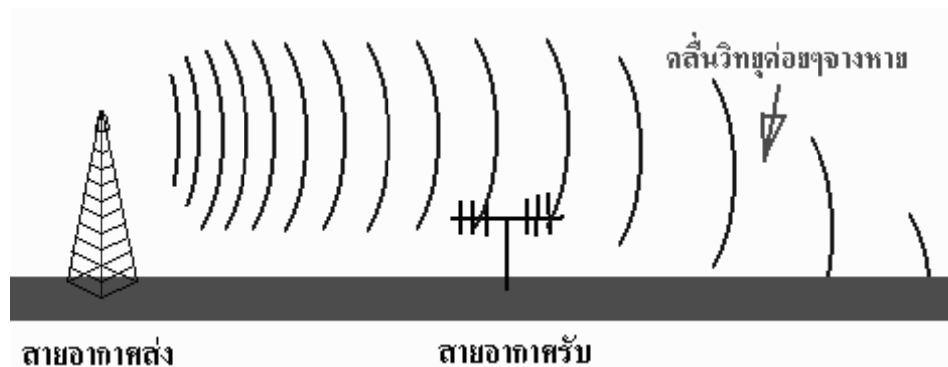
องค์ประกอบของคลื่น แบ่งออกเป็น 4 องค์ประกอบด้วยกัน คือ คลื่นผิวดิน (Surface Wave) คลื่นสะท้อนดิน (Ground Reflected Wave) และคลื่นหักเหโทรโปสเฟียร์ (Reflected Troposphere Wave) ดังแสดงในภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 องค์ประกอบของคลื่น

3.2.1 คลื่นผิวดิน

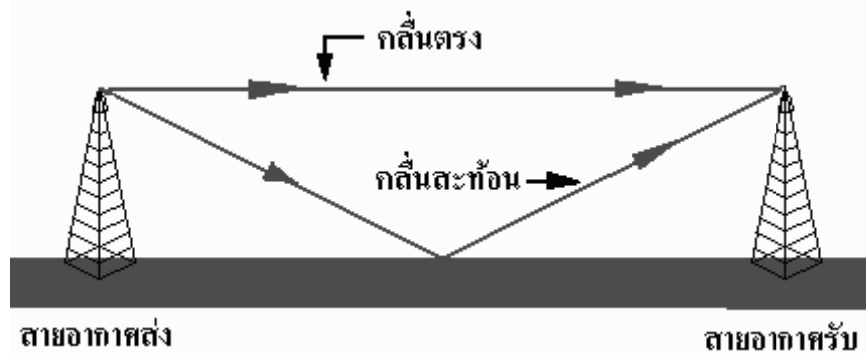
หมายถึง คลื่นที่เดินตามไปยังผิวโลกอาจเป็นผิวดิน หรือผิวน้ำก็ได้พิสัยของการกระจายคลื่นชนิดนี้ขึ้นอยู่กับค่าความนำทางไฟฟ้าของผิวที่คลื่นนี้เดินทางผ่านไป เพราะค่าความนำจะเป็นตัวกำหนดการดูดกลืนพลังงานของคลื่นผิวโลก การดูดกลืนของคลื่นผิวนี้อาจเพิ่มขึ้นตามความถี่ที่สูงขึ้น



ภาพที่ 3.4 การแพร่กระจายคลื่นพื้นผิว (Surface Wave) ของคลื่น

3.2.2 คลื่นตรง

หมายถึง คลื่นที่เดินทางออกไปเป็นเส้นตรงจากสายอากาศ ส่งผ่านบรรยากาศตรงไปยังสายอากาศรับโดยมิได้มีการสะท้อนใด ๆ



