optical Fiber Communication

ผู้จัดทำ

นายพสันต์ จันทโรจวงศ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.อภินันท์ มัณยานนท์

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

033264

สารบัญ

		หน้า
บทที่ 1	เส้นใยแสงคืออะไร	1
บทที่ 2	การหามุมรับแสงของเส้นใยแสง	4
	- จำนวน Propagation mode	6
บทที่ 3	ข้อดีของการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง	7
	- ข้อดีที่ได้จากอุปกรณ์กำเนิดแสงและอุปกรณ์รังแสงที่ใช้ในการสื่อสารเส้นใยแสง	7
	- ข้อเสียที่ได้รับจากการสื่อสารด้วยแสงคือ	8
บทที่ 4	ส่วนประกอบของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง	9
บทที่ 5	การแบ่งชนิดของเส้นใยแสง	11
	- การแบ่งชนิดของเส้นใยแสง	12
	- แบ่งตามลักษณะของดัชนีการหักเห	12
บทที่ 6	วิธีการผลิตเส้นใยแสง	15
	- วิธีการผลิต Preform ด้วยวิธี VAD Method	15
	- การผลิต Preform โดย CVD Method	16
	- ความแข็งแรงทาง Mechanic ของเส้นใยแสง	16
	- สาเหตุการสูญเสียต่าง ๆ ที่ทำให้เกิด Loss ในเส้นใยแสง	17
	- การสูญเสียแสงที่เกิดจากการดูดแสง (Absorption loss)	17
	- การสูญเสียแสงที่เกิดจากการกระจายแสงแบบเรลี่ (Rayleith Scattering Loss)	18
	- การสูญเสียแสงจากความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในเส้นใยแสง (Ununiformity loss)	18
	- การสูญเสียจากการกระจายแสงอันเนื่องมาจากการงอโค้งของเส้นใยแสง (Bending Loss)	19
	- การสูญเสียที่เกิดจากการงอโค้งแบบ Micro Bending	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

- การสูญเสียที่เกิดจากเชื่อมต่อระหว่างเส้นใยแสงกับ อุปกรณ์กำเนิดแสงและรับแสง (Coupling Loss) 19
- การขยายกว้างออก (Disperrion) และ Transmission Bandwidth ของเส้นใยแสง 19
- การขยายกว้างของความยาวคลื่น (Wavelength Dispersion) 20
- ขนาดความกว้างของ Bandwidth ของการส่ง (Transmission Bandwidth) 20

บทที่ 8 การต่อเชื่อมถาวรด้วยการ Splicing เส้นใยแสง 22

บทที่ 9 การบำรุงรักษาเคเบิลใยแสง 24

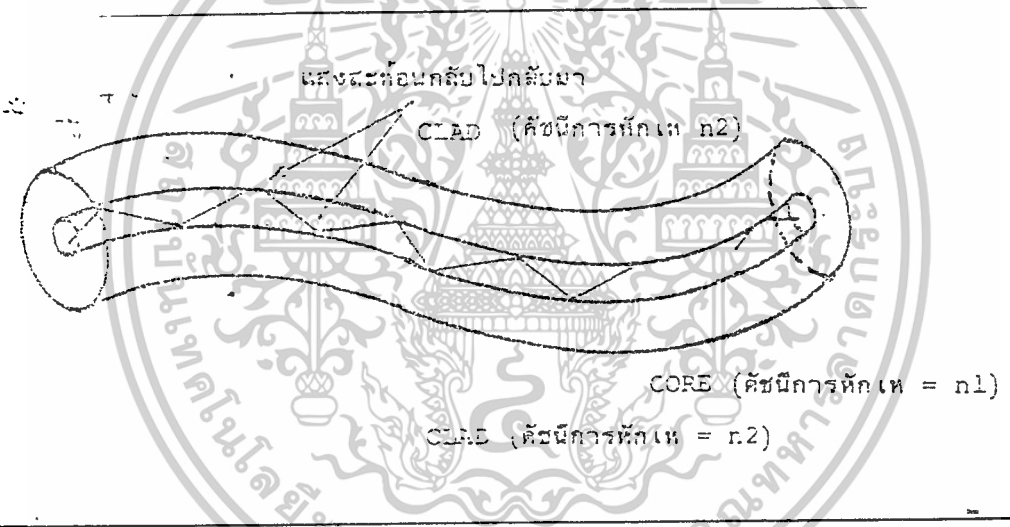
บทที่ 10 หลักการทำงานของ OTDR (Optical line Domain Reflectometer) 26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
เส้นใยแสงคืออะไร

เส้นใยแสงคือ เส้นใยขนาดเล็กที่ทำหน้าที่เป็นตัวนำแสง โครงสร้างของเส้นใยแสงประกอบด้วยส่วนที่แสงเดินผ่านเรียกว่า CORE และส่วนที่หุ้ม CORE อยู่เรียกว่า CLAD ทั้ง CORE และ CLAD เป็น DIELECTRIC ใส 2 ชนิด (DIELECTRIC หมายถึงสารที่ไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า เช่น แก้ว พลาสติก) โดยการทำให้ค่าดัชนีการหักเหของ CLAD มีค่าน้อยกว่าค่าดัชนีการหักเหของ CORE เล็กน้อยประมาณ 0.2 - 3 เปอร์เซนต์ และอาศัยปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมดของแสง สามารถทำให้แสงที่ป้อนเข้าไปใน CORE เดินทางไปได้

เส้นใยแสงมีขนาดเล็กมาก ขนาดเท่าเส้นผม คือมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอกของ CLAD ประมาณ 0.1 มิลลิเมตร ส่วน CORE ที่แสงเดินทางผ่านนั้นมีขนาดเล็กลงไปอีกประมาณหลาย μm



รูปที่ 1 แสดงการเดินทางของแสงในเส้นใย

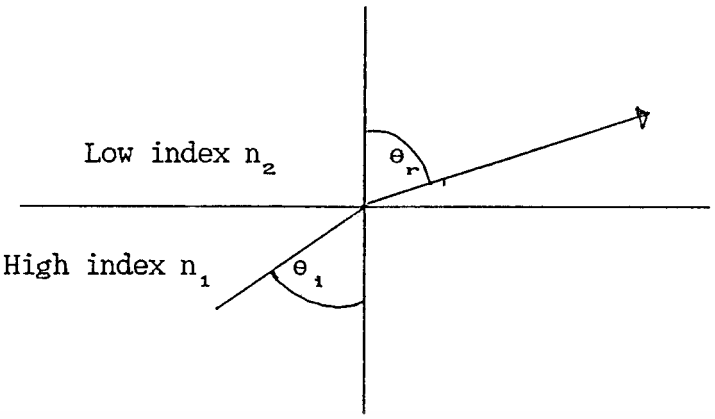
ลักษณะการเดินทางของแสงในเส้นใยแสง

อาศัยกฎ 3 ข้อ ของแสงคือ

1. แสงเดินทางเป็นเส้นตรง
2. แสงมีการหักเห
3. แสงมีการสะท้อนกลับ

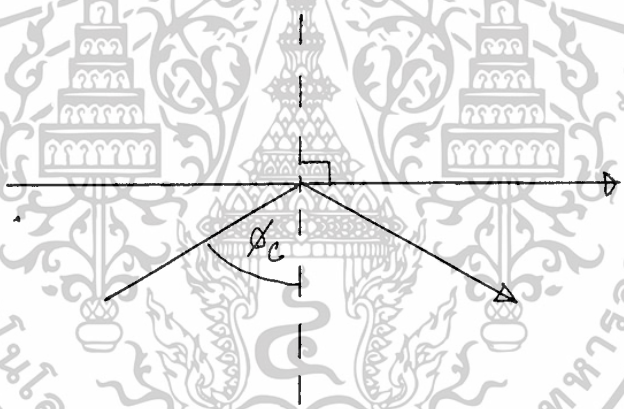
แสงจะมีการหักเห ซึ่งเป็นไปตามกฎของ SNELL คือ $m_1 \sin\theta = n_2 \sin\theta_r$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$(\sin \theta_1 / \sin \theta_2) = (n_2 / n_1)$$

รูปที่ 2 แสดงการเดินทางของแสงในตัวกลาง 2 ชนิด



รูปที่ 3 แสดงมุมวิกฤติ

ในตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหของแสงค่าเดียวกันนั้น แสงจะเดินทางเป็นเส้นตรง ส่วนตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหของแสงต่างกันนั้น ตรงรอยต่อของตัวกลางทั้งสอง แสงจะเกิดการหักเห (Refration) และเกิดการสะท้อนกลับ (Reflection) ปรากฏการณ์เหล่านี้แสดงคุณสมบัติการเดินทางเป็นเส้นตรงของแสง คุณสมบัติการหักเหของแสง แสดงคุณสมบัติการสะท้อนกลับของแสง

จากทฤษฎีของ FERMA ซึ่งกล่าวว่า ในเส้นทางต่าง ๆ ที่ต่อระหว่างจุดนั้น แสงจะเดินทางในเส้นทางที่ใช้เวลาน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการหักเหของแสงนั้น กรณีที่ค่าดัชนีการหักเห $n_1 < n_2$ แสงจะหักเหออกจากเส้น

ปกติ ในกรณี $n_1 > n_2$ แสงที่เดินทางจากน้ำไปยังอากาศ มุมตกกระทบ θ_1 มีค่ามากขึ้น จะทำให้มุมหักเห θ_f มีค่าเข้าใกล้ 90 องศา มากขึ้น และเมื่อมุมตกกระทบ θ_1 มีค่าดังกล่าว แล้วจะทำให้แสงไม่สามารถเดินทางเข้าไปในตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเห n_2 (CLAD) ได้เลย นั่นก็คือ เกิดการสะท้อนกลับหมดนั่นเอง ปรากฏการณ์ที่เรียกว่า "การสะท้อนกลับหมด" และมุมตกกระทบที่ทำให้เกิดการสะท้อนกลับหมดนี้เรียกว่า "มุมวิกฤต"

ดังนั้น ถ้าให้มุมวิกฤตเป็น θ_c ในกรณีนี้มุมหักเห $\theta_f = 90^\circ$ ดังนั้น

$$\sin \theta_f = \sin 90^\circ = 1$$

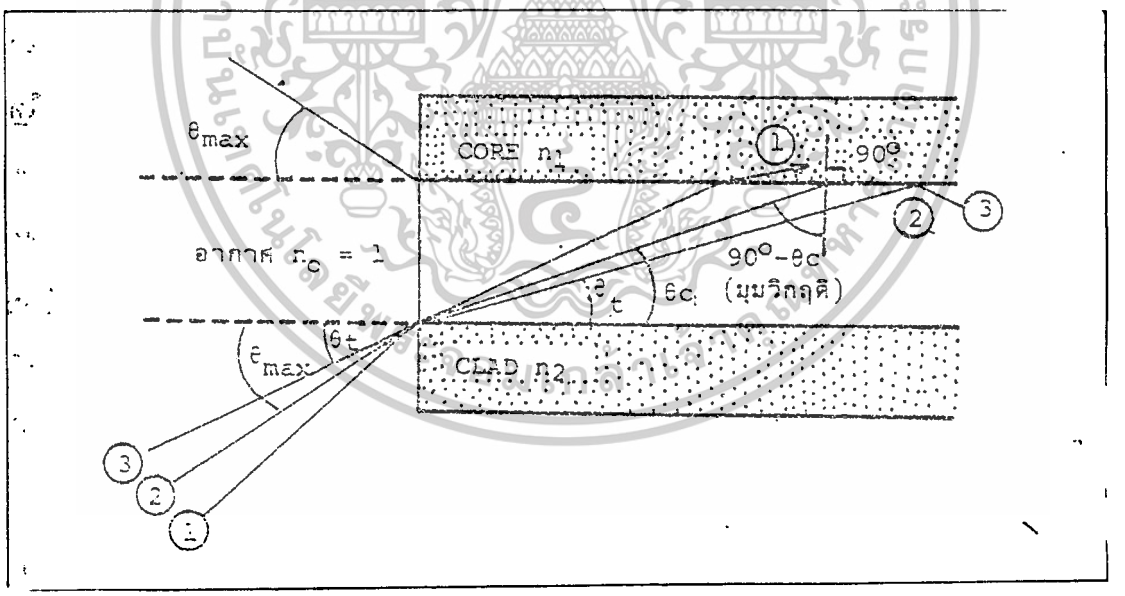
$$n_1 \sin \theta_f = n_2 \sin 90^\circ$$

$$\sin \theta_f = n_2/n_1$$

จะสามารถหาค่าของ θ_c ได้

การเดินทางของแสงในเส้นใยแสง นี้ใช้หลักการนี้โดยให้ค่าดัชนีหักเหของ CORE สูงกว่าของ CLAD เกิดปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมด แสงเดินทางอยู่แต่ในเฉพาะ CORE เท่านั้น

