

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1) ความเป็นมา ความหมายและ คุณสมบัติ ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

เมื่อค.ศ. 1887(พ.ศ. 2431) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันเชื้อสายยิวผู้หนึ่งชื่อ ไฮน์ริช เฮอร์ตซ์ ได้ค้นพบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสองขั้วที่เกิดจากการสปาร์กและรับสัญญาณสปาร์กนี้ได้ระยะไกลหลายเมตร การค้นพบครั้งนี้ถือได้ว่าเป็นการค้นพบทางวิทยาศาสตร์ครั้งสำคัญที่สุดครั้งหนึ่งเพราะต่อมาได้นำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ เฮอร์ตซ์ค้นพบ ซึ่งในสมัยนั้นเรียกว่า คลื่นเฮอร์ตซ์ (Hertzian wave) มาประยุกต์ใช้ในการสื่อสาร โดยในค.ศ. 1897( พ.ศ. 2441) มาร์โคนี นักประดิษฐ์ชาว อิตาลี สามารถส่งและรับโทรเลขโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้เป็นผลสำเร็จ ถัดมาอีก 3 ปี คือในค.ศ. 1900 (พ.ศ. 2444) มาร์โคนี ประสบความสำเร็จครั้งใหญ่เมื่อสามารถส่งคลื่นเฮอร์ตซ์ข้ามมหาสมุทรแอตแลนติก จากประเทศอังกฤษ ไปยังนิวฟันแลนด์ ประเทศแคนาดา ความสำเร็จของมาร์โคนีเป็นการเปิดโฉมหน้าใหม่ของการติดต่อสื่อสารระยะไกลโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นครั้งแรก มีผลทำให้การสื่อสารเป็นไปอย่างสะดวกและรวดเร็ว ต่อมาเมื่อมีการผสมสัญญาณภาพเข้ากับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ก็ทำให้เกิดวิทยุกระจายเสียงและวิทยุโทรทัศน์ตามลำดับ[1]

#### ความหมายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า(Electromagnetic Wave)คือการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าโดยทำให้สนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลงก็จะทำให้นิวนาให้เกิดสนามไฟฟ้าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นตามขวางประกอบไปด้วยสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่มีการสั่นในแนวตั้งฉากกันและอยู่บนระนาบตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นและที่สำคัญคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นที่เคลื่อนที่โดยไม่มีอาศัยตัวกลางจึงสามารถเคลื่อนที่ในสุญญากาศได้[1]

#### คุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ละชนิดก็จะมีสเปกตรัมของความถี่ที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละชนิดของตัวมันแต่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิดจะต้องมีคุณสมบัติเหมือนกันคือ

1. การสะท้อนกลับของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นการเปลี่ยนทิศทางของคลื่น โดยทันทีเมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นเดินทางไปตกกระทบกับผิวของตัวกลางหรือผิวของวัตถุใดๆ
2. การหักเหของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อคลื่นนั้นได้เดินทางจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง เช่นแสงเดินทางจากอากาศซึ่งมีความหนาแน่นน้อยไปยังตัวกลางอีกตัวหนึ่งคือ น้ำซึ่ง

มีความหนาแน่นมากกว่าอากาศเมื่อแสงกระทบน้ำจะมีแสงบางส่วนสะท้อนกลับไปและแสงอีกบางส่วนทะลุผ่านน้ำได้จึงเรียกส่วนที่ทะลุผ่านน้ำนั้นว่า การหักเหของแสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั่นเอง

3. การเบี่ยงเบนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเกิดขึ้นเมื่อคลื่นวิทยุเดินทางผ่านมุม หรือขอบของตัวกลางที่คลื่นไม่สามารถผ่านไปได้เช่นคลื่นวิทยุที่มีความถี่สูงมากเดินทางผ่านยอดเขา คลื่นวิทยุที่มีความถี่สูงมากนี้มีคุณสมบัติในการเดินทางเป็นเส้นตรง ดังนั้นถ้าลากเส้นตรงจากสายอากาศไปยังยอดเขาส่วนที่อยู่หลังยอดเขาโดยโค่นเขาบังไว้และต่ำกว่าเส้นนี้ลงไปจะไม่สามารถรับคลื่นสัญญาณวิทยุได้เลยแต่ปรากฏว่าบางส่วนของคลื่นที่อยู่หลังเขาและบางส่วนของคลื่นที่อยู่บนพื้นที่ใกล้ๆสามารถรับคลื่นสัญญาณวิทยุได้ [2]

## 1.2) สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและการจำแนกคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

### 1.2.1) ความหมายของสเปกตรัม

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ต่อเนื่องกันเป็นช่วงๆและแต่ละช่วงก็จะถูกจำแนกโดยความถี่ที่มีไม่เท่ากันและ ช่วงของแต่ละความถี่ของคลื่นเรียกว่า สเปกตรัมและสเปกตรัมนี้จะมีคุณสมบัติที่เหมือนกันคือ เคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วเท่ากับแสงและมีพลังส่งผ่านไปพร้อมกับคลื่น

### 1.2.2) ตารางจัดเรียงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยความถี่และความยาวคลื่น

ความถี่หมายถึงจำนวนรอบของการเปลี่ยนแปลงต่อวินาทีซึ่งในปัจจุบันนี้ใช้เรียกว่า Hertz หรือ Hz แทน

ความยาวคลื่นหมายถึงคือระยะห่างระหว่างสันคลื่นกับสันคลื่นหรือท้องคลื่นกับท้องคลื่นหน่วยที่นิยมใช้วัดกันเป็นเมตร

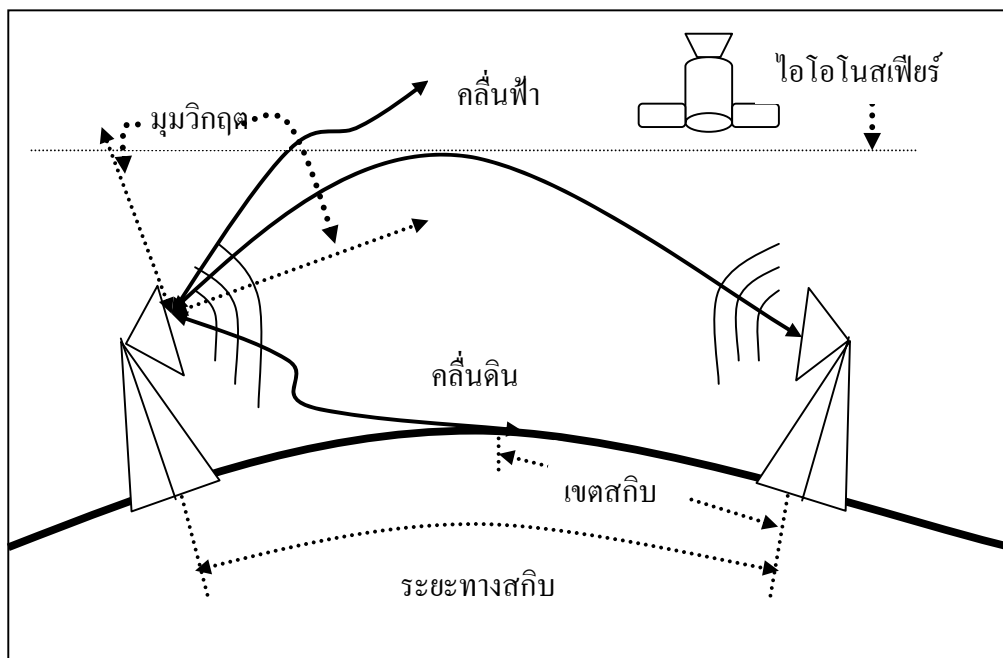
ตารางที่ 1 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและการใช้งาน[3]

ความถี่ (ชื่อ)	ความยาวคลื่น	การใช้งาน
ต่ำกว่า 30 KHz (VLF)	มากกว่า 10 Km	ใช้สื่อสารทางทะเล
30 - 300 KHz (LF)	1 - 10 Km	ใช้สื่อสารทางทะเล
0.3 - 3 MHz (MF)	0.1 - 1 Km	ใช้ส่งคลื่นวิทยุระบบเอเอ็ม
3 - 30 MHz (HF)	10 - 100 m	ใช้ส่งวิทยุคลื่นสั้นสื่อสารระหว่างประเทศ
30 - 300 MHz (VMF)	1 - 10 m	ใช้ส่งคลื่นวิทยุระบบเอฟเอ็มและคลื่นโทรทัศน์
0.3 - 3 GHz (VHF)	10 - 100 cm	ใช้ส่งคลื่นโทรทัศน์และไมโครเวฟ
3 - 30 GHz (SHF)	1 - 10 Cm	ใช้ส่งคลื่นไมโครเวฟและเรดาร์

### 1.3) ประเภทของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

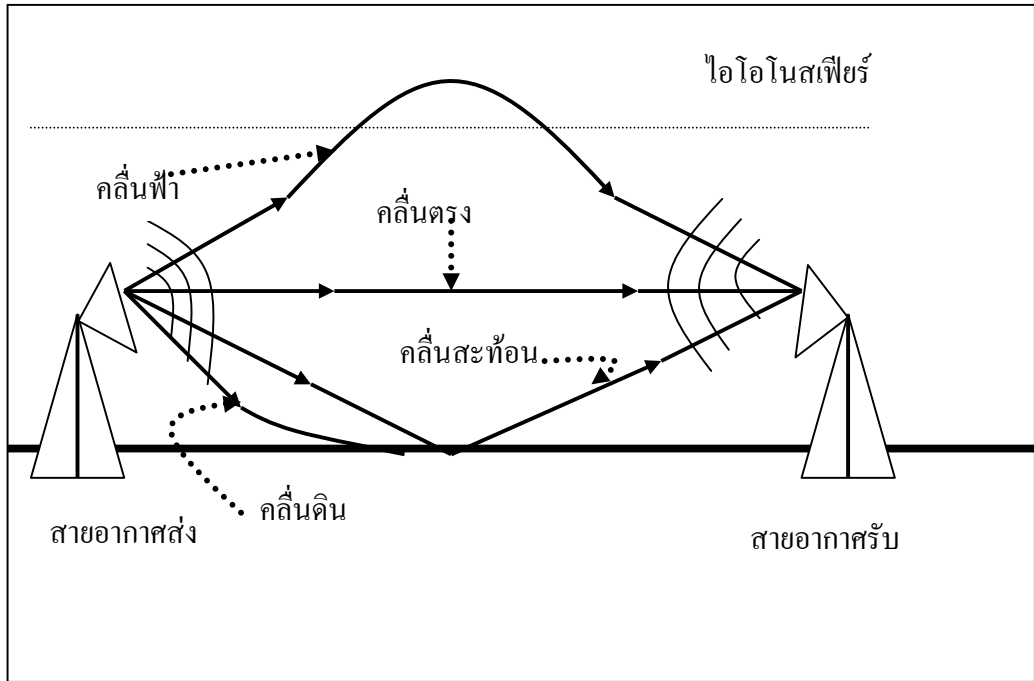
โดยทั่วไปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอาจแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ คลื่นดิน ( GROUND WAVE ) กับ คลื่นฟ้า (SKY WAVE ) คลื่นดิน คือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เดินทางอยู่ในระยะใกล้ๆผิวโลกหรือตรงส่วนโค้งของโลกนั่นเอง ส่วนคลื่นฟ้า คือ คลื่นที่เกิดจากการเดินทางของคลื่น ด้วยมุมกว้างหรือมุมป้านและจะเดินทางจากโลกพุ่งออกไปยังบรรยากาศจนถึงเพดานฟ้าและเกิดการสะท้อนกลับลงมายังโลก สามารถจัดองค์ประกอบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 4 องค์ประกอบ คือ คลื่น ผิวดิน (SURFACE WAVE ) , คลื่นตรง ( DIRECT WAVE ) , คลื่นสะท้อนดิน ( GROUND REFLECTED WAVE ) และ คลื่นหักเหโทรดโปสเฟียร์ ( REFLECTED TROPOSHRIC WAVE ) [4]

- 1) คลื่นผิวดิน (SURFACE WAVE ) หมายถึง คลื่นที่เดินทางหรือเคลื่อนที่ไปตามพื้นผิวโลก อาจจะเป็นพื้นผิวดินหรือผิวน้ำก็ได้



รูปที่ 1 คลื่นฟ้าและคลื่นดิน[16]

- 2.) คลื่นตรง ( DIRECT WAVE ) หมายถึงคลื่นที่เดินทางหรือเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงจากสายอากาศส่งผ่านบรรยากาศตรงไปยังสายอากาศรับโดยไม่ได้มีการสะท้อนใดๆ
- 3.) คลื่นสะท้อนดิน ( GROUND REFLECTED WAVE ) หมายถึง คลื่นที่ออกมาจากสายอากาศไปกระทบผิวดินแล้วเกิดการสะท้อนไปเข้าที่สายอากาศรับ
- 4.) คลื่นหักเหโทร โปสเฟียร์ หมายถึง คลื่นหักเหในบรรยากาศชั้นต่ำของโลกที่เรียกว่า ชั้น โทร โปสเฟียร์ เป็นชั้นบรรยากาศชั้นแรกเมื่อเราออกสู่อวกาศ การหักเหใช่เหมือนกับการหักเหปกติที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของชั้นบรรยากาศของโลกกับความสูง แต่เป็นการหักเหที่เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของชั้นบรรยากาศอย่างทันทีทันใด[4]



