

# สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการสื่อสารเครือข่ายด้วยระบบ巴士ทางแสง



นายวิทยารุช                      นัตราติชาติ  
นายเอกรัตน์                      เกษมบุญศิริ

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 36705

วัน, เดือน, ปี 23 ส.ค. 2543

เอกสารนี้เป็นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# A Study of Optical Bus and Network

Mr. Wittayawut Chatratichart

Mr. Eakarath Kasemboonsiri



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the  
Requirement for the Degree of Bachelor of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang


1998

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


หัวข้อโครงการพิเศษ                    การศึกษาการสื่อสารเครือข่ายด้วยระบบบัสทางแสง  
โดย    นายวิทยาธ                    ฉัตรชาติชาติ  
    นายเอกรัตน์                    เกษมบุญศิริ  
ภาควิชา    ฟิสิกส์ประยุกต์  
อาจารย์ที่ปรึกษา                            รศ.ดร. ปรีชา                    ยูพาพิน


ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า                    เจ้าคุณ  
ทหารลาดกระบัง                    อนุมัติให้นำโครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิทยาศาสตร์บัณฑิต

  
\_\_\_\_\_  
( รศ. สุรพล    รักวิชัย )                    หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

  
\_\_\_\_\_  
( รศ.ดร. ปรีชา    ยูพาพิน )                    ประธานกรรมการ

\_\_\_\_\_  
( รศ.สุวรรณ    คุณสำราญ )                    กรรมการ

  
\_\_\_\_\_  
( อ.วิษณุ    เพชรภา )                    กรรมการ

  
\_\_\_\_\_  
( อ.สุรชาติ    กมลดิлок )                    กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาการสื่อสารเครือข่ายด้วยระบบบัสทางแสง	
นักศึกษา	นายวิทย์วรุฒ	ฉัตรชาติชาติ
	นายเอกรัตน์	เกษมบุญศิริ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.ปรีชา	ยุพาพิน
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์	
ปีการศึกษา	2541	

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาระบบบัสทางแสง โดยใช้เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกและแหล่งกำเนิดแสงชนิดไดโอดเปล่งแสง หลักการทำงานของระบบก็คือจะทำการส่งสัญญาณผ่านพาหะทางแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันหรือที่เรียกว่าการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่นนั้นทำให้สามารถเพิ่มความจุของสัญญาณที่ส่งไปในระบบบัส จากการทดลองโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่นประมาณ 580 และ 630 นาโนเมตร แล้วทำการศึกษาคุณภาพของสัญญาณในรูปอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนและสัญญาณรบกวนข้ามช่อง พบว่าระบบมีอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนเท่ากับ 173.3 และมีค่าสัญญาณรบกวนข้ามช่องเท่ากับ -24.78 เดซิเบล แต่เนื่องจากระบบใช้เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกซึ่งมีปริมาณการลดทอนของสัญญาณมากกว่า 200 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ทำให้ไม่สามารถส่งสัญญาณในระยะไกล ๆ ได้ อย่างไรก็ตามในระบบใช้การส่งสัญญาณโดยการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น ทำให้สามารถเพิ่มขีดความสามารถในการจุของสัญญาณของระบบบัสทางแสงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	A Study of Optical Bus and Network
Name	Mr.Wittayawut Chatratchart Mr.Eakarath Kasemboonsiri
Special Project Advisors	Assoc. Prof. Dr.Preecha Yupapin
Department	Applied Physics
Academic Year	1998

### ABSTRACT

This special project is the study of the optical bus using plastic fiber and light emitting diode light sources. The principle of the system is that two different light sources are multiplexed to increase the communication capacity in the optical bus. Results of the study have shown the feasibility of using such a system for short distance communication link. The S/N of the output signal and the crosstalk signal from this study were 173.3 and -24.78 dB respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้ข้าพเจ้ามีความภาคภูมิใจเป็นอย่างมากเนื่องจากข้าพเจ้าทุ่มเทให้กับการทดลองและทำงานอย่างตั้งใจจริงเพื่อให้ได้ผลงานออกมาดี แต่ถ้าขาดบุคคลเหล่านี้ที่คอยให้กำลังใจและช่วยเหลือข้าพเจ้ามาโดยตลอดก็จะมีโครงการฉบับนี้ซึ่งบุคคลเหล่านี้คือ

บิดา มารดา ที่คอยให้กำลังใจและกำลังใจทรัพย์ที่ดีตลอดมา  
 รศ.ดร. ปรีชา ยูพาสิน ที่คอยช่วยเหลือและแนะนำความรู้ต่างๆที่เป็นประโยชน์ในการทำโครงการพิเศษมาโดยตลอด  
 ดร.รัชภาคย์ จิตต์อารี ที่คอยแนะนำความรู้และข้อมูลบางอย่างที่เป็นประโยชน์ในการทำโครงการพิเศษ  
 อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ทุกๆ ท่าน ที่ช่วยประสาทวิชาความรู้แก่ข้าพเจ้า  
 พี่อภิชาติ ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำข้อมูลบางอย่างที่เป็นประโยชน์  
 เพื่อนๆในภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ทุกๆคน ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจเสมอมา

สุดท้ายก็ขอขอบคุณดีทั้งหมดที่ข้าพเจ้าได้สร้างสมมาตั้งแต่อดีตชาติจนถึงปัจจุบันให้กับบิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่านรวมทั้งเพื่อนร่วมโลกของข้าพเจ้าด้วย

นายวิฑูรย์ ฉัตรชาติ  
 นายเอกรัตน์ เกษมบุญศิริ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญภาพ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการพิเศษ.....	1
1.2 จุดประสงค์ของโครงการพิเศษ.....	1
1.3 การดำเนินการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการพิเศษ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้นของเส้นใยนำแสง	
2.1 โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสง.....	3
2.2 ทฤษฎีทางแสงเบื้องต้น.....	3
2.3 ข้อดีของเส้นใยแก้วนำแสง.....	6
2.4 ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง.....	7
2.5 การสูญเสียสัญญาณในเส้นใยแก้วนำแสง.....	9
2.6 ระบบสื่อสารใยแก้วนำแสง.....	9
2.7 อุปกรณ์แหล่งกำเนิดแสง.....	12
2.8 อุปกรณ์รับแสง.....	12
บทที่ 3 เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก	
3.1 โครงสร้างของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก.....	13
3.2 วัสดุที่ใช้ทำเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก.....	13
3.3 การผลิตเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก.....	14
3.4 คุณสมบัติของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก.....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น หากมีข้อสงสัยหรือข้อผิดพลาดใดๆ กรุณาแจ้งมาที่ [info@scs.ac.th](mailto:info@scs.ac.th) และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4 เครือข่ายเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก

4.1 รูปแบบเครือข่าย.....	18
4.1.1 เครือข่ายแบบสตาร์.....	18
4.1.2 เครือข่ายแบบบัส.....	20
4.1.3 เครือข่ายแบบวงแหวน.....	22
4.1.4 เครือข่ายแบบวงแหวนที่มีระบบรักษาความปลอดภัย.....	22
4.2 อุปกรณ์เชื่อมต่อแบบพาสซีฟ.....	23
4.2.1 คัปเปลอร์.....	23
4.2.2 คุณสมบัติ.....	23
4.2.3 การผลิต.....	24
4.3 อุปกรณ์เชื่อมต่อแบบแอกทีฟ.....	27
4.3.1 แอ็กทีฟสตาร์.....	27
4.3.2 ตัวทวนสัญญาณ.....	27
4.3.3 ออปติคอลลรีเลย์.....	27
4.4 การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น.....	28
4.4.1 มัลติเพล็กซ์เซอร์.....	28
4.4.2 ดีมัลติเพล็กซ์เซอร์.....	28

## บทที่ 5 การประยุกต์

5.1 การประยุกต์การสื่อสารทางแสง.....	30
5.1.1 การมัลติเพล็กซ์ทางแสง.....	30
5.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการมัลติเพล็กซ์และดีมัลติเพล็กซ์ทางแสง.....	31
5.2 การประยุกต์ใช้เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก.....	35

## บทที่ 6 ผลการทดลอง.....

## บทที่ 7 บทสรุปและแนวทางในการพัฒนาต่อไป

7.1 สรุปผลการทดลอง.....	48
7.2 ปัญญาหาที่เกิดขึ้น.....	48

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง.....50

- ภาคผนวก ก
- ภาคผนวก ข
- ประวัติผู้เขียน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1	แสดงส่วนประกอบของเส้นใยแก้วนำแสง.....	3
รูปที่ 2.2	แสดงการตกกระทบของแสง.....	4
รูปที่ 2.3	แสดงการเดินทางของแสงภายในเส้นใยแก้วนำแสง โดยอาศัยหลักการสะท้อนกลับหมด.....	5
รูปที่ 2.4	แสดงการลดทอนของเส้นใยแก้วนำแสงที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่น.....	7
รูปที่ 2.5	แสดงการเดินทางของแสงในใยแก้วนำแสงที่โค้งงอ.....	9
รูปที่ 2.6	แสดงการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งระยะทาง.....	11
รูปที่ 2.7	แสดงการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่.....	11
รูปที่ 2.8	แสดงการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา.....	11
รูปที่ 2.9	แสดงการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น.....	12
รูปที่ 3.1	แสดงกระบวนการดึง.....	14
รูปที่ 3.2	แสดงกระบวนการสอด.....	14
รูปที่ 3.3	แสดงการเปลี่ยนแปลงของการลดทอนโดย (ก) การยืดตัว.....	15
	(ข) แรงกด.....	15
รูปที่ 4.1	แสดงเครือข่ายสตาร์แบบ 6x6 พาสซีฟ.....	19
รูปที่ 4.2	แสดงเครือข่ายสตาร์แบบแอ็กทีฟ.....	19
รูปที่ 4.3	แสดงเครือข่ายสตาร์แบบหลายสตาร์.....	20
รูปที่ 4.4	แสดงเครือข่ายแบบทิศทางเดียว.....	20
รูปที่ 4.5	แสดงเครือข่ายแบบ 2 ทิศทาง.....	21
รูปที่ 4.6	แสดงเครือข่ายบัสแบบมีสถานีทวนสัญญาณ.....	21
รูปที่ 4.7	แสดงเครือข่ายวงแหวน.....	22
รูปที่ 4.8	แสดงเครือข่ายวงแหวนที่มีระบบการทำงานของรีเลย์.....	22
รูปที่ 4.9	แสดงเครือข่ายวงแหวนที่มีระบบรักษาความปลอดภัย.....	23
รูปที่ 4.10	แสดงคัปเปิลอร์แบบสตาร์ N=4.....	23
รูปที่ 4.11	แสดงคัปเปิลอร์ที่ทำโดยฟิวชั่นดรอป.....	25
รูปที่ 4.12	แสดงคัปเปิลอร์แบบแกนร่วม.....	25
รูปที่ 4.13	แสดงสปลิตเตอร์แบบกรวยแยก.....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.14 แสดงคัปเปิลอร์ที่ทำโดยวิธีการขัดและเชื่อมติด.....	26
รูปที่ 4.15 แสดงคัปเปิลอร์วิธีการใช้เส้นใยนำแสงที่เชื่อม.....	26
รูปที่ 4.16 แสดงแอกทีฟสตาร์.....	27
รูปที่ 4.17 แสดงการสลัปลั้วเส้นทางเดี่ยว.....	27
รูปที่ 4.18 แสดงการสลัปลั้วเส้นทางคู่.....	27
รูปที่ 4.19 แสดงการมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น.....	28
รูปที่ 4.20 แสดงการดีมัลติเพลกซ์เซอร์.....	28
รูปที่ 5.1 แสดงการมัลติเพลกซ์ทางแสงแบบแบ่งเวลา.....	31
รูปที่ 5.2 แสดงการมัลติเพลกซ์ทางแสงแบบแบ่งความยาวคลื่น.....	32
รูปที่ 5.3 แสดงการดีมัลติเพลกซ์โดยใช้อุปกรณ์กระจายแสงเชิงมุมด้วยเลนส์รวมแสง.....	32
รูปที่ 5.4 แสดงการดีมัลติเพลกซ์โดยใช้อุปกรณ์กระจายแสงเชิงมุมด้วยกรีนเลนส์.....	33
รูปที่ 5.5 แสดงการมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความยาวคลื่นโดยใช้ฟิล์มบาง.....	33
รูปที่ 5.6 แสดงการมัลติเพลกซ์ทางแสงแบบแบ่งความยาวคลื่นด้วยวิธีการผสม.....	34
รูปที่ 5.7 แสดงอุปกรณ์ตรวจจับโดยวิธีการยับยั้งการส่งผ่าน.....	35
รูปที่ 5.8 แสดงอุปกรณ์ตรวจวัดระดับแบบหลายจุด.....	35
รูปที่ 5.9 แสดงอุปกรณ์ตรวจจับแบบหลายจุด.....	36
รูปที่ 5.10 แสดงอุปกรณ์ตรวจจับโดยการยับยั้งการสะท้อน.....	36
รูปที่ 5.11 แสดงอุปกรณ์ตรวจวัดระดับแบบของเหลว.....	37
รูปที่ 5.12 แสดงการเปลี่ยนแปลงทางอนุภาคของการส่งผ่านแสง.....	37
รูปที่ 6.1 แสดงระบบบัลต์ที่ได้ทำการออกแบบ.....	38
รูปที่ 6.2 แสดงสัญญาณอินพุตความถี่ 10 kHz ที่จะทำการมอดูเลตกับ แหล่งกำเนิดแสงสีแดง.....	38
รูปที่ 6.3 แสดงสัญญาณอินพุตความถี่ 20 kHz ที่จะทำการมอดูเลตกับ แหล่งกำเนิดแสงสีเหลือง.....	39
รูปที่ 6.4 แสดงสัญญาณที่วัดจากวงจรรับแสงสีแดง.....	39
รูปที่ 6.5 แสดงสัญญาณที่วัดจากวงจรรับแสงสีเหลือง.....	40
รูปที่ 6.6 แสดงเส้นนำแสงชนิดพลาสติกที่ทำการแท็บ.....	41
รูปที่ 6.7 แสดงสัญญาณที่วัดได้จากตัวรับที่ตำแหน่ง b และ c เนื่องจากการเทเปอร์.....	41
รูปที่ 6.8 แสดงการการวัดกำลังของแสงโดยใช้พาวเวอร์มิเตอร์.....	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ เมื่อไม่มีฟิลเตอร์แสงสีแดงลงบนหน้าจอและต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.10 แสดงสัญญาณทางแสงจากแหล่งกำเนิดแสงสีแดงที่ตำแหน่งปลาย G  
 เมื่อไม่มีฟิลเตอร์แสงสีแดง .....45

รูปที่ 6.11 แสดงสัญญาณทางแสงจากแหล่งกำเนิดแสงสีแดงตำแหน่งปลาย G  
 เมื่อมีฟิลเตอร์แสงสีแดง .....46



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่าดัชนีหักเหของแสงในตัวกลางต่างๆ.....	4
ตารางที่ 2.2 การสูญเสียจากการดูดกลืนของสารเจือปนที่ความยาวคลื่นต่างๆ.....	8
ตารางที่ 3.1 แสดงค่าดัชนีหักเหของพลาสติก.....	13
ตารางที่ 6.1 กำลังของแสงสีแดงที่ตำแหน่งต่างๆ.....	42
ตารางที่ 6.2 กำลังของแสงสีเหลืองที่ตำแหน่งต่างๆ.....	43
ตารางที่ 6.3 เฟอร์เซ็นของการเทเปอร์ที่ตำแหน่งต่างๆเมื่อใช้แหล่งกำเนิดแสงสีแดง.....	44
ตารางที่ 6.4 เฟอร์เซ็นของการเทเปอร์ที่ตำแหน่งต่างๆเมื่อใช้แหล่งกำเนิดแสงสีเหลือง.....	44
ตารางที่ 6.5 สัญญาณที่วัดได้ของแสงสีแดงและสัญญาณรบกวนเมื่อผ่านฟิวเตอร์สีแดง.....	46
ตารางที่ 6.6 สัญญาณที่วัดได้ของแสงสีแดงและสัญญาณรบกวนเมื่อไม่ผ่านฟิวเตอร์สีแดง.....	47
ตารางที่ 6.6 สัญญาณที่วัดได้ของแสงสีเหลืองและสัญญาณรบกวน.....	48



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการพิเศษ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีในการสื่อสารได้พัฒนาไปมากโดยเฉพาะการสื่อสารทางแสงโดยผ่านเส้นใยแก้วนำแสงเป็นการสื่อสารที่ได้รับความนิยมและได้รับการพัฒนาเป็นอย่างมาก เนื่องจากการสื่อสารแบบนี้ไม่ถูกจำกัดด้วยข้อจำกัดทางอิเล็กทรอนิกส์เหมือนการสื่อสารด้วยสายโคแอกเซียล ทำให้ได้ความจุของช่องสัญญาณสูงมาก ค่าลดทอนในเส้นใยแก้วนำแสงต่ำ ราคาถูก น้ำหนักเบา และไม่ถูกรบกวนโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

การสื่อสารเครือข่ายแบนด์วิดท์กว้างนับว่ามีความสำคัญมากในการนำมาใช้งานทางด้านสื่อสาร ทั้งทางด้านข้อมูล ภาพ และเสียง เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก (Plastic Optical Fibre, POF) ในปัจจุบันนั้นสามารถส่งผ่านข้อมูลได้มากขึ้นถึง 300 Mbit/s ถึง 3 Gbit/s ถึงแม้จะไม่เทียบเท่ากับความสามารถของเส้นใยแก้วนำแสงก็ตาม แต่นับว่ามีอัตราที่มากกว่าการใช้สายทองแดง ด้วยเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1 มิลลิเมตรทำให้ง่ายต่อการติดตั้งและเดินสายมากกว่าใยแก้ว เส้นใยพลาสติกนั้นเหมาะสมกับการส่งข้อมูลในระยะทางใกล้ ๆ ประมาณ 100 เมตร หรือ น้อยกว่า อย่างเช่น ระบบ LAN และการสื่อสารประสม แม้กระทั่งการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous Transfer Mode , ATM) ซึ่งเดิมใช้สายทองแดงซึ่งมีความจุของสัญญาณไม่เพียงพอ

ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกจะยังไม่พัฒนาได้อย่างสมบูรณ์ แต่ก็มี การนำเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ ได้แก่ อุปกรณ์ทางด้านวิทยาศาสตร์ และการแพทย์ งานด้านนิวเคลียร์ฟิสิกส์ การส่งสัญญาณข้อมูลหรือสัญญาณภาพในระบบใกล้ๆ การนำเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกมาใช้ในการสื่อสารเครือข่ายด้วยระบบบัสทางแสงก็เป็นสิ่งที่น่าสนใจอีกอย่างหนึ่ง ซึ่งในอนาคตถ้าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกเช่นสามารถลดค่าการลดทอนในเส้นใยแก้วนำแสงได้ ก็จะเป็นการเพิ่มขนาดของระบบบัสทางแสงให้มีขนาดใหญ่ขึ้นจนสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

เพื่อศึกษาหลักการของการสื่อสารเครือข่ายด้วยระบบบัส คุณสมบัติของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก ศึกษาการทำเทเปอร์โดยใช้เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก ตลอดจนสร้างระบบบัสจริงโดยใช้เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก และนำผลการทดลองต่าง ๆ มาทำการวิเคราะห์ และสามารถใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 การดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินงานนั้น จะเริ่มจากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องทั้งหมด โดยสามารถแบ่งเป็นเรื่องใหญ่ๆได้เป็นทฤษฎีทางแสง ทฤษฎีสำหรับเส้นใยแก้วนำแสง เครือข่ายใยแก้วนำแสง ทั้งนี้ สำหรับทฤษฎีทางด้านเส้นใยแก้วนำแสงนั้นจะมุ่งเน้นรายละเอียดไปที่เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกด้วย เนื่องจากในการทำโครงงานพิเศษนี้จะใช้เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกด้วยเหตุผลคือราคาถูก และไม่เกิดความยุ่งยากในการทำเทเปอร์เหมือนกับเส้นใยแก้วนำแสง ในการทำเทเปอร์สำหรับเส้นใยแก้วนำแสงจะต้องใช้เครื่องมือที่ใช้ขบวนการทางความร้อนสำหรับการหลอมเป็นเทเปอร์ แต่สำหรับเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกมีขนาดที่ใหญ่กว่าเส้นใยแก้วนำแสงมากไม่ต้องใช้เครื่องมือดังกล่าว แต่อาศัยเทคนิคและความชำนาญในการทำอย่างง่าย ๆ และได้ผลดี คือจะทำการขีดเส้นใยนำแสงนี้ออกจนกระทั่งถึงบริเวณแกนของเส้นใยนำแสงทั้งเส้นที่เป็นทางเข้าของแสงและเส้นที่ต้องการเก็บสัญญาณไปใช้งาน แล้วนำเส้นใยนำแสงทั้งสองเส้นนี้มาประกบกัน และใช้เส้นลวดขนาดเล็กๆพัน ก็จะได้เทเปอร์ที่ต้องการ

ส่วนการศึกษาถึงระบบเครือข่ายนั้น ก็จะศึกษาถึงลักษณะเครือข่ายแบบต่างๆ ซึ่งมีมากมาย ได้แก่ ระบบเครือข่ายแบบบัส แบบวงแหวน แบบสตาร์ แบบต้นไม้ และแบบผสมเป็นต้น โดยโครงงานพิเศษนี้ก็จะใช้ระบบเครือข่ายแบบบัส ซึ่งจะต้องทำการออกแบบก่อนที่จะทดลองจริง ซึ่งเมื่อทำการศึกษามูลต่างๆและออกแบบระบบสำหรับโครงงานพิเศษนี้แล้ว จึงหาอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในโครงงานพิเศษ และเริ่มลงมือทดลองจริง

ในการปฏิบัติงานโครงงานพิเศษนี้ จะทำการทดลองเป็นส่วนๆ ส่วนหลักๆได้แก่วงจรส่งสัญญาณแสง วงจรรับสัญญาณแสง การทำคัปเปิลเลอร์ เมื่อแต่ละส่วนสามารถใช้งานได้แล้ว จึงนำแต่ละส่วนมารวมกันเพื่อจะได้ไม่เกิดความยุ่งยากในภายหลังในกรณีที่เกิดความผิดพลาดในแต่ละจุด จากนั้นจะเป็นการวิเคราะห์ผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง

### 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงานพิเศษ

โครงงานพิเศษนี้เป็นระบบบัสที่มีการส่งสัญญาณข้อมูลทางแสงผ่านทางเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก ทำให้สามารถนำสัญญาณไปใช้งาน ณ จุดต่างๆตามที่ต้องการได้ ไม่ต้องส่งสัญญาณจากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่ง(point-to-point)ซึ่งจะเป็นการสิ้นเปลืองสายสัญญาณเป็นอย่างมาก และยังเกิดความลำบากในการเดินสายสัญญาณในระยะไกลๆอีกด้วย แม้โครงงานพิเศษที่ทำขึ้นมาจะไม่สามารถส่งสัญญาณในระยะไกลได้เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านการสูญเสียของสัญญาณแสงที่เดินทางผ่านเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก แต่ในอนาคตถ้าเราสามารถสร้างเส้นใยนำแสงที่ไม่เกิดปัญหาในเรื่องของการสูญเสียของสัญญาณแสงนี้ ก็จะทำให้สามารถส่งสัญญาณข้อมูลไปได้ไกล และระบบมีขนาดใหญ่ขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

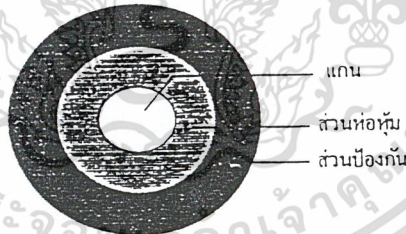
## บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้นของเส้นใยนำแสง

### 2.1 โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสง

ส่วนประกอบของเส้นใยแก้วนำแสงประกอบด้วยส่วนสำคัญ คือส่วนที่เป็นแกน(Core)อยู่ตรงกลางหรือชั้นในแล้วหุ้มด้วยส่วนที่เป็นแคลด(Clad) แล้วถูกหุ้มด้วยส่วนป้องกัน(Coating) โดยที่แต่ละส่วนทำด้วยวัสดุที่มีค่าดัชนีของแสงที่มีค่าแตกต่างกัน ทั้งนี้ก็เพราะต้องคำนึงถึงหลักการหักเหและการสะท้อนกลับหมดของแสง

แกน : เป็นส่วนตรงกลางของเส้นใยแก้วนำแสง และเป็นส่วนนำแสง โดยดัชนีหักเหของแสงส่วนนี้ต้องมากกว่าส่วนของแคลดแล้วลำแสงที่ผ่านไปในแกนจะถูกขังหรือเคลื่อนที่ไปตามเส้นใยแก้วนำแสงด้วยขบวนการสะท้อนกลับหมดภายใน ดังรูปที่ 2.1

ส่วนป้องกัน : เป็นชั้นที่ต่อจากแคลดเป็นที่กันแสงจากภายนอกเข้าเส้นใยแก้วนำแสง และกันแสงจากเส้นใยแก้วนำแสงออกข้างนอก และยังใช้ประโยชน์เมื่อมีการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงโครงสร้างอาจจะประกอบไปด้วยชั้นของพลาสติกหลาย ๆ ชั้น นอกจากนี้ส่วนป้องกันยังทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันการกระทำจากแรงภายนอกอีกด้วย ตัวอย่างของค่าดัชนีหักเหเช่น แกนมีค่าดัชนีหักเหประมาณ 1.48 ส่วนของแคลดและส่วนป้องกันซึ่งทำหน้าที่ป้องกันแสงจากแกนออกภายนอก และป้องกันแสงจากภายนอกกรบกรวนจะมีค่าดัชนีหักเหเป็น 1.46 และ 1.52 ตามลำดับ



รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของเส้นใยแก้วนำแสง

### 2.2 ปรากฏการณ์ทางแสงเบื้องต้น

#### ดัชนีหักเหของแสง

การหักเหของแสงเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วของตัวกลางซึ่งจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของความเร็วแสงในสุญญากาศกับความเร็วแสงในตัวกลางที่แสงผ่าน ค่าของอัตราส่วนของความเร็วนี้เรียกว่าดัชนีหักเห ( $n$ ) ซึ่งแทนด้วยความสัมพันธ์

$$n = c/v \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $c$  และ  $v$  คือความเร็วของแสงในสุญญากาศและในตัวกลางใด ๆ ตามลำดับ ดัชนีหักเหของแสงนั้นขึ้นอยู่กับความถี่ของแสงด้วยทั้งนี้เพราะความเร็วของแสงมีความสัมพันธ์กับความถี่และความยาวคลื่นคือ  $\lambda = c/v$  เมื่อ  $v$  และ  $\lambda$  คือความถี่และความยาวคลื่นของแสง ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 2.1 ข้างล่างเป็นตัวอย่างของค่าดัชนีหักเหของแสงในตัวกลางชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ 2.1 ค่าดัชนีหักเหของแสงในตัวกลางต่าง ๆ

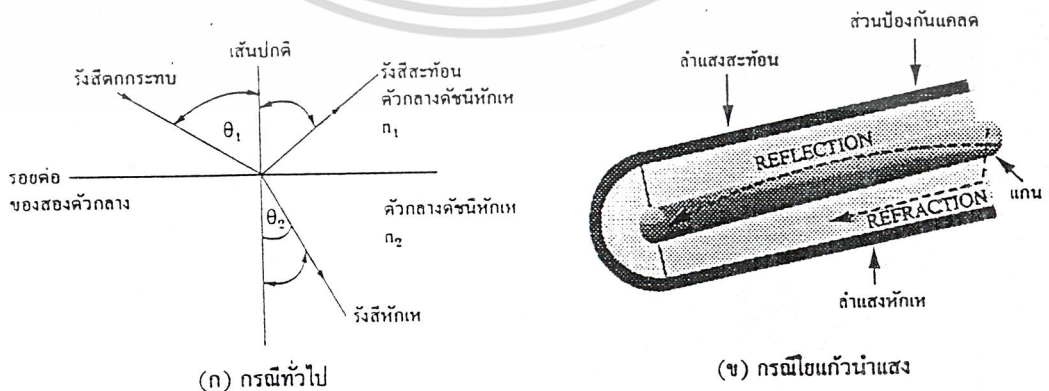
ตัวกลาง	ค่าดัชนีหักเห
สุญญากาศ (Vacuum)	1.00
อากาศ (Air)	1.0003
น้ำ (Water)	1.33
เอทิล แอลกอฮอล์ (Ethyl Alcohol)	1.36
ควอตซ์ (Fused Quartz)	1.46
แก้ว (Glass Fiber)	1.50-1.90
เพชร (Diamond)	2.00-2.42
ซิลิคอน (Silicon)	3.40
แกเลียม อาร์เซไนด์ (Gallium-Arsenide)	3.6

การสะท้อนกลับหมด

เมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางสองชนิดที่มีค่าดัชนีหักเหต่างกันจะทำให้มีการหักเหของแสงเป็นไปตามกฎของสเนลล์ (Snell's Law) คือ

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 \tag{2.2}$$

ในที่นี้  $\theta_1$  และ  $\theta_2$  คือมุมตกกระทบและมุมหักเหที่ลำแสงกระทำกับเส้นปกติ (Normal Line) บนพื้นผิวรอยต่อของตัวกลางทั้งสองนั้น ส่วน  $n_1$  และ  $n_2$  คือดัชนีหักเหของตัวกลางที่ 1 และตัวกลางที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 2.2



