บทที่ 2

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

2.1 ลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป

2.1.1 สมการคลื่น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า ฟาราเดย์(Faraday)เป็นนักวิทยาศาสตร์คนแรกที่เชื่อว่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามีอยู่จริง แต่ก็ไม่สามารถอธิบายออกมาในรูปสมการคณิตศาสตร์ได้ ต่อมา แมกซ์เวลล์(Maxwell) ได้รวบรวมกฎและสมมุติฐานต่างๆ เกี่ยวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเขียนเป็นสมการที่รู้จักกันแพร่หลายว่าสมการแมกซ์เวลล์(Maxwell's equations)[3]

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \tag{2.1}$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \tag{2.2}$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \tag{2.3}$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho \tag{2.4}$$

โดยที่ $\vec{E}$ เป็นความเข้มของสนามไฟฟ้า มีหน่วยเป็น [V/m]

$\vec{H}$ เป็นความเข้มของสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น [AT/m]

$\vec{D}$ เป็นความหนาแน่นของฟลักซ์ไฟฟ้า มีหน่วยเป็น [C/m^2]

$\vec{B}$ เป็นความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก มีหน่วยเป็น [Wb/m^2]

$\vec{J}$ เป็นกระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็น [A/m^2]

ρ เป็นประจุไฟฟ้า มีหน่วยเป็น [C/m^3]

จากสมการเหล่านี้ เมื่อใช้ข้อจำกัดทางเงื่อนไขขอบเขตและวิธีการทางคณิตศาสตร์ จะได้เป็นสมการ (2.5) (2.6)

$$\nabla^2 \vec{E} = \mu\varepsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \tag{2.5}$$

$$\nabla^2 \vec{H} = \mu\varepsilon \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} \tag{2.6}$$

เรียกสมการทั้งสองนี้ว่าเป็นสมการคลื่น คือมีการเคลื่อนที่ตามระยะทางเมื่อเวลาผ่านไป แมกซ์เวลล์ยังเชื่ออีกว่าแสงก็เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นกัน จากการทดลองวัดความเร็วแสงเทียบกับความเร็วคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสมการพบว่าใกล้เคียงกัน แต่ก็ยังไม่เป็นที่ยอมรับจนกระทั่ง เฮริตซ์(Hertz) ได้แสดงให้เห็นว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีอยู่จริงในทางกายภาพ จากการทดลองให้เห็นการแทรกสอด การสะท้อน การหักเหของมัน จากนั้นจึงมีการศึกษาและนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาใช้งานกันอย่างกว้างขวาง ซึ่งทฤษฎีและการวิเคราะห์ต่างๆ เกี่ยวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าก็จะอ้างถึงสมการของแมกซ์เวลล์เสมอ[4]

พิจารณาสมการคลื่น เราอาจทำการแก้สมการโดยตรงซึ่งก็ยุ่งยาก แต่มีอีกวิธีคือการนำเอาโปเทนเชียลฟังก์ชันมาช่วย โดยเมื่อเรากำหนดให้ตัวกลางเป็นแบบเชิงเส้น เนื้อสม่ำเสมอ ไอโซโทรปิก และไม่มีการสูญเสีย ในกรณีนี้สมการแมกซ์เวลล์จะเป็นดังนี้

$$\nabla \times \vec{E} = -j\omega\mu\vec{H} \tag{2.7}$$

$$\nabla \times \vec{H} = j\omega\varepsilon\vec{E} + \vec{J}_0 \tag{2.8}$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \tag{2.9}$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho \tag{2.10}$$

และเราสามารถเขียนได้ว่า $\vec{B} = \mu\vec{H}$ ใน(2.9) และจากกฎทางคณิตศาสตร์ $\nabla \cdot (\nabla \times \vec{P}) = 0$ เราสามารถเขียน $\vec{H}$ ในรูปเวกเตอร์ฟังก์ชันใดๆได้ดังนี้

$$\vec{H} = \frac{1}{\mu}\nabla \times \vec{A} \tag{2.11}$$

เมื่อแทนสมการ(2.11)ใน(2.8)และใช้กฎทางคณิตศาสตร์ $\nabla \times \nabla V = 0$ เราสามารถเขียน $\vec{E}$ ในรูปของสเกลลาร์ฟังก์ชันได้เป็น