ภาพที่ 3.5 ทิศทางของคลื่นตรง และคลื่นที่สะท้อนจากผิวโลก

3.2.3 คลื่นหักเหโทรโปสเฟียร์

หมายถึง คลื่นหักเหในบรรยากาศชั้นต่ำของโลกที่เรียกว่า โทรโปสเฟียร์ การหักเหไม่ใช่เป็นการหักเหแบบปกติที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของชั้นบรรยากาศของโลกกับความสูง แต่เป็นการหักเหที่เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของชั้นบรรยากาศอย่างทันทีทันใด และไม่สม่ำเสมอของความหนาแน่นและในความชื้นของบรรยากาศ ได้แก่ ปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ออณหภูมิแปรกลับ

3.3 ความยาวสายอากาศ

ความยาวของสายอากาศนั้นเราจะต้องพิจารณาถึง 2 ประการ คือ ความยาวทาง Physical และความยาวทาง Electrical ความยาวทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวแล้วจะไม่เป็นอย่างเดียวกัน ความยาวทาง Physical ของ Half-Wave ของสายอากาศที่ไม่มี Load จะแปรเปลี่ยนจาก 92% ถึง 97% ของความยาวทาง Electrical ของ Half-Wave ในอวกาศ ความเร็วของคลื่นที่ลดลงของสายอากาศกับ Capacitive Effective (เรียกกันว่า End Effect) ทำให้สายอากาศมีความยาวเกินกว่าที่เป็นจริง Contributing Factors คือ อัตราส่วนของเส้นผ่าศูนย์กลางของสายอากาศกับความยาวของสายอากาศนั้น ๆ ความจุระหว่างปลายสายอากาศ และผลของความจุของอุปกรณ์ปลายสายอากาศ (ฉนวนหรือตัวยึดอื่น ๆ) ที่ทำให้สายอากาศโยงยึดอยู่ได้

- 1) การคำนวณความยาวทาง Physical ของสายอากาศให้ใช้ตัว 0.95 สำหรับความถี่ระหว่าง 3.0 และ 50.0 MHz ตัวเลขที่ให้ไว้ส่วนล่างต่อไปนี้ใช้สำหรับสายอากาศแบบ Half-Wave

ความยาว (Feet)	= $492 \times 0.95 / \text{ความถี่เป็น MHz}$
	= $468 / \text{ความถี่เป็น MHz}$
ความยาว (Meters)	= $150 \times 0.95 / \text{ความถี่เป็น MHz}$
	= $142.5 / \text{ความถี่เป็น MHz}$

- 2) สำหรับความถี่สูงกว่า 50 MHz การคำนวณความยาวทาง Physical ของสายอากาศสำหรับความถี่สูงกว่า 50 MHz ให้ใช้ตัวแก้ไข 0.94 ตัวเลขที่ให้ไว้ข้างล่างนี้สำหรับสายอากาศแบบ Half-Wave

$$\begin{aligned}\text{ความยาว (Feet)} &= 492 \times 0.94 / \text{ความถี่เป็น MHz} \\ &= 462 / \text{ความถี่เป็น MHz}\end{aligned}$$
- 3) ความยาวของสายอากาศชนิด Long Wire (หนึ่ง Wavelength หรือยาวกว่า) สำหรับ Harmonic Operation คำนวณด้วยการใช้สูตรดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}\text{ความยาว (Feet)} &= 492 \times (N-0.05) / \text{ความถี่เป็น MHz} \\ \text{เมื่อ } N &= \text{จำนวน Half-Wavelength ในความยาวทั้งหมดของสายอากาศ}\end{aligned}$$
- 4) ในส่วนของข้างบนนี้ สำหรับย่านความถี่ VHF และ UHF จะเป็นการสะดวกถ้าเราจะคิดคำนวณ Half-Wavelength ของสายอากาศเป็นนิ้ว ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}\lambda / 2 \text{ In Inches} &= 5540 / f \text{ (MHz)} \\ \text{Quarter-Wavelength ของสายอากาศเป็นนิ้ว โดย} \\ \lambda / 4 &= 2272 / f \text{ (MHz)}\end{aligned}$$

3.4 คุณสมบัติและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศ [16]

