

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

หลักการหน่วยความจำแสง



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 47295
วัน, เดือน, ปี 27 ส.ย. 2546

.b.....
.i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Optical Memory



Miss Rapeepan Jangsilp

Mr. Ittiphol Suraphat

A Special Project in Partial Fulfillment of the
Requirement for the Degree of Bachelor of Science
Department of Applied Physics
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	หลักการหน่วยความจำแสง
นักศึกษา	นางสาวรพีพรรณ แจ่มศิลป์ นายอิทธิพล สุรพัฒน์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ยูพาพิน
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
ปีการศึกษา	2545

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอการศึกษาการการหน่วงเวลาทางแสง โดยการใช้ระบบหน่วยความจำแสง ซึ่งจะทำการศึกษาทฤษฎี หลักการ และผลของสัญญาณที่ได้จากการศึกษาระบบหน่วยความจำแสง ในงานวิจัยนี้ใช้แหล่งกำเนิดแสงจากเครื่องไอทีดีอาร์ แล้วทำการส่งสัญญาณเข้าสู่เส้นใยแก้วนำแสงที่มีโครงสร้างรูปวงแหวน จากนั้นจะทำการตรวจวัดสัญญาณด้วยเครื่องตรวจวัดสัญญาณแสง ซึ่งจะแสดงผลออกมาในรูปแบบของกำลังแสง และเชื่อมต่อเข้ากับออสซิลโลสโคปเพื่อแสดงผลทางหน้าจอเป็นรูปสัญญาณพัลส์ระหว่างกำลังแสงกับเวลา โดยผลที่ได้นี้จะนำมาทำการพิจารณาค่าการสูญเสียกำลังทางแสงต่อระยะทาง และศึกษาการหน่วงเวลาทางแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Optical Memory
Name	Miss Rapeepan Jangsilp Mr.Ittiphol Suraphat
Special Project Advisor	Assoc.Prof.Dr.Preecha Yupapin
Department	Applied Physics
Academic Year	2002

ABSTRACT

This special project is the study of an optical memory by using the fiber optic. The signal processing schemes such as direct detection techniques were investigated by using the single-mode fiber, where the attenuation and time delays were studied. Optical Time domain reflectometer (OTDR) was employed in the study . The input signals were entered into the optical transmission lines and were splitted by combiner coupler. One part of the signals were transmitted into the ring , before falling on the photo director . Result obtained, loss of optical and optical time delays attenuation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความช่วยเหลือเป็นพิเศษจากคณาจารย์ภาคฟิสิกส์ทุกท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ยุกาพิน ที่คอยให้คำปรึกษา และแนะนำแนวทางในการทำโครงการพิเศษทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ และอาจารย์เบญจพล ต้นฐี สำหรับการให้คำแนะนำเกี่ยวกับการนำเสนอโครงการพิเศษ คณะผู้จัดทำรู้สึกทราบบ้างในความอนุเคราะห์จากท่าน และกราบขอบพระคุณอย่างสูง

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณพี่บัณฑิตของ บ.สยามไฟเบอร์ออปติก จก. ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์ ขอขอบพระคุณคุณอุทิศม นาควิชะระ ที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดทำหนังสือโครงการพิเศษเล่มนี้ ขอขอบคุณพี่ๆ นักศึกษาปริญญาโท และเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีมาโดยตลอด

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากการทำโครงการพิเศษนี้ คณะผู้จัดทำขอขอบแต่คุณพ่อ คุณแม่ และผู้มีพระคุณ

นางสาวพีพรรณ แจ่มศิลป์

นายอิทธิพล สุรพัฒน์

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	๗
สารบัญรูป	๘
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการพิเศษ	2
1.5 ตารางการทำงาน	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	3
2.1 โยแก้วนำแสง	3
2.1.1 โครงสร้างของโยแก้วนำแสง	3
2.1.2 ชนิดของโยแก้วนำแสง	3
2.2 คุณสมบัติของโยแก้วนำแสง	5
2.2.1 การสะท้อนกลับหมดภายในโยแก้วนำแสง	5
2.2.2 การกระจายแสง	5
2.3 การคัปปลิงท่อนำแสง	7
2.3.1 โหมดแสงภายในท่อนำแสงแบบคู่ขนาน	7
2.3.2 ผลจากการรบกวนจากตัวแปรภายนอก	9
2.3.3 การเข้ารหัสตรรกศาสตร์ด้วยแสง	9
2.3.4 คุณลักษณะของคู่ควมแบบสตาร์	11
2.4 การประมวลสัญญาณแสง	14
2.4.1 หลักการตรวจจับสัญญาณทางแสง	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4.2 สัญญาณรบกวน	17
2.4.3 การตรวจจับแบบอาพันธ์	17
2.5 อุปกรณ์ตรวจวัดใยแก้วนำแสง	18
2.5.1 อุปกรณ์แบบลูป	18
2.6 ฟิสิกส์ของแสง	19
2.7 ปรัชญาการณทางแสงเบื้องต้น	19
2.7.1 การสะท้อนกลับหมด	20
2.7.2 การแทรกสอดและเลี้ยวเบน	21
2.7.3 โหมดของแสงเลเซอร์	21
2.7.4 ความเข้มแสงเปรียบเทียบ	22
2.7.5 ค่าการลดทอนของแสงภายในเส้นใยแก้วนำแสง	22
2.8 ชนิดของใยแก้วนำแสง	23
2.8.1 เส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดียว	23
2.8.2 เส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมด	24
2.9 การสื่อสารด้วยแสง	25
2.9.1 การสื่อสารเชิงแสง	26
2.9.2 ระบบสื่อสารใยแก้วนำแสง	27
2.10 การลดทอน	28
2.10.1 การดูดกลืนของวัสดุ	29
2.10.2 การดูดกลืนจากภายนอก	29
2.10.3 การสะท้อนเรย์ลี	30
2.10.4 การสูญเสียจากการโค้งงอ	30
2.10.5 สเปกตรัมของการลดทอน	32
2.11 การกระจายในใยแก้วนำแสง	32
2.12 การเดินทางของแสงในใยแก้วนำแสง	33
2.12.1 อินเดกซ์โปรไฟล์	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.13 อุปกรณ์ตรวจวัดแสง	37
2.14 เลเซอร์	38
2.15 ไยแก้วนำแสงและการเชื่อมต่อ	40
2.16 งบประมาณกำลัง	41
2.16.1 การคำนวณงบประมาณกำลัง	41
2.16.2 การขยายสัญญาแสง	42
2.16.3 ไยแก้วเคอร์เปียมโดป	44
2.17 การเชื่อมต่อและการสูญเสีย	47
2.18 การเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง	47
2.18.1 การเชื่อมต่อด้วยวิธีการเชื่อมต่อเชิงกล	48
2.18.2 การเชื่อมต่อด้วยวิธีการหลอมรวม	49
2.18.3 การเชื่อมต่อด้วยหัวเชื่อมต่อ	50
2.19 เครื่องตรวจสอบเส้นใยแก้วนำแสงโอทีดีอาร์	53
2.19.1 เครื่องมือวัดการสะท้อนกลับเชิงเวลา	53
2.19.2 การวัดการสะท้อนของแสงเชิงเวลา	54
2.19.3 ค่าต่างๆที่วัดได้จากเครื่อง โอ ที ดี อาร์	55
2.19.4 หลักการทำงานของเครื่อง โอ ที ดี อาร์	55
2.19.5 การสูญเสียในเส้นใยแก้วนำแสง	58
2.19.6 โอทีดีอาร์ พารามิเตอร์	60
2.19.7 การประยุกต์ใช้เครื่องโอทีดีอาร์	63
บทที่ 3 การวิจัยและการดำเนินงาน	64
3.1 การศึกษาหลักการทำงานของอุปกรณ์รับสัญญาณทางแสง	64
3.1.1 เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดียว	64
3.1.2 คัปเปลอร์	64
3.1.3 เครื่องโอทีดีอาร์	64
3.1.4 เส้นใยแก้วนำแสงชนิดเคอร์เปียมโดป	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.1.5 เลเซอร์ไดโอด 980 นาโนเมตร	64
3.1.6 หัววัดแสง	64
3.1.7 ออสซิลโลสโคป	64
3.1.8 เครื่องเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง	65
3.1.9 ไมโครบลิค	65
3.1.10 อุปกรณ์จับยึดเส้นใยแก้วนำแสง	65
3.1.11 สลิว	65
3.2 การออกแบบและหลักการทำงาน	65
3.2.1 อุปกรณ์ศึกษาสมบัติการสูญเสียของสัญญาณแสงต่อระยะทาง	65
3.2.2 อุปกรณ์หลักการหน่วยความจำแสง	66
3.3 การศึกษาการสูญเสียกำลังทางแสง	68
3.4 การศึกษาการหน่วงเวลาทางแสง	69
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	70
4.1 อุปกรณ์ศึกษาสมบัติการสูญเสียของสัญญาณแสงต่อระยะทาง	70
4.2 ผลจากการศึกษาหลักการหน่วยความจำแสง	71
4.3 ผลจากการศึกษาการสูญเสียกำลังทางแสง	85
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	86
5.1 สรุปผลการทดลอง	86
5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้น	87
5.3 แนวทางการพัฒนาต่อไป	87
เอกสารอ้างอิง	88
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	89
ภาคผนวก ข	100
ประวัติผู้เขียนปริญญาานิพนธ์	108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงกำหนดการทำงานโครงการพิเศษ	2
2.1 การสูญเสียจากการดูดกลืนของสารที่สารและความยาวคลื่นต่างๆ	29
4.1 แสดงค่ากำลังแสงเอาต์พุตของใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยวความยาว 1 เมตร	70
4.2 แสดงค่ากำลังแสงเอาต์พุตของใยแก้วนำแสงชนิดหลายโหมดความยาว 1 เมตร	70
4.3 แสดงค่ากำลังแสงเอาต์พุตของใยแก้วนำแสงชนิดหลายโหมดความยาว 2 เมตร	70
4.5 ความกว้างพัลส์ 50 ns , ระยะทาง 5 km	72
4.6 ความกว้างพัลส์ 100 ns , ระยะทาง 5 km	72
4.7 ความกว้างพัลส์ 500 ns , ระยะทาง 5 km	73
4.8 ความกว้างพัลส์ 50 ns , ระยะทาง 5 km	73
4.9 ความกว้างพัลส์ 100 ns , ระยะทาง 5 km	73
4.10 ความกว้างพัลส์ 500 ns , ระยะทาง 5 km	73
4.11 ความกว้างพัลส์ 50 ns , ระยะทาง 5 km	75
4.12 ความกว้างพัลส์ 100 ns , ระยะทาง 10 km	75
4.13 ความกว้างพัลส์ 500 ns , ระยะทาง 25 km	76
4.14 ความกว้างพัลส์ 1 μ s , ระยะทาง 25 km	77
4.15 ความกว้างพัลส์ 2 μ s , ระยะทาง 50 km	77
4.16 ความกว้างพัลส์ 1 μ s , ระยะทาง 50 km	78
4.17 ความกว้างพัลส์ 2 μ s , ระยะทาง 100 km	79
4.18 ความกว้างพัลส์ 50 ns , ระยะทาง 5 km	79
4.19 ความกว้างพัลส์ 100 ns , ระยะทาง 10 km	80
4.20 ความกว้างพัลส์ 500 ns , ระยะทาง 25 km	81
4.21 ความกว้างพัลส์ 1 μ s , ระยะทาง 25 km	81
4.22 ความกว้างพัลส์ 2 μ s , ระยะทาง 50 km	82
4.23 ความกว้างพัลส์ 1 μ s , ระยะทาง 50 km	83
4.24 ความกว้างพัลส์ 2 μ s , ระยะทาง 100 km	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะของใยแก้วนำแสง	3
2.2 รูปบนแสดงโครงสร้างแบบใหม่ดเดี่ยวชนิดสเตรปอินเดกซ์	4
2.3 แสดงการสะท้อนภายในใยแก้วนำแสง	5
2.4 แสดงสัญญาณเอาต์พุต	6
2.5 แสดงลักษณะของพัลส์สัญญาณผ่านใยแก้วนำแสงชนิดต่างๆ	7
2.6 แสดงรูปภาคตัดขวางของท่อนำแสงคู่ขนาน	8
2.7 แสดงภาพภาคตัดขวางของท่อนำแสงแบบ ไอเดนติคัลคัมโพสิต	8
2.8 ลักษณะการแบ่งกำลังของคู่ควบ	9
2.9 แสดงคู่ควบแบบ 2x2	10
2.10 แสดงคู่ควบแบบต่างๆ	11
2.11 วิธีสร้างคู่ควบโดยวิธีหลอม	13
2.12 คู่ควบที่สร้างโดยวิธีแกนร่วม	13
2.13 คู่ควบที่สร้างโดยวิธีการขัดและเชื่อมติด	14
2.14 คู่ควบวิธีการใช้เส้นใยแก้วนำแสงที่เชื่อม	14
2.15 แสดงการตรวจจับแบบตรง	15
2.16 แสดงแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณทางแสง	16
2.17 แสดงวงจรสมมูลด้านหน้าของภาคขยายสัญญาณ	17
2.18 แสดงการตรวจจับแบบออปติคัล	17
2.19 แสดงโครงสร้างของลูปรเรโซเนเตอร์	18
2.20 แสดงโครงสร้างของลูปรมิลเลอร์	18
2.21 แสดงการตกกระทบของแสง	19
2.22 แสดงการเดินทางของแสงภายในเส้นใยแก้วนำแสงโดยอาศัยหลักการสะท้อนกลับหมด	21
2.23 (ก) แสดงลักษณะของโหมดตามยาว (ข) แสดงการกระจายของโหมดของแสงเลเซอร์	22
2.24 แสดงภาคตัดขวางของเส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดียว	23
2.25 แสดงภาคตัดขวางของเส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมด	24
2.26 แสดงชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงตามลักษณะของดัชนีหักเหของแกน	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.27 ผังแสดงระบบการสื่อสารใยแก้วนำแสง	26
2.28 แสดงการผสมสัญญาณและการส่ง	27
2.29 แสดงการลดทอนของแสงในใยแก้วนำแสงสัมพันธ์กับความยาวคลื่น	28
2.30 แสดงการดูดกลืนจากไฮดรอกซิล	30
2.31 แสดงทางเดินของแสงในใยแก้วนำแสงที่โค้งงอ	31
2.32 แสดงสเปกตรัมของการลดทอน	32
2.33 แสดงการเกิดการกระจายของพัลส์สัญญาณแบบต่างๆ	33
2.34 แสดงโหมดของการแพร่กระจายของแสง	34
2.35 แสดงอินเดกซ์โปรไฟล์ของแกนใยแก้วนำแสง	35
2.36 ใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยวชั้นบันได	36
2.37 ใยแก้วนำแสงชนิดหลายโหมดสเตปอินเดกซ์	37
2.38 ใยแก้วนำแสงชนิดหลายโหมดเกรดอินเดกซ์	37
2.39 แสดงไรซีโคม์ของอุปกรณ์รับแสง	38
2.40 แสดงผังของระบบ Nd:YAG เลเซอร์	39
2.41 แสดงระบบสื่อสารทางแสง	41
2.42 แสดงกำลังแสงกับระยะทาง	42
2.43 แสดงการขยายสัญญาณด้วยอิเล็กทรอนิกส์	43
2.44 แสดงการขยายสัญญาณทางแสง	43
2.45 แสดงลักษณะต่างๆของอุปกรณ์ขยายสัญญาณทางแสง	44
2.46 แสดงการสร้างใยแก้วนำแสงชนิดเออร์เบียมโดปหรือเจือสารเออร์เบียม ซึ่งมีชั้นตอนจาก (ก)-(ง)	45
2.47 ลักษณะของระดับพลังงานของเออร์เบียม45	46
2.48 การใช้งานใยแก้วขยายสัญญาณ	46
2.49 แสดงลักษณะต่างๆของการวางตัวของใยแก้วนำแสง	47
2.50 แสดงแบบต่างๆของการเชื่อมต่อใยแก้วเชิงกล	48
2.51 แสดงขั้นตอนการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงเข้าด้วยกันด้วยวิธีการหลอมรวม	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.52 แสดงการหลอมรวมซึ่งใช้หลักการแอลโอดีในการจัดการเรียงเส้นใยแก้วนำแสง	50
2.53 แสดงการหลอมรวมในกรณีที่ต้องการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงหลายเส้น	50
2.54 แสดงตัวอย่างของหัวเชื่อมต่อที่มีใช้ในปัจจุบัน	51
2.55 แสดงหัวต่อ เอฟ ซี และคุณสมบัติของหัวต่อ	51
2.56 แสดงลักษณะหัวต่อเอสที	52
2.57 แสดงลักษณะของหัวต่อเอสซี	52
2.58 แสดงหัวต่อเอฟดีดีไอ	52
2.59 แสดงหัวต่อและหัวปรับ SMA	53
2.60 แสดงพัลส์ของแสงที่เดินทางไปและกลับภายในสายสัญญาณ	54
2.61 แสดงการเดินทางย้อนกลับมาของแสงภายในเส้นใยแก้วนำแสงเนื่องจากการกระเจิงกลับแบบเรย์ลี และการสะท้อนแบบเฟรสเนล	56
2.62 แสดงการกระเจิงกลับของแสง	57
2.63 แสดงรูปแบบการตรวจวัดบนหน้าจอ โอ ที ดี อาร์	59
2.64 แสดงโครงสร้างทั่วไปของระบบของเครื่องโอทีดีอาร์	61
2.65 แสดงการขยายมาตราส่วนบนหน้าจอโอทีดีอาร์	62
3.1 แสดงไดอะแกรมของระบบการศึกษาสมบัติการสูญเสียของสัญญาณแสงต่อระยะทาง	65
3.2 แสดงการนำแสงเข้าสู่เส้นใยแก้วนำแสง	66
3.3 แสดงไดอะแกรมของระบบหน่วยความจำแสง	66
3.4 แสดงทางเดินแสงของระบบหน่วยความจำแสง	67
4.1 แสดงสัญญาณจากเครื่องโอทีดีอาร์ที่ได้จากเส้นใยแก้วที่ไม่ได้ทำการเชื่อมต่อ	71
4.2 แสดงอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อตามรูปที่ 3.3	72
4.3 แสดงสัญญาณที่ได้จากการเชื่อมต่อระบบตามรูปที่ 3.3	74
4.4 แสดงอุปกรณ์ที่ทำการเชื่อมต่อใหม่	74
4.5 แสดงสัญญาณเมื่อ IOR 1.4655 , ความกว้างพัลส์ 50 ns , ระยะทาง 5 km	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 แสดงสัญญาณเมื่อ IOR 1.4655 , ความกว้างพัลส์ 100 ns , ระยะทาง 10 km	76
4.7 แสดงสัญญาณเมื่อ IOR 1.4655 , ความกว้างพัลส์ 500 ns , ระยะทาง 25 km	76
4.8 แสดงสัญญาณเมื่อ IOR 1.4655 , ความกว้างพัลส์ 1 μ s , ระยะทาง 25 km	77
4.9 แสดงสัญญาณเมื่อ IOR 1.4655 , ความกว้างพัลส์ 2 μ s , ระยะทาง 50 km	78
4.10 แสดงสัญญาณเมื่อ IOR 1.4655 , ความกว้างพัลส์ 1 μ s , ระยะทาง 50 km	78
4.11 แสดงสัญญาณเมื่อ IOR 1.4655 , ความกว้างพัลส์ 2 μ s , ระยะทาง 100 km	79
4.12 แสดงสัญญาณเมื่อ IOR 1.699999 , ความกว้างพัลส์ 50 ns , ระยะทาง 5 km	80
4.13 แสดงสัญญาณเมื่อ IOR 1.699999 , ความกว้างพัลส์ 100 ns , ระยะทาง 10 km	80
4.14 แสดงสัญญาณเมื่อ IOR 1.699999 , ความกว้างพัลส์ 500 ns , ระยะทาง 25 km	81
4.15 แสดงสัญญาณเมื่อ IOR 1.699999 , ความกว้างพัลส์ 1 μ s , ระยะทาง 25 km	82
4.16 แสดงสัญญาณเมื่อ IOR 1.699999 , ความกว้างพัลส์ 2 μ s , ระยะทาง 50 km	82
4.17 แสดงสัญญาณเมื่อ IOR 1.699999 , ความกว้างพัลส์ 1 μ s , ระยะทาง 50 km	83
4.18 แสดงสัญญาณเมื่อ IOR 1.699999 , ความกว้างพัลส์ 2 μ s , ระยะทาง 100 km	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของโครงการพิเศษ

ปัจจุบันการจัดเก็บข้อมูลที่มีประสิทธิภาพและการส่งข้อมูลที่มีความเร็วสูงมีความจำเป็นและเป็นที่ต้องการในการสื่อสารมากขึ้นเป็นลำดับ แต่เทคโนโลยีด้านการสื่อสารที่ใช้อยู่ในขณะนี้ยังไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการในหลายๆด้าน จึงได้มีการคิดค้นและพัฒนาวัสดุที่มีความเหมาะสมในการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งก็คือเส้นใยแก้วนำแสง

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นจึงได้มีการนำใยแก้วนำแสงมาใช้ในการสื่อสาร ด้วยเหตุเพราะการสื่อสารด้วยแสงโดยการใช้เคเบิลใยแก้วนำแสงนั้นจะไม่ถูกรบกวนด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา การสูญเสียต่ำ ให้แบนด์วิดท์ที่กว้าง มีความแข็งแรงกว่าโลหะถึง 20 เท่า มีความปลอดภัย อีกทั้งราคาเส้นใยแก้วนำแสงในปัจจุบันมีราคาต่ำลงเรื่อยๆ และเนื่องจากการที่สวิตชิงออปติคัลทรอนิกส์ในปัจจุบันนั้นยังคงมีขอบเขตในการใช้งานต่ำเมื่อนำมาเทียบกับความเร็วในการส่งสัญญาณผ่านเคเบิลใยแก้วนำแสง จึงได้มีการศึกษาถึงหลักการหน่วยความจำแสง (Optical Memory) และนำมาประยุกต์ใช้ในงานทางด้านระบบสวิตชิงแสง (Optical Switching) ซึ่งเนื้อหาที่กล่าวถึงในโครงการพิเศษนี้เป็นเนื้อหาที่กล่าวถึงหลักการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ที่จะนำมาใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับหน่วยความจำแสงในลำดับต่อไป โดยเนื้อหาหลักการและทฤษฎีที่กล่าวถึงได้แก่ การคัปเปิลอร์แสง การประมวลสัญญาณแสง การสื่อสารเชิงแสง การเชื่อมต่อระบบสื่อสารใยแก้วนำแสง เป็นต้น ซึ่งเนื้อหาเหล่านี้จะเป็นส่วนสำคัญต่อการศึกษาเกี่ยวกับการหน่วงเวลาทางแสง (Optical Time Delay) ซึ่งสามารถช่วยในการเก็บข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณแสงที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เพื่อนำความรู้ในเรื่องหน่วยความจำแสงไปประยุกต์ใช้และพัฒนาต่อไปให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาหลักการทำงานและทฤษฎีเกี่ยวกับหลักการหน่วยความจำแสง
- 1.2.2 เพื่อศึกษาการนำหลักการหน่วยความจำแสงมาประยุกต์ใช้ในการสื่อสาร
- 1.2.3 เพื่อศึกษาการหน่วงเวลาทางแสงเพื่อประโยชน์ต่อการจัดเก็บข้อมูลสัญญาณแสง

1.2.4 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการดำเนินงาน เพื่อหาแนวทางในการพัฒนาระบบหน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ประการใดในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความจำแสงให้สามารถนำมาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

- 1.3.1 ศึกษาหลักการและทฤษฎีทางแสงที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
- 1.3.2 ศึกษาการหน่วงเวลาทางแสงในระบบหน่วยความจำแสง
- 1.3.3 ศึกษาการสูญเสียกำลังทางแสง การลดทอน ของระบบหน่วยความจำแสง

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการพิเศษ

เพื่อส่งเสริมและพัฒนาเทคโนโลยีการใช้เคเบิลใยแก้วนำแสงในระบบความจำแสงในการจัดเก็บข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ให้เป็นประโยชน์ในการสื่อสารทางแสงที่ต้องการประสิทธิภาพในการส่งผ่านข้อมูลได้สูงขึ้น

1.5 ตารางการทำงาน

กำหนดการทำงานโครงการพิเศษ แสดงดังตารางที่ 1.1 ดังนี้

ตารางที่ 1.1 แสดงกำหนดการทำงานโครงการพิเศษ

ช่วงเวลา	กิจกรรม
มิถุนายน 2545	เสนอชื่อโครงการพิเศษ
กรกฎาคม 2545	รวบรวมทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงการพิเศษ
กันยายน 2545	ออกแบบขั้นตอนการทำงาน
ตุลาคม 2545	จัดหาอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการพิเศษ
พฤศจิกายน 2545	สร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการพิเศษ
ธันวาคม 2545	ทำการศึกษาตามจุดประสงค์
มกราคม 2546	ตรวจสอบผลการศึกษาและสรุปผลการศึกษา
กุมภาพันธ์ 2546	เขียนรายงานผลการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

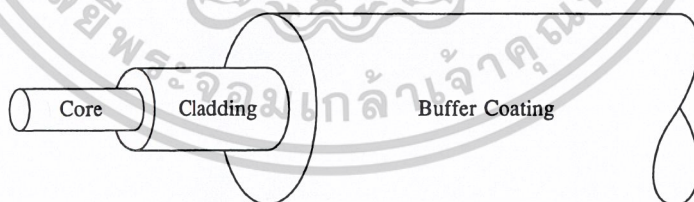
หลักการและทฤษฎี

2.1 โยแก้วนำแสง

ท่อนำแสงที่มีความสำคัญต่อการสื่อสารมีหลายชนิด เช่น ท่อนำแสงแบบระนาบ ท่อนำแสงแบบทรงกระบอก หรือ โยแก้วนำแสง เป็นต้น สำหรับทฤษฎีในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงคุณลักษณะต่างๆของโยแก้วนำแสง โหมดแสงภายในโยแก้วนำแสงเพื่อเป็นพื้นฐานในการศึกษางานวิจัยนี้ต่อไป

2.1.1 โครงสร้างของโยแก้วนำแสง (Fiber Optic Structure)

โยแก้วนำแสงสร้างขึ้นจากสารที่เป็นไดอิเล็กทริกหรือแก้ว โดยมีโครงสร้างเป็นตัวทรงกระบอกอย่างน้อย 2 ชั้น คือ ชั้นแรกเรียกว่าแกน (Core) ของโยแก้วนำแสง ซึ่งมีดัชนีหักเหแสงเป็น n_1 ขนาดของแกนโยแก้วนำแสงมีเส้นผ่านศูนย์กลาง $2a$ ส่วนชั้นที่อยู่ถัดออกมาเป็นชั้นของแคลดดิง (cladding) ซึ่งมีดัชนีหักเหเป็น n_2 ดังรูปที่ 1 โดยหน้าที่สำคัญของแกนโยแก้วนำแสงคือเป็นตัวกลางนำแสง ส่วนหน้าที่ของแคลดดิงคือลดการสูญเสียกำลังแสงเนื่องจากการสะท้อนกลับหมดและป้องกันการดูดกลืนกำลังแสงเมื่อแกนของโยแก้วนำแสงไปสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมอื่นๆ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นส่วนป้องกันไม่ให้แกนของโยแก้วนำแสงโค้งงอหรือหักได้ง่าย



รูปที่ 2.1 ลักษณะของโยแก้วนำแสง

2.1.2 ชนิดของโยแก้วนำแสง

- การแบ่งชนิดตามการสูญเสียความเข้มแสง เป็นผลมาจากตัวกลางแสงที่นำมาใช้ทำโยแก้วนำแสง สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด

- ชนิดที่สูญเสียความเข้มแสงต่ำ (low - loss)

เอกสารนี้เป็นเอกสารชนิดที่สูญเสียความเข้มแสงปานกลาง (medium loss) ไม่สามารถให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

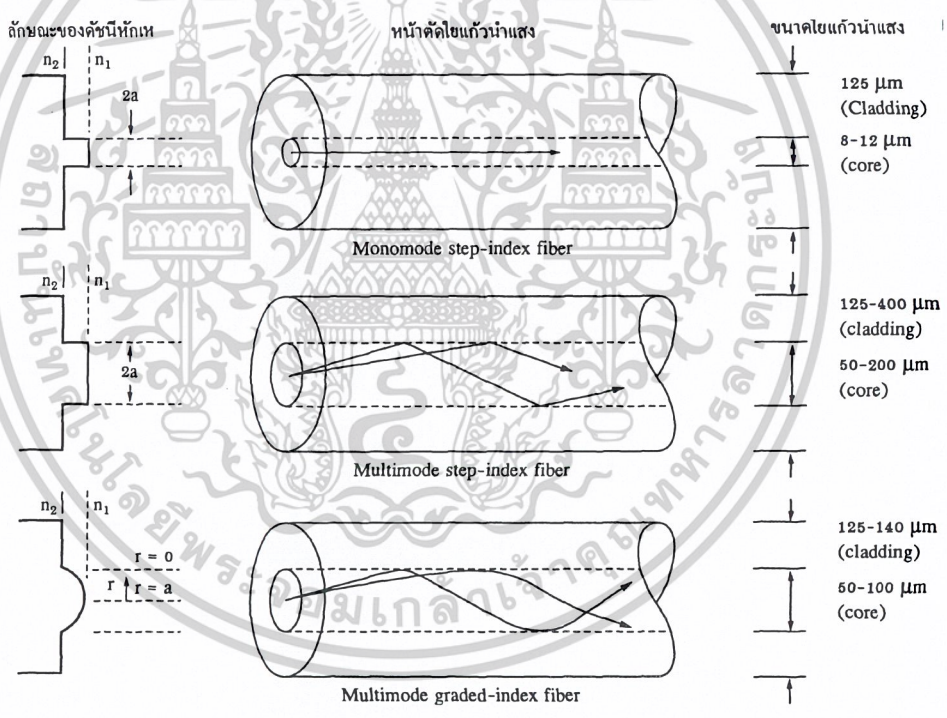
- ชนิดที่สูญเสียความเข้มแสงสูง (higher - loss)

โดย 2 ชนิดแรกมักใช้แก้วทำเป็นแกนของใยแก้วและใช้แก้วหรือพลาสติกทำเป็นเคลด ส่วนชนิดที่ 3 มักใช้พลาสติกทำแกนและเคลดของใยแก้วนำแสง

- การแบ่งชนิดของใยแก้วนำแสงตามองค์ประกอบของแกนใยแก้วนำแสง สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด

- ชนิดสเตปอินเดกซ์ (step - index fiber)
- ชนิดเกรดอินเดกซ์ (graded - index fiber)

โดยแบบสเตปอินเดกซ์ประกอบด้วยแกนของใยแก้วนำแสงที่มีองค์ประกอบเดียวโดยตลอดตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลางดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 รูปบนแสดงโครงสร้างแบบโหมดเดียวชนิดสเตปอินเดกซ์

รูปกลางแสดงโครงสร้างแบบหลายโหมดชนิดสเตปอินเดกซ์

รูปล่างแสดงโครงสร้างแบบหลายโหมดชนิดเกรดอินเดกซ์

นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งชนิดสเตปอินเดกซ์และเกรดอินเดกซ์ได้เป็น 2 แบบ คือ

- แบบโหมดเดียว (single - mode หรือ monomode) คือ ใยแก้วนำแสงแบบที่มีเพียงโหมดเดียวเท่านั้นที่สามารถเคลื่อนที่ได้ภายในท่อใยแก้วนำแสง

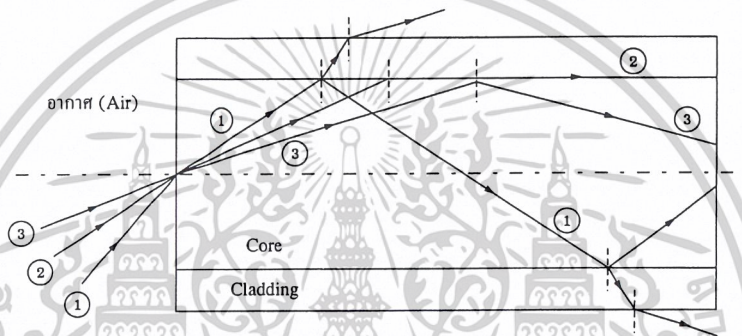
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แบบหลายโหมด (multimode) คือ โยแก้วนำแสงที่มีอย่างน้อย 2 โหมดที่สามารถเคลื่อนที่ได้ภายในท่อโยแก้วนำแสง

2.2 คุณสมบัติของโยแก้วนำแสง

2.2.1 การสะท้อนกลับหมดภายในโยแก้วนำแสง

การสะท้อนกลับหมดของแสงภายในโยแก้วนำแสงก็มีหลักการเช่นเดียวกับแสงในตัวกลางอื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.3

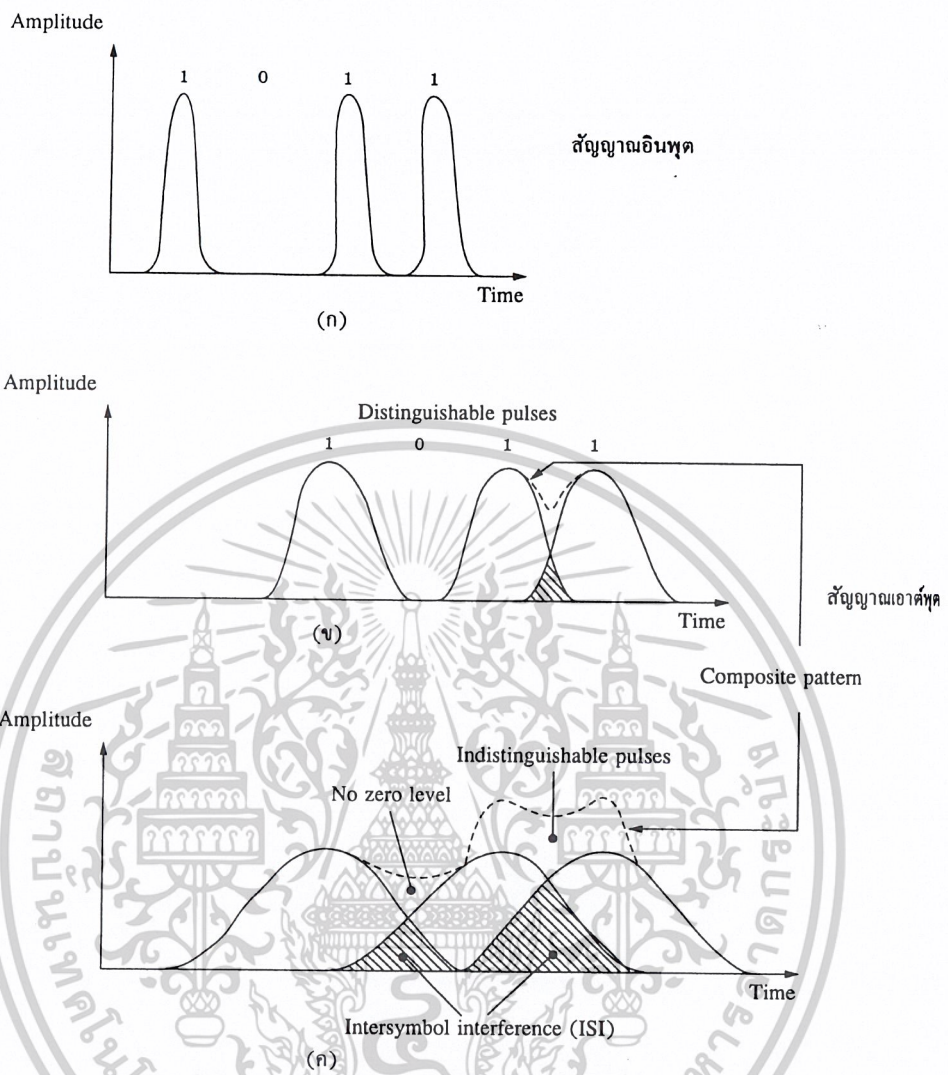


รูปที่ 2.3 แสดงการสะท้อนภายในโยแก้วนำแสง

2.2.2 การกระจายแสง (Dispersion)

การกระจายแสง(Dispersion)เป็นการกว้างออก(broadening) หรือผิดเพี้ยน(distortion) ของสัญญาณแสง (optical signal) ที่เคลื่อนที่ในโยแก้วนำแสง คือ เมื่อป้อนแสงที่เป็น pulse เข้าที่ปลายข้างหนึ่งของโยแก้วนำแสง แสงที่ออกจากปลายอีกข้างจะมีความกว้างของ pulse เพิ่มขึ้นจากเดิม เรียกการขยายออกลักษณะนี้ว่า การกระจายแสง

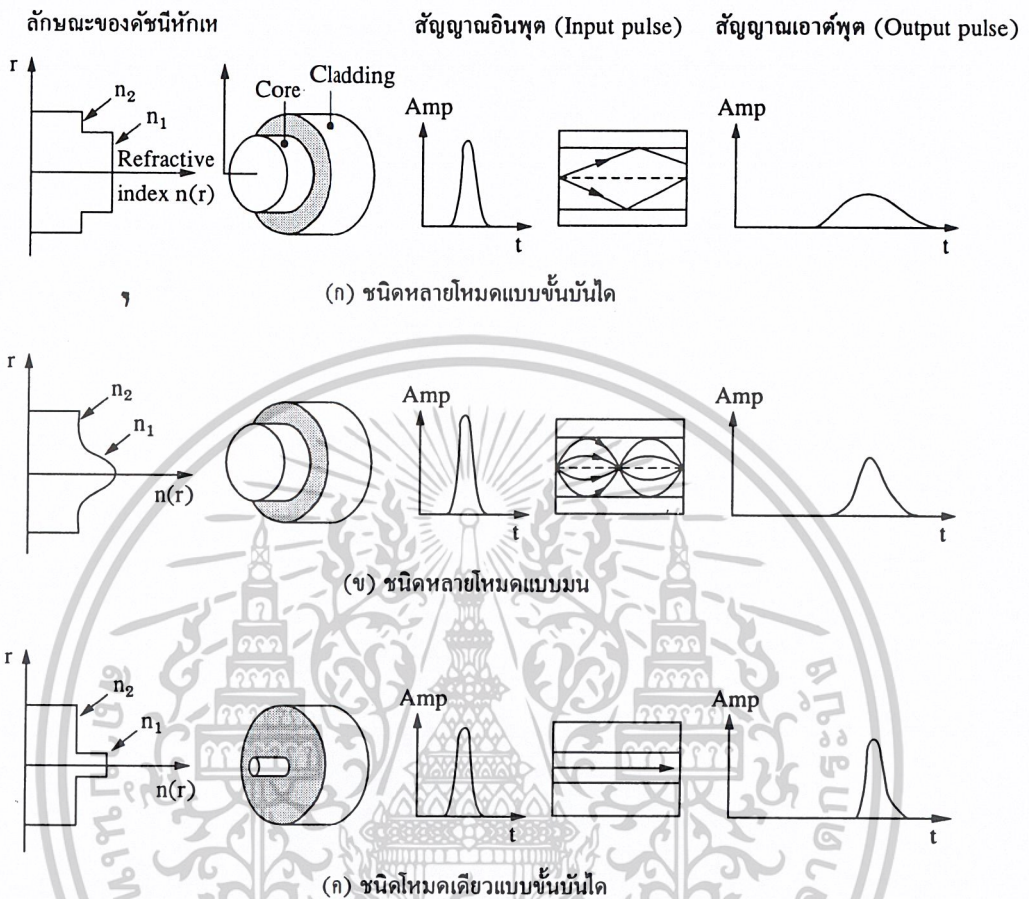
เมื่อ pulse เคลื่อนที่ในโยแก้วนำแสงจะเกิดการกว้างออกและซ้อนทับ (overlaps) กับ pulse ข้างเคียงเกิดการแทรกสอดระหว่างกัน (Intersymbol Interference, ISI) ทำให้ pulse แสงที่ออกจากโยแก้วนำแสงมีลักษณะเป็น pulse ที่ไม่สามารถจำแนกได้ (indistinguishable pulse) ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงสัญญาณเอาต์พุต

โดยให้สัญญาณอินพุตมีลักษณะแสดงด้วยกราฟของความสัมพันธ์ระหว่าง amplitude กับเวลา ดังรูป (ก) โดยมีลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตแสดงดังรูป (ข) และ (ค) ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปแบบเชิงซ้อน (composite pattern) ลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตเมื่อแสงเดินทางผ่านใยแก้วนำแสงแบบต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



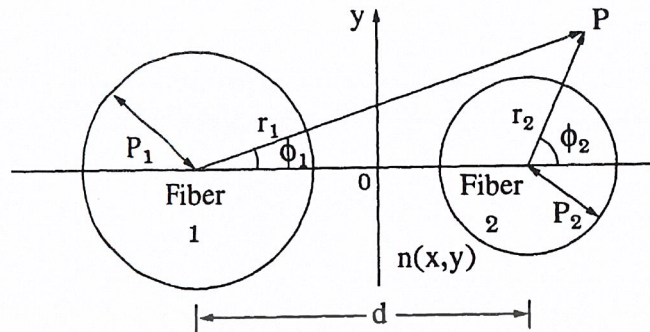
รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของพัลส์สัญญาณผ่านใยแก้วนำแสงชนิดต่างๆ

2.3 การคัปปลิงท่อนำแสง

2.3.1 โหมดแสงภายในท่อนำแสงแบบคู่ขนาน

แนวความคิดเบื้องต้นของการคัปปลิงคือ การเกิดอันตรกิริยาระหว่างโหมดแสงภายในท่อนำแสงคู่ขนานที่เรียกว่า "คอมโพสิทเวฟไกด์" (composite waveguide) ซึ่งเป็นท่อนำแสงคู่ที่มีคุณสมบัติคล้ายกันทั้งสองท่อนำแสง โดยจะมีดัชนีหักเหแสงของแกนและแคลดของท่อนำแสงทั้งสองเท่ากัน เมื่อถูกนำมาวางแตะชิดกันจะทำให้มีโครงสร้างตามภาคตัดขวางของท่อนำแสงแสดงไว้ดังรูปที่ 2.6 โดยที่ท่อนำแสงทั้ง 2 มีรัศมีเป็น r_1 และ r_2 มีดัชนีหักเหแสงเป็น $n(x,y)$ ส่วนที่จุด P เป็นจุดใดๆที่อยู่ภายในโคออร์ดิเนตของทรงกระบอก ซึ่งเป็นจุดที่ต้องการศึกษาอันตรกิริยาระหว่าง local mode ทั้งสองและระยะทาง d เป็นระยะทางระหว่างจุดกึ่งกลางของท่อนำแสงทั้งสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

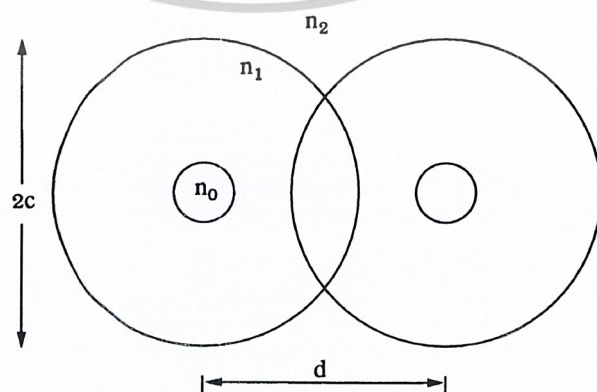


รูปที่ 2.6 แสดงรูปภาคตัดขวางของท่อนำแสงคู่ขนาน

ถ้ากำหนดให้แต่ละแกนของท่อนำแสงที่ประกอบขึ้นเป็นท่อนำแสงคอมโพสิตมีขนาดเล็กมากๆ หรือเป็นท่อนำแสงแบบวิคส์เกตซึ่งเป็นท่อนำแสงที่เป็นแบบโหมดเดียวเรียกว่า โลคัลโหมด จึงมีเพียง 2 โลคัลโหมดเท่านั้นที่ผ่านท่อนำแสงแบบคอมโพสิตได้ และเนื่องจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของโหมดทั้ง 2 อยู่ชิดกันมากจะเกิดการรบกวนข้ามช่องสัญญาณหรือครอสทอล์ก (crosstalk) ทำให้กำลังแสงทั้ง 2 โหมดเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กัน

การกำหนดให้ท่อนำแสงที่ประกอบขึ้นเป็นคอมโพสิตเวฟไกด์มีโครงสร้างที่เหมือนกันทุกประการทั้งขนาดของแกนและแคลด หรือที่เรียกว่าท่อนำแสงแบบคู่เหมือน (pair of identical fibers) จะทำให้โหมดแสงภายในท่อนำแสงมีความสมมาตรกัน ดังนั้นจึงสามารถพิจารณาโหมดแสงโหมดใดโหมดหนึ่งแทนกันได้