รูปที่ 2 องค์ประกอบของคลื่น[4]

## บทที่ 2

### พื้นฐานทางฟิสิกส์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและการประยุกต์ใช้

#### 2.1) ทฤษฎีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและสมการของแมกซ์เวลล์

##### 2.1.1) ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กเป็นสนามที่มีลักษณะที่ว่าจะมีค่าคงที่เสมอไม่ขึ้นอยู่กับเวลา ขนาดของสนามจะแปรค่าไปตามระยะทางจากแหล่งกำเนิดสนามไปยังตำแหน่งที่ต้องการหาสนามนั้น และจากในอดีตได้กล่าวเอาไว้ว่าปรากฏการณ์ไฟฟ้าและแม่เหล็กเป็นปรากฏการณ์ที่แยกจากกันอย่างเด็ดขาด จนถึง ค.ศ. 1865 ( พ.ศ. 2408 ) เจมส์ เคลิร์ก แมกซ์เวลล์ ( James Cleark Maxwell ) ได้เสนอสมการเกี่ยวกับทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า 4 สมการ และยังกล่าวด้วยว่าสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าสามารถเดินทางร่วมกันในอวกาศได้ และได้เรียกว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า[5]

##### 2.1.2) สมการแมกซ์เวลล์

สมการแมกซ์เวลล์ทั้งสี่สมการได้มาจากการรวบรวมกฎที่สำคัญๆซึ่งเป็นรากฐานของวิชาแม่เหล็กไฟฟ้ารายละเอียดของแต่ละสมการมีดังนี้

1.) สมการแรกจะเป็นกฎของเกาส์สำหรับสนามไฟฟ้าได้กล่าวไว้ว่าฟลักซ์ทั้งหมดผ่านพื้นที่ปิดจะมีค่าเท่ากับประจุสุทธิภายในผิวปิดเสมอ ดังสมการ

$$\phi_E = \epsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = q \quad (\text{สมการที่ 2.1.1})$$

จากสมการจะเห็นว่าเส้นแรงของสนามไฟฟ้าจะมีลักษณะเปิดเส้นแรงจะเริ่มต้นจากประจุบวกไปยังประจุลบ และจากการอินทิเกรตรอบผิวปิดจากสมการที่ 2.1.1 สามารถเขียนแทนได้ด้วยอินทิเกรตเชิงปริมาตร โดยใช้ทฤษฎีไดเวอร์เจนซ์ ( divergence theorem ) ดังนี้

$$\oint_s \vec{A} \cdot d\vec{s} = \int_v (\nabla \cdot \vec{A}) dV \quad (\text{สมการที่ 2.1.2})$$

จากสมการที่ 2.1.1 เปลี่ยนประจุ  $q$  ให้อยู่ในรูปของความหนาแน่นประจุ ( $\rho$ ) คูณด้วยปริมาตรย่อยเล็กๆ ( $dv$ ) จะได้

$$q = \int_v \rho dV$$

กฎของเกาส์ จะได้ดังนี้

$$\epsilon_0 \int_v (\nabla \cdot \vec{E}) dV = \int_v \rho dV$$

สามารถนำไปเขียนไว้ในรูปสมการเชิงอนุพันธ์ได้ดังนี้

$$\nabla \cdot \vec{E} = \rho / \epsilon_0 \quad (\text{สมการที่ 2.1.3})$$

2.) สมการที่สองจะเป็นกฎของเกาส์สำหรับสนามแม่เหล็ก เพราะว่าเส้นแรงแม่เหล็กจะเป็นวงปิดเสมอ และเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งเข้าสู่ผิวปิดจะมีค่าเท่ากับเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งออกจากผิวปิด ดังนั้นจำนวนเส้นแรงแสททิที่ผ่านผิวปิดหนึ่งๆจึงมีค่าเป็นศูนย์ ดังสมการนี้

$$\phi_e = \oint_s \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0 \quad (\text{สมการที่ 2.1.4})$$

อาศัยทฤษฎีไดเวอร์เจนซ์จะได้

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (\text{สมการที่ 2.1.5})$$

จากสมการที่ 2.1.5 จะเห็นความแตกต่างระหว่างสนามแม่เหล็กและไฟฟ้าที่เราไม่สามารถพบขั้วแม่เหล็กอิสระ เหมือนกับที่ได้พบประจุอิสระ

3.) สมการที่สามเป็นสมการที่เกี่ยวกับการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ จะสามารถแสดงให้เห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงค่าของสนามแม่เหล็กทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ หรืออีกในหนึ่งก็คือทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้นจากกฎของฟาราเดย์จะได้ว่า

$$\text{แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำรอบวงจรปิด} = - \frac{\partial \phi_B}{\partial t}$$

หรือ

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \partial \int \vec{B} \cdot d\vec{s} \quad (\text{สมการที่ 2.1.6})$$

สามารถเปลี่ยนรูปการอินทิเกรตรอบเส้นปิดให้เป็นการอินทิเกรตเชิงพื้นที่โดยอาศัยทฤษฎีของสโตกส์ (Stoke's Theorem) ได้ดังนี้

$$\oint_L \vec{A} \cdot d\vec{l} = \int_S (\nabla \times \vec{A}) \cdot d\vec{s} \quad (\text{สมการที่ 2.1.7})$$

สมการที่ 2.1.6 สามารถเปลี่ยนรูปได้ใหม่

$$\int_S (\nabla \times \vec{E}) \cdot d\vec{s} = - \frac{\partial \int \vec{B} \cdot d\vec{s}}{\partial t} \quad (\text{สมการที่ 2.1.8})$$

และจากสมการที่ 2.1.8 นี้จะเป็นจริงเสมอกับทุกๆผิวย่อย ds เขียนให้อยู่ในรูปเชิงอนุพันธ์จะได้เป็น

$$\nabla \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (\text{สมการที่ 2.1.9})$$

4.) สมการที่สี่ เป็นกฎของแอมแปร์ ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\oint_L \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I \quad (\text{สมการที่ 2.2.10})$$

จากสมการที่ 2.1.10 นี้ เป็นการหมุนเวียนของสนามแม่เหล็กไปตามเส้นปิดล้อม และ  $L$  จะเท่ากับกระแสที่ไหลผ่านพื้นที่ที่ถูกปิดล้อมด้วยเส้นปิดนั้นเสมอสมการนี้ใช้ได้เฉพาะกรณีที่สนามแม่เหล็กและกระแสไฟฟ้าไม่แปรเปลี่ยนตามเวลาแต่ถ้าบริเวณนั้นมีการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ไฟฟ้าหรือขนาดประจุมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับเวลาจะต้องคิดกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในกรณีนี้ด้วยกระแสไฟฟ้านี้มีชื่อเรียกว่า “กระแสไฟฟ้าการขจัด” (displacement current,  $I_d$ ) กระแสไฟฟ้าขจัดหาได้จากสูตร

$$\begin{aligned} I_d &= \frac{\partial \phi_E}{\partial t} \\ &= \frac{d}{dt} \int (\epsilon_0 \vec{E} \cdot d\vec{s}) \end{aligned} \quad (\text{สมการที่ 2.1.11})$$

เมื่อรวมรวมกระแสการขจัดเข้าไปด้วย สมการที่ 2.1.10 จะได้

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 (I + I_d) \quad (\text{สมการที่ 2.1.12})$$

แทนค่า  $I = \vec{J} \cdot d\vec{s}$  และ  $I_d$  จากสมการที่ 2.1.11

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \left( \int \vec{J} \cdot d\vec{s} + \int \frac{d}{dt} (\epsilon_0 \vec{E} \cdot d\vec{s}) \right)$$

ใช้ทฤษฎีของสโตส์ สมการที่ 1.3.7

$$\int_s (\vec{\nabla} \times \vec{B}) \cdot d\vec{s} = \mu_0 \left( \int \vec{J} \cdot d\vec{s} + \int \frac{d}{dt} (\epsilon_0 \vec{E} \cdot d\vec{s}) \right)$$

เขียนให้อยู่ในรูปเชิงอนุพันธ์จะได้

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (\text{สมการที่ 2.1.13})$$

เมื่อเปรียบเทียบสมการที่ 2.1.13 กับสมการที่ 2.1.9 จะเห็นว่ามีความคล้ายคลึงกันมากถ้าให้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า ( $\vec{J}$ ) ในสมการที่ 2.1.13 มีค่าเท่ากับศูนย์ จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก เช่นเดียวกับสนามแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงทำให้เกิดสนามไฟฟ้าหรือแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ[5]

### 2.1.3) การประยุกต์ใช้สมการแมกซ์เวลล์สำหรับการสื่อสาร

#### 2.1.3.1) การค้นพบและการทดสอบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของ Heinrich Hertz

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ถูกคิดค้นโดยเจมส์แมกซ์เวลล์ (James c. Maxwell) เมื่อสามร้อยกว่าปีมาแล้ว ต่อมา ไฮริชเฮิร์ตซ์ (Heinrich Hertz) เป็นผู้ทดลองพิสูจน์ว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้เป็นพลังงานที่ใช้ได้จริง เฮิร์ตซ์ เกิดที่เมืองฮัมบวร์ก ประเทศเยอรมันนี่แรกเริ่มเขาตั้งใจจะเป็นวิศวกร แต่แล้วก็หันมาศึกษา ด้านฟิสิกส์กับนักฟิสิกส์ผู้มีชื่อเสียง คือ เฮล์มโฮลท์ (helmholtz) และ เคียร์ชฮอฟฟ์ (Kirchhoff) ปี ค.ศ. 1885( พ.ศ. 2428) เฮิร์ตซ์ได้รับการชักชวนจากวิทยาลัยเบอร์ลินให้ร่วมงานวิจัยเกี่ยวกับเรื่องคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้อีก 2 ปี ต่อมา ค.ศ.1887( พ.ศ. 2431) ได้ค้นพบบางสิ่งซึ่งมีความสำคัญมาก นั่นคือ คลื่นวิทยุ การทดลองของเฮิร์ตซ์ได้พิสูจน์ว่า คลื่นวิทยุเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไม่ใช่คลื่นเสียง เฮิร์ตซ์ทดลองส่งกระแสไฟฟ้าผ่านลูกกลมโลหะลูกหนึ่งให้ไปยังอีกลูกหนึ่งในห้องเดียวกัน โดยใช้อากาศเป็นตัวกลาง เพราะในอากาศมีอีเธอร์ ซึ่งสามารถเป็นสื่อให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านได้ สามารถตรวจจับคลื่นนี้ได้โดยใช้ลวดมาขดให้เป็นห่วง และเมื่อเคลื่อนย้ายห่วงนี้ไปรอบๆห้องสามารถคำนวณรูปร่างคลื่นได้ เฮิร์ตซ์พิสูจน์ให้เห็นว่า คลื่นวิทยุมีอยู่จริงและแตกต่างจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดอื่น คือ มีอัตราเร็วเท่ากับแสง สามารถสะท้อนและหักเห[6]

#### 2.1.3.2) การส่งสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของ มาร์โคนี และ เบราน์

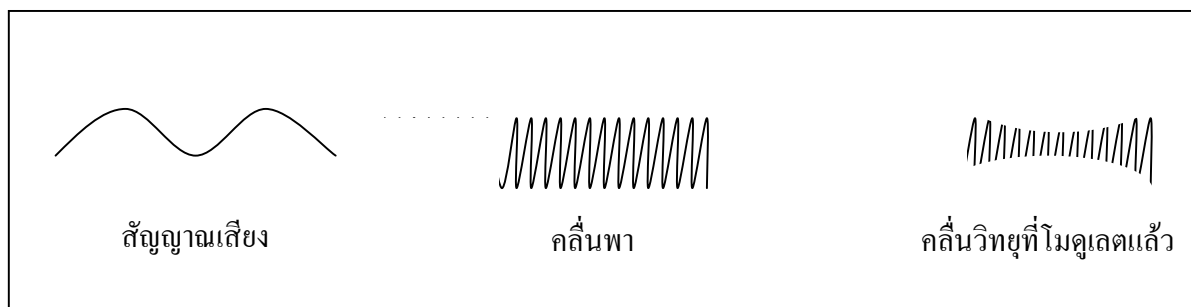
##### 2.1.3.2.1) ยุคเริ่มต้น

ในยุคแรกๆมนุษย์เราได้รู้จักแสงไฟเป็นเครื่องมือในการติดต่อสื่อสารกัน เช่น นำแสงตะเกียงมาใช้ในยามมืดได้และแสงและแสงแดดที่สะท้อนจากกระจกเงาเวลากลางวัน และหลักที่สำคัญในการสื่อสารในยุคนี้ คือ จะมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงจากมากไปหามาก เพื่อเป็นการส่งสัญญาณหรือเป็นสัญลักษณ์บางอย่างในการสื่อความหมายร่วมกัน และจะต้องมีข้อตกลงกันเกี่ยวกับสัญญาณนั้นๆก่อนด้วย