สายอากาศชนิดต่าง ๆ ที่มีการใช้งานอยู่ทั่วไปมีคุณสมบัติและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องพิจารณาประกอบการประเมินประสิทธิภาพของสายอากาศเพื่อช่วยในการตัดสินใจและประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับงานต่าง ๆ มากมาย โดยมีส่วนสำคัญ ดังนี้

3.4.1 อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง (Voltage Standing Wave Ratio)

อัตราส่วนระหว่างแรงดันค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดในคลื่นนิ่งเรียกว่า อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง (Voltage Standing Wave Ratio: VSWR) ดังสมการที่ (3.1)

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (3.1)$$

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_i} = \frac{Z_L - Z_o}{Z_L + Z_o} \quad (3.2)$$

Γ คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของแรงดัน (Voltage Reflection Coefficients) สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของแรงดัน ยังสามารถหาได้จากอัตราส่วนผลต่างและผลรวมระหว่างโวลต์กับอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายนำสัญญาณ ดังสมการที่ (3.2)

Γ คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของแรงดัน (Voltage Reflection Coefficients)

V_r คือ แรงดันสะท้อนกลับ

V_i คือ แรงดันตกกระทบ

Z_L คือ โหลดอิมพีแดนซ์

Z_o คือ อิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายนำสัญญาณ

ในกรณีที่ต่อไว้ด้วยแมตชิ่งโหลดนั้นค่า VSWR เป็น 1 ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุด

3.4.2 การสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss)

การสูญเสียเนื่องย้อนกลับของสายอากาศแสดงค่ากำลังที่สูญเสียที่โหลด เมื่ออิมพีแดนซ์ของสายส่งและสายอากาศไม่แมตช์กัน การสูญเสียย้อนกลับมีความสัมพันธ์กับ VSWR ซึ่งเป็นการแสดงการแมตช์อิมพีแดนซ์ระหว่างสายส่งกับสายอากาศตามสมการ โดยการสูญเสียย้อนกลับสามารถหาได้จากสมการที่ (3.3)

$$S_{11} = -20 \log_{10} |\Gamma| \text{ (dB)} \quad (3.3)$$

สำหรับการแมตช์อิมพีแดนซ์ที่สมบูรณ์ระหว่างสายส่งและสายอากาศ เมื่อ $\Gamma = 0$ ค่าความสูญเสียย้อนกลับเป็นอนันต์ แสดงว่าไม่มีกำลังงานสะท้อนกลับ ในทำนองเดียวกันเมื่อ $\Gamma = 1$ ค่าความสูญเสียย้อนกลับจะเป็น 0 dB ซึ่งแสดงว่ากำลังงานสะท้อนกลับหมด

3.4.3 ประสิทธิภาพของสายอากาศ (Antenna Efficiency)

ประสิทธิภาพของสายอากาศเป็นพารามิเตอร์ที่รวมประสิทธิภาพการสูญเสียที่สายอากาศและในโครงสร้างของสายอากาศ การสูญเสียต่าง ๆ หาได้จาก

- การสะท้อนกลับเนื่องจากการไม่แมตช์กันระหว่างสายส่งกับสายอากาศ
- การสูญเสียจากตัวนำและฉนวน

ประสิทธิภาพรวมของสายอากาศสามารถเขียนเป็นสมการที่ (3.4)

$$e_t = e_r e_c e_d \quad (3.4)$$

e_t ประสิทธิภาพทั้งหมดของสายอากาศ

$e_r = (1 - |\Gamma|^2)$ ประสิทธิภาพการสะท้อนกลับเนื่องจากการไม่แมตช์กัน

e_c ประสิทธิภาพของตัวนำ

e_d ประสิทธิภาพของฉนวน (dielectric)

โดยทั่วไป e_c และ e_d จะรวมเป็นตัวเดียวกันตามสมการที่ (3.5)

$$e_{cd} = e_c e_d = \frac{R_r}{R_r + R_L} \quad (3.5)$$

R_r ความต้านทานจากการแผ่พลังงานคลื่นออกไป

R_L ความต้านทานที่โหลด

3.4.4 สภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity)