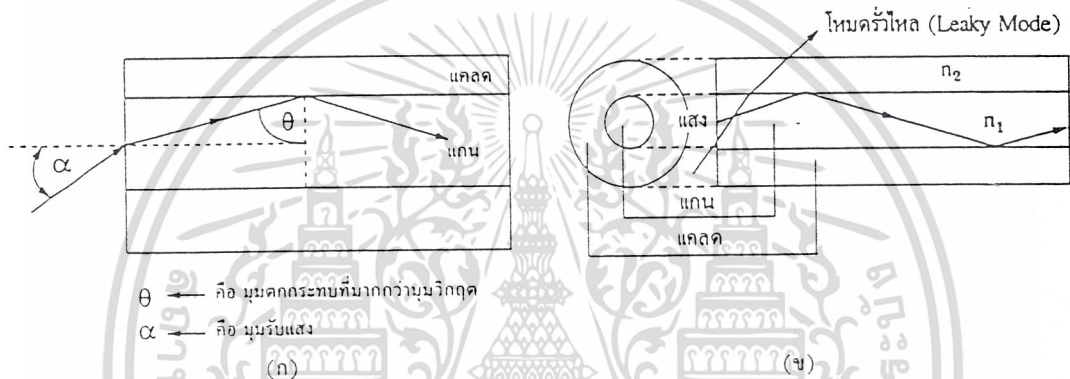
รูปที่ 2.2 แสดงการตกกระทบของแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในหอสมุดดิจิทัลเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณากรณีที่แสงเดินทางจากตัวกลางที่มีดัชนีหักเหมากไปยังตัวกลางที่มีดัชนีหักเหน้อย กล่าวคือ เมื่อมุมตกกระทบ  $\theta_1$  มีค่ามากขึ้นก็จะทำให้มุมหักเห  $\theta_2$  มีค่าเข้าใกล้  $90^\circ$  เรียกมุมตกกระทบที่ทำให้มุมหักเหเท่ากับ  $90^\circ$  นี้ว่ามุมวิกฤต (Critical Angle,  $\theta_c$ ) ดังสมการด้านล่าง และหากเพิ่มมุมตกกระทบอีกจน ( $\theta > \theta_c$ ) ก็จะทำให้แสงไม่สามารถที่จะเดินทางเข้าไปในตัวกลางที่ 2 ได้เลย นั่นคือเกิดการสะท้อนกลับหมดภายในนั่นเอง

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

เมื่อ  $n_{\text{core}}$  และ  $n_{\text{clad}}$  คือค่าดัชนีหักเหของแกน (core) และส่วนห่อหุ้มหรือแคลด (Cladding) ของใยแก้วนำแสงตามลำดับ



รูปที่ 2.3 แสดงการเดินทางของแสงภายในเส้นใยแก้วนำแสงโดยอาศัยหลักการสะท้อนกลับหมด

ในการนำแสงเข้าสู่เส้นใยแก้วนำแสงดังรูปที่ 2.3 ทำได้โดยการทำให้ดัชนีหักเหของแกนมีค่ามากกว่าดัชนีหักเหของแคลดซึ่งห่อหุ้มส่วนของแคลดไว้ โดยอาศัยหลักการสะท้อนกลับหมดภายในของแสงดังกล่าวข้างต้นก็สามารถที่จะทำให้แสงที่ป้อนเข้าไปภายในแกนเดินทางไปมาภายในแกนอยู่ได้

นิวเมอริคัลอเพอร์เจอร์ (Numerical Aperture)

เมื่อปล่อยแสงเข้าสู่เส้นใยนำแสง ถ้าต้องการให้เกิดปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมดนั้น จำเป็นต้องคำนึงถึงมุมที่ใช้ในการปล่อยแสงด้วย โดยมุมที่ใช้ปล่อยจะต้องอยู่ในช่วงของกรวยรับแสง (acceptance cone ;  $\theta_0$ ) นั่นคือ

$$\theta < \theta_{\text{max}} = \arcsin \left[ \frac{1}{n_0 \sqrt{n_{\text{core}}^2 - n_{\text{clad}}^2}} \right] \quad (2.4)$$

และเรียก  $\sqrt{n_{\text{core}}^2 - n_{\text{clad}}^2}$  ซึ่งเป็นคุณสมบัติของเส้นใยนำแสงว่า นิวเมอริคัลอเพอร์เจอร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3 ข้อดีของเส้นใยแก้วนำแสง

ระบบการสื่อสารด้วยใยแก้วนำแสงเมื่อเปรียบเทียบกับระบบการสื่อสารที่ใช้สายเคเบิลที่ทำด้วยโลหะแล้วมีข้อดีต่าง ๆ ที่เกิดจากคุณสมบัติของใยแก้วนำแสงดังนี้คือ

1. ให้แบนด์วิดท์ที่กว้าง กล่าวคือ การใช้คลื่นพาหะที่มีความถี่สูงในระบบสื่อสารทำให้แบนด์วิดท์ของสัญญาณกว้างมากขึ้น การสื่อสารด้วยใยแก้วนำแสงนั้นขึ้นกับคลื่นพาหะที่มีความถี่อยู่ในช่วง  $10^{13} - 10^{14}$  เฮิร์ตซ์ เมื่อเปรียบเทียบกับความถี่ของคลื่นวิทยุ  $10^6 - 10^9$  เฮิร์ตซ์ แล้วจะเห็นว่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณกว้างขึ้นถึงประมาณ  $10^6$  หรือ 1 ล้านเท่า

2. ขนาดเล็กและน้ำหนักเบา ใยแก้วนำแสงเพียงเส้นเดียวสามารถแทนคู่สายทองแดงขนาดใหญ่แต่ละคู่ได้ เช่น สายเคเบิลทางโทรศัพท์ที่มี 1,000 คู่สาย มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 7-10 เซนติเมตร จะสามารถใช้เคเบิลใยแก้วนำแสงเพียงเส้นเดียวที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร แทนได้ในการส่งช่องสัญญาณจำนวนที่เท่ากัน

3. การสูญเสียต่ำ ใยแก้วนำแสงมีค่าการสูญเสียเนื่องจากการลดทอนน้อยกว่าสายเกลียวคู่ (Twisted Pair) หรือ หุ้มฉนวน (Coaxial Cable)

4. ไม่ถูกรบกวนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เนื่องจากใยแก้วนำแสงไม่ได้สร้างจากเส้นลวดโลหะเหมือนสายเคเบิลโลหะแต่สร้างจากแก้ว (Glass) หรือซิลิกอน (Silicon) ดังนั้นจึงไม่ถูกรบกวนโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และไม่ต้องใช้เทคนิคป้องกันด้วยวิธีการชิลด์ (Shield) ที่มีราคาแพงและยุ่งยากเพื่อป้องกันการรบกวนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

5. คงทนและไม่ถูกรบกวนโดยสภาพดินฟ้าอากาศ แก้วหรือซิลิกอนมีความแข็งกว่าโลหะถึง 20 เท่า โดยที่ซิลิกอนหรือแก้วก็เป็นก๊าซเฉื่อย ดังนั้นสภาพแวดล้อมจึงมีผลน้อยกว่าการใช้งานสายที่ทำด้วยโลหะ

6. มีความปลอดภัย ในระบบสายโลหะจำเป็นต้องป้องกันอันตรายให้กับอุปกรณ์หรือมนุษย์จากไฟฟ้าลัดวงจรระหว่างสาย หรือระหว่างสายกับสายดิน ซึ่งเมื่อใช้เส้นใยแก้วนำแสงแล้วจะไม่มีปัญหาเกี่ยวกับสิ่งเหล่านี้

7. ราคาถูก ราคาของเส้นใยแก้วนำแสงในปัจจุบันมีราคาต่ำลงเรื่อย ๆ ในขณะที่ราคาของสายโลหะมีราคาเพิ่มขึ้น ในทางปฏิบัติทุกวันนี้ราคาของการออกแบบระบบที่ใช้ใยแก้วนำแสงมีราคาต่ำกว่าระบบแบบใช้โลหะ

### 2.4 ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง

1. แบ่งชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงตามชนิดของไดอิเล็กตริก(Dielectric)ที่ใช้ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

1.1 เส้นใยซิลิกา(Silica glass optic fiber) ซึ่งใช้ไดอิเล็กตริกที่เป็นแก้วซิลิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่อนุญาตให้เผยแพร่ไปยังประชาชนด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 เส้นใยแก้วผสม(Multi component glass optic fiber) ซึ่งใช้ ไดอเล็กตริกที่เป็นแก้วหลายชนิดปนกัน

1.3 เส้นใยพลาสติก(Plastic optic fiber) ซึ่งใช้ไดอเล็กตริกที่เป็นพลาสติก

2. แบ่งชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงตามจำนวนเส้นทางในการเดินทางของแสง (Propagation Mode)

2.1 แบบซิงเกิลโหมด(Single mode) จะไม่เกิดความแตกต่างของเวลาที่แสงเคลื่อนที่ในเส้นทางที่ต่างกัน ทำให้นำไปใช้ในการส่งระยะทางไกลๆและความถี่กว้างๆได้

2.2 แบบมัลติโหมด(Multimode) จะเกิดความแตกต่างของเวลาที่แสงเคลื่อนที่ในเส้นทางที่ต่างกัน ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้ในการส่งระยะทางไกลๆได้

3. แบ่งตามลักษณะของดัชนีการหักเห

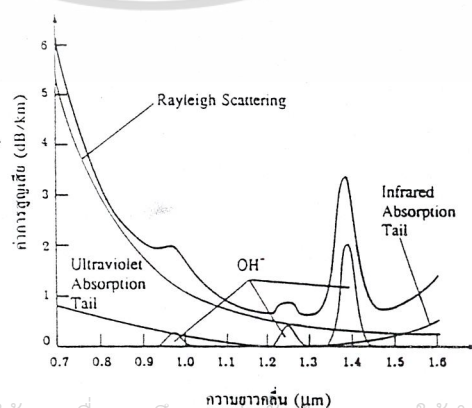
3.1 เส้นใยนำแสงแบบลัดเปออินเด็กซ์ (Step index optic fiber) เป็นเส้นใยแก้วนำแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหระหว่างแกนกับแคลดเป็นลักษณะขั้นบันได (step)

3.2 เส้นใยนำแสงแบบเกรเดดอินเด็กซ์ (Graded index optic fiber) เป็นเส้นใยแก้วนำแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหระหว่างแกนกับแคลดค่อย ๆ ลดลงทีละน้อย

2.5 การสูญเสียสัญญาณในเส้นใยแก้วนำแสง

เมื่อมีการบ่อนข้อมูลที่เป็นสัญญาณแสงให้กับเส้นใยแก้วนำแสงในช่วงระยะทางหนึ่ง สัญญาณเอทท์พทท์ที่ได้ออมมีการสูญเสียในเส้นใยแก้วนำแสงแบ่งออกได้ดังนี้

1. การสูญเสียเนื่องจากการดูดกลืนของวัสดุ พิจารณาการดูดกลืนในแก้วซิลิกาบริสุทธิ์ จากรูปที่ 2.4 จะเห็นว่าแก้วซิลิกาที่บริสุทธิ์จะดูดกลืนแสงน้อย และจะเห็นว่าอยู่ในช่วงของความยาวคลื่นระหว่าง 0.8 ถึง 1.6 ไมครอน จึงเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ในช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวถูกเลือกเพื่อใช้งานทางด้านสื่อสาร การดูดกลืนแบบนี้จะมีค่ามากบริเวณความยาวคลื่นในช่วงของอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet, UV) และอินฟราเรด (Infrared, IR)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 2.4 ที่แสดงการลดทอนของแสงในใยแก้วนำแสงสัมพันธ์กับความยาวคลื่น

2. การสูญเสียเนื่องจากการดูดกลืนจากภายนอก การสูญเสียของแสงที่เกิดจากการดูดกลืนแสงนี้เกิดจากการที่สารที่ใช้ผลิตเส้นใยแก้วนำแสงหรือแก้วนั้นมีสารเจือปนอยู่ทำให้เกิดการดูดกลืนของแสงขึ้น โดยทั่วไปแล้วจะมีการดูดกลืนแสงอันเนื่องมาจากแก้วและสารเจือปน ตัวอย่างเช่น กรณีที่มีสารเจือปนอยู่ 1 ในล้านส่วนก็จะทำให้เกิดการดูดกลืนแสงที่มีค่าดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การสูญเสียจากการดูดกลืนของสารเจือปนที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ

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

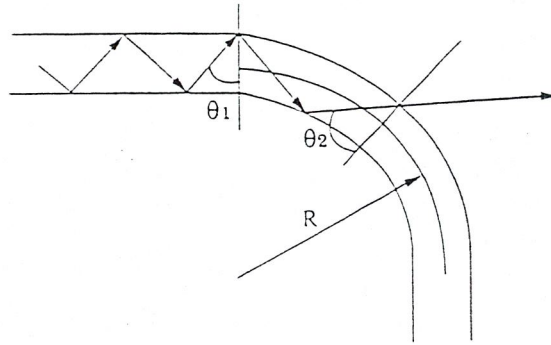
เทคนิคการผลิตใยแก้วนำแสงสมัยใหม่นั้นสามารถลดอิมพurityของสารเจือปนนี้ได้จนถึงระดับที่ไม่ส่งผลต่อการดูดกลืนได้ อย่างไรก็ตามอิมพurityดูดกลืนตัวหนึ่งที่ไม่สามารถขจัดได้ก็คือ ไฮดรอกซิล (Hydroxyl, OH)

3. การสูญเสียที่เกิดจากการกระจายแสงแบบเรย์ลี การสูญเสียแบบนี้เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น เมื่อแสงไปตกกระทบกับวัตถุที่มีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่น แล้วทำให้แสงนั้นแตกกระจายออกไปในทิศทางต่าง ๆ การสูญเสียแบบนี้เกิดขึ้นจากขั้นตอนการผลิตเส้นใยแก้วนำแสง โดยค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนชนิดเรย์ลี (Rayleigh,  $\alpha_r$ ) จะเท่ากับ  $1/\lambda^4$  ของค่าสูญเสียของกำลังแสงที่เกิดจากการสะท้อนเรย์ลีนั่นดังแสดงในรูปที่ 2.4

4. การสูญเสียที่เกิดจากการโค้งงอ การสูญเสียแบบโค้งงอ (Bending Loss) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือการโค้งงอชนิดมหภาคหรือแมโครเบนด์ (Macrobend) ที่มีรัศมีของส่วนโค้งมากกว่า 10 มิลลิเมตร และการโค้งงอชนิดจุลภาคหรือไมโครเบนด์ (Microbend) ที่มีรัศมีของส่วนโค้งน้อยกว่า 10 มิลลิเมตร การโค้งงอชนิดแมโครเบนด์จะเกิดขึ้นเมื่อเส้นใยแก้วม้วนอยู่รอบหลอดม้วน เนื่องมาจากการถูกโค้งงอตามมุมต่าง ๆ การเกิดการสูญเสียเนื่องจากการโค้งงอแบบนี้รังสีของแสงที่เคลื่อนที่ในเส้นใยแก้วตรงบริเวณที่โค้งงอ ซึ่งทำให้แสงตกกระทบตรงรอยต่อระหว่างแกนและแคลด ที่มีค่าน้อยกว่ามุมวิกฤตจึงทำให้รังสีของแสงกระจายออกไปนอกเส้นใยแก้วดังแสดงในรูปที่ 2.5

การโค้งงอชนิดไมโครเบนด์เกิดจากความไม่สมบูรณ์ของโครงสร้างทางเรขาคณิตของเส้นใยแก้วนำแสงในกระบวนการผลิต เช่น รัศมีของแกน จุดต่อระหว่างแกน และแคลดที่ขรุขระ เป็นต้น ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการผลิต นอกจากนี้การที่เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยแก้วนำแสงไม่เท่ากันตลอดทั้งเส้นก็ทำให้มีแสงบางส่วนกระจายออกมาจากใยแก้วนำแสงได้เช่นกัน

ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม สิ่งทั้งหมดนี้ล้วนเป็นข้อบกพร่องเนื่องมาจากกระบวนการผลิตทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$\theta_1$  และ  $\theta_2$  คือมุมตกกระทบของลำแสงภายในใยแก้วนำแสง

รูปที่ 2.5 แสดงทางเดินของแสงในใยแก้วนำแสงที่โค้งงอ

โดยทั่วไปแล้วการสูญเสียกำลังของแสงในใยแก้วนำแสงจะถูกกำหนดเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของการลดทอน (Attenuation Coefficient,  $\alpha$ ) ซึ่งมีหน่วยเป็นเดซิเบลต่อกิโลเมตร ซึ่งแทนด้วยความสัมพันธ์คือ

$$\alpha = -10 \log P_o / P_i \quad (2.5)$$

เมื่อ  $P_o$  คือกำลังของแสงที่ออกจากเส้นใยแก้วนำแสง

$P_i$  คือกำลังของแสงจากแหล่งกำเนิดแสง

## 2.6 ระบบสื่อสารใยแก้วนำแสง

ระบบอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นแสงนั้นทำได้โดยใช้อุปกรณ์ทางแสงได้แก่ แหล่งกำเนิดแสง (Light Source) ซึ่งปกติใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิด ไดโอดเปล่งแสง (LED) หรือไดโอดเลเซอร์ (LD) ส่วนอุปกรณ์ที่เปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้านั้นทำได้โดยใช้ไดโอดแสง (Photodiode) หรือทรานซิสเตอร์แสง (Photo Transistor) นอกจากกรณีที่ระยะทางของสายส่งยาวมากอาจต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ทวนสัญญาณ (Repeater) ซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ทำการขยายสัญญาณแล้วเปลี่ยนกลับเป็นสัญญาณแสงอีกครั้งและส่งกลับไปในเส้นใยแก้วนำแสง

### การผสมและแยกสัญญาณ

การผสมสัญญาณ (Modulation) ของการสื่อสารนั้น หมายถึงการทำให้ความถี่ของการสั่นในการส่งเปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณข่าวสาร สำหรับการสื่อสารใยแก้วนำแสงนั้นความถี่ (หรือความยาวคลื่น) ของแสงที่ปล่อยออกมาจากอุปกรณ์กำเนิดแสงมีค่าไม่คงที่ ดังนั้นความหมายของการผสมสัญญาณจึงแตกต่างกับการสื่อสารทางไฟฟ้า ถ้าหากสามารถทำให้แสงเป็นแสงอาพันธ์ (Coherence Light) ที่สมบูรณ์นั้นคือมีความถี่คงที่ และสามารถเปลี่ยนความถี่แสงให้อยู่ในย่านความถี่

ไม่โครเวฟได้ก็จะทำให้การสื่อสารใยแก้วนำแสงมีการผสมคลื่นชนิดต่าง ๆ นำไปเหมือนกับการสื่อสารทางไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้า ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการผสมคลื่นแสงนั้นเป็นเพียงการผสมคลื่นแสงนั้นเป็นเพียงการผสมความเข้มแสง (Intensity Modulation) เท่านั้น

ปกติสัญญาณแสงทางด้านรับของระบบสื่อสารนั้นสัญญาณจะอ่อนกำลังลง และบางครั้งอาจเกิดความผิดพลาดเนื่องจากการส่งผ่านไปใยแก้วนำแสง เมื่ออุปกรณ์รับแสงทำการแปลงสัญญาณแสงให้ได้สัญญาณไฟฟ้าที่ออกมาเป็นรูปร่างของสัญญาณเดิมที่เป็นสัญญาณพื้นฐาน (Baseband) และเป็นไปตามรูปร่างของกรอบคลื่น(Envelope) ของสัญญาณที่เกิดจากการรวมกับคลื่นพาห้ทางแสง สัญญาณนี้จะผ่านขั้นตอนทางไฟฟ้าเพื่อทำการขยายสัญญาณ และได้สัญญาณที่เครื่องรับปลายทางเหมือนกับต้นกำเนิดข่าวสารทุกประการ ในอนาคตถ้าสามารถทำให้แสงที่เป็นแสงอาพันธ์อย่างสมบูรณ์ก็จะสามารถใช้วิธีการผสมคลื่นที่ทำให้ความถี่ของต้นกำเนิดแสงเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณนั้น คือใช้วิธีผสมคลื่นที่มีประสิทธิภาพดีได้และทำนองเดียวกันกับทางด้านรับแสงก็สามารถให้การแยกสัญญาณที่เรียกว่าเทคนิคทางด้านความถี่(Heterodyne Detection) เป็นส่วนการรับสัญญาณปลายทาง

#### การส่งสัญญาณแบบดิจิตอลและแอนะล็อก

การส่งสัญญาณโดยทั่วไปนั้นมีสองแบบคือ การส่งสัญญาณแบบดิจิตอล(Digital) และแอนะล็อก(Analog) การสื่อสารด้วยแสงนั้นมีการส่งสัญญาณอยู่สองชนิดนี้เช่นกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับสัญญาณไฟฟ้าที่มาผสมกับแสงว่าจะจะเป็นสัญญาณดิจิตอลหรือสัญญาณแอนะล็อกเท่านั้น การส่งสัญญาณแบบดิจิตอลโดยทั่วไปแล้วจะนำมาเปลี่ยนเป็นรหัส(Code) ที่เหมาะแก่การส่งก่อนแล้วจึงส่งออกไปเช่นเดียวกับการส่งสัญญาณแบบแอนะล็อก นั่นคือก่อนที่จะทำการเปลี่ยนแปลงสัญญาณแอนะล็อกให้เป็นสัญญาณแสงนั้น จะทำการผสมสัญญาณชั้นแรกกับแหล่งกำเนิดแสงก่อน ทั้งนี้ก็เพราะว่าแสงเอาต์พุตของอุปกรณ์กำเนิดแสงนั้นไม่เป็นสัดส่วนกับระดับสัญญาณไฟฟ้าอินพุตเสมอไป ซึ่งทำให้เกิดความยุ่งยากในการรักษาคุณสมบัติของการส่งเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงต้องทำการผสมสัญญาณเบื้องต้นก่อน การเลือกระบบการส่งสัญญาณทั้ง 2 ชนิดนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน การเลือกระบบการส่งแบบแอนะล็อกมักใช้กับการส่งสัญญาณภาพในข่ายสาย(Networks) หรือเคเบิลทีวี แต่ในอนาคตระบบการส่งแบบดิจิตอลที่มีคุณสมบัติดีกว่าจะเข้ามามีบทบาทสำคัญในทุก ๆ ด้าน

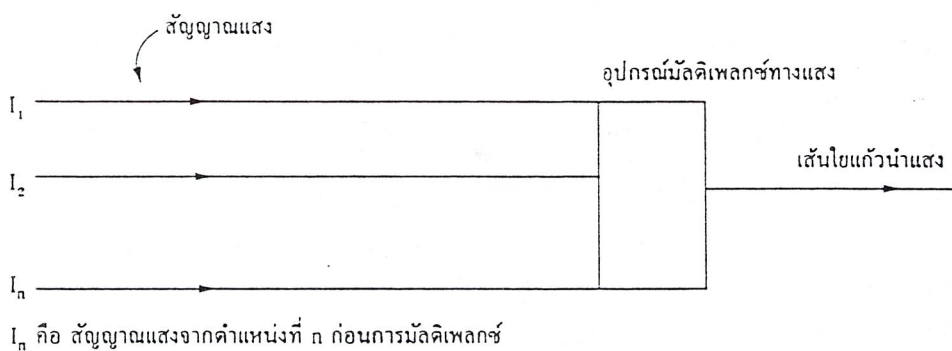
#### การทำมัลติเพลกซ์

การสื่อสารนั้นถ้าสามารถส่งข่าวสารได้มากเท่าใดก็จะเป็นการประหยัด ระบบสื่อสารใยแก้วนำแสงก็เช่นเดียวกันต้องมีการทำมัลติเพลกซ์ (Multiplex) เหมือนกับระบบสื่อสารใช้สายที่เป็นโลหะเช่นกัน การมัลติเพลกซ์ทางแสงสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท คือ

1. การมัลติเพลกซ์แบบแบ่งระยะทาง(Space Division Multiplexing) หมายถึง ในสายเคเบิล

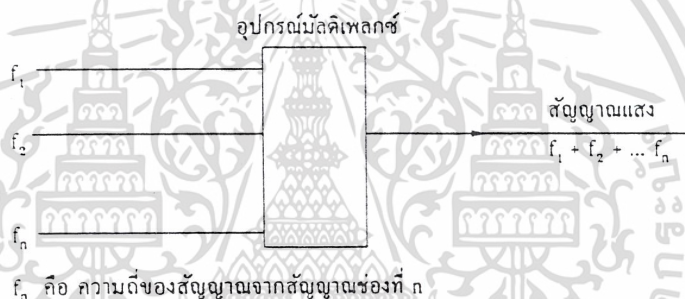
หนึ่งเส้นจะมีเส้นใยแก้วนำแสงเป็นจำนวนมากซึ่งเป็นวิธีที่ทำให้ส่งสัญญาณได้จำนวนมากต่อเคเบิลหนึ่งเส้น (ดูรูปที่ 2.6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



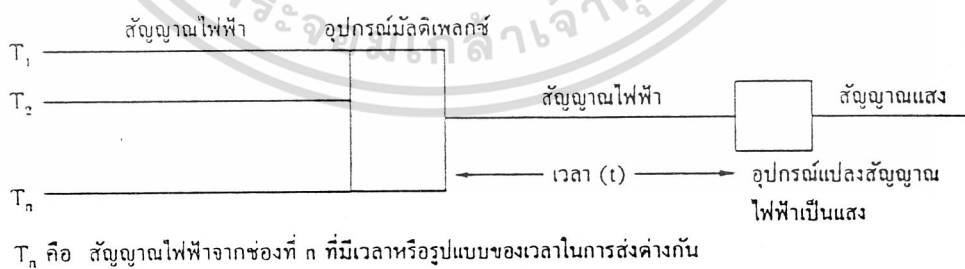
รูปที่ 2.6 แสดงการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งระยะทาง

2. การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่(Frequency Division Multiplexing) เป็นระบบที่ใช้กับการสื่อสารใยแก้วนำแสงที่มีการส่งสัญญาณจำนวนมาก โดยก่อนส่งไปนั้นจะถูกทำการมัลติเพล็กซ์ในขั้นตอนของการแปลงเป็นสัญญาณแสงเป็นไฟฟ้าก่อนการส่งสัญญาณ (ดูรูปที่ 2.7)



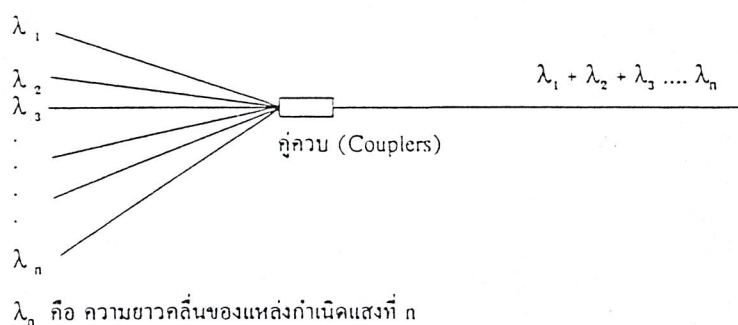
รูปที่ 2.7 แสดงการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่

3. การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา(Time Division Multiplexing) มีหลักการเช่นเดียวกันกับการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้สำหรับการส่งสัญญาณแบบดิจิทัล (ดูรูปที่ 2.8)



รูปที่ 2.8 แสดงการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา

4. การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น(Wavelength Division Multiplexing) เป็นวิธีการส่งสัญญาณแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันจำนวนมากในใยแก้วนำแสงหนึ่งเส้น ข้อดีคือสัญญาณไฟฟ้าที่เอกสารส่งไปกับความยาวคลื่นแต่ละความยาวคลื่นไม่ว่าจะเป็นแบบแอนะล็อกหรือดิจิทัลสามารถเปลี่ยนไม่ว่าแปลงได้โดยง่าย (ดูรูปที่ 2.9) ที่ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แสดงการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น

## 2.7 อุปกรณ์แหล่งกำเนิดแสง

แหล่งกำเนิดแสงที่นิยมใช้ปัจจุบันคือไดโอดเปล่งแสงชนิดสารกึ่งตัวนำและไดโอดเลเซอร์ เพราะไดโอดเหล่านี้เปล่งแสงที่มีความยาวคลื่นย่าน 0.8-0.9 และ 1.3-1.6 ไมครอน ซึ่งตรงกับย่านที่ใยแก้วนำแสงมีค่าสูญเสียต่ำและสามารถควบคุมกำลังขาออกได้อย่างรวดเร็วโดยการปรับค่ากระแสไบแอส (Bias Current) จึงง่ายต่อการผสมสัญญาณ อีกทั้งอายุการใช้งานมากกว่าหนึ่งล้านชั่วโมง ความแตกต่างที่สำคัญระหว่างแอลอีดีและเลเซอร์ไดโอดคือเลเซอร์ไดโอดมีมุมการเปล่งแสงที่แคบกว่าแต่มีความกว้างของสเปกตรัม (Spectrum Width) มากกว่า จึงนิยมใช้กับการส่งสัญญาณแบบโคฮีเรนต์ (Coherent Transmission) นอกจากนี้ยังเปล่งแสงเมื่อมีการต่อกระแสขับเคลื่อน (Drive Current) ได้เร็วกว่า แต่เนื่องจากเลเซอร์ไดโอดเป็นอุปกรณ์เทรชโฮลด์ (Threshold Device) การเปล่งแสงจึงไม่คงที่และเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแส จึงต้องมีการควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback) เพื่อทำให้กำลังขาออกของเลเซอร์คงที่

