เส้นเคเบิลใยแก้วนำแสงเส้นทางสู่ยุคสารสนเทศ

นำเสนอโดย

พิพัฒน์ รัตนคช

วิศวกรอาวุโส บริษัท สามารถคอมเทค จำกัด

เส้นเคเบิลใยแก้วนำแสงเส้นทางสู่ยุคสารสนเทศ

วิทยากร

พิพัฒน์ รัตนคช

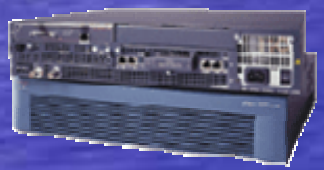
pipat@scomtech.com

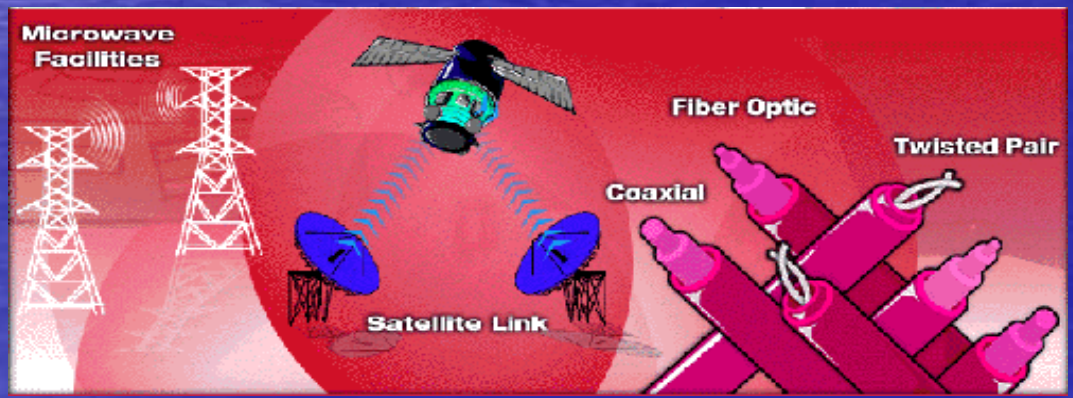
0-1839-3134

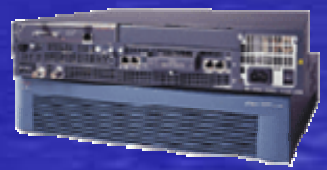
- วศ.บ.โทรคมนาคม ม.เทคโนโลยีมหานคร
- วิศวกรอาวุโส บ.สามารถคอมเทค จำกัด
- ผู้จัดการโครงการ (ส่วนงานบริการ) บ.สามารถคอมเทค จำกัด
- วิศวกรควบคุมโครงการสื่อสารข้อมูลด้วยเส้นใยแก้วนำแสง
  - กระทรวงมหาดไทย
  - กระทรวงยุติธรรม
  - กระทรวงกลาโหม
  - กระทรวงการคลัง
  - สำนักงานตำรวจแห่งชาติ
  - สำนักงานข้าราชการพลเรือน
  - กองทัพอากาศ
  - สถาบันพระปกเกล้า

องค์ประกอบพื้นฐานของการสื่อสาร

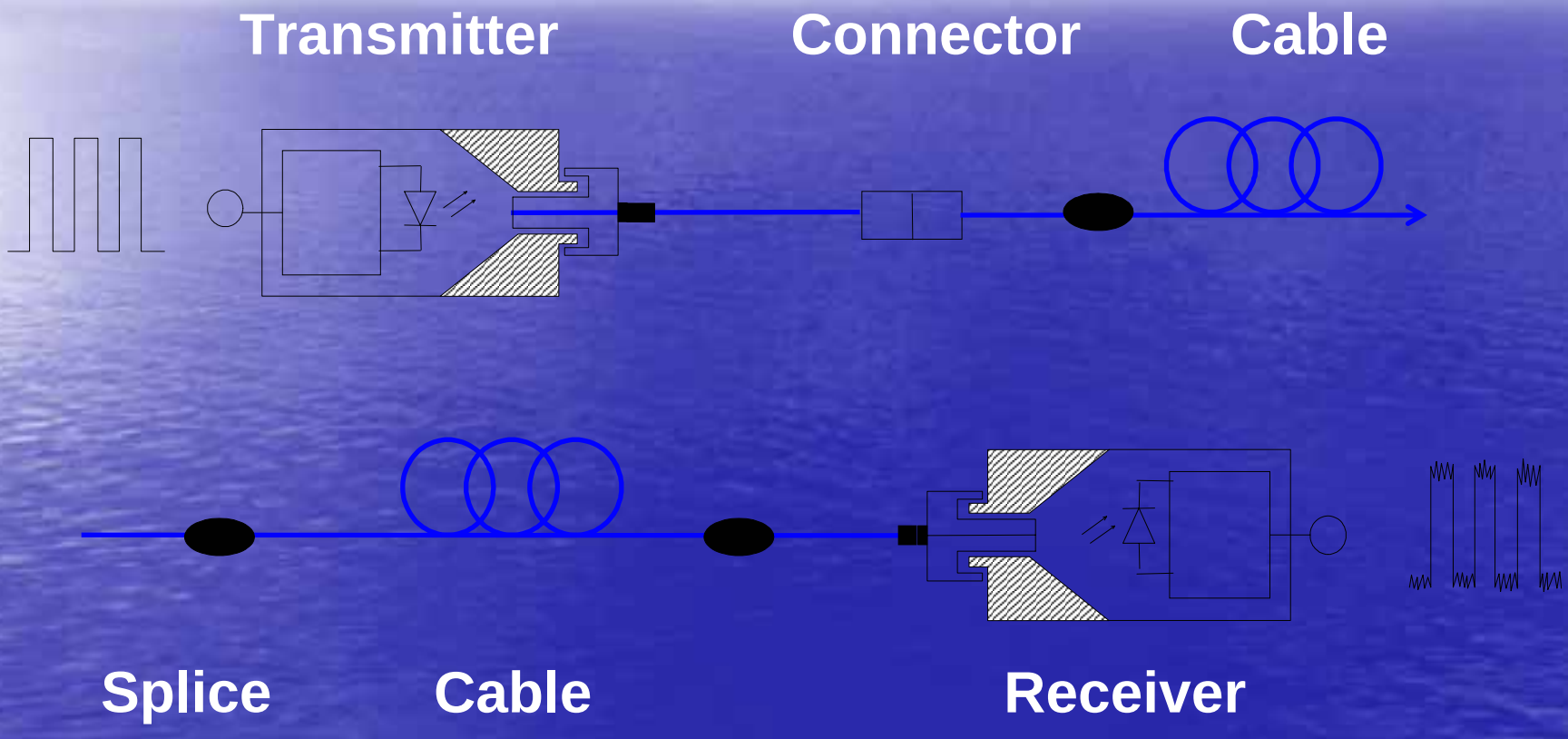
- เครื่องส่ง
- ตัวกลางส่งสัญญาณ
- เครื่องรับ

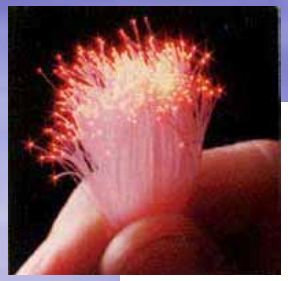






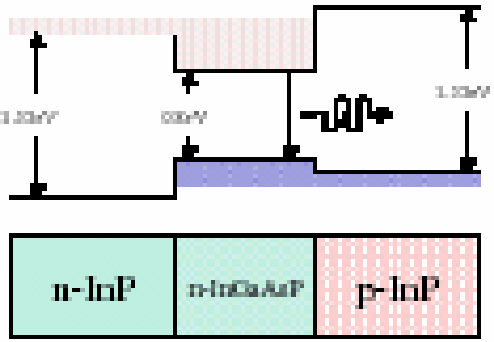
Basic Link Design





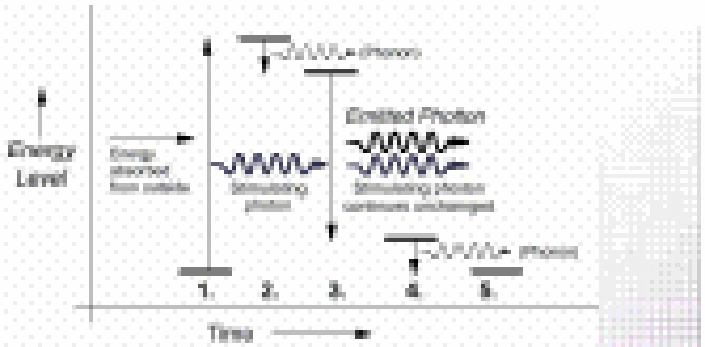
Optical Source

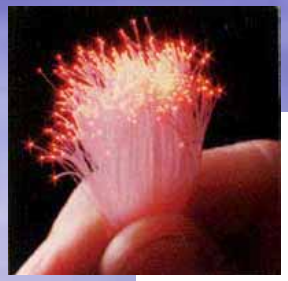
- LED
  - Low Power, Cost, Speed
  - Incoherent light
  - Line width (50-100nm)



$$E_{ph} = h\upsilon = \frac{hc}{\lambda_{ph}}$$

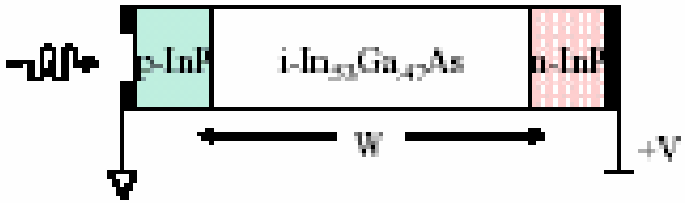
- Laser
  - Coherent
  - Narrow spectral width (<8nm)
  - Temp. & Power control needed
  - Noise & Chirp

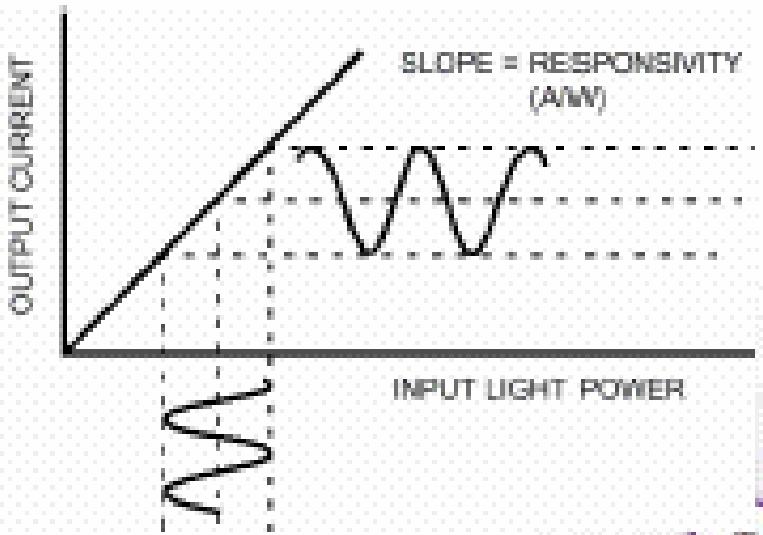




PhotoDetector

- **Optical Power Conversion**
  - Electrical current
  - PIN / APD Diodes
- **Diode Detectors**
  - Dark Current
  - Responsivity [A/W]
  - Quantum Efficiency (η)





$$R = \frac{\eta q}{h\nu} \approx \frac{\eta \lambda_{[\mu m]}}{1.24}, \eta = 1 - e^{-\alpha W}$$

หลักการและทฤษฎีของเคเบิลใยแก้วนำแสง

- 1. Introduction
- 2. Physical Basics
- 3. Standards
- 4. Fibers, Cables, Splices & Connectors

หลักการและทฤษฎีของเคเบิลใยแก้วนำแสง

INTRODUCTION

เส้นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber , Fiber Optics) หมายถึง อะไร?

