

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



อุปกรณ์ลดทอนสัญญาณในเส้นใยนำแสง

รฟว.
๑434๒
เลขหมู่..... 2539
เลขทะเบียน.....
วันเดือนปี.....

นายภาณุวัฒน์ หน่อนารถ

612552 847

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Attenuator for Optical Fibers



Mr. Panuwat Normart

A Special Project Submitted in Partial fulfilment of the
Requirement for the Degree of bachelor of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Lardkrabang

1996

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	อุปกรณ์ลดทอนสัญญาณในเส้นใยนำแสง
โดย	นายภาณุวัฒน์ หน่อনারอด
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ร.ศ.สุวรรณ คูสาราญ ผ.ศ.ดร.ปรีชา ชูพาพิน
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2539

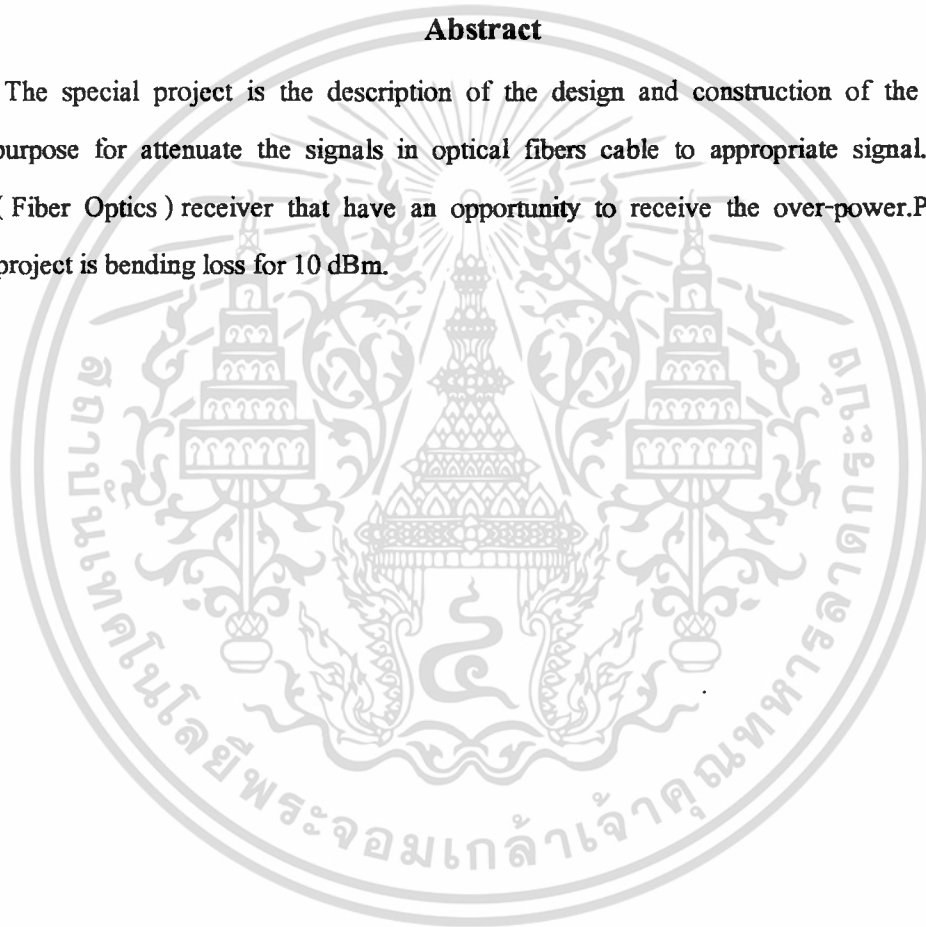
บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ลดทอนสัญญาณในเส้นใยนำแสง (Attenuator) จุดประสงค์เพื่อลดทอนสัญญาณในเส้นใยนำแสงให้มีขนาดกำลัง (Optical Power : dBm.) ที่เหมาะสม เพราะในระบบจริงตัวรับ (Receiver) มีโอกาสรับขนาดกำลังที่มากเกินไปจะมีผลกระทบหลายอย่างเช่น ไม่สามารถรับค่าสัญญาณที่ถูกต้องตามที่ตัวส่งได้ส่งค่ามาหรืออาจจะมีผลต่อค่าการวัดของเครื่องมือวัดที่มีอยู่ในระบบ หลักการสร้างคือเส้นใยนำแสงเมื่อมีการโค้งงอทำให้ขนาดกำลังของสัญญาณลดลง เส้นใยนำแสงเมื่อโค้งงอ 1 รอบขนาดกำลังในเส้นใยนำแสงจะลดลงค่าหนึ่ง ดังนั้นจึงต้องขดเส้นใยนำแสงหลายรอบเพื่อให้ได้ขนาดกำลังลดลงตามต้องการซึ่งอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นนี้ตั้งไว้ที่ 10 dBm.

Special Project Title Attenuator for Optical Fibers
Name Mr. Panuwat Nornart
Special Project Adviser Asst. Prof. Dr. Preecha Yupapin
Assoc.Prof. Suwan Kusamram
Department Applied Physic
Academic Year 1996

Abstract

The special project is the description of the design and construction of the attenuator. These purpose for attenuate the signals in optical fibers cable to appropriate signal. In general system (Fiber Optics) receiver that have an opportunity to receive the over-power. Principle of special project is bending loss for 10 dBm.



กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำโครงการพิเศษ เรื่องอุปกรณ์ลดทอนสัญญาณในเส้นใยนำแสง ถ้าจะเป็นประโยชน์แก่ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังแล้ว ผู้จัดทำโครงการพิเศษขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ที่เลี้ยงดูอบรมบ่มตั้งแต่เด็ก พี่ๆทุกคนที่ให้กำลังใจมาตลอด และขอขอบพระคุณอาจารย์ผู้ให้คำปรึกษา เพื่อให้โครงการสำเร็จ ลุล่วงไปด้วยดี มีรายนามดังต่อไปนี้

ผ.ศ.ดร.ปรีชา ชูพาพิน

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษและให้คำปรึกษา

หลักการของโครงการพิเศษ

ร.ศ. สุวรรณ คูตำราญ

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ

นายนรา หน่อনারถ

พี่ชายที่แสนดีให้คำปรึกษาเรื่องเฟืองและให้ความรู้เรื่องเครื่องกล

ตลอดจนเพื่อนๆทุกท่านที่มีได้กล่าวถึงในที่นี้ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์และแนวความคิดทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	①
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	②
กิตติกรรมประกาศ	③
สารบัญ	④
สารบัญตาราง	⑥
สารบัญรูป	⑧
บทที่ 1 วัตถุประสงค์	1
ขอบเขตการทำงาน	1
ขั้นตอนการทำงาน	1
สรุป	2
บทที่ 2 คุณสมบัติของแสง	3
กฎ 3 ข้อของแสง	3
SNELL' S LAW	6
คุณสมบัติต่างๆ ของคลื่น	8
COHERENCE ของแสง	12
บทที่ 3 เส้นใยนำแสง	15
เส้นใยนำแสงคืออะไร	15
ลักษณะการเดินทางของแสงภายในเส้นใยนำแสง	15
MODE การเดินทางของแสงภายในเส้นใยนำแสง	18
จำนวน PROPAGATION MODE	23
ชนิดของเส้นใยนำแสง	24
โครงสร้างของเส้นใยนำแสง	27
คุณสมบัติต่างๆ ของเส้นใยนำแสง	32
การสูญเสียแสงในเส้นใยนำแสง	32
Absorption Loss	33
Rayleigh Scattering Loss	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Ununiformity Loss	36
	Bending Loss	36
	Micro Bending Loss	37
	Connection Loss	38
	Coupling Loss	39
	Dispersion และ Transmission Band Width ของเส้นใยนำแสง	40
	Mode Dispersion	40
	Wavelength Dispersion	40
	Transmission Band Width	42
	ความแข็งแรงทาง MECHANIC ของเส้นใยนำแสง	44
	วิธีการผลิตเส้นใยนำแสง	45
	วิธีการต่อเชื่อมเส้นใยนำแสง	47
	การต่อเชื่อมถาวรด้วยการ Spicing	49
	การเชื่อมด้วย Connector	51
	เคเบิลเส้นใยนำแสง (Optic Fiber Cable)	53
บทที่ 4	การออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงงาน	54
	แบบอุปกรณ์ต้นแบบ	55
	แบบอุปกรณ์ (พัฒนาแล้ว)	58
บทที่ 5	ผลการทดลอง	59
	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบกับผลต่าง Power Loss	60
บทที่ 6	สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	61

เอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

บทที่ 2

	หน้า
รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างกฎ 3 ข้อของแสง	4
รูปที่ 2 แสดงกฎการสะท้อนกลับของแสง	5
รูปที่ 3 แสดงกฎการสะท้อนกลับของแสง	5-6
รูปที่ 4 แสดงการสะท้อนกลับหมดของแสงที่ผิวน้ำ	7
รูปที่ 5 แสดงการเดินทางของแสงภายในแกนของเส้นใยนำแสง	8
รูปที่ 6 แสดงการขยายตัวของคลื่นของผิวน้ำ	9
รูปที่ 7 แสดงการเดินทางของแสงในตัวกลางที่มีเนื้อเดียวกัน	10
รูปที่ 8 แสดงคลื่นอยู่กับที่ที่เกิดในการแกว่งเส้นเชือกที่ยึดปลายทั้งสองเอาไว้	11
รูปที่ 9 แสดงการทดลอง INTERFERENCE ของ YOUNG	12

บทที่ 3

รูปที่ 1 แสดงมุมรับแสงของเส้นใยนำแสง	16
รูปที่ 2 แสดงผลของ NA และขนาดของ CORE ที่มีต่อประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสงระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยนำแสง	17
รูปที่ 3 แสดงเส้นใยนำแสงแบบกลมและแบบระนาบแบน	18
รูปที่ 4 แสดงการสะท้อนกลับของแสงที่รอยต่อของตัวกลาง	20
รูปที่ 5 แสดงมุมสะท้อนกลับของแสงที่ทำให้เกิดคลื่นอยู่กับที่ในทิศทางของรัศมี	21
รูปที่ 6 แสดง PROPAGATION MODE ภายในเส้นใยนำแสง	22
รูปที่ 7 แสดงลักษณะการเดินทางของแสงใน CORE ของเส้นใยนำแสงแต่ละชนิด	26
รูปที่ 8 แสดงลักษณะการเดินทางของแสงใน GI FIBER	26
รูปที่ 9 แสดง PARAMETER ทางโครงสร้างของ MULTI MODE OPTIC FIBER	28
รูปที่ 10 แสดงแผนผังคุณสมบัติต่างๆ ของ PARAMETER ทางโครงสร้างของเส้นใยนำแสง	29
รูปที่ 11 แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางของ MODE FIELD	29
รูปที่ 12 แสดงสาเหตุต่างๆที่ทำให้เกิดการสูญเสียแสง	32

สารบัญรูป

บทที่ 2

	หน้า
รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างกฎ 3 ข้อของแสง	4
รูปที่ 2 แสดงกฎการสะท้อนกลับของแสง	5
รูปที่ 3 แสดงกฎการสะท้อนกลับของแสง	5-6
รูปที่ 4 แสดงการสะท้อนกลับหมดของแสงที่ผิวน้ำ	7
รูปที่ 5 แสดงการเดินทางของแสงภายในแกนของเส้นใยนำแสง	8
รูปที่ 6 แสดงการขยายตัวของคลื่นของผิวน้ำ	9
รูปที่ 7 แสดงการเดินทางของแสง ในตัวกลางที่มีเนื้อเดียวกัน	10
รูปที่ 8 แสดงคลื่นอยู่กับที่ที่เกิดในการแกว่งเส้นเชือกที่ยึดปลายทั้งสองเอาไว้	11
รูปที่ 9 แสดงการทดลอง INTERFERENCE ของ YOUNG	12

บทที่ 3

รูปที่ 1 แสดงมุมรับแสงของเส้นใยนำแสง	16
รูปที่ 2 แสดงผลของ NA และขนาดของ CORE ที่มีต่อประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสงระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยนำแสง	17
รูปที่ 3 แสดงเส้นใยนำแสงแบบกลมและแบบระนาบแบน	18
รูปที่ 4 แสดงการสะท้อนกลับของแสงที่รอยต่อของตัวกลาง	20
รูปที่ 5 แสดงมุมสะท้อนกลับของแสงที่ทำให้เกิดคลื่นอยู่กับที่ในทิศทางของรัศมี	21
รูปที่ 6 แสดง PROPAGATION MODE ภายในเส้นใยนำแสง	22
รูปที่ 7 แสดงลักษณะการเดินทางของแสงใน CORE ของเส้นใยนำแสงแต่ละชนิด	26
รูปที่ 8 แสดงลักษณะการเดินทางของแสงใน GI FIBER	26
รูปที่ 9 แสดง PARAMETER ทางโครงสร้างของ MULTI MODE OPTIC FIBER	28
รูปที่ 10 แสดงแผนผังคุณสมบัติต่างๆ ของ PARAMETER ทางโครงสร้างของเส้นใยนำแสง	29
รูปที่ 11 แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางของ MODE FIELD	29
รูปที่ 12 แสดงสาเหตุต่างๆที่ทำให้เกิดการสูญเสียแสง	32

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 การแบ่งชนิดของเส้นใยนำแสง	24
ตารางที่ 2 ค่ามาตรฐานของ PARAMETER ทางโครงสร้างของเส้นใยนำแสง ที่ CCITT แนะนำ	30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

วัตถุประสงค์

1. เพื่อทำการศึกษาลักษณะและทฤษฎีของเส้นใยนำแสง
2. เพื่อทำการศึกษาลักษณะและทฤษฎีการลดทอนของแสงในเส้นใยนำแสง
3. เพื่อทำการทดลองหารูปแบบการลดทอนของแสงในเส้นใยนำแสงที่เหมาะสมเพื่อนำไปสร้างเป็นอุปกรณ์ลดทอนสัญญาณในเส้นใยนำแสง
4. เพื่อสร้างและทดสอบคุณภาพอุปกรณ์ลดทอนสัญญาณในเส้นใยนำแสงที่สร้างขึ้นให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

ขอบเขตการทำงาน

1. ศึกษาแบบการลดทอนของแสงในเส้นใยนำแสงแบบต่างๆ
2. ทดลองหารูปแบบการลดทอนของแสงในเส้นใยนำแสงที่เหมาะสม เพื่อสร้างเป็นตัวอุปกรณ์ลดทอนของสัญญาณในเส้นใยนำแสง
3. ทดลองและบันทึกข้อมูลการทดลองของอุปกรณ์ลดทอนสัญญาณในเส้นใยนำแสงที่สร้างขึ้น
4. บันทึกข้อผิดพลาดของอุปกรณ์ลดทอนสัญญาณในเส้นใยนำแสงที่สร้างขึ้น เพื่อสร้างอุปกรณ์ตัวใหม่ที่มีคุณภาพดียิ่งกว่า

ขั้นตอนการทำงาน

ขั้นตอนที่ 1

จากการศึกษาการลดทอนของสัญญาณในเส้นใยนำแสงมีสาเหตุจากหลายประการคือ

1. การสูญเสียแสงที่เกิดจากการดูดแสง (Absorption Loss)
2. การสูญเสียแสงที่เกิดจากการกระจัดกระจายแสงแบบเรย์ลี (Raleigh Ssattering Loss)
3. การสูญเสียแสงจากการกระจัดกระจายแสง อันเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในเส้นใยนำแสง (Uniformity Loss)
4. การสูญเสียจากการกระจายแสงอันเนื่องมาจากการโค้งงอของเส้นใยนำแสง (Bending Loss)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การสูญเสียเนื่องจากการ โค้งแบบ Micro Bending

6. การสูญเสียที่เกิดจากการต่อเส้นใยนำแสง (Connection loss)

7. การสูญเสียที่เกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างเส้นใยนำแสง กับอุปกรณ์กำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสง (Coupling Loss)

แต่เนื่องจากแบบที่ 1,2,3,6 และ 7 เป็นการสูญเสียของแสงที่ขาดต่อการนำไปทดลองสร้างเป็นตัวอุปกรณ์ทำให้ขอบเขตการทำงานอยู่ที่การสูญเสียจากการกระจายแสงอันเนื่องมาจากการ โค้งของเส้นใยนำแสง (Bending Loss)และการสูญเสียเนื่องจากการ โค้งแบบ Micro Bending (การกดลงบนเส้นใยนำแสง) ซึ่งหลักการทางทฤษฎีการสูญเสียของแสงในเส้นใยนำแสง สามารถดูได้จากส่วนหลักการและทฤษฎีในบทที่ 2

ขั้นตอนที่ 2

เมื่อได้รูปแบบการลดทอนของแสงในเส้นใยนำแสงแล้วจึงสร้างอุปกรณ์ต้นแบบอย่างง่าย เพื่อหาจุดบกพร่องและนำข้อมูลที่ได้ไปสร้างอุปกรณ์ต้นแบบตัวจริง

ขั้นตอนที่ 3

สร้างอุปกรณ์ต้นแบบตัวจริงอย่างสมบูรณ์และทดสอบประสิทธิภาพ

ขั้นตอนที่ 4

สรุปการทำงานและวิจารณ์เพื่อสร้างอุปกรณ์ที่ดีกว่าต่อไป

สรุป

ในช่วงแรกได้ศึกษาการลดทอนของแสงในเส้นใยนำแสงทุกแบบพบว่า การลดทอนจากการกระจายแสงอันเนื่องมาจากการ โค้งของเส้นใยนำแสง (Bending Loss)และการลดทอนเนื่องจากการ โค้งแบบ Micro Bending (การกดลงบนเส้นใยนำแสง) เป็นรูปแบบที่มีความเป็นไปได้ที่สามารถสร้างเป็นอุปกรณ์ลดทอนของแสงในเส้นใยนำแสงได้ ดังนั้นจึงนำรูปแบบทั้งสองแบบทดลองสร้างอุปกรณ์ลดทอนสัญญาณในเส้นใยนำแสง (ATTENUATOR) ที่มีคุณภาพและประสิทธิภาพที่ดีที่สุดต่อไป

บทที่ 2

คุณสมบัติของแสง

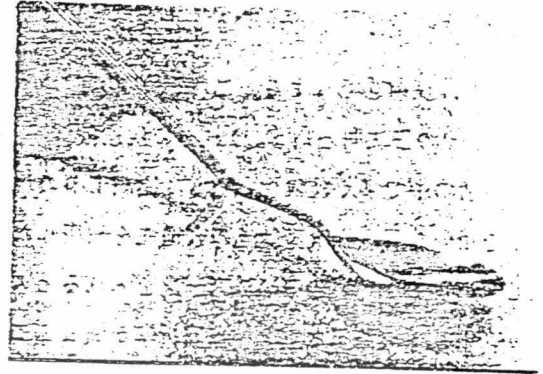
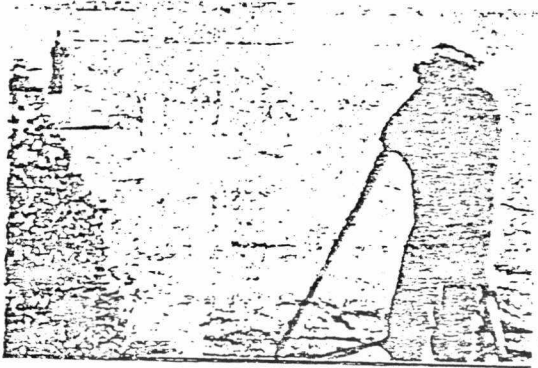
สำหรับการสื่อสารด้วยใยแสงนั้น แสงจะเป็นตัวนำพาข่าวสาร ข้อมูลต่าง ๆ จากจุดส่งไปยังจุดรับ ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติพื้นฐานของแสงที่จำเป็นในการที่จะศึกษา การเดินทางของแสงภายในเส้นใยแสงและทฤษฎีการทำงานของเลเซอร์

กฎ 3 ข้อของแสง

ในตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหของแสงค่าเดียวกันนั้น แสงจะเดินทางเป็นเส้นตรงส่วนตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหของแสงต่างกันนั้นตรงรอยต่อของตัวกลางทั้งสอง แสงจะเกิดการหักเห (REFRACTION) และเกิดการสะท้อนกลับ (REFLECTION) ปรากฏการณ์เหล่านี้แสดงคุณสมบัติการเดินทางเป็นเส้นตรงของแสง คุณสมบัติการหักเหของแสง และคุณสมบัติการสะท้อนกลับของแสง เรียกว่ากฎ 3 ข้อของแสง ซึ่งปรากฏการณ์เหล่านี้เราจะพบเห็นได้บ่อยในชีวิตประจำวัน ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 1 กล่าวคือรูปที่ 1(a) แสดงการใช้กล้องวัดระยะทางในการสร้างถนน กล้องวัดระยะทางนี้ใช้คุณสมบัติการเดินทางเป็นเส้นตรงของแสง รูป 1(b) เมื่อเอาช้อนกานาไฟใส่ลงในถ้วยแก้วที่เติมน้ำอยู่เกือบเต็ม จะมองเห็นคล้ายกับว่าช้อนกานานั้นงอเหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่า ตรงรอยต่อของน้ำ อากาศซึ่งเป็นตัวกลางที่มีดัชนีการหักเหของแสง ต่างกันนั้นแสงจะเกิดการหักเห ส่วนรูป 1(c) นั้นเป็นตัวอย่างการสะท้อนกลับของแสงคือ ภาพของทิวทัศน์จะปรากฏบนผิวน้ำและภาพที่เราเห็นตัวเราเองบนกระจกเงา ก็เป็นอีกตัวอย่างหนึ่งของการสะท้อนกลับของแสงเช่นกัน นอกจากนี้คุณสมบัติอีกอันหนึ่งที่สำคัญของแสงก็คือ ความเร็วของแสงจะต่างกันในตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหต่างกัน สำหรับความเร็วของแสงในอากาศนั้นมีค่าประมาณ 3×10^8 เมตรต่อวินาที (ค่าที่ถูกต้องก็คือ 2.9979×10^8 เมตรต่อวินาที) ซึ่งความเร็วนี้สามารถเดินทางได้รอบโลก 7.5 รอบ ในหนึ่งวินาทีส่วนตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหของแสงเป็น n นั้น แสงจะมีความเร็วลดลงเป็น $1/n$ ของความเร็วในอากาศ

อนึ่ง โดยการใช้หลักความจริงเกี่ยวกับความเร็วของแสง และทฤษฎีของ FERMA ซึ่งกล่าวว่า " ในเส้นทางต่าง ๆ ที่ต่อระหว่างจุดสองจุดนั้นแสงจะเดินทางในเส้นทางที่ใช้เวลาน้อยที่สุด " นี้นำมาอธิบายกฎ 3 ข้อของแสงที่กล่าวข้างบนได้

สำหรับกฎข้อแรกที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติการเดินทางเป็นเส้นตรงของแสงนั้น เป็นทฤษฎีของ FERMA อยู่แล้วจะไม่นำมากล่าวซ้ำอีกในที่นี้ จะกล่าวเฉพาะกฎการสะท้อนกลับของแสง และกฎการหักเหของแสงเท่านั้น



(a) แสงเดินทางเป็นเส้นตรงในตัวกลางชนิดเดียวกัน (b) การหักเหของแสงทำให้เห็นซอนงอ



(c) การสะท้อนกลับของแสงทำให้เห็นทิวทัศน์ลอยอยู่บนผิวน้ำ

รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างกฎ 3 ข้อของแสง

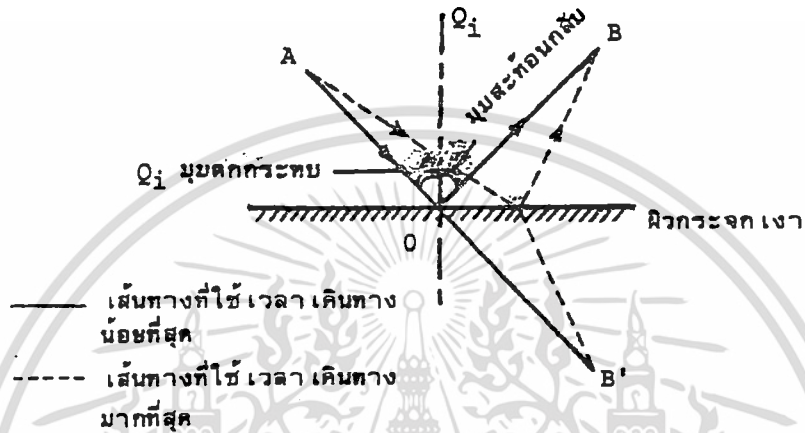
จากรูป 2 สมมติว่าแสงเดินทางจากจุด A สะท้อนกลับที่ผิวของกระจกเงาที่จุด O และเดินทางไปถึงจุด B มุมตกกระทบของแสงที่จุด O คือมุม Φ_i และมุมสะท้อนของแสงที่จุด O คือมุม Φ_r จะเท่ากัน ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า กฎการสะท้อนกลับของแสง

