

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



เครื่องแยกกำลังงานแบบมีทิศทางของเส้นใยแก้วนำแสง
OPTICAL DIRECTIONAL COUPLER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2546

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 54984
วัน,เดือน,ปี - 4 เม.ย. 2548

11 36
b.....
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร หากฝ่าฝืนจะดำเนินการตามกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

เครื่องแยกกำลังงานแบบมีทิศทางของเส้นใยแก้วนำแสง
OPTICAL DIRECTIONAL COUPLER



ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องแยกกำลังงานแบบมีทิศทางของเส้นใยแก้วนำแสง
OPTICAL DIRECTIONAL COUPLER

โดย นาย ประพัทธ์ สภาสกุลวนิช 43010244
นาย พนา นามสังข์ 43010283
นาย พรเจตน์ เผื่อนเอี่ยม 43010285

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.อภิรักษ์ มัชฌิมานนท์
ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาถิพงษ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษากรรมวิธีของเครื่องแยกกำลังงานแบบมีทิศทางในเส้นพลาสติกนำแสง โดยการหาค่ากำลังงานที่ส่งผ่านและค่ากำลังงานสูญเสียภายในเครื่องแยกกำลังงานแบบมีทิศทางนี้ รวมทั้งหาสาเหตุที่ทำให้เกิดการสูญเสียในกระบวนการ เพื่อนำผลที่ได้มาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป

ABSTRACT

This project is a studying of Plastic Optical Directional Coupler. By measuring transferred power and loss include finding causes of loss in a process then bring those results to be a tendency for further development.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2546

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

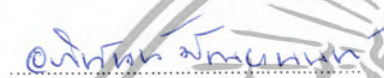
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องแยกกำลังงานแบบมีทิศทางของเส้นใยแก้วนำแสง

OPTICAL DIRECTIONAL COUPLER

ผู้จัดทำ

1. นาย ประพัทธ์ สกลสกุลวนิช 43010244
2. นาย พนา นามสังข์ 43010283
3. นาย พรเจตน์ เผื่อนเอี่ยม 43010285



(ผศ.อรินันท์ วัฒนยานนท์)

อาจารย์ที่ปรึกษา



(ผศ.ดร.สุทริชัช นพนาคีพงษ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 การสะท้อนภายในรวม	2
2.2 ชนิดของเส้นใย : Single mode หรือ Multimode	3
2.3 โครงสร้าง	4
2.4 ส่วนประกอบ	6
2.5 Coupler	6
2.6 Active and Passive Coupler	7
2.7 ความจำเป็นของ coupler	8
2.7.1 Multiterminal Network (โครงข่ายแบบหลายขั้ว)	8
2.7.2 Wavelength-Division Multiplex	9
2.8 Coupler Issues	10
2.9 Basic of Passive Couplers (พื้นฐาน Passive Coupler)	10
2.9.1 Directional Coupler	11
2.9.2 Wavelength selectivity	12
2.9.3 Splitter และ Combiners	13
2.10 Passive And Active Coupling	14
2.11 Number of Ports	14
2.12 Power Distribution (การแพร่กระจายของกำลังงาน)	15
2.13 T 2 × 2 coupler	15
2.14 Optical Bremsplinters	16
2.15 Wavelength – Selective Multiport Coupler	16
2.16 Coupling Losses	17
2.17 Coupling losses and mode power distribution in multimode fiber	20
2.18 Coupling losses ใน multimode fibers	22
2.18.1 ช่วงห่าง Separation	25
2.18.2 การเลื่อนออกทางด้านข้าง Lateral displacement	25
2.18.3 มุมที่ไม่แนบสนิทกัน Angular Misalignment	25
2.18.4 รัศมีของ core ไม่เท่ากัน Core Radius Mismatch	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
2.18.5 ขนาดของมุมเปิดรับแสงไม่พอดี Numerical Aperture Mismatch	27
2.18.6 หน้าสัมผัสของเส้นใยแก้วนำแสงเป็นวงรี Ellipticity	27
2.18.7 ความไม่สอดคล้องกันของพื้นผิวเส้นใยแก้วนำแสง Reference Surface Mismatch	27
2.18.8 ความผิดพลาดของการมีจุดศูนย์กลางที่มีพื้นผิวอ้างอิง ภายนอกพร้อมกันระหว่าง core กับพื้นผิวอ้างอิงภายนอก	28
2.18.9 ความไม่เหมาะสมกันทาง index profile	28
2.19 Coupling losses in Single – Mode Fibers	28
2.19.1 ช่วงห่าง Separation	29
2.19.2 การแทนที่ทางค้ำข้าง	29
2.19.3 มุมไม่สอดคล้องกัน	30
2.19.4 ผลการเคลื่อนที่ทางค้ำข้างและมุมที่ไม่สอดคล้อง	30
2.19.5 โหมคการแพร่กระจายสนามไม่เหมาะสมกัน	30
2.20 Splice	30
2.20.1 การ splice ทาง (Mechanical Splices)	33
2.20.2 การ splice แบบรวมกัน (fusion splice)	34
2.21 Optical – Fiber Direction Coupler	35
2.22 Coupled-Fiber Device (Multimode Fibers)	38
2.23 Coupled-fiber Devices (single - mode Fibers)	42
2.24 Asymmetrical Coupler (Multimode Fiber)	45
2.25 คัปเปิลอร์ที่สามารถปรับได้	46
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	48
3.1 การวัดค่ากำลังงานป้อนเข้า	48
3.2 การวัดค่ากำลังงานและการสูญเสียที่เกิดจากการ โค้ง และที่เกิดจากการขัดผิวสัมผัสในการเชื่อมเส้น ใยของ X-coupler	49
3.3 การวัดค่ากำลังงานของ X-coupler และค่าการสูญเสียกำลังงาน	50
3.4 การวัดค่ากำลังงานของ X-coupler ที่ความ โค้งต่าง ๆ และค่าการสูญเสีย	51
3.5 การวัดค่ากำลังงานของ Adjustable coupler และค่าการสูญเสียกำลังงาน	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง	55
4.1 ผลการทดลองการวัดค่ากำลังงานป้อนเข้า (P_m)	55
4.2 ผลการทดลองวัดค่ากำลังงานและค่าการสูญเสียที่เกิดจากการโค้ง และที่เกิดจากการขัดผิวสัมผัสในการเชื่อมเส้นใยของ X-coupler	55
4.2.1 ผลการทดลองวัดค่ากำลังงานที่เกิดจากการโค้ง และที่เกิดจากการขัดผิวสัมผัสในการเชื่อมเส้นใยของ X-coupler	55
4.2.2 ผลการทดลองวัดค่าการสูญเสียกำลังงานที่เกิดจากการโค้ง และที่เกิดจากการขัดผิวสัมผัสในการเชื่อมเส้นใยของ X-coupler	56
4.3 ผลการทดลองการวัดค่ากำลังงานของ X-coupler และค่าการสูญเสีย	57
4.3.1 ผลการทดลองการวัดค่ากำลังงานของ X-coupler	57
4.3.2 ผลการทดลองการวัดค่าการสูญเสียกำลังงานของ X-coupler	58
4.4 ผลการทดลองการวัดค่ากำลังงานของ X-coupler ที่ความโค้งต่าง ๆ และค่าการสูญเสีย	59
4.4.1 ผลการทดลองการวัดค่ากำลังงานของ X-coupler ที่ความโค้งต่าง ๆ	59
4.4.2 ผลการทดลองการวัดค่าการสูญเสียกำลังงานของ X-coupler ที่ความโค้งต่าง ๆ	61
4.5 ผลการทดลองการวัดค่ากำลังงานของ Adjustable coupler และค่าการสูญเสีย	63
4.5.1 ผลการทดลองการวัดค่ากำลังงานของ Adjustable coupler	63
4.5.2 ผลการทดลองการวัดค่าการสูญเสียกำลังงานของ Adjustable coupler	66
บทที่ 5 สรุป	70
ภาคผนวก	73
เอกสารอ้างอิง	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1 การเดินทางของแสงในเส้นใยแก้วนำแสง	2
2 ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง	3
3 โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสง	4
4 ความสัมพันธ์ของค่า N.A. กับ bandwidth	5
5 แสดง Acceptance angle ของเส้นใยแก้วนำแสง	5
6 Active coupler	8
7 Wavelength-Division Multiplex	9
8 Directional coupler และ Bidirectional coupler	12
9 Beamsplitting coupler	13
10 ลักษณะการเดินทางของแสงในการเชื่อมเส้นใย 2 เส้น	15
11 แสดงการรวมเส้นใย	16
12 แสดงการเดินทางของแสงใน core	17
13 ค่าการผิดพลาดที่เป็นสาเหตุมาจากความไม่สมบูรณ์ (imperfection) ในวิธีการเชื่อมต่อ	18
14 แสดงการเกิด extrinsic losses	19
15 แสดงกราฟเส้นโค้งการสูญเสียที่เกิดจากการ coupling ที่เกิดการ Lateral Displacement และ Alignment	26
16 แสดง coupling loss $L(p)$ สำหรับเส้นใยแก้วนำแสงชนิด graded-index เนื่องมาจากรัศมีของ core ไม่เท่ากัน	27
17 แสดงรูป coupling loss	31
18 แสดงผลกระทบที่เกิดจากการเคลื่อนที่ทางค้ำข้าง	32
19 วิธีการตัดเส้นใยแก้วนำแสง	32
20 แสดงวิธีการทำ capillary splices (1)	33
21 แสดงวิธีการทำ capillary splices (2)	33
22 แสดงวิธีการทำ groove splices	34
23 การเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงแบบ fusion splice	34
24 แสดงอุปกรณ์ชนิดนี้ โดยมี N เป็นจำนวน input port และ M เป็น output port	35
25 แสดงลักษณะ Y coupler หรือ T coupler	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
26 แสดงลักษณะ optical combiner	35
27 แสดงลักษณะ multiport	36
28 แสดงลักษณะ star coupler	36
29 แสดงลักษณะ tree coupler	36
30 ลักษณะเฉพาะของ optical coupler	37
31 micro-optical star coupler	39
32 หลักการทำงานพื้นฐานของ fused biconical taper coupler (FBT)	39
33 คุณสมบัติพื้นฐานของเส้นใยแก้วนำแสงชนิด tapered	40
34 coupling coefficient	42
35 schematic structure of a fused biconical taper star coupler	42
36 การวิเคราะห์ลักษณะของท่อนำคลื่นที่มีการ coupling แล้วด้วยการ coupling แบบไม่แน่นอนมาก	43
37 แสดงค่าเฉพาะของ Z	44
38 แสดงผลของลักษณะการ coupling ท่อนำคลื่น	44
39 วิธีการทำ fuse biconical taper single mode coupling	44
40 ลักษณะการใช้ coupler	45
41 วิธี การสร้าง coupler แบบหนึ่งที่ใช้ขนาดหน้าตัดต่างกัน	46
42 คัปเปิลอร์ที่สามารถปรับได้	47
43 แสดงการวัดค่ากำลังงานป้อนเข้า	48
44 (a) แสดงความโค้งต่าง ๆ บนอุปกรณ์ (b) แสดงผลหลังการขัดผิวสัมผัสที่ใช้ในการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง (c) แสดงการวัดค่ากำลังงานของ เส้นใยแก้วนำแสงที่เกิดการโค้งงอ และมี การขัดเพื่อเชื่อมต่อ	49
45 แสดงการหาค่าการสูญเสียที่เกิดจากทรงอ โค้งเส้นใยนำแสงพลาสติก ที่มีรัศมี R (โดยที่ R = 0.5 cm, 1 cm, 2 cm, ..., 4 cm, ∞)	50
46 (a) แสดงอุปกรณ์ X-coupler (b) แสดงอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น (c) แสดงการวัดค่ากำลังงานของอุปกรณ์ X-coupler	51
47 (a) แสดงอุปกรณ์ X-coupler ที่ความโค้งต่าง ๆ (b) แสดงการเดินทางของแสงผ่านอุปกรณ์ (c) แสดงอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น (d) แสดงการวัดค่ากำลังงานของ X-coupler ที่ความโค้งต่าง ๆ	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
48 แสดงการทำ coupler โดยคำนึงถึงค่าความโค้งที่อาจส่งผลกระทบต่อค่าการสูญเสียที่รัศมี R (โดยที่ $R = 4 \text{ cm}, 3.5 \text{ cm}, \dots, 0.5 \text{ cm}$)	52
49 แสดงลักษณะการเชื่อมติดกันด้วย epoxy ของ adjustable coupler	53
50 (a) แสดงอุปกรณ์ Adjustable coupler	54
(b) แสดงขนาดของอุปกรณ์ Adjustable coupler	
(c) แสดงอุปกรณ์ Adjustable ที่สร้างขึ้น	
(d) แสดงการวัดค่ากำลังงานของ Adjustable coupler	
51 แสดงกราฟผลการทดลองวัดค่ากำลังงานที่เกิดจากการโค้งและที่เกิดจากการขัดผิวสัมผัสในการเชื่อมเส้นใยของ X-coupler	56
52 แสดงกราฟผลการทดลองวัดค่าการสูญเสียกำลังงานที่เกิดจากการโค้งและที่เกิดจากการขัดผิวสัมผัสในการเชื่อมเส้นใยของ X-coupler	57
53 แสดงกราฟผลการทดลองการวัดค่ากำลังงานของ X-coupler	58
54 แสดงกราฟผลการทดลองการวัดค่าการสูญเสียกำลังงานของ X-coupler	59
55 แสดงกราฟผลการทดลองการวัดค่ากำลังงานของ X-coupler ที่ความโค้งต่างๆ coupler ตัวที่ 1	60
56 แสดงกราฟผลการทดลองการวัดค่ากำลังงานของ X-coupler ที่ความโค้งต่างๆ coupler ตัวที่ 2	60
57 แสดงกราฟผลการทดลองการวัดค่ากำลังงานของ X-coupler ที่ความโค้งต่างๆ ของ coupler ทั้งสองตัว	61
58 แสดงกราฟผลการทดลองการวัดค่าการสูญเสียกำลังงานของ X-coupler ที่ความโค้งต่างๆ ของ coupler ตัวที่ 1	62
59 แสดงกราฟผลการทดลองการวัดค่าการสูญเสียกำลังงานของ X-coupler ที่ความโค้งต่างๆ ของ coupler ตัวที่ 2	62
60 แสดงกราฟผลการทดลองการวัดค่าการสูญเสียกำลังงานของ X-coupler ที่ความโค้งต่างๆ ของ coupler ทั้งสองตัว	63
61 แสดงกราฟผลการทดลองการวัดค่ากำลังงานของ Adjustable coupler ที่ปรับไปด้าน P_{out1}	65
62 แสดงกราฟผลการทดลองการวัดค่ากำลังงานของ Adjustable coupler ที่ปรับไว้ที่กึ่งกลาง	65
63 แสดงกราฟผลการทดลองการวัดค่ากำลังงานของ Adjustable coupler ที่ปรับไปด้าน P_{out2}	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
64	แสดงกราฟผลการทดลองการวัดค่ากำลังงานของ Adjustable coupler ที่ปรับไปที่มุมต่าง ๆ	66
65	แสดงกราฟผลการทดลองการวัดค่าการสูญเสียกำลังงานของ Adjustable coupler ที่ปรับไปด้าน P_{out1}	68
66	แสดงกราฟผลการทดลองการวัดค่าการสูญเสียกำลังงานของ Adjustable coupler ที่ปรับไว้ที่กึ่งกลาง	68
67	แสดงกราฟผลการทดลองการวัดค่าการสูญเสียกำลังงานของ Adjustable coupler ที่ปรับไปด้าน P_{out2}	69
68	แสดงกราฟผลการทดลองการวัดค่าการสูญเสียกำลังงานของ Adjustable coupler ที่ปรับไปที่มุมต่าง ๆ	69



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงค่าสูตรที่ใช้ในการคำนวณค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้น ในกรณีต่าง ๆ ในการเชื่อมต่อแบบ alignment	24
ตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองวัดค่ากำลังงานที่เกิดจากการโค้ง และที่เกิดจากการขัดผิวสัมผัสในการเชื่อมเส้นใยของ X-coupler	55
ตารางที่ 3 ผลการทดลองวัดค่าการสูญเสียกำลังงานที่เกิดจากการโค้ง และที่เกิดจากการขัดผิวสัมผัสในการเชื่อมเส้นใยของ X-coupler	56
ตารางที่ 4 แสดงผลการทดลองการวัดค่ากำลังงานของ X-coupler	57
ตารางที่ 5 แสดงผลการทดลองการวัดค่าการสูญเสียกำลังงานของ X-coupler	58
ตารางที่ 6 แสดงผลการทดลองการวัดค่ากำลังงานของ X-coupler ที่ความโค้งต่าง ๆ	59
ตารางที่ 7 แสดงผลการทดลองการวัดค่าการสูญเสียกำลังงานของ X-coupler ที่ความโค้งต่าง ๆ	61
ตารางที่ 8 แสดงผลการทดลองการวัดค่ากำลังงานของ Adjustable coupler	64
ตารางที่ 9 แสดงผลการทดลองการวัดค่าการสูญเสียกำลังงานของ Adjustable coupler	67



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1 บทนำ

ในสมัยโบราณมนุษย์ได้หาวิธีการต่างๆ ที่จะส่งข่าวสารเพื่อให้ผู้ที่อยู่ห่างไกลสามารถรับรู้ความต้องการของตนเองได้ ซึ่งแสงก็ได้เป็นหนึ่งในตัวกลางที่มนุษย์นำมาใช้ในการสื่อสาร เช่นการใช้สัญญาณไฟ การทำให้แสงตะเกียงส่องสว่างหรือมีด และวิธีการอื่นๆอีกมากมาย ซึ่งจุดประสงค์ก็คือต้องการสื่อสารให้ได้ในระยะเวลาที่ไกลๆนั่นเอง ซึ่งข่าวสารที่จะส่งไปนั้นต้องมีการทำการตกลงเอาไว้ล่วงหน้าเพื่อที่จะทำให้การสื่อสารสามารถสื่อความหมายได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

ต่อมาก็ได้มีการคิดค้นและพัฒนาให้มีการใช้เส้นใยนำแสงในการติดต่อสื่อสารได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งเส้นใยนำแสงมีความได้เปรียบหลายประการดังนี้

1. การสูญเสียของแสงต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับสายเคเบิลชนิดอื่นๆ
2. ขนาดเล็กและน้ำหนักเบา
3. ไม่มีการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า
4. แถบความถี่กว้าง
5. อายุการใช้งานนาน
6. ปลอดภัยทรัพยากรธรรมชาติ เช่น ทองแดง

เมื่อเส้นใยนำแสงเป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย ก็มีความต้องการที่จะแบ่งแยกแสงบางส่วนออกมาใช้งาน จึงได้มีการพัฒนาขึ้นเป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งเรียกว่า คัปเปิลเลอร์ (coupler)

ซึ่งในโครงการนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติของ คัปเปิลเลอร์ (coupler) เพื่อที่จะทราบถึงวิธีการทำงาน และสามารถสร้างตัว คัปเปิลเลอร์ (coupler) ได้ โดยใช้วัสดุที่สามารถหาได้ง่ายตามท้องตลาดและมีราคาที่ไม่แพง และคุณสมบัติที่ได้ว่ามีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะสามารถนำไปใช้งานจริงได้หรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

2.1 การสะท้อนภายในรวม

แสงวิ่งเข้าไปใน core และพุ่งชน cladding สะท้อนกลับขึ้นมาใน core เป็นมุมที่ใหญ่กว่ามุมวิกฤตซึ่งจะสะท้อนกลับหมดอยู่ใน core ตามกฎของ snell และมุมตกกระทบจะเท่ากับมุมสะท้อนกลับ ซึ่งแสงจะเดินทางซิกแซกไปตามความยาวของเส้นใยและเมื่อแสงพุ่งเข้าเป็นมุมที่น้อยกว่ามุมวิกฤตแสงก็จะหายไปอยู่ใน cladding



รูปที่ 1 การเดินทางของแสงในเส้นใยนำแสง

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad \text{: snell's law} \quad (1)$$

โดยที่ θ_1 คือมุมตกกระทบ

θ_2 คือมุมสะท้อน

n_1 คือดัชนีหักเหของ core

n_2 คือดัชนีหักเหของ clad

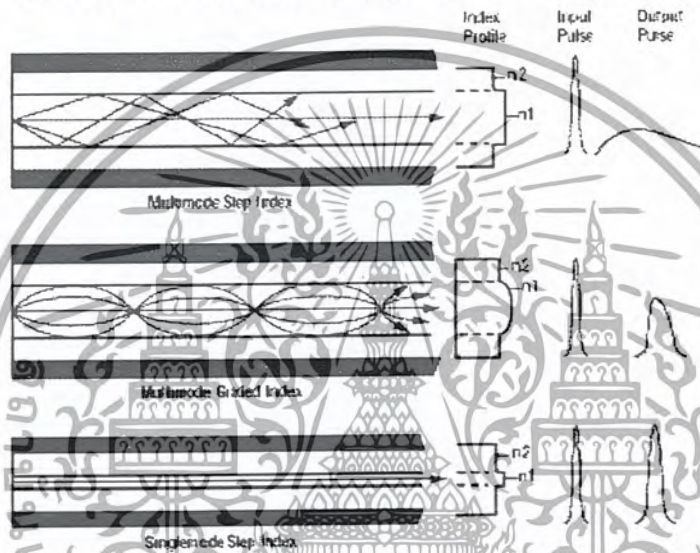
แสงจะไม่เดินทางแบบสุ่มไม่มีรูปแบบ และ เส้นใยเหล่านี้ยังถูกจัดเป็น โหมดต่าง ๆ อีกด้วย ซึ่งเป็นการง่ายต่อการนำมาใช้โดยมีเลขโหมดนั้นเป็นพื่น ๆ หมายเลขเพื่อนสนับสนุนในการเลือกใช้ ซึ่งเลขโหมดนี้เองเป็นตัวบอกถึงความกว้างแบนด์วิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ชนิดของเส้นใย: Single mode หรือ Multimode

ในเส้นใยนำแสงแบบง่าย ๆ จะมีส่วนของ core มีขนาดใหญ่เป็นรูปแบบทั่วไปอย่างแรก 'a step-index multimode fiber'(SI fiber) ซึ่งคุณสมบัติของ 'a step-index multimode fiber' จะมีโหมคให้เลือกใช้ เป็นพื้น โหมคมีค่า dispersion สูง และมีแบนด์วิธต่ำ

เส้นใยนำแสงแบบอื่น ๆ 'the graded-index multimode fiber'(GI fiber) จะลดค่า dispersion และเพิ่มค่าแบนด์วิธ ทำให้แสงมีการเดินทางได้เร็วกว่าในการส่งข้อมูลบางชนิด และ เร็วกว่า แบบ SI fiber ซึ่งใช้ GI fiber นี้ในงานประเภท network และ การส่งผ่านข้อมูลที่มีการจัดเรียงลำดับของข้อมูล แต่ สำหรับเส้นใยแบบนี้ก็ยังคงลดค่า dispersion ไม่ได้ทั้งหมด จึงพัฒนาต่อมาเป็น single-mode



รูปที่ 2 ชนิดของเส้นใยนำแสง

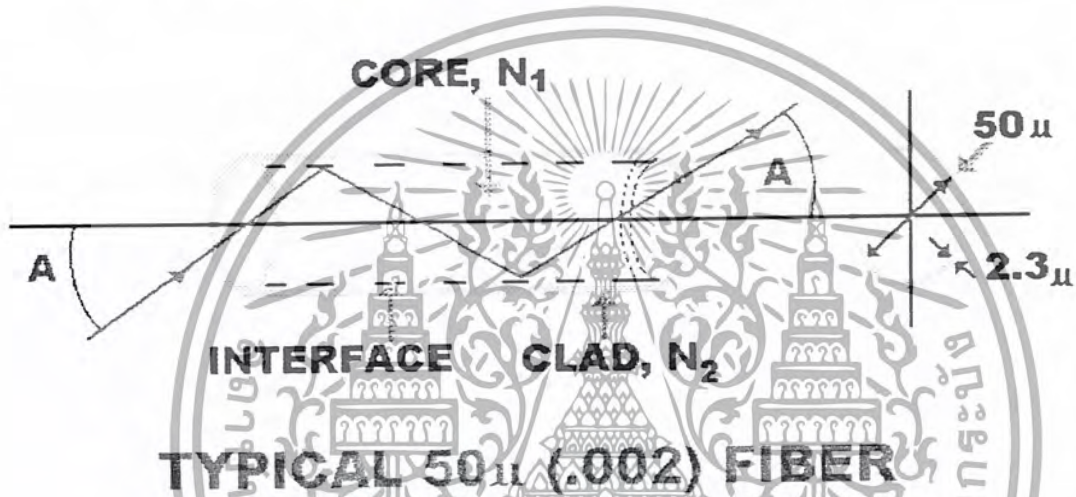
และ ในที่สุดเส้นใยที่มีแบนด์วิธสูงมีการสูญเสียต่ำนั้นคือ singlemode fiber ที่มี core เล็กจนมีโหมคเดียวที่สนับสนุนในการใช้เท่านั้น และ แบนด์วิธของ singlemode fiber กว้างกว่าความสามารถของเครือข่ายของเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ในทุกวันนี้ ซึ่งความจุของข้อมูลเป็นเรื่องที่สำคัญอย่างหนึ่ง และ ไม่เพียงแต่สามารถความเร็วในการส่งผ่านข้อมูลถึง 10 กิกะบิตต่อวินาที มันยังสามารถใช้ช่องสัญญาณกิกะบิตมากมาขุดทำที่แต่ละช่องสัญญาณใช้ความยาวคลื่นที่แตกต่างกันของแสงได้ โดยที่ความยาวคลื่นไม่แทรกแซงกันและกัน singlemode fiber ถูกทำสำหรับการติดต่อสื่อสารระยะไกลที่มีความมั่นคงและความเร็วสูง เส้นใยที่มักใช้มากที่สุดสำหรับส่งผ่านเครือข่ายคือ multimode fiber 62.5/125 หมายถึงเหล่านี้หมายความว่าเส้นผ่าศูนย์กลางกลาง core คือ 62.5 ไมโครเมตร และ cladding คือ 125 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นขนาดทั่วไปและขนาดอื่นๆที่เป็นมาตรฐานสายเคเบิลคือ 50/125, 100/140, และ 200/230 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 โครงสร้าง

เส้นใยนำแสงได้ถูกเป็นที่ยอมรับให้เป็นเส้นใยสำหรับการส่งผ่านข้อมูลชนิดหนึ่ง เส้นใยนำแสงเหล่านี้ประกอบด้วย 2 ส่วนประกอบที่ใช้เป็นวัสดุในการผลิตโดยปกติจะใช้แก้วในการผลิตทั้งหมด เส้นใยนำแสงทุกชนิด ส่วนกลางหรือแกนของเส้นใย (core) คือ ส่วนที่ให้แสง และมีค่าดัชนีการหักเหที่สูงกว่า และชั้นผิวบาง ๆ ที่ล้อมรอบส่วนของ core จะเป็นแก้วที่มีค่าดัชนีการหักเหต่ำกว่า ซึ่งเรียกว่า cladding ซึ่งจะรักษาความสม่ำเสมอในการสะท้อนของแสงให้มุมการสะท้อนคงที่ที่จุดที่แสงตกกระทบ

ในการประยุกต์ใช้เส้นใยแก้วส่วนมากจะมีระยะเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.001 - 0.003 นิ้ว และจะให้ 83% ของพื้นที่ของมันประกอบด้วย core และ 17% ของพื้นที่จะเป็น cladding



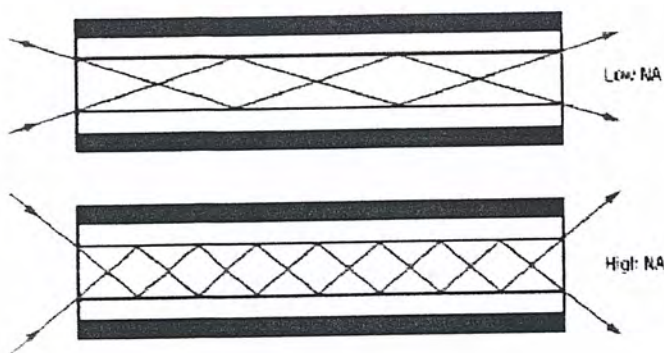
รูปที่ 3 โครงสร้างของเส้นใยนำแสง

รูปแสดงคือมุมที่แสงต้องเข้าไปในเส้นใยแก้ว (A) และ การเดินทางสะท้อนของแสงจากส่วน interface จนออกไปอีกด้านของเส้นใยแก้วอย่างไรก็ตาม ถ้ามุม A กลายเป็นใหญ่มาก ความสว่างจะไม่สะท้อนที่ส่วน interface แต่จะลึบลงด้านของเส้นใยและถูกทำให้ “มูมนี้นหาย” ซึ่งจะได้ การเดินทางของแสงไม่อยู่ในเส้นใย ถูกเรียกว่า มุม CRITICAL และอาจจะถูกคำนวณจากค่าดัชนีการหักเห 2 ตัว (N_1, N_2). ค่า sine ของมุมวิกฤตถูกเรียกว่า numerical aperture และเรียก ย่อเป็น N.A. N.A. ของการรวมเข้าด้วยกันแก้วใด ๆ อาจจะถูกคำนวณดังต่อไปนี้ :

$$N.A. = \sqrt{(N_1)^2 - (N_2)^2} \tag{2}$$

ยกตัวอย่างเช่น, การใช้ 1.62 สำหรับ N_1 และ 1.52 สำหรับ N_2 , เราหา N.A. ได้เป็น 0.56, ซึ่งมีค่าตรงกันกับมุมวิกฤต 34 องศา เป็นเส้นใยยอมรับความสว่างสูงถึง 34 องศาปิดแกนในทิศทางใดๆเรากำหนด มุม ACCEPTANCE เป็น 2 เท่าของมุมวิกฤตในกรณีนี้ได้ 68 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ Numerical aperture (NA) ของเส้นใยเป็นตัวกำหนดว่าแสงจะถูกส่งผ่านหรือไม่ ให้พิจารณาให้ละเอียดนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 NA สูงมากขึ้นจะทำให้ bandwidth ลดลง.
NA ต่ำลงจะเป็นการเพิ่ม bandwidth.

