

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาเออร์เปียมโคปไฟเบอร์แอมพลีไฟเออร์



นายเดชัส สกุดหลาย
นางสาวธีรลักษณ์ แสงงาม

ว.พ.
๓๒๖๖
๒๕๕๐

เลขที่.....
เลขเรื่อง..... **81619**
วัน,เดือน,ปี..... **19 ส.ย. 2551**

b..... **11933690**
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาระดับปริญญา 2550 นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Study of Erbium-Doped Fiber Amplifier



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of Requirement for the Degree of
Bachelor of Science
Department of Applied Physics
Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน Academic Year 2007 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การศึกษาเออร์เบียม โดปไฟเบอร์แอมพลิไฟเออร์	
นักศึกษา	นายเดชาส	สกุลหลาย
	นางสาวธีรลักษณ์	แสงงาม
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์	คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.ปรีชา	ยุพาพิน

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้นับ โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง	
กรรมการ ผศ.สาหร่าย เล็กชะอุ่ม	
กรรมการ อ.ถารุจ บัณฑิตาควิทย์	
กรรมการที่ปรึกษา รศ.ดร.ปรีชา ยุพาพิน	

(รองศาสตราจารย์ วิชาญ เตชิตธีระ)
หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การศึกษาเออร์เบียมโคปไฟเบอร์แอมพลิไฟเออร์
นักศึกษา	นายเดชัส สกุลหลาย นางสาวธีรลักษณ์ แสงงาม
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2550
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.ปรีชา บุพาพิน

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการขยายสัญญาณแสงโดยใช้ระบบการขยายด้วยใยแก้วนำแสงเออร์เบียมโคป สัญญาณแสงที่ต้องการขยายความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร ซึ่งจะป้อนเข้าไปในคู่ควบใยแก้วนำแสงโหมดเดียว 2x2 ตรงปลายจะเชื่อมต่อกับใยแก้วนำแสงเออร์เบียมโคป ยาวประมาณ 25 เมตร และป้อนด้วยเลเซอร์จากภายนอกที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร ที่ปลายอีกข้างของใยแก้วนำแสงเออร์เบียมโคปเชื่อมต่อกับออปติคัลไอโซเลเตอร์ ก่อนที่จะไปถึงโฟโอดีเทคเตอร์ ซึ่งการเชื่อมต่อกับออปติคัลไอโซเลเตอร์สามารถตัดสัญญาณแสงย้อนกลับได้ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการขยายสัญญาณแสง นอกจากนี้ยังได้ศึกษาการขยายสัญญาณแสงอินพุตที่มีการเข้ารหัส พบว่าสัญญาณเอาต์พุตที่ได้มีความถี่เท่ากับสัญญาณอินพุต และมีขนาดเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถนำเทคนิคในการขยายสัญญาณระบบนี้ไปเป็นอุปกรณ์ในการขยายสัญญาณในงานด้านการสื่อสารด้วยแสงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Fiber Communication
Name	Mr.Techut Skunlai Miss.Theeralak Sangngam
Department	Applied Physics Faculty of Science
Program	Applied Physics
Academic Year	2007
Special Project Advisor	Assoc.Prof.Dr.Preecha Yupapin

ABSTRACT

This special project is the study of an optical amplifier characteristic using Erbium-Doped Fiber Amplifier (EDFA) system. The input laser source wavelength 1550 nm is launched into a 2x2 single mode fiber coupler connecting to 25 meters erbium doped fiber. Then it is pumped by an external laser source with pumping power wavelength 980 nm respectively. The output erbium doped fiber end is connected to a single mode fiber isolator before launching into a photo-detector. Results have shown such a system can be used to utilize the optical amplifier characteristic study, where is observed, and also can be increased by connecting the optical isolator. The optical feedback can be neglected by using the optical isolators along transmission line. The frequency stabilized can also be obtained when modulated input signal is injected into base-band signal, then this principle and technique can be used to characterize the optical devices for optical communication.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความเมตตากรุณาเป็นอย่างยิ่ง จาก รศ.ดร.ปรีชา ยูพาพิน อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษซึ่งให้ความรู้ แนวความคิดแก้ไขปัญหา ให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางในการดำเนินงานเป็นอย่างดี รวมทั้ง อนุเคราะห์จัดหาอุปกรณ์ และงบประมาณในการดำเนินงาน ผู้ศึกษารู้อีกซึ่งในความกรุณาของท่าน เป็นที่สุดและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณนักศึกษาปริญญาโทและปริญญาเอกในห้องแล็บไฟเบอร์ที่คอยให้คำแนะนำ และคำปรึกษามาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณบิดา มารดาและพี่น้องที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนเงินทุน สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณรุ่นพี่และเพื่อนๆ รวมทั้งบุคคลที่มีความปรารถนาดีมอบให้ผู้ศึกษาทุกท่าน ที่คอยเป็นกำลังใจและแนะนำทางที่ดีแก่ผู้ศึกษาตลอดมา

นายเตชต์

สกุลหลาย

นางสาวธีรลักษณ์

แสงงาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
วัตถุประสงค์	1
ขอบเขตการวิจัย	2
วิธีดำเนินการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
2.1 เส้นใยแก้วนำแสง	3
2.2 ข้อดีของการใช้เส้นใยแก้วนำแสง	4
2.3 ข้อเสียของใยแก้วนำแสง	5
2.4 คุณสมบัติของเส้นใยแสง	6
2.5 ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง	8
2.6 ชนิดของไฟเบอร์	10
2.6.1 Single-Mode Fiber	11
2.6.2 Multimode Fiber	12
2.6.3 Graded Index Fiber	13
2.6.4 ชนิดคอนเน็กเตอร์	13
2.7 เส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมด	14
2.8 ลักษณะการเดินทางของแสงภายในเส้นใยแสง	14
2.9 การป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแสง	14
2.10 MODE การเดินทางของแสงภายในเส้นใยแสง	15
2.11 ลักษณะการเดินทางของแสงภายในเส้นใยแสง	16
2.12 คุณสมบัติใยแก้วนำแสง	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.1	การลดทอน	18
2.13	การเดินทางของแสงในใยแก้วนำแสง	24
2.14	ระบบสื่อสารใยแก้วนำแสง	27
2.15	การผสมและแยกสัญญาณ	27
2.16	การส่งสัญญาณแบบดิจิทัลและอนาล็อก	29
2.17	การทำมัลติเพลกซ์	29
2.18	อุปกรณ์แหล่งกำเนิดแสง	30
2.19	อุปกรณ์รับแสง	30
2.20	อินเดกซ์โปรไฟล์	31
2.21	การประยุกต์สื่อสารทางแสง	32
2.21.1	การมัลติเพลกซ์ทางแสง	32
2.21.2	หลักการสื่อสารทางแสง	32
2.22	มาตรฐานของเคเบิลใยแก้วนำแสง	33
2.23	ประโยชน์ของใยแก้วนำแสง	33
2.24	ข้อดีของการสื่อสารทางแสง	34
บทที่ 3	ขอบเขตและวิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1	การศึกษาข้อมูล	35
3.2	ขอบเขตและวิธีการดำเนินงานวิจัย	35
3.3	ศึกษาทฤษฎีของอุปกรณ์ต่างๆ	36
3.3.1	เออร์เบียมโด๊ปไฟเบอร์แอมพลิไฟเออร์	36
3.3.2	ออปติคัล ไอโซเลเตอร์	36
3.3.3	ออปติคัลไฟเบอร์คัปเปิลเลอร์	36
3.4	ศึกษาหลักการพื้นฐานของการส่งสัญญาณ	37
บทที่ 4	ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1	ระบบที่มีการขยายสัญญาณส่งโดยใช้เออร์เบียมโด๊ปไฟเบอร์	38
4.2	ผลของการวัดและการคำนวณค่าคุณลักษณะของระบบการขยายสัญญาณแสง	39
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1	สรุปผลการดำเนินงานวิจัย	47
5.2	ข้อเสนอแนะ	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 การสูญเสียจากการดุดกิ้นของสารที่สารและความยาวคลื่นต่างๆ	28
ตารางที่ 4.1 แสดงกำลังของสัญญาณเอทพุตเทียบกับกำลังของสัญญาณอินพุต	40
ตารางที่ 4.2 แสดงกำลังของสัญญาณเอทพุตเทียบกับกำลังของสัญญาณอินพุตเมื่อทำการบีบ เออร์เปียมด้วยเลเซอร์ 980 นาโนเมตร	42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสง	3
รูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบของเส้นใยแก้วนำแสง	4
รูปที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบของใยแก้วนำแสง	6
รูปที่ 2.4 แสดงเส้นใยเดี่ยว	6
รูปที่ 2.5 แสดงการประกอบของเส้นใยแก้วในสำนักงาน	7
รูปที่ 2.6 แสดงเส้นใยแก้วนำแสงแบบ Multi mode และ Single mode	8
รูปที่ 2.7 แสดงส่วนประกอบของสายเคเบิลเดินในท่อ	9
รูปที่ 2.8 แสดงส่วนประกอบของสายเคเบิลเดินโดยตรง	9
รูปที่ 2.9 แสดงสายเคเบิลใต้น้ำ	10
รูปที่ 2.10 แสดงสายเคเบิลที่ใช้เป็นสายดินในระบบสายส่งกำลัง	10
รูปที่ 2.11 Step index fiber (single-mode)	11
รูปที่ 2.12 Step index fiber (multimode)	11
รูปที่ 2.13 Graded index fiber (multimode)	12
รูปที่ 2.14 Straight physical contact (PC)	13
รูปที่ 2.15 Slanted (angled) physical contact (APC)	13
รูปที่ 2.16 Straight air gap	13
รูปที่ 2.17 รูปแสดงมุมรับแสงของเส้นใยแสง	15
รูปที่ 2.18 แสดงเส้นใยแสงแบบกลมและแบบระนาบแบน	16
รูปที่ 2.19 แสดงลักษณะการเดินทางของแสงภายในเส้นใยแก้วนำแสงในกรณีต่างๆกัน	17
รูปที่ 2.20 แสดงการลดทอนของแสงในใยแก้วนำแสงสัมพันธ์กับความยาวคลื่น	18
รูปที่ 2.21 แสดงกราฟค่าการสูญเสียกับความยาวคลื่น	20
รูปที่ 2.22 แสดงทางเดินของแสงในใยแก้วนำแสง	21
รูปที่ 2.23 แสดงการสูญเสียของเส้นใยแก้วนำแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ	22
รูปที่ 2.24 แสดงการสูญเสียที่ความยาวคลื่นต่างๆของ PCS	23
รูปที่ 2.25 แสดงสเปกตรัมของการลดทอน	23
รูปที่ 2.26 แสดงการกระจายของแสงเข้าไปในใยแก้วนำแสง	24
รูปที่ 2.27 ไดอะแกรมของการหา NA ของใยแก้วชนิดดัชนีหักเหชั้นบันได	26
รูปที่ 2.28 แสดงมุมรับแสงของเส้นใยแก้วนำแสง	26
รูปที่ 2.29 แสดงส่วนประกอบของการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.30 แสดงการผสมสัญญาณและการส่ง	28
รูปที่ 2.31 การมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น	30
รูปที่ 2.32 แสดงอินเดกซ์โปรไฟล์ของแกนใยแก้วนำแสง	31
รูปที่ 3.1 แสดงระบบที่ใช้ในการทดลอง	35
รูปที่ 3.2 แสดงหลักการพื้นฐานของการส่งรับสัญญาณผ่านทางใยแก้วนำแสง	37
รูปที่ 4.1 แสดงระบบการทดลองการขยายสัญญาณแสง โดยใช้เออร์เบียมโดปไฟเบอร์	38
รูปที่ 4.2 แสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังแสงอินพุตเทียบกับกำลังแสงเอาต์พุต (ไม่มีการปั๊ม)	44
รูปที่ 4.3 แสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังแสงอินพุตเทียบกับกำลังแสงเอาต์พุต เมื่อมีการปั๊มเออร์เบียมด้วยเลเซอร์ 980 นาโนเมตร	45
รูปที่ 4.4 แสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสอินพุตเทียบกับกำลังเอาต์พุต	46



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ในระบบการสื่อสารทางแสงที่อาศัยเส้นใยแก้วเป็นสายส่งสัญญาณ ข้อมูลที่ถูกส่งออกไปจากสถานีต้นทางหรือผู้ส่ง ไปยังผู้รับหรือสถานีปลายทางนั้น โดยธรรมชาติแล้วจะเกิดการสูญเสียสัญญาณในการเดินทาง เป็นผลทำให้ค่าความเข้มของสัญญาณลดลง และเกิดการผิดพลาดของรูปสัญญาณในบริเวณสถานีผู้รับ หากต้องการออกแบบและติดตั้งระบบสื่อสารทางแสงที่ใช้เส้นใยแก้วนำแสงเป็นสายส่งเชื่อมโยงระหว่างสถานีส่ง และสถานีรับ ที่มีระยะทางห่างไกลกันมาก เราจะต้องเพิ่มในส่วนของสถานีทวนสัญญาณเข้าไปในระบบการสื่อสารนั้นด้วย สถานีทวนสัญญาณในที่นี้ ก็คือ สถานีที่ทำการทวนสัญญาณที่มีค่าความเข้มของสัญญาณต่ำ ให้กลับมามีค่าความเข้มของสัญญาณสูงและสามารถเดินทางไปต่อไปได้ในอีกระยะหนึ่ง ในงานวิจัยนี้ จะเป็นการศึกษาการทำงานของ เออร์เบียมโดปไฟเบอร์ ซึ่งก็คือสถานีทวนสัญญาณวนรูปแบบของเส้นใยแก้วนำแสง โดยศึกษาการขยายสัญญาณของเออร์เบียมโดปไฟเบอร์ ด้วยการป้อนพลังงานแสงที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร ให้กับเออร์เบียมโดปไฟเบอร์ ข้อมูลที่เดินทางผ่านเข้าไปในเออร์เบียมโดปไฟเบอร์จะถูกทำให้มีค่าความเข้มเพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากการรวมกันทางความเข้มแสงของสัญญาณเดิมที่นำข้อมูลกับสัญญาณแสงที่เปล่งออกมาใหม่ จากการกระตุ้นพลังงานเข้าไป จึงเสมือนกับการขยายสัญญาณข้อมูลแสงที่เดินทางในระบบสายส่งให้มีความเข้มแสงเพิ่มขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติในการขยายสัญญาณแสงของเออร์เบียมโดปไฟเบอร์
2. เพื่อให้การรับส่งข้อมูลระหว่างผู้รับและผู้ส่งสามารถรับส่งสัญญาณได้ระยะทางไกลขึ้น โดยเกิดความผิดเพี้ยนของสัญญาณน้อยที่สุด

1.3 ขอบเขตการวิจัย

โครงการพิเศษนี้ศึกษาถึงคุณสมบัติและหลักการทำงานของเออร์เบียม โดปไฟเบอร์ ที่ใช้ในการขยายสัญญาณแสง ซึ่งมีขอบเขตการดำเนินงานดังนี้

1. ศึกษาข้อมูลวิธีการส่งสัญญาณแสง และศึกษาคุณสมบัติต่างๆของแสง
2. ศึกษาหลักการทำงานของอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆที่ใช้ในการทดลอง
3. ศึกษาคุณสมบัติและหลักการทำงานของ เออร์เบียม โดปไฟเบอร์แอมพลิไฟเออร์
4. ทำการออกแบบการทดลอง และทำการทดลองบันทึกผล เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าความเหมาะสมของการทดลอง

1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวกับการสื่อสาร โดยใช้ใยแก้วนำแสง และเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องที่จำเป็นต้องใช้
2. ศึกษาการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆให้มีความชำนาญในระดับหนึ่ง
3. สามารถออกแบบการทดลองจากทฤษฎีข้างต้น รวมถึงการจัดเก็บผลการทดลอง
4. ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากผลการทดลอง และควรมีการปรับปรุงแก้ไขในส่วนที่ผิดพลาด
5. ทำการสรุปผลที่ได้จากงานวิจัยและเสนอแนะ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติในการขยายสัญญาณแสงของเออร์เบียม โดปไฟเบอร์
2. เพื่อให้การรับส่งข้อมูลระหว่างผู้รับและผู้ส่งสามารถรับส่งสัญญาณได้ระยะทางไกลขึ้น โดยเกิดความผิดเพี้ยนของสัญญาณน้อยที่สุด

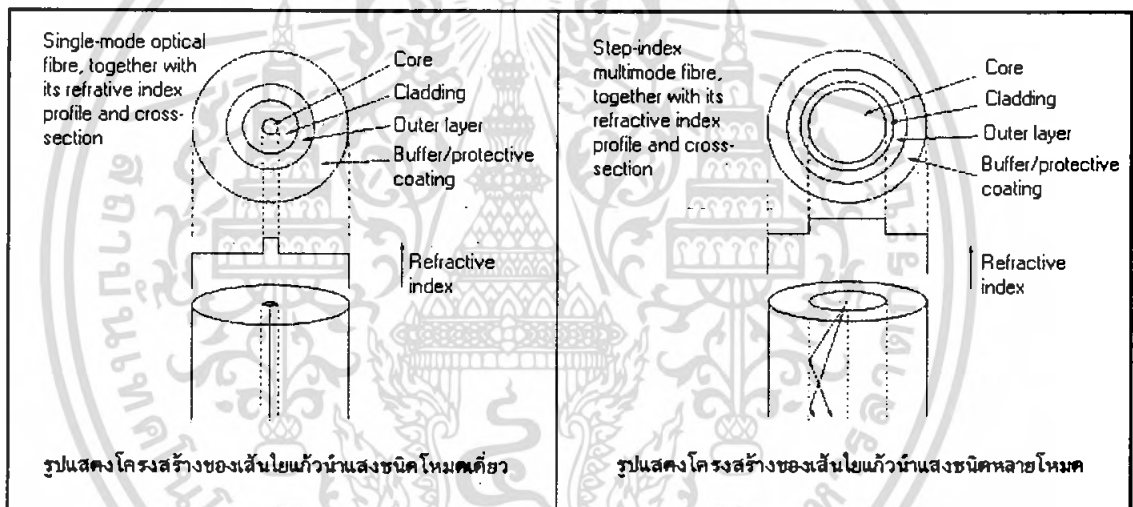
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 เส้นใยแก้วนำแสง

เส้นใยแก้วนำแสงหรือไฟเบอร์ออปติก เป็นตัวกลางของสัญญาณแสงชนิดหนึ่ง ที่ทำมาจากแก้วซึ่งมีความบริสุทธิ์สูงมาก เส้นใยแก้วนำแสงมีลักษณะเป็นเส้นยาวขนาดเล็ก มีขนาดประมาณเส้นผมของมนุษย์เรา เส้นใยแก้วนำแสงที่ดีต้องสามารถนำสัญญาณแสงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ โดยมีการสูญเสียของสัญญาณแสงน้อยมาก เส้นใยแก้วนำแสงสามารถแบ่งตามความสามารถในการนำแสงออกได้เป็น 2 ชนิด คือ เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยว (Singlemode Optical Fibers, SM) และชนิดหลายโหมด (Multimode Optical Fibers, MM)

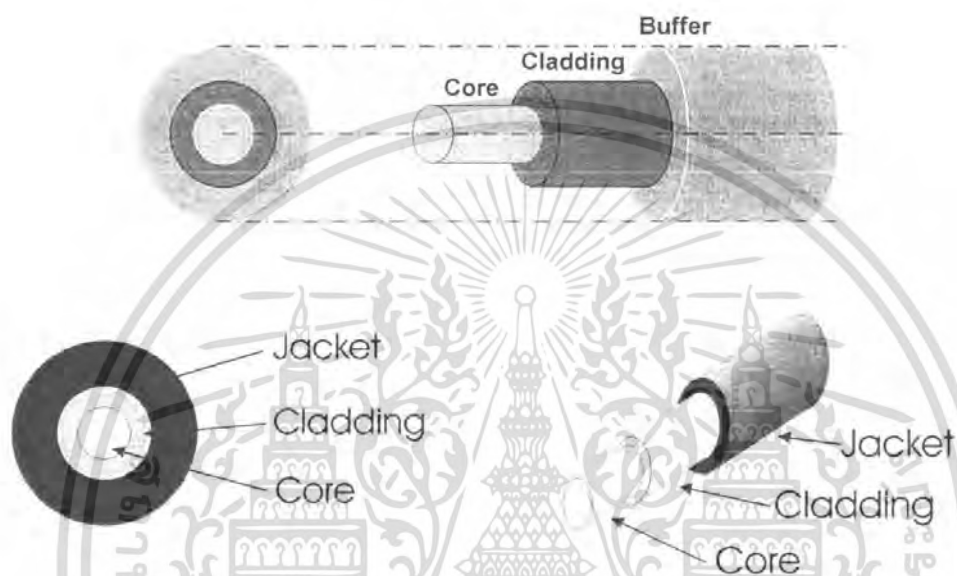


รูปที่ 2.1 แสดง โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสง

เส้นใยแก้วนำแสงคือ เส้นใยขนาดเล็กที่ทำหน้าที่เป็นตัวนำแสง โครงสร้างของเส้นใยแสง ประกอบด้วยส่วนที่แสงเดินทางผ่านเรียกว่า Core และส่วนที่หุ้ม Core เรียกว่า Clad ทั้ง Core และ Clad นี้เป็นสารประเภท Dielectric ใส 2 ชนิดโดยการทำให้ค่าดัชนีหักเหของ Clad มีค่าน้อยกว่าค่าดัชนีหักเหของ Core เล็กน้อยประมาณ 0.2~3% และอาศัยปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมดของแสงตั้งที่กล่าวใน ส่วนของ กฎข้อของแสง ข้างต้นแล้ว สามารถทำให้แสงที่ป้อนเข้าไปใน Core เดินทางไปได้ นอกจากนั้นเนื่องจากกล่าวกันว่าเส้นใยแสงขนาดเล็กมากขนาดเท่าเส้นผมนั้นหมายถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกของ clad ซึ่งมีขนาดประมาณ 0.1 มม. ส่วน Core ที่แสงเดินทางผ่านนั้นมีขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลงไปอีกคือประมาณหลาย μm ถึงหลายสิบล้าน μm เท่านั้น ซึ่งมีค่าหลายเท่าถึงหลายสิบล้านเท่าของความยาวคลื่นแสงที่ใช้งาน ค่าต่างๆ เหล่านี้เป็นค่าที่กำหนดขึ้นจากคุณสมบัติการส่งและคุณสมบัติทางเมคานิกส์ที่ต้องการ เส้นใยแสงนอกจากมีคุณสมบัติการส่งดีเยี่ยมแล้วยังมีลักษณะเด่นอย่างอื่นอีกเช่น ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา



รูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบของเส้นใยแก้วนำแสง

2.2 ข้อดีของการใช้เส้นใยแสง

- รองรับย่านความถี่ได้สูง (High Bandwidth)
- การลดทอนของสัญญาณต่ำ (Low Loss)
- การป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวน (Noise Immunity)
- ขนาดเล็ก (Small Size)
- น้ำหนักเบา (Light Weight)
- ปลอดภัยจากไฟฟ้าลัดวงจร (No Short Circuit, No Spark or Fire Hazard)
- มีความปลอดภัยในการส่งข้อมูล (Transmission Security)
- การปรับตัวเพื่อใช้งานในระบบ (Topology Compatibility)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ข้อเสียของใยแก้วนำแสง

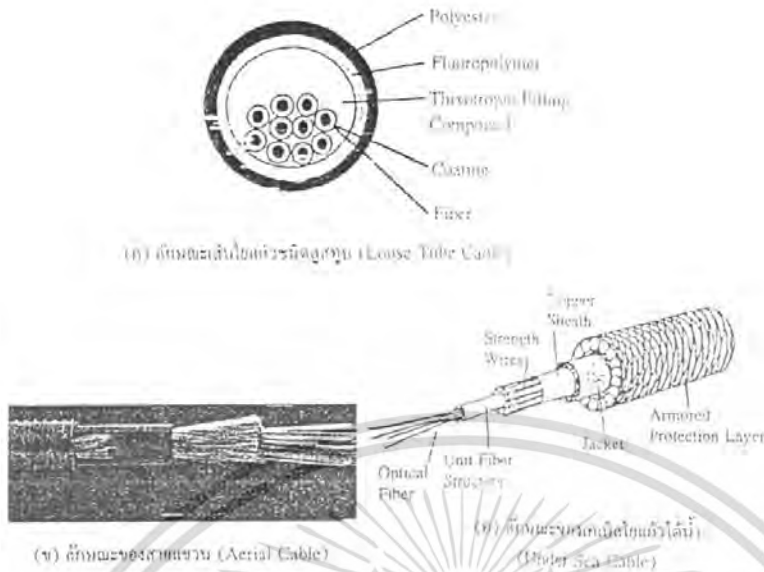
- ราคาแพง (High Cost)
- การติดตั้งต่อสายยุ่งยาก (Difficulty Taps)
- ความไม่เชื่อถือจากผู้ใช้งาน เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีใหม่ (Fear of New Technologies)