ในรูปที่ 2 นี้ถ้าหากพิจารณาเส้นทางเดินของแสงจากจุด A ไปยังจุด B ด้วยเวลาที่น้อยที่สุด (เส้นทางที่สั้นที่สุด) ก็คือเส้นตรง AOB' ซึ่งจุด B' อยู่ตรงกันข้ามกับจุด B ดังรูป และกรณีนี้ก็เช่นกัน มุมตกกระทบ Φ_i เท่ากับมุมสะท้อน Φ_r

สำหรับกฎการหักเหของแสงนั้นแสดงดังรูปที่ 3 รูป 3(a) นั้นเป็นกรณีที่ค่าดัชนีการหักเห $n_1 < n_2$ 3(b) เป็นกรณีที่ค่าดัชนีการหักเห $n_1 < n_2$ โดยที่สมมุติว่าแสงที่เดินทางจากต้นกำเนิดแสงเป็นลำแสงขนาน 2 อัน คือ A, A' โดยที่แสงทั้งสองเดินทางจากตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเห

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

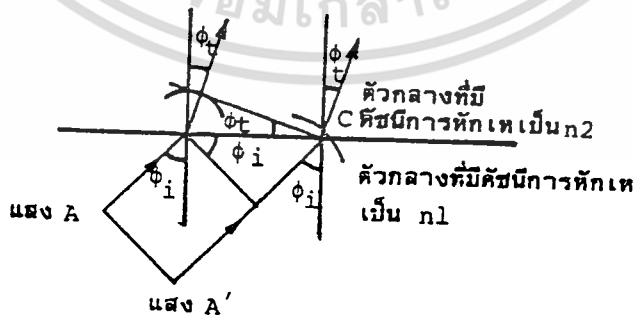
n_1 ไปยังตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเห n_2 เมื่อลำแสง A เดินทางไปถึงจุด B ที่รอยต่อของตัวกลางทั้งสองนั้นลำแสง A' ยังเดินทางไปไม่ถึงจุด C' เมื่อลำแสง A เดินทางจากตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเห n_1 ไปถึงจุด C ของตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเห n_2 นั้นเป็นเวลาพอดีกับที่ลำแสง A' เดินทางไปถึงจุด C' ที่รอยต่อของตัวกลางทั้งสอง โดยที่แสงใช้เวลาเดินทางในเส้นทาง BC และ B'C' เท่ากัน



รูปที่ 2 แสดงกฎการสะท้อนกลับของแสง

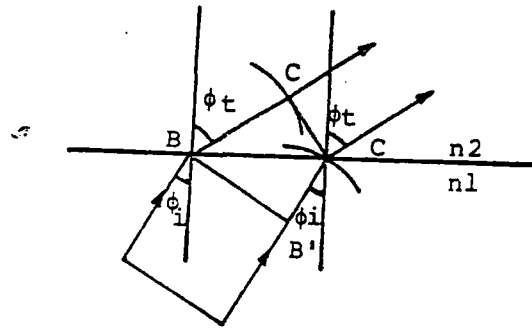
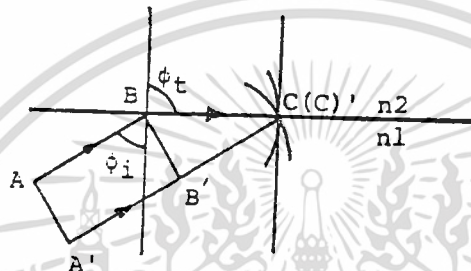
สมมติว่าความเร็วของแสงในอากาศเป็น V และให้ความเร็วของแสงในตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเห n_1, n_2 เป็น V/n_1 และ V/n_2 ตามลำดับ
จะได้ว่า

$$\frac{BC}{V/n_2} = \frac{B'C'}{V/n_1} \dots\dots\dots(1)$$



(a) กรณี $n_1 < n_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(b) กรณี $n_1 > n_2$ 

(c) กรณีสะท้อนกลับหมด (CRITICAL ANGLE)

รูปที่ 3 แสดงกฎการสะท้อนกลับของแสง

ดังนั้น ถ้ากำหนดให้ มุมตกกระทบและมุมหักเหของลำแสง A เป็น Φ_i และ Φ_t และมุมตกกระทบของลำแสง A' มีค่าเท่ากับ แล้ว จากความสัมพันธ์ทางตรีโกณ จะได้ว่า

$$BC = BC' \sin \Phi_t \quad \text{-----}(2)$$

$$B'C' = BC' \sin \Phi_t \quad \text{-----}(3)$$

โดยการใช้ (1) เราสามารถพิสูจน์ได้ว่า

$$n_1 \sin \Phi_i = n_2 \sin \Phi_t \quad \text{-----}(4)$$

(4) นี้เรียกว่ากฎของ SNELL (SNELL'S LAW)

สำหรับกรณีของรูป 3 (c) นั้นเป็นการสะท้อนกลับหมดของแสงในกรณีของ $n_1 > n_2$ ยกตัวอย่างเช่นแสงที่เดินทางจากน้ำไปยังอากาศถ้าหากมุมตกกระทบ i มีค่ามากขึ้น ๆ จะทำให้มุมหักเห t มีค่าเข้าใกล้ 90° มากขึ้น และเมื่อมุมตกกระทบ i มีค่าถึงค่าหนึ่งแล้วจะทำให้แสงไม่สามารถเดินทางเข้าไปในตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเห n_2 ได้เลยนั่นคือเกิดการสะท้อนกลับหมด

นั่นเอง ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า " การสะท้อนกลับหมด " และมุมตกกระทบที่ทำให้เกิดการสะท้อนกลับหมดนี้เรียกว่า " มุมวิกฤติ " (CRITICAL ANGLE)"

ดังนั้น ถ้าให้มุมวิกฤติเป็น Φ_C ในกรณีมุมหักเห $\Phi_t = 90$ องศา ดังนั้น $\sin \Phi_t = \sin 90^\circ = 1$ กฎของ SNELL ในกรณีเกิดการสะท้อนกลับหมดจะเป็นดังสมการต่อไปนี้

$$\sin \Phi_C = n_1 / n_2 \quad \text{-----(5)}$$

จาก (5) จะสามารถหาค่าของ Φ_C ได้

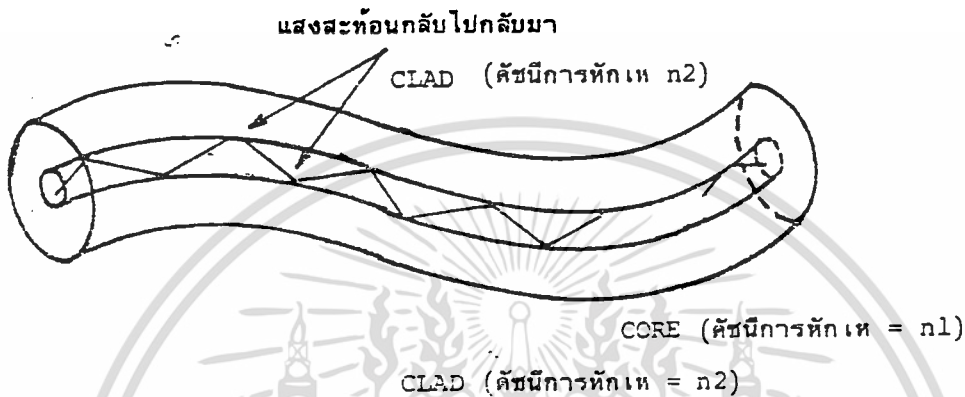
ตัวอย่างของปรากฏการณ์การสะท้อนกลับหมด แสดงดังรูปที่ 4 กล่าวคือ เมื่อดำน้ำลงไปใต้น้ำแล้วเรามองจากใต้น้ำไปยังอากาศ เนื่องจากค่าดัชนีการหักเหของน้ำมีค่าประมาณ 1.5 และของอากาศเป็น 1 จาก (5) เราจะ $\Phi_C = 42$ องศา ถ้าหากเรามองทำมุมกับผิวน้ำที่มีค่ามากกว่า 42 องศาขึ้นไป เราจะมองเห็นสิ่งต่างๆ ในอากาศได้ แต่ถ้าหากเรามองทำมุมต่ำกว่า 42 องศา แล้วเรามองไม่เห็นอะไรเลย การที่เรามองเห็นผิวน้ำในสระเป็นแสงระยิบระยับนั้นก็คือปรากฏการณ์การสะท้อนกลับหมดนั่นเอง



รูปที่ 4 แสดงการสะท้อนกลับหมดของแสงที่ผิวน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นใยแสง (FIBER) มีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 5 ประกอบด้วยส่วนใน เรียกว่า แกน (CORE) ทำด้วยสารที่ไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า (DIELECTRIC) และส่วนนอกที่หุ้มแกนอยู่นั้นเรียกว่า CLAD ทำด้วยสารที่มีดัชนีการหักเหของแสงต่ำกว่าแกนเล็กน้อย สำหรับการสื่อสารใยแสงนั้นใช้ปรากฏการณ์การสะท้อนกลับหมดของแสงที่กล่าวข้างบน โดยให้แสงเดินทางในแกนด้วยการสะท้อนกลับไปมาภายในแกนดังรูป

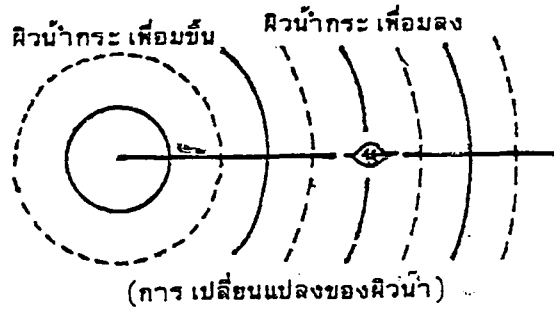


รูปที่ 5 แสดงการเดินทางของแสงภายในแกนของเส้นใยนำแสง

คุณสมบัติต่าง ๆ ของคลื่น

ในการที่จะเข้าใจการเดินทางของแสงภายในเส้นใยแสง และทฤษฎีการเกิดแสงเลเซอร์ได้นั้น นอกจากปรากฏการณ์การสะท้อนกลับหมดของแสงที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 1 ยังจำเป็นต้องรู้ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับปรากฏการณ์ของการเคลื่อนที่ของคลื่นอีกด้วย ดังนั้นในที่นี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติพื้นฐานของการเคลื่อนที่ของคลื่น ด้วยเหตุที่ว่าแสงก็เป็นคลื่นอย่างหนึ่งเหมือนกัน

อันดับแรกจะเริ่มต้นจากคลื่นที่เราพบเห็นใกล้ตัวเรามากที่สุด นั่นคือเมื่อเราเอาก้อนหินขว้างลงไปตรงกลางบ่อที่มีผิวน้ำสงบราบเรียบ เราจะเห็นว่ามันจะเกิดคลื่นที่เป็นวงกลมจากตรงกลางค่อย ๆ ขยายวงกว้างออกไปดังรูปที่ 6



(การเปลี่ยนแปลงของผิวน้ำ)

$$y = A \cos t$$

(a) รูปคลื่นที่เวลา $t = 0$



(b) รูปคลื่นที่เวลา $t = \frac{\pi}{2\omega}$



(c) รูปคลื่นที่เวลา $t = \frac{\pi}{\omega}$



ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น
ที่มองเห็น

รูปที่ 6 แสดงการขยายตัวของคลื่นของผิวน้ำ

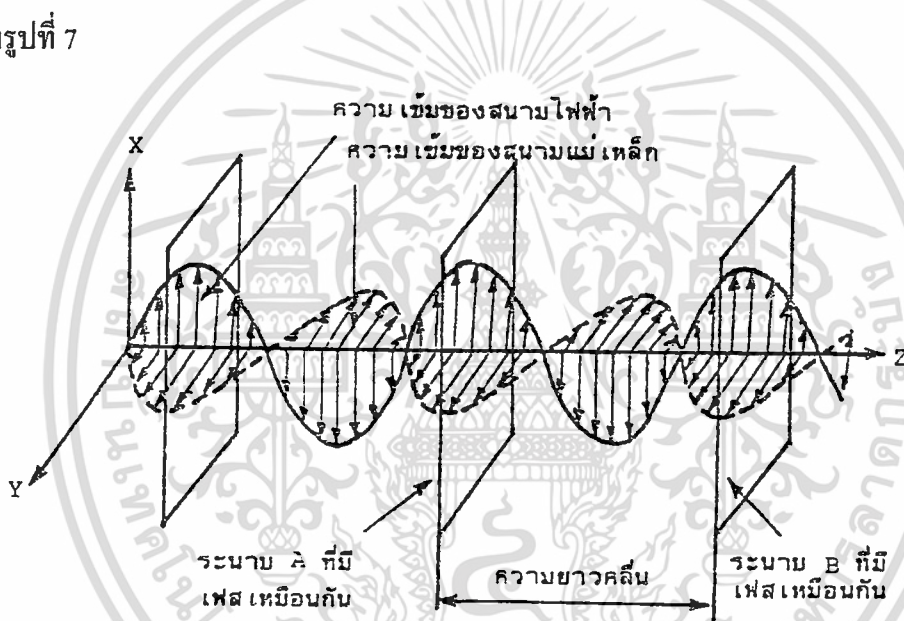
ปรากฏการณ์เช่นนี้เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของผิวน้ำตรงจุดที่ก้อนหินตกลงไปนั้น ไปทำให้ผิวน้ำบริเวณข้างเคียงเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย จนในที่สุดเกิดการเปลี่ยนแปลงของผิวน้ำขยายกว้างออกไปทั่วบ่อน้ำ

คราวนี้เราลองมาพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของผิวน้ำที่เวลาหนึ่ง โดยการพิจารณาจุดจุดต่าง ๆ บนแกน X ของรูปที่ 6 จะเห็นว่าผิวน้ำเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีระเบียบ ดังรูปที่ 6 (a) นอกจากนั้นรูปที่ 6 (b) และ 6 (c) แสดงการเปลี่ยนแปลงของผิวน้ำภายหลังจากที่เวลาค่าหนึ่งผ่านไป จะเห็นได้ว่าคลื่นเดินทางไปตามแกน X และในเวลาเดียวกันแต่ละจุดของผิวน้ำจะเกิดการกระเพื่อมขึ้นลงอย่างมีระเบียบ นั่นคือ กรณีที่เราพิจารณาดูใบไม้ที่อยู่บนผิวน้ำตรงจุด ๆ หนึ่งนั้น เราจะพบว่าใบไม้นั้นเพียงแต่สั่นขึ้นลงบนผิวน้ำเท่านั้น ไม่ได้เคลื่อนที่ตามไปกับคลื่นเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสั่นขึ้นลงของใบไม้บนผิวน้ำนี้ สามารถแสดงได้ด้วยสมการของ $A \cos wt$ ในที่นี้ A เป็นความสูงของคลื่นหรือคือขนาดของคลื่นนั่นเอง, wt เป็นเฟส (PHASE) ที่เวลา t , w เป็นความเร็วในการเปลี่ยนแปลงของ เฟสในเวลาหนึ่งวินาที ซึ่งเรียกว่า ความเร็วเชิงมุม (Angular Velocity) และการเปลี่ยนแปลงของเฟสตามเวลานี้จะเกิดซ้ำกันไปเป็นช่วง ๆ ความยาวที่คลื่นเดินทางไปในแต่ละช่วงนี้เรียกว่าความคลื่น

คลื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงแต่ละจุดตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่เหมือนอย่างคลื่นของผิวน้ำเรียกว่า คลื่นที่มี การเปลี่ยนแปลงตามขวาง (TRANSVERSE WAVE) แสงก็เป็น TRANSVERSE WAVE เช่นกัน โดยที่สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของแสงเปลี่ยนแปลงในแนวตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ ลักษณะการเดินทางของแสงในตัวกลางที่มีเนื้อเดียวกัน แสดง ดังรูปที่ 7

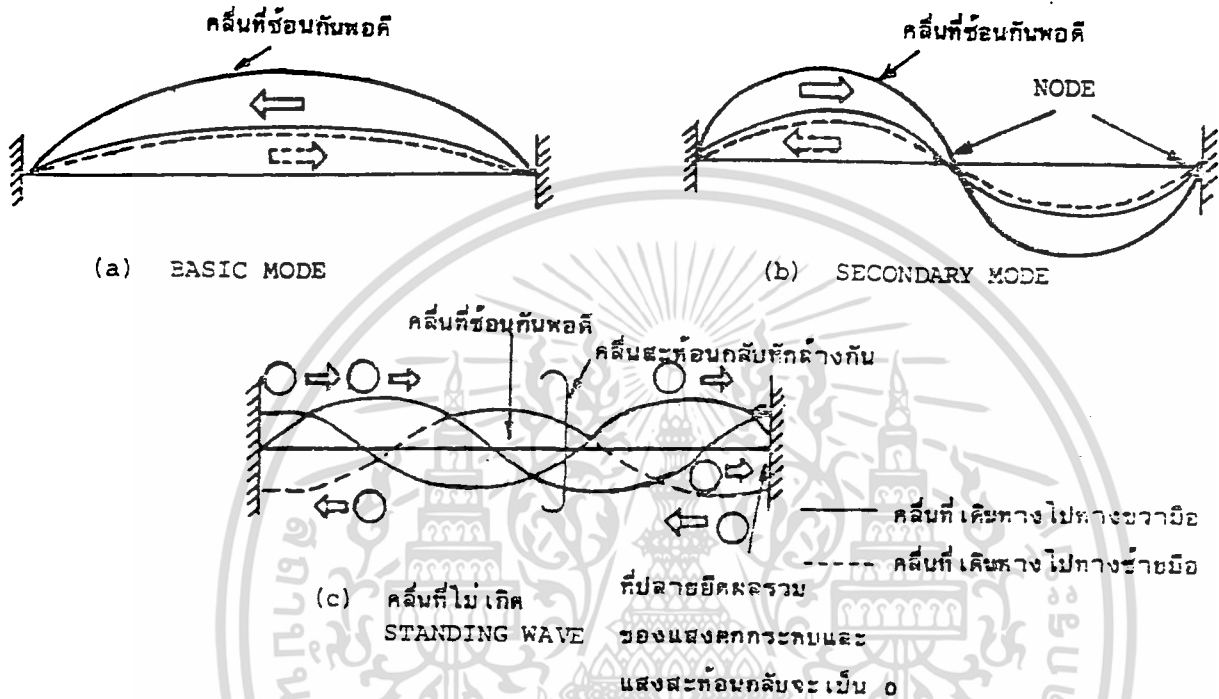


รูปที่ 7 แสดงการเดินทางของแสงในตัวกลางที่มีเนื้อเดียวกัน

จากรูปจะเห็นว่าเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของมัน เปลี่ยนแปลงในแนวตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่และพร้อมกันนั้นแสงก็เคลื่อนที่ไปด้วย องค์ประกอบสำคัญที่จำเป็นในการแสดงลักษณะการเดินทางของแสงได้แก่ ความยาวคลื่น (λ) และการเปลี่ยนแปลงของเฟสในหนึ่งความยาวคลื่นจะเป็น 360° หรือ 2π เรเดียน

คลื่นที่อยู่กับที่ (Standing Wave)

คลื่นที่กล่าวมาแล้วนั้นเป็นคลื่นที่เดินทางในที่ว่าง ไม่มีอะไรขวางกั้น คราวนี้ลองมาพิจารณาคุณสมบัติของคลื่นที่เดินทางในระหว่างผนังกั้น ตัวอย่างก็คือเส้นเชือกที่ตรึงปลายเอาไว้ ทั้งสองด้านดังแสดงในรูปที่ 8



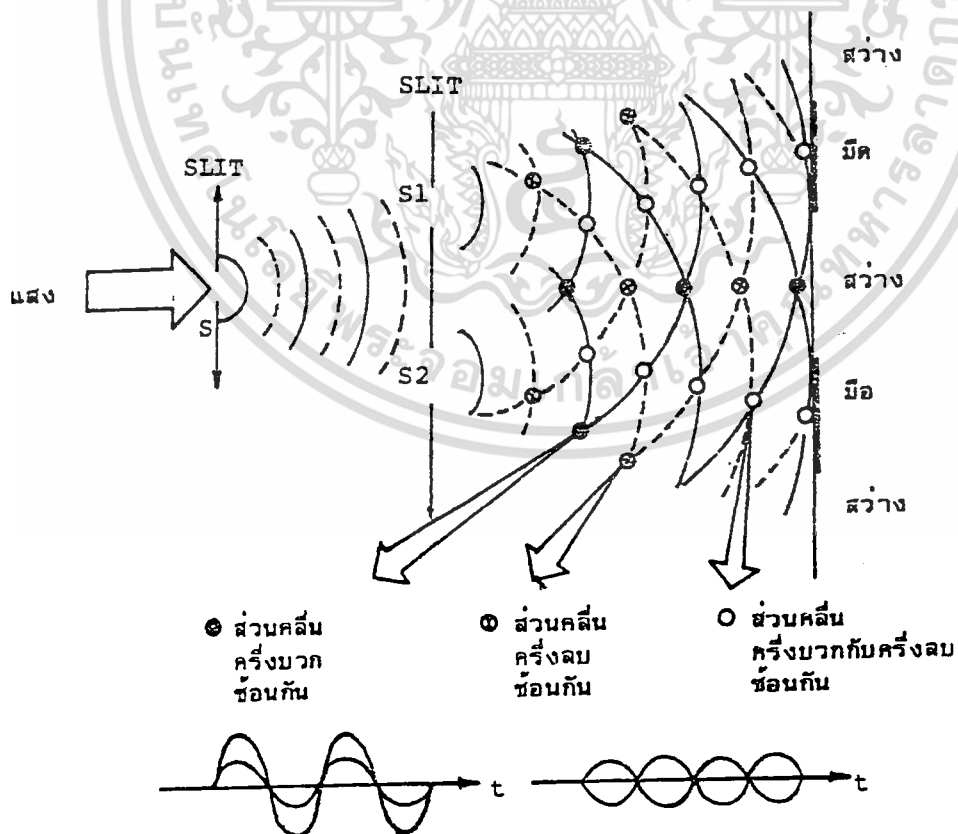
รูปที่ 8 แสดงคลื่นอยู่กับที่ที่เกิดในการแกว่งเส้นเชือกที่ยึดปลายทั้งสองเอาไว้

จากรูป คลื่นที่มีผนังกั้นไว้ทั้งสองด้านนั้นจะเกิดการสะท้อนกลับใหม่ระหว่างผนังทั้งสอง และเกิดการซ้อนกันระหว่างคลื่นที่เดินทางไปทางขวาและที่เดินทางไปทางซ้าย ปรากฏการณ์ที่คลื่นซ้อนกันนี้ เรียกว่า INTERFERENCE รูปที่ 8 (a) นั้นเป็นคลื่นที่มีความยาวของครึ่งคลื่น (HALF WAVE LENGTH) เท่ากับความยาวของเชือก ส่วนรูปที่ 8 (b) นั้นเป็นคลื่นที่มีจำนวนเท่าที่เป็นเลขเต็มหน่วย (2,3,4,5 ---) ของครึ่งคลื่นเท่ากับ ความยาวของเชือกทั้งรูปที่ 8(a) และ 8 (b) คลื่นจะเสริมกันส่วนรูปที่ 8(c) นั้นเป็นกรณีตรงกันข้ามกล่าวคือความยาวคลื่นไม่เท่ากับ ความยาวของเชือกจากการเกิดการสะท้อนกลับ ไปมาของคลื่น 1-->2->3-- ทำให้เฟสของการแกว่งของเชือกที่จุดต่าง ๆ มีค่าแตกต่างกันอย่างสะเปะสะปะ (RANDOM) ทำให้ขนาดรวมของคลื่นซ้อนเป็น 0 จากผลเหล่านี้ทำให้เห็นได้ว่า สำหรับการแกว่งเชือกจะเกิดคลื่นเฉพาะที่มีความยาวคลื่น เหมาะสมเท่านั้น และคลื่นอย่างนี้จะอยู่กับที่ ไม่เคลื่อนที่ไปทางใด