2.1.3.2.2) รหัสสมอร์ส (Morse code ) เป็นรหัสยุคแรกๆที่มีการค้นพบและได้นำเอามาใช้โดย มาร์โคนี และ เบราน์ ทั้งสองได้นำเอาคลื่นวิทยุที่มีความยาวคลื่นที่มีทั้งยาวและสั้นนำมาใช้ประกอบกันขึ้นเป็นตัวอักษรทีละตัว และในเวลาต่อมาสามารถสื่อสารด้วยเสียงได้ หลังจากนั้นก็ประสบความสำเร็จโดยสามารถสื่อสารด้วยภาพได้จากการอาศัยการเปลี่ยนแปลงของคลื่นพา( คลื่นพา คือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงและมีความถี่เท่ากับความถี่ของคลื่นวิทยุ )

2.1.3.2.3 ) หลักการและการส่งวิทยุโทรเลขด้วยรหัสสมอร์ส การส่งวิทยุโทรเลขด้วยรหัสสมอร์ส ดังที่ได้กล่าวเอาไว้แล้ว แล้วว่า รหัสสมอร์สเป็นรหัสที่ใช้งานโดยนำความยาวของคลื่นวิทยุ คือ จะใช้

ความยาวที่สั้นบ้างยาวบ้างในการส่งสัญญาณ ดังนั้นการส่งวิทยุโทรเลขด้วยรหัสมอร์สนี่ก็จะใช้หลักการดังกล่าว และการส่งสัญญาณนั้นก็จะมีเครื่องส่งสัญญาณ เครื่องส่งสัญญาณนี้มีความสำคัญมากจะทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นความถี่สูงโดยจะมีความถี่เท่าความถี่ของคลื่นวิทยุโดยจะนำไปใช้เป็นคลื่นพาดตัวเอง และการที่เราจะบังคับให้คลื่นมีช่วงสั้นหรือยาวเพื่อส่งสัญญาณออกไปเป็นรหัสหรือสัญญาณที่เข้าใจกันได้ ก็ต้องมีกร โมดูเลตสัญญาณ ( โมดูเลตสัญญาณ คือ กระบวนการของการนำสัญญาณที่ต้องการใส่หรือ ผสมเข้ากับคลื่นวิทยุหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า คลื่นพา ) เมื่อสัญญาณมาพร้อมกับคลื่นพา จะมีการแยกสัญญาณที่ต้องการออกจากตัวคลื่นพาอีกทีหนึ่งเพื่อที่จะได้สัญญาณที่เรา ต้องการออกมา โดยใช้เครื่องตรวจวัด ( Detector ) ( Detector คือ เครื่องที่แยกเอาสัญญาณที่ต้องการออกจากคลื่นพา ) และรหัสหรือสัญญาณที่ได้นั้นสามารถนำมาบันทึกไว้ด้วยเครื่องรับโทรเลขหรือเครื่องรับโทรพิมพ์ จะได้พิมพ์ออกมาเป็นข้อและอ่านได้เลย[5]



รูปที่ 3 แสดงรูปของสัญญาณและรูปสัญญาณที่ถูกโมดูเลตแล้ว[5]

## 2.2) การเดินทางของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

### 2.2.1.) การเดินทางของคลื่นยาวและคลื่นปานกลาง ( LF, MF ) และการนำไปใช้งานด้านการสื่อสาร

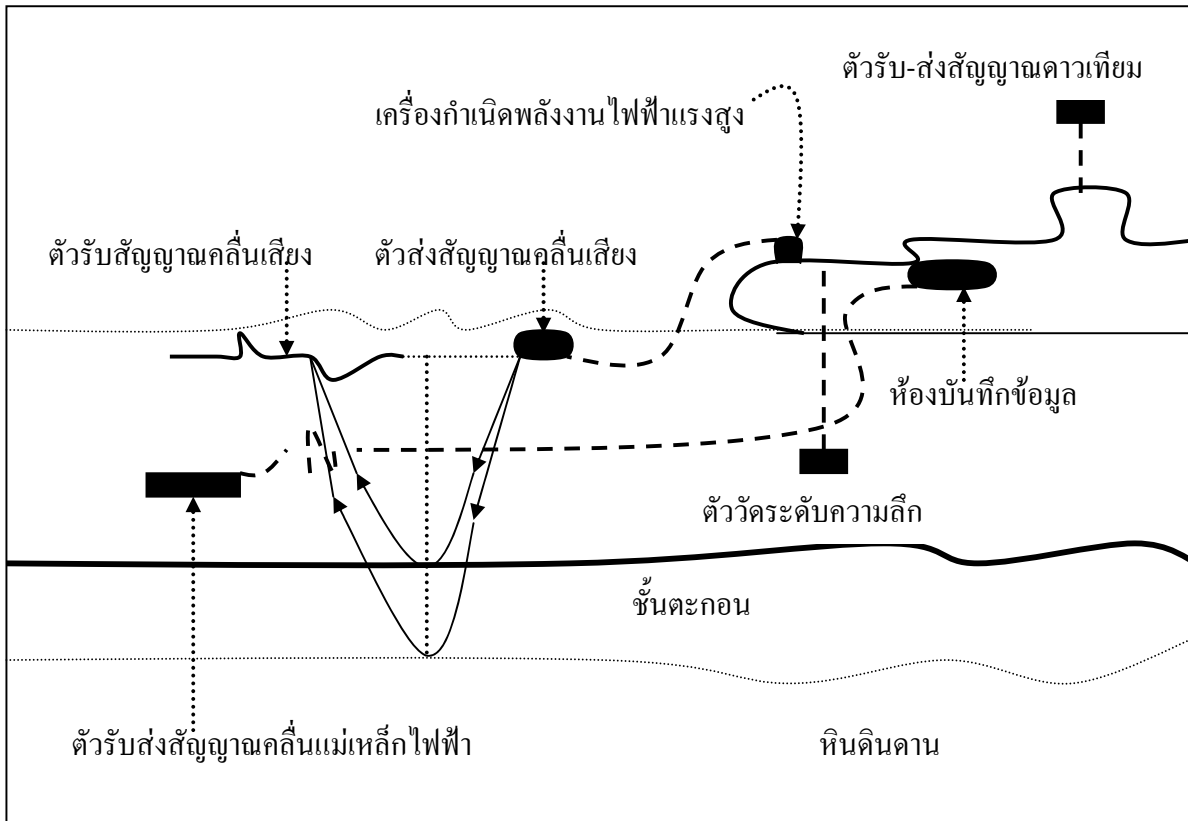
1.) คุณสมบัติการเดินทางของคลื่นยาว( LF ) การเดินทางของคลื่นยาวนั้นมีทั้ง SURFACE WAVE หรือ คลื่นผิวดิน และ ( SKY WAVE ) หรือคลื่นฟ้า คลื่นที่เดินทางตามผิวโลกของคลื่นยาวนั้นความถี่ยิ่งต่ำเท่าไร จะสามารถให้คลื่นไปไกลเท่านั้น นอกจากนั้นคลื่นที่เดินทางผ่านบริเวณที่มีความชื้นจะทำให้คลื่นนั้นเคลื่อนที่ไปได้ไกลกว่าบริเวณที่แห้งแล้ง และคลื่นที่เดินทางบนผิวน้ำทะเลคลื่นจะสามารถเคลื่อนที่ไปได้ไกลมาก[7]

2.) คุณสมบัติการเดินทางของคลื่นปานกลาง ( MF ) การเดินทางของคลื่นปานกลางนั้น ตอนกลางวันส่วนใหญ่คลื่นจะเคลื่อนที่และเดินทางไปได้แค่พื้นผิวโลกเท่านั้น ส่วนตอนกลางคืนจะมีทั้งคลื่นที่เดินทางตามผิวโลกและมีคลื่นที่สะท้อนจากชั้นบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ และ IONOSPHERE WAVE ของคลื่นวิทยุที่มีความถี่ปานกลางนั้นในตอนกลางวันจะมีค่าน้อยมากอยู่ที่ความถี่ไม่เกิน 1000 KHz [7]

### การใช้งานของการเดินทางแบบ LF, MF สำหรับการสื่อสาร

#### 1. วิธีห้วงนำลิกด้วยคลื่นเสียงสะท้อน

การห้วงนำลิกด้วยคลื่นเสียงสะท้อน เป็นวิธีการวัดระดับความลึกน้ำทะเลเพื่อศึกษาถึงลักษณะภูมิประเทศพื้นท้องทะเล โดยใช้เครื่องมือวัดความลึกน้ำที่ส่งสัญญาณคลื่นเสียง ขนาดความถี่ 200 KHz จากเครื่องแปลงกำลังรับ-ส่งคลื่นเสียง (transducer) ไปตกกระทบพื้นท้องทะเลและสะท้อนกลับขึ้นมายังตัวรับสัญญาณคลื่น ระยะเวลาที่คลื่นเสียงเดินทางไป-กลับ จะถูกแปลงเป็นหน่วยระยะทางโดยเครื่องประมวลผลข้อมูล แล้วพิมพ์ออกมาบนกระดาษเป็นภาพตัดขวางแสดงระดับความลึกน้ำแบบต่อเนื่อง ข้อมูลความลึกน้ำที่ได้จะนำมาปรับค่าให้เป็นระดับความลึกน้ำเมื่อน้ำาลงต่ำสุด โดยเทียบกับระดับน้ำขึ้น-ลง ประจำวัน ณ เวลาที่สำรวจ ในมาตราน้ำน่านน้ำไทย ซึ่งคำนวณโดยกรมอุทกศาสตร์กองทัพเรือ

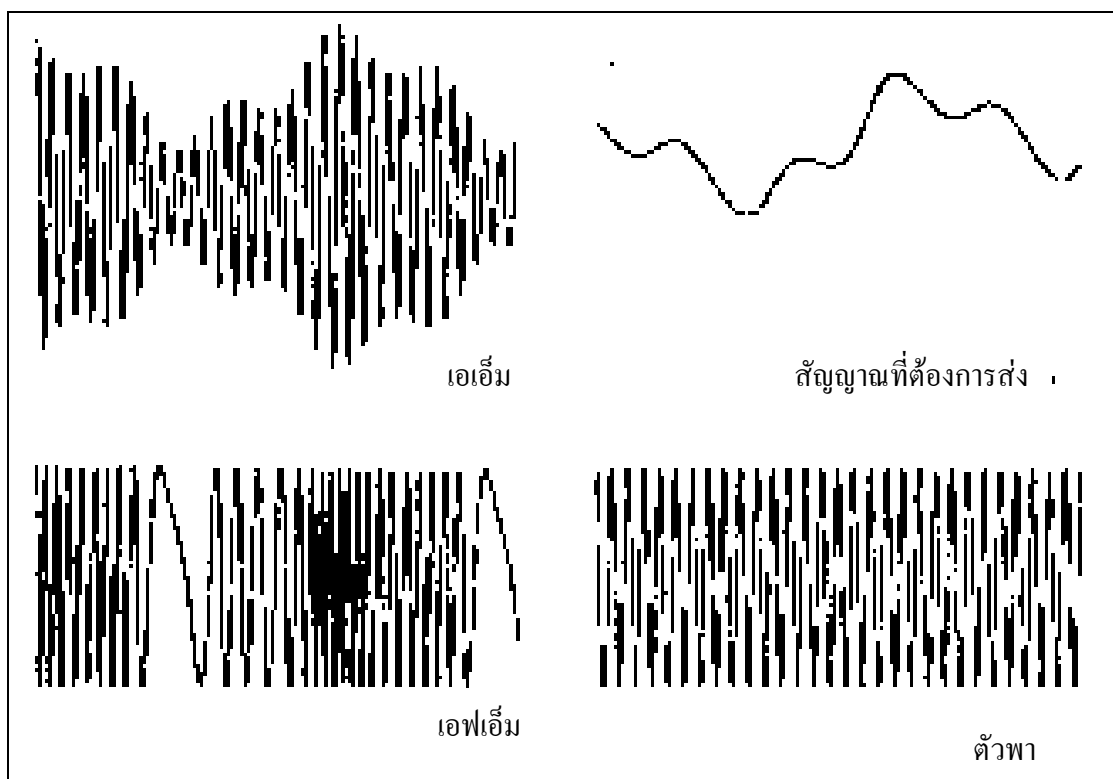


รูปที่ 4 ภาพแสดงวิธีการสำรวจและสื่อสารทางทะเล [8]