เส้นใยโปร่งแสงทรงกระบอกขนาดเล็กตัน
(เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 125 uM มีความสามารถในการนำแสงที่ดี)

หลักการและทฤษฎีของเคเบิลใยแก้วนำแสง

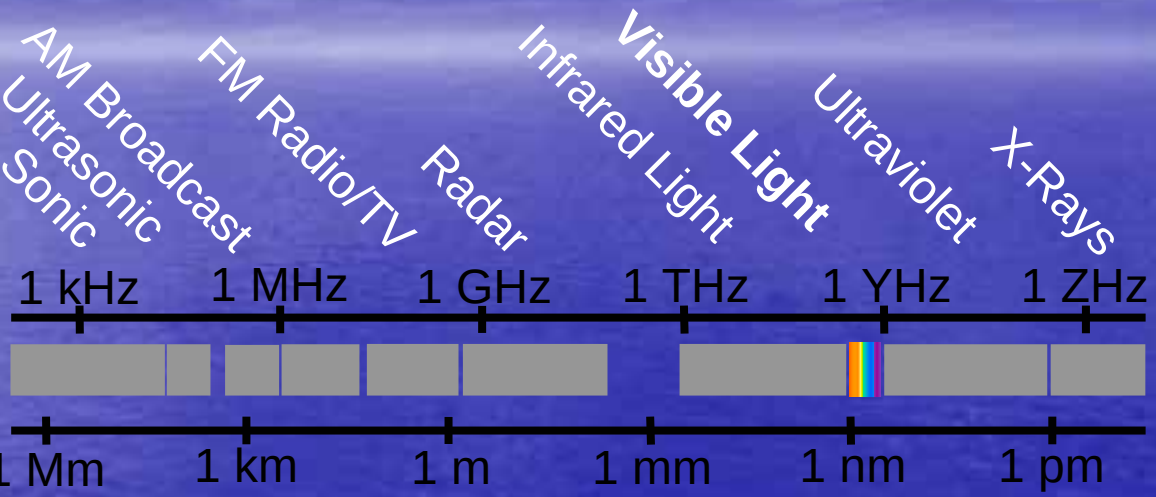
แสงคืออะไร

แสง เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง เช่นเดียวกับคลื่นที่ใช้ในการส่งสัญญาณ ทีวี วิทยุ หรือข้อมูล ในระบบสื่อสารทั่วไปแต่จะมีความยาวคลื่น และความถี่ ที่แตกต่าง

(กำลังงานของแสง = ความเข้มแสง)

(Optical Power = Light Intensity)

สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า



c = f • λ • n

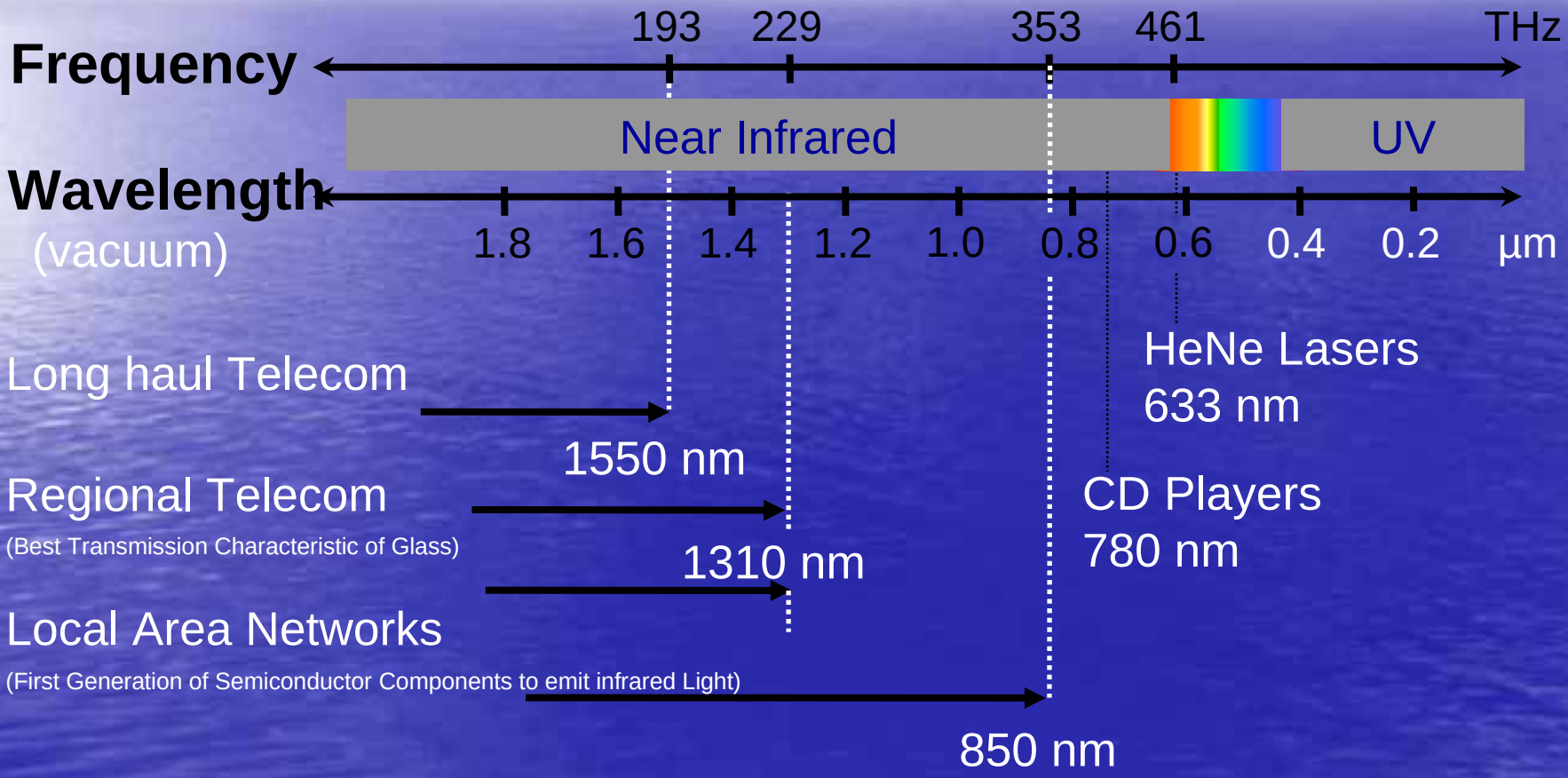
c: Speed of light (2.9979 * 10^8 m/s)

f: Frequency

λ: Wavelength

n: Refractive index
(vacuum: 1.0000; standard air: 1.0003; silica fiber: 1.44 to 1.48)

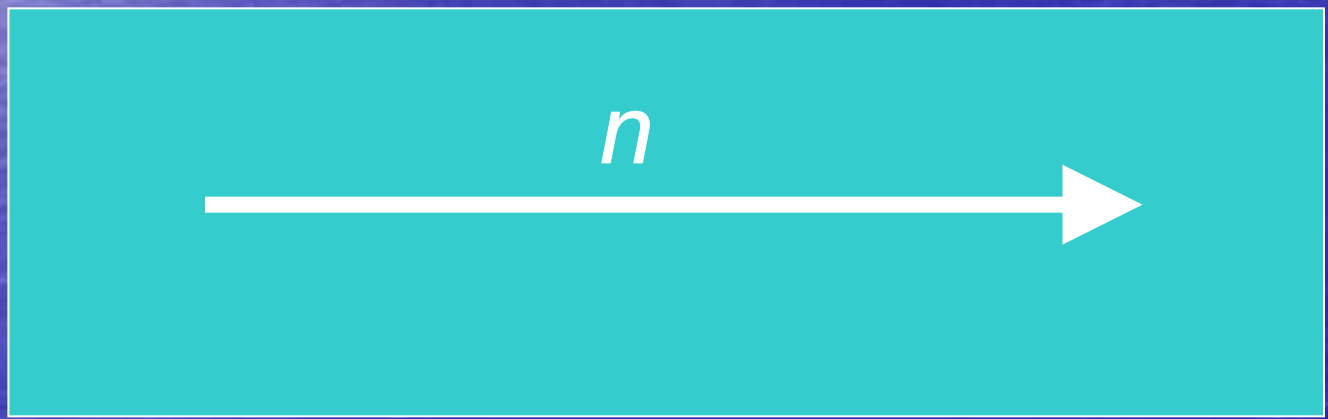
ความยาวคลื่นแสงที่ใช้ส่งผ่านเส้นใยแก้ว



คุณสมบัติของแสง

1. แสงเดินทางเป็นเส้นตรง

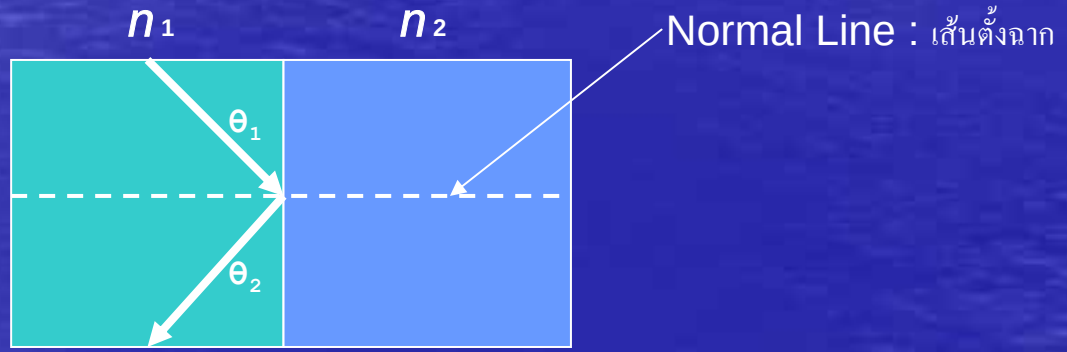
– ในตัวกลางชนิดเดียวกัน แสงจะเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรง



คุณสมบัติของแสง

2. การสะท้อนกลับ

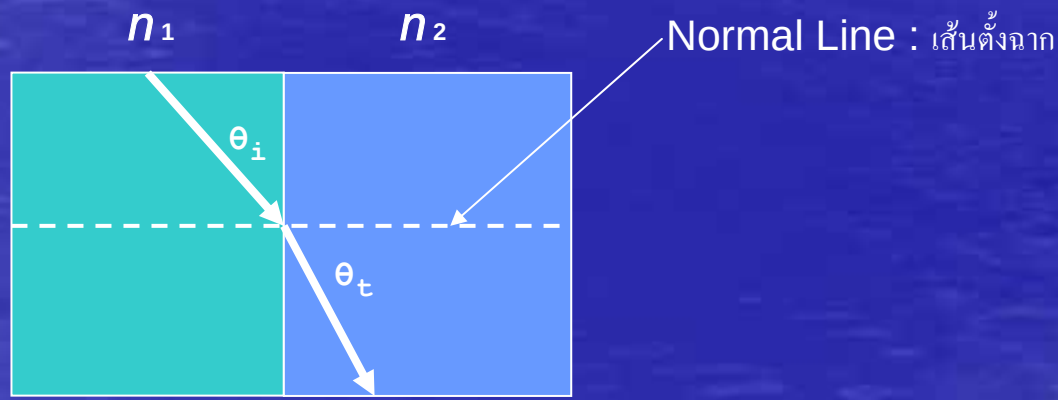
เมื่อแสงเดินทางตกกระทบตรงรอยต่อระหว่างตัวกลางสองชนิดที่แตกต่างกัน แสงส่วนหนึ่งที่ตกกระทบจะเกิดการสะท้อนกลับ โดยที่ค่าของมุมตกกระทบ เท่ากับ มุมสะท้อน