ทางหนึ่งจึงเรียกว่า คลื่นอยู่กับที่ (STANDING WAVE) และลักษณะการสั่นของเชือกตามคลื่นอยู่กับที่แต่ละอันนั้นเรียกว่า MODE รูป 8(a) เรียกว่า BASIC MODE รูปที่ 8(b) เรียกว่า SECOND MODE อนึ่งปลายทั้งสองของเชือกและตรงกึ่งกลางของรูปที่ 8(b) เรียกว่า NODE ซึ่งขนาดของมันเป็น 0 และไม่เคลื่อนที่ไปตามเวลา ปรากฏการณ์ที่คลื่นสะท้อนกลับไปมาและ INTERFERENCE กันจนเกิด STANDING WAVE ต่าง ๆ ขึ้นมานี้ เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการที่จะช่วยทำให้เข้าใจเรื่อง MODE ของการเดินทางของแสงในเส้นใยแสงและทฤษฎีการทำงานของเลเซอร์

COHERENCE ของแสง

ในการแสดงขนาดการ INTERFERENCE ของแสงนั้นส่วนมากนิยมใช้คำว่า COHERENCE เพื่อเป็นการตรวจสอบเกี่ยวกับคุณสมบัติ INTERFERENCE ของแสงจะขออ้างถึงการทดลองของ YOUNG นั้น ใช้หลอดไฟที่มีเฟสไม่เหมือนกันมาทำให้เกิด INTERFERENCE กล่าวคือให้แสงที่ออกจากแหล่งกำเนิดแสงไปผ่าน SLIT (ช่อง) S จากนั้นเมื่อแสงผ่าน SLIT S_1 และ SLIT S_2 แล้ว แสงที่ผ่าน SLIT S_1 และ SLIT S_2 จะเกิด INTERFERENCE กันทำให้เกิดแถบสว่าง, มีดสลับกันบนจอ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ในการใช้งานเพื่อประโยชน์ส่วนตน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 หน้าที่ 9 แสดงการทดลอง INTERFERENCE ของ YOUNG
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีนี้ ถ้าหากต้นกำเนิดแสงที่จะ INTERFERENCE ใช้หลอดไฟต่างกันคนละดวงแล้วจะไม่เกิดแถบสว่างมืดสำหรับ SEMICONDUCTOR LASER ที่จะได้กล่าวถึงในภายหลังนั้น เป็นต้นกำเนิดแสงประดิษฐ์ที่มีเฟสเหมือนกัน เพราะการกระตุ้นให้เกิดแสงของอะตอมนั้น เกิดขึ้นที่เฟสเดียวกัน กรณีที่เฟสของแสงเหมือนกันในระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ เรียกว่า SPACE COHERENT LIGHT เส้นใยแสงเป็นตัวกลางที่ทำการส่งสัญญาณแสงด้วย mode การเดินทาง (PROPAGATION MODE) ที่เกิดจากผลของ INTERFERENCE ของแสงที่จุดต่างๆ ภายใน CORE ของเส้นใยแสง ดังนั้นต้นกำเนิดแสงเลเซอร์ที่มีคุณสมบัติเป็น SPACE COHERENT LIGHT จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงส่วนต้นกำเนิดแสงที่ไม่มีคุณสมบัติเป็น SPACE COHERENT LIGHT (INCOHERENT) เช่นหลอดไฟที่ใช้ตามบ้านทั่วไปนั้น ไม่สามารถนำมาใช้เป็นต้นกำเนิดแสงของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงได้

อนึ่ง ในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง ในการป้องกันแสงจากอุปกรณ์ต้นกำเนิดแสงเข้าไปในเส้นใยแสงนั้น มีปัญหาเกี่ยวกับปรากฏการณ์เบี่ยงเบนของแสง กล่าวคือแสงจะกระจายกว้างออกไปทำให้ประสิทธิภาพการป้องกันแสงเข้าไปในเส้นใยแสงไม่ดี เพื่อแก้ปัญหานี้ต้องใช้เลนส์ทำการรวมแสง เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการป้องกันแสงเข้า CORE ขนาดเล็กของเส้นใยแสงได้ดี

นอกจาก SPACE COHERENCE ที่กล่าวมาแล้ว ยังมีอีกสิ่งหนึ่งที่ช่วยทำให้ COHERENCE ของแสงสูงขึ้น สิ่งนั้นคือการมีความยาวคลื่นเดียว (UNITY WAVE LENGHT) แสงที่เกิดต่อเนื่องกันโดยมีเพียงความยาวคลื่นเพียงอันเดียวนั้นเรียกว่า TIME COHERENT LIGHT ในการทดลองของ YOUNG นั้น ถ้าหากแสงมี TIME COHERENCE สูงมากเท่าไรแถบสว่างมืดที่เกิดขึ้นจะชัดเจนมากเท่านั้นตัวอย่างของต้นกำเนิดแสงที่ไม่เป็นทั้ง SPACE และ TIME COHERENT LIGHT คือ ดวงไฟที่ใช้ตามบ้าน กล่าวคือมันจะมีแสงที่มีความยาวคลื่นต่างๆ เป็นต้นว่า ความยาวคลื่นของสีแดง, สีเหลือง, สีเขียว, สีน้ำเงิน และอื่น ๆ รวมซ้อนกันจนมองดูคล้ายกับเป็นสีขาว

สำหรับแสงที่เป็นทั้ง SPACE และ TIME COHERENC อย่างเลเซอร์นั้น ไม่มีอยู่ในธรรมชาติ แสงเลเซอร์เป็นต้นกำเนิดแสงประดิษฐ์อันแรกที่สามารถให้แสงที่เป็น SPACE COHERENCE และ TIME CHOERENCE ซึ่งเป็นต้นกำเนิดแสงที่มีบทบาทอย่างมากในการนำไปใช้งานในการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงในปัจจุบันถ้าหากว่าต่อไปในอนาคตการวิจัยเกี่ยวกับ SEMI CONDUCTOR LASER สามารถทำให้ได้แสงที่เป็น TIME COHERENCE อย่างสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วละก็ จะทำให้ได้ระบบการสื่อสารที่ใช้การเปลี่ยนแปลงของเฟสของแสง แทนการสื่อสารที่ใช้การเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงที่ใช้อยู่ในขณะนี้ ทฤษฎีการสื่อสารใยแสงที่ใช้แสงซึ่งเป็น TIME COHERENT LIGHT เรียกว่า COHERENT LIGHT TRANSMISSION ซึ่งจะได้กล่าวถึงรายละเอียดของมันในบทที่ 10 ในปัจจุบัน ผลการวิจัยได้ผลก้าวหน้ามากและถือว่าเป็นเทคโนโลยีการส่งข่าวสารจำนวนมากสำหรับอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



บทที่ 3 เส้นใยนำแสง

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงลักษณะการเดินทางของแสงในเส้นใยนำแสง คุณสมบัติการส่งแสง การสร้างเส้นใยแสง วิธีการต่อเชื่อมเส้นใยแสง และอื่น ๆ ที่เป็นความรู้พื้นฐานของเส้นใยแสง

เส้นใยนำแสงคืออะไร

เส้นใยนำแสงคือ เส้นใยขนาดเล็กที่ทำหน้าที่เป็นตัวนำแสง โครงสร้างของเส้นใยนำแสง ประกอบด้วยส่วนที่แสงเดินทางผ่านเรียกว่า 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% และอาจปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมดของแสงดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 สามารถทำให้แสงที่ป้อนเข้าไปใน CORE เดินทางไปได้ นอกจากนั้นเนื่องจากกล่าวกันว่าเส้นใยนำแสงมีขนาดเล็กมากขนาดเท่าเส้นผม นั่นหมายถึงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอกของ CLAD ซึ่งมีขนาดประมาณ 0.1 มม. ส่วน CORE ที่แสงเดินทางผ่านนั้นมีขนาดเล็กลงไปอีกคือประมาณหลาย μm ~ หลายสิบล μm (1 μm = 10^{-3} mm) ซึ่งมีค่าหลายเท่า ~ หลายสิบลเท่าของความยาวคลื่นของแสงที่ใช้ งาน ค่าต่าง ๆ เหล่านี้เป็นค่าที่กำหนดขึ้นจากคุณสมบัติการส่งและคุณสมบัติทางเมคานิกส์ที่ต้องการ เส้นใยนำแสงนอกจากมีคุณสมบัติการส่งดีเยี่ยมแล้วยังมีลักษณะเด่นอย่างอื่นอีกเช่น ขนาดเล็ก น้ำหนักเบาอีกด้วย

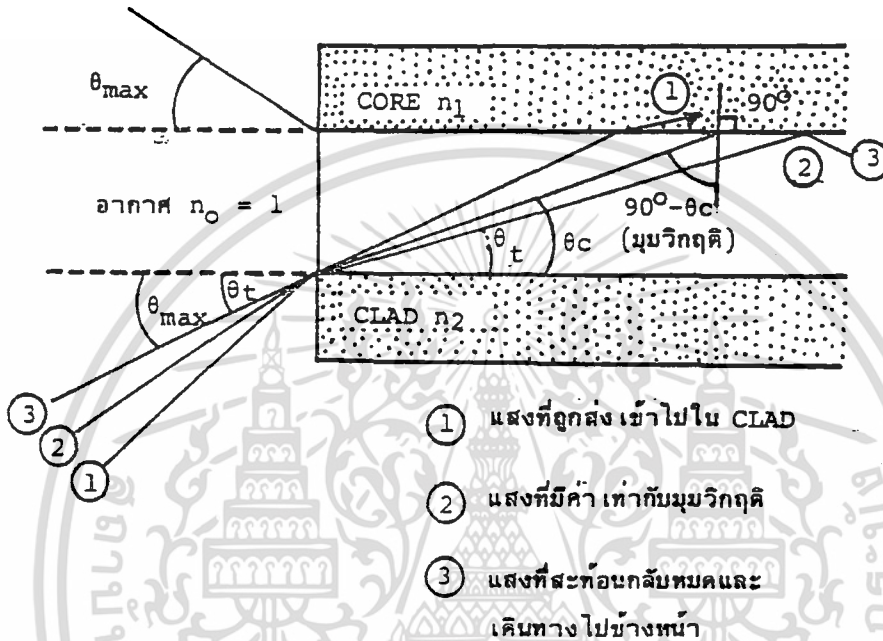
ลักษณะการเดินทางของแสงภายในเส้นใยนำแสง

ปัญหาอันดับแรกที่ต้องคำนึงถึงก็คือ ทำอย่างไรจึงจะสามารถป้อนแสงเข้าไปใน CORE ที่มีขนาดเล็กมากของเส้นใยนำแสงได้ และเมื่อป้อนแสงเข้าไปแล้ว แสงนั้นจะเดินทางอย่างไรใน CORE ซึ่งเราจะทำการศึกษาดังปัญหาพื้นฐานเหล่านี้

การป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยนำแสง

เนื่องจากว่าแสงที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงนั้น จะกระจายกว้างออกเนื่องจากปรากฏการณ์การเบี่ยงเบนของแสงตามที่ได้กล่าวมาแล้วในการที่จะป้อนแสงเข้าไปใน CORE ที่

มีขนาดเล็กมากนั้นต้องใช้เลนส์ทำการรวมแสง แต่ทว่าแสงที่รวมนั้นไม่ใ้ช้ว่าจะถูกป้อนเข้าไปในเส้นใยนำแสงได้ทั้งหมด แสงที่มีมุมตกกระทบที่เหมาะสมเท่านั้นจึงจะสามารถเข้าไปในเส้นใยนำแสงได้ รูปที่ 1 แสดงมุมรับแสงของเส้นใยแสง จากรูปจะเห็นว่าที่จุดป้อนแสงของใยนำแสงนั้นจะเป็นจุดต่อของตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหของแสงต่าง กัน 3 ชนิด



รูปที่ 1 แสดงมุมรับแสงของเส้นใยนำแสง

ตัวกลางทั้ง 3 ชนิดนี้คืออากาศ CORE ของเส้นใยนำแสง และ CLAD ของเส้นใยนำแสงถ้าให้ค่าดัชนีการหักเหของแสงของตัวกลางทั้ง 3 ชนิดเป็น n_0 ($n_0 = 1$), n_1 และ n_2 ตามลำดับ จะเกิดการหักเห, การสะท้อนกลับของแสงที่รอยต่อของอากาศกับ CORE และ CORE กับ CLAD ในที่นี้ให้มุมรับแสงของเส้นใยนำแสงที่มีค่ามากที่สุดเป็น θ_{max} จากรูป 1 จะเห็นว่าอย่างเช่นลำแสง 2 นั้นมุมรับแสงตรงรอยต่อของ CORE กับ CLAD นั้นมีค่าเป็นมุมวิกฤติ (CRITICAL ANGLE) ตรงรอยต่อของอากาศกับ CORE และของ CORE กับ CLAD นั้นจากกฎของ SNELL จะได้ว่า

$$\sin \theta_{max} = n_1 \sin \theta \dots\dots\dots(1)$$

$$\sin (90^\circ - \theta_c) = \cos \theta_c = n_2/n_1 \dots\dots\dots(2)$$

ดังนั้นกรณีที่มีมุมรับแสง θ_{\max} มีค่าสูงสุดได้ $n_1 = n_2$ จากสมการ (1) และ (2) จะได้ว่า

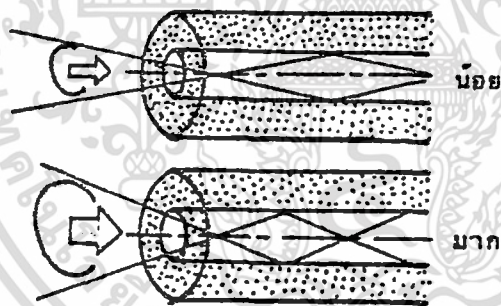
$$\sin \theta_{\max} = \sqrt{\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1^2}} = n_1 \sqrt{2\Delta} \dots\dots\dots(3)$$

ในที่นี้
$$\Delta = \frac{(n_1 - n_2)}{n_1}$$

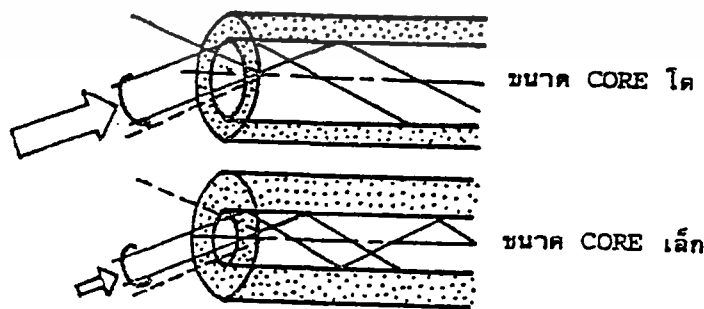
เรียกว่า อัตราส่วนของผลต่างของดัชนีการหักเหของแสง

สำหรับ $\sin \theta_{\max}$ นี้ตามศัพท์เทคนิคของวิชาแสงเรียกว่า NUMERICAL APERTURE เขียนย่อว่า "NA" หมายถึงขนาดของการเปิดรับให้แสงผ่าน และใช้เป็นตัวเลขแสดงเงื่อนไขการป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยนำแสง นอกจากนี้ยังถือเป็นตัวประกอบพื้นฐานอันหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสง ระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยนำแสงด้วย ยกตัวอย่างเช่น สมมุติว่าเส้นใยนำแสงมี $n_1 = 1.475$ และ $n_2 = 1.46$ (ค่าอัตราส่วนผลต่างของดัชนีการหักเหของแสง = 1%) ในกรณีนี้มีค่า NA = 0.21 รูปที่ 2 แสดงความหมายของ NA และขนาดของ CORE ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสงระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยนำแสง

จากรูปจะเห็นว่าถ้าหากขนาดของ CORE และ NA มีค่าคงที่แล้วจะกำหนดปริมาณของแสงที่ป้อนเข้าไปใน CORE ได้ทันทีที่เส้นใยนำแสงที่มี CORE ขนาดใหญ่และมีค่า NA มากจะมีประสิทธิภาพการเชื่อมต่อระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยนำแสงสูงมาก



(a) กรณีขนาด CORE ใดเท่ากันแต่ค่า NA ต่างกัน

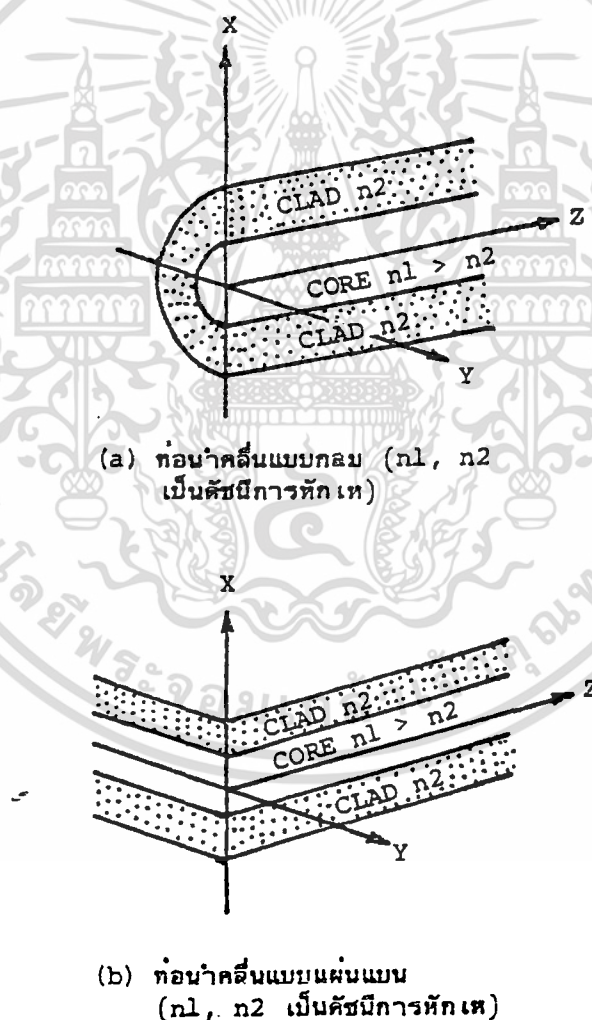


(b) กรณีค่า NA เท่ากันแต่ขนาด CORE ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ รูปที่ 2 แสดงผลของ NA และขนาดของ CORE ที่มีต่อประสิทธิภาพ ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
การเชื่อมต่อแสงระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยนำแสง

MODE การเดินทางของแสงภายในเส้นใยนำแสง (Propagation Mode)

แสงที่ป้อนเข้าไปในเส้นใยนำแสงด้วยค่าของมุมรับแสงที่อยู่ในช่วงของมุมรับแสงสูงสุด นั้นแสงจะเดินทางในเส้นใยนำแสงด้วยลักษณะที่เกิดการสะท้อนกลับไปมาตรงรอยต่อของ CORE กับ CLAD โดยที่สะท้อนกลับไปมาและเคลื่อนที่ไปข้างหน้าพร้อมกันด้วย แต่ทว่าจาก INTERFERENCE ของแสงภายใน CORE นั้น มุมสะท้อนกลับที่รอยต่อจะเกิดขึ้นได้จำเป็นต้องมีเงื่อนไขที่เหมาะสมนี้จะได้อธิบายในหัวข้อต่อไปนี้ และเพื่อเป็นการช่วยให้เข้าใจได้ง่าย จะใช้เส้นใยแสงที่มีรูปร่างเป็นแผ่นแบนดังแสดงในรูปที่ 3 (b) แทนลักษณะเส้นใยนำแสงที่มีรูปร่างกลมดังรูปที่ 3(a) และอีกอย่างหนึ่งเพื่อทำให้การอธิบายเกี่ยวกับสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของแสงง่ายขึ้นจะพิจารณาเฉพาะสนามไฟฟ้าเท่านั้น



รูปที่ 3 แสดงเส้นใยนำแสงแบบกลมและแบบระนาบแบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) INTERFERENCE ของแสงตกกระทบและแสงสะท้อนกลับ

แสงที่รอยต่อของตัวกลางแสดงดังรูปที่ 4(a) และลำแสงนี้เป็นเสมือนตัวแทนของทิศทางเดินของแสงที่สนามไฟฟ้าของมัน มีการเปลี่ยนแปลงตามจุดต่าง ๆ ใน CORE ของเส้นใยนำแสงรูปที่ 4(b) แสดงการพิจารณาถึงระนาบที่มีเฟสเหมือนกันของสนามไฟฟ้า ซึ่งระนาบที่มีเฟสเหมือนกันของแสงตกกระทบและของแสงสะท้อนกลับจะซ้อนกัน (เป็นไปตามปรากฏการณ์ของการเกิดคลื่นอยู่กับที่) ดังนั้นแสงตกกระทบและแสงสะท้อนกลับจะเกิดการ INTERFERENCE กันที่จุดต่าง ๆ ใน CORE

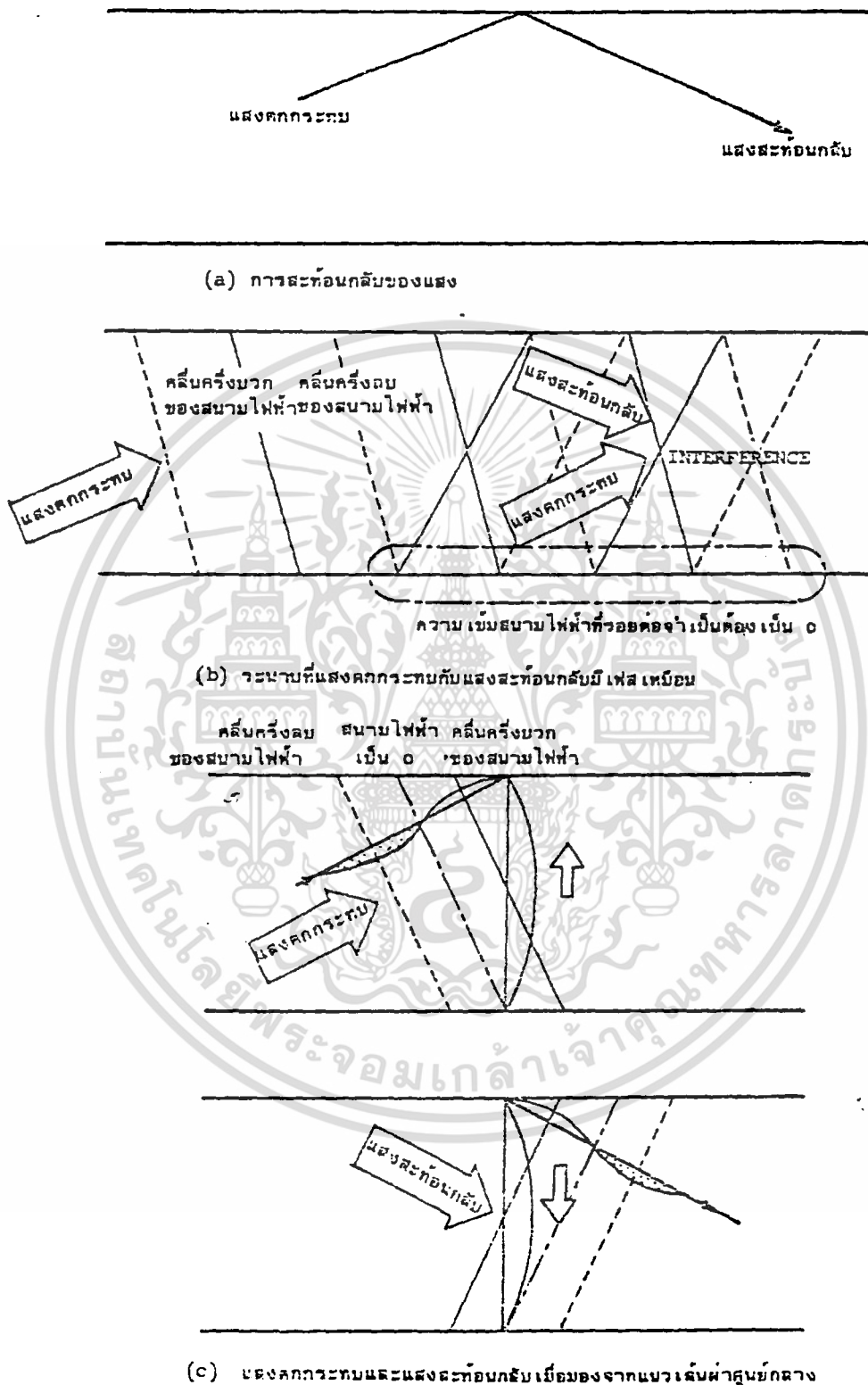
(2) เงื่อนไขที่รอยต่อของตัวกลาง

แสงที่สะท้อนกลับหมดที่รอยต่อของตัวกลางพร้อมทั้งเดินทางไปด้วยนั้น สนามไฟฟ้าของแสงจำเป็นต้องอยู่ภายใน CORE ด้วย ดังนั้นที่รอยต่อของตัวกลาง, ความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เกิดจากการ INTERFERENCE ของแสงตกกระทบและแสงสะท้อนกลับจะต้องเป็น 0 ด้วย