**2. ใช้ส่งคลื่นวิทยุระบบเอเอ็มและเอฟเอ็ม**

เครื่องส่งวิทยุระบบเอเอ็มและเอฟเอ็มนั้นประกอบด้วยส่วนที่เป็นมอดคูเลเตอร์ ซึ่งเป็นวงจรที่นำเอาสัญญาณข้อมูลไปมอดคูเลตตัวพา ผลที่ได้จะเป็นสัญญาณเอเอ็มหรือเอฟเอ็ม ที่มีความถี่ศูนย์กลางอยู่ที่ ความถี่ของตัวพา หลังจากนั้นจะถูกขยายให้มีกำลังสูงเท่าที่ต้องการ แล้วจึงส่งสัญญาณไปยังเสาอากาศ เพื่อให้แผ่กระจายเป็นคลื่นวิทยุออกไป เครื่องรับวิทยุเอเอ็มและเอฟเอ็มที่มีขายในท้องตลาดจะเป็น เครื่องรับที่เรียกว่า ระบบซูเปอร์เฮตเทอโรไดน์ (superheterodyne) โดยมีหลักการทำงานอย่างคร่าวๆ ดัง ต่อไปนี้ ส่วนแรกของเครื่องรับคือ เสาอากาศ ซึ่งจะทำหน้าที่แปลงคลื่นวิทยุเป็นสัญญาณไฟฟ้าปกติสัญญาณนี้จะ อ่อนมาก สัญญาณที่ได้รับจะอ่อนลงถ้าระยะทางจากเครื่องส่งเพิ่มขึ้น เสาอากาศนี้จะรับคลื่นวิทยุจำนวน มากมายที่อยู่ในอากาศ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวิธีการกรองเอาสัญญาณที่ไม่ต้องการออก เพื่อที่เครื่อง รับจะได้เลือกเฉพาะสถานีวิทยุที่ต้องการ วิธีการกรองจะใช้เทคนิคที่ขั้บ

ความถี่ของสถานีที่ต้องการไปยังความถี่ที่คงตัวค่าหนึ่ง ความถี่คง ตัวนี้เรียกว่า ความถี่ไอเอฟ (IF ย่อมาจาก intermediate frequency) ระบบเอเอ็มจะใช้ความถี่ 4.55 กิโลเฮิร์ตซ์ และระบบเอฟเอ็มจะใช้ความถี่ 10.7 เมกะเฮิร์ตซ์ แล้วจึงผ่านวงจรกรองหรือฟิลเตอร์ที่ปล่อย ให้ความถี่ไอเอฟและใกล้เคียงผ่านได้เท่านั้น วงจรกรองนี้เรียกว่าไอเอฟฟิลเตอร์ วงจรที่ทำหน้าที่ขยับ ความถี่นั้นเรียกว่า วงจรมิกเซอร์ (mixer) ซึ่งทำการคูณสัญญาณที่รับเข้ามา กับสัญญาณไซน์ที่สร้างขึ้น ในเครื่องรับ ความถี่ของสัญญาณไซน์ จะมีค่าเท่ากับความถี่ของสถานีที่ต้องการ บวกกับ 455 กิโลเฮิร์ตซ์ (หรือ 10.7 เมกะเฮิร์ตซ์กรณีเป็นเอฟเอ็ม) ดังเช่น ถ้าต้องการรับสถานีวิทยุเอเอ็มความถี่ 650 กิโลเฮิร์ตซ์ สามารถรับปุ่มเลือกสถานีบนเครื่องรับจนหน้าปัดบอกกว่า 650 กิโลเฮิร์ตซ์ ปุ่มนี้เองจะ ไปเปลี่ยนความถี่ของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ ให้สร้างความถี่ที่  $650+455= 1,105$  กิโลเฮิร์ตซ์วงจร มิกเซอร์จะทำหน้าที่คูณสัญญาณความถี่ 1,105 กิโลเฮิร์ตซ์ กับสัญญาณที่เข้ามาจากเสาอากาศ ผลของการคูณ สองสัญญาณเข้าด้วยกันจะทำให้เกิดสัญญาณสองสัญญาณ สัญญาณที่หนึ่งจะมีความถี่เท่ากับผลต่างของความถี่ ของสัญญาณทั้งสอง สัญญาณที่สองจะมีความถี่เท่ากับผลบวกของความถี่ของสัญญาณทั้งสอง [9]



รูปที่ 5 ภาพแสดงคลื่นวิทยุเอเอ็มและเอฟเอ็มพร้อมทั้งคลื่นตัวพาและ สัญญาณที่ต้องการส่ง[9]

### 2.2.2) การเดินทางของคลื่นสั้นและคลื่น VHFและการนำไปใช้งานด้านการสื่อสาร

1.) ในการเดินทางของคลื่นสั้นถ้าเดินทางแบบ SURFACE WAVEจะทำให้การเดินทางของคลื่นนั้นไปได้ในระยะทางไกลๆเท่านั้น นอกจากนี้ถ้าเดินทางแบบ TROPOSPHERE WAVE ก็ไม่สามารถเดินทางไปได้ไกลๆได้เช่นเดียวกัน นอกจากจะเดินทางแบบ IONOSPHERE เท่านั้นที่จะเดินทางไปได้ไกลมาก ด้วยเหตุนี้คลื่นสั้นจึงใช้ในงานการสื่อสารระยะทางไกลๆ[21]

2.) การเดินทางของคลื่น VHF ลักษณะการเดินทางของคลื่นประกอบไปด้วย DIRECT WAVE กับ GROUND REFLECTED WAVE ในกรณีที่สายอากาศของเครื่องรับอยู่ไม่สูงจากพื้นดินแล้วละก็จะมี SURFACE WAVE เพิ่มขึ้นมาอีกด้วย และระยะทางสูงสุดของการเดินทางของคลื่นจะมีค่าเท่ากับ ความยาวของเส้นระยะสายตาสูงสุดระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับ [7]

## การใช้งานของการเดินทางแบบคลื่นสั้นและคลื่นVHF

### 1. ใช้ส่งคลื่นโทรทัศนและไมโครเวฟ

คลื่นโทรทัศนและไมโครเวฟมีความถี่ช่วง  $10^8 - 10^{12}$  Hz มีประโยชน์ในการสื่อสาร แต่จะไม่สะท้อนที่ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ แต่จะทะลุผ่านชั้นบรรยากาศไปนอกโลก ในการถ่ายทอดสัญญาณโทรทัศนจะต้องมีสถานีถ่ายทอดเป็นระยะ ๆ เพราะสัญญาณเดินทางเป็นเส้นตรง และผิวโลกมีความโค้ง ดังนั้นสัญญาณจึงไปได้ไกลสุดเพียงประมาณ 80 กิโลเมตรบนผิวโลก อาจใช้ไมโครเวฟนำสัญญาณจากสถานีส่งไปยังดาวเทียม แล้วให้ดาวเทียมนำสัญญาณส่งต่อไปยังสถานีรับที่อยู่ไกล ๆ เนื่องจากไมโครเวฟจะสะท้อนกับผิวโลกได้ดี จึงนำไปใช้ประโยชน์ในการตรวจหาตำแหน่งของอากาศยาน เรียกว่าเรดาร์ โดยส่งสัญญาณไมโครเวฟออกไปกระทบอากาศยาน และรับคลื่นที่สะท้อนกลับจากอากาศยาน ทำให้ทราบระยะห่างระหว่างอากาศยานกับแหล่งส่งสัญญาณไมโครเวฟได้ [10]

### 2.2.3) การเดินทางของคลื่น UHF และ SHFและการนำไปใช้งานด้านการสื่อสาร

ถ้าบรรยากาศเป็นตัวกลางแบบ HOMOGENEOUS และนอกจากนั้นถ้าผิวโลกเป็นผิวแบนราบแล้ว ลักษณะการเดินทางของคลื่นจะเป็นแบบ DIRECT WAVE และถ้าคลื่นอยู่ในTROPOSPHERE นั้นในสภาพปกติความสูงของบรรยากาศยิ่งสูงมากความกดดันและอุณหภูมิจะมีค่าน้อยลงและการเดินทางของคลื่นนั้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าคงที่ของการเดินทางของตัวกลางนั้นๆด้วย ดังนั้นในกรณีที่คลื่นวิทยุเดินทางใน TROPOSPHERE มันก็จะเปลี่ยนแปลงตามค่าคงที่ของการเดินทางของบรรยากาศด้วย [7]

## การใช้งานของการเดินทางแบบคลื่น UHF และ SHF สำหรับการสื่อสาร

### 1. การถ่ายภาพด้วยเครื่องส่งเรดาร์

การถ่ายภาพด้วยเครื่องส่งเรดาร์นั้นก็คล้ายๆกับการถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายรูปด้วยไฟแฟลชนั่นเอง คือตัวกล้องฉายแสงออกมาโดยตรงให้ไปกระทบกับวัตถุแล้วมันก็สะท้อนกลับมายังตัวกล้อง เพียงแต่ต่างกันตรงที่แสงที่ฉายออกมานี้มีพลังงานหรือความถี่ต่างกันตามแต่ว่าจะเป็นคลื่นแสงที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า หรือคลื่นวิทยุ คลื่นทั้งสองชนิดนี้ต่างก็เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยกันทั้งนั้น เพียงต่างกันตรงที่มีพลังงานไม่เท่ากัน จึงส่งผลให้ความยาวคลื่นและความถี่ของคลื่นไม่เท่ากัน ไฟแฟลช

ของกล้องถ่ายรูปนั้นจะฉายแสงที่มองได้ด้วยตาเปล่าไปยังวัตถุ แล้วแสงนั้นก็สะท้อนกลับมาผ่านเลนส์ ไปบันทึกลงบนแผ่นฟิล์มภายในตัวกล้อง แต่ในเครื่องเรคคอร์ดนั้นจะใช้จานรับคลื่น(antenna) และ คอมพิวเตอร์บันทึกค่าของคลื่นวิทยุที่สะท้อนกลับเป็นจำนวนตัวเลข (digital computer tape) มา บันทึกภาพที่ถ่ายไว้ แทนที่จะใช้เลนส์กับฟิล์มมาบันทึกภาพ และเมื่อปฏิบัติงานเสร็จก็เอาข้อมูลที่เป็นค่า ตัวเลขนั้น มาแปรกลับเป็นค่าความเข้มของคลื่น ซึ่งก็คือเปลี่ยนให้เป็นค่าความเข้มของแสง ก็สามารถ แปลเป็นรูปได้ให้เราเห็นเป็นภาพ ภาพที่เราเห็นจากการถ่ายด้วยเครื่องเรคคอร์ดนั้น ก็มาจากคลื่นวิทยุที่ สะท้อนกลับจากวัตถุ มายังจานรับคลื่นนั่นเอง เครื่องมือเรคคอร์ดโดยทั่วไปนั้นคือเครื่องมือเสาะหา คลื่นวิทยุ และคำนวณระยะทางเดินทางของคลื่น โดยวัดกำลังคลื่น และเวลาเดินทางไปกลับของ สัญญาณไมโครเวฟ ซึ่งจานเรคคอร์ดส่งออกไป แล้วสะท้อนกลับมาจากผิวพื้นหรือวัตถุที่อยู่ห่างออกไป จานเรคคอร์ดส่งคลื่นและรับคลื่นสลับกันไป ในความยาวคลื่นไมโครเวฟที่แน่นอนความยาวหนึ่ง โดยทั่วไปแล้วเป็นความยาวคลื่นระหว่าง 1 เซนติเมตร ถึง 1 เมตร หรือที่มีความถี่ระหว่าง 300 เมกะเฮิรซ์ ถึง 30 จิกกะเฮิรซ์ และคลื่นที่ส่งรับจากงานในแต่ละครั้ง จะต้องอยู่บนพื้นระนาบเดียวกัน(same polarization) เนื่องจากคลื่นเดินทางตามแนวอน หรือตามแนวขวางเท่านั้นสำหรับเครื่องมือถ่ายภาพ เรคคอร์ดนั้น จะส่งคลื่นเป็นแฟงกำลังสูงประมาณ 1500 คลื่นต่อวินาที ไปยังเป้าหมายที่ต้องการจะถ่ายภาพ โดยแต่ละคลื่นจะมีความกว้าง หรือความยาวนานของคลื่นประมาณ 10 ถึง 50 ไมโครวินาที(1/1000 วินาที) แฟงคลื่น (bandwidth) นี้โดยทั่วไปแล้ว จะเป็นคลื่นพัลส์ ที่ครอบคลุมความถี่ระหว่างช่วงสั้นๆ ซึ่งมีศูนย์กลางความถี่ อยู่ตรงความถี่ที่เลือกไว้สำหรับเครื่องมือเรคคอร์ดนั้นๆ แฟงคลื่นโดยทั่วไปจะตก ประมาณความถี่ระหว่าง 10 ถึง 200๐ เมกะเฮิรซ์ เวลาเราเรียกว่า แฟงคลื่น 50 เมกะเฮิรซ์นั้น จะหมายถึง แฟงคลื่นที่ความถี่ตรงกลาง เท่ากับ 50 MHz แต่จะรวมไปทั้งคลื่นความถี่สั้นยาวรอบจุดศูนย์กลาง ไป ตามกำหนดความกว้างของแฟงไว้ด้วย เช่น อาจรวมตั้งแต่ 40 ถึง 60 MHz ถ้ากำหนดให้แฟงคลื่นมี ความกว้าง 20 MHz [11]