NA มีความสำคัญต่อผลที่จะเกิดขึ้น กล่าวคือ N.A. ใหญ่จะทำให้สามารถปล่อยแสงเข้าไปได้ง่ายในขณะที่ N.A. เล็กจะมีค่าแบนด์วิทที่สูง แต่ N.A. ใหญ่จะมี modal dispersion ที่ยิ่งใหญ่มากกว่า N.A. ต่ำ

Numerical aperture คือค่าแปรที่ค่าคล้ายอย่างหนึ่งของเส้นใยแก้ว แต่มันก็จะเข้าใจผิดและเน้นมากเกินไป ในรูปภาพแรก แสดงถึงมุม A ที่ทั้ง 2 ทางเข้าและออกคอนปลายของเส้นใยเป็นเพราะเส้นใยรักษามุมที่แสงตกกระทบระหว่างผกแพร์ของแสงจึงทำให้แสงออกเส้นใยที่มุมเดียวกับส่องเข้าไปในที่แรก ซึ่งดูได้จากรูปด้านล่าง ซึ่งคือการวัดการนำของแสงที่ระบายเงาด้วยโคมไฟชนิด projector



รูปที่ 5 แสดง Acceptance angle ของเส้นใยนำแสง

มุม A (29 องศา) คือ มุมที่รับได้จากหลอดไฟของ N.A. 0.25 ของเส้นใย B มุม (45 องศา) คือมุมอาจเกิดขึ้นจากหลอดไฟ และ C มุม (83 องศา) คือ มุมที่รับได้จากหลอดไฟของ N.A. 0.66 ของเส้นใยนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ ค่า N.A. น้อยที่สุด สำหรับ 45 มุมองศา (B) ได้ค่า N.A. 0.38. เพราะฉะนั้น, N.A. 0.66 (มุม C) เส้นใยจะยอมรับความสว่างทั้งหมดจากหลอดไฟ แต่เอาที่พูดที่ได้ออกมาตอนจบจะเป็น 45 องศา (เท่ากับมุม B) ไม่ใช่ 83 องศาซึ่งคุณคำนวณได้ อย่างที่กล่าวมา ส่วน N.A. 0.25 เส้นใยจะได้รับแสงจากหลอดไฟ และเอาที่พูดที่ได้ออกมาคือ 29 องศา คนส่วนมากเชื่อว่าการใช้ N.A. ค่าเส้นใยจะได้ข้อมูลที่ "ชัดเจนที่สุด" จากข้อมูล แต่นั่นไม่ถูกต้อง อย่างที่สังเกตได้ค่า N.A. ค่า เส้นใยจะมีเอาที่พูดแคบเพราะว่ามันจะไม่ยอมรับความสว่างใดๆเลยที่มุมวิกฤต

2.4 ส่วนประกอบ

เส้นใยนำแสงถูกผลิตจากแก้ว พลาสติกและสังเคราะห์ fused silica ถูกเรียกว่า silica หรือเส้นใยพลอยบ่อๆ แต่ละชนิดมีข้อได้เปรียบของมันและข้อเสียเปรียบ สำหรับการประยุกต์การส่งผ่านข้อมูล เส้นใย silica คือตัวเลือกที่มีมีข้อดีมาก สำหรับการส่องสว่างและการความรู้ก็ัก เส้นใยแก้วคือตัวเลือกที่ดีที่สุด และพลาสติก excels สำหรับ ความสะดวกของการใช้ประยุกต์ซึ่งไม่การใช้ในระดับอุณหภูมิ 175 องศาฟาเรนไฮต์ขึ้นไป เทคโนโลยีเส้นใยนำแสงผลิตหลายชนิดมากมายซึ่งเส้นใยแก้วมีค่า N.A. ค่าจาก 0.25 ถึง 0.66, และเรามากเส้นใย silica ที่มีค่า N.A. 0.4 สำหรับการประยุกต์ใช้ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุดที่มีค่าลดทอนต่ำและตอบสนองกับค่าความยาวคลื่นของรังสี U.V. ที่ต่ำกว่า 400 นาโนเมตร และ เส้นใยพลาสติกจะมีค่า N.A. 0.5

2.5 Coupler

Coupler นั้นมีความสำคัญมากในระบบ fiber optic เป็นตัวเชื่อมปลายสายของ optic fiber จำนวน 3 เส้นหรือมากกว่าให้เชื่อมต่อกัน หรือ ทำหน้าที่เชื่อมอุปกรณ์ จำพวก optic device เช่น connector และ transmitter โดยใช้ลักษณะของ connectors และ splice ลักษณะจำเพาะนี้มีความสำคัญมาก เมื่อเปรียบเทียบกับ การสื่อสารด้วยไฟฟ้าเพราะว่าการ จะเชื่อมต่อระหว่างจุด 2 จุดในระบบ optic fiber นั้นเป็นเรื่องยาก เพื่อแก้ปัญหา นักพัฒนาจึงได้เปลี่ยนมาใช้ coupler ซึ่งรวมถึง เครื่องรับและเครื่องส่งด้วย

dividing signal

connectors and splice จะทำหน้าที่เชื่อมปลายสายของเส้น fiber เข้าด้วยกันซึ่งเป็นการดีสำหรับการส่งสัญญาณระหว่างอุปกรณ์ 2 ตัว อย่างไรก็ตาม การประยุกต์ใช้งานหลายอย่างจำเป็นต้องใช้การเชื่อมต่อกว่า 2 อุปกรณ์ขึ้นไป ยกตัวอย่างเช่น การเชื่อมต่อระหว่างโทรศัพท์และเครื่องตอบรับบนสายโทรศัพท์เดียวกันจำเป็นต้องใช้ coupler ต่อที่ปลายสายอื่นๆ coupler นี้จะต้องดึงสัญญาณจากสายโทรศัพท์กลุ่มหนึ่ง และแยกสัญญาณระหว่างเด้าเสียบโทรศัพท์ทั้ง 2 ซึ่งอันหนึ่งเป็นของโทรศัพท์และอีกอันเป็นของเครื่องตอบรับ

แต่นั่นก็ไม่เป็นปัญหาสำหรับโทรศัพท์และอุปกรณ์ทางไฟฟ้าอื่นๆเส้นทางเดินไฟฟ้าจะวนเป็นวงจร ถ้าเราขุดครั้งแรก หรือครั้งที่ 2 แต่แต่ละครั้งจะมี voltage signal หรือ มีตัวต้านทาน 20 ตัวคร่อม voltage ในอุดมคติ แน่แน่นอนว่านั่นคือการประมาณว่าเกิดอะไรขึ้นกับระบบการสื่อสารโทรคมนาคมความต้านทานและค่าเหนี่ยวนำในระบบ transmission line เป็นสาเหตุให้เกิด voltage ตกคร่อม load เพื่อลดค่าบ้างอย่างเช่น การไม่วางกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดค่าความต้านทานที่ load (เนื่องจากว่าอุปกรณ์จำนวนมากมักต่อขนานกันกับแหล่งกำเนิดสัญญาณ) อย่างไรก็ตาม ถ้า load จำนวนมากต่อในลักษณะขนานด้วยความระมัดระวัง load ทั้งหมดจะเห็น voltage signal เทียบได้กับขนาดที่ load จะได้เจอแต่ละตัว นอกจากนี้ ถ้าสัญญาณถูกนำพาไปโดยการเปลี่ยนแปลงของกระแสจาก current source อุปกรณ์บางส่วน ก็อาจจะต่อแบบอนุกรม load จะเจอขนาดกระแส เหมือนที่อุปกรณ์แต่ละตัวจะได้รับ (สรุปคือเทียบ load เป็น device นั่นเอง)

สัญญาณแสงจะแตกต่างจากสัญญาณไฟฟ้า ดังนั้นการส่งผ่านและการ coupled จึงแตกต่าง สัญญาณแสงไม่มีค่าศักย์เหมือนสัญญาณไฟฟ้าอย่างไรก็ตาม สัญญาณแสงจะไม่ไหลวนตลอดและผ่านลง กราวด์เหมือนกระแส และจะถูกดูดกลืนโดย detector นั้นหมายความว่า เครื่องรับของ fiber optic จำนวนมากไม่สามารถนำมาต่อแบบอนุกรมได้ เพราะว่าเครื่องตัวแรกจะดูดกลืนสัญญาณไป ถ้าหากว่าสัญญาณแสงถูกแบ่งเป็น 2 หรือมากกว่า 2 port port นั้น จะต้องเป็น แบบขนาน ใดๆก็ตามเนื่องจากสัญญาณแสงไม่มีศักย์ไฟฟ้าสัญญาณทั้งหมดจึงไม่สามารถส่งผ่าน ไปยัง port ทุก port ได้แต่การลดทอนขนาดของสัญญาณจะต้องแบ่งแยกสัญญาณเหล่านั้นในทางใดทางหนึ่ง

2.6 Active and Passive Coupler

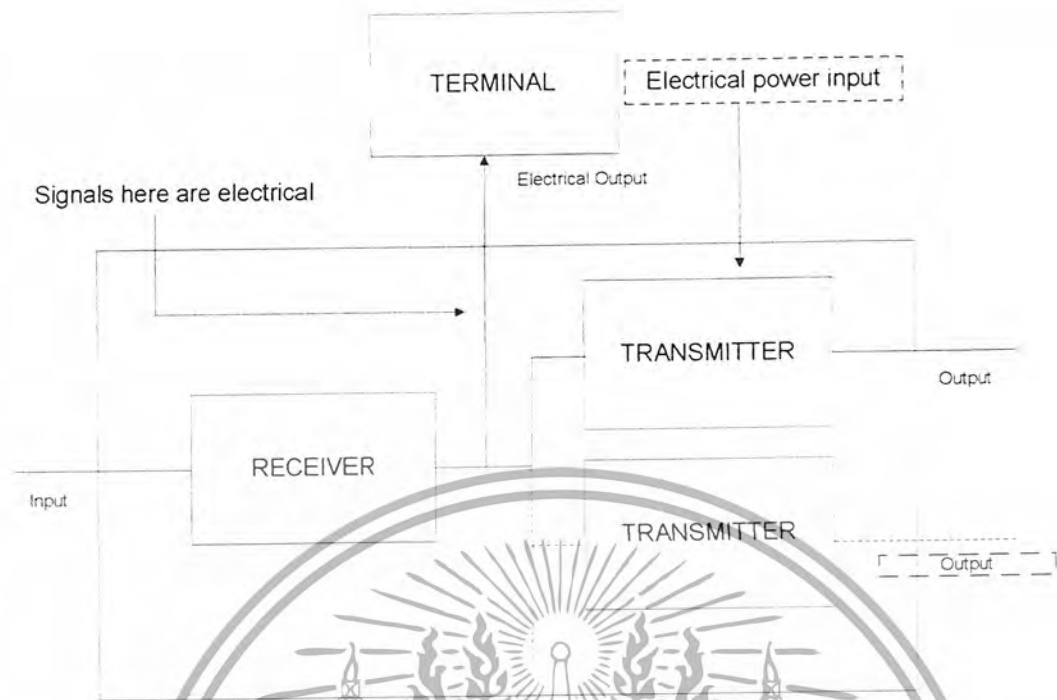
สิ่งนี้ได้ใส่ upper limit บน terminal กลุ่มหนึ่งที่สามารถต่อเชื่อมกับ passive fiber optic coupler ที่สามารถแยกสัญญาณ input ได้เท่านั้น

ภายหลังจากจำนวน output port ถูกแบ่งเกินจำนวนสูงสุด จะไม่มีสัญญาณเพียงพอที่จะส่งผ่าน(จะถูกตรวจสอบโดยใช้ bit error rate เพียงพอหรือค่า sn สูงพอสำหรับใช้งาน)

ข้อจำกัดนี้สร้างปัญหาอย่างหนักในระบบ fiber-optic network

หนึ่งในข้อจำกัดนี้คือเพื่อที่จะกำเนิดสัญญาณที่แรงขึ้นในภายในอุปกรณ์ที่ส่งไปยัง coupler ซึ่งสามารถทำได้โดยการป้อนสัญญาณ input ไปยังเครื่องรับและใช้ output ที่เป็นสัญญาณไฟฟ้าจากเครื่องรับไปขับตัว transmitter และนำสัญญาณไฟฟ้าที่ได้ป้อนเข้าสู่อุปกรณ์ terminal active coupler แสดงตามรูปที่ 6 active coupler ไม่ได้เป็นอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องทางแสงโดยเฉพาะ เนื่องจากว่าต้องใช้กำลังทางไฟฟ้าเป็น input และมีการส่งผ่านสัญญาณ ไฟฟ้าอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6 active coupler

ความยุ่งยากมากกว่านั้น คือ sample-sounding passive coupler ขากที่จะสร้างดังที่เราก่อนหน้าคือการส่งผ่านแสงระหว่างเส้น fiber ขากว่าการส่งกระแสระหว่างสายไฟมากเพราะว่าแสงจะต้องถูกนำทางหรือเดินทางอย่างถูกต้องในเส้น fiber นั้นทำให้การออกแบบ passive coupler เป็นเรื่องยาก

2.7 สิ่งจำเป็นสำหรับ coupler

2.7.1 Multiterminal Network (โครงข่ายแบบหลายขั้ว)

ถ้าหากว่า fiber-optic coupler ขากที่จะสร้าง แต่ก็จำเป็นสำหรับการประยุกต์ใช้งาน ที่หลากหลาย เช่น ใน ระบบ Network ดังรูป 7 อุปกรณ์มากกว่า 2 ตัวขึ้นไป จะต้องถูกต่อระหว่างกันบน สาย fiber เพียงเส้นเดียว connectors และ splice เป็นวิธีที่ดีในการรวมสาย เคเบิล เพื่อเชื่อมต่อจุด 2 จุด ยกตัวอย่างเช่น การเชื่อมต่อกันระหว่างจุดตรงข้ามในห้อง หรือไม้ก็ จุดตรงข้ามระหว่างมหาสมุทร Atlantic. Fiber optic (ใยแก้วนำแสง) เป็นสิ่งสำคัญในการสื่อสารระหว่างจุดต่อจุดครบเท่าที่มีสัญญาณหนึ่งถูกส่งผ่านยังเส้น ไฟเบอร์อีกเส้นหนึ่งแต่ถ้าเราจำเป็นต้องต่อจุดที่ 3 ขึ้นมา เช่น เครื่องตอบรับโทรศัพท์ ดังที่กล่าวไว้ก่อนหน้า เราจึงจำเป็นต้องใช้ coupler ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญมากในหลายๆสถานการณ์ และขากสำหรับ fiber optic

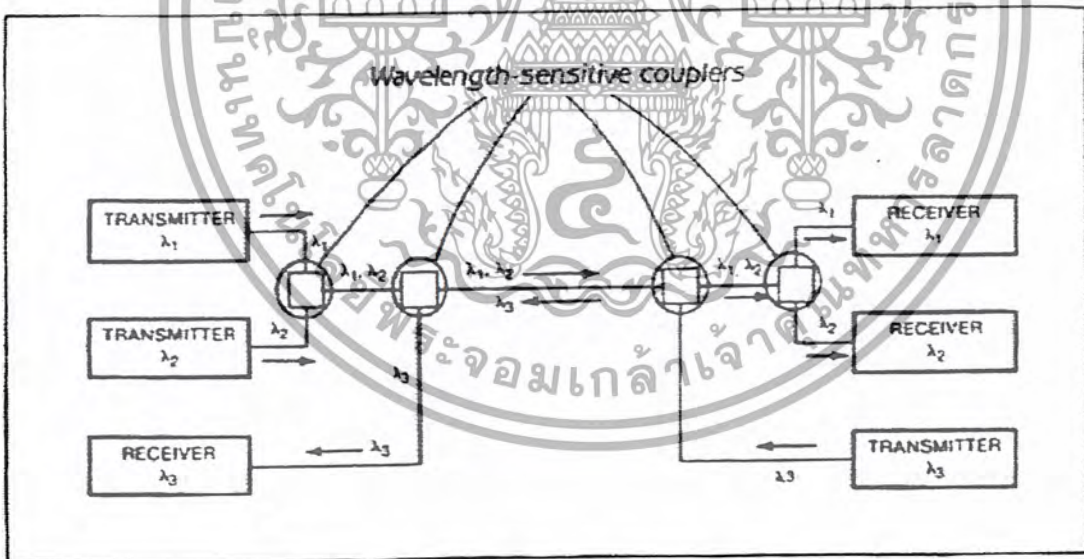
ตัวอย่างที่เป็นมาตรฐานของการประยุกต์ใช้งานที่จำเป็นต้องใช้ coupler คือ Local-area network (LAN) ในระบบจะมีการเชื่อมต่อระหว่างกันกับอุปกรณ์แต่ละชนิด ซึ่งยอมให้อุปกรณ์แต่ละตัวสื่อสารกับอีกตัวได้ เช่น ระบบโครงข่ายโทรศัพท์ ระบบ LAN นั้นอาจจะมีเส้นทางการเชื่อมต่อที่หลากหลาย โครงข่ายแบบวงแหวน (RING) เป็นเพียงตัวอย่างหนึ่งเท่านั้น ในระบบโครงข่ายแบบอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ปลายทาง (terminal) จะเชื่อมต่อกับ Single data bus ที่นำพาสัญญาณทั้งหมดมา ในบางกรณี สัญญาณทั้งหมดอาจผ่าน Mixer ต่ำกลาง หรือ coupler ลักษณะที่เหมือนกันก็คือ โครงสร้างทุกแบบไม่ว่าจะเป็นแบบ Ring หรือแบบอื่นๆ ต้องการ coupler เพื่อขยายการเชื่อมต่อของอุปกรณ์สองตัวที่อยู่ห่างกันไกล กับอุปกรณ์ปลายทางจำนวนมาก

2.7.2 Wavelength-Division Multiplex

Coupler ก็เป็นสิ่งจำเป็นในกรณีที่มีการส่งสัญญาณที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกัน 2 ความยาวคลื่นหรือมากกว่า ดังรูป 7 เทคนิคนี้เรียกว่า wavelength -division multiplexing (WDM) แนวคิด คือ เพื่อที่จะประหยัดสายไฟเบอร์โดยการ ใช้สายไฟเบอร์เพียงเส้นเดียวในการนำพาสัญญาณหลายสัญญาณที่มีความถี่ต่างกัน สิ่งนี้เป็นไปได้ เนื่องจากว่า แสงที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกัน เดินทางบนเส้นไฟเบอร์เดียวกัน จะไม่กวนกันมากพอที่จะมีผลต่อสัญญาณ coupler ใช้เป็นตัวรวมสัญญาณที่ปลายข้างหนึ่งและแยกสัญญาณออกที่ปลายอีกข้างหนึ่ง การแยกสัญญาณนั้นจำเป็นต้องใช้ coupler ใช้เป็นตัวรวมสัญญาณที่ปลายข้างหนึ่งและแยกสัญญาณออกที่ปลายอีกข้างหนึ่ง การแยกสัญญาณนั้นจำเป็นต้องใช้ coupler ที่มีความไว (sensitive) ต่อความยาวคลื่น แสงที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกัน จะถูกนำไปตามเส้นทางที่แตกต่างกัน ดังกล่าว สัญญาณทุกสัญญาณสามารถส่งได้ในทิศทางเดียวกันหรือในทิศทางที่แตกต่างกัน รูป 7 สัญญาณถูกส่งไปทางขวาที่ λ_1 และ λ_2 และทางซ้ายที่ λ_3



รูปที่ 7 Wavelength-Division Multiplex

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 Coupler issues

ปัญหาสำคัญในการออกแบบ และทางเลือกของ coupler รวมทั้งชนิดพื้นฐาน และปัจจัยของการทำงาน มีดังนี้

- จำนวน port
- ความไวต่อทิศทางที่แสงถูกส่งผ่าน
- การเลือกและเจาะจงความยาวคลื่น (Wavelength selectivity)
- Coupler ทั้งชนิด Active และ Passive
- ชนิดของ fiber เป็น Single หรือ Multi mode
- ระดับของกำลังงานที่ต้องการและ ค่า loss ที่พอยอมรับได้ ภายในตัวเชื่อมต่อ
- ราคา

ข้อพิจารณาเหล่านี้ได้ช่วยในการพัฒนา fiber coupler ที่มีหลากหลายและต่างชนิดกัน ชื่อชนิดของ coupler บางชนิดมีดังนี้

- Star coupler
- T or tee couple
- Directional coupler
- Bidirectional
- Splitters
- Combiners
- Wavelength – sensitive coupler
- Passive coupler
- Active coupler
- nxm coupler n,m เป็นตัวเลขจำนวนเต็ม

การตั้งชื่อนี้บางที่เป็นที่สับสน เนื่องจากว่า ชื่อ coupler ตัวเดียวกันแต่สามารถเป็นได้ทั้ง 2 ชนิด หรือมากกว่า ตัวอย่างเช่น T coupler สามารถเป็นได้ทั้ง directional coupler และ Passive coupler

2.9 Basic of Passive Couplers (พื้นฐาน Passive Coupler)

หลักการพื้นฐานของ Passive Coupler ที่แบ่งสัญญาณเป็น 2 port หรือมากกว่า ก็คือ ผลรวมของกำลัง output จะไม่มากกว่า กำลัง input จากการสังเกต output ของแต่ละอุปกรณ์ coupler จะมี loss เกิดขึ้นเท่ากับ อัตราส่วนกำลังงาน output ต่อ กำลังงาน input (ในหน่วยdecibels) ถ้าหากว่ากำลังงานที่ input ถูกแบ่งที่ port output 2 part และเท่ากัน ค่าการสูญเสีย(loss)จะมีค่าน้อยที่สุดคือ 3 dB เพราะว่า กำลังงานที่ input ถูกแบ่งครึ่ง ค่าการสูญเสีย 3 dB นี้เนื่องมาจาก การแบ่งกำลังงาน ค่าการสูญเสียอื่นที่นอกเหนือจากที่กล่าวมาข้างต้นที่เป็นเพียงแค่สมมติฐานหรือทฤษฎีเท่านั้น นั่นก็คือ Excess loss

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไป coupler ที่มี input เพียงหนึ่ง input แต่ I outputs ผลรวมของ output เป็นผลรวมของ port ทุก port โดยมีค่า เท่ากับ กำลังงาน input ลบด้วย ค่า excess loss เมื่อกำลังงานและค่าการสูญเสียรวมกันในหน่วย decibals

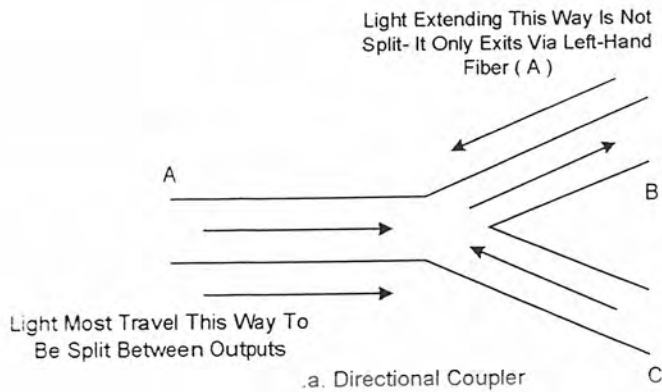
$$\text{INPUT} - \text{EXCESS LOSS} = \sum \text{OUTPUT}_i$$

สังเกตว่า โดยทั่วไปแล้ว กำลังงานไม่จำเป็นต้องถูกแบ่งให้เท่ากันเสมอไปที่ output port ในบางกรณี อาจต้องการกำลังงาน แค่ 10 %ของกำลังงาน input เพื่อปล่อยไปที่ port หนึ่ง และอีก 90% ปล่อยที่อีก port หนึ่ง

2.9.1 Directional Coupler

สิ่งที่เปลี่ยนแปลงได้อีกสิ่งหนึ่งในการออกแบบ coupler คือการเดินทางของแสงในทิศทางที่แตกต่างกัน บางชนิดทำงานในทิศทางเดียวเท่านั้น เรียกว่า directional coupler ตัวอย่างอื่น ๆ ได้แก่ bidirectional coupler สามารถเดินทางได้ในอีกทิศทางหนึ่ง ในรูป 9 แสดงตัวอย่างของ T-coupler ทั้ง 2 ชนิด ใน directional coupler ที่ จุด A ของ fiber ทางซ้ายมือจะต้องเป็น input และแยกที่ output ตรง B และ C ถ้าแสงเดินทางเข้ามาที่ B แสงทั้งหมดจะเดินทางไปยัง A แต่ไปยัง C เช่นเดียวกับ coupler ยังสามารถรวม input ที่มาจาก B และ C เป็นสัญญาณเดียวที่ C ได้ แต่ไม่สามารถรวม input จาก A และ B แล้วปล่อยออกมาทาง C ได้ หรือ A และ C ออกทาง B ในตัวอย่างนี้แสงที่ถูกนำให้เดินทางใน fiber จะทำให้เกิดทิศทาง ตัวอย่างพื้นฐานของ Bidirectional coupler แสดงในรูป 9 ใช้การสะท้อนในบริเวณผสมแสงเพื่อแจกจ่ายสัญญาณ input จาก fiber 1 ของ fiber 3 เส้นไปยังอีก 2 เส้นที่เหลือ จุดประสงค์ก็เพื่อที่จะแยกสัญญาณ input เพราะฉะนั้น fiber เส้นไหนจะเป็น input หรือ out put ก็ไม่สำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8 DIRECTIONAL COUPLER และ BIDIRECTIONAL COUPLER

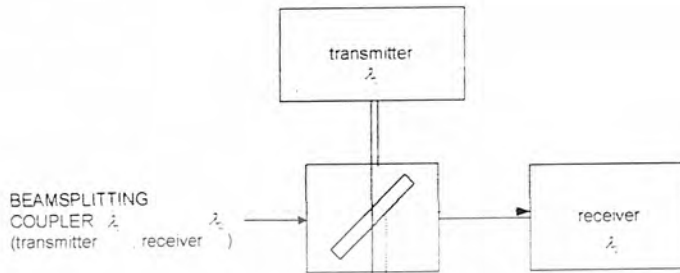
2.9.2 Wavelength selectivity

เช่นเดียวกับอุปกรณ์ทางแสงชนิดอื่น coupler อาจจะตอบสนองที่หลากหลายต่อแสงที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกัน โดยทั่วไปอัตราส่วนระหว่างการผสมแสง ที่มี output ตั้งแต่ 2 Port ขึ้นไปนั้นจะขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น ใน coupler อื่นก็ไม่แตกต่างกันมาก อย่างไรก็ตามความแตกต่างนั้น จะมีมากหากเป้าหมายคือ เพื่อแยกสัญญาณแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกัน ระบบการสื่อสารด้วยแสงจำนวนมากจะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า beamsplitter เพื่อแยกลำแสงที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกันในลำคลื่นเดียว

การใช้งานที่สำคัญของ coupler ที่มีการเลือกความยาวคลื่น คือ ใน WDM ที่สัญญาณ 2 สัญญาณ หรือมากกว่าถูกส่งมาตามเส้นใยเพียงเส้นเดียวทั้งที่มีหลากหลายความยาวคลื่น แสดงดังรูป 10 ในที่นี้เส้นใยเคียนำพาสัญญาณที่มีความยาวคลื่น λ_1 และ λ_2 ที่สร้างโดยแหล่งกำเนิดคลื่นแสงที่แตกต่างกัน ความยาวคลื่นทั้ง 2 จะถูกแบ่งแยกที่ส่วนบน coupler ที่ทำหน้าที่แยกความยาวคลื่น จะส่งผ่านความยาวคลื่น λ_1 ที่เข้ามาจาก transmitter ด้วยบนและสะท้อนแสงที่มีความยาวคลื่น λ_2 ออกจากเส้น fiber เข้าสู่เครื่องรับ ถ้าแสงที่มีความยาวคลื่น λ_1 ปล่อยออกมาจากเส้นใย อาจจะถูกส่งกลับไปยัง transmitter (โดยเส้นทางการเดินทางของแสงความยาวคลื่น λ_1 แต่ทิศทางตรงกันข้าม) สังเกตว่า coupler เป็นชนิด bidirectional แสงแต่ละความยาวคลื่นจะตามกันไปในเส้นทางเดียวกันไม่ว่าจะทางใด แสงจะเข้าสู่ coupler ที่ส่วนล่าง และความยาวคลื่น λ_1 ถูกสะท้อนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางด้านข้างเข้าสู่เครื่องรับ และแสง λ_2 (จาก transmitter ที่อยู่ตรงส่วนปลายของระบบ) ผ่าน coupler ไปยังเส้นใยนำแสง



รูปที่ 9 BEAMSPLITTING COUPLER

นอกจากนี้ coupler ที่ทำหน้าที่เลือกความยาวคลื่น ยังสามารถรวมและแยกสัญญาณแสงที่มีทิศทางแตกต่างกันและเดินทางบนเส้น fiber เส้นเดียวกัน และแบ่งความยาวคลื่นมากกว่า 2 ความยาวคลื่นได้ถ้ามีการออกแบบที่เหมาะสม ประโยชน์ที่สำคัญของ coupler ที่สามารถเลือกความยาวคลื่นได้นี้ คือ มี loss ต่ำ ในขณะที่คลื่นกำลังถูกส่งผ่าน coupler ถูกออกแบบมาเพื่อกำหนดเส้นทางให้แสงที่มีความยาวคลื่นที่ต่างกันเดินทางไปยังทิศทางที่ต้องการ coupler ชนิด wavelength-selective หรือ coupler ที่ทำหน้าที่เลือกความยาวคลื่นนี้ มีค่าการสูญเสียอยู่ในช่วง 0.1-1.0

2.9.3 Splitter และ Combiners

Coupler สามารถทำหน้าที่ 2 หน้าที่ที่สำคัญในการส่งสัญญาณ บ่อยครั้ง coupler จะแบ่งสัญญาณ input เป็น 2 สัญญาณ หรือมากกว่าเพื่อนำสัญญาณนี้ไปจับอุปกรณ์ที่มีอยู่จำนวนมากให้ทำงาน ในกรณีอื่นๆ coupler สามารถรวมสัญญาณ 2 สัญญาณหรือมากกว่าที่มาจากอุปกรณ์ต่างชนิดกันให้เป็นสัญญาณ input สัญญาณใหม่เพื่อนำไปจับอุปกรณ์ อีกชนิดให้ทำงาน โดยขึ้นอยู่กับเส้นทางที่สัญญาณถูกส่งหรือเดินทาง ถ้าสัญญาณถูกส่งผ่านทั้ง 2 ทิศทางในระบบ coupler ชนิด bidirectional ที่เหมือนกันสามารถจัดให้ทั้ง splitter และ combiner ทำงานได้ ส่วนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 Passive And Active Coupling

ความแตกต่างพื้นฐานระหว่าง coupler แบบ Passive และ Active ได้อธิบายไว้ก่อนหน้านี แต่จะกล่าวรายละเอียดในภายหลัง อุปกรณ์ Passive เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เกี่ยวกับแสงโดยเฉพาะ ทำงานโดย นำพาคลื่นสะท้อนคลื่น หักเห และส่งผ่านคลื่นแสง อุปกรณ์ passive เหล่านี้ไม่ต้องการพลังงาน input อื่น นอกเหนือจากลำแสง และไม่ต้องมีอุปกรณ์ Active ใดๆ เช่น light emitters หรือ modulators เพียงแค่ติดตั้ง อุปกรณ์ที่เกี่ยวกับแสงอื่นๆ เช่น เลนส์ อุปกรณ์ Passive นี้ เป็นได้ทั้ง directional หรือ bidirectional และมีความไว หรือไม่มีต่อความยาวคลื่น (sensitive หรือ insensitive)

coupler ชนิด Active ไม่ใช่อุปกรณ์ทางแสงโดยเฉพาะ เพราะว่ามีทั้ง detector และแหล่งกำเนิดแสงอย่างน้อย 1 ชุด และจำเป็นต้องใช้ input ที่เป็นกำลังงานทางไฟฟ้า เหมือนกับสัญญาณแสง ด้วยโครงสร้างนี้ทำให้ Active coupler ยกกระดับสัญญาณ ทำให้กำลังงานรวมที่ output มากกว่า input สัญญาณ output ของมันเป็นได้ทั้งไฟฟ้าและแสง

สิ่งที่เหมือนกันก็คือ coupler ในระบบ LAN ที่ตรวจจับ input ที่เป็นสัญญาณแสง และใช้ output ที่เป็นสัญญาณไฟฟ้า ของเครื่องรับ ไปขับให้ทั้ง optical transmitter (เพื่อที่จะประจิงสัญญาณสำหรับ Active coupler ตัวถัดไป) และอุปกรณ์ปลายทาง terminal device (ด้วยสัญญาณ ไฟฟ้า)

เนื่องจากว่า coupler ทั้งสองชนิด เครื่องรับของ 1 port Active coupler เป็นแบบมีทิศทางเฉพาะตัว (จะไม่มีการตรวจจับสัญญาณที่เป็น input ถูก detect ไปยัง transmitter) สังเกตว่า อาจใช้ได้ทั้ง Active และ Passive coupler ในบางกรณี เช่น อุปกรณ์ปลายทางที่ส่งและรับสัญญาณบนไฟเบอร์เส้นเดียวกัน ทั้งนี้หลากหลายความยาวคลื่น

2.11 Number of Ports

Coupler แต่ละตัวจะมีจำนวน Port และ port input และ output ที่มีลักษณะเฉพาะ จำนวนเหล่านั้นเป็นตัวบอกชนิดของ coupler เช่น ชนิด $n \times m$ คือจำนวนของ input m เป็นจำนวน output สำหรับ bidirectional coupler จำนวน output/input จะกำหนดไว้ด้วยอยู่แล้ว แต่สำหรับ directional coupler จะขึ้นอยู่กับวิธีการที่ coupler จะถูกติดตั้งไว้ในระบบ bidirectional แบบมี 3 port แสดงได้ดังรูป 9 ตามตัวอย่าง ซึ่งอาจเป็น coupler ชนิด 1×2 หรือ 2×1 จะขึ้นอยู่กับวิธีใช้ของมันใน network coupler ชนิด T เป็นแบบ 1×2 หรือ 2×1 ใกล้เคียงกับ coupler ชนิด 2×2 ที่มี 2 input และ 2 output และบ่อยครั้งที่หน้าทีของ T coupler จะมี 1 port input และ 1 port output ไม่ได้ใช้งาน ใน coupler แบบ star จำนวนของ n และ m จะมีจำนวนมากขึ้น และเท่ากันเสมอ เนื่องจากค่าในทางปฏิบัติแล้ว input และ output จะเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ปลายทางตัวเดียวกัน