## 2.8 อุปกรณ์รับแสง

อุปกรณ์รับแสงนี้นิยมใช้เป็นประเภทสารกึ่งตัวนำซึ่งแบ่งออกเป็นพวกใหญ่ ๆ ได้ 2 ประเภทตามปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้จากภายนอกคือ

1. โฟโตไดโอด (Photodiode, PD) เป็นพวกที่ได้รับการป้อนแรงดันไฟฟ้าปริมาณน้อย ตัวอย่างเช่น PIN-PD เป็นต้น

2. อะวาลานซ์โฟโตไดโอด (Avalanche Photodiode, APD) เป็นพวกที่ได้รับการป้อนแรงดันไฟฟ้าปริมาณมาก การเลือกใช้ อุปกรณ์รับแสงแบบ PIN หรือ APD นั้น ตามปกติจะขึ้นอยู่กับราคาและความไวของเครื่องรับที่ต้องการ (Receiver Sensitivity) กระบวนการอะวาลานซ์ใน APD มีเทรชโฮลด์ซึ่งทำให้มีราคาแพงกว่า PIN เนื่องจาก APD มีการขยายกำลังได้สูงจึงจะทำให้ความไวของเครื่องได้ถึงประมาณ  $-15$  dB ซึ่งมากกว่าของ PIN ไดโอด นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงระดับสัญญาณรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รวบรวมไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก

#### 3.1 โครงสร้างของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก

ส่วนประกอบของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก (Plastic Optical Fibre ; POF) ยังคงมีลักษณะเหมือนกับเส้นใยนำแสงโดยทั่วไป นั่นคือ ประกอบด้วยส่วนกลางเรียกว่า แกน (core) ส่วนของเปลือกเรียกว่า แคลด และอาจจะมีหรือไม่มีส่วนของเปลือกหุ้มชั้นนอกเพื่อเพิ่มความแข็งแรงก็ได้

#### 3.2 วัสดุที่ใช้ทำเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก

โดยทั่วไป POF จะเป็นเส้นใยนำแสงชนิดสเต็ปอินเด็กซ์ (Step index fibre) วัสดุที่นำมาทำในส่วนของแกนจะต้องโปร่งใสในช่วงความยาวคลื่นที่ใช้งาน ซึ่งมักใช้วัสดุประเภท อมอร์ฟัสโพลีเมอร์ (amorphous polymers) สำหรับแคลดคุณสมบัติที่ต้องคำนึงถึงเพิ่มได้แก่ ความต้านทานอุณหภูมิและอายุการใช้งาน ตัวอย่างของวัสดุที่ใช้ทำ POF เป็นดังตาราง

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าดัชนีหักเหของพลาสติก

Material	Index	Material	Index
Amorphous fluoro polymer	1.29-1.31	Poly(methyl acrylate)	1.47-1.48
Semicrystalline fluoro polymers		Poly(methyl methacrylate)	1.49
FEP	1.34	Polycarbonate PC	1.50-1.57
PTFE	1.35	Poly(vinyl alcohol)	1.49-1.53
PCTFE	1.42-1.43	Polyacrylonitrile	1.52
PVDF	1.42	Poly(methyl methacrylimide)	1.53-1.54
Poly(dimethyl siloxane)	1.43	Poly(vinyl chloride) PVC	1.54-1.55
Poly(trifluoroethyl methacrylate)	1.44	Epoxy resins	1.55-1.60
Poly(vinyl acetate)	1.47	Polystyrene PS	1.59

ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกได้ตามชนิดของแกน

1. เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกที่มีแกนโพลีเมทิลเมตาไครเลต (Fibres with Polymethyl methacrylate core)
2. เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกที่มีแกนโพลีสไตรีน (Fibres with Polystyrene core)
3. เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกที่มีแกนโพลีคาร์บอเนต (Fibres with Polycarbonate core)
4. เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกที่มีแกนดิวเทอเรียม (Fibres with deuterated core) ซึ่งเป็นวัสดุประเภทโพลีเมทิลเมตาไครเลตหรือพีเอ็มเอ็มเอ (Polymethylmethacrylate; PMMA) แต่เปลี่ยนตำแหน่งของไฮโดรเจนอะตอมด้วยอะตอมของดิวเทอเรียม (deuterium) ซึ่งทำให้คุณสมบัติความโปร่งใสดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การผลิตเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก

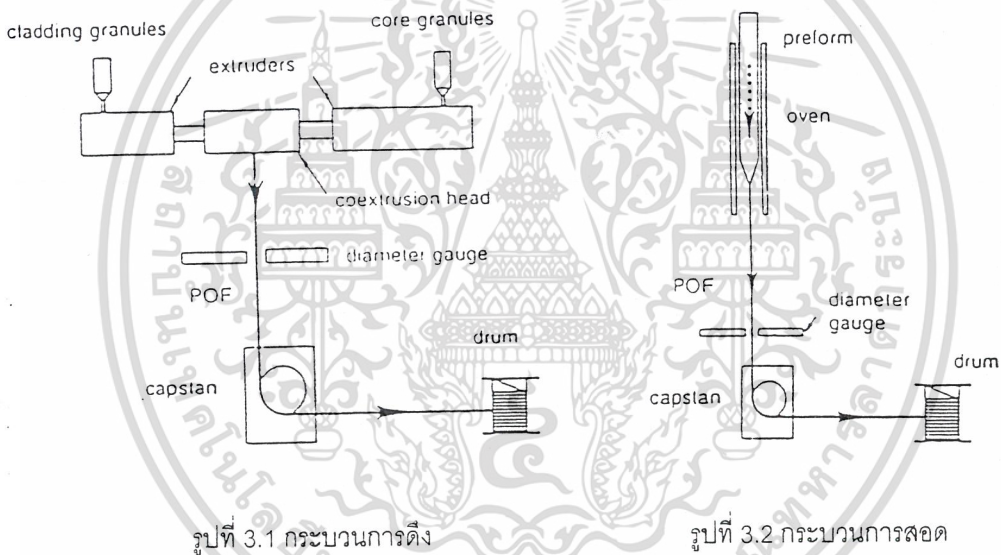
ขั้นตอนสำคัญ ๆ ในการผลิต POF สามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน คือ

1. การทำวัสดุให้บริสุทธิ์วัสดุที่นำมาใช้ทำ POF โดยส่วนใหญ่จะมีความบริสุทธิ์ไม่เพียงพอ จำเป็นต้องนำวัสดุดังกล่าวมาทำการกรองโดยใช้อุปกรณ์กลั่นและกรองระบบสุญญากาศ

2. การทำแกนโพลีเมอร์ วัสดุที่นำมาผลิต POF ในตอนแรกจะอยู่ในรูปของโมโนเมอร์(monomers) ต้องทำโมโนเมอร์ดังกล่าวให้จับตัวกันเป็นโพลีเมอร์โดยควรมีคุณสมบัติโพลีเมอไรเซชัน (polymerization) มากกว่า 95%

3. กระบวนการผลิต (Manufacturing Process) สร้าง ทำได้ 2 วิธีคือ

3.1 กระบวนการดึง (Coextrusion) จากขบวนการที่ 2 วัสดุที่อยู่ในรูปเม็ดจะถูกทำให้ร้อนและดึงผ่านหัวดึง ดังภาพที่ 3 จากนั้นจะถูกทำให้เย็นตัวลงและม้วนเก็บ



รูปที่ 3.1 กระบวนการดึง

รูปที่ 3.2 กระบวนการสอด

3.2 กระบวนการสร้างแท่งพรีฟอร์ม เป็นการทำให้อยู่ในรูปแท่ง เรียกว่า แท่งพรีฟอร์ม (preform) จากนั้นให้ความร้อนแก่แท่งพรีฟอร์มโดยแท่งพรีฟอร์มจะอ่อนตัว และย่อยลงตามแรงโน้มถ่วงผ่านไดมิเตอร์เกจ (diameter gauge) และม้วนเก็บ วิธีการนี้จะเหมือนกับในกรณีที่ใช้กับเส้นใยนำแสงที่ทำจากแก้วหรือซิลิกา

### 3.4 คุณสมบัติของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก

ด้วยความที่ไม่มีมาตรฐานสนับสนุน ในที่นี้ คำว่า "เดคอเรชั่น (decoration)" หมายถึงเส้นใยนำแสงพีเอ็มเอ็มเอที่มีการลดทอนสูง "คอมมิวนิเคชั่น (communication)" หมายถึงเส้นใยนำแสงพีเอ็มเอ็มเอที่มีการลดทอนต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ขนาด (Dimension)

- เส้นใยนำแสงเดคอร์เรชั่นชนิดเปลือย มีขนาดประมาณ 93-125  $\mu\text{m}$  ถึง 3 mm
- เส้นใยนำแสงคอมมิวนิเคชั่นชนิดเปลือย มีขนาดประมาณ 500-1500  $\mu\text{m}$  หรือขนาด 250-1000  $\mu\text{m}$  ขึ้นกับผู้ผลิต
- เส้นใยนำแสงคอมมิวนิเคชั่นชนิดมีส่วนห่อหุ้ม ( jacketed ) มักมีขนาดจำกัดที่ 500, 750, และ 10,000  $\mu\text{m}$  พร้อมด้วยปลอกขนาด 1-2.2 mm

สำหรับสายเคเบิลเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก (Plastic fibre cables) ขนาดจะขึ้นกับผู้ผลิต

2. นิเวอริคัลลอเปอร์เจอร์ เป็นค่าที่ใช้หามุมการรับ (acceptance angle) โดยมีค่า

$$A = \arcsin (NA) \text{ โดย } NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (3.1)$$

3. การลดทอน เมื่อแสงเดินทางในเส้นใยนำแสง กำลังของแสงจะลดลงโดยสามารถคำนวณได้จาก

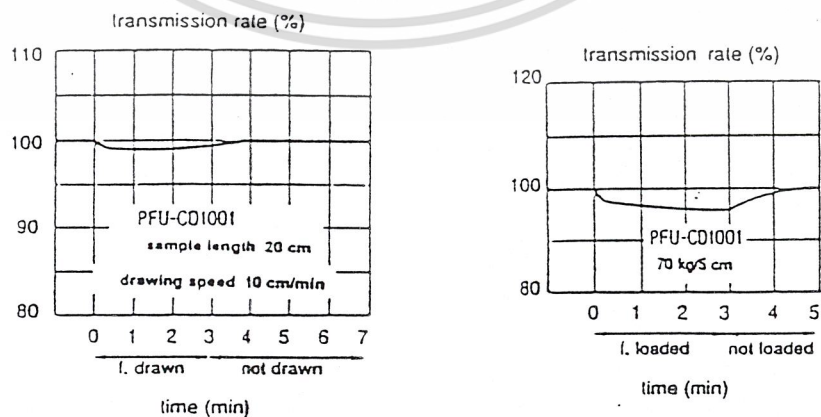
$$\alpha = 10 \log_{10} (P_e / P_s) \quad \text{dB} \quad (3.2)$$

โดย  $P_e$  และ  $P_s$  เป็นกำลังที่ขาเข้าและขาออก ตามลำดับ

4. ความกว้างช่วงคลื่น (Bandwidth) เมื่อเส้นใยนำแสงมีความยาวมากขึ้นจำนวนความถี่ที่สามารถผ่านได้จะมีจำนวนลดลง

5. คุณสมบัติทางกายภาพ(Physical properties) เนื่องจากยังไม่มีมาตรฐานสำหรับการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ดังนั้นการทดสอบคุณสมบัติเหล่านี้จะทำตามวิธีการของผู้ผลิต

5.1 ความต้านทานแรงดึง (Tensile resistance) การยืดตัวของเส้นใยนำแสงจะทำให้การลดทอนเพิ่มขึ้น ในกรณีใช้งานทั่วไปแรงดึงที่กระทำกับเส้นใยนำแสงต้องน้อยกว่า 10% ของจุดเสื่อมถาวร (deformation) สำหรับการใช้งานต่อเนื่อง และในบางครั้งแรงดึงอาจยอมให้สูงถึง 95% ผลของแรงดึงตัวแสดงดังกราฟ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 (ก) การยืดตัว (ข) แรงกด  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังเป็นลิขสิทธิ์ของเจ้าของเรื่องขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลและข้อมูลที่มี การนำไปใช้  
 รูปที่ 3.3 การเปลี่ยนแปลงของการลดทอนโดย (ก) การยืดตัว (ข) แรงกดที่มีการนำไปใช้

5.2 ความต้านทานแรงกด (Compression resistance) ผลแรงกดที่กระทำกับ POF ทำให้นิวเมอริคัลเปอร์เจอร์ของบริเวณที่ถูกกดเปลี่ยน ซึ่งทำให้เกิดลีเรีย ผลของแรงกดแสดงในกราฟข้างบน ภาพ (ข)

5.3 ความต้านทานแรงกระแทก (Shock resistance) แรงกระแทกอาจกระทำความเสียหายให้กับ POF ได้ซึ่งอาจทำให้ POF เสียรูปหรือแตกหักได้

5.4 ความต้านทานแรงบิด (Torsion resistance) คุณสมบัติข้อนี้จำเป็นในบางกรณีเช่น สำหรับการทำอุปกรณ์ตรวจจับ (sensor) ที่ติดตั้งในแขนของหุ่นยนต์ซึ่งในการทดสอบจะทำการหมุน POF ไปเป็นมุม  $180^{\circ}$  แล้วหมุนกลับ จากผลพบว่าไม่มีผลต่อการส่งผ่าน (transmission) ถึงแม้ว่าจะบิดไปแล้ว 1000 รอบ

5.5 ผลของการม้วนอย่างถาวร เมื่อต้องการเก็บ POF โดยการม้วนไว้ เส้นรัศมีของม้วนควรมีขนาดอย่างน้อย 15-17 เซนติเมตร เนื่องจากผลของการทดสอบของผู้ผลิต แสดงให้เห็นว่า ถึงแม้จะทำการทดสอบคนละวิธีก็ยังสามารถพบผลจากการม้วนเก็บในกรณีที่รัศมีน้อย ๆ

5.6 ความต้านทานการโค้งงอ (Bending resistance) กรณี POF ถูกทำให้โค้งงอระหว่างการใช้งานอาจทำให้ POF แตกหักหรือทำให้รอยต่อระหว่าง แกนและเคลดเสียหายได้

6. ความต้านทานอุณหภูมิเนื่องด้วย POF ทำจากวัสดุที่มีคุณสมบัติเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) ได้แก่ โพลีเมอร์ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะมีผลต่อ POF

7. ผลการเปลี่ยนแปลงของการส่งผ่านเนื่องจากอุณหภูมิ จากการทดสอบให้ความร้อนแก่ POF โดยเปลี่ยนเป็นวัฏจักรจาก  $+20^{\circ}\text{C}$  ไป  $+70^{\circ}\text{C}$  ไปยัง  $-70^{\circ}\text{C}$  และกลับไปยัง  $+20^{\circ}\text{C}$  ในเวลา 7 ชั่วโมง พบว่าในช่วงที่อุณหภูมิเปลี่ยนจาก  $-70^{\circ}\text{C}$  ไป  $+70^{\circ}\text{C}$  การส่งผ่านเปลี่ยนไปไม่เกิน 5%

8. การลดความต้านทานอุณหภูมิสูงสุด ในการใช้งาน POF ในสภาวะที่มีความชื้นเกี่ยวข้อง จำเป็นต้องลดอุณหภูมิสูงสุดที่ใช้งาน และการใช้งานอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิสูง มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของการลดทอน

9. ความต้านทานการแปรเปลี่ยนของอุณหภูมิ (Thermal shock resistance) ในการทดสอบให้ อุณหภูมิเปลี่ยนจาก  $-40^{\circ}\text{C}$  ถึง  $+85^{\circ}\text{C}$  ในเวลา 30 นาที โดยให้อุณหภูมิเปลี่ยนจนครบรอบ ทำครบ 300 รอบ ยังคงพบว่าไม่มีผลต่อความเข้ม

10. ความต้านทานความร้อนและความชื้น โดยการทดสอบให้ความชื้นระหว่าง 80% ถึง 95% รวมกับอุณหภูมิ  $-40^{\circ}\text{C}$  กับ  $+65^{\circ}\text{C}$  พบว่าความเข้มเปลี่ยนไม่เกิน 5%

11. การหดตัวเนื่องจากความร้อน (Heat shrinkage) เมื่อ POF ถูกให้ความร้อนสูงจะเกิดการหดตัวในเวลาไม่กี่ชั่วโมง และจะอยู่ในสภาพนั้นประมาณ 1 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. ความต้านทานสารเคมี (Chemical resistance) ในที่นี้ขอยกตัวอย่าง POF เป็นเส้นใยของ Mitsubishi PE-jacketed PMMA

12.1 ความต้านทานของเหลว (Liquid resistance) พบว่า ถึงแม้จะเปลี่ยนสารละลายที่แช่ POF เป็นชนิดต่าง ๆ ความเข้มข้นจะเปลี่ยนไม่เกิน 10%

12.2 ความต้านทานก๊าซ (Gas resistance) พบว่า การนำ POF ผ่านภาชนะที่บรรจุด้วยก๊าซที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อความเข้มข้นของแสง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### เครือข่ายเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก

การใช้งาน POF ในงานเครือข่ายการสื่อสารส่วนใหญ่จะใช้ในงานของเครือข่ายท้องถิ่น (Local Area Networks ;LANs) ซึ่งเป็นงานการคำนวณและระบบอัตโนมัติ (automation) สำหรับโรงงานและการผลิต นอกจากนี้ยังประยุกต์ใช้กับ

- การกระจายข้อมูล การบรรจุเสียง จอแสดงภาพ (message display panels)
- การส่งผ่านข้อมูลในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
- ความเกิดพร้อมกัน (event synchronization) หรือการซิงโครไนซ์แบบคู่
- การส่งข้อมูล
- การส่งภาพ

ในระบบเครือข่ายจะประกอบด้วยสถานีสื่อสารที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อแบบออปโตอิเล็กทรอนิกส์ (optoelectronic) ผ่านสาย POF การเชื่อมต่อระหว่างสถานีสื่อสารอาจเป็นแบบจุดต่อจุด หรือจุดต่อหลายจุด สถานีสื่อสารจะประกอบด้วยอุปกรณ์ส่ง ซึ่งแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงและอุปกรณ์รับ ซึ่งแปลงจากสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า การส่งผ่านแสงใน POF จะเป็นทิศทางเดียว ในกรณีต้องการติดต่อ 2 ทิศทางจำเป็นต้องใช้เส้นที่การเชื่อมต่อที่สอง

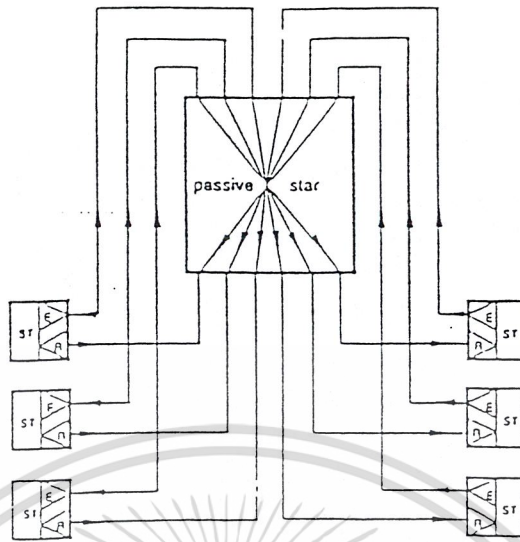
#### 4.1 รูปแบบเครือข่าย (Network topologies)

##### 4.1.1 เครือข่ายแบบสตาร์ (Star networks)

ในเครือข่ายแบบสตาร์ สถานีย่อยจะเชื่อมต่อกับสถานีกลางแบบจุดต่อจุด 2 ทิศทางข้อมูลที่ส่งผ่านจากสถานีย่อยใด ๆ จำเป็นต้องผ่านสถานีกลางและกระจายไปสู่สถานีย่อยอื่น ๆ พร้อมกัน เครือข่ายแบบสตาร์จะมีค่าใช้จ่ายในการเชื่อมต่อที่เหมาะสมและสามารถลดการส่งผ่านข้อมูลแบบจุดต่อจุดได้ สามารถแบ่งเครือข่ายแบบสตาร์ได้เป็น 2 แบบย่อย

1. เครือข่ายสตาร์แบบพาสซีฟ (Passive optical star) เครือข่ายจะประกอบด้วยอุปกรณ์รวมแสง (optical mixers) ซึ่งทำหน้าที่ส่งผ่านข้อมูลทางแสงจาก 1 ทางเข้าไปยัง N ทางออก ดังรูปที่ 4.1

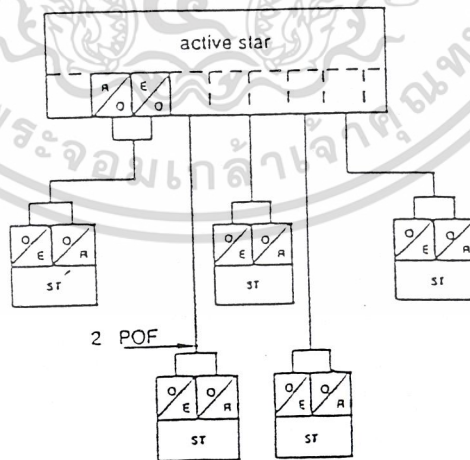
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แสดงเครือข่ายสตาร์แบบ 6 × 6 พาสซีฟ

การเชื่อมต่อเครือข่ายลักษณะนี้จะให้การส่งผ่านข้อมูลที่เชื่อถือได้ แต่จำกัดจำนวนสถานีย่อยที่ไม่กี่สถานี ค่าการใช้กำลังแสง (Optical power budget) จะคำนวณจากลักษณะของอุปกรณ์รวมแสง สาย POF และการเชื่อมต่อทางแสง

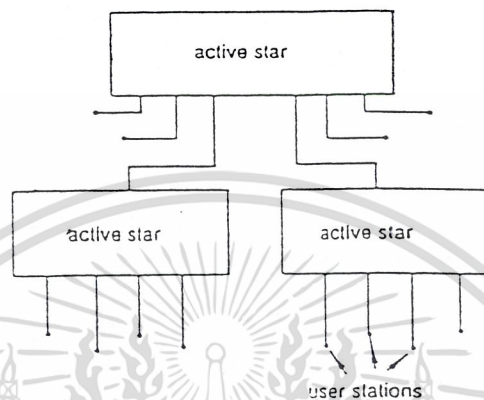
2. เครือข่ายสตาร์แบบแอคทีฟ (Active optical star) เครือข่ายสตาร์แบบแอคทีฟจะประกอบด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อแบบ ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงเครือข่ายสตาร์แบบแอคทีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลจะถูกสร้างขึ้นมาใหม่และส่งผ่านจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ตัวนี้ และในขณะเดียวกันจะทำหน้าที่จัดเรียงสถานีย่อยต่างๆ และทำโครงสร้างให้เป็นลักษณะต้นไม้ ลักษณะโครงสร้างจะขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งาน ดังรูปที่ 4.2 และ 4.3 ค่าพลังงานแสงสามารถคำนวณได้จากลักษณะการเชื่อมต่อแบบจุดต่อจุดซึ่งไม่ขึ้นอยู่กับจำนวนของสถานีย่อย



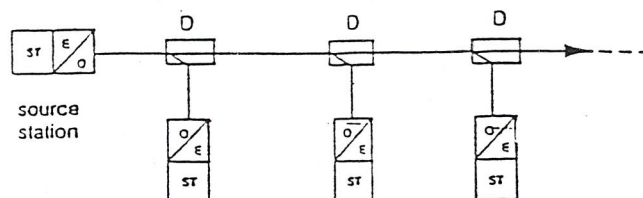
รูปที่ 4.3 แสดงเครือข่ายสตาร์แบบหลายสตาร์

เครือข่ายลักษณะนี้ถูกใช้ในเครือข่าย อีเธอร์เน็ต(ethernet) ของมาตรฐาน IEEE 802.3 สำหรับอัตราส่ง 10 Mbits/s และในเครือข่าย FIP ของมาตรฐาน NFC 46 607 สำหรับอัตราส่ง 5 Mbits/s

#### 4.1.2 เครือข่ายบัส (Bus networks)

ในโครงสร้างแบบบัส ทุกสถานีย่อยจะถูกเชื่อมด้วยสายส่งเพียงสายเดียวที่ประกอบด้วยส่วนย่อยหลาย ๆ ส่วน ข้อมูลจะเดินทางจากสถานีหนึ่งไปยังอีกสถานีหนึ่ง การเชื่อมต่อทางแสงเป็นแบบจุดต่อจุดหรือจุดต่อหลายจุด ด้วยออปติคอลลัปเปลอร์ (optical couplers) และแทป (taps)

1. เครือข่ายบัสแบบทิศทางเดียว เครือข่ายลักษณะนี้ถูกใช้ในการเคลื่อนย้ายข้อมูล โดยข้อมูลจะถูกส่งจากสถานีแม่ข่าย(network master station) ไปยังสถานีย่อย การเชื่อมต่อ POF เป็นแบบง่าย ๆ และสถานีย่อยต่าง ๆ จะเชื่อมต่อกับสายหลักโดยใช้แทปทางแสง (optical taps) ดังรูปที่ 4.4

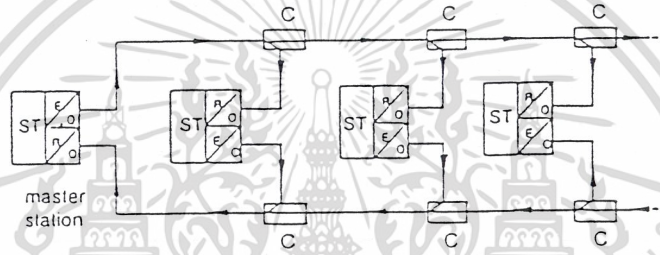


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 4.4 แสดงเครือข่ายแบบทิศทางเดียว

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสูญเสียที่เกิดขึ้นโดยแทปทางแสงจะเป็นตัวกำหนดจำนวนสถานีย่อย จำนวนที่เหมาะสมที่สุดที่เป็นไปได้จะเกิดจากการใช้แทปแบบไม่สมมาตร(dissymmetric taps) ความสามารถในการส่งผ่านจะคำนวณจากความสูญเสียแบบอินทรินสิค(intrinsic loss)ของแทปสายเคเบิล และการเชื่อมต่อทางแสงของแต่ละส่วน

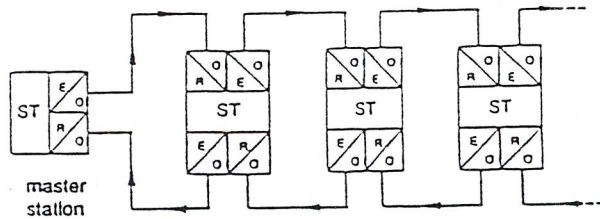
2. เครือข่ายบัลแบบสองทิศทาง (Bus with bidirectional operation) ลักษณะเครือข่ายเช่นนี้ใช้หลักการเดียวกับหัวข้อ 1 สายส่งจะมีจำนวน 2 สาย เพื่อทำให้เกิดการเชื่อมต่อ 2 ทิศทาง และแต่ละสถานีจะใช้คัปเปลอร์แบบพาสซีฟและแทปในการเชื่อมต่อ ดังรูปที่ 4.5 สถาปัตยกรรมแบบนี้ทำงานด้วยโปรโตคอลสำหรับการส่งผ่านสถานีแม่ข่าย-สถานีย่อย สถานีแม่ข่าย(master station) ในการควบคุมการแลกเปลี่ยนข้อมูลบนเครือข่ายบัล



รูปที่ 4.5 แสดงเครือข่ายบัลแบบสองทิศทาง

ข้อดีของเครือข่ายบัลนี้คือการใช้สายส่งเพียงสายเดียว ติดตั้งและขยายได้ง่าย การเชื่อมต่อสถานีย่อยกับอุปกรณ์แบบพาสซีฟทำให้ระบบเครือข่ายบัลยังคงสามารถทำงานได้แม้ว่ามีสถานีย่อยใดสถานีย่อยหนึ่งเสีย

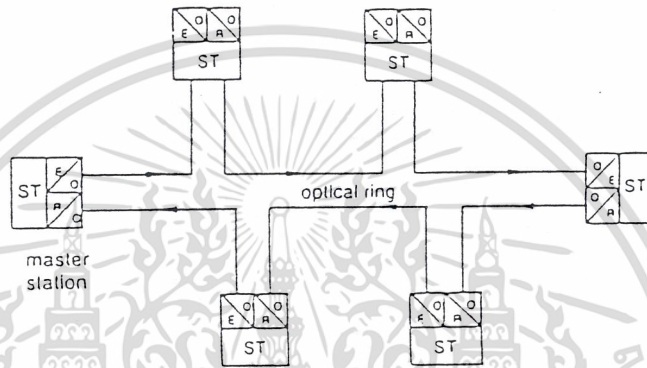
3. เครือข่ายบัลแบบมีสถานีทวนสัญญาณ ขีดจำกัดของระบบเครือข่ายในข้อ 2 คือการใช้คัปเปลอร์แบบพาสซีฟและแทปเพื่อประสิทธิภาพดีขึ้นจำเป็นต้องใช้สถานีย่อยที่สามารถทวนสัญญาณได้ดังรูปที่ 4.6 โดยที่เครือข่ายเช่นนี้ยังคงใช้โปรโตคอลสำหรับการส่งผ่านสถานีแม่ข่าย-สถานีย่อย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิรูปที่ 4.6 แสดงเครือข่ายบัลแบบมีสถานีทวนสัญญาณ