### บทที่ 3

## อุปกรณ์การสื่อสารด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและหลักการทางฟิสิกส์ในการสื่อสาร

การสื่อสารในปัจจุบันนี้มีความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีสูงมากและโดยเฉพาะการสื่อสารที่น่าเอาความรู้ทางด้านฟิสิกส์นำไปใช้และพัฒนาเครื่องใช้ที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารนั้น ได้เกิดสิ่งใหม่ๆที่ล้ำสมัยขึ้นมาเรื่อยๆอย่างไม่หยุดยั้งและจากสิ่งประดิษฐ์ที่เกิดขึ้นนี้ทำให้เกิดติดต่อสื่อสารและเชื่อมโยงกันได้บนโลกนี้อย่างไร้พรมแดน

### 3.1) โทรศัพท์มือถือ

โทรศัพท์มือถือเป็นอุปกรณ์การสื่อสารด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่ใช้กันทั่วไปในปัจจุบันสามารถแยกระบบโทรศัพท์ออกเป็น 2 แบบ คือ แบบแอนะล็อกและแบบดิจิทัล ระบบโทรศัพท์แบบแอนะล็อกจะใช้การส่งสัญญาณแบบเอฟเอ็ม ในระบบโทรศัพท์แบบดิจิทัลนั้น การส่งสัญญาณระหว่างชุมสายกับผู้ใช้จะส่งแบบดิจิทัล โดยที่เสียงพูดจะถูก นำไปเข้าเครื่องสร้างรหัส (coder) เครื่องสร้างรหัสนี้จะแบ่งเสียงพูดเป็นช่วงๆ ช่วงละประมาณ 0.02 วินาที แล้วดึงเอาค่าสำคัญ (ดังเช่น ความถี่ เสียงสูงต่ำ) ของเสียงพูดแต่ละช่วงออกมา ค่าสำคัญเหล่านี้จะถูกแปลงเป็นสัญญาณไบนารี ในปัจจุบันเครื่องสร้างรหัสสำหรับเสียงพูดจะให้สัญญาณไบนารีประมาณ 8000-13000 บิตต่อวินาที หลังจากที่สัญญาณได้รับที่สถานีฐานแล้ว ก็จะถูกลดรหัส ก่อนที่จะถูกส่ง ไปตามเครือข่ายโทรศัพท์ไปยังจุดหมายปลายทาง [12]

#### หลักการทางฟิสิกส์ของระบบสื่อสารทางโทรศัพท์

##### 1. วิธีการส่งและรับสัญญาณโทรศัพท์

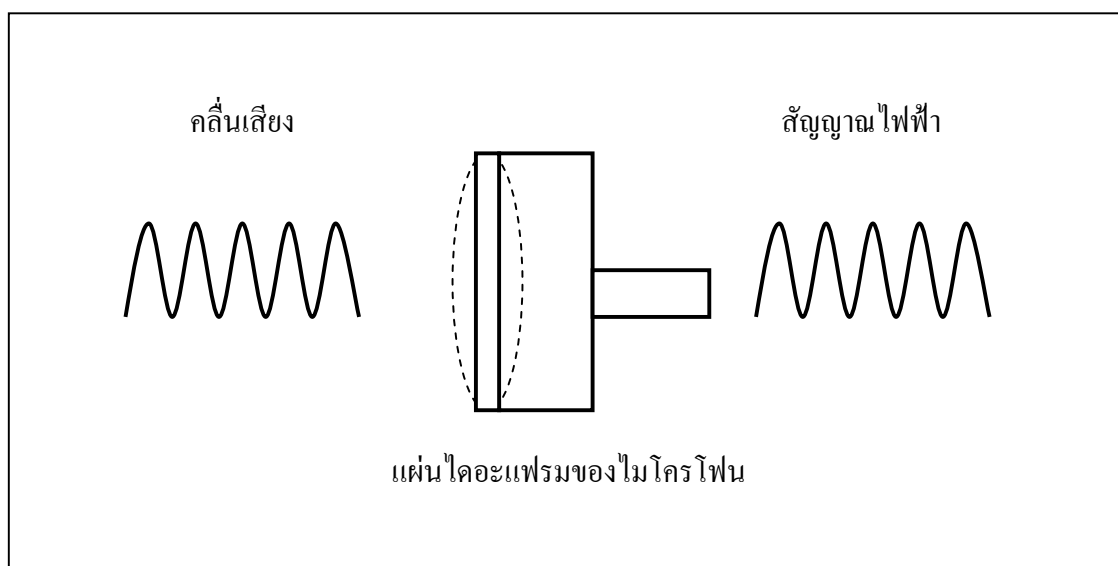
- 1.) ใช้วิธีการสะท้อนกลับ เป็นการเปลี่ยนทิศทางของคลื่นโดยทันที
- 2.) ใช้วิธีการหักเหของคลื่น เช่นถ้าเกิดว่าอยู่ในห้องที่มีกระจกปิดล้อมไว้ก็ยังสามารถรับคลื่น

หรือสามารถใช้โทรศัพท์ได้อยู่เพราะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีคุณสมบัติของการหักเห

- 3.) ใช้วิธีการการเบี่ยงเบนของคลื่น วิธีนี้ส่วนมากจะเห็นได้ชัดตรงบริเวณที่เป็นหุบเขาเพราะการที่จะรับคลื่น ได้นั้นจะต้องไม่อยู่ตรงที่ภูเขาบังสัญญาณของคลื่นแต่จะสามารถรับสัญญาณคลื่นได้ทุกที่ นอกจากบริเวณที่ภูเขาบังสัญญาณสนิท เท่านั้น

## 2. การแปลงสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้าและการขยายสัญญาณ

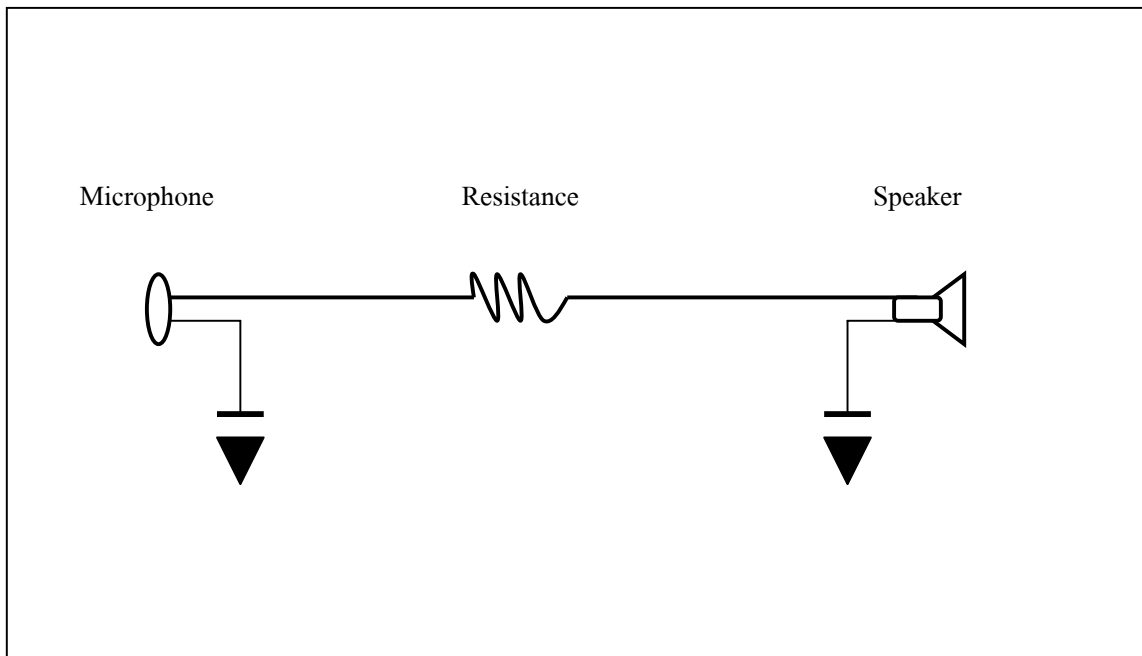
ขณะที่พูดโทรศัพท์นั้น คลื่นเสียงหรือสัญญาณเสียงที่ออกจากปาก จะไปทำให้แผ่นไดอะแฟรมของไมโครโฟน ที่อยู่ในตัวกระบอกโทรศัพท์ต้น (ดูรูปที่ 3.1 ประกอบ) เมื่อแผ่นไดอะแฟรมสั่นจะมีผลทำให้มีสัญญาณไฟฟ้าออกมาจากไมโครโฟน ถ้าเอาเครื่องมือชนิดหนึ่งที่เรียกว่า ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) ดูรูปของสัญญาณ ทั้งสองชนิดจะพบว่า มีลักษณะเหมือนกัน เรียกสัญญาณไฟฟ้าที่ออกมาจากไมโครโฟนนี้ว่า เป็นสัญญาณไฟฟ้าแบบอะนาล็อก (analog) ซึ่งมีลักษณะเฉพาะคือการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าหรือการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณไฟฟ้าเมื่อเทียบกับเวลาจะมีค่าต่อเนื่องกัน และมีรูปร่างเหมือนสัญญาณต้นฉบับ



รูปที่ 6 รูปแสดงการแปลงสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้า [13]

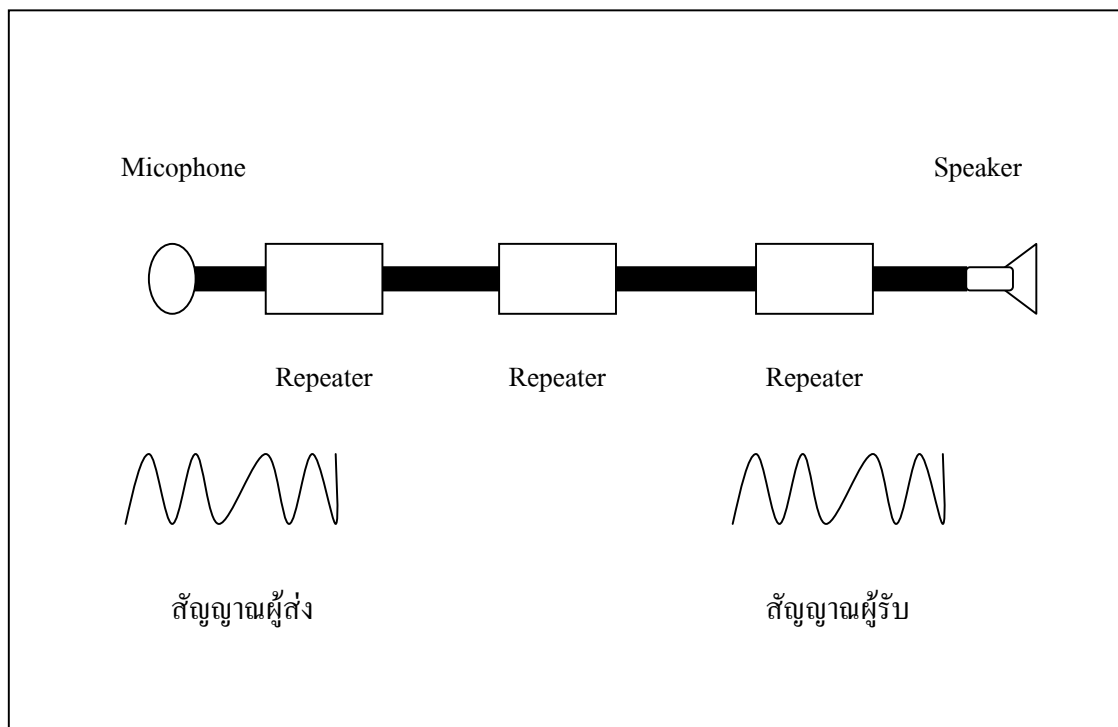
ร่างกายมนุษย์สามารถส่งสัญญาณแบบต่อเนื่องหรือแบบอะนาล็อก ได้หลายวิธี เช่นการพูด เสียงที่พูดออกมานั้นทั้งความถี่และความดังของเสียงจะเปลี่ยนแปลงแบบต่อเนื่อง การเคลื่อนไหวส่วนต่าง ๆ ของร่างกายก็เป็นแบบต่อเนื่อง การรับรู้ก็เช่นกัน ได้ยินเสียงที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบต่อเนื่อง มองเห็นภาพที่มีความเข้มของแสงเปลี่ยนแปลงแบบต่อเนื่อง มองเห็นภาพที่มีความเข้มของแสงเปลี่ยนแปลงแบบต่อเนื่องการสัมผัสที่รับรู้ได้จากแรงกดที่ผิวหนังก็เป็นแบบต่อเนื่อง แต่ที่กล่าวมานี้เป็นารรับรู้ใน