Type of Fiber

ชนิดของไฟเบอร์ที่ใช้เป็นปัญหาในการออกแบบและการเลือก coupler เทคนิคการ coupling เส้นใย (fiber) บางครั้งจะทำได้ดี ใน fiber แบบ single-mode เท่านั้น นอกนั้น เป็น fiber ชนิด multimode โดยทั่วไป ถ้า work ใน multimode แล้วจะ work ใน single mode ด้วย ถึงแม้ว่าอาจจะไม่มีประสิทธิภาพก็จะใช้ fiber แบบ single-mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

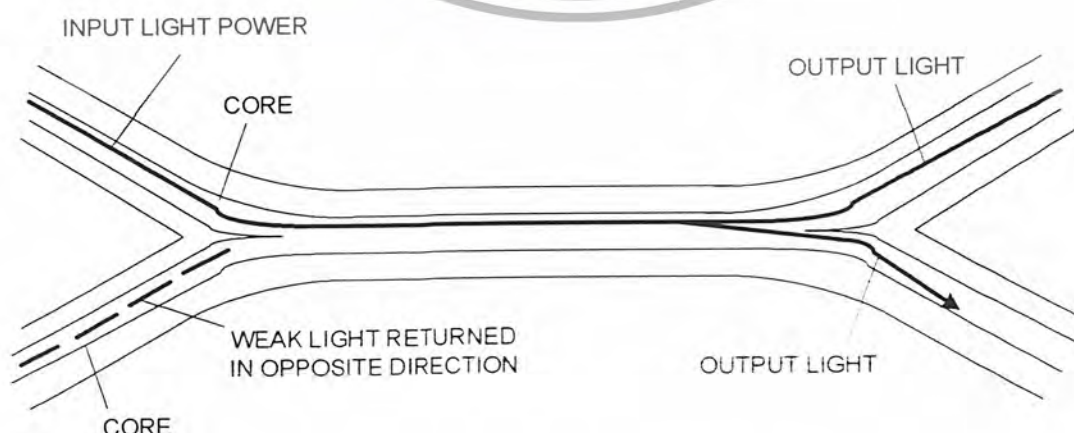
2.12 Power Distribution (การแพร่กระจายของกำลังงาน)

การแพร่กระจายของกำลังแสงใน output port เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบ coupler เป้าหมายโดยทั่วไปคือ เพื่อที่จะแจกจ่ายกำลังงานไปที่ output port โดยเท่ากัน เช่น ใน star-coupler ที่มี port เป็นจำนวนมาก ค่า figure of merit ใน output power จะเปลี่ยนแปลงจาก port หนึ่งไปอีก port หนึ่ง อย่างไรก็ตาม อาจจะเป็นการดีที่มีการแบ่ง กำลังงาน ไม่เท่ากัน ดังนั้นกำลังเพียงที่ส่งผ่านเพียงส่วนน้อยเท่านั้น ใน data bus ที่ถูก coupling ไปยังแต่ละอุปกรณ์ ยกตัวอย่างเช่น ใน T หรือ 2*2 couplers อัตราส่วนการแยก 20:1 อาจเป็นทางเลือก การแบ่งแยกแบบไม่สมดุล นี้อาจเป็นสิ่งดี ที่จะหลีกเลี่ยง ภาระของเครื่องรับในการรับสัญญาณของเครื่องรับ

ในบางระบบ สัญญาณควรจะถูกแยกออกจากกันและกัน ตัวอย่างเช่น ใน directional coupler ชนิด 2*2 สัญญาณจะเข้าสู่ fiber input อุดมคติเส้นหนึ่ง โดยไม่ควรถูกส่งผ่านหรือรบกวนไปยัง input fiber อีกเส้นหนึ่งในทางปฏิบัติ การแยกสัญญาณนั้นไม่สมบูรณ์ และการลดทอนสัญญาณ ปกติจะคงที่ที่ประมาณ 40 dB หรืออาจจะมากกว่า

2.13 T 2 x 2 coupler

หน้าที่การทำงานของ T coupler หรือ coupler ที่เหมือนกับ 2 x 2 coupler หรือเพื่อที่จะส่งผ่านข้อมูลแสง ระหว่างคู่สายไฟเบอร์ สิ่งที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างคือ การส่งผ่านสัญญาณแสงเข้าไปยังระหว่างไฟเบอร์ 2 เส้น ดังรูปที่ 11 แต่ไม่พอเพียงที่จะวางสายไฟเบอร์ 2 เส้นเคียงข้างกัน ฉะนั้น plastic ที่เป็น buffer จะต้องถูกปกกออกทั้งหมด จากนั้น ไฟเบอร์ที่ปก buffer ออกแล้ว จะถูกหลอมติดกันและดึงเพื่อสร้าง บริเวณ tapered (tapered region) เพื่อให้แสงสามารถเดินทางข้ามผ่านระหว่าง core ได้ สำหรับไฟเบอร์ชนิด single-mode ที่ CORE มีขนาดเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางรอบนอก ของไฟเบอร์มากๆ cladding จึงอาจจะถูกเอาออกไปก่อนที่ไฟเบอร์ ชนิด multi mode coupler ชนิดนี้เรียกว่า fuse fiber coupler หรือ fused biconical taper coupler

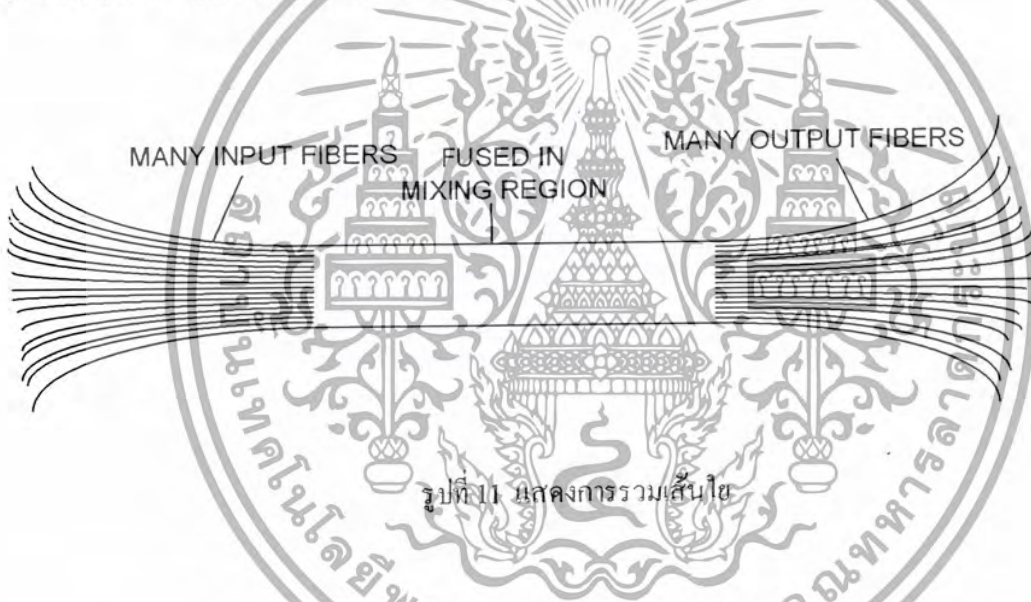


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รูปที่ 10 ลักษณะการเดินทางของแสงในการเชื่อมเส้นใย 2 เส้น
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14 Optical Beamsplitters

อีกวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจใน coupler แบบแบ่งความยาวคลื่น ที่ใช้ optical beamsplitters เพื่อแบ่ง input ที่เป็นลำแสง ให้เป็น 2 ส่วน หรือ รวมลำแสง 2 input ให้เป็น output เดียว แนวคิดพื้นฐานเหมือนกันกับกระจกแบบด้านเดียว ที่สะท้อนแสงที่ตกกระทบบางส่วนและส่งผ่านส่วนที่เหลือ ใน coupler แบบแบ่งความยาวคลื่น จะมีการใช้สารเคลือบพิเศษ เคลือบแผ่นกระจก ที่สามารถส่งผ่านความยาวคลื่นบางช่วงไปได้ และสะท้อนคลื่นความยาวช่วงอื่นๆ เมื่อแผ่นกระจกเคลือบ ทำมุม 45 องศา กับแสงที่ตกกระทบ ดังแสดงในรูป 12 ความยาวคลื่นช่วงหนึ่งจะถูกส่งผ่านเด่นออก

เนื่องจากนี้จะถูกสะท้อน ในแสงที่เดินทางตรงกันข้ามกับที่กล่าวไว้ แสงที่มาจาก output fiber จะมีทิศทางออกมาตาม input เนื่องจากว่า λ_1 ยังคงถูกสะท้อน และ λ_2 จะถูกส่งผ่าน แผ่นกระจกที่เคลือบด้วยสารพิเศษนี้อาจจะนำมาใช้งานกับไฟเบอร์เพียงเส้นเดียวก็ได้



รูปที่ 11 แสดงการรวมเส้นใย

2.15 Wavelength – Selective Multipoint Coupler

การ Wavelength – division multiplexing อาจจะเกี่ยวข้องกับทางส่งผ่านสัญญาณที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกันมากกว่า 2 ขึ้นไป ที่อยู่บนสายไฟเบอร์เดียวกัน วิธีหนึ่งคือ แยกเคลื่อนเหล่านั้นออกจากกัน โดยใช้ beamsplitters ต่อแบบ cascade กัน ดังแสดงในรูป 12 อีกวิธีการหนึ่งคือ จะใช้ coupler ที่ออกแบบมาเป็นพิเศษ โดยเฉพาะสำหรับ Wavelength – division multiplexing โดยทั่วไปแล้วจะใช้ grating หักเหแบ่ง spectrum ของแสง จาก input fiber และ focus ความยาวคลื่นที่ต้องการจาก spectrum เข้าสู่ fiber ที่เรียงกันเป็นเส้น ถ้าหากว่าแสงมีความยาวคลื่นแตกต่างกัน 5 ความยาวคลื่น $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ และ λ_5 เดินทางเข้าสู่ input fiber grating จะแบ่งแสงสีที่แตกต่างกัน แต่ละช่วงเข้าสู่ output fiber ที่เหมาะสม ในทางตรงกันข้าม ถ้า input และ output กลับกัน grating จะรวมแสงสีความยาวคลื่นทั้ง 5 เป็น output เดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.16 Coupling Losses

คำจำกัดความของค่าสูญเสียที่เกิดจากการ coupling (Definition of coupling Losses)

จากร่วมในอุดมคติระหว่างเส้น ใยนำแสงที่เหมือนกัน 2 เส้น การรักษาค่าต่อเนื่องของแสงของตัวกลางที่นำพาสัญญาณและไม่ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลง อย่างไรก็ตามจากร่วมตามความจริง มักจะพบกับความไม่สมบูรณ์แบบ (imperfections) เป็นผลทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณ ถ้าส่งสัญญาณผ่านจุดเชื่อม

ถ้า P_0 และ P_1 คือ กำลังที่เดินทางใน core ทั้งก่อนและหลังจุดที่เชื่อมต่อ (รูปที่ 14) ตามลำดับ

สัมประสิทธิ์ การcoupling (หรือการส่งผ่าน หรือการแทรกสอด) η ของบริเวณจุดเชื่อมต่อ สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$\eta = \frac{P_0}{P_1} \tag{3}$$

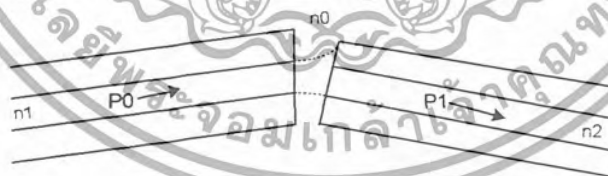
กำลังงานส่วนน้อย Λ ซึ่งเป็นค่าการสูญเสีย

$$\Lambda = \frac{P_0 - P_1}{P_0} = 1 - \eta \tag{4}$$

Coupling Loss L ในหน่วย decibels คือ

$$L = -10 \log \eta \tag{5}$$

และเป็นตัวแปรหลักในการกำหนดคุณภาพของจุดเชื่อมต่อของเส้น ใยนำแสงเพื่อที่จะหลีกเลี่ยงความไม่แน่นอนของเงื่อนไขภายใต้ตัวแปร P_0 และ P_1 จะต้องพิจารณา หรือกำหนดด้วยความระมัดระวัง โดยเฉพาะสำหรับเส้น ใยนำแสงชนิด multimode



รูปที่ 12 แสดงการเดินทางของแสงใน core

สาเหตุของ Coupling losses

มีสาเหตุจำนวนมากมาที่ลดค่าสัมประสิทธิ์การ coupling ระหว่างเส้น ใยนำแสง 2 เส้น นี้รวมไปถึงการสะท้อนระหว่างผิวแก้วของเส้น ใยนำแสงและอากาศ ความผิดพลาดของการต่อสาย ปลดสายที่มีคุณภาพต่ำ และความไม่เหมาะสม (mismatch) ระหว่างองค์ประกอบของ ของเส้น ใยนำแสงที่จะนำมา coupled

ค่าการสูญเสียที่เกิดจากการ สะท้อน เรียกว่าค่าการสูญเสีย Fresnel (Fresnel loss) สาเหตุอื่น

เนื่องจาก การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหในส่วนปลายของไฟเบอร์แต่ละเส้นในบริเวณจุดเชื่อมต่อ ในที่นี้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ผ่านการคัดค้านว่าเส้น ใยนำแสงทั้ง 2 เส้นมีของว่างโดยปกติมักจะเป็นอากาศ ถ้า n_0 และ n_1 เป็นดัชนีหักเหของ core ไม่วากรณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และช่องว่าง (ตัวกลาง) ของ เส้นใยนำแสงชนิด step index multimode ตามลำดับ อัตราส่วน R ของกำลังงานสะท้อน ต่อ กำลังงานตกกระทบที่แต่ละปลายของ เส้นใยนำแสงสำหรับแสงที่มีการตกกระทบในแนวปกติคือ

$$R = \left(\frac{n_1 - n_0}{n_1 + n_0} \right)^2 \tag{6}$$

เนื่องจากมุม acceptance angle ขนาดจำกัด ของ เส้นใยนำแสง ดัง สมการที่ 6 สามารถใช้เป็น ค่าประมาณที่ยอมรับได้ แม้ว่าแสงจะไม่ตกกระทบตรง กับแนวปกติซะทีเดียว พิจารณาการสะท้อนที่คู์ไฟเบอร์ ที่มีอากาศเป็น gap ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านกำลังงาน η_f คือ

$$\eta_f = (1 - R)^2 = \left[\frac{4n_1n_0}{(n_1 + n_0)^2} \right]^2 \tag{7}$$

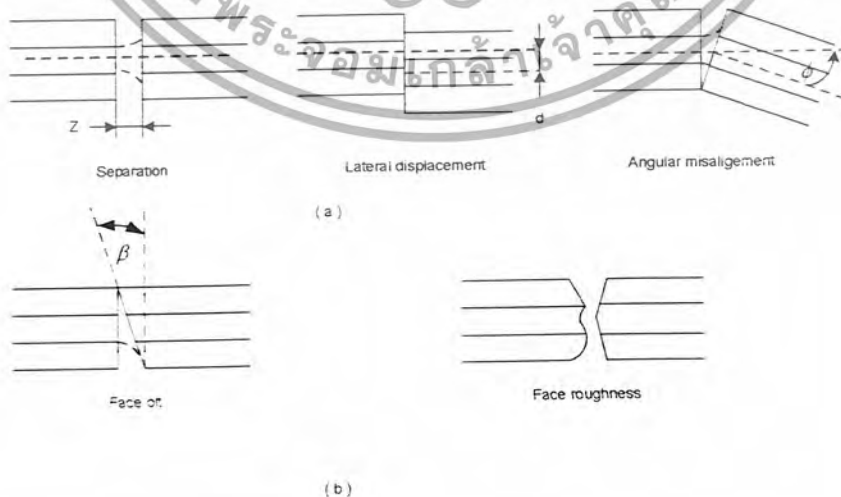
และค่าสูญเสียที่เกิดจากการสะท้อนดังกล่าว (Fresnel Losses) คือ L_f แสดงในหน่วย decibel คือ

$$L_f = -10 \log \eta_f \quad (\text{decibel}) \tag{8}$$

เมื่อ n_0 เท่ากับ 1.00 ในอากาศ และค่าดัชนีหักเหของ core ของเส้นใยนำแสงมีค่าระหว่าง 1.45-1.50 เช่นเดียวกัน ค่าสูญเสียที่เกิดจากการสะท้อน L_f ที่จุดเชื่อมต่อมีช่วงระหว่าง 0.30 ถึง 0.35 dB ถ้าหากว่าช่องว่าง (gap) เป็นฉนวนของเหลว หรือ gel ที่มีค่าดัชนีหักเหใกล้เคียงกับ core ($n_1 \approx n_0$) จะทำให้ไม่มีค่าสูญเสีย Fresnel เกิดขึ้น (Fresnel losses can disappear)

จากค่าการผิดพลาดในการเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงเป็นเส้นเดียวกันและคุณภาพของปลายสายใยแก้วนำแสงที่ไม่ดี เกิดขึ้นจากข้อบกพร่องในวิธีการเชื่อมต่อ มากกว่าลักษณะคุณสมบัติที่มีอยู่ในตัวมันเอง ฉะนั้น ค่าสูญเสียที่เกิดจากการ coupling (coupling losses) บางครั้งจะหมายถึงค่า extrinsic losses

ค่าการผิดพลาดในการเชื่อมเส้นใยนำแสงให้เป็นเส้นเดียวกันที่เป็นสาเหตุมาจากความไม่สมบูรณ์ (imperfection) ในวิธีการเชื่อมต่อ แสดงในรูป 14

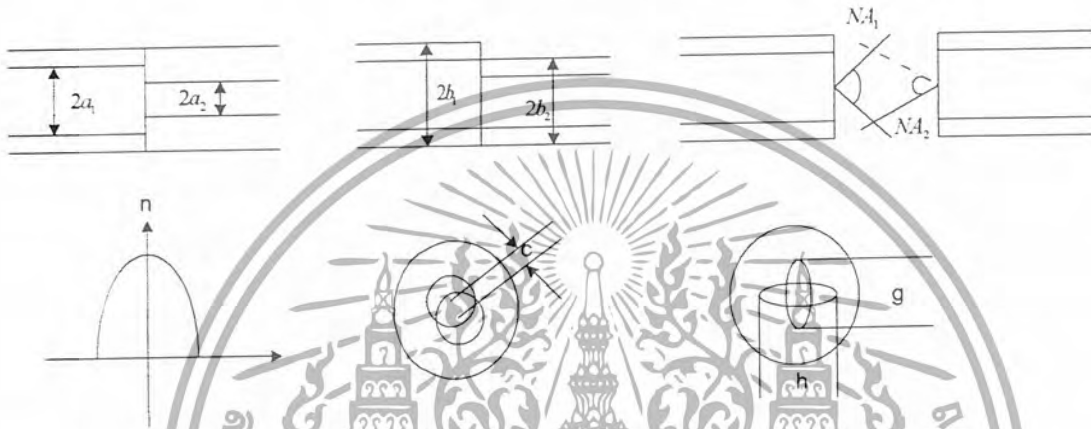


รูปที่ 13 ค่าการผิดพลาดที่เป็นสาเหตุมาจากความไม่สมบูรณ์ (imperfection)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ในวิธีการเชื่อมต่อ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยิ่งกว่านั้น coupling losses อาจเกิดมาจากคุณภาพที่ไม่ดีของหน้าสัมผัสของปลายเส้นใยนำแสง ซึ่งในทางอุดมคติ หน้าสัมผัสควรจะราบเรียบ และตั้งฉากกับแกนของเส้นใยนำแสง วิธีการเตรียมการที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้หน้าสัมผัสไม่เรียบและไม่เกิดการตั้งฉากกันที่หน้าสัมผัสกับแกนของ core

นอกเหนือจากนี้ extrinsic losses มีค่าการสูญเสียอีกประเภทหนึ่งที่เกิดจากการ mismatch กันระหว่างปัจจัยหรือตัวแปรของเส้นใยนำแสง เช่นตามรูป 15 อันได้แก่



รูปที่ 14 แสดงการเกิด extrinsic losses

- เส้นผ่านศูนย์กลางของ CORE
- เส้นผ่านศูนย์กลางของ CLADDING
- ความแตกต่างของดัชนีหักเหระหว่าง CORE กับ CLADDING (นั่นคือมุมของการเปิดรับแสง)
- ลักษณะทาง PROFILE SHAPE

หรือความไม่เหมาะสมกันที่เกี่ยวข้องกับความไม่สมมาตรทางโครงสร้าง เช่น

- ความผิดพลาดที่เกิดจากการทำให้แน่นระหว่าง CORE กับ CLADDING
- ความรีของ core

ความไม่ลงรอยกันหรือเหมาะสมกัน (mismatch) นี้เกี่ยวข้องกับความทนทานของกระบวนการผลิตเส้นใยนำแสง แต่ค่าการสูญเสียเหล่านี้เกิดจากค่า characteristic หรือลักษณะคุณสมบัติของเส้นใยนำแสงและไม่ขึ้นกับกับเทคโนโลยีวิธีการเชื่อมต่อ รู้จักกันดีว่า intrinsic losses การไม่ match กันของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ core จะทำให้เกิด coupling loss เมื่อ เส้นใยนำแสงที่ปล่อยแสงมีขนาดใหญ่มากกว่าเส้นใยนำแสงตัวรับ ($a_1 > a_2$) หรือ ในทางตรงกันข้าม ($a_1 < a_2$) เมื่อกำลังงานรวมถูกปล่อยออกมาโดย เส้นใยนำแสงเส้นแรกและถูกทำให้เดินทางต่อด้วยเส้นที่สอง ข้อพิจารณาที่เหมือนกัน อีกก็คือ การไม่สอดคล้องกัน ของขนาดของมุมเปิดรับแสงของ core (numerical aperture) คือ coupling loss จะเกิดเมื่อ $NA_1 > NA_2$ แต่กรณีนี้จะไม่เป็นจริงในเส้นใยนำแสงชนิด single-mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด การค้าซึ่ง intrinsic losses จะเกิดในกระบวนการผลิต และ extrinsic losses จะเกิดในกระบวนการเชื่อมต่อไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.17 Coupling losses and mode power distribution in multimode fiber

(ค่าการสูญเสียที่เกิดจากการ coupling และ โหมดการแพร่กระจายกำลังงานในเส้นใยนำแสงชนิด multimode)

สำหรับจุดเชื่อมต่อระหว่างเส้นใยนำแสงชนิด multimode การแพร่กระจายกำลังงานในโหมดการเดินทางที่แตกต่างกันจะต้องถูกรายงานและบันทึก เนื่องจากว่าอาจจะมีผลกับ

○ การเปลี่ยนแปลงของค่าประสิทธิภาพในการ coupling (7)

○ การเปลี่ยนแปลงของการลดทอนกำลังงานในเส้นใยนำแสงภายหลังจากการเชื่อมต่อ

โหมดการแพร่กระจายกำลังงาน (MPD) สำหรับส่วนตัด core ขึ้นอยู่กับรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น (radiation pattern) ที่ปลายที่จะปล่อยสัญญาณของแหล่งกำเนิดและระดับของ mode coupling (นั่นคือ การส่งผ่านกำลังงานจาก mode หนึ่งไปยังอีก mode หนึ่งจะเกิดขึ้นในเส้นใยนำแสง) โหมด coupling มาจากความยุ่งยากหรือความไม่แน่นอนที่มีอาจมองเห็นได้ ที่ทำให้เส้นใยนำแสงไม่เป็นไปตามเงื่อนไขของการเป็นท่อนำคลื่นวงกลมในอุดมคติ ทนทานมากขึ้นแต่คุณภาพอาจจะต่ำ MPD เป็นเรื่องของความเจริญก้าวหน้า และวิวัฒนาการ ขณะที่แสงกำลังเดินทางตามเส้นใยนำแสง จนเข้าสู่เงื่อนไขแห่งความสมดุล (ภาวะคงที่) ที่จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆที่เวลานั้น ถ้าความยุ่งยากที่สำคัญไม่เกิดขึ้น ความยาวค่าสุดของเส้นใยนำแสง จำเป็นต้องสร้างเงื่อนไขแห่งความสมดุล ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณภาพของเส้นใยนำแสง (นั่นคือการมีอยู่ของความยุ่งยากที่มีอาจมองเห็นได้) และสามารถเป็นเส้นใยนำแสงที่มีคุณภาพสูงที่ยาวหลายกิโลเมตรได้

โดยทั่วไปประสิทธิภาพของการแพร่กระจายกำลังงานข้ามจุดเชื่อมต่อ ที่ไม่เชื่อมเป็นเส้นเดียวกัน หรือไม่เข้ากัน ขึ้นอยู่กับ การแพร่กระจายที่ไม่ต่อเนื่องของกำลังงานใน core ดังนั้น MPD มีอิทธิพลต่อค่าการสูญเสียในการ coupling (coupling losses) อย่างชัดเจน ยิ่งกว่านั้นจุดเชื่อมต่อที่ไม่เป็นขั้วกัน ทำให้การแพร่กระจายกำลังงานใน mode ต่างๆ สามารถเปลี่ยนค่าการลดทอนในเส้นใยนำแสงที่บริเวณจุดเชื่อมต่อ เนื่องจาก การลดทอนในเส้นใยนำแสงเป็น function หนึ่งของ MPD ด้วย ยกตัวอย่างเช่น ถ้าสภาวะคงที่ (steady state) ที่มีอยู่ในเส้นใยนำแสงยาว ถูกทำให้ยุ่งยากด้วยการไม่เชื่อมแบบขั้วกัน หรือการ mismatch กันภายใน ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นในการเชื่อมต่อ (connection) กรณีตัวอย่างในโหมดการแพร่กระจายกำลังงานที่สูงขึ้น (higher-order mode) ซึ่งมีค่าการสูญเสียที่สูง) ถูกกระตุ้น การลดทอนในเส้นใยนำแสงภายหลังจากการเชื่อมต่อจะเพิ่มขึ้น กับ ค่าที่อาจจะได้รับภายใต้เงื่อนไขความสมดุลที่ไม่ยุ่งยาก การลดทอนนี้สามารถพิจารณาเป็น loss ที่เพิ่มขึ้นที่เกิดจากจุดเชื่อมต่อ และเป็นส่วนหนึ่งของค่าการสูญเสียทั้งหมดที่เกิดจากการ coupling ภายหลังจากการแพร่กระจายคลื่นแสงได้ จนได้ระยะทางพอเหมาะในเส้นใยนำแสง จนเข้าต้นแบบแห่งความสมดุลอีกครั้ง จะไม่มีการลดทอนเพิ่มเติมที่สร้างโดยกลไกนี้ (ถ้าความยุ่งยากไม่ปรากฏเพิ่ม)

โหมดการแพร่กระจายกำลังงานสูงสุด MPD จะแบ่งเป็น uniform MPD (เป็นการกระตุ้นแบบเดียวกันของทุก mode ของเส้นใยนำแสง) และ equilibrium MPD (เป็นการแพร่กระจายกำลังงานในภาวะ steady - state)

พิจารณาเส้นใยนำแสงชนิด multimode ที่มีส่วนตัดขวางของ core และเป็นแบบ circular ที่มีรัศมี a และมีดัชนีหักเหตามกฏพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ (9) นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$n(r) = n_1(1 - 2\Delta)^{\frac{1}{2}} \quad \text{for } r < a \quad (10)$$

โดย r = คือ รัศมีรวม

n_1 = ดัชนีหักเหที่จุดศูนย์กลางของ core

n_2 = ดัชนีหักเหของ cladding

Δ = ความแตกต่างของดัชนีหักเห [$\approx (n_1 - n_2)/n_1$]

α = ตัวแปร ของดัชนีหักเห ของ shape ของ profile

สำหรับ step-index-fiber α คือ x และสำหรับ graded-index parabolic profile fibers, α มีค่า 2.0

โหมดการแพร่กระจาย (mode propagation) ตาม core ของเส้นใยนำแสงสามารถจำแนกเป็นกลุ่มตามตัวแปร โหมด x โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 และถูกจำกัดอยู่ภายในคลื่นแสงที่ตาเปล่าสามารถมองเห็น ตามสมการ

$$x = \left[\left(\frac{r}{a} \right)^\alpha + \left(\frac{\sin \theta}{\sin \theta_c} \right)^\alpha \right]^{1/(\alpha+2)}, \quad (11)$$

โดยที่ θ = มุมของการแพร่กระจาย (propagation angle)

θ_c = ความวิกฤตภายในเส้นใยนำแสง

ประเภทของ mode ถูกกำหนดโดยตัวแปร x ซึ่งสามารถพิจารณาเป็นประเภทของแสง เช่น ในขณะที่เดินทางหรือแพร่กระจาย การเปลี่ยนค่ามุม θ และตำแหน่ง r สำหรับ step-index และ parabolic grade-index fiber สมการ 11 ลดรูปได้ตามลำดับดังนี้

$$x = \frac{\sin \theta}{\sin \theta_c} \quad (\text{step}) \quad (12)$$

และ
$$x = \left(\frac{r}{a} \right)^2 + \left(\frac{\sin \theta}{\sin \theta_c} \right)^2 \quad (\text{parabolic}) \quad (13)$$

กำลังงานที่ถูกนำพาไปในแต่ละ โหมด สามารถแสดง function ได้เป็น $P(x)$ และกำลังงานรวม P_t ที่ถูกนำพาไปในเส้นใยนำแสง คือ

$$P_t = \int_0^1 P(x)N(x)dx \quad (14)$$

โดยที่ $N(x)$ เป็นจำนวนของแต่ละ โหมดที่มีค่า parameter x เดียวกันในกรณีของ uniform MPD แต่ละ โหมดจะมีกำลังรวมเหมือนกัน ในกรณีนี้จะไม่คำนึงถึง index profile

$P(x)$ = ค่าคงที่

สูตรการวิเคราะห์สำหรับ equilibrium MPD คือ

$$P(x) = AsJ_0(2.405\sqrt{x}) \quad (15)$$

และ

$$P(x) = ApJ_1(3.832\sqrt{x}) \quad (16)$$

J_0 และ J_1 เป็น Bessel function ของ order ชนิดที่ 0th และ 1st ตามลำดับในขณะที่ As และ Ap เป็น

ค่าคงที่ที่เหมาะสม สูตรแต่ก่อนจะใช้ได้ดีกว่าใน step-index fiber แต่ต่อมาจะเป็นการใช้กับ parabolic grade-index fiber เป็นเอกสารที่ส่งงานไว้สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า หมายความว่า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.18 Coupling losses ใน multimode fibers

สูตรการวิเคราะห์อย่างง่ายเกี่ยวข้องกับความไม่เป็นเส้นเดียวกัน (misalignment) หรือความไม่เหมาะสมกัน (mismatch) ใน coupling losses ดังนั้นจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ coupling ที่มีประสิทธิภาพและทนทาน วิธีแก้ปัญหาโดยทั่วไปในเรื่องที่เกี่ยวกับแสงยากที่จะจัดการ ดังนั้นควรที่จะกำหนดขอบเขตของจุดประสงค์ที่จะแก้ปัญหา

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์ของการ coupling โดยการประมาณค่า แต่มีเหตุผลและง่ายตามลำดับ

สูตรอย่างง่าย แสดงดังในตาราง 1 แต่ละสูตรแทนค่าของ A (กำลังงานส่วนน้อยที่สูญหายไปเนื่องจากจุดเชื่อมต่อ) ดัง function ของแต่ละแบบของ misalignment หรือ mismatch ซึ่งถูก normalized และสัมพันธ์กับตัวแปรของเส้นใยนำแสงอย่างเหมาะสม ดังนี้

$$s = \frac{z NA}{a n_0} = \text{normalized longitudinal separation} \quad (17)$$

$$u = \frac{d}{a} = \text{normalized lateral displacement} \quad (18)$$

$$t = \frac{n_0 \sin \phi}{NA} = \text{normalized angular misalignment} \quad (19)$$

$$p = \frac{a_2}{a_1} = \text{core radius ratio } (\leq 1) \quad (20)$$

$$q = \frac{NA_2}{NA_1} = \text{numerical aperture ratio } (\leq 1) \quad (21)$$

$$e = 1 - \frac{\eta}{g} = \text{ellipticity} \quad (22)$$

โดย $z, d,$ และ ψ = absolute misalignment ดังที่กำหนดไว้ในรูป 14 a

a = รัศมีของ core (a_1 และ a_2 ถ้าหากเกิด mismatch ดังกำหนดในรูป 15)