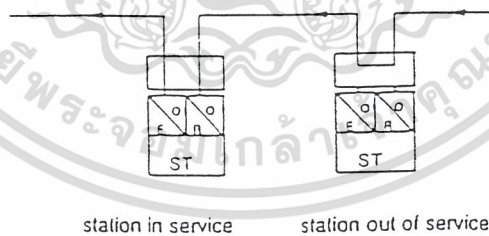
4.1.3 เครือข่ายวงแหวน (Ring networks)

สถานีย่อยแต่ละสถานีย่อยเชื่อมต่อกับสถานีต่อไปแบบจุดต่อจุด สถานีสุดท้ายจะเชื่อมต่อกับสถานีแรก การส่งผ่านแสงบนวงแหวนจะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ข้อมูลจะถูกส่งผ่านจากสถานีหนึ่งไปยังอีกสถานีหนึ่งจนถึงเป้าหมาย ซึ่งมันสามารถเดินทางจนครบรอบได้โปรโตคอลการส่งผ่าน(เรียกว่า โทเค็น (token) จะใช้ในการส่งผ่านข้อมูล การเชื่อมต่อของวงแหวนแต่ละจุดจะใช้ POE 2 เส้น แต่ละสถานีย่อยจะเชื่อมต่อกับวงแหวนโดยตรงดังรูปที่ 4.7 ลักษณะเครือข่ายนี้จะใช้เครือข่าย โทเค็นตามมาตรฐาน IEEE 802.5 (IBM token ring)



รูปที่ 4.7 แสดงเครือข่ายวงแหวน

ในกรณีที่มิได้สถานีย่อยใดเสีย ระบบจะหยุดการทำงานทั้งระบบ ซึ่งเราสามารถแก้ไขได้โดยการติดตั้งรีเลย์ โดยที่รีเลย์จะทำให้ระบบทำงานอีกครั้งโดยอัตโนมัติ ดังรูปที่ 4.8

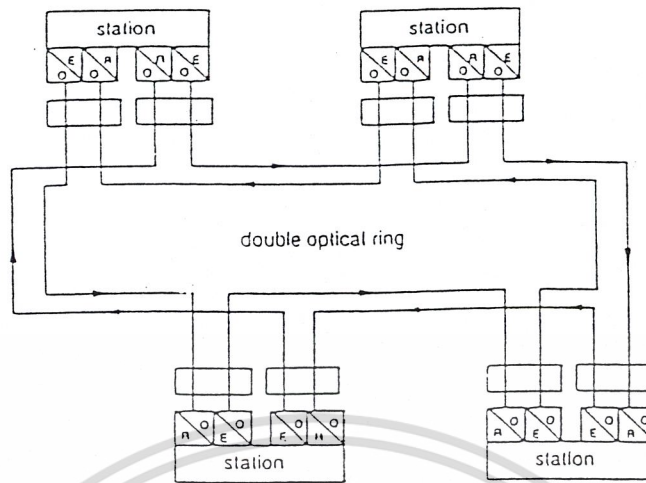


รูปที่ 4.8 แสดงเครือข่ายวงแหวนที่มีระบบการทำงานของรีเลย์

4.1.4 เครือข่ายวงแหวนที่มีระบบรักษาความปลอดภัย

ในกรณีที่ต้องการความปลอดภัยสูงสามารถทำได้โดยการใช้เครือข่ายวงแหวน คู่ ข้อมูลจะถูกส่งในทิศทางหนึ่งในวงที่ 1 และในอีกหนึ่งทิศทางในวงที่ 2 การซ่อมแซมตัวเองของระบบเครือข่ายวงแหวน จะกระทำโดยอัตโนมัติ โปรโตคอลการส่งผ่านมักใช้เป็นโทเค็น ในกรณีที่ระบบเสียเครือข่ายจะถูกเปลี่ยนเป็นเครือข่ายวงแหวนเดี่ยวโดยวิธีออฟติคัลคอมมิวนิเคชันอัลสตรึมและดาวสตรึม ของอุปกรณ์ที่เสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำออกไปใช้  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



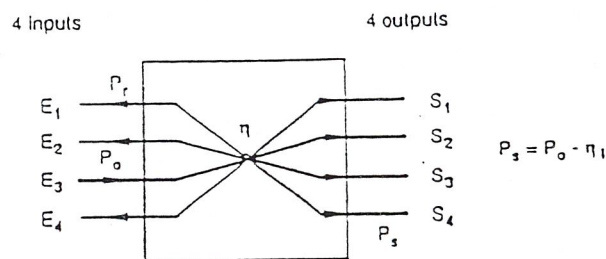
รูปที่ 4.9 แสดงเครือข่ายวงแหวนที่มีระบบรักษาความปลอดภัย

## 4.2 อุปกรณ์การเชื่อมต่อแบบพาสซีฟ

### 4.2.1 คัปเปิลอร์

เส้นใยนำแสงมักใช้การเชื่อมต่อแบบจุดต่อจุดระหว่างอุปกรณ์รับ และส่งสัญญาณแสง ในระบบเครือข่ายต่าง ๆ มีความจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์แบบพาสซีฟในการกระจายพลังงานแสงไปยังส่วนต่าง ๆ คัปเปิลอร์ทางแสงจะทำหน้าที่ส่งข้อมูลนี้ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ คัปเปิลอร์แบบสตาร์ หรือขนานและคัปเปิลอร์แบบลำดับ (series couplers) คัปเปิลอร์แบบสตาร์จะมี N ทางเข้าและ N ทางออก แสงที่เข้ามาทุกทางเข้าจะกระจายไปยังทุกทางออกที่ขนานกัน คัปเปิลอร์แบบลำดับจะมี 1 ทางเข้า และ 2 ทางออกเรียกว่าแทปทางแสง (optical taps) หรือ 2 ทางเข้าและ 1 ทางออกเรียกว่าออฟติคัลคอนเซนทราเตอร์ (optical concentrators)

### 4.2.2 คุณลักษณะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดรูปที่ 4.10 แสดงคัปเปิลอร์แบบสตาร์ N=4 เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสูญเสียแบบอินเลชัน (Insertion loss)  $\eta_i$  เป็นค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นระหว่างทางเข้าและทางออกของแสง เขียนได้ดังสมการ

$$\eta_i = -10 \log_{10} (P_o/P_s) \quad \text{dB} \quad (4.1)$$

ค่านี้จะถูกกำหนดโดยผู้ผลิต และสามารถนำไปใช้ในการคำนวณกำลังที่ใช้ ส่วนค่าความสูญเสียแบบเอ็กเซส (excess loss) ของคัปเปิลอร์  $\eta_e$  เป็นค่าการสูญเสียที่เกิดเนื่องจากการคัปเปิลอร์มีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\eta_e = -10 \log_{10} (P_o/\Sigma P_s) \quad \text{dB} \quad (4.2)$$

ค่านี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต ถ้าในกรณีที่สมมุติให้การกระจายของแสงในทุก N ทางเข้ามีความสม่ำเสมอ ความสัมพันธ์ของความสูญเสียทั้งสอง ( $\eta_i$  และ  $\eta_e$ ) จะสามารถแสดงด้วย

$$\eta_i = \eta_e - 10 \log_{10} (N) \quad \text{dB} \quad (4.3)$$

การสูญเสียแบบแท็ป (Tap loss) เป็นค่าการสูญเสียที่เกิดเนื่องจากการแท็ปสัญญาณไปใช้งาน มีค่า

$$\eta_T = -10 \log_{10} (P_n/P_o) \quad \text{dB} \quad (4.4)$$

เมื่อ  $P_n$  เป็นกำลังของแสงที่แท็ปไปใช้งาน

ความสม่ำเสมอ (Uniformity) เป็นตัวแปรที่อธิบายถึงความสมดุลของการกระจายทางแสงในทุกทางออกของคัปเปิลอร์ ค่าจะขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต ความสม่ำเสมอสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์

$$U = 10 \log_{10} [(P_s)_{\max} / (P_s)_{\min}] \quad \text{dB} \quad (4.5)$$

ไดเรกทิวิตี (Directivity) ค่าไดเรกทิวิตีของคัปเปิลอร์คำนวณได้จาก อัตราส่วนของกำลังที่เข้าทางอินพุต  $P_o$  กับกำลังที่รับจากทางเข้าอื่น  $P_r$  ของคัปเปิลอร์ ดังสมการ

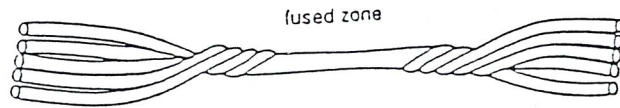
$$D = 10 \log_{10} (P_o/P_r) \quad \text{dB} \quad (4.6)$$

#### 4.2.3 การผลิต

วิธีการที่ใช้ในการผลิต คัปเปิลอร์ได้แก่

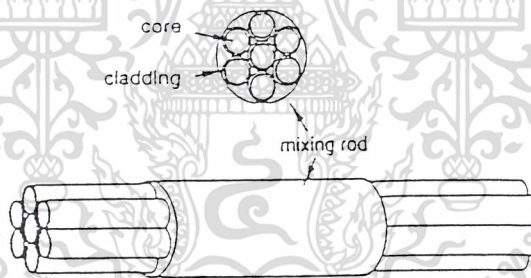
1. วิธีการฟิวชั่น-ดรออิง (Fusion -drawing method) วิธีการนี้ใช้การรวม N เส้นใยนำแสงในการสร้างออฟติคอลลีนเนอียเอ็กเซ็งโชน ซึ่งเป็นบริเวณที่เส้นใยนำแสงจะถูกบิดในขณะที่ให้ความร้อนและถูกดึง ในบริเวณนี้พลังงานจะถูกถ่ายเทจากเส้นใยนำแสงที่เป็นทางเข้าไปยังเส้นใยนำแสงอื่น  $\gamma(N-1)$  วิธีการนี้เป็นวิธีที่ง่ายในการผลิต แต่ POF อาจได้รับความเสียหายจากความร้อนที่ให้ และมีสมดุลสัมประสิทธิ์การ คัปปลิงที่ไม่ดี (เกิดกระจายในแต่ละเส้นทาง) ความสูญเสียแบบเอ็กเซส (excess loss) จะมีค่าอยู่ในช่วง 1 dB- 2.5 dB วิธีการนี้สามารถใช้ในการผลิตคัปเปิลอร์แบบสตาร์  $N \times N$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางไป 2.5 dB วิธีการนี้สามารถใช้ในการผลิตคัปเปิลอร์แบบสตาร์  $N \times N$  โดยขั้นตอนการคำนวณไม่ต่างกัน  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงคัปเปิลอร์ที่ทำโดยฟิวชั่นดรออิง

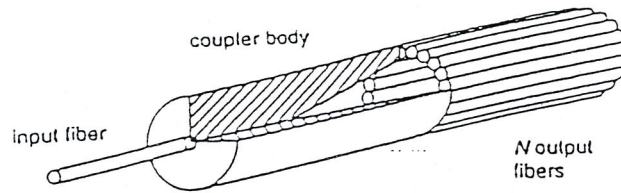
2. วิธีแกนร่วม (Mixing rod) เป็นวิธีการที่ใช้ แกนร่วมในการเชื่อมต่อระหว่างมัดของเส้นใยนำแสง ความสูญเสียแบบอินเลิร์ชชันของคัปเปิลอร์ชนิดนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนของเส้นใยนำแสงและอัตราส่วนระหว่างผลรวมของพื้นที่แกนของเส้นใยนำแสงกับพื้นที่แกนของแกนร่วม ในการลดความสูญเสียแบบอินเลิร์ชชันทำได้โดยการจัดเรียงเส้นใยนำแสงแบบเฮกซะโกนอลและกำหนดอัตราส่วนของแกนที่เหมาะสม ภาพตัดขวางของแกนร่วมมักเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือคราวน์ (crown) เพราะภาพตัดขวางที่เป็นวงกลมไม่ให้การกระจายของแสงที่ทางออกไม่สม่ำเสมอ ถึงแม้เส้นใยนำแสงจะอยู่ที่ตำแหน่งกลางมัดของเส้นใยนำแสง



รูปที่ 4.12 แสดงคัปเปิลอร์แบบแกนร่วม

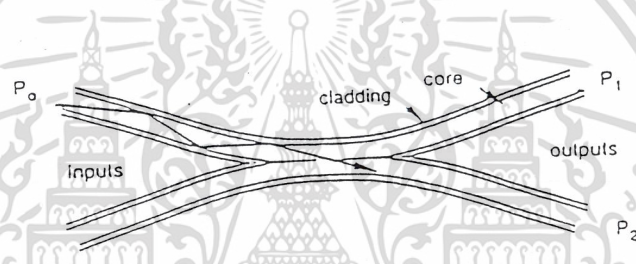
3. วิธีแกนกระบอกที่มีกรวยแยก (Cylindrical rod with a separation cone) อุปกรณ์รวมชนิดนี้ผลิตโดยการใส่ชิ้นส่วนโปร่งใสระหว่างเส้นใยนำแสงอินพุตกับเส้นใยนำแสง N ทางออกโดยชิ้นส่วนโปร่งใสนี้จะนำแสงไปยังส่วนเอาต์พุตด้วยหลักการการสะท้อนกลับหมดของผิวภายในและภายนอกของชิ้นส่วนโปร่งใส ขนาดของชิ้นส่วนโปร่งใสจะขึ้นอยู่กับภาพตัดขวางรวมของเส้นใยนำแสงเอาต์พุต เส้นผ่านศูนย์กลางกลางภายนอก ความยาวและมุมภายในกรวยแยกของแกนร่วม สามารถคำนวณได้จาก N ทางออกของเส้นใยนำแสง วิธีการเช่นนี้จะลดความสูญเสียแบบอินเลิร์ชชันและให้การกระจายของแสงในทุกทางออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



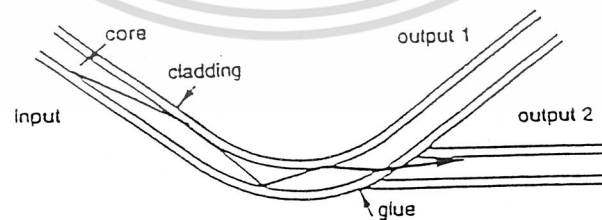
รูปที่ 4.13 แสดงสปลิตเตอร์แบบกรวยแยก

4. วิธีการขัดและเชื่อมติด (Polishing and joining) วิธีการนี้จะนำเส้นใยนำแสงโค้ง 2 เส้นขั้วที่ผิวข้าง และเชื่อมติดเส้นใยนำแสงทั้งสองด้วยกาวจะได้เป็นคัปเปิลอร์แบบสตาร์ 2x2 วิธีการเช่นนี้ยังสามารถทำเป็นคัปเปิลอร์แบบพาสซีฟสตาร์ N x N ได้



รูปที่ 4.14 แสดงคัปเปิลอร์ที่ทำโดยวิธีการขัดและเชื่อมติด

5. วิธีการใช้เส้นใยนำแสงที่เสื่อม (Fibre deformation) เส้นใยนำแสงที่เสื่อมสามารถทำให้เกิดลึคกีเรย์ ซึ่งถ้านำลำแสงที่หลุดรอดนี้วิ่งไปในเส้นใยนำแสงเส้นรองและควบคุมลัมประสิทธิ์การเชื่อมต่อจะได้เป็นแทปหรือคอนเซนทราเตอร์ (คัปเปิลอร์แบบ 2 x 1)



รูปที่ 4.15 แสดงคัปเปิลอร์วิธีการใช้เส้นใยนำแสงที่เสื่อม

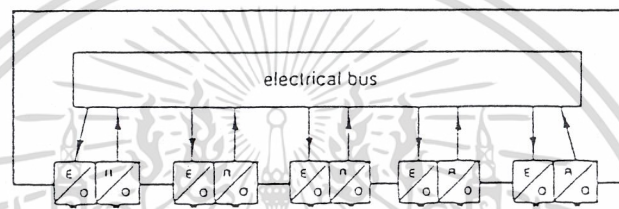
6. วิธีปลั๊ก - พิน (Plug - pin system) ในการเชื่อมต่อสาขาย่อย กับเครือข่ายบัสทางซีเน็ตเอกสา (CNET) ได้พัฒนาการเชื่อมต่อโดยการทำเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกให้เป็นรูปตัว V และนำเส้นใยนำไม่วางสายย่อยตัดปลายเป็นรูปตัว V เช่นกันมาเชื่อมต่อกับเครือข่ายบัสโดยตรงทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 อุปกรณ์เชื่อมต่อแบบแอคทีฟ

องค์ประกอบนี้จะช่วยปรับปรุงกำลังที่ใช้ในการส่งผ่านแสงและทำให้เครือข่ายสามารถทำงานได้ในระยะทางไกล ๆ

#### 4.3.1 แอคทีฟสตาร์ (Active stars) หรือ คอนเซ็นทราเตอร์

จะทำหน้าที่การทวนสัญญาณ และกระจายข้อมูล ในแต่ละครั้งของการทำงานจะมีการ์ดไฟฟ้าทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์รับและส่งสัญญาณแสง การกระจายของข้อมูลจะใช้บัลไฟฟ้าเป็นตัวเชื่อม แอคทีฟสตาร์นี้จะทำหน้าที่ทั้งการตรวจจับ การรับ การสลับ (switching) และเลือกข้อมูลในการใช้อุปกรณ์นี้จะใช้การเชื่อมต่อแบบจุดต่อจุด



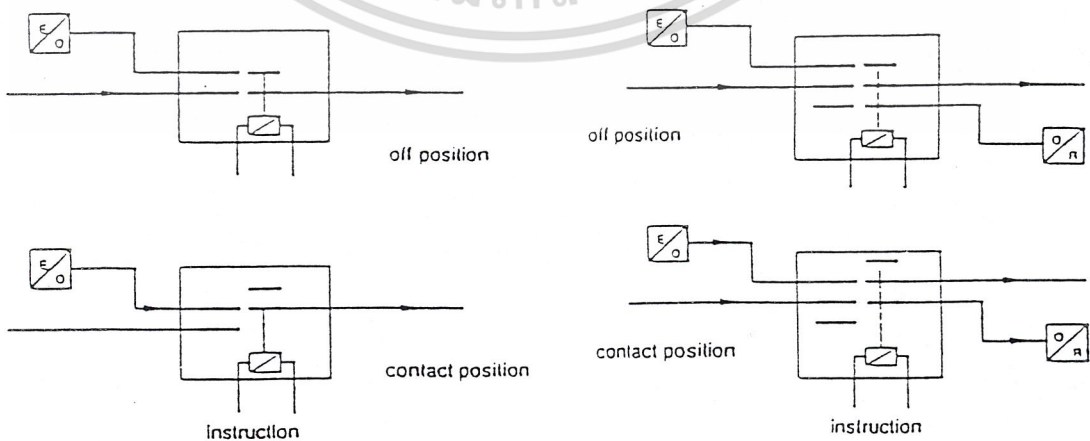
รูปที่ 4.16 แสดงแอคทีฟสตาร์

#### 4.3.2 ตัวทวนสัญญาณ (Repeaters)

อุปกรณ์นี้ใช้ในการเพิ่มระยะทางในการส่งผ่านแสง ในการเชื่อมต่อแบบ 2 ทิศทาง ตัวทวนสัญญาณจะประกอบด้วยชุดรับ-ส่งแสง 2 คู่

#### 4.3.3 ออปติคอลลีเลย์ (Optical relays)

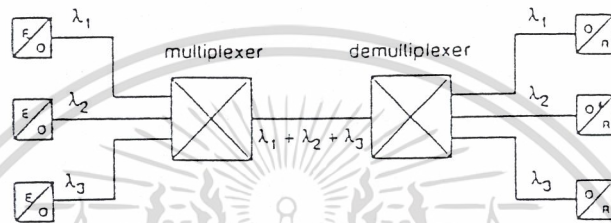
อุปกรณ์นี้ใช้ในการสลับเปลี่ยนเส้นทางเดินของแสงซึ่งควบคุมแบบแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยกระแสไฟฟ้า รีเลย์แบบนี้อาจทำการสลับทางเดินแสงแบบเดี่ยว (รูปที่ 4.17) หรือแบบหลาย ๆ เส้นทาง (รูปที่ 4.18)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 4.17 แสดงการสลับเส้นทางแสงเดี่ยว รูปที่ 4.18 แสดงการสลับเส้นทางแสงคู่  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การมัลติเพลกเซอร์แบบแบ่งความยาวคลื่น (Wavelength division multiplexing;WDM)

WDM ประกอบด้วยการส่งผ่านแสงจากหลาย ๆ แหล่งกำเนิดซึ่งทำงานที่ความยาวคลื่นแตกต่างกันบนเส้นใยนำแสงเดียวกันดังรูปที่ 4.19 ชุดข้อมูลสามารถส่งผ่านในลักษณะขนานในทิศทางเดียวกันหรือตรงกันข้าม ในการประยุกต์ใช้เช่นนี้ระบบจำเป็นต้องมีอุปกรณ์มัลติเพลกซิง ดีมัลติเพลกซิงและ POF ที่มีค่าการลดทอนต่ำและคงที่ในหลายช่วงความยาวคลื่น แหล่งกำเนิดการส่งผ่านที่เลือกใช้จะสัมพันธ์กับจำนวนช่องของมัลติเพลกเซอร์ ความยาวคลื่นแสงและความสามารถในการส่งผ่านแสงของตัวการทางแสง ในทำนองเดียวกันดีมัลติเพลกเซอร์จะต้องเลือกชนิดที่มีครอสทอล์ค (crosstalk) ระหว่างช่องต่ำ



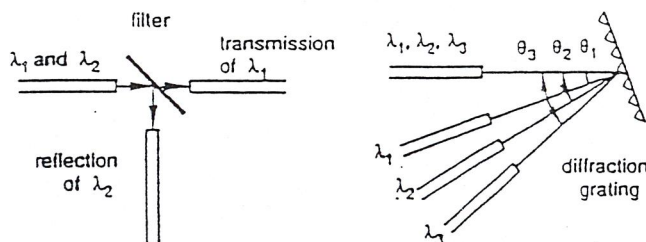
รูปที่ 4.19 แสดงการมัลติเพลกเซอร์แบบแบ่งความยาวคลื่น

4.4.1 มัลติเพลกซเซอร์

การมัลติเพลกซิงเป็นการรวมแสงที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกัน สามารถกระทำได้โดยการใช้คัปเปิลเลอร์ที่มี N อินพุต และ 1 เอาต์พุต หรือดีมัลติเพลกเซอร์ที่มีการทำงานในลักษณะ 2 ทิศทาง

4.4.2 ดีมัลติเพลกเซอร์

การดีมัลติเพลกซิงเป็นการเลือกความยาวคลื่น 1 ความยาวคลื่นจากหลายๆ ความยาวคลื่นและแยกออกด้วยอุปกรณ์แบบพาสซีฟได้แก่ ฟิลเตอร์ที่สามารถปรับเปลี่ยนได้หลายความยาวคลื่น มีหลายวิธีการถูกนำมาใช้ได้แก่ การใช้ปริซึมหรือเกรตติ้งแยกลำแสง การใช้กระจกแบบไดโครอิก (Dichroic mirror) เลือกการสะท้อนของแสงดังรูปที่ 4.20 ซึ่งการปรับทิศทางของแสงสามารถนำไปใช้ในลักษณะของมัลติเพลกเซอร์ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.20 แสดงดีมัลติเพลกเซอร์

ความสูญเสียแบบอินทรีติก ของดีมัลติเพลกเซอร์ จะสัมพันธ์กับจำนวนช่องที่ถูกดีมัลติ-เพลกซิง และเทคโนโลยีที่ใช้ ตัวอย่างเช่น กรณีดีมัลติเพลกเซอร์แบบ 3 ช่อง

- ถ้าใช้กับปริซึม มีความสูญเสียแบบอินทรีติก 6 dB
- ถ้าใช้กับเกรตติงมีความสูญเสียแบบอินทรีติก 4dB
- และถ้าใช้กับกระจกแบบไดครอออกมีความสูญเสียแบบอินทรีติก 3dB



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### การประยุกต์

#### 5.1 การประยุกต์การสื่อสารทางแสง

##### 5.1.1 การมัลติเพล็กซ์ทางแสง

การมัลติเพล็กซ์ทางแสงนับว่ามีประโยชน์อย่างยิ่งในการสื่อสารทางแสง ระบบการมัลติเพล็กซ์จะช่วยให้ประหยัดช่องสัญญาณในการรับส่งข่าวสาร คือ สามารถที่จะส่งสัญญาณได้มาก ในการมัลติเพล็กซ์ทางแสงนี้จะแบ่งออกเป็น 2 วิธีใหญ่ ๆ คือ การมัลติเพล็กซ์ทางแสงแบบแบ่งเวลา และการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่นซึ่งจะแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

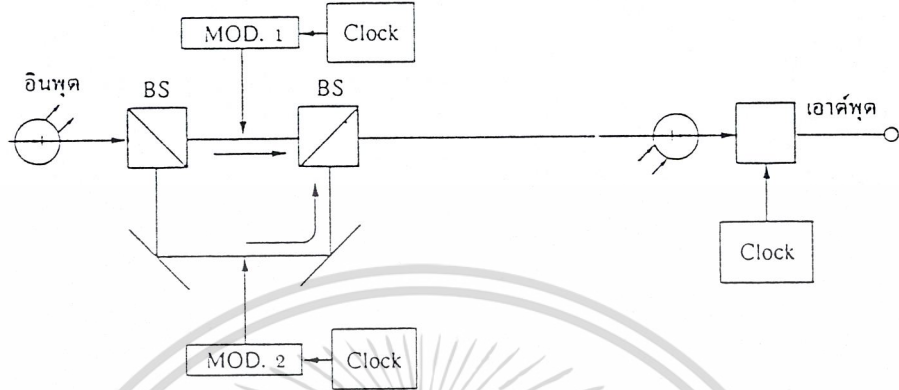
1. การมัลติเพล็กซ์ทางแสงแบบแบ่งเวลา ในระบบการสื่อสารทางแสงโดยวิธีการมัลติเพล็กซ์ทางแสงแบบแบ่งเวลานี้ จะใช้วิธีการโดยให้ตัวกลางของแสงที่มีความยาวต่างกันเป็นตัวกำหนดระยะเวลาในการส่งข้อมูลโดยจะมีหลักการทำงานคือ จะใช้แหล่งกำเนิดแสงเพียงตัวเดียวมาป้อนให้กลับตัวกลางที่มีความยาวต่างกันโดยที่ตัวกลางแต่ละความยาวจะถูกมอดูเลตสัญญาณแบบมอดูเลตภายนอก เมื่อมีการมอดูเลตสัญญาณจากภายนอกเข้ามาพร้อม ๆ กันก็จะทำให้ความเข้มของแสงเปลี่ยนไปในแต่ละตัวกลาง เมื่อนำแสงจากแต่ละตัวกลางนี้มาทำการมัลติเพล็กซ์ก็จะเกิดการหน่วงของเวลาจากความยาวของตัวกลางแต่ละเส้นทางโดยข้อมูลที่อยู่ในตัวกลางที่มีความยาวน้อยกว่าจะเดินทางมาถึงก่อน ส่วนข้อมูลที่มาจกตัวกลางที่มีความยาวกว่าจะมาถึงภายหลัง ดังนั้นข้อมูลที่ถูกมอดูเลตเข้ามาพร้อม ๆ กันก็จะถูกส่งเรียงกันไปภายในตัวกลางเดียว เมื่อถึงปลายทางก็จะใช้วิธีการทางด้านอิเล็กทรอนิกส์มาทำการมัลติเพล็กซ์สัญญาณ ซึ่งจะต้องใช้สัญญาณนาฬิกาเป็นตัวกำหนดระยะเวลาในการแยกข้อมูล ดังนั้นระบบการมัลติเพล็กซ์ทางแสงแบบแบ่งเวลานี้จึงไม่นำมาใช้งานมากนัก รูปแบบของการมัลติเพล็กซ์ทางแสงแบบแบ่งเวลานี้แสดงในรูปที่ 5.1 ซึ่งจะมีการทำงานดังนี้คือ เมื่อทำการป้อนแสงเข้าไปในระบบแสงก็จะเดินทางผ่านผลึกกรวมและแยกแสง (BS) เพื่อทำหน้าที่ในการแบ่งสัญญาณแสง แสงที่แบ่งออกเป็นสองส่วนนี้จะถูกกำหนดให้มีระยะทางในการเดินทางของแสงต่างกันหลังจากนั้นแสงทั้งสองส่วนจะถูกมอดูเลตแบบภายนอก สัญญาณที่จะนำมามอดูเลตนี้ก็จะถูกควบคุมด้วยสัญญาณนาฬิกา (Clock) ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดระยะเวลาในการมอดูเลตให้ทำการเว้นช่วงในการส่ง หลังจากนั้นแสงทั้งสองส่วนก็จะกลับมารวมกันอีกด้วยอุปกรณ์ผลึกกรวมและแยกแสง แสงที่กลับมารวมกันใหม่นี้จะมีการเรียงกันของข้อมูลที่ถูกมอดูเลตเข้ามา จึงทำให้สามารถแยกสัญญาณที่ถูกมอดูเลตเข้ามาแต่ละช่องได้ เมื่อถึงปลายทางก็จะใช้อุปกรณ์รับแสงทำการเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าหลังจากนั้นสัญญาณไฟฟ้าก็จะถูกนำไปเข้าวงจรถอดรหัสเพื่อทำการแยกข่าวสารต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BS คือ ผสมรวมและแยกแสง