ในการที่จะป้อนแสงเข้าใน CORE ที่มีขนาดเล็ก ต้องให้เลนซ์ทำการรวมแสง แต่ทว่าแสงที่รวมนั้นไม่จำเป็นต้องถูกป้อนเข้าในเส้นใยแสงได้หมด แสงที่มุมตกกระทบเหมาะสมจะเข้าไปได้



1. แสงที่ถูกส่งเข้าไปใน CLAD
2. แสงที่มีค่าเท่ากับมุมวิกฤต
3. แสงที่สะท้อนกลับหมดและเดินทางไปข้างหน้า

รูปที่ 4 แสดงมุมรับของเส้นใยแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
การหามุมรับแสงของเส้นใยแสง

1. แสงเดินทางทางอากาศไปยัง CORE

$$n_c \sin \theta_i = n_i \sin \theta_r$$

แต่เนื่องจากต้องการให้แสงเกิดการสะท้อนกลับใน CORE ของเส้นใยแสง

ดังนั้น ให้ $\theta_i = \theta_{max}$ และ $\theta_r = \theta_c$

$$n_o \sin \theta_{max} = n_1 \sin \theta_c$$

n_o ของอากาศ = 1

$$\therefore \sin \theta_{max} = n_1 \sin \theta_c \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

2. ระหว่าง CORE กับ CLADING

$$n_1 \sin (90 - \theta_c) = n_2 \sin 90^\circ$$

$$\sin (90 - \theta_c) = (n_2/n_1) \quad \ldots\ldots\ldots (2)$$

$$\cos \theta_c = (n_2/n_1) \quad \ldots\ldots\ldots (3)$$

จาก $\sin^2 A + \cos^2 A = 1$

$$\sin A = \sqrt{1 - \cos^2 A}$$

$$\cos A = \sqrt{1 - \sin^2 A}$$

$$\sin A_c = \sqrt{1 - (n_2/n_1)^2}$$

$$= \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)n_1^2}$$

$$= \sqrt{[(n_1 - n_2)(n_1 + n_2)]/n_1^2}$$

n_1 มีค่าใกล้เคียง n_2

ดังนั้น $\sin A_c = \sqrt{2(n_1 - n_2)/n_1}$

$$= 2\Delta$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย $\Delta = (n_1 - n_2)/m^2$

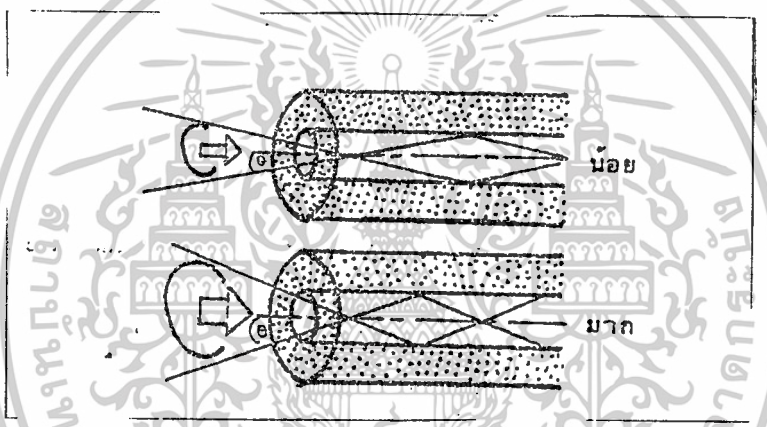
นำ $\sin \theta_c$ ไปแทนใน (1) จะได้ว่า

$\sin A_{max} = n_1\sqrt{2\Delta}$ = NoA numerical aperture

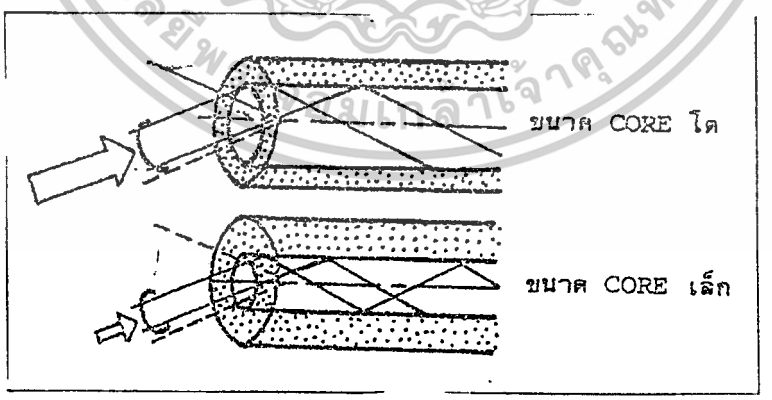
$A_{max} = \sin^{-1} n_1\sqrt{2\Delta}$

สำหรับ $\sin \theta_{max}$ ตามศัพท์เทคนิคของวิชาแสงนี้เรียกว่า Numerical Aperture เขียนย่อว่า NA หมายถึงขนาดกาชเปิดรับแสงให้ผ่าน และใช้เป็นตัวแสดงเงื่อนไขการป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแสง นอกจากนั้นยังเป็นตัวประกอบพื้นฐานอันหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแรงระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยแสงด้วย

เส้นใยแสงที่มี CORE ขนาดใหญ่และมีค่า NA มากจะมีประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสงระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยสูงมาก



ก) กรณีขนาด CORE โตเท่ากันแต่ค่า NA ต่างกัน



ข) กรณีค่า NA เท่ากันแต่ขนาด CORE ต่างกัน

รูปที่ 5 แสดงผลของ NA และขนาดของ CORE ที่มีต่อประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสงระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวน Propagation mode

MODE ที่สูงที่สุดของ Propagation mode คือ (n-1) เรียก Mode number เป็น Propagation mode ที่มีมุมสะท้อนกลับใกล้เคียงกับมุมวิกฤติ

ดังนั้น ถ้าหากใช้ Propagation mode number N มีค่ามุมสะท้อนกลับทำกับมุมอื่น ๆ θ_c

$$2a \sin \theta_c > N_o \lambda/2 \quad \text{(โดยที่ } N = 1,2,.....N-1)$$

ในที่นี้ 2a เป็นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ CORE ของเส้นใยแสง

$$\sin \theta_c = \sin \theta_{max}/n_1 = \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)/n_1^2}$$

แต่เนื่องจาก $\lambda = \lambda_o/n_1$

ดังนั้น $N = (4a/\lambda).\sqrt{n_1^2 - n_2^2}$

เส้นใยแสงที่มีจำนวน Propagation mode จำนวนมากอย่างนี้เรียกว่า Multi mode fiber

กรณีที่ N=1 นั้นหมายความว่ามีเพียง Propagation mode 0 เท่านั้น เดินทางไปในเส้นใยแสงได้ และเส้นใยแสงที่มี Propagation mode เพียงอันเดียวเรียกว่า Single mode optic fiber

จำนวน Propagation mode (N) ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น ดังนั้น ที่ค่าความยาวคลื่นค่าหนึ่ง N จะเป็น Single mode และที่ค่าความยาวคลื่นอื่นซึ่งมีค่าน้อยกว่าความยาวคลื่นนี้ แล้ว N จะไม่เป็น Single mode คือจะเป็น Multi mode ค่าความยาวคลื่นต่ำที่สุดที่ทำให้ N เป็น Signle mode นี้เรียกว่า Cut-off wave wength ใช้สัญญลักษณ์ λ_c เขียนสมการใหม่ได้ว่า

$$\lambda_c = 4a.\sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

แต่เส้นใยแสงที่ใช้งานจริงนั้นเป็นเส้นกลม สมการจึงเป็น

$$\lambda_c = (2\pi/2x405).a\sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ข้อดีของการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง

การสื่อสารที่ใช้แสงเป็นเครื่องสำหรับส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแสงนั้น เมื่อเปรียบเทียบกับระบบสื่อสารที่ใช้เคเบิลทำด้วยโลหะ แล้วมีข้อดีที่เกิดจากคุณสมบัติพิเศษของเส้นใยแสง อุปกรณ์กำเนิดแสง อุปกรณ์รับแสง ดังนี้

1. มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา เมื่อเปรียบเทียบกับ Coaxial cable ขนาด 18 เส้น เหมือนกัน แล้วปรากฏว่ามีพื้นที่หน้าตัดประมาณ 1/30 มีน้ำหนักเป็น 1/20 ดังนั้น ถ้าหากเส้นใยแสงมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอกเท่ากับ Metalic cable แล้ว นอกจากจะสามารถบรรจุเส้นใยแสงได้จำนวนมากกว่าแล้ว ยังให้ความสะดวกในการวางสายเคเบิ้ลด้วย เพราะมีน้ำหนักเบา ทั้งยังเพิ่มค่า Space factor ของระยะห่างในการวางสายเคเบิลให้สูงขึ้นได้ เกิดความประหยัดในช่ายการสื่อสารอีกด้วย

2. มี Bandwidth กว้างมาก เป็นการเพิ่ม Capacity สามารถส่งสัญญาณที่มีความถี่สูงมากกว่า Coaxial cable

3. มี Loss ต่ำ ช่วยเพิ่มระยะห่างของ Repeater จะสามารถลดจำนวนของตัวทอนสัญญาณได้เป็นจำนวนมากหรือสามารถเชื่อมต่อระหว่างชุมสายโทรศัพท์ได้โดยไม่ต้องใช้ตัวทอนสัญญาณ นอกจากจะทำให้เกิดความประหยัดในระบบการสื่อสารและมีความเชื่อถือได้สูง (Reliability) สูงแล้ว ยังทำการก่อสร้างและบำรุงรักษาได้ง่าย

4. ไม่มีการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น สายไฟแรงสูง คลื่นโทรทัศน์ คลื่นวิทยุ เป็นต้น ข้อดีในการนำไปใช้งานด้านต่าง ๆ ที่ต้องการ ทำให้ไม่ต้องแยกเส้นใยแสงออกห่างจากอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นระยะทางมาก ๆ ยิ่งกว่านั้นยังทำให้ความปลอดภัยแก่ผู้ปฏิบัติงาน และมีเสถียรภาพ (Stability) ไม่เป็นต้นเหตุทำให้เกิดการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าไปรบกวนระบบข้างเคียง

5. สายใยแสงไม่เป็นสนิม จึงไม่เกิดการผุกร่อน เหมือนพวกสายโลหะ

6. ช่วยประหยัดทรัพยากรธรรมชาติ เส้นใยแสงผลิตจาก SiO_2 เป็นสายจำนวนทราย ซึ่งมีอยู่จำนวนมาก สามารถผลิตเส้นใยแสงได้ยากมากโดยใช้วัตถุดิบน้อยและมีราคาถูก

ข้อดีที่ได้จากอุปกรณ์กำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสงที่ใช้ในการสื่อสารเส้นใยแสง

1. มีขนาดเล็ก ใช้แรงไฟต่ำ
2. มีความเร็วในการผสมสัญญาณสูงทำให้ได้ High speed transmission
3. มีกำลัง Output power มาก สิ่งที่ต้องการได้ แม้กำลังแสงที่รับได้มีค่าน้อยก็ตาม ทำให้สามารถได้การสูญเสียที่ยอมให้มีได้ระหว่างอุปกรณ์กำเนิดแสงกับอุปกรณ์รับแสงมากขึ้น
4. อายุการใช้งานยาวนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสียที่ได้รับจากการสื่อสารด้วยแสงคือ