คุณสมบัติของแสง

3. การหักเห

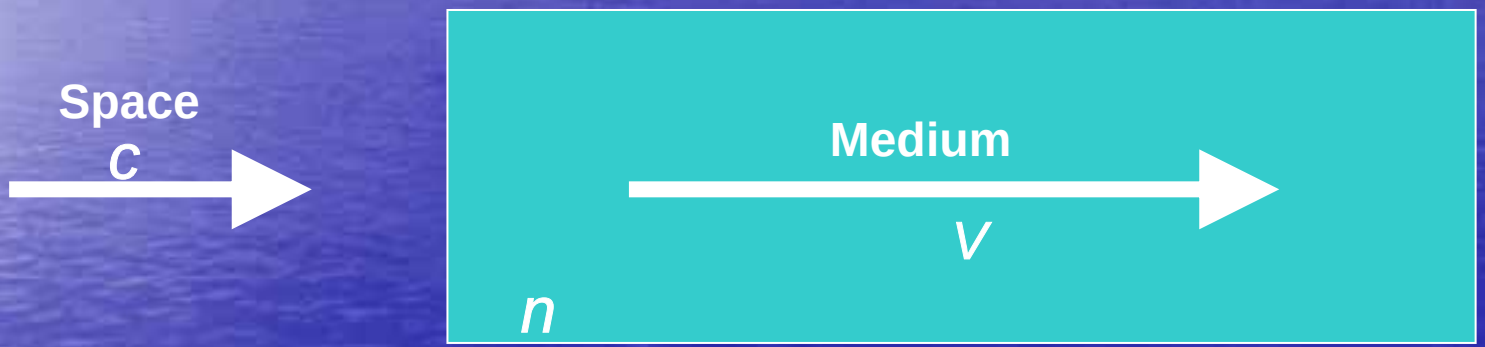
เมื่อแสงเดินทางตกกระทบตรงรอยต่อระหว่างตัวกลางสองชนิดที่แตกต่างกัน แสงส่วนที่ไม่สะท้อนกลับ จะเดินทางทะลุผ่านเข้าไปในตัวกลางอีกชนิดหนึ่ง โดยที่ทิศทางของมันจะเปลี่ยนไปจากแนวเดิม ตามกฎของ สเนลล์ (Snell's Law)



คุณสมบัติของแสง

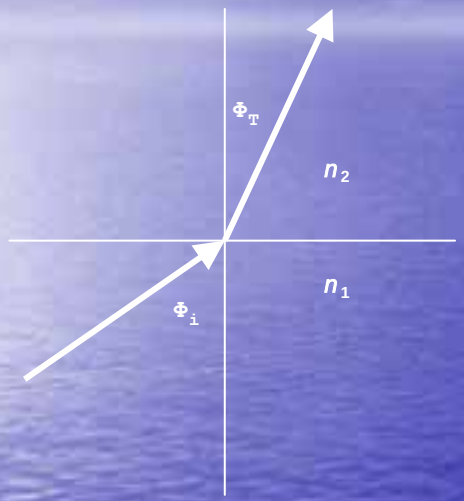
ดัชนีหักเหของแสงในตัวกลาง

Refractive Index of Light

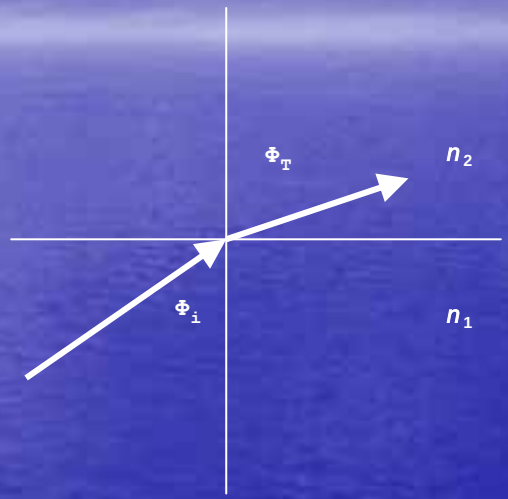


- n ค่าดัชนีหักเหของแสงของตัวกลางมักมีค่ามากกว่า 1 เสมอ เพราะว่า $V<C$

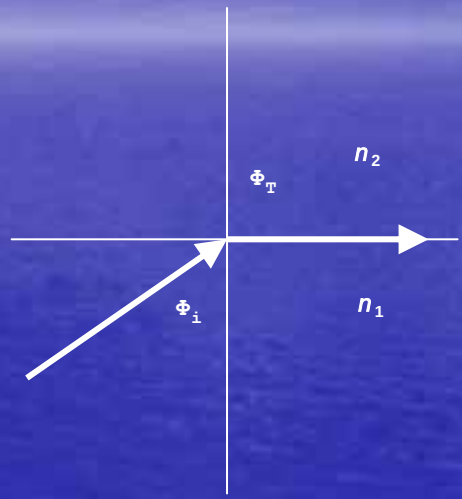
คุณสมบัติของแสง



$n_1 < n_2$



$n_1 > n_2$



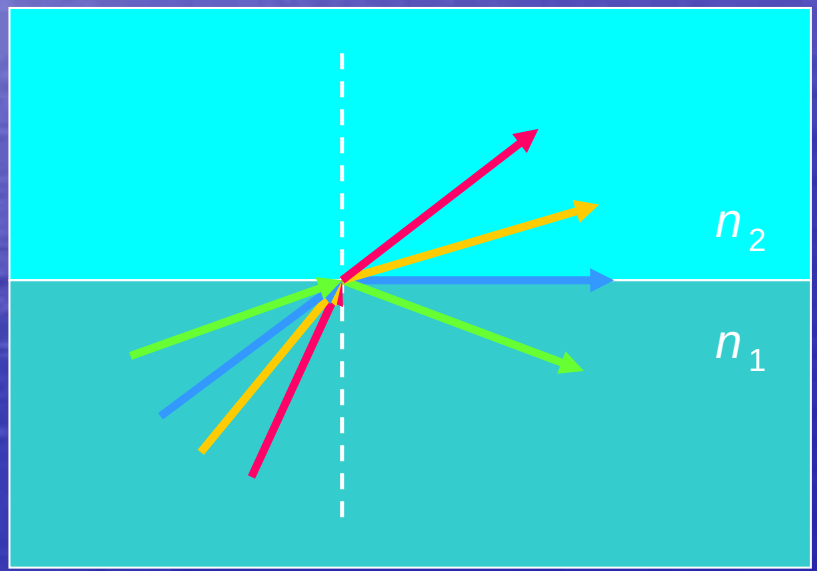
สะท้อนกลับหมด $n_1 > n_2$

TIR : Total Internal Reflection

การสะท้อนกลับหมดของแสง

คุณสมบัติของแสง

TIR : Total Internal Reflection



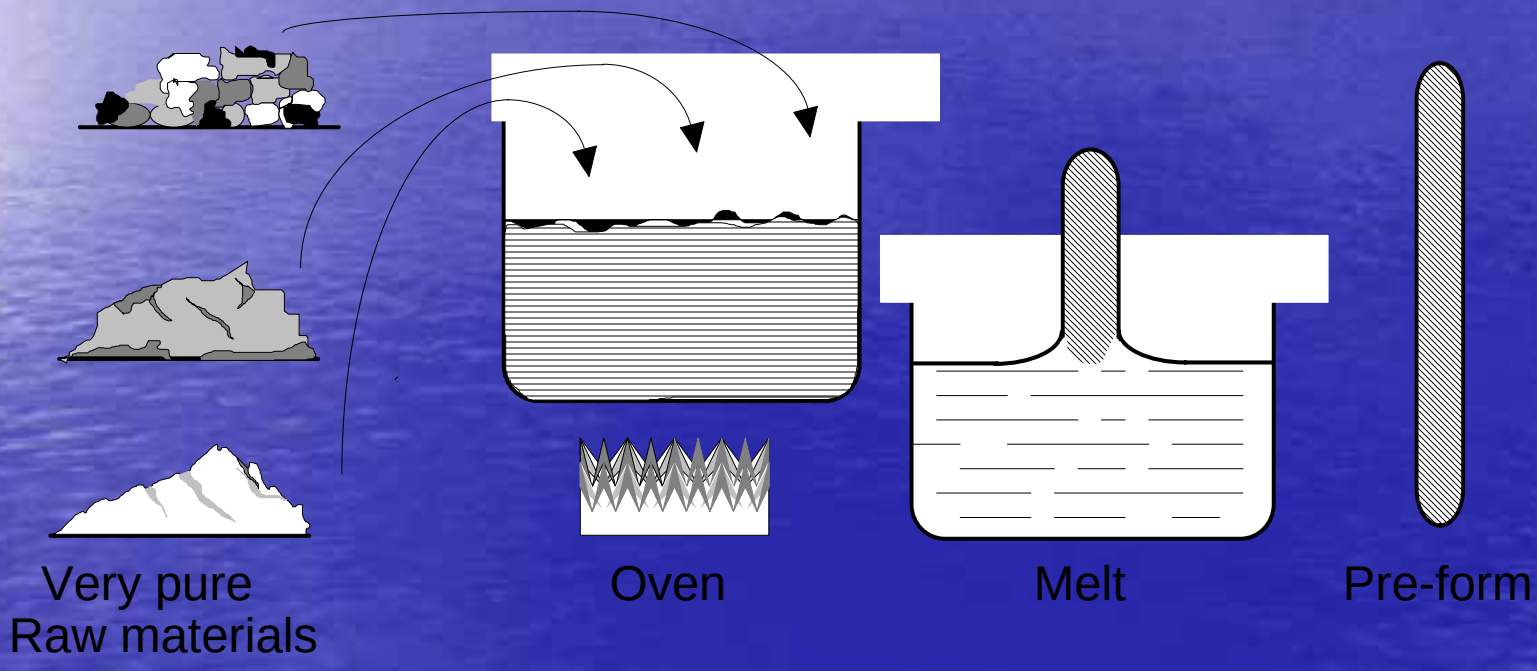
$n_1 > n_2$

หลักการของเส้นใยแก้วนำแสง

- เส้นใยแก้วนำแสงมีคุณสมบัติในการนำแสงได้ดี เนื่องจากเหตุผลหลักสองประการ ได้แก่
  - ทำจากเนื้อแก้วบริสุทธิ์
  - โครงสร้างประกอบด้วยเนื้อแก้วสองส่วน เพื่อทำให้เกิด TIR

