

## สื่อตัวกลางส่งผ่าน (Transmission Media)

*A transmission medium is a material or non-material (vacuum) substance which can propagate energy wave.*

การสื่อสารระหว่างอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ เกิดขึ้นโดยการ **ส่งผ่านพลังงาน** ในรูปสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า ไปในสื่อตัวกลางส่งผ่าน (Transmission Medium: Tx Media) ที่เชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์คู่กันๆ ดังนั้นการจัดจำแนกตัวกลางอาจทำได้โดยพิจารณาจาก Spectrum ของสัญญาณที่เกี่ยวข้องได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ **แบบใช้สายนำสัญญาณ** (Guided Media) เช่น Copper Cable Twisted Pair Cable Co-axial Cable และ Fiber Optic Cable เป็นต้น และ **แบบไร้สาย** (Unguided Media) เช่น Radio Wave Microwave และ Infrared เป็นต้น หากพิจารณาจาก OSI Layer แล้ว Tx Media แผ่ตัวอยู่ด้านล่างของ Physical Layer (Layer I) โดยที่ Tx Media ทำหน้าที่ถ่ายโอนสัญญาณ (ในรูปของดิจิทัลหรืออนาล็อก) ระหว่าง Physical Layer ของด้านส่ง และด้านรับ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า Tx Media อยู่ใน Layer 0 ของ OSI Model

### ตัวกลางชนิดสายนำสัญญาณ

ตัวกลางชนิดนี้ (Guided Media) ได้แก่ตัวกลางที่ส่งผ่านข่าวสาร โดย **ใช้สายนำสัญญาณ** ในที่นี้จะกล่าวถึง Guided Media ที่นิยมใช้ทั่วไป 3 รูปแบบ ดังต่อไปนี้

#### สายคู่ตีเกลียว

สายคู่ตีเกลียว (Twisted Pair Cable: TCP) ประกอบด้วยตัวนำสองเส้น (มักใช้ทองแดง) โดยแต่ละเส้นจะมีฉนวนหุ้มตีเกลียวคู่กันไป ทั้งนี้เพื่อหักล้างสัญญาณรบกวน ที่อาจเหนี่ยวนำเกิดขึ้นในสายทั้งสองเส้น

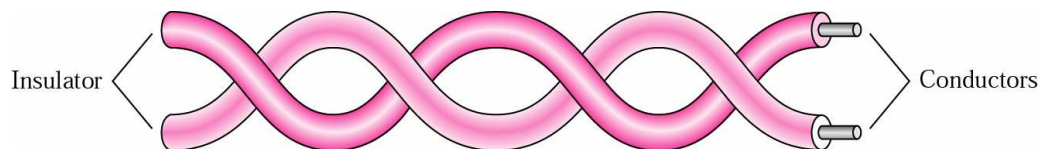


FIGURE 7.1 สายคู่ตีเกลียวประกอบด้วยสายตัวนำ (Conductor) หุ้มฉนวน (Insulator) สองเส้นตีเกลียวคู่กันไป

สำหรับสายคู่ตีเกลียว สายเส้นหนึ่งจะใช้เป็นตัวนำสัญญาณ ในขณะที่อีกเส้นหนึ่งจะใช้เป็นจุดอ้างอิง (Ground) ซึ่งอุปกรณ์ทางด้านรับจะพิจารณาสัญญาณจากความต่างศักย์ระหว่างสายทั้งสอง การตีเกลียวคู่สายนำสัญญาณ มีประโยชน์หลัก 2 ประการ ได้แก่ 1) กำจัดสัญญาณรบกวนที่เหนี่ยวนำเข้ามาในสาย และ 2) ลดการรั่วไหลของสัญญาณ (Crosstalk) ระหว่างคู่ตีเกลียวอื่นในชุดเดียวกัน ดังรูปที่ 7.2 เมื่อมี

กระแสไฟฟ้า (E) ไหลผ่านสายตัวนำ คู่ขนาน จะเกิดสนามแม่เหล็ก (H) ตั้งฉาก ล้อมรอบตัวนำเส้นนั้น ในทิศทางที่เสริมกัน (ซ้าย) ซึ่งหากนำสายนำสัญญาณคู่นี้ไปวางขนานกับสายนำสัญญาณอีกคู่หนึ่ง สนามแม่เหล็กจากสายนำสัญญาณคู่แรกจะไปเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสในตัวนำคู่นั้นด้วย (ขวา)