$$\vec{E} = -\nabla V - j\omega\vec{A} \tag{2.12}$$

เรียกเวกเตอร์ฟังก์ชันในสมการ(2.11)ว่าเวกเตอร์โปเทนเชียล และสเกลลาร์ฟังก์ชันใน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สมการ(2.12)ว่าสเกลลาร์โปเทนเชียลเมื่อแทนค่า $\vec{H}$, $\vec{E}$ จากสมการ(2.11),(2.12)ลงใน (2.8)เขียนรูปใหม่ ได้

$$\nabla \cdot \nabla \vec{A} + \omega^2 \mu\varepsilon \vec{A} - \nabla (\nabla \cdot \vec{A} + j\omega\mu\varepsilon V) = -\mu \vec{J}_0 \qquad (2.13)$$

เนื่องจาก $\vec{A}$ และ V เป็นฟังก์ชันอะไรก็ได้ เพื่อให้สมการ (2.13)อยู่ในรูปที่ง่ายขึ้น เราจะเลือกความสัมพันธ์ระหว่าง $\vec{A}$ และ V ดังนี้

$$\nabla \cdot \vec{A} = -j\omega\mu\varepsilon V \qquad (2.14)$$

ความสัมพันธ์นี้เรียกว่าเงื่อนไขของโลเรนทซ์(Lorentz's condition) สมการ(2.13) เขียนใหม่ได้เป็น

$$\nabla^2 \vec{A} + k^2 \vec{A} = -\mu \vec{J}_0 \qquad (2.15)$$

เมื่อ $\nabla \cdot \nabla \vec{A} = \nabla^2 \vec{A}$ ในระบบแกนประสานแบบคาร์ทีเซียน และสำหรับสมการแมกซ์เวลล์อีกสมการหนึ่งเขียนได้เป็น

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon} = -\nabla^2 V - j\omega \nabla \cdot \vec{A} \qquad (2.16)$$

และเมื่อใช้ความสัมพันธ์ตามสมการ(2.14)จะได้

$$\nabla^2 V + k^2 V = -\frac{\rho}{\varepsilon} \qquad (2.17)$$

$\vec{A}$ เป็นคำเฉลยของสมการ(2.15)ในขณะที่ V เป็นคำเฉลยของสมการ(2.17)ซึ่งเมื่อรู้คำเฉลยของ $\vec{A}$ และใช้เงื่อนไขของโลเรนทซ์ก็จะได้ $\vec{E}$ และ $\vec{H}$ ในรูปของ $\vec{A}$ ดังนี้

$$\left.\begin{aligned} \vec{E} &= -j\omega\vec{A} + \frac{\nabla\nabla\cdot\vec{A}}{j\omega\mu\varepsilon} \\ \vec{H} &= \frac{1}{\mu}\nabla\times\vec{A} \end{aligned}\right\} \qquad (2.18)$$

สมการ(2.18) เป็นกรณีที่มีกระแสไฟฟ้าเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นเท่านั้น ถ้ามีกระแสแม่เหล็กเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นด้วยจะได้ $\vec{E}$ และ $\vec{H}$ ดังนี้

$$\left.\begin{aligned} \vec{E} &= -j\omega\vec{A} + \frac{\nabla\nabla\cdot\vec{A}}{j\omega\mu\varepsilon} - \frac{1}{\varepsilon}\nabla\times\vec{A}_m \\ \vec{H} &= \frac{1}{\mu}\nabla\times\vec{A} - j\omega\vec{A}_m + \frac{\nabla\nabla\cdot\vec{A}_m}{j\omega\mu\varepsilon} \end{aligned}\right\} \qquad (2.19)$$

โดยที่ $\vec{A}_m$ เป็นเวกเตอร์โปเทนเชียลในกรณีที่ มีกระแสแม่เหล็ก $\vec{J}_m$ เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นด้วย นอกจากเวกเตอร์โปเทนเชียล $\vec{A}$ และ $\vec{A}_m$ แล้ว อาจใช้เวกเตอร์อีกแบบแทน คือ เฮิร์ทซ์เวกเตอร์ หรือ เฮิร์ทเซียนโปเทนเชียล ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ $\vec{A}$ และ $\vec{A}_m$ ดังนี้

$$\vec{A} = \mu\varepsilon\frac{\partial\vec{\Pi}}{\partial t} \qquad (2.20)$$

$$\vec{A}_m = \mu\varepsilon\frac{\partial\vec{\Pi}_m}{\partial t} \qquad (2.21)$$