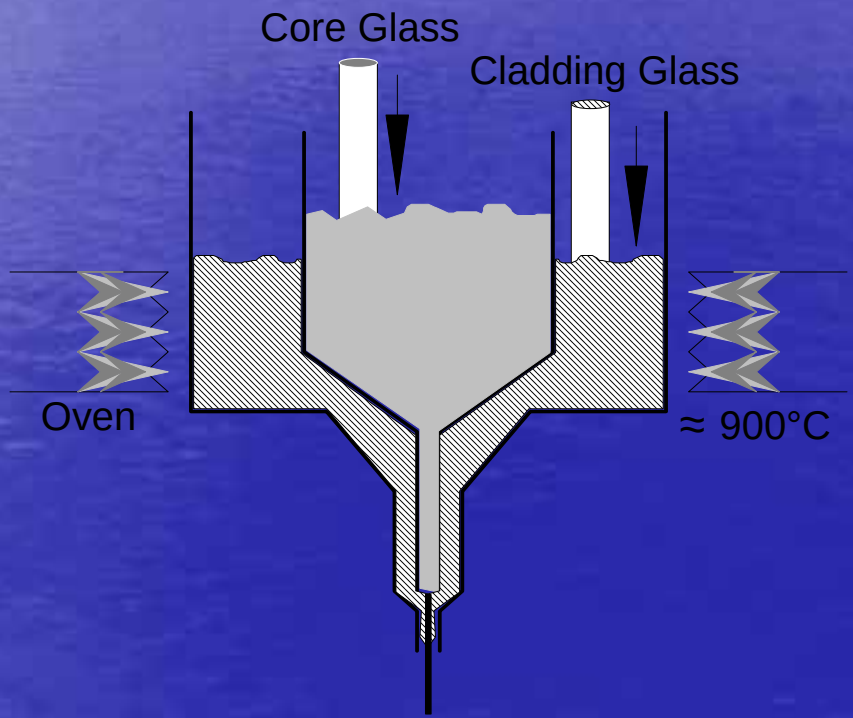
หลักการและทฤษฎีของเคเบิลใยแก้วนำแสง

Optical fiber fabrication

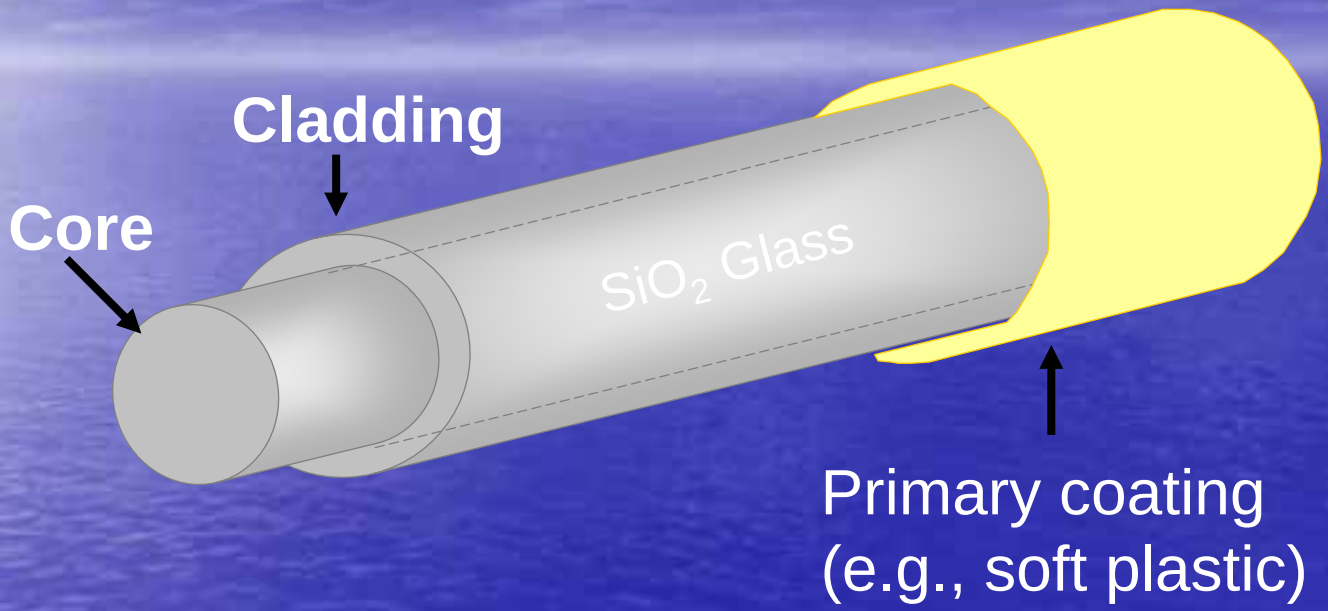


หลักการและทฤษฎีของเคเบิลใยแก้วนำแสง

Optical fiber fabrication



โครงสร้างของเส้นใยแก้ว

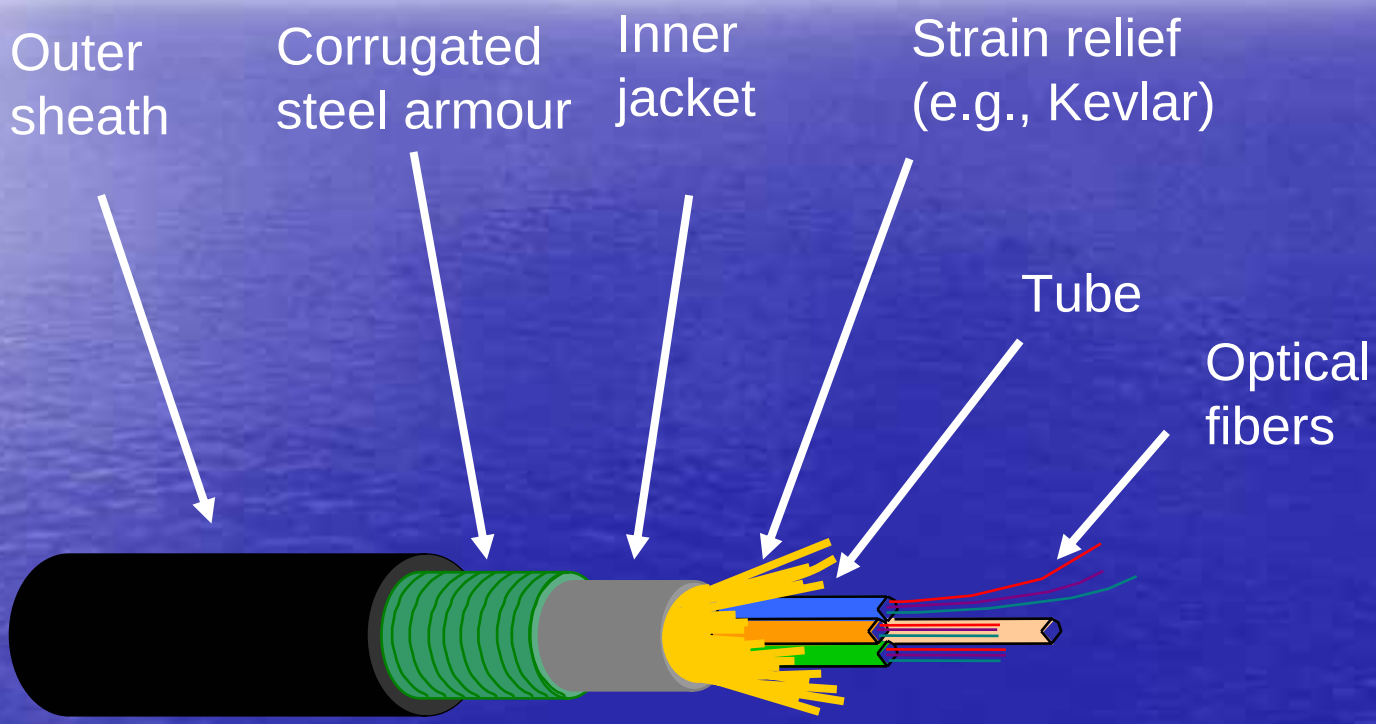


เส้นใยแก้ว ประกอบด้วยส่วนที่เรียกว่า คอร์ (Core) และ แคลดดิ้ง (Cladding) โดยที่ค่าดัชนีการหักเหของ คอร์ จะมากกว่าค่าดัชนีหักเหของแคลดดิ้ง ($n_1 > n_2$)

โครงสร้างของเส้นใยแก้ว

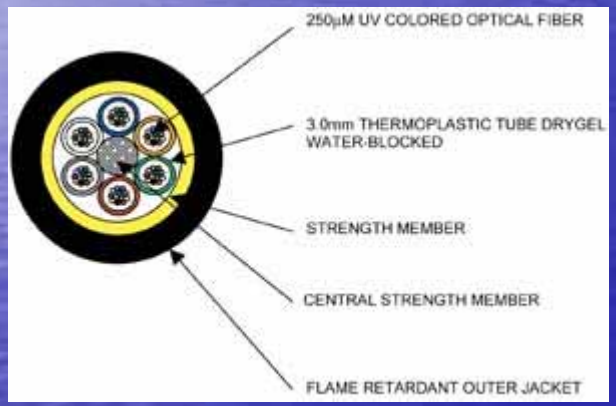
- เส้นใยแก้วที่นำมาใช้งาน อาจมีการเคลือบ Coating หลายชั้น เพื่อความแข็งแรงแล้วนำมาหุ้มเป็นสายเคเบิล โดยสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสง (Fiber Cable) 1 เส้น จะมีเส้นใยแก้วย่อยอีกหลายเส้น(โดยทั่วไปเรามักเรียกเป็นจำนวนคอร์)

ตัวอย่างของสายเคเบิลใยแก้วนำแสง

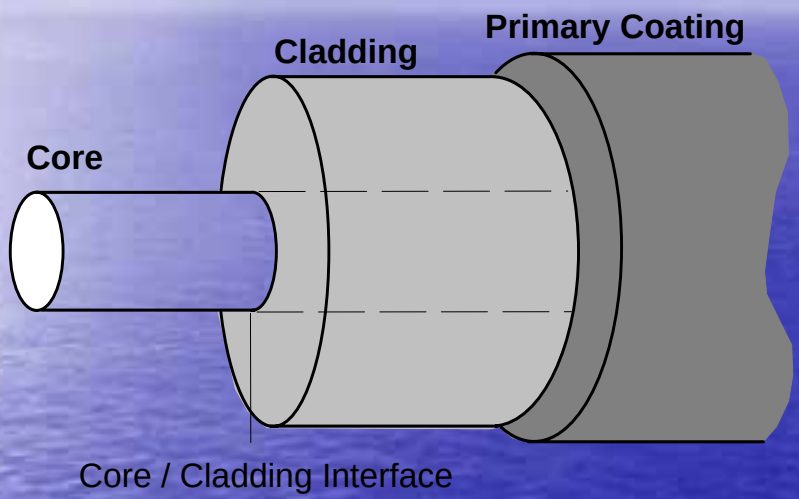


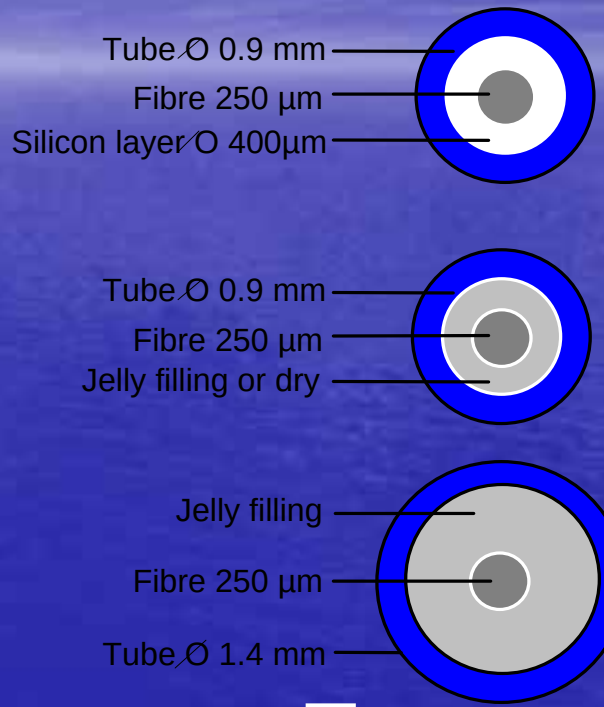
ตัวอย่างของสายเคเบิลใยแก้วนำแสง

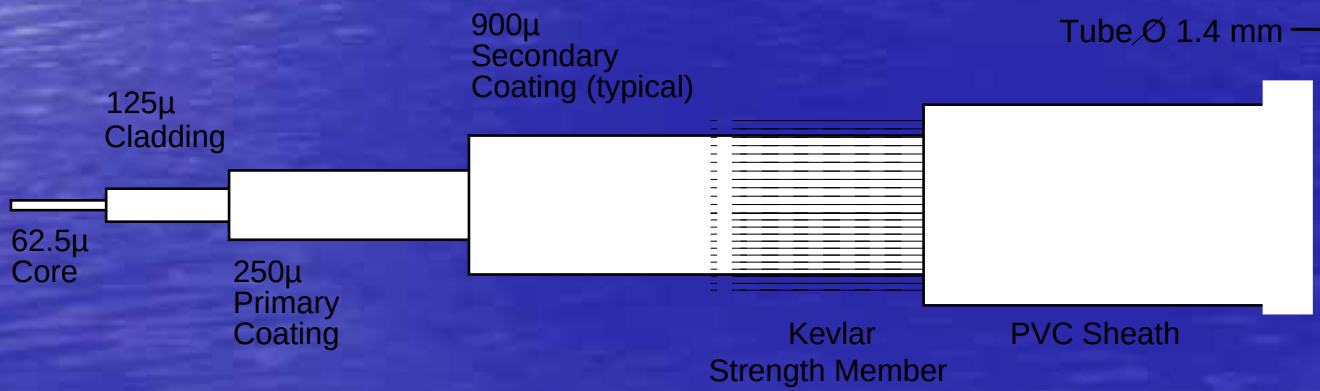
- Basic cable design



ตัวอย่างของสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสง







ข้อดีของเส้นใยแก้วนำแสง

- ค่าการสูญเสียต่ำ : Low Loss
- ราคาถูก : Low Cost
- น้ำหนักเบา : Light Weight
- เป็นอิสระทางด้านไฟฟ้า : Electronic Isolation
- ไม่มีการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า : No EMI
- มีสัญญาณรบกวนน้อย : Low Noise
- มีแถบความถี่ใช้งานที่กว้าง : Large Bandwidth