1. เส้นใยแสงแตกหักง่าย เมื่อมีรอยชีดข่วนเพียงเล็กน้อย
2. เส้นใยแสงต้องการการเชื่อมต่อที่มีความแน่นอนสูง
3. ยากแก่การ Coupling และการแยก (Dividing) สัญญาณ
4. ใช้กำลังงานไฟฟ้าสำหรับเลี้ยงระบบต่าง ๆ ไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับปรุงโดยสำนักวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ส่วนประกอบของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง

ระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงนั้น ต่างกับระบบการสื่อสารไฟฟ้า โดยที่มันใช้เคเบิ้ลเส้นใยแสงเป็นตัวกลางในการส่งและที่ปลายทั้งสองด้านจะมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้าเป็นแสงกับอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้า ตัวอย่างของส่วนประกอบของระบบสื่อสารด้วยเส้นใยแสงแสดงดังรูป

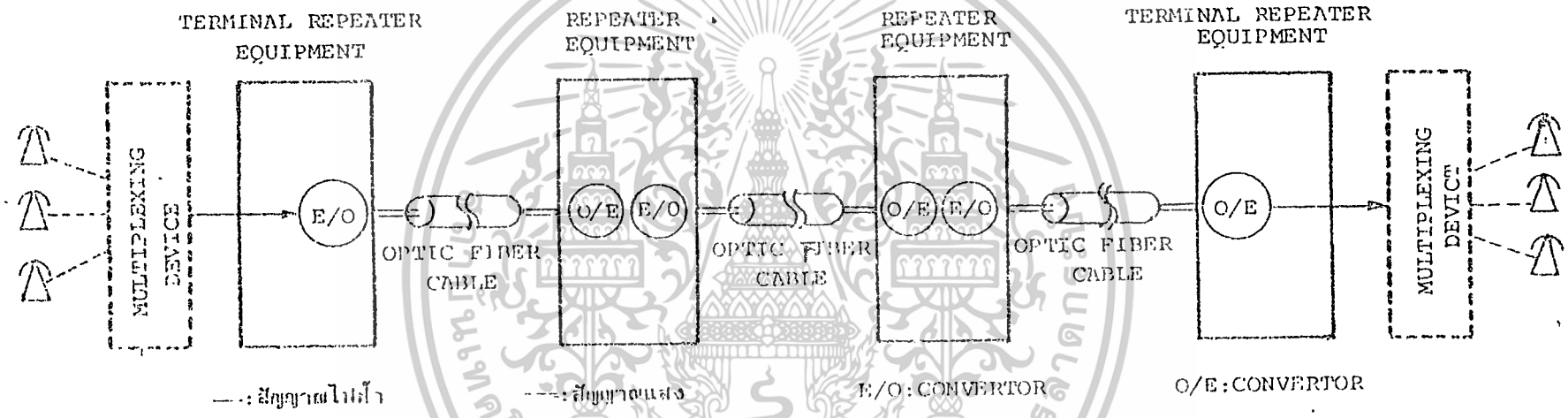
สัญญาณไฟฟ้าจาก Multiplexer จะมาถึงยัง Terminal repeater equipment ที่มีหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้าให้เป็นแสง

ที่ Terminal repeater equipment นั้น อันดับแรกจะทำการเปลี่ยน Bipolar signal ที่เข้ามา (นั่นคือ เป็นสัญญาณที่ทำให้ "1" ของ Digital signal เป็น Pulse บวก และ Pulse ลบสลับกัน ซึ่งนิยมใช้กันทั่วไป โดยที่ถือว่าเป็น CORE ระหว่างอุปกรณ์) ให้เป็น Unipolar signal ซึ่งทำให้สามารถจัดการภายในอุปกรณ์ได้ง่าย โดยส่วนเปลี่ยน Bipolar เป็น Unipolar (นั่นคือ "1" ของ Diginal signal เป็น CODE ที่ตรงกันกับ Pulse ที่มีชั้วเดียว Unipolar ดังแสดงในรูป อันดับต่อไป สัญญาณ Unipolar signal นี้จะส่งไปยังส่วนจัดทำ CODE สำหรับการส่ง (Transmitting code processing portion) ที่ส่วนนี้จะเพิ่ม CODE สำหรับการส่ง (Infolmation) เพื่อตรวจดูว่าการสื่อสารระหว่าง Terminal repeater equipment เป็นปกติหรือไม่ นอกจากนั้นยังทำการเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของ Transmission line code form ที่เหมาะสมกับตัวกลางที่ใช้ส่ง จากนั้นสัญญาณนี้จะถูกส่งไปยังส่วนเปลี่ยนไฟฟ้าให้เป็นแสง กลายเป็นกระแสขับ (Driving current) ของ LD และเปลี่ยนเป็นสัญญาณแสง จากนั้นยังป้อนไปให้เส้นใยแสง และเนื่องจากเอ้าท์พุทของ LD จะเปลี่ยนแปลงตามค่ากระแสของวงจรขับ (Driving circuit) เพื่อให้ได้แรงออกมาคงที่จะใช้การควบคุม Feedback เพื่อทำการรักษาระดับแสงที่ออกมาคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง

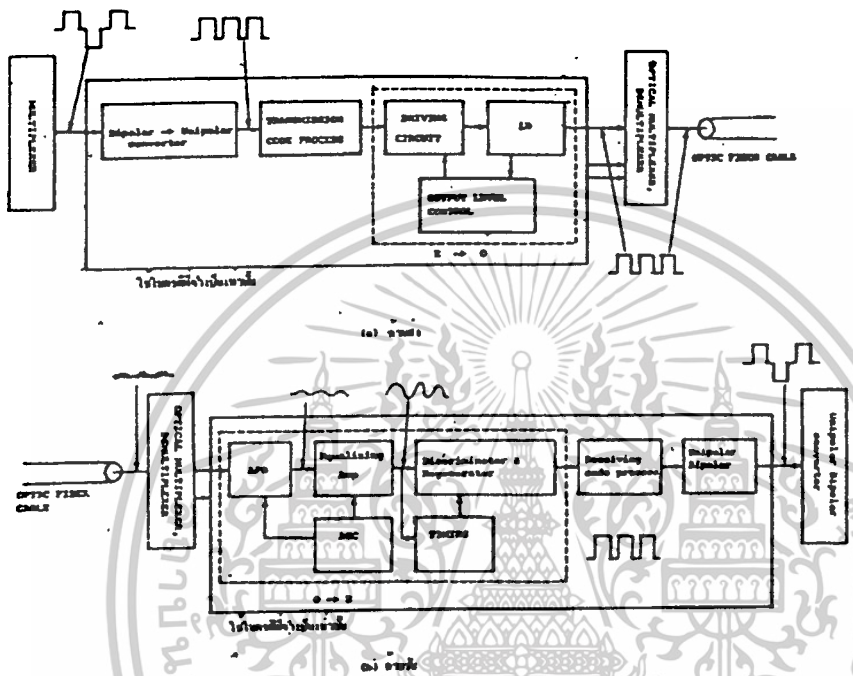
สัญญาณแสงที่เดินทางมาในเส้นใยแสงจะไปยัง Repeater equipment ดังแสดงในรูปที่ 8 ที่ Repeater equipment นี้ อันดับแรกจะทำการเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้า แต่เนื่องจากโดยทั่วไปสัญญาณแสงที่เข้ามาจะมีกำลังต่ำ นอกจากนั้นรูปร่างคลื่น (Wave form) ก็เกิดการเพี้ยน (Distortion) ด้วย ทำให้สัญญาณไฟฟ้าที่เปลี่ยนออกมามีลักษณะการเพี้ยนเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงต้องนำสัญญาณไฟฟ้านี้ไปผ่าน Equalization amplifier (ทำให้ Wave form หายเพี้ยนและมีกำลังสูง) อนึ่ง เพื่อเป็นการทำให้ระดับของสัญญาณไฟฟ้าที่ออกจาก Equalization amplifier มีระดับคงที่นั้นจะมีการควบคุมการขยายอย่างอัตโนมัติ (Automatic gain control) หลังจากนั้นจะทำการเลือกสัญญาณกำหนดช่วงระหว่างของเวลาของ Pulse signal (เป็น "1" หรือ "0") ซึ่งการทำเช่นนี้เรียกว่าการทำ Timing โดยอาศัย Timing sienal นี้ ส่วน Regenerative discriminator จะทำการพิจารณาว่ามี Pulse หรือไม่มี (นั่นคือ "1" หรือ "0") ทำให้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

033264



รูปที่ 6 แสดงตัวอย่างของส่วนประกอบของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง

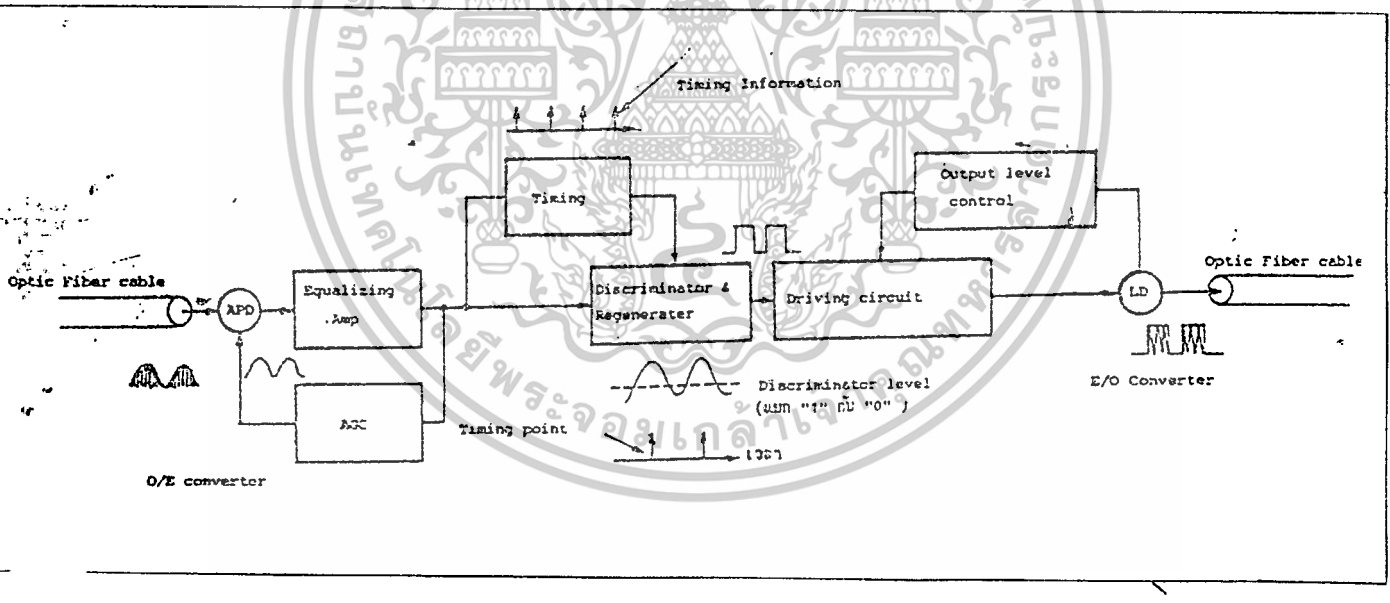


รูป 7 แสดงส่วนประกอบของ TERMINAL REPEATER EQUIPMENT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณไฟฟ้าเป็น Pulse ขึ้นมาใหม่เหมือนตอนแรกที่ส่งมา จากนั้นจึงส่งไปที่ส่วนเปลี่ยนไฟฟ้าเป็นแสง ที่ส่วนนี้สัญญาณไฟฟ้าที่เป็น Pulse "1" หรือ "0" จะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณแสงอีกครั้งหนึ่ง แล้วส่งเข้าเส้นใยแสง เช่นเดียวกันกับส่วนส่งสัญญาณของ Terminal repeater equipment