$\vec{\Pi}$ และ $\vec{\Pi}_m$ เป็นเฮิร์ทซ์เวกเตอร์แบบไฟฟ้า และแบบแม่เหล็กตามลำดับ และสมการ (2.19) จะเขียนได้เป็น

$$\left.\begin{aligned} \vec{E} &= k^2\vec{\Pi} + \nabla\nabla\cdot\vec{\Pi} - j\omega\mu\nabla\times\vec{\Pi}_m \\ \vec{H} &= j\omega\varepsilon\nabla\times\vec{\Pi} + k^2\vec{\Pi}_m + \nabla\nabla\cdot\vec{\Pi}_m \end{aligned}\right\} \qquad (2.22)$$

โดยที่ $\vec{\Pi}$ และ $\vec{\Pi}_m$ เป็นคำเฉลยของสมการ

$$\left.\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\nabla\cdot\nabla\vec{\Pi} + k^2\vec{\Pi}) &= -\frac{\vec{J}_0}{\varepsilon} \\ \frac{\partial}{\partial t}(\nabla\cdot\nabla\vec{\Pi}_m + k^2\vec{\Pi}_m) &= -\frac{\vec{J}_m}{\mu} \end{aligned}\right\} \qquad (2.23)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.2 <u>คลื่นระนาบ</u> คลื่นระนาบเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นพื้นฐานที่สุด มีนิยามคือเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า มีค่าคงที่บนระนาบที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของคลื่นนั้น คลื่นระนาบนี้ถ้ายึดตามนิยามแล้ว จะเป็นคลื่นที่เกิดจากแหล่งกำเนิดที่เท่ากันตลอดทั้งระนาบที่ใหญ่เป็นอนันต์และวางอยู่ห่างไกลมากๆ ซึ่งหาไม่ได้ในความเป็นจริง แต่ถ้าเราจำกัดบริเวณให้แคบลง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าก็เป็นคลื่นระนาบโดยประมาณได้ ในการวิเคราะห์ต่างๆ ก็จะพิจารณาคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าให้เป็นคลื่นระนาบเพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ พิจารณาสมการคลื่นสำหรับเฮิร์ทเซียนโปเทนเชียล ในกรณีนี้จะได้

$$\nabla^2\vec{\Pi} + k^2\vec{\Pi} = 0 \qquad (2.24)$$

โดยที่ $k^2 = \omega^2\mu\varepsilon - j\omega\mu\sigma$ และ σ เป็นสภาพการนำไฟฟ้าของตัวกลาง ถ้าให้มีแต่กระแสไฟฟ้าเป็นแหล่งกำเนิดคลื่น และสมมติให้คลื่นระนาบเคลื่อนที่ไปตามแกน z เท่านั้น จะได้ คำเฉลยของสมการ (2.24) เป็น

$$\vec{\Pi} = \vec{M}e^{-jkz} \qquad (2.25)$$

เมื่อให้ $M = M_x\vec{i}_x + M_y\vec{i}_y + M_z\vec{i}_z$ เราจะได้ $\vec{E}$ และ $\vec{H}$ ออกมาดังนี้

$$\left.\begin{aligned}\vec{E} &= (M_x\vec{i}_x + M_y\vec{i}_y)\,k^2 e^{-jkz} \\ \vec{H} &= (-M_y\vec{i}_x + M_x\vec{i}_y)\,(\omega\varepsilon - j\sigma)\,k\,e^{-jkz}\end{aligned}\right\} \qquad (2.26)$$

จาก (2.26) $\vec{E}$ และ $\vec{H}$ มีความสัมพันธ์กันคือ

$$\vec{H} = \frac{1}{Z}\vec{i}_z \times \vec{E} \qquad (2.27)$$

$$\text{โดยที่ } Z = \frac{k}{\omega\varepsilon - j\sigma} = \sqrt{\frac{\omega\mu}{\omega\varepsilon - j\sigma}} \quad (\Omega) \qquad (2.28)$$

เรียก Z ใน(2.28) ว่า อินทรินสิกอิมพิแดนซ์(Intrinsic impedance)ของตัวกลาง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