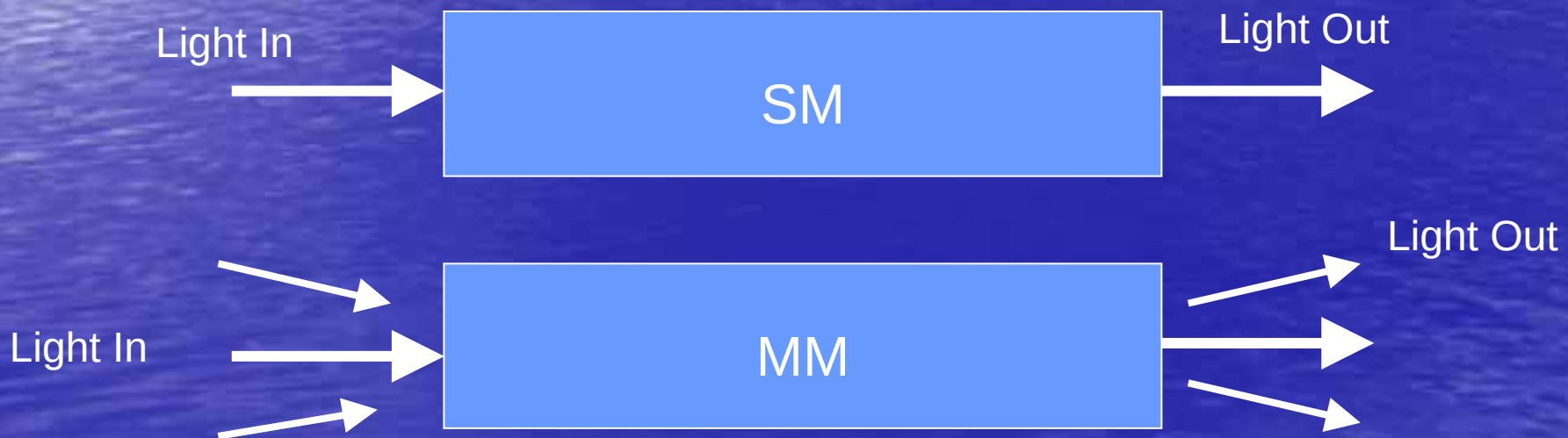
ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง

- แบ่งตามค่าดัชนีการหักเห (Index Profile Classification)
  - SI : Step Index fiber
  - GRIN (GI) : Graded Index fiber

- แบ่งตามโหมดการเดินทางของแสง (Mode Propagation Classification)
  - SM : Single Mode fiber
  - MM : Multimode fiber

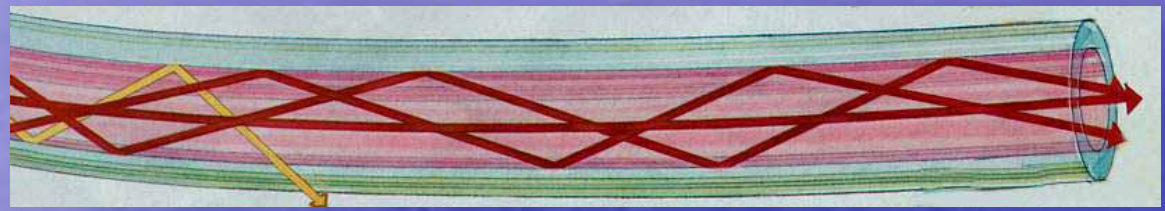
โหมด (Modes)

- **โหมด หมายถึง รูปแบบการเดินทางของแสงในเส้นใยแก้ว**
  - โหมด จะถูกกำหนดจาก รูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ของกลุ่มคลื่นแสงที่เดินทาง แต่ในทางปฏิบัติ อาจใช้แนวทางในการเดินทางของแสงเป็นตัวกำหนด

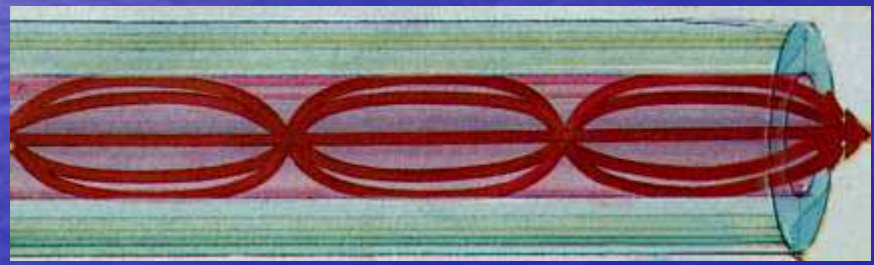


Optical fiber types

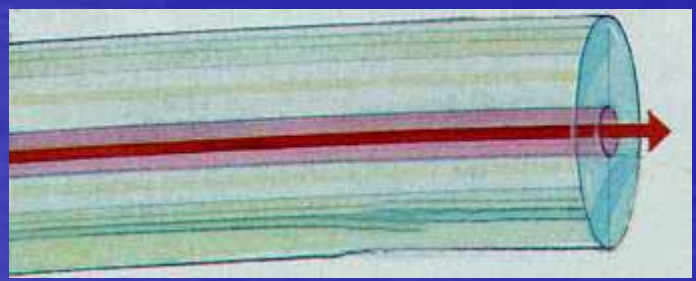
- Multi-mode Step Index



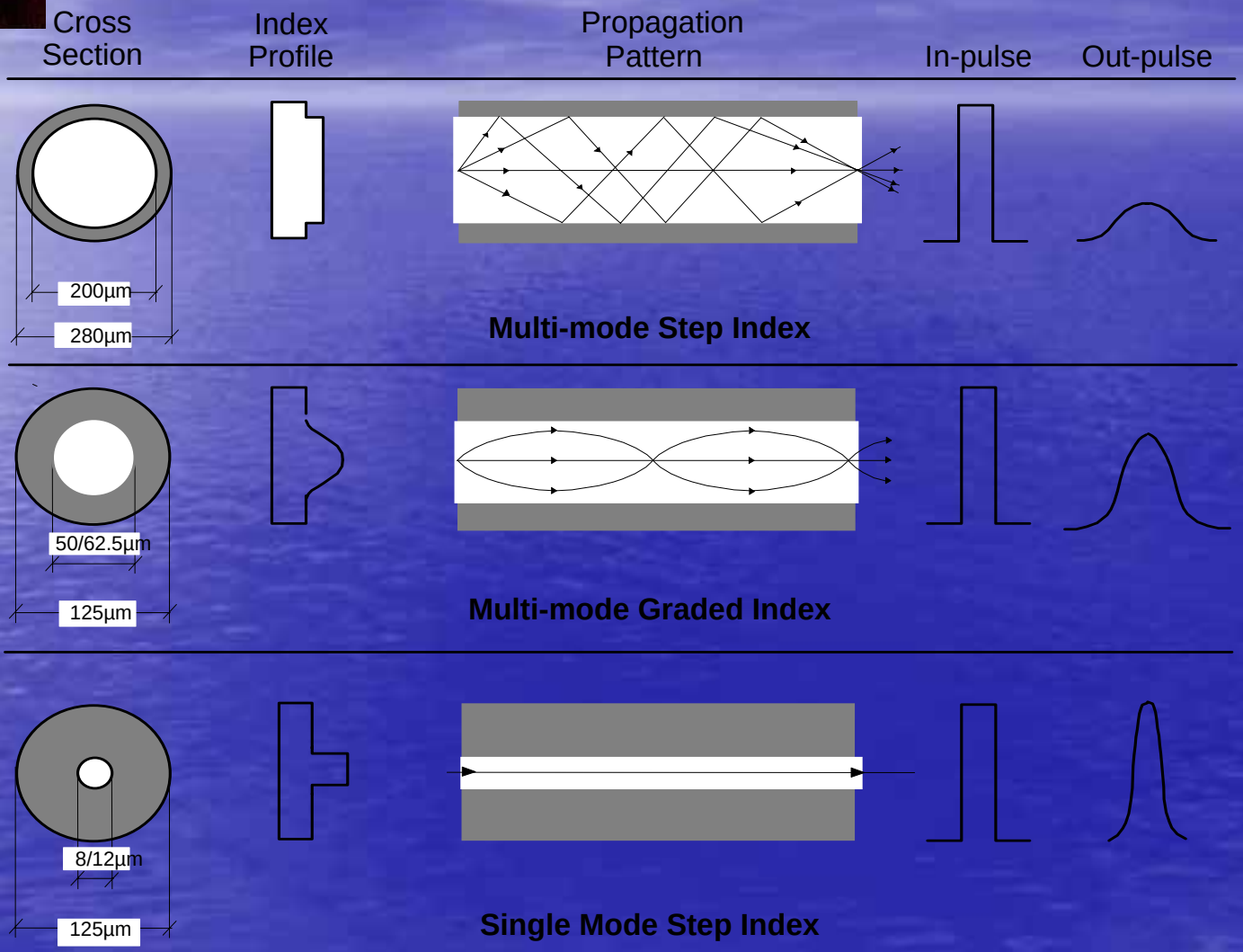
- Multi-mode Graded Index

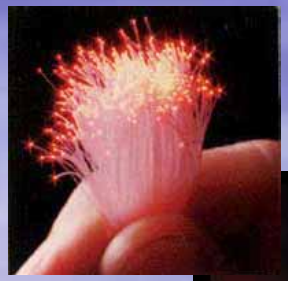


- Single-mode



Optical fiber types



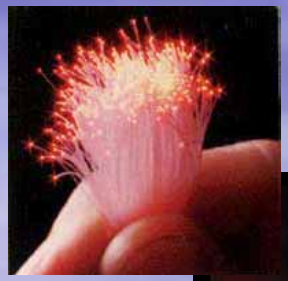


Fiber Limitations

Fiber Limitations

Attenuation

- Characterized as loss of light or signal power
- Major Causes:
  - Absorption
  - Scattering