แต่เนื่องจากเส้นใยนำแสงที่ผลิตขึ้นมา นั้น $n_1 = n_2$ ดังนั้นจะมีสนามไฟฟ้าจำนวนหนึ่งปรากฏที่ CLAD ด้วยเหมือนกันแต่สำหรับในที่นี้เพื่อให้การอธิบายง่ายขึ้นจึงสมมติว่าสนามไฟฟ้าที่ CLAD เป็น 0

(3) คลื่นอยู่กับที่ในทิศทางของรัศมี

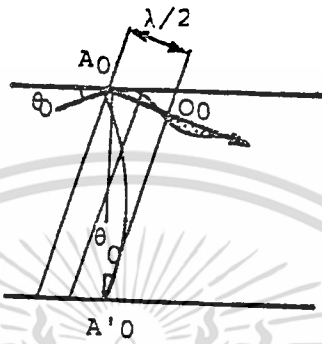
เพื่อให้เงื่อนไขที่รอยต่อของตัวกลางที่กล่าวไว้ใน (2) เป็นจริงได้นั้นจำเป็นต้องมีคลื่นอยู่กับที่ (ซึ่งเกิดจาก INTERFERENCE ของแสงตกกระทบกับแสงสะท้อนกลับ) ในทิศทางของรัศมีรูป 4(c) เป็นรูปที่แสดงการเปลี่ยนแปลงทางเฟสของความเข้มของสนามไฟฟ้าตามการเดินทางของแสงตกกระทบและแสงสะท้อนกลับ ซึ่งมองในทิศทางรัศมีและจะเห็นว่ามีการซ้อนกันของคลื่นที่มีทิศทางสวนกัน ปรากฏการณ์นี้เหมือนกับปรากฏการณ์ที่เกิดคลื่นอยู่กับที่ในเชือกที่ตรึงปลายทั้งสองเอาไว้ ดังนั้นระหว่างที่แสงเดินทางเป็นระยะทางเห็นจำนวนเท่าของเลขเต็มหน่วยของครึ่งความยาวคลื่น ($\lambda/2$) ดังแสดงในรูปที่ 5(a) และ (c) นั้นจะเกิดคลื่นอยู่กับที่ในทิศทางของรัศมีในกรณีที่แสงมีมุมสะท้อนกลับมีค่าเป็นจำนวนเท่าของเลขเต็มหน่วยของมุม 180° ของความเข้มสนามไฟฟ้าตามทิศทางของรัศมีส่วนรูป 5(b) นั้นเป็นกรณีตรงกันข้ามกล่าวคือแสงที่มีมุมสะท้อนกลับมีค่า



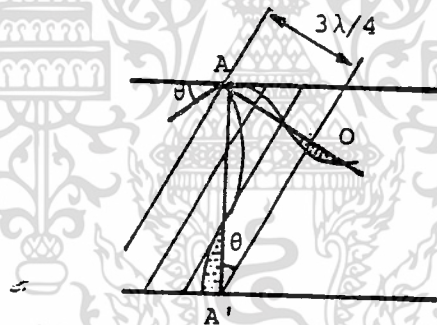
รูปที่ 4 แสดงการสะท้อนกลับของแสงที่รอยต่อของตัวกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

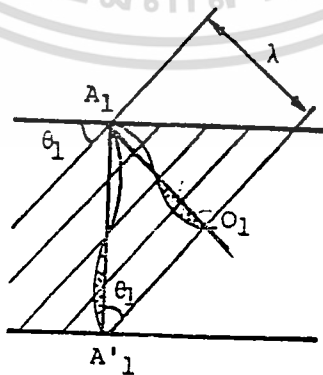
$\theta_0 < \theta$ จะไม่เกิดคลื่นอยู่กับที่ในทิศทางของรัศมี ตามที่กล่าวมาแล้วนี้สามารถสรุปได้ว่ามุมสะท้อนกลับของแสงที่เดินทางไปได้ภายในเส้นใยนำแสงนั้นมีค่าจำกัดเป็นพิเศษเฉพาะบางค่าเท่านั้น



(a) เมื่อแสงที่มีมุมสะท้อนกลับ θ_0 เคลื่อนที่ไป $\lambda/2$ เฟสของความเข้มสนามไฟฟ้าระหว่าง $A_0 \rightarrow A'_0$ จะเปลี่ยนไป 180°



(b) ไม่มีคลื่นอยู่จริงในแนว เส้นผ่าศูนย์กลาง

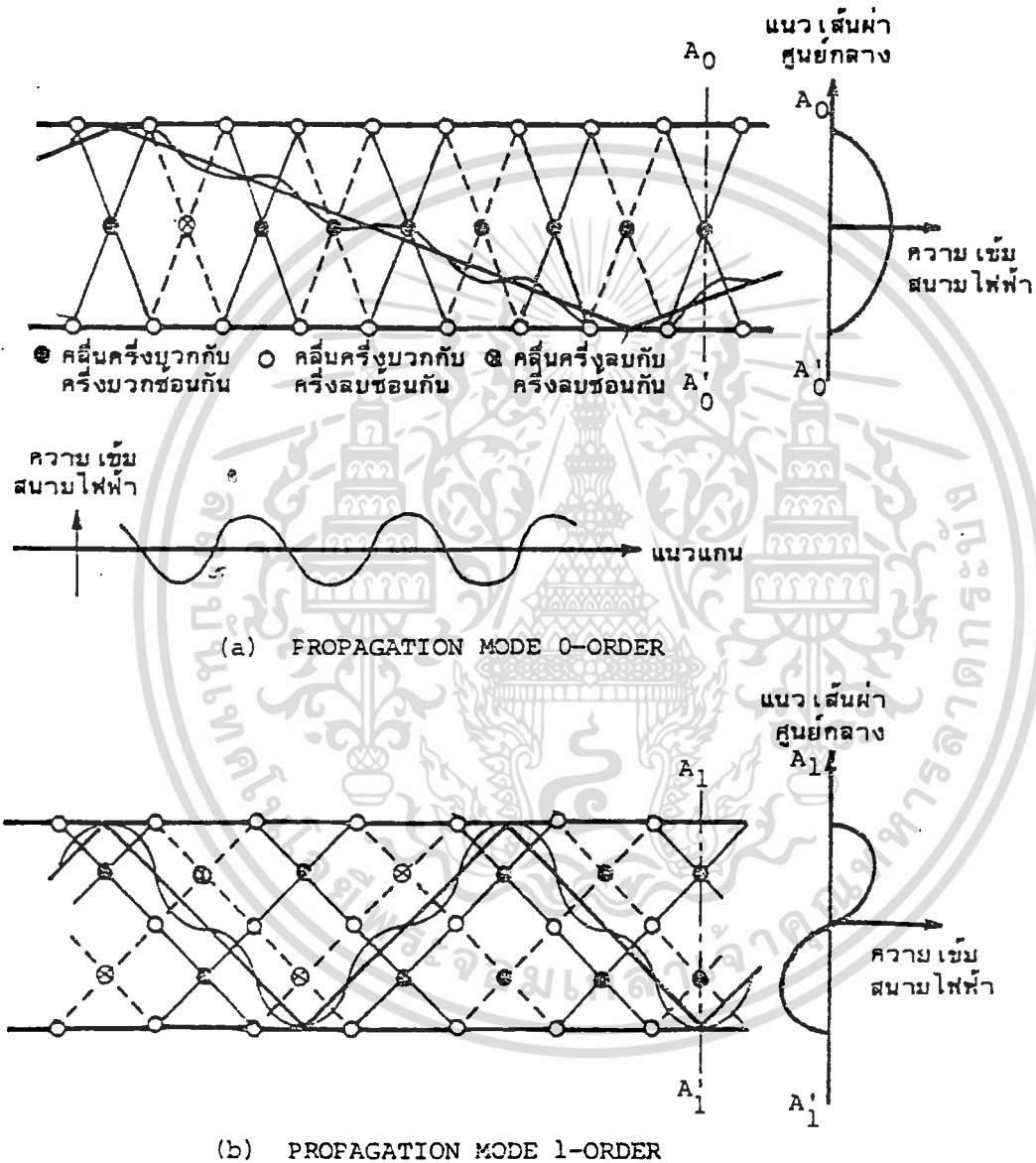


(c) เฟสของความเข้มสนามไฟฟ้าในแนว เส้นผ่าศูนย์กลาง เปลี่ยนแปลง 180°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 5 แสดงมุมสะท้อนกลับของแสงที่ทำให้เกิดคลื่นอยู่กับที่ในทิศทางของรัศมี

(4) โหมดการเดินทางของแสง (PROPAGATION MODE)

รูปที่ 6 แสดงลักษณะของความเข้มของสนามไฟฟ้าภายใน CORE ของเส้นใยนำแสงที่เกิดขึ้นจากการ INTERFERENCE ของแสงตกกระทบและแสงสะท้อนที่มีค่ามุมสะท้อนกลับเป็นพิเศษเฉพาะ



รูปที่ 6 แสดง PROPAGATION MODE ภายในเส้นใยนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตัวอย่างทั้งสองของรูป 6 จะเห็นได้ว่าเป็นการแสดง INTERFERENCE ของแสงที่มีมุมสะท้อนกลับเป็นพิเศษเฉพาะ ซึ่งทำให้ความเข้มของสนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง 180° 360° ในทิศทางของรัศมีลักษณะการเดินทางของแสงที่มีการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าเป็นพิเศษเฉพาะภายใน CORE ของเส้นใยนำแสงนี้เรียกว่า PROPAGATION MODE ของแสงจำนวน PROPAGATION MODE ของแสงภายในเส้นนำใยแสงมีค่าจำกัดตามเงื่อนไขของการสะท้อนกลับหมดและนิยามตั้งชื่อ MODE ตามลำดับจาก PROPAGATION MODE ที่มีค่ามุมสะท้อนกลับน้อยไปหามากคือ MODE 0, MODE 1, MODE 2,MODE (N - 1)

จำนวน PROPAGATION MODE

MODE ที่สูงที่สุดของ PROPAGATION MODE คือ (N - 1) นั้นเป็น PROPAGATION MODE ที่มีมุมสะท้อนกลับใกล้เคียงกับมุมวิกฤติ ดังนั้นถ้าหากให้ PROPAGATION MODE NUMBER N มีค่ามุมสะท้อนกลับเท่ากับมุมวิกฤติ θ_c

จากรูปที่ 5 จะได้ว่า N เป็นเลขเต็มหน่วยสูงสุดที่ทำให้

$$2a \sin \theta_c \geq N \cdot \lambda / 2 \quad (\text{โดยที่ } N=0,1, \dots, N-1) \dots\dots\dots(4)$$

ในที่นี้ 2a เป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ CORE ของเส้นใยนำแสง

$$\lambda = \lambda_0 / n_1 \dots\dots\dots(5)$$

ดังนั้น
$$N \leq 4a / \lambda \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \dots\dots\dots(6)$$

ตัวอย่างเช่น เมื่อ $n_1 = 1.475$, $n_2 = 1.46$, $2a = 50 \mu\text{m}$ และความยาวคลื่นแสงที่ใช้มีค่า $\lambda = 1.3 \mu\text{m}$ จากสมการ (6) เราจะหาจำนวน PROPAGATIONMODE N ได้ = 16 เส้นใยนำแสงที่มีจำนวน PROPAGATION MODE จำนวนมากอย่างนี้เรียกว่า MULTIMODE OPTIC FIBER

อนึ่ง ถ้าให้ $n_1 = 1.463$, $n_2 = 1.46$, $2a = 10 \mu\text{m}$ และความยาวคลื่นแสงที่ใช้มีค่า $\lambda = 1.3 \mu\text{m}$ จะได้ $N = 1$ ในกรณีที่ $N = 1$ นั้นหมายความว่า มีเพียง PROPAGATION MODE 0 เท่านั้นที่เดินทางไปได้ในเส้นใยแสง และเส้นใยนำแสงที่มี PROPAGATION MODE เพียงอันเดียวเดินทางไปได้นั้นเรียกว่า SINGLE MODE OPTIC FIBER

จากสมการ (6) จะเห็นว่าจำนวน PROPAGATION MODE (N) ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น (λ) ดังนั้นที่ค่าความยาวคลื่นค่าหนึ่ง N จะเป็น SINGLE MODE และที่ค่าความยาวคลื่นอื่นซึ่งมีค่าน้อยกว่าความยาวคลื่นนี้แล้ว N จะไม่เป็น SINGLE MODE นี้เรียกว่า “ CUT-OFF WAVE LENGTH “ ใช้สัญลักษณ์ λ_c และจากสมการ (6) สามารถเขียนได้ว่า

เท่าที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดตั้งแต่ต้นเป็นเรื่องเกี่ยวกับเส้นใยนำแสงที่สมมุติว่าเป็นแผ่นแบน แต่เส้นใยนำแสงที่ใช้งานจริงนั้นเป็นเส้นกลม ดังนั้นจึงต้องเปลี่ยนแปลงสมการ (7) ใหม่ดังนี้ สำหรับ λ_c นั้นถือเป็นองค์ประกอบสำคัญอันหนึ่งในการแสดงคุณสมบัติของเส้นใยนำแสงที่เป็น SINGLEMODE OPTIC FIBER ยกตัวอย่างเช่นเมื่อเส้นใยนำแสงมี $n_1 = 1.463$, $n_2 = 1.46$, $2a = 10 \mu\text{m}$ จะได้ $\lambda_c = 1.22 \mu\text{m}$ ซึ่งหมายถึงว่าความยาวคลื่นอื่นที่มีค่าต่ำกว่า $1.22 \mu\text{m}$ แล้ว PROPAGATION MODE SINGLE จะไม่เป็น MODE

ชนิดของเส้นใยนำแสง

วิธีการแบ่งชนิดของเส้นใยนำแสงมีหลายวิธี กล่าวคือ แบ่งตามชนิดของสาร DIELECTRIC ที่ใช้แบ่งตามจำนวน PROPAGATION MODE, แบ่งตามลักษณะของดัชนีการหักเหของ CORE ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การแบ่งชนิดของเส้นใยนำแสง

แบ่งตามชนิดของสาร DIELECTRIC ที่ใช้	Silica glass optic fiber
	Multi component glass optic fiber
	Plastic optic fiber
แบ่งตามจำนวน PROPAGATION MODE	Single Mode optic fiber
	Multi Mode optic fiber
แบ่งตามลักษณะของ ดัชนีการหักเหของ core	Step Index optic fiber
	Graded Index optic fiber

(1) การแบ่งชนิดของเส้นใยนำแสงตามชนิดของ DIELECTRIC ที่ใช้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดคือ

- (1) Silica glass optic fiber ซึ่งใช้ DIELECTRIC ที่เป็น Silica glass
- (2) Multi component glass optic fiber ซึ่งใช้ DIELECTRIC ที่เป็นแก้วหลายชนิดปนกัน
- (3) Plastic optic fiber ซึ่งใช้ DIELECTRIC ที่เป็นพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ (1) นั้นนอกจากจะใช้ Silica (SiO_2) ที่บริสุทธิ์เป็นส่วนใหญ่แล้วยังใช้สารอื่นเติมลงไปเพื่อทำให้ค่าดัชนีการหักเหเปลี่ยนแปลงตามต้องการ สารอื่นที่เติมลงไปนี้เรียกว่า DOPANT ได้แก่ GERMANIUM (Ge), Boron (B), Fluorine (F) เป็นต้น

สำหรับ (2) นั้นส่วนมากจะใช้ Soda Calcium, แก้ว, แก้วที่มี Boron และ Silicon ผสมและอื่น ๆ เป็นสารหลัก ส่วน DOPANT ได้แก่ โซเดียม (Na), แคลเซียม (Ca)

สำหรับ (3) นั้นใช้สารพวก Silicon Resin, Acryl Resin (เช่น Polymetacryl Methvl Acid : PMMA)

อนึ่ง สำหรับเคเบิลเส้นใยนำแสง ที่ใช้ในข่ายการสื่อสารโทรคมนาคม (Telecommunication Network) นั้นนิยมใช้ Silica glass optic fiber เพราะมีข้อดีคือ การสูญเสีย (loss) ต่ำและคุณสมบัติการส่ง (Transmission Characteristic) คงที่ไม่เปลี่ยนแปลง

แต่สำหรับงานที่ต้องการคุณสมบัติการส่งคือขงมา, ใช้งานง่าย (ต่อง่าย, หักยากแม้จะลอกเส้นใยนำแสงมาก ๆ เป็นต้น) และใช้กับการสื่อสารระยะทางใกล้ใช้กับการเดินสายภายในรถยนต์ (WIRE HARNESS) และอื่น ๆ ในกรณีนี้นิยมใช้ เส้นใยนำแสงที่เป็น Plastic optic fiber

(2) การแบ่งชนิดของเส้นใยนำแสงตามลักษณะของดัชนีการหักเห

สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเห คือ

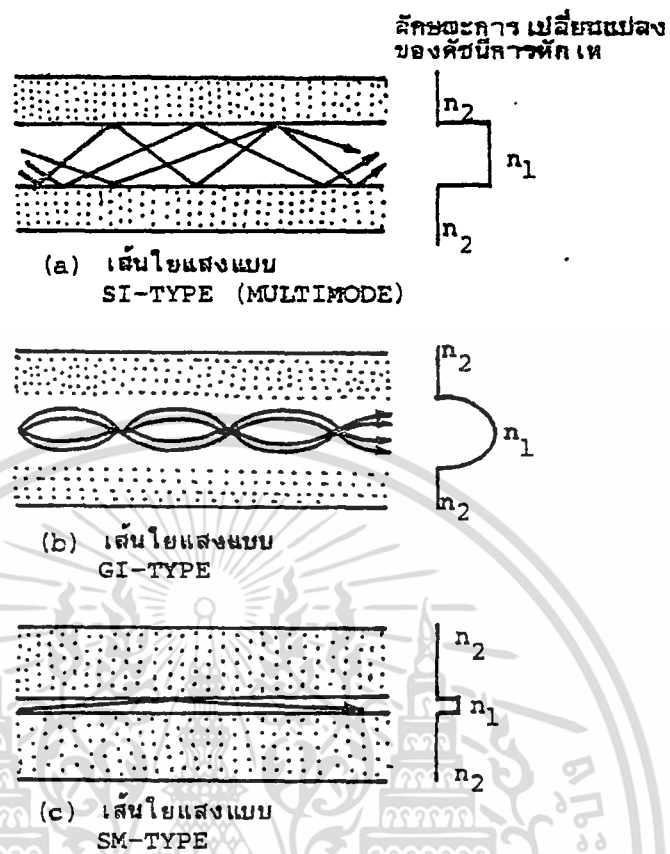
(1) Step Index optic fiber (SI - fiber) เป็นเส้นใยนำแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหระหว่าง CORE กับ CLAD เป็นลักษณะขั้นบันได (STEP) จึงเรียกว่า Step Index optic fiber

(2) Graded Index optic fiber (GI fiber) เป็นเส้นใยนำแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหระหว่าง CORE กับ CLAD ค่อย ๆ ลดลงทีละน้อยต่างกับ (1) จึงเรียกว่า Graded Index optic fiber

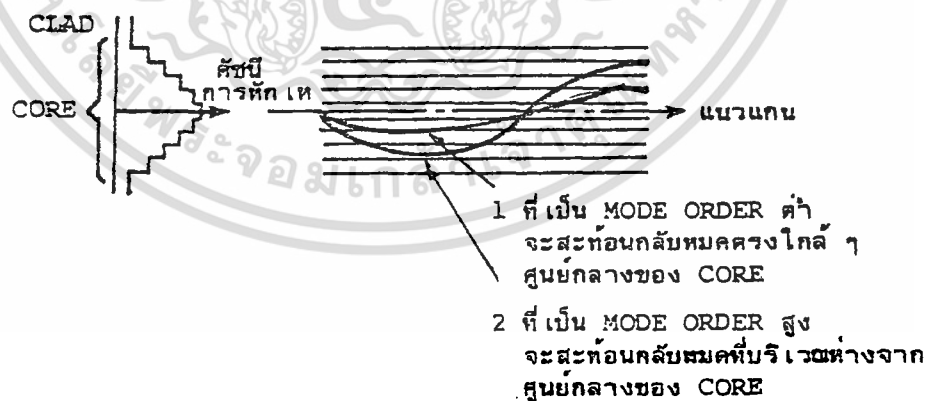
SM fiber นั้นจัดอยู่ในพวกของ SI fiber เหมือนกันแต่ทว่าเนื่องจากจุดประสงค์ต้องการให้เป็น Single Mode จึงทำให้อัตราส่วนผลต่างของค่าดัชนีการหักเหของ CORE และ CLAD มีค่าน้อยมาก จึงแบ่งชนิดแยกออกมาต่างหาก ดังนั้นในกรณีนี้เรียกว่า SI fiber นั้น โดยทั่วไปจะหมายถึง Multi Mode optic fiber ที่มีผลต่างของดัชนีการหักเหเปลี่ยนแปลงเป็นขั้นบันได (Step)

ลักษณะการเดินทางของแสงภายใน CORE ของเส้นใยนำแสงแต่ละชนิดแสดงดังรูปที่ 7

GI fiber เป็นเส้นใยนำแสงที่จัดทำเป็นพิเศษเพื่อการส่ง Multi Mode รูปที่ 8 แสดงถึง Propagation Mode ของ GI fiber