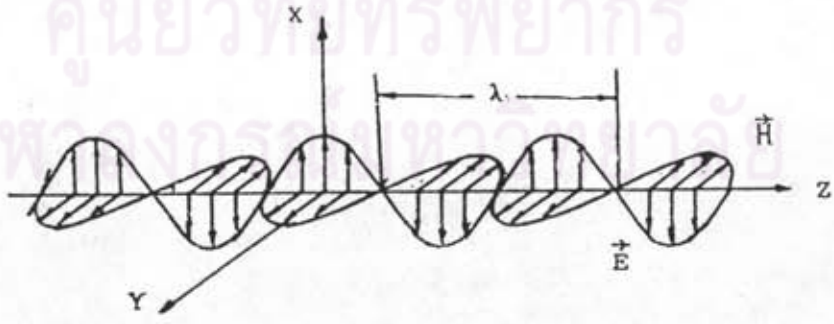
จากสมการ (2.26)ถึง (2.28)เราสรุปได้ว่า ในคลื่นระนาบ สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าต่างก็เป็นเวกเตอร์ที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่และตั้งฉากซึ่งกันและกัน ขนาดของ $\vec{E}$ จะเป็น $|Z|$ เท่าของ $\vec{H}$ และเฟสของ $\vec{E}$ เร็วกว่า $\vec{H}$ อยู่เท่ากับมุมของ Z(rad) ในกรณีที่ตัวกลางไม่มีการสูญเสีย คือ $\sigma = 0$ Z จะเป็นค่าจริง และถ้าเป็นอากาศว่าง อินทรินสิกอิมพิแดนซ์ของอากาศว่าง Z_o จะเป็น

$$Z_o = \sqrt{\frac{\mu_o}{\varepsilon_o}} = 120\pi = 376.7\,(\Omega) \qquad (2.29)$$

ในกรณีที่ $M_y = 0$, $\sigma = 0$ สนามไฟฟ้าจะมีเฉเพาะส่วนประกอบในแกน x และสนามแม่เหล็กจะมีเฉพาะในแนวแกน y และเมื่อเขียนค่าชั่วขณะของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะได้ดังในสมการที่ (2.30)

$$\left.\begin{aligned} \vec{E} &= E_x\vec{i_x} = \vec{i_x}\sqrt{2}\,E_o\cos(\omega t + \theta - kz) \\ \vec{H} &= H_y\vec{i_y} = \vec{i_y}\sqrt{2}\,\frac{E_o}{Z_o}\cos(\omega t - kz) \end{aligned}\right\} \qquad (2.30)$$

ในขณะที่ $2\vec{E}_o$ และ θ เป็น ค่าสูงสุดและเฟสของ $M_x k^2$ ตามลำดับ รูปที่ 2.1 แสดงคลื่นระนาบในตัวกลางนี้



รูปที่ 2.1 คลื่นระนาบ

คลื่นระนาบเคลื่อนที่ไปในแกน z นี้อาจแทนได้ด้วย e^{-jkz} ดังแสดงในรูป ลักษณะการเคลื่อนที่ไปจะขึ้นอยู่กับตัวกลางที่เคลื่อนที่ผ่านและความถี่ของคลื่นนั้น นั่นคือค่า k นั่นเอง อาจแบ่งตัวกลางออกเป็น 3 แบบ ดังกรณีต่อไปนี้

1. กรณี $\sigma = 0$

   - กรณีฉนวนสมบูรณ์แบบ คลื่นจะเคลื่อนที่โดยไม่การสูญเสียระดับของคลื่นจะคงที่ตลอดช่วงการเคลื่อนที่

2. กรณี $\sigma \neq 0$

   - กรณีฉนวนโดยทั่วไปมีค่าการนำไฟฟ้าอยู่บ้าง ($\sigma \dashrightarrow 0$) คลื่นจะเคลื่อนที่ผ่านไปได้ แต่จะถูกลดทอนทำให้ระดับคลื่นลดลงไป
   - กรณีตัวนำโดยทั่วไป มีค่าการนำไฟฟ้าสูง ($\sigma >> 0$) คลื่นจะเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในตัวกลางได้ระยะทางน้อยมาก เรียกระยะทางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในตัวนำจนระดับคลื่นลดลงเหลือ 1/e เท่า ว่าระยะความลึกผิว (skin depth) δ โดยที่