สัญญาณแสงที่ถูก Repeater equipment เปลี่ยนกลับให้มีรูปร่างเป็น Pulse เหมือนเดิม และส่งผ่านเส้นใยแสงมานั้นจะมาที่ด้านรับของ Terminal repeater equipment จะถูกเปลี่ยนจากแสงเป็นไฟฟ้า ถูกขยายด้วย Equalization amplifier และถูกทำให้เป็น Pulse "1" หรือ "0" ด้วย Regenerative discriminator เช่นเดียวกันกับใน Repeater equipment ทุกประการ ดังแสดงในรูปที่ 7 หลังจากนั้นจะถูกเปลี่ยนกลับในทางตรงกันข้ามกับการเปลี่ยนเป็น Transmission line code ของด้านส่งและทำให้เป็น Unipolar signal ต่อจากนั้นจึงเปลี่ยนจาก Unipolar signal เป็น Bipolar signal ทำให้ได้สัญญาณไฟฟ้าเหมือนกันกับสัญญาณอินพุทที่เข้ามาทางด้านส่งทุกประการ อนึ่ง สำหรับกรณีที่ใช้ระบบการส่งเป็นแบบ Wavelength multiplex system นั้นจะต้องใส่ Optical multiplexer และ Optical demultiplexer เข้าไปที่ด้าน Output ของ LD และที่ด้าน Input ของ APD



รูปที่ 8 แสดงส่วนประกอบ Repeater equipment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
การแบ่งชนิดของเส้นใยแสง

แบ่งตามลักษณะของดัชนีการหักเห

1. STEP INDEX OFTIC FIBER (SI)
2. ORADED INDEX OPTIC FIBER (GI)

แบ่งตามจำนวน PROPAGATION MODE

1. SINGLE MODE OPTIC FIBER (SM)
2. MULTI MODE OPTIC FIBER (MM)

แบ่งตามชนิดของสารไดอิเลคตริค

1. Silica glass optic fiber
2. Multi component glass optic fiber
3. Plastic-optic fiber
4. Fused silica

แบ่งตามวิธีการผลิต

1. Inner-deposition CVD* method
2. Outer-deposition CVD method
3. Plasma CVD method
4. VAD** method
5. Double crucible method
6. Rod-In-tube-method

---

* CVD Chemical vapor deposition

** VAD Vapor plase ascial deposition

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแบ่งชนิดของเส้นใยแสง

แบ่งตามชนิดของเส้นใยแสงตามชนิดของ Dielectric ที่ใช้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด

1. Silica glass optic fiber ซึ่งใช้ Dielectric ที่เป็น Silica glass นอกจากจะใช้ Silica (SiO_2) ที่บริสุทธิ์แล้ว ยังใช้สารอื่นเติมลงไปเพื่อทำให้ค่าดัชนีการหักเหเปลี่ยนแปลงตามต้องการ สารอื่นที่เติมลงไปเรียกว่า Dopant ได้แก่ Germanium (Ge), Boron (B), Fluorine (F)

2. Multi compoment glass optic fiber ซึ่งใช้ Dielectric ที่เป็นแก้วหลายชนิดปนกัน ส่วนมากจะใช้ Soda calcium แก้ว แก้วที่มี Barow และ Silica ผสมและอื่น ๆ เป็นสารหลัก ส่วน Dopant ได้แก่ โซเดียม (Na) แคลเซียม (Ca)

3. Plastic optic fiber ซึ่งใช้ Dielectic ที่เป็นพลาสติก ใช้สารพวก Silicon Resin, Acryl Resin (เช่น Polymetacryl Methyl Acid: PMMA)

อนึ่ง สำหรับเคเบิลเส้นใยแสงที่ใช้ในข่ายการสื่อสารโทรคมนาคม นั้นนิยมใช้ Silica glass optic fiber เพราะมีข้อดี การสูญเสีย (loss) ต่ำและคุณสมบัติการส่ง (Transmission characteristic) คงที่ไม่เปลี่ยนแปลง

แต่สำหรับงานที่ต้องการคุณสมบัติการส่งด้วยลงมา ใช้งานง่าย และใช้สื่อสารระยะทางใกล้ ใช้กับการเดินสายภายในรถยนต์และอื่น ๆ นิยมใช้เส้นใยแสงที่เป็น Plastic optic fiber แบ่งตามชนิดของเส้นใยแสงตามจำนวน Propagation mode

แบ่งได้ 2 ชนิด คือ Single Mode optic fiber (SM)

และ Multi Mode optic fiber (MM)

แบ่งตามลักษณะของดัชนีการหักเห

แบ่งออกเป็น 2 ชนิด

1. Step Index optic fiber (SI-fiber) เป็นเส้นใยแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหระหว่าง CORE กับ CLAD เป็นลักษณะขั้นบันได (STEP) จึงเรียกว่า Step Index optic fiber

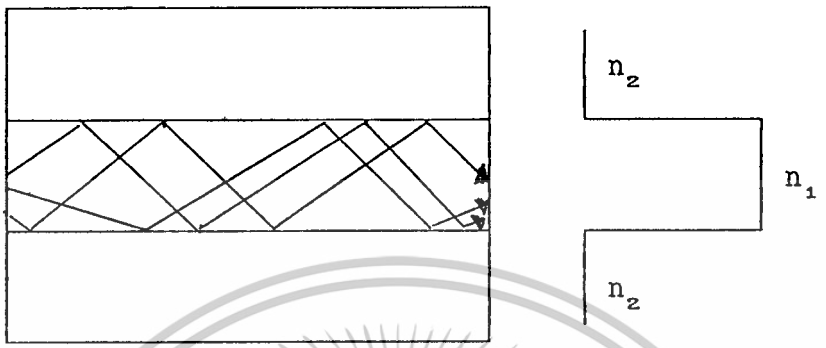
2. Graded Index optic fiber (GI-fiber) เป็นเส้นใยแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงดัชนีการหักเหระหว่าง CORE กับ CLAD ค่อย ๆ ลดลงทีละน้อย ต่างจากแบบแรก จึงเรียกว่า Graded Index optic fiber

SM fiber นั้นจัดอยู่ในพวก SI fiber เหมือนกัน แต่จุดประสงค์ต้องการแยกให้เป็น Single mode จึงทำให้อัตราส่วนผลต่างของค่าดัชนีการหักเหของ CORE และ CLAD มีค่าน้อยมาก

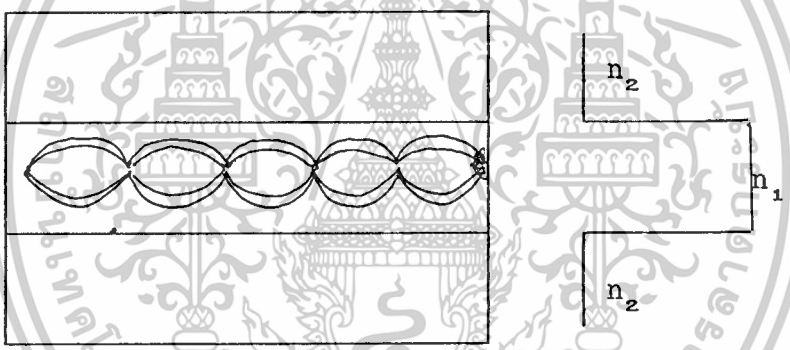
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงแบ่งแยกเป็นชนิดออกมา ดังนั้นกรณีที่เรียกว่า SI fiber นั้น โดยทั่วไปจะหมายถึง Multi mode optic fiber ที่มีผลต่างของดัชนีการหักเหเปลี่ยนแปลงเป็นขั้นบันได (Step)

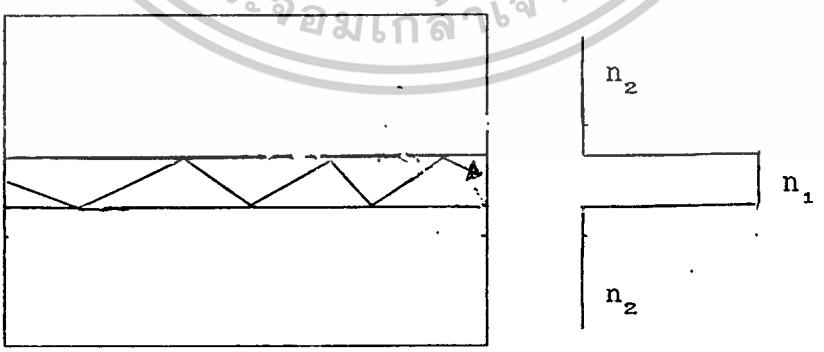
GI เป็นเส้นใยแสงที่จัดทำเป็นพิเศษเพื่อการส่ง Multi Mode



a) เส้นใยแบบ SI-TYPE (Multimode)



b) เส้นใยแบบ GI-TYPE

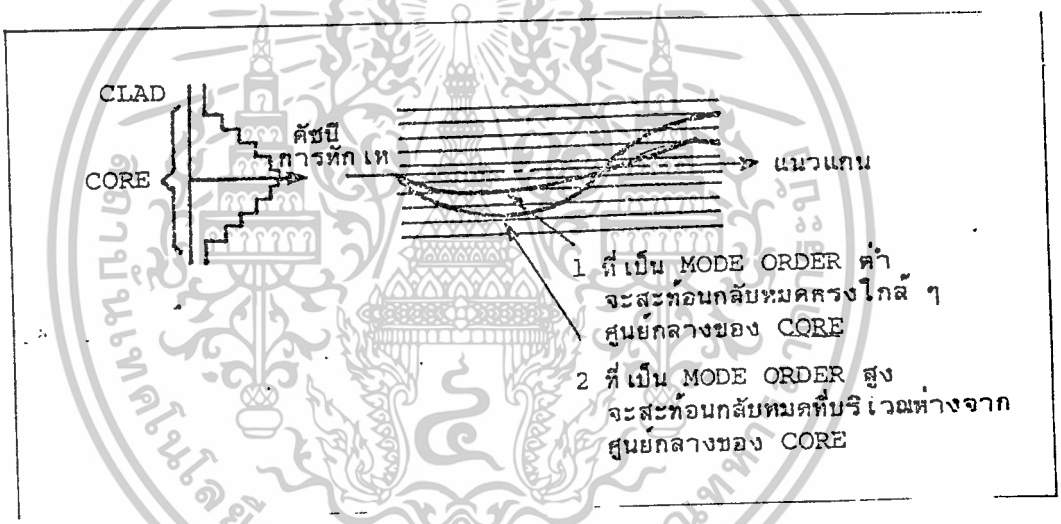


c) เส้นใยแบบ SM-TYPE

รูปที่ 9 แสดงลักษณะการเดินทางของแสงใน CORE ของคลื่นใยแต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดัชนีการหักเหของ GI fiber นี้จะค่อย ๆ ลดลงทีละน้อยในแนวรัศมีของเส้นใยแสง Mode ต่ำ และเดินทางในระยะทางสั้นจะสะท้อนกลับก่อนที่จะเดินทางไปยังรอยต่อของ CORE และ CLAD ซึ่งกล่าวได้ว่าส่วนใหญ่จะผ่านส่วนที่มีค่าดัชนีการหักเหสูงของ CORE ส่วนลำแสงที่มี Mode สูง และเดินทางในระยะใกล้นั้น ส่วนใหญ่จะผ่านส่วนที่วงดัชนีการหักเหต่ำของ CORE อนึ่ง ความเร็วในการเดินทางของแสงจะเป็นสัดส่วนกลับกับค่าดัชนีการหักเห ดังนั้น สำหรับ Propagation ทั้งสองโหมดนั้นการเลือกลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเห ให้เหมาะสมแล้วเราจะทำให้เวลาที่ใช้ในการเดินทางในระยะของทั้งสองโหมดเท่ากัน ลักษณะการเปลี่ยนแปลงดัชนีการหักเหที่เหมาะสมที่สุด เพื่อให้ผลต่างของเวลาการเดินทางระหว่าง Propagation Mode ต่าง ๆ มีค่าน้อยที่สุด ดังนั้น กล่าวกันว่าจะต้องมีลักษณะเป็นพาราโบล่า การเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการหักเหแบบ eI fiber จึงมีรูปร่างดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 แสดงลักษณะการเดินทางแสงใน eI Fiber