การผลิตสร้างเส้นใยแสงขั้นพื้นฐานนั้นเป็นเรื่องที่ยุ่งยาก สามารถอธิบายพอสังเขปคือ หลอดควอตซ์ที่ถูกทำให้บริสุทธิ์แล้วจะถูกเค็มด้วยก๊าซรวม ซิลิกอนเตตระคลอไรด์ , เนอร์มาเนียมเตตระคลอไรด์, ฟอสฟอรัสออกไซด์คลอไรด์ หลอดซึ่งมีความยาวประมาณ 4 ฟุต และเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 นิ้ว จะถูกตั้งที่เครื่องกลึง และก๊าซเหล่านั้นก็จะถูกฉีดเข้าไปในหลอดที่กลึงนั้น หลอดจะถูกหมุนไปอยู่บนเปลวไฟที่อุณหภูมิประมาณ 1,600 F การเผาด้วยก๊าซจะทำให้เกิดตะกอนขึ้นภายในหลอด แล้วความร้อนจะถูกเพิ่มเป็นประมาณ 2,100 F เพื่อให้หลอมเหลว และขุบหลอดให้เหลือประมาณ 13 มิลลิเมตร

แท่งควอตซ์ ซึ่งผ่านกระบวนการ Modified Chemical Vapor Deposition (MCVD) แล้วจะถูกวางในแนวตั้งในหอคึง (Drawing Tower) ซึ่งจะถูกให้ความร้อนต่ออีก (2200 F) และถูกดึงลงด้านล่าง โดยหลักการของการหลอมเหลวควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ และขบวนการการดึง เพื่อจะทำให้เส้นใยแสงคุณภาพสูง มีความยาวประมาณ 6.25 กิโลเมตร และเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 125 ไมโครเมตร ศูนย์กลางซึ่งถูกเรียกว่า แกน หรือ Core (เส้นผ่าศูนย์กลาง 8 ไมโครเมตร) จะถูกล้อมรอบด้วย ควอตซ์ที่บริสุทธิ์น้อยกว่า ซึ่งถูกเรียกว่า ชั้นคลุม หรือ Cladding (ขอบเขตประมาณ 117 ไมโครเมตร ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างขบวนการ MCVD) โดยพื้นฐานแล้ว เส้นใยแสงประกอบด้วย 2 ชั้นใหญ่ ๆ คือ แกนนำแสง (50 ไมโครเมตร) และชั้นปกคลุม ชั้นปกคลุมจะประพาดตัวเป็นตัวกลางของดัชนีหักเห และยอมให้แสงถูกส่งผ่าน แกนเพื่อไปยังอีกปลายอีกด้านหนึ่ง โดยที่มีการลดทอน และความเพี้ยนน้อยมาก ซึ่งแสงจะถูกใส่เข้าไปในเส้นใยแสง และชั้นปกคลุมจะทำให้แสงหักเห หรือสะท้อนในรูปแบบที่ซิกแซกตลอดความยาวของแกนขบวนการนี้สามารถที่จะเป็นไปได้ เพราะว่ามุมตกกระทบและมุมสะท้อนมีค่าเท่ากัน แสงซึ่งถูกใส่เป็นมุมแหลมจะชนกับชั้นปกคลุม และจะสูญเสียในสารที่ทำชั้นปกคลุม เส้นใยแสงซึ่งถูกสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้วจะประกอบด้วย

1. Core-Quartz
2. Cladding-Silica
3. Jacket-Acrylic
4. Buffer Jacket
5. Strength Member
6. Outer Jacket

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบของใยแก้วนำแสง

2.4 คุณสมบัติของเส้นใยแสง

คุณสมบัติของการส่งแสงผ่านเส้นใยแก้วขึ้นกับปัจจัยหลายประการคือ

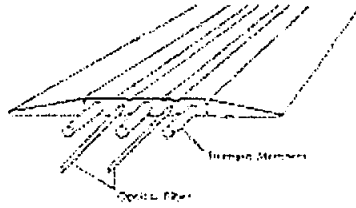
1. องค์ประกอบของเส้นใยแสง
2. จำนวนและชนิดของแสงที่ใส่เข้าไปเส้นใยแสง
3. เส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของเส้นใยแสง

องค์ประกอบของเส้นใยแสงจะเป็นตัวกำหนดดัชนีหักเหของแกนที่เรียกว่าการเจือสาร (Doping) สารอื่นจะถูกใส่เข้าไปเพื่อที่จะให้เปลี่ยนดัชนีหักเห ในเส้นใยแสงเดียว ซึ่งมีดัชนีของแกน n_1 และดัชนีของผิวหน้า (ชั้นปกคลุม) n_2 (โดยทั่วไป $n_1 = 1.48$ และ $n_2 = 1.46$)



รูปที่ 2.4 แสดงเส้นใยเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงการประกอบของเส้นใยแก้วในสำนักงาน

คุณสมบัติหนึ่งของเส้นใยแสง คือ รูปแบบของการทำงาน (Mode of Operation) คำว่ารูปแบบในที่นี้หมายถึงการอธิบายการกระจายพลังงานผ่านตัวกลางโดยใช้คณิตศาสตร์จำนวนรูปแบบของเส้นใยแสงเดี่ยว สามารถมีค่าต่ำ ถึง 1 หรือ มีค่าสูงได้ถึง 100,000 นั่นคือ เส้นใยแสงหนึ่ง ๆ สามารถมีทางเดินสำหรับรังสี 1 รังสี หรือแสงรังสีจากคุณสมบัตินี้จึงเป็นที่มาของรูปแบบเดี่ยว (Single mode) และหลายรูปแบบ (Multimode) Refractive Index Profile เป็นความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีทั้งหลาย ซึ่งมีอยู่ในแกนและชั้นปกคลุมของเส้นใย ความสัมพันธ์นี้สามารถกล่าวได้ง่าย ๆ คือ "แสงจะมีการเปลี่ยนแปลงความเร็ว เมื่อมันผ่านจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง" จากความสัมพันธ์นี้สามารถแบ่งออกได้ 2 ดัชนีคือ

1. ดรรชนีขั้น (Step Index)
2. ดรรชนีราบ (Graded index)

ดรรชนีขั้นเป็นดรรชนีที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดจากแกนไปชั้นปกคลุม เช่น แกนซึ่งมีดรรชนีคงที่ (1.48) และชั้นปกคลุมซึ่งมีดรรชนีคงที่ (1.48) ค่านี้จะลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งมันมาถึงดรรชนีของชั้นปกคลุม นั่นคือ โกลัศิวหน้าจากส่วนต่าง ๆ เหล่านี้สามารถแบ่งเส้นใยแสง 3 แบบคือ

1. เส้นใยแสงดรรชนีขั้นหลายรูปแบบ (Multimode Step-Index Fiber)
2. เส้นใยแสงดรรชนีราบหลายรูปแบบ (Multimode Graded-Index Fiber)
3. เส้นใยแสงดรรชนีขั้นรูปแบบเดี่ยว (Multimode Step-Index Fiber)

เส้นใยแสงดรรชนีขั้นหลายรูปแบบมีแกน ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 100-970 ไมโครเมตร ด้วยเหตุที่แกนมีเส้นผ่าศูนย์กลางที่ใหญ่จึงมีเส้นทางสำหรับแสงผ่านได้หลายเส้นทาง (Multimode) เพราะฉะนั้น รังสีแสงที่เคลื่อนที่ เป็นเส้นตรงจึงมาถึงปลายก่อนรังสีอื่น ๆ ซึ่งเคลื่อนที่แบบซิกแซก ความแตกต่างกันในเรื่องความยาวของเวลานั้นทำให้ได้แสงมากมาย ที่ทางออกซึ่งเรียกว่า การกระเจิง (Modal Dispersion) นี้เป็นแบบหนึ่งของความเพี้ยนของสัญญาณซึ่งเป็นตัวจำกัดแบนด์

2.5 ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง

แบ่งตามชนิดของสาร Dielectric ที่ใช้

- Silica glass optic fiber -> SiO₂ Dopant -> Ge, B, F
นิยมใช้ในในข่ายการสื่อสารโทรคมนาคม เนื่องจากการลดทอนต่ำ คุณสมบัติในการส่งคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง
- Multi component glass optic fiber -> Soda Calcium, แก้ว, แก้วผสม Boron และ Silica ผสม
- Plastic optic fiber -> Silicon Resin, Acryl Resin
นิยมใช้ในการเดินสายเพื่อสื่อสารในระยะสั้นๆ ใช้งานง่าย ต่อเชื่อมง่าย หักยาก

แบ่งตามจำนวน Propagation Mode

- Single Mode Optic Fiber (SM Fiber)
เส้นผ่านศูนย์กลาง Core ~ 5-10 ไมครอน
- Multi Mode Optic Fiber (MM Fiber)
เส้นผ่านศูนย์กลาง Core ~ 50 ไมครอน

Multimode (MM)

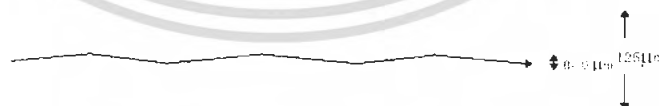
Step Index (SI)



Graded Index (GI)



Singlemode (SM)



รูปที่ 2.6 แสดงเส้นใยแก้วนำแสงแบบ Multi mode และ Single mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบ่งตามลักษณะของดัชนีหักเห

- Step Index Optic Fiber (SI Fiber)
- Graded Index Fiber (GI Fiber)

แบ่งตามลักษณะการใช้งาน

- สายเคเบิลเดินในท่อหรือเดินลอย (Ducted cable or Lash aerial)



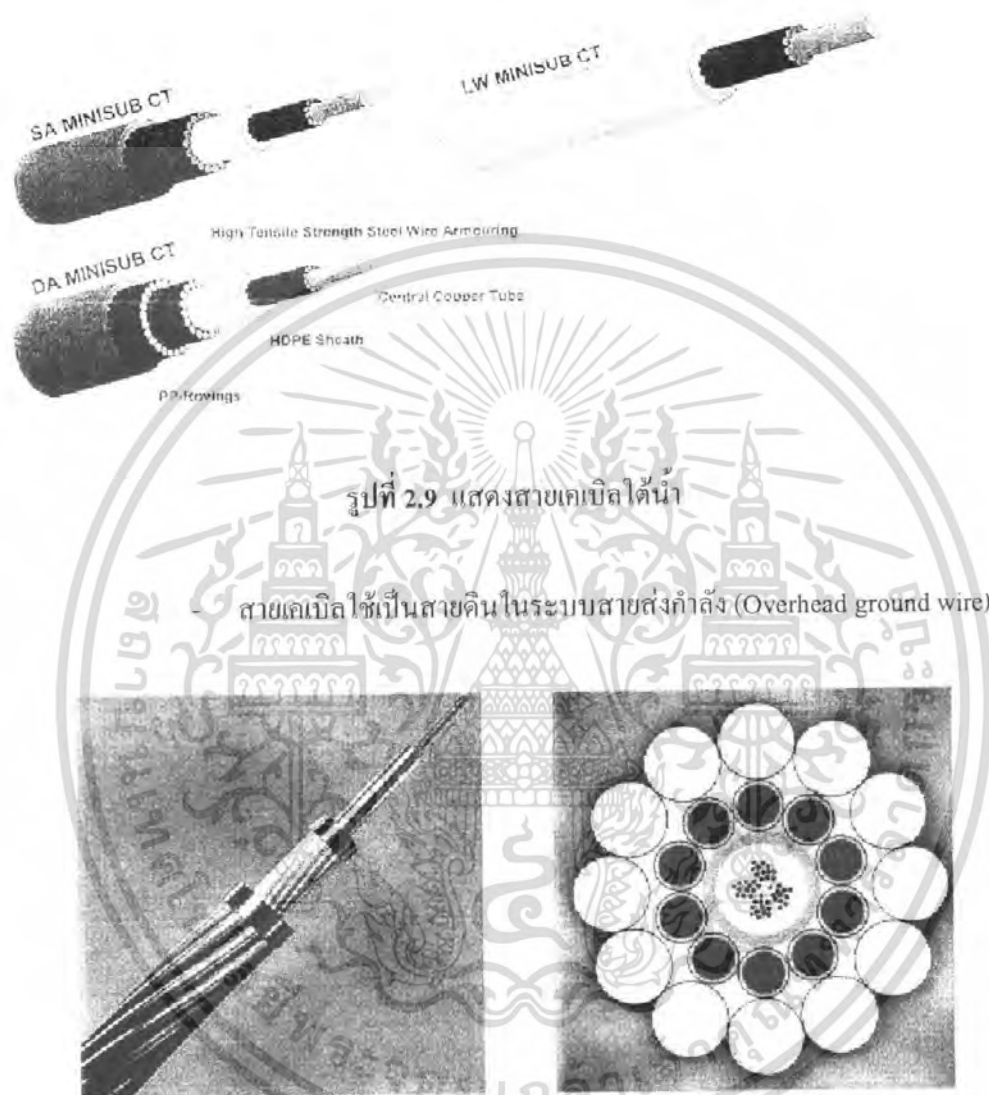
รูปที่ 2.7 แสดงส่วนประกอบของสายเคเบิลเดินในท่อ

สายเคเบิลฝังดินโดยตรง (Direct buried)

รูปที่ 2.8 แสดงส่วนประกอบของสายเคเบิลฝังดินโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

– สายเคเบิลใต้น้ำ (Submarine)



รูปที่ 2.9 แสดงสายเคเบิลใต้น้ำ

– สายเคเบิลใช้เป็นสายดินในระบบสายส่งกำลัง (Overhead ground wire)

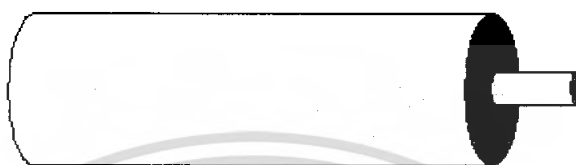
รูปที่ 2.10 แสดงสายเคเบิลที่ใช้เป็นสายดินในระบบสายส่งกำลัง

2.6 ชนิดของไฟเบอร์

ปัจจุบันนี้เคเบิลไฟเบอร์ทำจากซิลิกาเป็นส่วนใหญ่ ซิลิกาเป็นวัสดุบริสุทธิ์และยืดหยุ่นได้ และเป็นทรัพยากรที่คงจะไม่มีวันหมดไปง่าย ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับทองแดงแล้วไฟเบอร์บางแบบทำจากโพลีเมอร์หรือวัสดุสังเคราะห์อื่น ๆ แต่ก็ใช้งานสำหรับระยะทางสั้นเท่านั้นเพราะมีการลดทอนสูง อันเนื่องมาจากการมีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่จะทำให้ขนาดของแสงที่ปล่อยออกไปมีจำนวนมาก ส่วนประกอบของไฟเบอร์ประกอบด้วย Core , Cladding (ทำหน้าที่เป็นส่วนหุ้มห่อ คือเป็น Insulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแต่ละไฟเบอร์) , และบัฟเฟอร์ (เป็นตัวป้องกันทางกล หรือ Mechanical protection) เคเบิลจะมีการติดฉลากเป็นค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของ Core และ Cladding ตัวอย่างเช่นเคเบิลชนิด Single-mode จะเป็น 9/125 μm ซึ่ง 9 ก็เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางของ Core ส่วน 125 ก็เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางของ Cladding ในส่วนของบัฟเฟอร์ก็จะหุ้มรอบไฟเบอร์ที่มีขนาด 9/125 μm ซึ่งโดยทั่วไปจะมีขนาดประมาณ 250 μm โดยพื้นฐานแล้ว ชนิดของไฟเบอร์มีดังนี้



รูปที่ 2.11 Step index fiber (single-mode)

2.6.1.1 Single-Mode Fiber

Single-Mode Fiber ชนิด Step index fiber ส่วน Core และ Cladding มีดัชนีการหักเหที่ต่างกัน ไฟเบอร์ชนิด Single-mode มีขนาดของ Core เล็กมาก ($< 9 \mu\text{m}$) ลักษณะแบบนี้จะอนุญาตให้เฉพาะการแพร่กระจายแบบ Single mode ผ่านไปได้เท่านั้น ไฟเบอร์แบบนี้จะมีการลดทอนต่ำมากและมีแบนด์วิดท์กว้าง ($> 10 \text{ GHz}\cdot\text{km}$) จึงไม่เกิดการกว้างขึ้นของพัลส์ (Pulse broadening) และไม่เกิด Transit time differences



รูปที่ 2.12 Step index fiber (multimode)

ขนาดที่ใช้งานกันจะเป็น 9/125 μm Fibers ที่ความยาวคลื่น 1300 nm สำหรับ Long distance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1.2 Multimode Fiber

ไฟเบอร์แบบมัลติโหมดมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ ($> 100 \mu\text{m}$) ไฟเบอร์แบบนี้จะยอมให้การแพร่ของแสงแบบ Multiple mode ผ่านไปได้ทำให้มีการลดทอนที่สูงและมีแบนด์วิดท์ที่ต่ำกว่า ($< 100 \text{MHz}\cdot\text{km}$) ส่งผลให้เกิดการกว้างขึ้นของพัลส์และเกิด Transit time differences ซึ่งจะเหมาะสมสำหรับการใช้งานกับระบบ LAN ($> 300 \text{m}$)



รูปที่ 2.13 Graded index fiber (multimode)

2.6.1.3 Graded Index Fiber

ไฟเบอร์แบบ Graded index fiber คำนีการหักเหจะเปลี่ยนแปลงแบบค่อย ๆ เป็นจาก Core ไปยัง Cladding ไฟเบอร์ชนิดนี้จึงมี Transit time differences น้อย และการกว้างขึ้นของพัลส์ (Pulse broadening) น้อย ทำให้มีค่าลดทอนต่ำ แบนด์วิดท์ $< 1 \text{GHz}\cdot\text{km}$ ขนาดที่ใช้กันก็เป็น $50/125 \mu\text{m}$ หรือ $62.5/125 \mu\text{m}$ ใช้สำหรับระยะทางสั้น ๆ ($< 500 \text{m}$)

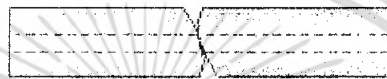
2.6.2 ชนิดคอนเน็กเตอร์

คอนเน็กเตอร์ใช้สำหรับเชื่อมต่อไฟเบอร์เข้าด้วยกัน ยิ่งไปกว่านั้นต้องทำให้มั่นใจได้ว่าการสูญเสียต่ำถึงแม้ว่าจะผ่านกระบวนการเสียบ (Plugging) และการถอด (Unplugging) หลาย ๆ ครั้ง นอกจากนั้นการเชื่อมต่อต้องทำให้เกิดการสะท้อนกลับน้อยมากเท่าที่จะทำได้ และสุดท้าย คอนเน็กเตอร์ควรมีราคาถูกและซื้คคิดได้ง่ายวัสดุหลักที่ใช้ทำคอนเน็กเตอร์ก็ประกอบด้วยเซรามิค, โลหะหนัก, บางส่วนของโลหะผสมและสังเคราะห์คอนเน็กเตอร์มีหลายชนิดด้วยกัน เมื่อพิจารณารูปร่าง ส่วนปลายของไฟเบอร์ จะทำให้คุณสามารถจำแนกความแตกต่างระหว่างรูปทรงกระบอก, การนูนและคอนเน็กเตอร์ที่เชื่อมต่อ(coupling)เลนส์ได้โดยทั่วไปแล้วคอนเน็กเตอร์จะถูกแบ่งประเภทตามวิธีการยึดติดเข้าด้วยกัน



รูปที่ 2.14 Straight physical contact (PC)

ส่วนปลายของไฟเบอร์จะถูกบีบเข้าหากันในคอนเน็กเตอร์ ไม่มีช่องว่างของอากาศที่จะทำให้เกิดการสะท้อนกลับ ค่าของ Return loss เป็น 30-50 dB คอนเน็กเตอร์แบบนี้เป็นแบบที่นิยมใช้กันสำหรับไฟเบอร์แบบ Single mode (เช่น FC/PC, ST, SC/PC, DIN, HMS, E 2000 connectors)



รูปที่ 2.15 Slanted (angled) physical contact (APC)

คอนเน็กเตอร์แบบนี้ส่วนปลายของไฟเบอร์จะถูกทำให้ลาดเอียง เป็นแบบที่ไม่มีช่องว่างของอากาศ (Air gap) เช่นกัน ซึ่งจะให้ค่า Return loss ที่ดีคือ 60-80 dB คอนเน็กเตอร์ประเภทนี้จะถูกใช้สำหรับ High-speed telecom and CATV links (เช่น FC/APC, SC/APC, E 2000-HRL connectors).



รูปที่ 2.16 Straight air gap

ภายในคอนเน็กเตอร์ชนิดนี้จะมีช่องอากาศขนาดเล็กระหว่างปลายไฟเบอร์ทั้งสอง ค่าของ Return loss น้อยกว่า 14 dB และการสะท้อนกลับมีสูงคอนเน็กเตอร์แบบนี้เช่น ST connectors จะถูกใช้สำหรับไฟเบอร์แบบมัลติโหมด

2.7 เส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมด

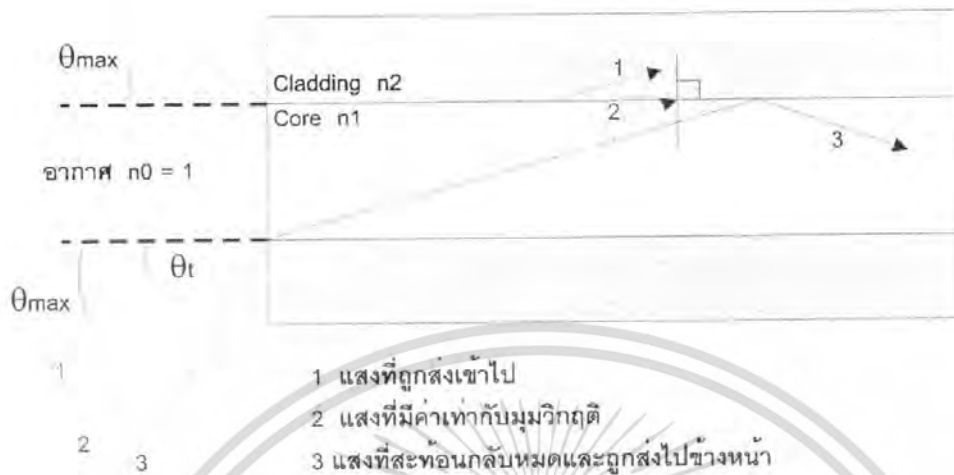
โครงสร้างภายในเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งประกอบด้วยแกนและแคลดคังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น สำหรับเส้นใยแก้วหลายโหมดส่วนใหญ่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของแกนแคลดประมาณ 50 ไมครอน และ 125 ไมครอน เนื่องจากขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของแกนของเส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมดนั้นมีขนาดใหญ่ ดังนั้นแสงที่ตกกระทบที่ปลายอินพุตของเส้นใยแก้วนำแสงจะมีมุมตกกระทบที่แตกต่างกันหลายค่า จากหลักการสะท้อนกลับหมดของแสงที่เกิดขึ้นภายในส่วนของแกนทำให้มีแนวลำแสงเกิดขึ้นหลายโหมด และแสงแต่ละโหมดใช้เวลาเดินทางโดยใช้ระยะเวลาเดินทางที่แตกต่างกันอันเป็นเหตุให้เกิดการแตกกระจายของโหมดแสง (Mode Dispersion) หรือของสัญญาณที่ได้รับได้เนื่องจากความแตกต่างของเวลา จึงได้มีการพัฒนาจะลดการแตกกระจายของสัญญาณซึ่งเกิดขึ้นจากเส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมด ด้วยการปรับปรุงลักษณะดัชนีการหักเหของแสงของแกน

2.8 ลักษณะการเดินทางของแสงภายในเส้นใยแสง

ปัญหาอันดับแรกที่ต้องคำนึงถึงก็คือ ทำอย่างไรจึงจะสามารถป้อนแสงเข้าไปใน CORE ที่มีขนาดเล็กมากของเส้นใยแสงได้ และเมื่อป้อนแสงเข้าไปแล้ว แสงนั้นจะเดินทางอย่างไรใน CORE ซึ่งเราจะทำการศึกษาถึงปัญหาพื้นฐานเหล่านี้

2.9 การป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแสง

เนื่องจากว่าแสงที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงนั้น จะกระจายกว้างออกเนื่องจากปรากฏการณ์การเบี่ยงเบนของแสง ตามที่กล่าวมาแล้ว ในการที่จะป้อนแสงเข้าไปใน CORE ที่มีขนาดเล็กมากนั้นต้องใช้เลนส์ทำการรวมแสง แต่ทว่าแสงที่รวมนั้น ไม่ใช่จะถูกป้อนเข้าไปในเส้นใยแสงได้ทั้งหมด แสงที่มีมุมตกกระทบที่เหมาะสมเท่านั้น จึงจะสามารถเข้าไปในเส้นใยแสงได้ จากรูปแสดงมุมรับแสงของเส้นใยแสงจากรูปจะเห็นว่าที่จุดป้อนแสงของเส้นใยแสงนั้นจะเป็นจุดต่อของตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหของแสงต่างกัน 3 ชนิด



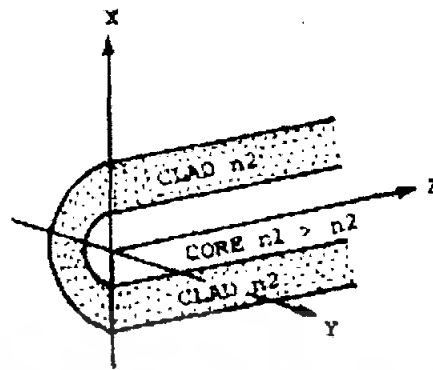
- 1 แสงที่ถูกส่งเข้าไป
- 2 แสงที่มีค่าเท่ากับมุมวิกฤติ
- 3 แสงที่สะท้อนกลับหมดและถูกส่งไปข้างหน้า