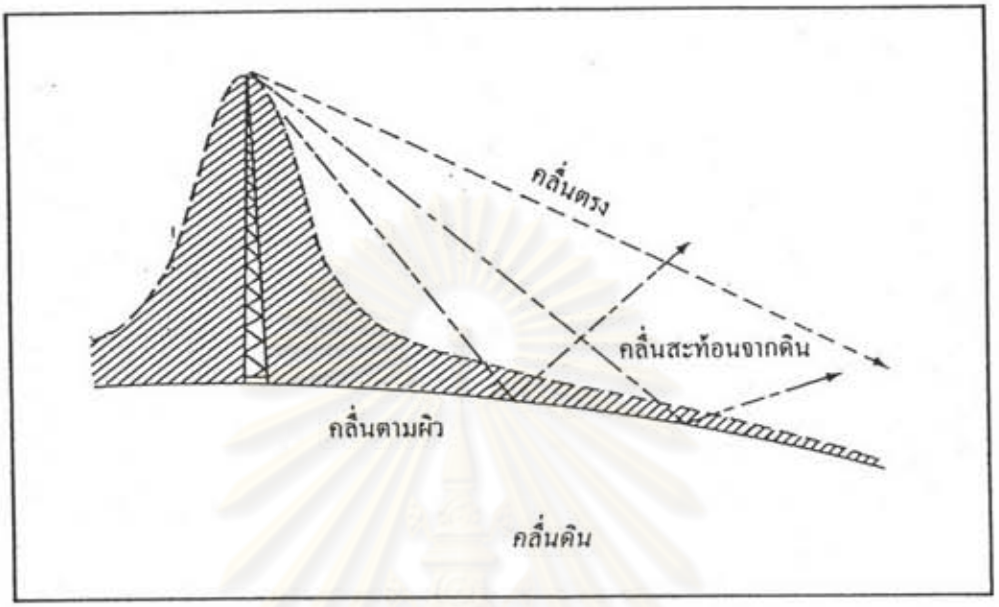
$$\delta = \frac{1}{\alpha} = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}} \qquad (2.31)$$

3. กรณี $\sigma \dashrightarrow \infty$

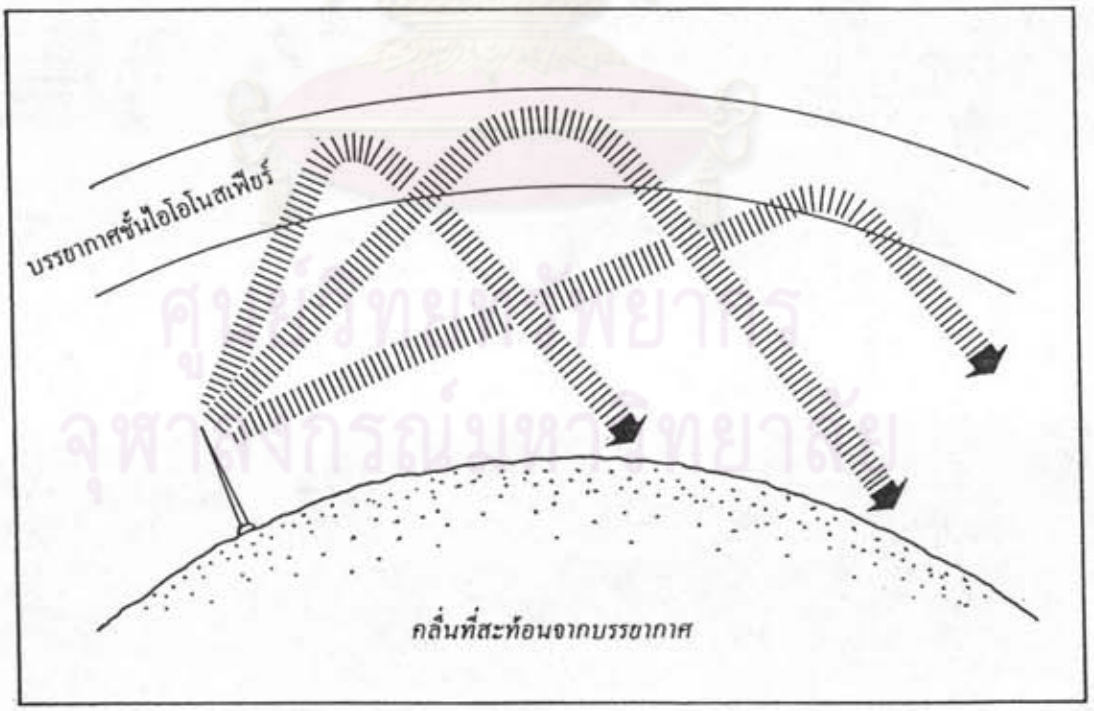
   - กรณีตัวนำสมบูรณ์แบบคลื่นจะไม่เคลื่อนที่เข้าไปในตัวกลางสมบูรณ์แบบ แต่จะสะท้อนกลับหมด