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
วิธีการผลิตเส้นใยแสง

การผลิตแท่งแก้ว PREFORM ด้วยวิธี VAD และวิธี CVD

อันดับแรงจะทำแท่งแก้วที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโต ตั้งแต่หลาย ๆ มิลลิเมตร ไปจนถึงหลายสิบมิลลิเมตร และมีความยาวประมาณ 30-100 เซนติเมตร โดยที่แท่งแก้วนี้มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหเหมือนกันกับของเส้นใยแสงทุกประการ แท่งแก้วนี้เรียกว่า แท่งแก้วต้นแบบ (PREFORM)

อันดับต่อไป ให้ความร้อนแก่ PREFORM นี้ และทำการดึง PREFORM ให้ยืดออกเป็นเส้นยาวขนาดเล็กตามต้องการ พร้อมรักษาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของมันให้คงที่สม่ำเสมอตลอดความยาวที่ทำการดึงยืดออก

วิธีการผลิต PREFORM ด้วยวิธี VAD METHOD

VAD Method นี้เป็นวิธีที่ NTT (Nippon Telegraph and Telephone) ของญี่ปุ่นพัฒนาขึ้นมาเอง ข้อดีคือ ขั้นตอนการผลิตไม่ยุ่งยาก สามารถผลิตได้อย่างต่อเนื่อง สามารถผลิต PREFORM ให้มีขนาดใหญ่ได้ตามต้องการ

นำสายที่เป็นวัตถุดิบของเส้นใยแสงคือ Silicon chloride ($SiCl_4$) สาร Ropant ที่จำเป็นในการควบคุมค่าดัชนีการหักเหของเส้นใยแสงคือ Germanium Chloride ($GeCl_4$) ต่อไป นำไปผ่นรวมกับก๊าซไฮโดรเจน (H_2) กับก๊าซอ๊อกซิเจน (O_2) โดยพ่นต่อเข้าไปตอนส่วนล่างของแท่งแก้ว Gurtz ที่กำลังหมุนอยู่ แล้วทำให้เกิดปฏิกริยา Hydrolysis (การรวมตัวเป็นน้ำ) ด้วย Oxyhydrogen burner (หัวเชื่อมก๊าซ) โดยการทำเช่นนี้จะทำให้ส่วนล่างของแท่งแก้ว Quartz มี PREFORM ของ SiO_2 ซึ่งมีลักษณะเป็นรูพรุนคล้ายขี้เขม่าจับอยู่รอบแกนของแท่งแก้ว Quartz ตอนล่าง เมื่อทำการหมุนแท่งแก้ว Quartz ไปพร้อมกับดึงแท่งแก้ว Quarty ขึ้นไปข้างบนไปด้วยและขณะเดียวกันให้ความร้อนแก่แท่งแก้ว Quarty นี้ด้วย ต้องทำความร้อน (HEATER) ที่มีรูปร่างเป็นวงแหวน จะทำให้ PREFORM ที่เป็นรูพรุนกลายเป็นแก้วใส สามารถผลิตเป็น PREFORM ได้

ในวิธีของ VAD Method นี้ เนื่องจากเป็นการทำให้เกิด PREFORM ตรงส่วนล่างในแนวแกน (Ascial Direction) ของแท่งแก้ว Guartz ได้อย่างต่อเนื่องกัน ดังนั้น จึงสามารถผลิต PREFORM ขนาดใหญ่ได้ตามต้องการ และเหมาะแก่การผลิตเป็นจำนวนมาก นอกจากนั้น จากการที่ทำให้เป็น PREFORM ที่เป็นรูพรุนก่อนแล้วจึงทำให้เป็นแก้วใสโดยการให้ความร้อนภายในบรรยากาศของเกลือ Thiongl $Sicl_2$ ทำให้สามารถกำจัด Hydroxyl ion (OH) ออกไปได้อย่างเพียงพอเป็นเหตุให้ได้เส้นใยแสงที่มีการสูญเสียต่ำมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

ในการผลิต PREFORM สำหรับใช้ทำเส้นใยแสงแบบ GI นั้นจะใช้ผลของปฏิกริยาทางอุณหภูมิที่ทำให้ความเข้มข้นการผสมของสาร Dopant แตกต่างกันออกไปและทำการควบคุมการกระจาย

ของอุณหภูมิของเปลวไปจาก Burner จะทำให้ได้ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการหักเหตามต้องการ

การผลิต PREFORM โดย CVD Method

CVD Method นี้ยังแบ่งออกเป็น INNER-CVP Method (หรือ Modified CVD: MCVD Method และ Quter-CVD Method: ϵCVD Method)

วิธีนี้ประเทศอเมริกาพัฒนาขึ้นมา โดยการใช้ $Sicl_4$, $GeCl_4$ และสารอื่น ๆ เป็นวัตถุดิบของเส้นใยแสง และ Dopant ผสมปนกับก๊าซ Oxygen (O_2) พ่นเข้าไปที่ผิวด้านในของแท่งแก้ว Quartz ทำให้เกิดแก้วขึ้นภายในท่อแก้ว Quartz ในวิธีการผลิตนี้เนื่องจากชั้นแก้ว (Glass layer) จะเกิดขึ้นในแนวเส้นผ่าศูนย์กลาง โดยการควบคุมอัตราส่วนผสมของ Dopant ตามเวลาจะทำให้ได้ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการหักเหแสงตามต้องการ หลังจากที่ทำให้เกิดชั้นแก้วหนาตามขนาดที่ต้องการแล้ว จะยุบท่อแก้ว Quartz ซึ่งเรียกว่า Collapse ได้ PREFORM ออกมา

ส่วนวิธี Quter-CVD Method เป็นวิธีการทำให้เกิดการขึ้นที่ด้านนอกของแท่งแก้ว Quartz

โดยทั่วไป ในวิธี CVD Method นั้น ขนาดของ PREFORM ถูกจำกัดด้วยขนาดของท่อการ Quartz และแท่งแก้ว Quarty ดังนั้น การผลิต PREFORM ขนาดใหญ่จึงมีขีดจำกัด และทางด้านการผลิตจำนวนมากก็ด้อยกว่าวิธี VAD Method ด้วย PREFORM หนึ่งแท่งที่ผลิตด้วยวิธี VAD Method สามารถดึงให้เป็นเส้นใยแสงได้ยาวที่สุดหลายร้อยกิโลเมตร แต่ PREFORM ที่ผลิตด้วยวิธี CVD Method นั้น สามารถดึงให้เป็นเส้นใยแสงได้ยาวประมาณหลายกิโลเมตร

ในการทำให้เส้นใยแสงจาก PREFORM นั้นจำเป็นต้องให้ความร้อนสูงประมาณ 200°C แก่ PREFORM เพื่อทำให้ PREFORM อ่อนตัวและดึงยืดออกให้เป็นเส้นใยแสงขนาดเล็ก ขั้นตอนนี้เรียกว่าการดึงให้เป็นเส้น THREADING

ความแข็งแรงทาง MECHANIC ของเส้นใยแสง

ความแข็งแรงในการดึงเส้นใยแสงที่ทำด้วยแก้วนั้น ในปัจจุบันมีค่าสูงประมาณ 300kg/mm^2 กล่าวคือ มีค่าประมาณ 2 เท่าของเหล็กกล้าและมากกว่า 10 เท่าของทองแดง อะลูมิเนียม แต่ถ้ามีรอยขีดข่วนที่ผิวนอกของเส้นใยแสงแล้ว ถ้าหากมีแรงดึงมากระทำต่อเส้นใยแสง แรงที่มากระทำจะไปรวมกันตรงรอยขีดข่วน และถ้าหากมันมีค่าเกินกว่าแรงเครียดที่มันได้ได้ แล้วเส้นใยแสงจะขาดออกทันที อันนี้เรียกว่าความเปราะของแก้ว

ในการดึงแท่งแก้ว PREFORM ฝุ่นละอองจะมาจับตรงผิวด้านนอกของมันได้ง่าย เป็นสาเหตุให้เกิดรอยขีดข่วนที่ผิวนอกของเส้นใยแสง ดังนั้น พอดึงเส้นใยแสงแล้วต้องรับทำการหุ้มด้วยวัสดุป้องกันชั้นที่หนึ่งทันที (FIRST COVER)

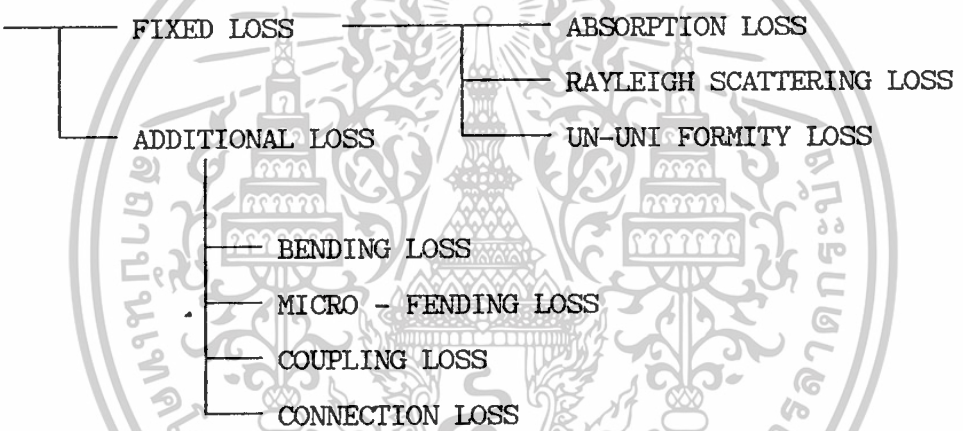
เอกสารนี้ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบเพื่อกำจัดรอยขีดข่วนและรักษาความแข็งแรงของเส้นใยแสงเรียกว่า SCREENING TEST คำว่า SCREENING หมายถึงการร่อนกรองออกมาก กล่าวคือ เป็นวิธีการทดสอบโดยการป้อนแรงดึงให้แก่เส้นใยแสง เพื่อตัดส่วนที่ไม่แข็งแรงอันเนื่องมาจากรอยขีดข่วนและอื่น ๆ ออกไป โดยการทำเช่นนี้จะทำให้สามารถกำจัดส่วนที่ไม่แข็งแรงออกไปก่อนได้ล่วงหน้า

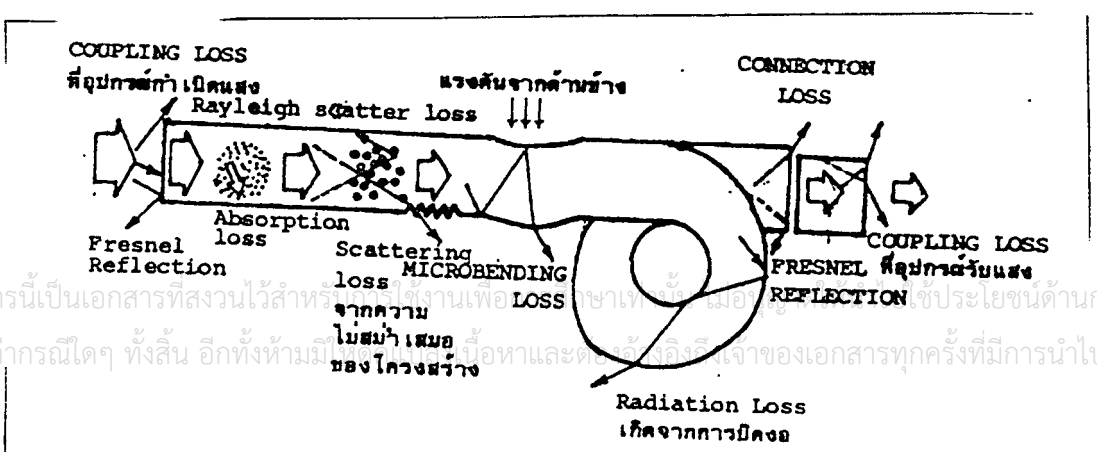
ถ้าหากนำเส้นใยแสงลงไปแช่ในน้ำแล้ว ความแข็งแรงในการดึงลดลง สาเหตุเนื่องจากว่าน้ำจะไปทำให้แรงเกาะกันระหว่างอะตอมของเส้นใยแสงอ่อนตัวลง ด้วยเหตุนี้ ภายใต้สภาพการใช้งานจำเป็นต้องระวังอย่าให้เส้นใยแสงจมลงไปในน้ำอย่างเด็ดขาด