Fiber Limitations

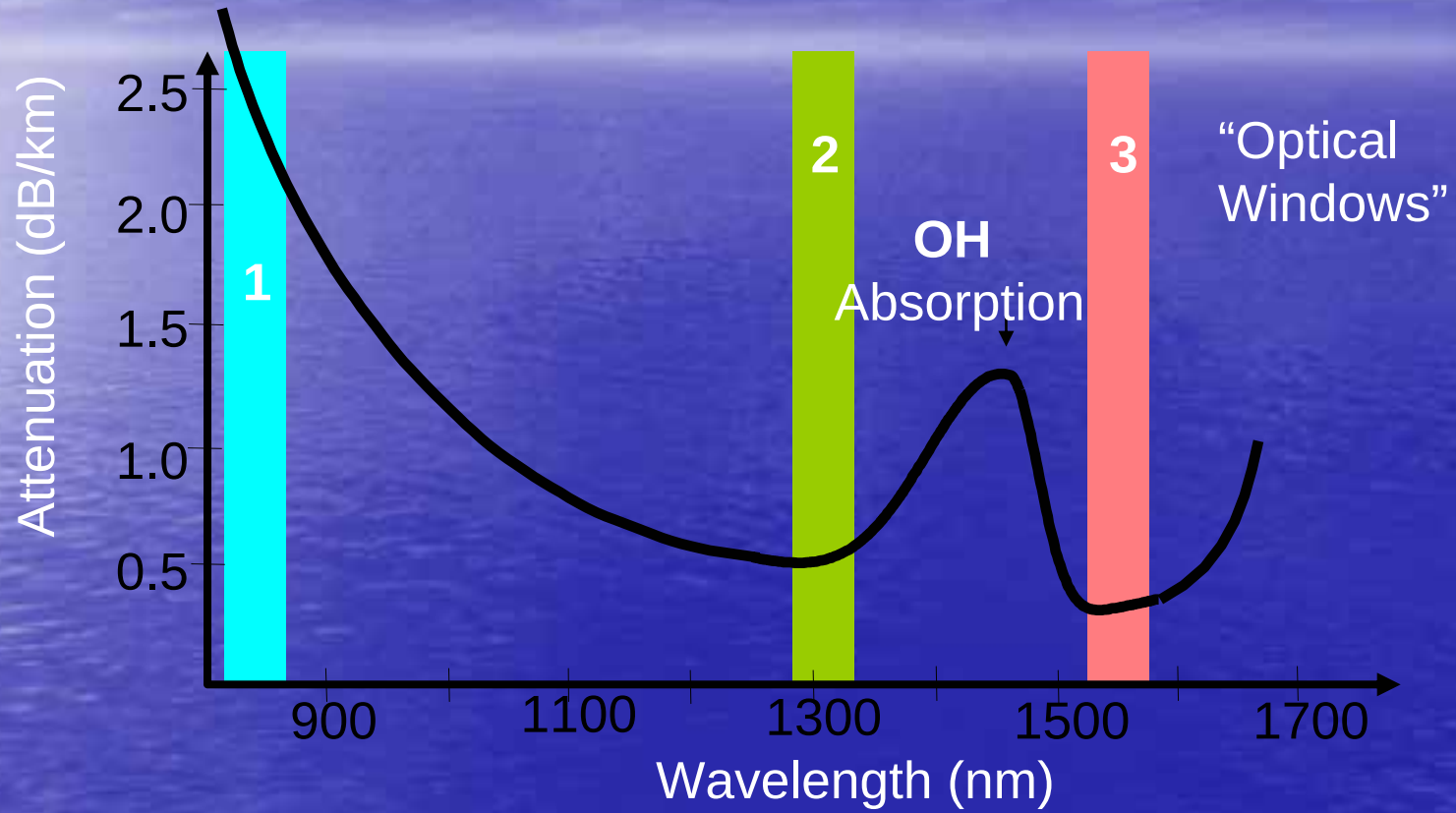
Fiber Limitations

Dispersion

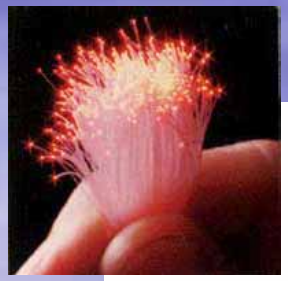
- Characterized by pulse broadening
- Limits the amount of information and distance that can be transmitted
- Cause:
  - Varying wavelengths travel at different speeds

CORNING

Attenuation in Silica Fiber



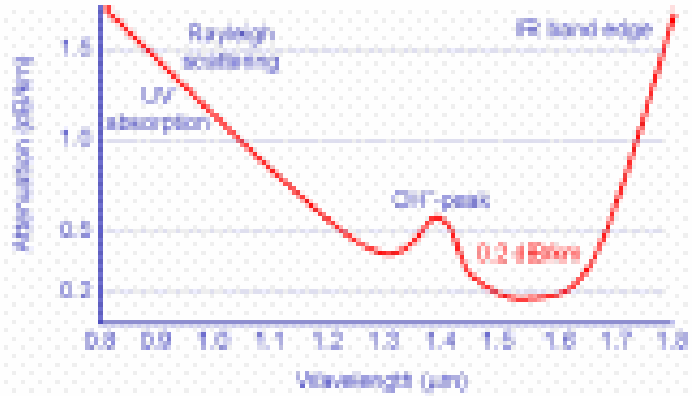
Main cause of attenuation: Rayleigh scattering in the fiber core