ท่อนำแสงที่ถูกกำหนดให้มีโครงสร้างตามที่กล่าวมาข้างต้น ในการศึกษาจะเรียกว่าท่อนำแสงแบบไอเดนติคัลคอมโพสิต (Identical composite waveguide) ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงภาพภาคตัดขวางของท่อนำแสงแบบ identical composite

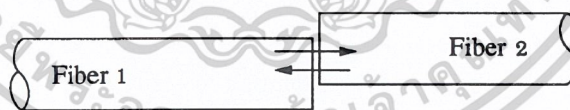
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ผลจากการรบกวนจากตัวแปรภายนอก

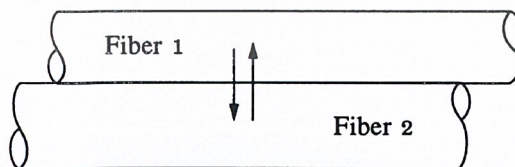
ท่อนำแสงแบบ identical composite บางชนิดมีโครงสร้างที่พิเศษกว่าท่อนำแสงแบบอื่นคือมีแกนของท่อนำแสงสัมผัสกับอากาศ หรือสิ่งแวดล้อมภายนอก (air – glass boundary) หรือกล่าวได้ว่าท่อนำแสงแบบนี้มีสิ่งแวดล้อมภายนอกหรืออากาศเป็นแคลด เช่นท่อนำแสงแบบหลอมรวม เป็นต้น ท่อนำแสงแบบนี้อาจถูกรบกวนการคัปปลิงแสงจากสิ่งแวดล้อมได้ง่ายเช่น เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงดัชนีหักเหแสงของสิ่งแวดล้อมหรือมีแรงภายนอกมากจะทำให้ท่อนำแสงโค้งงอเพียงเล็กน้อยจะส่งผลให้สัมประสิทธิ์การคัปปลิงแสงระหว่างท่อนำแสงเปลี่ยนแปลงไปจากภาวะปกติเรียกการเปลี่ยนแปลงการคัปปลิงแสงที่เป็นผลมาจากตัวแปรภายนอกนี้ว่า “ผลการรบกวนจากตัวแปรภายนอก” (external effect)

2.3.3 การเข้ารหัสตรรกศาสตร์ด้วยแสง

การเชื่อมต่อสัญญาณแสงแบบจุดต่อจุดมักใช้การเชื่อมต่อเส้นใยในแสงระหว่างอุปกรณ์รับและส่งสัญญาณแสง สำหรับกรณีของเครือข่ายเส้นใยแก้วนำแสงซึ่งซับซ้อนมากขึ้นที่ต้องการต่อเส้นใยแก้วนำแสง หรืออุปกรณ์ทางแสงมากกว่าสองชิ้นขึ้นไป โดยทั่วไปจะใช้คู่ควบ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ประเภทพาสซีฟในการเชื่อมต่อ คู่ควบสัญญาณใช้ทั้งในการแยกกำลังสัญญาณแสงออกเป็นหลายสัญญาณ และการรวมสัญญาณหลายสัญญาณเข้าด้วยกัน การแบ่งกำลังสัญญาณของแสงคู่ควบมี 2 ลักษณะ คือ ชนิดส่งผ่านแกน (core interaction - type) และชนิดส่งผ่านผิว (surface interaction - type) ดังแสดงในรูปที่ 2.8



(ก) ชนิดส่งผ่านแกน



(ข) ชนิดส่งผ่านผิว

รูปที่ 2.8 ลักษณะการแบ่งกำลังของคู่ควบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

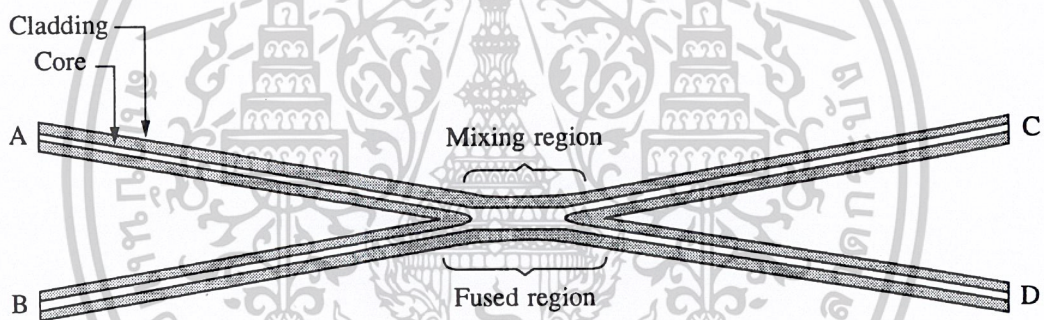
เราสามารถแบ่งคู่วบได้เป็น 2 ประเภทคือ

- คู่วบแบบสตาร์ (star coupler)

เป็นคู่วบที่ทำหน้าที่รวมสัญญาณแสงที่เข้ามาทุกอินพุต และแบ่งสัญญาณนั้นไปยังที่แต่ละเอาต์พุต แบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

- คู่วบแบบ 2x2 (2x2 coupler หรือ directional coupler) มีลักษณะเป็นคู่วบที่มีปลาย 2 พอร์ตเป็นอินพุตและปลายอีก 2 พอร์ตเป็นเอาต์พุตดังรูปที่ 9 คู่วบชนิดนี้เป็นอุปกรณ์พื้นฐานที่ใช้ในการสร้างคู่วบประเภทอื่นๆ ได้แก่ คู่วบแบบสตาร์ 32x32

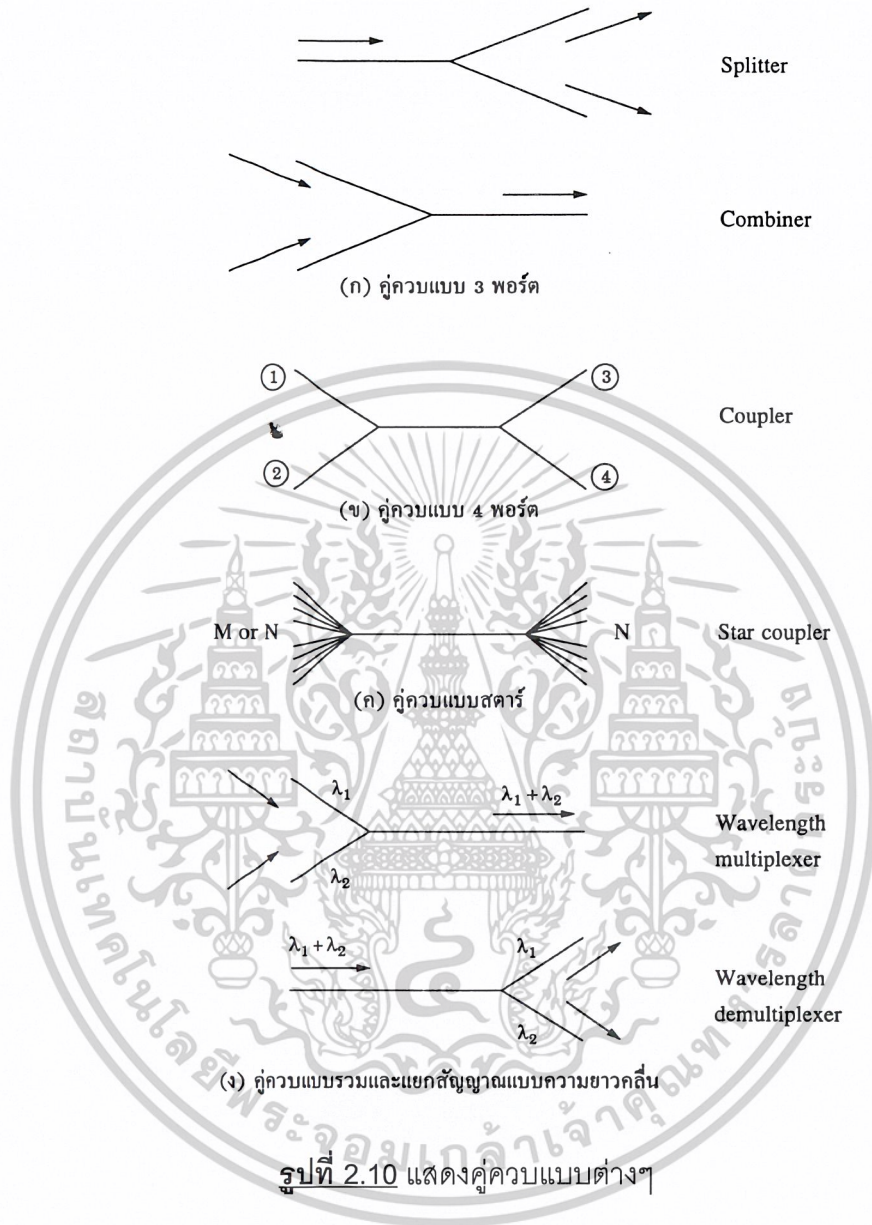
- คู่วบแบบ 1xN (1xN coupler หรือ splitters หรือ combiners) ซึ่งปลายด้านหนึ่งจะมีเพียง 1 พอร์ตอีกด้านจะมี N พอร์ต เมื่อปลายอีกด้านทำหน้าที่เป็นอินพุตปลายอีกด้านจะทำหน้าที่เป็นเอาต์พุต



รูปที่ 2.9 แสดงคู่วบแบบ 2x2

- คู่วบแบบ NxM (NxM coupler) เป็นคู่วบที่ปลายด้านอินพุต N พอร์ตและปลายด้านเอาต์พุต M พอร์ตมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2.3.4 คุณสมบัติของคู่ควมแบบสตาร์

- ความสูญเสียแบบอินเสิร์ชชัน (insertion loss) เป็นค่าความสูญเสียกำลังของสัญญาณ แสงระหว่างคู่อินพุตและเอาต์พุตใดๆที่พิจารณา สามารถเขียนได้ดังสมการ

$$\text{ความสูญเสียแบบ insertion} = 10 \log_{10}(P_{in}/P_{out}) \text{ dB}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความสูญเสียแบบเอ็กเซส (excess loss) เป็นค่าความสูญเสียกำลังของสัญญาณแสงจากอินพุตรวม สามารถเขียนได้ดังสมการ

$$\text{ความสูญเสียแบบ excess} = 10 \log_{10}(\sum P_{in} / \sum P_{out}) \text{ dB}$$

- ความสูญเสียจากการแบ่ง (splitting loss) เป็นค่าความสูญเสียกำลังของสัญญาณแสงที่แบ่งไปแต่ละเอาต์พุต สามารถเขียนได้ดังสมการ

$$\text{ความสูญเสียจากการแบ่ง} = 10 \log_{10} N \text{ dB}$$

- คอสทอล์ก (cosstalk) เป็นค่ากำลังของสัญญาณแสงที่สะท้อนกลับไปยังอินพุตอื่นๆ สามารถเขียนได้ดังสมการ

$$\text{cosstalk (กรณีของคู่ควบแบบ 2x2)} = 10 \log_{10} (P_2 / P_1) \text{ dB}$$

คู่ควบแบบรวมและแยกสัญญาณแบบความยาวคลื่น (wavelength Multiplexing and Demultiplexing Coupler)

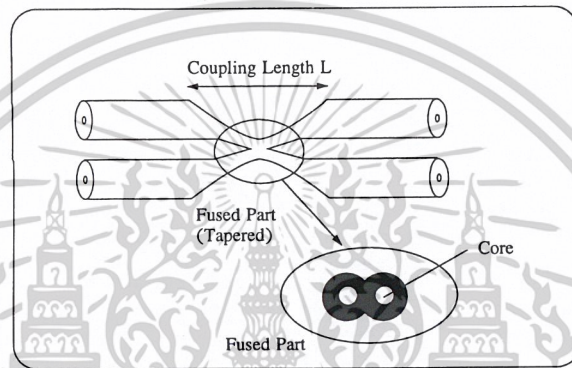
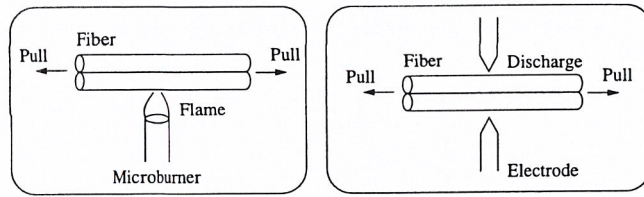
เป็นคู่ควบที่สามารถปล่อยให้แสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันเดินทางในเส้นใยแก้วนำแสงเพียงเส้นเดียวได้ดังรูปที่ 10 ในทางอุดมคติคู่ควบประเภทนี้ควรมีคุณสมบัติในการส่งผ่านที่แต่ละความยาวคลื่นต่ำ นั่นคือค่าความสูญเสียแบบ insertion ต่ำ ความสามารถในการแยกช่องสัญญาณสูง นั่นคือ ค่า cosstalk ต่ำ

1. กระบวนการผลิตคู่ควบ สามารถที่จะผลิตได้จากหลายวิธีการ ได้แก่

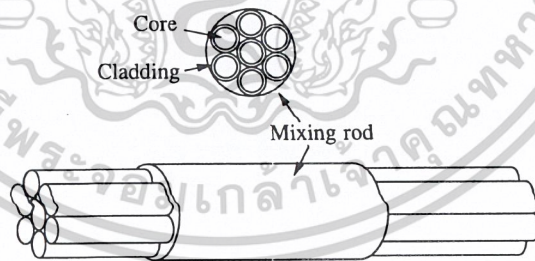
(1) วิธีหลอมรวม (fusion – drawing technique) เป็นวิธีการสร้างคู่ควบโดยนำเส้นใยแก้วนำแสงมาประกบรวมกัน จากนั้นให้ความร้อนบริเวณตรงกลางที่เส้นใยแก้วนำแสง บิดรวมกัน พร้อมกันนั้นให้ดึงเส้นใยแก้วนำแสงออกจากกัน บริเวณนี้จะกลายเป็นบริเวณรวมแสง (coupling region) ดังรูปที่ 2.11 ที่บริเวณนี้สัญญาณแสงที่เข้าทางอินพุตจะกระจายไปยังเส้นใยแก้วนำแสงอื่นๆ ค่าความสูญเสียแบบเอ็กเซส (excess loss) จะมีค่าอยู่ในช่วง 1 dB – 2.5 dB

(2) วิธีแกนร่วม (mixing rod technique) เป็นวิธีการสร้างคู่ควบโดยนำเส้นใยแก้วนำแสงมารวมกันด้วยแกนร่วมในการเชื่อมต่อระหว่างเส้นใยแก้วนำแสง ส่วนของแกนร่วมทำหน้าที่เป็นบริเวณรวมแสงดังแสดงในรูปที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



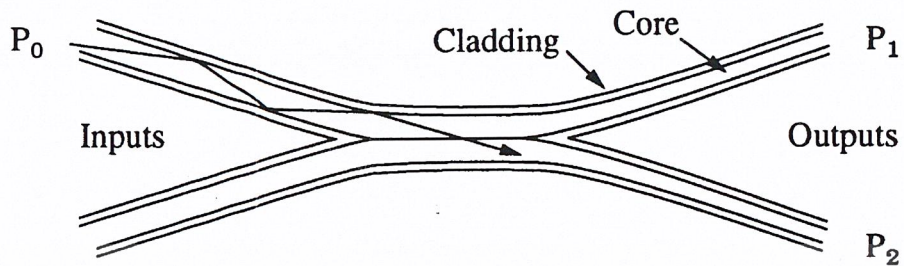
รูปที่ 2.11 วิธีสร้างคู่ควบโดยวิธีหลอม



รูปที่ 2.12 คู่ควบที่สร้างโดยวิธีแกนร่วม

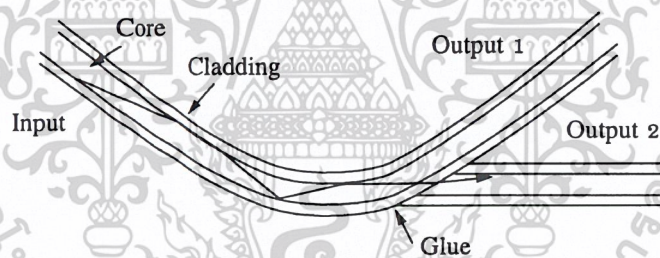
(3)วิธีการขัดและเชื่อม (polishing and joining technique) เป็นวิธีการสร้างคู่ควบโดยนำเส้นใยแก้วนำแสง 2 เส้นขัดที่ผิวข้างและเชื่อมติดเส้นใยแก้วนำแสงทั้งสองด้วยกาวสร้างเป็นคู่ควบแบบ 2 x 2 บริเวณที่เส้นใยแก้วนำแสงเชื่อมต่อกันด้วยการทำหน้าที่เป็นบริเวณรวมแสง วิธีการนี้ยังสามารถทำเป็นคู่ควบแบบพาสซีฟ NxN ได้เช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 คู่ควมที่สร้างโดยวิธีการตัดและเชื่อมติด

(4)วิธีการใช้เส้นใยแก้วนำแสงที่เสื่อม (fiber deformation) เส้นใยแก้วนำแสงที่เสื่อมสามารถทำให้เกิดสปีคเคิลย์ ถ้านำสัญญาณแสงที่หลุดรอดนี้วิ่งไปในเส้นใยแก้วนำแสงเส้นรองได้เป็นแทปหรือคอนเซนเทรเตอร์ (คู่ควมแบบ 2 x 1) ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 คู่ควมวิธีการใช้เส้นใยแก้วนำแสงที่เสื่อม

2.4 การประมวลสัญญาณแสง

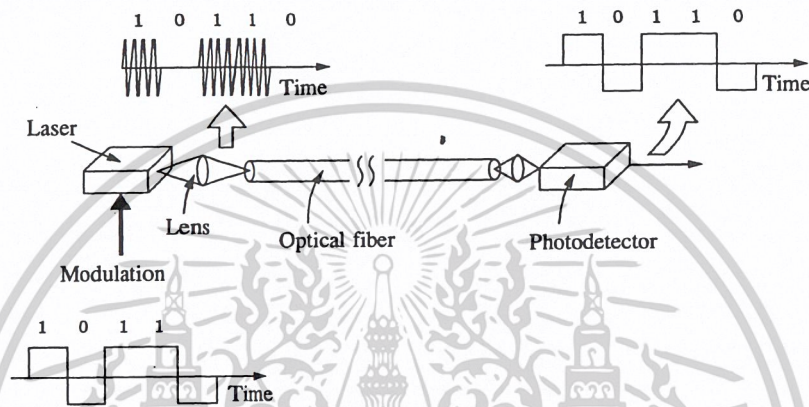
2.4.1 หลักการตรวจจับสัญญาณทางแสง

ในระบบการสื่อสารทางแสงนั้น อุปกรณ์ตรวจจับทางแสงจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงที่มีค่าเปลี่ยนแปลงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ทั้งนี้ไม่ว่าการมอดูเลตสัญญาณจะเปลี่ยนเป็นแบบใด อุปกรณ์ตรวจจับแสงจะทำหน้าที่เพียงรับสัญญาณความเข้มแสงที่ตกกระทบเท่านั้น ซึ่งสามารถแบ่งการตรวจจับสัญญาณได้ 2 วิธีดังนี้

(1)การตรวจจับแบบตรง (Direction Detection)

วิธีการตรวจจับสัญญาณแสงเลเซอร์แบบตรง จะใช้งานเมื่อสัญญาณข้อมูลถูกส่งในรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง ดังนั้นการตรวจจับสัญญาณคือการตรวจจับกำลังแสงที่มีการเอกลักษณะเฉพาะที่แน่นอน ซึ่งการตรวจจับสัญญาณแบบนี้เป็นการตรวจจับแบบที่มีค่าไม่แปรผันใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงเป็นรูปสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณแรงดันหรือกระแส สามารถผ่านกระบวนการมอดูเลตสัญญาณด้วยตัวตรวจจับสัญญาณทั้งแบบอนุกรมหรือแบบควอนตัม ดังรูปที่ 2.15 โดยแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์จะถูกมอดูเลตด้วยสัญญาณดิจิทัลแล้วส่งผ่านเลนส์ (lens) และเส้นใยแก้วนำแสง ไปตกยังอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณแสง (photodetection)

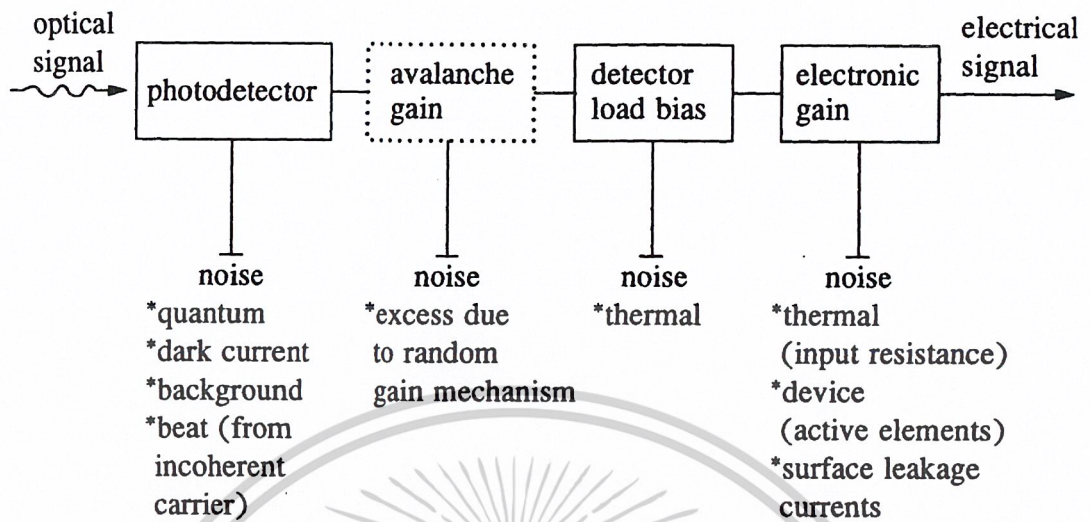


รูปที่ 2.15 แสดงการตรวจจับแบบตรง

2.4.2 สัญญาณรบกวน (Noise)

สัญญาณรบกวนในระบบสื่อสารโดยทั่วไปอาจจำแนกออกได้เป็น 2 แบบด้วยกันคือ แบบที่เกิดจากภายนอกของระบบและแบบที่เกิดภายในระบบ สัญญาณรบกวนของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณทางแสง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.16 เริ่มจากสัญญาณแสงตกลงบนอุปกรณ์รับสัญญาณ ซึ่งอาจมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นจากควอนตัม กระแสมืด แบคกราวด์ และสัญญาณปัด แล้วผ่านส่วนต่างๆเพื่อทำการขยายสัญญาณออกมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 แสดงแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณทางแสง

สัญญาณรบกวนที่สำคัญในการพิจารณามีดังนี้

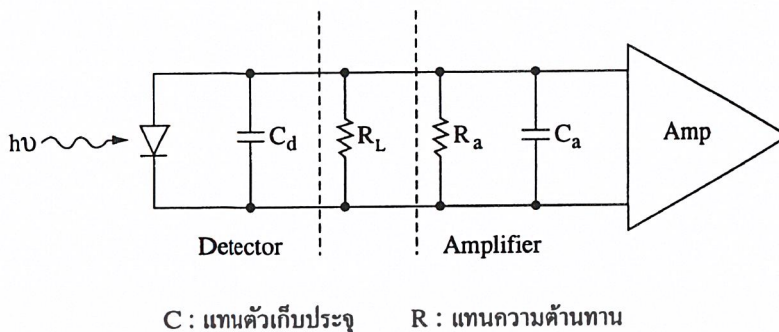
-สัญญาณรบกวนความร้อน (Thermal Noise) ที่อุณหภูมิห้องนั้น ชิ้นส่วนของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ เช่น ความต้านทานไฟฟ้า ลวดตัวนำไฟฟ้า จะเกิดจากการสั่นกระเพื่อมของอิเล็กตรอนอิสระ หรือโครงสร้างผลึกด้วยความร้อนทำให้เกิดแรงดันทางไฟฟ้าเป็นสัญญาณรบกวนขึ้น

-สัญญาณรบกวนจากกระแสมืด (Dark Current Noise) โดยปกติเมื่อไม่มีแสงตกกระทบอุปกรณ์รับแสง จะเกิดกระแสค่าหนึ่งซึ่งเกิดจากอุณหภูมิภายในทำให้พาหะตัวนำถูกกระตุ้นกระโดดจากแถบอิเล็กตรอนอิสระไปยังแถบการนำ เกิดกระแสมืดขึ้นเป็นสัญญาณรบกวน

-สัญญาณรบกวนช็อตตอนอยส์ (Shot Noise) เป็นสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นทั่วไปในชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหลาย สาเหตุของการเกิดช็อตตอนอยส์ก็คือความไม่แน่นอนในการปล่อยอิเล็กตรอนของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์นั่นเอง

-สัญญาณรบกวนจากภาคขยายสัญญาณ (Amplifier Noise) เป็นสัญญาณรบกวนที่เกิดจากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการขยายสัญญาณจาก photodetector พิจารณาได้จากรูปที่ 2.17

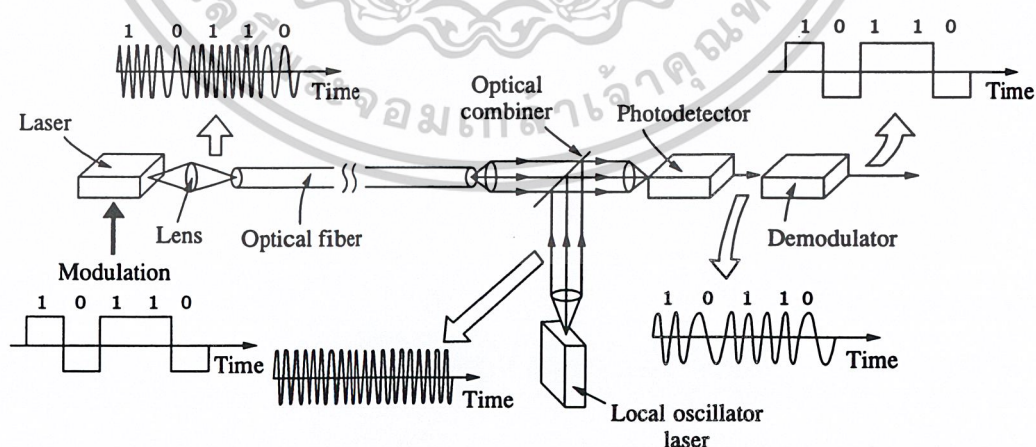
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 แสดงวงจรสมมูลด้านหน้าของภาคขยายสัญญาณ

2.4.3 การตรวจจับแบบอาพันธ์ (Coherent Detection)

การส่งข้อมูลทางแสงสามารถส่งในรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงเฟสและความถี่ โดยที่การตรวจจับแบบตรงนั้นตัวตรวจจับแสงไม่สามารถจับการเปลี่ยนแปลงได้ทันทีถ้าความถี่สูงมาก ๆ การตรวจจับแบบอาพันธ์นั้นเฟสหรือความถี่ของเลเซอร์จะถูกเปรียบเทียบกับเฟสหรือความถี่ของคลื่นแสงที่เป็นตัวอ้างอิง หรือเป็นเทคนิคของอินเตอร์เฟียโรเมทรี (interferometry) โดยมีหลักการพื้นฐานดังรูปที่ 2.18 โดยแสงเลเซอร์จะถูกมอดูเลตด้วย local oscillator แล้วส่งไปในเส้นใยแก้วนำแสงไปรวมกับ local oscillator อีกครั้งที่อุปกรณ์รวมแสง ก่อนที่จะตกลงบนอุปกรณ์รับสัญญาณแล้วนำการตีมอดูเลตนำสัญญาณไปใช้งานต่อไป



รูปที่ 2.18 แสดงการตรวจจับแบบอาพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

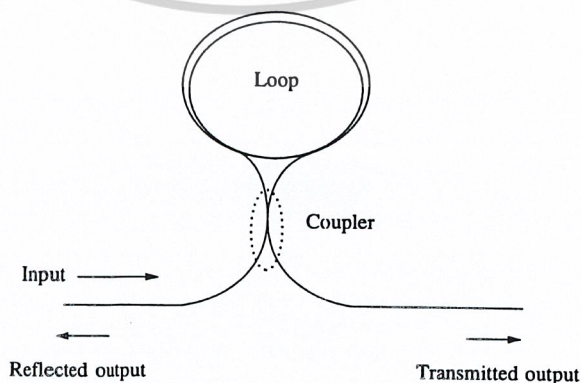
2.5 อุปกรณ์ตรวจวัดใยแก้วนำแสง

2.5.1 อุปกรณ์แบบลูป

สร้างขึ้นจากการนำปลายทั้งสองของ coupler มาต่อกันในแบบต่างๆ ตัวอย่างเช่นรูปที่ 2.19 จะได้อุปกรณ์แบบลูปที่ทำให้เกิดการเรโซแนนซ์ขึ้นภายในลูป เรียกลูปนี้ว่า “ลูปเรโซเนเตอร์” ส่วนการเอาปลายเอาต์พุตทั้งสองเชื่อมต่อกันด้วยกันดังรูปที่ 2.20 จะได้อุปกรณ์แบบลูปชนิดที่ทำให้เกิดการย้อนกลับของกำลังแสงเข้าสู่ปลายอินพุตเดิม เรียกลูปนี้ว่า “ลูปมิลเลอร์”



รูปที่ 2.19 แสดงโครงสร้างของลูปเรโซเนเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.20 แสดงโครงสร้างของลูปมิลเลอร์ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ฟิสิกส์ของแสง (Physics of light)

แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เดินทางด้วยความเร็วประมาณ 3×10^8 เมตร/วินาทีในสุญญากาศ ซึ่งความเร็วของแสงในสุญญากาศสำหรับทุกๆ ความยาวคลื่นหรือความถี่นั้นมีค่าเท่ากัน อย่างไรก็ตามความเร็วของแสงจะมีค่าเปลี่ยนไปเมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่งที่มีความหนาแน่นไม่เท่าเดิม จึงเป็นเหตุที่ทำให้แสงเกิดการหักเห คุณสมบัติของการหักเหของแสงนี้เองที่ทำให้แสงมีพฤติกรรมต่างๆ ขณะเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง การเคลื่อนที่ของแสงในใยแก้วนำแสงก็อาศัยหลักการฟิสิกส์นี้เช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.21 เมื่อกำหนดให้ θ_1 และ θ_2 คือ มุมตกกระทบและมุมหักเหที่แสงกระทำกับเส้นปกติ



รูปที่ 2.21 แสดงการตกกระทบของแสง

พฤติกรรมของแสงในใยแก้วนำแสงนั้นสามารถวิเคราะห์ได้อย่างสมบูรณ์ด้วยสมการของคลื่นที่ค่อนข้างซับซ้อน อย่างไรก็ตามในการใช้งานนั้นมักใช้วิธีทางเลขาคณิตเพราะง่ายกว่าและสามารถอธิบายได้ ในส่วนของรายละเอียดในการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์นั้นจะกล่าวถึงบ้างในโอกาสต่อไป

2.7 ปรากฏการณ์ทางแสงเบื้องต้น

ดัชนีหักเหของแสง

การหักเหของแสงเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วของแสงในตัวกลางซึ่งมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอัตราส่วนความเร็วแสงในสุญญากาศกับความเร็วแสงในตัวกลางที่แสงผ่าน ค่าของอัตราส่วนของความเร็วนี้เรียกว่าดัชนีหักเห (n) ซึ่งแทนด้วยความสัมพันธ์

$$n = \frac{c}{v} \dots\dots\dots(2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ C และ V คือความเร็วของแสงในสุญญากาศ และในตัวกลางใดๆตามลำดับ ดัชนีหักเหของแสงนั้นขึ้นอยู่กับความถี่ของแสงด้วยทั้งนี้เพราะความเร็วของแสงมีความสัมพันธ์กับความถี่และความยาวคลื่น คือ $\lambda = C/V$ เมื่อ V และ λ คือความถี่และความยาวคลื่นของแสง

2.7.1 การสะท้อนกลับหมด

เมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางสองชนิดที่มีดัชนีหักเหต่างกันจะทำให้มีการหักเหของแสงเป็นไปตามกฎของสเนลล์ (Snell's law) คือ

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

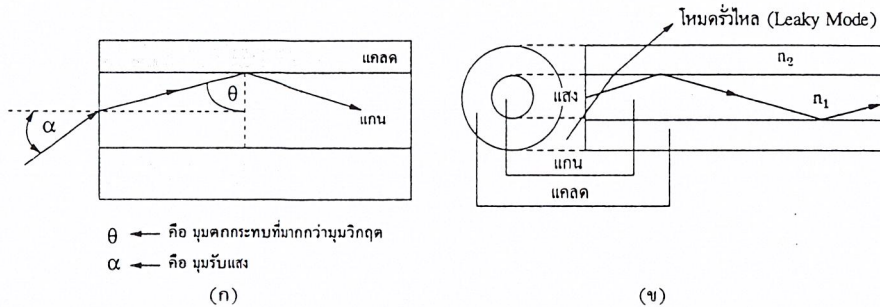
ในที่นี้ θ_1 และ θ_2 คือมุมตกกระทบและมุมหักเหที่ลำแสงกระทำกับเส้นปกติ (Normal line) บนพื้นผิวรอยต่อของตัวกลางทั้งสองนั้นส่วน n_1 และ n_2 คือดัชนีหักเหแสงของตัวกลางที่ 1 และตัวกลางที่ 2 ดังที่แสดงในรูปที่ 2.21

พิจารณากรณีที่แสงเดินทางจากตัวกลางที่มีดัชนีหักเหมากไปยังตัวกลางที่มีดัชนีหักเห น้อย กล่าวคือเมื่อมุมตกกระทบ θ_1 มีค่ามากขึ้นจะทำให้ θ_2 มีค่าเข้าใกล้ 90° เรียกมุมตกกระทบที่ทำให้มุมหักเหเท่า 90° นี้ว่ามุมวิกฤติ (Critical Angle θ_c) ดังสมการ (2.3) และหากเพิ่มมุมตกกระทบอีกจน ($\theta_1 > \theta_c$) ก็จะทำให้แสงไม่สามารถที่จะเดินทางเข้าไปในตัวกลางที่สองได้เลย นั่นคือเกิดการสะท้อนกลับหมดภายในนั่นเอง

$$\theta_c = \sin^{-1} \frac{n_{clad}}{n_{core}} \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

เมื่อ n_{core} และ n_{clad} คือค่าดัชนีหักเหของแกน (core) และส่วนห่อหุ้ม หรือเคลด (Cladding) ของใยแก้วนำแสงตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 แสดงการเดินทางของแสงภายในเส้นใยแก้วนำแสงโดยอาศัยหลักการสะท้อนกลับหมด

ในการนำแสงเข้าสู่เส้นใยแก้วนำแสงดังรูปที่ 2.22 ทำได้โดยทำให้ดัชนีหักเหของแกนมีค่ามากกว่าดัชนีหักเหของเปลือกซึ่งห่อหุ้มส่วนของแกนไว้ โดยอาศัยหลักการสะท้อนกลับหมดภายในของแสงดังกล่าวข้างต้นก็สามารถที่จะทำให้แสงที่ป้อนเข้าไปในแกนเดินทางไปมาภายในแกนอยู่ได้

2.7.2 การแทรกสอดและเลี้ยวเบน

การแทรกสอด (Interference) เกิดขึ้นเมื่อคลื่นสองขบวนหรือมากกว่าเคลื่อนที่มาซ้อนกันที่ตำแหน่งเดียวกัน ผลที่ได้จากการแทรกสอดนี้สามารถอธิบายในเทอมแอมพลิจูดของคลื่นได้ โทมัส ยัง (Thomas Young) ได้ทำการทดลองการเกิดการแทรกสอดของแสงได้โดยใช้ช่องเล็กยาว (Slit) คู่ กล่าวคือเมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดแสงความยาวคลื่นเดี่ยวเคลื่อนที่ผ่านช่องเล็กคู่ดังกล่าวก็จะปรากฏริ้วสว่างสลับกับริ้วมืดบนฉากที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนเฟสและแอมพลิจูดของคลื่น โดยที่ริ้วสว่างนั้นความเข้มของแสงจะมีแอมพลิจูดที่มากที่สุด หรือเกิดการแทรกสอดแบบเสริมกัน (Constructive Interference) ส่วนริ้วมืดนั้นความเข้มของแสงจะมีแอมพลิจูดเป็นศูนย์ หรือเกิดการแทรกสอดแบบหักล้างกัน (Destructive Interference)

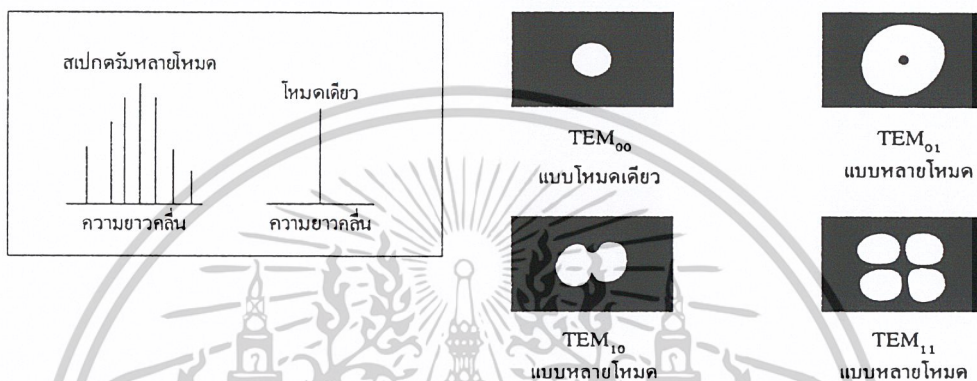
2.7.3 โหมดของแสงเลเซอร์

เนื่องจากออปติคอลลเรโซเนเตอร์ (Optical Resonator) ในระบบเลเซอร์นั้นเป็นโพรงแบบฟาบรีเพอร์โรต์ (Fabry – Perot Cavity) ทำให้แสงเลเซอร์ที่ผ่านออกมามีความถี่ต่างๆที่เหมาะสมกับคุณสมบัติของเรโซเนเตอร์ที่กำหนด ในกรณีนี้พบว่าแสงเลเซอร์นั้นจะประกอบไปด้วยโหมด (Modes) ต่างๆซึ่งแสดงในรูปที่ 2.23 (ก) โดยแบบของการกระจายอาจจะพิจารณาได้เป็นสองแบบคือโหมดตามยาว (Longitudinal Modes หรือ Axial Modes) ซึ่งเป็นแบบการเปล่งแสงเป็นสเปกตรัมของความยาวคลื่น รูปที่ 2.23 (ข) แสดงการกระจายพลังงานของแสง ด้วยจุดของแสงที่

เกิดขึ้นนั้นเป็นการแสดงแบบโหมดตามขวาง (Transverse Modes) ที่แทนด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามขวาง (Transverse Electromagnetic Wave, TEM) ประกอบด้วย (ก) แบบโหมดเดียว หรือ TEM_{00} ส่วน (ข) TEM_{01} (ค) TEM_{10} และ (ง) TEM_{11} เป็นแบบหลายโหมด เมื่อแสงเลเซอร์ถูกนำเข้าไปในใยแก้วนำแสงก็จะพิจารณาให้เป็นกรณีของวิกกีโกดิง (Weakly Guiding) ซึ่งโหมดตามขวางของแสงเลเซอร์ที่เกิดขึ้นเรียกว่าโหมดโพลาไรซ์เชิงเส้น (Linear Polarized, LP)



(ก)แสดงลักษณะของโหมดตามยาว

(ข)แสดงการกระจายของโหมดของแสงเลเซอร์

รูปที่ 2.23

2.7.4 ความเข้มแสงเปรียบเทียบ

อัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างความเข้มแสงอินพุตและเอาต์พุต หรือความเข้มแสงนอร์มัลไรซ์ (Normalized Intensity) กล่าวคือการตรวจวัดความเข้มแสงการจากเริ่มต้นด้วยความเข้มแสงอินพุตค่าหนึ่ง (I_0) ก่อนที่ทำการตรวจวัดในระบบแสงแต่ละครั้งจะทำการนอร์มัลไรซ์ความเข้มแสงในระบบ เพื่อเป็นการหาอัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างความเข้มแสงอินพุตกับความเข้มแสงในระบบการวัดที่มีค่าไม่เกินหนึ่ง เนื่องจากการทดลองในแต่ละครั้งนั้นความสามารถในการจัดเรียงอุปกรณ์ทางแสงรวมไปถึงค่าที่ทำการตรวจวัดนั้นอาจไม่เท่าเดิม แต่เมื่อจัดให้อยู่ในรูปอัตราส่วนซึ่งเปรียบเทียบกับค่าหนึ่งก่อนการตรวจวัดในแต่ละครั้งก็จะจัดให้มีอัตราส่วนเดียวกันเสมอ

2.7.5 ค่าการลดทอนของแสงภายในเส้นใยแก้วนำแสง

เมื่อทำการส่งสัญญาณผ่านสายส่งออกไปก็ย่อมเกิดการลดทอน (Attenuation) ของสัญญาณขึ้นเป็นธรรมดา การคิดค่าลดทอนของแสงภายในใยแก้วนำแสงจะบอกเป็นอัตราส่วนของกำลังสัญญาณในหน่วยเดซิเบล (dB) หรือในหน่วย dBm (dBm เป็นการเปรียบเทียบกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสัญญาณกับระดับของสัญญาณอ้างอิง เมื่อกำลังอินพุต $P_i = 1 \text{ mW}$) โดยพิจารณาสมการ(2.4)

$$L_{dB} = -10 \log \frac{P_o}{P_i} \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

เมื่อคือ P_o คือ กำลังของแสงเอาต์พุต

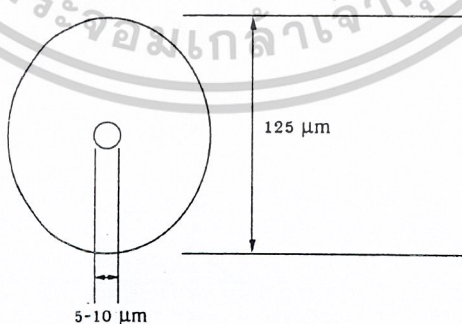
P_i คือ กำลังของแสงอินพุตที่ถูกป้อนเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงค่าการลดทอนของแสง

ดังนั้น กำลังการสูญเสียต่ำที่สุดของเส้นใยแก้วนำแสงขึ้นอยู่กับความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงและค่าความยาวของคลื่นแสงที่ใช้

2.8 ชนิดของใยแก้วนำแสง

2.8.1 เส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดียว

เส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดียวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนและเคลดประมาณ 5-10 และ 125 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งส่วนของแกนมีขนาดเล็กกว่าเส้นใยแก้วนำแสงชนิดหลายโหมดมาก และให้แสงออกมาเพียงโหมดเดียว ลักษณะหน้าตัดของเส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดียวแสดงได้ดังรูปที่ 2.24

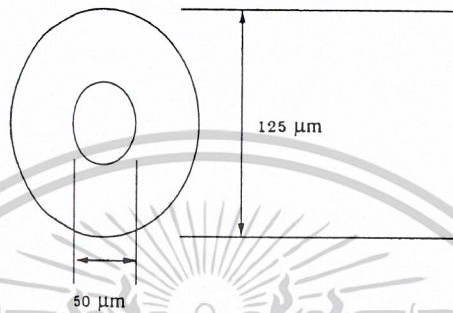


รูปที่ 2.24 แสดงภาคตัดขวางของเส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดียว

2.8.2 เส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมด

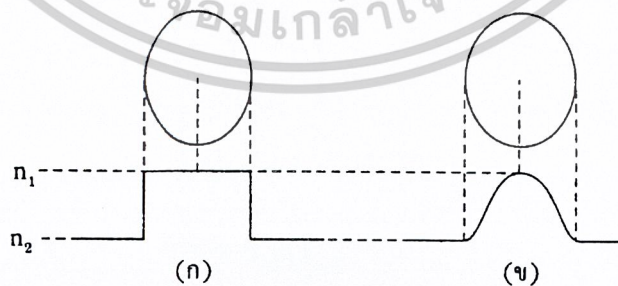
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างภายในของเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งประกอบด้วยแกนและแคลดดิ้งได้กล่าวมาแล้วข้างต้น สำหรับเส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมดส่วนใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนและแคลดโดยประมาณ 50 ไมครอน และ 125 ไมครอน ตามลำดับซึ่งมีลักษณะหน้าตัดดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 แสดงภาคตัดขวางของเส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมด

เนื่องจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนของเส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมดนั้นมีขนาดใหญ่ ดังนั้นแสงที่ตกกระทบที่ปลายอินพุตของเส้นใยแก้วนำแสงจะมีมุมตกกระทบที่แตกต่างกันหลายค่า จากหลักการสะท้อนกลับหมดของแสงที่เกิดขึ้นภายในส่วนของแกนทำให้มีแนวลำแสงเกิดขึ้นหลายโหมด และแสงแต่ละโหมดเดินทางโดยใช้ระยะเวลาที่แตกต่างกันอันเป็นสาเหตุให้เกิดการแตกกระจายของโหมดแสง (Mode Dispersion) หรือสัญญาณที่ได้รับเนื่องจากความแตกต่างของเวลา จึงได้มีการพัฒนาที่จะลดการแตกกระจายของสัญญาณซึ่งเกิดขึ้นจากเส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมดด้วยการปรับปรุงลักษณะดัชนีหักเหของแกนดูรูปที่ 2.26