NA = fiber numerical aperture (NA_1 และ NA_2 ถ้าเกิด mismatch ดังที่กำหนดไว้ในรูป 14)

n_0 = ดัชนีหักเหของตัวกลางระหว่างปลาย ของเส้นใยนำแสง

h, g = แกนโทและแกนเอก ตามลำดับ ของ core ที่เป็นรูปวงรี

$h = g$ ก็ต่อเมื่อ core เป็นวงกลมโดยสมบูรณ์

สมมติว่าเส้นใยนำแสงแต่ละเส้นมีค่า h, g เหมือนกัน และเป็นเงื่อนไขการ mismatch ที่แย่ที่สุดเมื่อ

พิจารณาถึงเส้นใยนำแสงที่เป็นวงรีด้วย นั่นคือความสัมพันธ์ของมุมของการหมุน 90° ระหว่างแกนเอกของ core ทั้งสอง

ความไม่เข้ากันของ core และขนาดของมุมเปิดรับแสง Core และ numerical aperture mismatch มักจะแสดงเป็นค่าความสัมพันธ์

$$e_a = \frac{a_1 - a_2}{a_1} = 1 - p \quad (23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไป (24) ระบุข้อค้นค้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

type of misalignment or mismatch	I		II		III	
	uniform MPD		equilibrium MPD, loss at the joint		equilibrium MPD, loss far from the joint	
separation	step	graded	step	graded	step	graded
$s = \frac{z NA}{a n_0}$	0.42s	0.5s		$0.6s^2$		$0.4s^2$
latch displacement						
$u = \frac{d}{a}$	0.64u	0.85u	0.64u	$0.92u^2$	0.64u	$1.84u^2$
angular misalignment						
$t = \frac{n_0 \sin \varphi}{NA}$	0.64t	0.85t	$0.7t^2$	$0.92t^2$	$1.44t^2$	$1.84t^2$
radius mismatch						
$p = \frac{a_2}{a_1}$	$1 - p^2$	$1 - p^2$	$1 - p^2$	$2.45(1 - p)^2$	$1 - p^2$	$1 - p$
numerical aperture mismatch						
$q = \frac{NA_2}{NA_1}$	$1 - q^2$	$1 - q^2$	$1.44(1 - q)^2$	$2.45(1 - q)^2$	$1 - q$	$1 - q$
ellipticity						
$e = 1 - \frac{\eta}{g}$	0.64e	0.64e	0.64e	0.6e	0.64e	0.4e

ตารางที่ 1 แสดงสมการที่ใช้ในการคำนวณค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นในกรณีต่างๆ ในการเชื่อมต่อแบบ alignment

เมื่อพิจารณา numerical aperture เส้นใยนำแสง 2 เส้นถูกสมมติตามกติกของ profile ตามสมการ 11 และถูกสมมติให้มีค่า α เหมือนกัน แต่มีค่าความแตกต่างของดัชนีสัมพัทธ์กัน (relative index difference) แตกต่างกันเป็น Δ_1 และ Δ_2 เมื่อพิจารณาถึงค่า numerical aperture mismatch ด้วย

เมื่อค่า coupling losses ถูกวัด นั้นหมายถึง ค่าการแพร่กระจายกำลังงาน (MPD) ที่จุดเชื่อมต่อ และจุดหลังจุดเชื่อมต่อ เส้นใยนำแสง 3 ข้อ จะถูกนำมาพิจารณาตามตาราง 1

กรณีที่ I - uniform MPD กับ การวัด loss หลังจากจุดเชื่อมต่อ (หลักที่ 1 และ หลักที่ 2)

กรณีที่ II - equilibrium MPD กับ การวัด loss หลังจากจุดเชื่อมต่อ (หลักที่ 3 และ หลักที่ 4)

กรณีที่ III - equilibrium MPD กับ การวัด loss ที่ไกลมากพอหลังจากจุดเชื่อมต่อที่เส้นใยแห่งการสมมูลยังคงเดิม (หลักที่ 5 และ 6)

แม้ว่าจุดเชื่อมต่อจริง ๆ นั้นมักจะทำงานภายใต้เงื่อนไขระดับกลาง อย่างไรก็ตามเงื่อนไขสูงสุดเหล่านี้ก็มีประโยชน์เพื่อที่จะกำหนดขอบเขตของ ค่าการสูญเสีย ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นเมื่ออุปกรณ์ coupling ถูกออกแบบมาใช้งาน ตามหลักการ (องค์ประกอบ) โครงสร้างภายนอก (configuration) แบบแรก ที่จะถูกพิจารณาเมื่อเส้นใยนำแสงสั้น ๆ 2 เส้นมาประกบกัน โครงสร้างภายนอกแบบที่สอง ได้จากการประมาณ ตามจุดเชื่อมต่อของเส้นใยนำแสงขนาดยาว แต่อยู่ก่อนตัวตรวจจับ (Detector) โครงสร้างภายนอกอย่างที่สอง เป็นตัวอย่างของจุดเชื่อมต่อระหว่างเส้นใยนำแสงยาว 2 เส้น

สำหรับโหมดการแพร่กระจายกำลังงานดังสมการที่ 14, 15 และ 16 โดยทั่วไปแล้วทั้ง step-index และ parabolic grade-index profile จะถูกทำรายงานและบันทึกทำเป็นรายการหรือบัญชีดัชนี โดยทั่วไปความสัมพันธ์ในตาราง 1 เป็นเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างการกำหนดขอบเขต และการทำให้บางอย่างง่ายขึ้น เช่น

เส้นใยนำแสงถูกสมมติว่านำสัญญาณ ได้ไม่ดี ($\Delta \leq 1$)

สมมติว่าเกิด misalignment และ mismatch น้อย

สภาวะการรั่วไหลของสัญญาณเกิดขึ้นน้อยมาก

สมมติฐานที่สอง มีเหตุผลอย่างยิ่งในกรณีของตัวเชื่อมต่อแบบเกิดค่าการสูญเสียต่ำ misalignment และ mismatch ที่เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยคือจุดประสงค์และเป้าหมายที่ต้องการ

ค่าการสูญเสียที่เกิดจากการ coupling (coupling Loss) L ได้จากค่าการสูญเสีย Λ โดยตรงตามตาราง 1 สมการ 4 และ 5

$$L = -10 \log(1 - \Lambda) \text{ dB (เฉพาะ misalignment)} \quad (25)$$

ดังนั้น ในองค์ประกอบแบบที่ 3 (หลักที่ 5 และ 6) Λ และ L ได้รวมผลกระทบที่เกิดที่จุดเชื่อมต่อตามความยาวของเส้นใยนำแสง

Fresnel loss L_f ได้จากสมการ 8 ควรจะเพิ่มค่าการสูญเสีย L เพื่อรวมเป็น total loss L_t ตัวอย่างข้อคิดเห็นที่เหมาะสม ตามกล่าว แบ่งเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.18.1 ช่วงห่าง Separation: เส้นใยนำแสงที่เป็นชนิด parabolic graded – index profile สำหรับการสื่อสารโทรคมนาคม ตัวแปรเหล่านี้ได้แก่

- $a = 25 \mu\text{m}$
- $NA = 0.20$
- $n_1 = 1.46$

สำหรับ uniform MPD และช่วงห่างขนาด $10 - \mu\text{m}$ และโดยมีค่าดัชนีหักเหไม่เท่ากัน coupling loss L สามารถคำนวณได้โดยใช้ตาราง 1 ตัวแปรที่เป็นตัวกำหนด coupling loss คือ

- สำหรับ $Z = 10 \mu\text{m}$ $n_0 = 1 : s = 0.08, \Lambda = 0.5s = 4\%$, และ $L = 0.18\text{dB}$
- สำหรับ $Z = 10 \mu\text{m}$ $n_0 = 1.46 : s = 0.05, \Lambda = 0.5s = 2.7\%$, และ $L = 0.12\text{dB}$

ค่าดัชนีที่เหมาะสมจะลดค่าการสูญเสีย L ซึ่งลดมุม output จากเส้นใยนำแสงอีกเส้นที่ปล่อยสัญญาณออกมา และลดค่าการสูญเสีย L Fresnel Losses $L_f = 0.31\text{dB}$ ควรบวกด้วย L เพิ่มเข้าไปเพื่อให้ได้เป็นค่าการสูญเสียรวม total loss $L_f = 0.49\text{dB}$

แม้ว่า connector ที่ถอดออกได้สามารถทำให้เส้นใยนำแสงเชื่อมติดกันได้โดยง่าย แม้ไม่ติดกันแต่ก็ห่างกันเพียงแค่หน่วย micrometer เท่านั้น ส่วนที่ห่างกันนั้นมีใช้ตัวแปรสำคัญ ถ้าไม่เกิดการกวนกันขึ้น

2.18.2 การเลื่อนออกทางด้านข้าง Lateral displacement : รูป 17 แสดง ค่าสูญเสียที่เกิดจากการ coupling $L(\mu)$ อันเนื่องมาจากการแทนทางด้านข้าง μ_1 คำนวณได้จากความสัมพันธ์ตามตาราง 1 สำหรับ parabolic graded – index profile และแสดงรายละเอียดของ MPDs และเงื่อนไขของการวัด (ครั้งที่ระบุตาม I,II,III)

สำหรับเส้นใยนำแสงที่มีตัวแปรสำคัญเหมือนกันดังตัวอย่างข้างต้น ค่าการสูญเสียถูกทำให้เกิดขึ้นโดยการแทนที่ด้านข้าง $5 - \mu\text{m}$ นั้นสามารถคำนวณได้จากตาราง 1 เฉพาะ equilibrium MPD (ตามจุดเชื่อมต่อของเส้นใยนำแสงเส้นยาว)

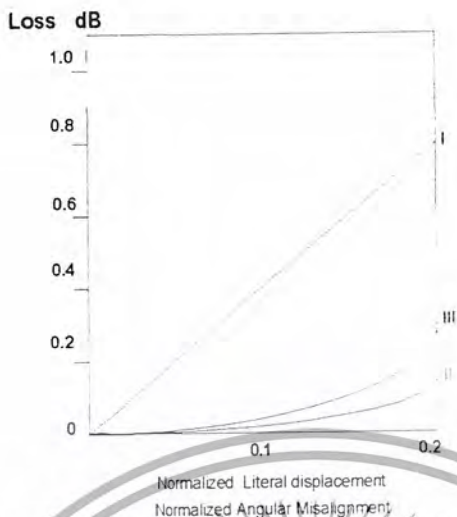
สำหรับ $d = 5 \mu\text{m}$: จะมี $\mu = 0.2, \Lambda = 1.84\mu^2 = 7.4\%$ และ $L = 0.33 \text{ dB}$

ความเหมาะสมของค่าดัชนีไม่มีผลต่อค่าการสูญเสีย L (แม้ว่ามันจะขจัด Fresnel losses) เพื่อที่จะรักษาค่าการสูญเสียของ connector ให้ต่ำกว่า 0.3 dB ไม่รวม (ค่าการสูญเสีย Fresnel) นั่นคือ จะต้องรักษาการแทนที่ทางด้านข้างให้น้อยกว่า $5 \mu\text{m}$

ความทนทานนี้จำเป็นต้องผลิตมาจากเครื่องที่มีความถูกต้องแม่นยำของชิ้นส่วนสำหรับ connector (ที่สามารถถอดเข้า-ออกได้) ในกรณีที่มีความซับซ้อนมากขึ้น ความทนทานนี้อาจจะถูกทำให้มีมากขึ้น และ uniform MPD จะถูกนำมาพิจารณา

2.18.3 มุมที่ไม่แนบสนิทกัน Angular Misalignment : เส้นโค้งที่เหมือนกันดังรูปที่ 16 หมายถึง ค่าการสูญเสียที่เกิดจากการ coupling (coupling loss) $L(t)$ ที่เกิดจาก มุมที่ไม่แนบสนิทกัน (ดังสมมติฐานของ parabolic , graded-index profile) สำหรับ MPDs 3 ข้อดังที่กำหนด และเงื่อนไขของการวัด ที่มีสัมประสิทธิ์เชิงตัวเลขเหมือนกันสำหรับทั้ง $L(u)$ และ $L(t)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 15 แสดงกราฟเส้นโค้งค่าการสูญเสียที่เกิดจากการ coupling ที่เกิดการ Lateral Displacement และ Alignment

ตัวแปรหรือปัจจัยของเส้นใยนำแสงที่เหมือนกันดังตัวอย่างก่อนหน้านี้ และ equilibrium MPD ที่สมมุติ และเส้นใยแสงในส่วนหลังจากการเชื่อมต่อ ค่าการสูญเสียจะเกิดขึ้นโดยมุมแห่งการไม่แนบสนิทกัน 1° สามารถคำนวณได้จากตาราง 1

- สำหรับ $\psi = 1^\circ$ และ $n_0 = 1 : \tau = 0.09, \Lambda = 1.84\tau^2 = 1.4\%$ และ $L = 0.06$ dB
- สำหรับ $\psi = 1^\circ$ และ $n_0 = 1.46 : \tau = 0.13, \Lambda = 1.84\tau^2 = 30\%$ และ $L = 0.13$ dB

ความเหมาะสมของค่าดัชนี จะลดค่ามุมของสัญญาณที่ปล่อยออกมาจากเส้นใยนำแสง และจะเพิ่มค่าความไวของจุดเชื่อมต่อ ต่อความไม่สอดคล้องกันของมุม

ในกรณีของ connector ที่สามารถถอดเข้า-ออกได้ ค่ามุมที่ไม่แนบสนิท ψ สามารถรักษาค่าให้อยู่ที่ระดับ 1° โดยปราศจากปัจจัยภายนอกและ ค่าการสูญเสียค่อนข้างต่ำ uniform coupling แบบสั้น MPD จะให้ค่าการสูญเสีย ที่มีค่าสูง ในความเป็นจริงที่ปลายของเส้นใยนำแสง ไม่สามารถทำให้เอียงและโก่งเคี้ยวเพียงพอ (ตลอดทั่วทั้งปลายสาย) เพื่อรับรองต่อการเดินทางของแสงได้

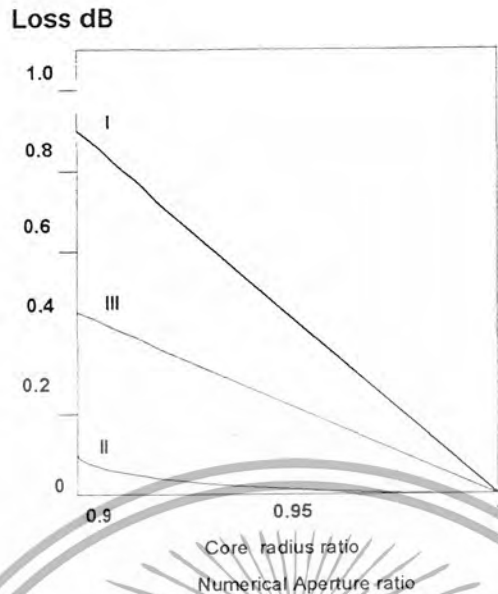
ดังนั้น ค่าการสูญเสีย อันเนื่องมาจากความไม่สอดคล้องกันของมุมมักจะมาคู่กันกับปริมาณของช่วงห่างของปลายสายของเส้นใยนำแสงค่าหนึ่ง (ดูรูป 14a) ที่เป็นตัวเพิ่ม total loss (ค่ากำลังงานรวม)

2.18.4 รัศมีของ core ไม่เท่ากัน Core Radius Mismatch : รูป 17 แสดง coupling loss $L(p)$ สำหรับเส้นใยนำแสงชนิด graded-index เนื่องมาจาก รัศมีของ core ไม่เท่ากัน

กราฟเส้นโค้งคำนวณได้จากความสัมพันธ์ในตาราง 1 และแต่ละเส้นแสดงให้เห็นรายละเอียดของ MPDs และเงื่อนไขของการวัด ดังที่ระบุตาม I,II,III

ตั้งตัวอย่างของเส้นใยนำแสงชนิด parabolic graded-index ทั้ง 2 ที่มีค่า $a_1 = 25 \mu m$ และ

$a_2 = 23.75 \mu m$ (ea=5%) สมมติว่าเป็นเส้นใยนำแสงยาวและเป็นแบบ equilibrium MPD ค่าการสูญเสียเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า สามารถคำนวณ ได้จากตาราง 1 ค่าการสูญเสียจะมีมากขึ้นถ้าพิจารณาแบบ uniform MPD ไม่วากกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 16 แสดง coupling loss $L(p)$ สำหรับเส้นใยนำแสงชนิด graded-index เนื่องมาจาก รัศมีของ core ไม่เท่ากัน

2.18.5 ขนาดของมุมเปิดรับแสงไม่พอดี Numerical Aperture Mismatch : เส้นโค้งที่คล้ายกับดังรูป 17 นั้น แสดงถึง coupling loss $L(q)$ อันเนื่องมาจาก numerical Aperture mismatch แต่ค่าสัมประสิทธิ์ทั้ง $L(p)$ และ $L(q)$ นั้นไม่ต่างกันสันนิษฐานว่าเป็น parabolic graded-index profile และ กราฟเส้นโค้งแสดงให้เห็นรายละเอียดทั้ง 3 ของ MPD และเงื่อนไขของการวัดในตาราง 1

ดังตัวอย่างเส้นใยนำแสงชนิด graded-index ทั้ง 2 เส้น ที่มีค่า $NA_1 = 0.2$ และ $NA_2 = 0.19$ ($e_{NA} = 5\%$) สมมติว่าเป็นเส้นใยนำแสงยาวและเป็นชนิด equilibrium MPD ค่าการสูญเสียสามารถคำนวณโดยใช้ตาราง 1

- สำหรับ $q = 0.95$: $\Lambda = 1 - q = 5\%$ และ $L = 0.22$ dB ตามการคาดคะเน uniform MPD จะให้ loss ให้สูงกว่า

2.18.6 หน้าสัมผัสของเส้นใยนำแสงเป็นวงรี Ellipticity : ดังตัวอย่างของผลของความเป็นวงรี ellipticity , สมมติว่าเส้นใยนำแสงชนิด parabolic graded index profile ทั้ง 2 เส้นมีมุมของความเป็นวงรีเหมือนกัน(แต่แกนเอกมีขนาด 90°) อ้างอิงตามรูป 16 แกนเอกและแกนโทมี $h = 48.6 \mu m$ และ $g = 51 \mu m$ สำหรับความเป็นวงรี $e = 5\%$ ตาม uniform MPD ค่าการสูญเสียสามารถคำนวณได้โดยใช้ตาราง 1

- สำหรับ $e = 0.05$: $\Lambda = 0.64e = 3.2\%$ และ $L = 0.14$ dB

2.18.7 ความไม่สอดคล้องกันของพื้นผิวเส้นใยนำแสง Reference Surface Mismatch : การไม่เท่ากันระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลาง $2b_1$ และ $2b_2$ ของพื้นผิวอ้างอิงชั้นนอกของเส้นใยนำแสง (โดยมักจะเป็น cladding แต่บางครั้งก็อาจจะเป็นชั้นเคลือบผิวชั้นแรก) นั้น เป็นสิ่งสำคัญแสดงดังรูป 15 กรณีตัวอย่าง เมื่อโครงสร้างแบบ V-groove นั้นถูกใช้เพื่อช่วยในการเชื่อมต่อเส้นใยนำแสง ตัวอย่างของความไม่สอดคล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับวงการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
แบบนั้นให้ผลเกี่ยวกับการ การเบี่ยงเบนระหว่างศูนย์กลางของ core ทั้ง 2 เส้น ที่จะเชื่อมต่อเป็นเส้นเดียวกัน(core
ไม่ว่างกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเส้นใยนำแสงทั้ง 2 เส้นถูกทำให้อยู่เป็นแนวศูนย์กลางเมื่อเทียบกับพื้นผิวอ้างอิงของ V-Groove ถ้า 2β เป็นมุมของ V-groove ปริมาณของระยะทางที่ถูกทำให้เบี่ยงเบนไปทางด้านข้าง d ระหว่างจุดศูนย์กลางของ core คือ

$d = (b_1 - b_2) / \sin \beta$. ความสัมพันธ์ตามตาราง 1 อ้างถึง การเบี่ยงเบนไปทางด้านข้าง d ซึ่งสามารถนำไปใช้คำนวณได้ ช่วงที่แคบจะทำให้ผลกระทบความไม่สอดคล้องของพื้นผิวอ้างอิงเช่นนั้นแยกลง

2.18.8 ความผิดพลาดของการมีจุดศูนย์กลางที่มีพื้นผิวอ้างอิงภายนอกพร้อมกันระหว่าง core กับพื้นผิวอ้างอิงภายนอก

Core- Reference-Surface Concentricity Error :

เมื่อเรารู้ค่าของความผิดพลาดของการมีจุดศูนย์กลางที่มีพื้นผิวภายนอกพร้อมกันระหว่าง core และพื้นผิวอ้างอิง (อาจจะเป็น cladding หรือว่า ผิวเคลือบชั้นนอกสุด) ของเส้นใยนำแสงทั้ง 2 ที่จะนำมาทำการ coupling กัน ค่า coupling loss สัมพันธ์กับค่าระยะการเคลื่อนที่ c ของแกนของ core ซึ่งสามารถคำนวณได้แสดงดังรูปที่ 17

2.18.9 ความไม่เหมาะสมกันทาง index profile : ความแตกต่างระหว่างรูปร่างของ index profile และ ความแตกต่างระหว่างค่า exponent α ในสมการ 9 และ 10 ที่ทำให้รูปแบบของ profile อธิบายได้ด้วยกฎที่ไม่สอดคล้องกับกฎของกำลังงานดังสมการ 9 และ 10 ที่นำไปสู่ coupling loss

2.19 Coupling losses in Single – Mode Fibers

เส้นใยนำแสงชนิด Single – mode ส่วนใหญ่จะมีความว่องไวต่อค่าความผิดพลาดในการทำให้เส้นใยนำแสงแนบติดกันมากกว่าเส้นใยนำแสงชนิด multimode เพราะว่ามีขนาดของ core เล็กกว่า การประเมินค่า coupling loss สำหรับ index profile ที่ไม่แน่นอนสามารถใช้เทคนิคที่เรียกว่า numerical technique เมื่อค่าความผิดพลาดของการ coupling ถูกนำมาพิจารณา (ในความเป็นจริง ระบบการทำงานที่สูงของระบบ single – mode ไม่เกี่ยวข้องกับค่า coupling losses ที่สูงขึ้น) และสามารถใช้สมการการวิเคราะห์ที่ถูกต้องได้ แต่อาจจะต้องปรับเปลี่ยนไปตามลักษณะ index profile ที่เฉพาะในปัญหา

อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์โดยตรงจะได้มาเมื่อ การแพร่กระจายสนามภายในเส้นใยนำแสง สามารถประมาณโดยใช้ ฟังก์ชันของ Gaussian

$$E(r) = E_0 e^{-r^2/w^2} \quad (26)$$

เมื่อ r = รัศมีรวม และ w = ตัวแปรครึ่งความกว้าง (เกี่ยวข้องกับค่า $1/e$ ของ Amplitude ของสนามที่สัมพันธ์กับ $E(r)/E(0)$) การเท่ากันที่ดีที่สุดระหว่าง Gaussian และ การแพร่กระจายสนามจริงสำหรับ step-index profile ได้มาจาก w ที่ทำให้เกิดความสัมพันธ์

$$\frac{w}{a} = 0.65 + \frac{1.619}{v^{3/2}} + \frac{2.879}{v^6} \quad (27)$$

โดย a = รัศมีของ core และ v = ค่าความถี่ normalized

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ [$H = (2\pi a / \lambda) (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$] เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไป (28) ระบุชื่อในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

reflexive index profile ที่ต่างกันต้องการ w/a สูงสุดแตกต่างกัน โหมดที่ได้จากการวัด รัศมีสนาม w สามารถได้จากการทดลอง ตัวอย่างเช่น การปรับเส้นโค้ง Gaussian ให้เหมาะสมกับ pattern ความเข้มของระยะ near-field ของเส้นใยนำแสงดังกล่าว

การประมาณแบบ Gaussian นั้นดีพอในช่วงความถี่ใช้งาน ที่ทำให้เกิดการประมาณที่สำคัญของ อิทธิพลของ misalignment และ mismatch บน สัมประสิทธิ์ของการ coupling ใน single – mode fiber อย่างไรก็ตาม ควรจะสนใจและพิจารณาถึง index-profile ที่ซับซ้อนขึ้นด้วย

ภายในข้อจำกัดของการประมาณแบบ Gaussian สัมประสิทธิ์การ coupling ที่เกิดหลังจากการรวมกัน ของ :

- ช่วงห่าง Z
- การแทนที่ทางด้านข้าง d
- ความไม่เหมาะสมของมุม ψ
- การไม่เข้ากัน (mismatch) โหมดของบะเขตของสนาม w_1 และ w_2 อธิบายได้โดย

$$\eta = \left(\frac{4D}{B} \right) e^{-AC/B} \tag{29}$$

โดยที่

$$\begin{aligned} A &= (kw_1)^2 / 2 & B &= G^2 + (D+1)^2 \\ C &= (w_1 / w_2) & F &= 2d / kw_1^2 \\ G &= 2z / w_1^2 & K &= 2\pi n_0 / \lambda \end{aligned}$$

โดยปกติแล้ว n_0 จะเป็นค่าดัชนีหักเหของตัวกลางระหว่างปลายของเส้นใยนำแสง และ λ จะเป็น ความยาวคลื่น ค่า coupling loss ในหน่วยเดซิเบล คือ $L = -10 \log \eta$

สมการที่ง่ายกว่านั้นสามารถแสดงได้เมื่อเฉพาะ misalignment หรือ mismatch อย่างใดอย่างหนึ่ง เกิดขึ้นเพียงคนเดียว หรือ การรวมกันอย่างง่ายของ misalignment ซึ่งสอดคล้องกับสมการ 27 สมการนี้มี ดังต่อไปนี้

2.19.1 ช่วงห่าง Separation : สำหรับช่วงห่างเท่านั้นและไม่มีโหมดของสนามที่ไม่เหมาะสมกัน นั่นคือ $(w_1 = w_2 = w)$

$$\eta = \frac{1}{Z^2 + 1} \tag{30}$$

เมื่อ

$$Z = z\lambda / 2\pi n_0 w^2 \tag{31}$$

ยกตัวอย่าง สมมติว่า λ ขาว 1.3 μm n_0 มีค่าเท่า 1 และ w มีค่า 5 μm และช่วงห่าง z มีค่าเท่ากับ 10 μm ค่า Coupling Loss จะมีค่า $L = -10 \log 0.99 = 0.03$ dB (สังเกตค่านี้ไม่ได้รวมค่าของ fresnel loss)

2.19.2 การแทนที่ทางด้านข้าง Lateral Displacement : สำหรับการแทนที่ด้านข้างเท่านั้น ไม่มีโหมดของ สนามที่ไม่เหมาะสมกัน นั่นคือ $(w = w_1 = w_2)$

$$\eta = e^{-u^2} \quad U = \frac{d}{w} \tag{32}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง ยังคงพิจารณาสมมติฐานที่เหมือนกับกรณีก่อนหน้านี้ ยกเว้นช่วงห่างเป็น “0” ถ้าแทนที่ทางด้านข้างเป็น $1 \mu\text{m}$ ค่า coupling loss จะเป็น $L = -10\log 0.96 = 0.17 \text{ dB}$ (ไม่รวม Fresnel loss)

2.19.3 มุมไม่สอดคล้องกัน Angular Misalignment สำหรับกรณีที่มีมุมไม่สอดคล้องกันเท่านั้น และไม่มีโหมค (ขอบเขตของสนาม) ไม่เท่ากัน ($w = w_1 = w_2$)

$$\eta = e^{-T^2}, \quad T = \frac{\sin \psi}{\lambda / n_0 \pi \omega} \quad (33)$$

ตัวอย่าง ยังคงสมมติฐานทั่วไปที่เหมือนกับกรณีแรก และให้ช่วงห่างและเคลื่อนที่เป็น “0” ถ้าการไม่สอดคล้องของมุมเบี่ยงเบนเป็น 1° ค่า coupling loss จะเป็น $L = -10\log 0.96 = 0.19 \text{ dB}$ (ไม่รวม fresnel loss)

2.19.4 ผลการเคลื่อนที่ทางด้านข้าง และมุมที่ไม่สอดคล้อง Combination of Lateral Displacement and Angular Misalignment : โดยไม่มีโหมคการแพร่กระจายสนามที่ไม่เข้ากัน ($w_1 = w_2 = w$)

$$\eta = e^{-(L^2 + T^2)} \quad (34)$$

ตัวอย่าง ยังคงเป็นสมมติฐานทั่วไปที่เหมือนในกรณีแรก และให้ช่วงห่าง $z = 0$ ถ้าความไม่สอดคล้องของมุม ψ เป็น 1° และเคลื่อนที่ไป d เป็น $1 \mu\text{m}$ coupling loss จะได้เป็น $L = -10\log 0.92 = 0.37 \text{ dB}$ (ไม่รวม fresnel losses)

2.19.5 โหมคการแพร่กระจายสนามไม่เหมาะสมกัน Mode Field Radius Mismatch

$$\eta = \frac{4}{[(w_2/w_1) + (w_1/w_2)]^2} \quad (35)$$

เป็นที่สังเกตว่าเส้นใยนำแสงชนิด single-mode ที่มีการแพร่กระจายไม่เข้ากันจะมี $w_1 > w_2$ และ $w_1 < w_2$ ซึ่งที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนกับกรณีของเส้นใยนำแสงชนิด multimode ในจุดเชื่อมต่อของ single-mode จะมี loss เกิดขึ้น แม้ว่าสายเส้นใยนำแสงที่ส่งจะมีโหมคการแพร่กระจายสนามเล็กกว่าสายเส้นใยนำแสงเส้นที่รับ

ตัวอย่าง ยังคงพิจารณาค่าเดียวกับตัวอย่างแรก ถ้า w_1 เท่ากับ $4.5 \mu\text{m}$ และ $w_2 = 5.5 \mu\text{m}$ coupling loss อันเนื่องมาจาก ความไม่เข้ากันของรัศมีจะเป็น $L = -10\log 0.96 \text{ dB} = 0.17 \text{ dB}$ (ไม่รวม Fresnel loss)

ถ้ากลับค่าความไม่เข้ากัน คือ w_1 เป็น $5.5 \mu\text{m}$ และ $w_2 = 4.5 \mu\text{m}$ ก็จะได้ค่า loss ที่เท่ากันเช่นกัน รูป 18a และ b แสดงรูป coupling loss ใน function ของ ตัวแปรที่ไม่สอดคล้องที่ได้จากสมการ 28 ถึง 30 รูป 18c แสดง coupling loss ใน function ของอัตราส่วนของโหมคการแพร่กระจายสนาม w_1/w_2 ที่ได้จากสมการ 32 สังเกตว่าเราไม่ได้พิจารณาถึง Fresnel losses

2.20 Splice

การ splice เส้นใยนำแสงใช้ในการเชื่อมเส้นใยนำแสงให้ติดกันอย่างถาวร เมื่อระบบมีการขยายยาวเกินกว่าที่ความยาวของ cable ที่ผลิตจากโรงงานจะไปถึงหรือเมื่อชิ้นส่วนของ cable ที่ที่ติดตั้งจะต้องต่อร่วมกับอุปกรณ์อื่น ๆ เช่น ข้อจำกัดในทางปฏิบัติ เพราะว่าการ splice เส้นใยนำแสงจำเป็นต้องทำให้การส่งผ่านคลื่นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นไปอย่างต่อเนื่องบนบริเวณเชื่อมต่อ การได้รับและคงไว้ซึ่งค่า loss ต่ำสุดเป็นวัตถุประสงค์เบื้องต้น โดยเฉพาะการทำงานที่ขนาด $1.3 \mu m$ และ $1.55 \mu m$ บนการสื่อสารระยะไกล

วิธีการ splice จำเป็นต้องไม่ให้มีความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเนื่องจากความไม่เป็นเส้นเดียวให้ได้มากที่สุด รูป 19 แสดงผลกระทบที่เกิดจากการเลื่อนออกทางด้านข้าง ซึ่งทำให้เกิดปัญหาและยุ่งยากมากที่สุดในความไม่สอดคล้องกันในหลายๆประเภท ใน loss ที่เกิดจากการ splice เส้นใยนำแสงที่มีขนาดของ core = $50 \mu m$ และเป็นชนิด graded-index multimode และขนาด core = $10 \mu m$ และเป็น single - mode นั้นนิยมใช้แพร่หลายดังรูปที่แสดง เราจำเป็นต้องรักษาระดับของการเลื่อนออกทางด้านข้าง (เคลื่อนที่ด้านข้าง) ให้ต่ำกว่า $3 \mu m$ และ $0.75 \mu m$ ตามลำดับ เพื่อที่จะให้เกิด loss ที่เกิดจากการ splice น้อยกว่า 0.1 dB