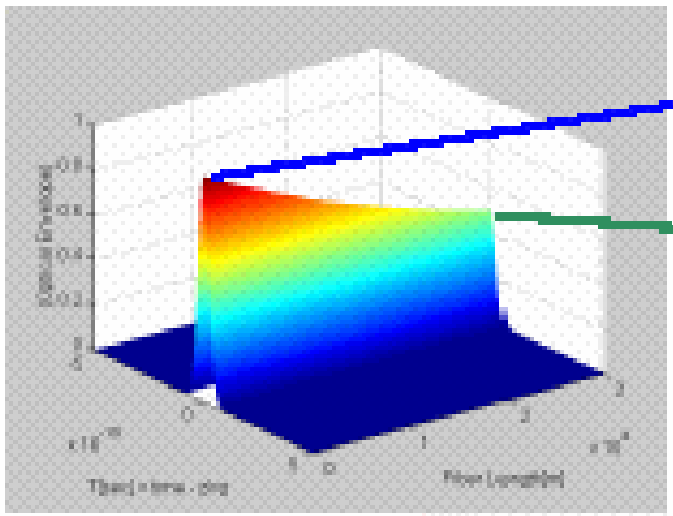


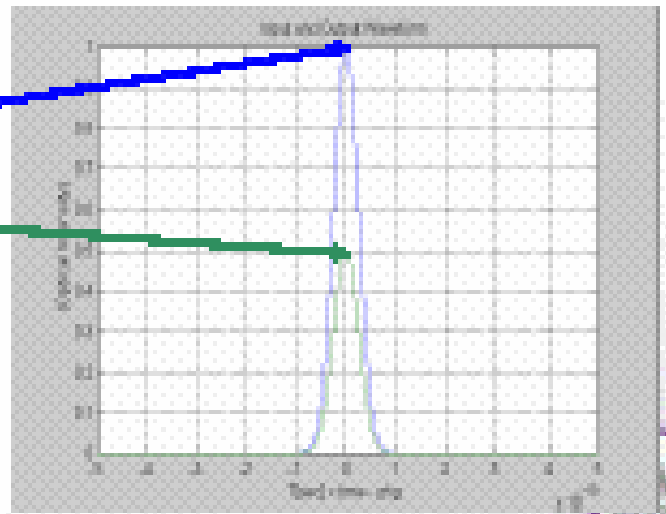
Fiber Attenuation

- Fiber Loss
  - Attenuation
  - SMF Loss = 0.2dB/km at 1550nm

$$Loss[dB/km] = 10 \cdot \log_{10}(e) \cdot \alpha$$



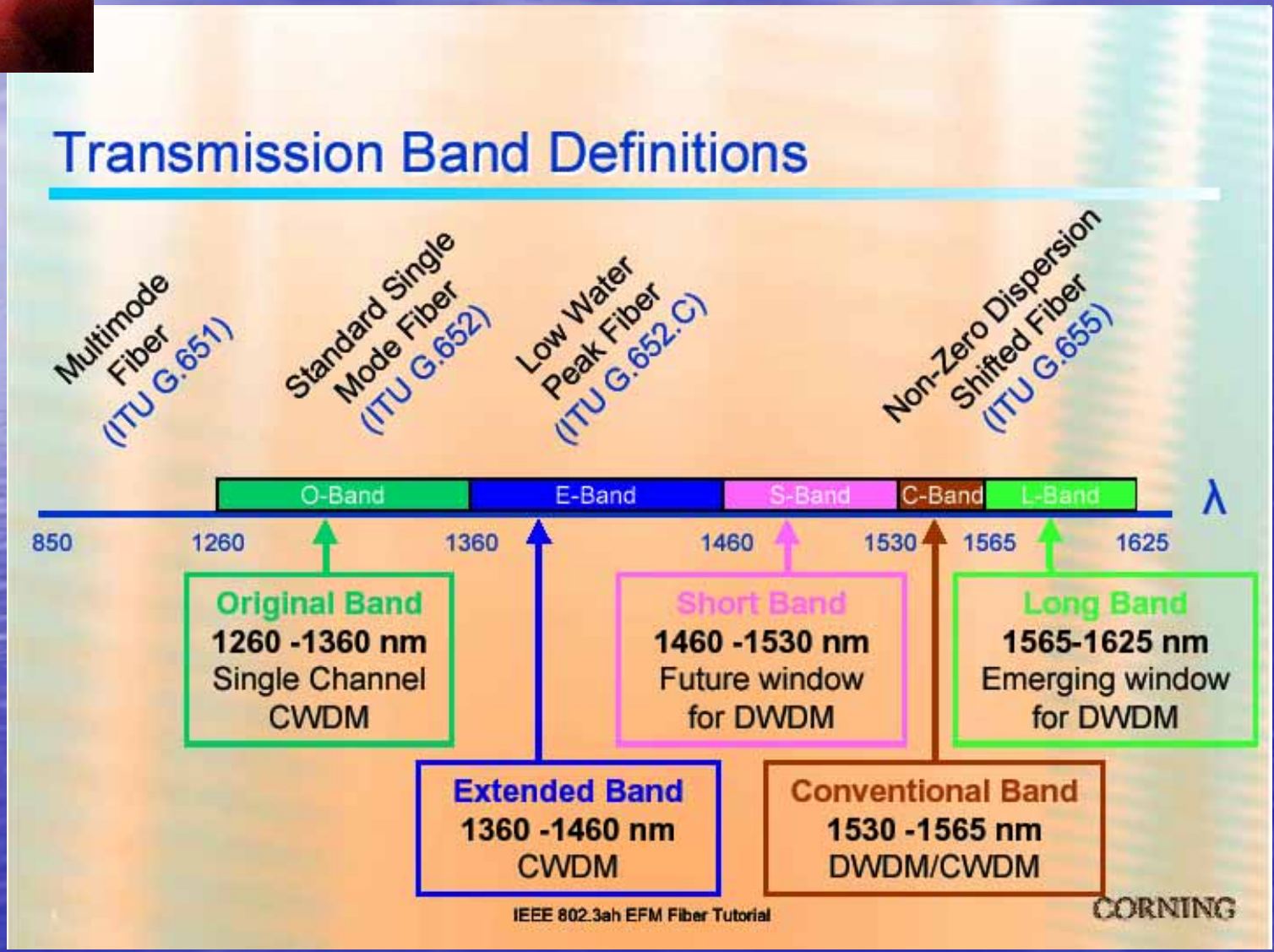




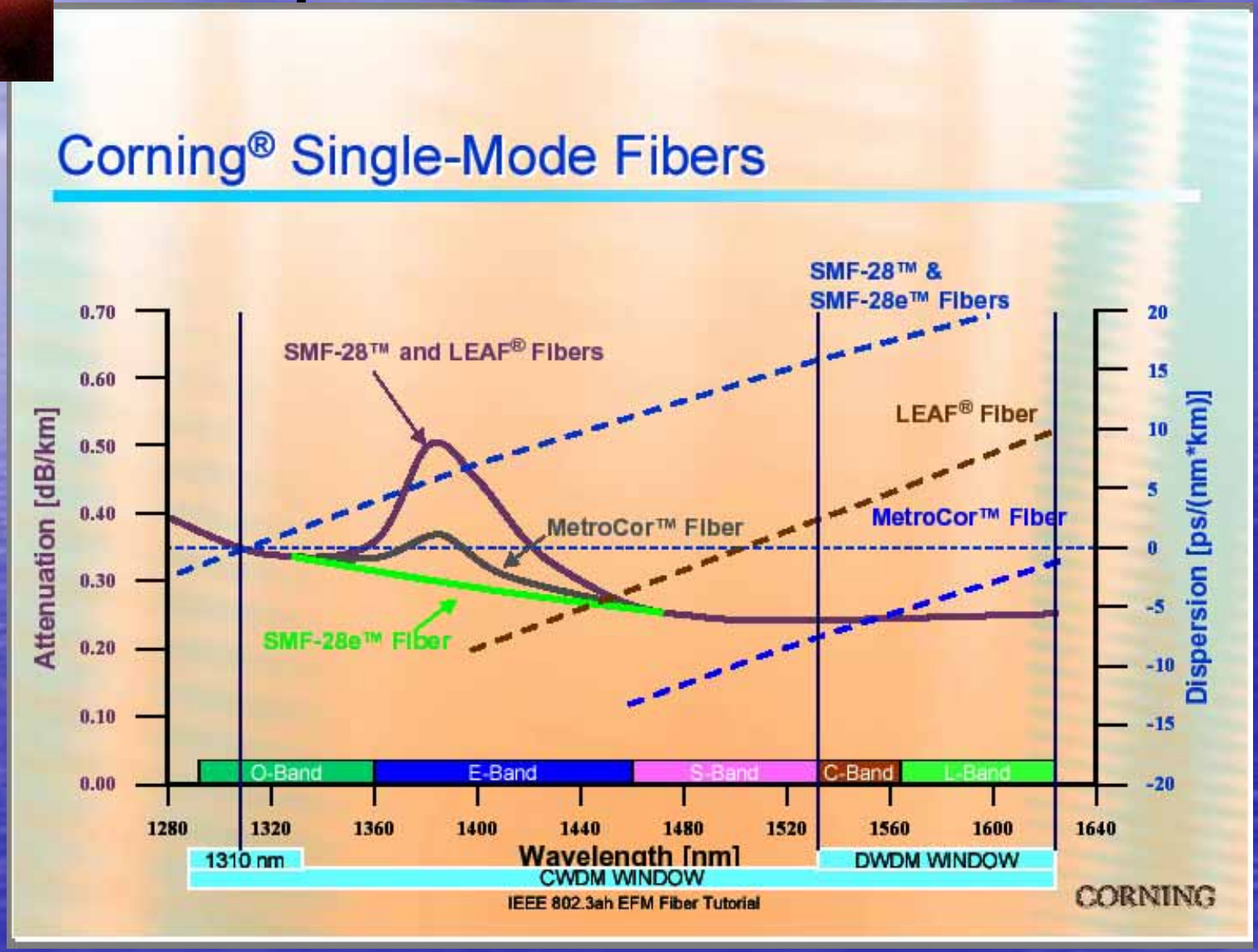
International Telecommunication Union

G.651	Characteristics of a 50/125 µm multimode graded index optical fibre cable
G.652	Characteristics of a single-mode optical fibre and cable
G.653	Characteristics of a dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable
G.654	Characteristics of a cut-off shifted single-mode optical fibre and cable
G.655	Characteristics of a non-zero dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable
G.656	Characteristics of a fibre and cable with non-zero dispersion for wideband transport
G.661	Definition and test methods for the relevant generic parameters of optical amplifier devices and subsystems
G.662	Generic characteristics of optical amplifier devices and subsystems
G.663	Application related aspects of optical amplifier devices and subsystems
G.664	Optical safety procedures and requirements for optical transport systems
G.671	Transmission characteristics of optical components and subsystems

Optical Fiber Band



Optical Fiber Windows

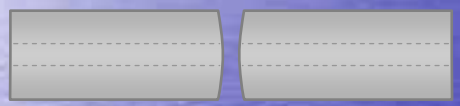


สรุป

- เส้นใยแก้วนำแสงสร้างขึ้นจากปรากฏการณ์ TIR
- เนื้อแก้วบริสุทธิ์ช่วยให้เส้นใยแก้วนำแสงได้ดีขึ้น
- เส้นใยแก้วนำแสงมีความโดดเด่นในด้านของประสิทธิภาพของการสื่อสารข้อมูลอย่างชัดเจน

Connector Types

Air Gap

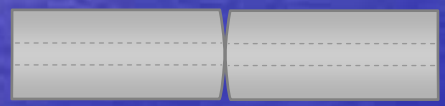


Medium insertion loss:
typ. 0.5 dB

Worst return loss:
< 14 dB (Fresnel)

Common multimode fiber connector

Physical Contact (PC)

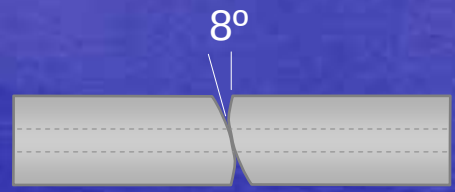


Lowest insertion loss:
< 0.25 dB

Good return loss:
> 40 dB

Common single-mode fiber connector

Angled Physical Contact (APC)



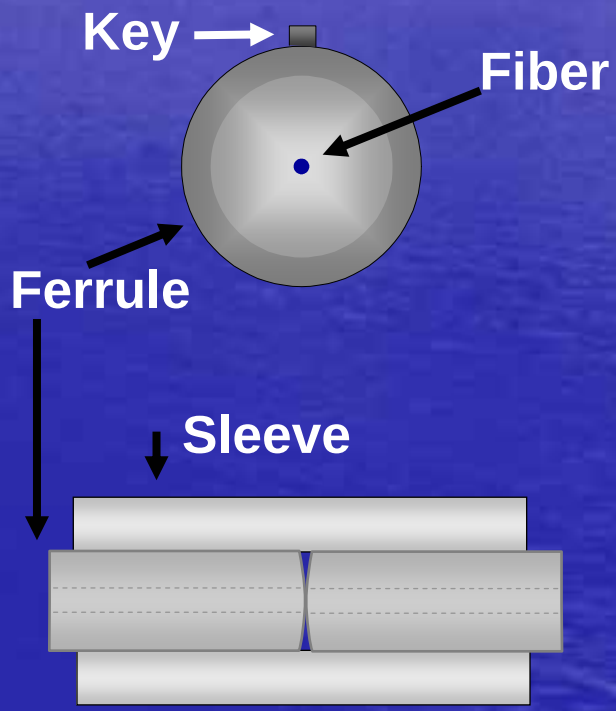
Highest insertion loss:
0.4 to 0.9 dB

Best return loss:
> 60 dB

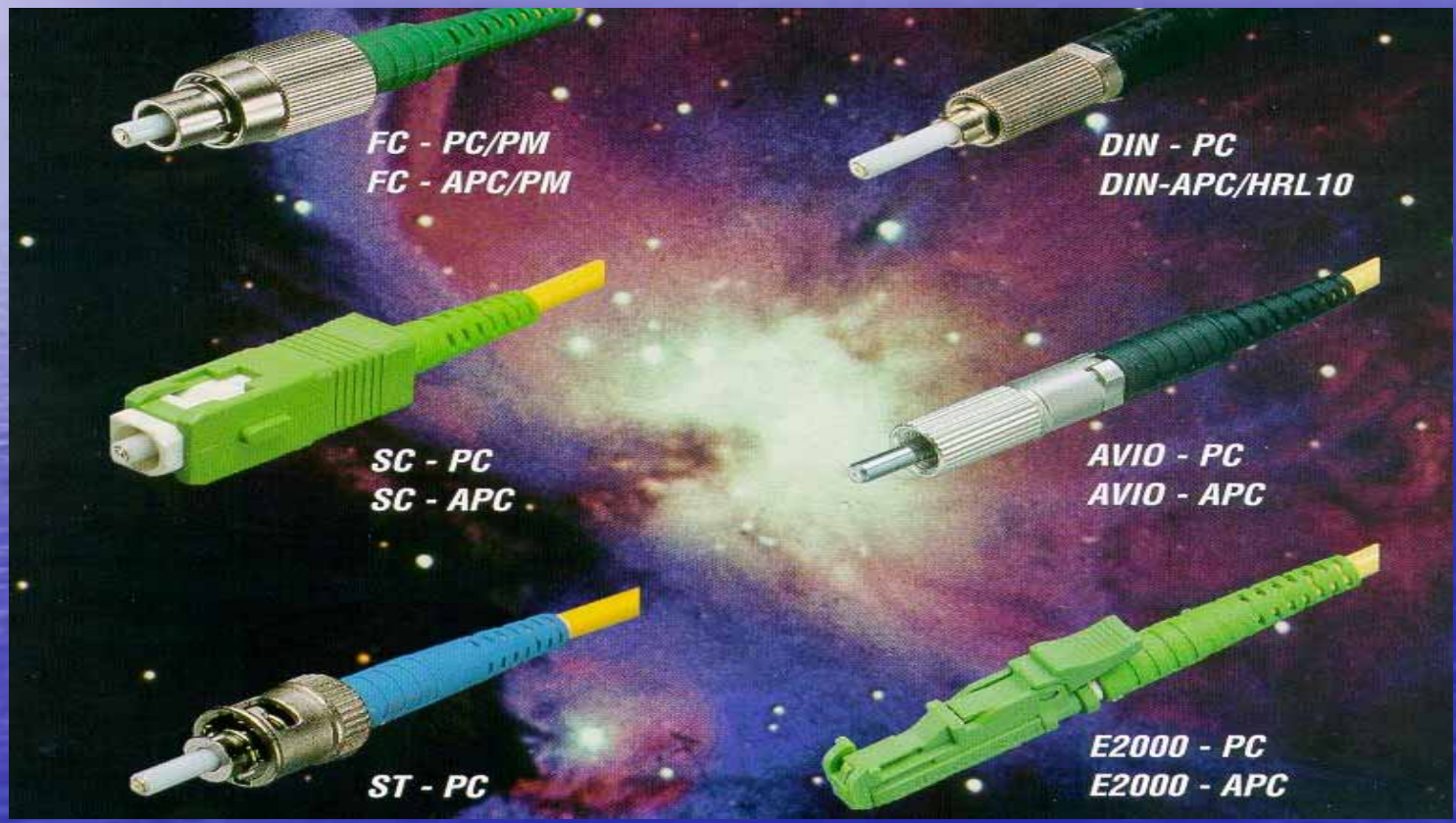
Cable TV, high performance systems

Connector Technology

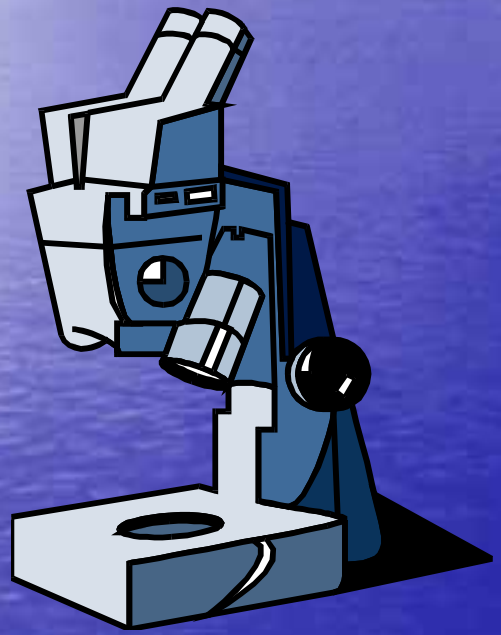
- Ultra-high precision
  - Optical axis aligned to better than ±1 µm (single-mode)
  - Physical contact of the glass end surfaces necessary
- Connector cleanliness is paramount
  - special cleaning and inspection required