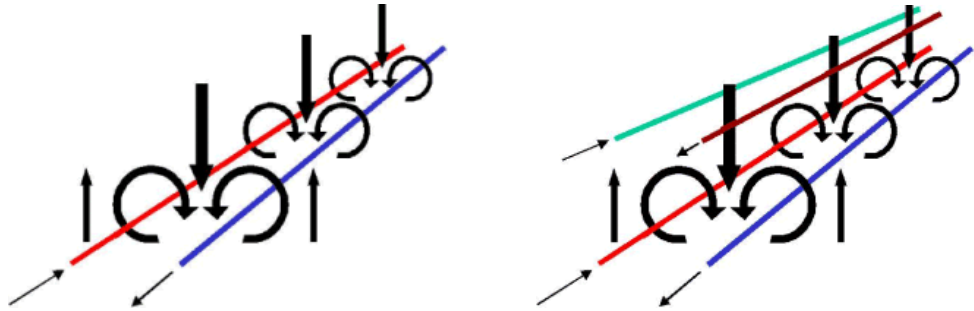


FIGURE 7.2 กระแสไฟฟ้า (E) ที่ไหลผ่านสายนำสัญญาณ (ลูกศรเล็ก) จะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็ก (H) ในทิศทางเสริมกัน (ลูกศรใหญ่) (ซ้าย) เมื่อวางใกล้กับสายนำสัญญาณอีกคู่หนึ่ง H ที่เกิดขึ้นจะเหนี่ยวนำให้เกิด E รอบวนในสายนำสัญญาณคู่นั้น (ขวา)

ทว่าเมื่อนำสายนำสัญญาณมาตีเกลียวกันจะได้ว่าสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในแต่ละวง (Loop) จะมีทิศทางตรงกันข้ามสลับกันไปตลอดสาย ซึ่งมีผลให้กระแสเหนี่ยวนำไปยังสายนำสัญญาณคู่อื่น หักล้างกัน และหากนำสายนำสัญญาณคู่อื่น มาตีเกลียวด้วยจะทำให้กระแสเหนี่ยวนำลดลงไปอีก

สายนำสัญญาณชนิด TCP ที่นิยมใช้กันมากได้แก่ Unshielded Twisted Pair (UTP) ซึ่งเป็นสายคู่ตีเกลียวธรรมดาในเปลือกพลาสติก นอกจากนี้ยังมีสายแบบ Shield Twisted Pair (STP) ซึ่งคล้ายกับ UTP แต่มีตะแกรงโลหะ (ถักเป็นตะข่าย) หุ้มอีกชั้นหนึ่งระหว่างสายและฉนวน โดยโลหะถัก (Metal Mesh) ทำหน้าที่ดักสัญญาณรบกวนที่อาจเหนี่ยวนำเข้ามา ลง Ground (สาย UTP มีประสิทธิภาพลดสัญญาณรบกวนดีกว่า STP แต่ ราคาแพง และ หนักกว่า) ดังแสดงในรูปที่ 7.3

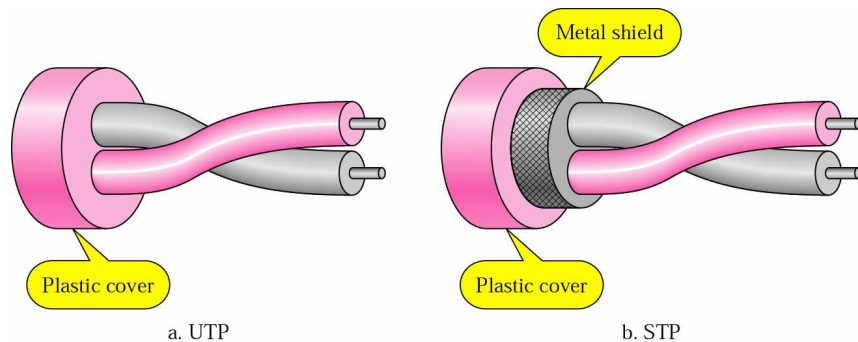


FIGURE 7.3 สาย TCP ที่นิยมใช้สองชนิด ได้แก่ UTP (ซ้าย) ซึ่งฉนวนหุ้มด้วยพลาสติกแต่เพียงอย่างเดียว และ STP (ขวา) ซึ่งมีตะข่ายโลหะถักชั้นระหว่างพลาสติกและฉนวนหุ้มตัวนำอีกชั้นหนึ่ง