นอกจากนั้น การ matching และคุณสมบัติทางโครงสร้างของเส้นใยนำแสงที่คืนนั้นก็เป็นสิ่งสำคัญ เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงสิ่งที่จะเกิดตามมาคือ intrinsic loss

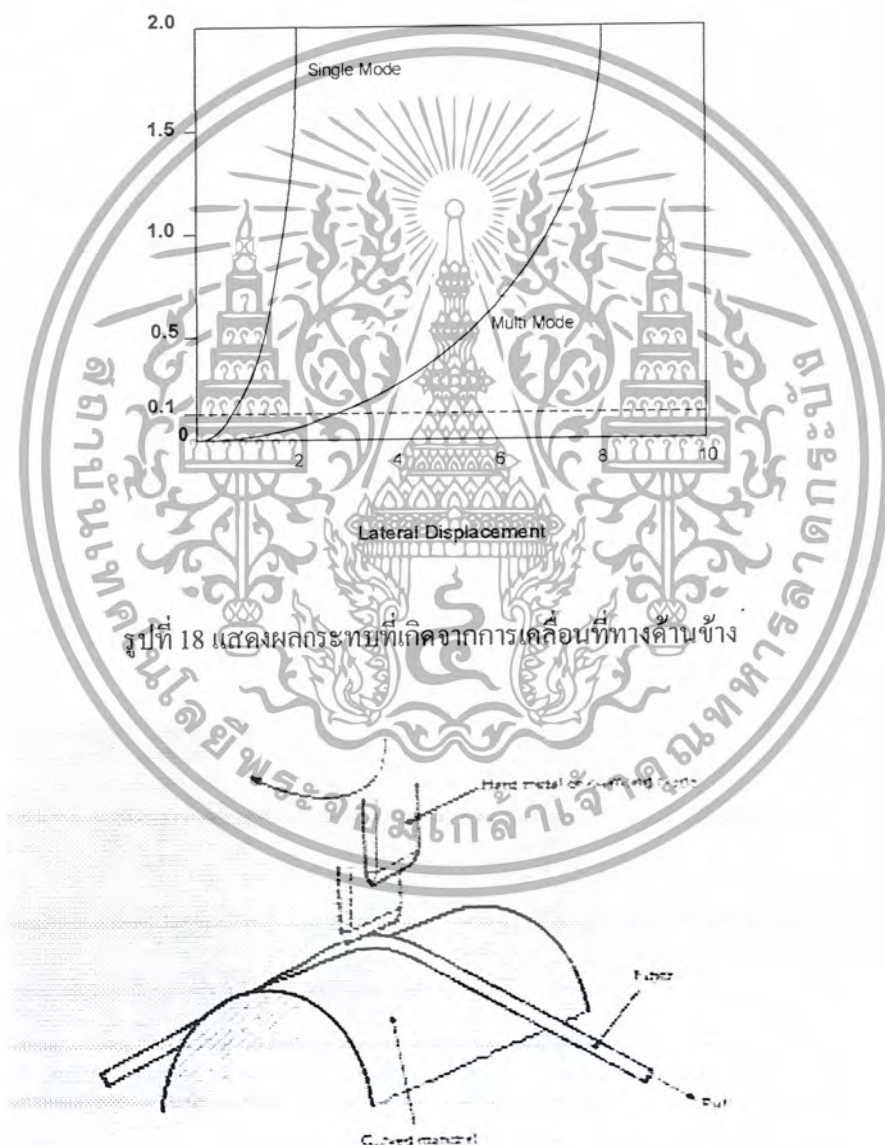


รูปที่ 17 แสดงรูป coupling loss

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การ matching ที่ดีได้มาจากการทำให้เส้น โยนำแสงมีความทนทานในระหว่างการผลิต ยิ่งกว่านั้น ค่า loss ต่ำๆที่เกิดจากการ splice จำเป็นต้องทำให้ปลายเส้น โยนำแสงมีคุณภาพที่สูงๆด้วย ต้องให้ราบเรียบไม่ขรุขระและตั้งฉากกับแกนของมันเองด้วย

วิธีการที่ง่ายและใช้กันกว้างขวาง คือ การทำให้เกิดรอยบากด้วย "มีดตัด" (diamond blade) จากนั้นงอเส้น โยนำแสงให้มีความโค้งพอเหมาะและใช้เครื่องดึงให้ตึง ดังรูป 20 นี้จะทำให้เกิดรอยบากที่พื้นผิวของเส้น โยนำแสงคล้ายกับว่าผิวนอกของเส้น โยนำแสงถูกแบ่งเป็นช่วง เครื่องตัดหลายชนิดที่ใช้ในเทคนิคนี้ถูกพัฒนาให้รับประกันผลที่เกิดขึ้นให้พอยอมรับได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ระบุว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.20.1 การ splice ทาง (Mechanical Splices)

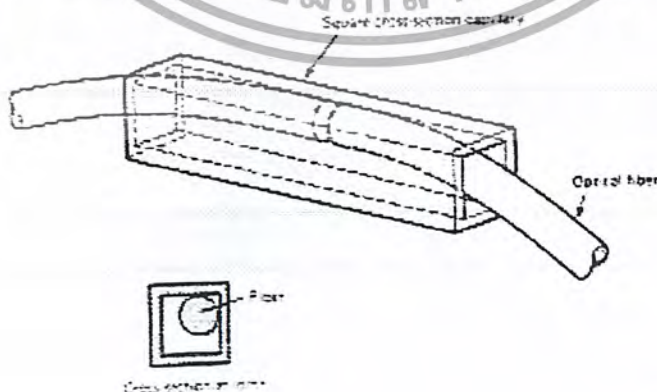
การ splice ทางกลจะใช้อุปกรณ์ช่วยยึดติดที่เหมาะสมเพื่อให้ปลายเส้นใยนำแสงยึดติดแน่นและเป็นเส้นเดียวกัน อุปกรณ์จำนวนมากถูกสร้างมาเพื่อจุดประสงค์นี้โดยเฉพาะ ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ capillary splices และ groove splices

หลอดที่มีรูเล็ก (capillary) ที่เป็นแก้วหรือเซรามิกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในมีขนาดใหญ่มากกว่า เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยนำแสงเพียงเล็กน้อย (capillary) จะถูกนำมาเป็นอุปกรณ์ splice อย่างง่ายๆ ดังรูป 21 ปลายสายของเส้นใยนำแสงทั้ง 2 เส้นจะถูกห่อหุ้มด้วย capillary และเชื่อมติดกันด้วยกาวใสหรืออาจจะยึดติดด้วย epoxy โดยหยอดผ่านทางรูเล็กๆ ที่เจาะไว้ด้านข้าง กาวใสนี้จะทำให้การเชื่อมต่อมีประสิทธิภาพและมีค่าดัชนีที่เหมาะสมกัน ด้วยเหตุนี้ การทำให้การ splice มีเสถียรภาพจะเป็นการขจัด Fresnel loss ด้วย สิ่งที่เป็นปัญหาสำหรับการ splice ด้วยวิธีการนี้ คือ ถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางของ capillary มีช่องว่างระหว่างเส้นใยนำแสง และ ช่อง capillary มาก จะทำให้เกิดการไม่เชื่อมต่อเป็นเส้นเดียวกัน และถ้าคืบเกินไปจะทำให้เสียปลายเส้นใยนำแสงยาก



รูปที่ 20 แสดงวิธีการทำ capillary splices (1)

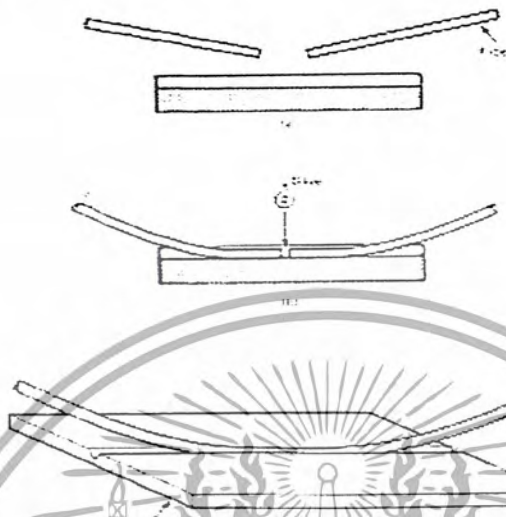
เส้นใยนำแสง 2 เส้นที่เสียบเข้าไปใน capillary สามารถงอได้ใน capillary ในทิศทางเดียวกัน หรือ อาจจะทำให้คืบมุมใดมุมหนึ่งของ capillary ก็ได้ ดังแสดงในรูป 22



รูปที่ 21 แสดงวิธีการทำ capillary splices (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 21 แสดงวิธีการทำ capillary splices (2)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

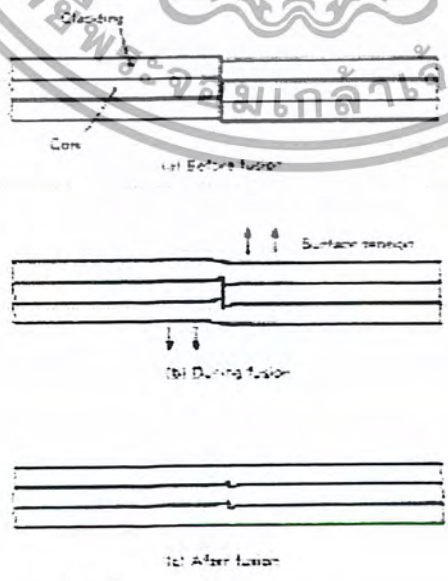
วิธีที่นิยมใช้ splice อีกแบบหนึ่งคือ การใช้การ splice แบบช่องรูปตัว V (V-groove) เพื่อเชื่อมสาย
เส้นใยนำแสงให้เป็นเส้นเดียวกัน โดยผิวของเส้นใยนำแสงที่เป็นรูปทรงกระบอกจะอยู่ในร่องรูปตัว V ดังรูป
23 และมักเชื่อมติดกัน โดยใช้ epoxy ที่เป็นกาวใส



รูปที่ 22 แสดงวิธีการทำ groove splices

2.2.0.2 การ splice แบบรวมกัน (Fusion splice)

วิธีการที่เชื่อม optical fiber ให้ติดกันและมีคุณภาพคือวิธีการ fusion splice วิธีการนี้ปลายสาย
เส้นใยนำแสงจะถูกทำให้เชื่อมติดกัน โดยใช้การฉายประจุเป็นแหล่งพลังงานความร้อนระหว่างแท่ง electrode
แสดงดังรูป 24



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 23 การเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงแบบ fusion splice
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.21 Optical-Fiber Direction Coupler

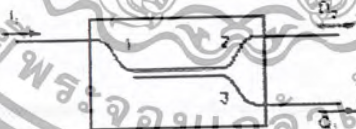
ข้อพิจารณาโดยทั่วไป

นอกจากการเชื่อมต่อจุดต่อจุกอย่างง่าย ๆ การสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงมักจะมีรูปร่างที่ซับซ้อนขึ้นและแตกต่างกัน เช่น แบบวงแหวน แบบสตาร์และ แบบบัส แลบ่อยครั้งก็นิยมใช้ในระบบ LAN (Local Area network) ในการประยุกต์ใช้งาน จำเป็นต้องมีหน้าที่การทำงานพิเศษหลายอย่าง เช่น การแจกจ่ายสัญญาณแยกไปให้กับผู้ใช้บริการ การรวมสัญญาณที่แยกมาจากที่ต่างๆ ให้เป็นสัญญาณในเส้นเดียวกัน การใช้ประโยชน์จากเส้นใยนำแสงเส้นเดียวกันสำหรับการเชื่อมต่อแบบ bidirection → การทำงานของหน้าที่การทำงานพิเศษเหล่านี้ สามารถใช้งานได้โดยตรงกับสัญญาณแสง และพยายามหลีกเลี่ยงการแปลงกำลังงานจากกำลังงานแสงเป็นกำลังงานไฟฟ้า ด้วยการใช้อุปกรณ์ optic ที่เป็น passive ซึ่งรู้จักกันดีคือ optical directional couplers

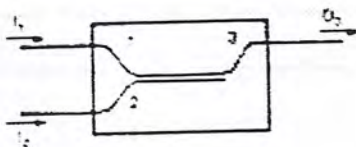


รูปที่ 24 แสดงอุปกรณ์ชนิดนี้ โดยมี N เป็นจำนวน input port และ M เป็น output port

ในรูปแสดงอุปกรณ์ชนิดนี้ โดยมี N เป็นจำนวน input port และ M เป็น output port ดังรูป 25 optical coupler มักจะมี connector อยู่ด้วยเพื่อให้การเชื่อมต่อระหว่างเส้นใยนำแสง optic และอุปกรณ์ Active เป็นไปได้ง่าย



รูปที่ 25 แสดงลักษณะ Y coupler หรือ T coupler



รูปที่ 26 แสดงลักษณะ optical combiner

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

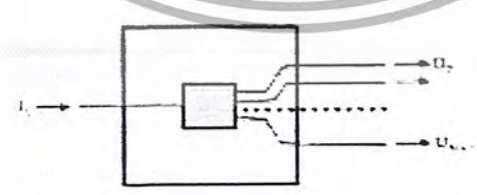
Optical coupler จะมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามลักษณะการใช้งาน เช่น Y coupler (หรือ optical coupler) เป็นอุปกรณ์ที่แบ่งกำลังงานแสงจาก 1 สาย input และแบ่งเป็น 2 output ในเส้นใยนำแสงตามรูป 26 แต่เมื่อ 1 ใน 2 port ของ output มีแค่กำลังส่วนน้อยของกำลังงานรวมทั้งหมด บางครั้งจึงเรียกว่า T coupler หรือ optical tap และถูกใช้เป็นที่บอกถึงระดับกำลังงานที่ถูกนำพามาโดยเส้นใยนำแสงเส้นหลัก เมื่ออุปกรณ์ชนิดนี้ถูกใช้รวมสัญญาณที่มาจากเส้น ใยนำแสง 2 เส้น เป็นสัญญาณในเส้นใยนำแสงเส้นเดียวจะถูกเรียก optical combiner ดังรูป 27 แต่ถ้าทำหน้าที่ทั้ง รวมกำลังงานและแยกกำลังงานภายในอุปกรณ์ตัวเดียวกันนี้จะเรียกว่า x coupler หรือ 2 x 2 directional coupler ดังรูป 28 อุปกรณ์ชนิด multiport จะมี port input หรือ output มากกว่า 2 จะเรียกว่า star coupler ดังรูป 29 ในขณะที่ tree coupler จะมีลักษณะ 1xM หรือ Mx1 coupler เมื่อ $M > 2$ ดังรูป

30



รูปที่ 27 แสดงลักษณะ multiport

รูปที่ 28 แสดงลักษณะ star coupler

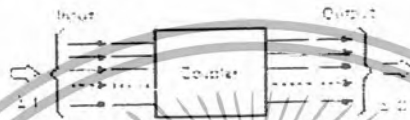


รูปที่ 29 แสดงลักษณะ tree coupler

Star coupler และ tree coupler จะใช้บ่อยในระบบ LAN ที่แบ่งแยกกำลังงานที่output จาก input เดียว เพื่อสัญญาณ ไปที่ต่างๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในความรู้สึกที่ว่าไม่มีการส่งผ่านกำลังงานที่เกิดขึ้น อย่างน้อยก็ในอุดมคติ optical coupler จะเป็นตัวผลักดันให้เกิดการส่งผ่านกำลังงานตั้งแต่ 1 port input ไปจนหลายๆ port input บ่อยครั้งที่เราจะเห็นว่า coupler มีลักษณะสมมาตร เนื่องจากกำลังงานส่วนหนึ่งจะผ่าน coupler ถ้าเส้นทางระหว่าง input port และ output port สลับกัน (คือ input port จะกลายเป็น output port ของการส่งกำลังงานในทิศทางตรงข้าม และ output port จะกลายเป็น input port)

ปัจจัยพื้นฐานที่อธิบายถึงลักษณะเฉพาะของ optical coupler แสดงได้ดังนี้ กับรูปแสดงอ้างอิงตามรูป 31 ถ้า I_i คือ กำลังงาน input ที่มีจำนวน i port และ O_j เป็นกำลังงาน output ที่ออกมามี j port , $\sum_i I_i$ และ $\sum_j O_j$ เป็นกำลังงานรวมของทั้ง 2 port ที่เข้า coupler และ ออกจาก coupler ตามลำดับ



รูปที่ 30 ลักษณะเฉพาะของ optical coupler

ความแตกต่างของกำลังงาน ΔP ($\Delta P = \sum_i I_i - \sum_j O_j$) เป็นผลรวมของกำลังที่สูญหายระหว่างที่เดินทางจาก input port ไปยัง output port เนื่องมาจากการสะท้อนของกำลังงาน กระเจิงและความไม่สมบรูณ์ในหลายๆด้าน ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (η) ของ coupler มีค่าเป็น

$$\eta = \frac{\sum_j O_j}{\sum_i I_i} \tag{36}$$

ในขณะที่กำลังงานสูญเสียส่วนน้อย คือ

$$\Lambda = \frac{\Delta P}{\sum_i I_i} = 1 - \eta \tag{37}$$

ค่า excess loss ที่แสดงในหน่วย decibel คือ

$$L = -10 \log \eta \tag{38}$$

ค่ากำลังงานที่ output ที่ port ที่ j คือ

$$O_j = \sum_i A_{ji} I_i \tag{39}$$

ค่าคงที่สัมประสิทธิ์การ coupling ระหว่าง input port i port และ output port j port และออกที่ output เป็นจำนวน j port A_{ji} ซึ่งจริงๆแล้วต้องเปิดตารางค่าทั้งหมดที่ผลกระทบบที่เกิดจากการแตกตัวในสายเส้นใยนำแสง และการสูญเสียกำลังงานส่วนน้อยใน coupler มีสาเหตุมาจากการสะท้อน, การกระเจิง, และความไม่สมบรูณ์ในหลายๆด้าน ค่า insertion loss ที่เกิดขึ้นจาก input port ไปยัง output port ในหน่วย decibel คือ

$$L_{ji} = -10 \log A_{ji} \tag{40}$$

ค่า directivity ของ optical coupler วัดได้จากการแยกกันระหว่าง input port เมื่อกำลังงานถูกปล่อยไปใน port ที่ i การแยกระหว่าง input port ที่ I และ K ตามรูป 26 แสดงในหน่วย decibel คือ

$$D_{ki} = -10 \log \frac{R_k}{I_i} \tag{41}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ R_k เป็นผลรวมของกำลังงานย้อนกลับที่ไม่ต้องการที่ port ที่ k เมื่อ port อื่นๆมีค่าดัชนีหักเหที่เหมาะสม(ถ้าเป็นไปได้) เพื่อหลีกเลี่ยงการสะท้อนกลับ ในเงื่อนไขการทำงานจริงๆเป็นพื้นผิวที่มีการสะท้อนไม่เหมาะสมใน port ก็เป็นสิ่งสำคัญในการลดภาวะการแยกออก

Splitter อย่างง่ายแสดงดังรูป 26 วิเคราะห์ได้ดังนี้ กำลังงาน I 1 ที่ป้อนเข้าสู่ input port 1 แบ่งเป็น Q_2 และ Q_3 ที่ output port 2 และ 3

ค่าอัตราส่วนการแยก (splitting ratio) ถูกกำหนดเป็น

$$S = \frac{Q_2}{Q_3} \quad (42)$$

แต่มักจะแสดงเป็นอัตราส่วน เช่น 1:1, 3:1, 10:1 ค่า Insertion loss ตามเส้นทาง 1-2 และ 2-3 ตามลำดับคือ

$$L_{21} = -10 \log \frac{Q_2}{I_1} = -10 \log A_{21} \quad (43)$$

$$L_{31} = -10 \log \frac{Q_3}{I_1} = -10 \log A_{31} \quad (44)$$

อุปกรณ์ตัวเดียวกันนี้สามารถใช้งานแบบกลับทิศทางได้ เช่นดังในตัว coupler ที่ทำหน้าที่รวมสัญญาณ ในกรณีนี้ ถ้า coupler มีลักษณะสมมาตร L_{12} จะเท่ากับ L_{21} และ L_{13} และ L_{31}

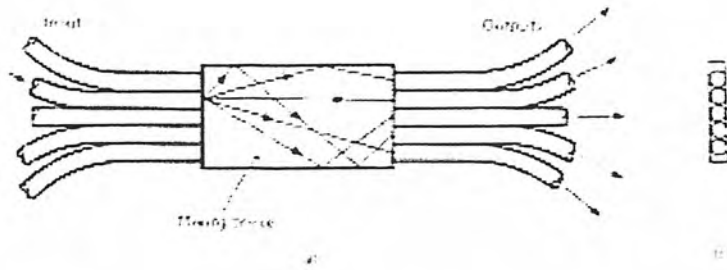
Star coupler เป็นชนิดที่คาดว่าจะมีค่าคงที่สัมประสิทธิ์การ coupling ระหว่างคู่ input และคู่ output port 1 ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะที่เกิดจาก insertion loss และจากการเบี่ยงเบนของค่าเฉลี่ย โดยสามารถคาดเดาได้ที่ port เดียว แต่ละ port ยกตัวอย่างเช่น 4x4 star coupler อาจจะมีค่า insertion loss เฉลี่ยประมาณ 6 dB เนื่องจากการ coupling ที่ไม่เป็นแบบเดียวกันระหว่างช่องสัญญาณด้วยกัน

Optical coupler นั้นผลิตขึ้นมาจาก หลักการและเทคโนโลยีที่แตกต่างกับดังนี้ จะเป็นตัวอย่างอุปกรณ์และคุณสมบัติเช่น micro-optic หรือ การ coupled-fiber ทั้ง single-mode และความสมมาตรและไม่สมมาตร ดังนี้

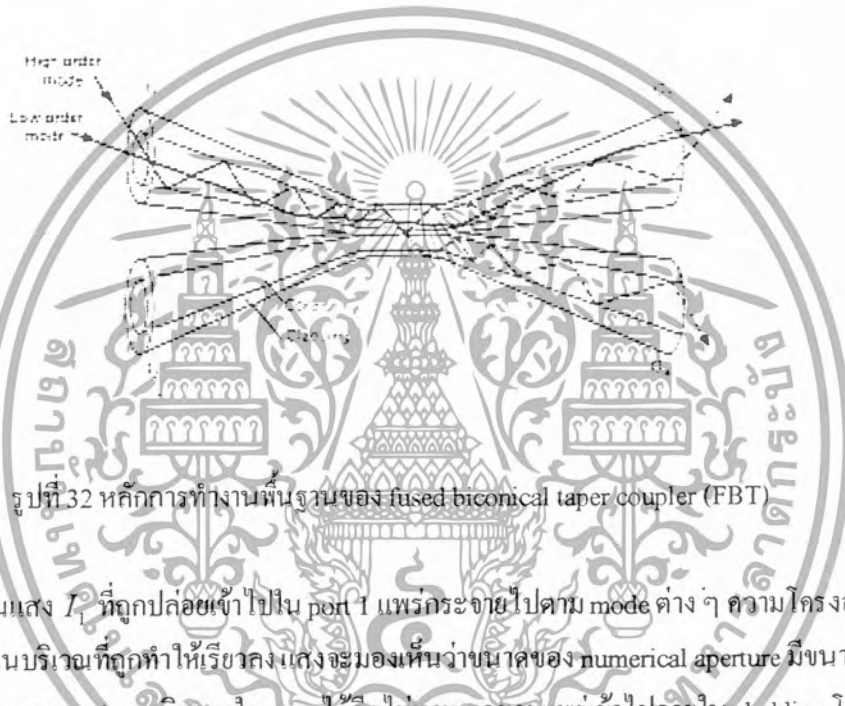
2.22 Coupled-Fiber Device (Multimode Fibers)

x-coupler <เส้น ใยนำแสงที่ไขว้กัน> อย่างง่ายสามารถทำได้โดยวิธี ทำให้เรียบบริเวณที่ coupling การตีเกลียว และเชื่อมเข้าด้วยกัน สำหรับเส้น ใยนำแสงชนิด multimode 2 เส้น กระบวนการเหล่านี้ เรียกว่า fused biconical taper coupler (FBT) หลักการทำงานพื้นฐานของ coupler สามารถอธิบายได้โดยอ้างอิงกับภาคตัดความยาวบริเวณที่มีการ coupling (รูป 33) เป็น Step-index fiber สมมุติให้มีปริมาณแสงสูงสุด เพื่อความเข้าใจง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 31 micro-optical star coupler

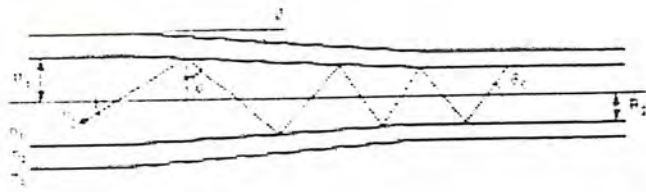


รูปที่ 32 หลักการทำงานพื้นฐานของ fused biconical taper coupler (FBT)

กำลังงานแสง I_1 ที่ถูกปล่อยเข้าไปใน port 1 แพร่กระจายไปตาม mode ต่าง ๆ ความโค้งสร้างเมื่อ mode นำคลื่นอยู่ในบริเวณที่ถูกทำให้เรียวลงแสงจะมองเห็นว่าขนาดของ numerical aperture มีขนาดเล็กลง ดังนั้น mode สูง ๆ บาง mode จะเดินทางใน core ได้อีกไม่นาน และจะแพร่เข้าไปภายใน cladding โดยผ่านช่องว่างที่บริเวณที่เชื่อมติดกันจนเกือบจะป็นเส้นเดียว ต่อจากบริเวณที่ coupling แต่ละข้างจะมีส่วนที่ทำให้เรียวลงติดกัน (tapered regions) ในลักษณะมองกลับกัน และกำลังงานแสงจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ข้างข้างละเท่า ๆ กัน เพราะว่าค่ามุม numerical aperture มีขนาดกว้างขึ้นแสงจึงเดินทางไปใน core ต่อไป ด้วยกลไกทำงานนี้ ส่วนหนึ่งของกำลังงาน input ที่ได้มาจาก core ของเส้นใยนำแสงเส้นแรก จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน และเดินทางต่ออีกครั้ง จนไปถึง port output 3 และ 4 ตรงกันข้ามกันใน mode ต่ำ ๆ กำลังงานแสงจะไม่ถูกดึงออกมาจาก core แต่จะเดินทางตรงไปยัง output port 3

คุณสมบัติบางประการที่สำคัญของ coupler ชนิด FBT สามารถทำให้ชัดเจนขึ้นด้วยการอ้างอิงคุณสมบัติพื้นฐานของเส้นใยนำแสงชนิด tapered ดังรูป 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 33 คุณสมบัติพื้นฐานของเส้นใยนำแสงชนิด tapered

การแพร่กระจายของแสงผ่านตามบริเวณ taper (ทำให้มีลักษณะเฉพาะ ด้วยมุม taper angle β) จะทำให้ได้รับ propagation angle สูงขึ้น (มุมจะเทียบกับแกนของเส้นใยนำแสง) เริ่มต้นด้วยค่า θ_0 ค่า propagation angle จะเพิ่มทีละ 2β ณ จุดสะท้อนแต่ละครั้งที่ผิวสัมผัสระหว่าง core และ cladding ครบเท่าที่มุมตกกระทบยังคงใหญ่กว่ามุมวิกฤต (critical angle) แสงยังคงถูกนำและปรากฏออกมาจากบริเวณที่ถูกทำให้เรียวลง (taper region) จนมีขนาดมุม θ_0 เทียบกับแกนของเส้นใยนำแสง ถ้าบริเวณที่ taper รวบเรียบ และจำนวนครั้งในการสะท้อนมีหลายครั้ง θ_0 นิยามโดย

$$\sin \theta_0 = \frac{R_1}{R_2} \sin \theta_1 \quad (45)$$

โดยที่ R_1 และ R_2 คือ รัศมีของ core ก่อนและหลังบริเวณ taper ตามลำดับ ดังนั้น propagation angle ของแสงที่ output ของ taper จะขึ้นอยู่กับ tapering ratio R_1/R_2 เมื่อมุมตกกระทบ θ_1 น้อยกว่ามุมวิกฤต แสงจะไม่ถูกนำพาไปใน core แต่ยังคงถูกจำกัดเขตให้อยู่ภายใน cladding จะได้ว่า

$$\sin \theta_0 \leq \sin \theta_{0M} = \frac{(n_1^2 - n_0^2)^{1/2}}{n_1} \quad (46)$$

เมื่อ n_0 และ n_1 เป็นค่าดัชนีหักเหของตัวกลางภายนอกและ core ตามลำดับ และ θ_{0M} เป็นมุม propagation angle สูงสุดของแสงที่ถูกจำกัดอยู่ภายในที่ input ของ coupler มุมปล่อยแสงสูงสุด θ_{0M} ถูกจำกัดโดย numerical aperture ของเส้นใยนำแสงดังนี้

$$n_1 \sin \theta_{0M} = NA = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \quad (47)$$

เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงการแพร่กระจายนอก cladding ด้วยแสงที่ยอมรับได้ใด ๆ

$$\theta_0(\theta_{0M}) \leq \theta_{0M} \quad (48)$$

ดังนั้น จากสมการ 39 - 41

$$\frac{R_1}{R_2} \leq \left(\frac{n_1^2 - n_0^2}{n_1^2 - n_2^2} \right)^{1/2} \quad (49)$$

ซึ่งขอบเขตบนของ tapering ratio R_1/R_2 ถ้านอกเหนือจากเงื่อนไขนี้แสงจะกระจายออกนอก coupler ทำให้ loss สูงขึ้น แสงที่มักถูกนำพาโดยเส้นใยนำแสงที่ปล่อยแสงออกมา และไม่ได้รับร่วมกันเพื่อ coupling นิยามง่าย ๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งตามสมการ 45 จะได้เป็น

$$n_1 \sin \theta_i = \left(\frac{R_2}{R_1} \right) (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \quad (51)$$

ดังนั้น numerical aperture สำหรับโครงสร้างที่เป็นแบบ tapered, NA_T สามารถกำหนดได้เป็น

$$NA_T = n_1 \sin \theta_{iT} = \left(\frac{R_2}{R_1} \right) (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} = \left(\frac{R_2}{R_1} \right) NA \quad (52)$$

สำหรับเส้นใยนำแสงตามรูป 34 ค่า numerical aperture ถูกทำให้ลดลงโดยองค์ประกอบ R_2/R_1 (<1) ซึ่งสอดคล้องกับค่าเริ่มต้น NA ดังนั้น แสงสามารถจำแนกออกได้ตามหลักพื้นฐานของ input ของ propagation angle θ_i

- แสงที่มีค่า $\theta_i \leq \theta_{iT}$ จะถูกนำพาไปโดยตรงจาก port 1 ไปยัง port 3
- แสงที่มีค่า $\theta_{iT} \leq \theta_i \leq \theta_{iM}$ จะถูกแบ่งระหว่าง port 3 และ port 4

เห็นได้ชัดว่าใน coupler ชนิด FBT (fused biconical taper couplers) ที่สอดคล้อง (order mode สูง ๆ) จะถูก coupled ทำให้เป็นเส้นใยนำแสงเชื่อมติดกัน ในขณะที่แสงแบบ (order-mode ต่ำ ๆ) จะถูกจำกัดภายในสายเส้นใยนำแสงที่ปล่อยแสงสัมประสิทธิ์การ coupling ระหว่าง port สามารถคำนวณได้ง่ายดังนี้

$$A_{31} = \frac{1}{2} \left[1 + \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^2 \right] \quad (53)$$

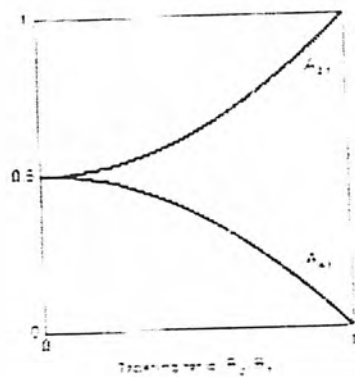
$$A_{41} = \frac{1}{2} \left[1 - \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^2 \right] \quad (54)$$