รูปที่ 2.17 รูปแสดงมุมรับแสงของเส้นใยแสง

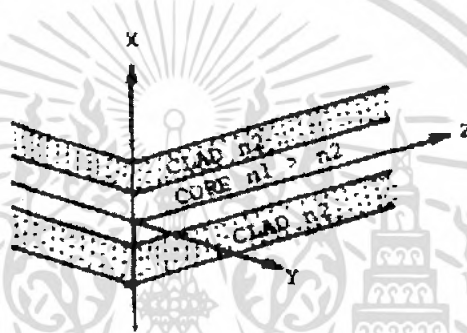
2.10 MODE การเดินทางของแสงภายในเส้นใยแสง (Propagation Mode)

แสงที่ป้อนเข้าไปในเส้นใยแสงด้วยค่าของมุมรับแสงที่อยู่ในช่วงของมุมรับแสงสูงสุดนั้นแสงจะเดินทางในเส้นใยแสงด้วย ลักษณะที่เกิดการสะท้อนกลับไปมาตรงรอยต่อของ CORE กับ CLAD โดยที่แสงสะท้อนกลับไปมา จะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าพร้อมกันด้วย แต่ทว่าจาก INTERFERENCE ของแสงภายใน CORE นั้นมุมสะท้อนกลับที่รอยต่อจะเกิดขึ้นได้ จำเป็นต้องมีเงื่อนไขที่เหมาะสม เกี่ยวกับเงื่อนไขที่เหมาะสมนี้จะได้อีกกล่าวในหัวข้อต่อไปนี้ จะใช้เส้นใยแสงที่มีรูปร่างเป็นแผ่นแบนดังจะแสดงในรูป (b) แทนลักษณะเส้นใยแสงที่มีรูปร่างกลมดังรูป (a) และอีกอย่างหนึ่งเพื่อให้การอธิบายเกี่ยวกับ สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของแสงง่ายขึ้นจะพิจารณาเฉพาะสนามไฟฟ้าเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) ท่อนำคลื่นแบบกลม (n_1, n_2 เป็นดัชนีการหักเห)



(b) ท่อนำคลื่นแบบแผ่นแบบ (n_1, n_2 เป็นดัชนีการหักเห)

รูปที่ 2.18 แสดงเส้นใยแสงแบบกลมและแบบระนาบแบน

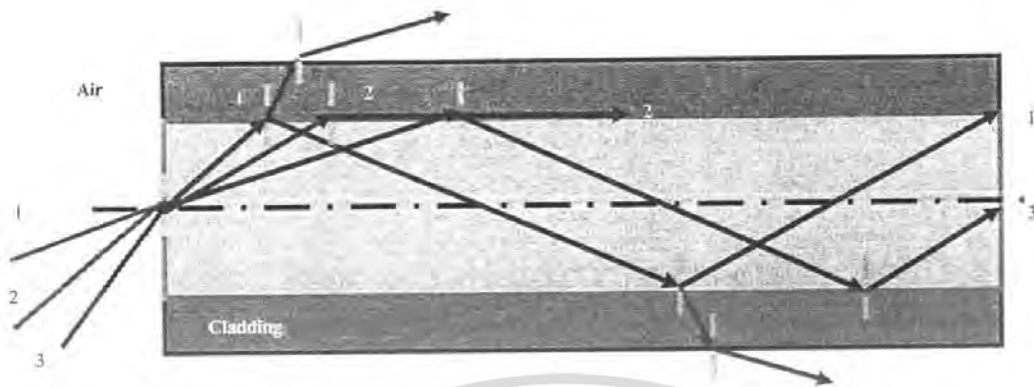
2.11 ลักษณะการเดินทางของแสงภายในเส้นใยแสง

ปัญหาอันดับแรกที่ต้องคำนึงถึงก็คือ ทำอย่างไรจึงจะสามารถป้อนแสงเข้าไปใน Core ที่มีขนาดเล็กมากของเส้นใยแสงได้ และเมื่อป้อนแสงเข้าไปแล้ว แสงนั้นจะเดินทางอย่างไรใน core ซึ่งเราอาจจะทำการศึกษาถึงปัญหาพื้นฐานเหล่านี้

เนื่องจากว่าแสงที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงนั้น จะกระจายกว้างออกเนื่องจากปรากฏการณ์การเบี่ยงเบนของแสงตามที่ได้อธิบายมาแล้วข้างต้น ในการจะป้อนแสงเข้าไปใน Core ที่มีขนาดเล็กมากนั้นต้องใช้เลนส์ทำการรวมแสง แต่ทว่าแสงที่รวมนั้นไม่ใช่จะถูกป้อนเข้าไปในเส้นใยแสงได้ทั้งหมด แสงที่มีมุมตกกระทบที่เหมาะสมเท่านั้นจึงจะสามารถเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงได้ ดังรูป 2.20 แสดงมุมรับแสงของเส้นใยแสง จากรูปจะเห็นว่าที่จุดป้อนแสงของเส้นใยแสงนั้นจะเป็นจุดต่อของตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงต่างกัน 3 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.19 แสดงลักษณะการเดินทางของแสงภายในเส้นใยแก้วนำแสงในกรณีต่างๆกัน

ตัวกลางทั้ง 3 ชนิดนี้คือ อากาศ Core ของเส้นใยแก้วนำแสง และ Clad ของเส้นใยแก้วนำแสง ถ้าให้ค่าดัชนีการหักเหของแสงของตัวกลางทั้ง 3 นี้เป็น n_0 , n_1 และ n_2 ตามลำดับ จะเกิดการหักเห, การสะท้อนกลับของแสงที่รอยต่อของอากาศกับ Core และ Clad ตามกฎที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นในที่นี้ให้มุมรับแสงของเส้นใยแสงที่มีค่ามากที่สุดเป็น θ_{\max} จะพบว่าลำแสงที่มีความเหมาะสมที่สุดนั้นมุมรับแสงตรงรอยต่อของ Core และ Clad นั้นมีค่าเป็นมุมวิกฤต เมื่อพิจารณาตรงรอยต่อของอากาศกับ Core และของ Core กับ Clad นั้นจากกฎของ Snell จะได้ว่า

$$\sin \theta_{\max} = n_1 \sin \theta \quad (2.6)$$

$$\sin(90^\circ - \theta_c) = \cos \theta_c = n_2/n_1 \quad (2.7)$$

ดังนั้นกรณีที่มีมุมรับแสง θ_{\max} มีค่าสูงสุดได้นั้น

$$\sin \theta_{\max} = \sqrt{\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1^2}} \doteq n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (2.8)$$

เรียกว่าอัตราของผลต่างของดัชนีการหักเหของแสง

สำหรับ $\sin \theta_{\max}$ นี้ตามศัพท์เทคนิคเรียกว่า Numerical Aperture หรือ NA หมายถึงขนาดของการเปิดรับแสงผ่าน และใช้เป็นตัวแสดงเงื่อนไขการป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแสง นอกจากนั้นยังถือเป็นตัวประกอบพื้นฐานอันหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสง ระหว่างคั่นกำเนิดแสงกับเส้นใยแสง ด้วย ยกตัวอย่างสมมุติว่าเส้นใยแสงมี $n_1 = 1.475$ และ $n_2 = 1.46$ ในกรณีนี้มีค่า $NA = 0.21$ และขนาดของ core ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสงระหว่างคั่นกำเนิดแสงกับเส้นใยแสง

หากขนาดของ core และ NA มีค่าคงที่แล้วกำหนดปริมาณของแสงที่ป้อนเข้าไปใน core ได้ทันที เส้นใยแสงที่มี core ขนาดใหญ่และมีค่า NA มากจะมีประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสงระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยแสงสูงมาก

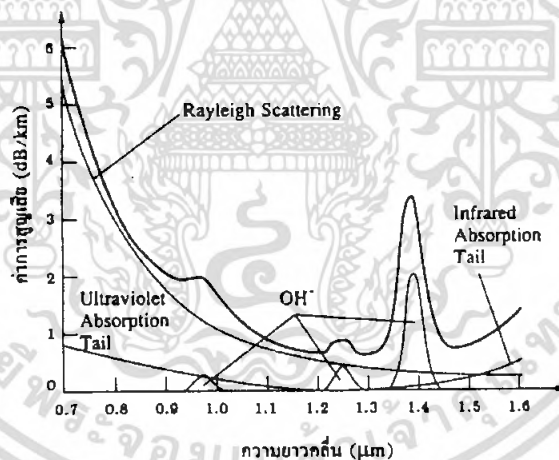
2.12 คุณสมบัติใยแก้วนำแสง

2.12.1 การลดทอน

กำลังของแสงจากแหล่งกำเนิดแสง (P_i) ถูกส่งเข้าไปในใยแก้วนำแสงยาว L กิโลเมตรแล้วกำลังของแสงที่ออกจากเส้นใยแก้วนำแสง (P_o) เมื่อพิจารณาที่ $P_o < P_i$ โดยทั่วไปแล้วการสูญเสียกำลังของแสงในใยแก้วนำแสงจะกำหนดเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของการลดทอน (Attenuation Coefficient α) ซึ่งมีหน่วยเป็นเดซิเบลต่อกิโลเมตร ซึ่งแทนด้วยความสัมพันธ์คือ

$$\alpha L = -10 \log \frac{P_o}{P_i} \quad (2.9)$$

เมื่อการลดทอนกำลังของแสงในใยแก้วนำแสงนั้นมีผลมาจากการดูดกลืนของในส่วนของแกนหรือเคลือบ การสะท้อนของรังสีของแสง และการโค้งงอของใยแก้วนำแสง



รูปที่ 2.20 แสดงการลดทอนของแสงในใยแก้วนำแสงสัมพันธ์กับความยาวคลื่น

1. การดูดกลืนของวัสดุ

พิจารณาการดูดกลืนในแก้วซิลิกาที่บริสุทธิ์ จากรูปข้างต้นรูปที่ 2.21 จะเห็นว่าแก้วซิลิกาที่บริสุทธิ์จะดูดกลืนแสงน้อย และจะเห็นได้ว่าอยู่ในช่วงของความยาวคลื่นระหว่าง 0.8 ถึง 1.6 ไมครอน จึงเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ในช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวถูกเลือกเพื่อใช้งานทางด้านการสื่อสาร การดูดกลืนแบบนี้จะมีค่ามากบริเวณความยาวคลื่นในช่วงของอัลตราไวโอเล็ต (UV) และอินฟราเรด (IR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การดูดกลืนจากภายนอก

การลดทอนของแสงที่เกิดจากการดูดกลืนแสงนี้เกิดจากการที่สารที่ใช้ผลิตเส้นใยแก้วนำแสง หรือแก้วนั้นมีส่วนอื่นเจือปนอยู่ทำให้เกิดการดูดกลืนของแสงขึ้น โดยทั่วไปแล้วจะมีการดูดแสงอันเนื่องมาจากแก้วและสารเจือปน ตัวอย่างเช่น กรณีที่มีสารเจือปนอยู่ 1 ในล้านส่วนก็จะทำให้เกิดการดูดกลืนแสงที่มีค่าดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การสูญเสียจากการดูดกลืนของสารที่สารและความยาวคลื่นต่างๆ

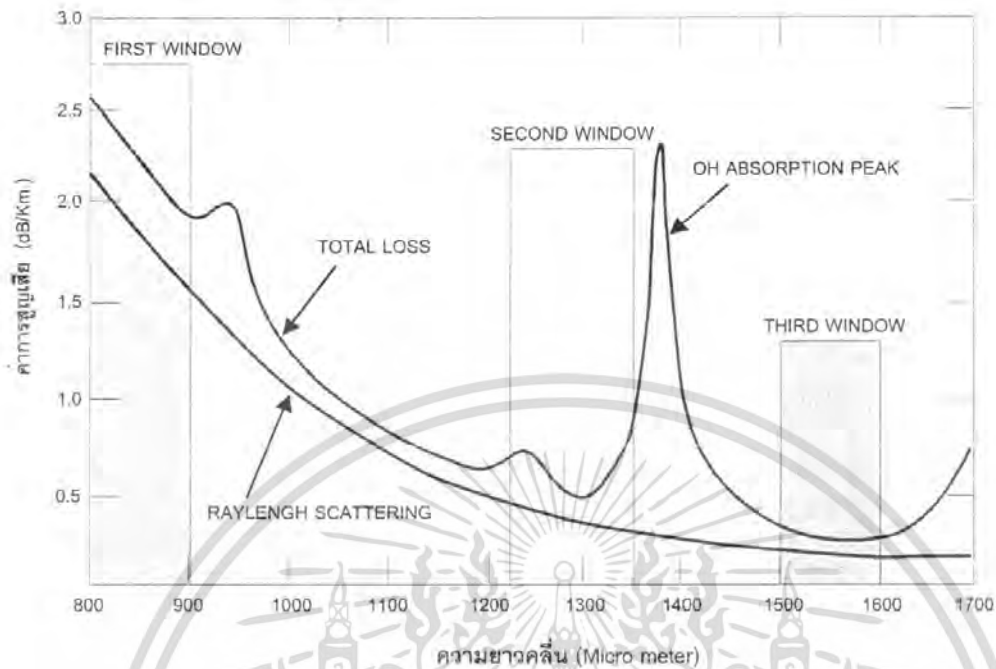
สารเจือปน	ความยาวคลื่น (nm)	ค่าการสูญเสีย (dB/km)
Cr ³⁺	625	1.6
C ²⁺	685	0.1
Cu ²⁺	850	1.1
Fe ²⁺	1100	0.68
Fe ³⁺	400	0.15
Ni ²⁺	650	0.1
Mn ³⁺	460	0.2

เทคนิคการผลิตใยแก้วนำแสงสมัยใหม่นั้นสามารถลดอิมพurityของสารเจือปนพวกนี้ได้จนถึงระดับที่ไม่มีผลต่อการดูดกลืนได้ อย่างไรก็ตามอิมพurityตัวหนึ่งที่ไม่สามารถขจัดได้ก็คือ ไฮดรอกซิลซึ่งแสดงในรูป 2.22 จุดยอดของการสั่นพื้นฐานของอิมพurityไฮดรอกซิล จะเกิดที่ค่าความยาวคลื่นประมาณ 2.27 ไมครอน และพื้นฐานการสั่นที่ 4.2 ไมครอน ซึ่งการสั่นพื้นฐานนี้จะทำให้เกิดโอเวอร์โทน (Overtone) ที่ฮาร์โมนิกต่างๆ ดังนี้ 1.38, 0.95 และ 0.72 ไมครอน และเมื่อรวมระหว่างการสั่นพื้นฐานและโอเวอร์โทนจะได้จุดยอดที่ 1.24, 1.13 และ 0.88 ไมครอนตามลำดับ

3. การสะท้อนเรย์ลี

การดูดกลืนของใยแก้วนำแสงที่มีความยาวคลื่นสั้นซึ่งขึ้นอยู่กับ การสะท้อนของแสงที่เกิดจากใยแก้วนำแสงมีค่าดัชนีหักเหที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน โดยค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนชนิดเรย์ลี (Rayleigh) จะเท่ากับ $1/\lambda^4$ ของค่าสูญเสียของกำลังแสงที่เกิดจากการสะท้อนเรย์ลีนั้นดังแสดงในรูปที่ 2.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 แสดงกราฟค่าการสูญเสียกับความยาวคลื่น

4. การสูญเสียจากการโค้งงอ

การสูญเสียจากการโค้งงอ (Bending Loss) แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ การโค้งงอชนิดมหภาค หรือ แมโครเบนด์ (Macro bend) ที่มีรัศมีส่วนโค้งมากกว่า 10 มิลลิเมตร และการโค้งงอชนิดจุลภาค หรือ ไมโครเบนด์ (Micro bend) ที่มีรัศมีส่วนโค้งน้อยกว่า 10 มิลลิเมตร โดยการโค้งงอแบบแมโครเบนด์เกิดขึ้นเมื่อเส้นใยแก้วม้วนอยู่รอบหลอดม้วน เนื่องมาจากการถูกโค้งงอตามมุมต่างๆ การเกิดการสูญเสียเนื่องจากการโค้งงอแบบนี้รังสีของแสงที่เคลื่อนที่ในเส้นใยแก้วตรงบริเวณที่โค้งงอ ซึ่งทำให้แสงตกกระทบตรงรอยต่อระหว่างแกนและเคลด ที่มีค่าน้อยกว่ามุมวิกฤตจึงทำให้รังสีของแสงกระจายออกไปนอกเส้นใยแก้วดังแสดงในรูปที่ 2.22

พิจารณาการสูญเสียจากไมโครเบนด์

$$L_f = N \langle h^2 \rangle \frac{a^4}{D^6 \lambda^3} \left(\frac{E_b}{E_f} \right)^{3/2} \quad (2.10)$$

N คือ จำนวนโค้งของการโค้งงอต่อความยาว

h คือ ส่วนสูงเฉลี่ยของเคเบิลที่โค้งงอ

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางกลางภายนอกของเคเบิลใยแก้วนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- a คือ รัศมีของแกนใยแก้ว
- λ คือ ความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสง
- E_b คือ ค่าอิลาสติกโมดูลัสของใยแก้ว
- E_f คือ ค่าอิลาสติกโมดูลัสของเคเบิล

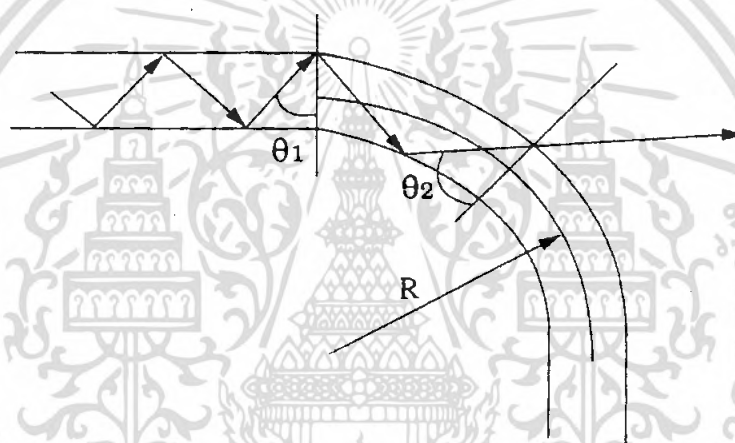
พิจารณาค่าการสูญเสียจากแมคโครแบนด์ แปรผันกับ \exp^{-R/R_c}

R คือ รัศมีของการโค้งงอ

เมื่อ $R_c = a/(NA)^2$

a คือ รัศมีของแกนใยแก้ว

NA คือ นิวเมอริคัลเอปอร์เจอร์



θ_1 และ θ_2 คือมุมตกกระทบของลำแสงภายในใยแก้วนำแสง

รูปที่ 2.22 แสดงทางเดินของแสงในใยแก้วนำแสง

การสูญเสียของกำลังจะมีค่าต่ำสำหรับแสงที่มีความยาวคลื่นต่ำ และถ้าผลต่างของค่าดัชนีหักเห ระหว่างแกนและเคลดมีค่ามากก็จะทำให้การสูญเสียมีค่าสูง เส้นใยแก้วชนิดโหมดเดียวที่ทำงานที่ความยาวคลื่นยาวๆ จะไวต่อการสูญเสียจากการโค้งงอ และเส้นใยแก้วที่ถูกพันอยู่รอบแกนมีรัศมี 10 เซนติเมตร ซึ่งนับว่าสั้นนั้นก็ยังสามารถแก้ไขได้โดยการตัดใยแก้วนำแสงส่วนที่โค้งงอทิ้งไปได้ การโค้งงอชนิดไมโครแบนด์เกิดขึ้นจากความไม่สมบูรณ์ของโครงสร้างทางเรขาคณิตของเส้นใยแก้วนำแสง ในกระบวนการผลิตเช่น รัศมีของแกน จุดต่อระหว่างแกน และ เคลดที่ขรุขระ เป็นต้น ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการผลิตนอกจากนั้นการที่เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยแก้วไม่เท่ากันตลอดทั้งเส้นก็ทำให้มีแสงบางส่วนกระจายออกมาจากใยแก้วนำแสงได้เช่นกัน

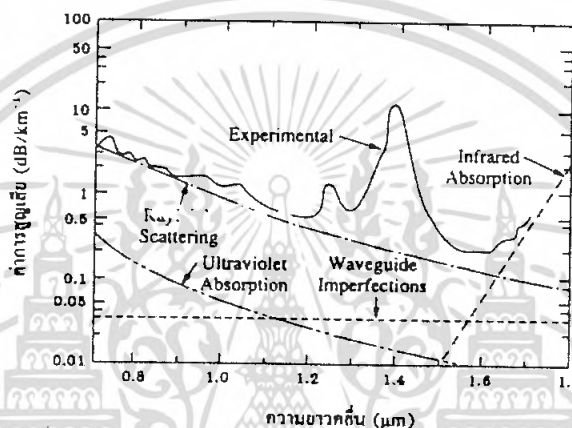
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การลดทอนรวม

พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ของการลดทอนทั้งหมด ตามสมการ

$$\alpha = \alpha_A + \alpha_B + \alpha_C \quad (2.11)$$

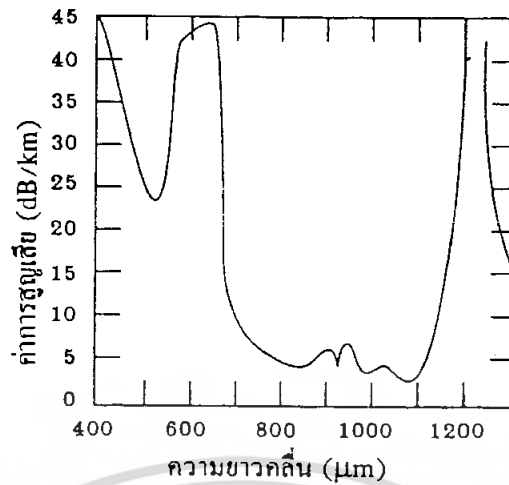
เมื่อ $\alpha_A, \alpha_B, \alpha_C$ คือค่าสัมประสิทธิ์ของการลดทอนภายในใยแก้วนำแสงที่แสงเดินทางผ่านไป ที่ตำแหน่ง A, B และ C รูปที่ 2.9 ข้างล่างแสดงการลดทอนที่วัดได้สำหรับเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยว ซึ่งเห็นว่าการลดทอนต่ำสุดจะอยู่ที่ความยาวคลื่น $\lambda = 1.55$ ไมครอนเพื่อให้สูญเสียต่ำสุด



รูปที่ 2.23 แสดงการสูญเสียของเส้นใยแก้วนำแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ

6. การลดทอนและวัสดุใยแก้ว

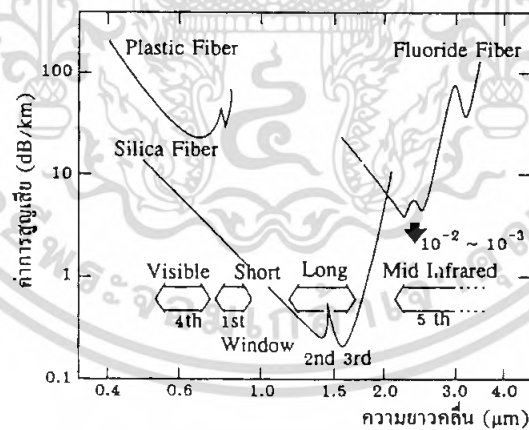
พี ซี เอส เป็นเส้นใยแก้วที่มีการสูญเสียสูงมาก ทั้งนี้เพราะเส้นพลาสติก (Plastic Fiber) จะมีการสูญเสียมากที่สุด แต่เมื่อพิจารณาใยแก้วฟลูออไรด์ จะมีการสูญเสียในช่วงความยาวคลื่นของอินฟราเรดที่มีค่าต่ำกว่าเส้นใยแก้วชนิดอื่นๆ จึงทำให้สามารถใช้ในช่วงความยาวคลื่นมากกว่า 1.6 ไมครอนขณะเดียวกันก็สามารถลดการสะท้อนเรย์ลีที่ความยาวคลื่นยาวๆ ได้ด้วย



รูปที่ 2.24 แสดงการสูญเสียที่ความยาวคลื่นต่างๆของ PCS

7. สเปกตรัมของการลดทอน

สเปกตรัมของการลดทอนในรูปที่ 2.11 แสดงให้เห็นว่าช่วงความยาวคลื่นที่มีค่าการสูญเสียต่ำจะมีอยู่ 3 ช่วง คือ ที่ความยาวคลื่นประมาณ 850, 1300 และ 1500 นาโนเมตร ซึ่งแต่ละความยาวคลื่นจะมีการนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ เช่น 850 นาโนเมตร ก็ใช้งานทางด้าน Local Area Network(LAN) 1300 นาโนเมตร ก็ใช้งานทางด้าน High Speed LAN และ 1500 นาโนเมตร ก็ใช้งานทางด้านสื่อสาร