มาตรฐาน AT&T (American Telephone & Telegraph) สำหรับระบบโทรศัพท์ คู่สาย STP 1 ชุดมี 25 คู่สาย แต่ละคู่สายถูกรับด้วยรหัสสี 2 กลุ่มดังรูป

**Ring** (ต่อกับสายสัญญาณ -) เข้รหัสสี น้ำเงิน ส้ม เขียว น้ำตาล เทา

**Tip** (ต่อกับ Ground +) เข้รหัสสี ขาว แดง ดำ เหลือง ม่วง



FIGURE 7.4 สาย STP ในระบบโทรศัพท์จะถูกแบ่งออกเป็นชุด ชุดละ 25 คู่สาย โดยแต่ละคู่สายจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ Ring กับ Tip ซึ่งแต่ละคู่สายและแต่ละกลุ่มจะสามารถระบุได้ด้วยรหัสสีที่ถูกกำหนดขึ้นอย่างเป็นระบบ

นอกจากนี้ Electronic Industries Association (EIA) แบ่ง UTP ตามขีดความสามารถของสายออกเป็น 7 ประเภท โดยพิจารณาจาก Bandwidth และ Data Rate ที่สายนำสัญญาณสามารถรองรับได้ ตั้งแต่ต่ำกว่า 100 kHz (kbps) ถึง 600 Mbps (MHz) ซึ่งเหมาะกับการใช้งานแตกต่างกันไป ตั้งแต่ ระบบโทรศัพท์ทั่วไป สาย T – 1 จนถึงสายนำสัญญาณในระบบเครือข่ายท้องถิ่น (LAN) โดยที่เงื่อนไขด้านประสิทธิภาพประเมินได้จาก อัตราการลดทอนตลอด Spectrum ของสัญญาณ ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ รวมถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสาย UTP ตัวอย่างของการใช้งาน UTP ได้แก่การเชื่อมต่อ Registered Jack (RJ) – 45 ในระบบ LAN ซึ่งมีข้อกำหนดดังตาราง

| Pin | Pair | Wire | Color   |  |
|-----|------|------|---------|--|
| 1   | 2    | 1    | ขาว     |  |
| 2   | 2    | 2    | ส้ม     |  |
| 3   | 3    | 1    | ขาว     |  |
| 4   | 1    | 2    | น้ำเงิน |  |
| 5   | 1    | 1    | ขาว     |  |
| 6   | 3    | 2    | เขียว   |  |
| 7   | 4    | 1    | ขาว     |  |
| 8   | 4    | 2    | น้ำตาล  |  |

#### สายนำสัญญาณแกนร่วม

สายนำสัญญาณแกนร่วม (Coaxial Cable) เหมาะสำหรับส่งผ่านสัญญาณพาหะ ที่มีพิสัยความถี่ (Frequency Range) สูงกว่าสัญญาณในสาย TPC โดยโครงสร้าง สายนำสัญญาณชนิดนี้ประกอบด้วย แกนตัวนำ (สัญญาณ) ล้อมรอบด้วยฉนวน 2 ชั้น คั่นด้วยตาข่ายตัวนำชนิดถัก (Shield) ซึ่งทำหน้าที่กรองสัญญาณรบกวนลง Ground และ ชั้นนอกสุดหุ้มด้วยเปลือกพลาสติก

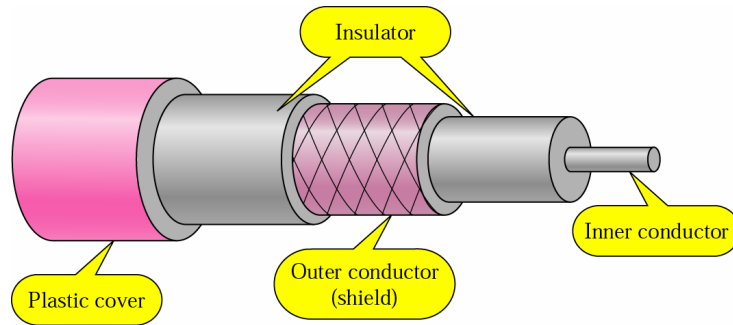


FIGURE 7.5 สายนำสัญญาณร่วม ประกอบด้วย Inner Conductor Insulator Outer Conductor และ Plastic Cover