(ก) ลักษณะดัชนีหักเหแสงของแกนเมื่อมีลักษณะเป็นขั้นบันได

(ข) การกระจายของสัญญาณเมื่อดัชนีหักเหภายในแกนมีค่าค่อยๆเปลี่ยนแปลง

รูปที่ 2.26 แสดงชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงตามลักษณะของดัชนีหักเหของแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
2.9 การสื่อสารด้วยแสง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบการสื่อสารด้วยใยแก้วนำแสงเมื่อเปรียบเทียบกับระบบการสื่อสารที่ใช้สายเคเบิลที่
ทำด้วยโลหะแล้วมีข้อดีต่างๆที่เกิดจากคุณสมบัติของใยแก้วนำแสงดังนี้คือ

1. **ให้แบนด์วิดท์ที่กว้าง** กล่าวคือ การใช้คลื่นพาหะที่มีความถี่สูงในระบบสื่อสารทำให้แบนด์
วิดท์ของสัญญาณกว้างมากขึ้น การสื่อสารด้วยใยแก้วนำแสงนั้นขึ้นกับคลื่นพาหะที่มีความถี่อยู่ใน
ช่วง $10^{13} - 10^{14}$ เฮิรตซ์ เมื่อเปรียบเทียบกับความถี่ของคลื่นวิทยุซึ่งมีความถี่ $10^6 - 10^9$ เฮิรตซ์ แล้ว
จะเห็นว่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณกว้างขึ้นถึงประมาณ 10^6 หรือ 1 ล้านเท่า

2. **ขนาดเล็กและน้ำหนักเบา** ใยแก้วนำแสงเพียงเส้นเดียวสามารถแทนคู่สายทองแดง
ขนาดใหญ่แต่ละคู่ได้ เช่น สายเคเบิลทางโทรศัพท์ที่มี 1,000 คู่สาย มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง
ประมาณ 7 - 10 เซนติเมตร จะสามารถใช้เคเบิลใยแก้วนำแสงเพียงเส้นเดียวที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง
กลาง 1.5 เซนติเมตร แทนได้ในการส่งช่องสัญญาณจำนวนที่เท่ากัน

3. **การสูญเสียต่ำ** ใยแก้วนำแสงมีค่าการสูญเสียเนื่องจากการลดทอนน้อยกว่าสายเกลียว
คู่ (Twisted Pair) หรือ หุ้มฉนวน (coaxial Cable)

4. **ไม่ถูกรบกวนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า** เนื่องจากใยแก้วนำแสงไม่ได้สร้างจากเส้นลวด
โลหะเหมือนสายเคเบิลโลหะแต่สร้างจากแก้ว (Glass) หรือ (Silicon) ดังนั้นจึงไม่ถูกรบกวนด้วย
คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และไม่ต้องใช้เทคนิคป้องกันด้วยวิธีการชิลด์ (Shield) ที่มีราคาแพงและยุ่งยาก
เพื่อป้องกันการรบกวนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

5. **คงทนและไม่ถูกรบกวนด้วยสภาพดินฟ้าอากาศ** แก้วหรือซิลิคอนมีความแข็งแรงกว่าโลหะ
ถึง 20 เท่า โดยที่ซิลิคอนหรือแก้วก็เป็นธาตุเฉื่อย ดังนั้นสภาพแวดล้อมจึงมีผลน้อยกว่าการใช้งาน
สายที่ทำด้วยโลหะ

6. **มีความปลอดภัย** ในระบบสายโลหะจำเป็นต้องป้องกันอันตรายให้กับอุปกรณ์หรือ
มนุษย์จากไฟฟ้าลัดวงจรระหว่างสาย หรือระหว่างสายกับสายดิน ซึ่งเมื่อใช้เส้นใยแก้วนำแสง
แล้วจะไม่มีปัญหาเกี่ยวกับสิ่งเหล่านี้

7. **ราคาถูก** ราคาของเส้นใยแก้วนำแสงในปัจจุบันมีราคาต่ำลงเรื่อยๆ ในขณะที่ราคาของ
สายโลหะมีราคาเพิ่มขึ้น ในทางปฏิบัติทุกวันนี้ราคาของการออกแบบระบบที่ใช้ใยแก้วนำแสงมี
ราคาต่ำกว่าระบบแบบใช้โลหะ

2.9.1 การสื่อสารเชิงแสง

แนวความคิดในการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสงเกิดขึ้นเมื่อนักวิทยาศาสตร์พยายามที่จะ
ค้นคว้าเกี่ยวกับการส่งผ่านแสงในชั้นบรรยากาศมาก่อนแต่ไม่ค่อยประสบความสำเร็จมากนัก เนื่อง
เอกสารจำกัดแสงจะถูกกลดกำลัง หรือลดทอนในชั้นบรรยากาศอย่างมาก การส่งแสงผ่านชั้นบรรยากาศจึง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถูกจำกัดเฉพาะการสื่อสารภายในระยะทางสั้นๆ ต่อมาจึงหันความสนใจมาวิจัยการสื่อสารโดยการใช้ใยแก้วนำแสง แต่ในระยะแรกเกิดปัญหาเนื่องจากการสูญเสียมากถึงประมาณ 1,000 เดซิเบล/กิโลเมตร ซึ่งไม่สามารถมาใช้ในการสื่อสารได้ ต่อมานักวิทยาศาสตร์ได้ทำการวิจัยและพัฒนาจนอัตราการสูญเสียของใยแก้วนำแสงเหลือเพียง 0.2 เดซิเบล/กิโลเมตร ตัวอย่างเช่น แสงที่เดินทางในเส้นใยแก้วนำแสงที่ยาว 15 กิโลเมตร ปริมาณของแสงจึงจะลดลงเหลือครึ่งหนึ่ง ดังนั้นจึงสามารถนำแสงไปได้ไกลมาก จากการนำแสงเลเซอร์และใยแก้วนำแสงมาใช้ร่วมกันจึงทำให้เกิดการส่งข่าวสารยุคใหม่ขึ้นเรียกว่า " การสื่อสารใยแก้วนำแสง "

ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบการสื่อสารด้วยใยแก้วนำแสง แสดงได้ดังรูปที่ 2.27 ซึ่งจะประกอบด้วยอุปกรณ์ที่เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง (Electrical Optical Converter, E/O) ที่ทำงานโดยรับสัญญาณไฟฟ้ามาจากอุปกรณ์แหล่งกำเนิดแสง หรือ เลเซอร์ และส่งเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงโดยความแรงของสัญญาณไฟฟ้าที่รับได้จากอุปกรณ์รับสัญญาณปลายทางจะถูกเปลี่ยนเป็นความเข้มแสง หรือระดับของสัญญาณ " 1 " และ " 0 " ด้วยวิธีหลังนี้สัญญาณไฟฟ้าจะเปลี่ยนเป็นแสงที่สว่างและมีด หรือเปิด – ปิดสัญญาณที่เดินทางในใยแก้วนำแสงนั้นกำลังจะอ่อนลงเมื่อเดินทางในระยะทางที่เพิ่มขึ้นพร้อมทั้งรูปคลื่นที่ขยายกว้างออกด้วย ดังนั้น เมื่ออุปกรณ์เปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้า (O/E) ทางด้านรับสัญญาณแล้วก่อนที่แสงจะส่งไปก็จะถูกทวนสัญญาณและส่งต่อไปยังปลายทาง



รูปที่ 2.27 ผังแสดงระบบการสื่อสารใยแก้วนำแสง

2.9.2 ระบบสื่อสารใยแก้วนำแสง

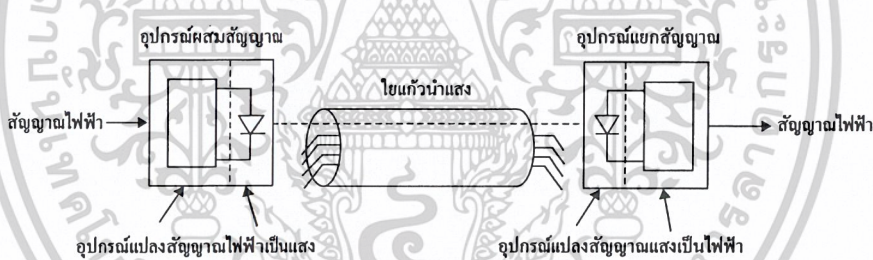
ระบบอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นแสงนั้นทำได้โดยใช้อุปกรณ์ทางแสง ได้แก่ แหล่งกำเนิดแสง (Light Source) ซึ่งปกติใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิด ไดโอดเปล่งแสง (LED) หรือไดโอดเลเซอร์ (LD) ส่วนอุปกรณ์ที่เปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้านั้นทำได้โดยใช้ไดโอดแสง (Photodiode) หรือทรานซิสเตอร์แสง (Photo Transistor) นอกจากนี้ที่ระยะทางของสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ ในเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นใช้ประโยชน์ตามการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยาวมากอาจต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ทวนสัญญาณ (Repeater) ซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า แล้วเปลี่ยนกลับเป็นสัญญาณแสงอีกครั้งและส่งกลับไปในเส้นใยแก้วนำแสง

- การผสมและแยกสัญญาณ

การผสมสัญญาณ (Modulation) ของการสื่อสารนั้น หมายถึงการทำให้ความถี่ของการสั่นในการส่งเปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณข่าวสาร สำหรับการสื่อสารใยแก้วนำแสงนั้นความถี่ (หรือความยาวคลื่น) ของแสงที่ปล่อยออกมาจากอุปกรณ์กำเนิดแสงมีค่าไม่คงที่ ดังนั้นความหมายของการผสมสัญญาณจึงแตกต่างกับการสื่อสารทางไฟฟ้า ถ้าหากสามารถทำให้แสงเป็นแสงอาพันธ์ (Coherence Light) ที่สมบูรณ์นั้นคือมีความถี่คงที่ และสามารถเปลี่ยนความถี่แสงให้อยู่ในย่านความถี่ไมโครเวฟได้ก็จะทำให้การสื่อสารใยแก้วนำแสงมีการผสมคลื่นชนิดต่างๆ เหมือนกับการสื่อสารทางไฟฟ้า ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการผสมคลื่นแสงนั้นเป็นเพียงการผสมคลื่นความเข้มแสง (Intensity Modulation) เท่านั้น (ดูรูปที่ 2.28)



รูปที่ 2.28 แสดงการผสมสัญญาณและการส่ง

ปกติสัญญาณแสงทางด้านรับของระบบสื่อสารนั้นสัญญาณจะอ่อนกำลังลง และบางครั้งอาจเกิดความผิดพลาดเนื่องจากการส่งผ่านไปใยแก้วนำแสง เมื่ออุปกรณ์รับแสงทำการแปลงสัญญาณแสงให้ได้สัญญาณไฟฟ้าที่ออกมาเป็นรูปร่างของสัญญาณเดิมที่เป็นสัญญาณพื้นฐาน (Baseband) และเป็นไปตามรูปร่างของกรอปกคลื่น (Envelope) ของสัญญาณที่เกิดจากการรวมกับคลื่นพาห้ทางแสง สัญญาณนี้จะผ่านขั้นตอนทางไฟฟ้าเพื่อทำการขยายสัญญาณ และได้สัญญาณที่เครื่องรับปลายทางเหมือนกับต้นกำเนิดข่าวสารทุกประการ ในอนาคตถ้าสามารถทำให้แสงที่เป็นแสงอาพันธ์อย่างสมบูรณ์ก็จะสามารถใช้วิธีการผสมคลื่นที่ทำให้ความถี่ของต้นกำเนิดแสงเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณนั้น คือใช้วิธีผสมคลื่นที่มีประสิทธิภาพดีได้และทำนองเดียวกันกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

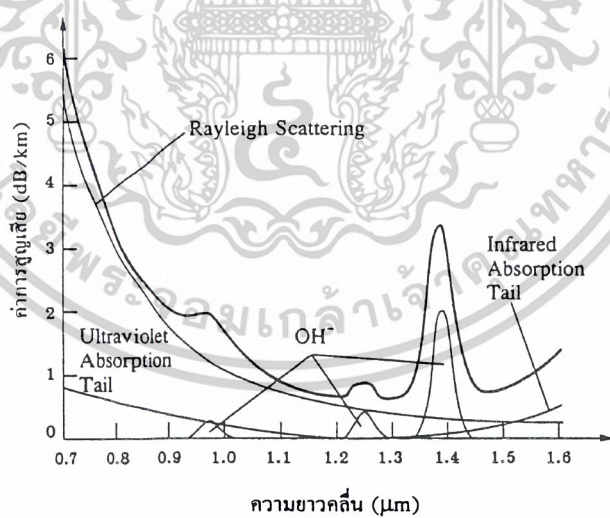
ทางด้านรับแสงก็สามารถใช้การแยกสัญญาณที่เรียกว่าเทคนิคทางด้านความถี่ (Heterodyne Detection) เป็นส่วนการรับสัญญาณปลายทาง

2.10 การลดทอน

กำลังขยายแสงจากแหล่งกำเนิดแสง (P_i) ถูกส่งเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงยาว L กิโลเมตร แล้วกำลังของแสงที่ออกมาจากเส้นใยแก้วนำแสง (P_o) เมื่อพิจารณาที่ $P_o < P_i$ โดยทั่วไปแล้วการสูญเสียของแสงในใยแก้วนำแสงจะถูกกำหนดเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของการลดทอน (Attenuation Coefficient, α) ซึ่งมีหน่วยเป็นเดซิเบลต่อกิโลเมตร ซึ่งแทนด้วยความสัมพันธ์คือ

$$\alpha L = 10 \log \frac{P_o}{P_i} \dots\dots\dots(2.5)$$

เมื่อการลดทอนกำลังของแสงในใยแก้วนำแสงนั้นมีผลมาจากการดูดกลืนแสงของในส่วนของแกน หรือ แคลส การสะท้อนของรังสีของแสง และการโค้งงอของใยแก้วนำแสง



รูปที่ 2.29 แสดงการลดทอนของแสงในใยแก้วนำแสงสัมพันธ์กับความยาวคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.1 การดูดกลืนของวัสดุ

พิจารณาการดูดกลืนในแก้วซิลิกาที่บริสุทธิ์ จากรูปที่ 2.29 จะเห็นว่าแก้วซิลิกาที่บริสุทธิ์จะดูดกลืนแสงน้อย และจะเห็นว่าอยู่ในช่วงของความยาวคลื่นระหว่าง 0.8 ถึง 1.6 ไมครอน จึงเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ในช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวถูกเลือกเพื่อใช้งานทางด้านสื่อสาร การดูดกลืนแบบนี้จะมีค่ามากบริเวณความยาวคลื่นในช่วงของอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) และอินฟราเรด (Infrared, IR)

2.10.2 การดูดกลืนจากภายนอก

การลดทอนของแสงที่เกิดจากการดูดกลืนแสงนี้เกิดจากการที่สารที่ใช้ผลิตเส้นใยแก้วนำแสงหรือแก้วนั้นมีสารอื่นเจือปนอยู่ทำให้เกิดการดูดกลืนของแสงขึ้น โดยทั่วไปแล้วจะมีการดูดแสงอันเนื่องมาจากแก้วและสารเจือปน ตัวอย่างเช่น กรณีที่มีสารเจือปนอยู่ 1 ในล้านส่วนก็จะทำให้เกิดการดูดกลืนแสงที่มีค่าดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การสูญเสียจากการดูดกลืนของสารที่สารและความยาวคลื่นต่างๆ

สารเจือปน	ความยาวคลื่น(nm)	ค่าการสูญเสีย (dB/km)
Cr ³⁺	625	1.6
C ²⁺	685	0.1
Cu ²⁺	850	1.1
Fe ²⁺	1100	0.68
Fe ³⁺	400	0.15
Ni ²⁺	650	0.1
Mn ³⁺	460	0.2

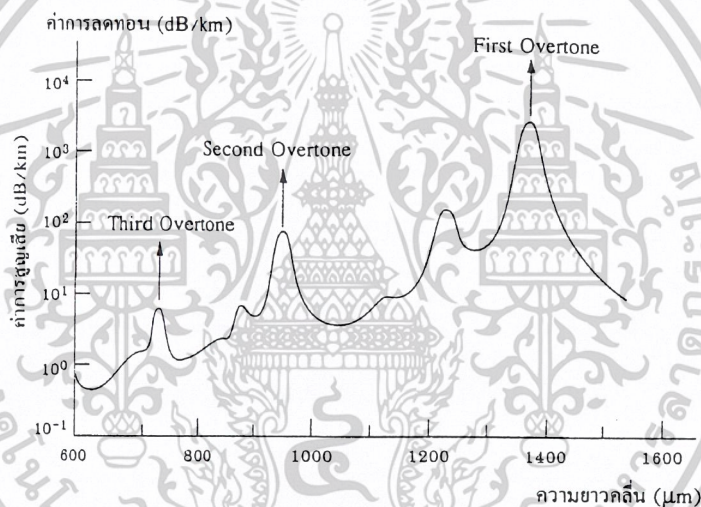
เทคนิคการผลิตใยแก้วนำแสงสมัยใหม่นั้นสามารถลดอิมพurityของสารเจือปนพวกนี้ได้จนถึงระดับที่ไม่มีผลต่อการดูดกลืนได้ อย่างไรก็ตามอิมพurityดูดกลืนตัวหนึ่งที่ไม่สามารถขจัดได้ก็คือไฮดรอกซิล (Hydroxyl, OH) ดังแสดงในรูปที่ 2.30 จุดยอดของการสั่นพื้นฐานของอิมพurityไฮดรอกซิลจะเกิดค่าความยาวคลื่นประมาณ 2.27 ไมครอน และพื้นฐานการสั่นที่ 4.2 ไมครอน ซึ่งการสั่นพื้นฐานนี้จะทำให้เกิดโอเวอร์โทน (Overtone) ที่ฮาร์มอนิกต่างๆดังนี้ 1.38 , 0.95 และ 0.72 ไมครอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อรวมระหว่างการสั่นพื้นฐานและโอเวอร์โทน จะได้จุดยอดที่ 1.24 , 1.13 และ 0.88 ไมครอนตามลำดับ

2.10.3 การสะท้อนเรย์ลี

การดูดกลืนของใยแก้วนำแสงที่ความยาวคลื่นสั้นซึ่งขึ้นอยู่กับ การสะท้อนของแสงที่เกิดจากใยแก้วนำแสงมีค่าดัชนีหักเหที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน โดยค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนชนิดเรย์ลี (Rayleigh, $\propto \lambda^{-4}$) จะเท่ากับ ของค่าสูญเสียของกำลังแสงที่เกิดจากการสะท้อนเรย์ลีแสดงดังรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 แสดงการดูดกลืนจากไฮดรอกซิล

2.10.4 การสูญเสียจากการโค้งงอ

การสูญเสียแบบโค้งงอ (Bending Loss) แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ การโค้งงอชนิดมหภาค หรือแมคโครเบนด (Macrobend) ที่มีรัศมีของส่วนโค้งมากกว่า 10 มิลลิเมตร และการโค้งงอชนิดจุลภาคหรือไมโครเบนด (Microbend) ที่มีรัศมีของส่วนโค้งน้อยกว่า 10 มิลลิเมตร การโค้งงอชนิดแมคโครเบนดจะเกิดขึ้นเมื่อเส้นใยแก้วม้วนอยู่รอบหลอดม้วน เนื่องมาจากการถูกโค้งงอตามมุมต่างๆ การเกิดการสูญเสียเนื่องจากการโค้งงอแบบนี้รังสีของแสงที่เคลื่อนที่ในเส้นใยแก้วตรงบริเวณที่โค้งงอ ซึ่งทำให้แสงตกกระทบตรงรอยต่อระหว่างแกน และแคลด ที่มีค่าน้อยกว่ามุมวิกฤต จึงทำให้รังสีของแสงกระจายออกไปนอกเส้นใยแก้วนำแสงดังแสดงในรูปที่ 2.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามมิให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L_f = N(h^2) \frac{a^4}{D^6 \lambda^3} \frac{E_b}{E_f}^{3/2} \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

N คือ จำนวนโค้งของการโค้งงอต่อความยาว

h คือ ส่วนสูงเฉลี่ยของเคเบิลที่โค้งงอ

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางกลางภายนอกของเคเบิลใยแก้วนำแสง

a คือ รัศมีของแกนใยแก้ว

λ คือ ความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสง

E_b คือ ค่าอิลาสติกโมดูลัสของใยแก้ว

E_f คือ ค่าอิลาสติกโมดูลัสของเคเบิล

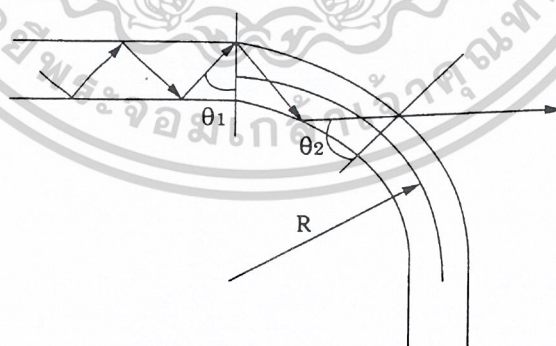
พิจารณาค่าการสูญเสียจากแมคโครเบนด์ แปรผันกับ

R คือ รัศมีของการโค้งงอ

เมื่อ $Rc = a/(NA)^2$

a คือ รัศมีของแกนใยแก้ว

NA คือ นิวเมอริคัลแอปเจอร์



รูปที่ 2.31 แสดงทางเดินของแสงในใยแก้วนำแสงที่โค้งงอ

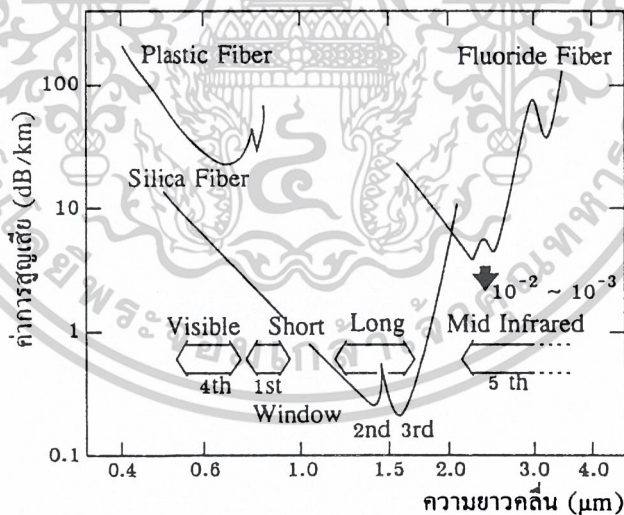
การสูญเสียของกำลังแสงจะมีค่าต่ำสำหรับแสงที่มีคลื่นยาวต่ำ และถ้าผลต่างของค่าดัชนี

หักเหระหว่างแกนและแคลดมีค่ามากก็จะทำให้การสูญเสียมีค่าสูง เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมด
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดียวที่ทำงานที่ความยาวคลื่นยาวๆ จะไวต่อการสูญเสียจากการโค้งงอ และเส้นใยแก้วนำแสงที่ถูกพันอยู่รอบแกนม้วนที่มีรัศมี 10 เซนติเมตร ซึ่งนับว่าสั้นนั้นก็ยังสามารถแก้ไขได้โดยการตัดใยแก้วนำแสงในกระบวนการผลิต เช่น รัศมีของแกน จุดต่อระหว่างแกน และเคลดที่ขรุขระ เป็นต้น ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการผลิตนอกจากนั้นการที่เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยแก้วนำแสงไม่เท่ากันตลอดทั้งเส้นก็ทำให้มีแสงบางส่วนกระจายออกมาจากใยแก้วนำแสงได้เช่นกัน

2.10.5 สเปกตรัมของการลดทอน

สเปกตรัมของการลดทอนในรูปที่ 2.32 แสดงให้เห็นว่าช่วงความยาวคลื่นที่มีค่าการสูญเสียต่ำจะมีอยู่ 3 ช่วงคือ ที่ความยาวคลื่นประมาณ 850 , 1,300 และ 1,550 นาโนเมตร ซึ่งแต่ละความยาวคลื่นจะมีการนำไปประยุกต์ใช้งานต่างกัน คือที่ความยาวคลื่น 850 นาโนเมตรนั้นจะใช้กับระบบเครือข่ายท้องถิ่น (LAN) และการตรวจวัด ส่วนที่ความยาวคลื่น 1,300 นาโนเมตร จะใช้กับระบบเครือข่ายความเร็วสูง (High Speed LAN) และการสื่อสาร ส่วนที่ความยาวคลื่น 1,550 นาโนเมตร จะใช้กับงานด้านการสื่อสาร

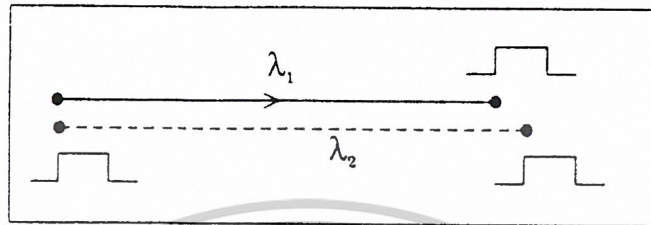


รูปที่ 2.32 แสดงสเปกตรัมของการลดทอน

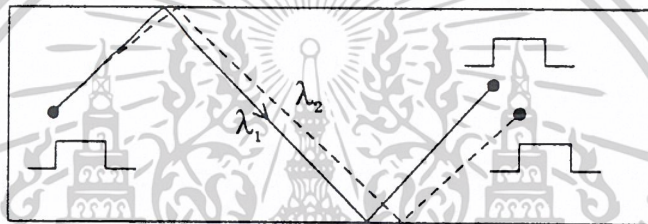
2.11 การกระจายใยแก้วนำแสง

ขณะที่พัลส์แสงเดินทางไปตามเส้นใยแก้วนั้น พัลส์แต่ละแบบจะขยายกว้างออกและทับกับพัลส์ที่อยู่ใกล้เคียงทำให้เกิดความผิดพลาดเกิดขึ้นที่เอาต์พุต การเกิดปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกเอกสารว่า การเกิดการกระจายของพัลส์ (Dispersion) กลไกที่ทำให้เกิดการกระจายมี 3 ชนิดคือ การค้ำไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

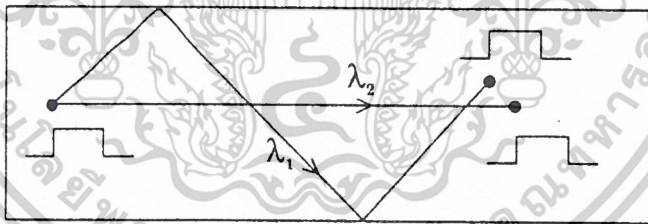
กระจายเชิงวัสดุ (Material Dispersion) การกระจายของท่อนำคลื่น (Waveguide Dispersion) และการกระจายเชิงโหมด (Mode Dispersion) จากรูปที่ 2.33



(ก) การกระจายเชิงวัสดุ



(ข) การกระจายของท่อนำคลื่น



(ค) การกระจายเชิงโหมด

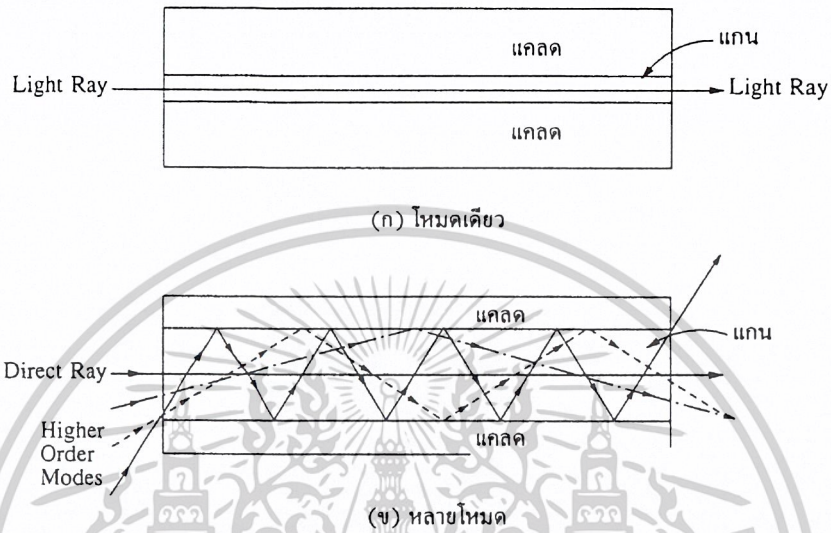
รูปที่ 2.33 แสดงการเกิดการกระจายของพัลส์สัญญาณแบบต่างๆ

2.12 การเดินทางของแสงในใยแก้วนำแสง

แสงสามารถแพร่กระจายเข้าไปในใยแก้วนำแสงได้โดยการสะท้อนหรือการหักเหแสง กล่าวคือแสงจะแพร่กระจายอย่างไรขึ้นอยู่กับโหมดของการแพร่กระจายและรูปแบบของดัชนีหักเห โหมดของการแพร่กระจายหรือโหมด หมายถึงทางเดิน (Path) ของแสงนั่นเอง ถ้าทางเดินของแสง

มีเพียงทางเดียวที่ทำให้แสงแพร่กระจายเข้าไปในใยแก้วนำแสงได้เรียกว่าโหมดเดียว (Single mode) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเท่านั้น มิใช่เป็นเอกสารที่เผยแพร่ฟรี
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mode) ถ้ามีทางเดินแสงหลายๆทางเรียกว่ามัลติโหมด (Multimode) หรือหลายโหมด รูปที่ 2.34 แสดงการกระจายของแสงเข้าไปในใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดียวและแบบหลายโหมด

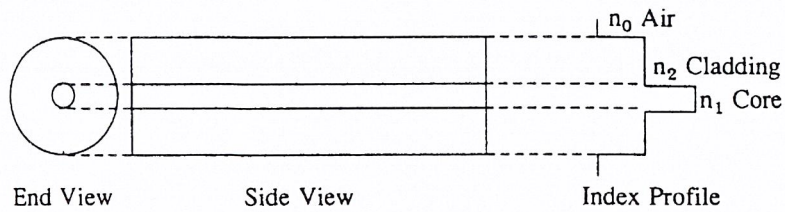


รูปที่ 2.34 แสดงโหมดของการแพร่กระจายของแสง

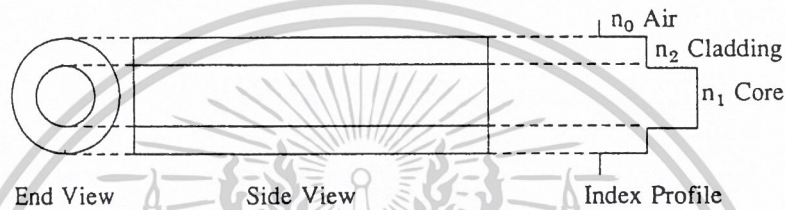
2.12.1 อินเดกซ์โปรไฟล์

อินเดกซ์โปรไฟล์ (Index Profile) ของใยแก้วนำแสงคือกราฟของความสัมพันธ์ของดัชนีหักเหของแกนของเส้นใยแก้วนำแสง โดยที่ดัชนีหักเหถูกเขียนบนแกนนอนและระยะห่างจากแกนของใยแก้วนำแสงอยู่ในแนวตั้ง อินเดกซ์โปรไฟล์ของใยแก้วนำแสงทั้งสามชนิด (ดูรูปที่ 2.35) โดยทั่วไปใยแก้วนำแสงจะมีอินเดกซ์โปรไฟล์อยู่ 2 ประเภทคือ แบบสเตปและเกรดอินเดกซ์ หรือแบบขั้นบันได และแบบมน โดยที่แบบสเตปอินเดกซ์จะมีดัชนีหักเหคงที่ตลอดเนื้อสารที่เป็นแกนและแคลด โดยปกติค่าดัชนีหักเหที่แกนจะมีค่ามากกว่าที่แคลด แนวทางของแสงจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงสะท้อนไปมาบริเวณรอยต่อระหว่างแกนกับแคลดตามกฎหมายของสเนลล์ ส่วนใยแก้วนำแสงแบบเกรดอินเดกซ์จะมีดัชนีหักเหของแกนเปลี่ยนแปลงไปตามแนวแกนของใยแก้ว โดยที่ตำแหน่งแนวศูนย์กลางของใยแก้วจะมีค่าดัชนีหักเหสูงสุดจากนั้นค่าดัชนีหักเหจะค่อยๆลดลงไปตามระยะที่ห่างออกจากแนวศูนย์กลาง จนมีค่าเท่ากับดัชนีหักเหของแคลดในตำแหน่งที่แกนต่อกับแคลดพอดี โครงสร้างของใยแก้วนำแสงโดยทั่วไปแบ่งออกเป็นประเภทตามโครงสร้างได้ 3 ประเภท คือ โหมดเดียว หลายโหมดสเตปอินเดกซ์ และหลายโหมดเกรดอินเดกซ์

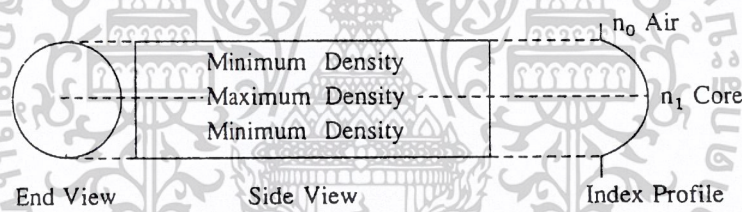
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) โหมดเดี่ยวชั้นบันได



(ข) หลายโหมดชั้นบันได



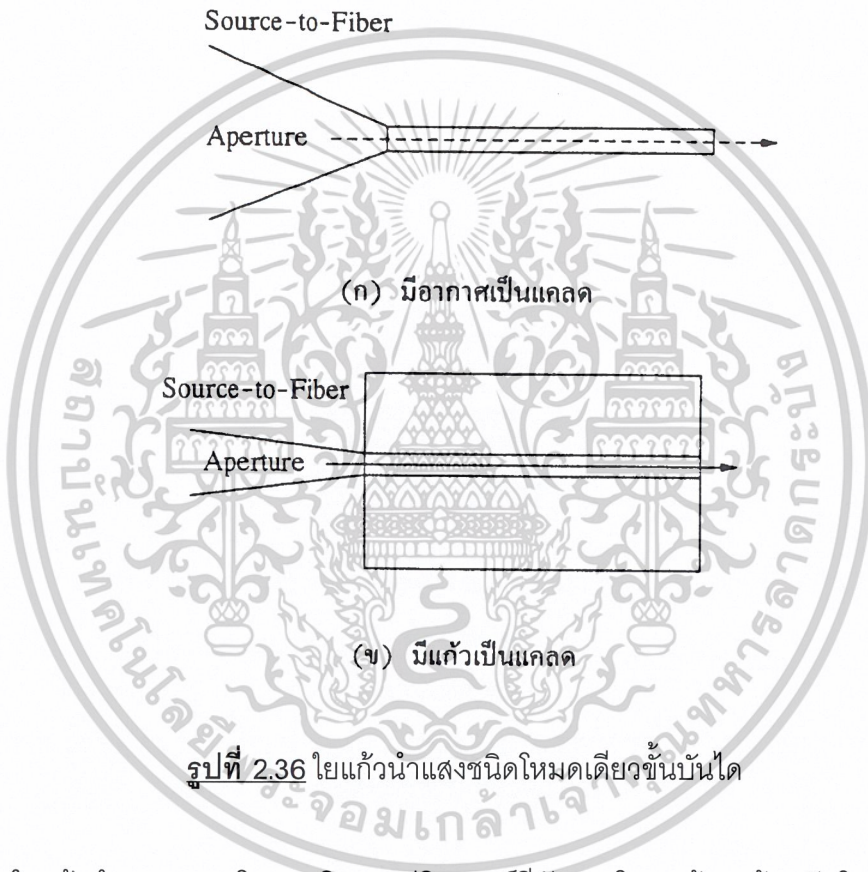
(ค) หลายโหมดแบบมน

รูปที่ 2.35 แสดงอินเดกซ์โปรไฟล์ของแกนใยแก้วนำแสง

ใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยวสเตปอินเดกซ์มีแกนกลางขนาดเล็กมากจนแสงผ่านเข้าไปภายในได้เพียงทางเดียวเท่านั้น ใยแก้วนำแสงประเภทนี้แสดงในรูปที่ 2.35 รูปแบบอย่างง่ายที่สุดของใยแก้วนำแสงชนิดนี้ก็คือนำแกนเป็นแก้ว และเคลือบเป็นอากาศ ความแตกต่างของดัชนีหักเหของตัวกลางทั้งสองมีค่ามากทำให้มุมวิกฤต (ประมาณ 42°) มีค่าน้อยที่รอยต่อระหว่างแก้วและอากาศ ผลทำให้ใยแก้วนำแสงมีมุมรับแสงเป็นมุมกว้าง ดังนั้นทำให้ง่ายต่อการส่งแสงจากแหล่งกำเนิดแสงเข้าไปในใยแก้วนำแสง อย่างไรก็ตามใยแก้วนำแสงชนิดนี้ง่ายต่อการแตกหักจึงมีข้อจำกัดในการนำมาใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยวบสเตรปอินเดคท์ที่เหมาะสมนำไปใช้งานคือใยแก้วนำแสงที่มีแกนเป็นแก้วและมีเคลดที่ไม่ใช่อากาศค่าดัชนีหักเหของเคลดมีค่าน้อยกว่าดัชนีหักเหของแกนเล็กน้อยและมีค่าเท่ากันตลอด สายใยแก้วนำแสงชนิดนี้จะแข็งแรงกว่าชนิดที่มีอากาศเป็นเคลดแต่มุมวิกฤตจะมีค่ามากกว่า (ประมาณ 77°) เป็นผลให้ใยแก้วมีมุมรับแสงแคบวิ่งทำให้ยากต่อการส่งแสงจากแหล่งกำเนิดแสงเข้าไปในใยแก้วนำแสง

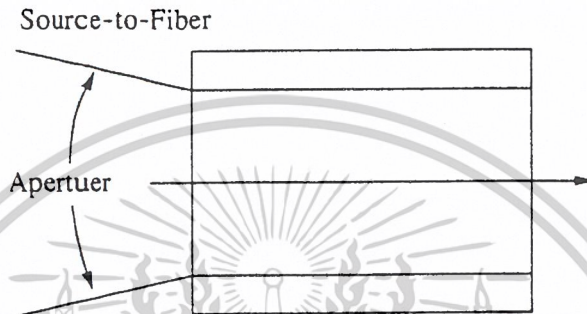


รูปที่ 2.36 ใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยวชั้นบันได

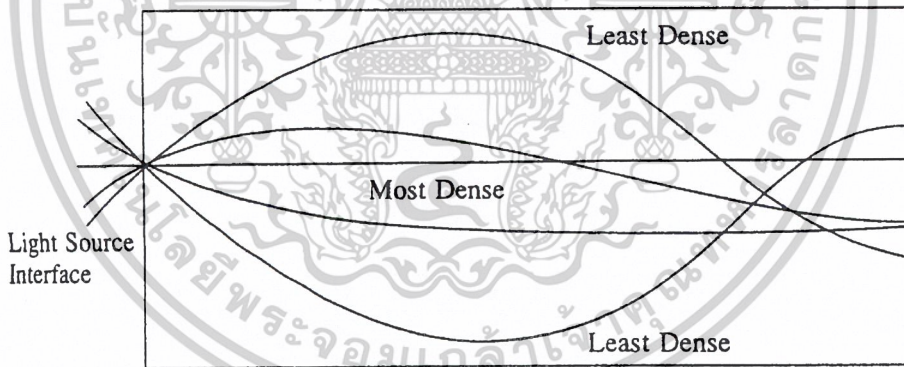
ใยแก้วนำแสงหลายโหมดชนิดสเตรปอินเดคท์มีลักษณะโครงสร้างคล้ายกับโหมดเดี่ยวแต่มีแกนใหญ่กว่า (ดูรูปที่ 2.37 และ 2.38) ใยแก้วนำแสงประเภทนี้จะมีมุมในการรับแสงกว้างทำให้แสงผ่านเข้าไปได้ง่ายขึ้นรังสีของแสงที่กระทบรอยต่อของแกนและเคลดที่มีมุมมากกว่ามุมวิกฤตจะผ่านเข้าไปในใยแก้วนำแสงโดยการสะท้อนกลับไปกลับมาที่รอยต่อเป็นรูปซิกแซ็ก รังสีของแสงที่กระทบรอยต่อของแกนและเคลดโดยมีมุมน้อยกว่ามุมวิกฤต จะผ่านเข้าไปในเคลดแล้วหายไป จะเห็นได้ว่ามีหลายทางที่แสงจะผ่านเข้าไปในใยแก้วนำแสง ซึ่งทำให้ง่ายต่อการเดินทางผ่านใยแก้วนำแสงที่ความยาวหนึ่งในเวลาที่ไม่เท่ากัน ใยแก้วนำแสงหลายโหมดเกรดอินเดคท์มีลักษณะของแกนที่ดัชนีหักเหมีค่ามากที่สุดตรงจุดศูนย์กลางแล้วดัชนีหักเหจะลดลงไปตามแนวแกนรัศมีเมื่อแสงผ่านเข้าไปในใยแก้วนำแสงด้วยการหักเหมุมต่างๆกัน แล้วทางเดินของแสงจะมีลักษณะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีการนำไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นโค้ง รังสีของแสงด้านนอกสุดจะเดินทางด้วยระยะไกลกว่ารังสีของแสงที่อยู่ใกล้กับจุดศูนย์กลางของใยแก้วนำแสง เพราะว่าดัชนีหักเหลดลงตามแนวรัศมี และความเร็วแปรผันเปลี่ยนส่วนกลับกับค่าดัชนีหักเห ดังนั้นรังสีของแสงที่ห่างจากจุดศูนย์กลางมากจะมีความเร็วมากกว่าทำให้รังสีทุกรังสีใช้เวลาในการเดินทางผ่านใยแก้วนำแสงเท่ากัน



รูปที่ 2.37 ใยแก้วนำแสงชนิดหลายโหมดสแต็ปอินเดกซ์



รูปที่ 2.38 ใยแก้วนำแสงชนิดหลายโหมดเกรดอินเดกซ์

2.13 อุปกรณ์ตรวจวัดแสง

หลักการทั่วไปของอุปกรณ์ตรวจวัดแสงอาศัยกลไก 2 แบบคือเอกซ์เทอร์นัลโฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟคท์ (External Photoelectric effect) ซึ่งเป็นกลไกซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากอิเล็กตรอนถูกปลดปล่อยแสงจากผิวของโลหะเมื่อมีแสงหรือโฟตอนตกกระทบบนผิวโลหะนั้น ตัวอย่างของอุปกรณ์ชนิดนี้ก็คือ โฟโตมัลติพลายเออร์ (Photomultiplier) และอินเทอร์นัลโฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟคท์ (Internal Photoelectric effect) เป็นกลไกซึ่งเกิดขึ้นที่ในรอยต่อของสารกึ่งตัวนำ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Semiconductor Junction) โดยโฟตรอนที่ถูกดูดกลืนที่บริเวณรอยต่อดังกล่าวทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอนและโฮล (Electron – Hole Pair) ขึ้น ตัวอย่างของอุปกรณ์รับแสงชนิดนี้ก็คือ พีเอ็นจังก์ชันโฟโตไดโอด (PN Junction Photodiode, PIN Photodiode) และอวาลานซ์โฟโตไดโอด (Avalanche Photodiode)