รูปที่ 7 แสดงลักษณะการเดินทางของแสงใน CORE ของเส้นใยนำแสงแต่ละชนิด



รูปที่ 8 แสดงลักษณะการเดินทางของแสงใน GI FIBER

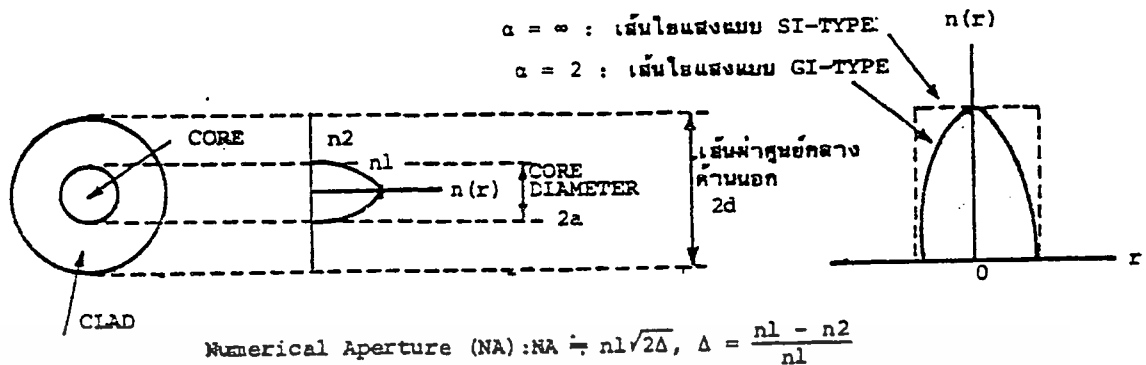
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 8 จะเห็นว่า ค่าดัชนีการหักเหของ GI fiber นี้จะค่อย ๆ ลดลงทีละน้อยในแนวรัศมีของเส้นใยนำแสง ดังนั้นลำแสง (1) ที่มี Mode ต่ำและเดินทางในระยะทางสั้นนั้นจะสะท้อนกลับก่อนที่จะเดินทางไปถึงรอยต่อของ CORE และ CLAD ซึ่งกล่าวได้ว่าส่วนใหญ่จะผ่านส่วนที่มีดัชนีการหักเหสูงของ CORE ส่วนลำแสงที่มี Mode สูงและเดินทางในระยะทางไกลนั้น ส่วนใหญ่จะผ่านส่วนที่มีดัชนีการหักเหต่ำของ CORE อนึ่งความเร็วในการเดินทางของแสงนั้นจะเป็นสัดส่วนกลับกับค่าดัชนีการหักเห ดังนั้นสำหรับ propagation Mode (1) และ (2) นั้นโดยการเลือกลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเห (เรียกว่า PROFILE) ให้เหมาะสมแล้วเราจะทำให้เวลาที่ใช้ในการเดินทางในระยะทางอันหนึ่งของ Propagation MODE (1) และ (2) มีค่าเท่ากันได้ด้วยจุดประสงค์อันนี้ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการหักเหที่เหมาะสมที่สุด เพื่อให้ผลต่างของเวลาการเดินทางระหว่าง propagation Mode ต่าง ๆ มีค่าน้อยที่สุดได้นั้นกล่าวกันว่าจำเป็นต้องมีรูปร่างเป็นลักษณะพาราโบลา (PARABOLA) ดังนั้น ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการหักเหของ GI fiber จึงต้องทำให้มีรูปร่างดังแสดงในรูป 5.8

โครงสร้างของเส้นใยนำแสง

องค์ประกอบพื้นฐานที่กำหนดโครงสร้างของเส้นใยนำแสงคือ เส้นผ่าศูนย์กลางของ CORE, เส้นผ่าศูนย์กลางนอก (เส้นผ่าศูนย์กลางของ CLAD), Numerical Aperture (NA) และอื่น ๆ องค์ประกอบเหล่านี้เรียกว่าเป็น parameter ทางโครงสร้างของเส้นใยนำแสง parameter ทางโครงสร้างเหล่านี้นอกจากมีผลต่อการสูญเสีย, transmission band width, ความแข็งแรงทางแมคานิกและคุณสมบัติอื่น ๆ ของเส้นใยนำแสงแล้วยังเป็นองค์ประกอบสำคัญสำหรับการเชื่อมต่อของเส้นใยนำแสงกับเส้นใยนำแสง หรือการต่อของเส้นใยนำแสงกับอุปกรณ์แสง (optic device) อีกด้วย นอกจากนี้ยังมี parameter ประกอบทางโครงสร้างเพิ่มเติมอีกได้แก่ เปอร์เซนต์การคลาดเคลื่อนของศูนย์กลาง (ECCENTRICITY), อัตราความเพี้ยนของวงกลม (NON-CIRCULAR RATE) สำหรับ parameter ประกอบนี้จะไม่มีผลอะไรทางด้านคุณสมบัติการส่ง (TRANSMISSION CHARACTERISTIC) แต่ทว่ามันจะมีผลอย่างมากต่อการสูญเสียของการต่อ (CONNECTION LOSS) ของเส้นใยนำแสง

ตัวอย่างเช่น ในการกำหนดโครงสร้างของเส้นใยนำแสงชนิด MULTIMODE OPTIC FIBER จะต้องอาศัย PARAMETER 4 อันคือ เส้นผ่าศูนย์กลางของ CORE, เส้นผ่าศูนย์กลางนอก, Numerical Aperture (NA) และลักษณะของค่าดัชนีการหักเห ดังแสดงในรูปที่ 9



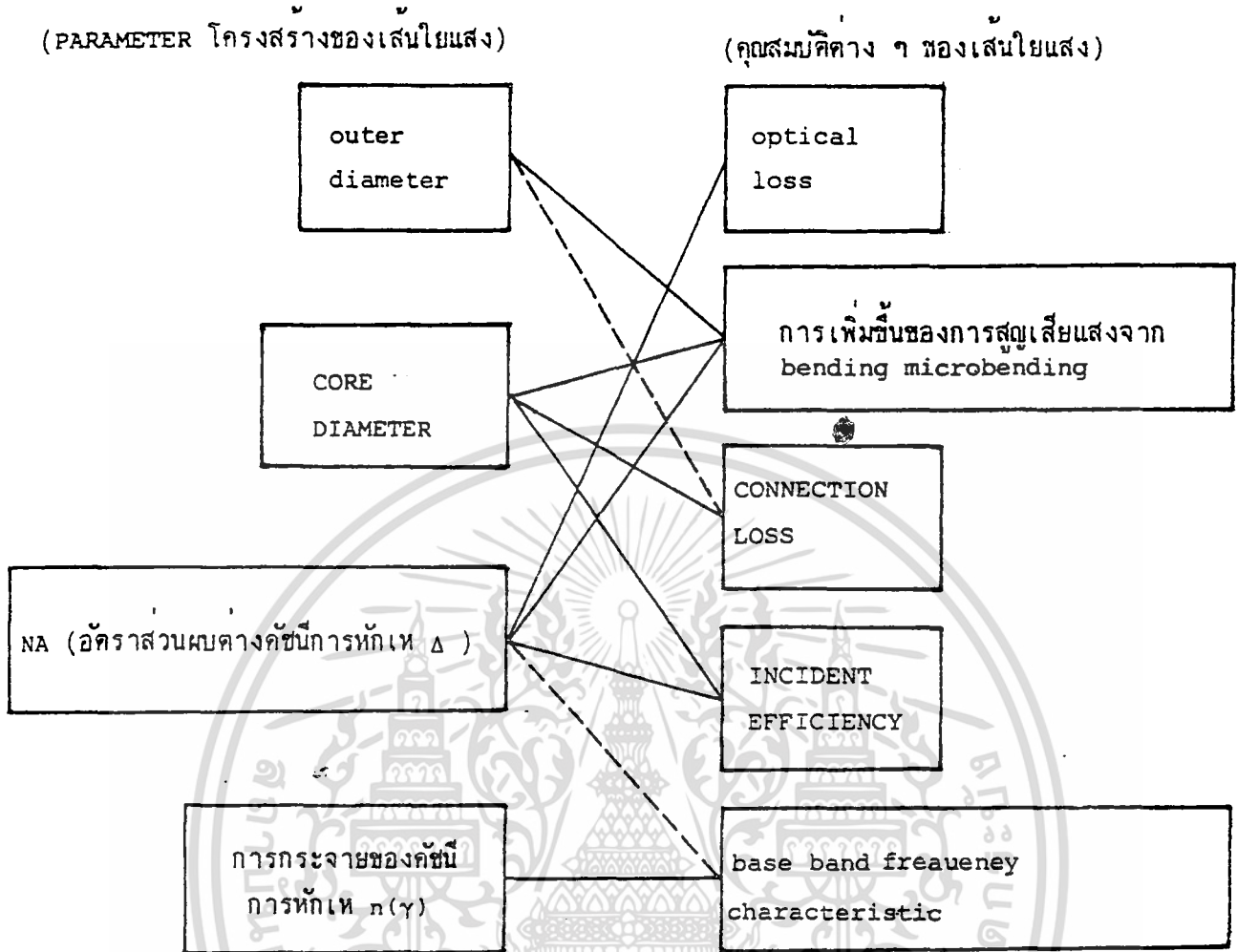
$$\text{Refracting Index Distribution : } n(r) = n_1 \left\{ 1 - 2\Delta \left(\frac{r}{a} \right)^\alpha \right\}^{1/2}, \quad 0 < r < a$$

รูปที่ 9 แสดง PARAMETER ทางโครงสร้างของ MULTI MODE OPTIC FIBER

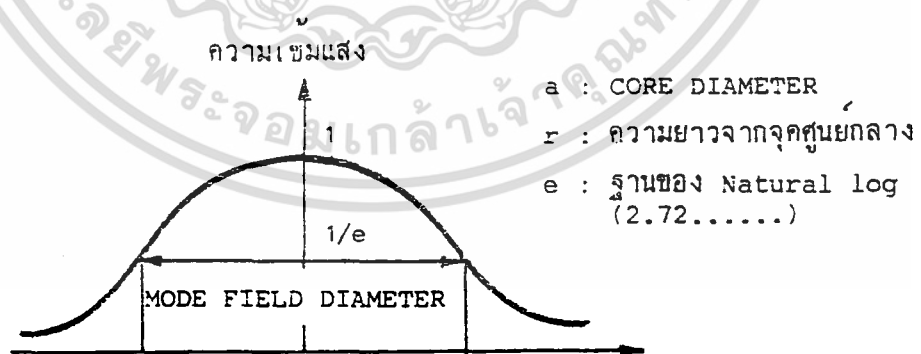
ในการกำหนดค่าต่าง ๆ ของ PARAMETER ทางโครงสร้างทั้ง 4 เหล่านี้จำเป็นต้องคำนึงถึงผล PARAMETER ทางโครงสร้างแต่ละอันที่มีต่อคุณสมบัติต่าง ๆ ของเส้นใยนำแสง, การสร้างได้ง่ายและความประหยัด ดังแสดงในแผนผังของรูปที่ 10

สำหรับโครงสร้างของ SINGLE MODE OPTIC FIBER จะกำหนดจาก PARAMETER 3 อัน คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของ MODE FIELD, เส้นผ่าศูนย์กลางนอก และ CUT OFF WAVE LENGTH ซึ่งต่างกับกรณีของ MULTI MODE OPTIC FIBER ที่กล่าวมาแล้ว สาเหตุที่ใช้เส้นผ่าศูนย์กลางของ MODE FIELD เป็น PARAMETER ทางโครงสร้างของ MODE FIELD มีค่ามากดังแสดงในรูปที่ 11

กล่าวคือเป็นค่าเส้นผ่าศูนย์กลางตรงจุดที่ความเข้มของแสงลดลงเป็น $(e$ ในที่นี้มีค่า 2.71828) ของค่าสูงสุด (คือค่าตรงจุดศูนย์กลางของ CORE) และค่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของ CORE ของ SINGLE MODE OPTIC FIBER มีค่าน้อยยิ่งกว่านั้นอัตราส่วนของผลต่างของค่าดัชนีการหักเหก็มีค่าน้อยด้วยทำให้เป็นการยากที่จะบ่งบอกส่วนที่เป็นรอยต่อของ CORE กับ CLAD ได้ชัดเจน ด้วยเหตุนี้เพื่อความสะดวกจึง



รูปที่ 10 แสดงแผนผังคุณสมบัติต่างๆ ของ PARAMETER ทางโครงสร้างของเส้นใยนำแสง



รูปที่ 11 แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางของ MODE FIELD

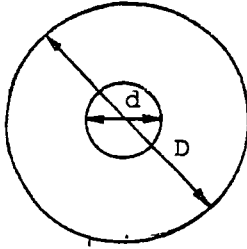
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ค่ามาตรฐานของ PARAMETER ทางโครงสร้างของเส้นใยนำแสง
ที่ CCITT แนะนำ

ชนิด หัวข้อ	GRADED INDEX OPTIC FIBER	SINGLE MODE OPTIC FIBER
ความยาวคลื่นที่ใช้	(a) 0.85 μm (b) 1.30 μm	(a) 1.30 μm (b) 1.55 μm
เส้นผ่าศูนย์กลางของ CORE	50 $\mu\text{m} \pm 6\%$	-
เส้นผ่าศูนย์กลางของ MODE FIELD	-	9 ~ 10 $\mu\text{m} \pm 10\%$ (1.30 μm)
CUT OFF WAVE LENGTH	-	1.10 ~ 1.28 μm (1)
เส้นผ่าศูนย์กลางนอก	125 $\mu\text{m} \pm 2.4\%$	125 $\mu\text{m} \pm 2.4\%$
เปอร์เซ็นต์การคลาด เคลื่อนของศูนย์กลาง	< 6%	0.5 ~ 3.0 μm -
อัตราความไม่เรียบของ วงกลมของ CORE	< 6%	-
อัตราความไม่เรียบของ วงกลมของ CLAD	< 2%	< 2%
Numerical Aperture (NA)	(a) 0.18 ~ 0.24 \pm 0.02 (0.85 μm) (b) 0.15 ~ 0.30 \pm 0.02 (1.3 μm)	(2)

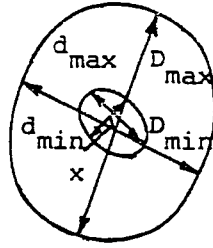
หมายเหตุ : (1) CCITT กำลังพิจารณาอยู่
(2) ถ้าบอกค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของ MODE FIELD และ CUT OFF WAVE LENGTH แล้วไม่จำเป็นต้องบอกค่า NA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) เส้นใยแสงที่คี่เล็ค

CORE DIAMETER : d
 OUTER DIAMETER : D



(b) เส้นใยแสงในทางปฏิบัติ

$$\text{CORE DIAMETER : } d = \frac{d_{\max} + d_{\min}}{2}$$

$$\text{OUTER DIAMETER : } D = \frac{D_{\max} + D_{\min}}{2}$$

$$\text{อัตราการไม่เป็นวงกลมของ CORE : } e = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{d} \times 100(\%)$$

$$\text{อัตราการไม่เป็นวงกลมของ CLAD : } E = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D} \times 100(\%)$$

$$\text{อัตราความคลาดเคลื่อนของจุดศูนย์กลาง : } C = \frac{x}{d} \times 100(\%)$$

$$\text{ปริมาณความคลาดเคลื่อนของจุดศูนย์กลาง : } x$$

ตารางที่ 2 (ต่อ)

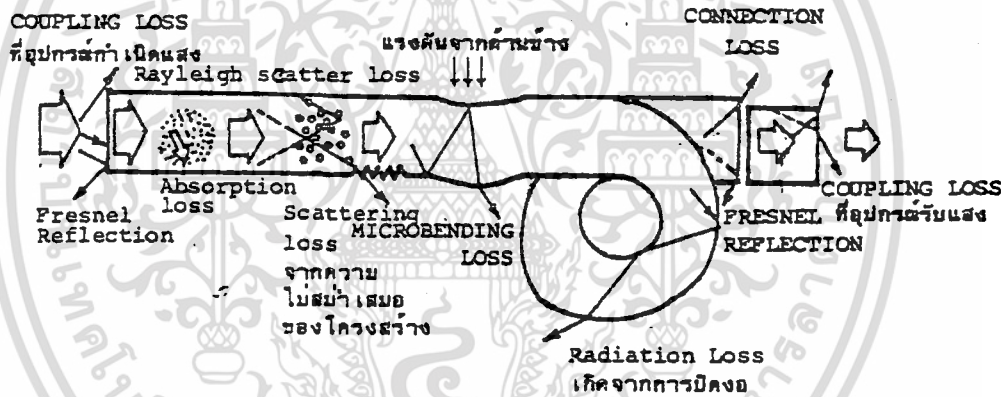
ใช้ค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของ MODE FIELD แทนค่ามาตรฐานของ PARAMETER ทางโครงสร้างของเส้นใยนำแสงที่ CCITT. (INTERNATIONAL TELEGRAPH AND TELEPHONE CONSULTATIVE COMMITTEE) แนะนำแสดงดังตาราง 2

คุณสมบัติต่าง ๆ ของเส้นใยนำแสง

1. การสูญเสียแสงในเส้นใยนำแสง

ในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง มีองค์ประกอบสำคัญ 2 อันที่จะกำหนดความเร็วในการส่ง (TRANSMISSION SPEED) และระยะห่างของการถ่ายทอคสัญญาณ (REPEATER SPAN) องค์ประกอบเหล่านั้นคือ การสูญเสียแสงกับ BAND WIDTH ของการส่ง (TRANSMISSION BAND WIDTH) การสูญเสียแสง (optical Loss) เป็นตัวบอกให้ทราบว่ากำลังของแสงที่เดินทางไปในเส้นใยนำแสงนั้นจะลดลงไปจากเดิมเท่าไร ซึ่งการสูญเสียแสงนี้ยังมีค่าน้อยเท่าไรจะทำให้สามารถส่งสัญญาณแสงได้ไกลมากยิ่งขึ้น

การสูญเสียแสง แบ่งออกตามความแตกต่างของโครงสร้างที่เกิดขึ้นได้เป็นการสูญเสียที่มีอยู่ในตัวของเส้นใยนำแสงเอง (FIXED LOSS) และการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นมา (Addition Loss) เมื่อตอนนำเส้นใยนำแสงไปใช้ในระบบการสื่อสาร สาเหตุที่ทำให้เกิดการสูญเสียแสง แสดงดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 แสดงสาเหตุต่างๆที่ทำให้เกิดการสูญเสียแสง

จากรูปที่ 12 จะเห็นว่าการสูญเสียที่มีอยู่ในตัวของเส้นใยนำแสงเองนั้นเกิดจากสาเหตุต่าง ๆ ได้แก่ การดูดกลืน (Absorption Loss), การกระจัดกระจายแสงแบบเรย์ลี (Rayleigh Scattering Loss) การกระจัดกระจายแสงเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้าง (Ununiformity Loss) ส่วนการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นมา นั้นเกิดจากสาเหตุต่าง ๆ ได้แก่ การงอโค้งของเส้นใยนำแสง (Bending Loss), การงอโค้งแบบ Microbending (Microbending Loss) การต่อเส้นใยนำแสง

(Connection Loss ได้แก่ การสูญเสียจากการสะท้อนกลับของแสง, จากการที่แสงกระจายแสง), การเชื่อมต่อแสงระหว่างอุปกรณ์ต้นกำเนิดแสงหรืออุปกรณ์รับแสงกับเส้นใยนำแสง (COUPLING LOSS) ต่อไปนี้จะอธิบายถึงรายละเอียดของสาเหตุต่าง ๆ ของการเกิดการสูญเสียแสง

(1) การสูญเสียแสงที่เกิดจากการดูดแสง (ABSORPTION LOSS)

การสูญเสียแสงที่เกิดจากการดูดแสงนี้เป็นลักษณะทำนองเดียวกันกับม่านสีค่าที่ดูดแสงได้ดี กล่าวคือ สารที่ใช้ผลิตเส้นใยนำแสงเองนั้นจะเป็นตัวดูดแสงที่เดินทางในเส้นใยนำแสง แล้วเปลี่ยนเป็นการสูญเสียทางความร้อนโดยทั่วไป แล้วจะมีการดูดแสงอันเนื่องมาจากแก้วเอง (สารที่ใช้ผลิตเส้นใยนำแสง) และเนื่องมาจากสารอื่นที่เจือปนอยู่ในแก้ว (Impurity)

สำหรับการสูญเสียจากการดูดแสงของแก้วนั้น มันจะดูดแสง ULTRAVIOLET กับแสง INFRARED การดูดแสง ULTRAVIOLET นั้นจะดูดมากที่สุดที่ความยาวคลื่นใกล้กับ $0.1 \mu\text{m}$ และการดูดแสง INFRARED จะดูดมากที่สุดที่ความยาวคลื่นใกล้กับ $10 \mu\text{m}$ ส่วนที่ความยาวคลื่นอื่น ๆ นั้น การสูญเสียจากการดูดแสงจะลดลงอย่างมาก ดังแสดงในรูป 13 จะเห็นว่าจากความยาวคลื่นประมาณ $1.0 \mu\text{m}$ ไปจนถึงประมาณ $1.6 \mu\text{m}$ การสูญเสียจะตกลงเป็นเสมือนหุบเขา (VALLEY)

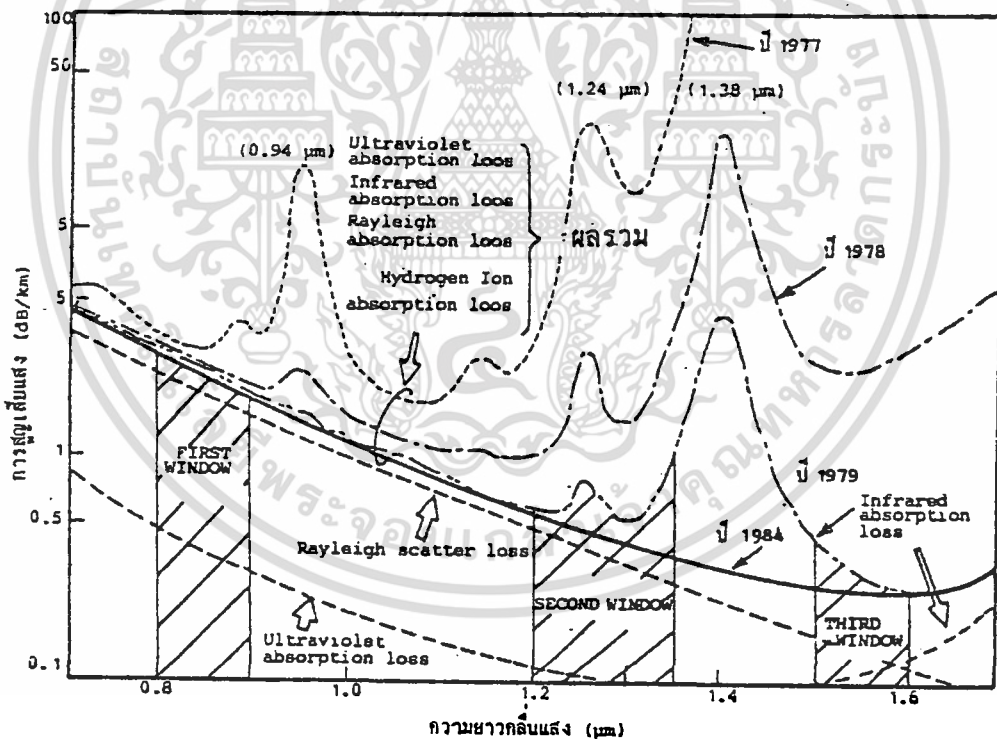
การสูญเสียจากการดูดแสงอันเนื่องมาจากสารแปลกปลอม (impurity) ปนอยู่นั้น ในตอนแรกที่พัฒนาเส้นใยนำแสงใหม่ ๆ นั้นปรากฏว่าส่วนใหญ่เป็น ION ของโลหะต่าง ๆ เช่น ION ของเหล็ก ION ของทองแดงและอื่น ๆ แต่ต่อมา เทคนิคในการทำให้การสูญเสียแสงต่ำลงได้พัฒนาไปมากสามารถกำจัด ION ของโลหะต่าง ๆ ออกไปได้ในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็น Hydroxyl ION (OH⁻) นั่นคือกล่าวได้ว่าประวัติศาสตร์ของการทำให้การสูญเสียแสงที่มีอยู่ในเส้นใยนำแสงให้มีความน้อยนั้นเป็นการกำจัด Absorption Loss อันเนื่องมาจาก ION ของโลหะและ Hydroxyl ION เหล่านี้นั่นเองในรูป 13 จะเห็นว่าแสดงการสูญเสียแสงที่ความยาวคลื่นค่าต่าง ๆ ของแสงในเส้นใยนำแสงที่ทำด้วยแก้วตัวเลข ค.ศ. ที่ค่าสูญเสียสูงสุดต่าง ๆ นั้นบอกให้ทราบถึงประวัติศาสตร์ของการทำให้การสูญเสียแสงน้อยลง ค่าสูญเสียแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น $0.94 \mu\text{m}$, $1.24 \mu\text{m}$, และ $1.38 \mu\text{m}$ นั้นเป็นการสูญเสียที่เกิดจากการดูดของ Hydroxyl ION ที่กล่าวข้างบน และตรงส่วนที่เป็นหุบเขา (เรียกว่า WINDOW ของเส้นใยนำแสง) บริเวณใกล้ ๆ กับความยาวคลื่น $0.85 \mu\text{m}$, $1.3 \mu\text{m}$ และ $1.55 \mu\text{m}$ (เรียกว่า Window ที่ 1, ที่ 2, ที่ 3) นั้นมีการสูญเสียแสงต่ำ ซึ่งนำมาใช้ในการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) การสูญเสียแสงที่เกิดจากการกระจัดกระจายแสงแบบเรย์ลี (Rayleigh Scattering Loss)