สายนำสัญญาณ Coaxial สามารถจัดแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยตาม Radio Government (RG) Rating ซึ่งค่า RG แต่ละค่าจะระบุถึง คุณสมบัติทางกายภาพของสาย เช่น ชนิดของตัวนำแกนใน ความหนาและชนิดของฉนวน โครงสร้างของสายกรง (Shield) และ ขนาดและชนิดของกรอบสายด้านนอกสุด สาย Coaxial ในแต่ละกลุ่มกับการใช้งานแตกต่างกันออกไป ได้แก่ RG-59 มีความต้านทานไฟสลับ (Impedance) 75  $\Omega$  ใช้สำหรับระบบ Cable TV RG-58 มี Impedance 50  $\Omega$  ใช้สำหรับระบบ Thin Ethernet และ RG-11 มี Impedance 50  $\Omega$  ใช้สำหรับระบบ Thick Ethernet เป็นต้น

การเชื่อมต่อ Coaxial Cable ที่นิยมใช้ได้แก่ระบบ Bayonet-Neil-Concelman หรือ BNC ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ 3 ชนิด ได้แก่ 1) BNC Connector ใช้สำหรับเชื่อมต่อสายสองเส้น 2) BNC T-Connector ใช้สำหรับต่อจุดแยก (ใช้ใน Ethernet) และ 3) BNC Terminator ใช้สำหรับต่อปิดเส้นทาง (ปกติจะต่อลง Ground) ที่ปลายสายนำสัญญาณ เพื่อป้องกันสัญญาณสะท้อนกลับเข้ามาในสาย ดังรูปที่ 7.5

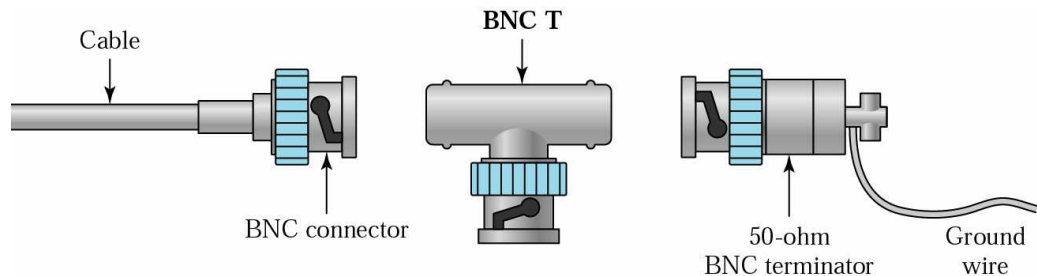


FIGURE 7.5 ระบบเชื่อมต่อของ Coaxial Cable แบบ BNC ประกอบด้วยอุปกรณ์ 3 ชนิด ได้แก่ BNC Connector BNC T และ BNC Terminator

เมื่อพิจารณาอัตราการลดทอนเทียบกับความถี่ของสายนำสัญญาณแกนร่วมพบว่า ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพของสาย Coaxial จะสูงกว่าแต่อัตราการลดทอนสูงกว่าสาย TPC ด้วย ทำให้ต้องใช้ Repeater หลายจุด

การประยุกต์ใช้งานสายนำสัญญาณชนิดนี้พบใน ระบบโทรศัพท์ (10 KHz Voice Signals) ระบบโทรศัพท์ Digital (600 Mbps) ระบบ Cable TV (RG59) และ ระบบ Ethernet LAN เช่น 10 Base – 2 (RG – 58) และ 10 Base-5 (RG – 11)