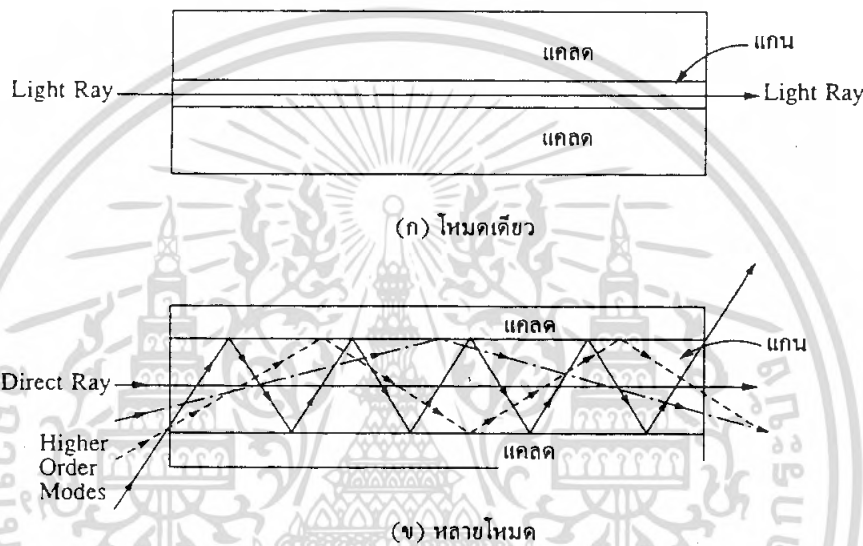


รูปที่ 2.25 แสดงสเปกตรัมของการลดทอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13 การเดินทางของแสงในใยแก้วนำแสง

แสงสามารถแพร่กระจายเข้าไปในใยแก้วได้โดยการสะท้อนหรือการหักเหแสง กล่าวคือแสงจะแพร่กระจายอย่างไรนั้นขึ้นกับโหมดของการแพร่กระจายและรูปแบบของดัชนีหักเห โหมดของการแพร่กระจายหรือโหมด หมายถึง ทางเดิน(Path) ของแสงนั่นเองถ้าทางเดินของแสงมีเพียงทางเดียวที่ทำให้แสงแพร่กระจายเข้าไปในใยแก้วนำแสงได้เรียกโหมดเดียว (Single Mode) แต่ถ้าทางเดินของแสงหลายๆทาง เรียกว่า มัลติโหมด (Multimode) หรือหลายโหมด ดังแสดงในรูป 2.12 แสดงการกระจายของแสงเข้าไปในใยแก้วนำแสงแบบ โหมดเดียวและแบบหลายโหมด



รูปที่ 2.26 แสดงการกระจายของแสงเข้าไปในใยแก้วนำแสง

1. นิวเมอริกัลแอสเปคต

รูปที่ 2.13 แสดงรูปตัดขวางของใยแก้วนำแสงชนิดดัชนีหักเหแบบขั้นบันไดที่ใช้ในการหา นิวเมอริกัลแอสเปคต (NA) จะเห็นว่ารูปกรวยของรังสีของแสงที่รับโดยใยแก้วนำแสงจะหาได้จากความแตกต่างของดัชนีหักเหของแกนและแคลด ส่วนของความแตกต่างของดัชนีหักเหนี้นิยามโดย

$$\Delta = (n_{core} - n_{cl}) / n_{core} \tag{2.12}$$

จากนิยามของมุมวิกฤตนั้นสามารถจะหาขนาดของรูปกรวยของแสงที่จะรับโดยใยแก้วนำแสง ดูรูปที่ 2.13 รังสีตกกระทบที่รอยต่อของแกนและแคลดที่มุมวิกฤต ถ้ามุมของกรวยเป็น θ_i จากกฎของ Snell จะได้

$$n_i \sin \theta_i = n_{core} \sin \theta_c = n_{core} \sin(90^\circ - \theta_c)$$

$$= n_{core} \cos \theta_c = n_{core} (1 - \sin^2 \theta_c)^{\frac{1}{2}} \quad (2.13)$$

$$\sin \theta_c = n_{cl} / n_{core}$$

ดังนั้น $n_i \sin \theta_i = \sqrt{n_{core}^2 - n_{cl}^2}$ นิวเมอริคัลอเปอร์เจอร์ คือ การวัดว่าระบบของแสงว่าจะรับแสงได้มากน้อยเพียงใด ระบบของแสงอาจจะเป็นใยแก้วนำแสงหรือออปเจกทีฟเลนส์ โดยสรุปได้ว่า NA คือ ผลคูณของค่าดัชนีหักเหของตัวกลางที่แสงตกกระทบกับค่า \sin ของมุม θ_i ที่มากที่สุดคือ

$$NA = n_i \sin \theta_{max} \quad (2.14)$$

ส่วนมากแสงที่ตกกระทบจะมาจากอากาศดังนั้น $n_i=1$ ในกรณีนี้นิวเมอริคัลอเปอร์เจอร์ของใยแก้วนำแสงชนิดสเตปอินเด็กซ์ คือ

$$NA = \sqrt{n_{core}^2 - n_{cl}^2} \quad (2.15)$$

เมื่อ $\lambda \ll 1$

$$\begin{aligned} NA &= \sqrt{(n_{core} - n_{cl})(n_{core} + n_{cl})} \\ &= \sqrt{(2n_{core}\Delta)(n_{core})} \\ &= n_{core} \sqrt{2\Delta} \end{aligned} \quad (2.16)$$

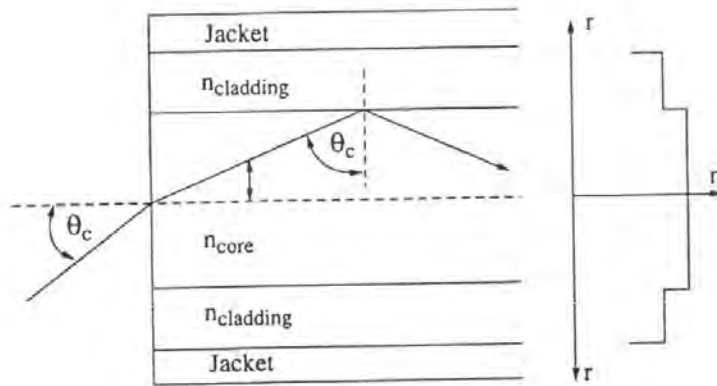
เงื่อนไขที่ $\lambda \ll 1$ เรียกว่า วิกส์ไกด์ (Weakly-guide)

2. ค่าผลต่างดัชนีหักเหจำเพาะ (Δ)

สำหรับค่าผลต่างดัชนีหักเหจำเพาะนั้นเป็นพารามิเตอร์ที่แสดงขนาดของความแตกต่างของดัชนีหักเหแสงในส่วนแกน และแกลดโดยกำหนดค่าผลต่างดัชนีหักเหจำเพาะดังสมการ

$$\Delta = \frac{(n_{core} - n_{cl})}{n_{core}} \quad (2.17)$$

โดยทั่วไปค่าผลต่างดัชนีหักเหจำเพาะจะมีค่าที่น้อยกว่า 1 มาก จึงมักจะแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยค่าผลต่างดัชนีหักเหหากมีค่ามากจะทำให้ง่ายต่อการป้อนแสงเข้าไปในแกน



(ก)

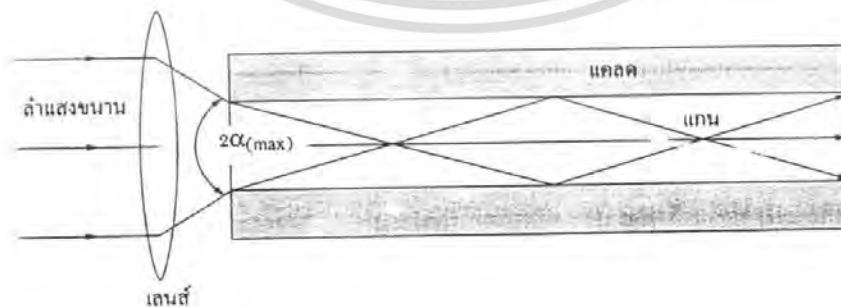


(ข)

รูปที่ 2.27 โค้ดแกรมของการหา NA ของใยแก้วชนิดดัชนีหักเหขั้นบันได

3. มุมรับแสง

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าการที่แสงสามารถเดินทางเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงได้นั้น มุมตกกระทบที่ปลายของเส้นใยแก้วนำแสงจะต้องมีค่าที่น้อยกว่า λ_{max} พิจารณารูปที่ 2.29 ดังนั้น มุมรับแสงที่เหมาะสมจึงหมายถึงมุมที่มีค่าเป็น 2 เท่าของ λ_{max}



รูปที่ 2.28 แสดงมุมรับแสงของเส้นใยแก้วนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นหมายถึงความสัมพันธ์ของผลต่างดัชนีหักเหจำเพาะ นิวเมอริกัลสเปอร์เจอร์ และมุมรับแสงอธิบายจากตัวอย่างของเส้นใยแก้วนำแสงดังนี้คือ

$$\begin{aligned}n_{\text{core}} &= 1.53, & n_{\text{cl}} &= 1.50, & n_0 &= 1 \\ \theta_c &= \sin^{-1}(1.50/1.53) & &= 78.6^\circ \\ \Delta &= (1.53-1.50)/1.53 & &= 0.0196 & &= 1.96\% \\ \text{NA} &= 1.53(2 \times 0.0196)^{1/2} & &= 0.303 \\ \alpha_{(\text{max})} &= \sin^{-1} 0.303/1 & &= 17.6^\circ\end{aligned}$$

2.14 ระบบสื่อสารใยแก้วนำแสง

ระบบอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงนั้นทำได้โดยใช้อุปกรณ์ทางแสงได้แก่ แหล่งกำเนิดแสง (Light Source) ซึ่งปกติใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิด ไดโอดเปล่งแสง (LED) หรือ ไดโอดเลเซอร์ (LD) ส่วนอุปกรณ์ที่เปลี่ยนแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้านั้นทำได้โดยใช้ไดโอดแสง (Photodiode) หรือทรานซิสเตอร์แสง (Photo Transistor) นอกจากนี้กรรมของสายส่งยาวมากอาจต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ทวนสัญญาณ (Repeater) ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้วเปลี่ยนกลับมาเป็นแสงอีกครั้งและส่งกลับไปในเส้นใยแก้วนำแสง



รูปที่ 2.29 แสดงส่วนประกอบของการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง

2.15 การผสมและแยกสัญญาณ

การผสมสัญญาณ (Modulation) ของการสื่อสารนั้น หมายถึง การทำให้ความถี่ของการสั่นในการส่งเปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณข่าวสาร สำหรับการสื่อสารใยแก้วนำแสงนั้นความถี่ (หรือความยาวคลื่น) ของแสงที่ปล่อยออกมาจากอุปกรณ์กำเนิดแสงที่ไม่มีค่าคงที่ ดังนั้นความหมายของการผสมสัญญาณจึงแตกต่างกับการสื่อสารทางไฟฟ้า ถ้าหากสามารถทำให้แสงเป็นแสงอาพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Coherence Light) ที่สมบูรณนั้นคือความถี่คงที่ และสามารถเปลี่ยนความถี่แสงให้อยู่ในย่านความถี่ไมโครเวฟได้ก็ทำให้การสื่อสารใยแก้วนำแสงมีการผสมคลื่นต่างๆ เหมือนกับการสื่อสารทางไฟฟ้า ดังนั้นจึงกล่าวไว้ว่าการผสมคลื่นแสงนั้นเป็นเพียงการผสมความเข้มแสง (Intensity Modulation) เท่านั้น **ดูรูป ประกอบ**



รูป 2.30 แสดงการผสมสัญญาณและการส่ง

ปกติสัญญาณแสงทางด้านรับของระบบสื่อสารนั้นสัญญาณจะอ่อนกำลังลง และบางครั้งอาจจะเกิดความผิดพลาดเนื่องจากการส่งผ่านไปใยแก้วนำแสง เมื่ออุปกรณ์รับแสงทำการแปลงสัญญาณแสงให้ได้สัญญาณไฟฟ้าที่ออกมาเป็นรูปของสัญญาณเค็มที่สัญญาณพื้นฐาน (Baseband) และเป็นไปตามรูปร่างของกรอบคลื่น (Envelope) ของสัญญาณที่เกิดจากการรวมกับคลื่นพาห้ทางแสง สัญญาณนี้จะผ่านขึ้นตอนทางไฟฟ้าเพื่อทำการขยายสัญญาณ และได้สัญญาณที่เครื่องรับปลายทางเหมือนกับต้นกำเนิดข่าวสารทุกประการ ในอนาคตเราสามารถทำให้แสงที่เป็นแสงอาพันธ์อย่างสมบูรณ์ก็จะสามารถใช้กับวิธีการผสมที่ทำให้ความถี่ของต้นกำเนิดแสงเปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณนั้น คือใช้วิธีผสมคลื่นที่มีประสิทธิภาพดีได้และทำนองเดียวกันกับทางด้านรับแสงก็สามารใช้แยกสัญญาณที่เรียกว่าเทคนิคทางด้านความถี่ (Heterodyne Detection) เป็นส่วนการรับสัญญาณปลายทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.16 การส่งสัญญาณแบบดิจิทัลและอนาล็อก

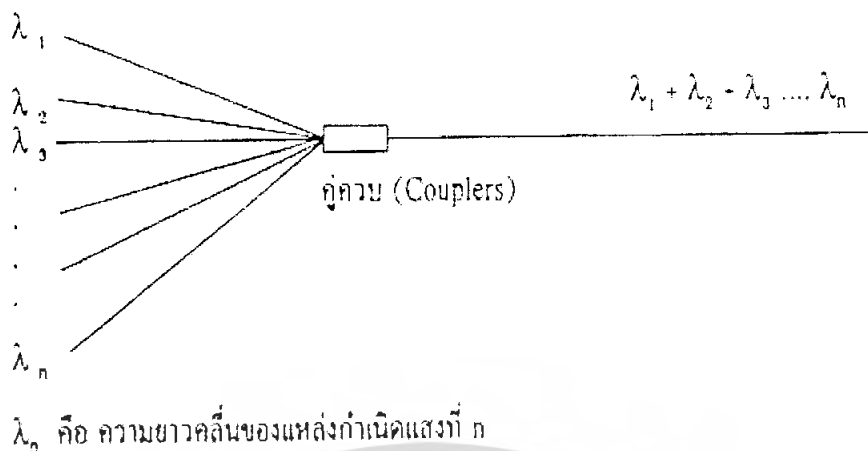
การส่งสัญญาณ โดยทั่วไปนั้นมีสองแบบ คือ การส่งสัญญาณแบบดิจิทัล (Digital) และอนาล็อก (Analog) การสื่อสารด้วยแสงนั้นมีการส่งสัญญาณอยู่สองชนิดนี้เช่นกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับสัญญาณไฟฟ้าที่มามีความสัมพันธ์ว่าเป็นสัญญาณดิจิทัลหรืออนาล็อกเท่านั้น การส่งสัญญาณแบบดิจิทัลโดยทั่วไปแล้วจะนำมาเปลี่ยนรหัส (Code) ที่เหมาะแก่การส่งก่อนแล้วจึงส่งออกไป เช่นเดียวกับการส่งสัญญาณแบบอนาล็อก นั่นคือก่อนที่จะทำการเปลี่ยนแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณแสงนั้น จะทำการผสมสัญญาณขึ้นแรกกับแหล่งกำเนิดแสงก่อน ทั้งนี้ก็เพราะว่าแสงเอาต์พุตของอุปกรณ์กำเนิดแสงนั้น ไม่เป็นสัดส่วนกับระดับสัญญาณไฟฟ้าอินพุตเสมอไป ซึ่งทำให้เกิดความยุ่งยากในการรักษาคุณสมบัติของการส่งเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงต้องทำการผสมสัญญาณเบื้องต้นก่อน การเลือกระบบการส่งสัญญาณทั้งสองชนิดนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการทำงาน การเลือกระบบการส่งแบบอนาล็อกมักใช้กับการส่งสัญญาณภาพในข่าย (Networks) หรือเคเบิลทีวี แต่ในอนาคตการส่งแบบดิจิทัลที่มีคุณสมบัติดีกว่าจะเข้ามามีบทบาทสำคัญในทุกๆ ด้าน

2.17 การทำมัลติเพลกซ์

การสื่อสารนั้นถ้าสามารถส่งข่าวสารได้มากกว่าเท่าใดก็จะเป็นการประหยัด ระบบสื่อสารใยแก้วนำแสงก็เช่นเดียวกันต้องมีการทำมัลติเพลกซ์ (Multiplex) เหมือนกับระบบสื่อสารในสายที่เป็นโลหะ เช่นกันการมัลติเพลกซ์ทางแสงสามารถแบ่งได้ 4 ประเภทคือ

1. การมัลติเพลกซ์แบบระยะทาง (Space Division Multiplexing) หมายถึง ในสายเคเบิลหนึ่งเส้นจะมีเส้นใยแก้วนำแสงเป็นจำนวนมากซึ่งเป็นวิธีที่ทำให้ส่งสัญญาณได้จำนวนมากกว่าสายเคเบิลหนึ่งเส้น
2. การมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiplexing) เป็นระบบที่ใช้กับการสื่อสารใยแก้วนำแสงที่มีการส่งสัญญาณจำนวนมาก โดยก่อนส่งไปนั้นจะถูกทำการมัลติเพลกซ์ในขั้นตอนของการแปลงเป็นสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าก่อนการส่งสัญญาณ
3. การมัลติเพลกซ์แบบแบ่งเวลา (Time Division Multiplexing) มีหลักการเช่นเดียวกับการมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความถี่ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้สำหรับการส่งสัญญาณแบบดิจิทัล
4. การมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น (Wavelength Division Multiplexing) เป็นวิธีการส่งสัญญาณแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันจำนวนมากใน ใยแก้วนำแสงเส้นหนึ่ง ข้อดีคือสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งไปกับความยาวคลื่นแต่ละความยาวคลื่นไม่ว่าจะเป็นแบบอนาล็อกหรือแบบดิจิทัลสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.31 การมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น

2.18 อุปกรณ์แหล่งกำเนิดแสง

แหล่งกำเนิดแสงที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือ ไดโอดเปล่งแสงชนิดสารกึ่งตัวนำและไดโอดเลเซอร์ เพราะไดโอดเหล่านี้เปล่งแสงที่มีความยาวคลื่นย่าน 0.8-0.9 และ 1.3-1.6 ไมครอน ซึ่งตรงกับย่านที่ใยแก้วนำแสงมีค่าสูญเสียต่ำ และสามารถควบคุมกำลังขาออกได้อย่างรวดเร็ว โดยการปรับค่ากระแสไบแอส (Bias Current) จึงง่ายต่อการผสมสัญญาณ อีกทั้งอายุใช้งานมากกว่าหนึ่งล้านชั่วโมง ความแตกต่างที่สำคัญระหว่าง LED และ LD คือ LD มีมุมการเปล่งแสงที่แคบกว่าแต่มีความกว้างของสเปกตรัมมากกว่า (Spectrum Width) จึงนิยมใช้กับการส่งสัญญาณแบบโคฮีเรนต์ (Coherent Transmission) นอกจากนี้ยังเปล่งแสงเมื่อมีการต่อกระแสขับเคลื่อน (Drive Current) ได้เร็วกว่า แต่เนื่องจาก LD เป็นอุปกรณ์เทอร์ชโฮลด์ (Threshold Device) การเปล่งแสงจึงไม่คงที่และเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแส จึงต้องมีวงจรควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback) เพื่อให้กำลังขาออกของเลเซอร์คงที่

2.19 อุปกรณ์รับแสง

อุปกรณ์รับแสงที่นิยมใช้เป็นประเภทสารกึ่งตัวนำแบ่งออกเป็นพวกใหญ่ๆ ได้ 2 ประเภทตามแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้จากภายนอกคือ

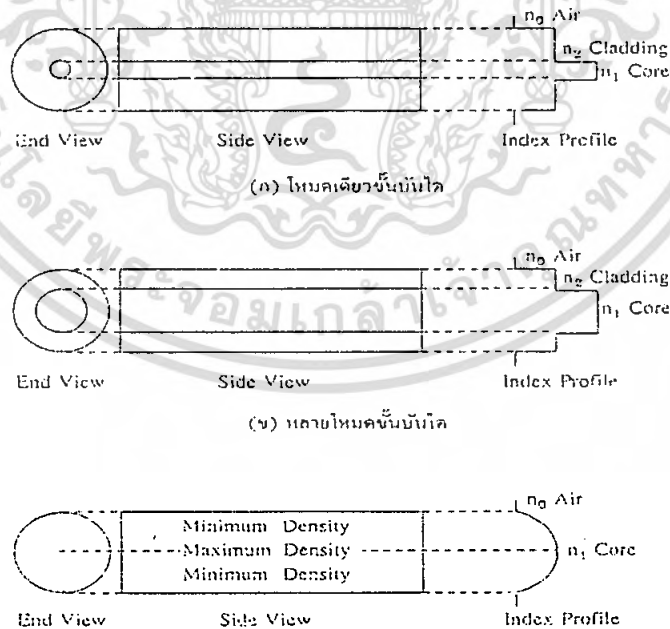
1. โฟโตไดโอด (Photodiode, PD) เป็นพวกที่ได้รับการป้อนแรงดันไฟฟ้าปริมาณน้อย ตัวอย่างเช่น (PIN-PD) เป็นต้น
2. อะวาแลนซ์ไทโอด (Avalanche Photodiode, APD) เป็นพวกที่ได้รับการป้อนปริมาณแรงดันไฟฟ้าปริมาณมาก การเลือกใช้อุปกรณ์รับแสงแบบ PIN หรือ APD นั้น ตามปกติจะขึ้นอยู่กับราคาและความไวของเครื่องรับที่ต้องการ (Receiver Sensitivity) กระบวนการอะวาแลนซ์ใน APD มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทรซัสโฮลด์ซึ่งทำให้มีราคาแพงกว่า PIN เนื่องจาก APD มีการขยายกำลังได้สูงจึงจะทำให้ความไวของเครื่องรับได้ถึงปริมาณ -15 dB ซึ่งมากกว่า ไดโอด PIN นอกจากนี้ยังพิจารณาถึงระดับสัญญาณระดับต่ำสุดที่จะรับได้ด้วย

2.20 อินเดกซ์โปรไฟล์

อินเดกซ์โปรไฟล์ (Index Profile) ของแสงในใยแก้วนำแสงคือกราฟของความสัมพันธ์กับดัชนีหักเหของแกนของเส้นใยแก้วนำแสง โดยที่ดัชนีหักเหถูกเขียนบนแกนนอนและระยะห่างจากแกนของเส้นใยแก้วนำแสงอยู่ในแนวตั้ง อินเดกซ์โปรไฟล์ของใยแก้วทั้งสามชนิด โดยทั่วไปใยแก้วนำแสงจะมีอินเดกซ์โปรไฟล์ 2 ประเภทคือ แบบสเตปและเกรดอินเดกซ์ หรือแบบขั้นบันได และแบบบน โดยที่แบบสเตปอินเดกซ์จะมีดัชนีหักเหของแสงคงที่ตลอดเนื้อสารที่เป็นแกนและเคลด โดยปกติค่าดัชนีหักเหที่แกนจะมีค่ามากกว่าที่เคลด แนวทางเดินของแสงจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงสะท้อนไปมาตรงบริเวณรอยต่อระหว่างแกนและเคลดตามกฎของสเนลล์ ส่วนเส้นใยแก้วนำแสงแบบอินเดกซ์จะมีดัชนีการหักเหของแกนเปลี่ยนแปลงไปตามแนวแกนของใยแก้ว โดยที่ตำแหน่งของศูนย์กลางของใยแก้วจะมีค่าดัชนีหักเหสูงสุดจากนั้นค่าดัชนีหักเหจะค่อยๆ ลดลงไปตามระยะที่ห่างออกจากแนวศูนย์กลาง จนมีค่าเท่ากับดัชนีหักเหของเคลดในตำแหน่งที่แกนต่อกับเคลดพอดี โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสงโดนต่างๆ แบ่งแบ่งออกเป็นประเภทตามโครงสร้างได้ 3 ประเภท คือ โหมดเดียว หลายโหมดสเตปอินเดกซ์ และหลายโหมดเกรดอินเดกซ์



รูป 2.32 แสดงอินเดกซ์โปรไฟล์ของแกนใยแก้วนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.21 การประยุกต์สื่อสารทางแสง

2.21.1 การมัลติเพล็กซ์ทางแสง

จะกล่าวถึงหลักการของการสื่อสารทางแสงและการมัลติเพล็กซ์ทางแสงโดยจะกล่าวถึงข้อดีของการสื่อสารทางแสง ในส่วนของการมัลติเพล็กซ์ทางแสงก็จะกล่าวถึงวิธีในการมัลติเพล็กซ์ทางแสงแบบต่างๆ ที่นำมาใช้ในระบบสื่อสารทางแสง ซึ่งจะกล่าวเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