A_{31} และ A_{41} หมายถึงกำลังงานส่วนหนึ่งของกำลังงาน input ที่ออกที่ port 3 และ port 4 ตามลำดับ พฤติกรรมของค่าทั้งนี้แสดงในรูป 35 อัตราส่วนแบ่งกำลังงานระหว่าง port output ที่แยกจากกันจะมีขนาดเป็น 1:1 เมื่อ $R_2/R_1 = 0$ ซึ่งขัดแย้งกับสมการ 49 และยิ่งกว่านั้น อาจเป็นไปได้ ถ้า นำสมการ 49 มาคำนวณ และ A_{41} ถูกจำกัดขอบเขตคือ

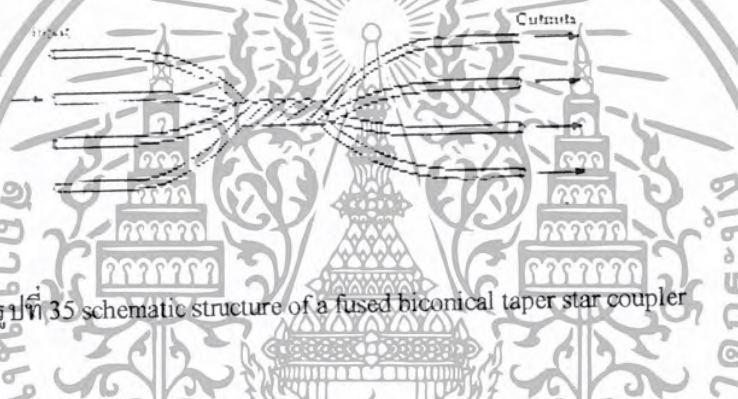
$$A_{41} \leq \frac{1}{2} \left(1 - \frac{NA^2}{n_1^2 - 1} \right) \quad (55)$$

สำหรับเส้นใยนำแสงชนิด step-index multimode ที่มี $n_1 = 1.47$ และ $NA = 0.22$ ค่าค่าสุดที่ขอมให้ เกิด R_2/R_1 คือ 0.2 เพราะฉะนั้น $A_{41} = 0.48$ โดยทั่วไป excess loss ของเส้นใยนำแสงชนิด FBT จะอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 1.0 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 34 coupling coefficient



รูปที่ 35 schematic structure of a fused biconical taper star coupler

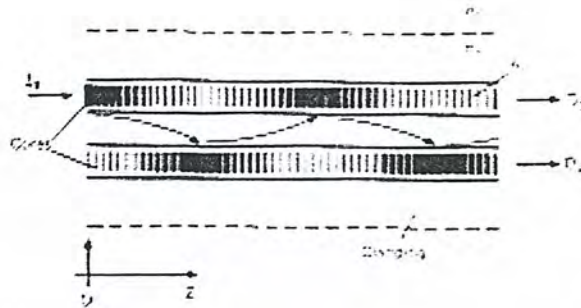
2.23 Coupled-fiber Devices (single - mode Fibers)

มีวิธีการและทฤษฎีมากมาย ที่ใช้หลักการของท่อนำคลื่นแบบ Single-mode ที่วิเคราะห์ขนานกัน และวางชิดกัน ตัวอย่างเช่น รูปที่ 36 เป็นการวิเคราะห์หลักขณะของท่อนำคลื่นที่มีการ coupling แล้วด้วยการ coupling แบบไม่แน่นอนมาก mode ที่มีอยู่ในท่อนำคลื่นสามารถแสดงได้โดยใช้ linear superposition ของสนามในท่อนำคลื่นเดี่ยวที่ไม่มีการ coupling

ในกรณีเฉพาะที่ค่าคงที่การแพร่กระจายคลื่นของ mode เบื้องต้นของท่อนำคลื่นเดี่ยวเท่ากันหมด นั่นคือ $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3$ สมการทั่วไปของ coupling mode ประกอบด้วย 2 mode ใหม่ที่ทับซ้อนกันและมีค่าคงที่ของการแพร่กระจายคลื่นเป็น β_+ และ β_- คือ

$$\begin{aligned} \beta_+ &= \beta + \Delta \beta \\ \beta_- &= \beta - \Delta \beta \end{aligned} \tag{56}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 36 การวิเคราะห์ลักษณะของท่อนำคลื่นที่มีการ coupling
แล้วด้วยการ coupling แบบไม่แน่นอนมาก

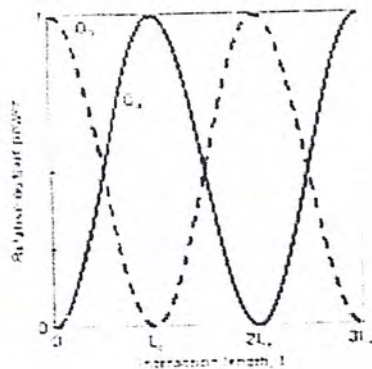
โดยที่ $\Delta\beta$ แทน ส.ป.ส. การ coupling ระหว่างท่อนำคลื่น นั่นคือในการประเมินค่าใน first order ของ mode
ธรรมดา 2 modes ที่มีค่าคงที่ของการแพร่กระจายคลื่นดังสมการ 56 สามารถพิจารณาได้จากองค์ประกอบใน
ท่อนำคลื่นเราจะสังเกตเห็นว่ากำลังงานที่ส่งผ่านของกำลังงานทางแสงจากท่อนำคลื่นหนึ่ง ไปยังท่อนำคลื่น
หนึ่งเป็นไปได้กรณีเดียว ถ้า $\beta_1 = \beta_2$ นั่นคือจะมีการส่งผ่านกำลังงานระหว่าง mode กันได้ ถ้ามีค่าคงที่ของ
การแพร่กระจายคลื่นเหมือนกัน ถ้าสมมุติกำลังงานถูกปล่อยออกมาจาก port 1 และ $z=0$ หมายถึงจุดเริ่มต้น
ของบริเวณที่เกิดปรากฏการณ์ (รอยต่อ) ค่ากำลังงานแสงตลอดบริเวณ แบ่งเป็น 2 output O3 และ O4 คือ

$$\begin{aligned} O_3(z) &= I \cos^2(\Delta\beta z) \\ O_4(z) &= I \sin^2(\Delta\beta z) \end{aligned} \quad (57)$$

โดย I คือ กำลังงาน input ที่เข้ามายัง port 1 และ $\Delta\beta$ คือ phase ที่คลาดเคลื่อนดังในสมการ 56 สมการ 57
แสดงให้เห็นชัดว่ากำลังงานแสงที่ส่งผ่านตลอดบริเวณ Z จากท่อนำคลื่นหนึ่งสู่ท่อนำคลื่นอีกอันหนึ่ง $O_3(z)$
และ $O_4(z)$ แสดงในรูป 37 ค่าเฉพาะของ Z คือ L_c หมายถึง ค่ากำลังงานส่งผ่านสูงสุดจาก ท่อนำคลื่น 1 ไปสู่
ท่อนำคลื่น 2 มีสมการดังนี้

$$L_c = \frac{\pi}{2\Delta\beta} \quad (58)$$

โดยทั่วไปเรียกว่า ความยาวในการ coupling (coupling length) Optical – fiber coupling โดยทั่วไปมักจะมิ
วิธีการผลิต 1 ใน 2 วิธี วิธีการแรก จะมีการขัดสีใยแก้วนำแสงและเอา cladding ออกเพื่อกำหนดขนาด
เริ่มแรกจนกระทั่ง core สามารถนำมาใกล้ชิดกัน ผลของลักษณะการ coupling ท่อนำคลื่นแบบนี้แสดงในรูป

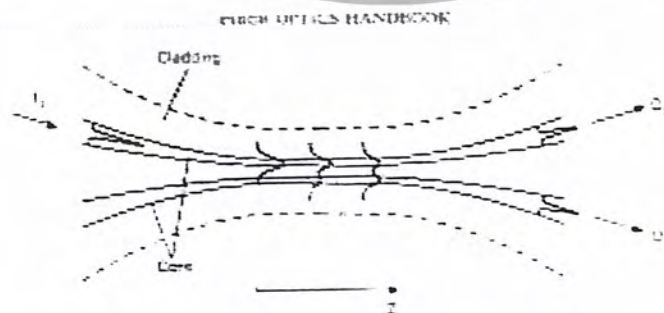


รูปที่ 37 แสดงค่าเฉพาะของ Z



รูปที่ 38 แสดงผลของลักษณะการ coupling ที่นำคลื่น

ในวิธีการที่สอง เส้นใยนำแสงชนิด single mode 2 เส้น ถูกเชื่อมติดกัน และเรียวยาว โดยใช้สารเคมี ทาบริเวณ (รอยต่อ) กระบวนการ coupling ถูกทำให้เกิดขึ้น โดยทิ้งช่วงสั้นๆระหว่าง core ทั้งสองและการทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางของ mode กว้างขึ้น (ดังรูป 39) นั่นทำให้ core มีขนาดเล็กลง excess losses ของการเชื่อมต่อแบบนี้เรียกว่า fuse biconical taper single mode coupling จะมีค่าน้อยมาก ประมาณ 0.1 dB หรือน้อยกว่า



รูปที่ 39 วิธีการทำ fuse biconical taper single mode coupling

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้ง 2 แบบ ค่า ส.ป.ส. การ coupling $\Delta\beta$ ขึ้นอยู่กับค่า Z อย่างไรก็ตามทั้ง 2 แบบนี้ ก็มีความสัมพันธ์กันตามสมการ 57

ตัวอย่างที่ง่ายขึ้น ถูกนำมาใช้อธิบายพฤติกรรมของ single mode ของ coupler ชนิด fused biconical taper ภายใต้สมมติฐานที่ว่า ในบริเวณจุดเชื่อมศูนย์กลางเป็นจุดเล็กๆที่ไม่ยาวพอที่จะทำหน้าที่นำคลื่นได้อย่างแท้จริง กล่าวอีกในหนึ่งในบริเวณนี้ ท่อนำคลื่นที่คิดเป็น ผลมาจาก ความแตกต่างของค่าดัชนีที่มีอยู่ในวัสดุที่เป็น cladding (n_2) และตัวกลางภายนอก (n_0) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดเป็น core และ cladding ใหม่ตามลำดับ

ภายใต้สมมติฐานที่ว่าเพียง mode เบื้องต้น 2 mode ของท่อนำคลื่นเท่านั้นที่สามารถแพร่กระจายในบริเวณ coupling การแบ่งกำลังงานระหว่าง port output 3 และ 4 ยังคงอธิบายได้โดยสมการ 57 โดย ส.ป.ส. การ coupling แสดงโดยสมการดังนี้

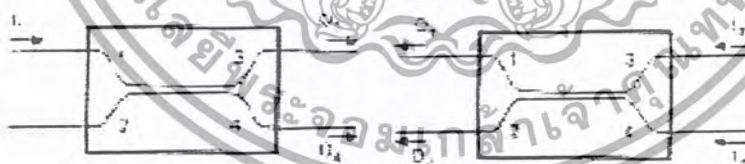
$$\Delta\beta = \frac{3\pi\lambda}{32n_2b^2} \frac{1}{(1+1/V)^2} \tag{59}$$

เมื่อ $V = (2\pi b/\lambda)(n_2^2 - n_0^2)^{1/2}$ สมการนี้แสดงให้เห็นชัดว่าลักษณะเฉพาะทางแสงของโครงสร้างขึ้นอยู่กับ $\Delta\beta$

2.24 Asymmetrical Coupler (Multimode Fiber)

ใน coupler แบบรูปตัว x ที่มีลักษณะสมมาตร เป็นได้ยากที่จะรวมกำลังงานที่เข้ามาจาก port input และส่งออกไปยัง output ใช้รูป 40 ประกอบเพื่อความเข้าใจ

เมื่อ coupler ใช้เป็นตัวแยกกำลัง (splitter) ดังรูป 40a กำลังงาน output คือ $O_3 = A_{31}I_1$ และ $O_4 = A_{41}I_1$ และแน่นอนว่า $A_{31} + A_{41} \leq 1$ ในทางอุดมคติ $A_{31} + A_{41} = 1$, $O_3 + O_4 = I_1$ (ถือว่าไม่มี excess loss เกิดขึ้นในกระบวนการแยกแสงแบบอุดมคติ) ตัวอย่างถ้า $A_{31} = A_{41} = 0.5$ และ $O_3 = O_4 = I_1 / 2$



รูปที่ 40a

รูปที่ 40b

รูปที่ 40 ลักษณะการใช้ coupler

โดยรูป a เป็นทิศทางไปข้างหน้าและแยกกำลังงาน

และ b ทิศทางย้อนกลับและรวมกำลังงาน

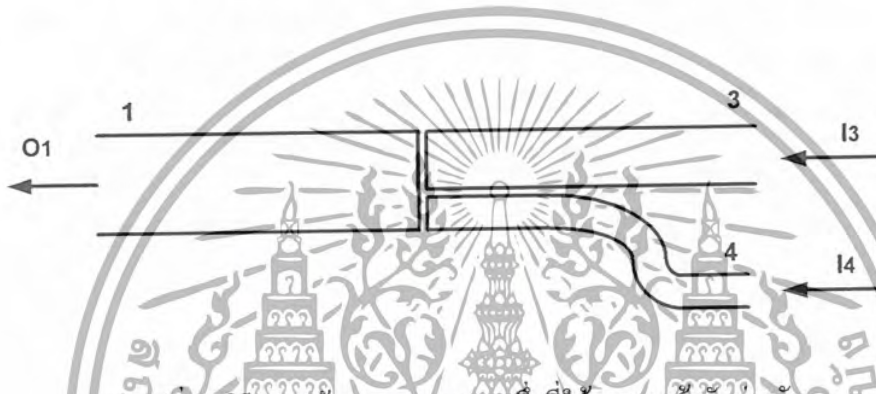
ถ้าอุปกรณ์เดียวกันนี้ใช้ในทิศทางตรงกันข้ามรูป 40b เพื่อที่จะรวม I_3 และ I_4 ออกที่ port1 ค่ากำลังงาน output ของอุปกรณ์สามารถคำนวณโดยหลักของความสมมาตร ($A_{13} = A_{31}$ และ $A_{14} = A_{41}$) โดยค่ากำลังงาน output ด้านหนึ่งมีความสัมพันธ์ $O_1 = A_{31}I_3 + A_{41}I_4$ ตัวอย่างถ้า $A_{31} = A_{41} = 0.5$ แล้ว

$O_1 = I_3/2 + I_4/2$ ดังนั้นส่วนหนึ่งของกำลังงาน input ($I_3 + I_4$) จะไม่ปรากฏที่ port 1. ดังแก่ ผลของ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรวมกันของกำลังงานจาก port 3 และ port 4 ออกสู่ port 1 ที่มีค่าการสูญเสียปรากฏขึ้น (loss) ที่จริงแล้ว กำลังงานที่ไม่ปรากฏที่ port 1 เพียงแต่ถูกเปลี่ยนแปลง เนื่องจากผลของ branching (ผลของการแยกกิ่ง) และ ออกไปยัง port 2

เงื่อนไขมักถูกพบบ่อยใน fused biconical taper Y และ X couplers ที่มีลักษณะสมมาตร ถ้าไม่คำนึงถึง สมมติฐานของลักษณะสมมาตร (เช่น $A_{13} \neq A_{31}$ และ $A_{14} \neq A_{41}$) เป็นไปได้เมื่อใช้ multimode fibers เพื่อ ขจัดค่าการสูญเสียที่กล่าวถึง coupler สามารถทำให้เป็นจริงได้ โดยในทางอุดมคติ $A_{13} = 1$ และ $A_{14} = 1$ ในกรณีนี้ $O_1 = A_{13}I_3 + A_{14}I_4 = I_3 + I_4$ ซึ่งนี่เป็นไปได้ยากในกรณีของ coupler ชนิด fused biconical taper ซึ่ง input และ output เป็น fiber ที่มีขนาดเท่ากัน แต่ผลนี้ จะเกิดในอุปกรณ์ที่มีความสมมาตรเท่านั้น



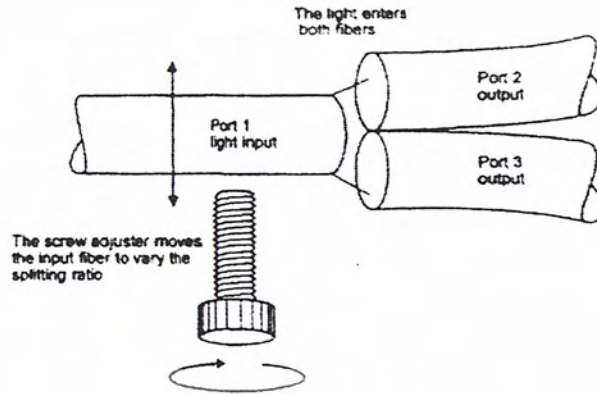
รูปที่ 41 วิธี การสร้าง coupler แบบหนึ่งที่ใช้ขนาดหน้าตัดต่างกัน

Coupler ที่เป็นแบบสมมาตร (splitter และ combiners) สามารถสร้างได้จากเส้นใยนำแสงชนิด multimode หรือ planer waveguide ที่มีขนาดต่างกัน ดังที่ได้แสดงหลักการในรูป 41 ในกรณีที่ $A_{13} = 1$ ในขณะที่ $A_{31} < 1$ และเช่นเดียวกัน $A_{14} = 1$ ในขณะที่ $A_{41} < 1$ โดยหลักการของแสง การสอดแทรกของ สัญญาณจะมีค่าการสูญเสียเกิดขึ้น เช่นตามลักษณะทางโครงสร้าง

2.25 คัปเปลอร์ที่สามารถปรับได้

คัปเปลอร์นี้จะใช้เป็นเครื่องทดสอบในห้องปฏิบัติการหรือเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองมากกว่าเครื่อง ที่นำมาติดตั้งไว้ (installation environment) คัปเปลอร์นี้สามารถปรับค่าอัตราการแบ่งให้มีค่าถูกต้องได้สูงถึง 19 : 1 ซึ่งจะยอมให้เราพิสูจน์หาทางเลือกก่อนจะซื้อคัปเปลอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

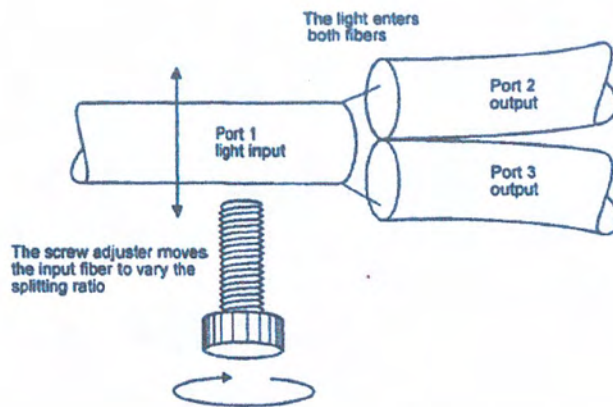


รูปที่ 42 คัปเปิลอร์ที่สามารถปรับได้

หลักการออกแบบที่ง่ายมาก การปรับเวอร์เนียที่ข้อมให้มีการวางตำแหน่งของใยแก้วนำแสงขาเข้าให้ถูกต้องจนกระทั่งแสงสามารถแบ่งไปยังใยแก้วนำแสงเอาต์พุตทั้งสองเพื่อให้ได้ค่าอัตราส่วนแบ่งที่ต้องการ รูปแบบของคัปเปิลอร์ที่ปรับค่าได้สามารถใช้ประโยชน์ได้ดีสำหรับใยแก้วนำแสงที่เป็นพลาสติกได้ดีเท่ากับใยแก้วนำแสงที่เป็นแก้ว ทั้งแบบโหมดเดียวและหลายโหมด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 43 คัปเปิลอร์ที่สามารถปรับได้

หลักการออกแบบก็ง่ายมาก การปรับเวอร์เนียร์ที่ขอมให้มีการวางตำแหน่งของใยแก้วนำแสงขาเข้าให้ถูกต้องจนกระทั่งแสงสามารถแบ่งไปยังใยแก้วนำแสงเอาที่พาททั้งสองเพื่อให้ได้ค่าอัตราการแบ่งที่ต้องการ

รูปแบบของคัปเปิลอร์ที่ปรับค่าได้สามารถใส่ประโยชน์ได้ดีสำหรับใยแก้วนำแสงที่เป็นพลาสติกได้ดีเท่ากับใยแก้วนำแสงที่เป็นแก้ว ทั้งแบบโหมคเดียวและหลาย โหมค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและการสร้าง

3.1 การวัดค่ากำลังงานป้อนเข้า

- นำเส้นใยนำแสงพลาสติกมาทำการตัดปลายทั้งสองของเส้นใยนำแสงพลาสติก
- ฝนปลายเส้นใยนำแสงพลาสติกด้วยกระดาษทรายอย่างละเอียด (เบอร์ 1200) หรือกระดาษมันและขัดเงาให้เส้นใยนำแสงพลาสติกด้วยผ้าสะอาดเนื้อละเอียดให้ปลายเส้นใยนำแสงพลาสติกเกิดเงาวาวเพื่อเป็นการลดการสูญเสียกำลังงานในการเดินทางผ่านเส้นใยนำแสงพลาสติก
- นำปลายเส้นใยนำแสงพลาสติกต่อเข้ากับ connector ที่ light source และนำอีกปลายด้านหนึ่งต่อเข้ากับ connector ที่ power meter
- อ่านค่ากำลังงานที่แสดงบนเครื่องมือ power meter



รูปที่ 44 แสดงการวัดค่ากำลังงานป้อนเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การวัดค่ากำลังงานและการสูญเสียที่เกิดจากการโค้ง และที่เกิดจากการขีดผิวสัมผัสในการเชื่อมเส้นใยของ X-coupler

- นำเส้นใยนำแสงพลาสติกมาทำการตัดปลายทั้งสองของเส้นใยนำแสงพลาสติก
- ฝนปลายเส้นใยนำแสงพลาสติกด้วยกระดาษทรายอย่างละเอียด (เบอร์ 1200) หรือกระดาษมันและขัดเงาให้เส้นใยนำแสงพลาสติกด้วยผ้าสะอาดเนื้อละเอียดให้ปลายเส้นใยนำแสงพลาสติกเกิดเงาวาวเพื่อเป็นการลดการสูญเสียกำลังงานในการเดินทางผ่านเส้นใยนำแสงพลาสติก
- ทำการ โค้งเส้นใยนำแสงพลาสติกด้วยรัศมีต่าง ๆ (4 ซม. ,3.5 ซม. ,3 ซม. ,2.5 ซม. ,2 ซม. ,1.5 ซม. ,1 ซม. ,0.5 ซม. ,เส้นตรงหรือ 0 ซม.) โดยยึดเส้นใยนำแสงพลาสติกด้วยแผ่นไม้ตอกตะปูเพื่อป้องกันการคลาดเคลื่อนของเส้นใยนำแสงพลาสติก
- นำปลายเส้นใยนำแสงพลาสติกต่อเข้ากับ connector ที่ light source และนำอีกปลายด้านหนึ่งต่อเข้ากับ connector ที่ power meter
- อ่านค่ากำลังงานที่แสดงบนเครื่องมือ power meter
- นำเส้นใยนำแสงพลาสติกมาฝนด้วยกระดาษทรายอย่างละเอียด (เบอร์ 1200) หรือกระดาษมันที่ผิวสัมผัสที่เตรียมใช้ในการเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงพลาสติกอีกเส้น และขัดเงาด้วยผ้าสะอาดเนื้อละเอียดให้เกิดเงาวาว และในการขัดต้องขัดให้ส่วน cladding ของเส้นใยนำแสงพลาสติกหายไปเพื่อให้แสงสามารถเดินทางผ่าน core เข้าไปยังส่วน core ของเส้นใยนำแสงพลาสติกอีกเส้นหนึ่งได้
- นำปลายเส้นใยนำแสงพลาสติกต่อเข้ากับ connector ที่ light source และนำอีกปลายด้านหนึ่งต่อเข้ากับ connector ที่ power meter
- อ่านค่ากำลังงานที่แสดงบนเครื่องมือ power meter
- การวัดค่าการสูญเสียกำลังงาน จะ ใช้สมการ $Loss = P_{out} - P_{in}$



(a)



(b)



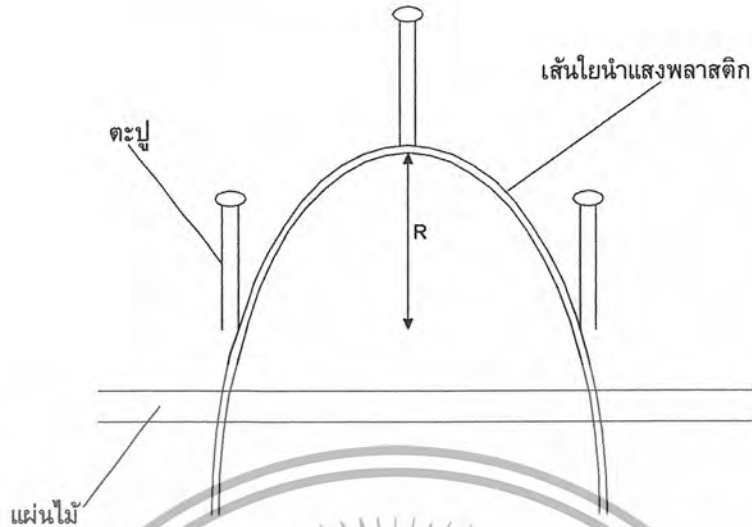
(c)

รูปที่ 45 (a) แสดงความโค้งต่าง ๆ บนอุปกรณ์

(b) แสดงผลหลังการขีดผิวสัมผัสที่ใช้ในการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง

(c) แสดงการวัดค่ากำลังงานของเส้นใยนำแสงพลาสติกที่เกิดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
โค้งงอ และมีการขีดเพื่อเชื่อมต่อ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

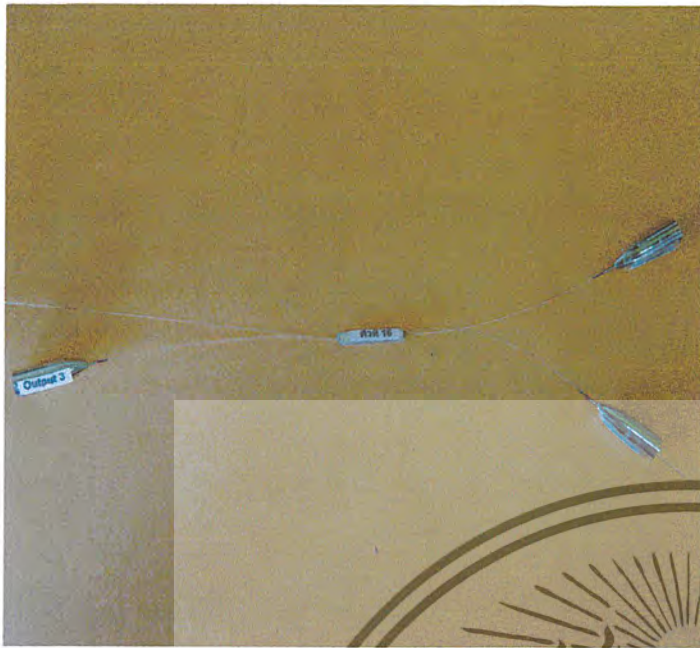


รูปที่ 46 แสดงการหาค่าการสูญเสียที่เกิดจากการงอโค้ง
เส้นใยนำแสงพลาสติกที่มีรัศมี R (โดยที่ R = 0.5 cm, 1 cm, 2 cm, ..., 4 cm, ∞)

3.3 การวัดค่ากำลังงานของ X-coupler และค่าการสูญเสียกำลังงาน

- นำเส้นใยนำแสงพลาสติกมาทำการตัดปลายทั้งสองของเส้นใยนำแสงพลาสติก (ใช้เส้นใยนำแสงพลาสติก 2 เส้น ได้ input 1 ทาง output 2 ทาง)
- ฝนปลายเส้นใยนำแสงพลาสติกที่เตรียมสร้าง X-coupler ด้วยกระดาษทรายอย่างละเอียด (เบอร์ 1200) หรือกระดาษมันและขัดเงาให้เส้นใยนำแสงพลาสติกด้วยผ้าสะอาดเนื้อละเอียดให้ปลายเส้นใยนำแสงพลาสติกเกิดเงาวาวเพื่อเป็นการลดการสูญเสียกำลังงานในการเดินทางผ่านเส้นใยนำแสงพลาสติก
- นำเส้นใยนำแสงพลาสติกมาฝนด้วยกระดาษทรายอย่างละเอียด (เบอร์ 1200) หรือกระดาษมันที่ผิวสัมผัสที่เตรียมใช้ในการเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงพลาสติกอีกเส้น และขัดเงาด้วยผ้าสะอาดเนื้อละเอียดให้เกิดเงาวาว และในการขัดต้องขัดให้ส่วน cladding ของเส้นใยนำแสงพลาสติกหายไปเพื่อให้แสงสามารถเดินทางผ่านส่วน core เข้าไปยังส่วน core ของเส้นใยนำแสงพลาสติกอีกเส้นหนึ่งได้
- นำส่วนผิวสัมผัสที่เตรียมใช้ในการเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงพลาสติกทั้งสองมาประกบกัน และเชื่อมติดกันด้วย epoxy
- นำปลายเส้นใยนำแสงพลาสติกด้านที่เตรียมไว้สำหรับเป็นอินพุตต่อเข้ากับ connector ที่ light source และนำปลายด้านที่เตรียมไว้สำหรับเป็นเอาต์พุตทั้งสองต่อเข้ากับ connector ที่ power meter ที่ละเส้น
- อ่านค่ากำลังงานที่แสดงบนเครื่องมือ power meter
- การวัดค่าการสูญเสียกำลังงาน จะใช้สมการ $Loss = P_{out} - P_{in}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 47 (a) แสดงอุปกรณ์ X-coupler

(b) แสดงอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น

(c) แสดงการวัดค่ากำลังงานของอุปกรณ์ X-coupler

3.4 การวัดค่ากำลังงานของ X-coupler ที่ความโค้งต่าง ๆ และค่าการสูญเสีย

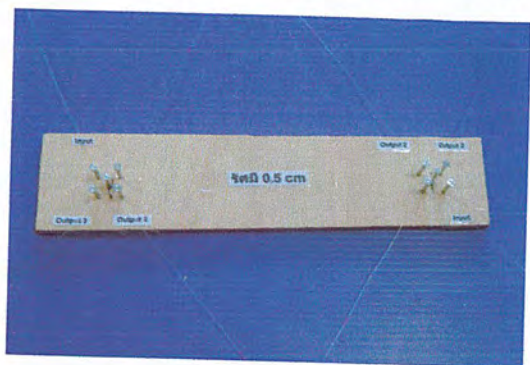
- นำเส้นใยนำแสงพลาสติกมาทำการตัดปลายทั้งสองของเส้นใยนำแสงพลาสติก (ใช้เส้นใยนำแสงพลาสติก 2 เส้น ได้ input 1 ทาง output 2 ทาง)
- ฝนปลายเส้นใยนำแสงพลาสติกที่เตรียมสร้าง X-coupler ด้วยกระดาษทรายอย่างละเอียด (เบอร์ 1200) หรือกระดาษมันและขัดเงาให้เส้นใยนำแสงพลาสติกด้วยผ้าสะอาดเนื้อละเอียดให้ปลายเส้นใยนำแสงพลาสติกเกิดเงาวาวเพื่อเป็นการลดการสูญเสียกำลังงานในการเดินทางผ่านเส้นใยนำแสงพลาสติก
- นำเส้นใยนำแสงพลาสติกมาฝนด้วยกระดาษทรายอย่างละเอียด (เบอร์ 1200) หรือกระดาษมันที่ผิวสัมผัสที่เตรียมใช้ในการเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงพลาสติกอีกเส้น และขัดเงาด้วยผ้าสะอาดเนื้อละเอียดให้เกิดเงาวาว และในการขัดต้องขัดให้ส่วน cladding ของเส้นใยนำแสงพลาสติกหายไปเพื่อให้แสงสามารถเดินทางผ่านส่วน core เข้าไปยังส่วน core ของเส้นใยนำแสงพลาสติกอีกเส้นหนึ่งได้
- ตอกตะปูลงบนแผ่นไม้กำหนดครีมีแต่ละความโค้งในการเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงพลาสติก
- นำเส้นใยนำแสงพลาสติกทั้งสองวางลงบนแผ่นไม้โดยวางพาดตะปูที่กำหนดครีมีความโค้งไว้
- นำส่วนผิวสัมผัสที่เตรียมใช้ในการเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงพลาสติกพลาสติกทั้งสองมาประกบกัน และเชื่อมติดกันด้วย epoxy
- นำปลายเส้นใยนำแสงพลาสติกด้านที่เตรียมไว้สำหรับเป็นอินพุตต่อเข้ากับ connector ที่ light source