MOD.1 , MOD.2 คือ อุปกรณ์มอดูเลตภายนอก

Clock คือ สัญญาณนาฬิกา



รูปที่ 5.1 แสดงการมัลติเพล็กซ์ทางแสงแบบแบ่งเวลา

2. การมัลติเพล็กซ์ทางแสงแบบแบ่งความยาวคลื่น เทคโนโลยีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่นนี้ นับว่าเป็นเทคนิคสำคัญของการสื่อสารทางแสง เพราะมีความสะดวกและมีประสิทธิภาพในการใช้งานเป็นอย่างมาก เทคโนโลยีการมัลติเพล็กซ์ทางแสงแบบแบ่งความยาวคลื่นจะใช้วิธีการคือ ใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันที่นำสัญญาณต่าง ๆ มารวมกัน และทำการส่งเข้าไปในตัวกลางเดียวกันเพื่อประหยัดตัวกลางในการส่งข่าวสาร

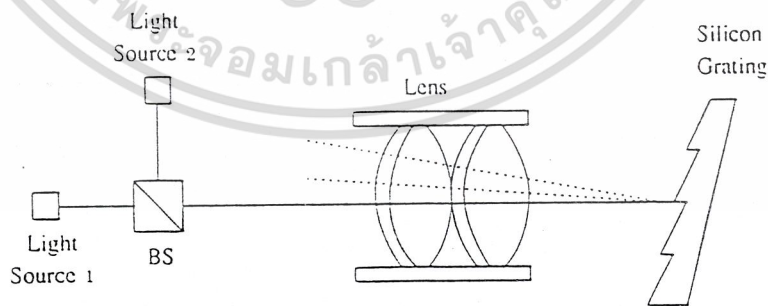
### 5.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการมัลติเพล็กซ์และดีมัลติเพล็กซ์ทางแสง

ในระบบการมัลติเพล็กซ์ และดีมัลติเพล็กซ์ทางแสงได้มีการประเภทของอุปกรณ์มัลติเพล็กซ์และดีมัลติเพล็กซ์ออกเป็น 2 ประเภทด้วยกันคือ แบบที่ใช้วิธีการแยกความยาวคลื่น (Wavelength Selective) และแบบที่ใช้วิธีการไม่คำนึงถึงความยาวคลื่น (Wavelength Nonselective) ดังแสดงในรูปที่ 5.2 แบบของการใช้วิธีการแยกความยาวคลื่นก็จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ ประเภทที่เป็นแอคทีฟ (Active) และพาสซีฟ (Passive) ในส่วนของอุปกรณ์ทางด้านพาสซีฟ ก็จะแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ การกระจายของแสงเชิงมุม (Angular Dispersive) การใช้อุปกรณ์กรองแสงที่เป็นฟิล์มบาง (Dielectric Thin-film Filter) แบบผสม (Hybrid) ในส่วนของประเภทแอคทีฟก็จะประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ แหล่งกำเนิดแสง (Multi-wavelength Light Source) และอุปกรณ์รับแสง (Multi-wavelength Detector) การคัดเลือกความยาวคลื่นที่นำมาใช้งานนี้เป็นพื้นฐานสำคัญในระบบการสื่อสารแบบ WDM ส่วนในแบบไม่ใช้วิธีการแยกความยาวคลื่นนี้ก็จะแบ่งออกเป็นอุปกรณ์รวมแสงและวิธีการทางโพลาไรซ์เอกซาร์เซชัน (Polarization Device) พิจารณาการทำงานของอุปกรณ์ที่เป็นชนิดแยกความยาวคลื่นไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 แสดงวิธีการมัลติเพล็กซ์ทางแสงแบบแบ่งความยาวคลื่น

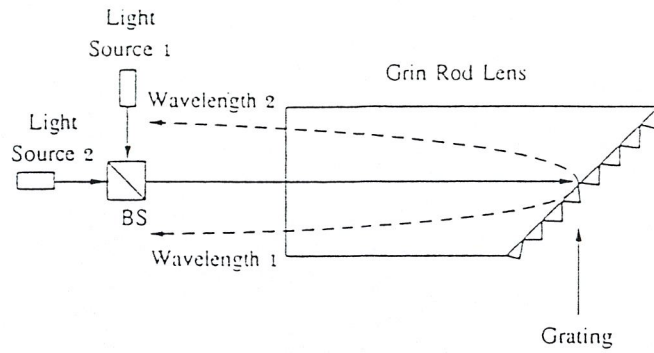
1. อุปกรณ์กระจายแสงเชิงมุม เป็นอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กกะทัดรัด นอกจากนี้ยังสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการแยกหรือรวมสัญญาณแสงได้ อุปกรณ์เหล่านี้ได้แก่ ปริซึม และเกรตติง อุปกรณ์ชนิดนี้จะมีความยุ่งยากในการแยกและรวมแสง เนื่องจากแสงที่กระจายออกมามีมุมกว้าง ดังนั้น จะต้องหาวิธีการที่จะทำให้มุมของแสงที่กระจายออกมามีมุมแคบลง จึงได้มีการประดิษฐ์รูปแบบของอุปกรณ์เกรตติงชนิดนี้ออกเป็น 3 รูปแบบใหญ่ ๆ คือ แบบที่หนึ่งจะใช้วิธีการของผลต่างของเลนส์ที่ใช้ในการรวมหรือแยกแสงจึงไม่เป็นที่ยอมรับนัก ในแบบที่สองคือแบบเลทเทอโลว์ (Littrow) จะใช้เลนส์ในการรวมแสงเพื่อให้มุมของแสงแคบลง โดยใช้วิธีการอยู่สองวิธี คือ ใช้เลนส์ธรรมดากับกรีนเลนส์ (Grin Lens) ดังแสดงในรูปที่ 5.3 และ 5.4 สำหรับในแบบที่สามคือแบบที่ไม่ใช้เลนส์แต่จะใช้ความโค้งของเกรตติง เพื่อทำหน้าที่ในการกระจายแสงให้ได้มุมแคบตามต้องการ



Light Source 1,2 คือ แหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 1 และตัวที่ 2      BS      คือ ผลึกรวมและแยกแสง  
 Lens      คือ เลนส์รวมแสง      Silicon Grating      คือ เกรตติง

รูปที่ 5.3 แสดงการดีมัลติเพล็กซ์โดยใช้อุปกรณ์กระจายแสงเชิงมุมด้วยเลนส์รวมแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Light Source 1, 2 คือ แหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 1 และตัวที่ 2

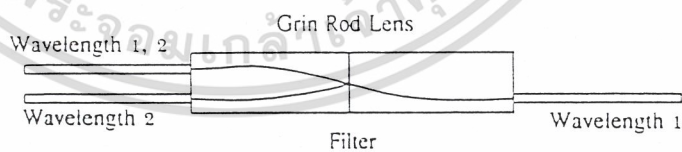
Wavelength 1, 2 คือ ความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 1 และตัวที่ 2

Grating คือ เกรตติง

Grin Rod Lens คือ กรินเลนส์

รูปที่ 5.4 แสดงการดีมัลติเพล็กซ์โดยใช้อุปกรณ์กระจายแสงเชิงมุมด้วยกรินเลนส์

2. อุปกรณ์มัลติเพล็กซ์ที่ใช้การกรองแสงแบบฟิล์มบาง อุปกรณ์มัลติเพล็กซ์ชนิดนี้ จะใช้ สัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนแปลงความยาวคลื่นในอุปกรณ์แสงแบบฟิล์มบาง (Dielectric Thin Filter ; DTF) อุปกรณ์ชนิดนี้จะมีฟิล์มที่มีดัชนีหักเหสูงและต่ำในการเปลี่ยนแปลงแต่ละชั้น โดยแต่ละชั้นจะมีความหนาประมาณ 1 ใน 4 หรือครึ่งความยาวคลื่นแสง ปัจจัยสำคัญในการออกแบบการทำงานของ DTF จะออกแบบให้มีอุปกรณ์กรองแสงอยู่ในสองลักษณะคือ ให้ความถี่เฉพาะผ่าน (Band Pass Filter ; BPF) และให้ความถี่อื่นผ่านโดยจะแบ่งให้ความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter ; HPF) และให้ความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter ; LPF) ดังแสดงในรูปที่ 5.5



Wavelength 1, 2 คือ ความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 1 และตัวที่ 2

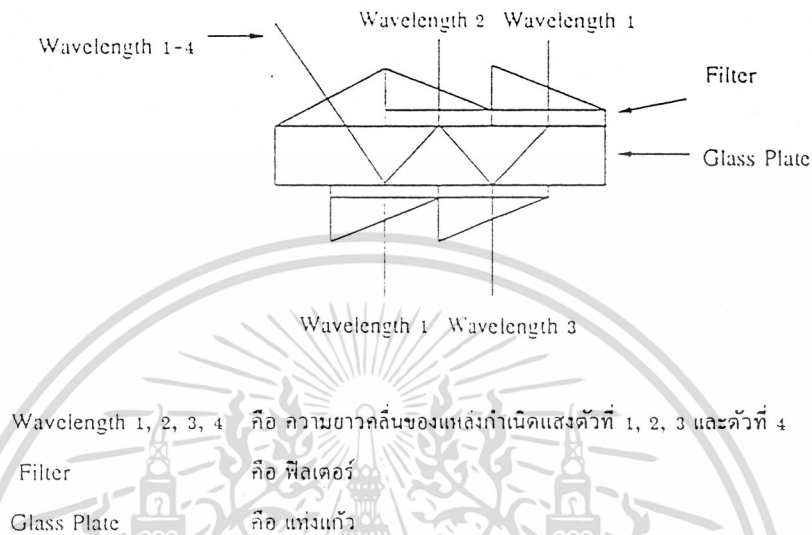
Grin Rod Lens คือ กรินเลนส์

Filter คือ ฟิลเตอร์

รูปที่ 5.5 แสดงการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่นโดยใช้ฟิล์มบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อุปกรณ์มัลติเพลกซ์และดีมัลติเพลกซ์แบบผสม อุปกรณ์มัลติเพลกซ์และดีมัลติเพลกซ์แบบผสมจะเป็นอุปกรณ์รวมกันระหว่างเกรตติงและ DTF ดังแสดงในรูปที่ 5.6 วิธีการนี้จะทำให้ช่องสัญญาณมากขึ้นมาก DTF เหมาะสำหรับการใช้ส่งข่าวสาร 2 ทาง



รูปที่ 5.6 แสดงการมัลติเพลกซ์ทางแสงแบบแบ่งความยาวคลื่นด้วยวิธีการแบบผสม

4. อุปกรณ์ WDM ชนิดแยกที่พ อุปกรณ์เหล่านี้ได้แก่แหล่งกำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสง โดยแหล่งกำเนิดแสงเองจะมีหลายความยาวคลื่นด้วยกันขึ้นอยู่กับการทำงาน ส่วนอุปกรณ์รับแสงก็จะมี การตอบสนองต่อความยาวคลื่นแตกต่างกันออกไปตามชนิดของสารกึ่งตัวนำ

5. อุปกรณ์ที่ไม่คำนึงถึงความยาวคลื่น อุปกรณ์ชนิดนี้จะทำการรวมและแยกแสงโดยไม่คำนึงถึงความยาวคลื่นที่เข้ามา การทำงานในลักษณะนี้จะมีผลต่อความเสถียรในการรวมสัญญาณแต่จะซับซ้อนในการดีมัลติเพลกซ์สัญญาณ ในการมัลติเพลกซ์วิธีนี้จะใช้อุปกรณ์รวมแสง เพื่อให้แสงผ่านเข้าไปในตัวกลางโดยไม่คำนึงถึงความยาวคลื่น อุปกรณ์ประเภทนี้จะได้แก่ ผลึกรวมแสง และผลึกรวมแสงแบบโพลาไรซ์ ผลึกรวมแสงแบบโพลาไรซ์นี้จะมีคุณสมบัติที่สามารถที่จะรวมและแยกสัญญาณเป็นโพลาไรซ์ได้ ซึ่งผลึกโพลาไรซ์นี้จะมีการทำงานโดยยอมให้แสงโพลาไรซ์ที่อยู่ในแนวระนาบเดินทางทะลุผ่านตัวผลึกไปได้ และแสงที่อยู่ในแนวตั้งฉากจะเกิดการสะท้อนของแสงโพลาไรซ์จากผลึกโพลาไรซ์ จึงได้นำหลักการนี้มาใช้ในการมัลติเพลกซ์และดีมัลติเพลกซ์ ในการออกแบบระบบมัลติเพลกซ์ทางแสงจะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบดังต่อไปนี้ คือการรบกวนข้ามช่องสัญญาณแสง ค่าความกว้างของตำแหน่งครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นแสง (Full Width Half Maximum, FWHM) อัตราการสูญเสียของการมัลติเพลกซ์

เอกสารและดีมัลติเพลกซ์ของแสงรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 การประยุกต์ใช้เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก

อุปกรณ์ตรวจจับโดยใช้เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก

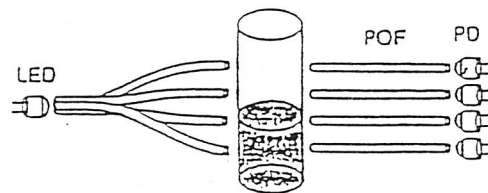
1. อุปกรณ์ตรวจจับโดยวิธีการยับยั้งการส่งผ่าน เป็นวิธีการตรวจจับโดยใช้การยับยั้งการส่งผ่านแสง โดยทั่วไประบบประกอบด้วย แหล่งกำเนิดแสงได้แก่ ไดโอดเปล่งแสง (Light-emitting diode; LED) ซึ่งมักใช้แสงสีแดงช่วงความยาวคลื่นประมาณ 660  $\mu\text{m}$  ตัวรับได้แก่ โฟโตไดโอด (Photo diode; PD) และ POF 2 เส้น ซึ่งปลายหนึ่งของแต่ละเส้นจะต่อกับ LED หรือ PD ส่วนอีกปลายของ POF จะปล่อยอิสระ โดยมีช่องว่างอากาศตรงกลาง ซึ่งช่องว่างนี้สามารถวางระหว่างวัตถุที่เคลื่อนที่เพื่อตรวจจับ หรือนับวัตถุที่เคลื่อนที่ ดังรูปที่ 5.7



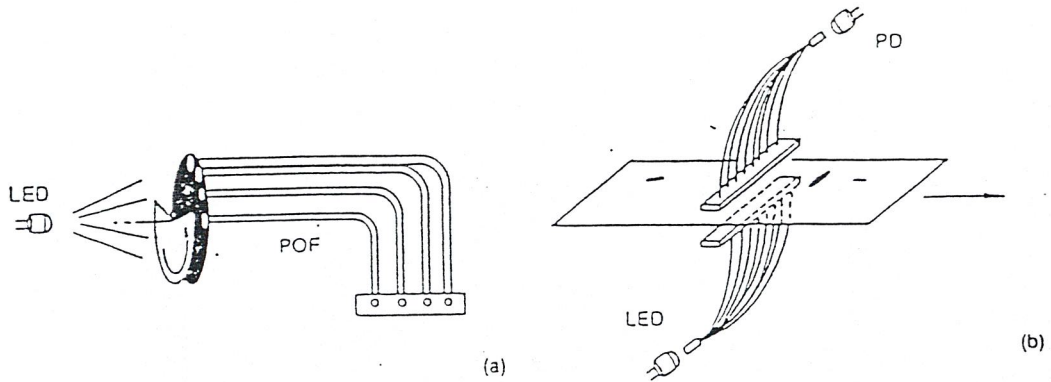
รูปที่ 5.7 แสดงอุปกรณ์ตรวจจับโดยวิธีการยับยั้งการส่งผ่าน

อีกตัวอย่างได้แก่ การใช้เป็นสวิตช์ทางแสง (optical switch) ทั้งแบบกล และแบบไฟฟ้า เช่น ควินเทล สวิตช์ชิป (QUINTEL Switchop) ซึ่งสามารถใช้เป็นปุ่มของคีย์บอร์ด หรือ อินไดเร็กแอ็กชันเซ็นเซอร์ (indirect-action sensor) ที่ประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์ทางทหาร

2. อุปกรณ์ตรวจจับแบบหลายจุด (Multipoint detection) ในกรณีที่ใช้ LED, PD และ POF หลาย ๆ ชุดจะสามารถที่จะใช้บอกตำแหน่งของวัตถุได้ ดังรูปที่ 5.8 และ 5.9

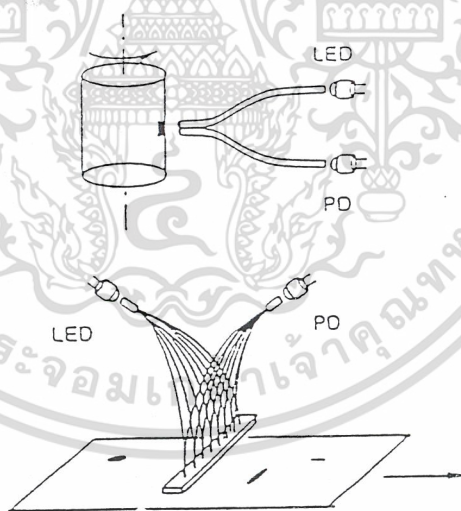


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 5.8 แสดงอุปกรณ์ตรวจจับระดับแบบหลายจุดนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 แสดงอุปกรณ์ตรวจจับแบบหลายจุด

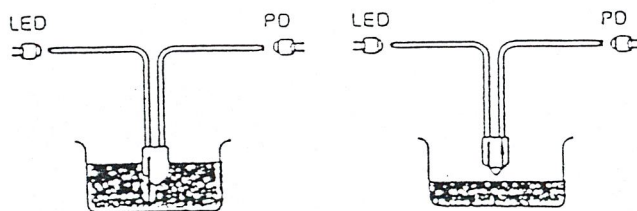
3. อุปกรณ์ตรวจจับโดยการยับยั้งการสะท้อน ในกรณีนี้เช่นเดียวกับการส่งผ่านแสงแต่จะใช้คุณสมบัติความยอมให้แสงผ่านของวัสดุประกอบ โดยที่ใช้การวัดความแตกต่างระหว่างปริมาณของแสงที่สะท้อนกับที่ดูดกลืนที่ผิว ตัวอย่างได้แก่อุปกรณ์ตรวจจับ และอุปกรณ์ตรวจสอบความผิดพลาดของผิว ซึ่งทำงานโดยการยับยั้งการส่งผ่านแสงระหว่าง POF 2 เส้น ในสถานะหนึ่ง และการสะท้อนกลับแสงในอีกสถานะ ดังรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 แสดงอุปกรณ์ตรวจจับโดยการยับยั้งการสะท้อน

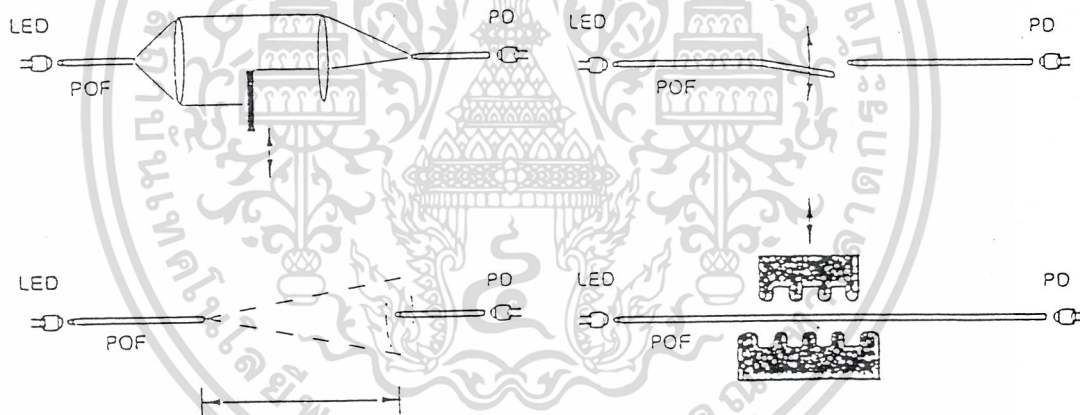
อีกตัวอย่างการประยุกต์โดยการใช้ในการเปลี่ยนแปลงดัชนีหักเหของตัวกลาง ดังรูปที่ 5.11 แสดงอุปกรณ์ตรวจจับระดับของของเหลวโดยใช้หลักการ เมื่อระดับของของเหลวในภาชนะเพียงพอ แสงจะส่งผ่านจากปริซึมออกไปที่ของเหลว ทำให้ POF เส้นที่ 2 ไม่ได้รับแสง แต่ในกรณีที่ระดับของของเหลวต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สรุปไว้สำหรับงานวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 แสดงอุปกรณ์ตรวจวัดระดับแบบของเหลว

4. การเปลี่ยนแปลงทางอเนกของทางส่งผ่านแสง สาเหตุของการเปลี่ยนแปลงขนาดของการลดทอนของการส่งผ่านแสงใน POF มีหลายสาเหตุได้แก่ ความยืดหยุ่น (flexious) อุณหภูมิ แต่เป็นการยากที่จะแยกสาเหตุของการเปลี่ยนออกเป็นสาเหตุเดี่ยว ๆ รูปที่ 5.12 เป็นการแสดงวิธีต่าง ๆ ที่เปลี่ยนการลดทอนทางแสงโดยทางกล



รูปที่ 5.12 แสดงการเปลี่ยนแปลงทางอเนกของทางส่งผ่านแสง

a) เป็นการวัดแสงระหว่าง POF 2 เส้นโดยขยายแสงให้กว้างขึ้นเพื่อปรับปรุงความแม่นยำของการเปลี่ยนแปลง

b) เป็นการวัดโดยใช้ความแตกต่างของระยะทางระหว่าง POF 2 เส้น ระดับความสามารถในการรับแสงขึ้นกับอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดของแกนของ POF ต่อกับพื้นที่ที่ปล่อยแสงของ POF ตัวปล่อย ซึ่งพื้นที่นี้จะเกี่ยวกับนิวเมอริคัลลอสเปอร์เจอร์ของ POF

c) เป็นการวัดโดยใช้การเปลี่ยนตำแหน่ง

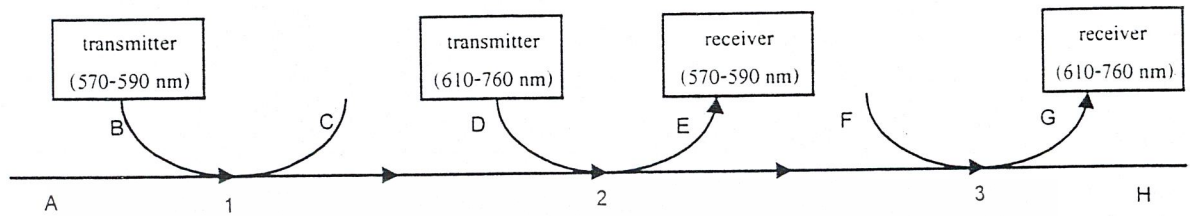
d) เป็นการวัดโดยใช้การเกิดความโค้งของ POF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

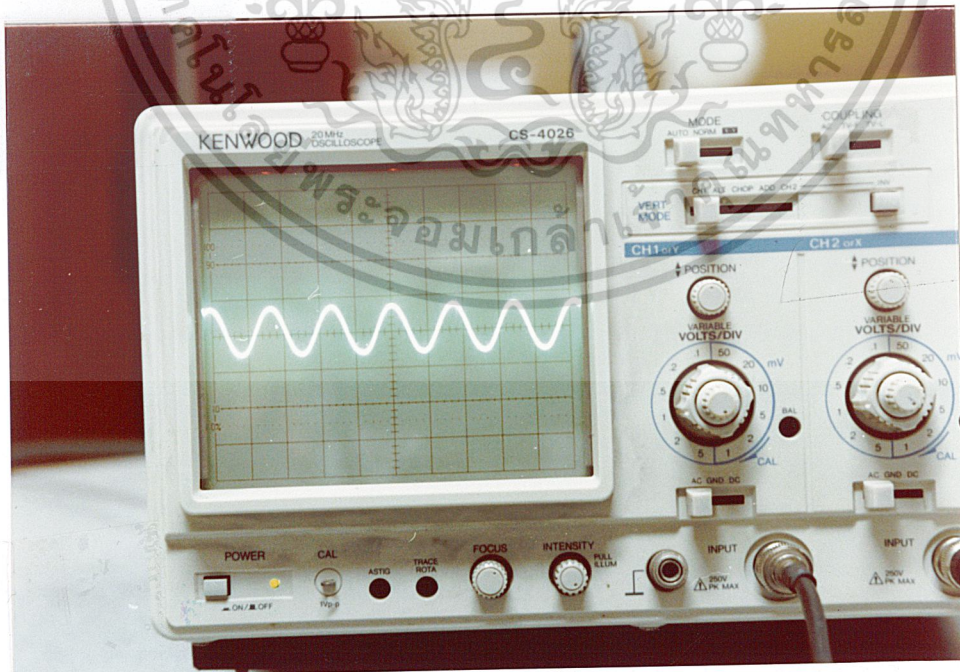
## ผลการทดลอง

ในการศึกษาระบบบัลทางแสงนั้น ได้มีการออกแบบระบบบัลที่ใช้ดังรูปที่ 6.1

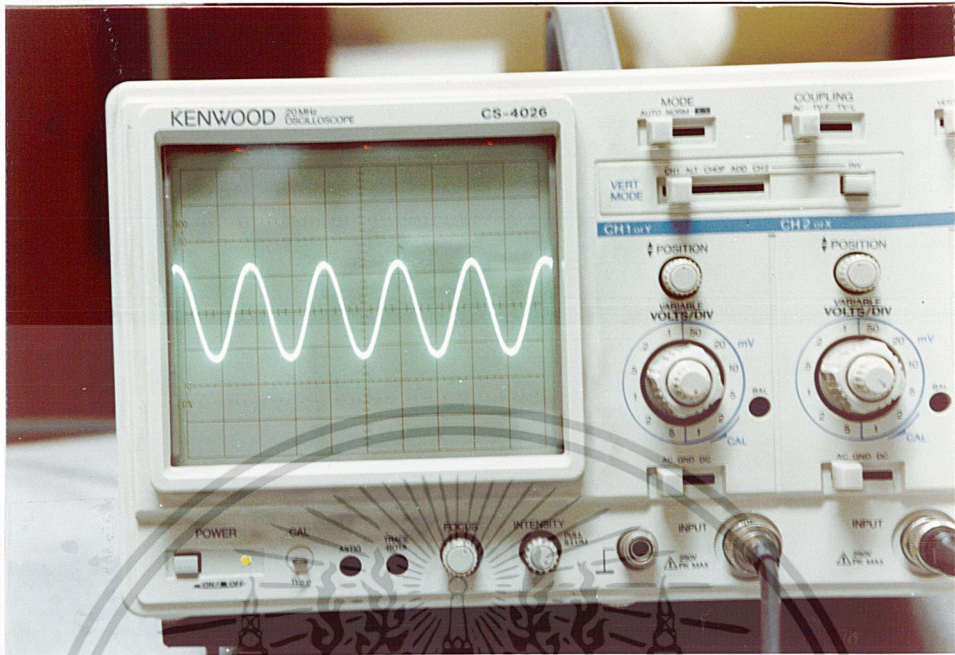


รูปที่ 6.1 แสดงระบบบัลที่ได้ทำการออกแบบ

โดยในระบบนั้นจะใช้แหล่งกำเนิดแสง 2 แหล่ง คือแหล่งกำเนิดแสงสีแดงที่มีความยาวคลื่นประมาณ 610-760 nm และแหล่งกำเนิดแสงสีเหลืองที่มีความยาวคลื่นประมาณ 570-590 nm โดยที่ตำแหน่งปลาย B จะเป็นตำแหน่งที่ส่งสัญญาณทางแสงโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงสีเหลือง สัญญาณที่ใช้มอดูเลตเป็นสัญญาณอนาลอกจากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ซึ่งมีความถี่ 20 KHz ที่ตำแหน่งปลาย D จะเป็นตำแหน่งที่ส่งสัญญาณทางแสงโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงสีแดง สัญญาณที่ใช้มอดูเลตเป็นสัญญาณอนาลอกจากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ซึ่งมีความถี่ประมาณ 10 KHz ที่ตำแหน่งปลาย E จะเป็นตำแหน่งที่รับสัญญาณทางแสงจากแหล่งกำเนิดแสงสีเหลือง ที่ตำแหน่งปลาย G จะเป็นตำแหน่งที่รับสัญญาณทางแสงจากแหล่งกำเนิดแสงสีแดง