ไดเรกติวิตีเป็นการบอกความสามารถเชิงทิศทางของสายอากาศ เป็นอัตราส่วนระหว่างความเข้มของการแผ่พลังงานในทิศทางที่สนใจกับความเข้มของการแผ่พลังงานโดยเฉลี่ย เมื่อมีการแผ่พลังงานออกไปรอบทิศทางอย่างเท่าเทียมกันโดยไม่คิดกำลังงานส่วนที่สูญเสียไปดังสมการที่ (3.6) และสมการที่ (3.7)

$$D = \frac{U}{U_i} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (3.6)$$

D คือ สภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศ

U คือ ความเข้มของการแผ่กำลังงาน

U_i คือ ความเข้มของการแผ่กำลังงานเฉลี่ย

P_{rad} คือ กำลังงานที่สายอากาศแผ่ออกไป

โดยทั่วไปถ้าไม่กำหนดทิศทางใช้สภาพเจาะจงทิศทางในทิศที่สายอากาศแผ่พลังงานได้ดีที่สุด

$$D_0 = \frac{U_{max}}{U_i} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}} \quad (3.7)$$

3.4.5 อัตราขยายของสายอากาศ (Gain)

อัตราขยายของสายอากาศเป็นความสัมพันธ์ที่ได้จากไดเรกทิวิตี โดยรวมประสิทธิภาพของสายอากาศเข้ามาด้วย ในขณะที่ไดเรกทิวิตีแสดงคุณสมบัติในการชี้ทิศทางของสายอากาศเท่านั้น การคิดอัตราขยายของสายอากาศ วัดเทียบกับสายอากาศอ้างอิง โดยอัตราขยายของสายอากาศส่ง คือ กำลังสองของอัตราส่วนระหว่างความเข้มสนามตามทิศที่มีการแพร่กระจายคลื่นมากที่สุดเมื่อเทียบกับความเข้มสนามที่จุดเดียวกันของสายอากาศอ้างอิง หรือแสดงในรูปของอัตราส่วนของค่าพลังงานที่ต้องใช้ในการส่งของสายอากาศทั้งสอง เพื่อให้เกิดความเข้มสนามขนาดเท่ากัน (ณ จุดเดียวกัน) ในทิศทางที่มีการแพร่กระจายคลื่นมากที่สุด หรืออัตราขยายของสายอากาศรับ คือ อัตราส่วนระหว่างค่าความเข้มการแผ่พลังงานของสายอากาศทดสอบกับสายอากาศอ้างอิง ณ จุดตั้งสายอากาศที่เดียวกัน

การใช้สายอากาศอ้างอิงมักเป็นแบบไดโพลขนาด $\lambda/2$ หรือแบบไอโซโทรปิก (Isotropic) ซึ่งมีลักษณะพิเศษ คือ กระจายคลื่นได้รอบตัวทุกทิศในปริมาณที่เท่ากัน

อัตราขยายกำลัง (Power Gain) ของสายอากาศ ในทิศทางที่กำหนดให้ นั้นมีค่าเท่ากับ 4π คูณอัตราส่วนของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางนั้น ต่อ (หาร) กำลังงานสุทธิที่สายอากาศรับจากหัวต่อของเครื่องส่งเมื่อไม่กำหนดทิศทางไว้ โดยทั่วไปคิดอัตราขยายกำลังในทิศทางที่มีการแพร่กระจายคลื่นแรงที่สุดตามสมการที่ (3.8)

$$Gain = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (3.8)$$

โดยทั่วไปอัตราขยายสัมพัทธ์ เป็นอัตราส่วนของอัตราขยายกำลังในทิศทางที่กำหนดให้ ต่ออัตราขยายกำลังของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบในทิศทางนั้น โดยกำลังงานที่ป้อนเข้าสายอากาศทั้งสองนั้นต้องเท่ากัน สายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบเป็นสายอากาศไดโพล สายอากาศปากแตร หรือสายอากาศอื่น ๆ ซึ่งคำนวณอัตราขยายได้ง่ายหรือรู้ค่าอยู่แล้ว แต่อย่างไรก็ตามโดยส่วนใหญ่สายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบเป็นไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์สที่ไม่มีการสูญเสีย ดังนั้นจึงได้เป็นสมการที่ (3.9)