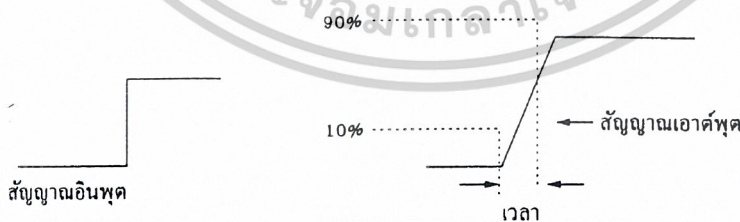
ก่อนที่จะได้รับทราบรายละเอียดของอุปกรณ์รับแสงแต่ละชนิดนั้นก็ควรจะได้ทราบถึงพารามิเตอร์ที่สำคัญบางตัวของอุปกรณ์รับแสงโดยทั่วไปก่อนดังนี้

$$\text{Responsivity}(\rho) = \frac{I_o}{I_i} \dots\dots\dots(2.7)$$

เมื่อ ρ คือค่าการตอบสนองที่หน่วยเป็นแอมแปร์ต่อวัตต์ I_i และ I_o คือกำลังแสงอินพุตโดยสเปกตรัมเรสปอนส์ (Spectral Response) หมายถึง ช่วงความถี่ที่อุปกรณ์รับแสงสามารถตอบสนองแสงที่ตกกระทบ ไรส์ไทม์ (rise time, t_r) หมายถึงช่วงเวลาที่เขาต์พัลส์มีการเปลี่ยนแปลงจาก 10% เป็น 90% ของค่าสุดท้ายของการเปลี่ยนแปลง กรณีที่กำลังทางด้านอินพุตมีลักษณะเป็นพัลส์นั้นจะมีค่าไรส์ไทม์ของอุปกรณ์รับแสงจะมีความสัมพันธ์กับ 3dB แบนวิดท์ตามสมการ

$$f_{3-dB} = 0.35 / t_r \dots\dots\dots(2.8)$$

เมื่อ f_{3-dB} คือ แบนวิดท์ของอุปกรณ์รับแสง



รูปที่ 2.39 แสดงไรส์ไทม์ของอุปกรณ์รับแสง

2.14 เลเซอร์

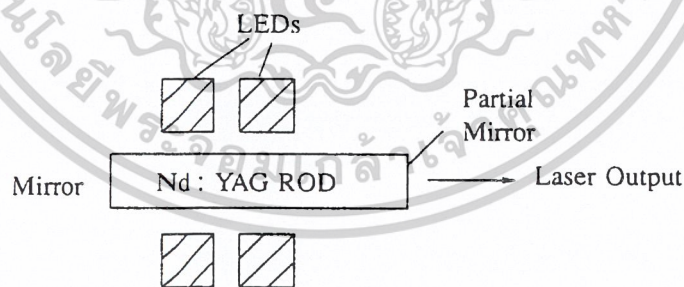
เลเซอร์สารกึ่งตัวนำ (semiconductor laser) นับว่าเหมาะสมที่สุดสำหรับการสื่อสารโดย

ใยแก้วนำแสง อย่างไรก็ตามก็ยังมีเลเซอร์อีก 2 ชนิด ได้แก่ แก๊สเลเซอร์ (gas laser) ที่ทำงานในเอกสารถังเป็นเอกสารถังที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารถังทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเปกตรัมที่เห็นได้ (visible spectrum) และ Nd : YAG(Neodymium Yttium-Aluminium Gamet Laser) ที่ปลดปล่อยแสงในช่วงความยาวคลื่น $1.06 \mu\text{m}$

1.แก๊สเลเซอร์ที่นิยมใช้ คือ ฮีเลียมนีออนเลเซอร์(Helium Neon Laser,HeNe) ที่มีแสงสีแดงและได้ถูกนำมาใช้สำหรับงานทดสอบเส้นใยแก้วนำแสงและอุปกรณ์เกี่ยวกับเส้นใยแก้วนำแสงอื่นๆ เช่น ที่ใช้การทดสอบด้วยลำแสงซึ่งทำได้โดยร่วมกับเส้นใยแก้วนำแสงเพื่อทำการทดสอบการแตกหักของวัตถุ กล่าวคือ ถ้าไม่มีแสงออกมาจากเส้นใยแก้วนำแสงแสดงว่าเกิดการแตกหัก ดังนั้นถ้ามีการรบกวนเล็กน้อยบนเส้นใยแก้วนำแสง เช่น ฟองอากาศหรือเกิดรอยแตกหักเล็กน้อยก็สามารถที่จะหาตำแหน่งได้โดยการกระจายของแสงรอบๆบริเวณที่มีการรบกวนนั้นๆได้ อีกตัวอย่างหนึ่ง ก็คือ ในเรื่องของการวัด NA ของเส้นใยแก้วนำแสงนั้นลำแสงนั้นก็สามารถที่จะทำการวัดโดยการใช้ HeNe เลเซอร์ได้ เพราะว่า NA ไม่ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น

2.Nd : YAG เลเซอร์ เป็นเลเซอร์โซลิดสเตตที่มีความยาวคลื่นซึ่งทำงานที่ความยาวคลื่น $1.06 \mu\text{m}$ โดยเป็นช่วงที่บริเวณของเส้นใยแก้วนำแสงมีการลดทอนและกระจายตามความถี่ของวัสดุที่ต่ำกว่าค่าในช่วง $0.8-0.9 \mu\text{m}$ ยิ่งกว่านั้นมีความกว้างของสเปกตรัมประมาณ 0.1 nm ซึ่งแคบกว่าไดโอดเลเซอร์ (LD) ลักษณะของระบบ Nd:YAG แสดงดังรูปที่ 2.40 โดยมีตัวกลางแอคทีฟที่ใช้แทน Nd:YAG บางๆล้อมรอบด้วย LED จะเป็นตัวให้กำลังหรือแสงของ Nd:YAG เพื่อกำเนิดเลเซอร์



รูปที่ 2.40 แสดงผังของระบบ Nd:YAG เลเซอร์

แพ็คเกจ 2 ประการที่ไม่นิยมใช้ Nd:YAG เลเซอร์ในระบบเส้นใยแก้วนำแสง คือ ประการแรกความซับซ้อนและค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าการใช้ LD ประการที่สอง มอดูเลตโดยปกติจะกระทำกันภายนอกเลเซอร์แควิตี (laser cavity) หลังจากที่แสงเลเซอร์ถูกสร้างออกมาแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.15 ใยแก้วนำแสงและการเชื่อมต่อ

ส่วนนี้จะทำหน้าที่ให้การสื่อสารนั้นประกอบเป็นระบบได้ เพราะทำให้สามารถติดต่อกันได้ในระยะทางไกลและเป็นจำนวนมากอีกด้วย ในส่วนของรายละเอียดอื่นๆ ไม่ว่าจะเป็นเทคนิคการมอดูเลชันการเข้าและถอดรหัสนั้นได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

การคับปลิงแสงเข้าใยแก้วนำแสง กำลังของแสงที่สูญเสียจากการคับปลิงจากแหล่งกำเนิดแสงสู่ใยแก้วนำแสงซึ่งมีสาเหตุหนึ่งจากการที่ NA ของใยแก้วนั้นไม่สัมพันธ์กับพื้นที่ของแหล่งกำเนิดแสง โดยปกติแล้วพื้นที่ปล่อยแสงของแหล่งกำเนิดแสงนั้นต้องเล็กกว่าแกนของใยแก้วนำแสง การสูญเสียกำลังนี้สามารถแทนได้ด้วยสมการ

$$Loss_{area} = 10 \log(A_c / A_s) \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

สำหรับใยแก้วนำแสงแกนวงกลมสมการเปลี่ยนเป็น

$$\begin{aligned} Loss_{area} &= 10 \log(D_c / D_s)^2 \\ &= 20 \log(D_c / D_s) \quad \dots\dots\dots(2.10) \end{aligned}$$

เมื่อกำหนดให้ A_c คือพื้นที่ของแกนใยแก้วนำแสง A_s คือพื้นที่แอกทิฟของแหล่งกำเนิดแสง คือเส้นผ่านศูนย์กลางของแกน D_s คือเส้นผ่านศูนย์กลางของแหล่งกำเนิดแสง และสมการ (2.9) และ (2.10) จะใช้ได้เมื่อ $A_c < A_s$ หน่วยของการสูญเสียนั้นเป็นเดซิเบล (dB) ถ้าเขียนความสัมพันธ์ของการสูญเสียในเทอมของ NA จะสามารถเขียนได้เป็น

$$Loss_{NA} = 20 \log(NA) \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

$$\text{เมื่อกำหนดให้ } (NA) = \sqrt{P_c / P_{ts}}$$

โดย P_c คือกำลังของแสงที่คับปลิงสู่ใยแก้วนำแสง P_{ts} คือกำลังแสงส่งออกทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.16 งบประมาณกำลัง

งบประมาณกำลัง (Power Budget) คือค่าสูญเสียกำลังทั้งหมดของแสงที่ยอมได้ระหว่างแหล่งกำเนิดแสงและอุปกรณ์ตรวจจับแสง ถ้าให้ PS คือ กำลังของแสงที่ป้อนให้กับระบบ และ PR คือ ความไวของเครื่องรับ งบประมาณกำลังจะเท่ากับ PS – PR ในการออกแบบระบบนั้นจำเป็นต้องมีค่ากำลังเผื่อหรือเตรียมการของระบบ (Power Margin) ซึ่งจะเท่ากับผลต่างระหว่างงบประมาณกำลัง และค่าสูญเสียในระบบ โดยค่ากำลังเผื่อควรมีค่าเป็นบวก ค่าสูญเสียในระบบนั้นจะเกิดจากการสูญเสียที่เกิดจากข้อต่อหัวเชื่อมต่อที่เกิดจากการต่อเส้นใยแก้วนำแสง และค่าสูญเสียเนื่องจากการลดทอนกำลังของใยแก้วนำแสงเอง เป็นต้น โดยทั่วไปการออกแบบระบบนั้นจะต้องคำนึงถึงข้อจำกัดดังนี้คือ

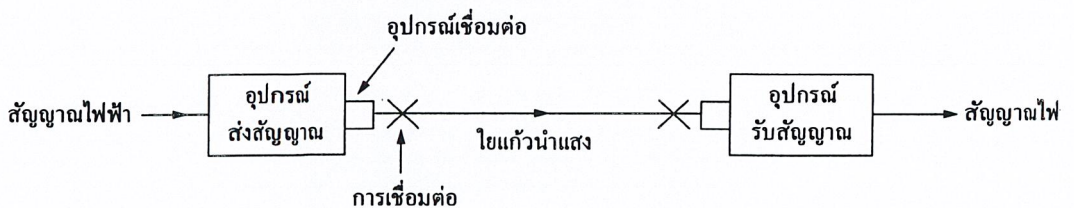
1. พิจารณาถึงใยแก้วนำแสงที่เกี่ยวกับการลดทอนกำลัง การกระจาย และแถบความถี่หรือแบนด์วิดท์
2. ข้อจำกัดของเครื่องส่งซึ่งจะพิจารณาถึงกำลังขยายสูงสุด ความกว้างของสเปกตรัม การตอบสนองความถี่ และความเป็นเชิงเส้น
3. ข้อจำกัดของเครื่องรับที่จะพิจารณาถึงสัญญาณรบกวน การตอบสนองต่อสเปกตรัม การตอบสนองต่อความถี่ ความไว และความเป็นเชิงเส้น

2.16.1 การคำนวณงบประมาณกำลัง

ในการคำนวณงบประมาณกำลังนั้นสามารถแทนได้ด้วยสูตรการคำนวณดังสมการ

$$P_{SL} = P_S - S \tag{2.12}$$

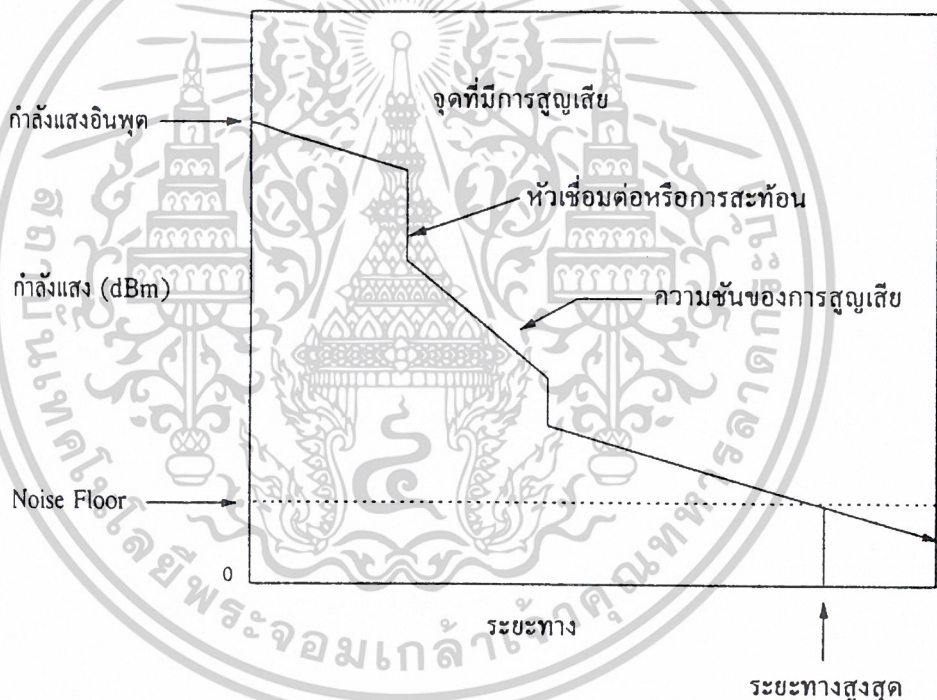
เมื่อ P_{SL} คือค่าสูงสุดของการสูญเสียของระบบ P_S คือ กำลังของแหล่งกำเนิดแสง และ S คือค่าตอบสนองต่ำสุดของอุปกรณ์รับสัญญาณ



รูปที่ 2.41 แสดงระบบสื่อสารทางแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปในการออกแบบระบบสื่อสารต้องพิจารณาในเรื่องของอุปกรณ์ส่งสัญญาณซึ่งประกอบไปด้วย กำลังเอาต์พุต ความกว้างของสเปกตรัม ความถี่ที่ตอบสนองและความเป็นเชิงเส้น ในส่วนของใยแก้วนำแสงนั้นต้องพิจารณาถึงการลดทอนสัญญาณ การกระจาย และแบนด์วิดท์ ในส่วนของอุปกรณ์รับสัญญาณต้องพิจารณาถึงสัญญาณรบกวน สเปกตรัมของการตอบสนอง ความถี่ที่ตอบสนองและความเป็นเชิงเส้น เป็นต้น รูปที่ 2.42 เป็นไดอะแกรมแสดงเอาต์พุตของสัญญาณที่รับได้จากอุปกรณ์ที่เรียกว่าโอทีดีอาร์ (Optical Time Domain Reflectometer ,OTDR)



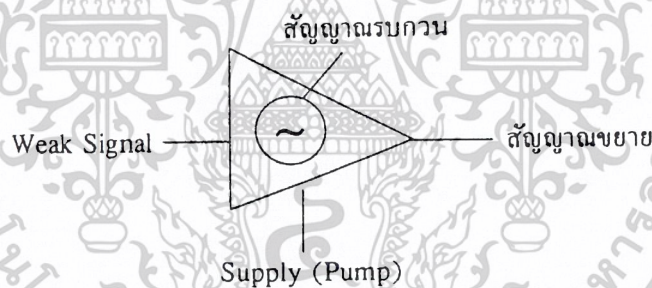
รูปที่ 2.42 แสดงกำลังแสงกับระยะทาง

2.16.2 การขยายสัญญาณแสง

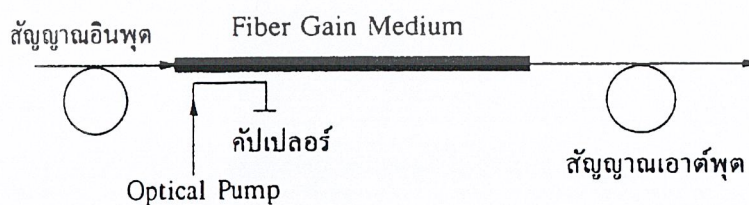
เนื่องจากงานทางด้านสื่อสารทางด้านการสื่อสารผ่านระยะทางไกลๆ เช่น การส่งสัญญาณจากสถานีส่งไปยังอีกสถานีรับหนึ่งซึ่งจะมีขนาดลดลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นเพื่อที่จะทำให้ขนาดของสัญญาณมีค่าสูงพอที่จะให้การแปลงข้อมูลที่เครื่องรับมิได้ จึงต้องมีอุปกรณ์สำหรับขยายสัญญาณติดตั้งระหว่างสถานีส่งและสถานีรับตามจำนวนที่จำเป็น แต่เดิมการขยายเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดของสัญญาณจะดำเนินการโดยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจะประกอบด้วยขั้นตอนของการแปลงสัญญาณแสงไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า เพื่อนำสัญญาณดังกล่าวไปขยาย และจากนั้นก็ต้องการแปลงสัญญาณไฟฟ้ากลับมาเป็นสัญญาณแสงดังเดิมเพื่อส่งผ่านกลับเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงต่อไปยังจุดหมายปลายทาง

โดยทั่วไปแล้ววงจรสำหรับขยายสัญญาณในเชิงอิเล็กทรอนิกส์ (รูปที่ 2.43) จะถูกออกแบบมาให้ทำงานได้กับจำนวนความจุของข้อมูลคงที่ค่าหนึ่ง (จำนวนบิตของข้อมูลที่ส่งมีค่าหนึ่งในหนึ่งวินาที) เนื่องจากความจำกัดในการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งข้อจำกัดเช่นนี้ไม่เหมาะสมกับสภาวะการณ์ของการเจริญเติบโตทางการสื่อสารข้อมูลที่นับวันจำนวนข้อมูลที่ต้องส่งมีเพิ่มมากขึ้นอย่างในปัจจุบันดังนั้นเพื่อที่จะแก้ปัญหาดังกล่าว จึงได้มีการพัฒนาระบบการขยายสัญญาณในเชิงแสงขึ้นมาแทนเพราะระบบนี้ไม่มีข้อจำกัดในแง่ของความจุข้อมูลมาเกี่ยวข้องเหมือนเช่นระบบอิเล็กทรอนิกส์ดังกล่าว ระบบทางแสงนี้รู้จักกันในนามของอุปกรณ์ขยายสัญญาณแสง (Optical Fiber Amplifier) ดูรูปที่ 2.44 และ 2.45 ประกอบ

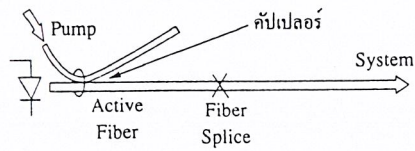


รูปที่ 2.43 แสดงการขยายสัญญาณด้วยอิเล็กทรอนิกส์

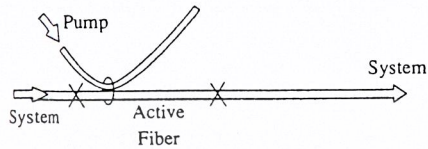


รูปที่ 2.44 แสดงการขยายสัญญาณทางแสง

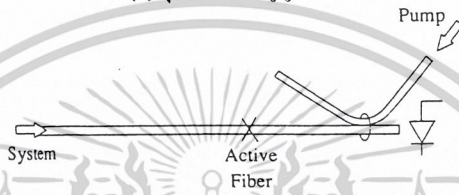
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) การขยายสัญญาณที่อุปกรณ์ส่ง



(ข) อุปกรณ์ทวนสัญญาณแสง



(ค) การขยายสัญญาณที่อุปกรณ์รับ

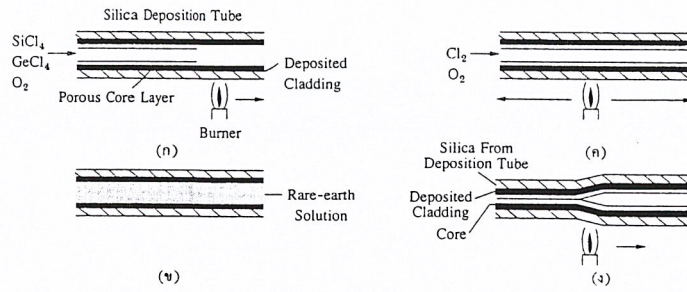
รูปที่ 2.45 แสดงลักษณะต่างๆของอุปกรณ์ขยายสัญญาณทางแสง

ดังนั้นเพื่อให้การพัฒนาระบบการสื่อสารด้วยคลื่นแสงให้ได้ประโยชน์เต็มที่จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาอุปกรณ์ที่จะมาเป็นตัวทวนสัญญาณให้มีคุณสมบัติเป็นอุปกรณ์ทางแสงโดยตรง ซึ่งในที่นี้เราจะเรียกอุปกรณ์ตัวนี้ว่า ตัวขยายสัญญาณแสง (Optical Amplifier)

2.16.3 ใยแก้วเออร์เบียมโดป (Erbium Doped Amplifier)

ทำโดยการเติมธาตุในกลุ่มแรร์เอิร์ท (Rare Earth) คือนีโอไดเนียม (Neodymium) หรือเออร์เบียม (Erbium) ที่อยู่ในรูปของออกไซด์เข้าไปในระหว่างขั้นตอนในการประดิษฐ์เส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งทำให้ได้สิ่งประดิษฐ์ที่รู้จักกันดีในชื่อเลเซอร์ใยแก้ว (Fiber laser) ซึ่งทำให้ปัญหาที่เคยมีกับตัวขยายสัญญาณแบบสารกึ่งตัวนำหมดไป การเติมสารเจือให้กับเส้นใยแก้วนำแสงนั้นท่อนำคลื่นที่ได้จะมีความสมมาตร และสามารถนำมาเชื่อมต่อเข้ากับใยแก้วนำแสงได้ดีโดยให้การลดทอนสัญญาณที่จุดต่อที่ต่ำ (ดูรูปที่ 2.46)

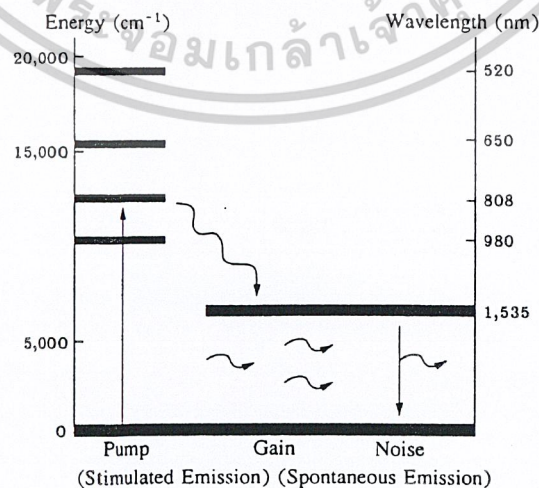
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.46 แสดงการสร้างใยแก้วนำแสงชนิดเออร์เบียมโดปหรือ
 ใยแก้วเออร์เบียม ซึ่งมีขั้นตอนจาก (ก)-(ง)

ไดอะแกรมแสดงระดับพลังงานของเออร์เบียมในแก้วซิลิกา รูปที่ 2.47 แสดงสเปกตรัมของใยแก้วเออร์เบียมโดป การดูดกลืนแสงโดยไอออนในสถานะพื้นฐานจะทำให้ไอออนขึ้นไปในชั้นที่สูงกว่าระดับเลเซอร์ทันที ในสถานะเลเซอร์นี้จะมีช่วงชีวิตที่ยาวและกระทำตัวเหมือนชั้นที่สะสมไอออน โฟตอนที่มีความยาวคลื่นที่ 1.535 ไมโครเมตร จะถูกกระตุ้นด้วยโฟตอนที่เหมือนกันและออกมาเป็นเลเซอร์หรือมีการขยายสัญญาณ

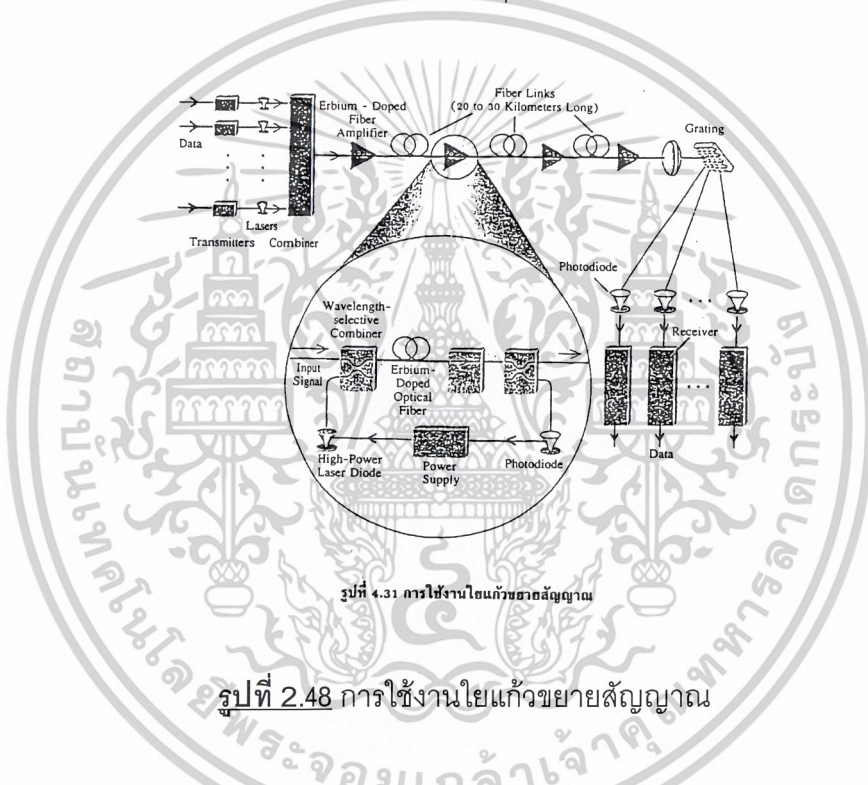
จากการสังเกตจากไดอะแกรมของระดับพลังงานของแถบสเปกตรัมที่จะนำมาใช้งานได้ดีที่สุดจะมีอยู่ 2 ช่วงคือ ที่ 980 ไมโครเมตร และที่ 1.46 – 1.49 ไมโครเมตร ซึ่งที่ 980 ไมโครเมตร จะมีเกนที่ 3.9 dBmW⁻¹ ใช้เลเซอร์ไดโอดที่เป็น GaAlAs เป็นตัวกระตุ้น ส่วนที่ 1.46 – 1.49 ไมโครเมตร จะมีเกนที่ 2.2 dBmW⁻¹ ใช้เลเซอร์ไดโอดที่เป็น GaAsP เป็นตัวกระตุ้น



รูปที่ 2.47 ลักษณะของระดับพลังงานของเออร์เบียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนักเรียนเห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราขยายสูงสุดที่ทำได้ของตัวขยายสัญญาณแบบนี้ตามที่มีการรายงานไว้ทำได้ถึง 46.5 dB โดยการกระตุ้นที่พลังงาน 133 mW ที่ 1.48 ไมโครเมตร และอัตราขยายตัวที่ 25 – 40 dB สำหรับพลังงานกระตุ้นที่ 40 – 100 mW ที่ 1.48 ไมโครเมตรและ 6 – 20 mW ที่ 980 ไมโครเมตร การที่ตัวขยายสัญญาณแบบนี้มีค่าการสูญเสียเนื่องจากรอยต่อที่ต่ำทำให้อัตราขยายที่ได้จากการทดลองมีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าจริงเมื่อนำไปใช้งาน แต่ค่าแบนด์วิธทางแสงมีค่าที่จำกัดมากกว่าของตัวขยายสัญญาณแบบสารกึ่งตัวนำ (3 – 10 นาโนเมตร) แต่ปัญหาใหญ่เกิดจากการที่มีค่าแบนด์วิธทางแสงที่แคบ ทำให้มีค่าอิมพัลส์ของเอาต์พุตต่ำ ที่ต่ำ -5 ถึง +3dB



รูปที่ 4.31 การใช้งานใยแก้วขยายสัญญาณ

รูปที่ 2.48 การใช้งานใยแก้วขยายสัญญาณ

ใยแก้วเออร์เปียมโดปมีข้อดีเหมาะสมสำหรับการนำมาใช้งานเนื่องจากอัตราขยายสูง มีสัญญาณรบกวนต่ำ และไม่มีผลรบกวนในเรื่องการโพลาไรซ์ แต่ก็มีข้อเสียในเรื่องของมีช่วงความกว้างของช่องการสื่อสาร (Optical Bandwidth) ที่แคบและมีค่าเอาต์พุตที่อิมพัลส์ต่ำ รูปที่ 2.48 เป็นผังแสดงการใช้งานอุปกรณ์ใยแก้วขยายสัญญาณ ส่วนในระบบสื่อสารใยแก้วเพื่อลดการใช้ อุปกรณ์ทวนสัญญาณ และข้อจำกัดจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงนั่นเอง

2.17 การเชื่อมต่อและการสูญเสีย

ในระบบสื่อสารใยแก้วนำแสงทุกๆไป ซึ่งในการประกอบกันเป็นระบบนั้นจะต้องมีการเชื่อมต่อในส่วนของใยแก้วนำแสงเสมอ โดยการเชื่อมต่อใยแก้วนำแสงนั้นอาจมีการคลาดเคลื่อนซึ่งทำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้เกิดการสูญเสียสัญญาณได้จากลักษณะต่างๆของใยแก้ว ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.49 ที่เป็นลักษณะของการวางตัวของใยแก้วนำแสงในการเชื่อมต่อซึ่งเป็นสาเหตุของการสูญเสียสัญญาณซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดแต่ละกรณีต่อไป



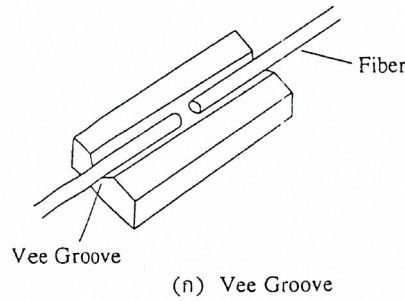
รูปที่ 2.49 แสดงลักษณะต่างๆของการวางตัวของใยแก้วนำแสง

2.18 การเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง

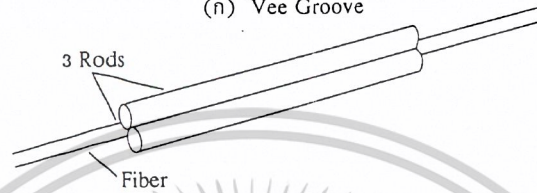
การเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงมีหลายวิธี ซึ่งการที่จะเลือกวิธีใดก็ได้แล้วแต่ความเหมาะสมกับงานต่างๆที่ต้องการติดตั้งในระบบสื่อสาร หรือเครือข่ายสื่อสารดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.18.1 การเชื่อมต่อด้วยวิธีการเชื่อมต่อเชิงกล (Mechanical Splice)

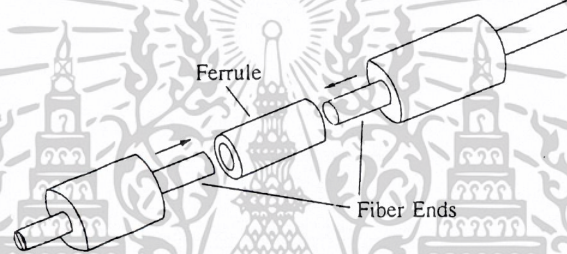
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(n) Vee Groove



(จ) Three-rods



(ก) Ferrule

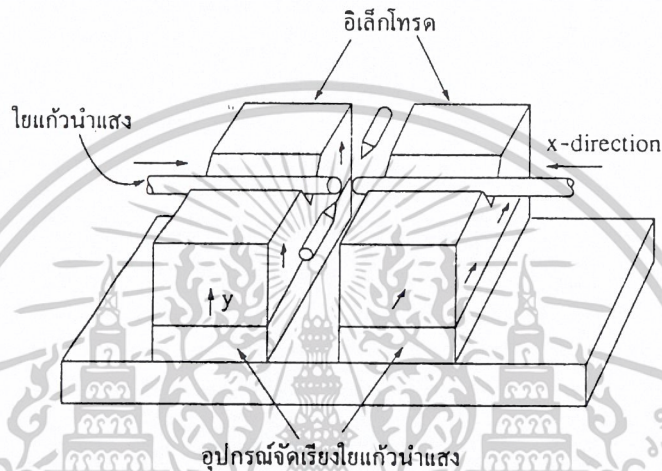
รูปที่ 2.50 แสดงแบบต่างๆของการเชื่อมต่อใยแก้วเชิงกล

หลักการทั่วไปของการเชื่อมต่อเชิงกล (ดูรูปที่ 2.50) ก็คือ การวางเส้นใยแก้วนำแสงให้อยู่ในแนวแกนเดียวกัน โดยใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสม และพยายามทำให้ปลายทั้งสองของเส้นใยแก้วนำแสงอยู่ชิดกันมากที่สุด ซึ่งการออกแบบอุปกรณ์ต่างๆในการเชื่อมต่อนี้ จะช่วยลดการสูญเสียแสงเนื่องจากการติดตั้งจากการเบี่ยงเบนในแนวต่างๆลง ตัวอย่างเช่น การที่จะส่งผ่านสัญญาณแสงจากเส้นหนึ่งไปยังอีกเส้นหนึ่งให้มีการสูญเสียที่น้อยที่สุด ตรงรอยต่อระหว่างเส้นใยแก้วทั้งสอง อาจมีการใช้เจลเชื่อมต่อด้วย (Index Matching Gel) เป็นของเหลวใสที่มีค่าดัชนีหักเหใกล้เคียงกับค่าดัชนีหักเหของเส้นใยแก้วนำแสง การเชื่อมต่อวิธีนี้อาจทำให้เกิดการสูญเสียสัญญาณอยู่ในช่วง 0.1 – 0.5 dB

2.18.2 การเชื่อมต่อด้วยวิธีการหลอมรวม (Fusion Splice)

การเชื่อมต่อด้วยวิธีการหลอมรวมเป็นวิธีการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงสองข้างเข้าด้วยกันโดยการให้ความร้อนปลายเส้นใยแก้วนำแสง จากนั้นปลายของเส้นใยแก้วนำแสงจะถูกดันมา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

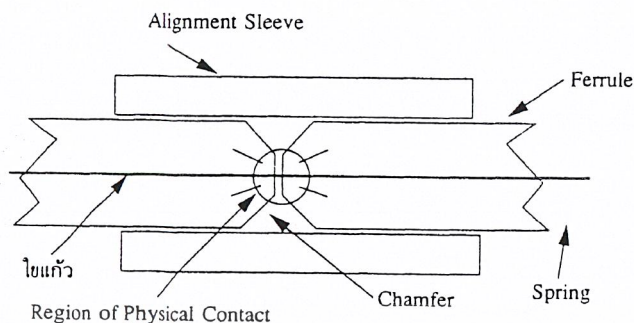
เชื่อมต่อกัน การเชื่อมต่อในลักษณะนี้เป็นการเชื่อมต่อแบบถาวร เส้นใยแก้วนำแสงที่เชื่อมต่อกันแล้วดูเหมือนว่าเป็นเส้นเดียวกัน การสูญเสียที่เกิดจากการเชื่อมต่อด้วยวิธีนี้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.01 – 0.2 dB ในขั้นตอนของการเชื่อมต่อนั้นความร้อนที่ทำให้ปลายเส้นใยแก้วนำแสงอ่อนตัวมาจากประกายไฟที่เกิดจากการอาร์กกระหว่างขั้วอิเล็กโทรดในการหลอมรวมตามรูปที่ 2.51



รูปที่ 2.51 แสดงขั้นตอนการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงเข้าด้วยกันด้วยวิธีการหลอมรวม

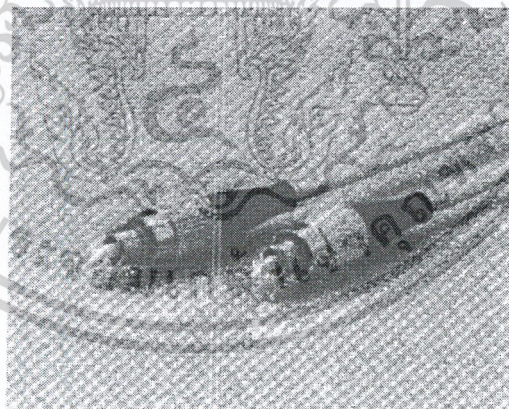
สำหรับการเชื่อมต่อแบบหลอมรวมแบบเดิมนั้นการปรับตำแหน่งการวางตัวของเส้นใยแก้วนำแสง 2 เส้น อาศัยวิธีการปรับฐานรองด้วยการสังเกตผ่านกล้องขยาย แต่ในปัจจุบันมีการใช้วิธีการทางแสงมาช่วยในการจัดวางดังกล่าว ทั้งนี้เพื่อให้การดำเนินงานเป็นไปอย่างอัตโนมัติ วิธีการนี้มีชื่อว่า แอลไอดี (Light Injection and Detection, LID) (รูปที่ 2.52) โดยอาศัยหลักการตรวจวัดปริมาณแสงที่ได้จากเส้นใยแก้วนำแสงเส้นที่ 2 ซึ่งส่งผ่านมาจากเส้นใยแก้วนำแสงเส้นที่ 1 ถ้าพบว่าการวางตัวของเส้นใยแก้วนำแสงทั้งสองอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม ปริมาณแสงที่ตรวจวัดได้จะให้ค่ามากที่สุดพร้อมที่จะทำการหลอมรวม แสงที่ใช้ในการตรวจสอบมาจากการส่งผ่านแสงของแอลไอดี เข้าไปในบริเวณที่เส้นใยแก้วถูกทำให้โค้ง โดยท่อทรงกระบอกซึ่งมีรัศมีเล็ก (ประมาณ 2 – 3 มิลลิเมตร) และการตรวจวัดแสงก็อาศัยอุปกรณ์รับแสง ซึ่งวางชิดกับบริเวณที่ถูกทำให้โค้งของเส้นใยแก้วนำแสง วิธีการฉายแสงและตรวจวัดแสงดังกล่าว อาศัยคุณสมบัติของการเชื่อมต่อใยแก้วหลายๆเส้นพร้อมกัน (Ribbon Fiber) ซึ่งทำให้สามารถทำงานได้รวดเร็วขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.54 แสดงตัวอย่างของหัวเชื่อมต่อที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน

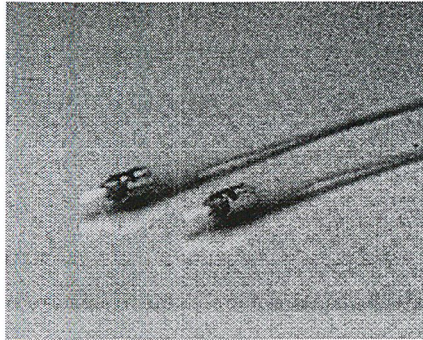
1. หัวต่อเอฟซี (FC) หัวต่อ FC ได้รับการออกแบบและผลิตออกมาครั้งแรกโดยบริษัท เอนทีทีของญี่ปุ่น ดังรูปที่ 2.55 ซึ่งนอกจากจะได้รับความนิยมใช้ในญี่ปุ่นแล้ว ยังมีการใช้หัวต่อชนิดนี้อย่างมากในยุโรปและสหรัฐอเมริกา ส่วนมากตัวต่อชนิดนี้จะนำไปใช้งานทางด้านเครือข่ายโทรศัพท์ เนื่องจากหัวต่อชนิดนี้อาศัยการขันเกลียวเพื่อยึดติดกับหัวรับ ข้อดีของหัวต่อคือทำให้การเชื่อมต่อแน่นหนา แต่ข้อเสียก็คือการเชื่อมต่ออาจเสียเวลามาก



รูปที่ 2.55 แสดงหัวต่อ เอฟ ซี และคุณสมบัติของหัวต่อ

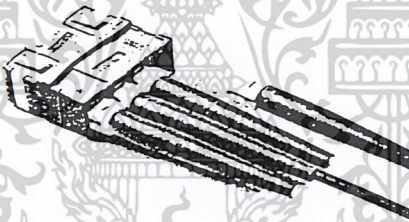
2. หัวต่อเอสที (ST) นี้ได้รับการออกแบบโดยบริษัท เอ ที แอนด์ ที สำหรับการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงภายในตึกหรือสำนักงาน ซึ่งเครือข่ายท้องถิ่นชนิดนี้เหมาะกับการถอดเปลี่ยนหัวต่ออย่างรวดเร็วโดยไม่สนใจความแน่นหนาของหัวต่อ (ดูรูปที่ 2.56)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



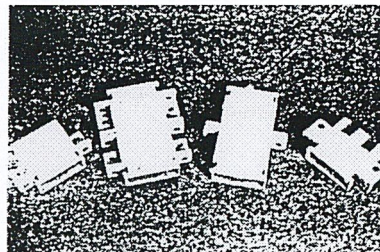
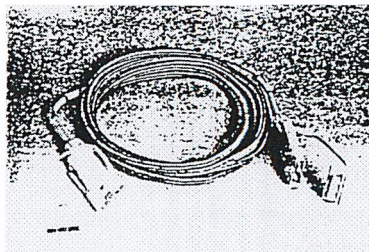
รูปที่ 2.56 แสดงลักษณะหัวต่อเอสซี

3. หัวเอสซี (SC) ได้รับการออกแบบครั้งแรกโดยบริษัทเอ็นทีที (NTT) แห่งญี่ปุ่น หัวต่อชนิดนี้ใช้ง่ายเพียงแค่นำหัวต่อเข้าไปก็ใช้งานได้แล้ว หัวต่อชนิดนี้ได้ถูกออกแบบมาใช้แทนหัวต่อ FC ในงานด้านสื่อสาร และหัวต่อ ST ในงานทางด้านเครือข่ายคอมพิวเตอร์อีกด้วย (ดูรูปที่ 2.57)



รูปที่ 2.57 แสดงลักษณะของหัวต่อเอสซี

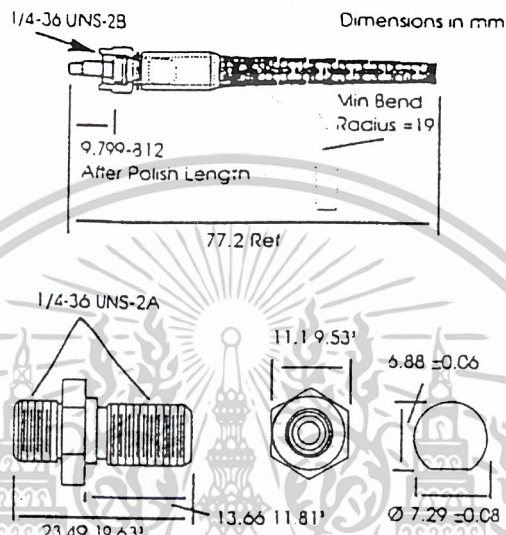
4. หัวต่อเอฟดีดีไอ (FDDI) นี้ออกแบบโดยสถาบันมาตรฐานอเมริกา (American National Standards Institute, ANSI) สำหรับใช้ในเครือข่าย FDDI (Fiber Optic Distributed Data Interfacing) ดังแสดงในรูปที่ 2.58



รูปที่ 2.58 แสดงหัวต่อเอฟดีดีไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. หัวเอสเอ็มเอ (SMA) เป็นหัวต่ออีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างมาก โดยเฉพาะในงานของนาโต (NATO) และในกิจการทหารของประเทศสหรัฐอเมริกา หัวต่อ SMA นี้ได้รับการออกแบบโดยบริษัทแอมเฟ็นอล คอร์ปอเรชัน (Amphenol Corporation) ดังแสดงในรูปที่ 2.59



รูปที่ 2.59 แสดงหัวต่อและหัวปรับ SMA

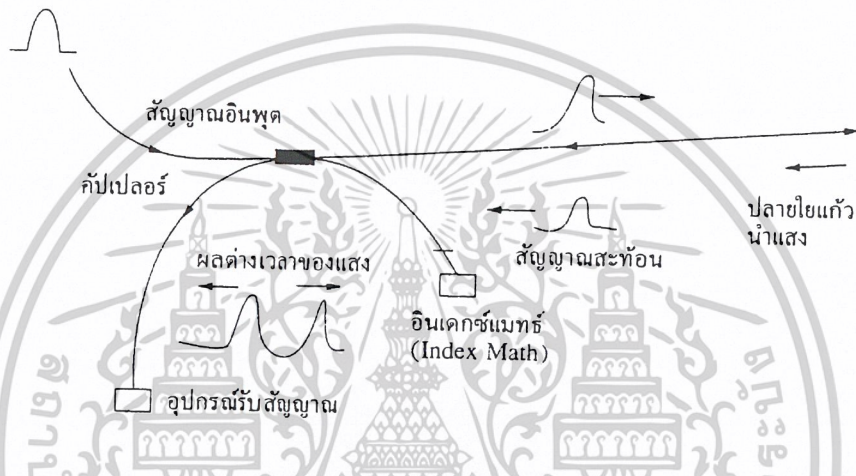
2.19 เครื่องตรวจสอบเส้นใยแก้วนำแสงโอทีดีอาร์

2.19.1 เครื่องมือวัดการสะท้อนกลับเชิงเวลา

เมื่อสัญญาณคลื่นถูกส่งผ่านเข้าสู่ตัวกลางที่รู้ค่าความเร็ว ตัวอย่างเช่นเมื่อคลื่นแสงเดินทางในอากาศหรือน้ำ คลื่นจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วแตกต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของตัวกลางนั้นๆ จากหลักการดังกล่าวนำมาสร้างเครื่องโซนาร์ (Sonar) ซึ่งสามารถบอกตำแหน่งหรือบอกระยะทางของวัตถุที่อยู่ลึกลงไปในน้ำได้โดยบันทึกเวลาที่คลื่นเสียงเดินทางไปและกลับจากเรือไปยังวัตถุใต้น้ำและสะท้อนกลับมายังเรืออีกครั้งและทราบค่าความเร็วของเสียงในน้ำ ในระบบเรดาร์ก็เช่นกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าถูกส่งออกไปเป็นพัลส์จากแหล่งกำเนิดคลื่นไปยังวัตถุ ทำการตรวจวัดจำนวนพัลส์ของคลื่นที่สะท้อนกลับจากวัตถุแล้ววัดเวลาหน่วง (Time Delay) ระหว่างพัลส์ที่ส่งไปและพัลส์ที่ได้รับจากการสะท้อนกลับก็จะสามารถบอกระยะของตำแหน่งวัตถุได้เช่นกัน