สาเหตุการสูญเสียต่าง ๆ ที่ทำให้เกิด LOSS ในเส้นใยแสง

การสูญเสียในเส้นใยแสงมีทั้งการสูญเสียที่เกิดขึ้นแน่นอนในทุกเส้นใยแสง และการสูญเสียที่เพิ่มเข้ามาในการเชื่อมต่อสาย และการวางสาย แบ่งออกได้ดังนี้



องค์ประกอบสำคัญ 2 อัน ที่จะกำหนดความเร็วในการส่ง (Transmission speed) และระยะห่างของการถ่ายทอดสัญญาณ (Repeater span) องค์ประกอบเหล่านั้น คือการสูญเสียแสงกับแบนด์วิดธ์ของการส่ง (Transmission bandwidth) การสูญเสียแสง (Optical loss) เป็นตัวบอกให้ทราบว่า กำลังแสงที่เดินทางไปในเส้นใยแสงนั้นจะลดลงไปจากเดิมเท่าไร ซึ่งการสูญเสียแสงนี้มีค่าน้อยเท่าไรจะทำให้สามารถส่งสัญญาณแสงได้ไกลมากยิ่งขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสูญเสียแสงที่เกิดจากการดูดแสง (Absorption loss)

สารที่ผลิตเส้นใยแสงนั้นจะเป็นตัวดูดแสงที่เดินทางไปในเส้นใย แล้วเปลี่ยนเป็นการสูญเสียทางความร้อน โดยทั่วไป จะมีการดูดแสงเนื่องมาจากแก้วเอง (สารที่ใช้ผลิตเส้นใยแสง) และเนื่องมาจากสารอื่นที่เจือปนอยู่ในแก้ว (Impurity)

สำหรับการสูญเสียจากการดูดแสงของแก้วนั้น มันจะดูดแสงอุลตร้าไวโอเลทกับแสงอินฟราเรด การดูดแสงอุลตร้าไวโอเลทนั้นจะดูดมากที่สุด ที่ความยาวใกล้กับ 0.1μm ไปจนถึงประมาณ 9.6μm การสูญเสียจะตกลงเป็นเสมือนหุบเขา (Villey)

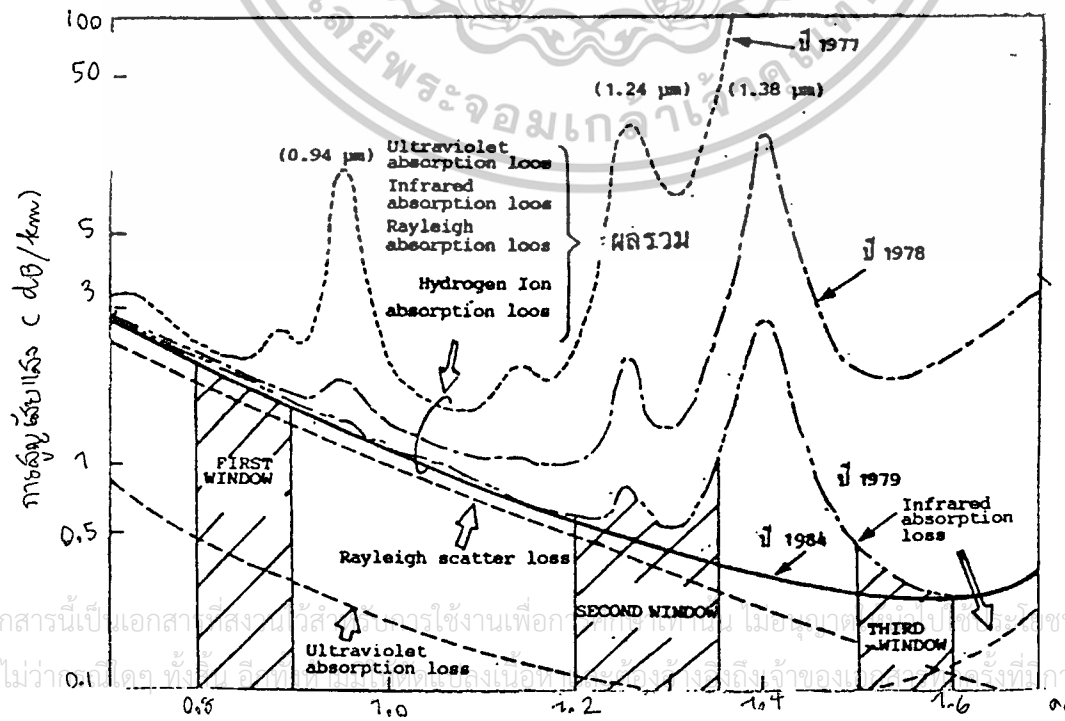
ประวัติศาสตร์ของการทำให้การสูญเสียแสงที่มีอยู่ในเส้นใยแสงให้มีค่าน้อยนั้น เป็นการกำจัด Absorption loss อันเนื่องมาจาก Ion ของโลหะและ Hydroxyl Ion

ตรงส่วนที่เป็นหุบเขา (เรียนกว่า WINDOW ของเส้นใยแสง) เรียกว่า Window ที่ 1, ที่ 2, ที่ 3 นั้นการสูญเสียแสงต่ำ ซึ่งนำมาใช้ในการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง

การสูญเสียแสงที่เกิดจากการกระจายแสงแบบเรลี่ (Rayleigh Scattering Loss)

การสูญเสียแบบนี้เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น เมื่อแสงไปกระทบกับวัตถุที่มีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่น แล้วทำให้แสงแตกกระจัดกระจายออกไปในทิศทางต่าง ๆ

ความไม่สม่ำเสมอของความหนาแน่นเกิดขึ้นตอนให้ความร้อนในการผลิตเส้นใยแสง ซึ่งความไม่สม่ำเสมอของเส้นใยแสงทำให้ค่าดัชนีการหักเหไม่สม่ำเสมอไปด้วย จึงเป็นสาเหตุทำให้เกิด Rayleigh Scattering ขึ้นในเส้นใยแสง เป็นการสูญเสียแสงที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ในขั้นตอนการผลิต ความสูญเสียแบบนี้จะเป็นสัดส่วนผกผันกับความยาวแสง ยกกำลัง 4 (α $1/\lambda^4$) ด้วยเหตุนี้ ความยาวของคลื่นแสงที่เดินทางยิ่งมีค่ามาก Rayleigh Scatting Loss จะมีค่าน้อยลง



รูปที่ 11 แสดงคุณสมบัติการสูญเสียแสงจากการดูดแสงของเส้นใยแสงแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสูญเสียแสงจากความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในเส้นใยแสง (Ununiformity Loss)

สาเหตุต่าง ๆ ในการสร้างทำให้ไม่สามารถได้เส้นใยแสงที่มีลักษณะกลม 100% นอกจากนี้ CORE แล CLAD ที่ประกอบกันเป็นเส้นใยแสงก็ไม่สามารถทำให้ได้ลักษณะรูปทรงกระบอกที่สม่ำเสมอกันอย่างสมบูรณ์ ตรงรอยต่อของ CORE และ CLAD นั้นจะไม่สม่ำเสมอตลอด คือจะมีลักษณะขรุขระ เมื่อรอยต่อไม่เรียบสม่ำเสมอเช่นนี้จะทำให้เกิดการกระจัดกระจายของแสง แสงบางส่วนไม่สามารถเดินทางไปใน CORE ได้ จะกระจายออกไปข้างนอก รอยต่อที่ไม่สม่ำเสมอจะทำให้แสงที่เดินทางเกิดการสะท้อนกลับอย่างสะเปะสะปะทำให้เกิดการสูญเสียขึ้น เรียกการสูญเสียแบบนี้ว่าการสูญเสียแรงกระจัดกระจายเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างเส้นใยแสง

การสูญเสียจากการกระจายแสงอันเนื่องมาจากการงอโค้งของเส้นใยแสง (Bending Loss)

แสงที่มีมุมงอโค้งมากกว่ามุมวิกฤติแล้ว แสงนั้นจะกระจายออกไปนอก CORE ทำให้เกิดการสูญเสียขึ้น ต้องระมัดระวังอย่าให้เกิดการงอเส้นใยแสง เป็นส่วนโค้งที่มีรัศมีเกินกว่ารัศมีที่ยอมให้โค้งได้ เช่น ไม่เกิน 40 มิลลิเมตร เป็นต้น

การสูญเสียที่เกิดจากการงอโค้งแบบ Micro Bending

การต่อเส้นใยแสงต้องทำการปรับ CORE ทั้งสองของเส้นใยให้แสงที่เดินทางผ่านให้ตรงกันพอดี ถ้าหาก CORE ทั้งสองต่อกันไม่สนิทอย่างสมบูรณ์นั้น แสงที่ออกจาก CORE ด้านหนึ่งบางส่วนของมันจะไม่เข้าไปใน CORE อีกด้านหนึ่ง แต่จะกระจายออกไปข้างนอกทำให้เกิดการสูญเสีย

ค่าการสูญเสียนั้นส่วนใหญ่จะมาจากการคลาดเคลื่อนของแกนของ CORE ค่าการต่อนั้นที่ช่องว่าง (GAP) เพียงเล็กน้อยจะทำให้เกิดการสูญเสียจากการสะท้อนกลับ ถ้าหากช่องว่างโตมากขึ้นจะเกิดการสะท้อนกลับที่เรียกว่า Fresnel Reflection

การสูญเสียที่เกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างเส้นใยแสง กับอุปกรณ์กำเนิดแสงและรับแสง (Coupling Loss)

เงื่อนไขในการที่จะป้อนแสงเข้าในเส้นใยแสงคือค่า NA (Nummerical Aperture) LD จะมีการสูญเสียของน้อยกว่าเชื่อมต่อแสง น้อยกว่า LED นอกจากนั้น โครงสร้างเส้นใยแสงที่จะถูกป้อนแสงเข้าไปนั้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ CORE ของเส้นใยแสงแบบ Single Mode และแบบ Graded Index จะมีค่าต่างกัน ทำให้ขนาดของการสูญเสียของการเชื่อมต่อมีค่าต่างกันไปด้วย เส้นใยแสงที่มีค่า NA มากนั้นคือ แสงที่ออกจากเส้นใยแสงแบบ GI จะมีลำแสงกว้างกว่าลำแสงที่ออกจากเส้นใยแสงแบบ SM ทำให้การสูญเสียแสงมีมากกว่า

การขยายกว้างออก (Disperrion) และ Transmission Bandwidth ของเส้นใยแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขยายกว้างออกของ MODE (Mode Dispersion)

Multi mode optic fiber นั้นส่วนใหญ่ Mode Dispersion จะเป็นตัวกำหนด Bandwidth แม้ว่าจะพยายามทำให้ Mode Dispersion นี้น้อยลงโดยการทำให้ค่าดัชนีการหักเหของ Core เป็นลักษณะพาราโบลา ซึ่งเรียกว่า Graded Index Optic Fiber แล้วก็ตาม แต่เนื่องจากมีขีดจำกัดในความแน่นอนของรูปร่างของค่าดัชนีการหักเห ด้วยเหตุนี้ ในระบบการส่งข่าวสารจำนวนมากที่ต้องการคุณสมบัติ Bandwidth กว้างนั้นจะใช้ Single Mode Optic Fiber ที่ไม่มี Mode Dispersion โดยการทำให้มี Mode เดียว

การขยายกว้างของความยาวคลื่น (Wavelength Dispersion)

ในตัวกลางที่มีเนื้อเดียวกัน แต่ถ้าหากความยาวคลื่นต่างกันแล้วค่าดัชนีการหักเหจะต่างกัน เป็นผลให้ความเร็วในการเดินทางต่างกันตามค่าความยาวคลื่น กล่าวคือ ความยาวคลื่นมีค่ายิ่งมากเท่าใด ค่าดัชนีการหักเหจะน้อยลงเท่านั้น และจะเป็นผลให้ความเร็วในการเดินทางเพิ่มขึ้น การขยายกว้างออกของความยาวคลื่นนี้เป็นสาเหตุให้ Bandwidth ถูกจำกัดค่าความกว้างเช่นเดียวกันกับกรณีของ Mode Dispersion เรียกว่า Material Dispersion