การดำรงชีวิตแบบปกติเท่านั้น ถ้ามีเหตุการณ์บางอย่างที่ผิดปกติเกิดขึ้น การรับรู้จะไม่เป็นแบบต่อเนื่อง นั่นคือมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วมาก เช่น เสียงปืน เสียงประทัด เสียงระเบิด ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงความดันของอากาศอย่างรวดเร็ว การรับรู้ของหูจะเป็นแบบฉับพลันอาจทำให้แก้วหูฉีกขาดได้ การมองเห็นฟ้าผ่าหรือแสงแฟลชถ่ายรูปก็ทำให้รับรู้ความเข้มแสงอย่างฉับพลัน ทำให้ตาพร่า ที่ยกตัวอย่างเหล่านี้ก็เพื่อให้ผู้อ่านได้นึกภาพของการเปลี่ยนแปลงแบบต่อเนื่องหรือแบบอะนาลอก ในขอบเขตปกติ กับการเปลี่ยนแปลงแบบฉับพลันว่าเป็นอย่างไร ขณะที่เราพูดโทรศัพท์จะสัญญาณไฟฟ้าที่เป็นแบบอะนาลอก ออกมาจากไมโครโฟนที่กระบอกพูด สัญญาณไฟฟ้านี้จะถูกส่งไปตามสายไฟฟ้าจนมาถึงผู้ฟัง สัญญาณไฟฟ้าจะถูกลำโพงเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณเสียงให้ผู้ฟังได้ยิน และในทำนองเดียวกันก็ได้ยินคู่สนทนาพูดด้วย ในแบบเรียนต่าง ๆ กล่าวถึงการสื่อสารในลักษณะเช่นนี้เพื่อให้นักเรียนเข้าใจได้ง่ายไม่ได้กล่าวถึงรายละเอียดว่ามีตัวแปรอื่นใดเข้ามารบกวนการส่งข้อมูลหรือข้อความในระหว่างการสื่อสาร ในสภาพความเป็นจริงสายไฟฟ้าที่เป็นสายทองแดงหรือโลหะผสมอื่นใด จะมีความต้านทานไฟฟ้าอยู่ ยิ่งสายยาวมากเท่าไรความต้านทานไฟฟ้าก็จะยิ่งเพิ่มขึ้นเท่านั้น เมื่อพูดโทรศัพท์สัญญาณไฟฟ้าที่ออกมาจะถูกความต้านทานของสายไฟฟ้ายาวมากทำให้ขนาดของสัญญาณไฟฟ้าลดลง กว่าจะถึงผู้ฟังปลายสายก็ไม่อาจทำให้ลำโพงทำงานได้ ถ้าเป็นการสื่อสารข้ามจังหวัดขนาดของสัญญาณไฟฟ้าก็จะยิ่งน้อยลงอีกและถ้าเป็นการสื่อสารข้ามทวีปจะเป็นเช่นไร



รูปที่ 7 รูปแสดงองค์ประกอบของโทรศัพท์ [13]

เมื่อเป็นเช่นนี้วงจรขยายสัญญาณไฟฟ้าจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในการสื่อสาร ก่อนที่ขนาดของสัญญาณไฟฟ้าจากผู้พูดจะลดลงต่ำเกินไป ก็จะต้องมีการขยายสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นจึงส่งต่อไปอีก ถ้าผู้ฟังหรือผู้รับอยู่ห่างจากผู้พูดมากเท่าไร จำนวนครั้งของการขยายสัญญาณไฟฟ้าก็จะยิ่งมากขึ้นเท่านั้น นั่นคือในระบบการสื่อสารต้องมีสถานีขยายสัญญาณไฟฟ้าอยู่เป็นระยะ



รูปที่ 8 รูปแสดงเครื่องขยายสัญญาณและสัญญาณของผู้ส่งและรับ[13]

(ดูรูปที่ 8 ประกอบ) ในสมัยที่ใช้สายไฟฟ้าอย่างเดียวนั้นสถานีขยายสัญญาณไฟฟ้าหรือที่เรียกว่า repeater นั้นจะอยู่ค่อนข้างใกล้กัน เพราะความต้านทานไฟฟ้าของสายไฟมีค่ามากต้องมีการขยายบ่อยครั้ง ต่อเมื่อมีการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือคลื่นวิทยุ คลื่นไมโครเวฟ การส่งสัญญาณหรือการสื่อสารด้วยวิธีนี้ก็ไม่ต้องใช้สายไฟฟ้าแล้ว แต่ก็ต้องมีการขยายสัญญาณไฟฟ้าอยู่เช่นเดียวกัน เพราะการสูญเสียพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือคลื่นวิทยุในอากาศยังมีอยู่ ดังที่เราเห็นมีการติดตั้งสถานีไมโครเวฟของแต่ละจังหวัดเพื่อส่งสัญญาณต่อกันไป [13]

### 3.2) โทรทัศน์

โทรทัศน์เป็นเครื่องใช้หรืออุปกรณ์การสื่อสารชนิดหนึ่ง โดยจะมีหน้าที่ในการรับคลื่นสัญญาณแล้วแปลงคลื่นหรือสัญญาณเหล่านั้นให้เกิดเป็นเสียงและภาพได้ โดยจะมีช่องสัญญาณให้เลือกใช้ ช่องสัญญาณแต่ละช่องจะมีความถี่แตกต่างกันออกไปเช่น ช่อง 3 , ช่อง 9 , ช่อง 7 เหล่านี้เป็นต้น ดังนั้น การที่จะสามารถรับสัญญาณได้ทุกช่องนั้นก็จะมีอุปกรณ์ที่ช่วยรับสัญญาณคือเสาอากาศ

เสาอากาศ มีหน้าที่ รับสัญญาณโทรทัศน์ที่ส่งมาเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือคลื่นวิทยุโดยจะมีแผงวงจรติดอยู่เพื่อแยกความถี่ไว้หรือกล่าวคือจะสามารถรับสัญญาณด้วยความถี่ต่างๆได้ในเสาอากาศเพียงอันเดียว

#### หลักการทางฟิสิกส์ของระบบสื่อสารทางโทรทัศน์

##### 1. การแปลงลำแสงอิเล็กทรอนิกส์ให้เป็นภาพและการแปลงสัญญาณเสียงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า

การกระจายภาพของสัญญาณโทรทัศน์ที่ใช้คลื่นวิทยุเช่นกัน เครื่องรับโทรทัศน์จะฉายภาพบนจอ จำนวน 24 ภาพต่อวินาที ทำให้เห็นการเคลื่อนที่ของวัตถุบนจอได้อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นภาพแต่ละภาพจะปรากฏบน จอเพียง 1/24 วินาที ภาพแต่ละภาพบนจอไม่ได้ปรากฏพร้อมกันทั้งภาพ แต่จะปรากฏทีละเส้น โดยการฉายแสง บนจอจากซ้ายไปขวา เรียงลงมาตามลำดับ โดยเริ่มจากด้านบนของจอลงมาถึง ด้านล่างของจอ รวมทั้งหมด 525 หรือ 625 เส้น แล้วแต่ระบบที่ใช้ ลำแสงที่ฉายจะเป็นลำแสงอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งควบคุมด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ สัญญาณที่ควบคุมจะทำให้เกิดความเข้มหรือจางของจุดต่างๆ บนจอ ซึ่งรวมกันเป็นภาพที่เหมือนกับภาพส่งมา จากห้องส่งของสถานีโทรทัศน์ สัญญาณที่ส่งออกจาก สถานีโทรทัศน์จะได้จากการกวาดหรือสแกน (scan) ภาพบนจอ เครื่องถ่าย โดยสแกนทีละเส้นรวมกัน ทั้งหมด 525 เส้น (หรือ 625 เส้น) ต่อภาพในอัตรา 24 ภาพต่อวินาที สัญญาณจากการสแกนจะถูกแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ส่วนสัญญาณเสียงจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าโดยใช้ ไมโครโฟน สัญญาณเสียงจะมอดูเลตสัญญาณตัวพาบ่อยโดยใช้แบบเอฟเอ็ม ก่อนที่จะนำไปรวมกับสัญญาณภาพที่ได้ จากการสแกน หลังจากนั้นสัญญาณรวมก็จะไปมอดูเลตสัญญาณตัวพาแบบเอฟเอ็มอีกครั้งหนึ่ง สัญญาณตัวพานี้จะ แตกต่างกันตามช่องสัญญาณที่ใช้ดังเช่น สถานีโทรทัศน์ช่อง 3 จะใช้ตัวพาที่มีความถี่ 61.25 เมกะเฮิรตซ์ ช่อง 5 ใช้สัญญาณตัวพาที่มีความถี่ 77.25 เมกะเฮิรตซ์

สัญญาณของสถานีแต่ละช่องจะมีแถบความถี่กว้างประมาณ ๖ เมกะเฮิรตซ์ หนึ่ง สัญญาณภาพและเสียงของ โทรทัศน์จะเป็นสัญญาณแบบแอนะล็อก ปัจจุบันมีการพัฒนาระบบโทรทัศน์แบบดิจิทัล ซึ่งจะแปลงสัญญาณภาพและ เสียงเป็นแบบดิจิทัลก่อนจะแพร่ภาพทางอากาศ ระบบดิจิทัลจะมีภาพที่คมชัดมากกว่าระบบแอนะล็อก นอกจากนี้ ยังมีการพัฒนาระบบโทรทัศน์ที่มีความละเอียดสูง (HDTV = high definition television) ซึ่งจะมีจำนวน เส้นต่อภาพประมาณสองเท่าของจำนวนเส้นต่อภาพในระบบปัจจุบัน [14]

### 3.3) เครื่องหาทิศทางวิทยุ

เครื่องหาทิศทางวิทยุ (radio direction-finding) เป็นเครื่องวิทยุที่ใช้ในการหาดำแหน่งที่อยู่ของตนเองหรือของผู้อื่น โดยอาศัยการหาทิศทางของสถานีส่งคลื่นวิทยุ ดังนั้นไม่ว่าจะเป็นเวลากลางคืน มีหมอกจัด เครื่องหาทิศทางวิทยุก็จะสามารถบอกตำแหน่งที่อยู่ได้อย่างถูกต้อง

ส่วนประกอบสำคัญของเครื่องหาทิศทางวิทยุ ได้แก่ สายอากาศรูปห่วง (loop) และสายอากาศสองแฉก (dipole) หรืออื่นๆ ถ้าใช้สายอากาศรูปห่วงจะได้รับสัญญาณแรงที่สุดเมื่อแนวแกนตั้งฉากกับทิศทางของคลื่นวิทยุ และจะได้รับสัญญาณเบาที่สุดเมื่อแนวแกนขนานกับทิศทางของคลื่นวิทยุ แต่ถ้าใช้สายอากาศสองแฉกจะได้รับสัญญาณแรงที่สุดเมื่อตัวสายอากาศตั้งฉากกับทิศทางของคลื่นวิทยุ และจะได้รับสัญญาณเบาที่สุดเมื่อตัวสายอากาศขนานกับทิศทางของคลื่นวิทยุ โดยการหันสายอากาศรับคลื่นวิทยุที่ส่งมาจากสถานีส่งแล้วคอยวัดความแรงของสัญญาณ นักบินค้นหน หรือเจ้าหน้าที่ ก็จะสามารถคำนวณหาดำแหน่งที่อยู่ได้อย่างถูกต้อง [15]



รูปที่ 9 รูปแสดงเครื่องหาทิศทางวิทยุ[15]

### 3.4) เครื่องเรดาร์

เรดาร์ (radar) เป็นเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ สำหรับตรวจหาวัตถุที่อยู่ในระยะรัศมีของเรดาร์ และทำให้เห็นบนจอได้ เครื่องเรดาร์ดีกว่านัยน์ตามนุษย์ตรงที่อาจค้นหาวัตถุได้ทั้งในเวลากลางคืน และในเวลาที่มีหมอกลจจืด สิ่งที่เครื่องเรดาร์อาจหาพบได้แก่ เรือ เครื่องบิน เกาะชายฝั่งทะเล พายุ และอื่นๆ ดังนั้นเครื่องมือชนิดนี้จึงเป็นประโยชน์มากในการเดินเรือ เดินอากาศ และยังช่วยงานอุตุนิยมวิทยาได้อีกด้วย ส่วนประกอบสำคัญของเครื่องเรดาร์ ได้แก่ เครื่องรับ เครื่องส่ง สายอากาศ และงานสะท้อนคลื่นที่หมุนได้รอบตัว เครื่องส่งทำหน้าที่ส่งคลื่นวิทยุคลื่นสั้นมากออกไป ส่วนสายอากาศพร้อมทั้งงานสะท้อนคลื่นจะบังคับคลื่นวิทยุที่ส่งออกไปเป็นลำแคบๆ เครื่องรับมีจอรับภาพเป็นส่วนประกอบสำคัญจอรับภาพมีลักษณะคล้ายจอโทรทัศน์ ภาพที่ปรากฏ ซึ่งเป็นเพียงจุดสว่างบนจอ จะบอกให้ทราบว่ามีวัตถุที่ตรวจพบเป็นอะไร อยู่ที่ตำแหน่งไหน และห่างไกลออกไปเท่าใด เครื่องเรดาร์สามารถทำงานได้รวดเร็วมาก เพราะคลื่นวิทยุที่ส่งออกไปเดินทางได้เร็วเท่ากับแสง (๑ วินาที ไปได้ไกล ๑๘๖,๐๐๐ ไมล์) เครื่องส่งจะส่งคลื่นวิทยุออกไปเป็นห้วงๆ ห้วงหนึ่งใช้เวลาสั้นมาก ขนาดเศษส่วนของวินาที เมื่อคลื่นวิทยุเดินทางไปกระทบวัตถุทึบ เช่น เรือ เครื่องบิน แผ่นดิน ฯลฯ ไม่อาจเคลื่อนที่ผ่านไปได้อีก ก็จะสะท้อนกลับมาเข้าเครื่องรับ ที่ตัวเครื่องเรดาร์ (ทำนองเดียวกับเสียงสะท้อนกลับเป็นเสียงก้อง) ปรากฏเป็นภาพขึ้นบนจอเรดาร์ การแสดงตำแหน่งของวัตถุบนจอเรดาร์มีแตกต่างกันเป็น ๒ แบบใหญ่ๆ [16]