สัญญาณพัลส์ทางไฟฟ้าที่เดินทางในสายนำสัญญาณด้วยความเร็วคงที่ (ประมาณ 90% ของความเร็วแสงที่เดินทางในสุญญากาศ) เมื่อสัญญาณเดินทางมาถึงปลายทาง จะมีสัญญาณเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บางส่วนสะท้อนกลับทางเดิม ถ้าทราบค่าความเร็วของพัลส์ที่เดินทางภายในสายและรู้เวลาไปและกลับก็สามารถบอกระยะทางระหว่างปลายทั้งสองได้ จากกระบวนการนำสัญญาณเข้าสู่ปลาย อินพุตตรวจวัดการสะท้อนกลับ และใช้เวลาที่แตกต่างกันระหว่างสัญญาณที่ถูกส่งเข้าและสะท้อนกลับที่ปลายอีกด้านหนึ่งสามารถบอกระยะทางระหว่างปลายทั้งสองได้ วิธีการดังกล่าวเรียกว่า เครื่องมือวัดการสะท้อนกลับเชิงเวลา (Time Domain Reflectometry; TDR)



รูปที่ 2.60 แสดงพัลส์ของแสงที่เดินทางไปและกลับภายในสายสัญญาณ

วิธีการดังกล่าวไม่สามารถตรวจวัดเวลาจากพัลส์ส่งไปยังปลายสายได้โดยตรงแต่พิจารณาจากครึ่งหนึ่งของระยะเวลาระหว่างระยะทางที่ตรวจวัด ดังนั้นความยาวของสายอาจหาได้จากการคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{ระยะทาง} &= \text{ความเร็ว} \times \text{เวลา} \\ &= \text{ความเร็ว} \times (\text{ผลต่างของเวลา}) / 2 \end{aligned}$$

2.19.2 การวัดการสะท้อนของแสงเชิงเวลา

เมื่อคลื่นแสงถูกส่งเข้าสู่เส้นใยแก้วนำแสงพัลส์ของแสงเดินทางผ่านเส้นใยแก้วนำแสงด้วยความเร็วที่ขึ้นกับดัชนีหักเหแสงของเส้นใยแก้วนำแสงที่เป็นสายส่ง ซึ่งค่าดัชนีหักเหของแสงเป็นอัตราส่วนระหว่างความเร็วแสงในสุญญากาศกับความเร็วแสงภายในเส้นใยแก้วนำแสง เมื่อพัลส์ของแสงที่เดินทางภายในเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนที่มาถึงบริเวณปลายทาง แสงบางส่วนจะสะท้อนกลับมายังตัวรับสัญญาณแสงที่อยู่ด้านเดียวกับแหล่งกำเนิดแสง เครื่องมือที่อาศัยหลักการ

วัดการสะท้อนของแสงเชิงเวลาสามารถตรวจวัดพัลส์ของแสงที่สะท้อนกลับและคำนวณความยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนักเรียนเห็นเข้าเว็บไซต์นี้โปรดแจ้งเจ้าหน้าที่

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเส้นใยแก้วนำแสง โดยพิจารณาดัชนีหักเหแสงของเส้นใยแก้วนำแสงและความแตกต่างของเวลาระหว่างพัลส์ที่ส่งเข้าไปและพัลส์ที่สะท้อนกลับมา เนื่องจากคุณสมบัติของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงที่ทำการตรวจวัดถูกนำมาสร้างเป็นเครื่อง โอ ที ดี อาร์ เพื่อใช้วัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆภายในเส้นใยแก้วนำแสงสัมพันธ์กับความยาว ดดยนำปลายคอนเนคเตอร์ (Connector) ด้านหนึ่งของเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องการวัดต่อเข้ากับเครื่อง โอ ที ดี อาร์ (ดูรูปที่ 2.60)

2.19.3 ค่าต่างๆที่วัดได้จากเครื่อง โอ ที ดี อาร์

- 1.สามารถตรวจวัดความยาวของเส้นใยแก้วนำแสง
- 2.สามารถตรวจวัดค่าการลดทอนกำลังของแสงภายในเส้นใยแก้วนำแสง เช่น
 - (1)ค่าการลดทอนกำลังของแสงรวมของเส้นใยแก้วนำแสงตลอดทั้งเส้น
 - (2)ค่าการลดทอนกำลังของแสงต่อหน่วยความยาว หน่วย (dB/km)
 - (3)ค่าการลดทอนกำลังของแสงในแต่ละตำแหน่ง
- 3.สามารถตรวจวัดค่าการสูญเสียกำลังของแสงอันเนื่องมาจากการเชื่อมต่อ (Splice)
- 4.สามารถบอกได้ว่ามีการเชื่อมต่อแบบใดบ้างในสายทั้งเส้น
- 5.สามารถบอกระยะทางที่วัดได้ในแต่ละตำแหน่ง
- 6.สามารถตรวจสอบและค้นหาตำแหน่งที่มีปัญหาภายในเส้นใยแก้วนำแสงเช่นมีการขาดหรือปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเส้นใยแก้วนำแสงแต่ละเส้น

2.19.4 หลักการทำงานของเครื่อง โอ ที ดี อาร์

หลักการทำงานของเครื่อง โอ ที ดี อาร์ ในกระบวนการผลิตเส้นใยแก้วนำแสงชนิดแก้วที่ทำจากทรายซิลิกา โดยการหลอมด้วยความร้อนสูงและทำให้เย็นลงให้อยู่ในสภาพของแข็งซึ่งพบว่าแก้วยังไม่สามารถคงรูปเป็นของแข็งได้ ต้องเติมสารเจือลงไปทำให้แก้วแข็งแรงขึ้นและให้ความหนาแน่นไม่เท่ากัน ความหนาแน่นที่ไม่เท่ากันนี้เองทำให้มีดัชนีหักเหแสงในตัวกลางแตกต่างกันในแต่ละส่วนของเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งเส้นใยแก้วนำแสงมีส่วนประกอบ 2 ส่วนคือ ส่วนของแกน และแคลด แต่ภายในส่วนที่แสงเดินทางอยู่ภายในนั้นคือส่วนของแกนก็ยังมีดัชนีหักเหแสงของตัวกลางที่ไม่เท่ากันบ้างเล็กน้อยเนื่องจากความหนาแน่นของตัวกลางที่ไม่เท่ากันนี้เอง ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการกระเจิงกลับในระหว่างที่แสงเดินทางอยู่ภายในได้ เครื่อง โอ ที ดี อาร์ อาศัยหลักการสะท้อนของแสงที่เดินทางในเส้นใยแก้วนำแสงเทียบกับเวลาซึ่งแสงจะเดินทางย้อนกลับมายัง

เอกสารที่สะท้อนแบบเฟรสเนล (Fresnel reflection) วิชาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

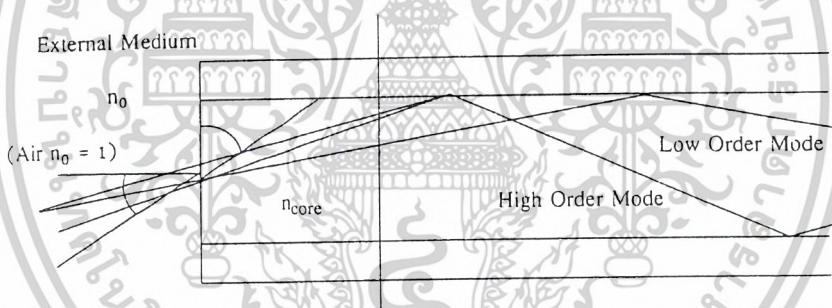
1. การกระเจิงกลับ เมื่อแสงเดินทางผ่านเข้าไปในแกนของเส้นใยแก้วนำแสงที่มีดัชนีหักเหไม่สม่ำเสมออันเนื่องมาจากกระบวนการผลิต หรือกระทบอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่นของแสงจะมีแสงบางส่วนสะท้อน หรือกระเจิงในแต่ละทิศทาง ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าการกระเจิงแบบเรย์ลี (Rayleigh Scattering) โดยความเข้มแสงของการกระเจิงเป็นปฏิกิริยาตามกับปริมาตรของอนุภาคยกกำลังสอง และเป็นปฏิกิริยากับความยาวคลื่นของแสงกำลังสี่ ดังสมการ (2.13) ซึ่งแสงกระเจิงในทุกทิศทาง และมีแสงบางส่วนกระเจิงกลับมายังตัวรับสัญญาณแสงซึ่งอยู่ด้านเดียวกับแหล่งกำเนิดแสง การสะท้อนของแสงลักษณะนี้เรียกว่าการกระเจิงกลับ (Backscatter) ซึ่งดูได้จากความสัมพันธ์

$$S_R \propto 1/\lambda^4$$

.....(2.13)

เมื่อ S_R คือ การกระเจิงแบบเรย์ลี

λ คือ ความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสง



รูปที่ 2.61 แสดงการเดินทางย้อนกลับมาของแสงภายในเส้นใยแก้วนำแสง เนื่องจากการกระเจิงกลับแบบเรย์ลี และการสะท้อนแบบเฟรสเนล

2. การสะท้อนแบบเฟรสเนล (Fresnel Reflection) เนื่องจากแสงเดินทางผ่านบริเวณรอยต่อที่มีดัชนีหักเหของแสงแตกต่างกัน เช่นบริเวณรอยต่อของปลายเส้นใยแก้วนำแสงกับอากาศ หรือการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงบางแบบจะเกิดการสะท้อนกลับโดยค่าการสะท้อนแบบเฟรสเนลเป็นดังสมการ (2.14)

$$R_F = \{(n_1 - n_0)/(n_1 + n_0)\}^2 \quad \text{.....(2.14)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ n_0 คือ ค่าดัชนีหักเหของอากาศ

n_1 คือ ค่าดัชนีหักเห ของแกนใยแก้วนำแสง

การกระเจิงกลับของแสงนั้นเป็นเพียงส่วนน้อยของปริมาณความเข้มแสงทั้งหมดหรือระดับกำลังของแสง (Power Level) ที่เดินทางเข้ามาในเส้นใยแก้วนำแสง การตรวจวัดแสงที่กระเจิงกลับมาสัมพันธ์กับเวลา (ซึ่งแปลงกลับมาเป็นระยะทางในเส้นใยแก้วนำแสง) แล้วนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแสงที่กระเจิงกลับมาสัมพันธ์กับเวลาจะสามารถแสดงระดับกำลังของแสงที่แต่ละตำแหน่งของเส้นใยแก้วนำแสงที่ตรวจวัด (Fiber Signature) ดังรูปที่ 2.61 และ 2.62 ประกอบ



รูปที่ 2.62 แสดงการกระเจิงกลับของแสง

รูปแบบของการกระเจิงกลับของแสงภายในเส้นใยแก้วนำแสงแสดงดังรูปที่ 2.63 โดยมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้น จากรูปแสดงความหมายจากด้านซ้ายไปขวา ที่ตำแหน่งเริ่มต้น (ด้านซ้าย) แสดงตำแหน่งปลายคอนเนคเตอร์ของเส้นใยแก้วนำแสงต่อกับแหล่งกำเนิดแสงของเครื่อง โอทีดีอาร์ ซึ่งระหว่างรอยต่อดังกล่าวเป็นช่องอากาศ เมื่อแสงเดินทางผ่านจะเกิดการสะท้อนกลับมาแบบเฟรสเนลประมาณ 4% (ที่รอยต่อของตัวกลางเส้นใยแก้วนำแสงกับอากาศ) อธิบายได้จากพีคของสัญญาณที่เกิดขึ้นบนหน้าจอ โอทีดีอาร์ และมีลักษณะเดียวกับตำแหน่งปลายของสาย (ด้านขวา) ที่ตำแหน่งต่อมาความชันคงที่อธิบายได้ว่า ระดับกำลังของแสงลดลงอย่างคงที่สัมพันธ์กับความยาว นั่นคือขณะนั้นเกิดการลดทอน ความเข้มของพัลส์ของแสงที่ลดลงนี้จะลดลงตามความยาวของเส้นใยแก้วนำแสง หากทำการเปรียบเทียบระดับกำลังของแสงที่ระหว่างตำแหน่ง 2 ตำแหน่งในเครื่อง โอทีดีอาร์ ก็จะสามารถบอกค่าการลดทอนของเส้นใยแก้วนำแสงระหว่างตำแหน่ง 2 ตำแหน่งในเส้นใยแก้วนำแสงได้

โดยปกติหากโครงสร้างภายในของเส้นใยแก้วนำแสงมีค่าดัชนีหักเหสม่ำเสมอ การลดทอนของแสงภายในเส้นใยแก้วนำแสงจะแสดงความชันอันเนื่องจากการกระเจิงกลับแบบเรย์ลีบนหน้าจอของเครื่อง โอทีดีอาร์ เป็นเส้นตรงคงที่ หากพบว่าความชันมีการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงว่าขณะนั้นตรวจพบบางสิ่งที่ทำให้ระดับการกระเจิงกลับเปลี่ยนแปลง เช่นตรวจพบจุดที่เชื่อมต่อของเส้นใยแก้วนำแสง และสามารถบอกชนิดของจุดเชื่อมต่อได้ด้วยซึ่งให้ผลแสดงบนเครื่อง โอ ที ดี อาร์ แตกต่างกัน

2.19.5 การสูญเสียในเส้นใยแก้วนำแสง

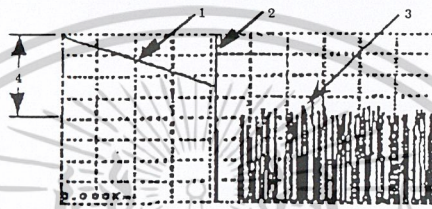
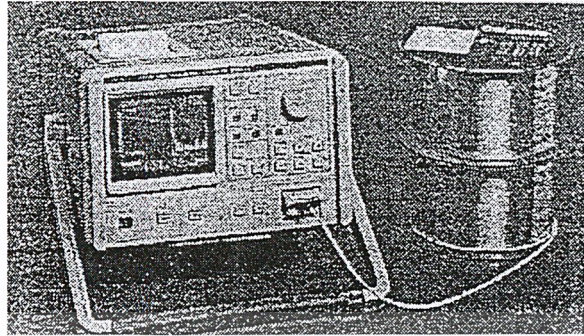
การสูญเสียของกำลังแสงในเส้นใยแก้วนำแสงนั้นแบ่งเป็น 2 ประเภท ขึ้นอยู่กับวิธีการเชื่อมต่อคือ

1. การเชื่อมต่อเชิงกล (Mechanical splice) กล่าวคือ เมื่อแสงเดินทางมาพบบริเวณช่องอากาศ (Gap) หรือมีการเปลี่ยนแปลงของดัชนีหักเหระหว่างเส้นใยแก้วนำแสง 2 เส้นที่เชื่อมต่อกัน อาจเกิดการสะท้อนที่บริเวณรอยต่อขึ้นได้ ทำให้มีแสงเดินทางย้อนกลับมาได้บางส่วนมายังตัวรับสัญญาณแสงภายในเครื่องการสะท้อนลักษณะนี้เกิดจากรอยต่อของดัชนีหักเหที่ต่างกันหรือเกิดการสะท้อนแบบเฟรสเนล ซึ่งแสดงถึงการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงโดยการใช้อุปกรณ์ทางกลที่ไม่ซับซ้อนโดยนำเส้นใยแก้วนำแสงติดกันและที่บริเวณรอยต่อมีช่องอากาศเกิดขึ้น

2. การเชื่อมต่อแบบหลอมรวม (Fusion Splice) การเชื่อมต่อระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงแบบนี้มีประสิทธิภาพดีกว่า มีค่าการสูญเสียสัญญาณน้อยกว่าแบบเชิงกลเมื่อเส้นใยแก้วนำแสงที่มีขนาดของแกนแตกต่างกันทำการเชื่อมต่อกัน การเชื่อมต่อแบบนี้อัตราการลดทอนของสัญญาณแสงจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงที่นำมาต่อ ซึ่งที่จุดเชื่อมต่อนี้มีอัตราการลดทอนของแสงต่างกันทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของความชันของสัญญาณการกระเจิงกลับ อาจเรียกการเชื่อมต่อแบบนี้ว่าแบบไม่มีการสะท้อน (Non-reflection)

จากรูปที่ 2.63 แสดงตัวอย่างของสัญญาณจากการตรวจวัดเส้นใยแก้วนำแสงชนิดต่างๆ ของการเชื่อมต่อ พัลส์ของแสงที่เกิดขึ้นจากกริดด้านซ้ายแสดงการสะท้อนของแสงที่เกิดขึ้นระหว่างรอยต่อของแหล่งกำเนิดแสงในเครื่อง โอ ที ดี อาร์ และเส้นใยแก้วนำแสง ส่วนด้านขวามือแสดงการสะท้อนของแสงที่เกิดขึ้นระหว่างรอยต่อของปลายเส้นใยแก้วนำแสงกับอากาศ โดยสัญญาณจะลดระดับลงมาถึงระดับของสัญญาณรบกวน (Noise Floor) ซึ่งที่ระดับนี้แสดงว่าต่อจากนี้ไม่มีแสงสะท้อนกลับมายังตัวรับสัญญาณแสงในเครื่อง โอ ที ดี อาร์ อีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.63 แสดงรูปแบบการตรวจวัดบนหน้าจอ โอ ที ดี อาร์

- ตำแหน่งที่1 แสดงความชันของการลดทอนของแสงในใยแก้วนำแสง
 ตำแหน่งที่2 เกิดการสะท้อนแบบเฟรสนเอลที่รอยต่อระหว่างปลายของเส้นใยแก้วนำแสงกับ
 อากาศของแหล่งกำเนิดแสงบนเครื่อง โอ ที ดี อาร์
 ตำแหน่งที่3 แสดงสัญญาณรบกวนที่อยู่ในระยะที่พื้นปลายใยแก้วนำแสง
 ตำแหน่งที่4 แสดงระดับกำลังสูงสุดของเครื่อง โอ ที ดี อาร์

ความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงที่ตำแหน่งต่างๆสามารถบอกค่าได้ที่แกนในแนวระดับบน กราฟของเครื่อง โอ ที ดี อาร์ โดยเป็นฟังก์ชันของเวลา โดยเวลาในการส่งแสงไปและกลับของพัลส์ ของแสงสามารถเปลี่ยนเป็นระยะที่แสงเดินทางในเส้นใยแก้วนำแสงได้โดยทราบความเร็วของการ ส่งแสงสัญญาณ ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าดัชนีหักเหแสงของตัวกลางหรือเส้นใยแก้วนำแสงแต่ละชนิด ส่วน แกน Y แสดงกำลังของแสง (Optical Power) ในหน่วยเดซิเบล

ระยะเดดโซน (Dead Zone) คือ ขนาดของช่วงกว้างของพัลส์ (Pulse Width) ของแสงจาก แหล่งกำเนิดแสงสามารถเลือกค่าได้ และขนาดของพัลส์นี้เองที่เป็นตัวกำหนดระยะเดดโซน ซึ่งจะ แสดงความสามารถในการวัดสัญญาณของเครื่องโอทีดีอาร์เมื่อพัลส์ของแสงเดินทางมาพบกับ ตำแหน่งที่ทำให้เกิดการสะท้อน (เช่น รอยเชื่อมต่อเชิงกล หรือปลายทางของเส้นใยแก้วนำแสง) จะ เกิดการสะท้อนโดยกำลังของแสงที่ตรวจวัดได้อันเนื่องจากการสะท้อนแบบเฟรสนเอลนี้จะมีค่ามาก กว่า การสะท้อนของแสงอันเนื่องจากการการกระเจิงกลับโดยทั่วไป และตัวรับสัญญาณแสงของ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

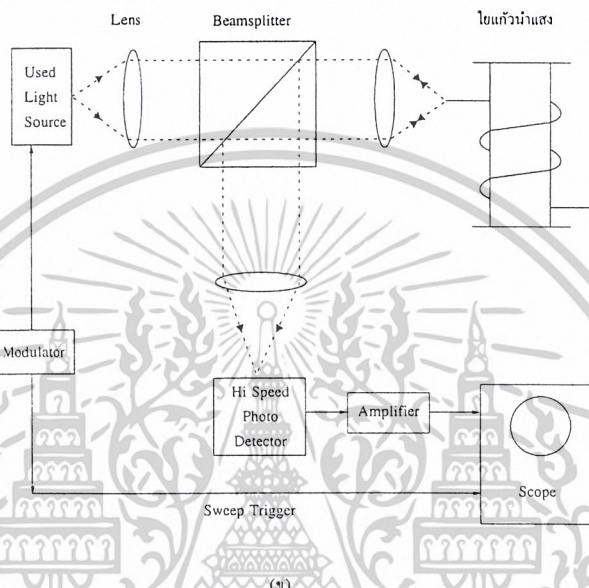
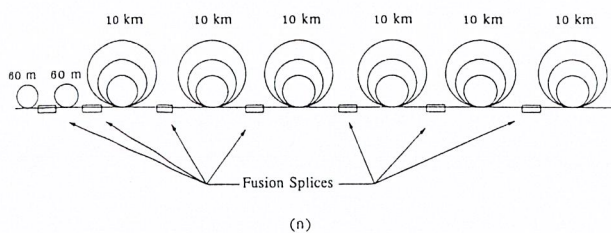
เครื่องโอทีดีอาร์นั้นมีความไวสูงมาก หากกำลังแสงเนื่องจากการสะท้อนนี้มีค่ามากพอทำให้ตัวรับแสงอิ่มตัวในช่วงเวลาสั้นๆ ดังนั้นตัวรับสัญญาณแสงกลับมาสู่สภาพปกติในช่วงเวลาสั้นๆ ช่วงเวลาดังกล่าวเครื่องจะไม่สามารถตรวจสอบสิ่งผิดปกติใดๆ ที่อาจเกิดขึ้นในเส้นใยแก้วนำแสงในช่วงระยะเดคโชนได้เลย ช่วงเวลาของช่วงกว้างของพัลส์ของตัวรับสัญญาณทางแสงนี้เรียกว่า ระยะเดคโชน แสดงระยะความกว้างของพีคที่เกิดบนจอของโอทีดีอาร์ ถ้าหากมีระยะใดๆ เกิดขึ้นภายในช่วงระยะทางดังกล่าวเครื่องโอทีดีอาร์อาจจะไม่สามารถตรวจวัดได้ จากข้อจำกัดของระยะเดคโชน ดังรูปที่ 2.64 แสดงรายละเอียดของการเชื่อมต่อใยแก้วนำแสง ระบบ และการทำงานของเครื่องโอทีดีอาร์

2.19.6 โอทีดีอาร์ พารามิเตอร์ (OTDR Parameters)

ก่อนที่จะทำการตรวจวัดเส้นใยแก้วนำแสงจำเป็นต้องกำหนดการทำงานของเครื่องก่อน โดยการกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ของเครื่องมือซึ่งจะต้องเลือก หรือทำการปรับฟังก์ชันต่างๆ ให้เหมาะสมเพื่อให้การวัดค่าได้ถูกต้องที่สุด ซึ่งพารามิเตอร์ต่างๆ ขึ้นอยู่กับรุ่นของเครื่องโอทีดีอาร์ ในส่วนต่อไปนี้จะแสดงพารามิเตอร์ต่างๆ ของโอทีดีอาร์รุ่นต่างๆ ไป

1. ความยาวคลื่น (Wavelength) เครื่องโอทีดีอาร์สามารถเลือกความยาวคลื่นแสงที่ใช้สำหรับตรวจสอบเส้นใยแก้วนำแสงได้ปกติความยาวคลื่นแสงที่นิยมใช้อยู่ในช่วง 1310 และ 1550 นาโนเมตรขึ้นกับชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องการทดสอบ

2. ดัชนีหักเหแสง (Reflective Index) เครื่องโอทีดีอาร์จะให้ระบุค่าดัชนีหักเหแสงของเส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้ในการตรวจสอบด้วย เนื่องจากความเที่ยงตรงของการวัดระยะทางของเครื่องโอทีดีอาร์จะขึ้นอยู่กับความเที่ยงตรงของการกำหนดค่าดัชนีหักเหแสงของเส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้



รูปที่ 2.64 แสดงโครงสร้างทั่วไปของระบบของเครื่องโอทีดีอาร์

3. ช่วงกว้างของพัลส์ (Pulse Width) เครื่องโอทีดีอาร์สามารถเลือกช่วงกว้างของพัลส์ของแสงที่ส่งเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงได้อยู่ในช่วงตั้งแต่ 1-1000 เมตร ขึ้นกับความต้องการให้ค่าความละเอียดในการวัด หากเลือกช่วงกว้างของพัลส์กว้างส่งผลให้กำลังของแสงที่ส่งเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงเพิ่มขึ้นทำให้ย่านการวัดของเครื่องโอทีดีอาร์ หรือระยะทางที่สามารถวัดได้ยาวขึ้น อย่างไรก็ตาม ช่วงกว้างของพัลส์ที่เพิ่มขึ้นนี้จะส่งผลให้ระยะเดดโซนเพิ่มขึ้นด้วย จึงทำให้ยากต่อการตรวจวัดสิ่งที่อยู่ภายในระยะเดดโซน หากเลือกช่วงกว้างของพัลส์แคบ ทำให้ย่านการวัดของเครื่องโอทีดีอาร์หรือระยะทางที่สามารถวัดได้สั้นลงและเพิ่มความละเอียดของการวัดมากขึ้น ระยะทางของการวัดมีความเที่ยงตรงมากขึ้นเนื่องจากระยะเดดโซนอยู่ในช่วงแคบๆ

4. ระยะของเส้นใยแก้วนำแสง (Fiber Range) ในการกำหนดค่าการวัดที่อาศัยหลักการของเวลานี้ การกำหนดค่าระยะของการวัดนี้ควรจะให้ค่าระยะมากกว่าความยาวจริงที่ต้องการวัด ค่านี้มีความสำคัญมาก หากกำหนดระยะให้กับเครื่องสั้นเกินไปจะทำให้เครื่องเริ่มส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

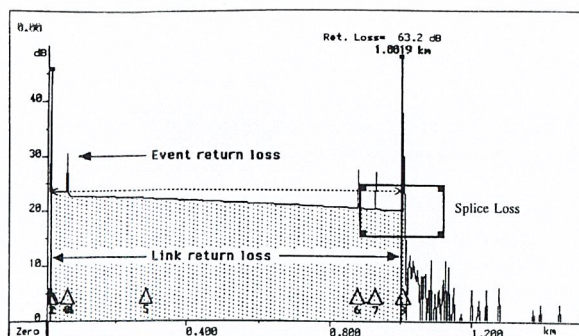
พัลส์ใหม่ และรอบของการตรวจวัดการกระเจิงกลับก่อนที่การสะท้อนที่ปลายจากการตรวจสอบก่อนหน้านี้ได้รับ เป็นสาเหตุให้ปลายสะท้อนผิดพลาดไป หรือปรากฏบางสิ่งที่เป็นบริเวณตรงกลางของเส้นใยแก้วนำแสงแต่หากกำหนดระยะให้กับเครื่องยาวเกินไปก็จะทำให้การวัดผิดพลาดเช่นกัน ถ้ากำหนดระยะมากกว่าเป็นสองเท่าของความยาวของเคเบิลจริง อาจเกิดการสะท้อนซ้ำ (Ghost Reflection) เกิดขึ้นหลังการสะท้อนที่ปลายของเคเบิลแล้วปรากฏบนหน้าจอของเครื่องโอทีดีอาร์อีกได้ อีกทั้งยังทำให้การวัดซ้ำลงอีกด้วย โดยทั่วไปควรกำหนดค่าระยะสัมพันธ์กับความยาวของเคเบิลที่จะทำการวัด

5. ค่าเฉลี่ย (Averaging) ค่าเฉลี่ยของการวัดเป็นตัวเลขที่บอกถึงว่าในการตรวจวัดแต่ละครั้งจะทำการเฉลี่ยกับค่าที่ทำการตรวจสอบครั้งที่แล้ว การเลือกค่าเฉลี่ยที่ใช้ในการวัดทำให้ค่าของการวัดดีขึ้นลดสัญญาณรบกวนลงได้

6. สัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับ (Backscatter Coefficient) ค่านี้ถูกกำหนดขึ้นจากกระบวนการผลิตเส้นใยแก้วนำแสงโดยปกติเครื่องจะกำหนดเป็นนอมัลที่ความยาวคลื่นและช่วงความกว้างของพัลส์ที่กำหนดให้ ซึ่งถูกใช้สำหรับคำนวณความเที่ยงตรงของการสะท้อน

7. หน่วย (Unit) เครื่องสามารถเลือกได้ว่าจะวัดหน่วยของความยาวเป็น เมตร กิโลเมตร ฟุต กิโลฟุต และไมล์ เป็นต้น

8. สเกล (Scale) การแสดงผลบนหน้าจอโอทีดีอาร์มาตราส่วนในแนวแกน Y แสดงค่ากำลังของแสง หน่วยเดซิเบลต่อช่องซึ่งอาจเปลี่ยนให้มีค่ามากขึ้นหรือลดลงได้ เช่นสามารถกำหนดมาตราส่วน 10 เดซิเบลต่อช่องมาตราส่วนในแนวแกน X ซึ่งแสดงระยะทางปกติมีหน่วยกิโลเมตร (ไมล์หรือฟุต) ต่อช่องสามารถเปลี่ยนให้มีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้เช่นกัน เช่น กำหนดมาตราส่วน 5 กิโลเมตรต่อช่องเป็นต้น จากรูปที่ 9.16 แสดงมาตราส่วนในแนวแกน Y เป็น 10 dB/div และแนวแกน X เป็น 4000 km/div



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ที่ 2.65 แสดงการขยายมาตราส่วนบนหน้าจอโอทีดีอาร์ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.19.7 การประยุกต์ใช้เครื่องโอทีดีอาร์

1. การตรวจสอบม้วนเคเบิลใยแก้วนำแสง บริษัทด้านการสื่อสารโทรคมนาคมหลายบริษัทได้นำเครื่องโอทีดีอาร์มาใช้ตรวจสอบเส้นใยแก้วนำแสงก่อนทำการวางสาย เนื่องจากเคยพบปัญหาว่าหลังทำการวางระบบไปแล้วพบว่าสายเคเบิลกลับมีปัญหา

2. การประเมินค่าเคเบิลใหม่ก่อนทำการติดตั้ง หลังจากการทำการวางสายเคเบิลไปแล้วก็ยังคงต้องมีการตรวจสอบอีกครั้ง เนื่องจากหลังทำการติดตั้งแล้วซึ่งย่อมต้องมีการสูญเสียเนื่องจากการเชื่อมต่อแบบต่างๆในแต่ละจุด การสะท้อน การโค้งงอของเส้นใยแก้วนำแสง ค่าการลดทอนต่างๆและค่าอันเกิดจากการวางระบบในแต่ละครั้งอื่นๆจำเป็นต้องบันทึกค่าเริ่มต้นไว้ทุกครั้งเพื่อเป็นมาตรฐานในการติดตั้งครั้งต่อไปตลอดจนทราบค่าการลดทอนในระบบนั้นๆ เพื่อเปรียบเทียบกับค่าเชื่อมแซมอันจะต้องเกิดขึ้นในอนาคตว่าการลดทอนรวมต้องอยู่ในค่าที่ยังยอมรับได้ก่อนหรือระบบทิ้งไปและเปลี่ยนเคเบิลเส้นใหม่มาแทน

3. การตรวจสอบการทำงานของเส้นใยแก้วนำแสง เป็นการตรวจสอบว่าเคเบิลในแต่ละจุดยังคงมีประสิทธิภาพในการคับปลิงสัญญาณแสงได้ดีเช่นเดิมหรือไม่เพราะมีบางครั้งสามารถตรวจวัดได้ก่อนแต่เนิ่นๆก่อนจะเกิดปัญหาทำให้ระบบเสียหายไม่สามารถทำงานได้ซึ่งสร้างความสูญเสียเป็นอย่างมาก ตัวอย่างเช่นถ้าพบว่าค่าการสูญเสียที่จุดหนึ่งหากมีความชันมากสังเกตได้บนหน้าจอ หรือปรากฏการเชื่อมต่อแบบหลวมรวมขึ้นทั้งๆที่บริเวณนั้นไม่มีการเชื่อมต่อเลย นั้นย่อมแสดงว่าบริเวณดังกล่าวเกิดปัญหา

4. การประเมินค่าเส้นทางที่สงสัยว่าจะเกิดปัญหา ถ้าการส่งผ่านสัญญาณเกิดการผิดพลาดในบริเวณหนึ่งๆ เครื่องโอทีดีอาร์สามารถยืนยันได้ว่าเส้นใยแก้วนำแสงเส้นนั้นกำลังทำงานถูกต้องหรือผิดพลาด

5. ตำแหน่งที่เกิดการผิดพลาด เครื่องโอทีดีอาร์สามารถระบุตำแหน่งที่เกิดการผิดพลาดได้อย่างถูกต้อง

บทที่ 3

การวิจัยและการดำเนินงาน

3.1 การศึกษาหลักการทำงานของอุปกรณ์รับสัญญาณทางแสง

ในการศึกษาโครงงานพิเศษนี้ อุปกรณ์ที่ใช้ส่วนใหญ่คือ เส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งการนำอุปกรณ์เหล่านี้ไปใช้งานนั้นจำเป็นที่จะต้องศึกษาโครงสร้าง คุณสมบัติ และลักษณะการใช้งานแบบต่างๆ เพื่อให้เข้าใจถึงคุณสมบัติต่างๆ อย่างแท้จริง และป้องกันการเกิดความเสียหายในระหว่างการปฏิบัติงาน

3.1.1 เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดียว (Single-Mode Fiber, SMF)

มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแกนและแคลดประมาณ 5-10 และ 125 ไมครอนตามลำดับ โดยจะให้แสงออกมาเพียงโหมดเดียว

3.1.2 คัปเปิลเลอร์ (Coupler)

ชนิดที่นำมาใช้ในโครงงานพิเศษนี้เป็นคัปเปิลเลอร์แบบ 1X2 หรือ splitter หรือ combiner และอีกชนิดคือแบบ 2X2

3.1.3 เครื่องโอทีดีอาร์ (Optical Time Domain Reflectometer, OTDR)

ในงานวิจัยนี้นำเครื่องโอทีดีอาร์มาใช้เพื่อทดสอบความเสียหายในเส้นใยแก้วนำแสง และใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงความยาวคลื่น 1300 นาโนเมตร

3.1.4 เส้นใยแก้วนำแสงชนิดเออร์เบียมโดป (Erbium-Doped Fiber, EDF)

เป็นใยแก้วนำแสงชนิดหนึ่งที่นำมาใช้ในโครงงานพิเศษนี้เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวขยายสัญญาณ (Amplifier)

3.1.5 เลเซอร์ไดโอด 980 นาโนเมตร

ใช้ควบคู่กับเส้นใยแก้วนำแสงชนิดเออร์เบียมโดป เพื่อช่วยในการปั๊มสัญญาณแสง

3.1.6 หัววัดแสง

ใช้ในการตรวจวัดสัญญาณแสง ซึ่งจะออกมาในรูปของกำลังแสง

3.1.7 ออสซิลโลสโคป

ใช้ในการแสดงผลออกมาทางหน้าจอ เพื่อสังเกตค่าการหน่วงเวลาของแสง (Optical Time Delay)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.8 เครื่องเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง

ใช้ในการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงด้วยวิธีการหลอมโดยใช้ความร้อน รุ่นที่ใช้ในโครงการพิเศษนี้คือ Fitel s-146

3.1.9 ไมโครบล็อก (Microblock)

ใช้ในการวางปลายด้านหนึ่งของเส้นใยแก้วนำแสง เพื่อทำการ Launching สัญญาณแสงเข้าสู่เส้นใยแก้วนำแสง

3.1.10 อุปกรณ์จับยึดเส้นใยแก้วนำแสง (Fiber Chuck)

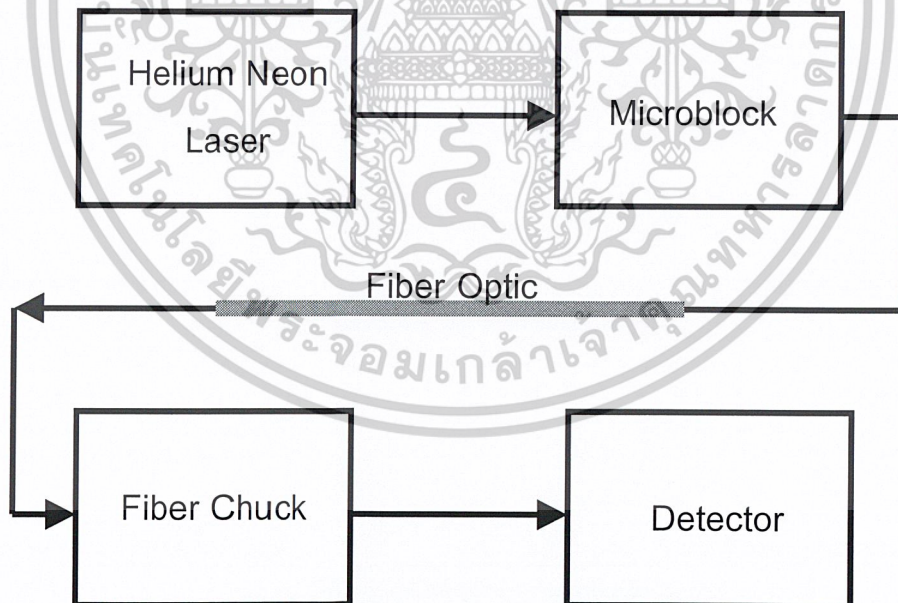
ใช้สำหรับวางปลายอีกด้านหนึ่งที่ต้องการวัดค่ากำลังเอาท์พุท เพื่อต่อเข้ากับเครื่องตรวจวัดสัญญาณแสง

3.1.11 สลิฟ (Sleeve)

ใช้สำหรับหุ้มบริเวณที่ทำการเชื่อมต่อ เพื่อป้องกันการแตกหักที่บริเวณรอยต่อ

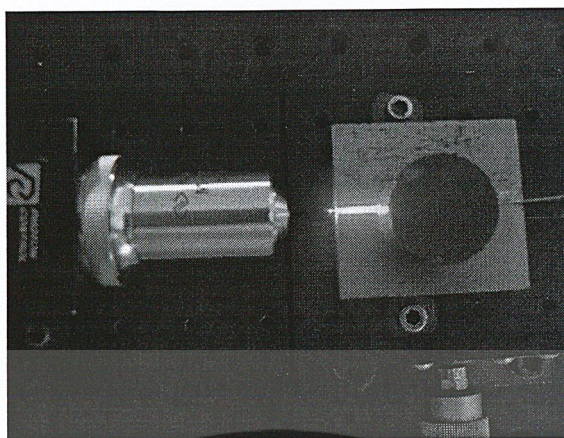
3.2 การออกแบบและหลักการทำงาน

3.2.1 อุปกรณ์ศึกษาสมบัติการสูญเสียของสัญญาณแสงต่อระยะทาง



รูปที่ 3.1 แสดงไดอะแกรมของระบบการศึกษาสมบัติการสูญเสียของสัญญาณแสงต่อระยะทาง

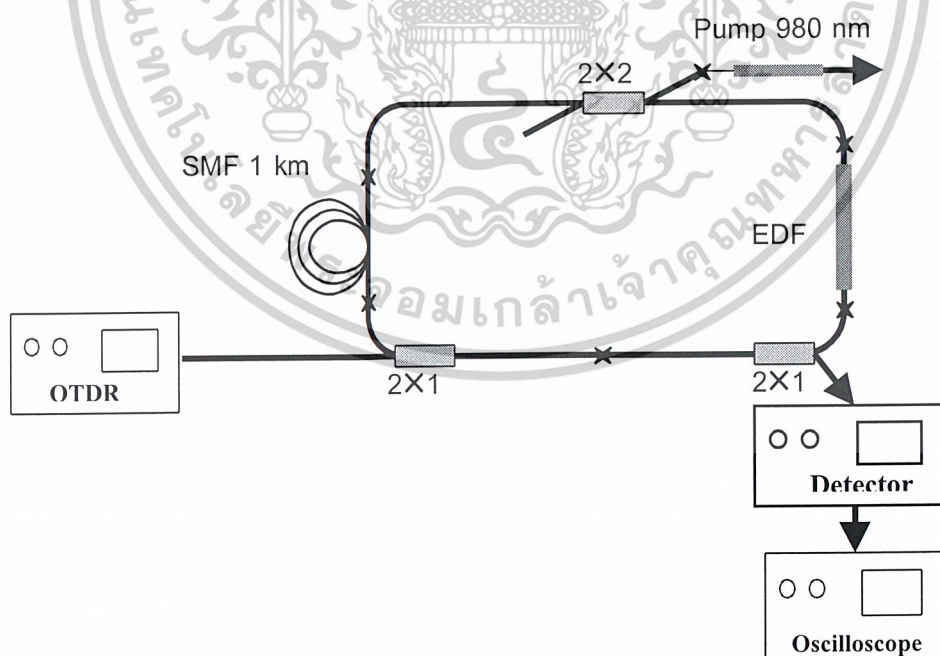
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงการนำแสงเข้าสู่เส้นใยแก้วนำแสง

เป็นการศึกษาการสูญเสียแบบอินเดิร์ชชั่น (Insertion Loss) ของแสง โดยจะทำการวัดค่ากำลังแสงเอาท์พุท เพื่อนำมาคำนวณเปรียบเทียบกับค่ากำลังแสงอินพุท

3.2.2 อุปกรณ์หลักการหน่วยความจำแสง - ขั้นตอนการเชื่อมต่ออุปกรณ์

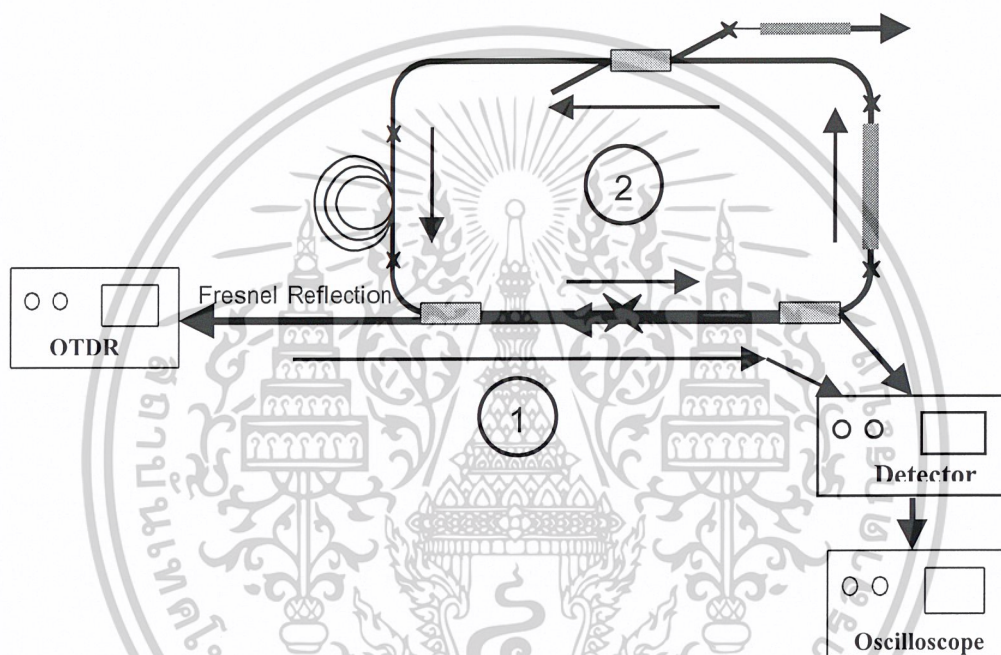


รูปที่ 3.3 แสดงไดอะแกรมของระบบหน่วยความจำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปเป็นโครงสร้างของอุปกรณ์รับสัญญาณแสงที่นำมาใช้ในการศึกษาหลักการหน่วยความจำแสง ปลายของใยแก้วนำแสงด้านที่ต่อเข้ากับเครื่องโอทีดีอาร์ OTDR นั้นจะต้องนำมาเชื่อมต่อกับหัวเชื่อมต่อ (connector) ชนิด FC เพื่อใช้สำหรับเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องโอทีดีอาร์ จากรูปสัญลักษณ์รูปกากบาทแสดงถึงจุดเชื่อมต่อ (splice) ระหว่างเส้นใยแก้วนำแสง