#### สายนำสัญญาณใยแก้วนำแสง

สายนำสัญญาณใยแก้วนำแสง (Fiber Optic Cable) สร้างจาก แก้ว หรือ พลาสติก ซึ่งส่งสัญญาณ ในรูปของแสง การส่งผ่านสัญญาณอาศัยหลักการเดินทางของแสง กล่าวคือ โดยปกติแสงเดินทางเป็นเส้นตรง ยกเว้น กรณีแสงเดินทางผ่าน รอยต่อระหว่างตัวกลางที่มีความหนาแน่นไม่เท่ากัน ดังรูป

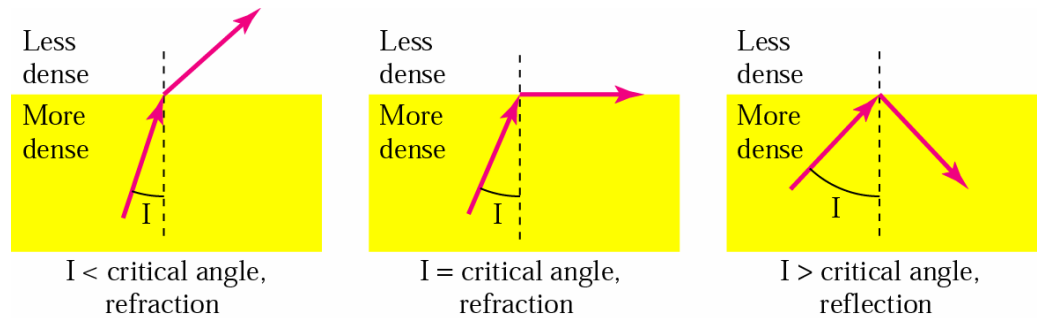


FIGURE 7.6 เมื่อแสดงเส้นทางผ่านรอยต่อระหว่างตัวกลางที่มีความหนาแน่นไม่เท่ากันจะเกิดการหักเห ซึ่งลักษณะของการหักเหขึ้นกับมุมตกกระทบ  $I$

โดยที่ Critical Angle (มุมวิกฤต) เป็นคุณสมบัติของสสาร สายนำสัญญาณชนิด Optical Fiber นำหลักการนี้มาใช้โดยหุ้มตัวกลาง Core (ตัวกลาง) ด้วย Cladding (เปลือก) ที่มีความหนาแน่นต่ำกว่า เพื่อให้เส้นใยแก้วนำแสงสามารถส่งผ่านสัญญาณได้ โดยที่สัญญาณแสงสะท้อนกลับเข้ามาภายใน Core แทนที่แพร่สู่ Cladding ดังรูป

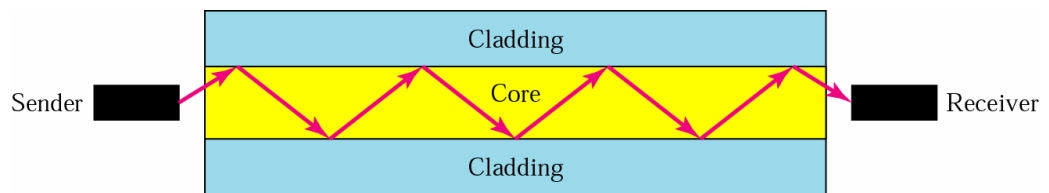


FIGURE 7.7 ในกรณีที่วัสดุที่ใช้ทำ Core มีความหนาแน่นมากกว่า Cladding จะทำให้แสงเดินทางสะท้อนกลับเข้ามาภายใน Core ไม่แพร่กระจายสู่ Cladding

**Propagation Mode** คือลักษณะการเดินทางของแสงไปตาม Optical Fiber สามารถทำได้ 2 วิธี ขึ้นกับคุณสมบัติของ Core และ Cladding ดังนี้

- Single Mode เส้นใยนำแสงจะมีค่าดัชนีหักเหต่ำมาก ทำให้แสงมีการสะท้อนด้วยมุมกว้างจนเสมือนว่าแสงเดินทางเป็นเส้นตรง สัญญาณที่ไปถึงด้านรับจะมีความเพี้ยนต่ำ
- Multi Mode แสงมีการสะท้อนในหลายเส้นทาง มีสองรูปแบบ ได้แก่
  - o Step Index ความหนาแน่นของ Core คงที่แสงจะสะท้อนที่จุดรอยต่อเป็นเส้นตรง
  - o Grade Index ความหนาแน่นของ Core ค่อยๆ ลดลง จากจุดกึ่งกลางไปยังขอบ ทำให้แสงหักเหเป็นเส้นโค้ง