2.21.2 หลักการสื่อสารทางแสง

ในอดีตมนุษย์ได้ค้นคว้าหาวิธีที่จะทำให้ผู้ที่อยู่ห่างไกลได้รับข่าวสารได้ในรูปแบบต่างๆ เช่น การใช้สัญญาณไฟ สัญญาณควัน หรือเสียงแตรเป็นต้นเพื่อจุดประสงค์ให้ผู้ที่อยู่ห่างไกลสามารถทราบข่าวสารได้จนกระทั่งในปี พ.ศ. 2381 แซลมวล มอส (Samuel F.B. Morse) ได้เสนอทฤษฎีในการสื่อสารทางไฟฟ้าขึ้นจากจุดนี้เองทำให้เกิดการวิจัยเพื่อที่จะทำการส่งข่าวสารให้ได้ระยะไกลยิ่งขึ้น ในปี พ.ศ. 2487 ก็ได้ให้บริการรับส่งทางโทรเลข และต่อมาก็ได้มีการติดตั้งระบบ โทรศัพท์ขึ้นหลังจากนั้นจึงได้มีการค้นพบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ในปี พ.ศ. 2430 โดยเฮิร์ตซ์ (Hertz) จากจุดนี้เองก็ได้มีการพัฒนาระบบสื่อสารขึ้นเป็นอย่างมาก จึงได้มีการนำเอาคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปใช้ในการสื่อสารอย่างกว้างขวาง และทำให้เทคโนโลยีทางการสื่อสารเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นผลทำให้ช่วงสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ถูกนำมาใช้งานมากขึ้นเนื่องจากการสื่อสารข่าวสารในระบบไฟฟ้าจะถูกส่งผ่านช่องสัญญาณสื่อสารของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โยจะฝากข่าวสารไปกับตัวกลางเมื่อถึงปลายทางจะดึงข่าวสารออกมาเพื่อนำไปประมวลผลต่อไป โดยปริมาณข้อมูลที่ส่งผ่านไปในตัวกลางนั้นจะสัมพันธ์กับความถี่ของคลื่นพาห้ที่ใช้งาน ถ้าคลื่นพาห้มีความถี่สูงขึ้นแบนด์วิธของการสื่อสารก็จะสูงตามไปด้วย ทำให้ความจุของสัญญาณมากขึ้น ดังนั้นแนวโน้มในการพัฒนาระบบสื่อสารนี้ก็จะมีการใช้ความถี่สูงขึ้น แต่เนื่องจากปัจจุบันมีความต้องการ ช่องสัญญาณมากขึ้น ซึ่งทำให้ช่องสัญญาณที่มีอยู่ไม่เพียงพอตามความต้องการ จึงทำให้ไปสนพิจารณาช่วงสเปกตรัมของคลื่นแสงทั้งนี้เนื่องจากสเปกตรัมของคลื่นแสงอยู่ในย่านความถี่ประมาณ 10-10 เฮิร์ตซ์ ดังแสดงในรูปที่ 20 คลื่นแสงที่นำไปใช้งานในด้าน โทรศัพท์ข้อมูลและสัญญาณภาพซึ่งทำให้ข่าวสารที่ส่งไปนั้นมีความจุของข่าวสารจำนวนมากเลเซอร์เป็นสิ่งประดิษฐ์หนึ่งที่ได้ถูกนำมาใช้ในการสื่อสาร โดยเลเซอร์นี้ได้ถูกประดิษฐ์ขึ้นในปี พ.ศ. 2503 การส่งสัญญาณด้วยแสงในระยะแรกนั้นจะนำไปใช้ในการสื่อสารระยะทางใกล้ๆและต่อมาจึงได้นำไปใช้กับระยะทางไกลๆ จนถึงระยะทางไกลระหว่างโลกและอวกาศและการส่งสัญญาณระหว่างดาวเทียมเป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.22 มาตรฐานของเคเบิลใยแก้วนำแสง

กะบิตต่อวินาที และเรียกมาตรฐานนี้ว่า Synchronous Transport Module หรือ STM-1 ทั้งนี้ยัง ในปี 2528 Bell core ได้พัฒนามาตรฐานระบบที่มีชื่อว่า SONET (Synchronous Optical Network ทำให้การสื่อสารข้อมูล ในเครือข่ายดิจิทัลที่ใช้เคเบิล ใยแก้วนำแสง เป็นสื่อรับ-ส่งข้อมูล มีความยืดหยุ่น และถูก ต้องนำ เชื่อถือมากยิ่งขึ้นทั้งในด้านของประสิทธิภาพ ของ การสื่อสารข้อมูล ทำให้สามารถลด จำนวนสายเคเบิล ที่เคย มีจำนวนหลาย ๆ สาย ให้เหลือเพียงสายเส้นเดียวได้ โดย ที่ทางคณะกรรมการ ที่ปรึกษาด้านโทรศัพท์และโทรเลข ระหว่างประเทศ (CCITT) ได้ประยุกต์และกำหนดให้ SONET เป็นมาตรฐานสากล แบบหนึ่ง โดยที่มีการส่งผ่านข้อมูลด้วยความเร็ว 155 เมสามารถนำ STM-1 ไปใช้ ร่วมกับอุปกรณ์ ระดับสูง ที่ใช้โครงสร้างการสื่อสาร แบบสองทางด้วย สัญญาณดิจิทัล เพื่อให้ความเร็ว ในการ ส่งข้อมูลสูงขึ้นเป็น 622 เมกะบิต ต่อวินาที (STM-4) และ 2.5 กิกะบิตต่อวินาที (STM-16) ได้ด้วยซึ่งเป็นที่ยอมรับกันทั่วโลกแต่อย่างไรก็ตาม SONET ก็เป็นการกำหนดมาตรฐาน เฉพาะจาก ภาคส่งเท่านั้น ทำให้เกิดความจำเป็นที่ จะต้อง มีการหามาตรการเพื่อกำหนดมาตรฐาน ของอุปกรณ์ที่ เชื่อมต่อกับ เคเบิลใย แก้วในภาครัฐด้วย และท้ายสุดก็ได้มีการกำหนดมาตรฐาน ของความเร็ว ในการ ส่งข้อมูลคอมพิวเตอร์ ผ่านเคเบิลใยแก้ว ที่เรียกว่า FDDI (Fiber Distributed Data Interface) ได้ถูก กำหนดขึ้นมาที่ความเร็ว 100 เมกะบิตต่อวินาที

2.23 ประโยชน์ของใยแก้วนำแสง

1. การลดทอนสัญญาณในเคเบิลใยแก้ว มีค่าต่ำกว่าในสายเคเบิลธรรมดา ทำให้การติดตั้งระบบ เคเบิลใยแก้ว เพื่อการสื่อสารเสียเงินลงทุนต่ำกว่า เพราะในเคเบิล ธรรมดา ต้องมีสถานีทวนสัญญาณทุก ๆ 3-5 กิโลเมตร ส่วนใน กรณีของเคเบิลใย แก้วมีระยะห่าง ได้ถึง 50 กิโลเมตรทีเดียว
2. ช่องกว้างของแถบการส่งสัญญาณ แบนด์วิธของเคเบิลใยแก้วมีสูงกว่า ทำให้สามารถส่ง สัญญาณข้อมูลได้มากกว่า
3. ขนาดของเคเบิลใยแก้วเล็กกว่าเคเบิลธรรมดา ถ้านำไปใช้ในงานบางอย่าง เช่น การวางเคเบิล ได้นำ ซึ่งเดิม ต้องใช้ เคเบิลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้วครึ่ง ที่ประกอบด้วยสาย ส่งสัญญาณจำนวน 320 เส้น แต่หากใช้เคเบิลใยแก้วแล้ว ก็จะมีเส้น ผ่านศูนย์กลางเพียงประมาณ 125 ไมครอน และใช้ สายสัญญาณเพียง 5 เส้นเท่านั้น และที่สำคัญ คือ มีน้ำหนักเบา สามารถติดตั้งบำรุงรักษา และซ่อมแซม ได้ง่ายอีกด้วย
4. เคเบิลใยแก้วช่วยตัดปัญหา เรื่องสัญญาณรบกวน อันเนื่องมาจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ได้ โดยเด็ดขาดเพราะมีการ ใช้ สัญญาณแสงเป็นตัวนำข้อมูล ไม่มีสัญญาณไฟฟ้า เข้ามาเกี่ยวข้องทำให้การ รับ-ส่งข้อมูล มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.24 ข้อดีของการสื่อสารทางแสง

1. มีแบนด์วิดท์กว้าง และมีอัตราของการสูญเสียของแสงต่ำ ทำให้ประหยัดช่องสัญญาณ นอกจากนี้ยังทำให้ประหยัดอุปกรณ์ในการทวนสัญญาณ
2. มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานและติดตั้งได้ง่าย
3. ปราศจากสัญญาณรบกวนทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เนื่องจากเป็นแสงจึงไม่มีผลของการรบกวนเนื่องจากผลของการเหนี่ยวนำไฟฟ้าเกิดขึ้น
4. สามารถแยกสัญญาณทางไฟฟ้าได้ด้วยแสง โดยปกติการส่งสัญญาณทางไฟฟ้าจะต้องมีสายดินรวมกัน แต่ในระบบการสื่อสารทางแสงนี้ไม่ต้องต่อสายดิน เนื่องจากอาศัยหลักการเปลี่ยนสัญญาณทางไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง
5. มีความปลอดภัยของสัญญาณ ข่าวสารที่ส่งไปกับแสงจะมีตำแหน่งรับส่งที่แน่นอน ดังนั้นจึงไม่สามารถที่จะลักลอบใช้สัญญาณทางแสงเพื่อไปประมวลผลได้
6. องค์ประกอบที่ใช้ในการส่งสัญญาณทางแสงจะมีขนาดเล็กและราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนช่องสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

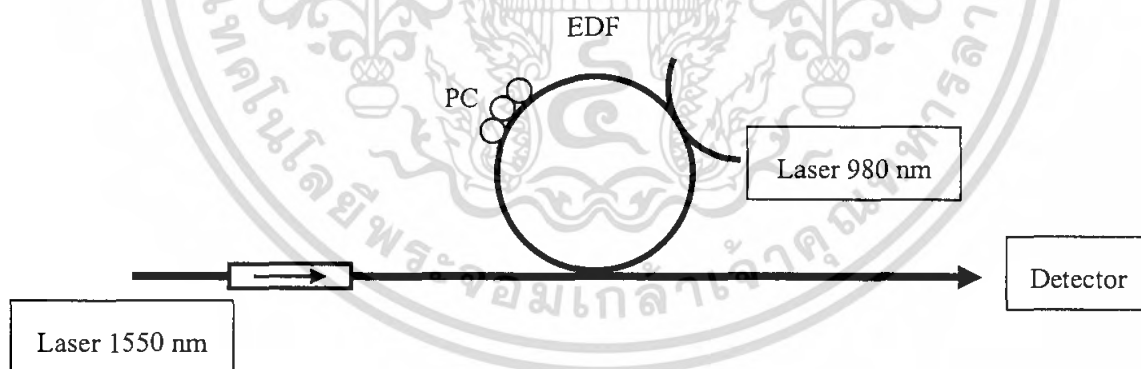
ขอบเขตและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การศึกษาข้อมูล

1. ศึกษาคุณสมบัติทางแสงในระบบการสื่อสารโดยใช้ใยแก้วนำแสง
2. ศึกษาคุณสมบัติของเออร์เบียมโคปไฟเบอร์ในระบบสื่อสาร

3.2 ขอบเขตและวิธีการดำเนินงานวิจัย

การศึกษานี้จะทำการทดลองสำหรับการตรวจวัดแสง โดยใช้การปล่อยลำแสงที่มีความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร ผ่านเข้าสู่ ไอโซเลเตอร์ และตัวคัปเปอร์ ซึ่งจะเกิดการแยกแสงออกเป็น 2 ทางในการวิจัยนี้ใช้คัปเปอร์ชนิด 2X2 (50/50) โดยแสงที่ถูกแยกออกมาทั้งสองทางจะมีความเข้มแสงเท่ากันทั้งสองด้าน ในขณะที่สัญญาณอินพุตอีกทางหนึ่งของคัปเปอร์เส้นใยแก้ว จะกระตุ้นด้วยแสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่นประมาณ 980 นาโนเมตร จากนั้นสัญญาณแสงจะผ่าน โพลาริไซเซอร์ชั้นคอนโทรลเพื่อควบคุมความเป็นโพลาไรซ์ของแสง เข้าสู่ดีเทคเตอร์ออกเป็นสัญญาณที่ได้รับการขยายแล้ว



รูปที่ 3.1 แสดงระบบที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ศึกษาทฤษฎี ของอุปกรณ์ต่างๆ

1. เออร์เบียมโดปไฟเบอร์แอมพลิไฟเออร์ (Erbium-Doped Fibre Amplifier (EDFA))

เออร์เบียมโดปไฟเบอร์แอมพลิไฟเออร์ คือ สารเออร์เบียมผสมกับเนื้อแก้วของเส้นใยแก้ว ซึ่ง โครงสร้างทางกายภาพจะมีลักษณะเช่นเดียวกับเส้นใยแก้วธรรมดาทั่วไป แสงที่เดินทางผ่านเออร์เบียม โดปไฟเบอร์จะมีพฤติกรรมเหมือนเดินทางในเส้นใยแก้วทั่วไปคือเกิดการลดทอนสัญญาณแฉกเกิดการ บานออกของสัญญาณตามปกติ โดยจะไม่มีเปลี่ยนแปลงใดๆกับสัญญาณข้อมูล แต่ถ้าทำการกระตุ้น เส้นใยแก้วพิเศษนี้ด้วยความเข้มที่เหมาะสมให้กับเออร์เบียมโดปไฟเบอร์ ข้อมูลแสงที่เดินผ่านเข้าไปจะ ถูกทำให้มีพลังงานเพิ่มมากขึ้นอันเนื่องมาจากการรวมกันทางความเข้มแสงของสัญญาณเดิมที่นำข้อมูล กับสัญญาณแสงที่เปล่งออกมาใหม่จากการกระตุ้นพลังงานเข้าไป ซึ่งแสงทั้งสองต้องมีขนาดความยาว คลื่นที่ตรงกัน จึงเสมือนกับการขยายสัญญาณข้อมูลแสงที่เดินทางในระบบสายส่งให้มีความเข้มแข็ง แสงเพิ่มขึ้นพร้อมที่จะเดินทางไปในระยะทางที่ไกลออกไปได้

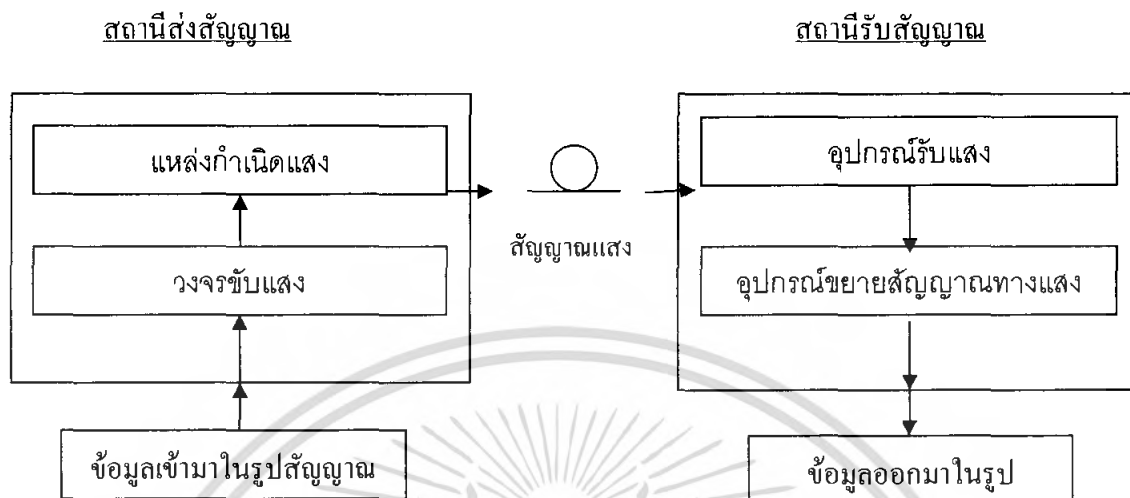
2. ออปติคอล ไอโซเลเตอร์ (Optical Isolator)

ทำหน้าที่ควบคุมทิศทางของแสงให้เดินทางไปในทิศทางที่ต้องการและไม่สะท้อนกลับมารบกวน ระบบ

3. ออปติคอลไฟเบอร์คัปเปิลเลอร์ (Optical Fiber Coupler)

คัปเปิลเลอร์ในแบบเส้นใยแก้วนำแสง เป็นการรวมแสงจากแสงที่เดินทางในเส้นใยแก้วนำแสง โดยตรง คัปเปิลเลอร์ในระบบเส้นใยแก้วนำแสงแบบ 2X2 สัญญาณแสงสองช่องสัญญาณที่มีความยาวคลื่น ต่างกันจะถูกส่งเข้าสู่เส้นใยแก้วต่างเส้นกัน เมื่อแสงเดินทางผ่านคัปเปิลเลอร์ แสงทั้งสองความยาวคลื่นจะ ถูกรวมกันหลังจากเดินทางออกจากคัปเปิลเลอร์ ในกรณีที่ต้องการรวมส่งหลายช่องสัญญาณ ก็ออกแบบ ให้คัปเปิลเลอร์มีจำนวนเส้นใยแก้วด้านอินพุตให้เท่ากับจำนวนช่องสัญญาณตามต้องการโดยอาจกำหนดให้ เส้นใยแก้วเอาพุตมีเพียงเส้นเดียวก็ได้ อุปกรณ์ชนิดคัปเปิลเลอร์เส้นใยแก้วนี้ ถือเป็นอุปกรณ์ประเภท ตัวส่งผ่าน (Passive Device) คือสามารถทำงานเพื่อเป็นตัวกลางในการเดินทางของแสงนั่นเอง

3.4 ศึกษาหลักการพื้นฐานของการส่งสัญญาณ



รูป 3.2 แสดงหลักการพื้นฐานของการส่งรับสัญญาณผ่านทางใยแก้วนำแสง

แหล่งกำเนิดแสงจะถูกควบคุมด้วยวงจรขับแสง ให้มีค่าความสว่างหรือความเข้มแสง ที่มีรูปแบบที่แน่นอนตามสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไป สัญญาณไฟฟ้านี้มักเป็นข้อมูลที่ใช้การสื่อสารในระบบไฟฟ้าทั่วไป การกระทำเช่นนี้เรียกว่าการเข้ารหัส (Modulation) ซึ่งก็คือการทำให้ข้อมูลสามารถเดินทางร่วมกับสัญญาณแสงตลอดเวลาที่แสงสามารถเดินทางไปได้ สัญญาณแสงที่บรรจุข้อมูลทางไฟฟ้าที่ออกจากเส้นใยแก้วนำแสง จะถูกตรวจจับและแปลงรูปกลับให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับแสง ก่อนถูกส่งผ่านวงจรขยายสัญญาณ เพื่อให้ได้สัญญาณข้อมูลทางไฟฟ้าที่พร้อมใช้งาน ในระบบสื่อสารด้วยแสงมีหลักการทำงานคล้ายกับระบบสายเคเบิลทางไฟฟ้า เพียงแต่ในส่วนการรับหรือส่งข้อมูลนั้นเราจะใช้แสงเป็นตัวนำส่งข้อมูลแทน ใช้สัญญาณไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

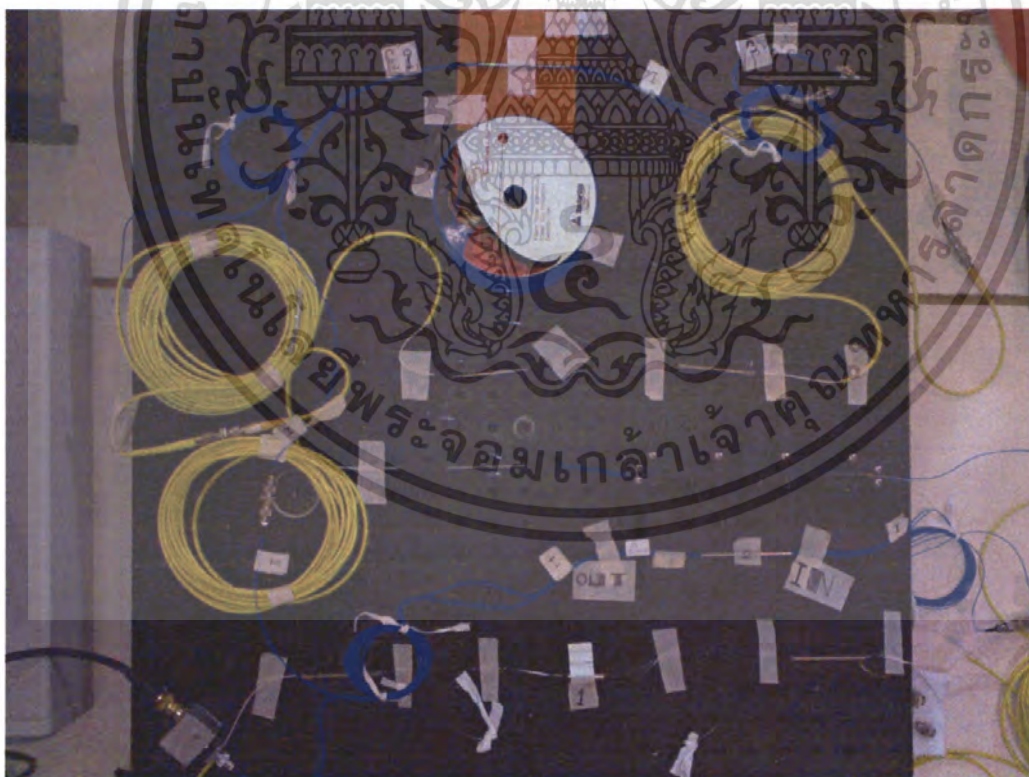
บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัยและวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการดำเนินงานวิจัย และการวิเคราะห์ผล ของระบบที่มีการขยายสัญญาณแสงโดยใช้เออร์เบียมโคปโฟเบอร์ และคุณลักษณะของแสงที่มีการขยายสัญญาณ การนำสัญญาณแสงที่มีการเข้ารหัสไปประยุกต์ใช้ ซึ่งจะกล่าวดังนี้

4.1 ระบบที่มีการขยายสัญญาณแสงโดยใช้เออร์เบียมโคปโฟเบอร์

จากการศึกษาค้นคว้าจึงได้ออกแบบการสร้างระบบขยายสัญญาณแสงโดยใช้เออร์เบียมโคปโฟเบอร์ ซึ่งแสดง ได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงระบบการทดลองการขยายสัญญาณแสงโดยใช้เออร์เบียมโคปโฟเบอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการขยายสัญญาณแสงจะใช้หลักการทำให้เกิดเลเซอร์ขึ้นในเส้นใยแก้วนำแสงซึ่งเส้นใยแก้วนำแสงต้องเป็นชนิดที่มีการโด๊ปธาตุเจอร์เมเนียมในเส้นใยแก้วนำแสง โดยต้องการที่จะขยายสัญญาณแสงที่มีความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร

หลักการเกิดเลเซอร์เกิดจากกระบวนการขยายสัญญาณแสง เป็นการอธิบายหลักการขยายจำนวนโฟตอนจากหนึ่งเป็นสองโฟตอนเท่านั้น ซึ่งการจะทำให้เกิดการปล่อยแสงเลเซอร์ได้นั้น ต้องมีการขยายจำนวนโฟตอนให้ได้จำนวนมาก และจำเป็นจะต้องมีจำนวนอะตอมหรือประชากรของอะตอมในชั้นพลังงานสูงมากกว่าจำนวนประชากรของอะตอมในสถานะพื้น นั่นคืออยู่ในสภาพที่เป็นประชากรผกผัน ทำได้โดยการให้พลังงานแก่ระบบด้วยวิธีต่างๆ

การป้อนพลังงานให้แก่ระบบที่สร้างขึ้นมาด้วยการปั๊ม โดยใช้เลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร ทำให้เกิดประชากรผกผันในใยแก้วนำแสงเออร์เบียมโด๊ปไฟเบอร์เมื่อมีสัญญาณแสงความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร ผ่านเข้ามาในระบบจะเป็นการกระตุ้นให้เกิดเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่นเดียวกัน ผลที่ได้ก็จะทำให้แสงที่มีความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร มีกำลังมากขึ้น ก็จะได้สัญญาณแสงที่ขยายตามต้องการ ซึ่งสามารถนำสัญญาณแสงที่ได้ไปใช้ในระบบสื่อสารในเส้นใยแก้วนำแสง โดยการนำไปทำการทวนสัญญาณเพื่อให้สามารถส่งสัญญาณไปได้ไกลมากขึ้น

4.2 ผลของการวัดและการคำนวณค่าคุณลักษณะของระบบการขยายสัญญาณแสง

1. ผลการวัดกำลังของสัญญาณแสงเอาท์พุทเทียบกับกำลังของสัญญาณแสงอินพุท

ทำการทดลองโดยการปั๊มเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร ที่กำลัง 100 มิลลิวัตต์ แล้วป้อนสัญญาณอินพุทที่มีความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร ทำการบันทึกค่ากำลังแสงอินพุทและกำลังแสงเอาท์พุทจากอุปกรณ์วัดกำลังทางแสง ทำการทดลองเช่นเดิมแต่ทำการปรับกำลังแสงอินพุทเปลี่ยนไปทำการทดลองซ้ำกัน 3 ครั้ง ได้ผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงกำลังของสัญญาณเอาต์พุตเทียบกับกำลังของสัญญาณอินพุต