- หลักการทำงาน



รูปที่ 3.4 แสดงทางเดินแสงของระบบหน่วยความจำแสง

ขั้นตอนการทำงานของระบบเริ่มต้นจากการส่งสัญญาณแสงหรือพัลส์จากเครื่องโอทีดีอาร์ เข้าที่ปลายของเส้นใยแก้วนำแสง จากนั้นพัลส์จะผ่านคัปเปิลเลอร์แบบ 1×2 ตัวที่ 1 แล้วเดินทางไปยังคัปเปิลเลอร์แบบ 1×2 ตัวที่ 2 เมื่อถึงจุดนี้สัญญาณจะแยกออกเป็นสองทาง โดยสัญญาณแสงในเส้นทางที่หนึ่งจะเดินทางเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณแสง ซึ่งจะวัดออกมาในรูปของกำลังแสง (P) ค่าที่สามารถวัดออกมาได้จะแสดงผลออกมาในรูปของกราฟระหว่างกำลังแสงและเวลา โดยการเชื่อมต่อออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) เข้ากับอุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณ และแสงส่วนหนึ่งจะเดินทางกลับมายังเครื่อง โอทีดีอาร์ เนื่องจากสาเหตุสองประการคือ การกระเจิงกลับ (Backscattering) เมื่อแสงเดินทางผ่านแกนของเส้นใยแก้วที่มีดัชนีหักเหไม่สม่ำเสมอหรือกระทบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่นปรากฏการณ์นี้เรียกว่าการกระเจิงแบบเรย์ลี (Rayleigh Scattering) ซึ่งแสงกระเจิงในทุกทิศทางและมีแสงบางส่วนกระเจิงกลับมายังตัวรับสัญญาณแสง ซึ่งอยู่ในเครื่อง โอปติคัลอาร์ และ การสะท้อนแบบเฟรสเนล (Fresnel Reflection) เนื่องจากแสงเดินทางผ่านบริเวณรอยต่อที่มีดัชนีหักเหของแสงต่างกัน เช่น ส่วนปลายของเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งจะเกิดขึ้นประมาณสี่เปอร์เซ็นต์ ส่วนสัญญาณแสงในเส้นทางที่สอง นั้นจะเดินทางเข้าสู่โครงสร้างรูปวงแหวนแล้ววิ่งวนไปในทิศทางตามลูกศร โดยจะผ่านเส้นใยแก้วนำแสงชนิดเออร์เบียมโดป (Erbium-Doped Fiber, EDF) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวขยายสัญญาณแสง ในขณะที่เดียวกันเครื่องปั๊มสัญญาณแสงแบบ 980 nm ซึ่งมีค่า $E=h\nu$ เท่ากับค่า Energy gap ของเออร์เบียม จะทำการปั๊มสัญญาณเข้ามาทางปลายด้านหนึ่งของคัปเปิลเลอร์ชนิด 2x2 สัญญาณแสงในเส้นทางที่สองจะเดินทางผ่านเข้ามายังคัปเปิลเลอร์ชนิด 2x2 แล้วเข้าสู่หม้วนเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดียว (Single-Mode Fiber) ที่มีความยาวประมาณ 1 กิโลเมตร จากนั้นจะเดินทางเข้าสู่คัปเปิลเลอร์ชนิด 1x2 ตัวที่ 1 อีกครั้ง แล้วก็จะเกิดการแยกสัญญาณที่บริเวณคัปเปิลเลอร์ชนิด 1x2 ตัวที่สองอีกครั้ง โดยที่แสงจะเดินทางในรูปแบบเดิมดังที่อธิบายไว้แล้ว และจะเกิดเหตุการณ์ซ้ำไปซ้ำมาเช่นนี้จนกว่าอุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณแสงจะแสดงผลของกำลังแสงออกมามีค่าต่ำสุดหรือเป็นศูนย์ สิ่งที่สำคัญในการศึกษาระบบหน่วยความจำแสงก็คือ พัลส์แสงที่จะส่งเข้าสู่อุปกรณ์รับแสงนั้นจะทำการส่งเข้าไปเพียงพัลส์เดียว และการกำหนดแบนด์วิดธ์ของพัลส์จะต้องเหมาะสมกับความยาวของโครงสร้างระบบหน่วยความจำแสงด้วย

3.3 การศึกษาการสูญเสียกำลังทางแสง

ในส่วนนี้จะเป็นการศึกษาการสูญเสียกำลังทางแสงของสัญญาณแสงจากระบบหน่วยความจำทางแสงที่ได้ทำการสร้างขึ้น และจากการทดลองใช้เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดียว (Single-Mode Fiber) และชนิดหลายโหมด (Multi-Mode Fiber) นำมาวัดค่าเอททีทูดและอินพุต แล้วนำผลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์หาค่าการสูญเสียกำลังทางแสงแบบอินเสิร์ตชัน โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{การสูญเสีย} = 10 \log \left(\frac{P_{in}}{P_{out}} \right) \text{ dB} \quad \dots\dots(3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การศึกษาการหน่วงเวลาทางแสง

ในส่วนนี้จะเป็นการศึกษาการหน่วงเวลาทางแสงของระบบหน่วยความจำแสงที่ได้ทำการสร้างขึ้น โดยใช้หลักการความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางต่อเวลาซึ่งระยะทางในที่นี้หมายถึงความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงในส่วนของโครงสร้างรูปวงแหวน ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบค่าการหน่วงเวลาที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณ โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$V = \frac{S}{t} \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

เมื่อ V คือ ความเร็วแสงที่เดินทางภายในเส้นใยแก้วนำแสง
 S คือ ระยะทางที่แสงเดินทางไปแล้วเกิดการสะท้อน
 t คือ ระยะเวลาที่เกิดการสะท้อน

ซึ่งถ้า V สามารถหาได้จาก

$$V = \frac{c}{n} \quad \dots\dots\dots(3.3)$$

เมื่อ C คือ ความเร็วแสงในสุญญากาศประมาณ 2.999×10^8 เมตร/วินาที
 n คือ ค่าดัชนีหักเหแสงในแกนเส้นใยแก้วนำแสง (ค่า IOR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์

ในบทนี้จะแสดงผลการทดลองตามขั้นตอนต่างๆ ที่ได้นำเสนอในบทที่ 3 โดยเริ่มจากการศึกษาสมบัติการสูญเสียของสัญญาณแสงต่อระยะทาง การศึกษาการสูญเสียกำลังทางแสงของระบบหน่วยความจำแสง และการศึกษาการหน่วงเวลาทางแสง ตามหัวข้อที่ได้กล่าวถึงในบทที่ 3 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ผลจากการอุปกรณ์ศึกษาสมบัติการสูญเสียของสัญญาณแสงต่อระยะทาง

จากไดอะแกรมของอุปกรณ์ศึกษาสมบัติการสูญเสียของสัญญาณแสงต่อระยะทางในรูปที่ 3.1 ได้นำมาสร้างอุปกรณ์ และได้ทำการทดลองวัดค่ากำลังแสงเอาต์พุตภายใต้อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และค่ากำลังแสงอินพุตมีค่า 0.631 mW ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 – 4.4

ตารางที่ 4.1 แสดงค่ากำลังแสงเอาต์พุตของใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยวความยาว 1 เมตร

ครั้งที่	1	2	3
กำลังแสงเอาต์พุต (μW)	5.30	5.10	5.00

ตารางที่ 4.2 แสดงค่ากำลังแสงเอาต์พุตของใยแก้วนำแสงชนิดหลายโหมดความยาว 1 เมตร

ครั้งที่	1	2	3
กำลังแสงเอาต์พุต (μW)	2.20	2.35	2.40

ตารางที่ 4.3 แสดงค่ากำลังแสงเอาต์พุตของใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยวความยาว 2 เมตร

ครั้งที่	1	2	3
กำลังแสงเอาต์พุต (μW)	4.25	4.12	4.30

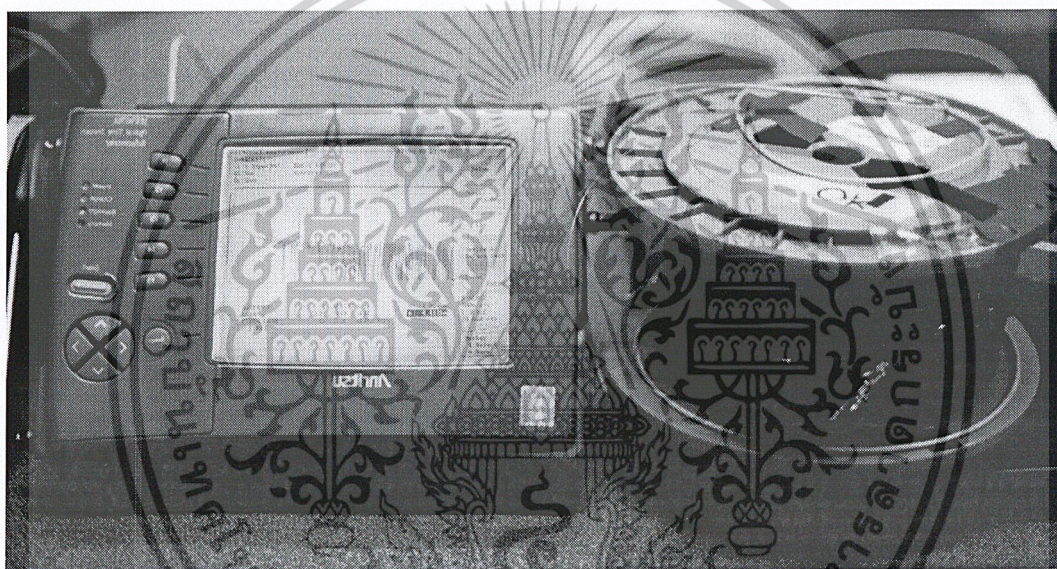
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงค่ากำลังแสงเอาต์พุตของใยแก้วนำแสงชนิดหลายโหมดความยาว 2 เมตร

ครั้งที่	1	2	3
กำลังแสงเอาต์พุต (μW)	2.40	2.52	2.57

4.2 ผลจากการศึกษาหลักการหน่วยความจำแสง

เพื่อทำการเปรียบเทียบลักษณะสัญญาณ ที่ได้จากเส้นใยแก้วนำแสงที่ไม่ได้ทำการเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์ใดๆ กับระบบหน่วยความจำแสงจึงได้ทำการวัดค่าเส้นใยแก้วนำแสงที่ไม่ได้ทำการเชื่อมต่อ ซึ่งสัญญาณมีลักษณะดังรูปที่ 4.1



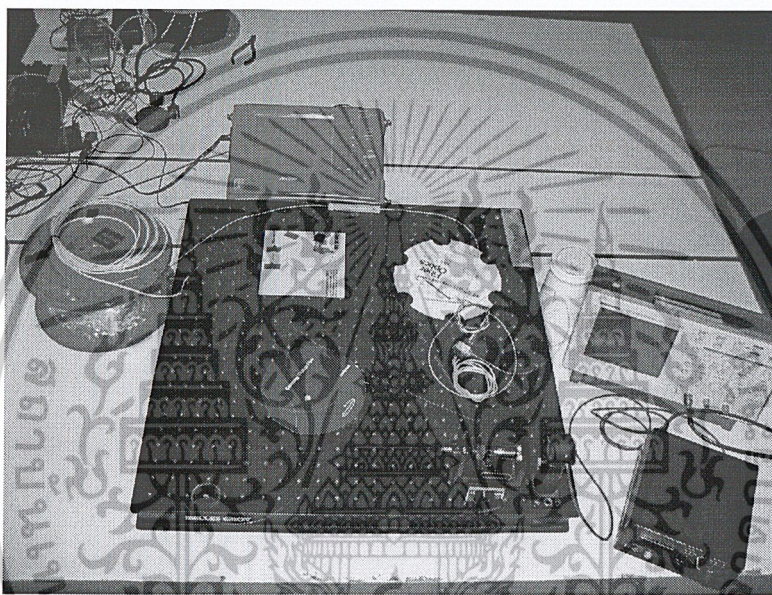
รูปที่ 4.1 แสดงสัญญาณจากเครื่อง OTDR ที่ได้จากเส้นใยแก้วที่ไม่ได้ทำการเชื่อมต่อ

จากรูปจุดพีคแรกคือ บริเวณหัวต่อจากเครื่อง OTDR จุดพีคที่สองคือ ส่วนปลายของเส้นใยแก้วซึ่งแสดงให้เห็นว่า ไม่เกิดหน่วยความจำทางแสงในระบบนี้ แต่เราสามารถทราบค่าความยาวของเส้นใยแก้วที่นำมาใช้วัดค่า ซึ่งจากระบบนี้วัดค่าความยาวได้ 2.068 กิโลเมตร

เมื่อทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ดังรูปที่ 3.3 แล้วทำการส่งสัญญาณทางแสงที่มีความยาวคลื่น 1.31 ไมโครเมตรเข้าไปที่ปลายเส้นใยแก้วนำแสง เราไม่สามารถวัดค่าการส่งผ่านสัญญาณแสง (Transmission) จากปลายอีกด้านซึ่งทำการเชื่อมต่อกับเครื่องตรวจวัดสัญญาณแสงได้ เนื่องจากเกิดการสูญเสียภายในเส้นใยแก้วนำแสงเป็นจำนวนมากแต่เราสามารถวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆได้จากการสะท้อนของสัญญาณแสง (Reflection) จากเครื่อง OTDR โดยตัวแปรต่างๆที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ในการคำนวณค่าการหน่วงเวลา (Time Delay) มีค่าดังนี้ c คือค่าความเร็วแสงในสุญญากาศมีค่า 2.99×10^8 เมตร/วินาที V คือค่าความเร็วแสงภายในแกนของเส้นใยแก้วนำแสงหาได้จาก $V = c/n$ n (หรือ IOR) คือ ค่าดัชนีหักเหการสะท้อน ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ต้องกำหนดให้แก่เครื่อง OTDR ค่าการหน่วงเวลาที่คำนวณได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.5 - 4.10 และคำนวณหา ระยะเดดโซนจากสูตร $V=S/t$ เมื่อ V คือ ความเร็วแสงในแกนเส้นใยแก้วนำแสง t คือ ค่าพัลส์วิดท์ที่กำหนดให้กับเครื่อง โอดีอาร์



รูปที่ 4.2 แสดงอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อตามรูปที่ 3.3

กำหนดค่า IOR มีค่าเท่ากับ 1.4655500

ตารางที่ 4.5 ความกว้างพัลส์ 50 ns , ระยะทาง 5 km

Peak	1
ระยะทาง(km)	1.028
Time Delay(μ s)	5.0392

ตารางที่ 4.6 ความกว้างพัลส์ 100 ns , ระยะทาง 5 km

Peak	1	2
ระยะทาง(km)	1.034	2.037
Time Delay(μ s)	5.0686	9.9853

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ความกว้างพัลส์ 500 ns , ระยะทาง 5 km

Peak	1	2
ระยะทาง(km)	1.054	2.057
Time Delay(μ s)	5.1667	10.0833

กำหนดค่า IOR มีค่าเท่ากับ 1.699999

ตารางที่ 4.8 ความกว้างพัลส์ 50 ns , ระยะทาง 5 km

Peak	1	2
ระยะทาง(km)	0.938	1.866
Time Delay(μ s)	5.0187	9.9839

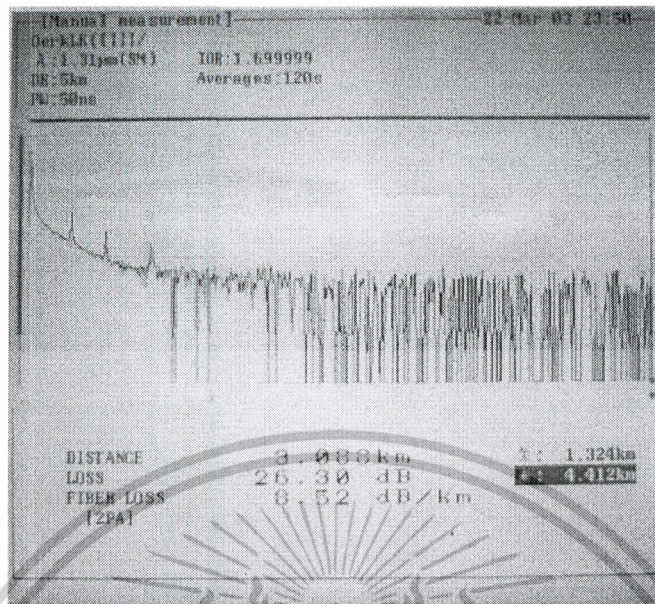
ตารางที่ 4.9 ความกว้างพัลส์ 100 ns , ระยะทาง 5 km

Peak	1	2	3
ระยะทาง(km)	0.947	1.856	2.794
Time Delay(μ s)	5.0669	9.9304	14.9492

ตารางที่ 4.10 ความกว้างพัลส์ 500 ns , ระยะทาง 5 km

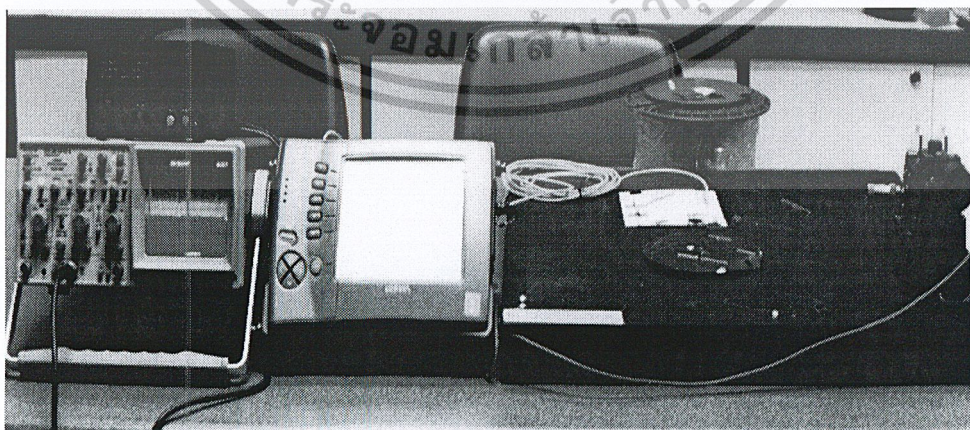
Peak	1	2	3
ระยะทาง(km)	0.956	1.884	2.813
Time Delay(μ s)	5.115	10.0803	15.0508

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณที่ได้จากการเชื่อมต่อระบบตามรูปที่ 3.3

ค่าหน่วยความจำจากสัญญาณที่ได้นั้นมีค่าความเข้มแสงต่ำมากเมื่อดูจากเครื่อง OTDR เนื่องจากไม่สามารถทำการขยายสัญญาณได้ การที่ทำการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงชนิดเออร์เบียมโดป แล้วไม่มีสัญญาณเข้าสู่ระบบจะทำให้เกิดการสูญเสียกำลังแสงเป็นจำนวนมาก เนื่องด้วยเหตุนี้จึงได้ทำการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงใหม่ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างเหมือนเดิม แต่ทำการตัดส่วนที่เป็นใยแก้วนำแสงชนิดเออร์เบียมโดปและ เลเซอร์ไดโอด 980 nm ออก จากนั้นทำการวัดสัญญาณสะท้อนจากเครื่องโอทีดีอาร์ ซึ่งผลที่ได้จากการเชื่อมต่อแสดงไว้ในตารางที่ 4.11 – 4.24



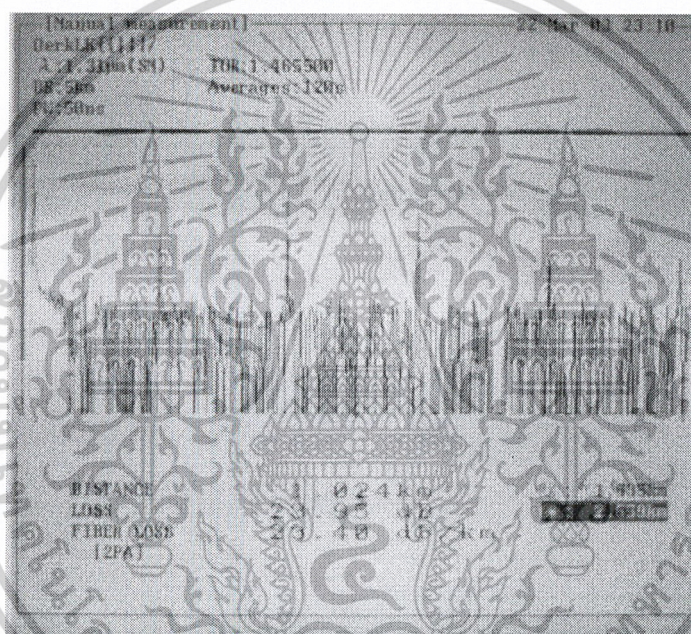
รูปที่ 4.4 แสดงอุปกรณ์ที่ทำการเชื่อมต่อใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดค่า IOR มีค่าเท่ากับ 1.465500

ตารางที่ 4.11 ความกว้างพัลส์ 50 ns , ระยะทาง 5 km

Peak	1	2	3	4	5
ระยะทาง (km)	1.024	2.027	3.03	4.033	5.046
Time Delay(μ s)	5.0196	9.9363	14.853	19.769	24.735

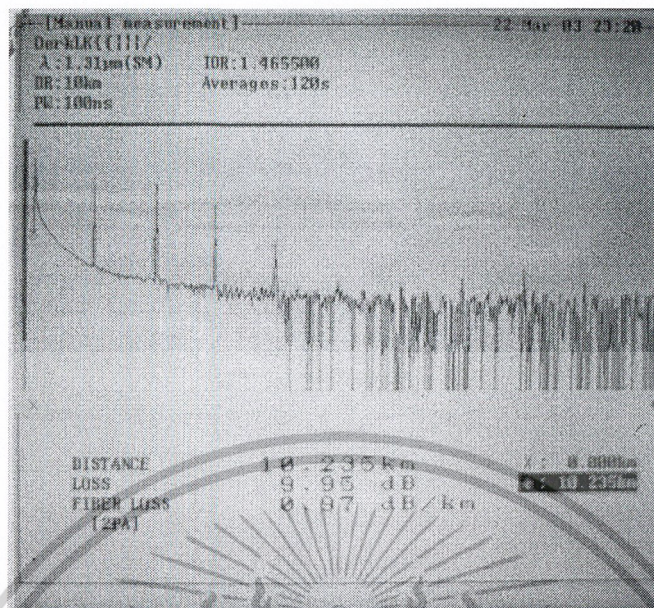


รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณเมื่อ IOR 1.4655 , ความกว้างพัลส์ 50 ns , ระยะทาง 5 km

ตารางที่ 4.12 ความกว้างพัลส์ 100 ns , ระยะทาง 10 km

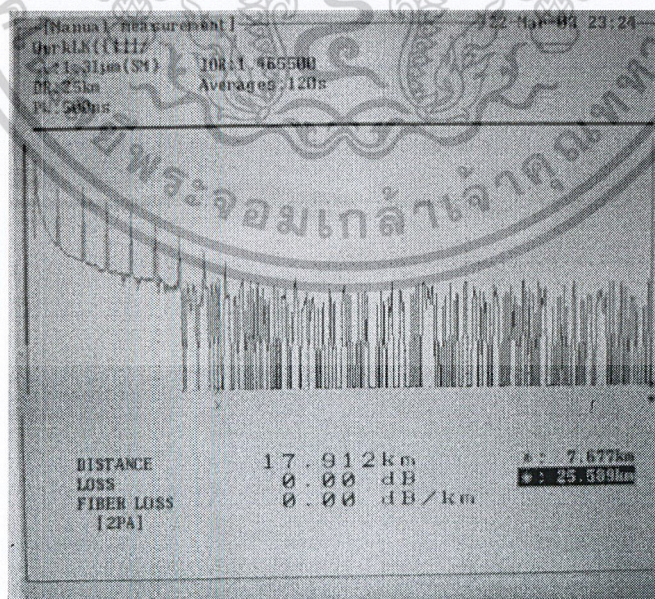
Peak	1	2	3	4	5	6	7	8
ระยะทาง(km)	1.024	2.031	3.03	4.047	5.046	6.051	7.058	8.057
Time Delay(μ s)	5.0196	9.9559	14.853	19.838	24.735	29.662	34.598	39.495

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณเมื่อ IOR 1.4655 , ความกว้างพัลส์ 100 ns , ระยะทาง 10 km
 ตารางที่ 4.13 ความกว้างพัลส์ 500 ns , ระยะทาง 25 km

Peak	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ระยะทาง(km)	1.024	2.047	3.071	4.043	5.067	6.09	7.062	8.086	9.11
Time Delay(μ s)	5.019	10.034	15.054	19.819	24.838	29.853	34.618	39.637	44.657

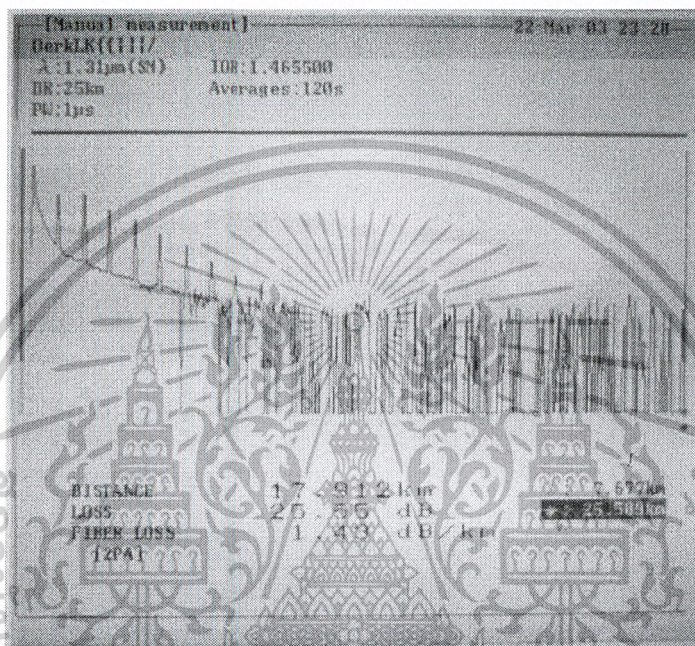


รูปที่ 4.7 แสดงสัญญาณเมื่อ IOR 1.4655 , ความกว้างพัลส์ 500 ns , ระยะทาง 25 km

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 ความกว้างพัลส์ 1 μ s , ระยะทาง 25 km

Peak	1	2	3	4	5	6	7	8
ระยะทาง(km)	1.024	2.047	3.071	4.043	5.067	6.09	7.062	8.086
Time Delay(μ s)	5.0196	10.034	15.054	19.819	24.838	29.853	34.618	39.637

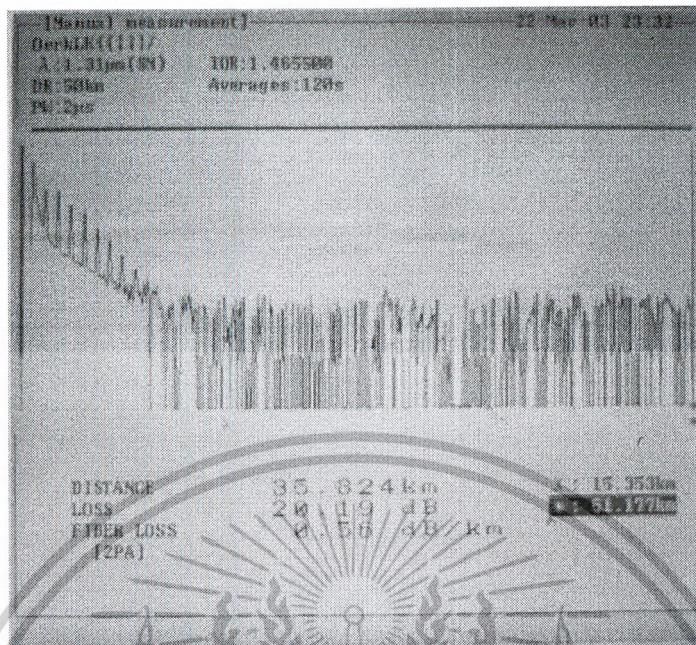


รูปที่ 4.8 แสดงสัญญาณเมื่อ IOR 1.4655 , ความกว้างพัลส์ 1 μ s , ระยะทาง 25 km

ตารางที่ 4.15 ความกว้างพัลส์ 2 μ s , ระยะทาง 50 km

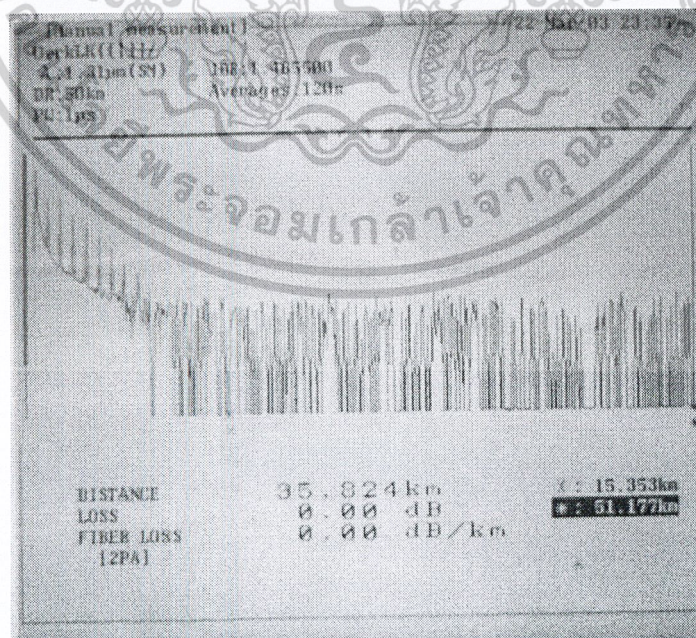
Peak	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ระยะทาง(km)	1.024	2.047	3.071	4.094	5.118	6.141	7.062	8.086	9.11
Time Delay(μ s)	5.0196	10.034	15.054	20.069	25.088	30.103	34.618	39.637	44.657

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงสัญญาณเมื่อ IOR 1.4655 , ความกว้างพัลส์ 2 μ s , ระยะทาง 50 km
 ตารางที่ 4.16 ความกว้างพัลส์ 1 μ s , ระยะทาง 50 km

Peak	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ระยะทาง(km)	1.024	2.047	3.071	4.094	5.118	6.141	7.062	8.086	9.11
Time Delay(μ s)	5.0196	10.034	15.054	20.069	25.088	30.103	34.618	39.637	44.657

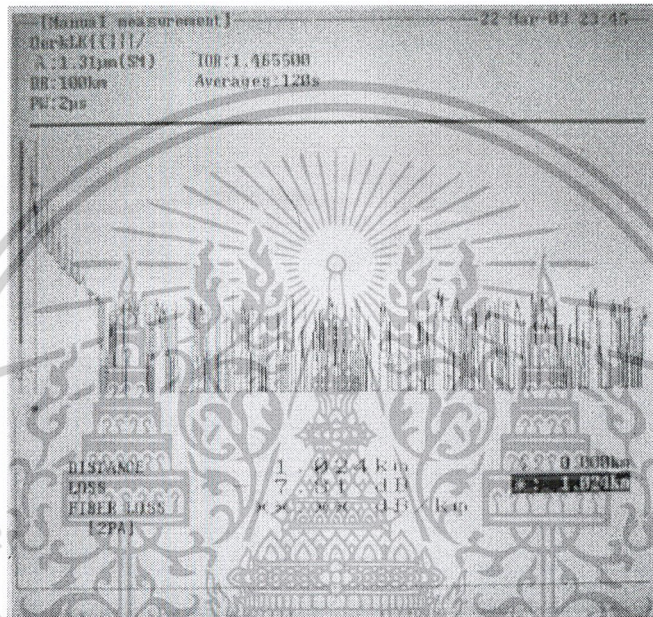


รูปที่ 4.10 แสดงสัญญาณเมื่อ IOR 1.4655 , ความกว้างพัลส์ 1 μ s , ระยะทาง 50 km

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 ความกว้างพัลส์ 2 μ s , ระยะทาง 100 km

Peak	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ระยะทาง(km)	1.064	2.129	3.112	4.094	5.159	6.141	7.206	8.188	9.171
Time Delay(μ s)	5.2156	10.436	15.255	20.069	25.289	30.103	35.324	40.137	44.956



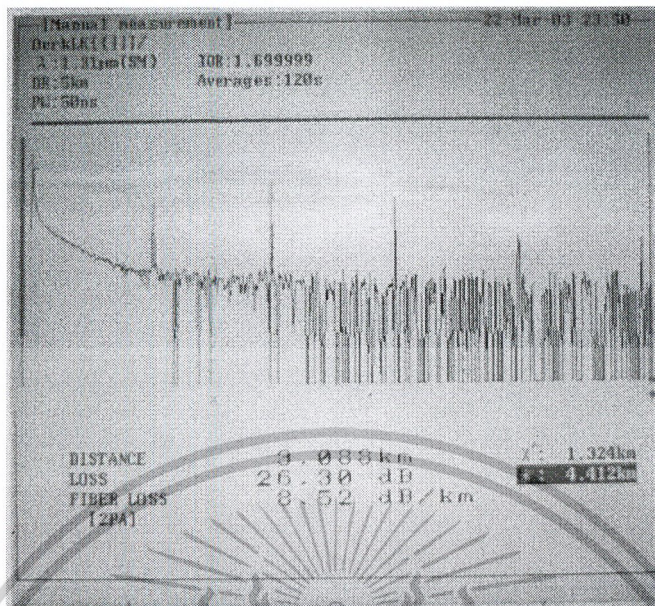
รูปที่ 4.11 แสดงสัญญาณเมื่อ IOR 1.4655 , ความกว้างพัลส์ 2 μ s , ระยะทาง 100 km

กำหนดค่า IOR มีค่าเท่ากับ 1.699999

ตารางที่ 4.18 ความกว้างพัลส์ 50 ns , ระยะทาง 5 km

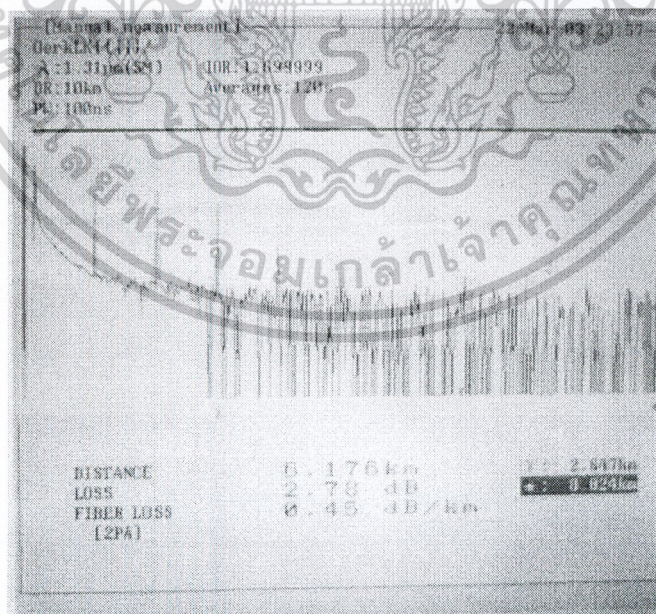
Peak	1	2	3	4	5
ระยะทาง(km)	0.882	1.747	2.612	3.476	4.35
Time Delay(μ s)	4.7191	9.3472	13.975	18.598	23.275

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดงสัญญาณเมื่อ IOR 1.699999 , ความกว้างพัลส์ 50 ns , ระยะทาง 5 km
ตารางที่ 4.19 ความกว้างพัลส์ 100 ns , ระยะทาง 10 km

Peak	1	2	3	4	5	6	7	8
ระยะทาง(km)	0.882	1.751	2.612	3.48	4.348	5.126	6.085	6.953
Time Delay(μ s)	4.7191	9.3686	13.975	18.619	23.264	27.426	32.558	37.202

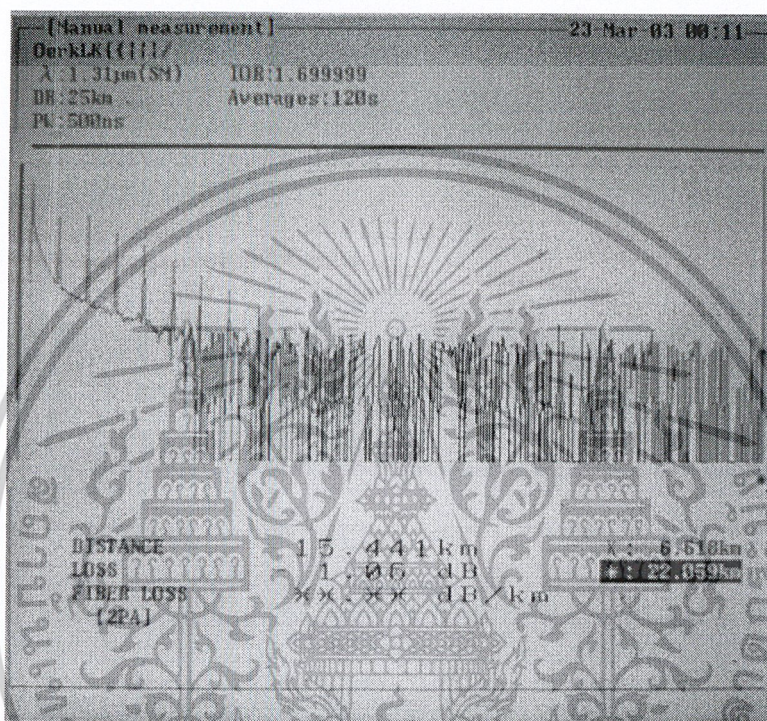


รูปที่ 4.13 แสดงสัญญาณเมื่อ IOR 1.699999 , ความกว้างพัลส์ 100 ns , ระยะทาง 10 km

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.20 ความกว้างพัลส์ 500 ns , ระยะทาง 25 km

Peak	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ระยะทาง(km)	0.882	1.765	2.629	3.512	4.359	5.224	6.088	6.953	7.853
Time Delay(μ s)	4.7191	9.4435	14.066	18.791	23.326	27.951	32.574	37.202	42.017

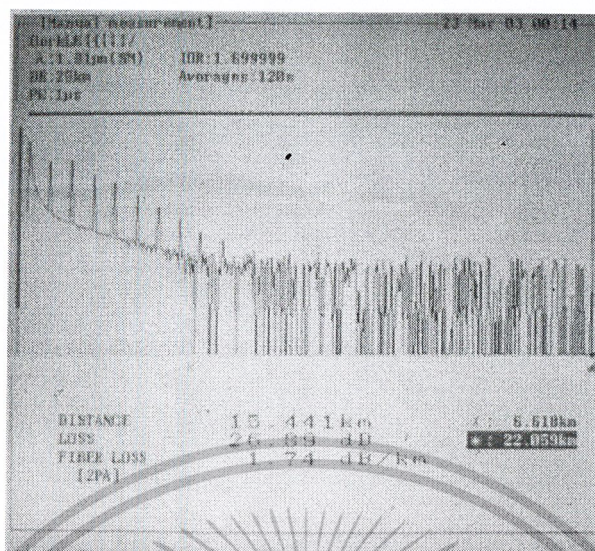


รูปที่ 4.14 แสดงสัญญาณเมื่อ IOR 1.699999 , ความกว้างพัลส์ 500 ns , ระยะทาง 25 km

ตารางที่ 4.21 ความกว้างพัลส์ 1 μ s , ระยะทาง 25 km

Peak	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ระยะทาง(km)	0.918	1.782	2.647	3.529	4.394	5.259	6.106	6.988	7.818	8.753
Time Delay(μ s)	4.9117	9.5345	14.163	18.882	23.509	28.138	32.669	37.389	41.829	46.833

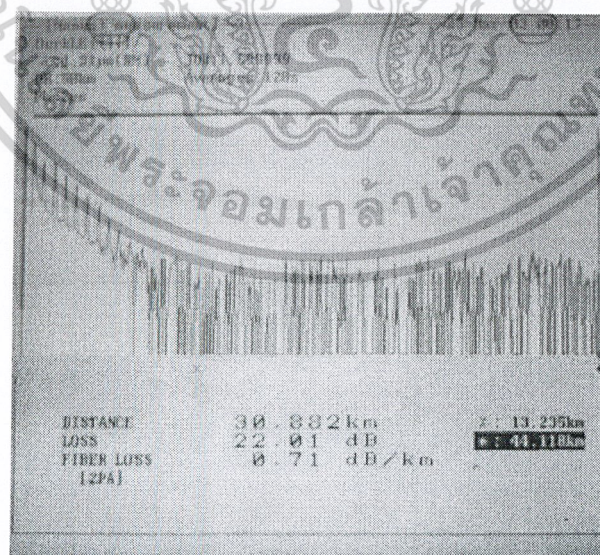
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 แสดงสัญญาณเมื่อ IOR 1.699999 , ความกว้างพัลส์ 1 μ s , ระยะทาง 25 km

ตารางที่ 4.22 ความกว้างพัลส์ 2 μ s , ระยะทาง 50 km

Peak	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ระยะทาง(km)	0.971	1.818	2.7	3.563	4.429	5.294	6.159	7.076	7.871	8.824
Time Delay(μ s)	5.1952	9.7271	14.446	19.064	23.697	28.325	32.954	37.859	42.113	47.212

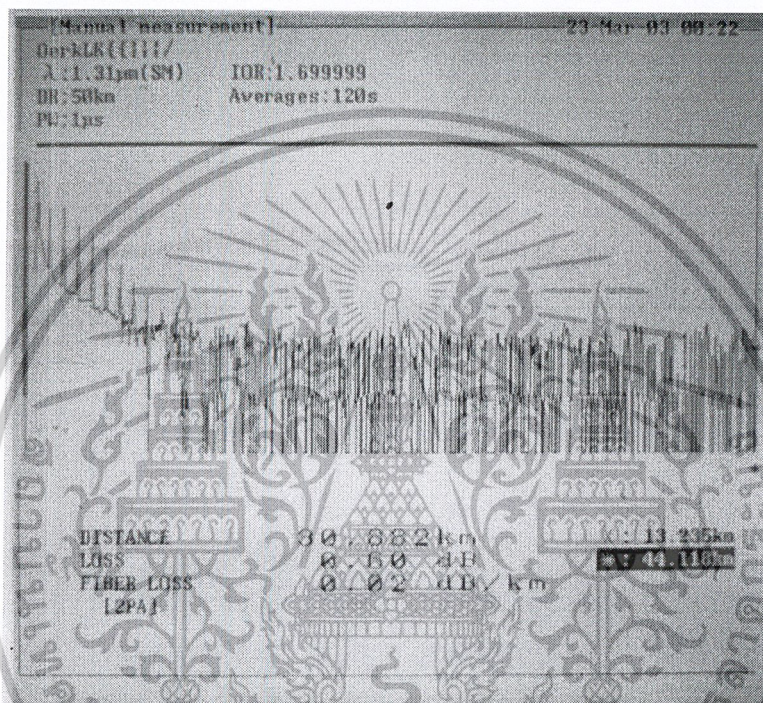


รูปที่ 4.16 แสดงสัญญาณเมื่อ IOR 1.699999 , ความกว้างพัลส์ 2 μ s , ระยะทาง 50 km

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.23 ความกว้างพัลส์ 1 μ s , ระยะทาง 50 km

Peak	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ระยะทาง(km)	0.918	1.782	2.647	3.529	4.394	5.259	6.124	6.971	7.835
Time Delay(μ s)	9.1172	9.5345	14.163	18.882	23.509	28.138	32.767	37.298	41.921

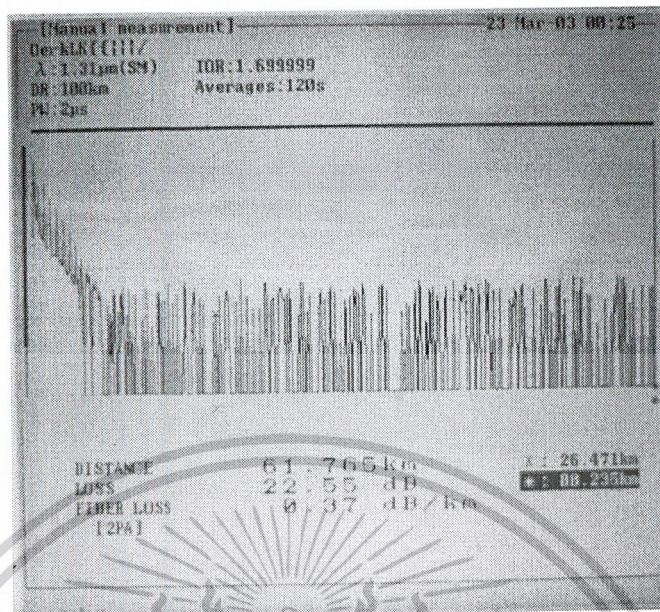


รูปที่ 4.17 แสดงสัญญาณเมื่อ IOR 1.699999 , ความกว้างพัลส์ 1 μ s , ระยะทาง 50 km

ตารางที่ 4.24 ความกว้างพัลส์ 2 μ s , ระยะทาง 100 km

Peak	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ระยะทาง(km)	0.918	1.835	2.682	3.565	4.447	5.294	6.176	7.024	7.941
Time Delay(μ s)	4.9117	9.818	14.349	19.074	23.794	28.325	33.044	37.582	42.488