นอกจากนี้ส่วนหนึ่งของแสงจะทะลุเข้าไปใน CLAD ก่อน แล้วจึงสะท้อนกลับหมดและขนาดการทะลุเข้าไปนี้จะแตกต่างกันตามความยาวคลื่น เป็นผลให้ระยะทางการเดินทางของแสงนี้ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น กล่าวคือ ความยาวคลื่นยิ่งมีค่ามากเท่าใดขนาดของการทะลุเข้าไปใน CLAD จะมากขึ้นเท่านั้น และจะทำให้เส้นทางการเดินทางยาวมากขึ้น การขยายกว้างออกของระยะการเดินทางของแสงนี้เรียกว่า Structure Dispersion โดย Material Dispersion และ Structure รวมเรียกว่า Wavelength Dispersion

Mode Dispersion > Material Dispersion > Structure Dispersion ดังนั้นสำหรับ Multimode Optic Fiber ส่วนใหญ่ Mode Dispersion จะเป็นตัวกำหนด Bandwidth ของการส่ง Wavelength Dispersion นั้น มีผลต่อ Bandwidth ใน Singnal Mode Optic Fiber ด้วยเหตุนี้ใน Single Mode Optic Fiber จะเลือกใช้ความยาวคลื่นที่ทำให้ Structure Dispersion ไปหักล้างกับ Material Dispersion ให้มากที่สุดที่จะทำได้ ความยาวคลื่นนี้เรียกว่า Zero Dispersion Wavelength

ขนาดความกว้างของ Bandwidth ของการส่ง (Transmission Bandwidth)

เมื่อทำการป้อน Impulse ซึ่งเป็น Waveform ที่สมบูรณ์ แต่ว่าการที่ Impulse ขยายกว้างออกเมื่อเดินทางเข้าไปในเส้นใยแสง จะทำให้ขนาดของ Impulse ลดลง จากการตรวจดู Impulse Waveform ตรงจุดปลายทางเส้นใยแสง เรียกว่า Impulse Response Waveform สามารถใช้เป็นขั้นตอนการประเมินคุณสมบัติการขยายกว้างออก (Dispersion) ของเส้นใยแสงได้ โดยใช้หลักการเช่นนี้ในย่านความถี่ จึงเรียกว่า Base Band Frequency Characteristic ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายถึงคุณสมบัติความถี่ของอัตราส่วนของขนาดของสัญญาณไฟฟ้าซึ่งเป็น Sine Wave ที่นำมาผสมทางด้าน Input กับสัญญาณไฟฟ้าที่แยกออกจากการผสม (Demodulation) ทางด้าน Output ในสายส่งที่เป็นเส้นใยแสง เมื่อความถี่ที่นำมาผสมทางด้าน Input สูงขึ้น ขนาดของสัญญาณที่แยกออกมาจากการผสมทางด้าน Output ลดลง นอกจากนั้นยังขึ้นกับระยะทางด้วย ขนาดความกว้าง Bandwidth ที่ 6dB นั้น เรียกว่าเป็นช่วงความถี่ที่ขนาดของสัญญาณไฟฟ้าที่แยกออกมาจากการผสมภายหลังแสงเดินทางได้ 1km แล้วปรากฏว่าขนาดของมันลดลงไปเป็นครึ่งหนึ่ง (ปริมาณการสูญเสียกำลังแสงเป็น 3dB) เมื่อเทียบกับขนาดของสัญญาณไฟฟ้าที่นำมาผสมทางด้าน Input และใช้หน่วยเป็น MHz km

เปรียบเทียบคุณสมบัติการส่งของเส้นใยแสงกับสายเคเบิ้ลโลหะแบบ Balance และกับสาย Coaxial Cable จะเห็นว่าคุณสมบัติ Base Band Frequency ของเส้นใยแสงกว้างกว่าสายเคเบิลโลหะแบบ Balance และสาย Coaxial Cable ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมากมาย โดยเฉพาะเส้นใยแบบ SM นั้น กว้างมากที่สุด โดยทั่วไปกล่าวกันว่ามันมีขนาดความกว้างที่ 6dB เป็นหลายสิบ GHz km

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8
การต่อเชื่อมถาวรด้วยการ Splicing เส้นใยแสง

มีหลายวิธี คือการใช้ Blectric ARE ใช้ลำแสง Laser การใช้เปลวไฟแต่เมื่อพิจารณาถึงความสะดวกในการเชื่อมต่อความเชื่อถือได้ และความประหยัดแล้วโดยทั่วไปนิยมการเชื่อมต่อด้วย Electric ARC ซึ่งเรียกว่า ARC Splicing หรือ Electric ARC Fusion Splicing

อันดับแรก ทำการปอกเอาวัสดุหุ้มออก สำหรับ Second Cover สามารถใช้เครื่องมือปอกออกได้ สำหรับ First cover นั้นอาจใช้เครื่องปอกหรือใช้สารละลายอินทรีย์เคมี (Organic chemical sclution) กำจัดออกได้

จากความไม่สม่ำเสมอของผิวหน้าตัดของเส้นใยแสง มีผลอย่างมากต่อการสูญเสียในการเชื่อมต่อ ดังนั้น การตัดเส้นใยแสงจึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญ ถ้าหากใช้เครื่องมือตัดธรรมดาที่ใช้กันอยู่ทั่วไป คือคีมตัด (Knipper) มาตัดเส้นใยแสงแล้วจะได้ผิวหน้าตัดไม่สม่ำเสมอ จึงใช้เครื่องมือตัดเส้นใยแสงโดยเฉพาะเรียกว่า "Fiber Outter" ซึ่งใช้หลักการตัดแก้ว โดยทำให้มีรอยขีดบนเส้นใยแสงก่อนแล้วงอเส้นใยแสงมันจะขาดจากกันได้โดยง่าย และจะได้ผลการตัดที่ผิวด้านหน้าตัดเรียบสม่ำเสมอดีดังรูป

ขั้นต่อไปเป็นการปรับแกนเส้นใยแสงให้ตรงกัน ในกรณีของเส้นใยแสงแบบ GI เนื่องจากเส้นผ่าศูนย์กลางของ CORE มีขนาดใหญ่ถึง 50㎛ แม้ว่าจะยอมให้เปอร์เซนต์การคลาดเคลื่อนของ CORE มีค่าสูงสุดถึง 6% ก็ตามแต่ก็ไม่ทำให้การสูญเสียจากการต่อเชื่อมเพิ่มขึ้นจนเป็นปัญหามากเท่าใด ดังนั้นเพียงแต่นำเส้นใยแสงที่จะต่อเชื่อมไปวางผลร่องรูปร่างเป็นตัวอักษรวี (V-type grove) ซึ่งปรับแกนให้ตรงกันไว้เท่านั้นก็เป็นอันใช้ได้ การทำเช่นนี้เรียกว่า การปรับเส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอก อนึ่งในกรณีของเส้นใยแสงแบบ SM แต่เพียงอย่างเดียวไม่พอ เพราะผลจากการคลาดเคลื่อนจะทำให้เกิดการสูญเสียเพิ่มขึ้นอย่างมาก เพื่อเป็นการลดการสูญเสียนี้จำเป็นต้องใช้ Core Moniter หรือ Power Monitor เข้ามาช่วยด้วย

เพื่อเป็นการทำให้ผิวด้านหน้าของเส้นใยแสงที่ตัดด้วย Fiber cutter เรียบสม่ำเสมอดีนั้นจะใช้วิธีที่ให้ผลดีคือ จะให้ความร้อนแก่ปลายด้านของเส้นใยแสงที่จะทำการเชื่อมต่อเสียก่อนเพื่อที่จะทำให้หลอมตัว และหลังจากนั้นจะทำให้ด้านปลายของเส้นใยแสงสม่ำเสมอเท่ากันด้วยแรงถึงผิวด้านนอกแล้ว จึงให้ความร้อนใหม่อีกครั้งหนึ่งเพื่อเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน วิธีการเช่นนี้เรียกว่า Freheat Splicing Method

สำหรับการปรับแกนนี้มี 2 แบบ ดังต่อไปนี้

1. วิธี Power monitor method เป็นวิธีปรับแกนจนกระทั่งได้จุดที่ให้แสงผ่านได้มากที่สุด โดยการใช้ Optical power meter ตรวจดูการส่งผ่านแสงที่เดินทางในเส้นใยแสงที่มีจุดต่อเชื่อมร่วมอยู่ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วิธี Core viewing method เป็นวิธีที่ทำการตรวจดูเส้นใยแสงตรงจุดต่อเชื่อมที่แสดงบนจอสโคป (Scope) ซึ่งเป็นภาพที่ได้จากการทำ Image processing เพื่อดูความคลาดเคลื่อนในแนวแกนของ Core แล้วทำการปรับให้ตรงกัน

ระบบการต่อเชื่อมแสงที่ใช้วิธี Power moniter method เป็นระบบที่ตรวจดูว่าลำแสงโดยตรงส่วนล่างของจุดต่อเชื่อม แล้วทำการปรับแนวแกนให้ตรงกันอย่างอัตโนมัติ งานการต่อเชื่อมวิธีนี้จะต้องปฏิบัติ 3 จุด ด้วยกันคือที่แหล่งกำเนิดแสง

ส่วนต่อเชื่อมและส่วนรับแสง ส่วนวิธี Core viewing method สามารถปฏิบัติงานการต่อเชื่อมเพียงจุดเดียว คือตรงจุดที่จะทำการต่อเชื่อมเท่านั้น ทำให้สามารถลดจำนวนคนปฏิบัติงานได้ แต่ว่าเนื่องจากการต่อเชื่อมที่ใช้วิธี Core viewing method ต่างกับวิธี Power monitor method กล่าวคือ ไม่สามารถได้ค่าสูญเสียที่แท้จริงของการต่อเชื่อมจากที่ทำการต่อเชื่อมได้ จึงใช้วิธีคาดคะเนการสูญเสียของการต่อเชื่อมจากสภาพของ Core ที่ถูกต่อเชื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 9
การบำรุงรักษาเคเบิลใยแสง

เนื่องจากเส้นใยแสงมีจุดอ่อนอยู่ 2 อย่าง ที่ควรหลีกเลี่ยงคือแรงที่มากระทำด้านข้างและการแช่น้ำอยู่เป็นเวลานาน การป้องกันไม่ให้น้ำเข้าไปในเคเบิลใยแสงก็คือ ระบบป้อนอากาศแห้งที่แรงดันสูงกว่าบรรยากาศเข้าไปในเคเบิลใยแสง (Gas Mantenance System) กับระบบการวัดสารประกอบ (Compound) เข้าไปในเคเบิล (Non-Gas Maintenance System) ระบบ Gas maintenance นั้น โครงสร้างไม่ยุ่งยาก แต่ต้องการอุปกรณ์ที่จะป้อนอากาศแห้งเข้าไปในเคเบิล ส่วนระบบ Non-gas maintenance system นั้นไม่ต้องการอุปกรณ์ที่จะป้อนอากาศแห้งเข้าไปในเคเบิล แต่ตรงกันข้ามมีโครงสร้างซับซ้อนและมีราคาสูง นอกจากนั้นเวลาทำการต่อเชื่อมจำเป็นต้องเอาสารประกอบ (Compound) ออก