**อุปกรณ์เชื่อมต่อ Fiber Optic** มี 3 ชนิด ดังรูปที่ 7.9 ได้แก่

- 1) Subscriber Channel (SC) Connector ใช้ระบบ Push/Pull ใช้ใน Cable TV
- 2) Straight-Tip (ST) Connector ใช้ระบบ Bayonet ใช้สำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ Network และ
- 3) MR-RJ Connector รูปร่างและขนาดคล้ายกับ RJ-45

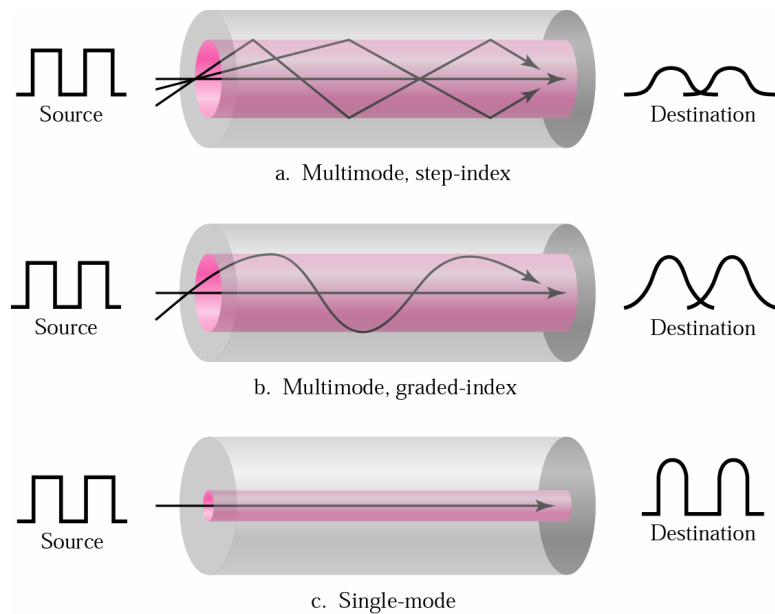


FIGURE 7.8 ลักษณะการเดินทางของสัญญาณแสงใน Optical Fiber ชนิด Multimode, step – index Multimode, graded – index และ Single mode

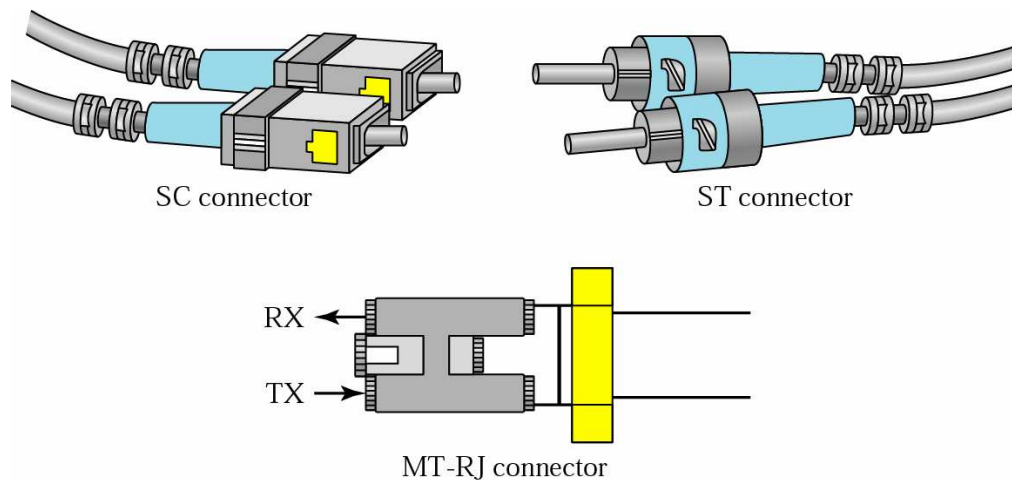


FIGURE 7.9 ลักษณะของอุปกรณ์เชื่อมต่อ Optical Fiber Cable มีสามชนิดได้แก่ SC Connector ST Connector และ MT – RJ Connector