สำหรับอากาศในชั้นบรรยากาศจะเป็นกรณีของฉนวนโดยทั่วไป คือมีความนำไฟฟ้าอยู่บ้าง คลื่นเมื่อเคลื่อนที่ไปในอากาศจะมีการลดทอนไปมากน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะอากาศและความถี่ของคลื่น อาจแบ่งคลื่นที่เคลื่อนที่อยู่ในชั้นบรรยากาศเพื่อการสื่อสารออกเป็น 2 ชนิด คือคลื่นดิน (ground wave) คลื่นฟ้า (sky wave) คลื่นดินคือคลื่นส่วนที่เคลื่อนที่ไปตามพื้นโลก, คลื่นที่เคลื่อนที่ตรงและสะท้อนจากพื้นดิน ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ส่วนคลื่นฟ้าคือคลื่นที่สะท้อนจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 คลื่นดินที่เคลื่อนที่ตามผิวโลกนั้นจะเป็นคลื่นที่ความถี่ต่ำจนถึงประมาณ 10 MHz ที่ความถี่สูงกว่านั้นส่วนใหญ่จะเป็นคลื่นที่เคลื่อนที่ในแนวตรงกับคลื่นที่สะท้อนจากพื้นโลก ซึ่งบางทีจะรวมเรียกคลื่นทั้งสองนี้ว่าเป็นสเปซเวฟ (space wave) ส่วนคลื่นฟ้าซึ่งเป็นคลื่นที่สะท้อนจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้นจะเกิดในช่วงความถี่ HF เมื่อความถี่สูงขึ้นคลื่นจะสะท้อนบรรยากาศชั้นนี้ได้น้อยลง จนถึงความถี่ประมาณ 40 MHz ขึ้นไปคลื่นส่วนใหญ่จะทะลุผ่านบรรยากาศชั้นนี้ไปได้ ฉะนั้นที่

ความถี่สูงๆก็จะมีเฉพาะ สเปซเวฟเท่านั้น [5]



รูปที่ 2.2 คลื่นดิน



รูปที่ 2.3 คลื่นฟ้า

2.2 คลื่นรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า คือ "คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าใดๆ ที่ทำให้เกิดการทำงานผิดพลาด ด้อยประสิทธิภาพ หรือขัดจังหวะการทำงาน ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรือระบบ" คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเหล่านี้ถึงแม้เราจะตั้งใจสร้างมันขึ้นมาเพื่อการใช้งานอย่างหนึ่งก็ตาม แต่ถ้าไม่เป็นที่ต้องการของอุปกรณ์หรือระบบอื่นก็ถือว่าเป็นคลื่นรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งสิ้น ยกตัวอย่างเช่น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสถานีวิทยุกระจายเสียง ก็ถือว่าเป็นคลื่นรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นกันเพราะอาจทำให้เกิดผลเสียต่ออุปกรณ์หรือระบบอื่นที่ไม่ต้องการคลื่นวิทยุนี้

2.2.1 แหล่งกำเนิด คลื่นรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า เกิดขึ้นได้จากแหล่งกำเนิดมากมายอาจแบ่งออกเป็น 2 แบบตามลักษณะการเกิดคือ [6]

2.2.1.1 แหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ (Natural Source) คลื่นรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติอยู่แล้ว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กในธรรมชาติ ในช่วงความถี่ต่ำกว่า 10 MHz ส่วนใหญ่จะเกิดจากพายุฝนฟ้าคะนอง ฟ้าผ่า ส่วนในช่วงความถี่สูงกว่า 10 MHz ส่วนใหญ่เกิดจากการแผ่รังสีสุริยะคือคลื่นรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่มาจากดวงอาทิตย์ และคลื่นรบกวนคอสมิกซึ่งเกิดจากดาวดวงอื่นๆ คลื่นรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากธรรมชาติจะขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ ภูมิอากาศของโลกเป็นหลัก ในแต่ละพื้นที่ก็จะมีคลื่นรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าต่างกันไป