$$G_g = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (3.9)$$

เมื่อ P_{in} คือ กำลังงานที่ป้อนให้กับไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์สที่ไม่มีการสูญเสีย
กำลังงานที่แพร่กระจายทั้งหมด (P_{rad}) สัมพันธ์กับกำลังงานที่ป้อนให้สายอากาศ
(P_{in}) ดังสมการที่ (3.10)

$$P_{rad} = e_t P_{in} \quad (3.10)$$

เมื่อ e_t คือประสิทธิภาพรวมของสายอากาศ (ไม่มีหน่วย) ทำให้สมการที่ (3.9)
และ (3.10) มีความสัมพันธ์กันตามสมการที่ (3.11)

$$G_g(\theta, \phi) = \frac{[4\pi U(\theta, \phi)]}{P_{rad}} \quad (3.11)$$

และมีความสัมพันธ์กับอัตราขยายไดเรกทิฟ ตามสมการที่ (2.12)

$$G_g(\theta, \phi) = e_t D_g(\theta, \phi) \quad (3.12)$$

ในทำนองเดียวกัน ค่าสูงสุดของอัตราขยายจะสัมพันธ์กับไดเรกทิวิตี ดังสมการที่ (3.13)

$$\begin{aligned} G_0 &= G_g(\theta, \phi) \Big|_{\max} \\ &= e_t D_g(\theta, \phi) \Big|_{\max} \\ &= e_t D_0 \end{aligned} \quad (3.13)$$

ในทางปฏิบัติ เมื่อกล่าวถึงอัตราขยายหมายถึงอัตราขยายกำลังที่มีค่าสูงสุด แสดงดังสมการที่ (3.14)

$$G_0(dB) = 10 \log_{10} [e_t D_0] \quad (3.14)$$

3.4.6 อิมพีแดนซ์ขาเข้า (Input Impedance)

พิจารณาสายอากาศเสมือนเป็นชิ้นส่วนหนึ่งในวงจรไฟฟ้า เมื่อต่อแหล่งกำเนิด
สัญญาณเพื่อป้อนพลังงานให้กับสายอากาศ พลังงานจะไหลเข้าสู่สายอากาศที่ละน้อยเนื่องจากการต้าน
การไหลของพลังงานที่เรียกว่าอิมพีแดนซ์หรือความต้านทานเชิงซ้อนเกิดขึ้น อิมพีแดนซ์ดังกล่าวจะปรากฏที่
หัวของสายอากาศ เรียกว่าอิมพีแดนซ์ขาเข้า (Z_{in}) ดังสมการที่ (3.15)

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in} \quad (3.15)$$

X_{in} คือความต้านทานเชิงจินตภาพที่ทำให้เกิดการสะสมของพลังงานในบริเวณสนาม
ใกล้สายอากาศโดยไม่แผ่กระจายออกไป และ R_{in} ประกอบด้วยสองส่วนคือ R_r หมายถึงความต้านทาน

พลังงานคลื่นที่แผ่ออกไปโดยสายอากาศ และ R_L หมายถึงความต้านทานที่โหลด ซึ่งรวมถึงความต้านทานจากการสูญเสียที่เกิดขึ้นจากความร้อน สารไดอิเล็กตริก และตัวนำ

3.4.7 แบนด์วิดท์ (Bandwidth)