**แบบที่หนึ่ง** เรียกชื่อว่า เอ-สโคป (A-scope) แบบนี้จะปรากฏเป็นจุดสว่างวิ่งจากซ้ายไปขวาอยู่ตลอดเวลา เมื่อสัญญาณสะท้อนกลับมาถึง สัญญาณสะท้อนกลับจะบังคับจุดสว่างให้เบี่ยงเบนไปเป็นขีดจากสเกลที่ขีดไว้จะรู้ว่าวัตถุอยู่ห่างไกลออกไปเท่าใด ส่วนทิศทางของวัตถุได้จากทิศทางของสายอากาศ

**แบบที่สอง** เรียกชื่อว่า พีพีไอ (PPI ย่อมาจาก plan position indicator) แบบนี้จะปรากฏเป็นจุดสว่างวิ่งเรียงเป็นรัศมีจากกลางจอกวาดวนไปรอบๆ จากกลางจอเป็นรูปก้นหอย เมื่อมีสัญญาณสะท้อนกลับมาถึง สัญญาณเหล่านั้นจะบังคับให้จุดสว่างมีความสว่างมากน้อยต่างกัน และประกอบกันเป็นภาพเครื่องเรดาร์ที่ใช้กันในเรือรบ เรือสินค้าหรือเรือเดินสมุทรอาจจะใช้หลายแบบหรือหลายเครื่อง ตามจุดมุ่งหมาย เช่น ทำการตรวจหาวัตถุบนผิวน้ำก็ใช้เรดาร์พีพีไอ ถ้าจะยิงปืนต้องใช้เรดาร์แบบเอ-สโคป [16]

**หลักการทางฟิสิกส์ของระบบสื่อสารทางเครื่องเรดาร์**

### 1. วิธีการส่งและรับสัญญาณ

- 1.) ใช้วิธีการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือคลื่นวิทยุในคุณสมบัติของคลื่น



รูปที่ 10 รูปแสดงสายอากาศของเครื่องเรดาร์[16]

### 3.5) จานดาวเทียม

เราสามารถจำแนกดาวเทียมที่มีการใช้งาน ออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

**ดาวเทียมเพื่อการสื่อสาร** โดยมากเป็นดาวเทียมค้างฟ้าที่มีวงโคจรตามระนาบเส้นศูนย์สูตรของโลก (เช่น ดาวเทียมไทยคม) เป็นดาวเทียมที่มีเทคโนโลยีต่ำที่สุด โดยพื้นฐานจะเป็นดาวเทียมที่ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ทวนสัญญาณในช่วงคลื่นวิทยุ ดาวเทียมไทยคม 1 และ 2 เป็นดาวเทียมในสกุล Boeing 376L (เดิมเรียก Hughes 376) ซึ่งบริษัท Boeing ได้ทำการจัดสร้างขึ้นรวมทั้งหมด 56 ดวง จัดเป็นดาวเทียมสื่อสารที่มีราคาข่อมเยาเมื่อเทียบกับดาวเทียมสื่อสารรุ่นอื่นๆ สำหรับดาวเทียมไทยคมเองมีราคาต่ำกว่าดาวเทียมทั่วไปในรุ่นเดียวกัน เนื่องจากติดตั้งอุปกรณ์วิทยุน้อยกว่าดาวเทียมอื่นๆ บริษัทเจ้าของดาวเทียมเลือกที่จะเพิ่มเชื้อเพลิงในการปรับวงโคจร แทนการติดตั้งระบบสื่อสาร เพื่อให้ดาวเทียมมีอายุใช้งานนานกว่าดาวเทียมในมาตรฐานเดียวกัน (13.5 ปี แทนที่จะเป็น 8-10 ปี เหมือนดาวเทียมที่ดำเนินการโดยผู้ประกอบการทั่วไปในประเทศอื่น) โดยขอมลดจำนวน transponders ลง บริษัทเจ้าของดาวเทียมจ้างบริษัท Boeing Satellite System (บริษัท Hughes ในขณะนั้น) ของสหรัฐอเมริกา ในการสร้างดาวเทียมติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมในประเทศไทย และอบรมพนักงานของบริษัทในราคาเพียง 100 ล้านดอลลาร์สหรัฐ หรือประมาณ 2500 ล้านบาท ในปี 1991 โดยรัฐบาลไทยในขณะนั้น ยอมให้สัมปทานผูกขาดกับบริษัทเจ้าของดาวเทียมยาวนานถึง 30 ปี ทั้งที่ขณะนั้นประเทศไทยมีการใช้ระบบดาวเทียมอย่างแพร่หลายในประเทศไทยอยู่แล้ว และอายุดาวเทียมโดยปกติจะประมาณ 10 ปี (ซึ่งหมายความว่าจุดคุ้มทุนของดาวเทียมจะต่ำกว่า 10 ปี สำหรับการให้บริการดาวเทียมในประเทศอื่นๆ ซึ่งมีค่าเช่าสัญญาณถูกกว่าประเทศไทย เนื่องจากไม่มีการผูกขาด) การยกประโยชน์ผูกขาดให้กับบริษัทที่ลงทุนในดาวเทียมดังกล่าว ทำให้บริษัทผู้ผลิตดาวเทียมถึงกับให้ข้อมูลการลงทุน และรายละเอียดที่น่าสังเกตเหล่านี้ใน เลขที่เดียว

**ดาวเทียมเพื่องานอุตุนิยมวิทยา** เป็นดาวเทียมที่อาจมีวงโคจรแบบดาวเทียมค้างฟ้า (เพื่อสังเกตการณ์เคลื่อนที่ของมวลอากาศได้อย่างต่อเนื่อง) เช่น ดาวเทียม GMS หรือแบบระนาบวงโคจรเกือบผ่านแกนหมุนของโลก แต่มีระดับโคจรที่สูง เช่นดาวเทียม NOAA

**ดาวเทียมที่ใช้ในการสำรวจและศึกษาธรรมชาติ** เป็นดาวเทียมที่มีความซับซ้อนในเรื่องของวงโคจรและอุปกรณ์ในการสำรวจ ดาวเทียมเหล่านี้นอกจากส่วนของตัวยานดาวเทียม และส่วนสื่อสาร แล้วยัง

จะต้องมีส่วนของเครื่องมือสำรวจ โดยดาวเทียมแต่ละดวงจะมีอุปกรณ์แตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของดาวเทียม

นอกจากดาวเทียมแล้วยานสำรวจที่เหลือนจะเป็นการบินสำรวจตามภารกิจที่ต้องมีการกำหนดเส้นทางบิน และระดับความสูงการบินเฉพาะ ช่วงเวลาในการสำรวจจะจำกัดตามความจุเชื้อเพลิงของยานพาหนะที่เลือกใช้ ดังนั้นช่วงเวลา และพื้นที่สำรวจมักครอบคลุมบริเวณใดบริเวณหนึ่งตามที่กำหนดโดยภารกิจการสำรวจเท่านั้น ส่วนการใช้ดาวเทียมเป็นยานสำรวจ จะมีข้อดีคือดาวเทียมอาศัยหลักการสมดุลระหว่างแรงหนีศูนย์กลางและแรงดึงดูดของโลกมาเป็นตัวรักษาวงโคจรของดาวเทียม (แทนที่จะใช้เชื้อเพลิงมาขับเคลื่อนไม่ให้ยานตกลงสู่พื้นโลก) ดาวเทียมจึงไม่มีข้อจำกัดในด้านความจุเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในการเคลื่อนที่ของดาวเทียมและทำให้ดาวเทียมสามารถโคจรรอบโลกอยู่ได้นานทำให้การสำรวจสามารถครอบคลุมเวลาได้นานเป็นปีๆ และสามารถเลือกพื้นที่ที่จะให้ดาวเทียมบินสำรวจได้ครอบคลุมพื้นที่กว้างโดยขึ้นอยู่กับวงโคจรที่จะให้ดาวเทียมเคลื่อนที่[17]

#### หลักการทางฟิสิกส์ของระบบสื่อสารทางดาวเทียม

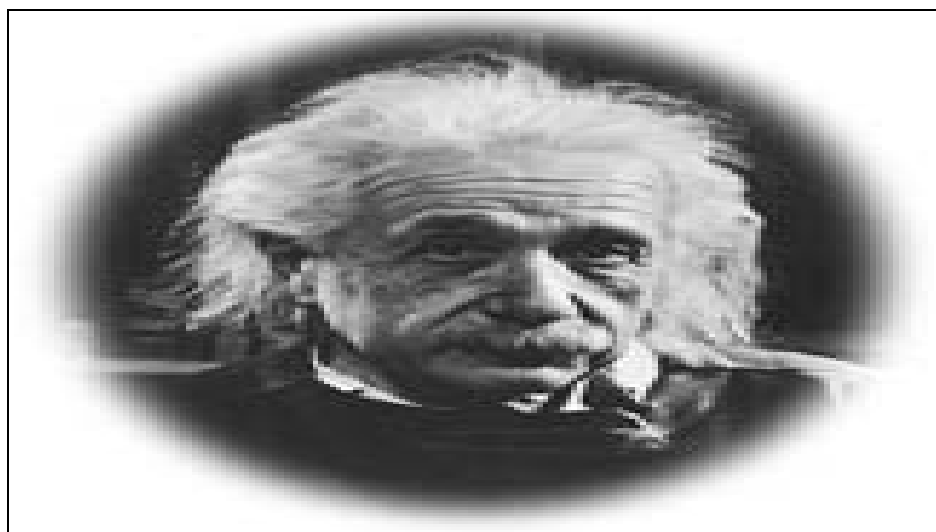
1. กฎแห่งความโน้มถ่วงและการเคลื่อนที่ของวัตถุของเซอร์ ไอแซก นิวตัน ที่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆบนโลก จนไปถึงการโคจรของดาวเคราะห์รอบดวงอาทิตย์ได้[18]



รูปที่ 11 รูปภาพ เซอร์ ไอแซก นิวตัน[18]

## 2. แสดงเดินทางเป็นเส้นโค้งในอวกาศ ของ อัลเบิร์ต ไอน์สไตน์

การ เคลื่อนที่ ไม่มีสิ่งใดอยู่นิ่ง โดยสัมบูรณ์การเคลื่อนที่และเวลาจึงเป็น สิ่งสัมพัทธ์ ที่ยังคงความ ลึกลับอยู่จนบัดนี้ ผู้คิดค้นสูตรแห่งจักรวาล  $E = mc^2$  เมื่อเนื้อสาร  $m$  กลายเป็นพลังงาน  $E$  และ  $c$  คือ อัตราเร็วของแสงสว่างในอวกาศ ที่มีค่าคงที่ทุกหนแห่ง[18]



รูปที่ 12 รูปภาพ อัลเบิร์ต 'ไอน์สไตน์'[18]

## บทที่ 4

### ผลกระทบที่เกิดจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือคลื่นวิทยุและมาตรฐานความปลอดภัย

คลื่นวิทยุสามารถทะลุเข้าไปในร่างกายมนุษย์ได้ลึกประมาณ 1/10 ของความยาวคลื่นที่ตกกระทบ และอาจทำลายเนื้อเยื่อของอวัยวะภายในบางชนิดได้ ผลการทำลายจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับความเข้ม ช่วงเวลาที่ร่างกายได้รับคลื่นและชนิดของเนื้อเยื่อ อวัยวะที่มีความไวต่อคลื่นวิทยุ ได้แก่ นัยน์ตา ปอด ถุงน้ำดี กระเพาะปัสสาวะ อัณฑะ และบางส่วนของระบบทางเดินอาหาร โดยเฉพาะนัยน์ตา และอัณฑะ เป็นอวัยวะที่อ่อนแอที่สุดเมื่อได้รับคลื่นวิทยุช่วงไมโครเวฟ

#### 4.1 ผลที่เกิดจากคลื่นวิทยุช่วงความถี่ต่างๆ

1.) คลื่นวิทยุที่มีความถี่น้อยกว่า 150 เมกะเฮิรตซ์ (มีความยาวคลื่นมากกว่า 2 เมตร) คลื่นจะทะลุผ่านร่างกายโดยไม่ก่อให้เกิดผลใดๆ เนื่องจากไม่มีการดูดกลืนพลังงานของคลื่นไว้ ร่างกายจึงเปรียบเสมือนเป็นวัตถุโปร่งใสต่อคลื่นวิทยุช่วงนี้