Input Current (mA)	Output Power (mW)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
30.4	6.08	6.02	6.07	6.05
48.6	9.72	9.76	9.77	9.75
66.4	14.28	14.25	14.27	14.26
84.4	18.88	18.85	18.65	18.79
102.1	25.43	25.43	25.46	25.44
120.3	29.06	29.03	29.04	29.04
138.4	32.67	32.66	32.64	32.66
156.7	36.34	36.37	36.39	36.36
174.8	36.96	36.94	36.99	36.96
192.1	37.42	37.41	37.48	37.43
210.3	39.06	39.04	39.04	39.04
228.5	45.71	45.72	45.79	45.74
246.7	49.34	49.35	49.35	49.34
264.9	54.94	54.96	54.93	54.94
282.1	58.42	58.42	58.44	58.42
300.2	60.04	60.06	60.04	60.04
318.4	60.68	60.65	60.64	60.65
336.6	65.32	65.36	65.33	65.33
354.7	70.94	70.94	70.93	70.93
372.9	74.58	74.52	74.55	74.55
390.3	79.98	79.95	79.94	79.95
408.4	80.05	80.04	80.02	80.03
426.5	80.11	80.12	80.11	80.11
444.7	80.16	80.17	80.19	80.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองที่ได้จะเห็นว่าเมื่อกำลังของสัญญาณแสงอินพุตมีค่าเพิ่มขึ้นกำลังแสงของสัญญาณแสงเอาต์พุตจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย จากรูป 4.2 ในช่วงแรกกำลังสัญญาณแสงอินพุตจะมีค่ามากกว่ากำลังสัญญาณแสงเอาต์พุตมาก และเมื่อให้กำลังสัญญาณแสงอินพุตเพิ่มจนถึงจุดหนึ่งกำลังสัญญาณแสงเอาต์พุตจะเริ่มมีค่ากำลังสัญญาณแสงไม่ต่างกับกำลังสัญญาณแสงอินพุต

เนื่องจากระบบเกิดการสูญเสียกำลังสัญญาณแสงในการเดินทาง จึงทำให้กำลังสัญญาณแสงอินพุตที่ได้มีค่าน้อยกว่ากำลังสัญญาณแสงเอาต์พุต เมื่อทำการป้อนแอมพลิจูดด้วยเลเซอร์ 980 นาโนเมตร จะทำให้เกิดการขยายของสัญญาณแสงเอาต์พุตซึ่งได้ผลดังตาราง 4.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงกำลังของสัญญาณเอาต์พุตเทียบกับกำลังของสัญญาณอินพุตเมื่อทำการป้อน
เออร์เบียมด้วยเลเซอร์ 980 นาโนเมตร

Input Current (mA)	Output Power (mW)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
30.4	12.08	12.09	12.04	12.07
48.6	16.72	16.74	16.77	16.74
66.4	22.28	22.25	22.26	22.26
84.4	28.88	28.87	27.86	28.87
102.1	25.43	25.44	25.47	25.44
120.3	39.06	39.02	39.05	39.04
138.4	43.68	43.66	43.64	43.66
156.7	45.34	45.33	45.35	45.34
174.8	46.96	46.95	46.97	46.96
192.1	48.42	48.44	48.41	48.42
210.3	53.06	53.06	53.03	53.05
228.5	58.71	58.77	58.74	58.74
246.7	63.34	63.33	63.37	63.34
264.9	67.94	67.95	67.99	67.96
282.1	69.42	69.44	69.45	69.43
300.2	70.04	70.02	70.05	70.03
318.4	70.67	70.66	70.63	70.65
336.6	74.32	74.36	74.33	74.33
354.7	78.94	78.99	78.92	78.95
372.9	84.58	84.55	84.56	84.56
390.3	87.98	87.95	87.92	87.95
408.4	88.05	88.05	88.09	88.06
426.5	88.31	88.32	88.34	88.33
444.7	88.56	88.53	88.58	88.55

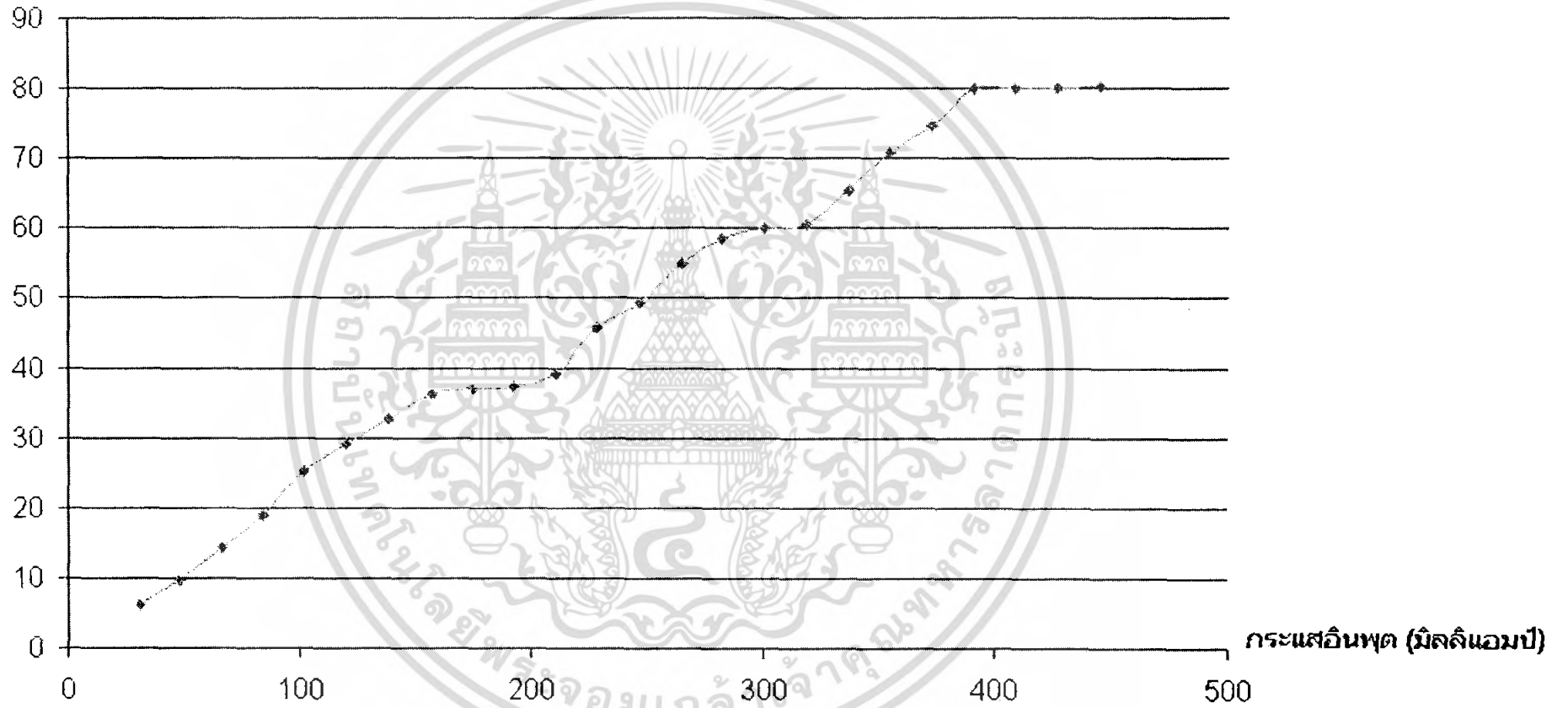
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.3 ในช่วงแรกของกราฟที่ได้จะมีความชันมากซึ่งจะเป็นการบอกว่ากำลังอินพุตที่มีค่าน้อยๆในช่วงแรกจะทำให้อัตราการเพิ่มของกำลังแสงเอาท์พุตมีค่ามาก เนื่องจากระบบยังไม่เกิดการอิ่มตัว และที่ กำลังแสงอินพุตมีค่ามาก กราฟจะมีความชันน้อย จะบอกถึงอัตราการเพิ่มของกำลังแสงเอาท์พุตมีค่าน้อยตามไปด้วย เนื่องจากระบบเข้าใกล้จุดอิ่มตัว สิ่งที่เกิดขึ้นในระบบ คือ ระบบถูกทำให้ อยู่ในสภาวะประชากรผกผัน โดยการป้อนเลเซอร์ปัม (980 นาโนเมตร) เข้าไป เมื่อมีแสงความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร ที่กำลังค่าต่างๆ จะเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดเลเซอร์ขึ้น เมื่อมีกำลังมากก็จะเกิดการกระตุ้นให้ได้เลเซอร์มากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งจะสอดคล้องกับหลักการขยายสัญญาณ



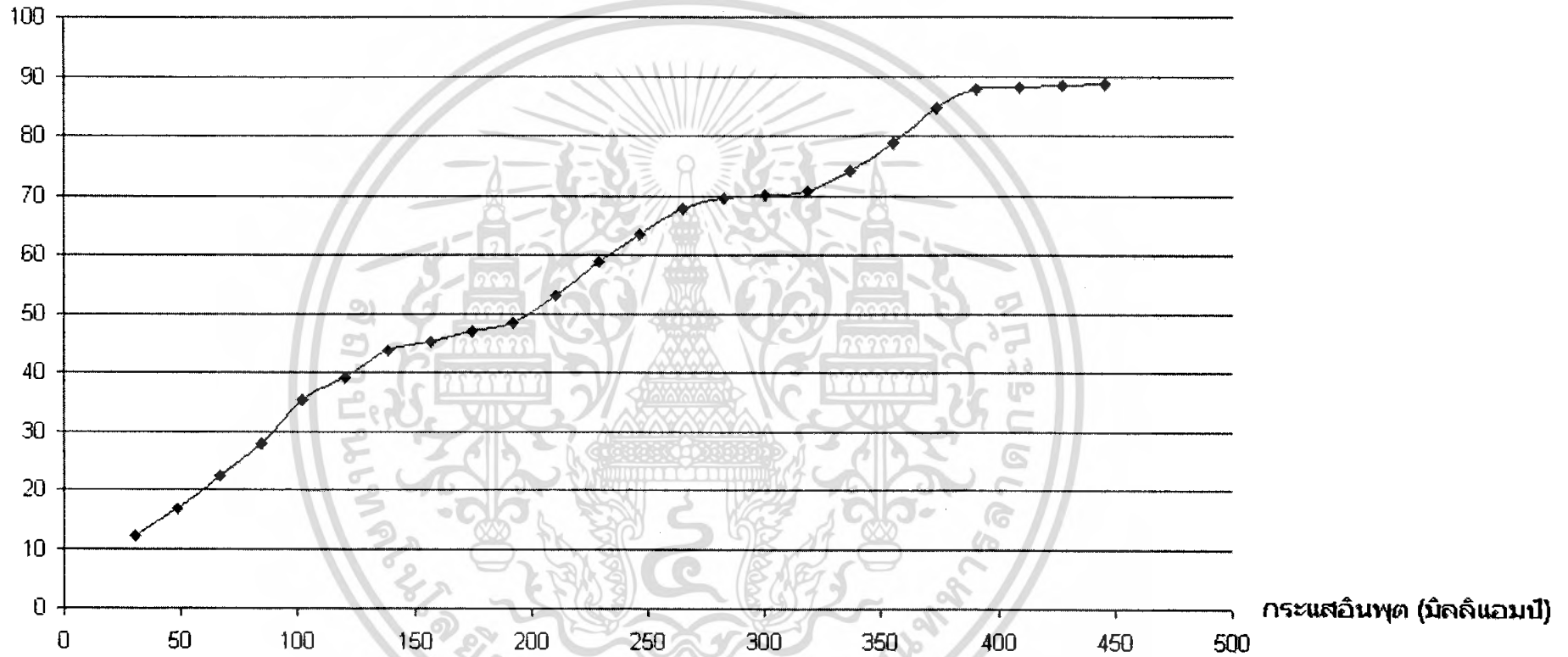
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังแสงอินพุต (มิลลิวัตต์)



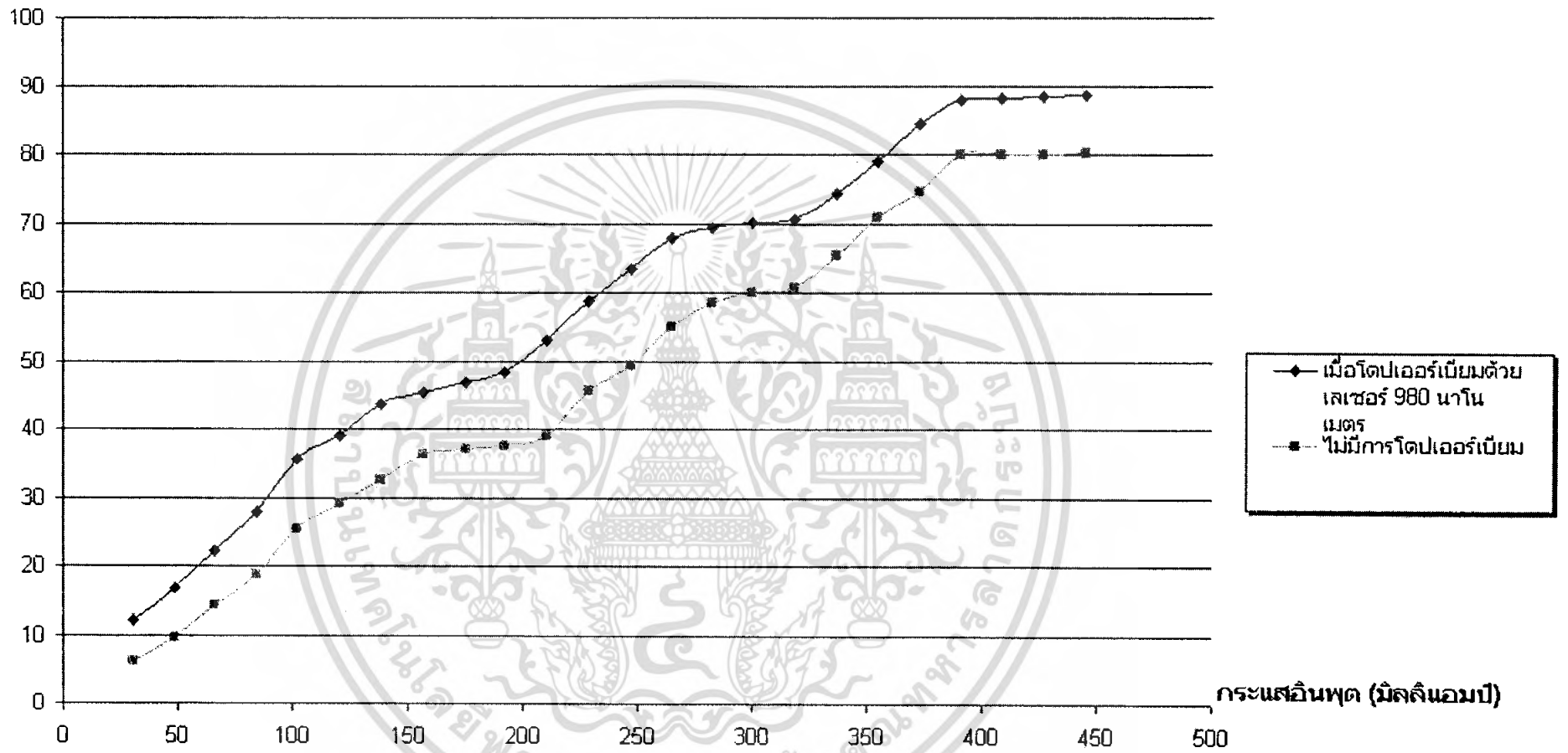
รูปที่ 4.2 แสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสแสงอินพุตเทียบกับกำลังแสงเอาต์พุต (ไม่มีการป้อน)

กำลังแสงอินพุต (มิลลิวัตต์)



รูปที่ 4.3 แสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสแสงอินพุตเทียบกับกำลังแสงเอาต์พุต
เมื่อมีการปั๊มเออร์เบียมด้วยเลเซอร์ 980 นาโนเมตร

กำลังแสงเอาร์ทพุต (มิลลิวัตต์)



รูปที่ 4.4 แสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสน้ำพุตเทียบกับกำลังเอาร์ทพุต

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

การขยายสัญญาณแสงคือการทำให้แสงมีกำลังเพิ่มขึ้น ในการสื่อสารโดยใช้ใยแก้วนำแสงนั้นจะใช้เลเซอร์ไดโอดเป็นอุปกรณ์ที่จะส่งสัญญาณแสงไปในใยแก้วนำแสง ดังนั้นวิธีการที่จะขยายสัญญาณแสง ก็จะต้องทำให้เกิดแสงเลเซอร์ขึ้นในใยแก้วนำแสงขึ้นอีก เพื่อจะทำให้มีกำลังแสงมากขึ้น หลักการสำคัญคือ การกระตุ้นให้เกิดเลเซอร์ขึ้น ก็จะมีกระบวนการเหมือนกับการกำเนิดเลเซอร์ ต้องมีการปั๊มด้วยเลเซอร์ ให้เกิดประชากรผกผันในระบบ และกระตุ้นให้เกิดเลเซอร์ด้วยสัญญาณแสง ใยแก้วนำแสงแบบเออร์เบียมเป็นอุปกรณ์สำคัญที่เป็นตัวกลางทำให้เกิดเลเซอร์ ระบบการขยายสัญญาณแสงที่ใช้ในระบบการสื่อสารจะใช้ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร สาเหตุที่เลือกใช้ธาตุเออร์เบียม เพื่อมาโคปในใยแก้วนำแสง เนื่องจากแถบพลังงานของเออร์เบียมตรงกับพลังงานที่มีความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร

จากผลการทดลอง เมื่อใช้สัญญาณอินพุตความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร โดยที่ไม่มีการปั๊มความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร จะพบว่ากำลังสัญญาณแสงเอาต์พุตมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับกำลังแสงอินพุต เนื่องจากระบบเกิดการสูญเสียกำลังสัญญาณแสงในการเดินทาง จึงทำให้กำลังสัญญาณแสงเอาต์พุตมีค่าน้อยกว่ากำลังสัญญาณแสงอินพุต

เมื่อใช้ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตรเป็นสัญญาณอินพุตเหมือนเดิม แต่ทำการปั๊มความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร จะพบว่ากำลังสัญญาณแสงเอาต์พุตจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกำลังสัญญาณแสงอินพุต เนื่องจากระบบถูกทำให้อยู่ในสถานะประชากรผกผันด้วยการปั๊มเลเซอร์ความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร เข้าไปทำให้เกิดการกระตุ้นประชากรอะตอมในสถานะกระตุ้นให้ตกกลับมายังสถานะพื้นเพื่อให้ประชากรอะตอมปลดปล่อยโฟตอนแสงเป็นจำนวนมากออกมา ซึ่งสอดคล้องกับหลักการขยายสัญญาณ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในระบบการขยายสัญญาณนี้จะเป็นเลเซอร์ในย่านอินฟราเรดซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ จะมีความยากในการที่จะติดตั้งระบบ ต้องทำด้วยความระมัดระวัง และตรวจสอบระบบในแต่ละส่วนเพื่อให้ได้การส่งผ่านกำลังให้ได้มากที่สุด
2. การเชื่อมต่อต้องใช้ทักษะในการทำเป็นพิเศษ ต้องมีการทำความสะอาดปลายของใยแก้วทุกชั้นตอน การตัดต้องให้ได้รอยตัดที่เรียบ และการจัดแนวของปลายใยแก้วให้สัมพันธ์กันให้พอดี เพื่อที่จะเกิดการหลอมรวมอย่างเหมาะสม
3. การติดตั้งเลเซอร์และตัวรับสัญญาณแสงนั้นต้องมีการจับยึดให้แน่นเพื่อให้ระบบมีคงที่ตลอดการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

<http://web.ku.ac.th/schoolnet/snet1/network/ask1.htm>

<http://www.upscale.utoronto.ca/GeneralInterest/Harrison/MachZehnder/MachZehnder.html>

<http://webserv.kmitl.ac.th/~omdels/>

http://en.wikipedia.org/wiki/Talk:Wavelength-division_multiplexing

รศ.ดร.ปรีชา ยูพาพิน. 2544. วิศวกรรมใยแก้วนำแสง. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Up to 180 mW Fiber Bragg Grating Stabilized 980 nm Pump Modules

2600 Series



Key Features

- High kink-free powers to 180 mW
- Low-profile, epoxy-free, and flux-free 14-PIN butterfly planar package
- Fiber Bragg grating stabilization
- Wavelength selection available
- Integrated thermoelectric cooler, thermistor, and monitor diode
- High dynamic range
- Excellent low power stability

Applications

- Dense wavelength division multiplexing (DWDM) EDFAs for small package designs
- High bit rate, high channel count EDFAs
- CATV distribution

Compliance

- Telcordia GR-468-CORE

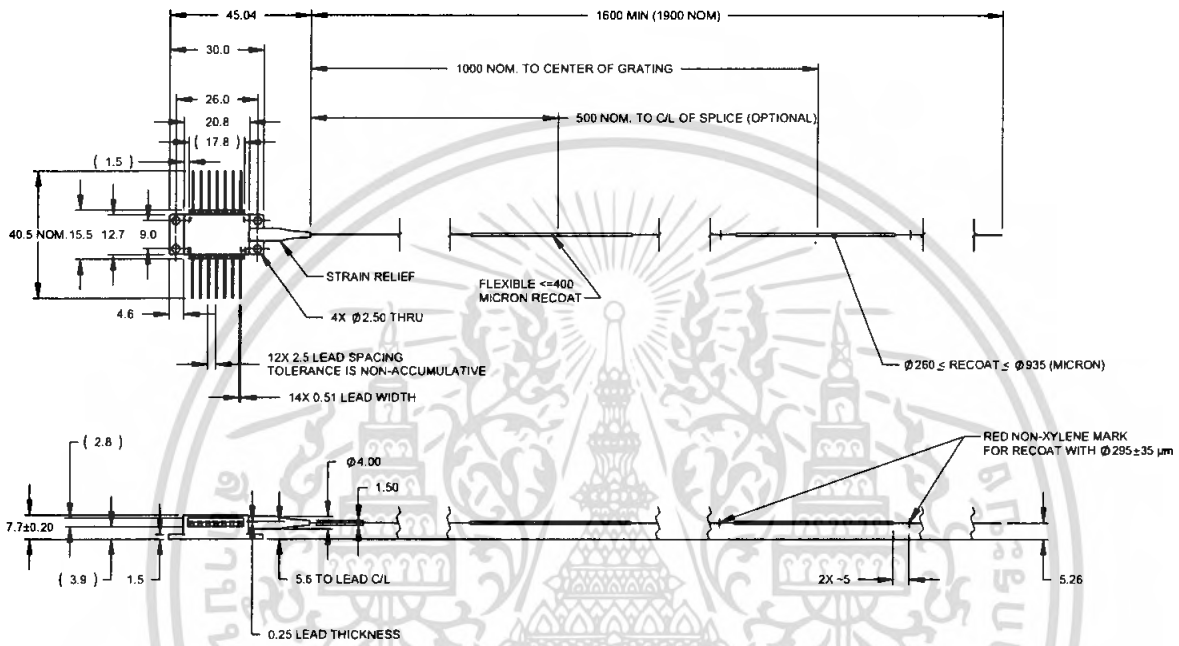
The JDSU 2600 Series of 980 nm pump modules utilizes a planar construction with chip on subcarrier. The high power JDSU laser chip is hermetically sealed in a low-profile, epoxy-free and flux-free 14-pin butterfly package, fitted with a thermistor, thermoelectric cooler, and monitor diode. The module meets the stringent requirements of the telecommunications industry, including Telcordia™ GR-468-CORE for hermetic 980 nm pump modules.

The 2600 Series pump module uses fiber Bragg grating stabilization to “lock” the emission wavelength and provides a noise-free narrowband spectrum, even under changes in temperature, drive current, and optical feedback. Wavelength selection is available for applications requiring the highest performance in spectrum control with the highest powers available.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

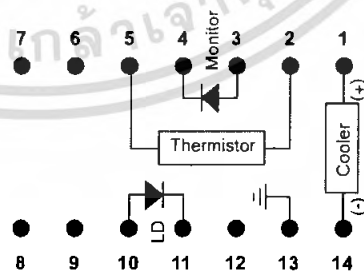
Dimensions Diagram
250 µm Bare Fiber Type A Wiring

(Note: Specifications in mm unless otherwise noted; tolerance = .x ± .3, .xx ± .20
 The module pigtail consists of 250 µm buffered, Corning PureMode™ HI-1060 Single-mode fiber.)



Pinout

Pin	Description
1	Cooler (+)
2	Thermistor
3	Monitor PD Anode
4	Monitor PD Cathode
5	Thermistor
6	N/C
7	N/C
8	N/C
9	N/C
10	Laser Anode
11	Laser Cathode
12	N/C
13	Case Ground
14	Cooler (-)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 1: Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Test Conditions	Minimum	Maximum
Operating case temperature	T _{op}	-	-5 °C	75 °C
Storage temperature	T _{stg}	2000 hours	-40 °C	85 °C
LD submount temperature	T _{LD}	-	0 °C	50 °C
LD reverse voltage	V _r	-	-	2 V
LD forward current	-	-	-	650 mA
LD current transient	-	1 μs maximum	-	950 mA
LD reverse current	-	-	-	10 μA
PD reverse voltage	V _{PD}	-	-	20 V
PD forward current	I _{PD}	-	-	10 mA
Electrostatic discharge (ESD)	V _{ESD}	C = 100 pF, R = 1.5 Ω, human body model	-	1000 V
TEC current	I _{TEC}	-	-	2.5 A
TEC voltage	V _{TEC}	-	-	4.0 V
Axial pull force	-	3 x 10 seconds	-	5 N
Side pull force	-	3 x 10 seconds	-	2.5 N
Fiber bend radius	-	-	16 mm	-
Relative humidity	RH	40 °C	5%	95%
Lead soldering time	-	260 °C	-	10 seconds

Note: Absolute maximum ratings are the maximum stresses that may be applied to the pump module for short periods of time without causing damage. Stresses in excess of the absolute maximum ratings can permanently damage the device. Exposure to absolute maximum ratings for extended periods, or exposure to more than one absolute maximum rating simultaneously may adversely affect device reliability.