แบนด์วิดท์ของสายอากาศเป็นช่วงของความถี่ที่สามารถนำไปใช้งานได้ ซึ่งช่วงความถี่ถูกกำหนดโดย $VSWR \cong 2$ หรือพิจารณาจากการสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) ที่ระดับ -10 dB ดังสมการที่ (3.16) และสมการที่ (3.17)

$$BW_{narrowband} (\%) = \frac{f_u - f_l}{f_c} \times 100 \quad (3.16)$$

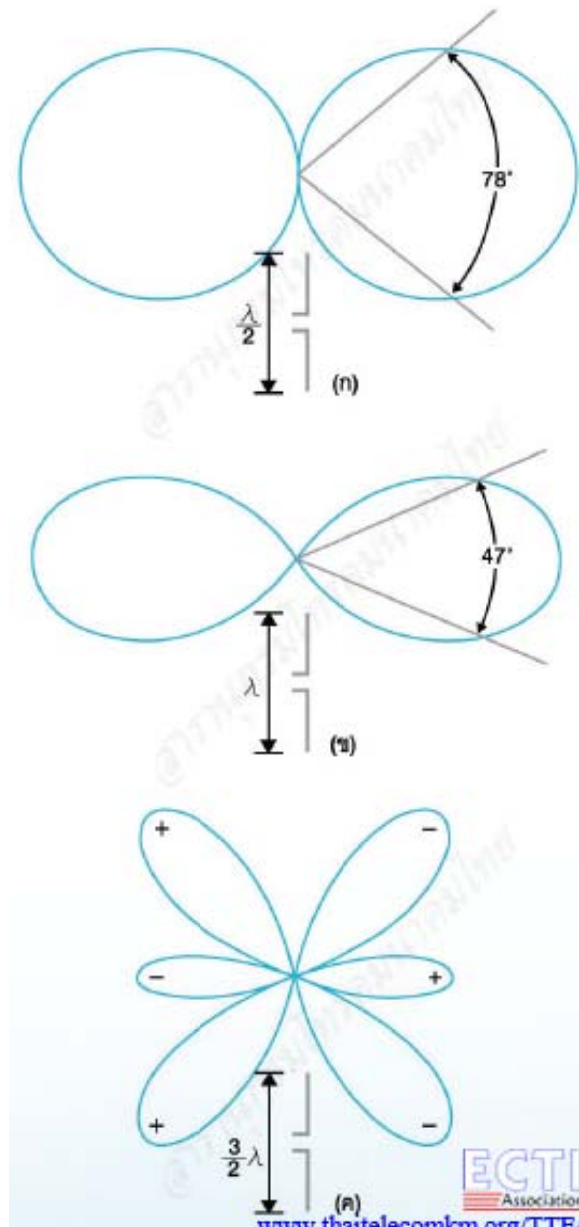
$$BW_{broadband} (\%) = \frac{f_u}{f_l} \times 100 \quad (3.17)$$

เมื่อ BW คือ แบนด์วิดท์ของสายอากาศ
 f_u คือ ขอบความถี่สูงของย่านความถี่
 f_l คือ ขอบความถี่ต่ำของย่านความถี่
 f_c คือ ความถี่กลางของย่านความถี่

3.5 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern) [17]

รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นจากสายอากาศมีความสำคัญมาก โดยเฉพาะในขั้นตอนการออกแบบระบบสื่อสารไร้สายเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดและรูปแบบของสายอากาศเป็นหลัก

ผลกระทบของขนาดสายอากาศกับรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นดังตัวอย่าง คือ ถ้านำสายอากาศไดโพลขนาดหนึ่งความยาวคลื่นและสายอากาศไดโพลขนาดครึ่งความยาวคลื่น มาใช้กับคลื่นวิทยุความถี่เดียวกัน ระยะทางที่ประจุไฟฟ้า ใช้ในการเดินทางบนสายอากาศจะแตกต่างกัน ส่งผลให้รูปแบบของสนามไฟฟ้าที่สร้างขึ้นระหว่างประจุไฟฟ้าบวก-ลบแตกต่างกัน ลักษณะของสนามไฟฟ้าที่สร้างขึ้นก็คือรูปแบบในการแพร่กระจายคลื่นนั่นเอง