2.2.1.2 แหล่งกำเนิดที่มนุษย์สร้างขึ้น (Man-made Source) มนุษย์เราทำให้เกิดคลื่นรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นมากมาย แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1. มนุษย์สร้างขึ้นโดยไม่ตั้งใจ (Unintentional Man-made) ปกติอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นมา ขณะใช้งานก็จะก่อให้เกิดคลื่นรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา ที่ความถี่ต่างๆ ในระดับมากบ้างน้อยบ้างต่างกันไป ทั้งที่การออกแบบสร้างมิได้ต้องการให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อการใช้งานอุปกรณ์นั้นก็ตาม ยกตัวอย่างเช่น สายส่งแรงสูง[7] หลอดฟลูออเรสเซนต์ เครื่องคอมพิวเตอร์ มอเตอร์ รีเลย์ เป็นต้น คลื่นรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าประเภทนี้จะเกิดที่ความถี่หลายๆ ความถี่พร้อมๆ กัน และมักจะไม่ทราบความถี่ที่แน่นอน

2. มนุษย์สร้างขึ้นโดยตั้งใจ(Intentional Man-made) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเหล่านี้ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการทำงานของอุปกรณ์หรือระบบนั้นได้แก่ วิทยุกระจายเสียง สถานีโทรทัศน์ วิทยุมือถือ วิทยุโทรศัพท์ วิทยุติดตามตัว เครื่องควบคุมระยะไกลใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เรดาร์ เหล่านี้ล้วนต้องใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการทำงานตามวัตถุประสงค์ของอุปกรณ์หรือระบบนั้น จึงมีการสร้างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาที่ความถี่ต่างๆ ขึ้นมา คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเหล่านี้ก็ถือเป็นคลื่นรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าและเป็นคลื่นรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีขนาดสูงกว่าแหล่งกำเนิดอื่นๆ ด้วย แต่เป็นแหล่งกำเนิดที่เราทราบความถี่ที่แน่นอนเนื่องจากได้มีการกำหนดการใช้ความถี่ให้เป็นข้อตกลงระหว่างประเทศโดย ITU (International Telecommunication Union)เพื่อการใช้ความถี่อย่างมีระเบียบรายละเอียดเกี่ยวกับข้อตกลงนั้นได้กำหนดไว้ในหนังสือ Radio Regulation สำหรับประเทศไทยมีกรมไปรษณีย์โทรเลข เป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบในการจัดสรรความถี่ โดยสอดคล้องกับข้อตกลงของ ITU (ดูภาคผนวก ก) ในปัจจุบันพบว่าการใช้ความถี่ในช่วง VHF มีความหนาแน่นสูง จากข้อมูลที่ได้จากกรมไปรษณีย์โทรเลขในกรุงเทพมหานครความถี่ช่วง VHF ได้อนุญาตให้ใช้ไปแล้วมากกว่า 80 % ของความถี่ที่มีอยู่ ต่างจากช่วง UHF ที่ยังมีการใช้ไม่มากนัก แหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประเภทนี้เราไม่สามารถกำจัดได้ มีแต่จะมากขึ้นทุกวันตามความก้าวหน้าของวิทยาการสมัยใหม่

2.2.2 <u>ผลกระทบ</u> คลื่นรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากมนุษย์สร้างขึ้น อาจถูกปล่อยออกไปได้ทั้ง ตามสายตัวนำ(conducted) หรือแผ่รังสีไปในอากาศ(radiated) ถ้าจะมองเป็นระบบแล้วการที่จะเกิดมีการรบกวนกันขึ้นได้นั้นจะต้องมีตัวแปรอยู่ 3 ตัว คือ

1.แหล่งกำเนิด (Source)

2.ตัวกลาง(Propagation Medium)

3.ตัวรับ(Susceptible Receptor)

สภาพการรบกวนโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้จะไม่เกิดขึ้น ถ้าเราตัดตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งออกไป แต่ในการทำงานจริงเราไม่สามารถทำได้อย่างเด็ดขาดเช่น แหล่งกำเนิดเราทราบแล้วว่ามีอยู่มากมายเราไม่สามารถกำจัดได้ ตัวกลางที่เป็นสายไฟกำลังเข้าเครื่องหรือสายนำสัญญาณเราก็ไม่สามารถตัดออกไปได้ ส่วนตัวรับก็คืออุปกรณ์ที่กำลังใช้งานอยู่แน่นอนถ้า