Table 2: Operating Parameters

(BOL, T_{case} = 0 to 75 °C, T_{LD} = 25 °C, -50 dB reflection, unless noted otherwise)

Product Code ¹	Maximum Operating Power P _{op} (mW) ^{2,3}	Maximum Operating Current I _{op} (mA) Maximum ²	Minimum Kink-Free Power P _{max} (mW) ⁴	Kink-Free Current I _{max} (mA) ³ Maximum ⁴
26-xxxx-100	90	240	100	260
26-xxxx-110	100	240	110	260
26-xxxx-120	110	260	120	270
26-xxxx-130	120	270	130	290
26-xxxx-140	125	280	140	310
26-xxxx-150	135	300	150	330
26-xxxx-160	145	320	160	350
26-xxxx-170	155	340	170	370
26-xxxx-180	160	340	180	380

- The 27-xxxx-xxx may be substituted for this part series. All 26-xxxx-xxx end product specifications will remain as published; there is no change to part numbers, product testing, quality or reliability. Traceability is accomplished through product serial number.
- The maximum operating power P_{op} will be achieved at a device-specific current, the maximum operating current I_{op}. The individual value of I_{op} is noted on the hardcopy data sheet shipped with the device. All values of I_{op} are limited by the maximum value listed in Table 2.
- The pump laser shall never be operated at a power higher than the maximum operating power P_{op} throughout its lifetime. At Begin of Life (BOL), the operating current shall never be higher than the device-specific maximum operating current I_{op} that is noted on the hardcopy data sheet shipped with the device. At End of Life (EOL), the operating current shall never be higher than the device-specific kink-free current I_{max} that is noted on the hardcopy data sheet shipped with the device.
- The module is kink-free (at least) up to a minimum kink-free power P_{max} that the module will achieve at a device-specific current, the kink-free current I_{max}. The individual value of I_{max} is noted on the hardcopy data sheet shipped with the device. All values of I_{max} are limited by the maximum value listed in Table 2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 3: Available Peak Wavelength Selection

 $(T_{amb} = 25 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}, 50 \text{ mW} < P < P_{op})$

Product Code	Minimum Peak Wavelength	Maximum Peak Wavelength
26-8000-xxx	970.0 nm	985.0 nm
26-7402-xxx	973.5 nm	975.0 nm
26-7552-xxx	974.5 nm	976.5 nm
26-7602-xxx	975.0 nm	977.0 nm
26-7702-xxx	976.0 nm	978.0 nm
26-8052-xxx	979.5 nm	981.5 nm

Table 4: Electro-Optical Performance

 $(BOL, T_{case} = 0 \text{ to } 75 \text{ }^\circ\text{C}, T_{LD} = 25 \text{ }^\circ\text{C}, -50 \text{ dB reflection, unless noted otherwise})$

Parameter	Symbol	Test Condition	Minimum	Maximum
Threshold current	I_{th}	-	-	25 mA
Forward voltage	V_f	$I_f = I_{op}$	-	2.5 V
Spectral width	$\Delta\lambda_{RMS}$	$50 \text{ mW} < P < P_{op}$	-	2.0 nm
Peak wavelength tuning	$\Delta\lambda_p/\Delta T_{amb}$	$50 \text{ mW} < P < P_{op}$	-	0.02 nm/ $^\circ\text{C}$
Side-mode suppression ratio	SMSR	$50 \text{ mW} < P < P_{op}$	15 dB	-
Relative optical power stability		Peak-to-peak, $T = 10 \text{ min}$, 50 kHz sampling, $T_{case} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$		
		$20 \text{ mW} < P < P_{op}$	-	4%
		$12 \text{ mW} < P < 20 \text{ mW}$	-	10%
		$3.5 \text{ mW} < P < 12 \text{ mW}$	-	25%
Tracking error	TE	$20 \text{ mW} < P < P_{op}^1$	-25%	25%
Tracking ratio	TR	$20 \text{ mW} < P < P_{op}^1$	0.75	1.25
Monitor diode responsivity	$Resp_{BF}$	$20 \text{ mW} < P < P_{op}$	2 $\mu\text{A/mW}$	10 $\mu\text{A/mW}$
TEC current	I_{TEC}	$T_{case} = 75 \text{ }^\circ\text{C}$	-	1.5 A
TEC voltage	V_{TEC}	$T_{case} = 75 \text{ }^\circ\text{C}$	-	2.5 V
Thermistor resistance	R_{th}	-	9.5 k Ω	10.5 k Ω
Thermistor constant	B	-	3600 K	4200 K
Module power consumption		$T_{case} = 75 \text{ }^\circ\text{C}$	-	4.5 W
		$T_{case} = 75 \text{ }^\circ\text{C}, \text{EOL}$	-	5.0 W

1. The Tracking Error is defined as the normalized change of output power relative to the operating power over case temperature range 0 $^\circ\text{C}$ to 75 $^\circ\text{C}$, at constant back face monitor current corresponding to the operating power at 25 $^\circ\text{C}$.


2. The Tracking Ratio is a measure of the front-to-back tracking when the output power is varied. On a plot of optical power versus back-face photocurrent, a straight line is drawn between the minimum power (20 mW) and the operating power P_{op} points. The tracking ratio is defined as the ratio between measured optical power (shown as data points on the plot) to the value derived from the straight line.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ordering Information

For more information on this or other products and their availability, please contact your local JDSU account manager or JDSU directly at 1-800-498-JDSU (5378) in North America and +800-5378-JDSU worldwide or via e-mail at customer.service@jdsu.com.

Sample: 26 -7402-100

26- 

Code	Peak Wavelength	Code	Minimum Kink-Free Power
7402	973.5 to 975.0 nm	100	100 mW
7552	974.5 to 976.5 nm	110	110 mW
7602	975.0 to 977.0 nm	120	120 mW
7702	976.0 to 978.0 nm	130	130 mW
8000	970.0 to 985.0 nm	140	140 mW
8052	979.5 to 981.5 nm	150	150 mW
		160	160 mW
		170	170 mW
		180	180 mW

User Safety

Safety and Operating Considerations

The laser light emitted from this laser diode is invisible and may be harmful to the human eye. Avoid looking directly into the fiber when the device is in operation.

CAUTION: THE USE OF OPTICAL INSTRUMENTS WITH THIS PRODUCT INCREASES EYE HAZARD.

Operating the laser diode outside of its maximum ratings may cause device failure or a safety hazard. Power supplies used with this component cannot exceed maximum peak optical power.

CW laser diodes may be damaged by excessive drive current or switching transients. When using power supplies, the laser diode should be connected with the main power on and the output voltage at zero. The current should be increased slowly while monitoring the laser diode output power and the drive current. Careful attention to heatsinking and proper mounting of this device is required to ensure specified performance over its operating life. To maximize thermal transfer to the heatsink, the heatsink mounting surface must be flat to within .001" and the mounting screws must be torqued down to 1.5 in.-lb.

ESD PROTECTION — Electrostatic discharge (ESD) is the primary cause of unexpected laser diode failure. Take extreme precaution to prevent ESD. Use wrist straps, grounded work surfaces, and rigorous antistatic techniques when handling laser diodes.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Labeling

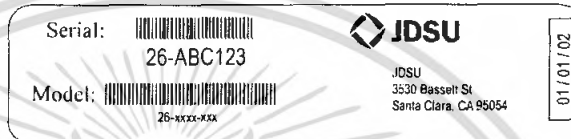
21 CFR 1040.10 Compliance

Because of the small size of these devices, the output power and laser emission indicator label shown below is attached to the individual shipping container. All labels are illustrated here to comply with 21 CFR 1040.10 as applicable under the Radiations Control for Health and Safety Act of 1968.

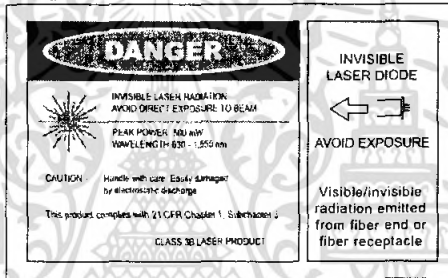
14-Pin Module Label



Shipping Box Label



Output Power and Laser Emission Indicator Label



PureMode is a registered trademark of Corning Incorporated.
Telcordia is a registered trademark of Telcordia Technologies Incorporated.

All statements, technical information and recommendations related to the products herein are based upon information believed to be reliable or accurate. However, the accuracy or completeness thereof is not guaranteed, and no responsibility is assumed for any inaccuracies. The user assumes all risks and liability whatsoever in connection with the use of a product or its application. JDSU reserves the right to change at any time without notice the design, specifications, function, fit or form of its products described herein, including withdrawal at any time of a product offered for sale herein. JDSU makes no representations that the products herein are free from any intellectual property claims of others. Please contact JDSU for more information. JDSU and the JDSU logo are trademarks of JDS Uniphase Corporation. Other trademarks are the property of their respective holders. ©2007 JDS Uniphase Corporation. All rights reserved. 30138127 Rev. 006 03/07 2600PUMP.DS.CC.AE

High Power 1550 nm CW DFB Lasers with PM Fiber CQF938 Series



- Key Features**
- 1550 nm DFB laser diode
 - Three power versions available at a minimum of 40, 50, and 63 mW, respectively
 - 25 Ω electrical matching
 - Polarization maintaining fiber
 - Built-in thermoelectric cooler
 - Cooled built-in optical isolator
 - Excellent relative intensity noise (-160 dB/Hz maximum)
 - Narrow linewidth (1 MHz maximum)
 - High side-mode suppression ratio (45 dB typical)

Applications

- HFC networks, CATV networks, and metro architectures where high power, low RIN, and narrow linewidths are required

In modern hybrid fiber coax (HFC) and cable television (CATV) systems, 1550 nm externally modulated laser sources are used for super trunking and distribution. Due to the availability of the erbium-doped fiber amplifier (EDFA), which allows re-amplification of the optical signal without conversion into radio frequency (RF), such systems are very flexible in providing custom-made solutions with good carrier-to-noise ratios (CNR). In short haul metro links, the high power of the JDSU CQF938 eliminates the need for additional amplifiers.

The CQF938 high power 1550 nm continuous wave (CW) distributed feedback (DFB) laser is available in a standard 14-pin butterfly package equipped with a polarization maintaining fiber (PMF) to facilitate coupling to a modulator. It shows superb thermal stability, high side-mode suppression ratios (SMSR), very low relative intensity noise (RIN), and small linewidths.

The modulation bandwidth is in excess of 1 GHz, and permits various techniques for stimulated Brillouin scattering (SBS) suppression. SBS is a detrimental effect that can occur at very high power levels into the fiber, and which leads to noise bursts.

Limiting Values

Parameter	Symbol	Conditions	Minimum	Maximum
Laser Diode				
Radiant output power from pigtail	P_{peak}	-	-	100 mW
Reverse voltage	V_R	-	-	2.0 V
Forward current	I_F	-	-	600 mA
Monitor Diode				
Reverse voltage	V_R	-	-	20 V
Forward current	I_F	-	-	10 mA
Module				
Storage temperature range	T_{stg}	(note ¹)	-40 °C	85 °C
Case operating temperature range	T_{op}	Cooler active	-20 °C	70 °C
Fiber Pigtail				
Bending radius	R	-	35 mm	-
Tensile strength fiber to case	F	(note ¹)	-	5 N

1. Mechanical integrity/environmental endurance tested according to Telcordia GR-468-CORE and MIL-STD-883
ML = Median Life, EOL = End Of Life.

$$E = IR$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Characteristics(R_{th} = 10 kΩ, T_{amb} at 25 °C, P_o = nominal unless otherwise specified.)

Parameter	Symbol	Conditions	Minimum	Typical	Maximum
Radiant output power from pigtail	P _o				
CQF938/400			40 mW	-	-
CQF938/500			50 mW	-	-
CQF938/600			60 mW	-	-
Differential energy	η				
CQF938/400			-	120 μW/mA	-
CQF938/500			-	150 μW/mA	-
CQF938/600			-	175 μW/mA	-
Operating current	I _{op}	-	-	375 mA	500 mA
Laser Diode					
Threshold current	I _{th}	-	-	25 mA	40 mA
Central wavelength	λ _c	-	1547 nm	1555 nm	1560 nm
Forward voltage	V _F	-	-	-	2.5 V
Side mode suppression ratio	SMSR	-	30 dB	45 dB	-
Optical isolation	ISO	-	30 dB	35 dB	-
Relative intensity noise	RIN	20 - 1000 MHz	-	-	-160 dB/Hz
Spectral linewidth	Δλ	Full width, half mean (FWHM)	-	-	1 MHz
Monitor Diode (V_R = 10 V)					
Monitor diode responsivity	R	-	5 μA/mW	75 μA/mW	-
Dark current	I _{md}	-	-	-	0.1 μA
Temperature tracking error	TE	-20 °C < T _{case} < 70 °C	-	-	10%
Thermistor					
Resistance	R _{th}	T _{th} = 25 °C	9.5 kΩ	10 kΩ	10.5 kΩ
Thermistor constant	B	-	3800 K	-	4100 K
Thermoelectric Cooler (ΔT = 45 °C)					
Cooler current	I _{cool}	-	-	-	1.5 A
Cooler voltage	V _{cool}	-	-	-	4.0 V
Polarization Maintaining Fiber Pigtail (Fujikura Panda 8/125/400 with 900 μm loose tube)					
Mode field diameter	Q _{mf}	-	9.5 μm	-	11.5 μm
Polarization extinction ratio	ER	E-field along slow axis	18 dB	20 dB	-
Length of pigtail	-	-	1 m	-	-
Reliability					
Long term wavelength drift (note ¹)	ML	EOL: Δλ = 0.2 nm	-	300 years	-

1. Mechanical integrity/environmental endurance tested according to Telcordia GR-468-CORE and MIL-STD-883
ML = Median Life, EOL = End Of Life.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ordering Information

For more information on this or other products and their availability, please contact your local JDSU account manager or JDSU directly at 1-800-498-JDSU (5378) in North America and +800-5378-JDSU worldwide or via e-mail at customer.service@jdsu.com.

Sample: CQF938/500 for 50mW optical output power.

Attention: Order confirmations on this part number are preceded by FG' (e.g., FG'CQF938/500).

CQF938/ 00

Code	Pa
4	40 mW
5	50 mW
6	63 mW



Telcordia is a trademark of Telcordia Technologies Incorporated.

All statements, technical information and recommendations related to the products herein are based upon information believed to be reliable or accurate. However, the accuracy or completeness thereof is not guaranteed, and no responsibility is assumed for any inaccuracies. The user assumes all risks and liability whatsoever in connection with the use of a product or its application. JDSU reserves the right to change at any time without notice the design, specifications, function, fit or form of its products described herein, including withdrawal at any time of a product offered for sale herein. JDSU makes no representations that the products herein are free from any intellectual property claims of others. Please contact JDSU for more information. JDSU and the JDSU logo are trademarks of JDS Uniphase Corporation. Other trademarks are the property of their respective holders. ©2006 JDS Uniphase Corporation. All rights reserved. 10143088 Rev. 005 02/06 CQF938.DS.CC.AE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. System Operation

2.1 Introduction

This chapter describes how to operate the 6000 mainframe. Module specific details can be found in the module's manual. Unless otherwise noted, "6000" or "Model 6000" refers to the Model 6000, the Model 6000M, and the Model 6000MF. Sections that deal with a specific model will be indicated as such.

2.2 Installation

CAUTION

Although ESD protection is designed into the 8000, operation in a static-free work area is recommended.

CAUTION

Do not plug-in or unplug a module with the AC power on.

2.2.1 AC Power Considerations

The 6000 can be configured to operate at a nominal line voltage of 100, 120, 220, or 240 VAC. Normally, this is done at the factory and need not be changed before operating the instrument. However, be sure that the voltage setting is correct on the power input module and correct fuses are installed per section 6.2 before connecting to an AC source. The 6000 is shipped set for 120 VAC and a caution sticker is placed on the input power connector.

CAUTION

Do not exceed 250 VAC on the line input.

Do not operate with a line voltage that is not within $\pm 10\%$ of the line setting. Too low of an input voltage may cause excessive ripple on the DC supplies. Too high of an input voltage will cause excessive heating.

WARNING

To avoid electrical shock hazard, connect the instrument to properly earth-grounded, 3-prong receptacles only. Failure to observe this precaution can result in severe injury or death.

2.2.2 Tilt-Foot Adjustment

The 6000 has front legs that extend to make it easier to view the LCD display. To use them, place the 6000 on a stable base and rotate the legs downward until they lock into position.

2.2.3 Rack Mounting

The 6000 may be rack mounted by using a 6000 rack mount kit. All rack mount accessory kits contain detailed mounting instructions.

2.2.4 Ventilation Requirements

Rear panel area needs 2 to 4 inches of clearance for air circulation.

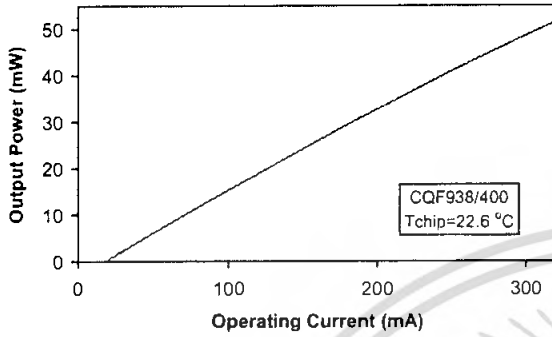
2.2.5 Power-Up Sequence

With the 6000 connected to an AC power source, set the power switch to “I” to supply power to the instrument and start the power-up sequence.

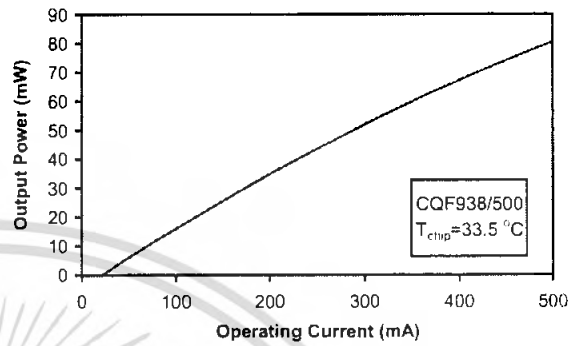
During the power-up sequence, the following takes place. For about 5 seconds an initialization screen is displayed. The software version is displayed in the lower left corner of the screen. During this time a self-test is performed to ensure that the 6000 hardware and software are communicating. If the 6000 cannot successfully complete this test, an error message will be displayed.

After this test, the 6000 is configured to the state it was in when the power was last shut off and displays the master display.

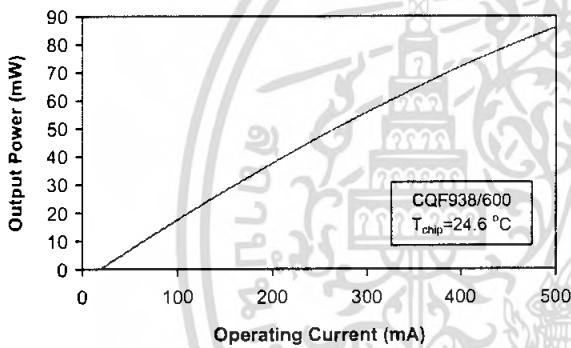
Typical Performance Characteristics



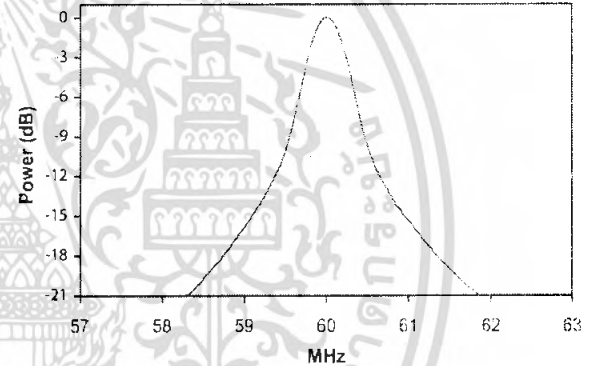
Typical CQF938/400 output power versus bias current drive.



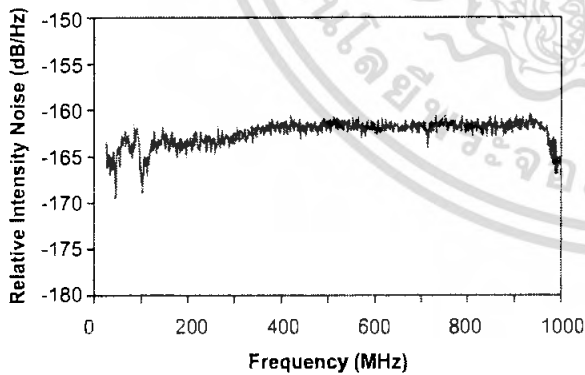
Typical CQF938/500 output power versus bias current drive.



Typical CQF938/600 output power versus bias current drive.



Linewidth at -3 dB is better than 1 MHz.

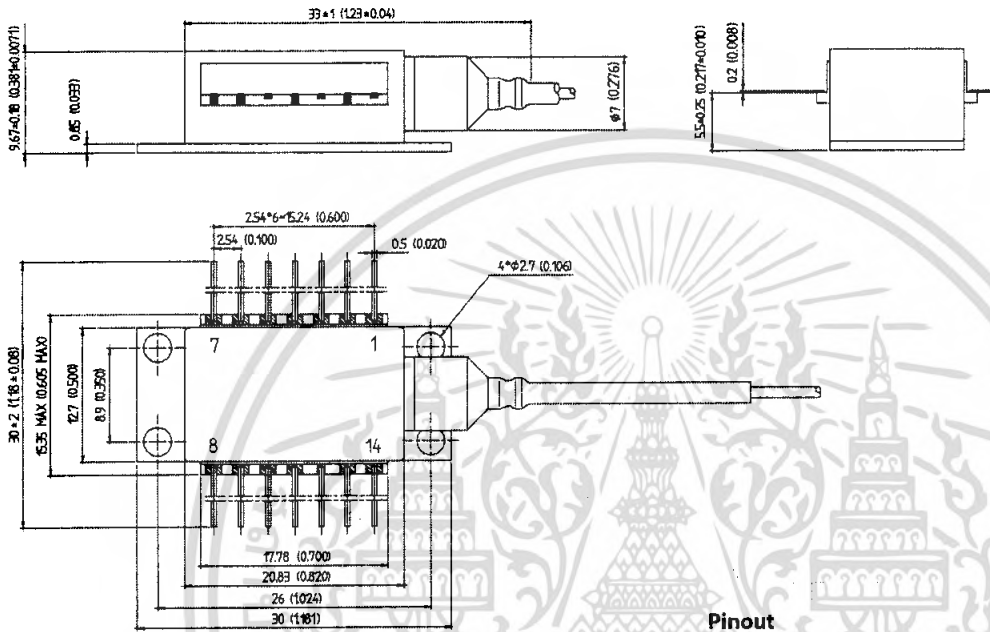


Relative intensity noise is better than -160 dB/Hz.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dimensions Diagram

(Specifications in mm [inches] unless otherwise noted; tolerance = ±0.15 [±0.006].)



Pinout

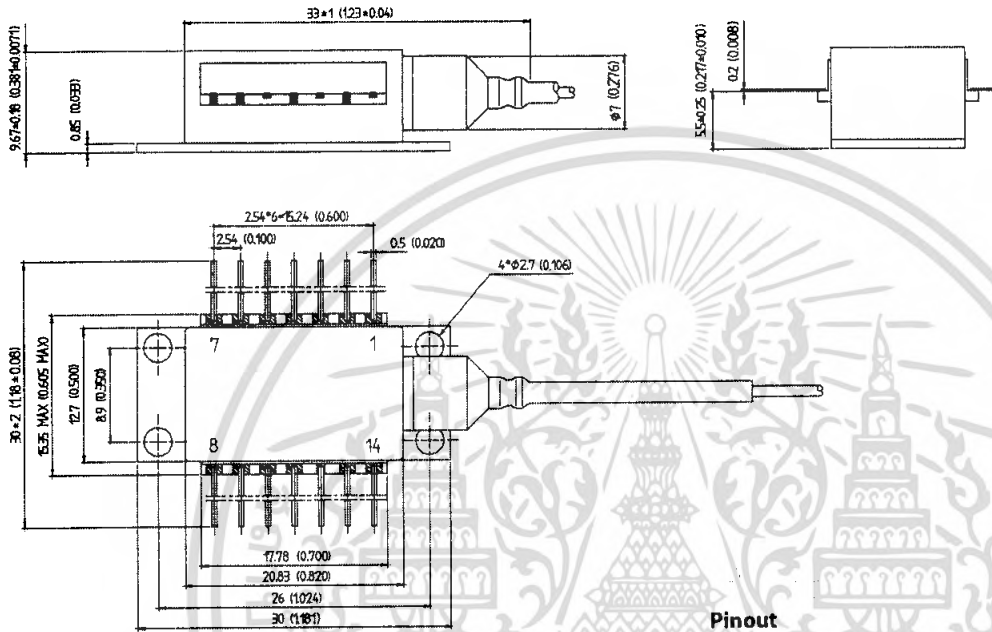
Fiber termination: default 1.25 mm ferrule

Pin	Description
1	Thermistor
2	Thermistor
3	LD cathode DC input via inductance
4	PD anode
5	PD cathode
6	Cooler anode
7	Cooler cathode
8	Case GND
9	Case GND
10	Not connected
11	LD anode, case
12	LD cathode, AC input
13	LD anode, case
14	Not connected

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dimensions Diagram

(Specifications in mm [inches] unless otherwise noted; tolerance = ±0.15 [±0.006].)