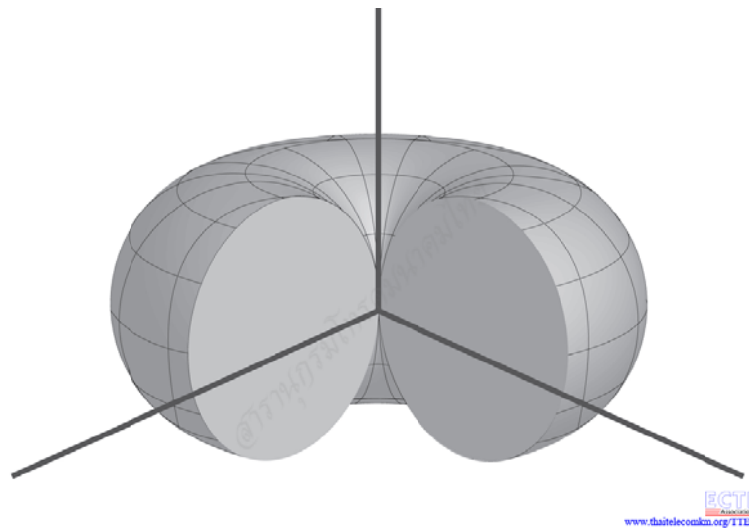


ภาพที่ 3.6 ตัวอย่างรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลที่มีขนาดต่างกัน

จากภาพที่ 3.6 แสดงถึงปัจจัยของความยาวสายอากาศกับรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นโดยสายอากาศแบบครึ่งความยาวคลื่นตามภาพ 3.6(ก) จะมีมุมแพร่กระจายคลื่นในแนวตั้งมากกว่าสายอากาศแบบหนึ่งความยาวคลื่นตามภาพ 3.6(ข) สังเกตได้จาก ค่าองศาของความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (Half Power Beam Width) แต่สายอากาศแบบหนึ่งความยาวคลื่น สามารถส่งสัญญาณได้ในรัศมีที่ไกลกว่าครอบคลุมพื้นที่ได้มากกว่า ส่วนในกรณีที่เพิ่มความยาวสายอากาศไดโพลขึ้นอีกเป็นสามในสองของความยาวคลื่น รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นจะเปลี่ยนไปดังภาพ 3.6(ค)

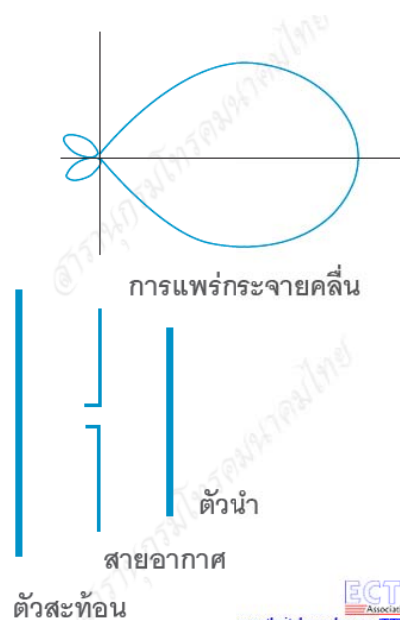
ส่วนผลกระทบของรูปแบบสายอากาศกับรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นตัวอย่างคือสายอากาศไดโพลจะมีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นออกไปรอบ ๆ

ตัวสายอากาศ (Omni-directional Pattern) แสดงเป็นภาพสามมิติได้ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวของสายอากาศไดโพลในแบบสามมิติ

แต่ถ้ามีการปรับแต่งสายอากาศไดโพล โดยเพิ่มเติมตัวสะท้อน (Reflector) และตัวนำ (Director) รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่ได้จะเปลี่ยนไปเป็นการแพร่กระจายแบบมีทิศทาง (Directional Pattern) ซึ่งรูปแบบการแพร่กระจายของคลื่นจะมีลักษณะคล้ายกับลูกบอลูน ออกจากปลายสายอากาศทางฝั่งที่ติดตั้งตัวนำ ดังแสดงในภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 แสดงการแพร่กระจายคลื่นแบบมีทิศทาง