เมื่อพิจารณาอัตราการลดทอนเทียบกับความยาวคลื่น พบว่าอัตราการลดทอนสม่ำเสมอทุกย่านความถี่ ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้ Repeater จำนวนมากเหมือน TPC

การประยุกต์ใช้งานสายนำสัญญาณชนิดนี้ ได้แก่ ใช้เป็น Backbone ของเครือข่าย (ความเร็วมากกว่า 1600 Gbps) ใช้เป็น Backbone ร่วมกับ Coaxial Cable ในเครือข่าย Cable TV โดยที่ Coaxial Cable ทำหน้าที่จ่ายแยกไปยังผู้ใช้ และใช้สำหรับ LAN ความเร็วสูง 100Base-FX และ 1000Base-X จุดเด่นของ Fiber Optic Cable ได้แก่

- Bandwidth ของตัวกลางไม่จำกัด แต่เทคโนโลยีของ เครื่องรับ-ส่งยังไม่สามารถจัดการข้อมูลได้ทัน
- อัตราการลดทอนต่ำ ใช้ Repeater ทุกๆ 50Km เทียบกับ 5Km ของ TPC
- ทนต่อสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า การก่อกวน และน้ำหนักรเบา
- ยากต่อการดักฟัง

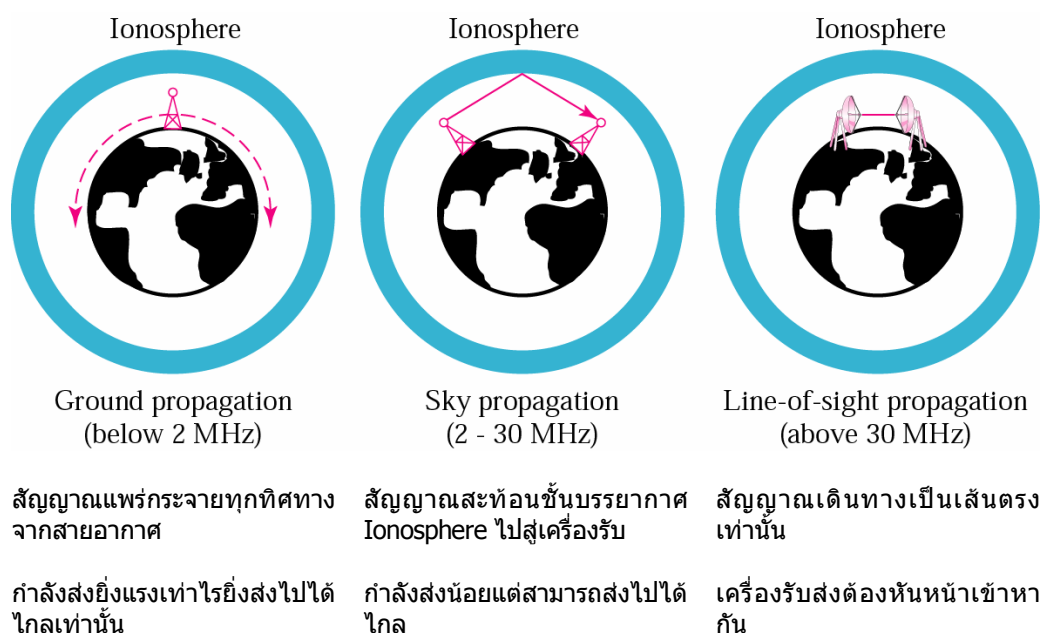
อย่างไรก็ดี จุดด้อยของสายนำสัญญาณชนิดนี้คือ ติดตั้งและดูแลรักษาลำบาก ยิ่งกว่านั้น สาย 1 เส้นสามารถใช้ส่งได้ทางเดียว และราคาสูง

### ตัวกลางชนิดไร้สาย

ตัวกลางชนิดนี้ (Unguided Media) ส่งผ่านข่าวสารในรูปแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดย ไม่ใช้ สายนำสัญญาณ บางครั้งเรียกว่าการสื่อสารไร้สาย (Wireless) ปกติสัญญาณจะแพร่ผ่าน อากาศ และ พร้อมรับได้จากอุปกรณ์ใดๆ ที่ รู้จัก สัญญาณนั้น ความถี่ที่ใช้สำหรับการสื่อสารไร้สายอยู่ในช่วง 3 kHz ถึง 900 THz