และนำปลายด้านที่เตรียมไว้สำหรับเป็นเอาต์พุตทั้งสองต่อเข้ากับ connector ที่ power meter ที่ละเส้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

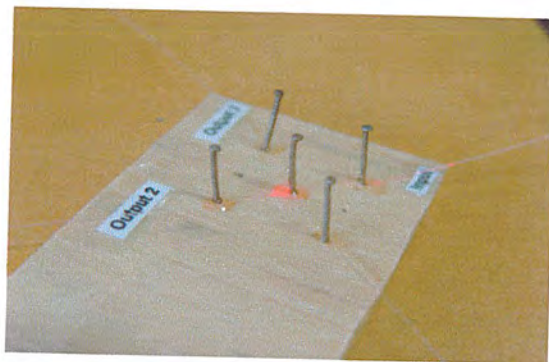
- อ่านค่ากำลังงานที่แสดงบนเครื่องมือ power meter

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การวัดค่าการสูญเสียกำลังงาน จะ ใช้สมการ $Loss = P_{out} - P_{in}$



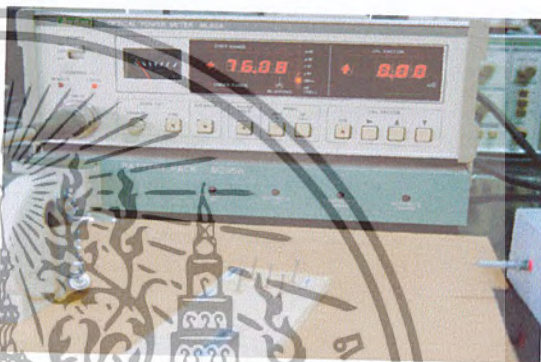
(a)



(b)

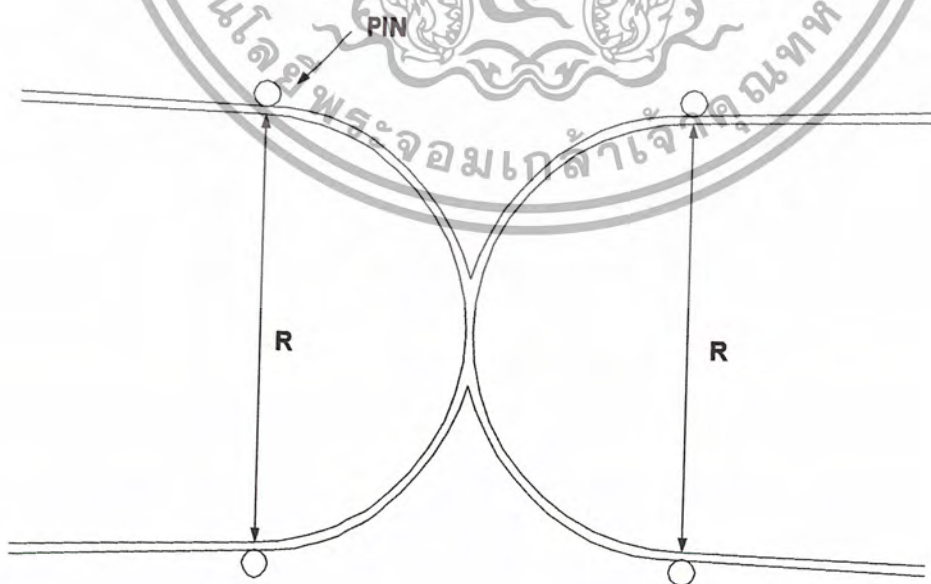


(c)



(d)

รูปที่ 48 (a) แสดงอุปกรณ์ X-coupler ที่ความโค้งต่างๆ (b) แสดงการเดินทางของแสงผ่านอุปกรณ์
(c) แสดงอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น (d) แสดงการวัดค่ากำลังงานของ X-coupler ที่ความโค้งต่างๆ



รูปที่ 49 แสดงการทำ coupler โดยคำนึงถึงค่าความโค้งที่อาจส่ง

ผลกระทบต่อค่าการสูญเสียที่รัศมี R (โดยที่ R = 4 cm, 3.5 cm, ..., 0.5cm)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การวัดค่ากำลังงานของ Adjustable coupler และค่าการสูญเสียกำลังงาน

- นำเส้นใยนำแสงพลาสติกมาทำการตัดปลายทั้งสองของเส้นใยนำแสงพลาสติก (ใช้เส้นใยนำแสงพลาสติก 3 เส้น ได้ input 1 ทาง output 2 ทาง)
- ฝนปลายเส้นใยนำแสงพลาสติกที่เตรียมสร้าง Adjustable coupler ด้วยกระดาษทรายอย่างละเอียด (เบอร์ 1200) หรือกระดาษมันและขัดเงาให้เส้นใยนำแสงพลาสติกด้วยผ้าสะอาดเนื้อละเอียดให้ปลายเส้นใยนำแสงพลาสติกเกิดเงาวาวเพื่อเป็นการลดการสูญเสียกำลังงานในการเดินทางผ่านเส้นใยนำแสงพลาสติก
- สร้างกล่องสำหรับวางชิ้นงาน (Adjustable coupler) และ set สกรูสำหรับการปรับเส้นใยนำแสงพลาสติก
- นำเส้นใยนำแสงพลาสติก 2 เส้นที่เตรียมไว้มาเชื่อมติดกันด้วย epoxy โดยให้ผิวหน้าตัดของเส้นใยนำแสงพลาสติกทั้งสองเท่ากันดังรูป



รูปที่ 50 แสดงลักษณะการเชื่อมติดกันด้วย epoxy ของ adjustable coupler

- วางเส้นใยนำแสงพลาสติกทั้งสองเส้นลงในกล่องที่สร้างเตรียมไว้ โดยให้หน้าสัมผัสชิดติดกันและให้เส้นใยนำแสงพลาสติกเส้นที่ใช้สำหรับการปรับตำแหน่งได้วางให้อยู่ในส่วนที่สกรูหมุนมาชนได้ และเชื่อมติดเส้นใยนำแสงพลาสติกกับกล่องด้วย epoxy
- นำปลายเส้นใยนำแสงพลาสติกด้านที่เตรียมไว้สำหรับเป็นอินพุตต่อเข้ากับ connector ที่ light source และนำปลายด้านที่เตรียมไว้สำหรับเป็นเอาต์พุตทั้งสองต่อเข้ากับ connector ที่ power meter ที่ละเส้น และหมุนสกรูสำหรับการปรับตำแหน่งเส้นใยนำแสงพลาสติก
- อ่านค่ากำลังงานที่แสดงบนเครื่องมือ power meter
- การวัดค่าการสูญเสียกำลังงาน จะใช้สมการ $Loss = P_{out} - P_{in}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองการวัดค่ากำลังงานป้อนเข้า (P_{in})

$$P_{in} = -45.19 \text{ dBm} \quad (60)$$

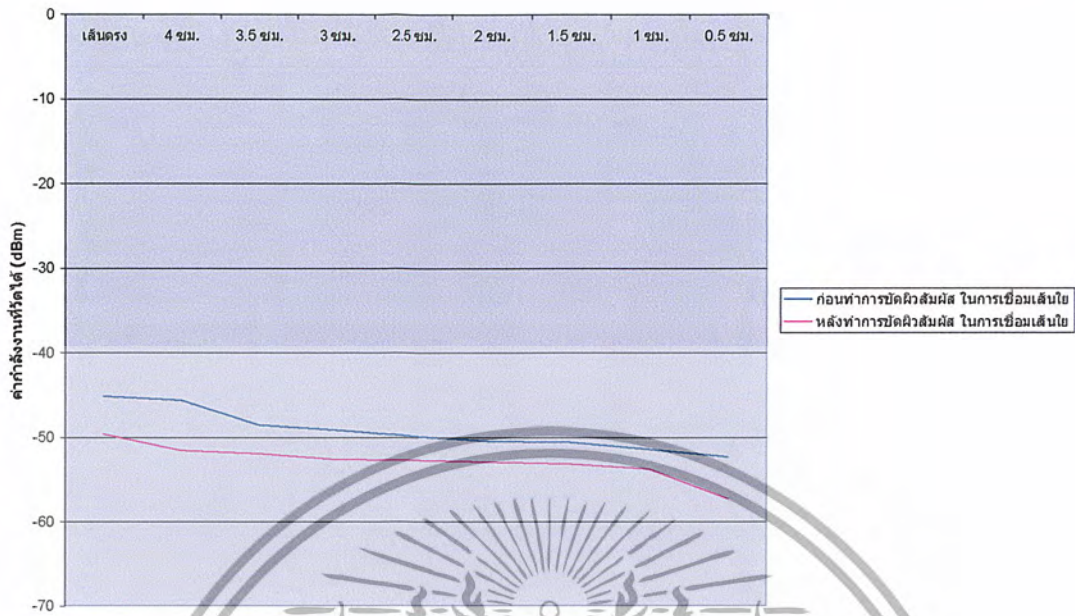
4.2 ผลการทดลองวัดค่ากำลังงานและค่าการสูญเสียที่เกิดจากการโค้ง และที่เกิดจากการขัดผิวสัมผัสในการเชื่อมเส้นใยของ X-coupler

4.2.1 ผลการทดลองวัดค่ากำลังงานที่เกิดจากการโค้ง และที่เกิดจากการขัดผิวสัมผัสในการเชื่อมเส้นใยของ X-coupler

รัศมีความโค้งของเส้นใยในการทดลอง	ค่ากำลังงานที่วัดได้ก่อนขัดผิวสัมผัสสำหรับเชื่อมเส้นใย (dBm)	ค่ากำลังงานที่วัดได้หลังขัดผิวสัมผัสในการเชื่อมเส้นใย (dBm)
เส้นตรง	-45.19	-49.67
4 ซม.	-45.65	-51.6
3.5 ซม.	-48.57	-51.96
3 ซม.	-49.18	-52.64
2.5 ซม.	-49.89	-52.74
2 ซม.	-50.51	-52.97
1.5 ซม.	-50.63	-53.2
1 ซม.	-51.46	-53.79
0.5 ซม.	-52.34	-57.29

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองวัดค่ากำลังงานที่เกิดจากการโค้ง และที่เกิดจากการขัดผิวสัมผัสในการเชื่อมเส้นใยของ X-coupler

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



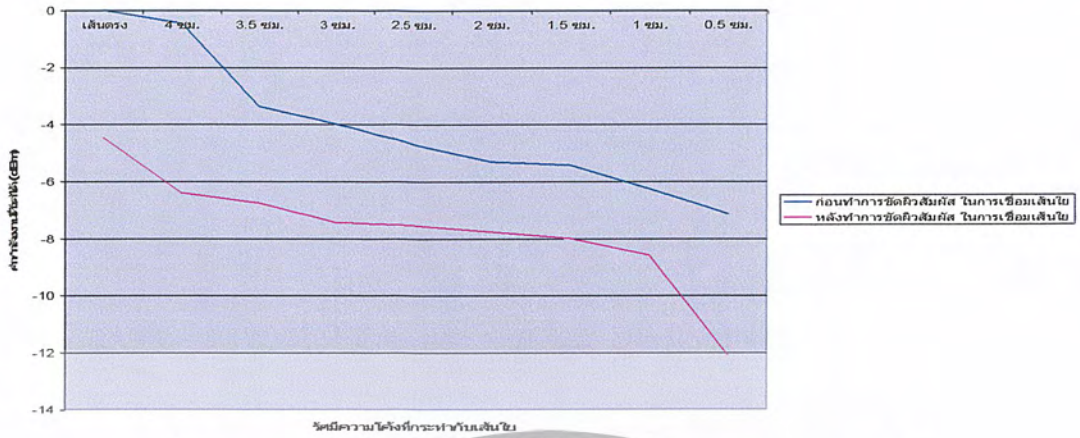
รูปที่ 51 แสดงกราฟผลการทดลองวัดค่ากำลังงานที่เกิดจากการโค้ง และที่เกิดจากการขัดผิวสัมผัสในการเชื่อมเส้นใยของ X-coupler

4.2.2 ผลการทดลองวัดค่าการสูญเสียกำลังงานที่เกิดจากการโค้ง และที่เกิดจากการขัดผิวสัมผัสในการเชื่อมเส้นใยของ X-coupler

รัศมีความโค้งของเส้นใยในการทดลอง	ค่ากำลังงานที่วัดได้ก่อนขัดผิวสัมผัสในการเชื่อมเส้นใย (dBm)	ค่ากำลังงานที่วัดได้หลังขัดผิวสัมผัสในการเชื่อมเส้นใย (dBm)
เส้นตรง	0	-4.48
4 ซม.	-0.46	-6.41
3.5 ซม.	-3.38	-6.77
3 ซม.	-3.99	-7.45
2.5 ซม.	-4.7	-7.55
2 ซม.	-5.32	-7.78
1.5 ซม.	-5.44	-8.01
1 ซม.	-6.27	-8.6

ตารางที่ 3 ผลการทดลองวัดค่าการสูญเสียกำลังงานที่เกิดจากการโค้ง และที่เกิดจากการขัดผิวสัมผัสในการเชื่อมเส้นใยของ X-coupler

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



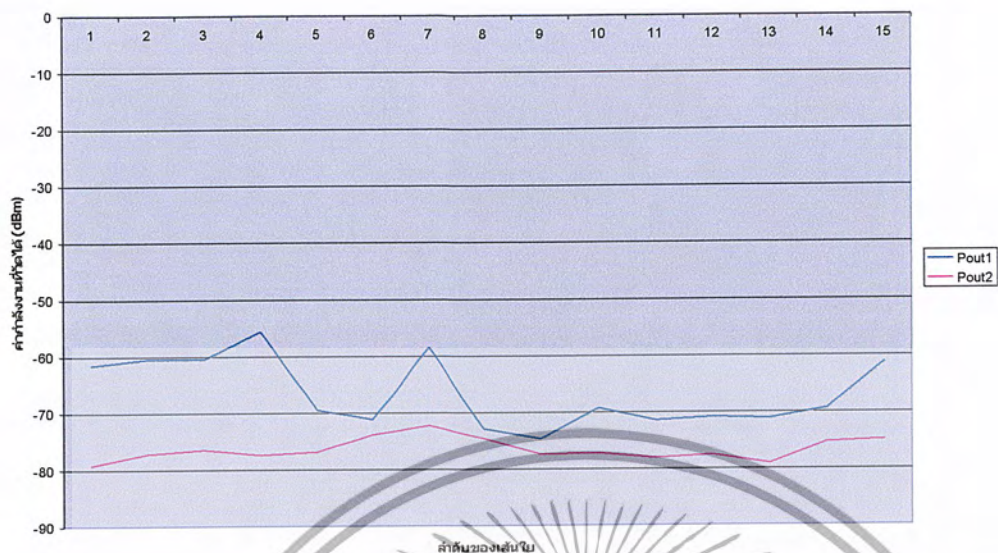
รูปที่ 52 แสดงกราฟผลการทดลองวัดค่าการสูญเสียกำลังงานที่เกิดจากการโค้ง และที่เกิดจากการตัดผิวสัมผัสในการเชื่อมเส้นใยของ X-coupler

4.3 ผลการทดลองการวัดค่ากำลังงานของ X-coupler และค่าการสูญเสีย

4.3.1 ผลการทดลองการวัดค่ากำลังงานของ X-coupler

ลำดับของเส้นใย ในการทดลอง	P_{out1} (dBm)	P_{out2} (dBm)
1	-61.63	-79.24
2	-60.54	-77.23
3	-60.56	-76.52
4	-55.72	-77.46
5	-69.54	-76.9
6	-71.22	-73.93
7	-58.56	-72.33
8	-72.92	-74.64
9	-74.72	-77.41
10	-69.32	-77.25
11	-71.49	-78.15
12	-70.94	-77.61
13	-71.18	-79.12
14	-69.43	-75.41
15	-61.35	-74.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ตารางที่ 4 แสดงผลการทดลองการวัดค่ากำลังงานของ X-coupler
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

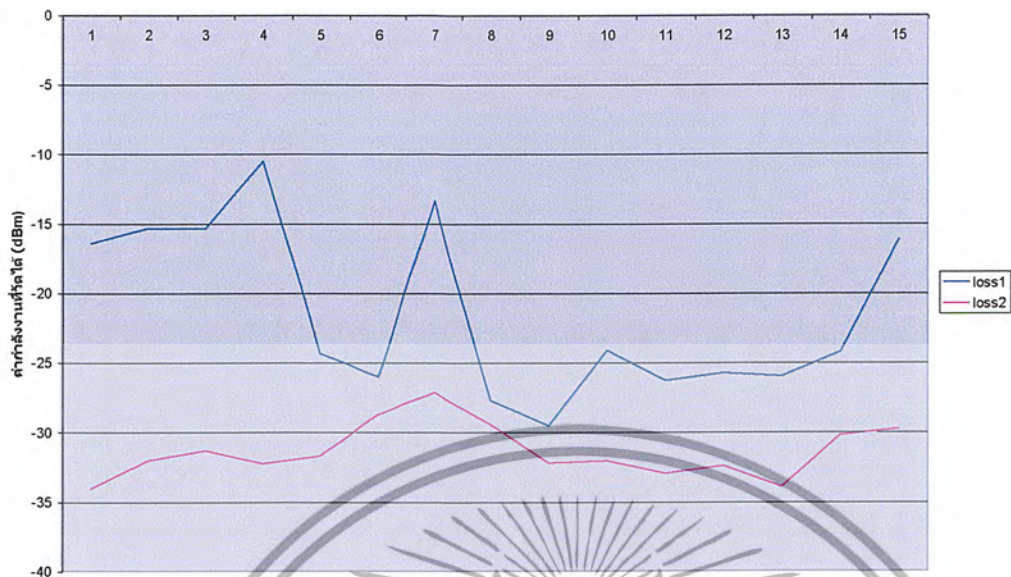


รูปที่ 53 แสดงกราฟผลการทดลองการวัดค่ากำลังงานของ X-coupler

4.3.2 ผลการทดลองการวัดค่าการสูญเสียกำลังงานของ X-coupler

ลำดับของเส้นใย ในการทดลอง	$loss_1$ (dBm)	$loss_2$ (dBm)
1	-16.44	-34.05
2	-15.35	-32.04
3	-15.37	-31.33
4	-10.53	-32.27
5	-24.35	-31.71
6	-26.03	-28.74
7	-13.37	-27.14
8	-27.73	-29.45
9	-29.53	-32.22
10	-24.13	-32.06
11	-26.3	-32.96
12	-25.75	-32.42
13	-25.99	-33.93
14	-24.24	-30.22
15	-16.16	-29.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ตารางที่ 5 แสดงผลการทดลองการวัดค่าการสูญเสียกำลังงานของ X-coupler
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 54 แสดงกราฟผลการทดลองการวัดค่าการสูญเสียกำลังงานของ X-coupler

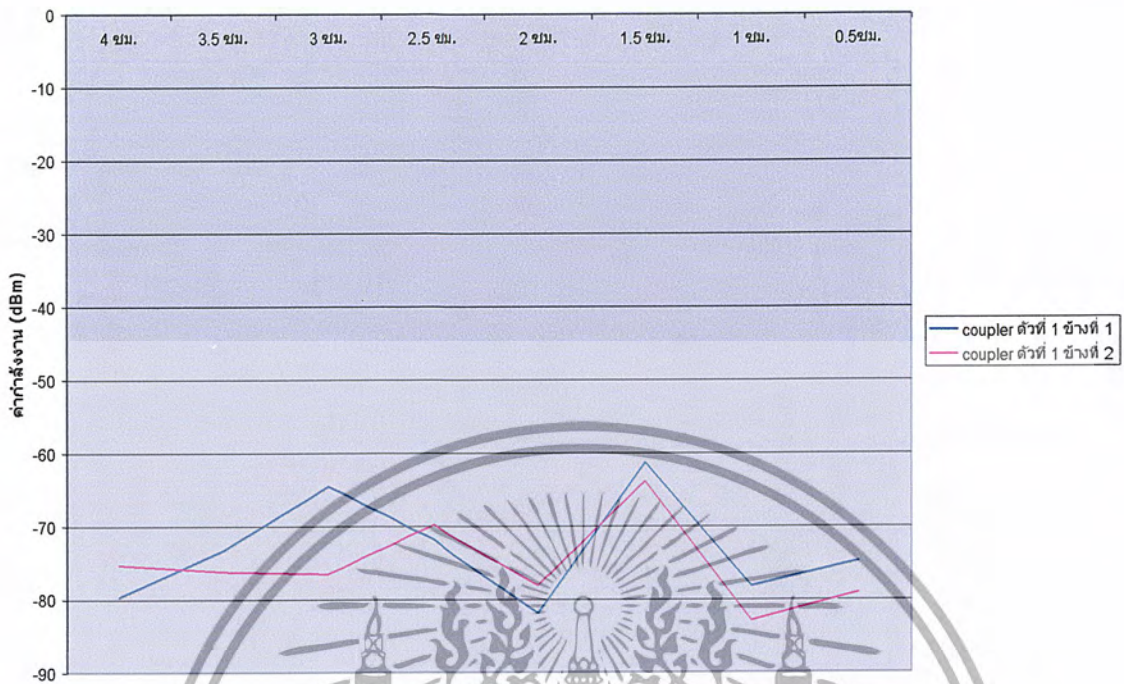
4.4 ผลการทดลองการวัดค่ากำลังงานของ X-coupler ที่ความถี่ต่าง ๆ และค่าการสูญเสีย

4.4.1 ผลการทดลองการวัดค่ากำลังงานของ X-coupler ที่ความถี่ต่าง ๆ

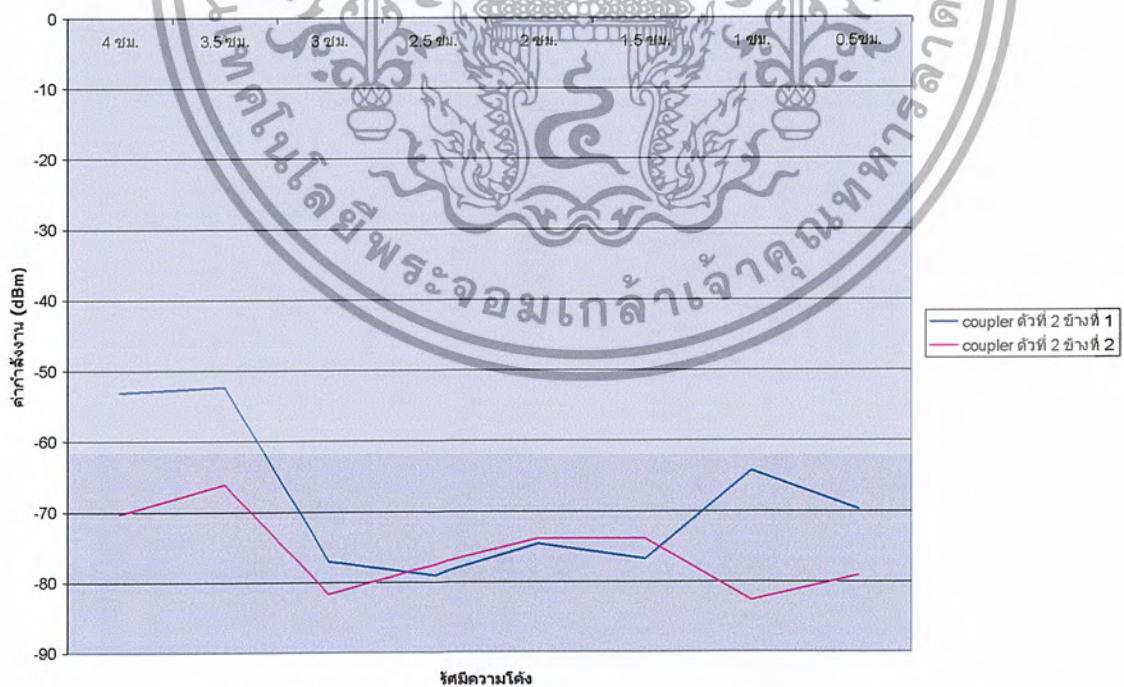
รัศมีความถี่ ของเส้นใยนำแสง	coupler ตัวที่ 1 (dBm)		coupler ตัวที่ 2 (dBm)	
	ข้างที่ 1	ข้างที่ 2	ข้างที่ 1	ข้างที่ 2
4 ซม.	-79.75	-75.39	-53.18	-70.4
3.5 ซม.	-73.34	-76.29	-52.4	-66.19
3 ซม.	-64.62	-76.6	-77.12	-81.72
2.5 ซม.	-71.93	-69.87	-79.14	-77.62
2 ซม.	-81.97	-78.17	-74.68	-73.94
1.5 ซม.	-61.36	-63.93	-76.84	-73.98
1 ซม.	-78.25	-82.97	-64.34	-82.71
0.5 ซม.	-74.84	-79.13	-69.8	-79.2

ตารางที่ 6 แสดงผลการทดลองการวัดค่ากำลังงานของ X-coupler ที่ความถี่ต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

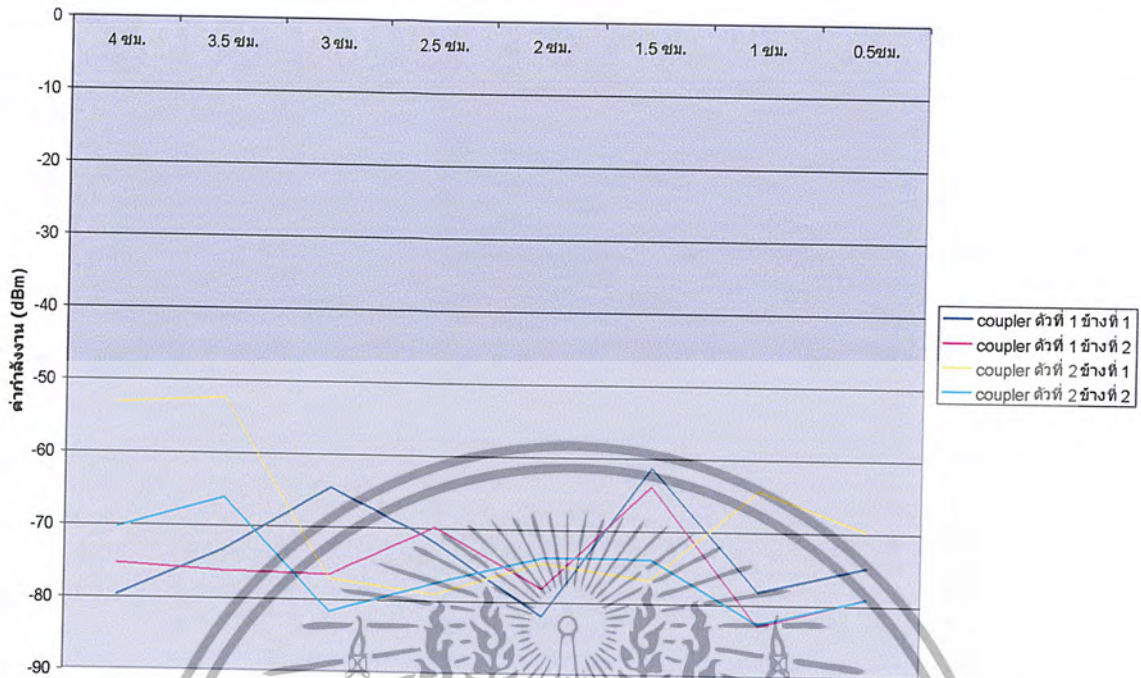


รูปที่ 55 แสดงกราฟผลการทดลองการวัดค่ากำลังงานของ X-coupler ที่ความไ้ต่าง ๆ coupler ตัวที่ 1



รูปที่ 56 แสดงกราฟผลการทดลองการวัดค่ากำลังงานของ X-coupler ที่ความไ้ต่าง ๆ coupler ตัวที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



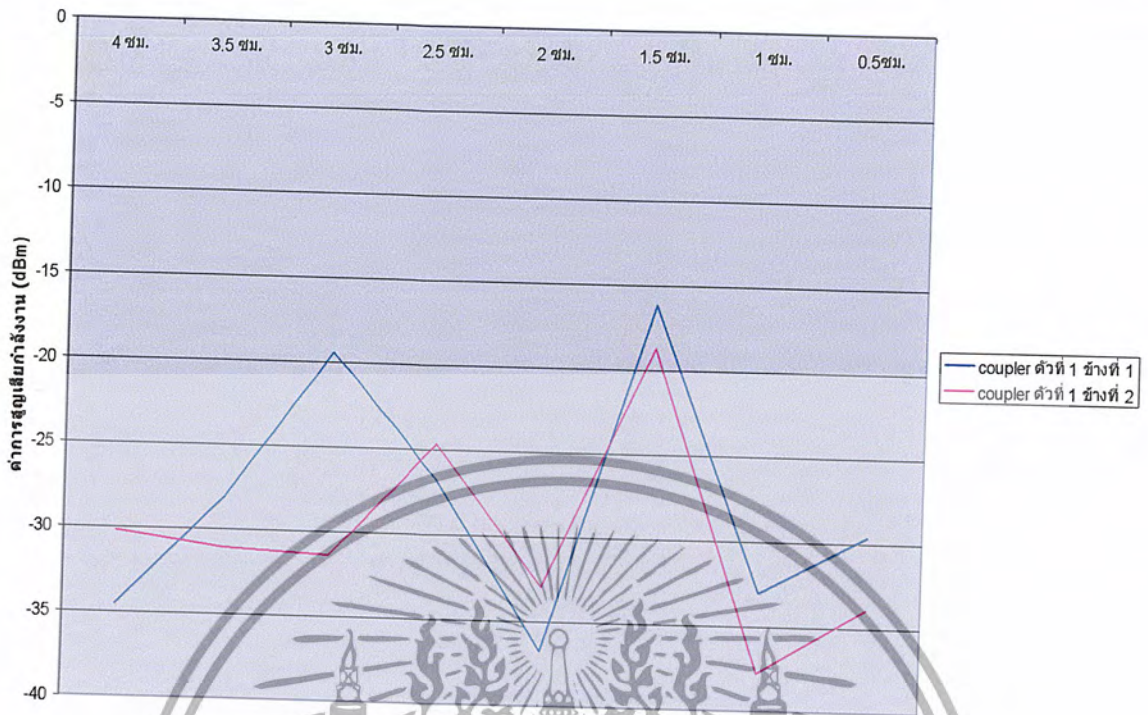
รูปที่ 57 แสดงกราฟผลการทดลองการวัดค่ากำลังงานของ X-coupler ที่ความถี่ต่างๆ ของ coupler ทั้งสองตัว

4.4.2 ผลการทดลองการวัดค่าการสูญเสียกำลังงานของ X-coupler ที่ความถี่ต่างๆ

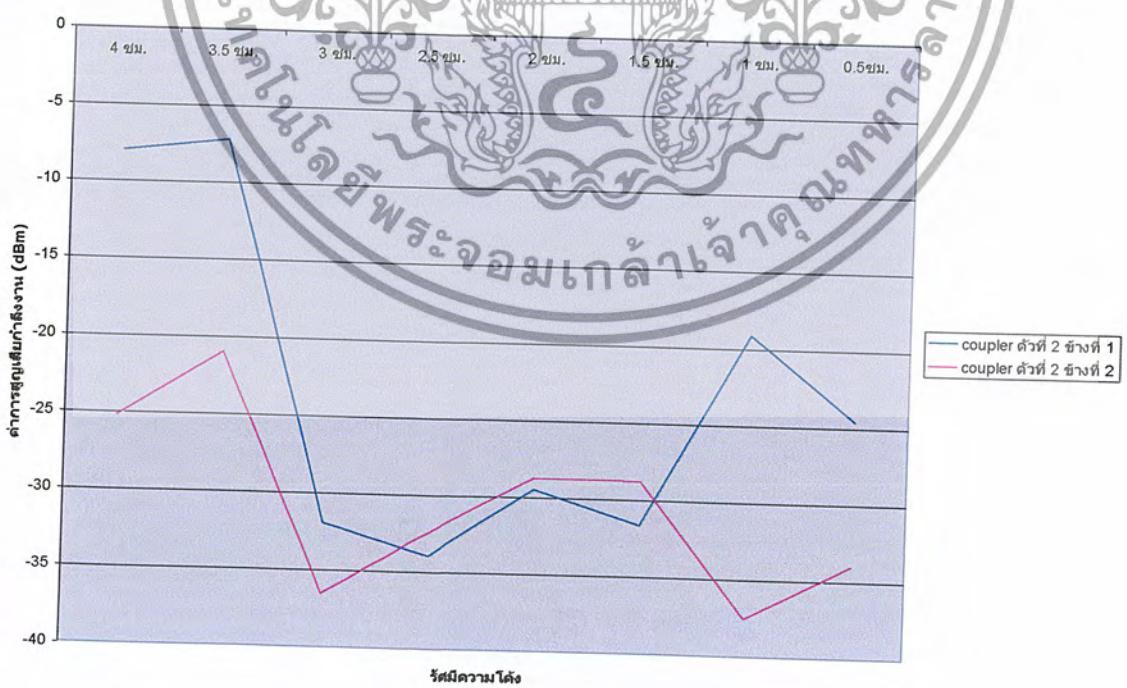
รัศมีความถี่ ของเส้นใยนำแสง	coupler ตัวที่ 1 (dBm)		coupler ตัวที่ 2 (dBm)	
	ข้างที่ 1	ข้างที่ 2	ข้างที่ 1	ข้างที่ 2
4 ชม.	-34.56	-30.2	-7.99	-25.21
3.5 ชม.	-28.15	-31.1	-7.21	-21
3 ชม.	-19.43	-31.41	-31.93	-36.53
2.5 ชม.	-26.74	-24.68	-33.95	-32.43
2 ชม.	-36.78	-32.98	-29.49	-28.75
1.5 ชม.	-16.17	-18.74	-31.65	-28.79
1 ชม.	-33.06	-37.78	-19.15	-37.52
0.5 ชม.	-29.65	-33.94	-24.61	-34.01