การสูญเสียแบบนี้เป็นปรากฏการณ์เกิดขึ้น เมื่อแสง ไปกระทบกับวัตถุที่มีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่น แล้วทำให้แสงนั้นแตกกระจัดกระจายออกไปในทิศทางต่าง ๆ ตัวอย่างของปรากฏการณ์เช่นนี้แสดงดังรูป 14 คือการที่เรามองเห็นท้องฟ้าเป็นสีน้ำเงิน , และมองเห็นท้องฟ้าเป็นสีแดงตอนตะวันตกดินนั้นเกิดจากการแตกกระจัดกระจายของแสง ผู้ที่ทำการอธิบายปรากฏการณ์การแตกกระจัดกระจายของแสงนี้คือนักฟิสิกส์ชื่อ Rayleigh ดังนั้นจึงใช้ชื่อของเขาเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Rayleigh Scattering

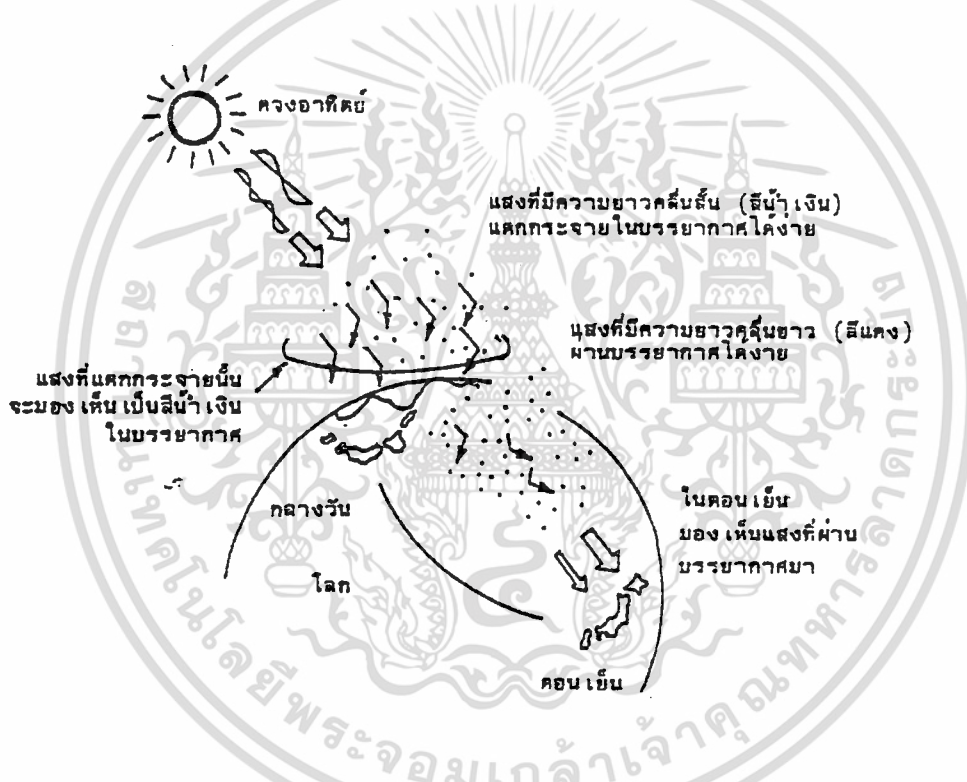
สำหรับการผลิตเส้นใยนำแสงนั้น ทำได้โดยการให้ความร้อนประมาณ $2,000^{\circ}\text{C}$ แก่แท่งแก้วซึ่งเรียกว่า PREFORM ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางจากหลายมิลลิเมตร ไปจนถึงหลายสิบลมิลลิเมตร จากนั้นจึงทำการดึงแท่งแก้วให้เป็นเส้นใยนำแสงขนาดเล็ก และในตอนนี้ต้องทำให้เส้นใยนำแสงนั้นมีอุณหภูมิลดลงจาก $2,000^{\circ}\text{C}$ เป็นอุณหภูมิห้อง



รูปที่ 13 แสดงคุณสมบัติการสูญเสียแสงจากการดูดแสงของเส้นใยนำแสงที่ทำด้วยแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 20°C อย่างรวดเร็วโดยการทำเช่นนี้จะทำให้ความไม่สม่ำเสมอของความหนาแน่นที่เกิดขึ้นตอนให้ความร้อน $2,000^{\circ}\text{C}$ (หรือนั่นคือ ความไม่สม่ำเสมอของค่าดัชนีการหักเห) ตกค้างอยู่ อย่างนั้นในเส้นใยนำแสง และเป็นสาเหตุทำให้เกิด Rayleigh Scattering ขึ้นในเส้นใยนำแสง จัดเป็นสาเหตุการเกิดการสูญเสียแสงที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ในขั้นตอนการผลิตถือเป็นการสูญเสียแสงที่มีประจำอยู่ในตัวของเส้นใยนำแสง ขนาดของ Rayleigh Scattering จะเป็นสัดส่วนกลับกับความยาวแสงยกกำลัง 4 ด้วยเหตุนี้จึงเห็นว่าในรูป 5.13 ความยาวของคลื่นแสงที่เดินทางซึ่งมีค่ามาก Rayleigh Scattering จะมีค่าน้อยลง ยกตัวอย่าง เช่นเมื่อความยาวคลื่นเป็น $1\ \mu\text{m}$ ค่า Rayleigh Loss จะมีค่าประมาณ $1\ \text{dB/Km}$ และเมื่อความยาวคลื่นเป็น $1.6\ \mu\text{m}$ ค่า Rayleigh Loss จะมีค่าประมาณ $0.1\ \text{dB/Km}$



รูปที่ 14 แสดง SCATTERING ของแสงในบรรยากาศ

นอกจากนั้นขนาดของ Rayleigh Scatter ยังเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิในตอนที่ทำให้การดึง PREFORM ให้เป็นเส้นใยนำแสง ถ้าหากสามารถทำให้อุณหภูมิต่ำได้ Rayleigh Scattering Loss จะน้อยลง ยกตัวอย่างเช่น อุณหภูมิความร้อนที่ใช้ในการดึง glass fiber ที่มีสาร Fluoride ปนอยู่มีค่าประมาณ 700°C ทำให้ Rayleigh Scattering Loss มีค่าเป็น ของ glass fiber ธรรมดาซึ่งกว่านั้น สำหรับ glass fiber ที่มีสาร Fluoride ปนอยู่ยังทำให้การสูญเสียแสงที่เกิดจากการดูดแสง

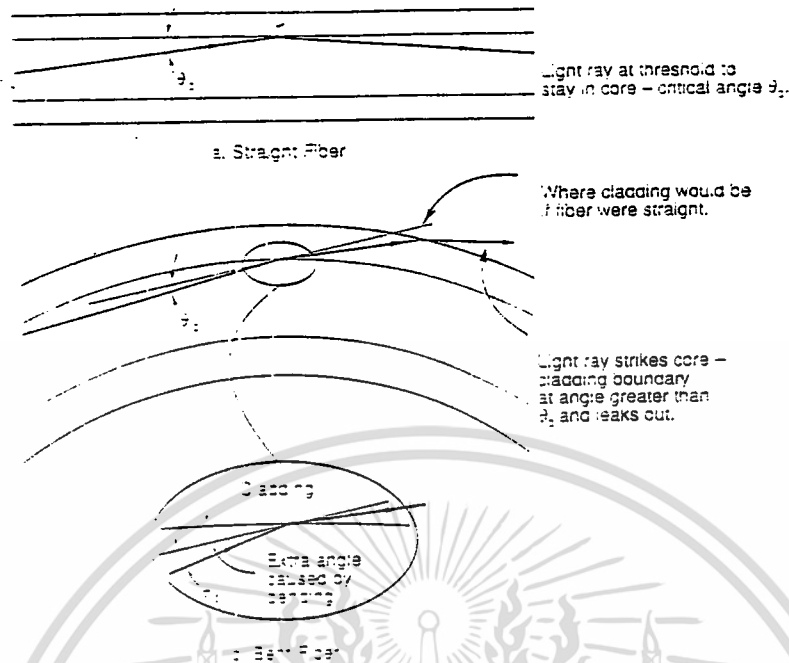
INFRARED เลื่อนค่าออกไปในย่านที่มีความยาวคลื่นมากขึ้นดังแสดง WINDOW ที่ 3 ของรูป 13 จากข้อนี้รวมกับ Rayleigh Scattering Loss ที่มีค่าต่ำดังกล่าวข้างบนทำให้สามารถได้เส้นใยนำแสงที่มีการสูญเสียต่ำมาก คือประมาณ 10^{-3} dB/Km (= 0.001 dB/Km)

(3) การสูญเสียจากการกระจายแสง อันเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในเส้นใยนำแสง (Uniformity Loss)

สำหรับเส้นใยนำแสงที่สร้างขึ้นมาจริง ๆ นั้น จากสาเหตุต่าง ๆ ในการสร้างทำให้ไม่สามารถได้เส้นใยนำแสงที่มีลักษณะ 100% นอกจากนั้น CORE และ CLAD ที่ประกอบกันเป็นเส้นใยนำแสงก็ไม่สามารถทำให้ได้ลักษณะรูปทรงกระบอกที่สม่ำเสมออย่างสมบูรณ์ ตลอดความยาวของเส้นใยนำแสงได้ กล่าวคือตรงรอยต่อของ CORE กับ CLAD นั้นจะไม่สม่ำเสมอตลอด กล่าวคือจะมีลักษณะคล้ายถนนขรุขระ เมื่อมีรอยต่อไม่เรียบสม่ำเสมอนี้จะทำให้เกิดการกระจายของแสงดังแสดงในรูป 12 ทำให้แสงบางส่วนไม่สามารถเดินทางไปใน CORE ได้จะกระจายออกไปข้างนอก ดังนั้นรอยต่อที่ไม่เรียบสม่ำเสมอนี้จะทำให้แสงที่เดินทางเกิดการสะท้อนกลับอย่างสะเปะสะปะทำให้การสูญเสียแสงเพิ่มขึ้น การสูญเสียเช่นนี้เรียกว่าการสูญเสียจากการกระจายแสงอันเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในเส้นใยนำแสง

(4) การสูญเสียจากการกระจายแสงอันเนื่องมาจากการงอโค้งของเส้นใยนำแสง(BENDING LOSS)

เป็นการสูญเสียที่เกิดขึ้นเมื่อเส้นใยแสงถูกทำให้งอโค้งไป สำหรับการงอโค้งเส้นใยนำแสงดังแสดงในรูป 12 แสงที่มีมุมงอโค้งมากกว่ามุมวิกฤติแล้ว แสงนั้นจะกระจายออกไปนอก CORE ทำให้เกิดการสูญเสียขึ้น ดังนั้นในการออกแบบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงซึ่งจะได้กล่าวถึงในภายหลังนั้น จะต้องระมัดระวังอย่าให้เกิดมีการงอเส้นใยนำแสงเป็นส่วนโค้งที่มีรัศมีเกินกว่ารัศมีที่ยอมให้งอโค้งได้ เช่น ไม่เกิน 40 ม.ม. เป็นต้น

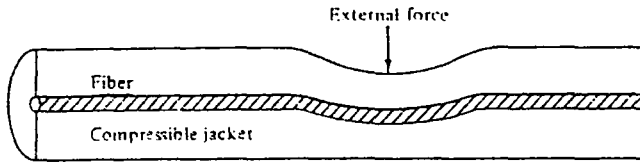


รูป A แสดงผลเนื่องจากการโค้งงอของเส้นใยนำแสง

(5) การสูญเสียที่เกิดจากการงอโค้งแบบ MICRO BENDING

เป็นการสูญเสียที่เกิดจากการที่มีแรงกดที่ไม่สม่ำเสมอมากระทำต่อด้านข้างของเส้นใยนำแสง ทำให้แกนของเส้นใยนำแสงบิดงอไปเล็กน้อย (ประมาณ $2,3 \mu\text{m}$) เป็นเหตุให้การสูญเสียเพิ่มขึ้น การสูญเสียนี้เรียกว่า MICRO BENDING LOSS ด้วยเหตุนี้ในการออกแบบโครงสร้างเส้นใยนำแสงจะต้องทำการป้องกันแรงกดจากทางด้านข้าง เช่น ทำชั้น (LAYER) ป้องกันการกระแทกหุ้มเส้นใยนำแสง เป็นต้น แต่จากเหตุผลข้างต้นเราสามารถนำคุณสมบัตินี้สร้างอุปกรณ์ลดทอนสัญญาณในเส้นใยนำแสงได้

เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำจนทำให้ jacket ที่ห่อหุ้มมีรูปร่างที่เปลี่ยนแต่เส้นใยนำแสงยังมีลักษณะตรงเหมือนเดิมดังรูป B



รูป B มีแรงภายนอกมากกระทำเส้นใยนำแสง

จากรูปกำหนดให้เป็นเส้นใยนำแสงชนิด multimode

$$F(\alpha_M) = \left[1 + \pi \Delta^2 \left(\frac{b}{a} \right)^4 \frac{E_f}{E_j} \right]^{-2}$$

a คือ รัศมี core

b คือ รัศมี cladding รวม jacket

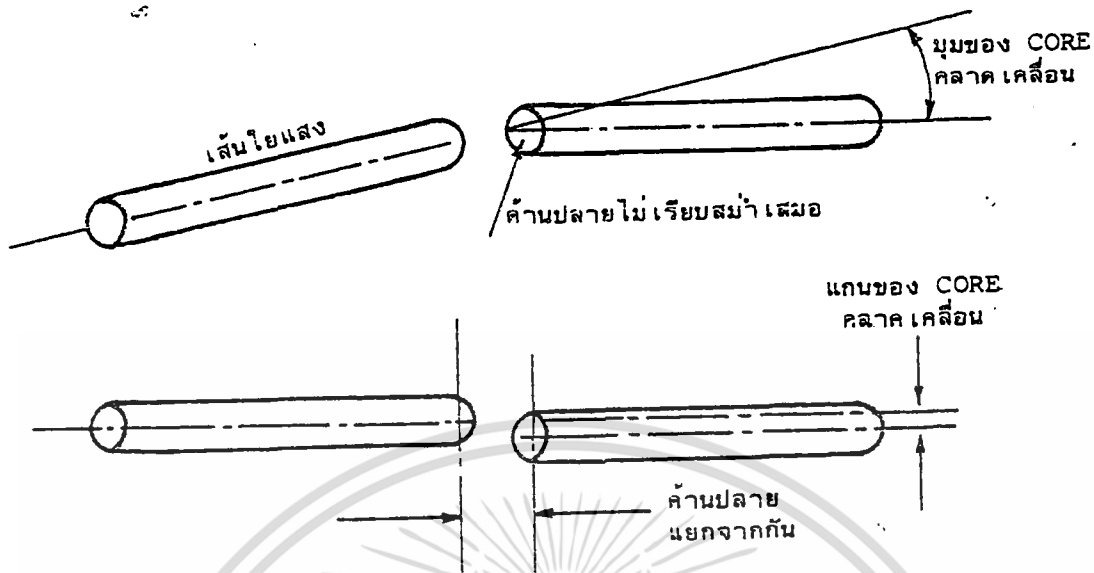
Δ คือ ค่าความแตกต่างดัชนีของ core และ cladding

E_f คือ ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของ fiber

E_j คือ ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของ jacket

(6) การสูญเสียที่เกิดจากการต่อเส้นใยนำแสง (CONNECTION LOSS)

การต่อเส้นใยนำแสงนั้นคล้ายกับการต่อท่อของน้ำประปาหรือท่อแก๊ส กล่าวคือต้องต่อเข้ากันพอดีไม่ให้มีน้ำประปาหรือแก๊สที่อยู่ข้างท่อรั่วออกไปข้างนอก กรณีที่ทำการต่อเส้นใยนำแสง 2 เส้นเข้าด้วยกันนั้น อันดับแรกจำเป็นต้องทำการปรับ CORE ทั้งสองที่แสงเดินทางผ่านให้ตรงกันพอดี ถ้าหากว่า CORE ทั้งสองต่อกันไม่สนิทอย่างสมบูรณ์นั้น แสงที่ออกจาก CORE อื่น ๆ แต่สำหรับค่าการสูญเสียในส่วนใหญ่นั้นจะมาจาก การคลาดเคลื่อนของแกนของ CORE หนึ่งตรงส่วนที่ทำการต่อกัน กรณีที่มีช่องว่าง (GAP) เพียงเล็กน้อยจะทำให้เกิดการสูญเสียจากการสะท้อนกลับ ถ้าหากช่องว่างโตมากขึ้นกว่านี้จะเกิดการสะท้อนกลับที่เรียกว่า FRESNEL REFLECTION



รูปที่ 15 แสดงสาเหตุต่างๆของการสูญเสียที่เกิดจากการต่อเส้นใยนำแสง

(7) การสูญเสียที่เกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างเส้นใยนำแสง กับอุปกรณ์กำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสง (COUPLING LOSS)

แสงที่ปล่อยออกจากอุปกรณ์ต้นกำเนิดแสงนั้น มีเงื่อนไขในการที่จะป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยนำแสงดังที่ได้กล่าวมาแล้ว นั่นคือค่า NA (Numerical Aperture) กรณีที่ใช้อุปกรณ์ต้นกำเนิดแสง ได้แก่ Laser Diode (LD) หรือ Light Emitting Diode (LED) จะมีความแตกต่างกันทางความกว้างของลำแสงที่ปล่อยออกมาจากต้นกำเนิดแสง ซึ่งจะได้กล่าวถึงรายละเอียดภายหลัง แม้จะใช้เลนส์รวมแสงแล้วก็ตาม LD จะมีการสูญเสียของการเชื่อมต่อแสงน้อยกว่า นอกจากนั้นโครงสร้างของเส้นใยแสงที่จะถูกป้อนแสงเข้าไปนั้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ CORE ของเส้นใยนำแสงแบบ SM และแบบ GI จะมีค่าต่างกันทำให้ขนาดของการสูญเสียของการเชื่อมต่อแสงมีค่าต่างกันไปด้วย

เกี่ยวกับการสูญเสียของการเชื่อมต่อแสงระหว่างเส้นใยนำแสงกับอุปกรณ์รับแสงนั้น เส้นใยนำแสงที่มี NA มากนั้นคือแสงที่ออกจากเส้นใยนำแสงแบบ GI จะมีลำแสงกว้างกว่าลำแสงที่ออกจากเส้นใยนำแสงแบบ SM ทำให้การสูญเสียแสงมีมากกว่า

2. การขยายกว้างออก (Dispersion) และ Transmission Band Width ของเส้นใยแสง

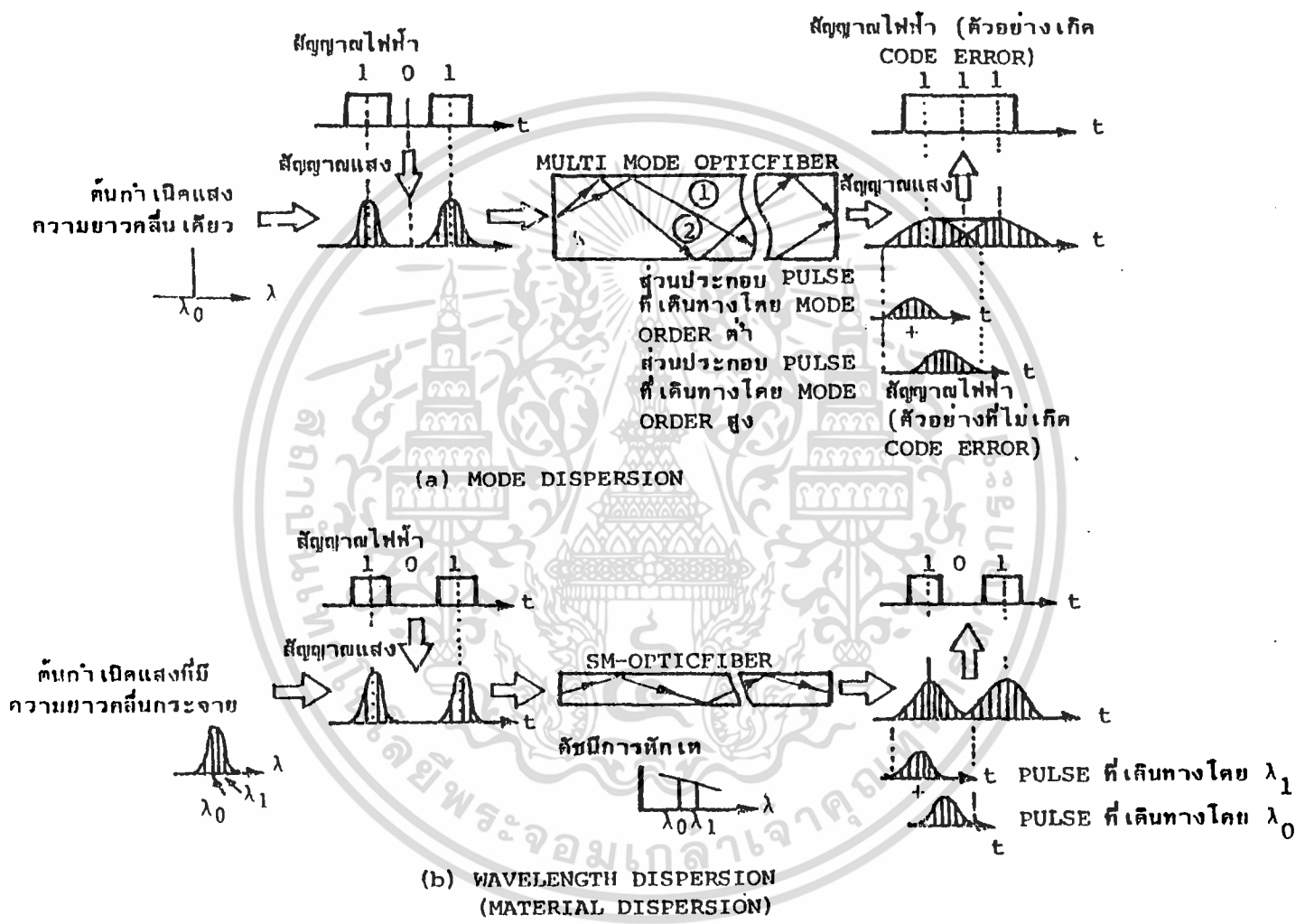
(1) การขยายกว้างออกของ MODE (MODE DISPERSION)

สำหรับ MULTI MODE OPTIC FIBER นั้น ความเร็วในการเดินทางของแต่ละ MODE ภายในเส้นใยนำแสงจะต่างกัน ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 16 (a) เมื่อป้อน pulse ที่ถูกผสมแบบ Pulse Modulation เข้าไปในเส้นใยนำแสงแบบ Multi Mode optic Fiber Pulse ของแสงที่ออกมาจากปลายอีกข้างหนึ่งของเส้นใยนำแสง เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ Pulse ของแสงทางด้านที่ป้อนเข้าไปจะเห็นว่า ขยายออกกว้างกว่า การที่เกิดอย่างนี้นั้นแม้ว่าความยาวคลื่นของต้นกำเนิดแสงจะเหมือนกันก็ตาม แต่ทว่า pulse ของแสงที่ป้อนเข้าไปนั้นจะแบ่งออกเป็น MODE ต่าง ๆ ที่มีความเร็วในการเดินทางต่างกัน ดังนั้นในการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงจึงเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า MODE DISPERSION ทำให้ไม่สามารถทำให้ระยะห่างระหว่าง pulse เล็กลงมาก ๆ ได้