#### ลักษณะการเดินทางของสัญญาณ

ลักษณะการเดินทางของสัญญาณ (Propagation Method) ในตัวกลางชนิดไร้สาย ขึ้นกับปัจจัยหลายประการ อันหนึ่งที่สำคัญได้แก่ความถี่ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทดังนี้



#### แถบความถี่ในการส่งผ่าน

แถบความถี่ในการส่งผ่านสัญญาณ (Transmission Bands) สำหรับตัวกลางแบบไม่ใช้สายนำสัญญาณ และการประยุกต์ใช้งานสามารถแจกแจงได้ดังตาราง โดยที่จากตาราง การสื่อสารไร้สายสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ตามแถบความถี่ดังนี้

- **Radio Wave** ความถี่ต่ำกว่า 1GHz โดยที่การรับ-ส่งสัญญาณใช้ Omni-directional Antenna สามารถเดินทางได้ไกล (Sky Mode) ทะลุสิ่งกีดขวางได้ และใช้สำหรับส่งวิทยุกระจายเสียง

- **Microwave** ความถี่ระหว่าง 1–30 GHz โดยที่รับ-ส่งสัญญาณเป็นแบบ Unidirectional สายอากาศต้องหันหน้าเข้าหากัน ไม่สามารถทะลุสิ่งกีดขวางได้ และใช้สำหรับส่งข้อมูลความเร็วสูง
- **Infrared** ความถี่มากกว่า 300 GHz ไม่สามารถทะลุสิ่งกีดขวางได้ อุปกรณ์รับ-ส่งต้องตรงกัน ไม่รบกวนอุปกรณ์ชนิดอื่น และใช้สำหรับส่งข้อมูล (IrDA) Computer

| Band | Range         | Propagation           | Application                                     |
|------|---------------|-----------------------|-------------------------------------------------|
| VLF  | 3–30 KHz      | Ground                | Long-range radio navigation                     |
| LF   | 30–300 KHz    | Ground                | Radio beacons and navigational locators         |
| MF   | 300 KHz–3 MHz | Sky                   | AM radio                                        |
| HF   | 3–30 MHz      | Sky                   | Citizens band (CB), ship/aircraft communication |
| VHF  | 30–300 MHz    | Sky and line-of-sight | VHF TV, FM radio                                |
| UHF  | 300 MHz–3 GHz | Line-of-sight         | UHF TV, cellular phones, paging, satellite      |
| SHF  | 3–30 GHz      | Line-of-sight         | Satellite communication                         |
| EHF  | 30–300 GHz    | Line-of-sight         | Long-range radio navigation                     |

### แบบฝึกหัด

- อธิบายความแตกต่างระหว่าง Guided Media และ Unguided Media มาพอสังเขป
- อธิบายหลักการและเหตุผลของการตีเกลียวของ Twisted Pair Cable (TPC)
- เพราะเหตุใด Shield Twisted Pair (STP) จึงมีประสิทธิภาพในการลดสัญญาณรบกวนได้ดีกว่า Unshielded Twisted Pair (UTP)
- ดาข่ายตัวนำ (Outer Conductor) ในสายตัวนำแกนร่วม (Co-axial Cable) มีหน้าที่ใดบ้าง
- อธิบายประสิทธิภาพของสาย UTP และ Coaxial ในแง่ของอัตราการลดทอนที่ความถี่ต่างๆ ของสายแต่ละขนาด
- เพราะเหตุใด Core และ Cladding ในสายใยแก้วนำแสงจึงควรมีความหนาแน่นและดัชนีหักเหของแสงต่างกัน
- อธิบายรูปแบบการเดินทางในแต่ละ Mode ของสัญญาณในสายใยแก้วนำแสง
- อธิบายเปรียบเทียบ ข้อดี และข้อเสียของสาย TPC Coaxial Cable และ Fiber Optic Cable
- รูปแบบการเดินทางของคลื่นวิทยุความถี่สูงมีกี่ลักษณะ และขึ้นอยู่กับปัจจัยใด
- อธิบายเปรียบเทียบจุดเด่นและการทำงานของสื่อตัวกลางส่งผ่านระหว่าง Bluetooth และ Infrared