Connector


FC - PC/PM
FC - APC/PM
DIN - PC
DIN-APC/HRL10
SC - PC
SC - APC
AVIO - PC
AVIO - APC
ST - PC
E2000 - PC
E2000 - APC

Connector Inspection

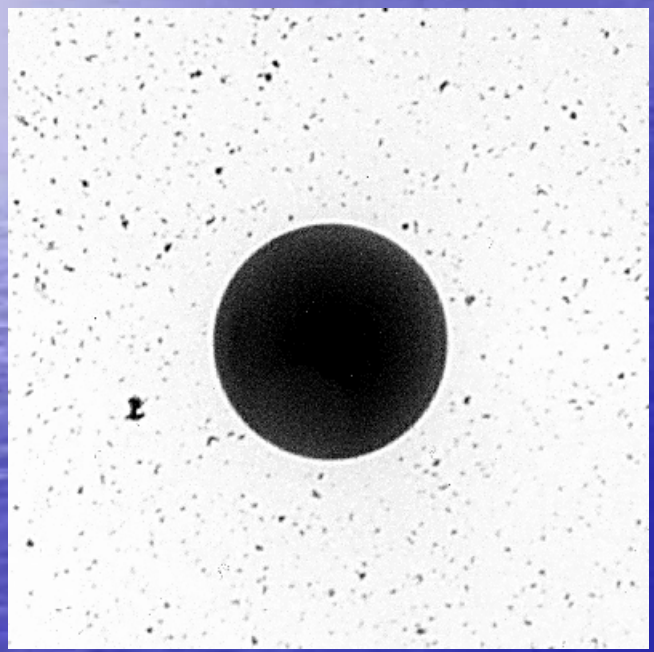


Inspection Tool

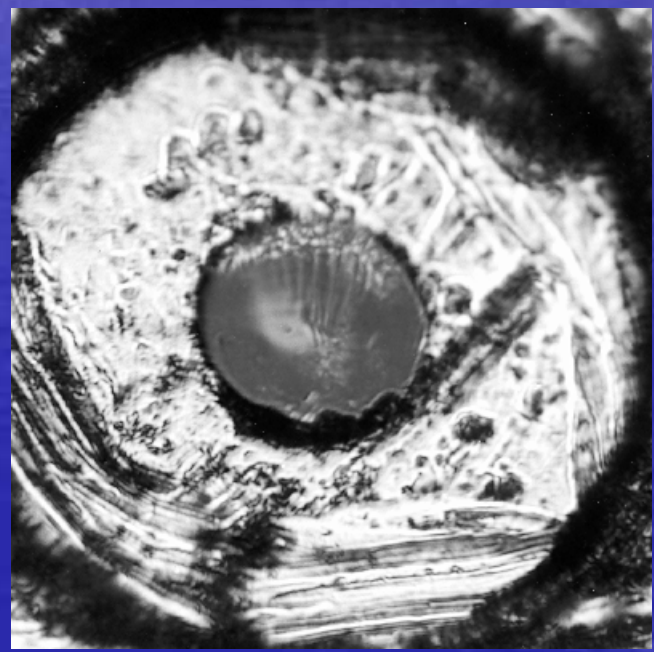
Don’t stare into the laser beam

(with your remaining eye)

Connector Care



New Connector



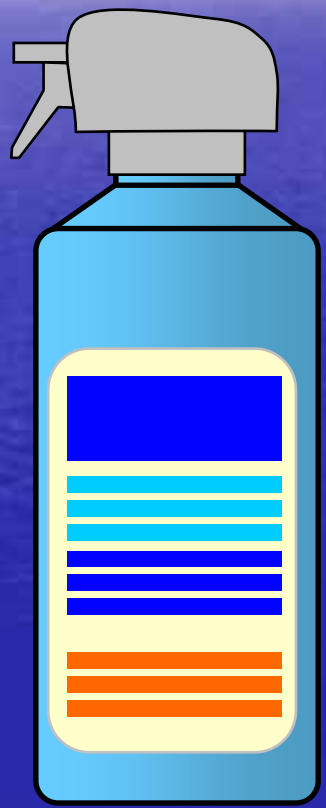
Damaged Connector

Connector Cleaning

Variety of cleaning methods in use today

Example:
Clean connector tips with Isopropyl (96% medical alcohol) using *adhesive free* cotton swabs

Immediately dry it with *dust-free, non residue* compressed air



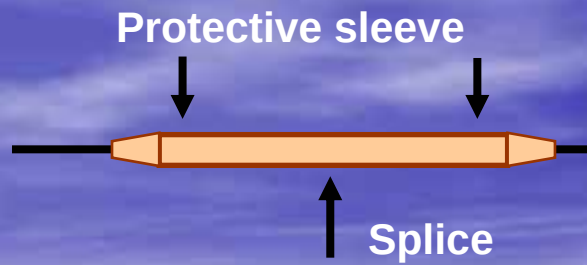
Filtered Air

Isopropyl Alcohol

Pure Cotton Swabs

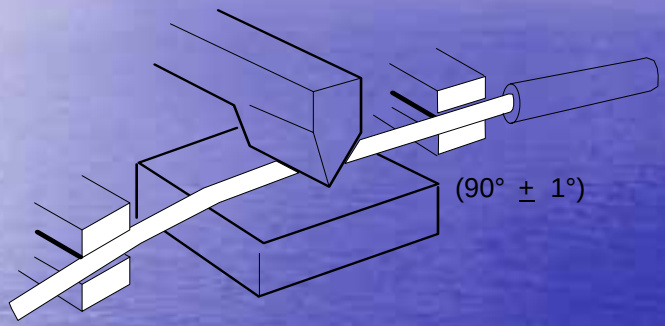
Splices

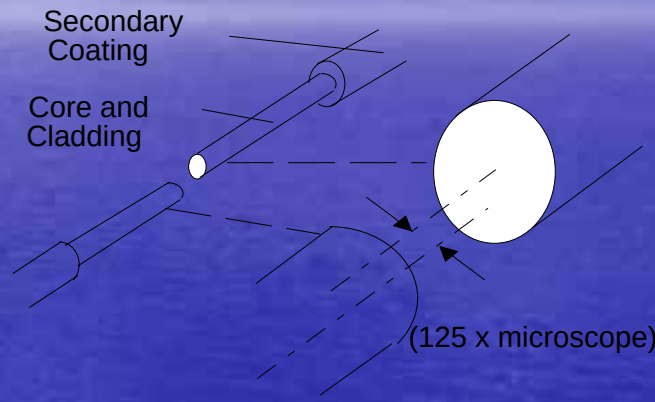
Splices

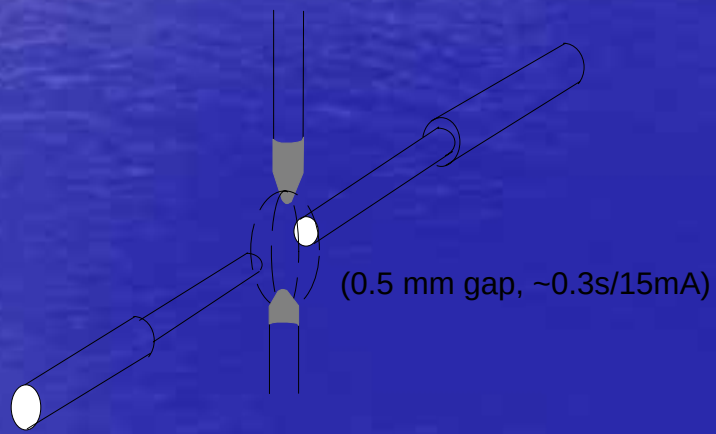


- Fusion Splices
  - Most common permanent fiber connection
  - Very high performance and reliability
  - Insertion loss 0.01 to 0.1 dB, no reflection
  - Automated splicing tool costs $10k to $50k
- Mechanical Splices
  - Permanent and non-permanent types
  - Insertion loss 0.1 to 0.5 dB
  - Index-matching liquid used to minimize loss & reflections
  - Epoxy or UV hardened elastomer based
  - Less expensive tools ($100 to $1,000) required

Splices

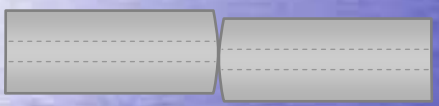

(90° ± 1°)


Secondary
Coating
Core and
Cladding
(125 x microscope)

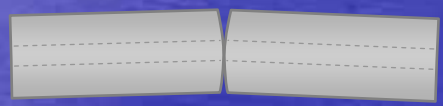

(0.5 mm gap, ~0.3s/15mA)

Splices

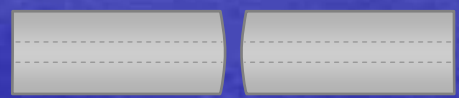
Offset



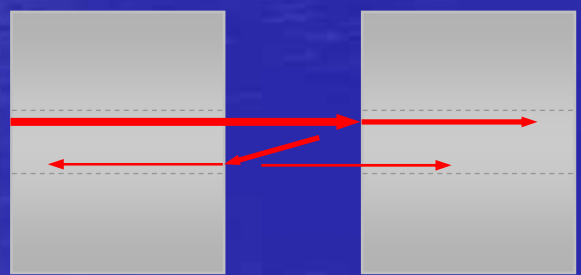
Angular Misalignment



Separation



Reflections & Interference



Maximum Attenuation Values

$$A(dB) = (L * Af) + (NE * Ae) + (NC * Ac)$$

L = Length of fiber in km.

Af = attenuation coefficient, as defined in cable manufacturer's specifications.

NE = number of splices

Ae = average attenuation value of splices

NC = number of connectors (2 plugs per section)

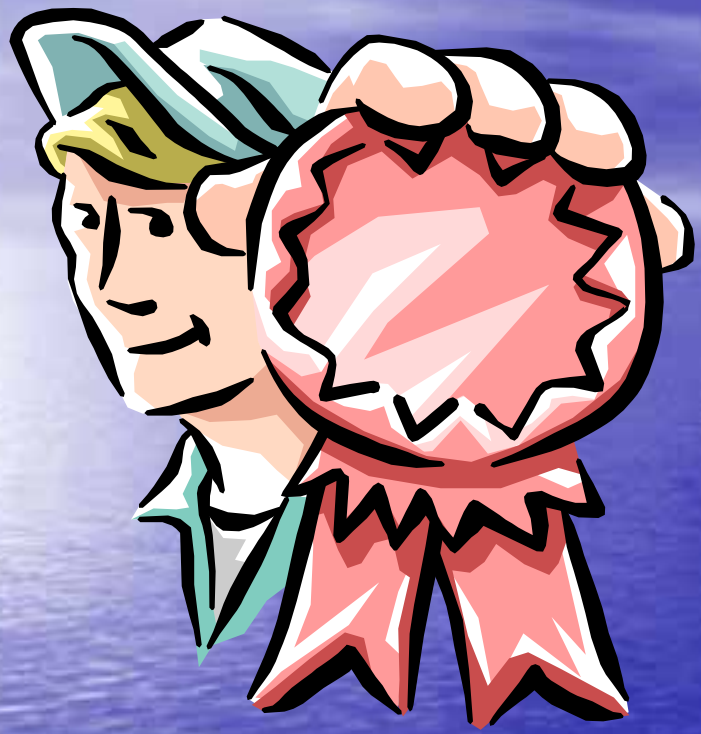
Ac = average attenuation of a connector

Optical and mechanical characteristics

Optical and mechanical characteristics of a standard single mode fiber

Mode field diameter (1310 nm)	: 9.2 micron (+ -)0.4 micron
Mode field diameter (1550 nm)	: 10.5 micron (+ -) 1.0 micron
Cladding diameter	: 125 micron (+ -) 1.0 micron
Mode field concentricity error	: <= 0.8 micron
Cladding non circularity	: <= 1 %
Refractive index profile	: step
Design	: matched cladding
Effective group index of refraction Neff (at 1310nm)	: 1.4677
Effective group index of refraction Neff (at 1550nm)	: 1.4682
Cut off wavelength of cabled fiber	: <= 1260 nm
Numerical aperture	: 0.14
Attenuation at 1310 nm	: <= 0.38 dB/km
Attenuation at 1550 nm	: <= 0.24 dB/km
Dispersion in the range 1288 to 1339 nm	: <= 3.5 ps/nm x km
Dispersion at 1550 nm	: <= 18 ps/nm x km

Thank You



รศ.ดร. อธิคม ฤกษบุตร

รศ.ดร. ปรีชา ยุพาพิน

Lightwave Division

SMART COMTECH

Agilent Technologies
Innovating the HP Way