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า MULTI MODE OPTIC FIBER นั้นส่วนใหญ่ MODE DISPERSION จะเป็นตัวกำหนด BAND WIDTH แม้ว่าจะพยายามทำให้ MODE DISPERSION นี้น้อยลงโดยการทำให้ค่าดัชนีการหักเหของ CORE เป็นลักษณะ PARABOLA ซึ่งเรียกว่า GRADED INDEX OPTIC FIBER แล้วก็ตาม แต่เนื่องจากมีขีดจำกัดในความแน่นอนของรูปร่างของค่าดัชนีการหักเห ด้วยเหตุนี้ในระบบการส่งข่าวสารจำนวนมากที่ต้องการคุณสมบัติ BAND WITH กว้างนั้นจะใช้ SINGLE MODE OPTIC FIBER ที่ไม่มี MODE DISPERSION โดยการทำให้มี MODE เดียว

(2) การขยายกว้างออกของความยาวคลื่น (WAVE LENGTH DISPERSION)

ในตัวกลางที่มีเนื้อเดียวกัน แต่ถ้าหากความยาวคลื่นต่างกันแล้วค่าดัชนีการหักเหจะต่างกัน เป็นผลให้ความเร็วในการเดินทางต่างกันตามค่าความยาวคลื่น ปรากฏการณ์ที่เห็นได้เกี่ยวกับค่าดัชนีการหักเหที่ขึ้นอยู่กับความยาวของแสงคือการกระจายแสงออกเป็นสีต่าง ๆ ของ PRISM การเกิดรุ้งกินน้ำที่มีสี 7 สีเกิดขึ้นในตอนหลังจากฝนตกเป็นต้น แสงที่ใช้ในการสื่อสารใยนำแสงนั้น ความจริงแล้วไม่ใช่แสงที่มีความยาวคลื่นเพียงอันเดียวเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 16(b) กล่าวคือจะมีความยาวคลื่นอื่นอยู่ด้วยแต่น้อยมาก ทำให้เกิดการขยายกว้างออกของความยาวคลื่น ด้วยเหตุนี้ก็จะเกิดความแตกต่างของความเร็ว ในการเดินทางตามความยาวคลื่นที่ต่างกัน (ความยาวคลื่นยิ่งมีค่ามากเท่าใด ค่าดัชนีการหักเหจะน้อยลงเท่านั้น และจะเป็นผลให้ความเร็วในการเดินทางเพิ่มขึ้น) การขยายกว้างออกของความยาวคลื่นนี้เป็นสาเหตุให้ BAND WIDTH ถูกจำกัดค่า



รูปที่ 16 แสดงการเกิด DISPERSION ของเส้นใยนำแสง

ความกว้างเช่นเดียวกันกับกรณีของ MODE DISPERSION ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้อ (1) และสาเหตุนี้เรียกว่า MATERIAL DISPERSION

นอกจากนั้นกรณีที่ค่าผลต่างของดัชนีการหักเหของ CORE กับ CLAD มีค่าน้อยนั้นปรากฏการณ์การสะท้อนกลับหมดของแสงที่รอยต่อของ CORE กับ CLAD จะไม่เหมือนกันที่เกิดในกระจกเงากว้างคือ ส่วนหนึ่งของแสงจะทะลุเข้าไปใน CLAD ก่อนแล้วจึงสะท้อนกลับหมดและขนาดการทะลุเข้าไปนี้จะแตกต่างกันตามความยาวคลื่น เป็นผลให้ระยะทางการเดินทางของแสงนี้ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น (ความยาวคลื่นยิ่งมีค่ามากเท่าใด ขนาดการทะลุเข้าไปใน cladding จะมากขึ้นเท่านั้น และจะทำให้เส้นทางการเดินทางยาวมากขึ้น) การขยายกว้างออกของระยะทางการเดินทางของแสงนี้เรียกว่า STRUCTURE DISPERSION ในการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงนั้นการเกิด MATERIAL DISPERSION และ STRUCTURE DISPERSION รวมเรียกว่า WAVE LENGTH DISPERSION

ความสัมพันธ์ระหว่าง MODE DISPERSION, MATERIAL DISPERSION และ STRUCTURE DISPERSION จะเป็นดังนี้คือ

MODE DISPERSION >> MATERIAL DISPERSION > STRUCTURE DISPERSION ดังนั้นสำหรับ MULTIMODE OPTIC FIBER ส่วนใหญ่ MODE DISPERSION จะเป็นตัวกำหนด BAND WITH ของการส่ง WAVE LENGTH DISPERSION นั้นมีผลต่อบAND WITH ของการส่งน้อยมาก แต่จะเป็นสาเหตุสำคัญในการกำหนด BAND WIDTH ใน SINGLE MODE OPTIC FIBER ด้วยเหตุนี้ใน SINGLE MODE OPTIC FIBER จะเลือกใช้ความยาวคลื่นที่ทำให้ STRUCTURE DISPERSION ไปหักล้างกับ MATERIAL DISPERSION ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ (ความยาวคลื่นนี้เรียกว่า ZERO DISPERSION WAVE LENGTH และวิธีการต่าง ๆ ในการออกแบบโครงสร้างของเส้นใยนำแสงเพื่อให้มี WAVE LENGTH DISPERSION น้อยที่สุด

(3) ขนาดความกว้าง BAND WIDTH ของการส่ง (TRANSMISSION BAND WIDTH)

ปัจจุบัน TRANSMISSION BAND WIDTH ที่ใช้ในการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงนั้นเป็นตัวบอกให้ทราบว่า จะสามารถส่งสัญญาณแสงที่ผสมกับสัญญาณของข่าวสารด้วยความถี่สูงมากแค่ไหน ปกติแสดงขนาดความกว้างตรงจุดที่คุณสมบัติความถี่ base band (Base Band Frequency Characteristic) ของเส้นใยนำแสงตกลง 6 dB

สมมุติว่าเราทำการป้อน IMPULSE ซึ่งเป็น WAVE FORM ที่สมบูรณ์แบบกล่าวคือ ตรงฐานของ WAVE FORM ไม่ขยายกว้างออกดังแสดงในวงเล็บ (Π) เมื่อ IMPULSE นี้เดินทางไปในเส้นใยนำแสงได้ระยะทางค่าหนึ่ง ตรงจุดปลายทางของเส้นใยนำแสงนั้น IMPULSE ที่เดินทางมานั้นจะขยายกว้างออก เนื่องจากคุณสมบัติ dispersion ของแสงที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ผ่านมา แม้ว่าในระหว่างทางที่แสงเดินทางมาจะไม่มี RADIATION MODE (แสงกระจายออก CORE) เลยก็ตาม แต่ทว่าการที่ IMPULSE ขยายกว้างออกไปนั้นจะต้องทำให้ขนาดของ IMPULSE ลดลงอย่างแน่นอน จากการตรวจดู IMPULSE WAVE FORM ตรงจุดปลายทางของเส้นใยนำแสง (เรียกว่า IMPULSE RESPONSE WAVE FORM) นี้สามารถใช้เป็นขั้นตอนของการประเมินค่าคุณสมบัติการขยายกว้างออก (DISPERSION) ของเส้นใยนำแสงได้ โปรดสังเกตว่าการใช้หลักการเช่นนี้ในย่านของความถี่จึงเรียกว่า BASE BAND FREQUENCY CHARACTERISTIC

คำว่า BASE BAND FREQUENCY CHARACTERISTIC นั้นหมายถึง คุณสมบัติความถี่ของอัตราส่วนของขนาดของสัญญาณไฟฟ้าซึ่งเป็น sine wave ที่นำมาผสมทางด้าน INPUT กับสัญญาณไฟฟ้าที่แยกออกมาจากการผสม (DEMODULATION) ทางด้าน OUT PUT ในสายส่งที่เป็นเส้นใยนำแสงดังแสดงในรูปที่ 17(a) สำหรับเส้นใยนำแสงที่เป็น MULTI MODE เนื่องจากผลของ MODE DISPERSION ดังที่ได้กล่าวมาแล้วจะทำให้ได้ว่า เมื่อความถี่ที่นำมาผสมทางด้าน input สูงขึ้น ขนาดของสัญญาณที่แยกออกมาจากการผสมทางด้าน OUT PUT ลดลงดังแสดงด้วยกราฟในรูปที่ 17(b) นอกจากนั้นยังขึ้นกับระยะทางด้วย ขนาดความกว้าง band width ที่ 6 dB นั้นเรียกว่าเป็นช่วงความถี่ที่ขนาดของสัญญาณไฟฟ้าที่แยกออกมาจากการผสม ภายหลังจากแสงเดินทางได้ 1 Km แล้วปรากฏว่าขนาดของมันลดลงเป็น (ปริมาณการสูญเสียกำลังของแสงเป็น 3 dB) เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของสัญญาณไฟฟ้าที่นำมาผสมทางด้าน input และใช้หน่วยเป็น MHz.Km

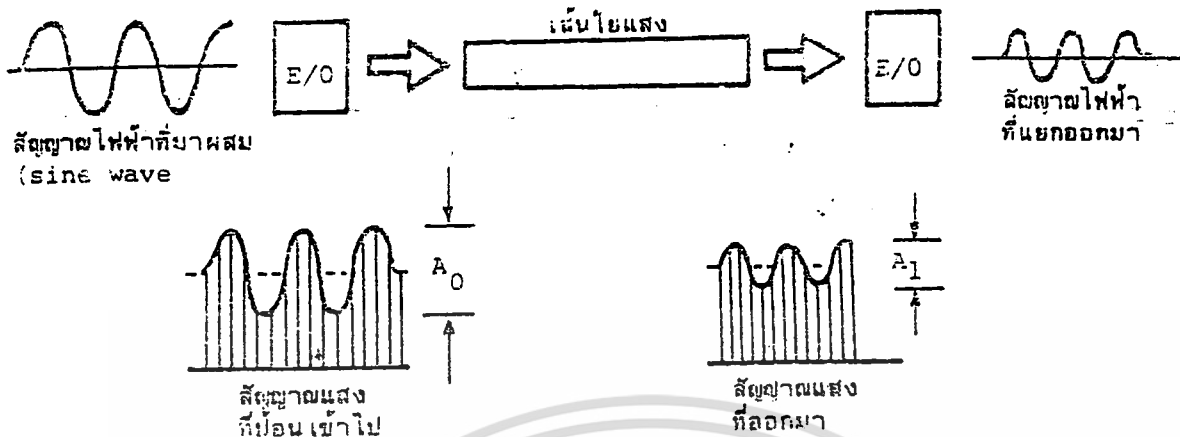
Base Band Frequency Characteristic ของเส้นใยนำแสง ซึ่งเปรียบเทียบกับคุณสมบัติการส่งของเส้นใยนำแสงกับสายเคเบิลโลหะ แบบ Balance และกับสาย COAXIAL CABLE จะเห็นว่าคุณสมบัติ Base Band Frequency ของเส้นใยนำแสงกว้างกว่าสายเคเบิลโลหะแบบ Balance และสาย COAXIAL CABLE ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมากมาย โดยเฉพาะเส้นใยนำแสงแบบ SM นั้นกว้างมากที่สุดโดยทั่วไปกล่าวกันว่า มันมีขนาดความกว้างที่ 6 dB เป็นหลายสิบ GHz.Km

3. ความแข็งแรงทาง MECHANIC ของเส้นใยนาแสง

ความแข็งแรงทาง MECHANIC ของเส้นใยนาแสงนั้นเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งที่จะต้องคำนึงถึงในการนำไปใช้งานในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนาแสง โดยเฉพาะอย่างยิ่งความแข็งแรงในการดึง (TENSION STRENGTH) สำหรับสายเคเบิลโลหะนั้นเนื่องจากมันมีความยืดหยุ่น (FLEXIBILITY) อยู่ในตัวจึงไม่ค่อยมีปัญหา แต่สำหรับเส้นใยนาแสงนั้นเนื่องจากมีความเปราะของแก้วอยู่จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงเรื่องนี้อย่างมาก

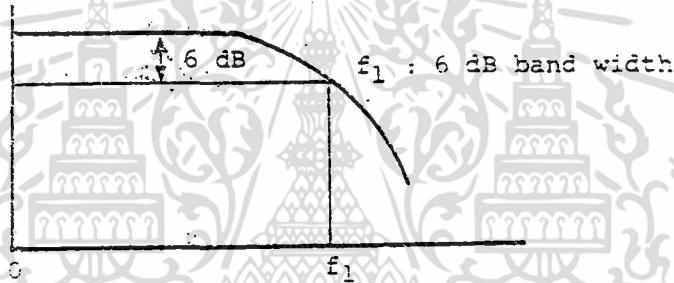
ความแข็งแรงในการดึงของเส้นใยแสงที่ทำด้วยแก้วนั้น ในปัจจุบันมีค่าสูงประมาณ 300 Kg/mm² กล่าวคือมีค่าประมาณ 2 เท่าของเหล็กกล้าและมีค่ามากกว่า 10 เท่าของทองแดง, อะลูมิเนียม แต่ทว่าถ้าหากมีรอยขีดข่วน (SCRATCH) ที่ผิวของเส้นใยนาแสงแล้ว และถ้าหากมีแรงดึงมากกระทำต่อเส้นใยนาแสงนั้น แรงที่มากกระทำนี้จะไปรวมกันตรงที่มีรอยขีดข่วน และถ้าหากมันมีค่าเกินกว่าแรงเครียดที่มันได้ (STRESS) แล้วเส้นใยแสงนั้นจะขาดออกทันที อันนี้เรียกว่าความเปราะของแก้ว

สำหรับในขั้นตอนการดึงแท่งแก้ว PREFORM ให้เป็นเส้นใยแสงนั้นพวกฝุ่นละอองมาจับตรงผิวด้านนอกของมันได้ง่าย และเป็นสาเหตุให้เกิดรอยขีดข่วนขึ้นที่ผิวนอกของเส้นใยนาแสง ดังนั้นพอดึงเป็นเส้นใยนาแสงแล้ว ต้องรีบทำการหุ้มด้วยวัสดุป้องกันชั้นที่หนึ่งทันที (FIRST COVER) นอกจากนั้นยังต้องทำให้ภายในห้องที่ทำการดึงเส้นใยแสงสะอาดปราศจากฝุ่นละอองดีด้วย และยังจำเป็นต้องคำนึงถึงสภาพสิ่งแวดล้อมในขณะที่ผลิตเส้นใยนาแสงอย่างพิถีพิถัน โดยทั่วไปแล้วสาเหตุที่ทำให้เส้นใยนาแสงขาดนั้นก็คือในตลอดความยาวของเส้นใยนาแสงมีรอยขีดข่วนอยู่ที่ใดที่หนึ่งอย่างแน่นอน การทดสอบเพื่อกำจัดรอยขีดข่วนและรักษาความแข็งแรงของเส้นใยนาแสงเรียก SCREENING TEST ว่า SCREENING หมายถึงการร่อน กรองเอาออก กล่าวคือเป็นวิธีการทดสอบโดยการป้อนแรงดึงให้แก่เส้นใยนาแสงเพื่อตัดส่วนที่ไม่แข็งแรง อันเนื่องมาจากรอยขีดข่วนและอื่น ๆ ออกไปโดยการทำเช่นนี้จะทำให้สามารถกำจัดส่วนที่ไม่แข็งแรงออกไปได้ก่อนล่วงหน้า และเมื่อผลิตเป็นเส้นใยนาแสงโดยสมบูรณ์แล้วจะทำให้สามารถลดการเปราะขาดของเส้นใยนาแสงได้อย่างดี อนึ่ง เป็นที่ทราบกันทั่วไปว่า ถ้าหากนำเส้นใยนาแสงลงไปแช่ในน้ำแล้วจะทำให้ความแข็งแรงในการดึงลดลงสาเหตุเนื่องจากว่า น้ำจะไปทำให้แรงเกาะกันระหว่างอะตอมของเส้นใยนาแสงอ่อนตัวลง ด้วยเหตุนี้ ภายใต้อุณหภูมิการใช้งานจำเป็นต้องระวังอย่าให้เส้นใยนาแสงจมลงไปใต้น้ำอย่างเด็ดขาด



(a) การจัด base band frequency characteristic

$$20 \log A_1/A_0$$



(b) คุณสมบัติ base band frequency และ 6 dB band width

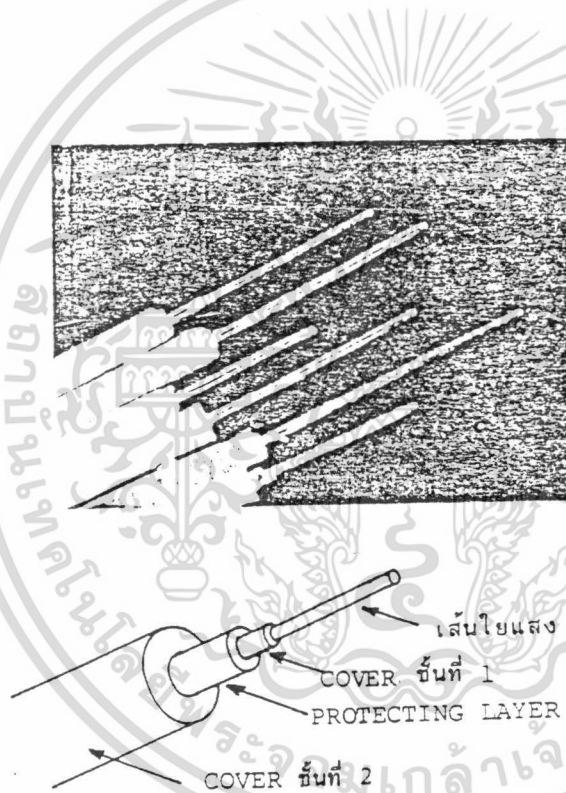
รูปที่ 17 แสดงขนาดความกว้าง BAND WIDTH ของการส่งของเส้นใยนำแสง

วิธีการผลิตเส้นใยนำแสง

1. การผลิตแท่งแก้ว PERFORM ด้วยวิธี VAD และวิธี CVD

โดยทั่วไปแล้วเส้นใยนำแสงเป็นสิ่งที่มีความเล็กมาก ประมาณ 125 μm ถ้าหากจะทำการผลิตเส้นใยนำแสงขนาดเล็ก 125 μm โดยตรงทันทีเลยนั้นจะเกิดความยุ่งยากอย่างมากในการควบคุม ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหให้เหมาะสมถูกต้องตามต้องการ ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ปัญหาในการสร้างเส้นใยนำแสงนั้นจะต้องผ่านขั้นตอนต่าง ๆ จำนวนหนึ่งก่อน

ที่จะได้เส้นใยนำแสงออกมา กล่าวคือ อันดับแรกจะทำแท่งแก้วที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโตตั้งแต่หลาย ๆ มิลลิเมตร และมีความยาวประมาณ 30 ~ 100 เซนติเมตร โดยที่แท่งแก้วนี้มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหเหมือนกันกับของเส้นใยนำแสงทุกประการ แท่งแก้วนี้เรียกว่าแท่งแก้วต้นแบบ (PREFORM) อันดับต่อไปโดยการให้ความร้อนแก่ PREFORM น้ำ และทำการดึง PREFORM ให้ยืดออกเป็นเส้นยาวขนาดเล็กตามต้องการ พร้อมทั้งรักษาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของมันให้คงที่สม่ำเสมอตลอดความยาวที่ทำการดึงยืดออก โดยการทำเช่นนี้จะได้เส้นใยนำแสงตามที่ต้องการ สำหรับ PREFORM หนึ่งแท่งนั้นจะสามารถดึงให้เป็นเส้นใยนำแสงได้ยาวตั้งแต่หลายกิโลเมตร ไปจนถึงหลายร้อยกิโลเมตร ส่วนวิธีการผลิต PREFORM นั้นมีมากมายหลายวิธี แต่ในที่นี้จะอธิบายเฉพาะวิธีที่

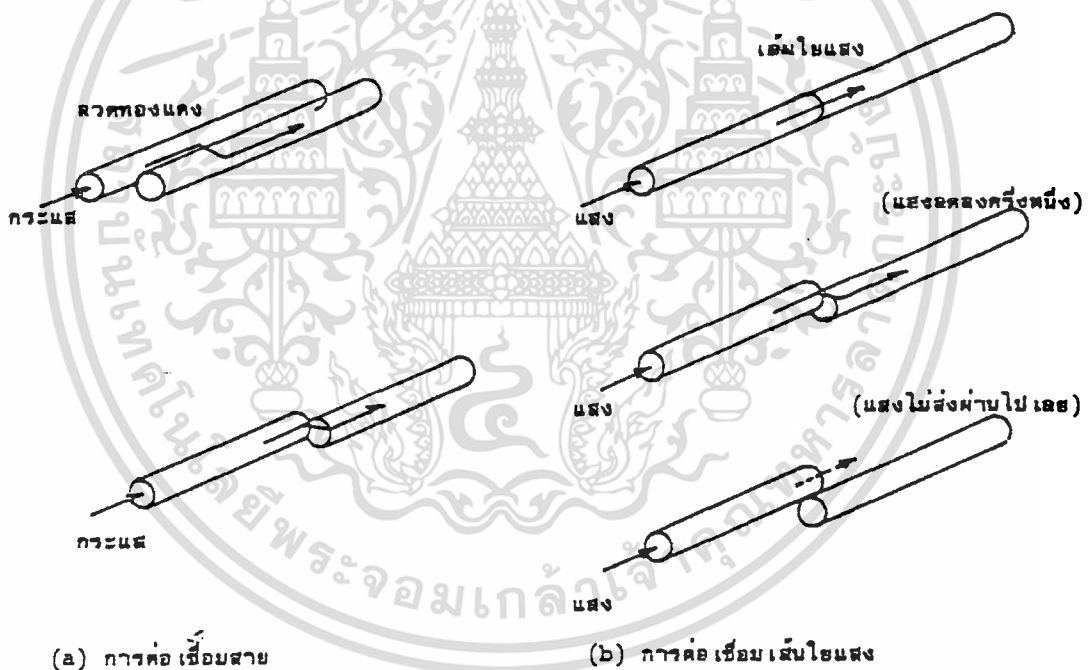


รูปที่ 18 แสดงโครงสร้างแบบ TIGHT STRUCTURE หลังจากหุ้ม
SECOND COVER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการต่อเชื่อมเส้นใยนำแสง

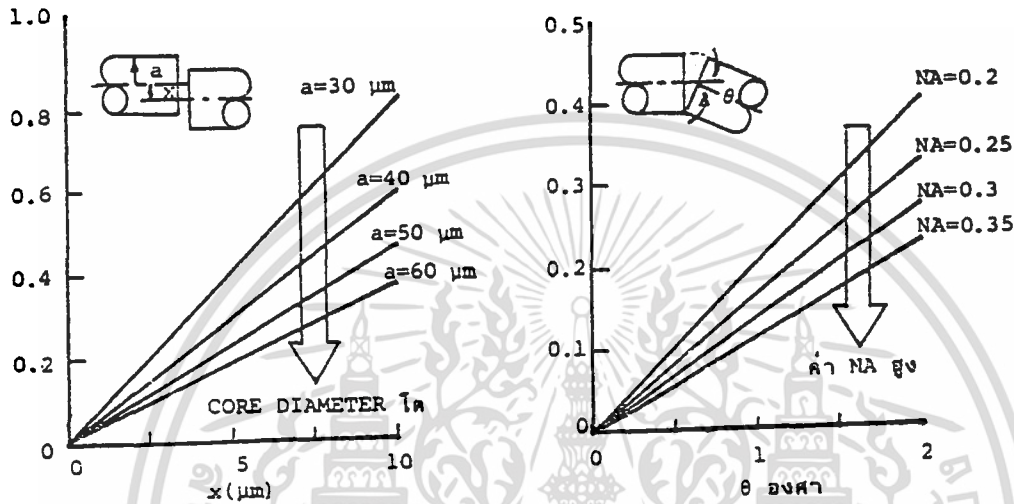
การต่อเชื่อมเส้นใยนำแสงมีหลักการต่อเชื่อมแตกต่างกับกรณีของสายไฟโลหะ (Metal Wire) ดังแสดงการเปรียบเทียบในรูปที่ 24 จากรูปที่ 24(a) เป็นการต่อเชื่อมสายไฟโลหะจะเห็นว่าจะทำการต่อเชื่อมอย่างไรก็ได้ และวิธีการต่อเชื่อมนั้นทำได้ง่ายไม่มีปัญหาอะไรเป็นพิเศษ แต่สำหรับกรณีของเส้นใยนำแสงนั้น ดังแสดงในรูปที่ 24(b) จะเห็นว่าผิวด้านหน้าของ CORE ของเส้นใยนำแสงที่จะทำการต่อเชื่อมกันนั้นถ้าหากไม่ตรงกันพอดีแล้วจะทำการต่อเชื่อม ไม่ได้ผลดี ดังนั้นการทำให้ CORE ของเส้นใยนำแสงที่มีขนาดเล็กเกือบเท่าเส้นผม นั่นคือมีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 10 ~ หลายสิบลบ μm สามารถปรับให้ตรงกันได้พอดี สะดวกรวดเร็ว และทำการต่อเชื่อมกันได้อย่างมั่นคง ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของสภาพสิ่งแวดล้อมนั้นถือว่าเป็นหัวข้อพื้นฐานทางเทคนิคที่สำคัญอันหนึ่ง