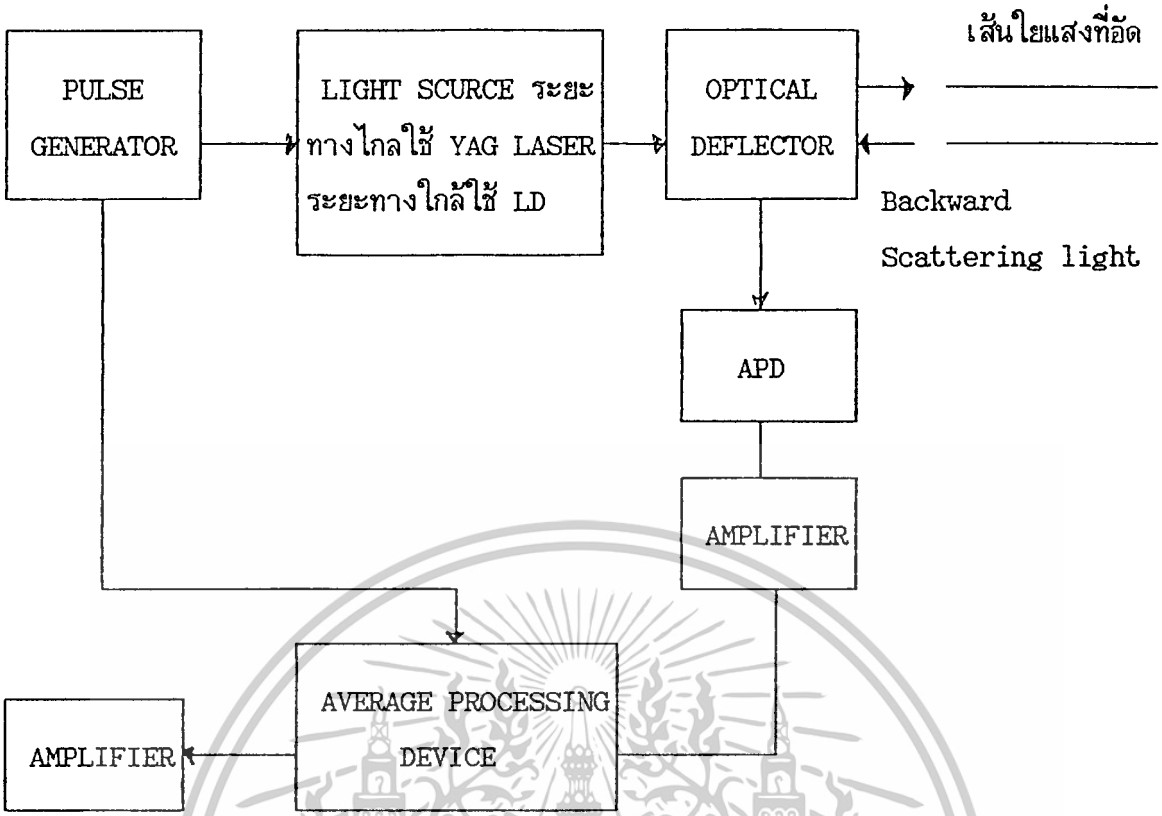
ในระบบ Gas maintenance system มีข้อดีที่สามารถรู้การชำรุดเสียหายของวัสดุหุ้มภายนอก (Cover) ก่อนที่เคเบิลจะขัดข้อง ข้อดีนี้เรียกว่า Preventive maintenance เรียกย่อว่า PM สำหรับ NTT นั้น ในเคเบิลใยแสงส่วนใหญ่จะใช้ระบบ Gas maintenance system

วิธีการหาตำแหน่งขาดของสายจะใช้ Pulse test สำหรับกรณีของเส้นใยแสงก็เหมือนกันใช้ Optical pulse tester กล่าวคือ จะป้อน Optical pulse เข้าไปในเส้นใยแสงแล้วให้เดินทางไปในเส้นใยแสง จะมีแสงส่วนหนึ่งของแสงเกิด Realeigh scatter อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหเล็กน้อยภายใน Core กลับคืนมาที่ปลายซึ่งป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแสง แสงนี้เรียกว่า แสงกระจายกลับมาด้านหลัง (Back direction scattering light) นอกจากนั้นที่จุดที่เส้นใยแสงขาด เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีหักเหอย่างกระทันหันจะเกิดแสงสะท้อนกลับอย่างมาก (เรียกว่า Fresnel reflection light) แสงที่กระจายกลับมาด้านหลังและแสง Fresnel reflecting light จนกลับมากที่ปลายแสงป้อนเข้าไป หลังจากที่มันใช้เวลาในการเดินทางที่เป็นสัดส่วนกับระยะทางจากจุดสะท้อนกลับ โดยการนำแสงที่กลับคืนมานี้ไปแยกออกด้วย Optical deflector ในระบบการจัดแสดงดังรูปที่ 12 จากนั้นนำไปเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าจะได้รูปคลื่น ดังรูปที่ 13

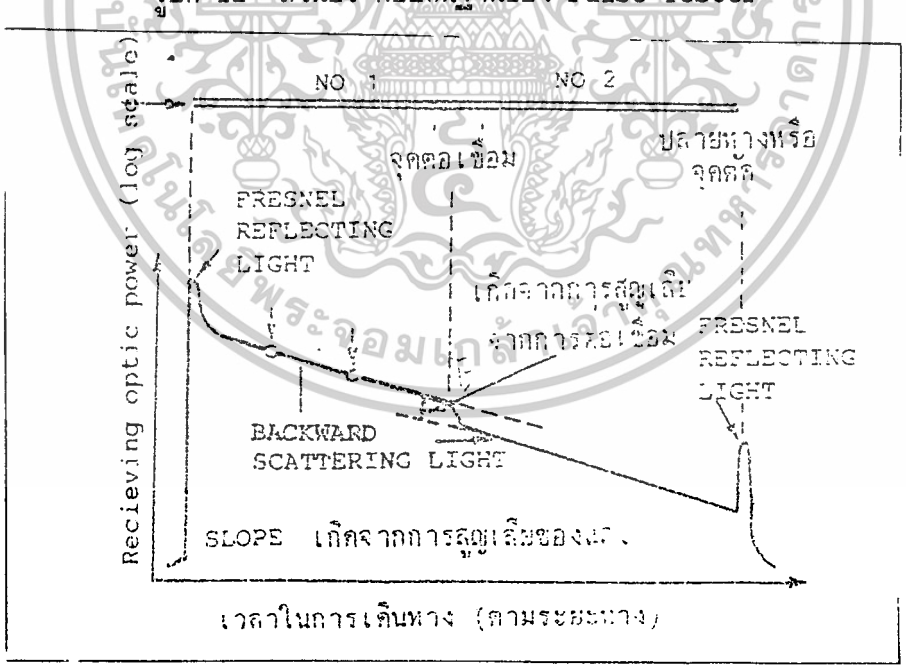
แกนในแนวนอนแสดงเวลาการเดินทางไปกลับจากปลายที่ป้อนแสงเข้าไป ถ้าหากว่าดัชนีการหักเหของเส้นใยแสงมีค่าเท่ากันตลอดทิศทางที่แสงเดินทาง แล้วก็ปริมาณการกระจายกลับมาด้านหลังของแสงที่เดินทางในแต่ละจุดในเส้นใยแสง จะเท่ากันกับกำลังแสงที่เดินทางกลับมาจากจุดที่อยู่ไกลนั้นจะมีขนาดต่ำลงเนื่องจากส่วนการสูญเสียในเส้นใยแสงเท่านั้นเอง

ถ้าระหว่างทางเกิดมีจุดขาดของเส้นใยแสง จะมองเห็นแสงสะท้อนกลับอันเนื่องมาจาก Fresnel reflection มีค่าสูง โดยการเปลี่ยนระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางจากจุดเริ่มต้นจนถึงจุดที่เส้นใยแสงขาดให้เป็นระยะทางจะทำให้สามารถหาตำแหน่งที่เส้นใยแสงขาดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 12 ส่วนประกอบพื้นฐานของ Pulse Tester



รูปที่ 13 หลักการวัดระยะทางของจุดที่เส้นใยแสงขาดของ Pulse Tester

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 10

หลักการทำงานของ OTDR (Optical line Domain Reflectometer)

ป้อน Optical pulse เข้าไปในเส้นใยแสง และอาศัย Fresnel Reflection กับ Bach Scattering phenomena ซึ่งจะทำให้ Optical pulse เกิดการสะท้อนกลับยังจุดที่ป้อนแสงเข้าไป โดยการวัดเวลาที่ Optical pulse เดินทางกลับมาในเส้นใยแสง แล้วนำไปคูณกับความเร็วแสงที่เดินทางในเส้นใยแสง ก็จะหาระยะทางหรือความยาวของเส้นใยแสงได้

$$R_f = (m_1 - n_o)^2/(n_1 + n_o)$$

$$R_b = S.\alpha_R.V.\omega/2$$

$$S = (n_1 - n_2)/4n_1$$

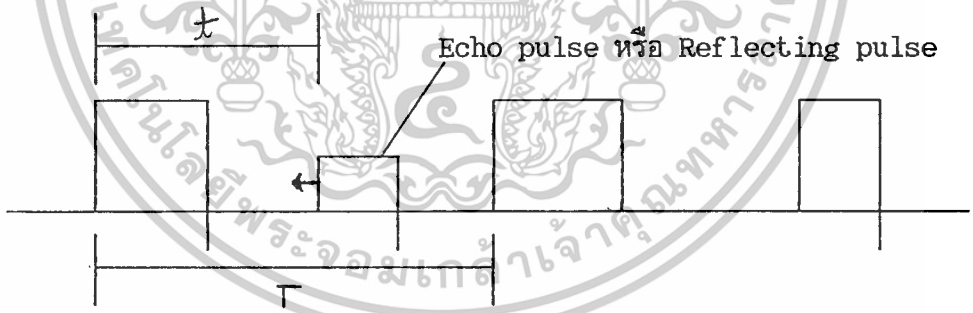
α_R = Scattering loss

V = Light velocity

n_1 = Core refractive index

n_2 = Cladding refractive inden

ω = Pulse width



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OTDR (Optical time domain reflectometer)

หลักการของ OTDR

อุปกรณ์ OTDR ใช้วิธีการตรวจหาจุดเสียของเส้นใยแสงด้วยวิธี Backward Scattering Method กล่าวคือ เมื่อป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแสง จะมีแสงกลับไปยังปลายด้านป้อนแสง ซึ่งเกิดจากสาเหตุ 2 อย่างคือ

1. Fresnel reflection เกิดจากความไม่มีค่าสม่ำเสมอของดัชนีการหักเหของ CORE
2. Rayleigh Scattering Light หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Backward Scattering Light ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ Rayleigh

อันดับแรก จะสร้าง Pulse แสงขึ้นมาโดย Pulse Generator และ Laser Diode แล้วป้อนเข้าไปในเส้นใยแสงที่ต้องการวัด Rayleith Scattering Light กับ Fresnel Reflection Light ที่เกิดขึ้นในเส้นใยแสงจะกลับเงายังด้านที่ป้อนแสงเข้าไปหลังจากระยะเวลาค่าหนึ่งผ่านไป แสงที่กลับมานี้จะผ่าน Beam Splifter แล้วไปยัง Light Detector เพื่อเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้าแล้วแสดง Waveform บนจอ

ความเร็วของแสงที่เดินทางในเส้นใยแสงแสดงดังสมการต่อไปนี้

$$v = c/n$$

ในที่นี้ c เป็นความเร็วแสงในอากาศ = 3×10^8 m/sec

n เป็นค่าดัชนีการหักเหของ Core

ดังนั้น โดยการวัดเวลาที่ใช้ระหว่างการป้อนแสงและแสงเดินทางกลับมายังจุดป้อนแสดงแล้วนำไปคูณด้วยความเร็วแสงในเส้นใยแสง (v) จะได้ระยะทางออกมาและระยะทางนี้เป็นระยะทางไปกลับของแสง ดังนั้น จึงต้องพิจารณาเฉพาะระยะทางเที่ยวเดียว คือระยะทางจุดป้อนแสงไปยังจุดที่เส้นใยแสงขาด ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$L = v.T/2 = C.T/2n$$

ในที่นี้ L เป็นระยะทางจากจุดป้อนแสงไปยังจุดที่เส้นใยแสงขาด (km)

สำหรับ Backward Scattering Light Power (p) นั้น พิจารณาจากโครงสร้างของเส้นใยแสง Rayleigh Scattering Loss และ Optical Pulse Width ดังสมการ

$$P = S.\alpha.v.(w/e).P_o$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้