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 แสดงสัญญาณเมื่อ IOR 1.699999 , ความกว้างพัลส์ 2 μ s , ระยะทาง 100 km

การคำนวณระยะเดดโซนสามารถคำนวณได้จาก $S = Vt$ เมื่อ S คือ ระยะเดดโซน V คือ ความเร็วแสงภายในแกนของเส้นใยแก้วนำแสง t คือ ค่าพัลส์วิดท์ที่กำหนดให้กับเครื่อง โอปติคัลอาร์ เมื่อค่า IOR เท่ากับ 1.4655500 ระยะเดดโซนจะมีค่าดังต่อไปนี้

- ความกว้างพัลส์ 50 ns ระยะเดดโซนจะมีค่าเท่ากับ 10.2 เมตร
- ความกว้างพัลส์ 100 ns ระยะเดดโซนจะมีค่าเท่ากับ 20.4 เมตร
- ความกว้างพัลส์ 500 ns ระยะเดดโซนจะมีค่าเท่ากับ 102 เมตร
- ความกว้างพัลส์ 1 μ s ระยะเดดโซนจะมีค่าเท่ากับ 204 เมตร
- ความกว้างพัลส์ 2 μ s ระยะเดดโซนจะมีค่าเท่ากับ 408 เมตร

เมื่อค่า IOR เท่ากับ 1.699999 ระยะเดดโซนจะมีค่าดังต่อไปนี้

- ความกว้างพัลส์ 50 ns ระยะเดดโซนจะมีค่าเท่ากับ 8.794 เมตร
- ความกว้างพัลส์ 100 ns ระยะเดดโซนจะมีค่าเท่ากับ 17.588 เมตร
- ความกว้างพัลส์ 500 ns ระยะเดดโซนจะมีค่าเท่ากับ 87.94 เมตร
- ความกว้างพัลส์ 1 μ s ระยะเดดโซนจะมีค่าเท่ากับ 175.88 เมตร
- ความกว้างพัลส์ 2 μ s ระยะเดดโซนจะมีค่าเท่ากับ 351.76 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลจากการศึกษาการสูญเสียกำลังทางแสง

จากตารางที่ 4.1 – 4.4 เราสามารถนำค่ากำลังอินพุตและกำลังเอาต์พุตที่ได้จากการทดลองมาคำนวณหาค่าการสูญเสียแบบอินเวิร์สชันได้ดังต่อไปนี้

จากตารางที่ 4.1

$$\begin{aligned}\text{การสูญเสียแบบอินเวิร์สชัน} &= 10 \log \left(\frac{0.631 \times 10^{-3}}{5.13 \times 10^{-6}} \right) \\ &= 20.899 \text{ dB}\end{aligned}$$

จากตารางที่ 4.2

$$\begin{aligned}\text{การสูญเสียแบบอินเวิร์สชัน} &= 10 \log \left(\frac{0.631 \times 10^{-3}}{2.32 \times 10^{-6}} \right) \\ &= 24.352 \text{ dB}\end{aligned}$$

จากตารางที่ 4.3

$$\begin{aligned}\text{การสูญเสียแบบอินเวิร์สชัน} &= 10 \log \left(\frac{0.631 \times 10^{-3}}{4.22 \times 10^{-6}} \right) \\ &= 21.744 \text{ dB}\end{aligned}$$

จากตารางที่ 4.4

$$\begin{aligned}\text{การสูญเสียแบบอินเวิร์สชัน} &= 10 \log \left(\frac{0.631 \times 10^{-3}}{2.497 \times 10^{-6}} \right) \\ &= 24.027 \text{ dB}\end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในโครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาลักษณะการหน่วงความจำแสง (Optical Memory) ซึ่งเป็นการศึกษาค่าการหน่วงเวลาทางแสงเพื่อใช้เป็นหน่วยความจำทางแสง โดยทำการศึกษาค่าการหน่วงเวลาทางแสงที่มีผลต่อการสร้างหน่วยความจำทางแสงให้มีค่าการหน่วงเวลา (Time Delays) สูงสุด โดยการใช้เครื่องโอทีดีอาร์เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่น 1.31 ไมโครเมตร ผลจากการสะท้อนกลับของแสงจะแสดงบนจอของเครื่องโอทีดีอาร์ ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองนั้นแสดงให้เห็นว่าระบบที่มีการเชื่อมต่อภาคขยายสัญญาณนั้น ถ้าไม่ทำการบีบสัญญาณเข้าสู่ระบบแล้วระดับความเข้มเอาต์พุตของสัญญาณแสงนั้นจะมีค่าต่ำมากซึ่งส่งผลให้ค่าการหน่วงเวลาทางแสงมีค่าน้อยหรือสามารถหน่วงสัญญาณได้เพียงช่วงระยะเวลาสั้นๆเท่านั้น และจำนวนจุดเชื่อมต่อก็มีผลต่อระดับความเข้มของสัญญาณเนื่องจากการสูญเสียความเข้มแสงที่จุดเชื่อมต่อ (Splice Loss) แต่ละจุดเมื่อเพิ่มจุดเชื่อมต่อก็จะมีการสูญเสียเพิ่มขึ้นตามจำนวน ซึ่งผลจากการทดลองในส่วนนี้จะได้ว่าเมื่อส่งสัญญาณแสงที่มีค่าความกว้างพัลส์ 500 ns , ระยะทาง 5 km และค่าดัชนีหักเหการสะท้อนของแกน (IOR) มีค่า 1.699999 ค่าการหน่วงเวลาจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 15.0508 μ s

จากนั้นได้ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ใหม่ โดยทำการตัดภาคขยายสัญญาณออกซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าค่าความเข้มที่ได้นั้นมีค่าสูงขึ้น และค่าการหน่วงเวลาสูงสุดที่ได้จากระบบนี้มีค่า 47.212 μ s เมื่อความกว้างพัลส์เท่ากับ 2 μ s และ ระยะทาง มีค่าเท่ากับ 50 km และค่าดัชนีหักเหการสะท้อนของแกนเท่ากับ 1.699999 สามารถสรุปได้ว่า การหน่วงเวลาทางแสงให้ค่ามากขึ้นขึ้นอยู่กับค่าความกว้างพัลส์, ระยะทาง และค่าดัชนีหักเหการสะท้อนของแกน ให้มีความเหมาะสมและสัมพันธ์กัน

และจากการทดลองป้อนสัญญาณแสงเข้าสู่เส้นใยแก้วนำแสงทั้งชนิดโหมดเดี่ยวและหลายโหมดนั้นผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าที่ความยาวเท่ากันเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยวจะมีความเข้มแสงเอาต์พุตสูงกว่าเส้นใยแก้วนำแสงชนิดหลายโหมด การสูญเสียแบบอินเลอร์ชันสูงกว่าชนิดโหมดเดี่ยว

5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้น

ปัญหาที่เกิดขึ้นในโครงการพิเศษเพื่อการปรับปรุงและพัฒนา มีดังนี้

1. เครื่องมือที่ใช้ในการเชื่อมต่อ (splice) ไม่สามารถที่จะใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพเนื่องจากอายุการใช้งาน ซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียมากหรือไม่สามารถส่งผ่านแสงได้
2. เส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้มีความเปราะบางมากจึงต้องระมัดระวังในการใช้งานอย่างสูง เพราะอาจแตกหักได้ง่าย
3. ไดร์ฟเวอร์ที่ใช้ร่วมกับเลเซอร์ไดโอด 980 nm เกิดความเสียหายทำให้ไม่สามารถนำมาใช้งานได้ ทำให้สัญญาณที่ได้มีค่าความเข้มต่ำมาก
4. คุณภูมิของห้องที่ทำการทดลองมีผลต่อค่าความเข้มแสงที่เดินทางภายในแกนของเส้นใยแก้วนำแสง จึงจำเป็นต้องควบคุมอุณหภูมิให้มีค่าคงที่เสมอ

5.3 แนวทางการพัฒนาต่อไป

1. ควรทดลองใช้แหล่งกำเนิดแสงชนิดอื่นๆ ที่มีความสามารถในการกำเนิดแสงที่มีความเข้มสูงกว่า
2. ปรับปรุงอุปกรณ์รับสัญญาณแสงให้มีภาคขยายสัญญาณที่ดีขึ้นและมีความไวในการรับแสงมากขึ้น
3. ปรับปรุงและแก้ไขการสูญเสียสัญญาณในส่วนต่างๆ ของระบบหน่วยความจำแสง เพื่อให้สามารถส่งผ่านสัญญาณแสงได้ดีขึ้น
4. พัฒนาและลดต้นทุนในการสร้างระบบหน่วยความจำแสงให้มีประสิทธิภาพสูงแต่ต้นทุนการผลิตต่ำ
5. ควรทดลองเพิ่มความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้ในระบบเพื่อทดสอบว่ามีผลต่อการหน่วงเวลาหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

<http://www.google.com>

สุวรรณ คุุศลารัญ , ทัศนศาสตร์กายภาพ , คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระ
จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , กรุงเทพฯ , 2537

ปรีชา ยุพาพิน , วิศวกรรมโยธำนำแสง , สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) ,
กรุงเทพฯ , 2544

ปรีชา ยุพาพิน , เครื่องช่วยโยธำนำแสง , สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) ,
กรุงเทพฯ , 2543

G.I. Stegeman and A. Miller , Physics of All-Optical Switching Devices , New
York



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เครื่องวัดกำลังทางแสง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OUTLINE OF OPTICAL MEASURING INSTRUMENTS

Changing the transmission medium from metal wires to optical fibers offers low loss, wide bandwidth, non-inductive transmissions without crosstalk, and highly insulated, thin, and lightweight cables. Repeater intervals and transmission capacities can be enhanced by up to several hundred times. Efforts around the world have exploited these advantages for optical fiber communication.

Anritsu realized the potential of optical communications at an early stage and commenced research on semiconductor lasers. In 1972, we successfully modulated a semiconductor pulsed laser oscillator at high speeds. By applying this technology, Anritsu successfully completed the pilot production of six-channel optical telephones and tested free-space transmission over spans of 2 km. In addition, high-speed pulsed semiconductor laser oscillators were also developed for use in optical fiber research. Based on this technology and research experience, Anritsu provides measuring instruments for all aspects of optical fiber communications, from R & D to manufacturing, and maintenance and repair, to customers worldwide.

Recently, EDFA (Erbium-Doped Fiber Amplifier) and other optical fiber communication components and technologies have been developed for long-distance large-capacity transmission, and for optical-fiber-based subscriber networks providing high-speed communication services into the home.

Requests for the measuring instruments of optical communications emphasize performance and functionality, and Anritsu strives to develop a full range of measuring instruments meeting these demands.

Fiber optic communications and wavelength

The wavelengths used in optical fiber communications range from the near-infrared (0.76 to 1.2 μm) to infrared (above 1.3 μm), because of the loss characteristics of optical fibers. Figure 1 shows the wavelength characteristics of a typical optical fiber. Previously, optical fibers had large losses due to absorption by OH radicals, as indicated by the dotted line in the Fig. 1. But today, losses due to absorption by OH radicals are greatly reduced, and optical fibers with characteristics like those indicated by the solid line in the Fig. 1 are used. In addition, wavelengths are shifting from shorter to longer bands, and the 1.55 μm band with its lower transmission losses is also being used to enable transmission over longer distances. Anritsu offers a full range of measuring instruments for use at wavelengths ranging from short wavelength bands to 1.55 μm.

Stabilized light sources

Three types of light source are used in optical communications systems: (1) stabilized light sources, (2) stabilized light sources that can be modulated by a baseband signal, and (3) visible light sources. When measuring losses in optical fibers, splicing losses, or insertion losses in optical components, both a stabilized light source and an optical power meter are indispensable. Either laser diodes or LEDs are used in stabilized light sources. With laser diodes, the output is stabilized using a negative feedback loop; for LEDs, a temperature compensation scheme is used to stabilize the output. Table 1 is a summary of Anritsu's stabilized light sources.

Table 1 Stabilized light source

Model	Fiber	Wavelength	Element	Output level	Output stability	Short-term stability
MG9001A MG9002A	Multimode & single-mode	0.85/1.3/1.55 μm	LED	-35 to -13 dBm (GI) -50 to -28 dBm (SM)	≤0.1 to 0.5 dB	≤0.02 or ≤0.05 dB
			LD	-3 dBm (GI) -3 to + 1 dBm (SM)	≤0.2 to 0.7 dB	

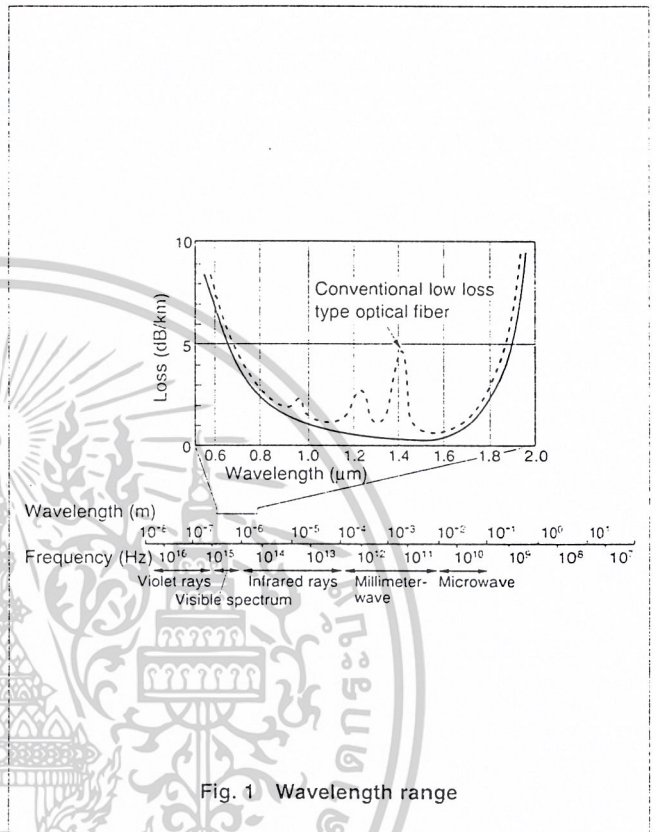


Fig. 1 Wavelength range

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Measurement of optical power

Measurement of optical power is the prime aim of optical measurement. Anritsu's power meters contain both an optical power sensor and an indicator. The optical power sensor optoelectronically converts (O/E conversion) light propagating through optical fibers or free space from a laser diode or LED source. The indicator displays the power of the electric signal converted from the incoming light. Several interchangeable optical power sensors can be used to match the wave band being measured. When measuring low power levels, optical power sensors incorporating tuning-fork choppers are used. In addition, optical power sensors can also be used in measurements employing returning modulated light (MOD), often used in optical fiber loss measurements.

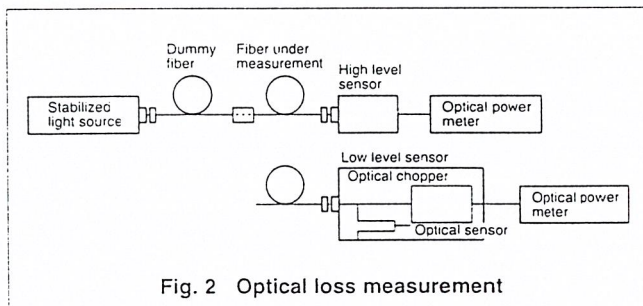


Fig. 2 Optical loss measurement

Table 2 Optical power measurement range

Model	Wavelength	Power measuring range
ML9001A	0.38 to 1.8 μm	-100 to +10 dBm (CW), -90 to +7 dBm (MOD)
ML9002A		-70 to +20 dBm
ML910B		-90 to +20 dBm

Measurement of optical losses

Two main techniques are used to measure optical losses: the two-point technique and the backscattering technique. In the two-point technique, the optical losses are measured by comparing the input optical power and the output power from the fiber being measured. Since the measurement error in this technique is limited only by the stabil-

ity of the light source and the power meter, extremely accurate measurements can be made. In the backscattering technique, a time domain reflectometer is used to measure the losses by collecting the light which is backscattered from the fiber, permitting measurements to be made from only one end.

Locating faults in optical fibers

Instrument for locating faults that occur in optical fiber cables are indispensable for optical communication systems. Since a reflected pulse is always produced by a fault in conventional copper cables, such faults can be located by observing the reflected pulse. In optical fibers, however, there are many cases (depending upon the nature of the damage) in which a reflected pulse is not produced. However, optical fibers have micro-variations in refractive index due to heterogeneity in materials and density at sizes smaller than the wavelength of the light. These variations cause optical scattering called Rayleigh scattering. A portion of this scattered light is oriented along the axis of the fiber, enters the fiber's waveguide mode, and returns to the end of the fiber where the pulse was injected. By measuring the level of this weak, reflected light (backscattering), the fault can be located. The level of the backscattering depends upon the propagation time, and drops off exponentially. The optical losses per unit length in the fiber can be found from variations in the level of the backscattering; faults can be located because they eliminate further backscattering.

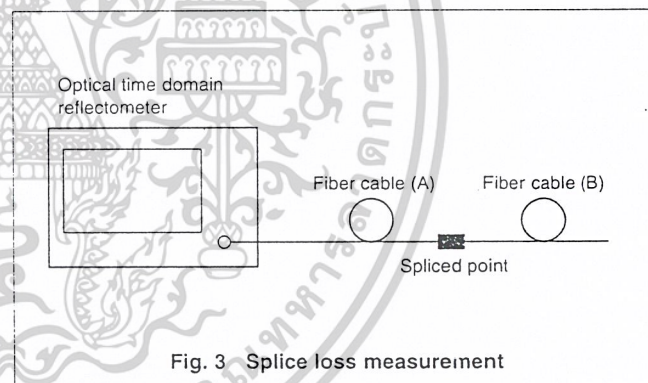


Fig. 3 Splice loss measurement

Table 3 List of permissible combinations

Model	Unit	Wavelength	Applicable fiber	Dynamic range	Applications
MW9060A	MW0945B	1.31 μm	SM	37 dB	For long distance Wide dynamic range
	MW0946B	1.55 μm	SM	35 dB	
	MW0947B	1.31/1.55 μm	SM	37/35 dB	For short distance High resolution
	MW0944B	1.31/1.55 μm	SM	21/18.5 dB	
MW9070B	MW0967B	0.85/1.30 μm	GI	24.5/23 dB	Portable
	MW0970A	1.31 μm	SM	23 dB	
	MW0970B	1.31 μm	SM	36 dB	
	MW0972A	1.31/1.55 μm	SM	23/20.5 dB	
	MW0972B	1.31/1.55 μm	SM	36/34 dB	
	MW0973J	0.85 μm	GI	18 dB	
MW0975J	0.85/1.3 μm	GI	18/22 dB		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Testing the continuity of optical fiber cables

Continuity can be confirmed by the naked eye or checked by simple loss measurements. When using the eye, a visible light source is connected to the input end of the fiber as shown in Fig. 4, and continuity is judged according to the light scattered from the output end of the fiber. When checking continuity by measuring losses, an optical loss test set (Fig. 5) is used. Since an optical loss test set consists of a light source and an optical power meter in a single package, one device can be used for loop-back measurements, while two devices are used for end-to-end measurements.

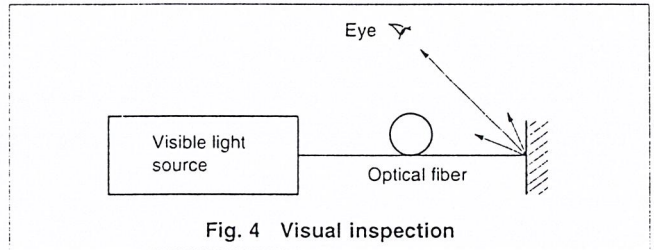


Fig. 4 Visual inspection

Spectrum measurements

The LD or LED emission spectrum characteristics and wavelength (gain, loss) characteristics (optical fiber amplifiers, optical filters and synthesizers) in optical communications and other systems using optical technology greatly affect system performance and are crucial to system design. An optical spectrum analyzer is used to measure such parameters. To measure loss wavelength characteristics, a optical spectrum analyzer is used with a white light source.

Wavelength measurements

In optical communications, and particularly wavelength-multiplexed communications, measurements require a high laser wavelength accuracy. Anritsu's wavelength frequency counters provide convenient and highly-accurate measurement of optical wavelength or frequency by simply inputting the light source output with a single-mode optical fiber.

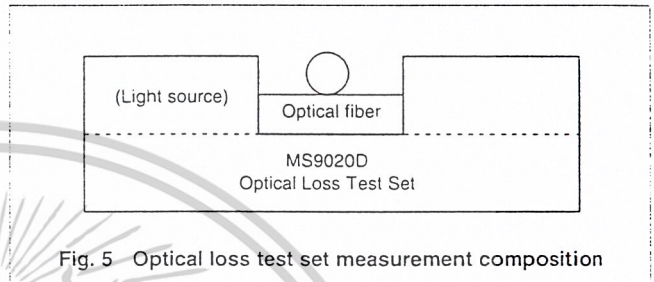


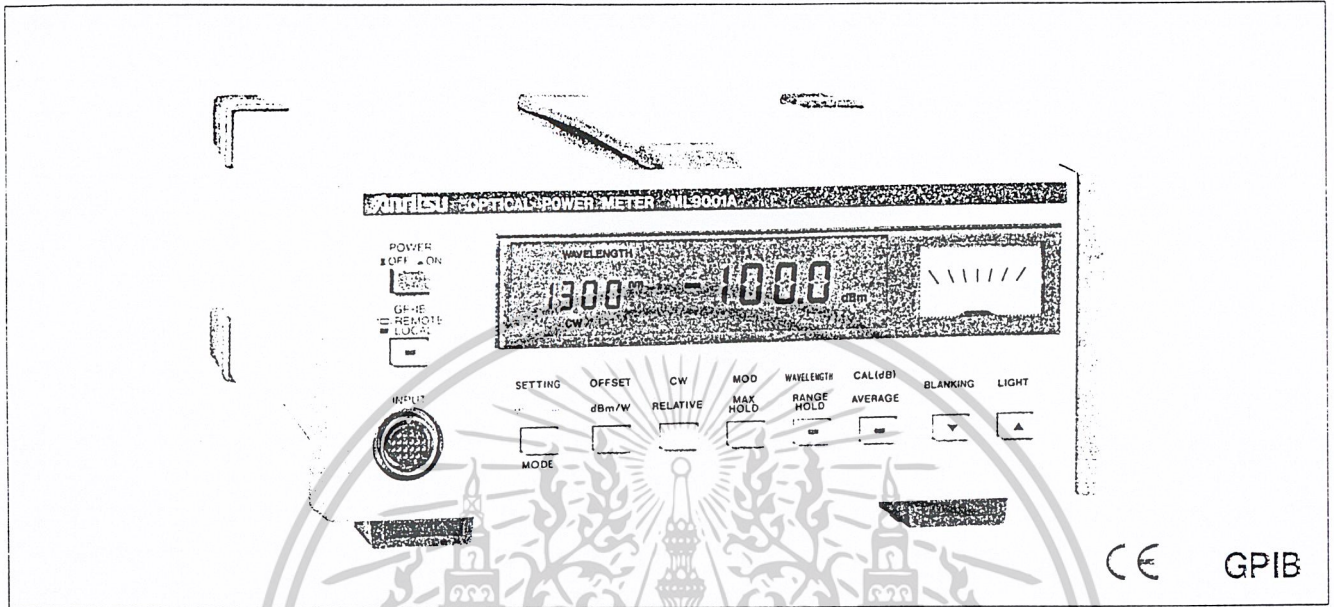
Fig. 5 Optical loss test set measurement composition

Table 4 Measurement range of wavelength

Model	Wavelength range	Level range	Wavelength accuracy
MF9630A	0.6 to 1.6 μm	-25 to 0 dBm	± 0.5 ppm (0.633 μm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPTICAL POWER METER
ML9001A



The ML9001A is a single-channel digital-display optical power meter. It insures accuracy and linearity over a wide wavelength range and greatly improves measurement reliability. It also has an improved basic performance. For example, measurement can be made over the wide level range from -100 to +20 dBm because internal reflection in the power sensors has been suppressed. The ML9001A also has many new functions which make it easier to use than other power meters. It can be used for all optical power measurements such as optical fiber loss measurement and optical device performance evaluation.

Features

- **Enables high-accuracy measurement**
The ML9001A accurately and automatically calibrates all the power sensors within the specified wavelength range and ensures a ±5% accuracy at -23 dBm. It also has a ±0.15 dB linearity (-23 dBm reference value). The ML9001A extends the guaranteed accuracy range of the measured values and enables high-accuracy measurement.
- **One power sensor for repeater maintenance and long-distance fiber loss measurement**
The MA9612A Optical Power Sensor has ultra-high sensitivity. Its measurement level range is -100 to ±3 dBm in the 1.3 μm band and it can sense either continuous light or modulated light. A single MA9612A can measure the near-end and far-end outputs of a repeater as well as measure long-distance fiber losses.

Specifications

- ML9001A Optical Power Meter

Indicator	
Display	4 digit, W, W(REL), dBm, dB(REL) selectable
Calibration coefficient	Adjustable
Recorder output	1 V/full-scale, linear output
Range select	Manual selection and automatic ranging
Measurement mode	Continuous and modulated light*
Wavelength sensitivity correction	Automatic correction in 1 nm steps
Data memory	Max. 1000 data via GPIB
Dimensions and mass	213 (W) x 88 (H) x 250 (D) mm, ≤4 kg

- **Multi-Core fiber cable losses easily measured**
For modulated light measurement, the ML9001A has 12 modulation frequencies including 270 Hz. This meter can easily be used to measure multi-core fiber cable losses by using it with the MG9002A Stabilized Light Source (mounts up to 12 light source units).
- **Interchangeable optical connectors**
The optical connectors of all the power sensors accept adaptors. This system allows the optical connectors to be interchanged so the ML9001A can be quickly used with various optical connectors. Since the internal coating of the optical power sensors suppresses reflected light, measurement errors are reduced in beam measurement (with or without an optical fiber).
- **Reduced measurement time**
The ML9001A has a much better response speed and stability than conventional optical power meters. With GPIB, it can measure at 30 ms/point so the measurement time can be reduced to less than 50% of conventional automatic measurement.
- **High-performance optical loss test set**
Stacking the ML9001A with the MG9001A Stabilized Light Source quickly configures a high-performance optical loss test set. It provides for selecting various light source units and enables the ML9001A to measure all optical losses.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sensor

Model	MA9411A/A1	MA9412A	MA9413A	MA9611A
Wavelength range	0.38 to 1.15 μm		0.45 to 1.05 μm	0.75 to 1.7 μm
Element	Si photodiode		Cooled-Si photodiode	InGaAs photodiode
Active area diameter	9.5 mm	–	5 mm	–
Input type	Direct to photodiode	Connector**	Direct to photodiode	Connector**
Dimensions and mass	40 (W) x 32 (H) x 62/73 (D) mm, ≤ 400 g	61 (W) x 42 (H) x 110 (D) mm, ≤ 800 g	42 (W) x 47 (H) x 160 (D) mm, ≤ 700 g	40 (W) x 32 (H) x 65 (D) mm, ≤ 400 g

Model	MA9612A	MA9711A/A1	MA9712A	MA9714B
Wavelength range	0.75 to 1.7 μm	0.75 to 1.8 μm		
Element	InGaAs photodiode	Ge photodiode	Cooled-Ge photodiode	
Active area diameter	–	5 mm		
Input type	Connector**	Direct to photodiode		Connector**
Dimensions and mass	61 (W) x 42 (H) x 110 (D) mm, ≤ 800 g	40 (W) x 32 (H) x 62/73 (D) mm, ≤ 400 g	42 (W) x 47 (H) x 110 (D) mm, ≤ 500 g	47 (W) x 61 (H) x 128 (D) mm, ≤ 800 g

Overall

Model	MA9411A/A1	MA9412A	MA9413A	MA9611A	
Optical power measurement range	Continuous light	-70 to +10 dBm** (0.1 nW to 10 mW)	-90 to 0 dBm** (1 pW to 1 mW)	-80 to +10 dBm** (10 pW to 10 mW)	-70 to +3 dBm** (0.1 nW to 2 mW)
	Modulated light	-70 to +7 dBm** (0.1 nW to 5 mW)	-90 to -3 dBm** (1 pW to 0.5 mW)	-90 to +7 dBm** (1 pW to 5 mW)	-80 to 0 dBm** (10 pW to 1 mW)
Measurement accuracy	Absolute accuracy (-23 dBm)	$\pm 5\%$ ** (0.5 to 0.95 μm)		$\pm 4.5\%$ ** (0.85 μm) $\pm 5\%$ (0.5 to 0.95 μm)	$\pm 5\%$ ** (1.0 to 1.6 μm)
	Linearity continuous light: 23°C, -23 dBm as reference	± 0.15 dB** (± 0.45 dB for -70 to -60 dBm)	± 0.15 dB** (± 0.45 dB for -90 to -80 dBm)	± 0.15 dB** (± 0.45 dB for -80 to -70 dBm)	± 0.15 dB** (± 0.45 dB for -70 to -60 dBm)
Resolution	W, W (REL) display: 0.1 to 1%, dBm display: 0.01 dB, dB (REL) display: 0.001 dB				
Power	100/115/120/200/220 Vac $\pm 1\%$, 240 Vac $\pm 1.5\%$, 50/60/400 Hz, ≤ 40 VA				
Operating temperature	0° to 50°C				
EMC**	EN55011: 1991, Group 1, Class A EN50082-1: 1992				
Safety	EN61010-1: 1993 (Installation Category II, Pollution Degree II)				

Model	MA9612A	MA9711A/A1	MA9712A	MA9714B	
Optical power measurement range	Continuous light	-100 to +3 dBm** (0.1 pW to 2 mW)	-40 to +10 dBm** (0.1 μW to 10 mW)	-60 to +10 dBm** (1 nW to 10 mW)	-47 to +23 dBm** (20 nW to 200 mW)
	Modulated light	-90 to 0 dBm** (1 pW to 1 mW)	-60 to +7 dBm** (1 nW to 5 mW)	-70 to +7 dBm** (0.1 nW to 5 mW)	-57 to +20 dBm** (2 nW to 100 mW)
Measurement accuracy	Absolute accuracy (-23 dBm)	$\pm 5\%$ ** (1.0 to 1.6 μm)	$\pm 5\%$ ** (0.95 to 1.5 μm)	$\pm 4.5\%$ (1.3 μm) $\pm 5\%$ (0.95 to 1.6 μm)	$\pm 4.5\%$ (1.55 μm)** $\pm 5\%$ (0.95 to 1.6 μm)**
	Linearity continuous light: 23°C, -23 dBm as reference	± 0.15 dB** (± 0.45 dB for -90 to -80 dBm)	± 0.15 dB** (± 0.45 dB for -40 to -30 dBm)	± 0.15 dB** (± 0.45 dB for -60 to -50 dBm)	± 0.15 dB** (-37 to +20 dBm, ± 0.45 dBm for -47 to -37 dBm)
Resolution	W, W (REL) display: 0.1 to 1%, dBm display: 0.01 dB, dB (REL) display: 0.001 dB				
Power	100/115/120/200/220 Vac $\pm 1\%$, 240 Vac $\pm 1.5\%$, 50/60/400 Hz, ≤ 40 VA				
Operating temperature	0° to 50°C				
EMC**	EN55011: 1991, Group 1, Class A EN50082-1: 1992				
Safety	EN61010-1: 1993 (Installation Category II, Pollution Degree II)				

*1: Twelve modulation frequencies including 270 Hz and 1 kHz

*2: FC-type connector standard

*3: Only for PC type SM fiber (10/125 μm , NA 0.1)*4: At 0.85 μm *5: At 1.3 μm *6: At 0.85 μm , 270 Hz*7: At 1.3 μm , 270 Hz*8: For wavelengths other than 0.85 μm , specified at 23° $\pm 5^\circ\text{C}$ *9: For wavelengths other than 1.3 μm , specified at 23° $\pm 5^\circ\text{C}$ *10: At 23° $\pm 5^\circ\text{C}$

*11: Electromagnetic compatibility

*12: At 1.55 μm *13: At 1.55 μm , 270 Hz*14: At 1.55 μm , 0 dBm

*15: At 0 dBm

*16: Reference = 0 dBm

Note: When an optical fiber is used, performance is guaranteed for a fiber core diameter of up to 62.5 μm and an NA of up to 0.29. When any other fiber is used, a measurement error may occur.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• Optical connector options

Option No.	Optical connector
21	D4
22	RUNGE
23*1	Amphenol 906 type
34	DIAMOND (ø 3.5)
35*1	HP-SMA, Amphenol 905 type
36	Amphenol 905 type
38	ST
39	DIN
40	SC
41*2	TOCP172
43	HMS-10/A
45	FC

*1: If adaptor mounted on MA9412A/9612A, repeatability may be reduced.

*2: For MA9411A

Ordering information

Please specify model/order number, name and quantity when ordering.

Model/order No.	Name
ML9001A	Main frame Optical Power Meter
J0313	Standard accessories (for ML9001A) Sensor connecting cord A, 2 m (for MA9412A/9413A/9612A/9712A): 1 pc
J0314	Sensor connecting cord B, 2 m (for MA9411A/A1, MA9611A and MA9711A/A1): 1 pc
J0017	Power cord, 2.5 m: 1 pc
F0004	Fuse, 0.4 A (T400MA250V): 2 pcs
F0007	Fuse, 0.8 A (T400MA250V): 2 pcs
W0420AE	ML9001A operation manual: 1 copy
W0420BE	ML9001A service manual: 1 copy
MA9411A/A1*1	Optical power sensors Optical Power Sensor
MA9412A	Optical Power Sensor (with J0480A connector adaptor)
MA9413A	Optical Power Sensor
MA9611A	Optical Power Sensor (with MA9005A Connector Adaptor)
MA9612A	Optical Power Sensor (with J0480A connector adaptor)
MA9711A/A1*1	Optical Power Sensor
MA9712A	Optical Power Sensor
MA9714B*2	Optical Power Sensor
MA9001B*3	Optional accessories Connector Adaptor (FC type, for MA9411A/MA9711A)
J0480A*3	Connector adaptor (FC type, for MA9412A)
J0480B*3	Connector adaptor (FC type, for MA9612A)
MA9005A*3	Connector Adaptor (FC type, for MA9611A)
MP92B*3	Connector Adaptor (FC type, for MA9413A/MA9712A)
MA9013A*3	Fiber Adaptor (with FC type plug, for fibers with 125 µm clad dia., 0.25 to 1.0 mm jacket dia.)
MP916A	Fiber Adaptor (for MA9002A and MP94A, for plastic fiber with 1 mm dia.)
MP93A	Fiber Adaptor (≤150 µm clad dia., 0.8 to 1.0 mm jacket dia.)
MP94A	Adaptor (for MA9413A/MA9712A, used with MP93A)
MA9002A	Adaptor (for MA9411A/MA9711A, used with MP93A)
MA9805A	Optical Attenuator (for MA9411A, 10 dB)
MA9306A	Optical Attenuator (for MA9711A, 10 dB)
MZ8010A	Optical Sensor Holder (securely mounts MA9411A/A1 or MA9711A/A1 for measuring light traveling through free space)
J0007	GPIB cable, 1 m
J0008	GPIB cable, 2 m
B0186	Front cover
J0592	Optical sensor connecting cord F (for MA97B)
J0617B*4	Replaceable optical connector (FC)
J0618D*4	Replaceable optical connector (ST)
J0618E*4	Replaceable optical connector (DIN)
J0618F*4	Replaceable optical connector (HMS-10/A)
J0619B*4	Replaceable optical connector (SC)

*1: MA9411A1 and MA9711A1 are lateral input sensors.

*2: Specify one of FC, ST, DIN, SC or DIAMOND (HMS-10A).

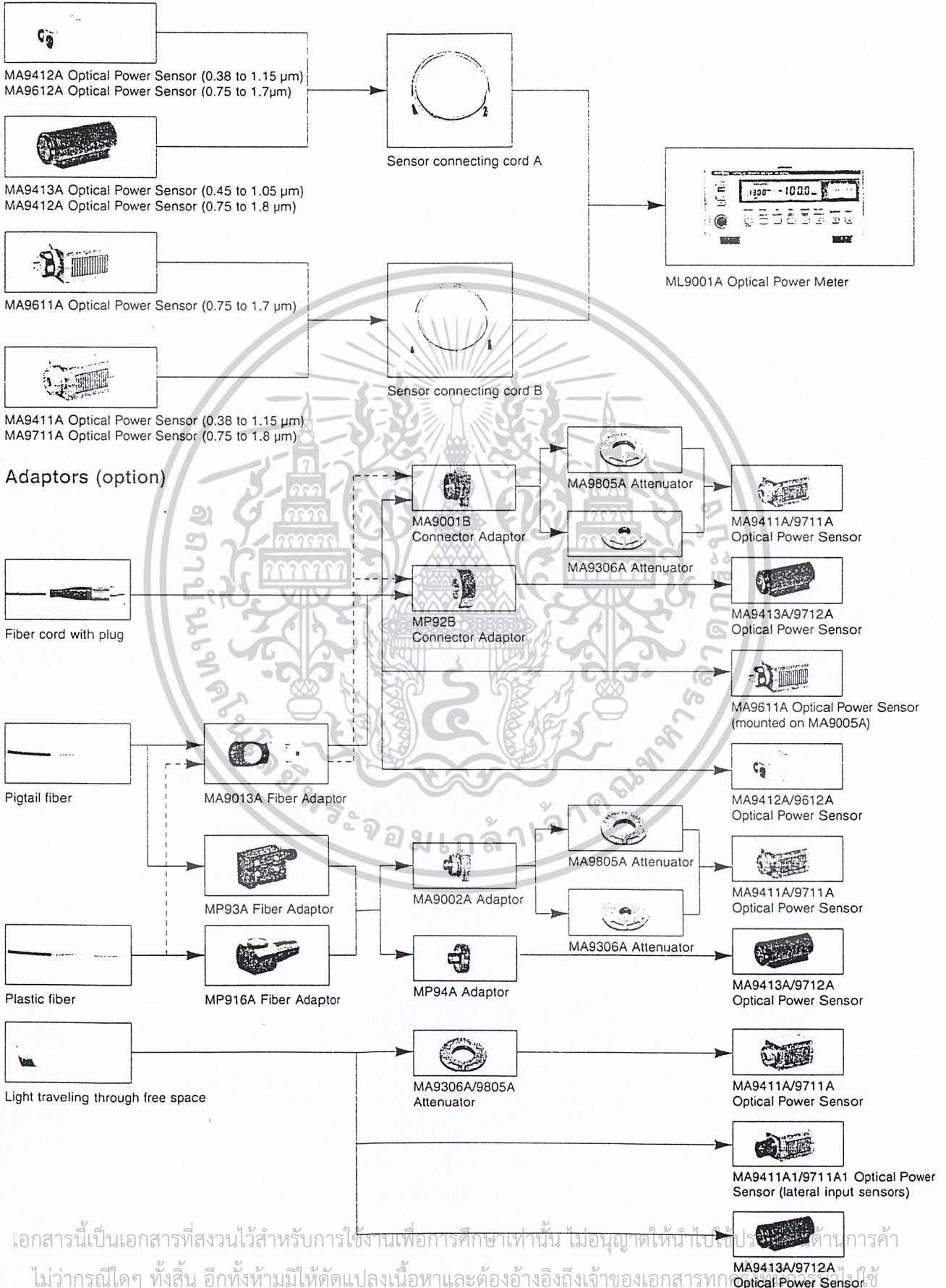
When the connector type is not specified, FC is supplied.

*3: The optical connector of the standard product is FC. Please specify the option numbers along with model names shown in the tables, if you need a different optical connector.

*4: For MA9714B

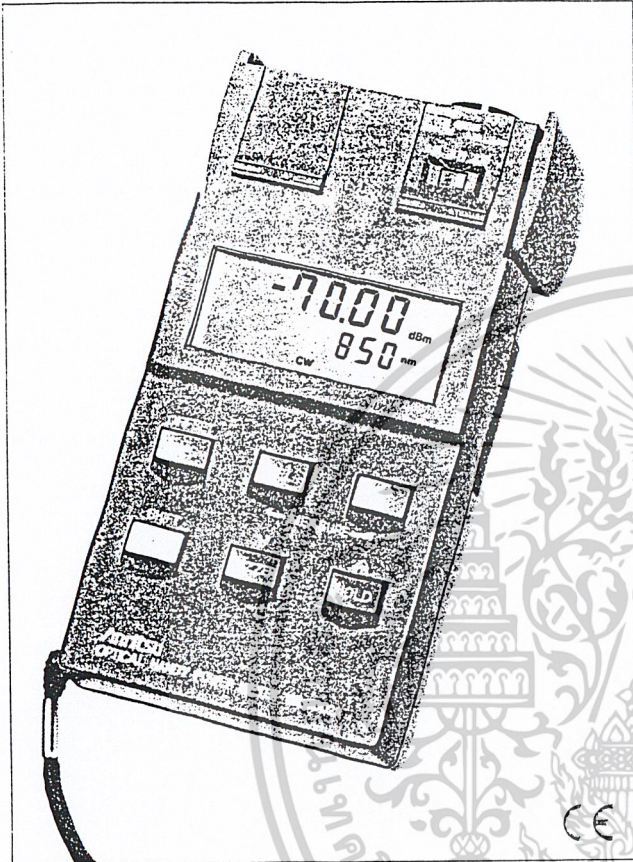
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ML9001A with sensor



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกประการ

OPTICAL HANDY POWER METER ML9002A



The ML9002A is a compact handy power meter with a measurement level as wide as other more expensive instruments. Seven optical sensors are available for different wavelengths, measurement levels, and optical input types. Each can be calibrated for three common wavelengths so absolute optical power can be read directly. Each optical sensor can either be incorporated directly in the main frame or connected using a connecting cord. The ML9002A can be used to check optical disks, optical printers and optical communications systems and can back-up on-side operations as a powerful multifunctional measuring instrument for maintenance.

Features

- **Accurate optical power measurement**

The power of a narrow beam can be accurately measured even when an adaptor is changed because anti-reflection optical sensor is used.

- **Long-distance measurement with wide measurement level range**

An unprecedented wide measurement level has been achieved in this handy optical power meter. Optical power of -70 to $+3$ dBm (MA9621A Optical Power Sensor) in the $1.3 \mu\text{m}$ band and -70 to $+10$ dBm (MA9423A Optical Power Sensor) in the $0.85 \mu\text{m}$ band can be measured.

- **Direct absolute power readings for three wavelengths**

Each optical sensor is calibrated at three wavelengths ($0.633/0.78/0.85 \mu\text{m}$ or $0.66/0.78/0.85 \mu\text{m}$ for short wavelengths, and $0.85/1.3/1.55 \mu\text{m}$ for long wavelengths). The absolute power is indicated automatically just by switching to the measured wavelength.

- **Flexible measurements**

Two types of connections, a plug-in system (sensor incorporated into main frame), or a cord system (sensor connected using connecting cord), are possible so that measurement capabilities are flexible.

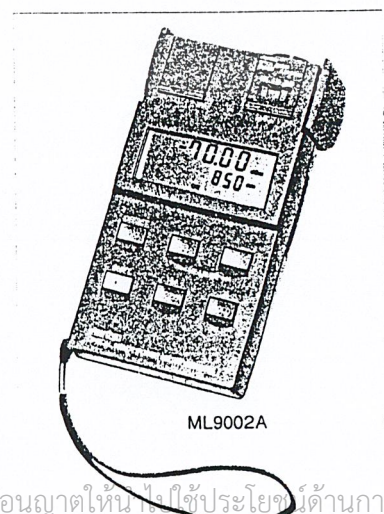
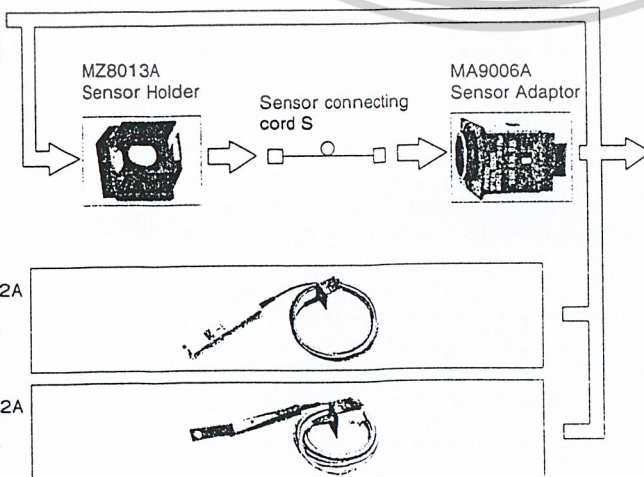
- **Monitoring without cutting optical fiber**

The optical power in an optical fiber cable ($\phi 0.25 \text{ mm}$, UV-coated fiber) can be measured by using the MA9722A Optical Power Sensor.