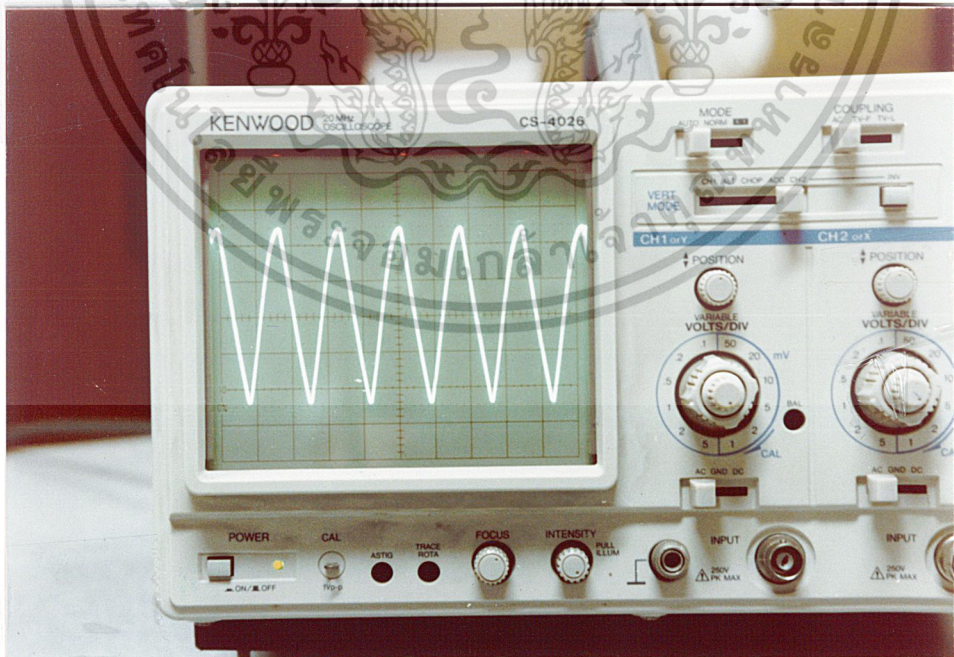


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ รูปที่ 6.2 แสดงสัญญาณอินพุตความถี่ 10 KHz ที่ จะทำการมอดูเลตกับแหล่งกำเนิดแสงสีแดง



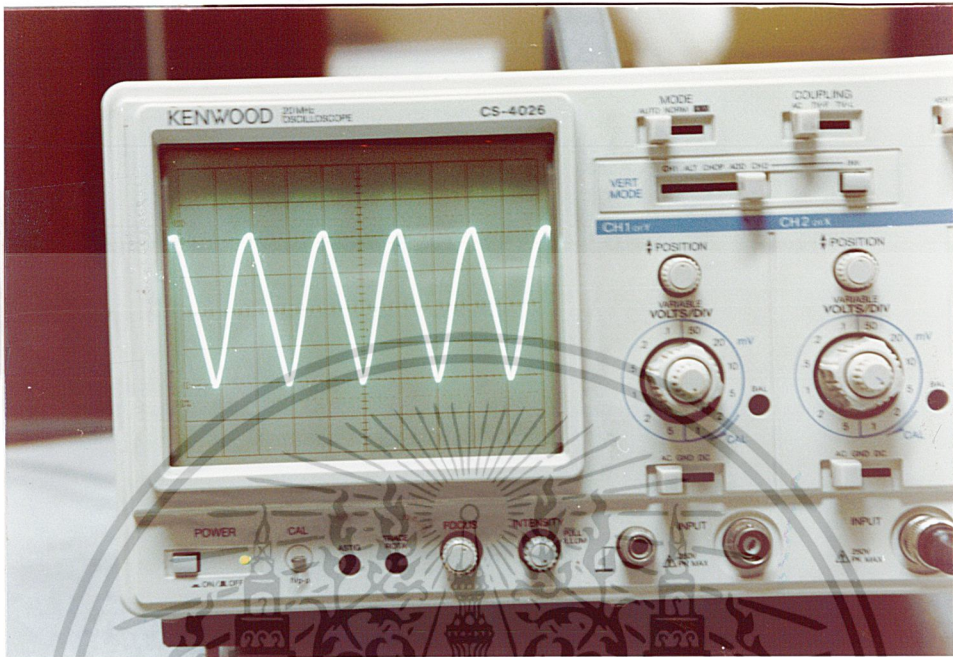
รูปที่ 6.3 แสดงสัญญาณอินพุตความถี่ 20 kHz ที่จะทำการมอดูเลตกับแสงสีเหลือง

รูปที่ 6.2 และ 6.3 แสดงสัญญาณอินพุตที่จะทำการมอดูเลตกับแหล่งกำเนิดแสงสีแดงและเหลือง



รูปที่ 6.4 แสดงสัญญาณที่วัดจากวงจรรับแสงสีแดง

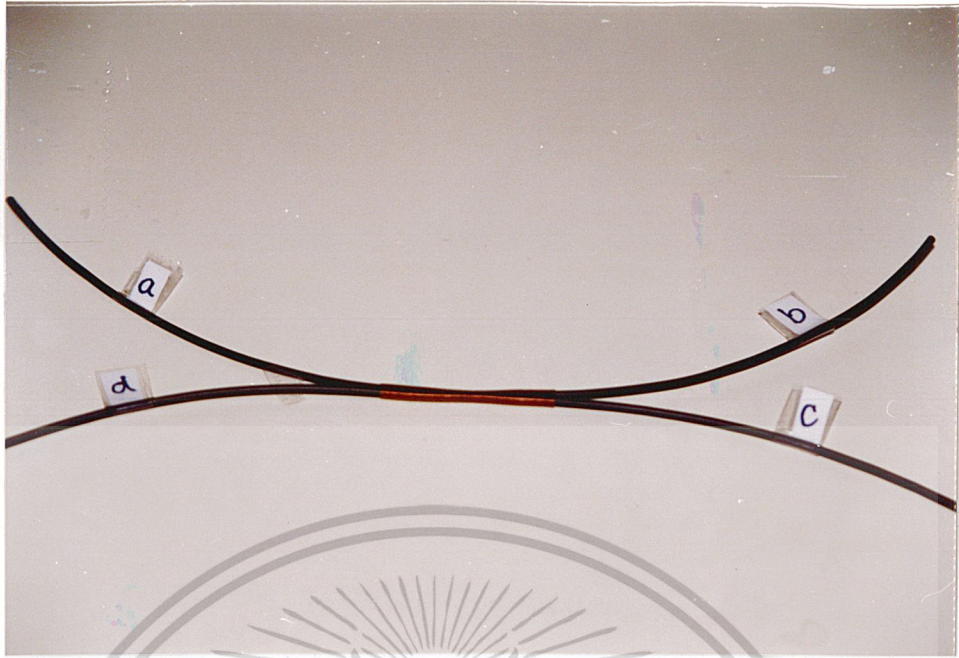
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแบบลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



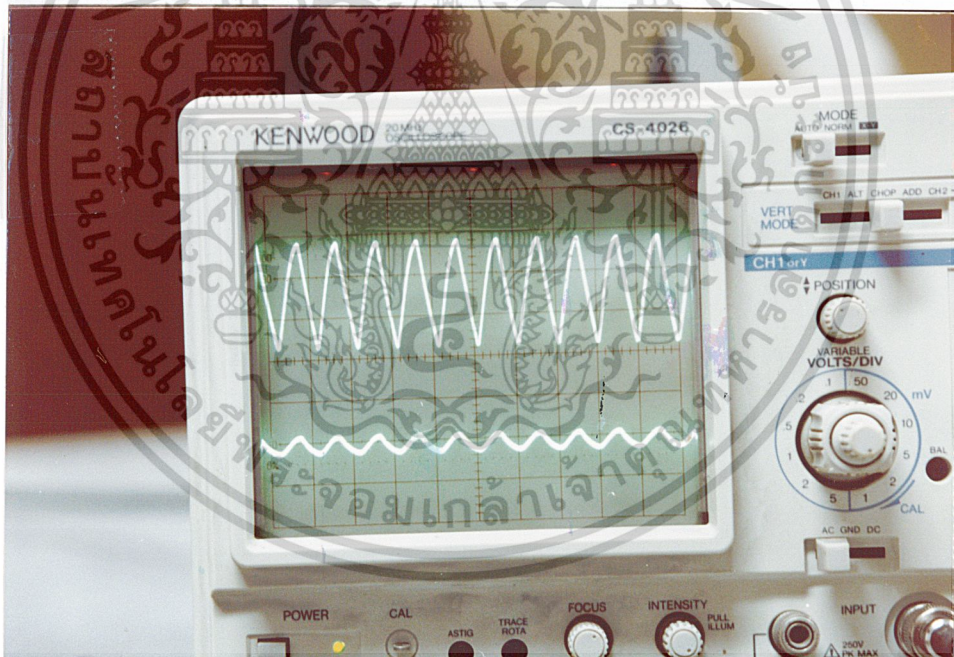
รูปที่ 6.5 แสดงสัญญาณที่วัดจากวงจรรับแสงสีเหลือง

จากรูปที่ 6.4 และ 6.5 เป็นสัญญาณที่เกิดจากการส่งสัญญาณทางแสงจากตัวส่งผ่านเส้นใยแก้วนำแสงชนิดพลาสติกไปยังตัวรับ ซึ่งจะมีการสูญเสียของสัญญาณทางแสงเนื่องจากการลดทอนตามความยาวเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก การเชื่อมต่อระหว่างตัวส่งกับเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก และตัวรับกับเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

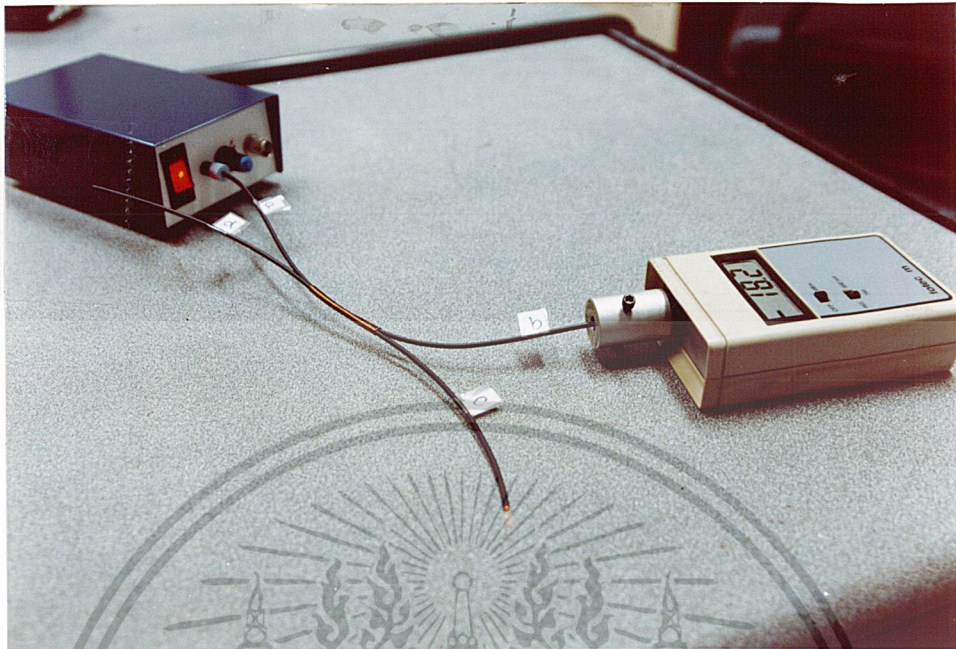


รูปที่ 6.6 แสดงเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกที่ทำการเทเป็



รูปที่ 6.7 แสดงสัญญาณที่วัดได้จากตัวรับที่ตำแหน่ง b และ c เนื่องจากการเทเปอร์

จากรูปที่ 6.7 สัญญาณที่วัดได้จะมีการลดทอนลงมาจากเดิม เนื่องจากการสูญเสียของสัญญาณทางแสงบริเวณที่มีการเทเปอร์ และการกระจายแสงไปที่ตำแหน่งปลาย b และ c ซึ่งสามารถหาเปอร์เซ็นต์ของการกระจายสัญญาณทางแสงที่ปลาย b และ c เปอร์เซ็นต์ของการสูญเสียสัญญาณเอกสารทางแสงบริเวณที่มีการเทเปอร์ และเปอร์เซ็นต์ของการกระจายแสงที่ปลาย d ได้จากการใช้พาวเวอร์ไม่วา มิเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 6.8 มิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ :



รูปที่ 6.8 แสดงการวัดกำลังของแสงโดยใช้พาวเวอร์มิเตอร์

ตารางที่ 6.1 กำลังของแสงสีแดงที่ตำแหน่งต่าง ๆ

การทดลอง ครั้งที่	กำลังของแสงที่ จุดต่างๆ (dB <sub>m</sub> )			
	P <sub>A</sub>	P <sub>B</sub>	P <sub>C</sub>	P <sub>D</sub>
1	-15.2	-17.2	-21.3	-38.5
2	-15.0	-17.1	-21.1	-38.7
3	-15.1	-17.5	-21.4	-38.8
เฉลี่ย	-15.10	-17.13	-21.27	-38.67
คิดเป็น $\mu\text{W}$	30.9	19.4	7.5	0.136
คิดเป็น %	100	62.7	24.2	0.44

เปอร์เซ็นต์ของการสูญเสียสัญญาณทางแสงบริเวณที่มีการเทเปอร์เท่ากับ 12.66 % หรือคิดเป็นกำลังเท่ากับ 3.91  $\mu\text{W}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.2 กำลังของแสงสีเหลืองที่ตำแหน่งต่าง ๆ

การทดลอง ครั้งที่	กำลังของแสงที่ จุดต่างๆ (dB <sub>m</sub> )			
	P <sub>A</sub>	P <sub>B</sub>	P <sub>C</sub>	P <sub>D</sub>
1	-15.7	-17.5	-21.8	-38.5
2	-15.6	-17.8	-21.9	-38.3
3	-15.7	-17.8	-21.6	-38.6
เฉลี่ย	-15.67	-17.70	-21.77	-38.47
คิดเป็น $\mu\text{W}$	27.1	17.0	6.7	0.142
คิดเป็น %	100	62.7	24.7	0.52

เปอร์เซ็นต์ของการสูญเสียสัญญาณทางแสงบริเวณที่มีการเทเปอร์เท่ากับ 12.08 % หรือคิดเป็นกำลังเท่ากับ 3.258  $\mu\text{W}$

จากการวัดกำลังของแสงสีแดงและแสงสีเหลืองที่ตำแหน่งต่าง ๆ โดยใช้พาวเวอร์มิเตอร์พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ ที่วัดได้นั้นมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากอัตราการลดทอนของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกเนื่องจากความยาวคลื่นของแสงสีแดงและแสงสีเหลืองมีค่าใกล้เคียงกัน และเนื่องจากระบบบัลที่ใช้ในการทดลองมีความยาวของช่วงที่มีการเทปกันมีค่าเท่ากับ ความยาวของเส้นใยนำแสงที่มีการเทเปอร์แบบ 2x2 ดังนั้นจะทำการประมาณเปอร์เซ็นต์ของการสูญเสียสัญญาณทางแสงบริเวณที่มีการเทเปอร์ ทุกจุดในระบบบัลให้มีความเท่ากันหมดคือเท่ากับ 12 % พิจารณารูปที่ 6.1 ทำการส่งสัญญาณทางแสงที่ตำแหน่งปลาย A ของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก ทำการวัด  $V_{p-p}$  ที่ตำแหน่งต่างๆ ดังนั้นเราจะสามารถหาเปอร์เซ็นต์ของการเทเปอร์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 6.3 และ 6.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.3 เปอร์เซ็นต์ของการเทเปอร์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ เมื่อใช้แหล่งกำเนิดแสงสีแดง

การทดลอง ครั้งที่	สัญญาณที่วัด ณ จุดต่างๆ			
	$V_A$	$V_C$	$V_E$	$V_G$
1	1.31	0.31	0.15	0.11
2	1.28	0.29	0.12	0.09
3	1.30	0.28	0.14	0.10
เฉลี่ย	1.293	0.293	0.137	0.100
คิดเป็น %	-	23.86	19.33	22.83

เฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเทเปอร์มีค่า 22.01%

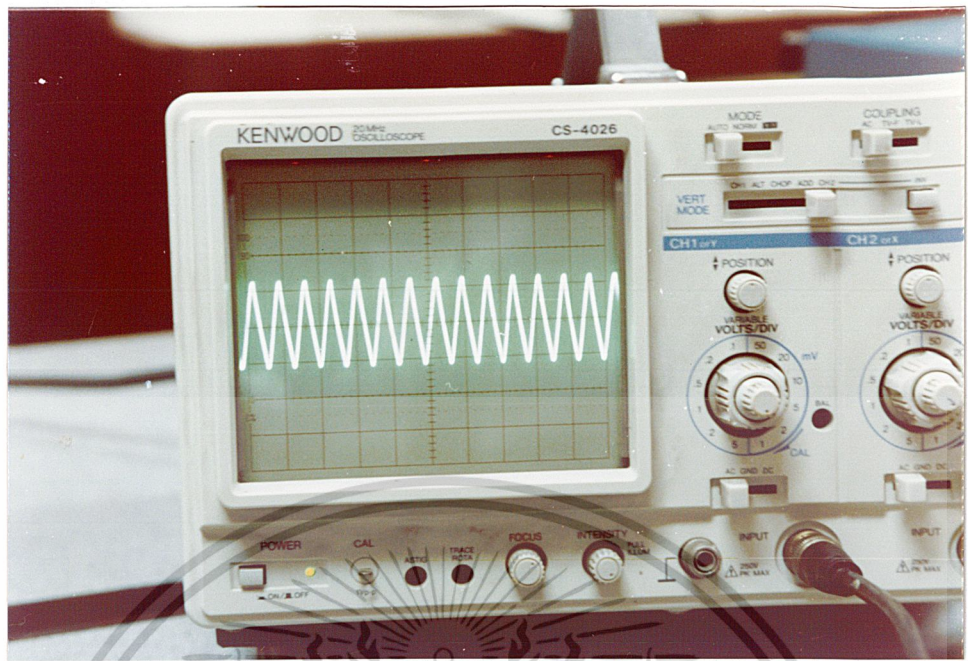
ตารางที่ 6.4 เปอร์เซ็นต์ของการเทเปอร์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ เมื่อใช้แหล่งกำเนิดแสงสีเหลือง

การทดลอง ครั้งที่	สัญญาณที่วัด ณ จุดต่างๆ			
	$V_A$	$V_C$	$V_E$	$V_G$
1	1.28	0.28	0.14	0.09
2	1.28	0.29	0.15	0.09
3	1.30	0.31	0.16	0.10
เฉลี่ย	1.287	0.293	0.150	0.093
คิดเป็น %	-	22.78	20.89	21.43

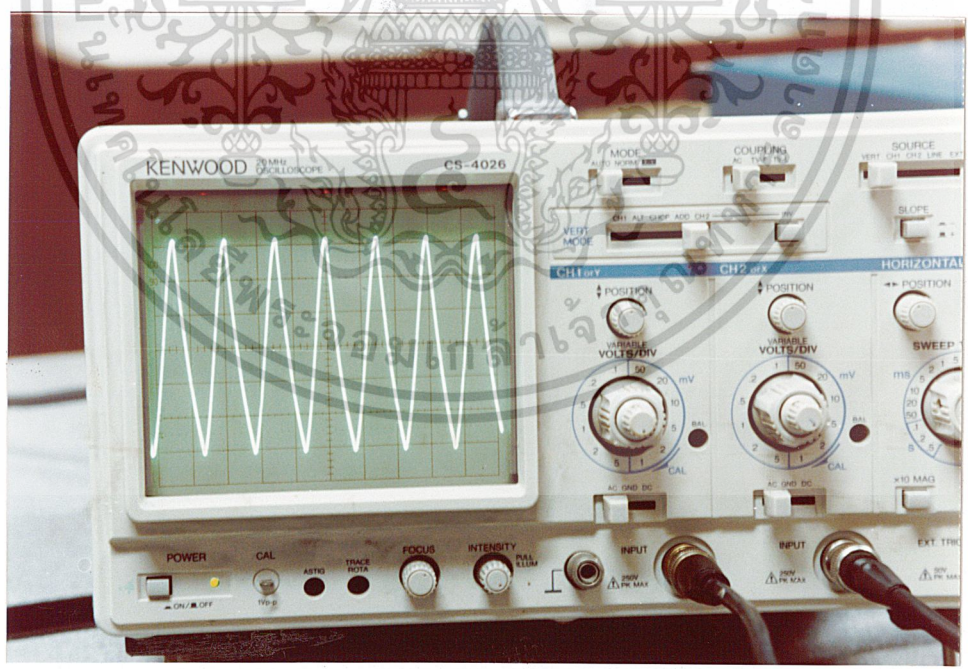
เฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเทเปอร์มีค่า 21.7%

จากตารางที่ 6.3 และ 6.4 ค่าเปอร์เซ็นต์ของการเทเปอร์มีค่าประมาณ 22%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

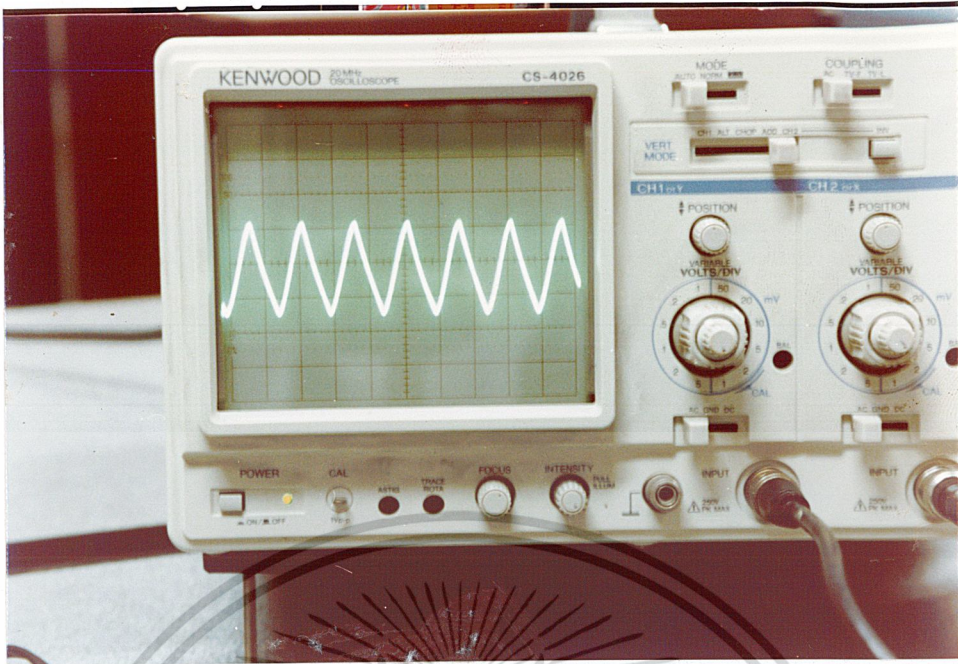


รูปที่ 6.9 แสดงสัญญาณทางแสงจากแหล่งกำเนิดแสงสี่เหลี่ยม  
ที่ตำแหน่งปลาย G เมื่อไม่มีฟิลเตอร์แสงสีแดง



รูปที่ 6.10 แสดงสัญญาณทางแสงจากแหล่งกำเนิดแสงสีแดง  
ที่ตำแหน่งปลาย G เมื่อไม่มีฟิลเตอร์แสงสีแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.11 แสดงสัญญาณทางแสงจากแหล่งกำเนิดแสงสีแดง  
ที่ตำแหน่งปลาย G เมื่อมีฟิลเตอร์แสงสีแดง

ตารางที่ 6.5 สัญญาณที่วัดได้ ( $V_{p,p}$ ) ของแสงสีแดงและสัญญาณรบกวน(สีเหลือง)เมื่อผ่านฟิลเตอร์

การทดลอง ครั้งที่	สัญญาณที่วัดได้ ( $V_{p,p}$ )	
	สัญญาณแสง	สัญญาณรบกวน
1	18 mV	0.1 mV
2	17 mV	0.1 mV
3	17 mV	0.1 mV
เฉลี่ย	17.33 mV	0.1 mV

จากตารางที่ 6.5 แสดงสัญญาณที่วัดได้ที่ตำแหน่งปลาย G เมื่อสัญญาณที่มอดูเลตกับแสงสีแดงมีความถี่ 10 kHz และสัญญาณรบกวน ซึ่งสามารถหาอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (S/N) ได้จาก

อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (S/N) = สัญญาณ / สัญญาณรบกวน

$$S/N = 173.3$$

จะทำการหาการรบกวนข้ามช่องสัญญาณ (Crosstalk) ได้จาก

$$\text{Crosstalk} = -20 \log \frac{V_{\text{red}}}{V_{\text{yellow}}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
= -24.78 dB

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.6 สัญญาณที่วัดได้  $V_{p,p}$  ของแสงสีแดงและเหลืองที่ตำแหน่งปลาย G เมื่อไม่ผ่านฟิลเตอร์สีแดง

การทดลอง ครั้งที่	สัญญาณที่วัดได้ ( $V_{p,p}$ )	
	แสงสีแดง	แสงสีเหลือง
1	64 mV	18 mV
2	64 mV	15 mV
3	62 mV	14 mV
เฉลี่ย	63 mV	15.67 mV

อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (S/N) = สัญญาณ / สัญญาณรบกวน

$$S/N = 4.02$$

$$\begin{aligned} \text{Crosstalk} &= -20 \log \frac{V_{\text{red}}}{V_{\text{yellow}}} \\ &= -12.04 \text{ dB} \end{aligned}$$

ในการวัดสัญญาณที่ตำแหน่ง E เมื่อสัญญาณที่มอดูเลตมีความถี่ 20 kHz ไม่สามารถทำการวัดได้เนื่องจากการรบกวนข้ามช่องสัญญาณของแสงสีแดง

ตารางที่ 6.7 สัญญาณที่วัดได้ ( $V_{p,p}$ ) ของแสงสีเหลืองและสัญญาณรบกวน

การทดลอง ครั้งที่	สัญญาณที่วัดได้ ( $V_{p,p}$ )	
	สัญญาณแสง	สัญญาณรบกวน
1	20 mV	44 mV
2	19 mV	42 mV
3	21 mV	44 mV
เฉลี่ย	20 mV	43.33 mV

จากตารางที่ 6.7 สามารถหาค่า S/N ได้

$$S/N = \frac{20}{43.33} = 0.46$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 7

### บทสรุปและแนวทางในการพัฒนาต่อไป

#### 7.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาระบบบัสทางแสงซึ่งใช้แหล่งกำเนิดแสง 2 แหล่ง คือ ไดโอดเปล่งแสงสีแดงและไดโอดเปล่งแสงสีเหลืองที่มีช่วงความยาวคลื่นประมาณ 610-760 นาโนเมตร และ 570-590 นาโนเมตร ตามลำดับ โดยให้สัญญาณอนาล็อกจากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์มอดูเลตกับแสงสีแดง และแสงสีเหลืองมีค่าไม่เท่ากัน โดยส่งสัญญาณความถี่ 10 kHz มอดูเลตกับแสงสีแดงไปที่ตำแหน่งปลาย D และส่งสัญญาณความถี่ 20 kHz มอดูเลตกับแสงสีเหลืองไปที่ตำแหน่งปลาย B ทำการรับสัญญาณที่มอดูเลตกับแสงสีแดงที่ตำแหน่งปลาย G และรับสัญญาณที่มอดูเลตกับแสงสีเหลืองที่ตำแหน่งปลาย E จากการทดลองสามารถวัดสัญญาณความถี่ 10 kHz ได้ที่ตำแหน่งปลาย E และมีค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน(S/N) เท่ากับ 173.3 และการรบกวนข้ามช่องสัญญาณ (Crosstalk) เท่ากับ  $-24.78$  dB ส่วนที่ตำแหน่งปลาย E ที่ทำการวัดสัญญาณความถี่ 20 kHz พบว่ามีการรบกวนข้ามช่องสัญญาณจากแสงสีแดง เนื่องจากไม่มีฟิลเตอร์แสงสีเหลืองแยกสัญญาณแสงจากแสงสีแดงออกจากแสงสีเหลืองซึ่งค่า S/N ที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 0.46 และสามารถแยกสัญญาณแสงจากแหล่งกำเนิดแสงสีแดงและเหลืองได้วิธีหนึ่งโดยใช้เกอตติงในการรับแสงซึ่งในการทดลองไดโอดเปล่งแสงสีแดงและเหลืองมีกำลังแสงไม่เพียงพอที่จะทำการแยกแสงได้ซึ่งวิธีการนี้สามารถทำได้ถ้าใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นแสงเลเซอร์

#### 7.2 ปัญหาที่เกิดขึ้น

1. ไม่สามารถหาซื้อฟิลเตอร์แสงสีเหลืองภายในประเทศได้ทำให้ไม่สามารถวัดสัญญาณที่มอดูเลตกับแสงสีเหลืองได้ เนื่องจากการศึกษาระบบทางด้านแสงนี้เน้นการใช้ต้นทุนต่ำจึงไม่สั่งซื้อฟิลเตอร์แสงสีเหลืองจากต่างประเทศเนื่องจากมีราคาแพง
2. ในการเก็บข้อมูลทำได้ลำบากเนื่องจากข้อมูลที่วัดได้มีค่าเปลี่ยนแปลงตลอด ซึ่งเกิดจากปัญหาการเชื่อมต่อระหว่างตัวส่งกับเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกและตัวรับกับเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก จึงต้องทำการเก็บข้อมูลหลายๆ ครั้ง
3. ในการแยกแสงสีแดงและแสงสีเหลืองโดยใช้เกอตติง แสงที่แยกได้นั้นไม่สามารถทำการวัดสัญญาณได้เนื่องจากกำลังของแสงของไดโอดเปล่งแสงมีค่าต่ำ
4. ภายในระบบบัสไม่สามารถหาเปอร์เซ็นต์ของการสูญเสียสัญญาณแสงเนื่องจากการเทเปอร์ แต่จะจุดได้จึงต้องทำการค่าจากการวัดเทเปอร์แบบ  $2 \times 2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 7.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