สายอากาศลักษณะนี้จะเห็นได้ตามอาคาร และที่พักอาศัยทั่วไป โดยใช้เป็นสายอากาศสำหรับเครื่องรับโทรทัศน์ (ยาก็-อูตะ) ในการติดตั้งจะหันสายอากาศด้านตัวนำ ไปยังทิศที่ตั้งของสถานีส่งสัญญาณโทรทัศน์ เพื่อให้รับสัญญาณได้ชัดเจนที่สุด

3.6 สายอากาศประเภทต่าง ๆ [18]

ในปัจจุบันสายอากาศที่ถูกนำมาใช้งานมีด้วยกันหลายประเภท ทั้งแบบภายใน และภายนอกอาคาร จึงขอยกตัวอย่างคร่าว ๆ เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างและการนำไปใช้งานของสายอากาศประเภทต่าง ๆ ดังนี้

3.6.1 สายอากาศแบบ Omni

เป็นสายอากาศอากาศที่กระจายสัญญาณรอบทิศทาง 360 องศาโดยมากใช้ติดตั้งไว้ นอกอาคารตรงกลางของหน่วยงาน เพื่อให้กระจายสัญญาณได้ครอบคลุมพื้นที่หน่วยงานนั้น ๆ



ภาพที่ 3.9 สายอากาศแบบ Omni [19]

3.6.2 สายอากาศแบบ Direction

- แบบ Flat เป็นสายอากาศแบบบังคับทิศทางที่กำหนดให้กระจายสัญญาณที่ 180 องศา โดยมากใช้ติดตั้งไว้ขอบรั้วของหน่วยงาน เพื่อบังคับให้กระจายสัญญาณเข้าสู่หน่วยงานไม่ให้สัญญาณออกไปนอกบริเวณพื้นที่อื่น



ภาพที่ 3.10 สายอากาศแบบ flat Panel [20]

- ยากิ-อุดะ (Yagi-Uda) สร้างขึ้นเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องของสายอากาศแบบไดโพล ซึ่งเกิดเงาภาพซ้อนได้ง่ายเนื่องจากสัญญาณที่สะท้อนกลับมาจากด้านหลัง สามารถเข้ากับไดโพลได้พอดีกับสัญญาณรับทางด้านหน้า จึงดัดแปลงเพื่อเพิ่ม Reflector ลงไปเพื่อลดสัญญาณที่สะท้อนมาจากด้านหลังให้ต่ำลง

โดยมีส่วนประกอบหลักดังนี้

1. Reflector อยู่ด้านหลังของโพลเดดไดโพล ทำหน้าที่สะท้อนสัญญาณ
2. Director ทำหน้าที่เป็นตัววน าคลื่น
3. Folded Dipole ทำหน้าที่รับสัญญาณ



ภาพที่ 3.11 สายอากาศยากิ-อุดะ [21]

- พาราโบลิค เป็นสายอากาศแบบบังคับทิศทางที่กำหนดให้กระจายสัญญาณได้แคบ ในช่วง 8 ถึง 15 องศา เพื่อให้ส่งสัญญาณได้ระยะทางไกลขึ้น ส่วนใหญ่ใช้เชื่อมต่อสัญญาณเครือข่ายระหว่างอาคาร หรือหน่วยงานเป็นสำคัญมีทั้งแบบ Rectangle (สี่เหลี่ยมผืนผ้า) ที่มีหน้าสัมผัสสัญญาณแบบ Parabolic



ภาพที่ 3.12 สายอากาศพาราโบลิค [22]

- สายอากาศแบบ Wave Guide เป็นสายอากาศรูปทรงกระบอกกลม หรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า ทำจากโลหะสะท้อนสัญญาณในพื้นที่ปิดเพื่อให้ความยาวช่วงคลื่นตามที่กำหนด มีลักษณะการส่งสัญญาณแบบมีทิศทาง โดยมากมักจะบังคับทิศทางไว้ประมาณ 30 องศา



ภาพที่ 3.13 สายอากาศแบบ Wave Guide [23]