ตัดออกก็คือไม่มีการทำงานของอุปกรณ์นั้น จึงต้องจำทนอยู่ในสภาพที่อาจถูกรบกวนอยู่ตลอดเวลาเช่นนี้

แต่ถ้าในสถานที่ที่ใช้งานอยู่ แหล่งกำเนิดคลื่นรบกวนฯส่งคลื่นรบกวนฯออกมาไม่สูงนัก ผ่านตัวกลางที่ลดทอนขนาดของคลื่นรบกวนฯลงบ้างและตัวรับมีภูมิต้านทานการรบกวนมากพอ คลื่นรบกวนฯไม่สามารถทำให้เกิดผลเสียต่อตัวรับได้ ในสภาพเช่นนี้เราเรียกว่าความสอดคล้องทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า(Electromagnetic Compatibility, EMC) ซึ่งถูกนิยามไว้ว่า เป็นความสามารถของอุปกรณ์ตัวหนึ่งที่จะทำงานได้อย่างปกติ ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ประกอบไปด้วยคลื่นรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าโดยไม่ถูกรบกวนด้วยสภาพแวดล้อมนั้น รวมถึงอุปกรณ์อื่นที่ทำงานร่วมกันในสภาพแวดล้อมเดียวกันด้วย [8]

การที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เราใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ยังคงทำงานได้อยู่ ทั้งๆ ที่ในบรรยากาศในสายส่งกำลัง สายนำสัญญาณ ล้วนมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าปนอยู่มากมายนั้น เป็นเพราะมีสภาพสอดคล้องทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าดังกล่าว อาจเนื่องจาก อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้อยู่มีการป้องกันที่ดีโดยการสร้างกล่องโลหะหุ้ม(Shielding) ป้องกันไม่ให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในอากาศเข้าสู่ตัวอุปกรณ์ และ ใส่ตัวกรอง(Filter)ในสายส่งกำลัง ป้องกันไม่ให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มาตามสายเข้าสู่ตัวอุปกรณ์ หรืออีกนัยหนึ่งเป็นเพราะระดับของคลื่นรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในบริเวณการใช้งานอุปกรณ์นั้นมีระดับไม่สูงมาก

แต่เมื่อใดที่ขนาดของคลื่นรบกวนสูงขึ้น อาจเนื่องจากมีแหล่งกำเนิดเกิดขึ้นใกล้ๆ สถานที่ใช้งานหรือมีการเปลี่ยนแปลงของคลื่นรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดขึ้น อาจเกิดการรบกวนทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นั้นทำงานผิดพลาดได้ ตัวอย่างผลของการถูกรบกวนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แสดงใน ภาคผนวก ค เป็นการถูกรบกวนของโทรทัศน์โดยคลื่นรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจาก เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ และหลอดฟลูออเรสเซนต์ ในกรณีเช่นนี้เราพอจะสังเกตเห็นผลกระทบได้ด้วยตาเปล่าและสามารถทราบได้ว่าเป็นการรบกวนจากอะไร แต่ในกรณีอื่นเช่นเราพบว่าภาพในจอโทรทัศน์ไม่ชัดเจน บางทีอาจเกิดจากการรบกวนโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดอื่นก็ได้ หรือเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เกิดอาการชะงัก(hang-up)ในขณะทำงาน อาจเพราะถูกรบกวนจากคลื่นรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดใดๆ เข้าแล้วก็เป็นได้ ในกรณีเช่นนี้ไม่สามารถชี้ชัดลงไปได้ว่าเป็นเพราะเหตุใด จึงอาจกล่าวโดยสรุปได้ว่า ผลกระทบจากคลื่นรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ก็ขึ้นอยู่กับสภาพ

ของตัวแปรทั้ง 3 ที่กล่าวไปแล้วนั่นเอง

ในภาคผนวก ข ได้แสดงการวัดคลื่นรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในบรรยากาศ ตลอดช่วงความถี่ 30 MHz ถึง 1 GHz จะเห็นว่าในช่วงความถี่ VHF มีคลื่นรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าอยู่มาก วิทยานิพนธ์นี้เลือกวัดที่ความถี่ช่วงดังกล่าวและวัดเฉพาะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายในอากาศเท่านั้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

018245