สำหรับแนวทางในการพัฒนาต่อไปนั้น สามารถได้โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ในการส่งสัญญาณทางแสงเนื่องจากกำลังของแสงเลเซอร์มีค่ามากกว่ากำลังของแสงจากไดโอดเปล่งแสงมาก ทำให้สามารถขยายเครือข่ายในระบบบัสได้มากกว่าเดิม และการแยกแสงเลเซอร์โดยใช้เกรตติงสามารถทำได้เนื่องจากกำลังของแสงเลเซอร์มีค่าสูงและแสงเลเซอร์มีความยาวคลื่นเพียงค่าเดียว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

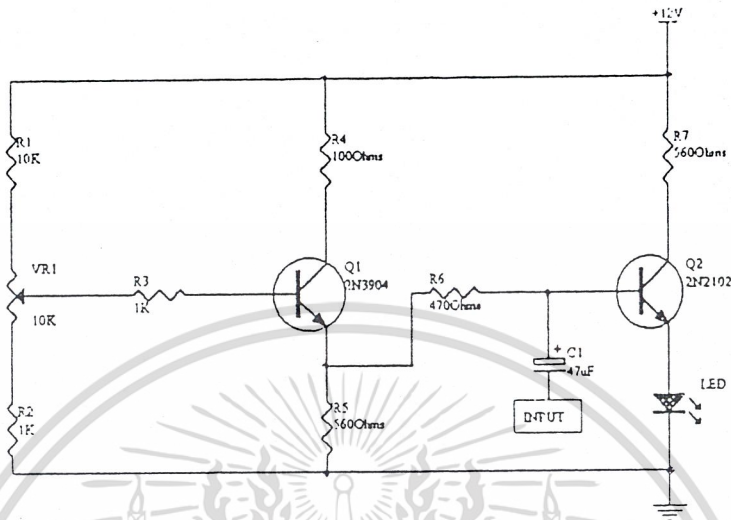
1. ปรีชา ยูพาพิน, " เครือข่ายใยแก้วนำแสง " , สถาบันส่งเสริมเทคโนโลยี( ไทย-ญี่ปุ่น ),2541
2. Harold B.Killen, " Fiber Optic communication " , Prentice-Hall,Inc.,1991
3. John M.senior, " Optical Fiber communication Principles and Practice " ,prentice Hall International (UK) Ltd, Second edition,1992
4. Morris Tischler, "Fiber Optoelectronics: Fiber Optic and Lasers communication" ,the Glencoe division of Macmillian/ McGrew-Hi School Publishing company,1992
5. Paul E.Green,Jr. " Fiber Optic Networks " ,Englewood Cliffs,NewJersey: Prentice Hall,1993
6. John Wiley & Sons " Plastic Optical Fibers " ,New York,USA,First English Language edition,1997



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



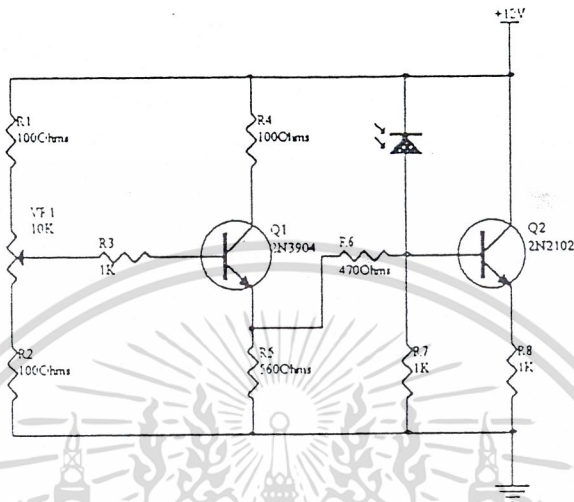
วงจรภาคส่ง

วงจรภาคส่งประกอบไปด้วยทรานซิสเตอร์ 2 ตัว ทรานซิสเตอร์ภาคแรกใช้เบอร์ 2N3904 ทำหน้าที่เป็นตัวยกระดับ Off Set ทำการต่อวงจรแบบไบอัสแบ่งแรงดัน (Voltage-Divider-Bias) ทำให้เมื่อปรับความต้านทานปรับค่าได้ กระแสเบส ( $I_{B2}$ ) ซึ่งมีผลต่อกระแสอิมิตเตอร์ ( $I_{E2}$ ) ทำให้แสงที่ออกมาจาก LED เปลี่ยนแปลงไปด้วย สำหรับทรานซิสเตอร์ภาคหลังใช้เบอร์ 2N2102 จะทำการมอดูเลตสัญญาณอินพุทที่เข้ามาแบบแอมพลิจูด คือจะนำสัญญาณอินพุทรวมกับสัญญาณพาหะทำให้แอมพลิจูดของสัญญาณเปลี่ยนแปลงไปตามการรวมกันของสัญญาณทำให้กระแสอิมิตเตอร์ ( $I_{E2}$ ) ที่ไปขับ LED เปลี่ยนแปลงไป

R7 ที่ต่อกับขาคอลเล็กเตอร์ เป็นตัวจำกัดกระแสที่ไหลผ่านไดโอดเปล่งแสงไม่ให้มีค่ามากเกินไป

C1 ที่ต่อระหว่างขาเบส เป็นตัวลดการกระชากของสัญญาณเพื่อป้องกันไม่ให้ทรานซิสเตอร์เกิดความเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วงจรภาครับ

วงจรภาครับนี้ ใช้ตัวรับเป็นโฟโตไดโอดาร์ลิงตัน เบอร์ MFOD73 โดยทำการต่อแบบไบอัสย้อนกลับ (Reverse Bias) โดยโฟโตไดโอดาร์ลิงตันจะทำหน้าที่เสมือนกับสวิตช์ เมื่อไม่มีแสงตกกระทบ โฟโตไดโอดาร์ลิงตันจะทำหน้าที่เสมือนสวิตช์เปิด คือจะไม่มีกระแสไหลผ่าน เมื่อมีแสงตกกระทบ โฟโตไดโอดาร์ลิงตันจะทำหน้าที่เสมือนสวิตช์ปิด คือทำให้กระแสไหลผ่านได้ โดยจากรูปวงจรจะมีทรานซิสเตอร์ 2 เบอร์ต่อเข้าด้วยกัน คือทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N3904 และ 2N2102 ซึ่งเราสามารถปรับเพิ่มหรือลดกระแสเอาท์พุท ( $I_{E2}$ ) ได้โดยปรับความต้านทานปรับค่าได้ VR1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ESKA<sup>TM</sup> Cables

ไฟเบอร์ออปติกสายนำแสงจาก **MITSUBISHI RAYON**



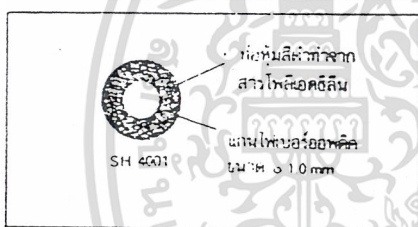
SH 4001 ไฟเบอร์ออปติกท่อเดี่ยวใช้กับอุปกรณ์  
OPTOELECTRONICS ของ MOTOROLA

สายไฟเบอร์ออปติก SH 4001 ใช้สำหรับเป็นท่อนำแสงเพื่อการ  
รับ-ส่งสัญญาณด้วยแสง โดยที่มีการสูญเสียที่น้อยที่สุด จึงเหมาะเป็น  
อย่างยิ่งสำหรับงานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์, งานควบคุมเครื่องเสียง  
และอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสามารถใช้กับอุปกรณ์ประเภทออปโต  
อิเล็กทรอนิกส์ได้ทันที

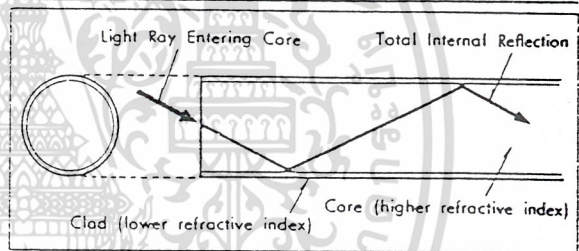
ชนิด	รหัส	จำนวนแกน	ขนาด $\phi$ ของแกน	ขนาด $\phi$ ของท่อดำ	เกรด
Single Fiber Type	SH 4001	1	1.0 mm	2.2 mm $\pm 0.7$	Super ESKA

แกนนำแสงของ SH 4001 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.0 mm และหุ้มด้วยท่อดำซึ่งทำจากสารโพลีเอทิลีน จึงสามารถทนทานต่อสารเคมีและ  
แรงดึงต่างๆ ได้เป็นอย่างดี และยังป้องกันแสงภายนอกเข้าไปรบกวนสัญญาณภายในแกนได้อีกด้วย

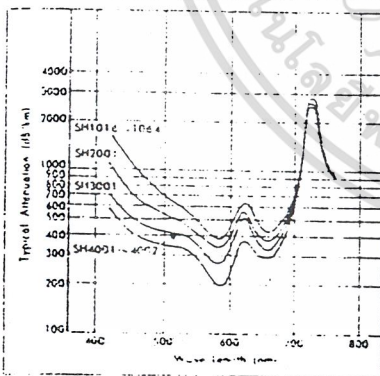
ภาพตัดขวาง



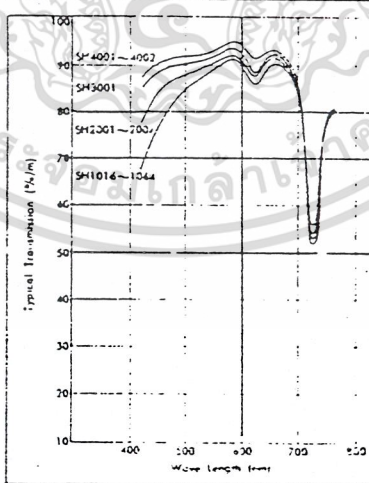
การเดินทางของแสงภายในแกนไฟเบอร์ออปติก



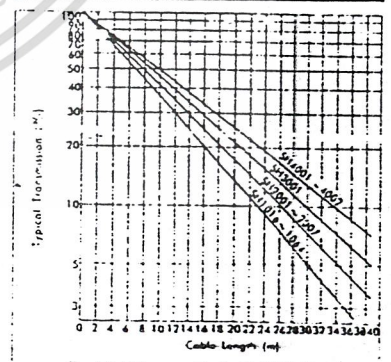
ปริมาณลดทอนของสัญญาณตามความยาวคลื่น



อัตราการลดทอนตามความยาวคลื่น



อัตราการลดทอนตามความยาวทางสาย



ข้อแนะนำ: เพื่อการส่งผ่านสัญญาณที่ดี  
ผิวของแกนไฟเบอร์ออปติกเมื่อฉีกแล้ว  
ควรถทำให้เรียบสม่ำเสมอ

ผู้แทนจำหน่าย **ฉัทพัฒนา** 176 ถนนบ้านหม้อ กรุงเทพฯ 10200 โทร. 222-9295, 224-0726

เอกสารนี้ยังมีบริการจัดส่งสินค้าสำหรับท่านที่ขอเปิดกรอหรือขอยกการคัดค้านอิเล็กทรอนิกส์โดยราคาข้อมเหและเป็นกันเอง รับส่งทาง พ.ท.จ. ศิวศตวรรษวี  
พิมพ์ 85 เม.ย. พ.ศ. 2511 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Eska™ Optical Cables

ESKA Optical Cables are made of a single or plural number of ESKA fibers jacketed with polyethylene or polyvinylchloride to protect fibers from physical and chemical damages.

### Super Eska™ Grade Cables (Product Code: SH)

Attenuation:  $\leq 400\text{dB/Km}$  at 660nm collimated light

Heat Resistance:  $75^{\circ}\text{C}$

Cable Type: simplex or duplex

Main Applications:   
 ○ lamp monitors and instrument panel illumination.   
 ○ data transmission   
 ○ sensor heads for photoelectric switches

### Eska Extra™ Grade Cables (Product Code: EH)

Attenuation:  $\leq 200\text{dB/Km}$  at 650nm collimated light

Heat Resistance:  $85^{\circ}\text{C}$

Cable Type: simplex or duplex

Main Application:   
 ○ data transmission

### Heat Resistant DH Type Eska™ Cables (Product Code: DH)

Attenuation:  $\sim 300\text{dB/Km}$  at 650nm collimated light (1m/m $\phi$  fiber)

Heat Resistance:  $115^{\circ}\text{C}$  (dry)

Cable Type: simplex

Main Applications:   
 ○ short-distance data transmission in automobiles   
 ○ sensor heads for photoelectric switches in higher ambient temperature

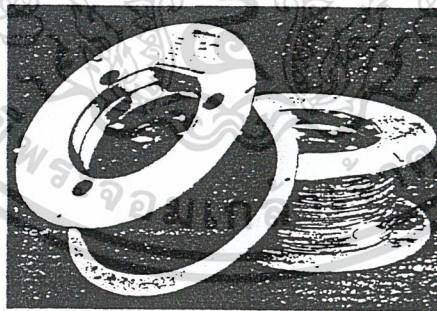
### Heat Resistant FH Type Eska™ Cables (Product Code: FH)

Attenuation:  $\sim 1,000\text{dB/Km}$  at 650nm and 770nm collimated light

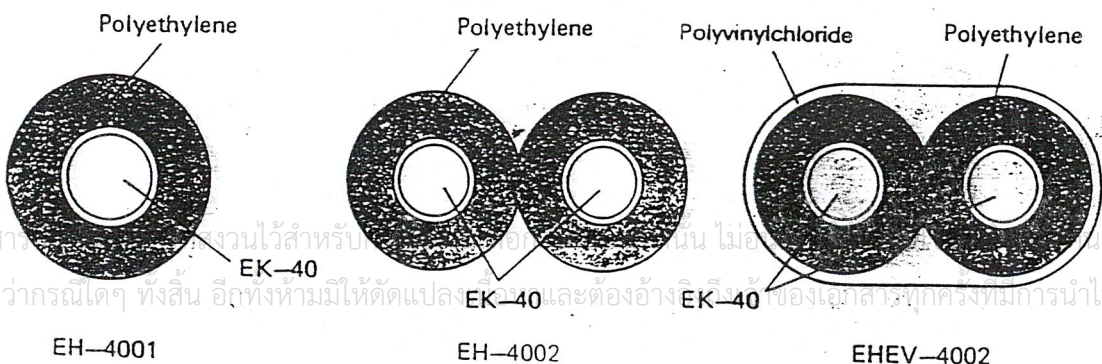
Heat Resistance:  $125^{\circ}\text{C}$  (dry)

Cable Type: simplex

Main Applications:   
 ○ short-distance data transmission in automobiles   
 ○ sensor heads for photoelectric switches in higher ambient temperature



Typical Structure of Optical Cable



# ESKA<sup>TM</sup> High-performance Plastic Optical Fibers

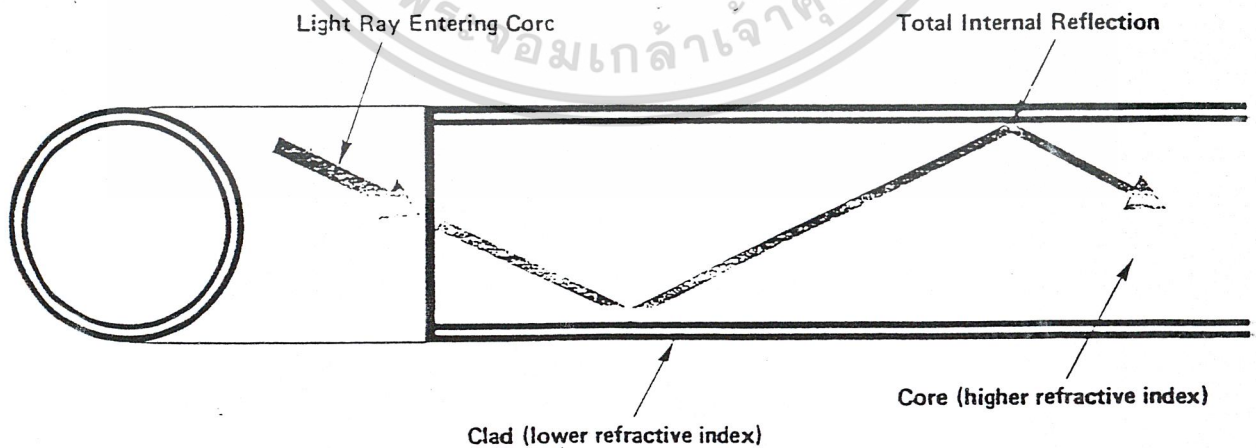
ESKA is the tradename for high-performance plastic optical fibers developed by Mitsubishi Rayon Co., Ltd., based on its integrated technologies and wide experience in the field of polymer and fiber production.

## Structure of ESKA<sup>TM</sup>

ESKA fibers are plastic optical fibers (so called step Index type), having a concentric double-layer structure consisting of a core of highly transparent polymethyl methacrylate polymer and a thin layer of special fluorine polymer cladding.

As the clad has a lower refractive index than the core, the light ray entering at one end of a fiber progresses through the core, repeating the total internal reflection at the core/clad interface to be discharged from the other end.

Structure of Optical Fiber and Diagram of Light Transmission



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Item No.	Fiber Diameter × Number of Fibers	Cable Outer Diameter (m/m)	Cable Length on Spool (M)	Net Weight on Spool (kg)	Carton Size (m/m)	A Carton Gross Weight (kg)	Jacket	
								Commodity
SH-2001	0.5 mm × 1	1.0 ± 0.05	1,000	0.85	360 × 360 × 165	2.2	PE	
SH-2002	0.5 mm × 2	1.0 × 2.2 ± 0.07	500	0.85		2.2		
SH-3001	0.75 mm × 1	2.2 ± 0.07		1.9		3.3		
SH-3002	0.75 mm × 2	2.2 × 4.6 ± 0.1		3.9		5.3		
SH-4001	1.0 mm × 1	2.2 ± 0.07		1.9		3.3		
SH-4002	1.0 mm × 2	2.2 × 4.6 ± 0.1		3.9		5.3		
SH-1016	0.25 mm × 16	2.2 ± 0.1		1.9		3.3		
SH-1016	0.25 mm × 16	2.2 ± 0.1		7,620		28.2		800 × 800 × 300
SH-1032	0.25 mm × 32	2.8 ± 0.1	500	3		360 × 360 × 165		4.4
SH-1032	0.25 mm × 32	2.8 ± 0.1	3,810	22.5		800 × 800 × 300		27.0
SH-1048	0.25 mm × 48	3.0 ± 0.1	500	3.5		360 × 360 × 165		4.9
SH-1048	0.25 mm × 48	3.0 ± 0.1	3,658	25.3		800 × 800 × 300		29.8
SH-1064	0.25 mm × 64	3.3 ± 0.1	500	4.4		360 × 360 × 165		6.3
SH-1064	0.25 mm × 64	3.3 ± 0.1	3,500	29.6		800 × 800 × 300		34.5
VSH4001	1.0 mm × 1	3.0 ± 0.1	500	8.6	360 × 360 × 165	10.0	PVC ON F	
VSH4002	1.0 mm × 2	4.0 × 5.5 ± 0.1		11.5	460 × 460 × 160	13.5	PVC ON F	
SHV4001	1.0 mm × 1	2.2 ± 0.07		1.9	360 × 360 × 165	3.3	PVC	
SHV4002	1.0 mm × 2	2.2 × 4.6 ± 0.1		3.9	360 × 360 × 165	5.3	PVC	
VST4001	1.0 mm × 1	5.0 ± 0.2		100 (or 500)	2.8(14.0)	360 × 360 × 165 (460 × 460 × 160)	4.2(16.5)	PVC ON F REINFORCE WITH KEVLAR
VST4002	1.0 mm × 2	6.0 ± 0.2	100 (or 500)	4.0(19.5)	360 × 360 × 165 (460 × 460 × 160)	5.5(22.0)		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Fiber Optics — FLCS Family Photo Detector Darlington Output

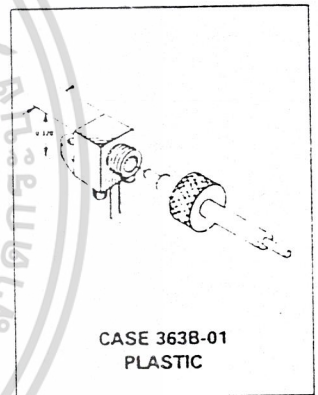
... designed for low cost, short distance Fiber Optic Systems using 1000 micron core plastic fiber.

Typical applications include: high isolation interconnects, disposable medical electronics, consumer products, and microprocessor controlled systems such as coin operated machines, copy machines, electronic games, industrial clothes dryers, etc.

- High Sensitivity Photodarlington Output
- Ideally Matched to MFOE76 Emitter for Plastic Fiber Systems
- Annular Passivated Structure for Stability and Reliability
- FLCS Package
  - Includes Connector
  - Simple Fiber Termination and Connection (Figure 4)
  - Easy Board Mounting
  - Molded Lens for Efficient Coupling
  - Mates with 1000 Micron Core Plastic Fiber (Eska SH4001)

**MFOD73**

**FLCS FAMILY  
 FIBER OPTICS  
 PHOTO DETECTOR  
 DARLINGTON OUTPUT**



**MAXIMUM RATINGS** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	$V_{CEO}$	60	Volts
Total Power Dissipation ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$ )	$P_D$	150 2	mW mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	$T_J, T_{stg}$	-40 to -100	°C

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Collector Dark Current ( $V_{CE} = 10\text{V}$ )	$I_D$	—	—	100	nA
Collector-Emitter Breakdown Voltage ( $I_C = 10\text{mA}$ )	$V_{(BR)CEO}$	60	—	—	Volts

**OPTICAL CHARACTERISTICS**

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Responsivity ( $V_{CC} = 5\text{V}$ , Figure 2)	$R$	1,000	1,500	—	$\mu\text{A}/\mu\text{W}$
Saturation Voltage ( $\lambda = 850\text{nm}$ , $V_{CC} = 5\text{V}$ $P_{in} = 1\mu\text{W}$ , $I_C = 2\text{mA}$ )	$V_{CE(sat)}$	—	0.75	1	Volts
Turn-On Time $R_L = 100\Omega$ , $P_{in} = 1\mu\text{W}$	$t_{on}$	—	125	—	$\mu\text{s}$
Turn-Off Time $\lambda = 850\text{nm}$ , $V_{CC} = 5\text{V}$	$t_{off}$	—	150	—	$\mu\text{s}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MFOD73

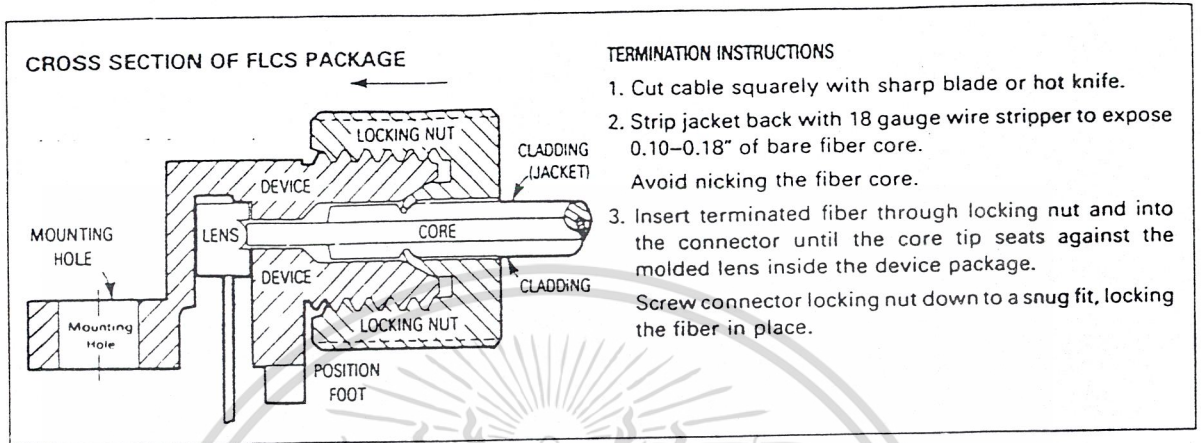


Figure 5. FO Cable Termination and Assembly

## INPUT SIGNAL CONDITIONING

The following circuits are suggested to provide the desired forward current through the emitter.

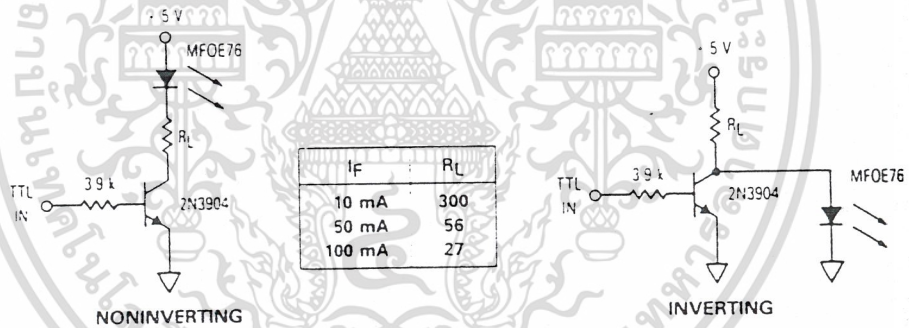


Figure 6. TTL Transmitter

## OUTPUT SIGNAL CONDITIONING

The following circuit is suggested to take the FLCS detector output and condition it to drive TTL with an acceptable bit error rate.

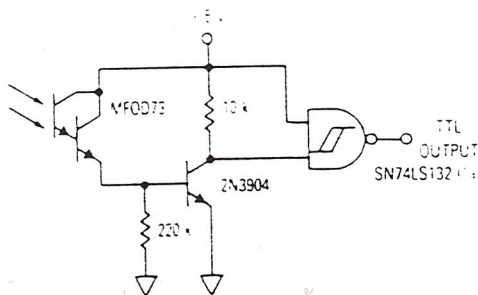


Figure 7. 1 kHz Darlington Receiver

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MFOD73

## TYPICAL COUPLED CHARACTERISTICS

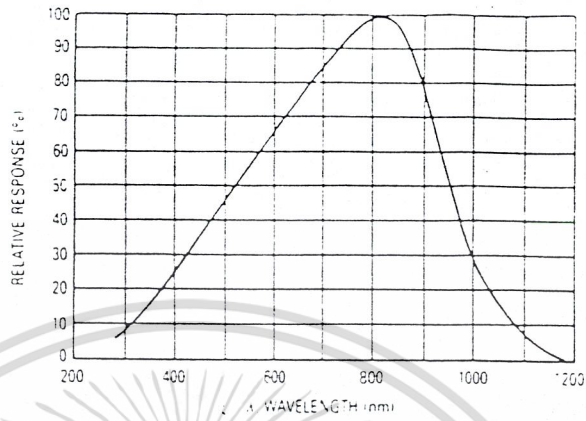


Figure 1. Relative Spectral Response

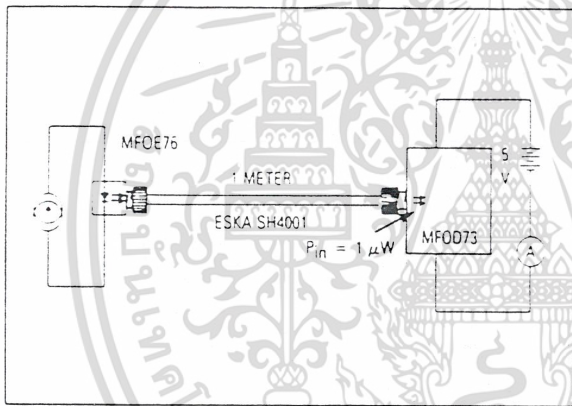


Figure 2. Responsivity Test Configuration

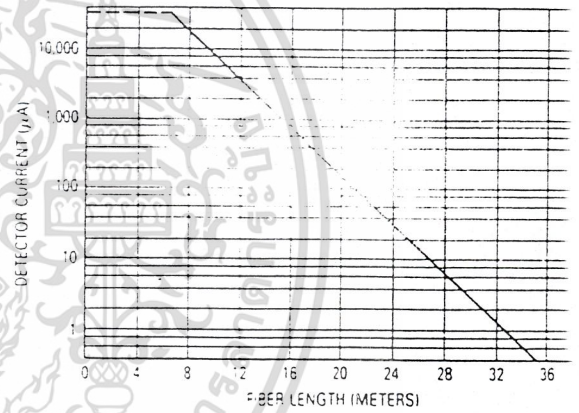


Figure 3. Detector Current versus Fiber Length

The system length achieved with a MFOE76 emitter and various detectors, using 1000 micron core plastic fiber (Eska SH4001 or equivalent), depends on the LED forward

current (I<sub>F</sub>) and the responsivity of the detector chosen. Each detector will perform with the MFOE76 up to the distances shown below.