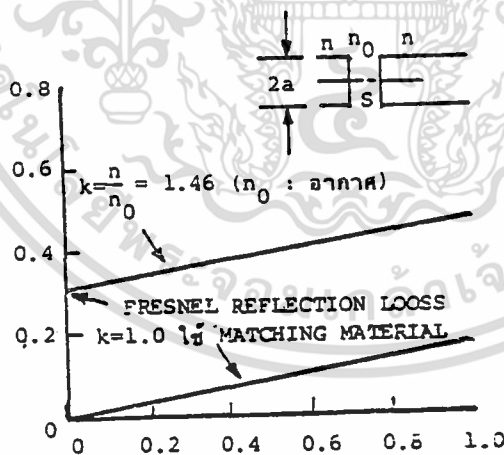
รูปที่ 19 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกรต่อเชื่อมสายไฟโลหะกับการต่อเชื่อมเส้นใยนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการสูญเสียจากการต่อเชื่อมเส้นใยแสงอันเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนของ CORE ของเส้นใยแสง ความคลาดเคลื่อนของมุมของ CORE, ระยะห่างของด้านหน้าของ CORE แสดงดัง (a), (b), (c) ของรูป 5.25 เกี่ยวกับวิธีการเชื่อมต่อเส้นใยแสงแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีคือ วิธีการต่อเชื่อมถาวรโดยการต่อเชื่อมด้วยไฟฟ้า เช่น ARC SPLICING เป็นต้น และวิธีการต่อเชื่อมชั่วคราวที่สามารถถอดออกได้ต่อเข้าไปใหม่ได้โดยใช้ CONNECTOR



(a) แกนของ CORE คลาดเคลื่อน (b) มุมของ CORE คลาดเคลื่อน



(c) ค่าผลต่างแยกห่างจากกัน

รูปที่ 20 แสดงการสูญเสียจากการต่อเชื่อมเส้นใยนำแสงอันเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การต่อเชื่อมถาวรด้วยการ SPLICING

วิธีการต่อเชื่อมถาวรด้วยการ SPLICING เป็นการต่อเชื่อมโดยการทำให้ผิวด้านหน้าของเส้นใยนำแสงหลอมตัวแล้วเชื่อมต่อกัน ส่วนใหญ่จะใช้กับการเชื่อมต่อตรงส่วนที่ทำการต่อเชื่อมใหม่ได้ โดยไม่ต้องพิถีพิถันมากนัก เช่น การต่อเชื่อมภายใน MANHOLE เป็นต้น การทำให้ผิวด้านหน้าของเส้นใยนำแสงหลอมตัวนั้น มีหลายวิธีคือการใช้ ELECTRIC ARC, ใช้ลำแสง LASER, การใช้เปลวไฟแต่เมื่อพิจารณาถึงความสะดวกในการเชื่อมต่อความเชื่อถือได้ และความประหยัดแล้วโดยทั่วไปนิยมใช้การต่อเชื่อมด้วย ELECTRIC ARC ซึ่งเรียกว่า ARC SPLICING หรือ ELECTRIC ARC FUSION SPLICING เกี่ยวกับขั้นตอนการต่อเชื่อมของ ELECTRIC ARC FUSION SPLICING นี้เป็นดังต่อไปนี้คือ

อันดับแรก ทำการปกเองวัสดุหุ้ม (COVER) ออกก่อน สำหรับ SECOND COVER นั้นสามารถใช้เครื่องมือ (STRIPPER) ปอกออกได้ สำหรับ FIRST COVER นั้นอาจใช้เครื่องมือปอก หรือใช้สารละลายอินทรีย์เคมี (ORGANIC CHEMICAL SOLUTION) กำจัดออกได้

อันดับต่อไปเป็นการตัดเส้นใยนำแสง เนื่องจากความสม่ำเสมอของผิวหน้าตัดของเส้นใยนำแสงมีผลอย่างมากต่อการสูญเสียในการเชื่อมต่อ ดังนั้นการตัดเส้นใยนำแสงจึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญ ถ้าหากใช้เครื่องมือตัดธรรมดาที่ใช้กันอยู่ทั่วไปคือ คีมตัด (Knipper) มาตัดเส้นใยนำแสงแล้วจะได้ผิวหน้าตัดดังแสดงในรูปที่ 26(a)



(a) ตัดด้วยคีมตัดธรรมดา



(b) หลักการตัดโดยใช้ FIBER CUTTER



(c) ตัดด้วย FIBER CUTTER

รูปที่ 21 แสดงผิวหน้าตัดของเส้นใยนำแสง

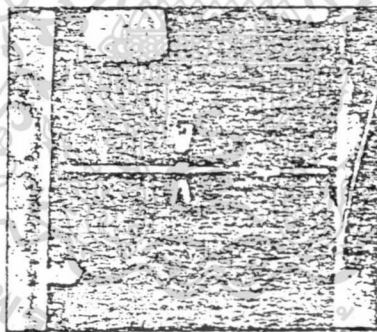
นั่นคือจะเห็นว่าผิวหน้าตัดไม่เรียบสม่ำเสมอ ดังนั้นถ้าหากใช้เครื่องมือตัดเส้นใยนำแสงโดยเฉพาะ (เรียกว่า FIBER CUTTER) ซึ่งใช้หลักการการตัดแก้ว โดยทำให้มีรอยขีดบนเส้นใยนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงก่อนแล้วงอเส้นใยนำแสงมันจะขาดจากกันได้โดยง่ายดังรูป 26(b) และจะได้ผลการตัดที่มีผิวหน้าตัดเรียบสม่ำเสมอคือดังรูป 26(c)

ขั้นต่อไปคือวิธีการปรับแกนของเส้นใยนำแสงที่ตัดแล้วให้ตรงกัน ในกรณีของเส้นใยนำแสงแบบ GI นั้น เนื่องจากเส้นย่ศูนย์กลางของ CORE มีขนาดใหญ่ถึง $50\ \mu\text{m}$ แม้ว่าจะยอมให้เปอร์เซ็นต์การคลาดเคลื่อนของศูนย์กลางของ CORE มีค่าสูงสุดถึง 6% ก็ตามแต่ก็ไม่ทำให้การสูญเสียจากการต่อเชื่อมเพิ่มขึ้นจนเป็นปัญหามากเท่าใด ดังนั้นเพียงแต่นำเส้นใยนำแสงที่จะต่อเชื่อมไปวางบนร่องที่มีรูปร่างเป็นรูปตัวอักษร V (V - type groove) ซึ่งปรับแกนให้ตรงกันไว้แล้วเท่านั้นไม่พอ เพราะผลจากการคลาดเคลื่อนของศูนย์กลางจะทำให้การสูญเสียเพิ่มขึ้นอย่างมาก เพื่อเป็นการลดการสูญเสียนี้จำเป็นต้องใช้ CORE MONITOR หรือ POWER MONITOR เข้าช่วยด้วย

นอกจากนี้ เพื่อเป็นการทำให้ผิวด้านหน้าของเส้นใยนำแสงที่ตัดด้วย FIBER CUTTER เรียบสม่ำเสมอคตินั้นจะใช้วิธีที่ให้ผลคือ จะให้ความร้อนแก่ด้านปลายของเส้นใยนำแสงที่จะทำการต่อเชื่อมเสียก่อนเพื่อทำให้หลอมตัวและหลังจากที่ทำให้ด้านปลายของเส้นใยนำแสงสม่ำเสมอเท่ากันด้วยแรงดึงผิวด้านนอกแล้ว จึงให้ความร้อนใหม่อีกครั้งหนึ่งเพื่อต่อเชื่อมเข้าด้วยกัน วิธีการเช่นนี้เรียกว่า PREHEAT SPLICING METHOD รูป 27 แสดงช่วงระยะเวลาที่ทำการต่อเชื่อมด้วยการให้ ELECTRIC ARC แก่เส้นใยนำแสง



รูปที่ 22 แสดงช่วงระยะเวลาขณะที่ทำการต่อเชื่อมด้วย ELECTRIC ARC FUSION

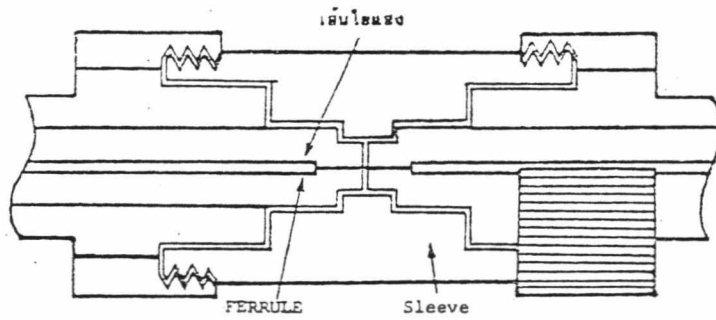
อนึ่ง ในการต่อเชื่อมเส้นใยนำแสงนั้น เนื่องจากต้องปกเอา COVER ออกหมดทำให้ความแข็งแรงทาง MECHANIC ลดลงจึงจำเป็นต้องหาวิธีการอย่างใดอย่างหนึ่งเพื่อเพิ่มความแข็งแรงขึ้นให้เหมือนเดิม สำหรับจุดประสงค์นี้ NTT ใช้วิธีการนำเอาท่อที่หดตัวได้เมื่อได้รับความร้อน (HEAT CONTRACTING TUBE) ไปหุ้มตรงส่วนที่ปก COVER ออกหมด หลังจากที่ต่อเชื่อมเสร็จแล้ว เพื่อเพิ่มความแข็งแรงขึ้นให้เหมือนเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การต่อเชื่อมด้วย CONNECTOR

การต่อเชื่อมด้วย CONNECTOR จะใช้กับส่วนที่มีการต่อเข้าและถอดออกบ่อย ๆ การต่อเชื่อมด้วย CONNECTOR ก็เช่นเดียวกับกรณีของการต่อเชื่อม ELECTRIC ARC SPLICING กล่าวคือด้านปลายทั้งสองของ CORE ของเส้นใยแสงจะต้องตรงกันพอดี โดยทั่วไปนิยมใช้ CONNECTOR แบบ FERRULE โครงสร้างหลักของ CONNECTOR แบบ FERRULE แสดงดังรูป 5.28(a) FERRULE เป็นส่วนที่ทำให้ศูนย์กลางของ CORE ของเส้นใยนำแสงตรงพอดีกับศูนย์กลางของ CONNECTOR และตัวที่ทำหน้าที่เป็น Sleeve (ปลอก) นำให้ FERRULE กับ FERRULE สามารถปรับต่อกันได้อย่างถูกต้องแน่นอนนั้นเรียกว่า FERRULE TYPE CONNECTOR ในการประกอบ CONNECTOR นั้นจะต้องสอดเส้นใยนำแสงเข้าไปใน FERRULE แล้วยึดให้แน่น จากนั้นจึงทำการขัดผิวหน้าด้านปลายของ FERRULE ให้เรียบ เหตุผลของการขัดผิวหน้าด้านปลายของ FERRULE ก็เพื่อลดการสูญเสียอันเนื่องมาจากผิวหน้าของเส้นใยนำแสงไม่เรียบนั่นเอง

สำหรับรูปที่ 28(b) แสดงตัวอย่าง CONNECTOR สำหรับเส้นใยนำแสง 1 เส้นที่ NTT ใช้งานอยู่ส่วนรูปที่ 28(c) นั้นแสดงตัวอย่างของ CONNECTOR สำหรับเส้นใยแสง 5 เส้น โดยที่ทำให้เส้นใยนำแสงจำนวน 5 เส้นรวมเข้าด้วยกัน (รายละเอียดของมันจะกล่าวถึงทีหลัง) สามารถต่อเข้าด้วยกันพร้อม ๆ กัน ได้ ซึ่งก็เป็น CONNECTOR ที่ NTT ใช้งานอยู่เช่นกัน



(a) แสดงรูปตัดขวางของ CONNECTOR แบบ FERRULE



(b) CONNECTOR แบบใช้กับเส้นใยแสงเส้นเดียว

(c) CONNECTOR แบบใช้กับเส้นใยแสง 5 เส้น

รูปที่ 23 แสดงการต่อเชื่อมด้วย CONNECTOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคเบิลใยนำแสง (Optic Fiber Cable)

1. หน้าที่ต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับเคเบิล

ในการรวมเส้นใยนำแสงจำนวนหนึ่งเข้าด้วยกันเพื่อทำให้เป็นเคเบิลที่ใช้ในการสื่อสาร นั้น โดยทั่วไปแล้วจำเป็นต้องคำนึงถึงสิ่งต่าง ๆ ต่อไปนี้เพื่อนำมาพิจารณาประกอบในการออกแบบเคเบิล

(1) คุณสมบัติในการส่ง (TRANSMISSION CHARACTERISTIC) คงที่ไม่เปลี่ยนแปลง ทนต่อแรงภายนอก น้ำและอื่น ๆ ปัญหาที่มีเป็นพิเศษสำหรับเส้นใยนำแสงก็คือ ถ้าหากมีแรงกดที่ไม่เท่ากันมากกระทำทางด้านข้างของเส้นใยนำแสงจะทำให้เกิด MICRO BENDING LOSS ขึ้น นอกจากนั้นถ้าหากมีน้ำเข้าไปในเส้นใยนำแสงส่วนหนึ่งของน้ำจะไปรวมติดกับเส้นใยนำแสง ทำให้ความแข็งแรงทาง MECHANIC ตกลงอย่างมาก ดังนั้นในการออกแบบเคเบิลเส้นใยนำแสงนับตั้งแต่การสร้างเคเบิล การวางเคเบิล ไปจนถึงการใช้งานนั้น จำเป็นต้องทำให้คุณสมบัติที่ตกลงอย่างนี้มีน้อยที่สุด

(2) ในการทำงานในสถานที่ปฏิบัติงานจริงนั้น จะต้องทำให้สามารถใช้งานได้เช่นเดียวกันกับกรณีของ METALIC CABLE นั่นคือเพื่อให้มีการใช้เคเบิลเส้นใยนำแสงในการสื่อสารอย่างกว้างขวางนั้น การวางสายเคเบิลเส้นใยนำแสง การเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงที่สถานที่ปฏิบัติงานจริงจำเป็นต้องทำให้การทำงานทำได้สะดวกง่ายเหมือนกัน METALIC CABLE

(3) การบำรุงรักษาภายหลังจากการวางเคเบิลเส้นใยนำแสงแล้ว ต้องทำได้ง่าย สะดวกง่ายดาย เนื่องจากว่าในการใช้เคเบิลเส้นใยนำแสง เพื่อการส่งจำนวนมากนั้น จำเป็นต้องรักษาความเชื่อถือได้ เอาไว้ให้มีตลอดไปด้วยเหตุนี้จะต้องทำให้มีการค้นหาจุดที่ชำรุดได้ง่าย ทำให้มีการป้องกันน้ำได้ง่าย

บทที่ 4

การออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในโรงงาน

1. ส่วนของ Micro Bending

- 1.1 ให้แรงขนาดต่างๆกันกดเส้นใยนำแสงเพียงจุดเดียว
- 1.2 ให้แรงขนาดต่างๆกันกดเส้นใยนำแสงหลายจุด

2. ส่วนของ Bending Loss

- 2.1 ทดลองขดเส้นใยนำแสงให้โค้งงอด้วยมือเปล่า
- 2.2 ทดลองขดเส้นใยนำแสงรอบแกนวงกลมขนาดต่าง
- 2.3 ทดลองขดเส้นใยนำแสงรอบแกนคล้ายกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า
- 2.4 ทดลองขดเส้นใยนำแสงรอบแกนหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจตุรัส

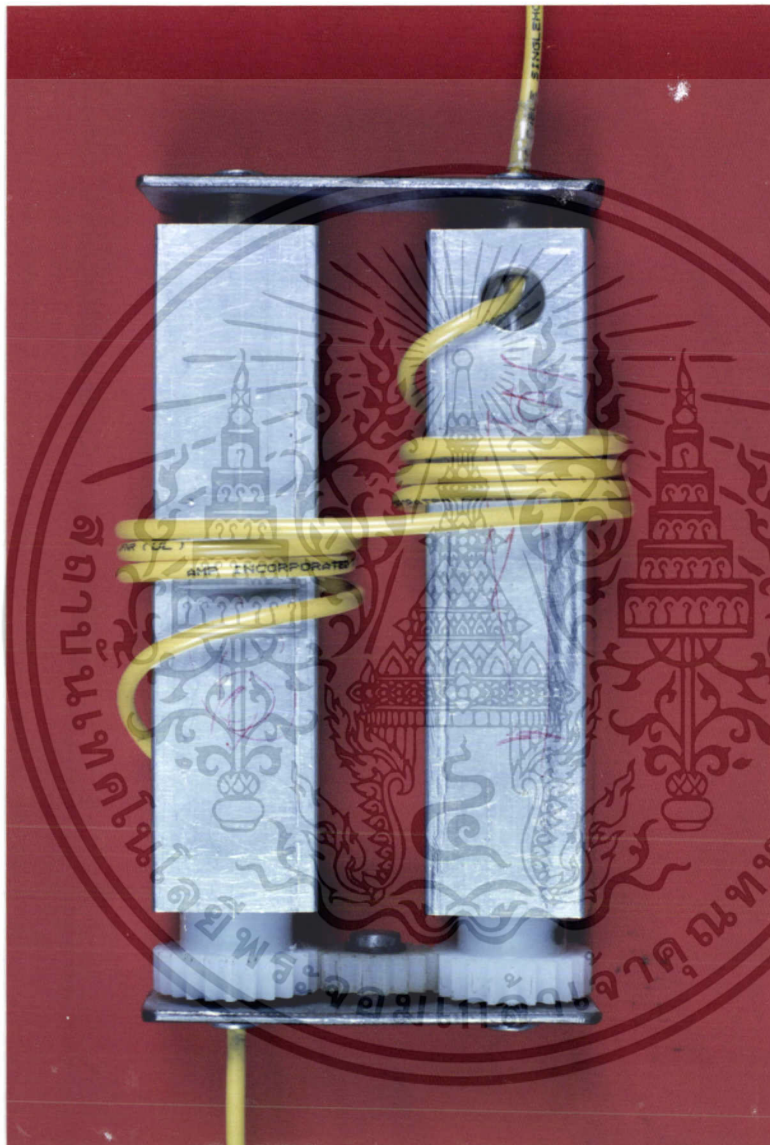


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบอุปกรณ์ต้นแบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

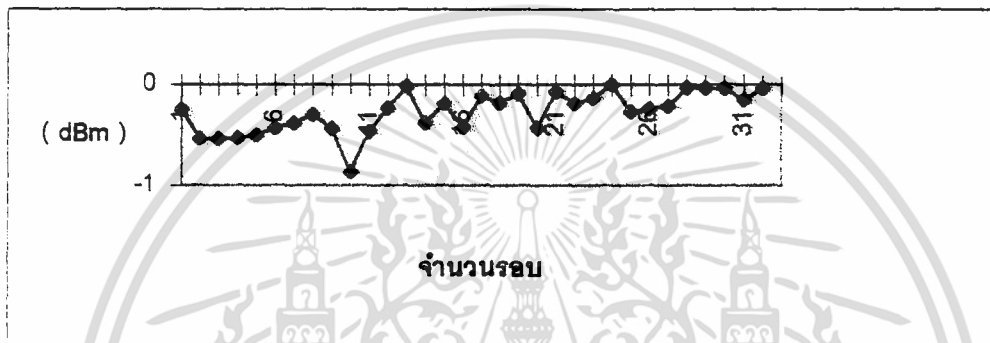
ผลการทดลอง

ใช้เส้นใยนำแสงพันรอบแกนหน้าตัดสี่เหลี่ยมจตุรัส

จำนวนรอบ	Power Loss (dBm)	ผลต่าง (dBm)
0	-46.37	-0.25
1	-46.62	-0.54
2	-47.16	-0.54
3	-47.7	-0.53
4	-48.23	-0.5
5	-48.73	-0.43
6	-49.16	-0.38
7	-49.54	-0.3
8	-49.84	-0.44
9	-50.28	-0.87
10	-51.15	-0.46
11	-51.61	-0.23
12	-51.84	-0.01
13	-51.85	-0.38
14	-52.23	-0.19
15	-52.42	-0.42
16	-52.84	-0.11
17	-52.95	-0.18
18	-53.13	-0.09
19	-53.22	-0.43
20	-53.65	-0.07
21	-53.72	-0.19
22	-53.91	-0.13
23	-54.04	0
24	-54.04	-0.27
25	-54.31	-0.24
26	-54.55	-0.21
27	-54.76	-0.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนรอบ	Power Loss (dBm)	ผลต่าง (dBm)
28	-54.79	-0.03
29	-54.82	-0.04
30	-54.86	-0.15
31	-55.01	-0.04
32	-55.05	



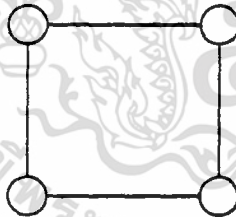
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

เมื่อศึกษาการสูญเสียของแสงในเส้นใยนำแสงแบบต่างๆ พบว่าการสูญเสียแบบ macro bending loss และแบบ micro bending loss สามารถนำมาศึกษาทำเป็นอุปกรณ์ลดทอนสัญญาณในเส้นใยนำแสง (ATTENUATOR) ได้และจุดประสงค์หลักคือสามารถลดทอน 0-10 dBm จากการทดลองทั้งสองแบบสรุปได้ว่า

1. จากการทดลองแบบกคจุดเคี้ยวและการทดลองแบบกคหลายจุดผลการทดลองที่ได้พบว่าไม่สามารถนำมาสร้างได้เนื่องจากสาเหตุ 2 ประการคือ
 - 1.1 เมื่อใช้แรงสูงสุดกคไม่สามารถลดทอนได้ถึง 10 dBm
 - 1.2 ไม่สามารถควบคุมแรงที่กคให้ linear ได้
2. จากการทดลองแบบพันโค้งรอบแกนแบบต่างสรุปได้ว่า
 - 2.1 ถ้าพันรอบแกนขนาดใหญ่ค่าการลดทอนจะมีค่าน้อยมากหรือไม่มีผลต่อการลดทอน
 - 2.2 ถ้าพันรอบแกนขนาดเล็กค่าการลดทอนจะมีค่ามากขึ้นเมื่อรัศมีของแกนลดลง
 - 2.3 ถ้าพันรอบแกนสี่เหลี่ยมเหมือนพันรอบแกนวงกลม 4 วง



เพราะฉะนั้นถ้าพิจารณาจากแบบ (ที่พัฒนาแล้ว) จะเห็นได้ว่าข้างหนึ่งควรเป็นแกนวงกลมขนาดใหญ่ที่ไม่มีผลต่อการลดทอนและอีกข้างหนึ่งควรเป็นแกนสี่เหลี่ยมที่มีผลต่อการลดทอนเพราะถ้าเป็นแกนวงกลมไม่สามารถลดทอนได้

เอกสารอ้างอิง

- 1.E.E.Basch and Editor-in-chief, Optic-Fiber Transmission, Howard W. Sam&Co p.258-261
- 2.Stewart E.Miller and Ivan P.Kaminow, Optical Fiber Telecommunication II, Acedemic Press,p.449-453
- 3.Govind P. Agrawal, Fiber-optic Communication System, John Wiley&sons, p.256-258



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้