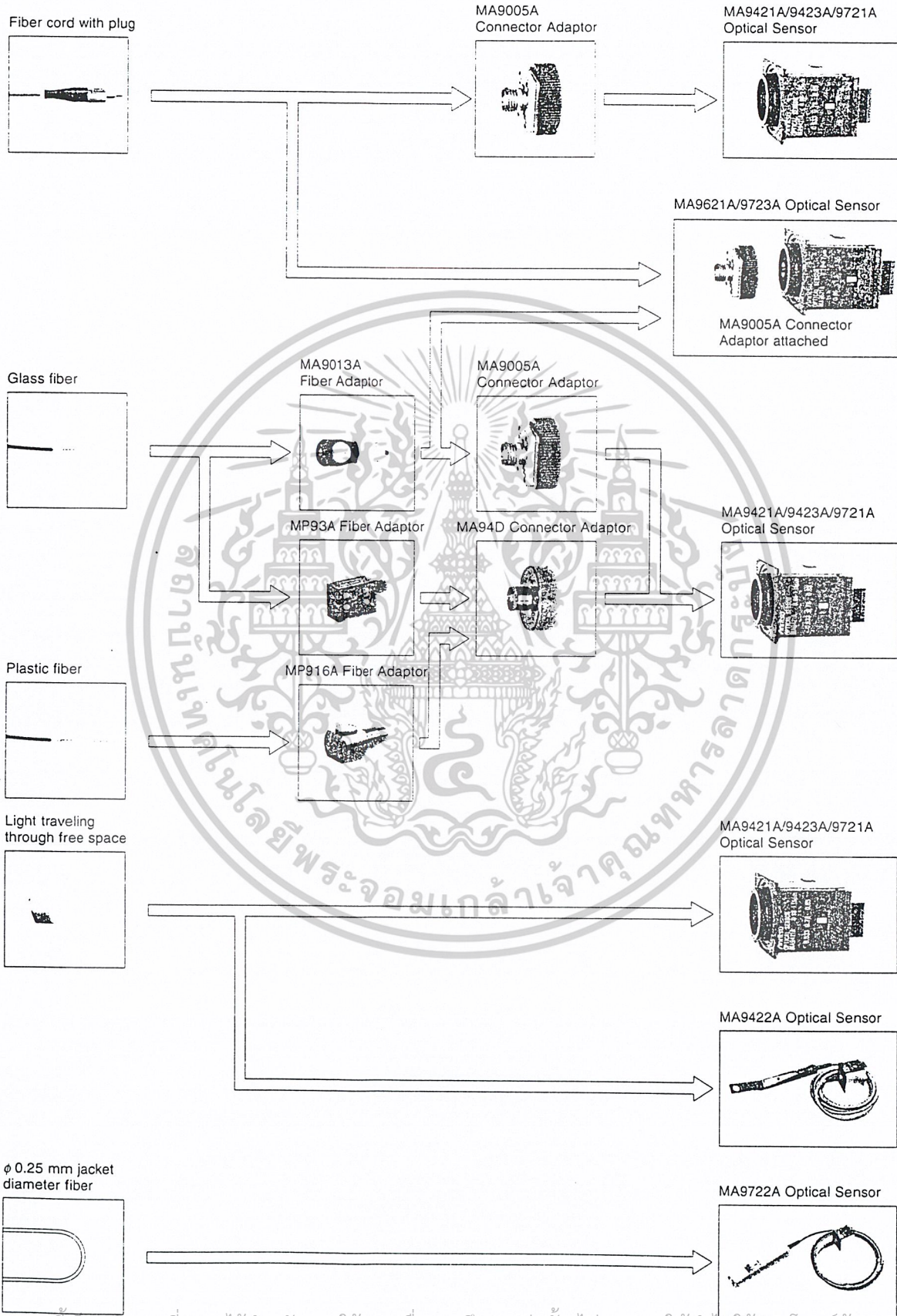
- **Compatible with various connectors**

The ML9002A can be quickly connected to FC, D4, RUNGE, ST, DIN, DIAMOND, and SC connectors just by replacing the connector adaptor.

Optical Sensors
MA9421A, MA9423A, MA9621A, MA9721A, MA9723A



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขหรือดัดแปลงข้อมูล
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specifications

Main frame	Unit display	W, W(REL), dBm, and dB(REL), selectable, 4 digits						
	Recorder output	1 V/full-scale, 0.316 V/-5 dB						
	Averaging	ON/OFF settings						
	Range hold	Range settings						
	Buzzer	1 dB sound threshold level setting						
	Auto power off	After 5 minutes non-use (with internal Ni-Cd battery)						
	Dimensions and mass	90 (W) x 196 (H) x 38 (D) mm, ≤700 g						
Sensors	Model	MA9421A	MA9422A	MA9423A	MA9621A	MA9721A	MA9723A	MA9722A
	Wavelength (μm)	0.38 to 1.15			0.75 to 1.7	0.75 to 1.8		
	Element	Si photodiode			InGaAs photodiode	Ge photodiode		
	Active area diameter	9.5 mm	9 mm	9.5 mm	1 mm	5 mm	1 mm	3 mm
	Input	Direct			FC connector adaptor	Direct	FC connector adaptor	Direct*1
	Measurement range (dBm)	-60 to +20 (at 0.85 μm)	-50 to +20 (at 0.85 μm)	-70 to +10 (at 0.85 μm)	-70 to +3 (at 1.3 μm)	-40 to +10 (at 1.3 μm)	-60 to +3(at 1.3 μm, 0° to 40°C)	-50 to 0 (at 1.3 μm, 0° to 40°C)
	Dimensions and mass	30 (W) x 30 (H) x 37 (D) mm, ≤100 g	15 (W) x 16 (H) x 140 (D) mm, ≤200 g	30 (W) x 30 (H) x 37 (D) mm, ≤100 g				20 (W) x 20 (H) x 128 (D) mm, ≤300 g
Overall	Measurement accuracy	±5% (-10 dBm, CW mode)				±5% (-10 dBm, CW mode)*2		Not specified
	Calibration wavelength	0.633/0.78/0.85 μm		0.66/0.78/0.85 μm	0.85/1.3/1.55 μm		Not specified	
	Measurement resolution	W/W(REL): 0.1 to 1%, dBm/dB(REL): 0.01 dB						
	Operating hours	20 hr or more, floating operation possible (on internal Ni-Cd battery)						
	Temperature range	Operating: 0° to 50°C, Storage: -30° to 50°C, Recharging: 10° to 45°C						
	EMC*3	EN55011: 1991, Group 1, Class A EN50082-1: 1992						
	Safety	EN61010-1: 1993 (Installation Category II, Pollution Degree II)						

*1: Used for 0.25 μm jacket diameter fiber

*2: For wavelength 1.55 μm, it is specified at 23° ±5°C

*3: Electromagnetic Compatibility

Ordering information

Please specify model/order number, name and quantity when ordering.

Model/Order No.	Name
ML9002A	Main frame Optical Handy Power Meter
MA9421A	Optical sensors Optical Sensor
MA9422A	Optical Sensor (Thin sensor)
MA9423A	Optical Sensor
MA9621A	Optical Sensor (MA9005A Connector Adaptor attached)
MA9721A	Optical Sensor
MA9722A	Optical Sensor (fiber identification sensor)
MA9723A	Optical Sensor (MA9005A Connector Adaptor attached)
	Standard accessories
Z0178	AC adaptor: 1 pc
J0017	Power cord, 2.5 m: 1 pc
B0232	Blank panel: 1 pc
W0400CE	ML9002A instruction manual: 1 copy
J0477	Auto-power-off override plug: 1 pc
	Optional accessories
MA9005A*	Connector Adaptor (for optical sensor)
MA9006A	Sensor Adaptor (for sensor connecting cord S/T)
MP93A	Fiber Adaptor (≤150 μm clad dia., 0.8 to 1.0 mm jacket dia.)
MP94D	Connector Adaptor (for MP93A and MP916A)
MA9013A	Fiber Adaptor
MZ8013A	Sensor Holder
J0056B	FC-FC-2M-SM (FC optical fiber cord, 2 m, SM)
J0200B	FC-FC-2M-GI (FC optical fiber cord, 2 m, GI)
J0436	Sensor connecting cord S (for ML9002A sensors)
J0438	Recorder output cord
Z0179	Carrying case (with shoulder strap)
Z0182	Soft case
B0234	Battery box

*: Choose from the options listed in the following table when ordering non-FC optical connector.

Optical connector options table

Option No.	Optical connector
21	D4
22	RUNGE
23	Amphenol Type 906
24	OF-2
34	DIAMOND*1
35	HP-SMA, Amphenol Type 905
38	ST
39	DIN
40	SC
41	TOCP172*2

*1: 3.5 mm diameter ferrule, M9 screw

*2: For MA9421A, MA9423A only

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

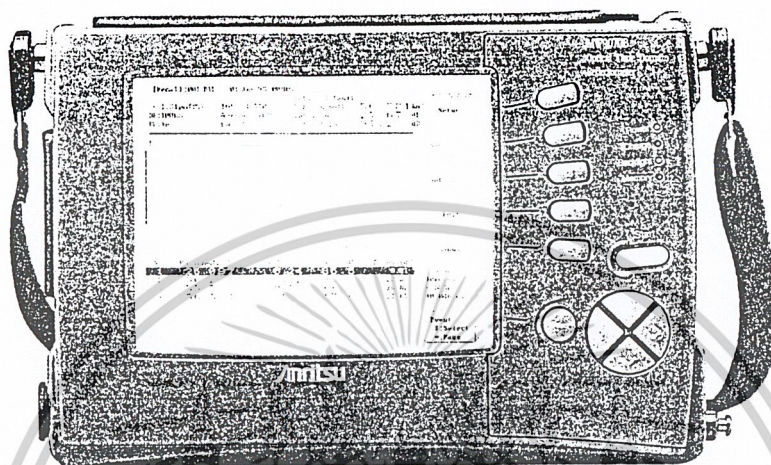
เครื่องโอทีดีอาร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPTICAL TIME DOMAIN REFLECTOMETER MW9070B

1.31/1.55 μm (SM), 0.85/1.3 μm (GI)



The MW9070B is a high-performance mini-OTDR for installation and maintenance of subscriber fiber optic lines and other fiber optic cables. It automatically detects the positions of faults in the cable, and displays an event table listing faults, and a trace waveform. Despite the large 7" screen, the high-performance mini-OTDR is just the size of a B5 file and it weighs in at only 3.2 kg. The MW9070B is designed with a wide dynamic range and short dead zone, and is indispensable for detecting faults in optical trunk lines, subscriber lines, optical CATV cables, optical LANs, and other types of fiber optic cables. In addition, it is also invaluable in measuring transmission line losses, connection losses, return loss and other parameters. Six optical units are available depending on the wavelength and type of optical fiber, making the MW9070B an economic choice for a wide range of applications.

Features

- Compact (smaller than footprint), lightweight (3.2 kg)
- Simple operation with automated fault measurement
- Simultaneous waveform trace and event table display on large LCD
- Built-in 3.5-inch FDD (optional)
- Wide-dynamic range: 36/34 dB (MW0970B/0972B)
- Short dead zone (MW0970B/0972B): 5 m (Event), 25 m (Attenuation)
- High-speed real-time sweep to check fiber connections
- Manual operation for novice and experienced operators
- Visual LD Light Source (option for units)
- Emulation software runs on any personal computer under Microsoft Windows environment (sold separately)

Functions and performance

• Easy operation and fully-automated measurements

In the fully-automatic mode (FULL AUTO), simply pressing the Start key sets the optimum distance range, pulse width and averaging processing for the optical fiber cable being measured, and automatically detects the positions of any faults.

Furthermore, the real-time sweep function can be used to update the waveform at 0.4 s sweep (MW0970B/0972B), to confirm the status of the connected fiber cable in real-time, so trouble from loose connectors can be prevented in advance.

• Event registration

Events (splices, far end, and breaks) in each fiber of a multifiber optical may sometimes occur at the same position. Consequently events in the first cable that are not detected at the threshold set previously in the event table are registered on a second fiber when using fully automatic mode. These events can be added to the table using the event addition function and then events are set to the Fixed Mode. Next, when the measurement fiber is changed and the start key pressed, all of the target events of the second and subsequent fibers are measured repeatedly and efficiently.

• Automatic optical connector connection status check

This function checks the status of the connection between the optical connector and the mini-OTDR. It automatically detects whether or not there are any problems with the connector, such as dirt in the connector or a poor fit. It then outputs an alarm.

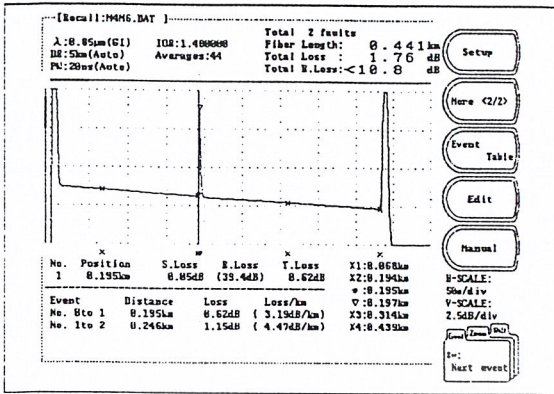
• MX3607B OTDR Emulation Software

Data measured by the MW9070B can be downloaded to a personal computer, analyzed in detail in the Microsoft Windows environment, and compared with previously-recorded waveforms using the MX3607B OTDR Emulation Software. (For details, please refer to the MX3607B data sheet.)

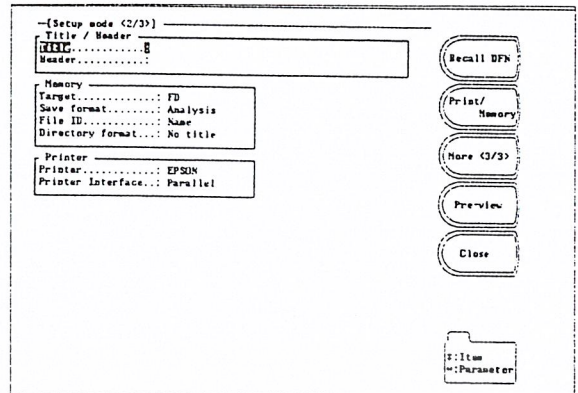
• 0.01 dB threshold

At periodic inspection of optical fiber cables, it is necessary to check increases in connection loss due to aging. The loss level that must not be exceeded as a result of aging can be called the threshold level. The MW9070B allows the threshold to be set anywhere from 0.01 dB to a maximum 9 dB in 0.01 dB increments.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Detection of 0.05 dB loss event using 0.01 dB threshold



Setup screen <2/3>

• Event editing

In fully automatic measurement, splice points with levels below 0.01 dB but which are not judged faults can be added to the event table, events which were mistakenly determined to be faults due to noise can be removed, and the events points can be moved and set to their correct positions. In addition, both ends of the cable can be specified on the trace waveform (end-to-end registration). These event editing functions can be used to modify results to produce accurate measurement data. An asterisk is appended to edited events to discriminate them from other events.

• Saving and printing data

In addition to internal RAM, data can also be saved in memory cards and on floppy disks. All saved waveforms can be printed at once, or only selected files can be printed continuously.

Number of saved screens

Medium	Internal RAM	Memory card (1 MB)	Floppy disk (2HD, 1.44 MB)
Number of screens	170	280	400

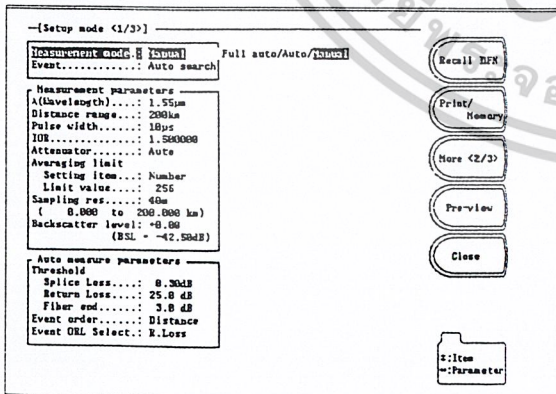
Note: The number of screens are for reference only.

• Setup screen

When the power is turned on, the <1/3> to <3/3> setup screen is displayed.

Setup screen <1/3>

When the measurement mode is set to the fully automatic mode, the optimum distance range, pulse width, and number of averaging times are set automatically. After averaging, fault positions are detected automatically.

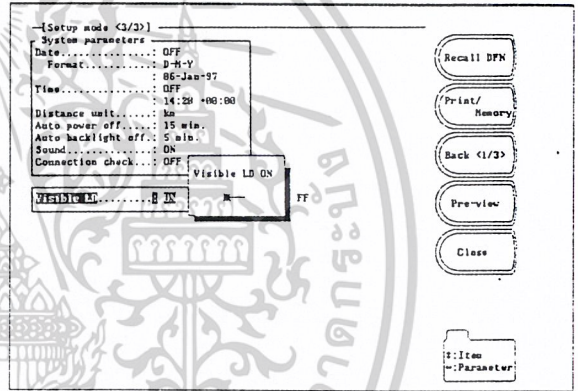


Setup screen <1/3>

Setup screen <2/3>: Print mode and analysis mode

When saving measurement results in memory, the print mode can be selected to increase the number of screens that can be saved. Files saved in the print mode can be printed but cannot be viewed in the zoom mode or otherwise analyzed in detail. If data analysis is necessary, files should be saved in the analysis mode.

Setup screen <3/3>: Automatic backlighting off, automatic power off
The MW9070B can be set so that the backlighting and power are turned off automatically if no panel operations are performed within a fixed period of time, helping to save power and permit use over longer periods of time. In this case, the displayed waveform immediately before auto power-off is backed-up automatically.

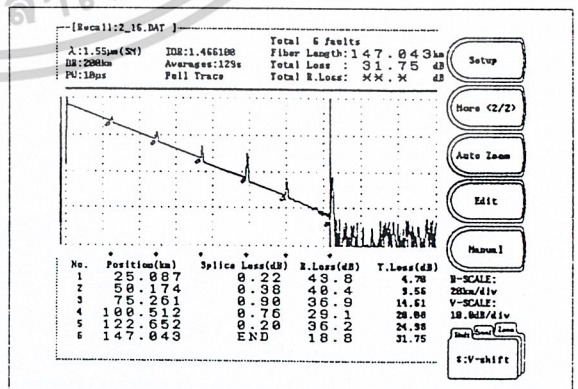


Setup screen <3/3>

• Function for saving settings

Parameters entered from the setup screen <1/3> can be saved in dedicated DFN memory. Even after using the panel to change measurement parameters, saved settings can be recalled to return the MW9070B to its previous setting state.

• Long-distance fiber measurements using wide dynamic range unit



Measurement approx. 147 km single-mode fiber

• Visible LD light source (optical unit: Option 05)

In OTDR measurements, there are some regions (dead zones) where faults cannot be observed. It is particularly difficult to detect faults in the dead zone at near end of a fiber cable. A visible LD light source emitting visible light at 635 nm is connected to the fiber, so the position where light is leaking from a fault (break, bend) can be determined. This can also be used for core identification in fibers.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา
ไม่อาจรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา

OPTICAL MEASURING INSTRUMENTS

Anritsu

Specifications

• MW9070B (main frame)

Display	640 x 480 dot semi-transparent LCD, 7-inch (with backlight on/off function)	
Interface	Serial: RS-232C, 1 port (D-sub 9P connector) Printer: 8 bit parallel (Centronics, D-sub 25P connector) Keyboard: For IBM US English keyboard (101 keys), DIN 5P	
Waveform storage	Internal memory (battery back-up), memory card slot: 1 (memory card slot conforms to PCMCIA R1.0 standard), 3.5-inch FDD: 1 (option), saves GR-196-CORE format files*1	
Calendar clock	Displays year, month, day, hour, minute (battery back-up, on/off display)	
Auto measurements	Measurement items	Event distance, loss, return loss, loss from near end, and total return loss
	Threshold	Connection loss: 0.01 to 9 dB (in 0.01 dB steps) Return loss: 20 to 60 dB (in 1 dB steps) Fiber end: 1 to 10 dB (in 1 dB steps)
	No. of detection points	99 max.
	Automatic setting items	Pulse width, distance range, averaging times
	Event registration function	Event points are registered, and the loss, return loss, etc. for these points are measured and used to create an event table
	Connection check	On/off switchable
Manual measurements	Real-time sweeping, point-to-point distance/loss measurements, point-to-point loss measurements per unit length, return loss measurements, splice/connection loss measurements and total return loss	
Distance unit	m, km, ft, kft, mi	
Relative distance measurement	Zero cursor settable	
Functions*1	Waveform comparison: Dual or difference waveform display Variable sampling resolution: Switchable from 1 to 40 m Shortcut keys: Save, recall, print, switch waveform Ghost detection: Moves marker to ghost Fresnel reflection and indicates ghost events with ghost marker	
Keyboard input	Allows input of file names, titles, headers and event comments	
IOR	1.400000 to 1.699999 (in 0.000001 steps)	
Title input	32 characters max. (Title Auto-increment*1)	
Power supply	Battery: MZ5018A Battery Pack (sold separately), MZ5020A Dry-cell Battery Pack (sold separately) DC input: 10 to 18 V/14 W AC input: 90 to 250 V, 50/60 Hz, 50 VA (with SWA1702W AC Adapter: standard accessory)	
Dimensions and mass	290 (W) x 194 (H) x 75 (D) mm, ≤ 3.2 kg (including optical unit and MZ5018A Battery Pack)	
Environmental conditions*2	Temperature: -10° to $+40^{\circ}$ C (operate), -20° to $+60^{\circ}$ C (storage) Humidity: 85% (operate and storage) Vibration: Conforms to MIL-T-28800E (Class 3) Shock: Height 76 cm, 6 surfaces, 8 corners EMI: CISPR Pub 22 (Class A) Dustproofing: MIL-T-28800E Water-proofing: MIL-T-28800E	
EMC*3	EN55011 (1991, Group 1, Class A), EN50082-1 (1992)	
Safety	EN61010-1: 1993 (Installation Category II, Pollution Degree II)	

*1: Only software version 3.0 and later.

*2: Not applied to AC adapter. When using memory card, limited by memory card's specifications.

*3: Electromagnetic Compatibility

• MW0970A/B, MW0972A/B, MW0973J, MW0975J Optical Units

(all typical values are given for reference only to assist in the use the unit, and are not guaranteed specifications.)

Model	MW0970A	MW0970B	MW0972A	MW0972B
Fiber	10/125 μ m SM fiber *ITU-T G.652			
Center wavelength	1310 ± 30 nm*1	1310 ± 30 nm*1 (typical: ± 15 nm)	1310/1550 ± 30 nm*1	1310/1550 ± 30 nm*1 (typical: $\pm 15/20$ nm)
Optical connector	FC, ST, DIN, SC, DIAMOND (HMS-10/A)*2 *Replaceable and cleanable (all PC type)			
Distance range (km)	5, 10, 25, 50, 100, 200 (200 km is added to only MW0970B/0972B)			
Pulse width (ns)	20, 50, 100, 500, 1000, 2000, 4000, 10000 (4000/10000 ns are added to only MW0970B/0972B)			
Dynamic range (S/N=1)	23 dB at 1.31 μ m*3 (typical: 25.5 dB)	36 dB*4	23 dB at 1.31 μ m*3 (typical: 25.5 dB), 20.5 dB at 1.55 μ m*3 (typical: 22.5 dB)	36 dB at 1.31 μ m*4 34 dB at 1.55 μ m*4
Measurement range*5	15.5 dB at 1.31 μ m*3 (typical: 18 dB)	22 dB*6 (typical: 25 dB)	15.5 dB at 1.31 μ m*3 (typical: 18 dB), 13 dB at 1.55 μ m*3 (typical: 15 dB)	22 dB at 1.31 μ m*6 (typical: 25 dB), 20 dB at 1.55 μ m*6 (typical: 23 dB)
Dead zone	Fresnel reflection	10 m*7	5 m	10 m*7
	Back-scattered light	50 m*7	25 m*8	50 m*7
Marker-resolution	1 m (at 5 km range)			

Accuracy Distance measurements: ± 2 m $\pm (10^{-4} \times \text{distance}) \pm \text{marker resolution}$ *Excluding uncertainty caused by fiber IOR
Loss measurements (linearity): ± 0.05 dB/dB or 0.1 dB (whichever greater)
Return loss measurements: ± 4 dB

Continued on next page.

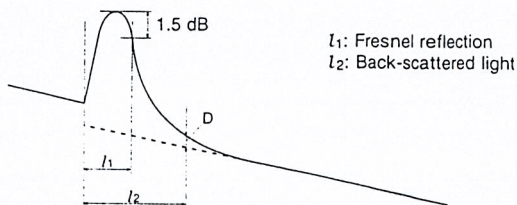
OPTICAL MEASURING INSTRUMENTS

Anritsu

Model	MW0970A	MW0970B	MW0972A	MW0972B
Measurement time*9	180 s max. (auto-measurement mode)			
Real-time sweep	0.9 s*10	0.4 s*10	0.9 s*10	0.4 s*10
Dimensions	290 (W) x 120 (H) x 35 (D) mm			
Safety	Laser: 21CFR Class 1, IEC Class 1			
Environmental conditions	Same as mainframe			
EMC	Same as mainframe			

Model	MW0973J	MW0975J
Fiber	62.5/125 μm multimode fiber*1	
Center wavelength	850 ±30 nm*12	850/1300 ±30 nm*12 (typical: ±20 nm)
Optical connector	FC, ST, DIN, SC, DIAMOND (HFS-13/A)*13 *Replaceable and cleanable (all PC type)	
Distance range (km)	5, 10, 25, 50, 100	
Pulse width (ns)	20, 50, 100, 500 (500 ns is added to only 1300 nm wavelength)	
Dynamic range (S/N=1)	18 dB*14	18 dB at 0.85 μm*14 (typical: 22 dB), 22 dB at 1.3 μm*15
Measurement range*5	10 dB*14	10 dB*14, 14 dB*15
Dead zone	Fresnel reflection	6 m*16, *17 (typical: 5 m*18), 8 m at 1.3 μm*16, *17 (typical: 6 m*18)
	Back-scattered light	50 m*16 (at 0.85/1.3 μm, D=±0.1 dB), 15 m*16 (at 0.85 μm, D=±0.5 dB, typical: 9 m*18), 20 m*16 (at 1.3 μm, D=±0.5 dB, typical: 13 m*18)
Marker-resolution	1 m (at 5 km range)	
Accuracy	Distance measurements: ±2 m ± (10 ⁻⁴ × distance) ±marker resolution *Excluding uncertainty caused by fiber IOR Loss measurements (linearity): ±0.05 dB/dB or 0.1 dB (whichever greater) Return loss measurements: ±4 dB	
Measurement time*9	180 s max. (auto-measurement mode)	
Real-time sweep	1.0 s*19	
Dimensions	290 (W) x 120 (H) x 35 (D) mm	
Safety	Laser: 21CFR Class 1, IEC Class 1	
Environmental conditions	Same as mainframe	
EMC	Same as mainframe	

- *1: Pulse width of 1 μs at 25°C
- *2: One of these connectors is attached. D4 and Biconic connectors are factory options (not user replaceable)
- *3: Pulse width of 2000 ns during auto-measurement
- *4: Pulse width of 10 μs at 25°C
- *5: 0.5 dB splice detectable range with ±0.1 dB accuracy (test method of optical unit for SM fiber depends on Bellcore TR-NWT-001138)
- *6: Pulse width of 4 μs during auto-measurement
- *7: At ≥25 dB return loss with 20 ns pulse width
- *8: At ≥40 dB return loss with 20 ns pulse width
- *9: Measurement time is the period from when the start key is pressed until the measurement results is displayed in the displayed in the table with full-auto mode. This time changes according to the fiber loss, pulse width, and level of Fresnel reflection, and to whether or not distance range and pulse width are set to Auto. The typical measurement time is 45 seconds when measuring a 5 km fiber (0.35 dB/km loss) at a wavelength of 1.31 μm with distance range and pulse width to set Auto.
- *10: For loss measurements (2 point method) of 25 km fiber, the 50 km distance range and displayed with full scale (5 km/div).
- *11: When used with 50/125 μm fiber, the dynamic range is decreased by approx. 4 dB, and the dead zone (defined using 0.5 dB back-scattered light) will increase to approx. 20 m at 850 nm, and 30 m at 1300 nm.
- *12: Pulse width of 100 ns at 25°C
- *13: One of these connectors is attached. D4, Biconic and Amphenol 906 connectors are factory options (not user replaceable).
- *14: 100 ns pulse width during auto-measurement
- *15: 500 ns pulse width during auto-measurement
- *16: Refer to the figure below



- *17: At ≥20 dB return loss with 20 ns pulse width
- *18: Typical value at ≥30 dB return loss
- *19: For loss measurements (2 point method) of 2 km fiber, the 5 km distance range and displayed with full scale (500 m/div)

• MW9070B Option 01: Built-in 3.5-inch FDD

Storage media	3.5" FD (2DD, 2HD)
Format	MS-DOS
Capacity	2DD: 720 KB, 2HD: 1.44 MB
File copying	Between FD, memory card and internal memory
Operating temperature	+5° to +40°C
Operating humidity	≤80%
Operating conditions	Horizontal or tilted
Mass	≤300 g

• MW9070B Option 02: Monitoring function

Form	Installed in MW9070B Optical Time Domain Reflectometer
Functions	Detects optical fiber faults (quick scan, normal scan, and near-end scan), scheduler, modem/communication setting, controls alarm generator and optical switch (eight ports for optical switches and alarm generator)
Installation program	<p>Functions</p> <p>Reads and records files, sets OTDR measurement conditions, executes OTDR measurement, reads OTDR waveform, manipulates waveform, sets optical switches and alarm ports, sets OTDR modem, select reference data type, sets fault threshold value, sets evaluation range, saves reference data, creates/downloads/executes scheduler, sets serial port/modem, connects/disconnects network</p> <p>Operating requirements</p> <p>Computer: i486™ or higher processor (Pentium 75 MHz or higher recommended) running Windows95</p> <p>Memory required: 16 MB or more (32 MB or more recommended)</p> <p>Hard disk required: 16 MB or more free space (20 MB or more recommended)</p> <p>FDD: 3.5" (1.44 MB) x 1 drive</p> <p>Display: 800 x 600 or higher-resolution color monitor</p> <p>Mouse</p> <p>RS-232C: 1 port or more</p>

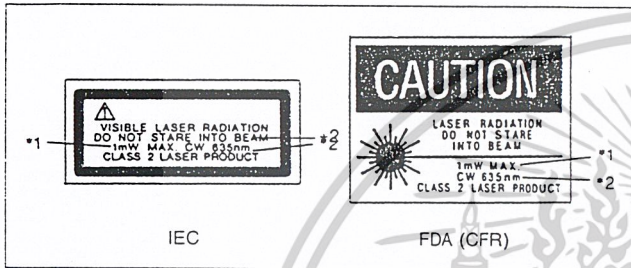
• Optical units Option 05: Visual LD light source

Wavelength	635 nm ±10 nm at 25°C
Output	-3.0 ±1.5 dBm (blinks at constant intervals*1)
Output fiber	10/125 µm, SM fiber
Optical connector	FC, SC, ST, DIN, Diamond (user replaceable), D4, Biconic (factory option)
Optical safety	IEC 825 Class 2, FDA (21CFR 1040.10) Class 2
Environmental conditions	See respective units

*1: Only software version 3.0 and later

Safety measures for laser products

This option complies with the optical safety standards in Class 2 of the IEC pub. 825 and the FDA (21CFR 1040.10, USA); the following descriptive labels are affixed to the product (FDA label is only affixed to product for export to the USA).



The maximum output is indicated under *1, and the wavelength under *2. Caution: Do not look directly into the laser beam.

• MZ5018A Battery Pack

Power, capacity	10.8 V, 2.8 AH (nominal value)
Type	Ni-Cd secondary cell
Charging time	14 hours (at 25°C using SWA1702W AC adapter)
Temperature range when charging	0° to +40°C
Drive time	≥5 hours (at 25°C with backlight off)
Dimensions	290 (W) x 74 (H) x 35 (D) mm

• MZ5020A Dry-cell Battery Pack

Batteries	Ten C/BABY-size alkaline or manganese (LR14, R14) dry cells (provided by user)
Life*1	4 hours (backlight on), 13 hours (backlight off)
Ambient temperature	Same as main frame
Dimensions and mass	290 (W) x 74 (H) x 35 (D) mm, ≤450 g (excluding batteries)

*1: Typical continuous at room temperature using LR14 dry cells

• SWA1702W AC adapter (Tamura Corporation)

AC input	90 to 250 Vac, 50/60 Hz
DC output	17.5 Vdc, 1.2 A
Dimensions	163 (W) x 36 (H) x 63 (D) mm
Safety standards	UL1950, CSA1402C, EN60-950
Temperature	0° to +40°C (operate), -10° to +70°C (storage)
Humidity	90% (operate), 95% (storage)

• MX3607B OTDR Emulation Software

Functions*1	Waveform display, manual measurement, auto search, auto zoom, event editing, continuous printing, waveform comparison, waveform difference, both ends measurement, multi-waveform display, text output
Operating environment	Personal computer: i486™ or higher processor, and capable of running Microsoft Windows 3.1 or Windows 95 OS: Microsoft Windows 3.1 or Windows 95 Memory required: 8 MB to run this program Hard disk required: At least 5 MB of free disk space FDD: 3.5" (1.44 MB) x 1 drive Display: 640 x 480 dots or higher resolution color monitor Others: Mouse or other pointing device

*1: Supported in MX3607B version 2.0 or later

Ordering information

Please specify model/order number, name and quantity when ordering.

Model/Order No.	Name	
MW9070B	Main frame Optical Time Domain Reflectometer	
SWA1702W	Standard accessories (main frame) AC adapter (Tamura Corporation): Power cord, 2.5 m: Short-cut label: MW9070B operation manual: MW9070B serial interface manual: MW9070B service manual:	1 pc 1 pc 1 copy 1 copy 1 copy 1 copy
W1046AE W1047AE W1046BE		
MW0970A MW0970B MW0972A MW0972B MW0973J MW0975J	Optical units SMF 1.31 µm Unit (economy type) SMF 1.31 µm Unit (wide-dynamic range type) SMF 1.31/1.55 µm Unit (economy type) SMF 1.31/1.55 µm Unit (wide-dynamic range type) GIF 0.85 µm Unit GIF 0.85/1.3 µm Unit	
	Standard accessory (optical unit) Replaceable optical connector*1:	1 pc
MZ5018A MZ5020A	Battery pack Battery Pack (Ni-cd secondary cell) Dry-cell Battery Pack [Ten C/BABY size alkaline or manganese (LR14, R14) dry cells (provided by user)]	
MX3607B	Application software OTDR Emulation Software Supplied on 3.5" FD (2HD), includes setup program	
W1058AE	Standard accessory for MX3607B MX3607B operation manual:	1 copy
MW9070B-01 MW9070B-02 MW9070B-10 MW9070B-12 MW9070B-13 MW9070B-14 MW9070B-15 MW9070B-17 MW9070B-18 MW9070B-19	Options (main frame) 3.5-inch FDD Monitoring function English language display*2 German language display*2 French language display*2 Italian language display*2 Spanish language display*2 Japanese language display*2 Chinese language display*2 Finnish language display*2	
MW0970A-05 MW0970B-05 MW0972A-05 MW0972B-05 MW0973J-05 MW0975J-05 MW0970A-21 MW0970B-21 MW0972A-21 MW0972B-21 MW0973J-21 MW0975J-21 MW0970A-22 MW0970B-22 MW0972A-22 MW0972B-22 MW0973J-22 MW0975J-22 MW0973J-23 MW0975J-23	Options (optical unit) Visible LD light source for MW0970A*3 (factory option) Visible LD light source for MW0970B*3 (factory option) Visible LD light source for MW0972A*3 (factory option) Visible LD light source for MW0972B*3 (factory option) Visible LD light source for MW0973J*3 (factory option) Visible LD light source for MW0975J*3 (factory option) D4 connector (factory option) D4 connector (factory option) D4 connector (factory option) D4 connector (factory option) D4 connector (factory option) D4 connector (factory option) Biconic (AT&T) connector (factory option) Biconic (AT&T) connector (factory option) Biconic (AT&T) connector (factory option) Biconic (AT&T) connector (factory option) Biconic (AT&T) connector (factory option) Biconic (AT&T) connector (factory option) Amphenol 906 connector*4 (factory option) Amphenol 906 connector*4 (factory option)	

Continued on next page

Model/Order No.	Name
MW0970A-38	ST connector (user replaceable)
MW0970B-38	ST connector (user replaceable)
MW0972A-38	ST connector (user replaceable)
MW0972B-38	ST connector (user replaceable)
MW0973J-38	ST connector (user replaceable)
MW0975J-38	ST connector (user replaceable)
MW0970A-39	DIN connector (user replaceable)
MW0970B-39	DIN connector (user replaceable)
MW0972A-39	DIN connector (user replaceable)
MW0972B-39	DIN connector (user replaceable)
MW0973J-39	DIN connector (user replaceable)
MW0975J-39	DIN connector (user replaceable)
MW0970A-40	SC connector (user replaceable)
MW0970B-40	SC connector (user replaceable)
MW0972A-40	SC connector (user replaceable)
MW0972B-40	SC connector (user replaceable)
MW0973J-40	SC connector (user replaceable)
MW0975J-40	SC connector (user replaceable)
MW0973J-42	DIAMOND (HFS-13/A) connector (user replaceable)
MW0975J-42	DIAMOND (HFS-13/A) connector (user replaceable)
MW0970A-43	DIAMOND (HMS-10/A) connector (user replaceable)
MW0970B-43	DIAMOND (HMS-10/A) connector (user replaceable)
MW0972A-43	DIAMOND (HMS-10/A) connector (user replaceable)
MW0972B-43	DIAMOND (HMS-10/A) connector (user replaceable)
MW0970A-45	FC connector (user replaceable)
MW0970B-45	FC connector (user replaceable)
MW0972A-45	FC connector (user replaceable)
MW0972B-45	FC connector (user replaceable)
MW0973J-45	FC connector (user replaceable)
MW0975J-45	FC connector (user replaceable)
Optional accessories	
Z0301A	Keyboard
JS256G3-C-13	256 KB memory card (conforms to PCMCIA R1.0)
JS512G3-C-13	512 KB memory card (conforms to PCMCIA R1.0)
JS1024G3-C-13	1024 KB memory card (conforms to PCMCIA R1.0)
JS2048G3-C-13	2048 KB memory card (conforms to PCMCIA R1.0)
FC-AP	Adapter
J0635[]*5	Optical fiber cable (with FC-PC at both ends, SM)
MZ8012A	Connector Cleaning Set
Z0242	Soft carrying bag
Z0243	Hard carrying case (holds main frame and thermal printer)
J0617B	Replaceable optical connector (FC)
J0618D	Replaceable optical connector (ST)
J0618E	Replaceable optical connector (DIN)
J0618F	Replaceable optical connector (HMS-10/A, HFS-13/A)
J0619B	Replaceable optical connector (SC)
J0699[]*5	FDDI-FC conversion cord
J0700[]*5	FDDI-ST conversion cord
J0701[]*5	FDDI-SC conversion cord
J0654A	Serial interface cable (for remote control with IBM-PC/AT or J-3100)
J0661A	Serial interface cable (for connection with peripherals)
Peripherals	
DPU-411-21BU	Thermal printer (120 V \pm 10%, 60 Hz, 0° to +40°C, Seiko Instruments inc., printer cable sold separately)
DPU-411-21BE	Thermal printer (220 V \pm 10%, 50 Hz, 0° to +40°C, Seiko Instruments Inc., printer cable sold separately)
J0614	Printer connection cable (parallel)
Supplies	
TP411-28CL	Printer paper for DPU-411-21BU/BE (10 rolls/set)

- *1: Specify one of FC, ST, DIN, SC or DIAMOND. When the connector type is not specified, FC is supplied.
- *2: If the display language is not specified, the English version is installed.
- *3: Supplied with same connector as optical unit.
- *4: FC type and dead zone is varied.
- *5: Specify the optical fiber length as A, B, or C (A: 1 m, B: 2 m, C: 3 m).

MS-DOS is a registered trademark of Microsoft Corporation.
 Windows is a registered trademark of Microsoft Corporation.
 IBM is a registered trademark of International Business Machines Corporation.
 i386/i486 are trademarks of Intel Corporation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Optical fiber cutter

This device cuts optical to produce a right-angle mirror-face break.

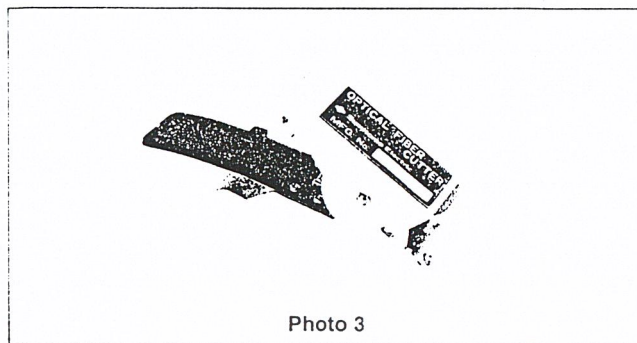


Photo 3

MP924A Fiber Jacket Stripper

This tool is used to remove the nylon jacket from around the core.

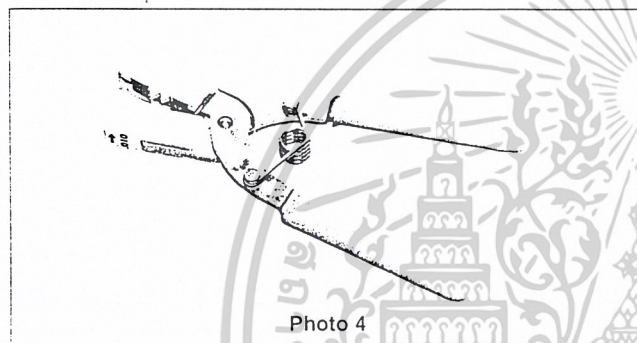


Photo 4

MZ106C Mode Scrambler

When measuring optical fiber loss or instrument insertion loss, this device is attached to LED light sources to insure a uniform injection mode.

Insertion loss	1.5 dB*1
NA (numerical aperture)	0.195±0.01*2
Connector	PC
Optical fiber	GI (50/125 μm)*3
Dimensions	20 (W) x 20 (H) x 205 (D) mm

*1: Typical value (typical value is given for reference only and is not guaranteed specifications.)
Does not include connector loss.

*2: Test method depends on JIS C5961

*3: Does not include fiber

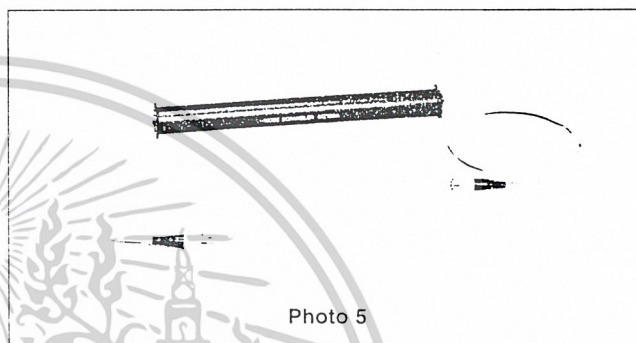


Photo 5

Replacement optical connector
Replaceable optical connector

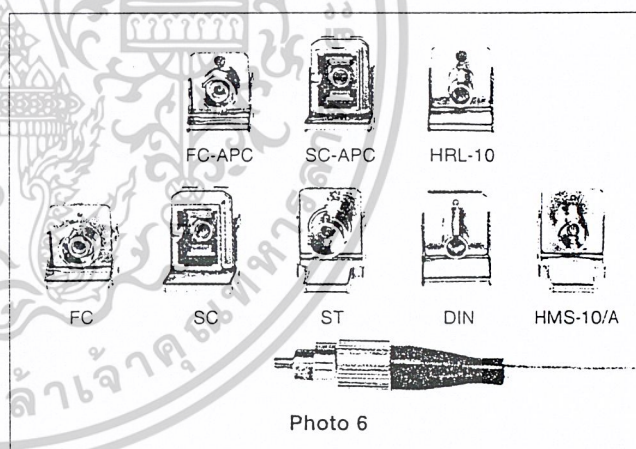


Photo 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียนปริญญาบัตร

นางสาวรพีพรรณ แจ่มศิลป์ เกิดวันที่ 2 มกราคม พ.ศ. 2524 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนนวมินทราชินูทิศ สอนกุลหลาบวิทยาลัย สมุทรปราการ เข้าศึกษาระดับวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังในปีการศึกษา 2542

นายอิทธิพล สุรพัฒน์ เกิดวันที่ 12 มีนาคม พ.ศ. 2522 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนนวมินทราชินูทิศ บดินเดชา สิงห์เสนีย์ เข้าศึกษาระดับวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังในปีการศึกษา 2542



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้