2.) คลื่นวิทยุที่มีความถี่ระหว่าง 150 เมกะเฮิรตซ์ ถึง 1.2 จิกะเฮิรตซ์ (มีความยาวคลื่นระหว่าง 2.00 ถึง 0.25 เมตร) คลื่นวิทยุช่วงนี้สามารถทะลุผ่านเข้าไปในร่างกายได้ลึกประมาณ 2.5 ถึง 20 เซนติเมตร เนื้อเยื่อของอวัยวะภายในบริเวณนั้นจะดูดกลืนพลังงานของคลื่นไว้ถึงร้อยละ 40 ของพลังงานที่ตกกระทบ ทำให้เกิดความร้อนขึ้นในเนื้อเยื่อ โดยที่ร่างกายไม่สามารถรู้สึกได้ ถ้าร่างกายไม่สามารถกระจายความร้อนออกไปในอัตราเท่ากับที่รับเข้ามา อุณหภูมิหรือระดับความร้อนของร่างกายจะสูงขึ้น เป็นอันตรายอย่างยิ่งต่อร่างกาย ความร้อนในร่างกายที่สูงกว่าระดับปกติอาจก่อให้เกิดผลหลายประการ เช่น

- เลือดจะแข็งตัวช้ากว่าปกติ ผลอันนี้ถ้ามีการเสียเลือดเกิดขึ้น อาการจะมีความรุนแรง
- การหมุนเวียนของเลือดเร็วขึ้น

- อิโมโกลบินของเม็ดเลือดแดงจะมีความจุออกซิเจนลดลง ทำให้เลือดมีออกซิเจนไม่เพียงพอเลี้ยงเนื้อเยื่อต่าง ๆ เมื่อเนื้อเยื่อขาดออกซิเจนจะทำให้เซลล์สมอง ระบบประสาทส่วนกลางและอวัยวะภายในขาดออกซิเจนด้วย อาจทำให้มีการกระตุกของกล้ามเนื้อจนถึงชัก ถ้าสภาพเช่นนี้ดำเนินต่อไป ผลที่ตามมาก็คือ ไม้รู้สึกตัวและอาจเสียชีวิตได้

3.) คลื่นวิทยุที่มีความถี่ระหว่าง 1-3 จิกะเฮิรตซ์ (มีความยาวคลื่นระหว่าง 30 ถึง 10 เซนติเมตร) ทั้งผิวหนังและเนื้อเยื่อลึกลงไปดูดกลืนพลังงานได้ราวร้อยละ 20 ถึงร้อยละ 100 ขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อเยื่อ คลื่นวิทยุเช่นนี้เป็นอันตรายอย่างยิ่งต่อนัยน์ตา โดยเฉพาะเลนส์ตาจะมีความไวเป็นพิเศษต่อคลื่นวิทยุ

ความถี่ประมาณ 3 จิกะเฮิร์ตซ์ เพราะเลนส์ตามีความแตกต่างจากอวัยวะอื่นตรงที่ไม่มีเลือดมาหล่อเลี้ยง และไม่มีกลไกซ่อมเซลล์ ดังนั้นเมื่อนัยน์ตาได้รับคลื่นอย่างต่อเนื่องของเหลวภายในตามีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยไม่สามารถถ่ายโอนความร้อนเพื่อให้อุณหภูมิลดลงได้เหมือนเนื้อเยื่อของอวัยวะอื่นๆ จึงจะก่อให้เกิดอันตรายอย่างรุนแรงตามมา พบว่าถ้าอุณหภูมิของตาสูงขึ้นเซลล์เลนส์ตาบางส่วนอาจถูกทำลายอย่างช้า ๆ ทำให้ความโปร่งแสงของเลนส์ตาลดลง ตาจะขุ่นลงเรื่อย ๆ ในที่สุดจะเกิดเป็นต้อกระจก สายตาคิดปกติ และสุดท้ายอาจมองไม่เห็น

4.) คลื่นวิทยุที่มีความถี่ระหว่าง 3-10 จิกะเฮิร์ตซ์ (มีความยาวคลื่นระหว่าง 10 ถึง 3 เซนติเมตร) ผิวหนังชั้นบนสามารถดูดกลืนพลังงานมากที่สุด เราจะรู้สึกว่ามีเหมือนกับถูกแสงอาทิตย์

5.) คลื่นวิทยุที่มีความถี่สูงกว่า 10 จิกะเฮิร์ตซ์ (มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 3 เซนติเมตร) ผิวหนังจะสะท้อนให้กลับออกไป โดยมีการดูดกลืนพลังงานเล็กน้อยผลของคลื่นวิทยุต่อร่างกายโดยสรุป แสดงในตาราง 4.1 [19]

ตารางที่ 2 ผลของคลื่นวิทยุต่อร่างกาย [19]

ความถี่	ความยาวคลื่น (m)	บริเวณสำคัญที่อาจเกิดอันตราย	ผลที่เกิดขึ้น
น้อยกว่า 150 MHz	มากกว่า 2.00	-	ทะลุผ่านร่างกายโดยไม่มีการดูดกลืน
150 MHz - 1.2 GHz	2.00-0.25	อวัยวะในร่างกาย	เกิดความร้อนบริเวณใต้ผิวหนัง และอวัยวะภายใน
1-3 GHz	0.30-0.10	เลนส์ตา	เป็นอันตรายต่อเลนส์ตาทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น
3-10 GHz	0.10-0.03	เลนส์ตาและผิวหนัง	รู้สึกร้อนที่ผิวหนัง เหมือนถูกแสงอาทิตย์
มากกว่า 10 GHz	น้อยกว่า 0.03	ผิวหนัง	สะท้อนที่ผิวหนัง หรือถูกดูดกลืนน้อยมาก

เคยมีรายงานทางการแพทย์เมื่อ พ.ศ. 2495 ว่ามีผู้ป่วยเป็นต่อกระจกจากไมโครเวฟ ผู้ป่วยเป็นเจ้าหน้าที่เทคนิคทำงานเป็นเวลา 1 ปี ในบริเวณที่มีเครื่องกำเนิดไมโครเวฟความถี่ 1.5-3 จิกะเฮิรตซ์ ที่ระดับความเข้ม 100 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ในการทดลองกับสัตว์นักวิทยาศาสตร์ได้ทดลองฉายคลื่นวิทยุช่วงไมโครเวฟความเข้ม 100 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ไปที่ตาของกระต่าย พบว่าใน 1 ชั่วโมงต่อมาของเหลวภายในลูกกระต่ายมีอุณหภูมิสูงถึง 43 องศาเซลเซียส อีก 1 สัปดาห์ต่อมากระต่ายตัวนั้นตาบอด ส่วนในการทดลองกับหนูตัวผู้จำนวน 200 ตัว โดยให้หนูไปอยู่ในใกล้เรดาร์ เมื่อผ่านไประยะเวลาหนึ่งพบว่าหนูร้อยละ 40 เป็นหมัน เนื่องจากเนื้อเยื่อของอวัยวะถูกทำลาย และหนูอีกร้อยละ 35 เซลล์เม็ดเลือดแดงจะพัฒนาเป็นมะเร็งต่อไป [19]

#### 4.2 มาตรฐานความปลอดภัย

นับตั้งแต่สมัยสงครามโลกครั้งที่สองเป็นต้นมา ในประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่นสหรัฐอเมริกา มีการพัฒนาและใช้อุปกรณ์ไมโครเวฟกันเป็นจำนวนมาก ทั้งในกิจการทหารและพลเรือน จึงได้มีการศึกษาผลของไมโครเวฟที่มีต่อร่างกาย โดยเริ่มในช่วงหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 และมีรายงานในปี พ.ศ. 2496 ว่าคลื่นวิทยุช่วงไมโครเวฟเริ่มมีผลต่อร่างกายที่ระดับความเข้มตั้งแต่ 100 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตรขึ้นไป จึงมีการกำหนดระดับความเข้มปลอดภัยไว้ที่ 10 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ต่ำกว่าระดับอันตราย 10 เท่า อย่างไรก็ตาม บางประเทศได้กำหนดระดับความเข้มปลอดภัยไว้ต่ำมาก เช่น คานาดา และสวีเดน กำหนดไว้ 1 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร โปแลนด์ 0.2 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เท่านั้นสำนักงานสาธารณสุขด้านรังสีของสหรัฐอเมริกาได้ทำการทดลองวัดระดับความเข้มของคลื่นวิทยุที่กรุงวอชิงตันดีซี พบว่าระดับความเข้มของคลื่นที่วัดได้มีค่าเพียง 0.10 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานถึง 1,000 เท่า ค่าที่วัดได้นี้ได้มาจากบริเวณใกล้ ๆ สถานีวิทยุกระจายเสียงและสนามบินที่ใช้เรดาร์กำลังสูง ซึ่งเป็นที่แน่นอนว่าในเขตชุมชนที่เป็นที่อยู่อาศัยต้องมีระดับความเข้มต่ำกว่า 0.01 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตรมากทีเดียว[20]

<b>หนังสืออิเล็กทรอนิกส์</b>	
ฟิสิกส์ 1(ภาคกลศาสตร์(	ฟิสิกส์ 1 (ความร้อน)
ฟิสิกส์ 2	กลศาสตร์เวกเตอร์
โลหะวิทยาฟิสิกส์	เอกสารคำสอนฟิสิกส์ 1
ฟิสิกส์ 2 (บรรยาย(	แก้ปัญหาฟิสิกส์ด้วยภาษา C
ฟิสิกส์พิศวง	สอนฟิสิกส์ผ่านทางอินเทอร์เน็ต
ทดสอบออนไลน์	วิดีโอการเรียนการสอน
หน้าแรกในอดีต	แผ่นใสการเรียนการสอน
เอกสารการสอน PDF	กิจกรรมการทดลองทางวิทยาศาสตร์
แบบฝึกหัดออนไลน์	สุดยอดสิ่งประดิษฐ์
<b>การทดลองเสมือน</b>	
บทความพิเศษ	ตารางธาตุ(ไทย1) 2 (Eng)
พจนานุกรมฟิสิกส์	ลับสมองกับปัญหาฟิสิกส์
ธรรมชาติมหัศจรรย์	สูตรพื้นฐานฟิสิกส์
การทดลองมหัศจรรย์	ดาราศาสตร์ราชมงคล
<b>แบบฝึกหัดกลาง</b>	
แบบฝึกหัดโลหะวิทยา	แบบทดสอบ
ความรู้รอบตัวทั่วไป	อะไรเอ่ย ?
ทดสอบ)เกมเศรษฐี(	คติปริศนา
ข้อสอบเอนทรานซ์	เฉลยกลศาสตร์เวกเตอร์
คำศัพท์ประจำสัปดาห์	
<b>ความรู้รอบตัว</b>	
การประดิษฐ์ของโลก	ผู้ได้รับโนเบลสาขาฟิสิกส์
นักวิทยาศาสตร์เทศ	นักวิทยาศาสตร์ไทย
ดาราศาสตร์พิศวง	การทำงานของอุปกรณ์ทางฟิสิกส์
การทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ	

 <b>การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 1 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต</b> 	
1. การวัด	2. เวกเตอร์
3. การเคลื่อนที่แบบหนึ่งมิติ	4. การเคลื่อนที่บนระนาบ
5. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน	6. การประยุกต์กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
7. งานและพลังงาน	8. การดลและโมเมนตัม
9. การหมุน	10. สมดุลของวัตถุแข็งเกร็ง
11. การเคลื่อนที่แบบคาบ	12. ความยืดหยุ่น
13. กลศาสตร์ของไหล	14. ปริมาณความร้อน และ กลไกการถ่ายโอนความร้อน
15. กฎข้อที่หนึ่งและสองของเทอร์โมไดนามิก	16. คุณสมบัติเชิงโมเลกุลของสสาร
17. คลื่น	18. การสั่น และคลื่นเสียง
 <b>การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 2 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต</b> 	
1. ไฟฟ้าสถิต	2. สนามไฟฟ้า
3. ความกว้างของสายฟ้า	4. ตัวเก็บประจุและการต่อตัวต้านทาน
5. ศักย์ไฟฟ้า	6. กระแสไฟฟ้า
7. สนามแม่เหล็ก	8. การเหนี่ยวนำ
9. ไฟฟ้ากระแสสลับ	10. ทรานซิสเตอร์
11. สนามแม่เหล็กไฟฟ้าและเสาอากาศ	12. แสงและการมองเห็น
13. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ	14. กลศาสตร์ควอนตัม
15. โครงสร้างของอะตอม	16. นิวเคลียร์
 <b>การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ทั่วไป ผ่านทางอินเทอร์เน็ต</b> 	
1. จลศาสตร์ (kinematic)	2. จลพลศาสตร์ (kinetics)
3. งานและโมเมนตัม	4. ซิมเปิลฮาร์โมนิก คลื่น และเสียง
5. ของไหลกับความร้อน	6. ไฟฟ้าสถิตกับกระแสไฟฟ้า
7. แม่เหล็กไฟฟ้า	8. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับแสง
9. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ อะตอม และนิวเคลียร์	