ตารางที่ 7 แสดงผลการทดลองการวัดค่าการสูญเสียกำลังงานของ X-coupler ที่ความถี่ต่างๆ

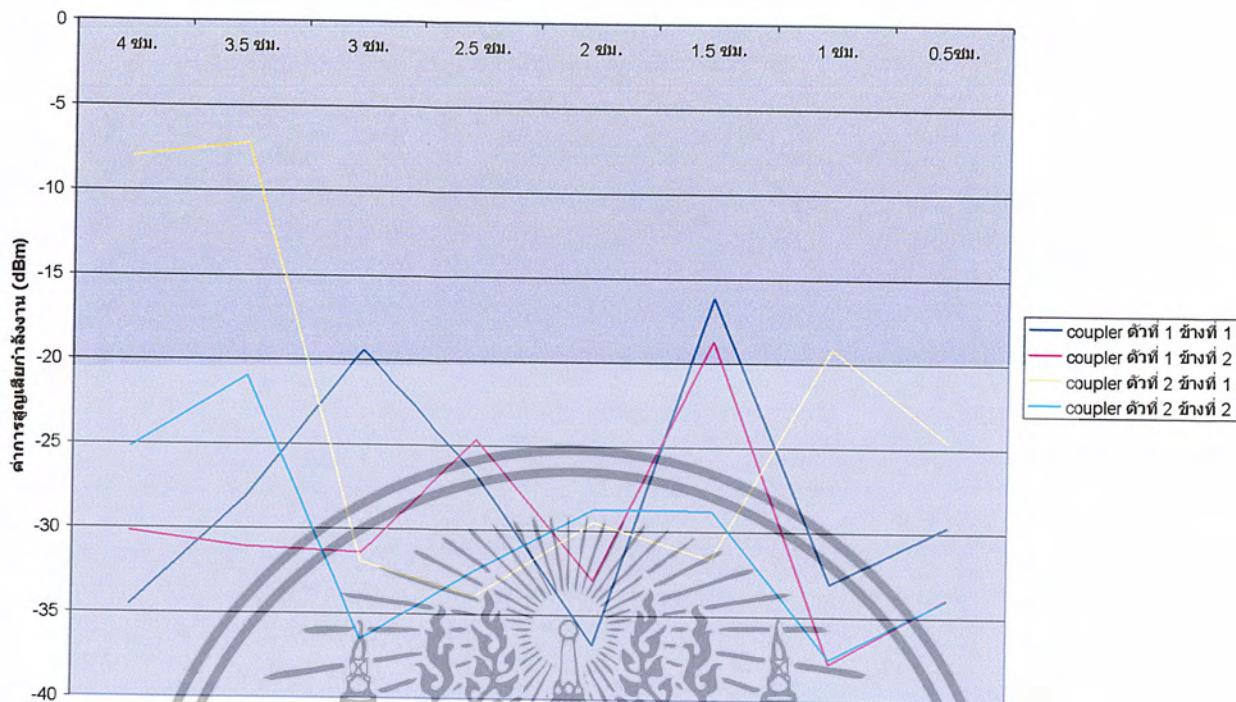
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 58 แสดงกราฟผลการทดลองการวัดค่าการสูญเสียกำลังงานของ X-coupler ที่ความถี่ต่างๆ ของ coupler ตัวที่ 1



รูปที่ 59 แสดงกราฟผลการทดลองการวัดค่าการสูญเสียกำลังงานของ X-coupler
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้เผยแพร่ไปใช้
ที่ความถี่ต่างๆ ของ coupler ตัวที่ 2
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รัศมีความโค้ง

รูปที่ 60 แสดงกราฟผลการทดลองการวัดค่าการสูญเสียกำลังงาน
ของ X-coupler ที่ความโค้งต่าง ๆ ของ coupler ทั้งสองตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

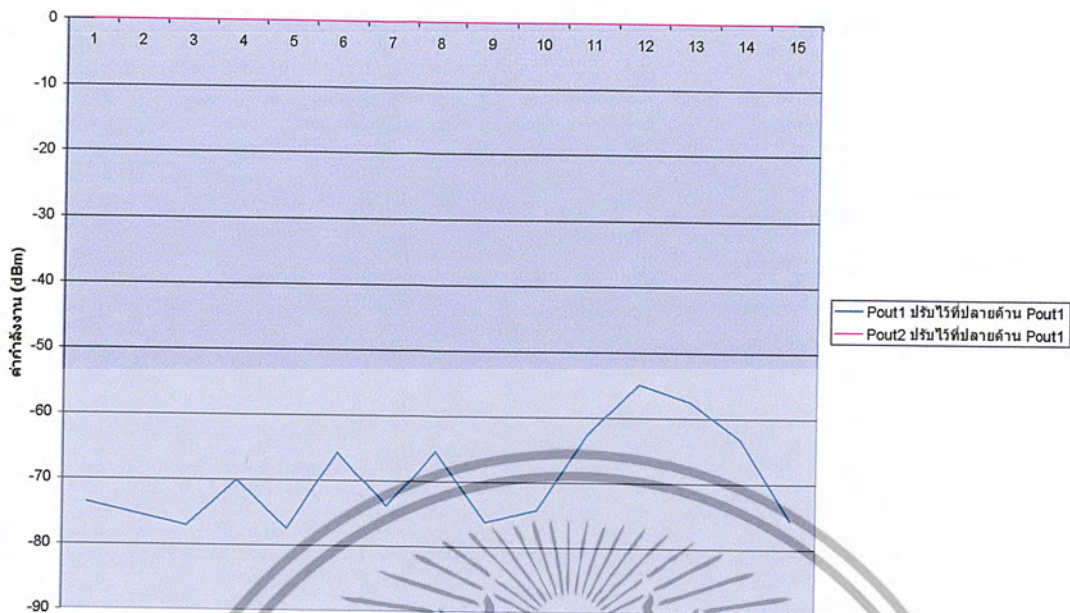
4.5 ผลการทดลองการวัดค่ากำลังงานของ Adjustable coupler และค่าการสูญเสีย

4.5.1 ผลการทดลองการวัดค่ากำลังงานของ Adjustable coupler

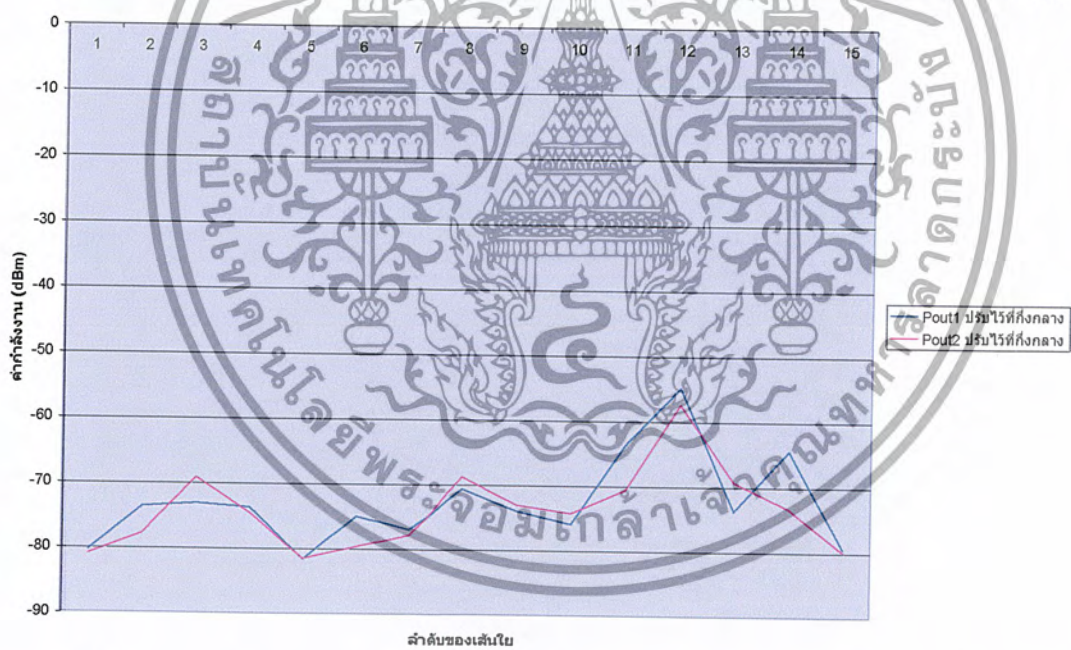
ลำดับของเส้นใย ในการทดลอง	ปรับไว้ที่ปลายด้าน Pout1		ปรับไว้ที่กึ่งกลาง		ปรับไว้ที่ปลายด้าน Pout2	
	P_{out1} (dBm)	P_{out2} (dBm)	P_{out1} (dBm)	P_{out2} (dBm)	P_{out1} (dBm)	P_{out2} (dBm)
1	-73.62	0	-80.35	-80.96	0	-77.51
2	-75.39	0	-73.64	-77.82	0	-78.8
3	-74.61	0	-79.36	-74.23	0	-79.51
4	-70.14	0	-73.69	-74.52	0	-76.34
5	-77.47	0	-81.62	-81.54	0	-79.43
6	-65.82	0	-75.03	-79.67	0	-77.36
7	-73.92	0	-77.02	-77.89	0	-73.26
8	-65.49	0	-70.68	-68.82	0	-66.56
9	-76.23	0	-74.01	-73.07	0	-77.43
10	-74.36	0	-75.97	-74.29	0	-66.7
11	-62.54	0	-63.6	-70.65	0	-63.38
12	-54.98	0	-54.89	-57.45	0	-55.02
13	-57.55	0	-73.76	-69.34	0	-64.39
14	-63.24	0	-64.49	-73.31	0	-71.76
15	-75.63	0	-79.52	-79.93	0	-80.64

ตารางที่ 8 แสดงผลการทดลองการวัดค่ากำลังงานของ Adjustable coupler

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

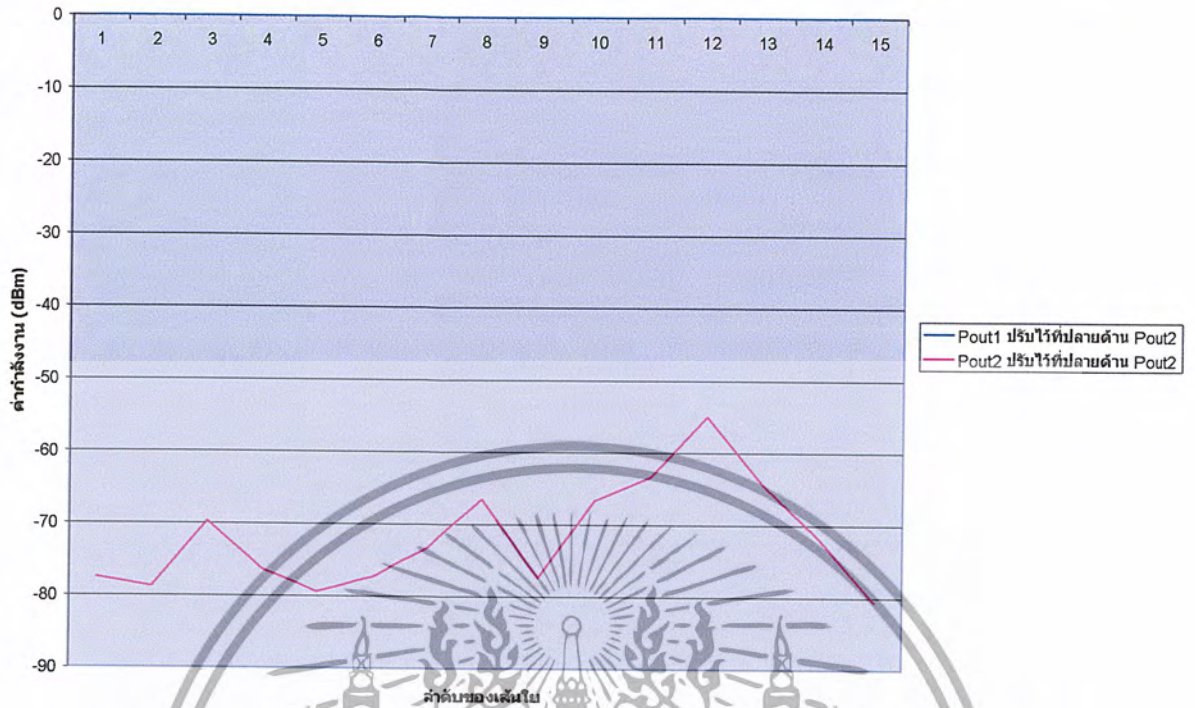


รูปที่ 61 แสดงกราฟผลการทดลองการวัดค่ากำลังงานของ Adjustable coupler ที่ปรับไว้ด้าน P_{out1}

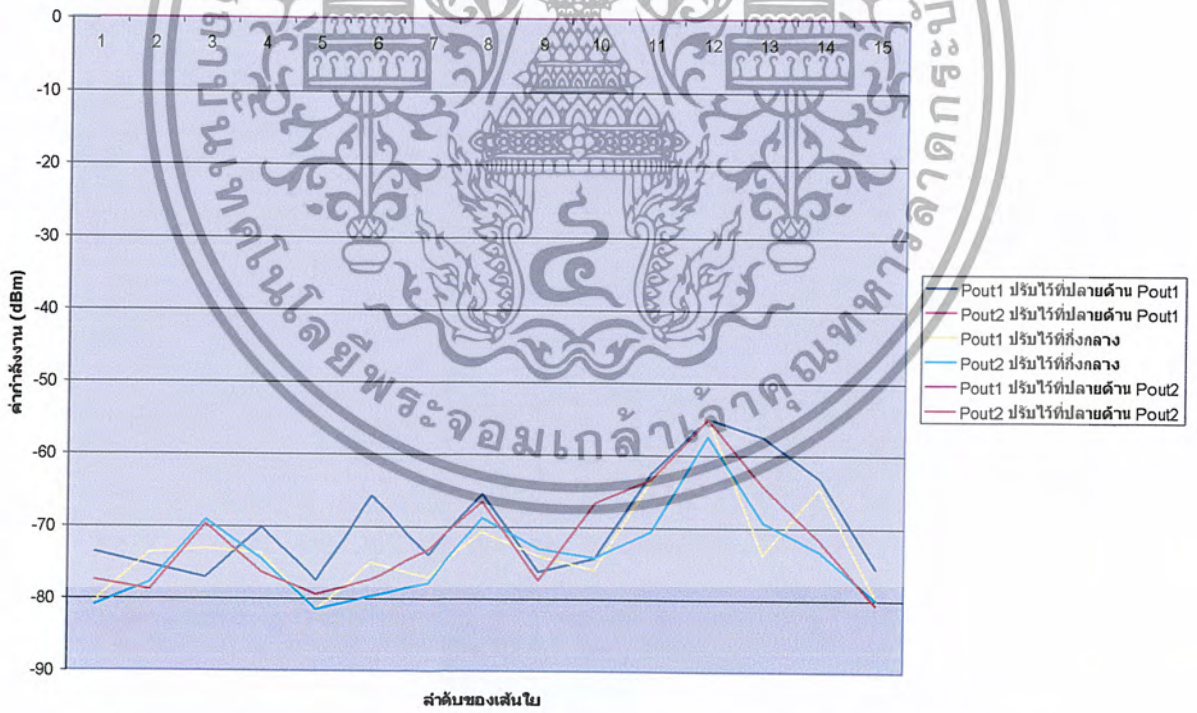


รูปที่ 62 แสดงกราฟผลการทดลองการวัดค่ากำลังงานของ Adjustable coupler ที่ปรับไว้ที่กึ่งกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 63 แสดงกราฟผลการทดลองการวัดค่ากำลังงานของ Adjustable coupler ที่ปรับไปด้าน P_{out2}



รูปที่ 64 แสดงกราฟผลการทดลองการวัดค่ากำลังงานของ Adjustable coupler ที่ปรับไปทีละมุมต่าง ๆ

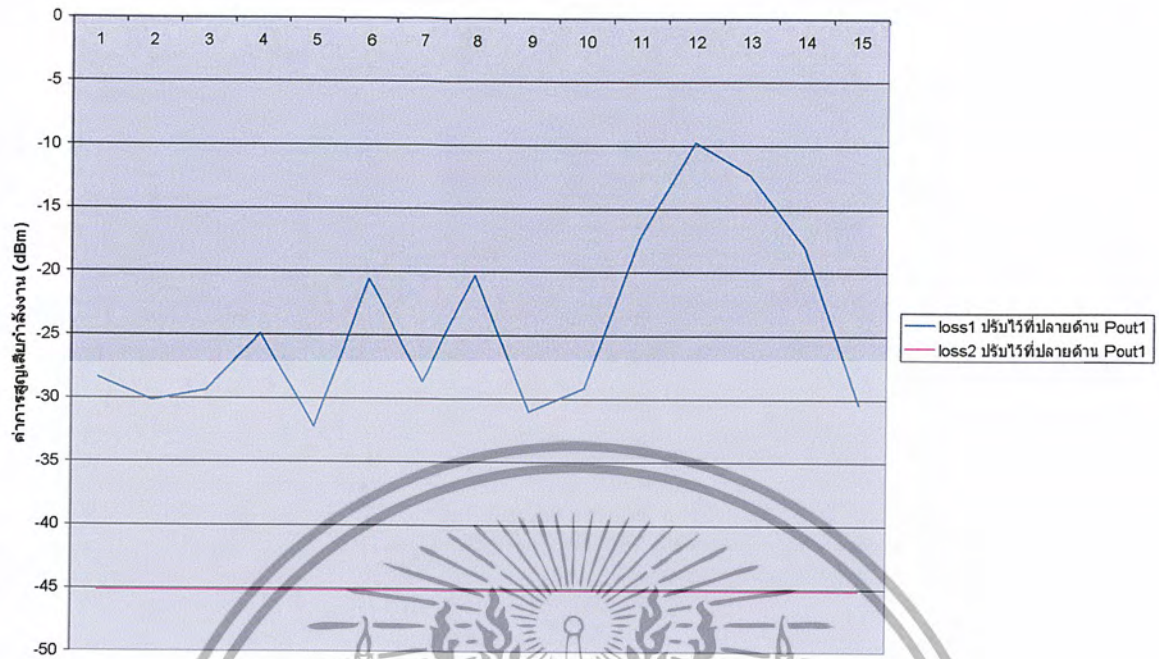
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 ผลการทดลองการวัดค่าการสูญเสียกำลังงานของ Adjustable coupler

ลำดับของเส้นใย ในการทดลอง	ปรับไว้ที่ปลายด้าน Pout1		ปรับไว้ที่กึ่งกลาง		ปรับไว้ที่ปลายด้าน Pout2	
	$loss_1$ (dBm)	$loss_2$ (dBm)	$loss_1$ (dBm)	$loss_2$ (dBm)	$loss_1$ (dBm)	$loss_2$ (dBm)
1	-28.43	-45.19	-35.16	-35.77	-45.19	-32.32
2	-30.2	-45.19	-28.45	-32.63	-45.19	-33.61
3	-29.42	-45.19	-34.17	-29.04	-45.19	-34.32
4	-24.95	-45.19	-28.5	-29.33	-45.19	-31.15
5	-32.28	-45.19	-36.43	-36.35	-45.19	-34.24
6	-20.63	-45.19	-29.84	-34.48	-45.19	-32.17
7	-28.73	-45.19	-31.83	-32.7	-45.19	-28.07
8	-20.3	-45.19	-25.49	-23.63	-45.19	-21.37
9	-31.04	-45.19	-28.82	-27.88	-45.19	-32.24
10	-29.17	-45.19	-30.78	-29.1	-45.19	-21.51
11	-17.35	-45.19	-18.41	-25.46	-45.19	-18.19
12	-9.79	-45.19	-9.7	-12.26	-45.19	-9.83
13	-12.36	-45.19	-28.57	-24.15	-45.19	-19.2
14	-18.05	-45.19	-19.3	-28.12	-45.19	-26.57
15	-30.44	-45.19	-34.33	-34.74	-45.19	-35.45

ตารางที่ 9 แสดงผลการทดลองการวัดค่าการสูญเสียกำลังงานของ Adjustable coupler

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



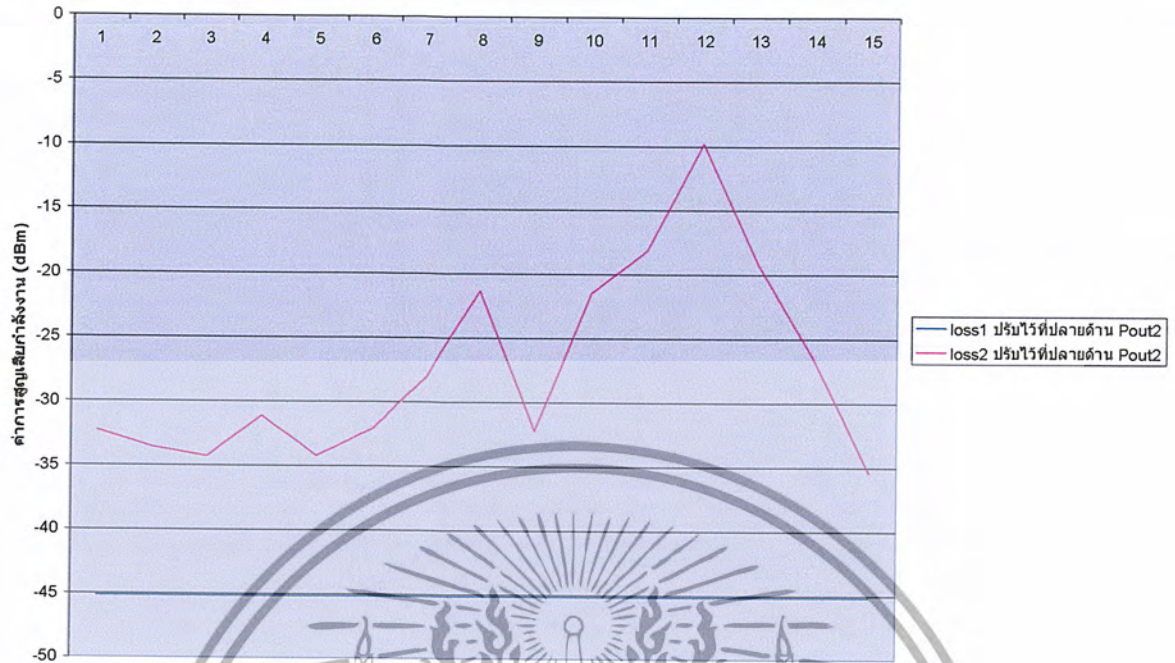
ลำดับของเส้นใย

รูปที่ 65 แสดงกราฟผลการทดลองการวัดค่าการสูญเสียกำลังงานของ Adjustable coupler ที่ปรับไว้ที่ด้าน P_{out1}



รูปที่ 66 แสดงกราฟผลการทดลองการวัดค่าการสูญเสียกำลังงานของ Adjustable coupler ที่ปรับไว้ที่กึ่งกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ลำดับของเส้นใย
รูปที่ 67 แสดงกราฟผลการทดลองการวัดค่าการสูญเสียกำลังงานของ Adjustable coupler ที่ปรับไปด้าน P_{out2}



รูปที่ 68 แสดงกราฟผลการทดลองการวัดค่าการสูญเสียกำลังงานของ Adjustable coupler ที่ปรับไปที่มุมต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทวิจารณ์และบทสรุป

จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการปล่อยแสงเข้าไปในเส้นใยนำแสงพลาสติก ค่าที่ได้จะมีความไม่แน่นอน เกิดจากสาเหตุหลายประการด้วยกันคือ ความไม่ได้มาตรฐานของเส้นใยนำแสงพลาสติก ซึ่งมีขนาดไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งเส้น , มีการสูญเสียกำลังงานภายในเส้นใยนำแสงพลาสติกมาก สำหรับส่วนที่นำมาใช้ทำ คอนเนคเตอร์ ก็มีขนาดไม่เท่ากันทำให้เมื่อนำไปทดลองจึงไม่ยึดติดอยู่กับที่ ซึ่งปัญหาเหล่านี้เป็นสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้เกิดการสูญเสียของกำลังงาน ทำให้เอาที่พูดที่ออกมามีค่าน้อย แต่ก็มีบางตัวที่ให้ค่าเอาที่พูดออกมามาก

จากค่าคุณสมบัติของเครื่องแยกกำลังงานแสงที่ทางโรงงานผลิต ได้มีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังที่กล่าวไว้ในภาคผนวก ซึ่งสามารถนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองดังตารางที่ 10 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าที่ได้นั้นต่ำกว่า เนื่องจากความมาตรฐานของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนั้นมีประสิทธิภาพไม่ดีเพียงพอเทียบเท่ากับมาตรฐานที่ผลิตได้จากโรงงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับของ X-coupler	Insertion Loss (dB)	Excess Loss (dB)
1	Port1:Port3 = 16.44	Port1:Port3 + Port 4 = 16.36
	Port1:Port4 = 34.05	
2	Port1:Port3 = 15.35	Port1:Port3 + Port 4 = 15.25
	Port1:Port4 = 32.04	
3	Port1:Port3 = 15.37	Port1:Port3 + Port 4 = 15.26
	Port1:Port4 = 31.33	
4	Port1:Port3 = 10.52	Port1:Port3 + Port 4 = 10.49
	Port1:Port4 = 32.27	
5	Port1:Port3 = 24.35	Port1:Port3 + Port 4 = 23.61
	Port1:Port4 = 31.71	
6	Port1:Port3 = 26.03	Port1:Port3 + Port 4 = 24.16
	Port1:Port4 = 28.74	
7	Port1:Port3 = 3.82	Port1:Port3 + Port 4 = 3.82
	Port1:Port4 = 34.44	
8	Port1:Port3 = 27.73	Port1:Port3 + Port 4 = 25.49
	Port1:Port4 = 29.45	
9	Port1:Port3 = 29.53	Port1:Port3 + Port 4 = 27.66
	Port1:Port4 = 32.22	
10	Port1:Port3 = 24.13	Port1:Port3 + Port 4 = 23.48
	Port1:Port4 = 32.06	
11	Port1:Port3 = 26.3	Port1:Port3 + Port 4 = 25.45
	Port1:Port4 = 32.96	
12	Port1:Port3 = 25.75	Port1:Port3 + Port 4 = 24.9
	Port1:Port4 = 32.42	
13	Port1:Port3 = 25.98	Port1:Port3 + Port 4 = 25.34
	Port1:Port4 = 33.93	
14	Port1:Port3 = 24.24	Port1:Port3 + Port 4 = 23.26
	Port1:Port4 = 30.22	
15	Port1:Port3 = 16.16	Port1:Port3 + Port 4 = 15.97
	Port1:Port4 = 29.77	
16	Port1:Port3 = 25.56	Port1:Port3 + Port 4 = 25.49
	Port1:Port4 = 34.19	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับของ X-coupler	Insertion Loss (dB)	Excess Loss (dB)
17	Port1:Port3 = 34.18	Port1:Port3 + Port 4 =
	Port1:Port4 = 35.24	31.65

ตารางที่ 10 แสดงค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นใน X-coupler (Excess Loss, Insertion Loss)

ถึงแม้ค่าที่ทำการทดลองและวัดออกมาได้นั้นจะมีความผิดพลาดอยู่แต่ก็ยังมีความเป็นไปได้ในการพัฒนาต่อไป หากใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่มีความมาตรฐานมากขึ้น ก็จะทำให้ได้ผลที่ถูกต้องและแม่นยำสามารถสร้างเครื่องแยกกำลังงานแสงที่ใช้งานได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

Plastic Optical Fiber Couplers (Splitters)

CHARACTERISTICS

STOCK NUMBER	PORTS	SPLITTING RATIO%	INSERTION LOSS (max)	EXCESS LOSS (max)
IF-540	2 x 2	50:50	Port A - Port C: 5.6 dB Port A - Port D: 3.7 dB Port B - Port C: 3.7 dB Port B - Port D: 5.6 dB	Port A: 1.6 dB Port B: 1.6 dB
IF-541	2 x 2	60:20	Port A - Port C: 9.9 dB Port A - Port D: 2.9 dB Port B - Port C: 2.9 dB Port B - Port D: 9.9 dB	Port A: 1.7 dB Port B: 1.7 dB
IF-542	2 x 2	90:10	Port A - Port C: 1.5 dB Port A - Port D: 2.5 dB Port B - Port C: 2.4 dB Port B - Port D: 1.5 dB	Port A: 2.0 dB Port B: 2.0 dB
IF-562	1 x 2	50:50	Port A - Port C: 5.6 dB Port A - Port D: 3.7 dB	Port A: 1.6 dB
IF-543	1 x 3	33:33:33	Port A - Port B: 8.2 dB Port A - Port C: 8.2 dB Port A - Port D: 8.2 dB	Port A: 2.2 dB
IF-544	4 x 4	25:25:25:25		

All devices are available with ST, SMA or standard fiber terminations.

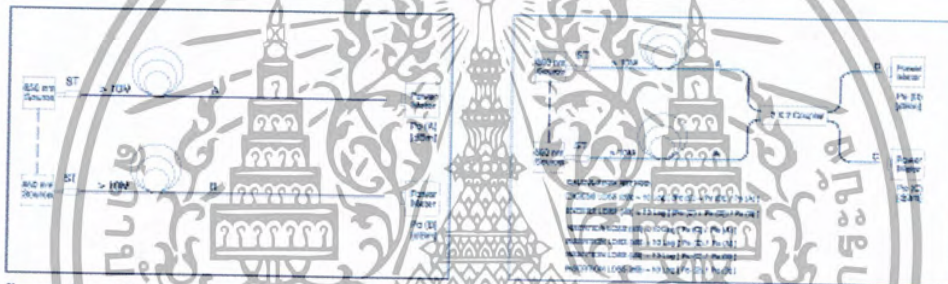


FIGURE 1. Reference measurement (free-fused)

FIGURE 2. Excess & insertion loss measurement (post-fused)

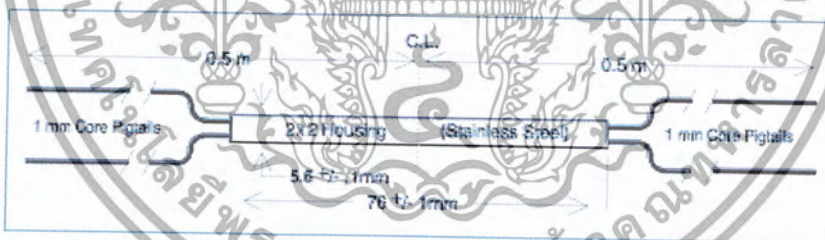


FIGURE 3. Overall Dimensions for 2x2 Coupler

INDUSTRIAL FIBER OPTICS, INC. • www.ifiberoptics.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

Franz, J Optical communication system : system analysis, design and optimization/ J. Franz, V.K Jain--- New Delhi : Narosa, c1996

Fiber optics hand book : fiber, devices and system for optical communication/ Michael Bass, editer in chief, Eric W. Van Stryland--- New York : Mcgraw Hill, c2002

อภิวัฒน์ มัณยานนท์ ทฤษฎีการสื่อสารเส้นใยแสง --- กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ,2534

ปรีชา ยุพาพิน วิศวกรรมใยแก้วนำแสง--- กรุงเทพฯ : สถาบันส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น), 2544



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้