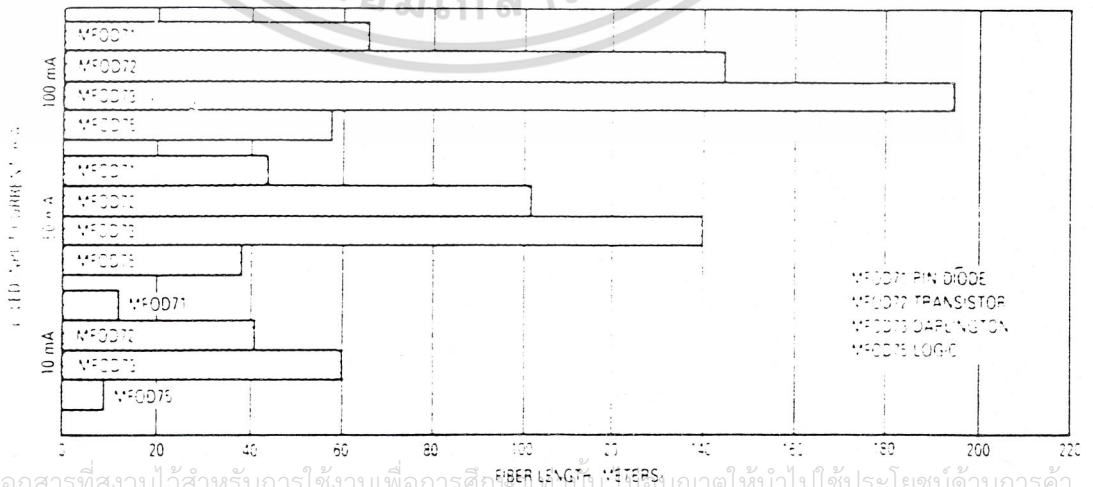
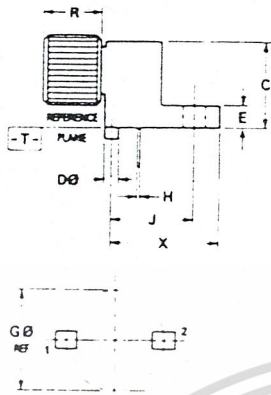
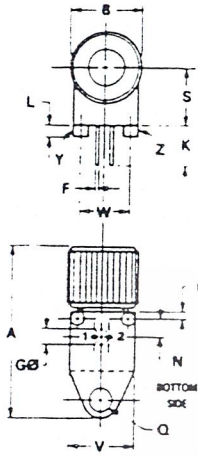


Figure 4. MFOE76 Working Distances

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MFOD73

## OUTLINE DIMENSIONS

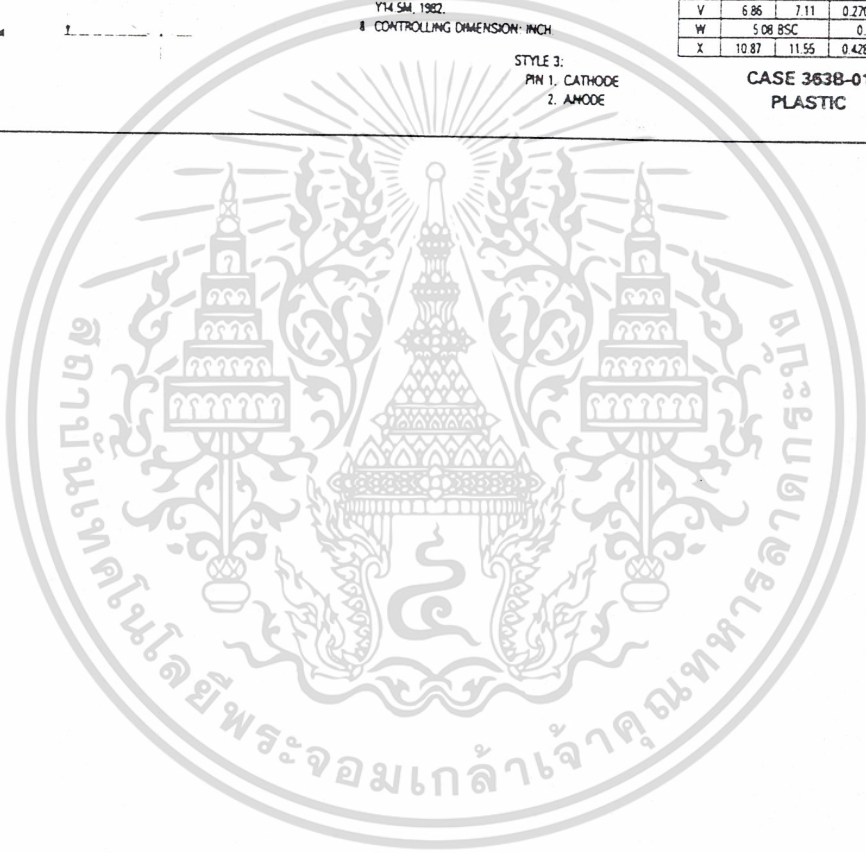


- NOTES
1. Y AND Z ARE DATUM DIMENSIONS AND T IS A DATUM SURFACE.
  2. POSITIONAL TOLERANCE FOR D Ø (2 PL):  
 $\pm 0.25 (0.010) \text{ (T | Y | Z)}$
  3. POSITIONAL TOLERANCE FOR F DIMENSION (2 PL):  
 $\pm 0.25 (0.010) \text{ (T | Y | Z)}$
  4. POSITIONAL TOLERANCE FOR H DIMENSION (2 PL):  
 $\pm 0.25 (0.010) \text{ (T | Y | Z)}$
  5. POSITIONAL TOLERANCE FOR Ø Ø:  
 $\pm 0.25 (0.010) \text{ (T | Y | Z)}$
  6. POSITIONAL TOLERANCE FOR B:  
 $\pm 0.25 (0.010) \text{ (T)}$
  7. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
  8. CONTROLLING DIMENSION: INCH.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	19.30	21.33	0.760	0.840
B	9.14	9.39	0.360	0.370
C	7.62	8.12	0.300	0.320
D	1.55	1.62	0.061	0.064
E	2.41	2.66	0.095	0.105
F	0.43	0.58	0.017	0.023
G	2.54 BSC		0.100 BSC	
H	0.33	0.45	0.013	0.018
J	7.62 BSC		0.300 BSC	
K	9.91	11.43	0.390	0.450
L	1.14	1.65	0.045	0.065
M	2.54 BSC		0.100 BSC	
Q	3.05	3.30	0.120	0.130
R	7.62	8.12	0.300	0.320
S	5.08 BSC		0.200 BSC	
U	0.66	0.91	0.026	0.036
V	6.86	7.11	0.270	0.280
W	5.08 BSC		0.200 BSC	
X	10.87	11.55	0.428	0.455

STYLE 3:  
 PIN 1, CATHODE  
 2, ANODE

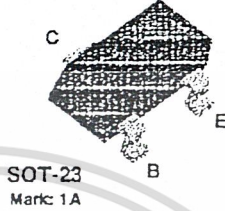
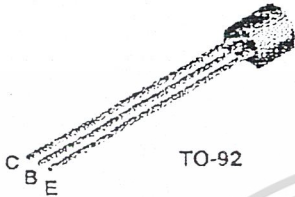
CASE 3638-01  
 PLASTIC



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

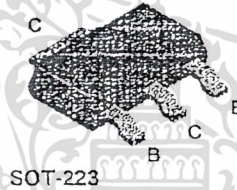
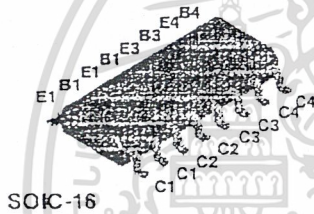
2N3904

MMBT3904



MMPQ3904

PZT3904



### NPN General Purpose Amplifier

This device is designed as a general purpose amplifier and switch. The useful dynamic range extends to 100 mA as a switch and to 100 MHz as an amplifier. Sourced from Process 23.

#### Absolute Maximum Ratings\*

TA = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
$V_{CE0}$	Collector-Emitter Voltage	40	V
$V_{CB0}$	Collector-Base Voltage	60	V
$V_{EB0}$	Emitter-Base Voltage	6.0	V
$I_C$	Collector Current - Continuous	200	mA
$T_J, T_{stg}$	Operating and Storage Junction Temperature Range	-55 to +150	°C

\* These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

#### NOTES:

- 1) These ratings are based on a maximum junction temperature of 150 degrees C.
- 2) These are steady state limits. The factory should be consulted on applications involving pulsed or low duty cycle operations.

# NPN General Purpose Amplifier

(continued)

2N3904 / MMBT3904 / MMPQ3904 / PZT3904

## Electrical Characteristics

TA = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min	Max	Units
--------	-----------	-----------------	-----	-----	-------

### OFF CHARACTERISTICS

$V_{(BR)CEO}$	Collector-Emitter Breakdown Voltage	$I_C = 1.0 \text{ mA}, I_B = 0$	40		V
$V_{(BR)CBO}$	Collector-Base Breakdown Voltage	$I_C = 10 \mu\text{A}, I_E = 0$	60		V
$V_{(BR)EBO}$	Emitter-Base Breakdown Voltage	$I_E = 10 \mu\text{A}, I_C = 0$	6.0		V
$I_{B1}$	Base Cutoff Current	$V_{CE} = 30 \text{ V}, V_{EB} = 0$		50	nA
$I_{C1}$	Collector Cutoff Current	$V_{CE} = 30 \text{ V}, V_{EB} = 0$		50	nA

### ON CHARACTERISTICS\*

$h_{FE}$	DC Current Gain	$I_C = 0.1 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ V}$ $I_C = 1.0 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ V}$ $I_C = 10 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ V}$ $I_C = 50 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ V}$ $I_C = 100 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ V}$	40 70 100 60 30	300	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10 \text{ mA}, I_B = 1.0 \text{ mA}$ $I_C = 50 \text{ mA}, I_B = 5.0 \text{ mA}$		0.2 0.3	V V
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10 \text{ mA}, I_B = 1.0 \text{ mA}$ $I_C = 50 \text{ mA}, I_B = 5.0 \text{ mA}$	0.65	0.85 0.95	V V

### SMALL SIGNAL CHARACTERISTICS

$f_T$	Current Gain - Bandwidth Product	$I_C = 10 \text{ mA}, V_{CE} = 20 \text{ V},$ $f = 100 \text{ MHz}$	300		MHz
$C_{obo}$	Output Capacitance	$V_{CB} = 5.0 \text{ V}, I_E = 0,$ $f = 1.0 \text{ MHz}$		4.0	pF
$C_{ibo}$	Input Capacitance	$V_{EB} = 0.5 \text{ V}, I_C = 0,$ $f = 1.0 \text{ MHz}$		8.0	pF
NF	Noise Figure (except MMPQ3904)	$I_C = 100 \mu\text{A}, V_{CE} = 5.0 \text{ V},$ $R_S = 1.0 \text{ k}\Omega, f = 10 \text{ Hz to } 15.7 \text{ kHz}$		5.0	dB

### SWITCHING CHARACTERISTICS (except MMPQ3904)

$t_d$	Delay Time	$V_{CC} = 3.0 \text{ V}, V_{BE} = 0.5 \text{ V},$		35	ns
$t_r$	Rise Time	$I_C = 10 \text{ mA}, I_{B1} = 1.0 \text{ mA}$		35	ns
$t_s$	Storage Time	$V_{CC} = 3.0 \text{ V}, I_C = 10 \text{ mA}$		200	ns
$t_f$	Fall Time	$I_{B1} = I_{B2} = 1.0 \text{ mA}$		50	ns

\*Pulse Test: Pulse Width  $\leq 300 \mu\text{s}$ , Duty Cycle  $\leq 2.0\%$

### Spice Model

NPN (Is=6.734f Xti=3 Eg=1.11 Vaf=74.03 Bf=416.4 Ne=1.259 Ise=6.734 Ikf=66.78m Xtb=1.5 Br=.7371 Nc=2  
Isc=0 Ikr=0 Rc=1 Cjc=3.638p Mjc=.3085 Vjc=.75 Fc=.5 Cje=4.493p Mje=.2593 Vje=.75 Tr=239.5n Tf=301.2p  
If=.4 Vtf=4 Xtf=2 Rb=10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# NPN General Purpose Amplifier

(continued)

2N3904 / MMBT3904 / MMMPQ3904 / PZT3904

## Thermal Characteristics

TA = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Characteristic	Max		Units
		2N3904	*PZT3904	
P <sub>D</sub>	Total Device Dissipation Derate above 25°C	625	1,000	mW
		5.0	8.0	mW/°C
R <sub>θJC</sub>	Thermal Resistance, Junction to Case	83.3		°C/W
R <sub>θJA</sub>	Thermal Resistance, Junction to Ambient	200	125	°C/W

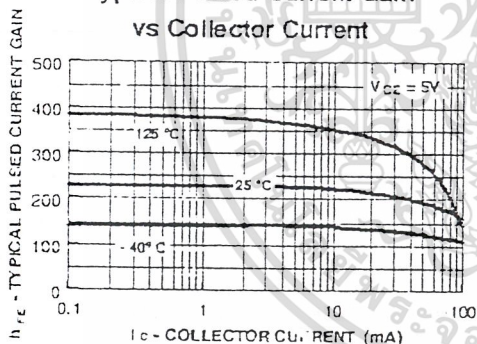
Symbol	Characteristic	Max		Units
		**MMBT3904	MMMPQ3904	
P <sub>D</sub>	Total Device Dissipation Derate above 25°C	350	1,000	mW
		2.8	8.0	mW/°C
R <sub>θJA</sub>	Thermal Resistance, Junction to Ambient Effective 4 Die Each Die	357		°C/W
			125	°C/W
			240	°C/W

\* Device mounted on FR-4 PCB 36 mm X 18 mm X 1.5 mm; mounting pad for the collector lead min. 6 cm<sup>2</sup>.

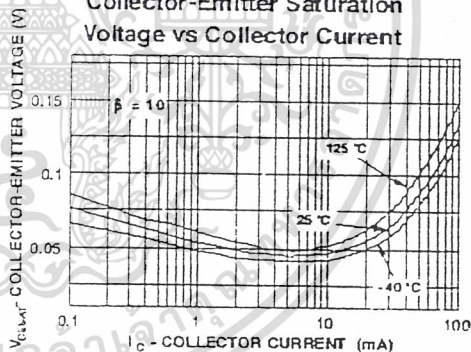
\*\* Device mounted on FR-4 PCB 1.6" X 1.6" X 0.09."

## Typical Characteristics

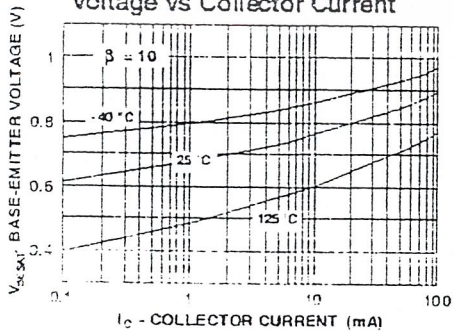
Typical Pulsed Current Gain vs Collector Current



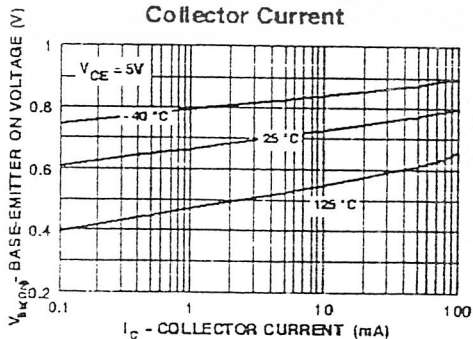
Collector-Emitter Saturation Voltage vs Collector Current



Base-Emitter Saturation Voltage vs Collector Current



Base-Emitter ON Voltage vs Collector Current



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

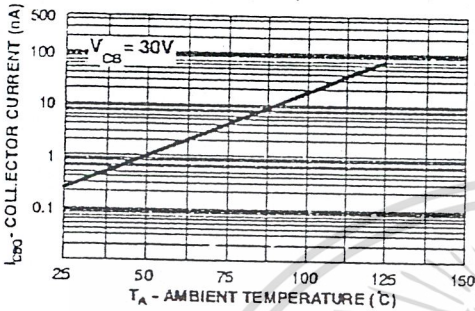
# NPN General Purpose Amplifier

(continued)

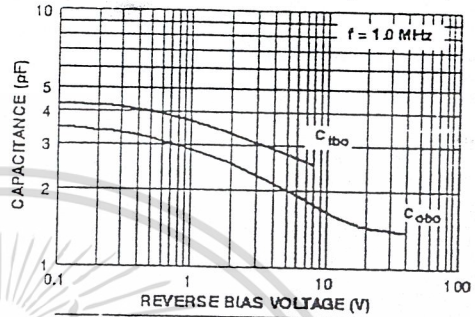
2N3904 / MMBT3904 / MMPQ3904 / PZT3904

## Typical Characteristics (continued)

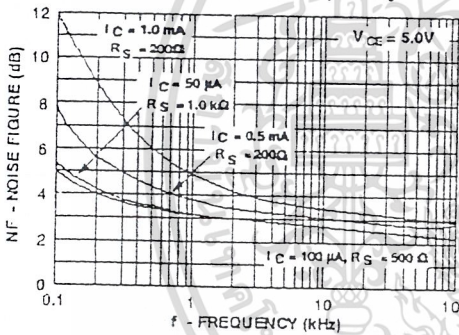
Collector-Cutoff Current vs Ambient Temperature



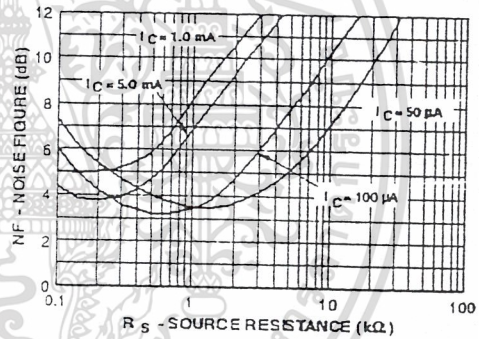
Capacitance vs Reverse Bias Voltage



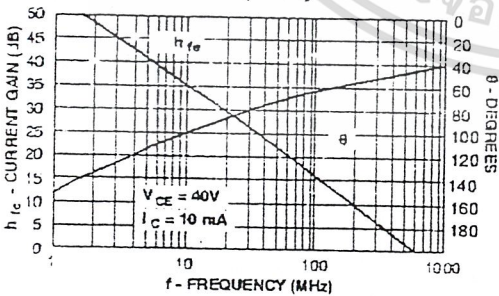
Noise Figure vs Frequency



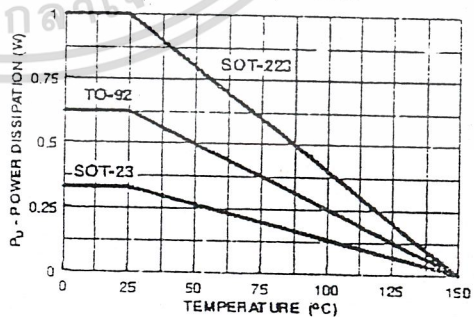
Noise Figure vs Source Resistance



Current Gain and Phase Angle vs Frequency



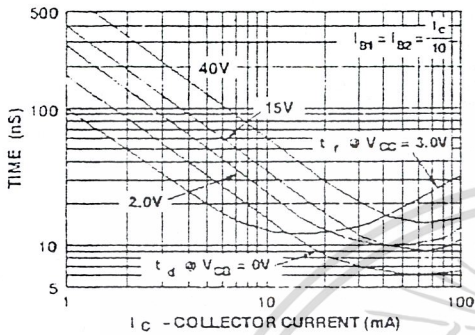
Power Dissipation vs Ambient Temperature



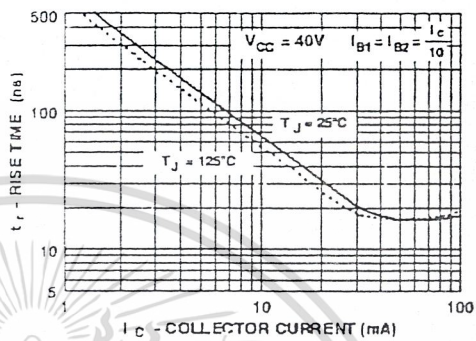
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Characteristics (continued)

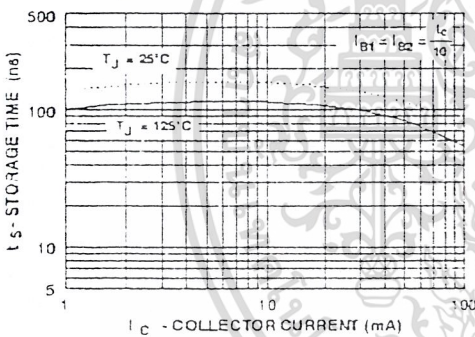
Turn-On Time vs Collector Current



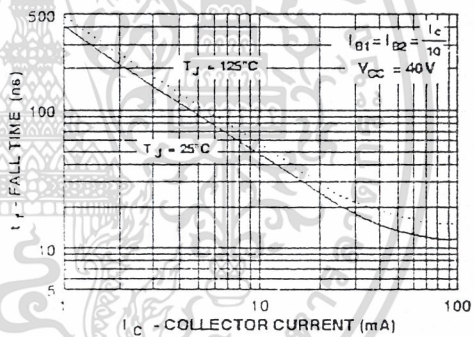
Rise Time vs Collector Current



Storage Time vs Collector Current



Fall Time vs Collector Current



Test Circuits

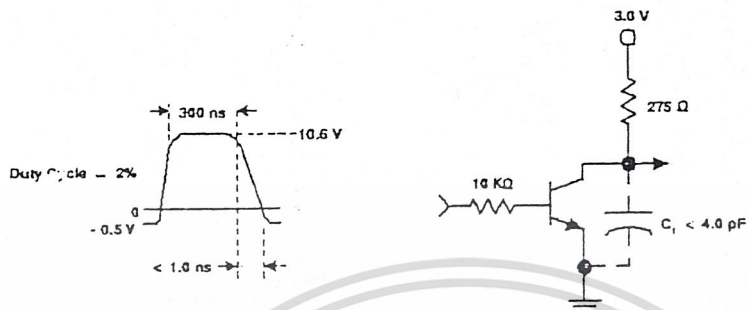


FIGURE 1: Delay and Rise Time Equivalent Test Circuit

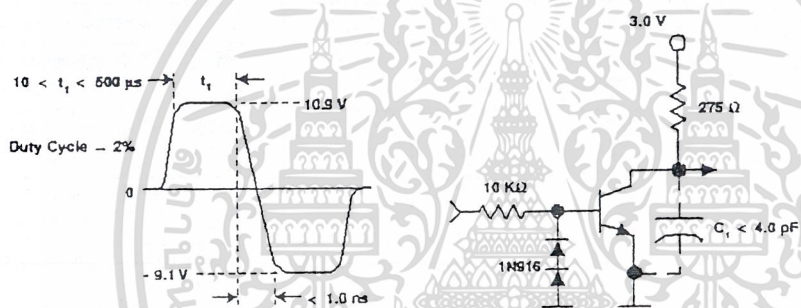


FIGURE 2: Storage and Fall Time Equivalent Test Circuit

2N3904 / MMBT3904 / MMPC3904 / PZT3904

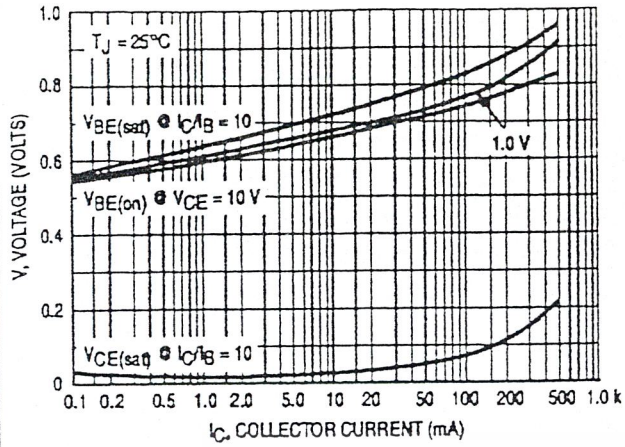


Figure 11. "On" Voltages

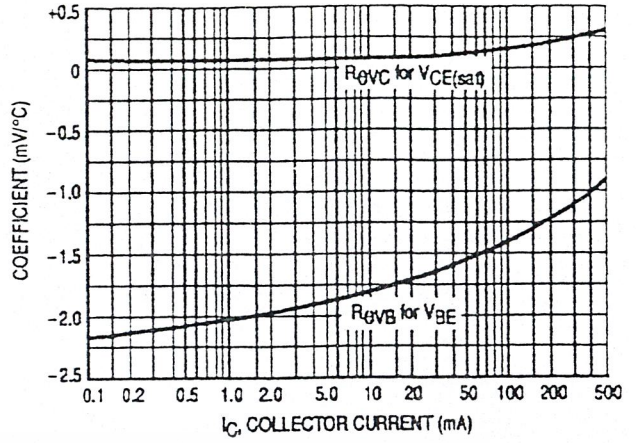
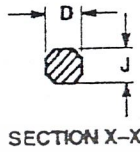
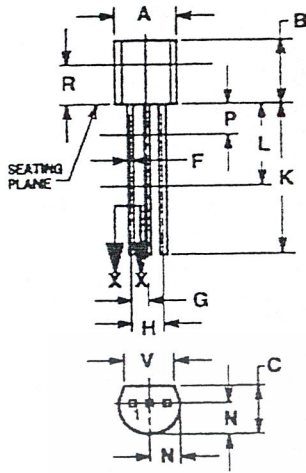


Figure 12. Temperature Coefficients



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGE DIMENSIONS



NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. CONTOUR OF PACKAGE BEYOND DIMENSION R IS UNCONTROLLED.
4. DIMENSION F APPLIES BETWEEN P AND L. DIMENSION D AND J APPLY BETWEEN L AND K MINIMUM. LEAD DIMENSION IS UNCONTROLLED IN P AND BEYOND DIMENSION K MINIMUM.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.175	0.225	4.45	5.20
B	0.170	0.210	4.32	5.33
C	0.125	0.185	3.18	4.19
D	0.016	0.022	0.41	0.55
F	0.018	0.019	0.41	0.48
G	0.045	0.055	1.15	1.29
H	0.095	0.105	2.42	2.66
J	0.015	0.020	0.39	0.50
K	0.500	—	12.70	—
L	0.250	—	6.35	—
M	0.080	0.105	2.04	2.66
P	—	0.100	—	2.54
R	0.115	—	2.93	—
V	0.135	—	3.43	—

STYLE 17:

1. COLLECTOR
2. BASE
3. EMITTER

CASE 029-04  
(TO-226AA)  
ISSUE AD

Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in Motorola data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

How to reach us:

USA/EUROPE/ Locations Not Listed: Motorola Literature Distribution;  
P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447 or 602-303-5454

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, 6F Seibu-Butsuryu-Center,  
3-14-2 Tatsumi-Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-81-3521-8315

MFAX: RMFAX0@email.sps.mot.com - TOUCHTONE 602-244-6609  
INTERNET: http://Design-NET.com

ASIA/PACIFIC: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,  
51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298



MOTOROLA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

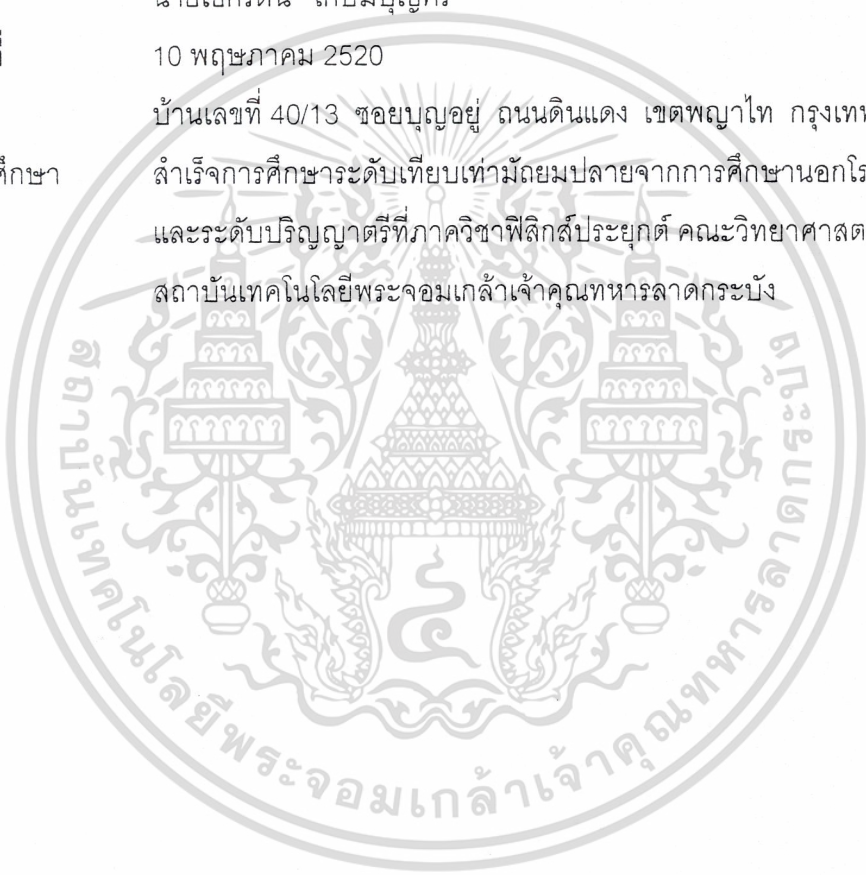
P2N2222A/D



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายวิทยา วุธ ฉัตรชาติชาติ  
เกิดเมื่อวันที่ 29 มีนาคม 2520  
ภูมิลำเนา บ้านเลขที่ 160/339 ถนนสีลม เขตบางรัก กรุงเทพฯ  
ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนอัสสัมชัญ กรุงเทพฯ และระดับปริญญาตรีที่ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อ นายเอกรัตน์ เกษมบุญศิริ  
เกิดเมื่อวันที่ 10 พฤษภาคม 2520  
ภูมิลำเนา บ้านเลขที่ 40/13 ซอยบุญอยู่ ถนนดินแดง เขตพญาไท กรุงเทพฯ  
ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับเทียบเท่ามัธยมปลายจากการศึกษานอกโรงเรียน และระดับปริญญาตรีที่ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้