Fiber termination: default 1.25 mm ferrule

Pinout

Pin	Description
1	Thermistor
2	Thermistor
3	LD cathode DC input via inductance
4	PD anode
5	PD cathode
6	Cooler anode
7	Cooler cathode
8	Case GND
9	Case GND
10	Not connected
11	LD anode, case
12	LD cathode, AC input
13	LD anode, case
14	Not connected

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 Introduction to the 6000 Front Panel

2.3.1 Model 6000

Described below are the functions of each area of the Model 6000 front panel, as shown in Figure 1. See the following section for the Model 6000M and 6000MF.

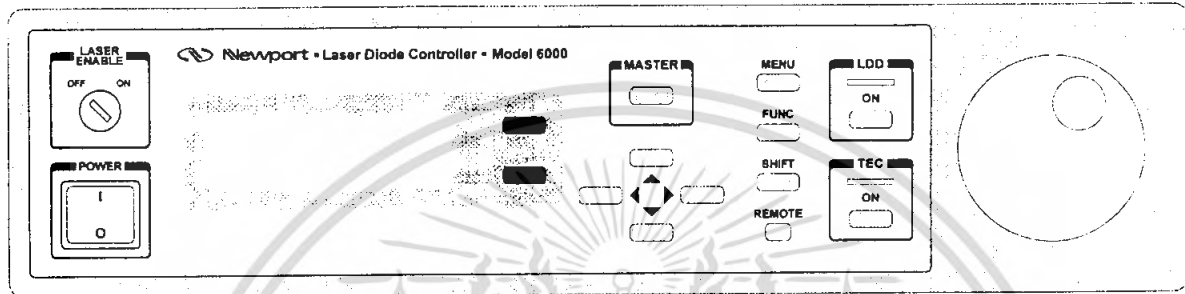


Figure 1 - Model 6000 Front Panel

1. **Power On/Off Switch** - Switches on/off the AC power to the unit.
2. **Laser Enable On/Off Switch** - Safety key-switch that enables/disables laser output. See sections 3.6 and 4.3.4 for additional information on laser interlock.
3. **Laser Active LED** - Indicates laser output is on.
4. **LDD On Button** - Turns the laser output on/off.
5. **TEC Active LED** - Indicates TEC output is on.
6. **TEC On Button** - Turns the TEC output on/off.
7. **Display Soft Keys** - These are the two dark keys located to the right of the display. The function of these keys varies depending on what menu is displayed. See section 2.4.1.4 for a complete description of soft keys.
8. **MASTER Key** - switches to the master display from any screen in the system (see section 2.4.2).
9. **Cursor Control Keys** - Moves cursor up or down between editable data fields. The left arrow decrements values in numerical entry fields, or as a previous choice in a multi-choice entry field. The right arrow increments values in numerical entry fields, or as a next choice in multi-choice entry fields. See section 2.4.1.3 for a description of data fields.
10. **MENU Key** - Switches to the main menu from any screen in the system (see section 2.4.6).
11. **FUNCTION Key** - Used to execute user macros and special functions (see section 2.4.2).
12. **SHIFT Key** - Toggles between the outer and inner set of soft keys.
13. **Remote LED** - Indicates 6000 is in remote mode.
14. **Knob** - Used to continuously vary certain parameters. The knob has an acceleration factor that causes the rate of change to increase as the knob is turned

faster. Turning slowly allows for a fine adjustment at the smallest displayed decimal place.

2.3.2 Model 6000M and 6000MF

The only physical difference on the front panel for the Model 6000M and Model 6000MF is the TEC On button has been replaced by the MOPA Amplifier On button, which allows independent control of each MOPA channel, and the LDD On button has been renamed to OSC On button. The TEC On button was moved to the lower soft key on the Master Display.

Only elements that differ on the 6000M and 6000MF are described below. See the section above for a description of the other elements on the front panel.

3. **Oscillator Active LED** - Indicates MOPA oscillator output is on.
4. **OSC On Button** - Turns the MOPA oscillator output on/off.
5. **Amplifier Active LED** - Indicates MOPA amplifier output is on.
6. **AMP On Button** - Turns the MOPA amplifier output on/off.

2.4 General Operation

2.4.1 Display Elements

The Model 6000 uses a character display to depict information about the current state of the system. The display can be broken down into four basic elements: static fields, non-editable data fields, editable data fields, and soft key labels.

2.4.1.1 Static Fields

Static fields are elements on the display which do not change from moment to moment. These can include screen titles and error messages.

2.4.1.2 Non-Editable Data Fields

Non-editable data fields are used mainly to display read back information, such as temperature, laser current, etc. These fields can have a prefix or suffix label, such as “Io=” or “mA”, and are periodically updated by the system.

2.4.1.3 Editable Data Fields

Editable data fields are used for module and system settings such as current set point, temperature set point, display contrast, etc. An editable field has three distinct display states: focused, non-focused, and read-only.

The focused state indicates that the field has the input “focus.” When the a field has the focus, a right pointing arrow (→) is placed to the left of the field. Any keyboard entry or knob adjustment will be applied to the field, and only one field at a time on the display can have focus. Move between fields using the up and down arrow keys.

The non-focused state indicates that the field is editable, but does not currently have the focus. These fields are indicated with a right pointing triangle (▸) to the left of the field. Using the up and down arrows, focus can be moved to these fields.

When the editable data field is in the read-only state, it looks and acts exactly like a non-editable data field. Like the non-editable data field, it cannot have focus, and the up or down arrow keys will skip over the field. This state is used primarily to lockout specific data elements from front panel change when the Model 6000 is in remote mode. Any IEEE-488 or RS-232 communication will place the unit in remote mode, and editable fields that are protected during remote operations change to the read only state.

2.4.1.3.1 Changing Data Fields

A data field can only be changed from the front panel when the field is the focus. Some fields are numeric-based, such as current set point or temperature limits. Other

fields are multi-choice fields, such as Yes/No fields. Both types are changed with the left and right arrows or the knob.

2.4.1.4

Soft Keys

Soft key labels are labels for the two gray buttons located to the immediate right of the display. Each label either indicates the action that is performed when the corresponding key is pressed (such as changing screens), or the state of a data element in the system (such as laser PD zero). In the first case, pressing the corresponding soft key will cause the action to happen, such as changing to the setup screen when the **Setup** soft key is pressed from a module's main screen. In the second case, pressing the soft key will change the associated state, such as setting the laser's PD zero value.

Like the editable data fields above, certain soft keys are programmed to enter a "display-only" mode when the unit enters remote mode. Display-only soft keys are displayed in lower case, and will not function until the unit returns to local mode.

On some screens, such as the main menu, there are more than two soft key selections. In this case, the active soft keys have a left pointing arrow (←) to the right of the soft key label. Pressing the **SHIFT** key will toggle between the outer and inner two soft keys.

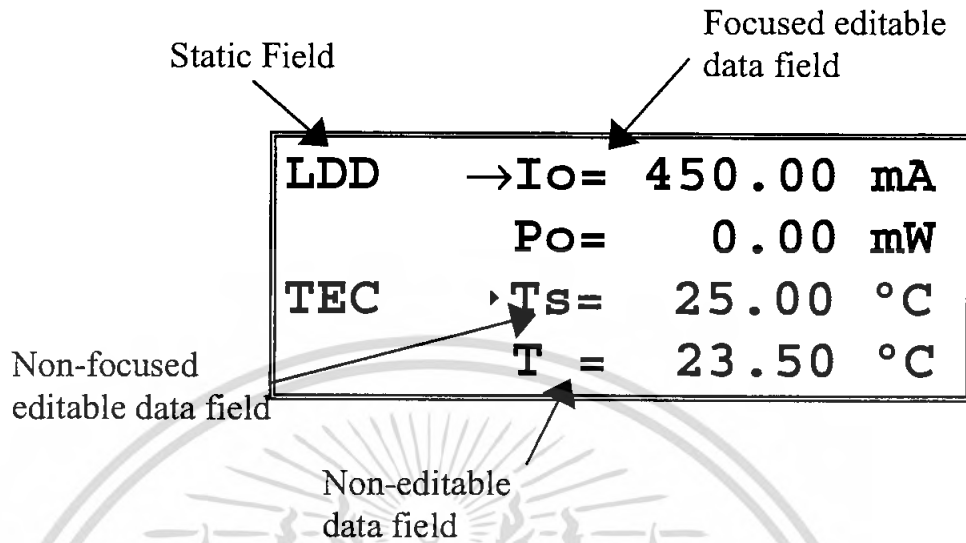


Figure 2 - A Sample Screen with Various Data Fields

2.4.2

Function Keys

The **FUNC** button serves two purposes on the 6000: first, as a quick navigation method that speeds switching between laser module and TEC screens; and second, as a method of setting up and executing user defined macros and special functions.

Using the **FUNC** key for navigation allows the user, with two or three keystrokes, to switch to the single display of either the laser module or TEC section. This works simply by pressing the **FUNC** button and then pressing the top soft key for the laser, or the bottom soft key for the TEC. For example, to switch to the single screen display of the laser, press and release **FUNC** and then press the top soft key. This quick navigation works anywhere in the system.

For macros and special functions, the **FUNC** key is used both to execute and to enter the setup screen on the particular function. For example, if the 6000 supported a special function assigned to the up arrow key, to enter the setup screen of this function, press *and hold* the **FUNC** key, then press the up arrow key, then release both. This would enter the setup screen for this function. To execute this function, press *and release* the **FUNC** key, then press and release the up arrow key. If functions are not setup/supported for a particular key, the 6000 will beep. The 6000 supports assignment of macros to the arrow keys, the **MASTER** key, the **MENU** key, the **LDD** key, and the **TEC** key.

2.4.3 Menu Structure

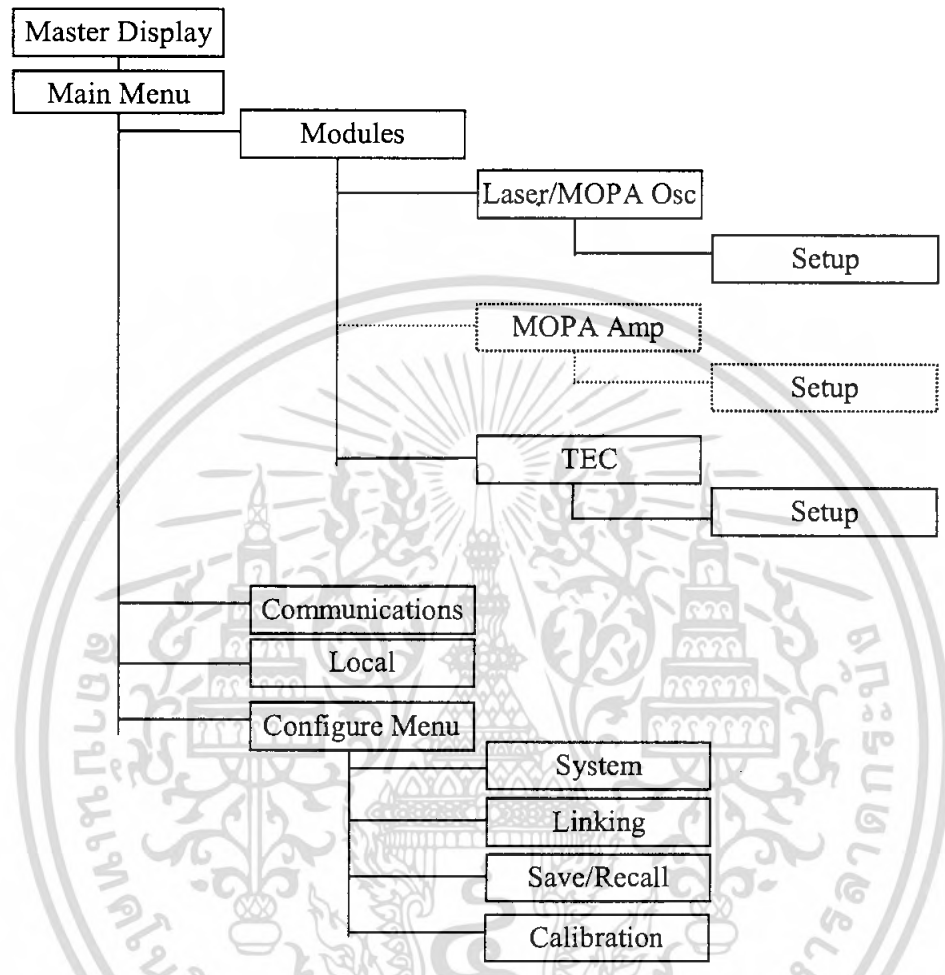


Figure 3 - Model 6000 Menu Structure

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 Master Display

The Master Display is shown in Figure 4. This is the highest level display and indicates the general status of both the laser module and TEC in the system at the same time.

LDD	→ I _o =	450.00	mA
	P _o =	0.00	mW
TEC	▸ T _s =	25.00	°C
	T =	23.50	°C

Figure 4 - Master Display

The Master Display can be accessed from any screen in the system by pressing **MASTER**. If there is no laser module detected in the system, the text “Not installed” will appear in place of the laser module’s status information.

2.4.5 MOPA Master Display

TEC On/Off soft
key

OSC	→ I _o =	1.66	mA
AMP	I _m =	0.0	μA
	▸ I _o =	741.6	mA
TEC	T =	25.00	°C
			OFF

Figure 5 - MOPA Master Display

The MOPA Master Display is used on Model 6000M and 6000MF controllers. The Master Display can be accessed from any screen in the system by pressing **MASTER**. The lower soft key controls the TEC on/off state. The soft key indicates the current state of the TEC output.

2.4.6 Main Menu

The Main Menu is shown in Figure 6. This is the second highest menu and is used to access four general system functions:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. **MODULES** - Pressing the adjacent soft key gives access to the laser module and TEC for setup and control of each module.
2. **COMM**- Pressing the adjacent soft key gives access to the GPIB and RS232 parameters.
3. **LOCAL** - When the unit is in remote mode, either through GPIB or RS-232C communications, the **Local** soft key will be available. Pressing it returns the 6000 to a local state. When in local mode, this key does *not* appear on the display. The 6000 is placed in remote mode through GPIB or RS232 communication, or during the execution of a macro or special function.
4. **CONFIG** - Pressing the adjacent soft key gives access to the general configuration menu, with soft keys to access system configure, save/recall, linking, and calibration screens.



Figure 6 - Main Menu

2.4.7

Configure Menu

The configure menu provides access to the system configuration, save and recall, and linking screens.

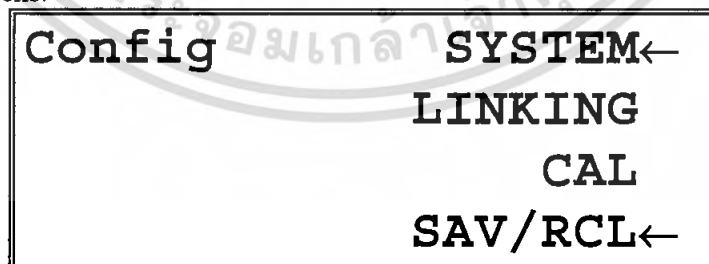


Figure 7 - Configure Menu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.8 System Configure Screen

```

→Contrast=      11 %
▶Brightness= 100 %
▶Lockout dial=  No
▶Lockout pad=   No ▼
  
```

```

→Audible beep= Yes ▲
▶On Delay=      3.0 S
▶Key Rate=      Fast
▶Dial Rate=     Fast
  
```

Figure 8 – System Configure Screen

The system configure screen controls basic operation of the 6000 system. **Brightness** varies the backlighting intensity. **Contrast** is used to optimize the viewing angle.

Lockout dial disables the dial to avoid accidental changes in active data fields when the dial is bumped.

Lockout pad locks out the left and right arrow keys, the data entry portion on the keypad. Navigation keys, such as up and down, **MENU**, **MASTER**, and **FUNC** continue to work.

Note that both the Lockout dial and Lockout pad settings are temporarily suspended while in the Configure System Screen, allowing the dial and keypad lockout settings to be changed while in this screen..

Audible Beep controls the system's audible beeper. The beeper indicates errors, invalid data entry, and other situations where the 6000 needs to alert the user. Each press of the **MASTER** button will clear one error.

On Delay controls the delay time from the moment a Laser Diode Driver is turned on by the user to the actual time the output is energized. The delay time is programmable from 0 seconds to 30 seconds. The default setting is 3 seconds.

Key Rate - this controls the speed at which, when a key is held down, it repeats. Settings are **Slow**, **Medium**, and **Fast**.

Dial Rate - like the **Key Rate** setting, this controls the acceleration of the dial as it is turned. Settings are **Slow**, **Medium**, and **Fast**.

2.4.9 Save/Recall Screen

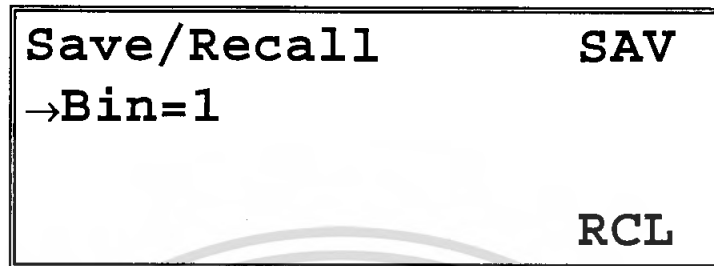


Figure 9 - Save/Recall Screen

The Save and Recall functions are used to store and retrieve 6000 setup configurations for future use. For example, a specific test setup may be saved for later use, and then another setup may be used presently. Then, when the user desires to perform the specific test, its setup is simply recalled.

Non-volatile memory is used for saving the instrument parameters. When a save operation is performed, all of the parameters which are currently in effect on the 6000 are stored. The user selects a “bin” number (1 - 5) for saving the parameters. Then, when that “bin” number is recalled, the 6000 is restarted and the parameters are reconfigured to the previously stored values.

A special “bin 0” is reserved for the reset state. Recalling bin 0 will reset all modules in the system to factory defaults.

The save/recall bin information will be lost upon detecting any change in the module configuration (such as installing a new module).

2.4.10 Linking Screen

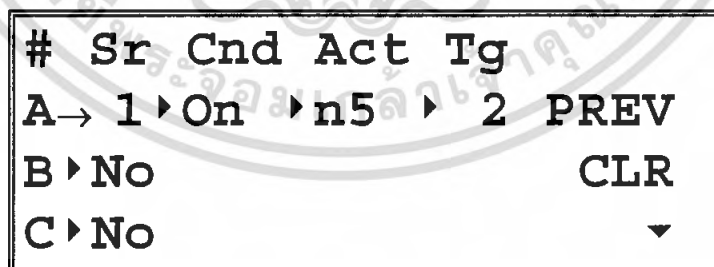


Figure 10 - Link Screen

The linking screen allows the conditions of the laser module and TEC to affect and control each other.

The headings were abbreviated because of space limitations, and the full names are Source, Condition, Action, and Target. In addition, the condition and action values were also abbreviated. See the tables below for the full text of each abbreviation:

Laser Conditions		TEC Conditions	
Abbrev	Full Text	Abbrev	Full Text
On	On	On	On
Off	Off	Off	Off
Out	Out of tolerance	Out	Out of tolerance
In	In tolerance	In	In tolerance
IoL	Current limit	I L	Current limit
VfL	Voltage compliance limit	V L	Voltage limit
ImL	Photodiode current limit	T L	Temperature limit
PoL	Photodiode power limit	ThL	Temperature high limit
Lck	Interlock open	TiL	Temperature low limit
Opn	Open circuit	R L	R limit
Sho	Short circuit	Opn	Module or sensor open
Actions			
Abbrev	Full Text		
Off	Turn off		
f#	Turn off in # seconds		
On	Turn on		
n#	Turn on in # seconds		

The **CLR** soft key allows clearing of all defined links. To clear a single link, simply change the source field to **No**. The system supports up to 24 links.

Each condition is evaluated approximately once per second. Links are edge triggered, which means that the action of a link is done the first time the condition goes true, not whenever the condition is true. The action will not be done a second time until the condition first goes false and then returns to true.

As an example of linking, consider a system where the TEC module cannot operate when the laser is off because condensation will form on the laser and may damage it. However, the TEC must be turned on whenever the laser is on to protect it from overheating. First, program the TEC high and low temperature limits to the operating range of the laser. The following three links will then ensure these conditions are met:

#	Source	Condition	Action	Target
A	1	On	Turn On 2	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

B	1	Off	Turn Off2
C	2	T Lim	Turn Off1

Link #1 turns on the TEC whenever the laser is on. Link #2 turns *off* the TEC whenever the laser is off. Link #3 turns off the laser if the TEC exceeds its temperature limits. There is no need to define a fourth link to turn off the TEC on a T Lim condition because if Link #3 turns off the laser, Link #2 will automatically turn off the TEC.

As shown in the example above, it is possible to setup a level of control that would normally only be possible with a computer-based monitoring system.

When the unit enters remote mode, the linking screen is not accessible.

2.4.11 Calibration Screen

Pressing the **Cal** soft key displays a module selection screen exactly like the screen shown after pressing the **Modules** soft key from the main menu. Press the upper soft key for the laser or the lower soft key for the TEC. On Model 6000M and 6000MF controllers, a second selection screen will appear to select the oscillator or amplifier section of the MOPA module. The calibration screen is then displayed. See sections 7.2 and 7.3 for Laser and TEC calibration, respectively.

2.4.12 Configure Communications Screen

```

→Err While Rmt=   No
▶ GPIB Address=   4
▶ Speed=          9600 Baud
▶ Terminal Mode=  No
  
```

Figure 11 - Communications Screen

The **GPIB Address** is the IEEE-488 device address assigned to the 6000. Valid addresses are 1 to 31. See the *Computer Interfacing Manual* for additional information on **Terminal Mode** and **Speed**.

2.4.12.1 Error Message Control

Error messages may appear on the display when error conditions occur which force the output off or reflect hardware errors in the 6000. Chapter 9 contains an explanation of the error message which may be reported by the 6000. Display of error messages on the 6000 screen may be disabled while in remote mode by setting **Err While Rmt** to **No**, or by using the GPIB command **REMERR** to set this value

remotely. Errors will continue to accumulate in the error queue, but will not be displayed on-screen.

2.5 Rear Panel Familiarization

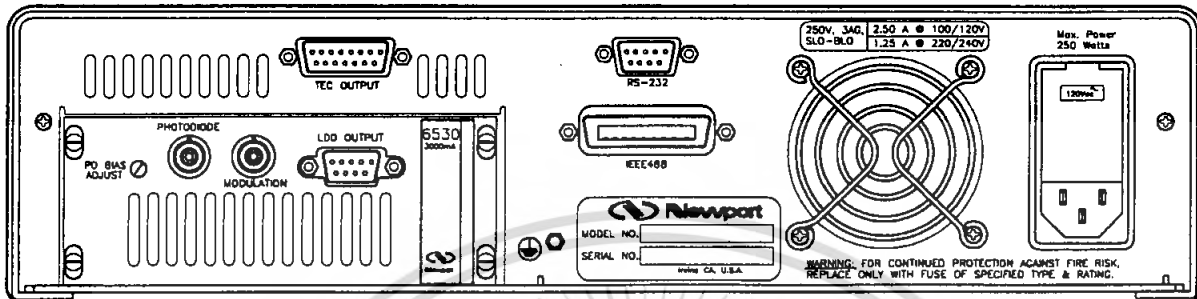


Figure 12 - Rear Panel

2.5.1 GPIB Connector

The GPIB connector, located on the back panel, allows full remote control as described in the *Computer Interfacing Manual*. It accepts a standard IEEE-488 cable for remote control, and uses Metric lock screws.

2.5.2 RS-232 Connector

The 6000 has an RS-232 connector located on the back panel. See the *Computer Interfacing Manual* for a more complete description of the RS-232 interface.

2.5.3 Input Power Connector

Accepts a standard line cord for AC input. Also selects one of four AC input settings: 100V, 120V, 220V, and 240V. The cord must be removed to change the setting. A small screwdriver will open the top of the module and expose the rotary switch. Select the range that is closest to your expected nominal RMS line voltage. The voltage selection is set for 120 VAC prior to shipping. A caution sticker is then placed over the input power connector to help insure the customer checks for proper voltage.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CAUTION

Do not exceed 250 VAC on the line input.

Do not operate with a line voltage that is not within $\pm 10\%$ of the line setting. Too low of an input voltage may cause excessive ripple on the DC supplies. Too high of an input voltage will cause excessive heating.

2.5.4 GND Post

Provides access to chassis ground, which is also an earth ground as long as a standard 3-wire line cord is used. This is a protective conductor terminal to be used to achieve chassis grounding requirements when the main connectors don't provide an earth ground terminal. Use a minimum of 18 gauge wire to connect to this terminal.

2.6 Warm Up and Environmental Consideration

Operate the 6000 at an ambient temperature in the range of 0 to $+40^{\circ}\text{C}$. Storage temperatures should be in the range of -20 to $+60^{\circ}\text{C}$. To achieve rated accuracy, let the 6000 warm up for 1 hour. For greatest accuracy, recalibrate when ambient temperature changes more than a few degrees.

CAUTION

Operating above $+40^{\circ}\text{C}$ can cause excessive heating and possible component failures.